HİKMƏT MEHTİYEV

FİZİKA

YENİ TƏHSİL PROQRAMI (KURİKULUM) ÜZRƏ

İki hissə birlikdə!



III NƏŞR

MÜƏLLİMLƏRİN İŞƏ QƏBULU,
SERTİFİKASİYA imtahanına hazırlaşanlar,
ABİTURİYENTLƏR üçün vəsait

2023

HİKMƏT MEHTİYEV

FİZİKA

YENİ TƏHSİL PROQRAMI (KURİKULUM) ÜZRƏ

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ TƏHSİL NAZİRLİYİNİN
TƏHSİLDƏ İNKİŞAF VƏ İNNOVASİYALAR ÜZRƏ
III QRANT MÜSABİQƏSİNİN QALİBİ !

MÜƏLLİMLƏRİN İŞƏ QƏBULU,
SERTİFİKASİYA imtahanına hazırlaşanlar və
ABİTURİYENTLƏR üçün vəsait

2023

Rəyçilər: **Rasim Abdurazaqov**
Azərbaycan Respublikası Təhsil İnstitutunun Tədris Resursları Mərkəzinin Metodik Təhlil şöbəsinin rəhbəri, dosent
Tofiq Hacıyev
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin Fizikanın Tədrisi Metodikası kafedrasının baş müəllimi
Elməddin Ziyadov
Qəbələ rayonu Zarağan kənd 2 nömrəli tam orta məktəbin fizika müəllimi

İxtisas redaktorları: **Şahlar Əsədov**
Fikrət Abdulov
Sənan Mövlamov
Telman Mövludov

Tərtibat və dizayn: **Tariyel Əhmədov**

Üz qabığının dizaynı : **Tərlan Məmmədli**

Mehtiyev Hikmət Bahadur oğlu. Fizika
Bakı, 2023, 304 səhifə

Müəllifin rəsmi razılığı olmadan kitabın və onun hər hansı bir hissəsinin təkrar çapı, yayılması, elektron və ya mexaniki üsulla surətinin çıxarılması qadağandır!

Müəlliflə əlaqə:

Tel: *(050) 627-01-82*
E-mail: *hikmetmehtiyev@gmail.com*

ÖN SÖZ

Əziz abituriyentlər! Hörmətli müəllimlər!

Təqdim olunan vəsait "Ümumi fizika kursu"nun bütün bölmələrini əhatə edir. Kitab əsasən ***ORTA ÜMUMTƏHSİL MƏKTƏBLƏRİNİN TƏMAYÜL SİNİFLƏRİ*** və ***ABİTURİYENTLƏR*** üçün köməkçi dərs vəsaiti kimi nəzərdə tutulmuşdur. Eyni zamanda ***MİQ*** və ***SERTİFİKASİYA*** imtahanına hazırlaşanlar, orta məktəb müəllimləri, elementar fizikanı müstəqil öyrənmək istəyənlər də bu kitabdan istifadə edə bilərlər. Kitab ali məktəblərə qəbul imtahanlarının proqramlarına tam uyğundur. Ümid edirik ki, bu kitab sizə qəbul imtahanında fizikadan yüksək nəticə göstərməyinizə və uğur qazanmağınıza yardımçı olacaq.

Bildiyimiz kimi, bir çox şagirdlər fizikanı öyrənməkdə çətinlik çəkir. Bu vəsait sizin yardımçınız ola bilər və siz fizikanı sevə-sevə öyrənə bilərsiniz. Kitabda olan bütün mövzular daha sadə və hər bir şagirdin başa düşə biləcəyi şəkildə verilmişdir. Məsələ həllində lazım olan "Riyazi biliklər"ə də ayrıca yer verilmişdir.

Kitab orta məktəb dərsliklərindən istifadə edilərək yeni təhsil proqramı (kurikulum) əsasında hazırlanmışdır.

Kitab haqqında irad və təkliflərinizi *hikmetmehtiyev@gmail.com* ünvanına göndərə bilərsiniz. Əvvəlcədən təşəkkür edirik.

Mehtiyev Hikmət
6 nömrəli məktəb-liseyin müəllimi

MÜNDƏRİCAT

Minimal riyazi biliklər 7

MEXANİKA

1. Düzxətli bərabərsürətli və dəyişənsürətli hərəkətlər 14
2. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət 27
3. Nyuton qanunları 33
4. Ümumdünya cazibə qanunu. Ağırlıq qüvvəsi 42
5. Elastiklik qüvvəsi. Sürtünmə qüvvəsi 57
6. Statikanın əsasları 64
7. İmpuls. Qüvvə impulsu. İmpulsun saxlanma qanunu 72
8. Enerji. Enerjinin saxlanma qanunu 78
9. Mexaniki iş. Güc 86
10. Mexaniki rəqslər və dalğalar 93
11. Aero-hidrostatika. Aero-hidrodinamika 105

MOLEKULYAR FİZİKA

12. Molekulyar kinetik nəzəriyyə. İdeal qaz qanunları 118
13.Termodinamikanın əsasları 128
14. Maddənin aqreqat halları. Doymuş və doymamış buxarlar 138
15. Mayelərin və bərk cisimlərin xassələri 151
16. Nisbilik nəzəriyəsinin elementləri 158

ELEKTRODİNAMİKA

17. Elektrik yükü. Elektirik sahəsi 163
18. Elektrik tutumu. Elektrik sahəsinin enerjisi 189
19. Sabit cərəyan qanunları 196
20. Müxtəlif mühitlərdə elektrik cərəyanı 210
21. Maqnit sahəsi. Maqnit induksiyası 223
22. Elektromaqnit induksiyası. Maqnit sahəsinin enerjisi 234
23. Elektromaqnit rəqsləri və dalğaları 243
24. Dəyişən elektrik cərəyanı 251

OPTİKA

25. Həndəsi optika 258
26. Dalğa optikası 272

ATOM FİZİKASI

27. İşıq kvantları 276
28. Atom və nüvə fizikası 282

Cihazlar və qurğular 297
Ədəbiyyat 303



Mexanika

GİRİŞ
FİZİKA — NƏYİ, NƏ ÜÇÜN VƏ NECƏ ÖYRƏNİR ?

Fizika sözü yunanca ***"fyuzis"*** – təbiət deməkdir. Fizika sözünü elmə ilk dəfə qədim yunan filosofu Aristotel gətirmişdir. Daha sonra fizika anlayışını Azərbaycan dilində XI əsrdə yaşamış dahi Azərbaycan filosofu Bəhmənyar əl-Azərbaycani işlətmişdir. Hələ qədim dövr - lərdən insanlar təbiətdə baş verən hadisələrin səbəblərini anlamağa çalışmışlar: "Küləyin əsməsinə səbəb nədir?", "Səma nə üçün mavidir?", "Yağış niyə yağır?", "Atılan daş niyə yerə düşür?"... Bu elmi öyrənməklə siz təbiət hadisələrinin başvermə səbəblərini izah edə biləcəksiniz.

Fizika təbiəti öyrənən elmlərin ən mühümüdür. O, bizi əhatə edən aləmin quruluşunu, xassələrini və orada baş verən hadisələrin ümumi qanunlarını öyrənir. Fizika eksperimental elmdir. Onun qanunları təcrübələrdə təsdiqlənən real faktlara əsaslanmışdır. Fizika dəqiq elmdir. Bu o deməkdir ki, fiziki qanunlar riyazi düsturlar vasitəsilə ifadə edilir. Müasir dövrdə fizikanın gündəlik həyatımızda rolu böyükdür. Bütün elm, texnika, istehsalat və məişət vasitələrinin iş prinsipinin əsasında fizika durur. Müasir fizika istilik, elektromaqnit, işıq, atom və bir çox fiziki hadisələri fasiləsiz öyrənir.Bunun nəticəsidir ki, yeni-yeni avadanlıqlar, cihazlar yaranır. Təbiətdəki bütün canlı və cansız varlıqlar (obyektlər) ***fiziki cisim*** və ya ***cisim*** adlanır. Fiziki cisim nədən təşkil olunmuşdursa ona ***maddə*** deyilir. Məsələn, dəmir maddə, dəmir qab isə cisimdir. Fizika digər elmlərin – kimyanın, biologiyanın, geologiyanın, coğrafiyanın inkişafında böyük rol oynayır. Fizika ən kiçik zərrəciklərdə (molekullar, atomlar) baş verən hadisələrdən, ən böyük səma cisimlərində (planetlər, ulduzlar) baş verən hadisələrə kimi hamısını öyrənən bir elmdir. Fizika öyrənilən hadisələr qrupundan asılı olaraq aşağıdakı bölmələrə ayrılır: ***Mexanika, Molekulyar fizika, Elektrodinamika, Optika, Atom və nüvə fizikası.***

❖ Fiziki kəmiyyətlər, onların toplanması və ölçülməsi.

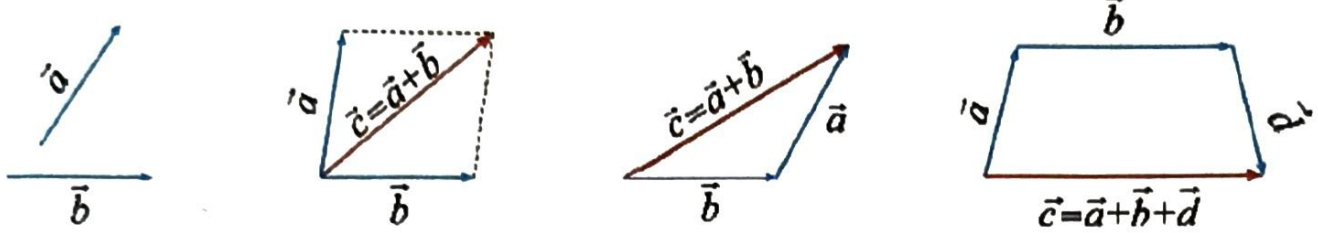
Cisim və ya hadisənin təcrübədə ölçülə bilən xarakteristikalarına *fiziki kəmiyyətlər* deyilir. Fiziki kəmiyyətlər iki qrupa bölünür. ***Vektorial*** və ***skalyar*** kəmiyyətlər. İstiqaməti olmayan və yalnız ədədi qiymətə malik olan kəmiyyətlərə ***skalyar kəmiyyətlər*** deyilir. Skalyar kəmiyyətlərə misal olaraq *yol, zaman, kütlə, enerji, iş, temperatur, uzunluq, sahə* və s. göstərmək olar. Skalyar kəmiyyətlərin bəziləri yalnız müsbət qiymət alır (*məsələn, həcm, kütlə, sıxlıq),* bəziləri həm müsbət, həm də mənfi qiymət ala bilir *(məsələn, temperatur, iş).* Həm ədədi qiyməti və həm də istiqaməti olan kəmiyyətlərə ***vektorial kəmiyyətlər*** deyilir. Məsələn, *təcil, qüvvə, sürət, yerdəyişmə* və s. Vektorial kəmiyyətlər üzərində ox çəkilmiş hərflərlə işarə edilir ($\vec{a}$, $\vec{F}$, $\vec{\vartheta}$, $\vec{s}$, proyeksiyası a_x, a_y, F_x, F_y, ϑ_x, ϑ_y, s_x, s_y).

Orta məktəb fizika kursunda istifadə olunan vektorial kəmiyyətlər:

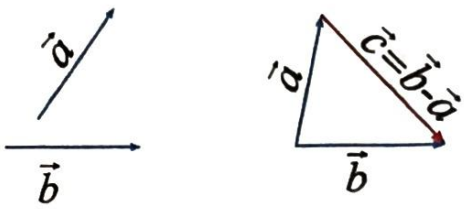
Yerdəyişmə – $\vec{s}$, *sürət* – $\vec{\vartheta}$, *təcil* – $\vec{a}$ *qüvvə* – $\vec{F}$, *çəki* – $\vec{P}$, *qravitasiya sahəsinin intensivliyi (sərbəstdüşmə təcili)* – $\vec{g}$, *impuls* – $\vec{p}$, *elektrik sahəsinin intensivliyi* – $\vec{E}$, *maqnit induksiyası* – $\vec{B}$.

Skalyar kəmiyyətlər ***cəbri üsulla***, vektorial kəmiyyətlər isə ***həndəsi üsulla*** toplanılır və çıxılır. Vektorial kəmiyyətləri toplamaq üçün ***üçbucaq*** və ***paraleloqram*** qaydalarından istifadə edirlər. Üçbucaq qaydasına görə, *iki vektoru toplamaq üçün, vektorlardan birini, məsələn* $\vec{b}$ *vektorunu tərpənməz saxlamaqla* $\vec{a}$ *vektorunu özünə paralel olaraq elə köçürmək lazımdır ki, onun başlanğıc nöqtəsi* $\vec{b}$ *vektorunun sonu ilə üst-üstə düşsün.* $\vec{b}$ *vektorunun başlanğıcını* $\vec{a}$ *vektorunun sonu ilə birləşdirən vektor bu iki vektorun cəminə bərabər olacaq.*

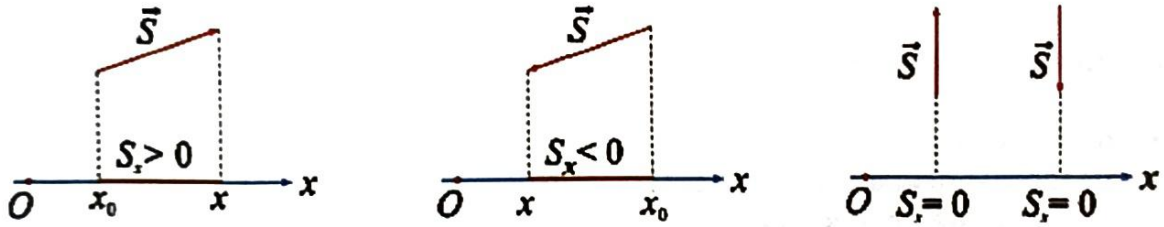
Paraleloqram qaydasına görə, *iki vektoru toplamaq üçün, vektorlardan istənilən birini sükunətdə saxlamaqla ikinci vektoru özü-özünə paralel qalmaq şərti ilə elə köçürmək lazımdır ki, hər iki vektorun başlanğıc nöqtələri üst-üstə düşsün. Bu iki vektor üzərində qurulmuş paraleloqramın onların üst-üstə düşən başlanğıc nöqtəsindən çıxan istiqamətlənmiş diaqonalı bu iki vektorun cəminə bərabər olacaq.* İkidən çox vektoru toplamaq üçün *ikinci vektoru birincinin sonuna, üçüncü vektoru ikincinin sonuna və.s köçürürük. Birinci vektorun başlanğıcını axırıncı vektorun sonu ilə birləşdirən vektor onların cəminə bərabərdir.*



İki vektor fərqini təyin etmək üçün onları özlərinə paralel qalmaq şərti ilə elə yerləşdirmək lazımdır ki, bir nöqtədən çıxsınlar. Çıxılan vektorun sonundan azalan vektorun sonuna çəkilmiş vektor həmin vektorların fərqini verəcəkdir. $\vec{s}$ vektorunun başlanğıc və son nöqtələrindən x oxu üzərinə perpendikulyar endirək. Alınan parça $\vec{s}$ vektorunun x oxu üzərindəki proyeksiyasıdır və s_x ilə işarə edilir.



Vektor Ox oxu istiqamətində yönəldikdə bu Ox üzrə proyeksiyası müsbət($s_x > 0$), əksinə yönəldikdə isə mənfi ($s_x < 0$) olur.

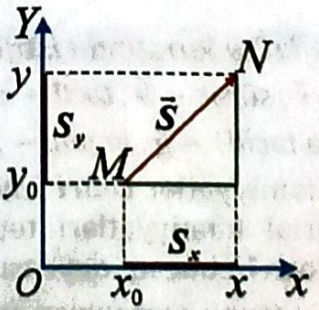


$S_x=x-x_0>0$ $\qquad$ $S_x=x-x_0<0$

Müstəvidə hərəkət edən cismin başlanğıc koordinatı $M(x_0;y_0)$, son koordinatı $N(x;y)$ olduqda, yerdəyişməsinin modulu aşağıdakı kimi tapılır.

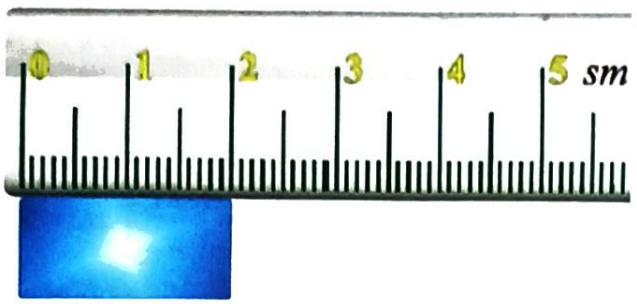
$$s_x = x - x_0;\ \ s_y = y - y_0$$

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$



❖ Cihazın bir bölgüsünün qiymətinin və ölçmə xətasının tapılması:

Biz gündəlik həyatda müxtəlif fiziki kəmiyyətləri ölçməli oluruq. Zamanı-saatla, sürəti spidometrlə, uzunluğu-ölçü lenti (xətkeş) və.s. Hər bir fiziki kəmiyyətlər müxtəlif cihazlarla ölçülür. Bütün ölçü cihazlarında şkala (bölgü) vardır. Fiziki kəmiyyətlərin qiymətlərinin ölçülməsində cihazların şkalasının ölçü həddini və bir bölgüsünün qiymətini müəyyənləşdirmək çox vacibdir.



a) Cihazın bir bölgüsünün qiyməti $\frac{a-b}{n} = \frac{4-3}{10} = 0{,}1\,sm$ *nisbəti ilə hesablanır, burada* **a** *və* **b** *şkalanın iki ən yaxın cizgisi qarşısında yazılmış qiymətlər,* **n** *isə həmin cizgilərin arasındakı bölgülərin sayıdır.*

b) Cihazın ölçmə xətası (mütləq xəta) onun bir bölgüsünün qiymətinin yarısına bərabərdir: $\Delta \ell = \frac{a-b}{2n} = \frac{0{,}1}{2} = 0{,}05\ sm$

c) Cismin uzunluğu: $\ell = 2\ sm \pm 0{,}05\ sm$

❖ Fiziki kəmiyyətlər arasındakı qrafiki asılılıqlar. Fizikada ən çox istifadə olunan qrafiklər.

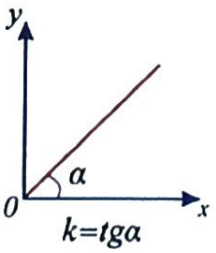
1. Düz mütənasib asılılıq: $y = kx$

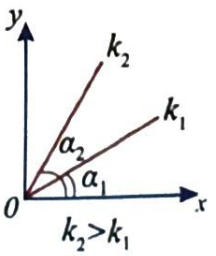
k - sabit kəmiyyətdir.

$k = \frac{y}{x} = tg\alpha$

$k = tg\alpha$

$\frac{y_1}{y_2} = \frac{x_1}{x_2}$

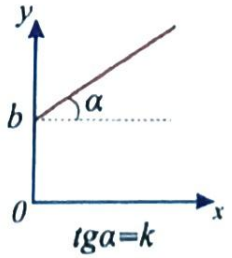




y, x ilə düz mütənasibdir, x kəmiyyəti n dəfə artarsa, y kəmiyyəti də n dəfə artar.

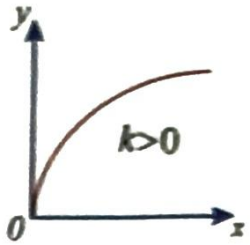
2. Xətti funksiya : $y = b + kx$

Burada k və b sabit əmsallardır.



3. Kvadrat kök funksiyası: $y = k\sqrt{x}$

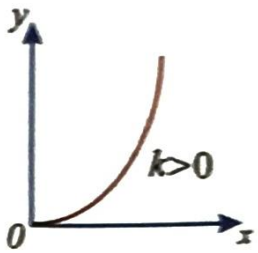
$$\frac{y_1}{y_2} = \sqrt{\frac{x_1}{x_2}}$$



y, $\sqrt{x}$ ilə düz mütənasibdir, x kəmiyyəti n dəfə artarsa, y kəmiyyəti $\sqrt{n}$ dəfə artar.

4. Kvadratik funksiya: $y = kx^2$

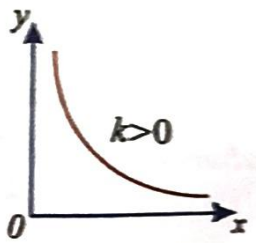
Kvadrat funksiyanın qrafiki paraboladır. $\frac{y_1}{y_2} = \left(\frac{x_1}{x_2}\right)^2$



y, x^2 ilə düz mütənasibdir, x kəmiyyəti n dəfə artarsa, y kəmiyyəti n^2 dəfə artar.

5. Tərs mütənasib asılılıq: $y = \frac{k}{x}$

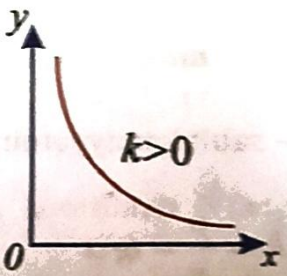
Tərs mütənasib asılılığın qrafiki hiperbola əyrisidir. $\frac{y_1}{y_2} = \frac{x_2}{x_1}$



y, x ilə tərs mütənasibdir, x kəmiyyəti n dəfə artarsa, y kəmiyyəti n dəfə azalar.

6. x^2 ***ilə tərs mütənasib funksiya:*** $y = \frac{k}{x^2}$

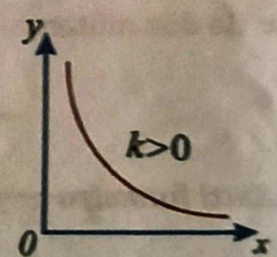
$$\frac{y_1}{y_2} = \left(\frac{x_2}{x_1}\right)^2$$



y, x^2 ilə tərs mütənasibdir, x kəmiyyəti n dəfə artarsa, y kəmiyyəti n^2 dəfə azalar.

7. Kvadrat köklə tərs mütənasib funksiya: $y = \frac{k}{\sqrt{x}}$

$$\frac{y_1}{y_2} = \sqrt{\frac{x_2}{x_1}}$$



y, $\sqrt{x}$ ilə tərs mütənasibdir, x kəmiyyəti n dəfə artarsa, y kəmiyyəti $\sqrt{n}$ dəfə azalar.

❖ Faiz.

1. Ədədin $\frac{1}{100}$ hissəsinə faiz deyilir və % - kimi işarə edilir.

2. Ədədi faizə çevirmək üçün həmin ədəd 100% - ə vurulur. $a = a \cdot 100\%$

Məsələn, 3=300% 0,7=70% 0,05=5%

3. Faizi ədədə çevirmək üçün 100% - ə bölmək lazımdır. $a\% = \frac{a\%}{100\%}$

Məsələn, 200%=2 50%=0,5 3%=0,03

4. a ədədinin, n % -in tapılması: $\frac{a \cdot n\%}{100\%}$

5. n%-i a olan ədədin tapılması: $\frac{a \cdot 100\%}{n\%}$

6. Kəmiyyətin faizlə artımının dəfəyə çevrilməsi. Ədəd n% artarsa neçə dəfə artmış olar?

$$\frac{100\% + n\%}{100\%}$$

Məsələn, ədəd **80%** artarsa, $\frac{100\% + 80\%}{100\%} = 1{,}8$ dəfə artmış olar.

7. Kəmiyyətin faizlə azalmasının dəfəyə çevrilməsi. Ədəd n% azalarsa neçə dəfə azalmış olar?

kəmiyyətin n dəfə azalması onun $\frac{n-1}{n} \cdot 100$ azalması demekdir.

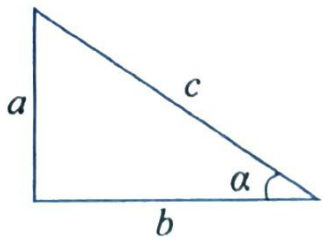
$$\frac{100\%}{100\% - n\%}$$

Məsələn: Ədəd **80%** azalarsa, $\frac{100\%}{100\% - 80\%} = 5$ dəfə azalmış olar.

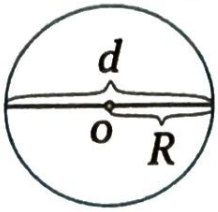
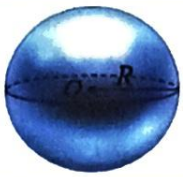
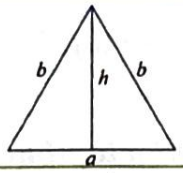
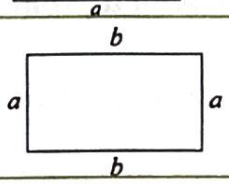
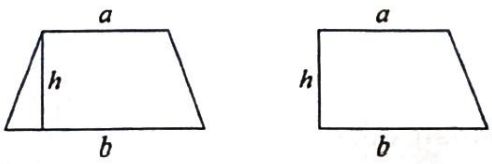
❖ Həndəsi fiqurların sahəsi. Həndəsi düsturlar.

Düzbucaqlı üçbucağın sahəsi :

$S = \frac{1}{2} a \cdot b$ **Pifaqor teoremi:** $c^2 = a^2 + b^2$



$\sin\alpha = \frac{a}{c}$ $\cos\alpha = \frac{b}{c}$ $tg\alpha = \frac{a}{b}$ $ctg\alpha = \frac{b}{a}$

Çevrənin uzunluğu: *Dairənin sahəsi:*	$\ell = 2\pi R = \pi d$ $d = 2R$ $S = \pi R^2 = \frac{\pi d^2}{4}$	
Kürənin həcmi:	$V = \frac{4}{3}\pi R^3$	
Üçbucağın sahəsi :	$S = \frac{1}{2}a \cdot h$	
Düzbucaqlının sahəsi:	$S = a \cdot b$	
Trapesiyanın sahəsi :	$S = \frac{a+b}{2} \cdot h$	

❖ Törəmə.

- *Sabitin törəməsi sıfıra bərabərdir.* $(c)' = 0$ *(c – sabitdir)*

  $(5)' = 0 \quad (6)' = 0 \quad (2)' = 0$

- *x – törəməsi vahidə bərabərdir:* $(x)' = 1 \quad (2x)' = 2 \quad (25x)' = 25$

- x^2 *- in törəməsi:* $\left(x^2\right)' = 2x \quad \left(5x^2\right)' = 10x \quad \left(14x^2\right)' = 28x$

- *Cəmin və fərqin törəməsi:* $(u+v)' = (u)' + (v)' \quad (u-v)' = (u)' - (v)'$

  $(5t^2 + 3t + 8)' = (5t^2)' + (3t)' + (8)' = 10t + 3$

- $(\sin x)' = \cos x \quad (\cos x)' = -\sin x$

- $(\sin \omega t)' = \omega \cdot \cos \omega t \quad (\cos \omega t)' = -\omega \cdot \sin \omega t$

❖ Beynəlxalq Vahidlər Sistemi (BS).

Hər hansısa fiziki kəmiyyəti ölçmək, onu həmin kəmiyyət üçün vahid qəbul edilmiş eyni adlı kəmiyyətlə müqayisə etmək deməkdir. Məsələn, cismin uzunluğunu ölçmək üçün onu uzunluq vahidi metrlə müqayisə etmək lazımdır. Hər bir fiziki kəmiyyət müəyyən vahid ilə ifadə olunur. Vahidlər əsas vahidlərdən, onların tərtibindən və törəmələrdən təşkil olunmuşdur.

Adı	İşarəsi	vahidi
Uzunluq	ℓ	m(metr)
Kütlə	m	kq(kiloqram)
Zaman	t	san(saniyə)
Maddə miqdari	v	mol(mol)
Temperatur	T	K(kelvin)
Cərəyan şiddəti	İ	A(amper)
İşıq şiddəti	j	Kd(kandela)

1960-cı ildə XI Beynəlxalq Metrologiya Konfransında Beynəlxalq Vahidlər Sistemi **(BS)** təsis olundu. **BS-in 7 əsas vahidi müəyyən edildi. Əlavə vahidlər: Müstəvi bucaq vahidi –1** ***rad*** **(radian), cisim bucağı vahidi –1** ***sterad (steradian)***

❖ Onluq önşəkilçilər cədvəli.

Adı	İşarəsi	Vuruq	Adı	İşarəsi	Vuruq
Qiqa	Q	10^9	santi	s	10^{-2}
Meqa	M	10^6	milli	m	10^{-3}
Kilo	k	10^3	mikro	mk	10^{-6}
Hekto	h	10^2	nano	n	10^{-9}
Desi	d	10^{-1}	piko	p	10^{-12}

Zaman vahidləri : $[t] = 1$ san	Kütlə vahidləri: $[m] = 1$ kq	Uzunluq vahidləri: $[\ell] = 1$ m
1 il = 12 ay = 365 gün	1 t =1000 kq	$1\ km = 10^3\ m$
1 sutka = 24 saat	1 kq = 1000 q	$1\ dm = 10^{-1}\ m$
1 saat = 60 dəq = 3600 san	1 q = 0,001 kq	$1\ sm = 10^{-2}\ m$
1 dəq = 60 san	1 s = 100 kq	$1\ mm = 10^{-3}\ m$

Sahə vahidləri: $[S] = 1\ m^2$		Həcm vahidləri: $[V]=1\ m^3$	
$1\ mm^2 = 10^{-6}\ m^2$	$1\ ar = 100 m^2$	$1\ mm^3 = 10^{-9}\ m^3$	$1\ \ell = 1\ dm^3$
$1\ sm^2 = 10^{-4}\ m^2$	$1\ ha = 100\ ar = 10000 m^2$	$1\ sm^3 = 10^{-6}\ m^3$	$1\ \ell = 10^{-3}\ m^3$
$1\ dm^2 = 10^{-2}\ m^2$	$1\ km^2 = 10^6\ m^2$	$1\ km^3 = 10^9\ m^3$	$1\ m^3 = 10^3\ \ell$

1. DÜZXƏTLİ BƏRABƏRSÜRƏTLİ VƏ DƏYİŞƏNSÜRƏTLİ HƏRƏKƏTLƏR.

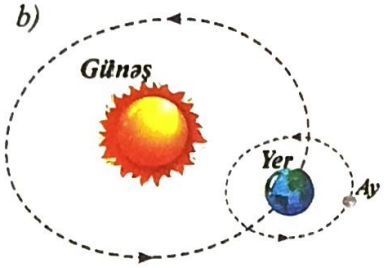
§1.1. Mexaniki hərəkət və onun növləri. Maddi nöqtə. Trayektoriya. Yol və yerdəyişmə.

Materiyanın başlıca xassəsi onun daim hərəkətdə olmasıdır. Fizikada müxtəlif növ hərəkətlər öyrənilir. Onlardan biri mexaniki hərəkətdir. ***Zaman keçdikcə cismin başqa cisimlərə nəzərən vəziyyətinin dəyişməsi mexaniki hərəkət adlanır.*** Mexaniki hərəkətin ən sadə növləri irəliləmə (*a*), fırlanma (*b*) və rəqsi (*c*) hərəkətlərdir. Bütün nöqtələri eyni cür hərəkət edən cismin hərəkətinə irəliləmə hərəkəti deyilir.*İrəliləmə hərəkətində cismin istənilən iki nöqtəsini xəyalən birləşdirən düz xətt özünə paralel qalır.*

a)



b)

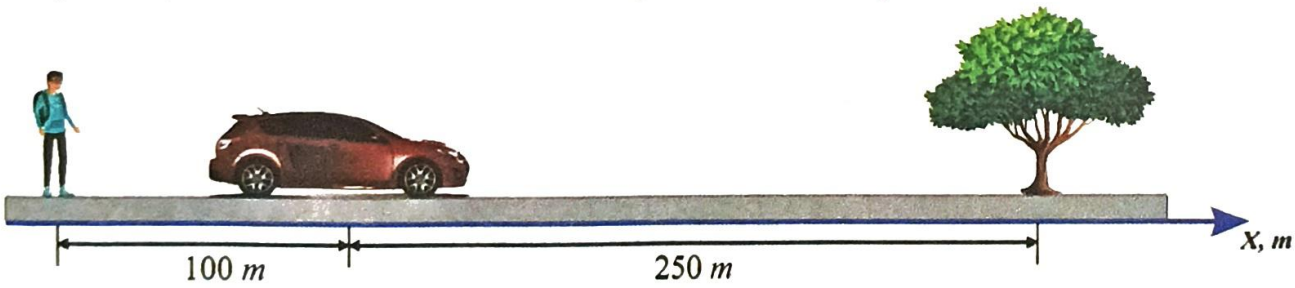


c)

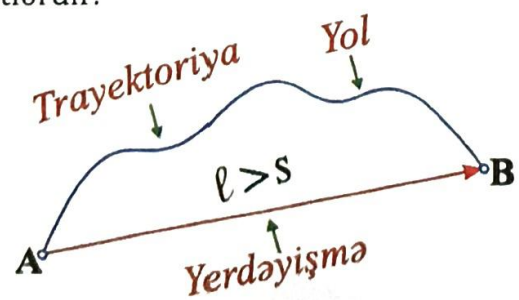


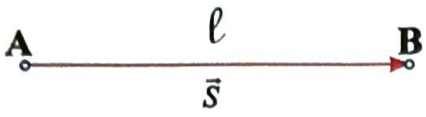
Bir çox hallarda cismin ölçülərini nəzərdən atmaqla onu maddi nöqtə hesab etmək mümkündür. ***Verilmiş şəraitdə ölçüləri nəzərə alınmayan cisim maddi nöqtə adlanır.*** *Məsələn*, Günəşlə Yer arasındakı məsafəni hesablayarkən Yeri maddi nöqtə hesab etmək olar, Yer ekvatorunun uzunluğunu təyin edərkən isə onu maddi nöqtə hesab etmək olmaz.

Mexaniki hərəkəti təsvir etmək üçün hesablama cismi və onunla bağlı koordinat sistemi seçilməlidir. ***Cismin hərəkəti hansı cismə nəzərən öyrənilirsə, həmin cisim hesablama cismi adlanır.*** Məsələn, şəkildə verilmiş oğlanı hesablama cismi götürsək onda deyərik ki, minik avtomobili oğlandan uzaqlaşır və minik avtomobilin başlanğıc koordinatı $x_0 = 100\ m$ –dir. Əgər ağacı hesablama cismi götürsək onda deyərik ki, minik avtomobili ağaca yaxınlaşır və minik avtomobilin başlanğıc koordinatı $x_0 = -250\ m$ – dir.



Hesablama cismi, onunla bağlı koordinat sistemi və zamanı ölçən cihaz hesablama sistemini təşkil edir. Verilmiş hesablama sisteminə nəzərən maddi nöqtənin hərəkəti zamanı cızdığı xətt trayektoriya adlanır. Trayektoriyanın formasına görə hərəkətlər ***düzxətli*** və ***əyrixətli*** olur. Trayektoriyası düz xətt olan hərəkətlər düzxətli, əyri xətt olan hərəkətlər isə əyrixətli hərəkətlərdir.



	
AB = 10 m ***Yol: ℓ = 10 m*** ***Yerdəyişmə: $\vec{s}$ = 10 m***	***AB = 10 m*** ***Yol: ℓ = 20 m*** ***Yerdəyişmə: $\vec{s}$ = 0 m***

Trayektoriyanın uzunluğu cismin getdiyi yol adlanır. Yol ℓ və ya s hərfi ilə işarə olunur.

Yol müsbət skalyar kəmiyyətdir: $\ell > 0$. *BS-də yol vahidi əsas vahiddir:* $[\ell] = 1m$.

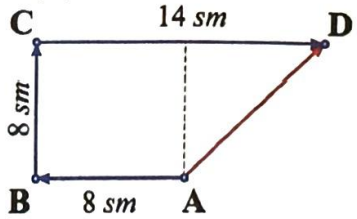
Maddi nöqtənin başlanğıc vəziyyətini son vəziyyəti ilə birləşdirən istiqamətlənmiş düz xətt parçası yerdəyişmə adlanır. Yerdəyişmə *vektorial kəmiyyətdir* və $\vec{s}$ kimi işarə edilir. Yerdəyişmənin modulu trayektoriyanın başlanğıc və son nöqtələri arasındakı ən qısa məsafədir. BS-də yerdəyişmənin də vahidi metrdir: $[s] = 1m$.

Əyrixətli hərəkətlərdə cismin getdiyi yol həmişə yerdəyişməsinin modulundan böyükdür $\ell > s$

Cisim düz xətt üzrə bir istiqamətdə hərəkət edərsə, onun yerdəyişməsinin modulu gedilən yola bərabərdir $|\vec{s}| = s = \ell$

Cisim ***A*** nöqtəsindən ***B***-yə gələrək, yenidən ***A*** nöqtəsinə qayıdırsa, getdiyi yol ***2AB***, yerdəyişməsi isə ***sıfıra*** bərabərdir.

ABCD *trayektoriyası üzrə hərəkət edən cismin getdiyi yol və yerdəyişmə:*



Yol: $\ell = AB + BC + CD = 8 + 8 + 14 = 30m$

Yerdəyişmə: $s = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10m$

§1.2. Sürət.

Cismin yerdəyişməsinin, həmin yerdəyişməyə sərf olunan zaman fasiləsinə nisbəti ilə ölçülən kəmiyyətə sürət deyilir. *Sürət ədədi qiymətcə cismin vahid zamanda icra etdiyi yerdəyişməyə bərabərdir. Sürət yerdəyişmənin dəyişmə yeyinliyini xarakterizə edir.* Nəqliyyat vasitələrinin ani sürəti **spidometrlə** ölçülür. Sürət vektorial kəmiyyətdir.

$$\vec{\vartheta} = \frac{\vec{s}}{t}$$

OX oxu üzərindəki proyeksiyası: $\vartheta_x = \frac{s_x}{t}$ Vahidi: $[\vartheta] = 1\frac{m}{san}$

Burada $\vec{\vartheta}$ – isə sürətdir, $\vec{s}$ – yerdəyişmədir.

Düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə yerdəyişmə sürətlə zamanın hasilinə bərabərdir:

$$\vec{s} = \vec{\vartheta} t$$

Yerdəyişmənin ***OX*** oxu üzərindəki proyeksiyası: $s_x = \vartheta_x \cdot t$

t - yerdəyişməyə sərf olunan zaman fasiləsidir, skalyar kəmiyyətdir, ölçü cihazı saniyəölçəndir.
BS-də zaman vahidi əsas vahiddir: $[t]=1\,san$

Hərəkətə sərf olunan zaman: $t=\frac{s_x}{\vartheta_x}$

Sürətin sistemdən kənar $1\frac{km}{saat}$, $1\frac{sm}{san}$ və s. vahidlərin $1\frac{m}{san}$ ilə əlaqəsi belədir:

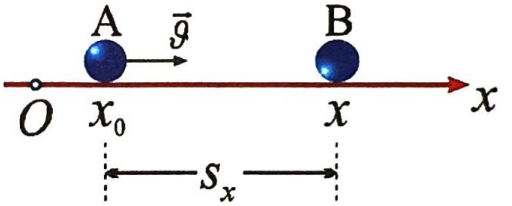
$$1\frac{km}{saat}=\frac{1000m}{3600san}=\frac{5}{18}\frac{m}{san};\quad 1\frac{m}{san}=\frac{18}{5}\frac{km}{saat};\quad 1\frac{km}{san}=10^3\frac{m}{san};\quad 1\frac{sm}{san}=10^{-2}\frac{m}{san};$$

❖ Maddi nöqtənin vəziyyətinin koordinat üsulu ilə verilməsi.

Bunun üçün Ox koordinat oxu çəkilir. Koordinat oxunun başlanğıc nöqtəsi (O *nöqtəsi*) müəyyən olunur. Fərz edək ki, düzxətli hərəkət edən cisim Ox koordinat oxu üzrə A nöqtəsindən B nöqtəsinə gəlib. Müşahidəyə başlayan anda $(t=0)$ cismin A nöqtəsindəki vəziyyəti onun başlanğıc koordinatı olub x_0 ilə işarə edilir. Avtomobil hərəkət etdiyindən, zaman keçdikcə onun koordinatı artır və müəyyən t anından sonrakı son koordinatı x olur. Koordinatın zamandan asılılığı $[x=x(t)]$ məlum olarsa, cismin istənilən anda vəziyyətini təyin etmək mümkündür.

$$s_x=x-x_0$$

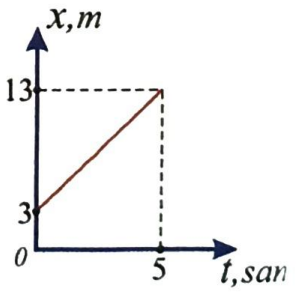
$$x=x_0+s_x=x_0+\vartheta_x t$$



- **İstənilən anda cismin koordinatı $x=x_0+\vartheta_x t$ hərəkət tənliyi ilə təyin edilir.**

Məsələn : Cismin hərəkət tənliyi $x=3+2t$ verilərsə bu o, deməkdir ki, cismin başlanğıc koordinatı $x_0=3\,m$, cismin sürəti $\vartheta_x=2\frac{m}{san}$ -dir.

Müəyyən zaman müddətində məsələn, $t=5\,san$ sonra cismin koordinatı $x=13\,m$ olar. Cismin koordinatının zamandan asılılıq qrfiki:



$$\vartheta_x=\frac{s_x}{\Delta t}=\frac{x-x_0}{\Delta t}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

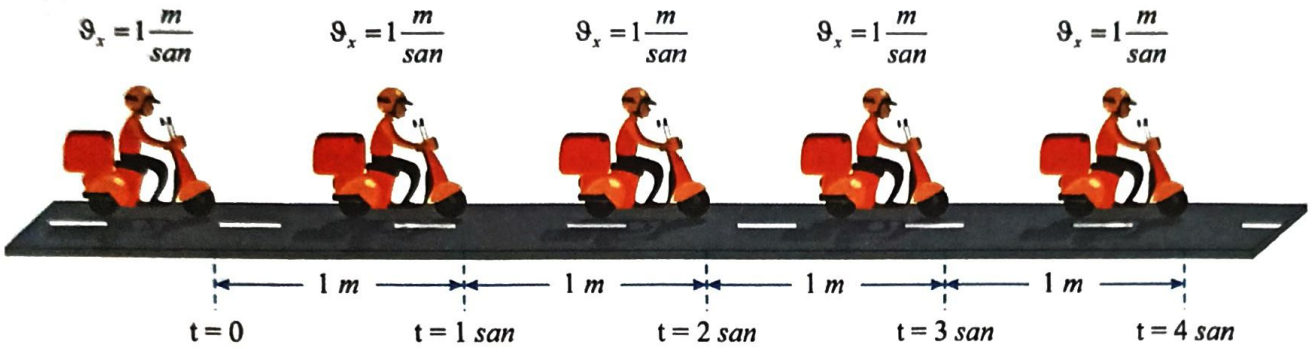
Demək sürət vahid zamanda koordinatın dəyişməsinə bərabərdir.

- **Koordinatın və yerdəyişmənin birinci tərtib törəməsi sürətə bərabərdir.** $\vartheta_x=x'(t)$ $\vartheta_x=s_x'(t)$

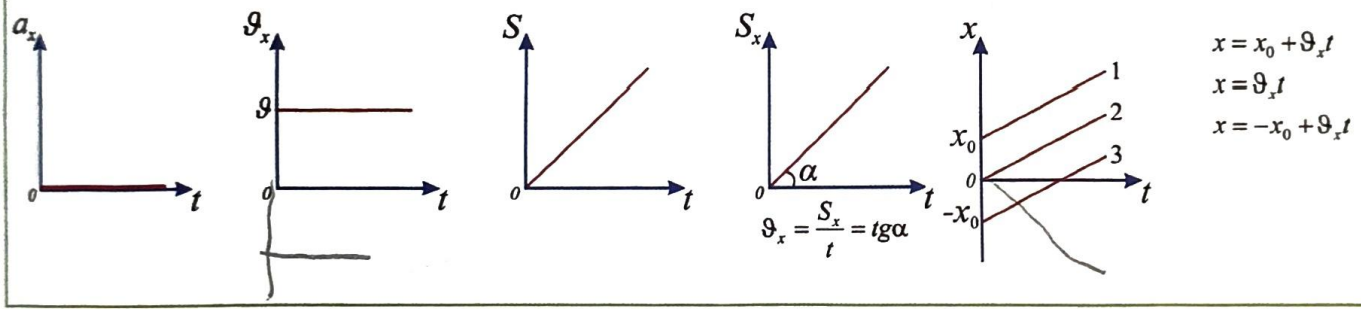
Məsələn : $x=3+2t$ olarsa, $\vartheta_x=(3+2t)'=2$ $\vartheta_x=2\frac{m}{san}$

§1.3. Düzxətli bərabərsürətli hərəkət. Düzxətlibərabərsürətli hərəkətdə əsas qrafiklər.

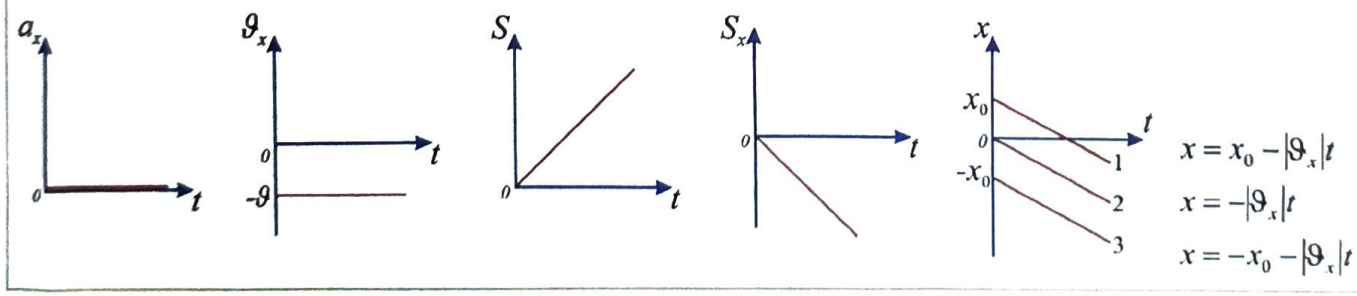
Düz xətt boyunca istənilən bərabər zaman fasilələrində eyni yerdəyişmə icra edən cismin hərəkəti düzxətli bərabərsürətli hərəkət adlanır. Düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə cismin sürəti qiymət və istiqamətcə dəyişmir, təcil və əvəzləyici qüvvə sıfıra bərabər olur.



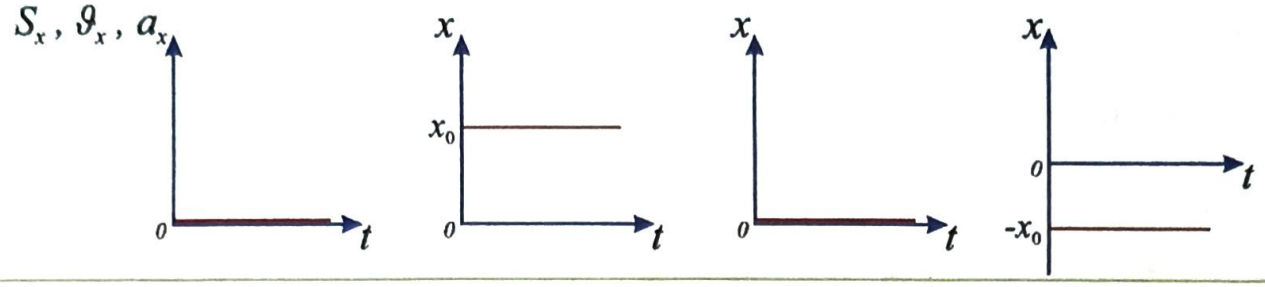
1) Cisim x oxu istiqamətində düzxətli bərabərsürətli hərəkət edərsə cismin sürətinin proyeksiyası sıfırdan böyük olar ($\vartheta_x > 0;\ a_x = 0;\ \vec{\vartheta} = const$).



2) Cisim x oxunun əksi istiqamətində düzxətli bərabərsürətli hərəkət edərsə cismin sürətinin proyeksiyası sıfırdan kiçik olur ($\vartheta_x < 0;\ a_x = 0;\ \vec{\vartheta} = const$).



3) Cisim sükunətdə olarsa sürəti sıfır olar ($\vartheta_x = 0;\ a_x = 0;\ s_x = 0$). ***Koordinatı dəyişmir və qrafiki zaman oxuna paralel düz xətt olur.***



§1.4. Düzxətli dəyişənsürətli hərəkət. Yol və yerdəyişməyə görə orta sürət.

Cisim bərabər zaman fasilələrində müxtəlif yerdəyişmələr icra edərsə, belə hərəkətə dəyişənsürətli hərəkət deyilir. Dəyişənsürətli hərəkətdə sürət sabit qalmadığına görə orta və ani sürətdən istifadə olunur.

$$s = s_1 + s_2 + s_3 = \vartheta_1 \cdot t_1 + \vartheta_2 \cdot t_2 + \vartheta_3 \cdot t_3$$

Cisim yolun müxtəlif hissələrini müxtəlif bərabər sürətlə gedərsə gedilən ümumi yolun(yerdəyişmənin) sərf olunan ümumi zamana nisbətinə orta sürət deyilir.

$$\vartheta_{or} = \frac{s_{ümumi}}{t_{ümumi}} \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \ldots + s_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_n} = \frac{\vartheta_1 \cdot t_1 + \vartheta_2 \cdot t_2 + \vartheta_3 \cdot t_3 + \ldots + \vartheta_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_n} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \ldots + s_n}{\frac{s_1}{\vartheta_1} + \frac{s_2}{\vartheta_2} + \frac{s_3}{\vartheta_3} + \ldots + \frac{s_n}{\vartheta_n}}$$

- *Cisim zamanın birinci yarısını ϑ_1, ikinci yarısını ϑ_2 sürəti ilə gedərsə, orta sürət:*

$$\vartheta_{or} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}$$

- *Cisim zamanın birinci $\frac{1}{3}$ hissəsini ϑ_1, ikinci $\frac{1}{3}$ hissəsini ϑ_2, üçüncü $\frac{1}{3}$ hissəsini ϑ_3 sürəti ilə gedərsə, orta sürət:*

$$\vartheta_{or} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2 + \vartheta_3}{3}$$

- *Cisim yolun birinci yarısını ϑ_1, ikinci yarısını ϑ_2 sürəti ilə gedərsə, orta sürət:*

$$\vartheta_{or} = \frac{2\vartheta_1 \cdot \vartheta_2}{\vartheta_1 + \vartheta_2}$$

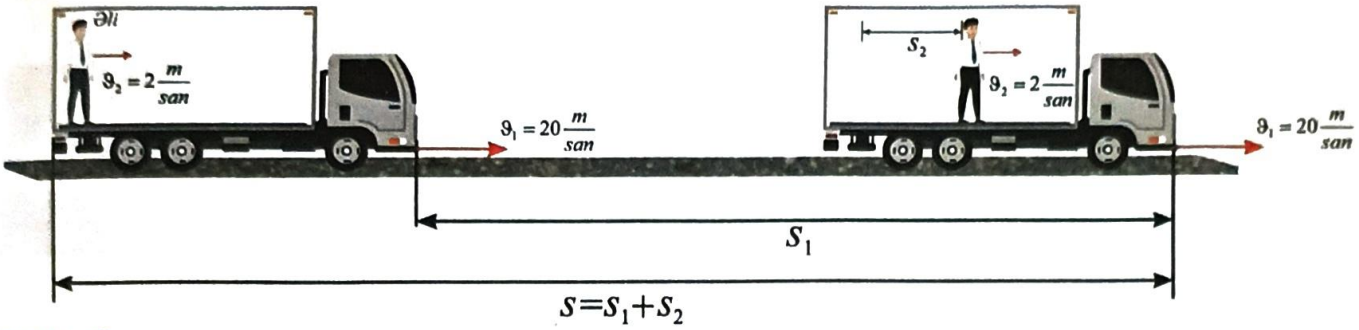
- *Cisim yolun birinci $\frac{1}{3}$ hissəsini ϑ_1, ikinci $\frac{1}{3}$ hissəsini ϑ_2, üçüncü $\frac{1}{3}$ hissəsini ϑ_3 sürəti ilə gedərsə, orta sürət:*

$$\vartheta_{or} = \frac{3\vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \cdot \vartheta_3}{\vartheta_1\vartheta_2 + \vartheta_2\vartheta_3 + \vartheta_1 \cdot \vartheta_3}$$

$$\vartheta_{or} = \frac{h}{\frac{1}{\vartheta_1} + \frac{1}{\vartheta_2} + \frac{1}{\vartheta_3}}$$

§1.5. Hərəkətin nisbiliyi. Bir düz xət boyunca baş verən hərəkətlərdə sürətlərin toplanması.

Əlinin hərəkətini iki hesablama sisteminə nəzərən öyrənək:



1) Platformaya nəzərən:

Müəyyən t zaman müddətində Əli platformaya nəzərən s_2 yolunu gedib. Həmin müddətdə platforma da yerə nəzərən s_1 yolunun gedib. Şəkildən görünür ki, Əlinin yerə nəzərən getdiyi yol (bütün hərkətlər eyni anda baş verdiyi üçün zamanlar eyni olar):

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$$
$$\vec{\vartheta} t = \vec{\vartheta}_1 t + \vec{\vartheta}_2 t$$
$$\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_1 + \vec{\vartheta}_2$$

2) Yerə nəzərən:

Əlinin yerə nəzərən sürəti (ϑ) Əlinin platformaya nəzərən sürəti ilə platformanın yerə nəzərən sürətinin cəminə bərabərdir.

Əlinin yerə nəzərən sürətini hesablayaq: $\vartheta = \vartheta_1 + \vartheta_2 = 20 + 2 = 22\ \frac{m}{san}$

- ***Demək ki, hər iki hərəkət bir düz xətt üzrə eyni istiqamətdə baş verərsə, sürətlər modulca toplanılır.***
- ***Hərəkətlər bir düz xətt üzrə əks istiqamətlərdə baş verərsə, sürətlər modulca çıxılır.***

- *Sürəti ϑ_1 – olan eskolatorun üzərindəki eyni istiqamətdə hərəkət edən sərnişinin sürəti ϑ_2 –dirsə, onda sərnişinin yerlə bağlı hesablama sisteminə nəzərən sürəti :*

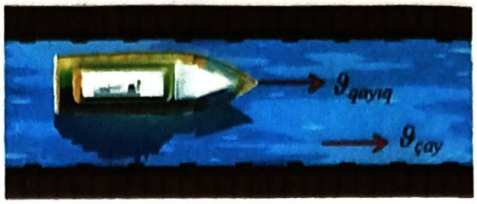
$$\vartheta = \vartheta_1 + \vartheta_2$$



- *Sürəti ϑ_1 – olan eskolatorun üzərindəki əks istiqamətdə hərəkət edən sərnişinin sürəti ϑ_2 – dirsə, onda yerlə bağlı hesablama sistemində, sərnişin yerə nəzərən sürəti:*

$$\vartheta = |\vartheta_1 - \vartheta_2|$$

- *Çayın axını istiqamətində hərəkət edən qayığın çaya nəzərən sürəti ϑ_1, çayın axın sürəti ϑ_2 -dirsə, onda qayığın sahilə nəzərən sürəti:*



$$\vartheta = \vartheta_1 + \vartheta_2$$

- *Çayın axınının əksi istiqamətində hərəkət edən qayığın çaya nəzərən sürəti ϑ_1, çayın axın sürəti ϑ_2 -dirsə, onda qayığın sahilə nəzərən sürəti:*



$$\vartheta = |\vartheta_1 - \vartheta_2|$$

§1.6. Nisbi sürət.

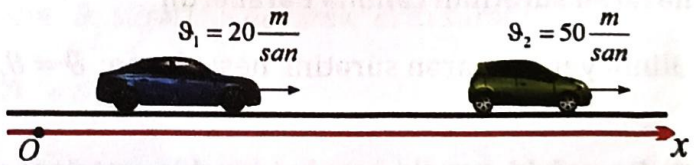
Bir cismin digər cismə nəzərən nisbi sürəti aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$\vec{\vartheta}_{1,2} = \vec{\vartheta}_1 - \vec{\vartheta}_2 \qquad \vec{\vartheta}_{2,1} = \vec{\vartheta}_2 - \vec{\vartheta}_1$$

Burada $\vartheta_{1,2}$ - birinci cismin ikinciyə nəzərən, $\vec{\vartheta}_{2,1}$ - ikinci cismin birinciyə nəzərən nisbi sürətidir.

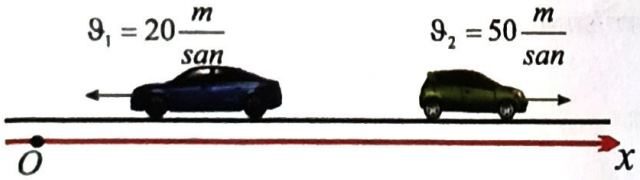
1) Yerə nəzərən sürətləri ϑ_1 və ϑ_2 olan iki cisim bir düz xətt üzrə eyni istiqamətdə hərəkət edərsə, onda onların bir–birinə nəzərən nisbi sürəti cisimlərin sürətlərinin modulları fərqinə bərabərdir.

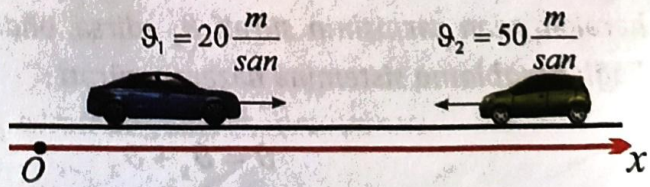
$$\vartheta_{1,2} = \vartheta_1 - \vartheta_2 = 20 - 50 = -30\,m/san \quad (\leftarrow)$$
$$\vartheta_{2,1} = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 50 - 20 = 30\,m/san \quad (\rightarrow)$$



2) Cisimlər əks istiqamətlərdə və ya qarşı–qarşıya hərəkət edərsə, onda onların bir-birinə nəzərən nisbi sürətin modulu cisimlərin sürətlərinin modulları cəminə bərabərdir.

$$\vartheta_{1,2} = \vartheta_{2,1} = \vartheta_1 + \vartheta_2 = 20 + 50 = 70\,m/san$$

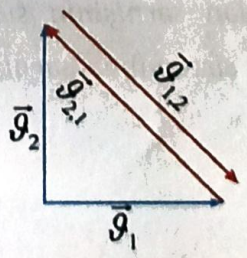




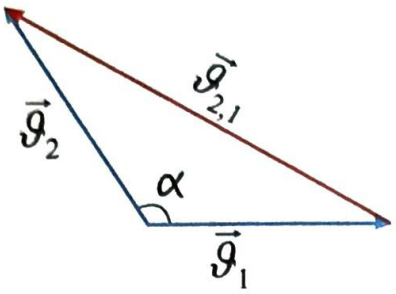
3) Cisimlər bir-birinə perpendikulyar istiqamətdə hərəkət edərlərsə:

$$\vartheta_{2,1} = \vartheta_{1,2} = \sqrt{\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2}$$

$$\vartheta_{2,1} = \vartheta_{1,2} = \sqrt{64 + 36} = 10\,m/san$$

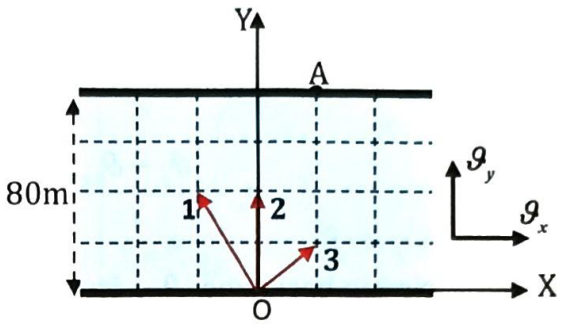


4) Cisimlərin hərəkət istiqamətləri bir-biri ilə α - bucağı əmələ gətirərsə, bu cisimlərin nisbi sürətlərinin modulu kosinuslar teoreminə görə təyin olunur:



$$\vartheta_{1,2} = \vartheta_{2,1} = \sqrt{\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2 - 2\vartheta_1 \cdot \vartheta_2 \cos\alpha}$$

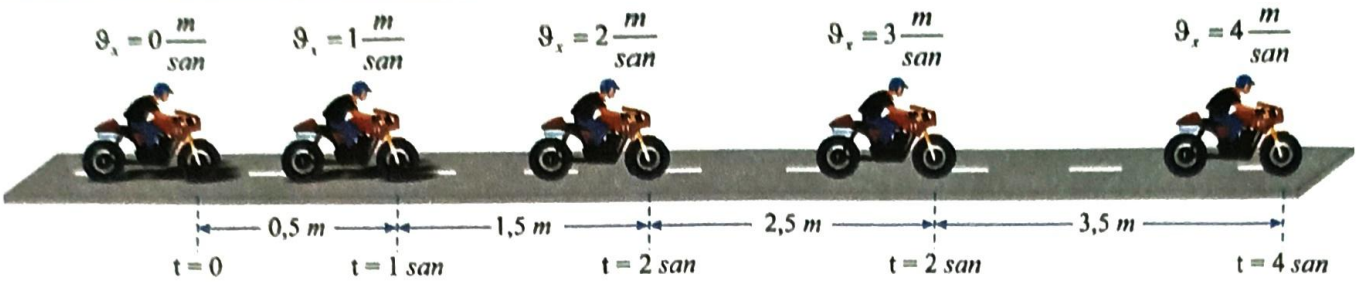
*Məsələ: Şəkildə üç üzgüçünün çaya nəzərən sürət vektorları verilmişdir. O nöqtəsindən üzməyə başlayan 2-ci üzgüçü qarşı sahilə **A** nöqtəsindən çıxırsa, 1-ci və 3-cü üzgüçülərin qarşı sahilə çıxdıqları nöqtələr arasınadkı məsafə neçə metr olar (bölgülər bərabərdir, hər bölgü **1m / san** – dir). İzahı:*



- *Üzgüçülərin sürət vektorlarının Y oxu üzrə proyeksiyaları:*
  $\vartheta_{y1} = 2\,m/san$ $\vartheta_{y2} = 2\,m/san$ $\vartheta_{y3} = 1\,m/san$
- *Üzgüçülərin qarşı sahilə keçmə müddətləri:*
  $t = \frac{s_y}{\vartheta_y}$ $t_1 = \frac{s_{y1}}{\vartheta_{y1}} = \frac{80}{2} = 40san$ $t_2 = \frac{s_{y2}}{\vartheta_{y2}} = \frac{80}{2} = 40san$ $t_3 = \frac{s_{y3}}{\vartheta_{y3}} = \frac{80}{1} = 80san$
- *Üzgüçülərin sürət vektorlarının X oxu üzrə proyeksiyaları:*
  $\vartheta_{x1} = -1\,m/san$ $\vartheta_{x2} = 0$ $\vartheta_{x3} = 1\,m/san$
- *Üzgüçülərin üfüqi istiqamətdə yerdəyişmələri* $s_x = (\vartheta_x + \vartheta_ç)t$ *ifadəsi ilə tapılır.*
- *2-ci üzgüçünün üfüqi istiqamətdə yerdəyişməsi məlum olduğundan çayın axın sürətini tapa bilərik.*
  $s_{x2} = 20m$ $\vartheta_{x2} = 0$ $20 = (0 + \vartheta_ç) \cdot 40$ $\vartheta_ç = 0,5\ m/san$
- *1-ci üzgüçünün üfüqi istiqamətdə yerdəyişməsi:* $s_{x1} = (\vartheta_{x1} + \vartheta_ç)t_1 = (-1 + 0,5)40 = -20m$
- *3-cü üzgüçünün üfüqi istiqamətdə yerdəyişməsi:* $s_{x3} = (\vartheta_{x3} + \vartheta_ç)t_3 = (1 + 0,5)80 = 120m$
- *1-ci və 3-cü üzgüçülərin qarşı sahilə çatdıqları nöqtələr arasındakı məsafə:*
  $s_{x3} - s_{x1} = 120 - (-20) = 140m$

§1.7. Təcil. Düzxətli bərabərtəcilli hərəkət.

Dəyişənsürətli hərəkətlərin ən sadə növü *düzxətli bərabərtəcilli* hərəkətdir. ***Cisim istənilən bərabər zaman fasiləsində öz sürətini eyni qədər dəyişərsə belə hərəkətə bərabərtəcilli hərəkət deyilir. Bərabərtəcilli hərəkətdə sürət dəyişməsinin bu dəyişməyə sərf olunan zamana nisbətinə təcil deyilir.*** Bərabərtəcilli hərəkətdə təcilin qiymət və istiqaməti dəyişmir $\vec{a} = const$. Yerdəyişmənin dəyişmə yeyinliyini xarakterizə edən kəmiyyət sürət, sürətin dəyişmə yeyinliyini xarakterizə edən kəmiyyət isə təcildir. Təcil vektorial kəmiyyətdir, istiqaməti sürət dəyişməsi vektoru ($\Delta\vec{\vartheta}$) istiqamətində yönəlir və ***akselerometr*** adlanan cihazla ölçülür. ***Təcil ədədi qiymətcə vahid zamanda sürət dəyişməsinə bərabərdir***.



Təcil ədədi qiymətcə vahid zamanda sürət dəyişməsinə bərabərdir.

$$\vec{a} = \frac{\vec{\vartheta} - \vec{\vartheta}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{\vartheta}}{\Delta t} \qquad \text{Vahidi: } [a] = 1\frac{m}{san^2}$$

Əgər hesablama $t_1 = 0$ zaman anından başlayarsa təcilin OX oxu üzərindəki proyeksiyası:

$$a_x = \frac{\vartheta_x - \vartheta_{0x}}{t} \qquad \vartheta_x = \vartheta_{0x} + a_x t$$

Burada ϑ_{0x} – cismin başlanğıc, ϑ_x – isə istənilən t anındakı ani sürətidir.

Məsələn : Cismin sürəti $\vartheta_x = 8 + 3t$ şəkilində verilərsə, bu o deməkdir ki, cismin başlanğıc sürəti $\vartheta_{0x} = 8\frac{m}{san}$, cismin təcili $a_x = 3\frac{m}{san^2}$ – dir.

Müəyyən zaman müddətindən məsələn, $t = 5\,san$ sonra cismin sürəti $\vartheta_x = 23\frac{m}{san}$ olar.

- ***Təcil sürətin zamana görə birinci tərtib törəməsinə bərabərdir:*** $a_x = \vartheta_x'(t)$

Məsələn : Cismin sürəti $\vartheta_x = 8 + 3t$ şəkilində verilərsə burdan təcili tapaq:

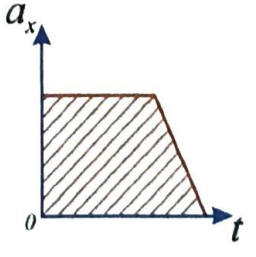
$$a_x = (8 + 3t)' = 3\frac{m}{san^2}$$

Cisim sükunət halından hərəkətə başlayarsa, onda $\vartheta_0 = 0$ *olar.* $a_x = \frac{\vartheta_x}{t}$ $\qquad \vartheta_x = a_x \cdot t$

Düzxətli bərabərtəcilli hərəkətdə orta sürət: $\vartheta_{or} = \frac{\vartheta + \vartheta_0}{2}$ $\qquad \vartheta_{or} = \vartheta_0 + \frac{at}{2}$

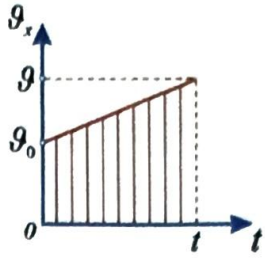
- ***Təcilin zamandan asılılıq qrafikində fiqurun sahəsi sürətin dəyişməsinin moduluna bərabərdir.***

$$S_{fiqur} = \Delta\vartheta_x$$



§1.8. Bərabərtəcilli hərəkətdə yerdəyişmə.

Sürətin zamandan asılılıq qrafikində fiqurun sahəsi yerdəyişmənin moduluna (yola) bərabərdir.



$$S_T = \frac{a+b}{2}\cdot h \qquad S_x = \frac{\vartheta_{ox}+\vartheta_x}{2}\cdot t \qquad S_{fiqur} = s_x$$

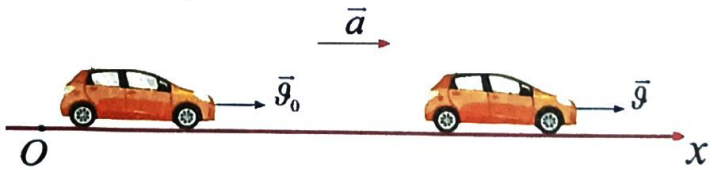
- *Bildiyimiz düsturları yerdəyişmənin düsturunda nəzərə alsaq, aşağıdakı düsturları almış olarıq.*

$\vartheta_0 \neq 0$ olduqda	$\vartheta_0 = 0$ olduqda	
$s_x = \frac{\vartheta_{ox}+\vartheta_x}{2}\cdot t$	$s_x = \frac{\vartheta_x \cdot t}{2}$	$\vartheta_x = \frac{2s_x}{t}$; $t = \frac{2s_x}{\vartheta_x}$
$s_x = \frac{\vartheta_x^2 - \vartheta_{ox}^2}{2a_x}$	$s_x = \frac{\vartheta_x^2}{2a_x}$	$a_x = \frac{\vartheta_x^2}{2s_x}$ $\quad \vartheta_x = \sqrt{2a_x s_x}$
$s_x = \vartheta_{ox}t + \frac{a_x t^2}{2}$	$s_x = \frac{a_x t^2}{2}$	$a_x = \frac{2s_x}{t^2}$ $\quad t = \sqrt{\frac{2s_x}{a}}$
$\vartheta_x = \vartheta_{ox} + at$ $\vartheta_x = \sqrt{\vartheta_{ox}^2 + 2a_x s_x}$	$\vartheta_x = a_x t$ $\vartheta_x = \sqrt{2a_x s_x}$	$a_x = \frac{\vartheta_x}{t}$ $\quad t = \frac{\vartheta_x}{a_x}$
$x = x_0 + \vartheta_{ox}t + \frac{a_x t^2}{2}$	$x = x_0 + \frac{a_x t^2}{2}$	

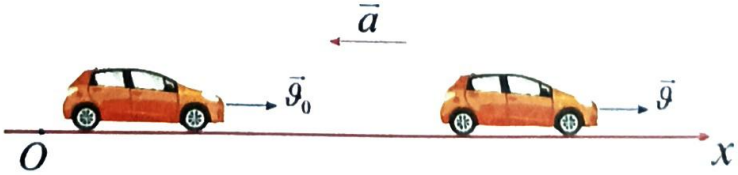
§1.9. Bərabərtəcilli hərəkətin növləri.

Bərabərtəcilli hərəkətin iki növü vardır: ***1) Bərabəryeyinləşən 2) Bərabəryavaşıyan.***

❖ *Bərabəryeyinləşən hərəkətdə cismin sürətinin modulu zaman keçdikcə artır və* ***təcil vektoru sürət vektoru istiqamətində yönəlir****. Bu zaman sürət təcil vektorları arasındakı bucaq* 0° *olur. Bərabəryeyinləşən hərəkətdə* $\vartheta > \vartheta_0$



❖ *Bərabəryavaşıyan hərəkətdə isə cismin sürətinin modulu zaman keçdikcə azalır və* ***təcil vektoru sürət vektorunun əksinə yönəlir****. Bu zaman sürət və təcil vektorları arasındakı bucaq* 180° *olur. Bərabəryavaşıyan hərəkətdə* $\vartheta < \vartheta_0$



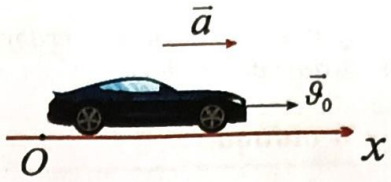
Xüsusi hallar.

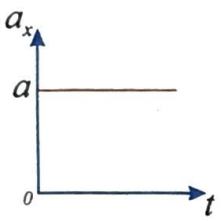
1-ci hal: Cisim OX oxu istiqamətində bərabəryeyinləşən hərəkət edir.

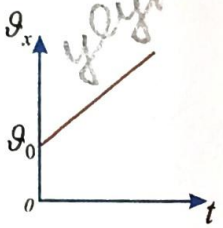
*Bu halda sürət və təcil eyni istiqamətdə, **OX** oxu istiqamətində yönələr.*

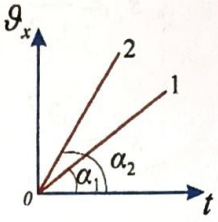
$\vartheta_{ox} > 0 \;\; a_x > 0; \vec{a} = const$

$$s_x = \vartheta_{ox} t + \frac{a_x t^2}{2} \qquad \vartheta_x = \vartheta_{0x} + a_x t$$



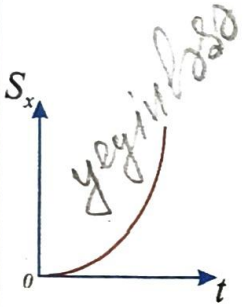


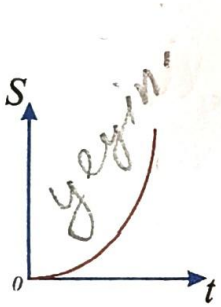


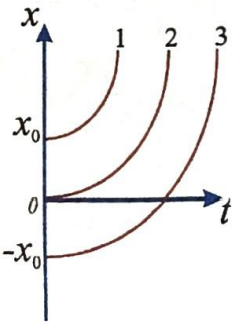


$$a_x = \frac{\vartheta_x}{t} = tg\alpha$$

$$a_{2x} > a_{1x}$$







1) $x = x_0 + \vartheta_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$

2) $x = \vartheta_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$

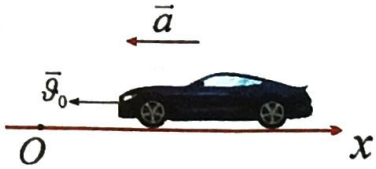
3) $x = -x_0 + \vartheta_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$

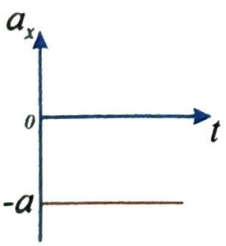
2-ci hal: Cisim OX oxunun əksi istiqamətində bərabəryeyinləşən hərəkət edir.

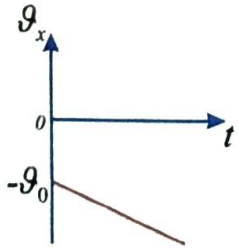
*Bu halda sürət və təcil eyni istiqamətdə, **OX** oxunun əksi istiqamətində yönələr.*

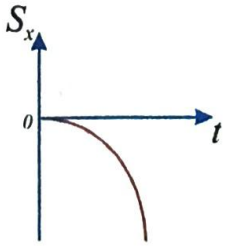
$\vartheta_{ox} < 0 \;\; a_x < 0 \; ; \vec{a} = const$

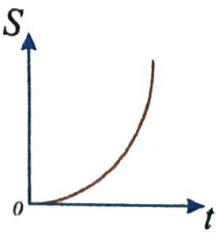
$$s_x = -|\vartheta_{0x}| t - \frac{|a_x| t^2}{2} \qquad \vartheta_x = -|\vartheta_{0x}| - |a_x| t$$

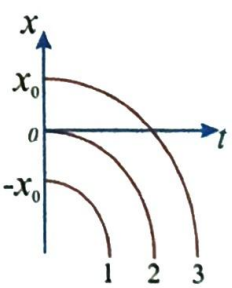








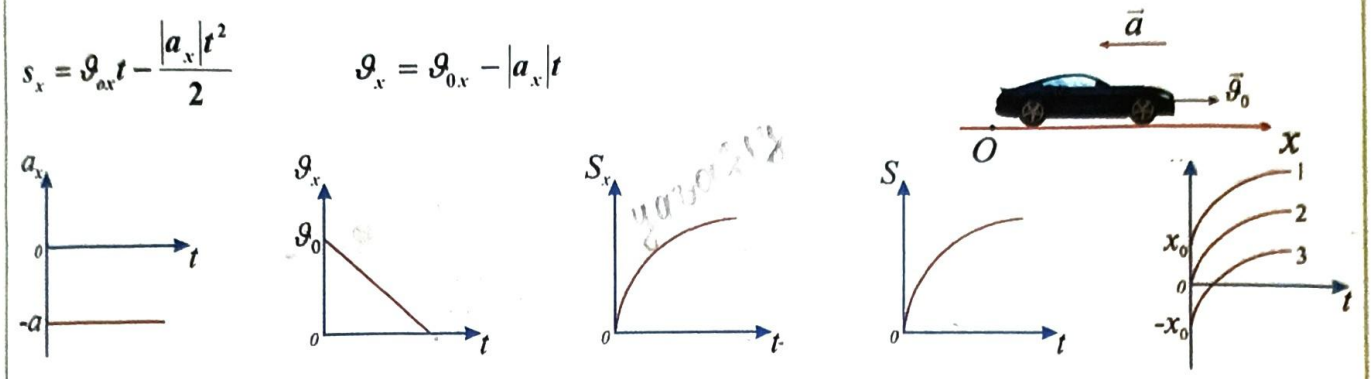




3-cü hal: Cisim OX oxu istiqamətində bərabəryavaşıyan hərəkət edir.

Bu halda təcil vektoru sürət vektorunun əksi istiqamətində yönələr. Sürət OX oxu istiqamətində, təcil OX oxunun əksi istiqamətində yönələr. $\vartheta_{0x} > 0 \quad a_x < 0; \vec{a} = const$

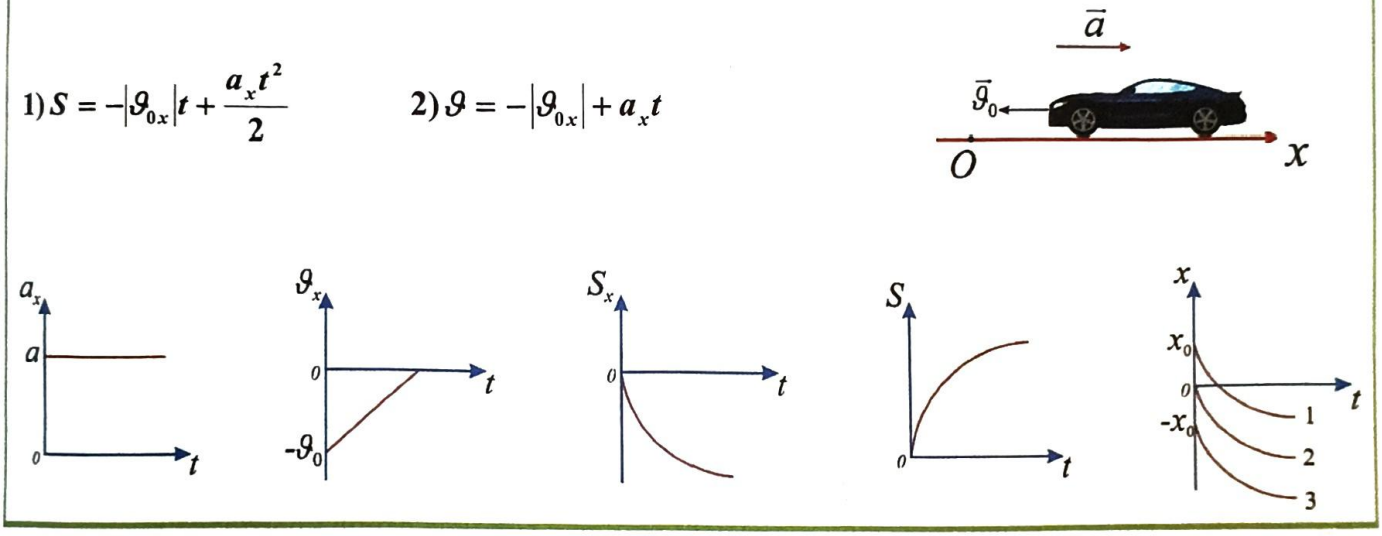
$$s_x = \vartheta_{0x}t - \frac{|a_x|t^2}{2} \qquad \vartheta_x = \vartheta_{0x} - |a_x|t$$



4-cü hal: Cisim OX oxunun əksi istiqamətində bərabəryavaşıyan hərəkət edir.

Bu halda təcil vektoru sürət vektorunun əks istiqamətində yönəlir. $\vartheta_{0x} < 0 \quad a_x > 0; \vec{a} = const$

1) $S = -|\vartheta_{0x}|t + \frac{a_x t^2}{2}$ 2) $\vartheta = -|\vartheta_{0x}| + a_x t$

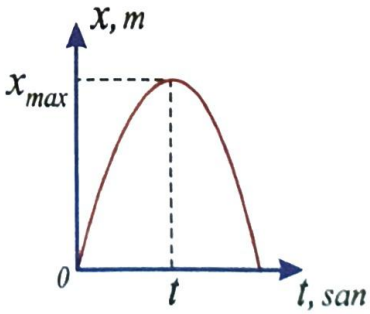


Mövzu ilə əlaqəli əlavə qeydlər:

- *Verilmiş cismin* t *müddətində koordinatın ən böyük* x_{max} *qiymətini aşağıdakı düsturlarla hesablamaq olar:* $(\vartheta_{0x} \neq 0)$

$$x_{max} = -\frac{a_x t^2}{2} \qquad x_{max} = -\frac{\vartheta_{0x}^2}{2a_x} \qquad x_{max} = \frac{\vartheta_{0x} \cdot t}{2}$$

$$\vartheta_{0x} = -a_x t$$



- ***Cismin $n-ci$ saniyədə getdiyi yol:***

Bərabəryeyinləşərsə: $s_n = \vartheta_0 + \frac{a}{2}(2n-1)$ $\quad (\vartheta_0 = 0)$ ***olarsa:*** $s_n = \frac{a}{2}(2n-1)$

Bərabəryavaşıyarsa: $s_n = \vartheta_0 - \frac{a}{2}(2n-1)$

❖ ***Yavaşıyan(tormozlanan) hərəkətdə cismin getdikcə sürəti azalır və son sürəti*** $\vartheta = 0$ ***olur.***

- *Cismin dayanana kimi getdiyi yol (tormozlanma yolu):* $s_T = \frac{\vartheta_0^2}{2a}$
- *Cismin dayanana kimi sərf etdiyi zaman (tormozlanma müddəti):* $t_T = \frac{\vartheta_o}{a}$

Test 1: *Hərəkət tənliyi* $x = 20 + 8t - 2t^2$ *şəklində olan cismin dayanana kimi getdiyi yolu, zamanı və dayandığı andakı koordinatını tap.*

Həlli: $\vartheta_x = 8 - 4t \qquad \vartheta_0 = 8\frac{m}{san}, \qquad a = 4\frac{m}{san^2}$

$$s_t = \frac{\vartheta_0^2}{2a} = \frac{64}{2\cdot 4} = 8\,m \qquad t_T = \frac{\vartheta_0}{a} = \frac{8}{4} = 2\,san$$

Cismin nə vaxtdan sonra dayanmasını tapmaq üçün son sürəti sıfıra bərabər etmək də olar.

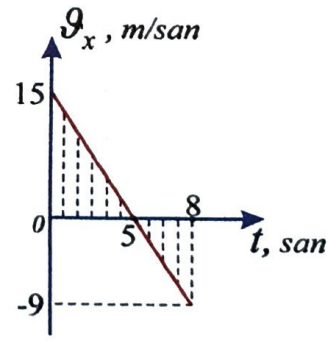
$\vartheta_x = 8 - 4t \qquad 0 = 8 - 4t \qquad t = 2\,san$

Cismin dayandığı andakı koordinatı: $x = 20 + 8t - 2t^2 = 20 + 8\cdot 2 - 2\cdot 4 = 28\,m$

Test 2 *: Cismin 8 saniyə ərzində yerdəyişməsini və getdiyi yolu hesablayın.*

Həlli: *Gedilən yol ədədi qiymətcə cizgilənmiş üçbucaqların sahələri cəminə bərabərdir:*

$$\ell = \left(\frac{15\cdot 5}{2} + \frac{9\cdot 3}{2}\right)m = (37{,}5 + 13{,}5)\,m = 51\,m$$



Cismin yerdəyişməsi:

1-ci üsul: $s_x = \left(\frac{15\cdot 5}{2} + \frac{(-9)\cdot 3}{2}\right)m = (37{,}5 - 13{,}5)\,m = 24\,m$

2-ci üsul: $s_x = \frac{\vartheta_{ox} + \vartheta_x}{2}\cdot t = \frac{15 + (-9)}{2}\cdot 8 = 24\,m$

§2. ÇEVRƏ ÜZRƏ BƏRABƏRSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT.

§2. 1. Dövretmə periodu və tezliyi. Dönmə bucağı. Bucaq sürəti

Hərəkət trayektoriyası əyri xətt olan hərəkətə əyrixətli hərəkət deyilir. Əyrixətli hərəkətin ən sadə növü isə çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdir. Əgər cisim çevrə boyunca bərabər zaman fasilələrində bərabər qövslər cızarsa, belə hərəkətə çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət deyilir. ***Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə bir tam dövrə sərf olunan zamana fırlanma periodu deyilir.***

$$T = \frac{t}{N}$$

Burada t *– zaman,* T *– period,* N *– dövrələrin sayıdır. Vahidi:* $[T] = 1\,san$

- *Saatın saniyə əqrəbinin dövretmə periodu:* $T_{san}=1dəq=60san$
- *Saatın dəqiqə əqrəbinin dövretmə periodu:* $T_{dəq}=1saat=60dəq=3600san$
- *Saatın saat əqrəbinin dövretmə periodu:* $T_{saat}=12saat=720dəq=43200san$
- *Yerin dövretmə periodu:* $T_{yer}=24saat=1440dəq=86400san$

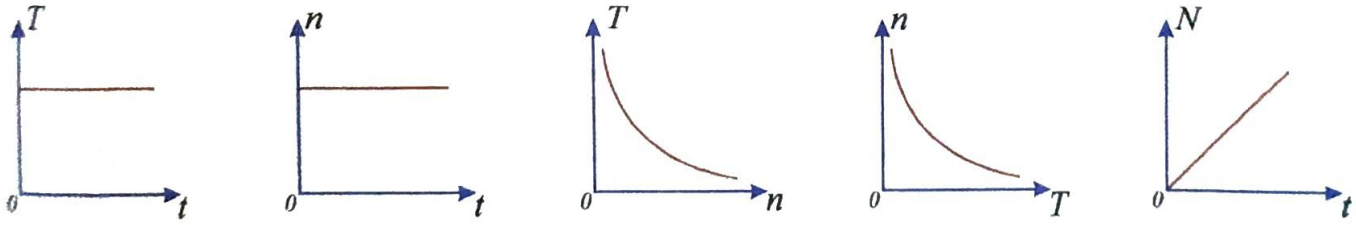
$T_{dəq}=60T_{san}$; $T_{saat}=12T_{dəq}$; $T_{saat}=720T_{san}$; $T_{yer}=2T_{saat}$; $T_{yer}=24T_{dəq}$;

- ***Vahid zamandakı dövrlərin sayına bərabər olan kəmiyyətə dövretmə tezliyi deyilir.***

$$n = \frac{N}{t}$$

Vahidi: $[n] = \frac{1}{san} = 1\,san^{-1} = 1\frac{dövr}{san}$

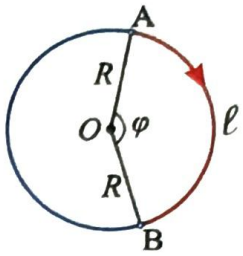
Dövretmə tezliyi ilə dövretmə periodu arasında aşağıdakı əlaqə vardır: $n = \frac{1}{T}$ $T = \frac{1}{n}$



❖ Dönmə bucağı:

Fərz edək ki, cisim R radiuslu çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edərək A nöqtəsindən B nöqtəsinə gəlir. Cismin getdiyi yol AB qövsünün uzunluğuna bərabərdir. Şəkildən göründüyü kimi cisim A nöqtəsindən B nöqtəsinə gəldikdə, R radiusu φ bucağı qədər dönür. Bu bucağa *dönmə bucağı* deyilir. ***Dönmə bucağı qövsün uzunluğunun radiusa olan nisbətinə bərabərdir:***

$$\varphi = \frac{\ell}{R}$$



$360^0 = 2\pi$ $\quad 180^0 = \pi$ $\quad 60^0 = \frac{\pi}{3}$ $\quad 30^0 = \frac{\pi}{6}$

Dönmə bucağı skalyar kəmiyyət olub, BS-də vahidi radiandır: $[\varphi] = 1\,rad$

1 rad elə bucağa deyilir ki ,cızılan qövsün uzunluğu (ℓ) çevrənin radiusuna (R) bərabər olsun: $\ell = R$

❖ Bucaq sürəti:

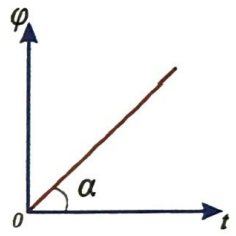
Nöqtənin radius-vektorunun dönmə bucağının bu dönməyə sərf olunan zamana nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətə bucaq sürəti deyilir. *Bucaq sürəti ədədi qiymətcə vahid zamanda radiusun dönmə bucağına bərabərdir.*

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad \omega = \varphi'(t)$$

Vahidi: $[\omega] = 1\,\frac{rad}{san}$

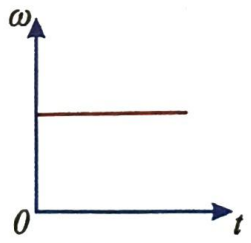
$$\varphi = \omega \cdot t$$

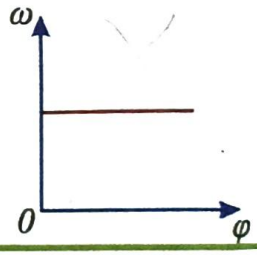
$$tg\alpha = \frac{\varphi}{t} = \omega$$

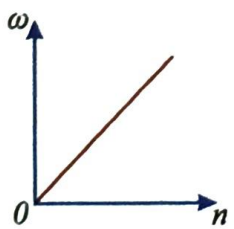


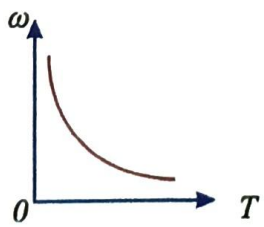
Əgər cisim bir tam dövr edərsə $t = T$, $\varphi = 2\pi$ (360°) olar. Onda bucaq sürəti üçün aşağıdakı düsturları almış olarıq:

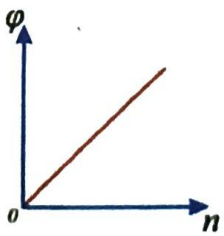
$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n = \frac{2\pi N}{t}$	$\varphi = \frac{2\pi t}{T} = 2\pi n t$

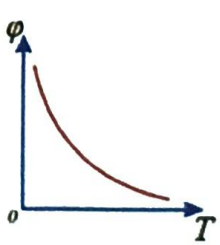






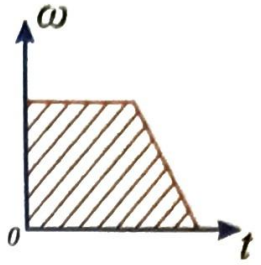






- Çevrə üzrə hərəkət edən cismin bucaq sürətinin zamandan asılılıq qrafikində qrafiklə zaman oxu arasında qalan sahə ədədi qiymətcə *radius-vektorunun dönmə bucağına* bərabərdir.

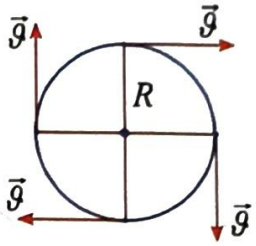
$$\Delta\varphi = S_{fiqur}$$



§2.2. Xətti Sürət

Cismin çevrə üzrə hərəkət sürətinə xətti sürət deyilir. ***Xətti sürət ədədi qiymətcə çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə cismin vahid zamanda cızdığı qövsün uzunluğuna bərabərdir.***

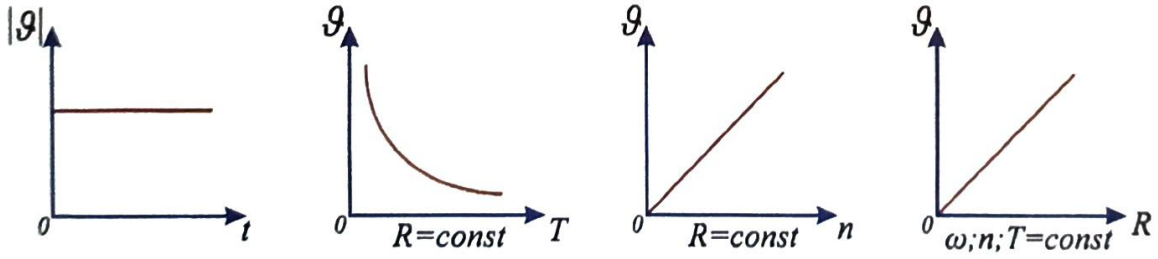
$$\vartheta = \frac{\ell}{t} \qquad \text{Vahidi: } [\vartheta] = 1\frac{m}{san} \qquad |\vec{\vartheta}| = const$$



Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə sürətin modulu sabit qalır, istiqaməti isə dəyişir və həmişə çevrəyə toxunan istiqamətdə (radiusa perpendikulyar) yönəlir.

Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə cisim tam bir dövr edərsə, $t = T$, $\ell = 2\pi R$ olar.
Ona görə də xətti sürət ilə dövretmə periodu, tezliyi və bucaq sürəti arasında aşağıdakı əlaqə düsturlarını alarıq.

$$\vartheta = \frac{\ell}{t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi nR = \frac{2\pi NR}{t} = \omega \cdot R \qquad \omega = \frac{\vartheta}{R}$$



❖ Çevrə üzrə hərəkətdə gedilən yol:

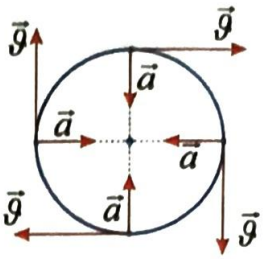
$$\ell = \vartheta \cdot t = \omega R \cdot t = 2\pi n R \cdot t = \frac{2\pi R}{T} t$$

$$\frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{T_1}{T_2} \qquad \frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

§2.3. Mərkəzəqaçma təcili

Çevrə üzrə hərəkətdə həmişə mərkəzəqaçma təcili xətti sürətə perpendikulyar olub, radius boyunca çevrənin mərkəzinə doğru yönəlir. $|\vec{a}| = const$

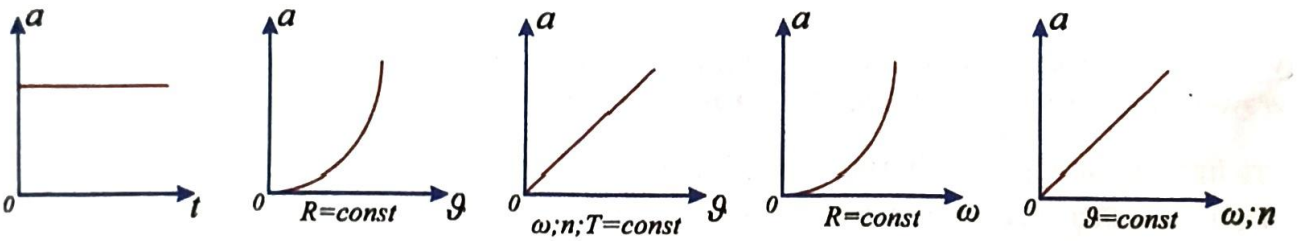
$$a = \frac{\vartheta^2}{R}$$

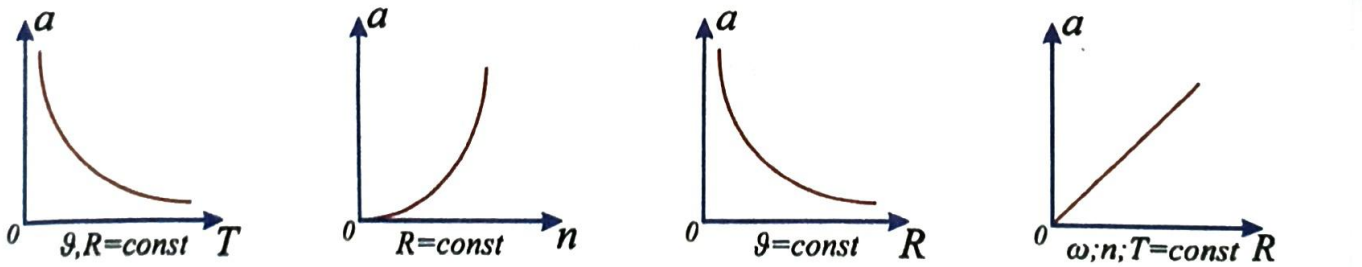


$\vartheta = \omega \cdot R$ düsturunu nəzərə alsaq, aşağıdakı düsturları almış olarıq.

$a = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 n^2 R = \frac{4\pi^2 N^2 R}{t^2}$	$a = \omega \cdot \vartheta = \frac{2\pi}{T} \cdot \vartheta = 2\pi n \vartheta = \frac{2\pi N}{t} \cdot \vartheta$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{a}} \qquad n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{a}{R}} \qquad \vartheta = \sqrt{a \cdot R} \qquad \omega = \sqrt{\frac{a}{R}}$$





- ***Bucaq sürəti, dövretmə periodu, dövretmə tezliyi saniyəölçənlə ölçülür.***
- ***Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə bucaq sürəti, tezlik, period, kinetik enerji sabit qalır.***

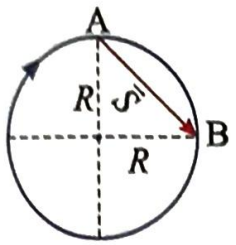
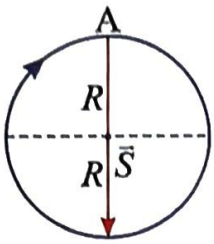
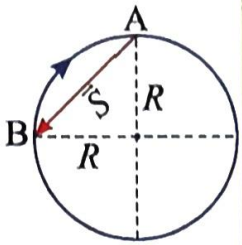
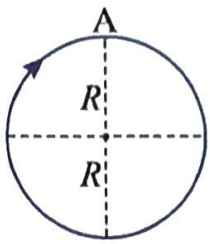
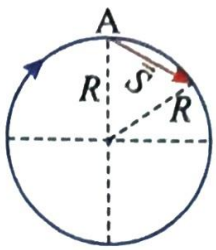
$$\omega = const \qquad n = const \qquad T = const \qquad E_k = const$$

- ***Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə sürətin, təcilin, impulsun, qüvvənin istiqaməti hər an dəyişdiyi üçün bu kəmiyyətlər modulca (ədədi qiymətcə)sabit qalır.***

$$|\vec{\vartheta}| = const \qquad |\vec{a}| = const \qquad |\vec{p}| = const \qquad |\vec{F}| = const$$

§2.4. Çevrə üzrə hərəkətdə yol, yerdəyişmə, sürət dəyişməsi.

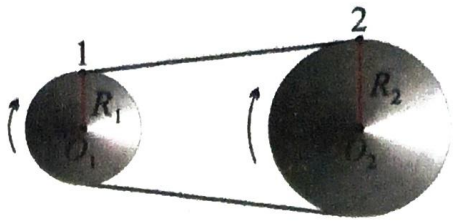
Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə cismin getdiyi yol çevrə qövsünün uzunluğuna bərabərdir. Yerdəyişmə isə başlanğıc və son vəziyyətlərini birləşdirən istiqamətlənmiş düzxətt parçası olduğu üçün modulca vətərə bərabərdir. Cisim çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə olduqda yerdəyişmə, yol, yolun yerdəyişməyə olan nisbəti, sürət dəyişməsinin modulu aşağıdakı kimi olur.

				
$\varphi = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$	$\varphi = 180^\circ = \pi$	$\varphi = 270^\circ = \frac{3\pi}{2}$	$\varphi = 360^\circ = 2\pi$	$\varphi = 60^\circ = \frac{\pi}{3}$
Saatın saniyə əqrəbinin 15 san, dəqiqə əqrəbinin 15 dəq, saat əqrəbinin 3 saat müddətində olduğu nöqtə.	*Saatın saniyə əqrəbinin 30 san, dəqiqə əqrəbinin 30 dəq, saat əqrəbinin 6 saat müddətində olduğu nöqtə.*	*Saatın saniyə əqrəbinin 45 san, dəqiqə əqrəbinin 45 dəq, saat əqrəbinin 9 saat müddətində olduğu nöqtə.*	*Saatın saniyə əqrəbinin 1dəq, dəqiqə əqrəbinin 1 saat, saat əqrəbinin 12 saat müddətində olduğu nöqtə.*	*Saatın saniyə əqrəbinin 10 san, dəqiqə əqrəbinin 10 dəq, saat əqrəbinin 2 saat müddətində olduğu nöqtə.*
$\Delta t = \frac{1}{4}T$	$\Delta t = \frac{1}{2}T$	$\Delta t = \frac{3}{4}T$	$\Delta t = N \cdot T$	$\Delta t = \frac{1}{6}T$
$\ell_{yol} = \frac{1}{4} \cdot 2\pi R = \frac{\pi R}{2}$	$\ell_{yol} = \frac{1}{2} \cdot 2\pi R = \pi R$	$\ell_{yol} = \frac{3}{4} \cdot 2\pi R = \frac{3\pi R}{2}$	$\ell_{yol} = 2\pi R \cdot N$	$\ell_{yol} = \frac{1}{6} \cdot 2\pi R = \frac{\pi R}{3}$
$S = \sqrt{R^2 + R^2} = R\sqrt{2}$	$S = R + R = 2R$	$S = R\sqrt{2}$	$S = 0$	$S = R$
$\Delta\vartheta = \vartheta\sqrt{2}$	$\Delta\vartheta = 2\vartheta$	$\Delta\vartheta = \vartheta\sqrt{2}$	$\Delta\vartheta = 0$	$\Delta\vartheta = \vartheta$
$\frac{\ell}{S} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\frac{\ell}{S} = \frac{\pi}{2}$	$\frac{\ell}{S} = \frac{3\pi}{2\sqrt{2}}$	———	$\frac{\ell}{S} = \frac{\pi}{3}$

§2.5. Qayışlı ötürmə

Qayışlı ötürmə ilə sürüşmədən fırlanan çarxların 1 və 2 nöqtələrinin xətti sürətləri və eyni zaman müddətində getdikləri yollar eyni, bucaq sürətləri, dövretmə periodları və tezlikləri, mərkəzəqaçma təcilləri müxtəlifdir.

$\ell_1 = \ell_2$	$N_1 > N_2$	$R_2 > R_1$
$\vartheta_1 = \vartheta_2$	$n_1 > n_2$	$T_2 > T_1$
	$\omega_1 > \omega_2$	
	$a_1 > a_2$	



$R_2 = 2R_1$ *olarsa, aşağıdakı ifadələr doğrudur.*

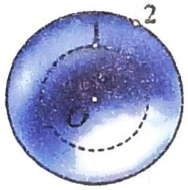
$a_1 = 2a_2$	$n_1 = 2n_2$	$\omega_1 = 2\omega_2$	$N_1 = 2N_2$	$T_2 = 2T_1$

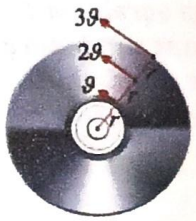
§2.6. Fırlanan bərk cismin və kürə üzərindəki nöqtələrin hərəkəti

Tərpənməz ox ətrafında fırlanan diskin və ya mərkəzindən keçən O_1O_2 oxu ətrafında fırlanan kürənin bütün nöqtələrində dövretmə periodları, dövretmə tezlikləri, bucaq sürətləri, dövrlərin sayı bərabərdir, lakin mərkəzəqaçma təcilləri və xətti sürətləri fərqlidir. Mərkəzdən olan məsafə artdıqca xətti sürət və mərkəzəqaçma təcili artar.

$$\vartheta = \omega \cdot R \qquad a = \omega^2 \cdot R$$

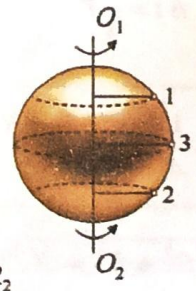
$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{R_1}{R_2}$	$\frac{a_1}{a_2} = \frac{R_1}{R_2}$	$\frac{\ell_1}{\ell_2} = \frac{R_1}{R_2}$



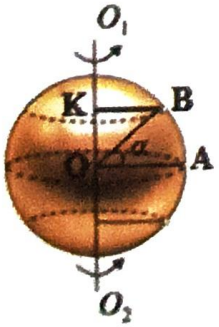


$T_1 = T_2 = T_3$	$a_3 > a_2 = a_1$
$n_1 = n_2 = n_3$	$\vartheta_3 > \vartheta_2 = \vartheta_1$
$\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$	$\ell_3 > \ell_2 = \ell_1$
$N_1 = N_2 = N_3$	





$R_3 > R_1 = R_2$

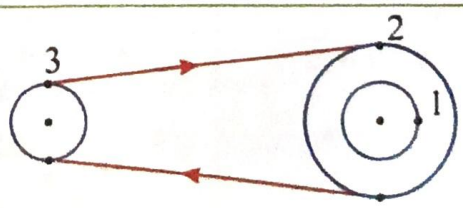


$$KB = OA\cos\alpha$$

$$\vartheta_A = \omega \cdot OA$$

$$\vartheta_B = \omega \cdot KB = \omega \cdot OA\cos\alpha$$

$$\vartheta_B = \vartheta_A \cdot \cos\alpha$$



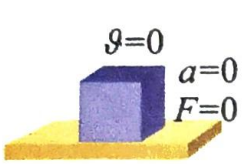
$T_1 = T_2 > T_3$	$a_3 > a_2 > a_1$
$\omega_1 = \omega_2 < \omega_3$	$\vartheta_3 = \vartheta_2 > \vartheta_1$
$n_1 = n_2 < n_3$	$\ell_3 = \ell_2 > \ell_1$
$N_1 = N_2 < N_3$	

3. NYUTON QANUNLARI

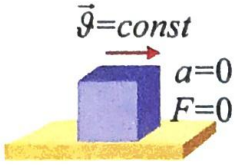
§3.1. Nyutonun I qanunu. Ətalət hesablama sistemləri. Qalileyin nisbilik prinsipi. Kütlə. Maddənin sıxlığı

Dinamika cisimlərin mexaniki hərəkətini onların yaranma səbəblərini nəzərə almaqla öyrənən mexanika bölməsidir. Dinamikanın əsasını Nyutonun üç qanunu təşkil edir və bu üç qanun da eyni zamanda klassik mexanikanın əsasını təşkil edir.

Nyutonun I qanunu: Elə hesablama sistemləri vardır ki, cismə başqa cisimlər təsir etmirsə və ya ona edilən təsirlər bir-birini tarazlaşdırırsa, o sükunət və yaxud düzxətli bərabərsürətli hərəkət halını saxlayır.



Sükunətdə qalar



Düzxətli bərabərsürətli hərəkət edər

Nyutonun I qanunu *ətalət hesablama sistemləri (ƏHS) və ya inersial hesablama sistemləri (İHS)* adlanan xüsusi sistemlərdə ödənilir. ***Cismə başqa cisimlərin təsiri olmadıqda sürətini saxlaması hadisəsinə ətalət deyilir.*** Ətalətlilik cismin öz hərəkət halını saxlamasıdır. Ətalət hadisəsini biz tez-tez müşahidə edirik.

Məsələn, maşın qəfil tormozlandıqda ayaq üstə durmuş adam maşına nəzərən təcil alaraq irəli istiqamətə yıxılır. Lakin həmin təcil heç də adama Yerin və ya maşının təsir göstərməsi nəticəsində yaranmır. Yerlə bağlı sistemdə adam təcil almadan əvvəlki sürətini sabit saxlayır (ətalət hadisəsi), maşın isə tormozlandığından sürətini yavaşıdır. Ona görə adam irəliyə yıxılır. Deməli, yerlə bağlı sistem ƏHS (İHS) – dir və bu sistemdə Nyutonun birinci qanunu ödənilir. Yerə nəzərən təcillə hərəkət edən maşınla bağlı sistem ƏHS deyildir və burada Nyutonun birinci qanunu ödənilmir. Maşını birdən hərəkətə gətirdikdə adam arxaya yıxılır.


Maşın qəfil tormozlandıqda

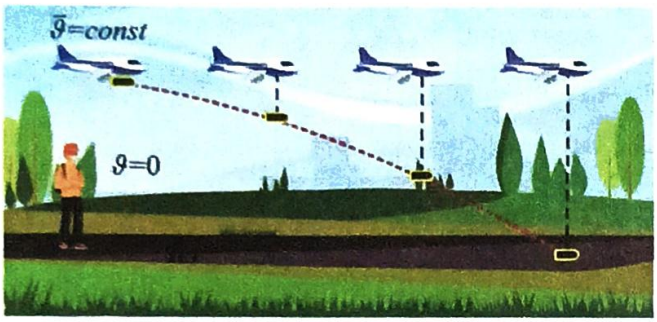

Maşın qəfil hərəkətə gəldikdə

Yerə nəzərən sükunətdə olan və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən cisimlərlə bağlı sistem inersial hesablama sistemi (İHS) və ya ətalət hesablama sistemi (ƏHS) hesab edilir. Yerə nəzərən təcillə hərəkət edən sistem isə *inersial hesablama sistemi* deyildir.

Qaliley təbiət hadisələri üzərində müşahidələr apararaq, nisbilik prinsipi adlanan aşağıdakı prinsipi müəyyənləşdirmişdir:***Eyni başlanğıc şərtlər daxilində bütün mexaniki hadisələr istənilən İHS-nə nəzərən eyni tərzdə baş verir.*** *Bu prinsipə görə, sistemin bütövlükdə düzxətli bərabərsürətli hərəkət etməsi onun daxilində baş verən mexaniki hadisələrin gedişinə təsir göstərmir.* ***Mexaniki hərəkət qanunları bütün İHS–lərdə eynidir.*** *İHS-nin daxilində aparılan təcrübələrlə onun sükunətdə olduğunu və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət etdiyini müəyyən etmək mümkün deyil.* Bütün inersial hesablama sistemlərində eyni bir cismin kütləsi, təcili, əvəzləyici qüvvəsi, hadisənin baş verdiyi zaman intervalı eynidir.

Bir inersial hesablama sistemindən digər inersial hesablama sisteminə keçdikdə dəyişməyən kəmiyyətlərə ***invariant kəmiyyətlər*** deyilir. Bir inersial hesablama sistemindən digər inersial hesablama sisteminə keçdikdə yerdəyişmə, sürət, trayektoriyanın forması, koordinat, impuls, kinetik enerji dəyişə bilər.

Cismin mexaniki hərəkəti, onun koordinatları və hərəkət trayektoriyası da hesablama sisteminin seçilməsindən asılıdır. Məsələn,üfüqi istiqamətdə bərabərsürətlə uçan təyyarədən buraxılmış cismin trayektoriyası *pilota nəzərən şaquli düz xətt,* yerdəki tərpənməz müşahidəçiyə nəzərən isə *əyri xətdir.* Üfüqi istiqamətdə bərabərsürətlə hərəkət edən arabacıqdan şaquli istiqamətdə yuxarı atılmış daş arabacıqla bağlı hesablama sistemində hərəkət trayektoriyası düz xətt (*a*), yerlə bağlı əyri xətdir(*b*).





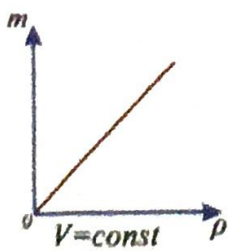
❖ Kütlə, Sıxlıq, Həcm

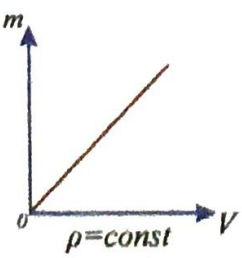
Cisimlərin ətalətliliyini miqdarca xarakterizə etmək üçün ***kütlə adlanan*** fiziki kəmiyyətdən istifadə olunur. ***Cisimlərin ətalətliliyini xarakterizə edən fiziki kəmiyyətə kütlə deyilir.*** Cismin kütləsi **tərəzi** ilə ölçülür. Kütlə müsbət skalyar kəmiyyətdir.

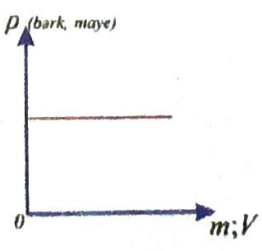
$$m = \rho \cdot V \qquad m-kütlə,\ \rho-sıxlıq,\ V-həcm \quad Vahidi:\ [m]=1kq$$

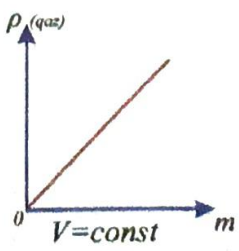
Cismin kütləsinin onun həcminə nisbətinə bərabər olan fiziki kəmiyyətə sıxlıq deyilir. Sıxlıq ədədi qiymətcə vahid həcmdəki maddənin kütləsinə bərabərdir.Bərk cisimlərin və mayelərin sıxlığı maddənin növündən asılı olub,kütləsindən və həcmindən asılı deyildir. Qazlar asan sıxılandır, ona görə qazların sıxlığı kütləsindən və həcmindən asılıdır. Qazın sıxlığı onun kütləsi ilə düz, həcmi ilə tərs mütənasibdir.

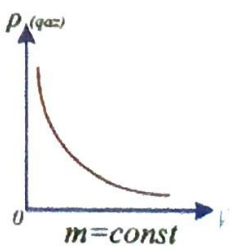
$$\rho = \frac{m}{V} \qquad V = \frac{m}{\rho} \qquad [\rho] = 1\frac{kq}{m^3} \qquad [V] = 1m^3$$











- *Tərkibi iki maddədən ibarət (məsələn qızıl və gümüşdən)xəlitənin sıxlığı:*

$$\rho = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2}$$

$m_1 = m_2$ *olarsa,* $\rho = \frac{2\rho_1\rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$ $V_1 = V_2$ *olarsa,* $\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$

- *Radiusu* R *olan metal kürənin həcmi və kütləsi aşağıdakı kimi tapılır:*

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \qquad m = \rho V = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho \qquad \frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$$

- *Kürənin həcmi (kütləsi) radiusun kubu ilə düz mütənasibdir. Yəni kürənin radiusu 2 dəfə artarsa həcmi (kütləsi) 8 dəfə artar.*

- *Tərəfi* a *olan kubun həcmi və kütəsi:* $V = a^3$ $m = \rho \cdot V = a^3 \cdot \rho$

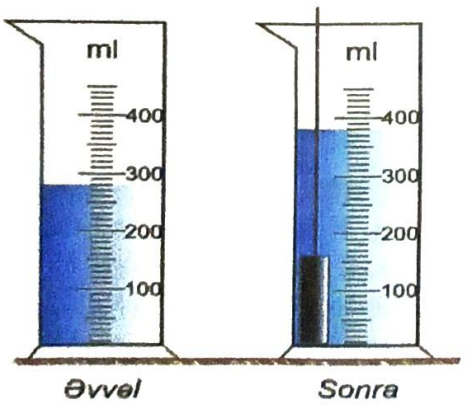
❖ İxtiyari formalı cisimlərin həcmini bir başa menzurka ilə ölçmək olar.

1. Cihazın bir bölgüsünün qiyməti tapılır: $\frac{200-100}{10} = 10ml$

2. Menzurkaya müəyyən bölgüyə qədər su tökülür və ölçü götürülür. $V_1 = 280ml$

3. Sonra cismi suyun içərisinə salıb ölçü götürülür. Bu zaman suyun səviyyəsi yuxarı qalxır və menzurka $V_2 = 380ml$ *həcmini göstərir.*

4. Bu zaman cismin həcmi $V_c = V_2 - V_1$ *fərqinə bərabər olacaqdır.* $V_c = 100ml = 100sm^3$

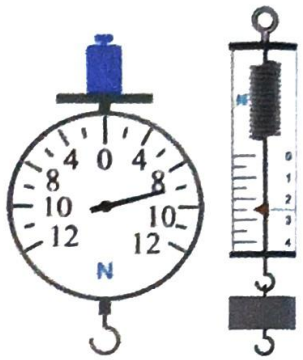


Həcm vahidləri: $[V] = 1m^3$	
$1mm^3 = 10^{-9}m^3$	$1\ell = 1dm^3$
$1sm^3 = 10^{-6}m^3$	$1\ell = 10^{-3}m^3$
$1km^3 = 10^9 m^3$	$1m^3 = 10^3\ell$

§3.2. Qüvvə. Nyutonun II qanunu

Cisimlərin qarşılıqlı təsirinin miqdarı ölçüsünə qüvvə deyilir. Qüvvə vektorial kəmiyyət olub, üç əlaməti ilə xarakterizə olunur: modulu (ədədi qiyməti), istiqa- məti ,tətbiq nöqtəsi. Qüvvə bir cismin digər cismə təsirini xarakterizə edir. ***Cismin hərəkət təcili ona təsir edən qüvvəylə düz, cismin kütləsi ilə tərs mütənasib olub, həmin qüvvə istiqamətində yönəlir.*** Bu Nyutonun ikinci qanunu adlanır. Qüvvə **dinamometr** adlanan cihazla ölçülür. Yaylı dinamometrin iş prinsipi Huk qanununa əsaslanır. Cismin təcilini ölçmək üçün tərəzidən və dinamometrdən də istifadə etmək olar.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad \vec{F} = m\vec{a} \qquad \frac{a_2}{a_1} = \frac{F_2}{F_1} \qquad \frac{a_2}{a_1} = \frac{m_1}{m_2}$$

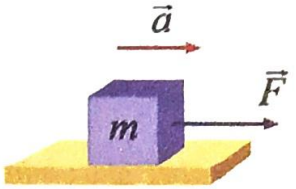
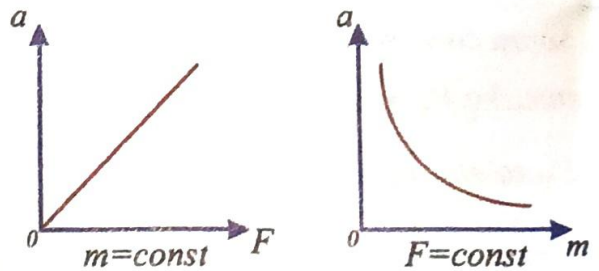


Vahidi: $[F] = 1\,N = 1\dfrac{kq \cdot m}{san^2}$

$1kN=1000N \quad 1mN=10^{-3}N$



- ***Cismin təcili həmişə ona təsir edən əvəzləyici qüvvənin istiqamətinə yönəlir.***

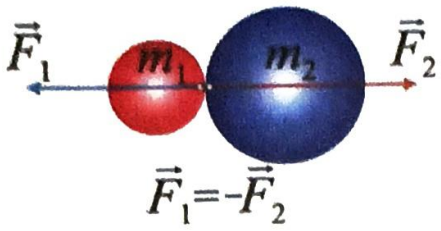
$\vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{a} = 0$ $\vec{F} = const \Rightarrow \vec{a} = const$		

§3.3. Nyutonun III qanunu

Qarşılıqlı təsirdə olan cisimlər bir-birinə eyni bir düz xətt üzrə yönələn, modulca bərabər, istiqamətcə əks olan qüvvələrlə təsir edir. Bu, Nyutonun (dinamikanın) üçüncü qanunudur.Nyuton bu qüvvələrdən birini təsir qüvvəsi, digərini **əks təsir qüvvəsi** adlandırmışdır.Təsir və əks təsir qüvvələri həmişə qiymətcə bərabər, istiqamətcə əksdir. Cisimlərin bir-birinə təsiri qarşılıqlı olur. Sükunətdə olan topu ayaqla vursaq, topa qüvvə təsir edir.Top da ayağa əks təsir qüvvəsi ilə təsir edir.Deməli, ayağımıza və topa modulca eyni istiqamətcə isə əks olan qüvvələr təsir göstərir. Birinci cisim ikinci cismə nə qədər qüvvə ilə təsir edirsə, ikinci cisim də birinciyə o qədər qüvvə ilə təsir edir ($F_1 = F_2$). Təsir və əks təsir qüvvələri eyni təbiətli qüvvələrdir. Bu qüvvələr müxtəlif cisimlərə tətbiq olunduqlarına görə bir–birini tarazlaşdırmır.

Nyutonun üçüncü qanunu belə ifadə olunur: ***Təsir və əks təsir qüvvələri həmişə qiymətcə bərabər, istiqamətcə əksdir.*** Mənfi işarəsi qüvvələrin bir düz xətt üzrə əks istiqamətlərə yönəldiyini göstərir.

$$\textbf{Modulca: } F_1 = F_2 \Rightarrow \quad m_1a_1 = m_2a_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{a_2}{a_1} = \frac{m_1}{m_2} \qquad \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} = \frac{m_1}{m_2}$$





§3.4. Əvəzləyici qüvvə

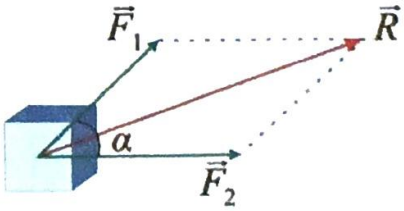
Cismə eyni zamanda bir neçə qüvvə təsir edərsə, yekun qüvvə cismə tətbiq olunan bütün qüvvələrin həndəsi cəmi ilə müəyyən edilir. Cismə tətbiq olunan qüvvələrin həndəsi cəminə əvəzləyici qüvvə deyilir: $\vec{R}$ – ***əvəzləyici qüvvədir.***

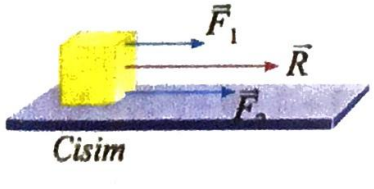
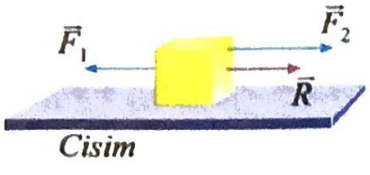
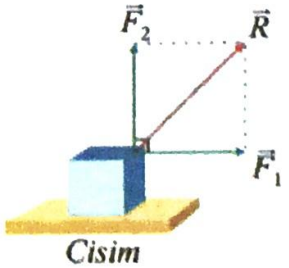
$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots\ \dots\ \dots\ \dots \vec{F}_n$$



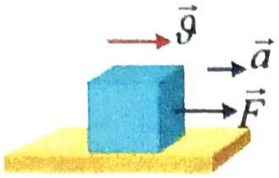
Bir–biri ilə bucaq altında yönəlmiş iki qüvvənin əvəzləyicisi tərəfləri həmin qüvvələr olan paraleloqramın qüvvələrin tətbiq nöqtəsindən çəkilən dioqonalına bərabərdir. Əvəzləyici qüvvənin modulu toplanan qüvvələrin modullarından və qüvvə vektorları arasındakı (α) bucağından asılıdır.

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\alpha}$$

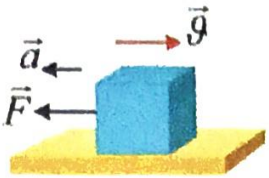


		
$R = F_1 + F_2$	$R = F_2 - F_1 \quad (F_2 > F_1)$	$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

- *Əvəzləyici qüvvə sürət istiqamətində olarsa cisim* ***bərabəryeyinləşən****, əks istiqamətdə olarsa cisim* ***bərabəryavaşıyan*** *hərəkət edər.*

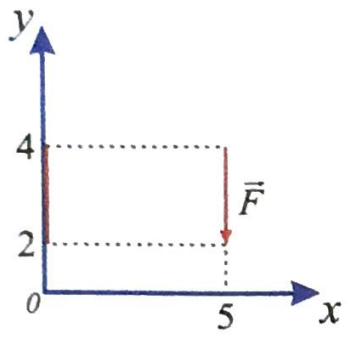


Bərabəryeyinləşən



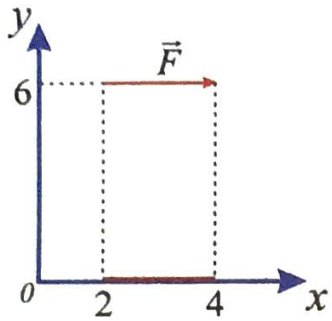
Bərabəryavaşıyan

❖ Qüvvənin proyeksiyalarının tapılması.



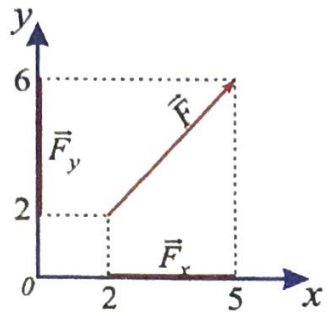
$F_x = 0$

$F_y = 2 - 4 = -2N$



$F_x = 4 - 2 = 2N$

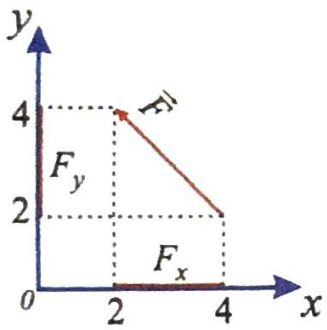
$F_y = 0$



$F_x = 5 - 2 = 3N$

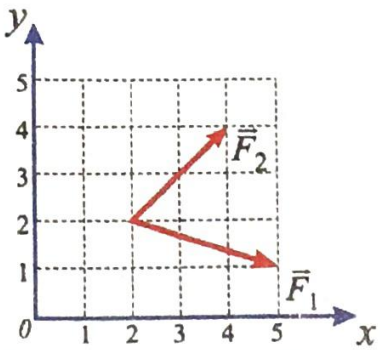
$F_y = 6 - 2 = 4N$

$F_{əv} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5N$



$F_x = 2 - 4 = -2N$

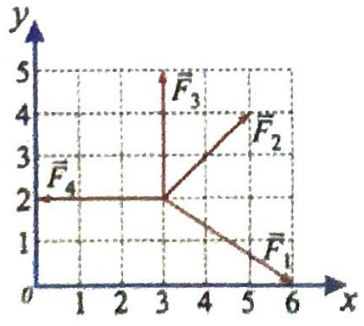
$F_y = 4 - 2 = 2N$



$F_{x\,əv} = F_{1x} + F_{2x} = 3 + 2 = 5N$

$F_{y\,əv} = F_{1y} + F_{2y} = -1 + 2 = 1N$

$F_{əv} = \sqrt{5^2 + 1^2} = \sqrt{26}N$



$F_{x\,əv} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} = 3 + 2 + 0 + (-3) = 2N$

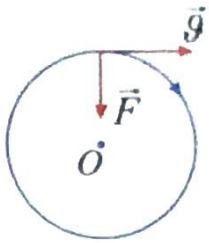
$F_{y\,əv} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} = -2 + 2 + 3 + 0 = 3N$

$F_{əv} = \sqrt{2^2 + 3^2} = \sqrt{13}N$

§3.5. Mərkəzəqaçma qüvvəsi

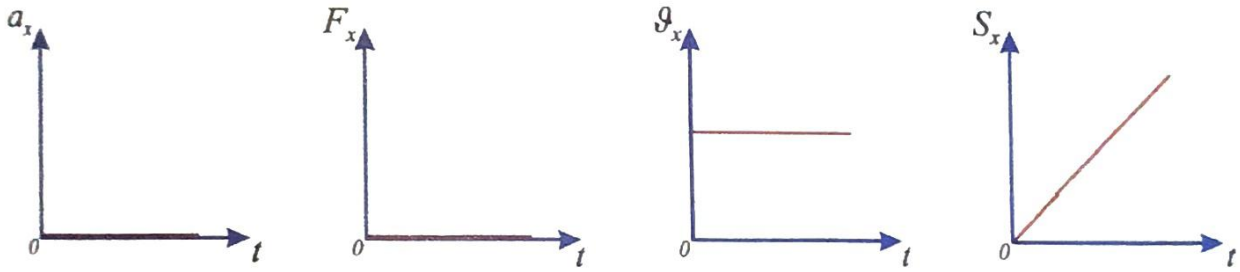
Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə cismə təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisi mərkəzəqaçma qüvvəsi olub, radius boyunca çevrənin mərkəzinə doğru yönəlmişdir və onun modulu cismin kütləsi ilə mərkəzəqaçma təcilinin modulu hasilinə bərabərdir. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə cismə təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisi modulca sabit qalır.

$$F_m = ma_m = \frac{m\vartheta^2}{R} = m \cdot \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \cdot m = 4\pi^2 n^2 R \cdot m$$

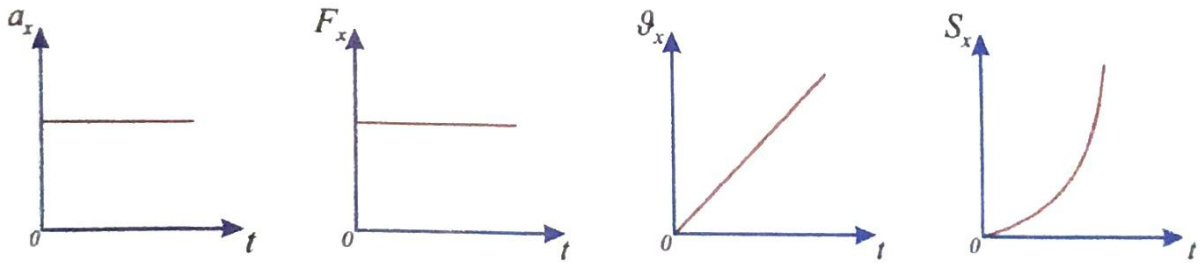


❖ Mövzu ilə əlaqəli qeydlər (xüsusi hallar) :

1. *Cismə təsir edən əvəzləyici qüvvə sıfıra bərabər olarsa, cisim düzxətli bərabərsürətli hərəkət edər və ya sükunətdə qalar.*



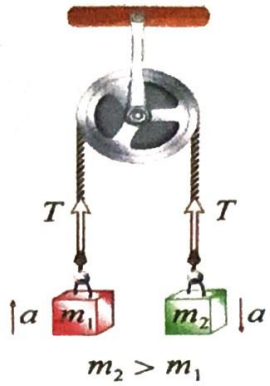
2. *Cismə təsir edən əvəzləyici qüvvə sabit olarsa cisim düzxətli bərabərtəcilli hərəkət edər.* $F = const$ $a = const$ ($\vec{a}$ və $\vec{\vartheta}$ *– nin istiqamətləri eynidir).*



3. *Bərabərtəcilli hərəkətdə təcilin bütün düsturlarını qüvvədə nəzərə almaq olar.*

$a = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{t}$	$a = \frac{\vartheta^2 - \vartheta_2^2}{2S}$	$a = \frac{\vartheta^2}{2S}$	$a = \frac{2S}{t^2}$	$a = \frac{\vartheta}{t}$
$F = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{t} m$	$F = \frac{\vartheta^2 - \vartheta_2^2}{2S} m$	$F = \frac{\vartheta^2}{2S} m$	$F = \frac{2S}{t^2} m$	$F = \frac{\vartheta}{t} m$

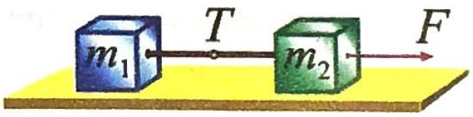
4. ***Tərpənməz blokdan asılmış müxtəlif kütləli cisimlər sükunət halından sərbəst buraxılarsa, cisimlərin aldığı təcil və ipin gərilmə qüvvəsi:***

$m_1a = T - m_1g$ $m_2a = m_2g - T$	$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}g$ *Cisimlərin getdiyi yol:* $S = \frac{at^2}{2}$	$T = \frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2}g$ *T – ipin gərilmə qüvvəsidir.*	 $m_2 > m_1$

5. ***Bir neçə cisim bir-birinə bağlı halda F qüvvəsinin təsiri altında hərəkət edərsə:***

$F = (m_1 + m_2)\cdot a$
$T = m_1 \cdot a$

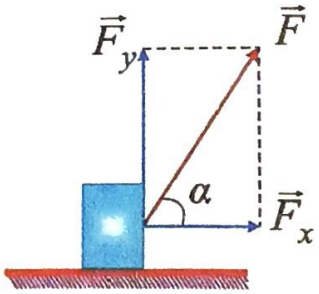
$\frac{F}{T} = \frac{m_1 + m_2}{m_1}$

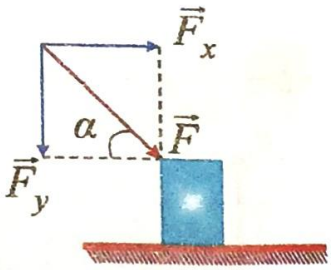


Qüvvənin toplananlara ayrılması .

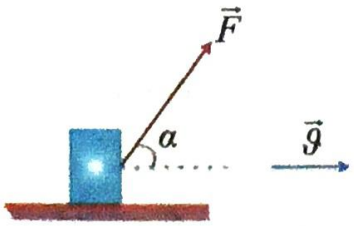
$F_y = F \cdot \sin\alpha$

$F_x = F \cdot \cos\alpha$





7. ***Cisim F qüvvəsinin təsiri ilə üfüqi istiqamətdə a təcili ilə hərəkət edərsə, bu halda Nyutonun ikinci qanunu aşağıdaki kimi yazılır*** $(F_{sür} = 0)$ ***:***



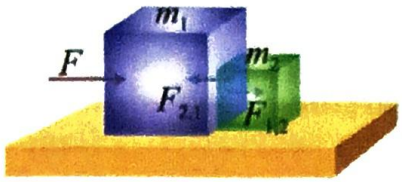
$F_x = F \cdot \cos\alpha$
$ma_x = F \cdot \cos\alpha$

8. ***Kütlələri m_1 və m_2 olan iki cisimə F qüvvəsi təsir edirsə, ikinci cisim birinci cisimə hansı qüvvəylə təsir edər?***

Birinci cisim tərəfindən ikinci cisimə təsir edən qüvvə Nyutonun üçüncü qanununa görə ikinci cismin birinci cisimə təsir qüvvəsinə bərabərdir.

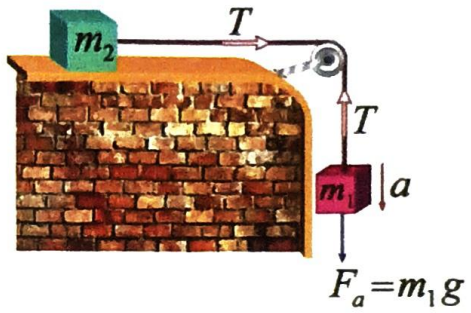
Cisimlər sisteminin təcili: $a = \dfrac{F}{m_1 + m_2}$

$F_{1,2} = F_{2,1} = m_2 \cdot a$



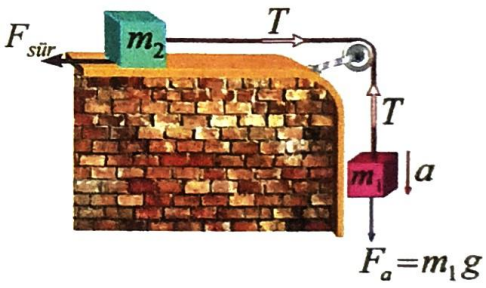
9. ***Şəkildə verilmiş cisimlər sisteminin təcilini və ipin gərilmə qüvvəsini Nyutonun ikinci qanununa görə aşağıdakı kimi tapa bilərik:***

$$\begin{cases} m_1 a = m_1 g - T \\ m_2 a = T \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \dfrac{m_1 g}{m_1 + m_2} \end{cases}$$



10. ***Əgər sürtünmə qüvvəsi nəzərə alınarsa:***

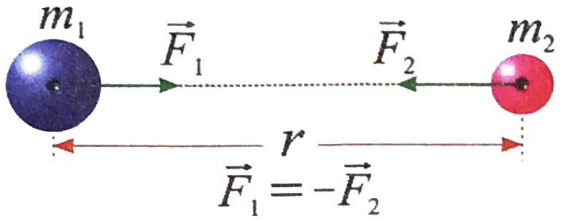
$$\begin{cases} m_1 a = m_1 g - T \\ m_2 a = T - F_{sür} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a = \dfrac{m_1 g - F_{sür}}{m_1 + m_2} \end{cases}$$



4. ÜMUMDÜNYA CAZİBƏ QANUNU. AĞIRLIQ QÜVVƏSİ

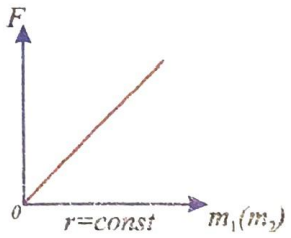
§ 4.1. Qravitasiya qüvvələri. Ümumdünya cazibə qanunu. Qravitasiya sabiti

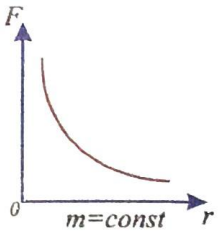
Ayın və süni peyklərin Yer ətrafında dairəvi orbit boyunca hərəkət etməsi,əldən buraxılan cisimlərin Yerə düşməsi göstərir ki, cisimlər Yer tərəfindən cəzb olunur. İlk dəfə Nyuton belə bir fərziyyə irəli sürmüşdür ki, təbiətdəki bütün cisimlər bir-birini qarşılıqlı cəzb edir. Nyuton bu qüvvələri *ümumdünya cazibə qüvvələri* və ya *qravitasiya qüvvələri* adlandırmışdır. Ümumdünya cazibə qanunu aşağıdakı kimidir: ***İki maddi nöqtə bir-birini kütlələri hasili ilə düz, aralarındakı məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasib olan qüvvə ilə cəzb edir.***



Nyutonun üçüncü qanununa görə qarşılıqlı təsir qüvvələri modulca bərabərdir.

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \qquad \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$





Əgər iki cisim arasındakı məsafə k dəfə artırsa, cazibə qüvvəsi k^2 dəfə azalır, k dəfə azalırsa k^2 dəfə artır.

Burada, m_1 və m_2 maddi nöqtələrin kütlələri, r onların mərkəzləri arasındakı məsafə, F – qravitasiya qüvvəsinin modulu,

G – qravitasiya sabiti olub, ədədi qiymətcə aralarındakı məsafə 1m, hər birinin kütləsi 1kq olan iki cismin arasındakı cazibə qüvvəsinə bərabərdir.

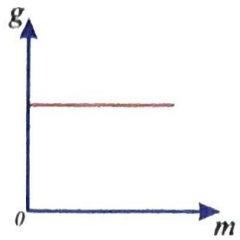
Əgər, $m_1 = m_2 = 1kq$, $r = 1m$ olarsa, $G = F$ olar. $G = \dfrac{F \cdot r^2}{m_1 \cdot m_2}$

Vahidi: $[G] = 1\dfrac{N \cdot m^2}{kq^2} = 1\dfrac{m^3}{kq \cdot san^2}$ $\qquad G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\dfrac{N \cdot m^2}{kq^2}$

§ 4.2. Qravitasiya sahəsinin intensivliyi. Ağırlıq qüvvəsi

Hər bir cisim öz ətrafında qravitasiya sahəsi yaradır. Qravitasiya qarşılıqlı təsir qravitasiya sahəsi ilə ötürülür. ***Qravitasiya sahəsində maddi nöqtəyə təsir edən cazibə qüvvəsinin onun kütləsinə nisbəti ilə ölçülən vektorial fiziki kəmiyyətə qravitasiya sahəsinin intensivliyi deyilir.*** Qravitasiya sahəsinin intensivliyi qravitasiya sahəsinin qüvvə xarakteristikasıdır.Qravitasiya sahəsinin intensivliyi sahənin istənilən nöqtəsində radius boyunca Yerin (planetin)mərkəzinə doğru yönəlir.

$$\vec{g} = \frac{F}{m} \qquad \textit{Vahidi:} [g] = 1\frac{N}{kq} = 1\frac{m}{san^2}$$



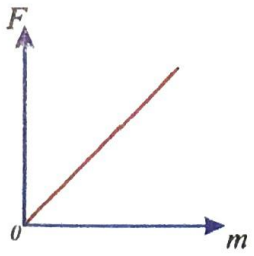
Qravitasiya sahəsinin intensivliyi ədədi qiymətcə vahid kütləli cismə təsir edən cazibə qüvvəsinə bərabərdir. Yəni, $m = 1kq$ ***olarsa,*** $g = F$

Burada m – cismin kütləsi, F – qravitasiya sahəsində sınaq cisminə təsir edən qüvvə, g – isə qravitasiya sahəsinin intensivliyidir.

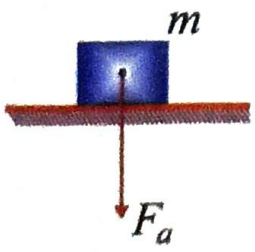
❖ Ağırlıq qüvvəsi

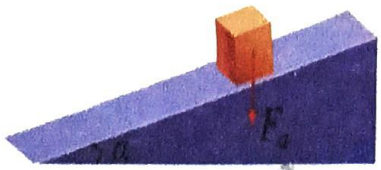
Cismin Yer və ya başqa planet tərəfindən cəzb olunduğu qüvvəyə ağırlıq qüvvəsi deyilir. *Ağırlıq qüvvəsi cismin kütləsi ilə qravitasiya sahəsinin intensivliyi hasilinə bərabərdir.* Ağırlıq qüvvəsi cismə tətbiq olunmuş, qravitasiya təbiətli qüvvədir. *Ağırlıq qüvvəsi də qravitasiya sahəsinin intensivliyi kimi radius boyunca, Yerin mərkəzinə doğru yönəlir.*

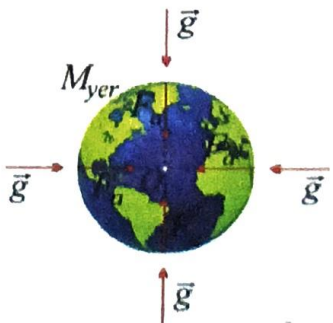
$$\vec{F}_a = m\vec{g}$$









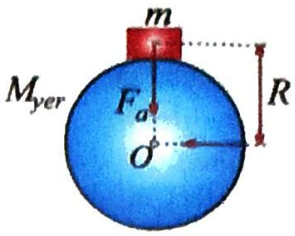


$$F = \frac{mF_0R^2}{(R+h)^2}$$

$$g = \frac{g_0R^2}{(R+h)^2}$$

• ***Ümumdünya cazibə qanununa görə ağırlıq qüvvəsi Yerlə(planetlə) cisim arasındakı cazibə qüvvəsinə bərabərdir.*** Ona görədə Yer səthində olan cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsini aşağıdakı kimi yaza bilərik.

$$F_0 = G\frac{M \cdot m}{R^2}$$



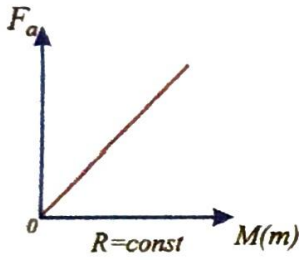
Burada m *– sınaq cisminin kütləsi,* M *– Yerin (planetin) kütləsi ,* R *– Yerin (planetin) radiusudur. Onda planetin səthində* ***qravitasiya sahəsinin intensivliyinin*** *modulu:*

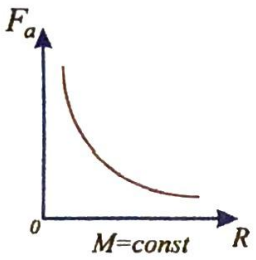
$$g_0 = \frac{F_0}{m} = G\frac{M}{R^2} \qquad g_0 = G\frac{M}{R^2}$$

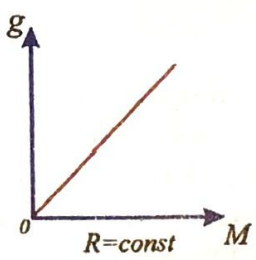
Məlumdur ki, $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\frac{N \cdot m^2}{kq^2}$, *Yerin kütləsi* $M = 6 \cdot 10^{24}\,kq$, *radiusu isə* $R \approx 6400\,km$ *– dir.*

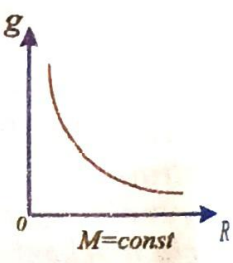
Onda Yerin qravitasiya sahəsinin intensivliyi üçün $g_0 = 9{,}8\frac{N}{kq} \approx 10\frac{m}{san^2}$ qiymətini alarıq.

Göründüyü kimi, qravitasiya sahəsinin intensivliyi Yerin (planetin) kütləsi ilə düz, radiusun kvadratı ilə tərs mütənasibdir.



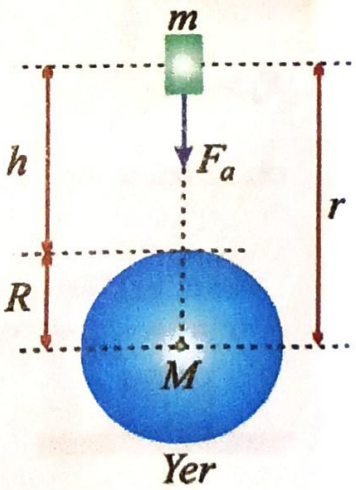






• ***Ağırlıq qüvvəsi və sərbəstdüşmə təcili (qravitasiya sahəsinin intensivliyi) Yer səthindən uzaqlaşdıqca azalır.*** $r = R + h$

$$F_h = G\frac{M \cdot m}{(R+h)^2} \qquad g_h = G\frac{M}{(R+h)^2}$$

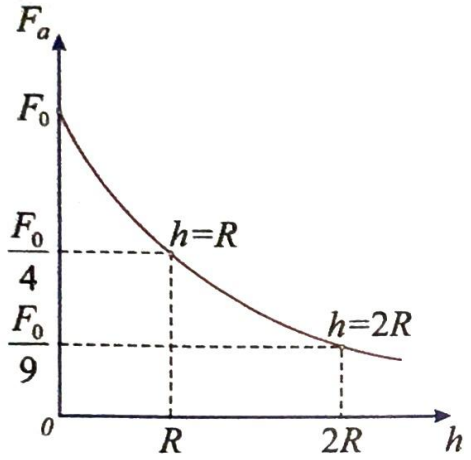


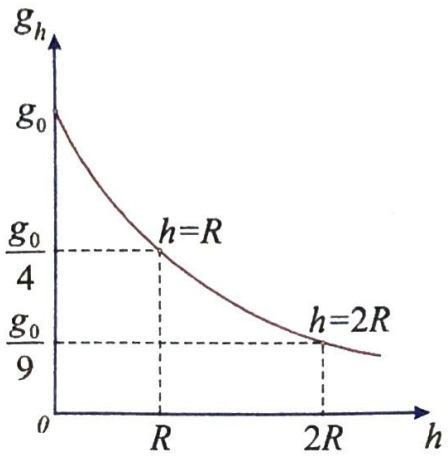
$h = R$ olarsa	$F_h = \frac{F_0}{4} = \frac{m\,g_0}{4}$	$g_h = \frac{g_0}{4} = \frac{10}{4} = 2{,}5\ N/kq$
$h = 2R$ olarsa	$F_h = \frac{F_0}{9} = \frac{m\,g_0}{9}$	$g_h = \frac{g_0}{9}$
$h = 3R$ olarsa	$F_h = \frac{F_0}{16} = \frac{m\,g_0}{16}$	$g_h = \frac{g_0}{16}$

Burada F_0 *və* $g_0 = 10N/kq$ *uyğun olaraq cisim yer səthindəki ağırlıq qüvvəsi və sərbəstdüşmə təcilidir.*

Yer səthi yaxınlığında kütləsi $1\ kq$ *olan cismə* $F_{ağ} = 10N$ *ağırlıq qüvvəsi təsir göstərir. Bu qiymət yer səthindən olan hündürlük artdıqca azalır.*

Məsələn, $h = R$ *hündürlükdə* $1\ kq$ *kütləli cismə Yer tətəfindən* $F_{ağ} = 2{,}5N$ *ağırlıq qüvvəsi təsir edir.*





❖ Cisimlərin sərbəst düşməsi. Sərbəstdüşmə təcili

Vakuumda cismə müqavimət qüvvəsi təsir göstərmədiyindən ($F_m = 0 \Rightarrow ma = mg$) bütün cisimlər eyni $a = g$ təcili ilə düşür. Yerin cazibə sahəsinin istənilən nöqtəsində sərbəst düşən cismin təcili həmin nöqtədə qravitasiya sahəsinin g_0 intensivliyinə bərabərdir. Sərbəstdüşmə təcili həm də Yerin qravitasiya sahəsinin intensivliyi adlanır. *Havasız (vakum) fəzada Yerin cazibə qüvvəsinin təsiri altında ağırlıq qüvvəsinin cisimlərə verdiyi təcil sərbəstdüşmə təcili adlanır.* Eyni bir qravitasiya sahəsində cisimlərin sərbəst düşməsi onların formasından, kütləsindən və sıxlığından asılı olmayaraq eyni təcillə baş verir. *Həmin təcil sərbəstdüşmə təcili adlanır.*

Yer kütləsi üçün $M = V \cdot \rho = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ düsturunu $g_0 = G\frac{M}{R^2}$ düsturunda nəzərə alsaq $g_0 = \frac{4}{3}\pi\rho GR$ qiymətini almış olarıq.

Yer səthi yaxınlığında sərbəstdüşmə təcili $g_0 = 9{,}8\frac{N}{kq}$ ***– dır. Yerin ekvatorundan qütblərə doğru getdikcə sərbəstdüşmə təcilinin qiyməti*** (g_0) ***və eyni bir cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsi artır.***

§ 4.3. Cismin çəkisi. Əlavə yüklənmə. Çəkisizlik.

• ***Cismin özünə nəzərən tərpənməz olan dayağa və ya asqıya göstərdiyi təsir qüvvəsi cismin çəkisi adlanır. Cismin çəkisi*** (P) Nyutonun üçüncü qanununa görə dayağın cismə göstərdiyi ***reaksiya qüvvəsinə*** (N) modulca bərabər olub $(P = N)$, istiqamətcə əks istiqamətlərə yönəlir $(\vec{N} = -\vec{P})$.

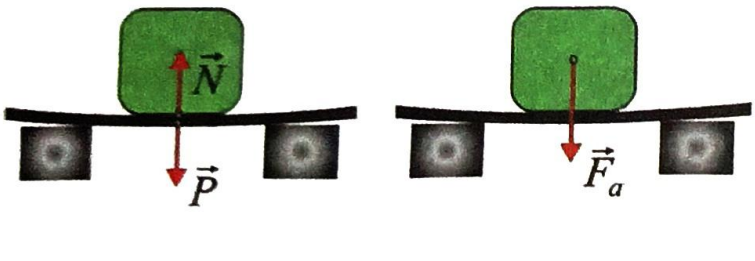
• *Ağırlıq qüvvəsi cismə tətbiq olunmuş* qravitasiya qüvvəsidir, *cismin çəkisi isə dayağa (asqıya) tətbiq olunmuş* elektromaqnit təbiətli *elastiklik qüvvəsidir.* Cismin çəkisi ağırlıq qüvvəsindən (mg) böyük və ya kiçik, hətta sıfır da ola bilər.

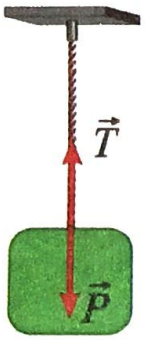
• İpdən və ya hər hansı bir asqıdan asılmış cismə şaquli yuxarı istiqamətdə yönəlmiş elastiklik qüvvəsi təsir edir. Bu qüvvə ***ipin gərilmə qüvvəsi*** adlanır $\vec{T}$ hərfi ilə işarə olunur.

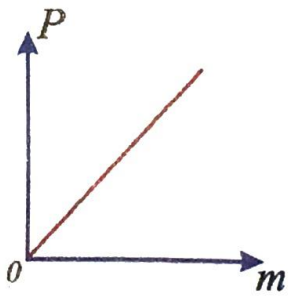
• *Cisim üfüqi dayaq (asqı) üzərində* ***sükunətdə olduqda və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət etdikdə*** $(a = 0)$ *cismin çəkisi, dayağın reaksiya qüvvəsi,ipin gərilmə qüvvəsi modulca cismin ağırlıq qüvvəsinə bərabərdir.*

$$F_{ağ} = mg \quad P = mg \quad N = F_t = mg \quad T = mg$$

P – cismin çəkisi, N – dayağın reaksiya qüvvəsi, F_t – təzyiq qüvvəsi, T – ipin gərilmə qüvvəsidir. *Çəki* ***dinamometrlə*** *ölçülür. Vahidi:* $[P] = 1N = 1\dfrac{kq \cdot m}{san^2}$







❖ *Hərəkətdə olan liftdə qoyulmuş cismin çəkisinə və cisim asılmış ipdə yaranan gərilmə qüvvəsinə baxaq:*

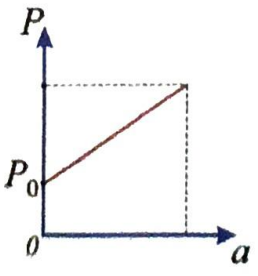
1. *Lift* ***yuxarıya doğru bərabəryeyinləşən*** *hərəkət etdikdə, cismin çəkisi, dayağın reaksiya qüvvəsi,ipin gərilmə qüvvəsi modulca ağırlıq qüvvəsindən (sükunətdəki çəkisindən)* ***ma*** *qədər çox olur.* $(T > mg;\ N > mg)$

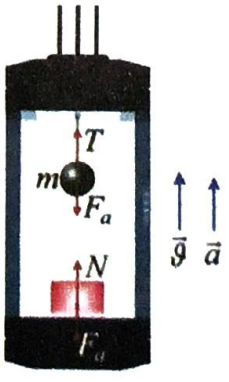
Nyutonun ikinci qanununa əsasən yaza bilərik:

$F_{nət} = ma$

$ma = N - mg \qquad ma = T - mg$

$N = m(g + a)$	$T = m(g + a)$
$P = m(g + a)$	$\vec{F}_a = m\vec{g}$



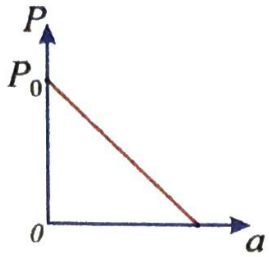


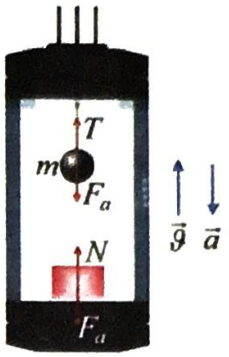
2. *Lift* ***yuxarıya doğru bərabəryavaşıyan*** *hərəkət etdikdə, cismin çəkisi, dayağın reaksiya qüvvəsi, ipin gərilmə qüvvəsi modulca ağırlıq qüvvəsindən (sükunətdəki çəkisindən)* ***ma*** *qədər az olur.* $(T < mg;\ N < mg)$.

Nyutonun ikinci qanununa əsasən yaza bilərik:

$ma = mg - N$ $\qquad$ $ma = mg - T$

$N = m(g-a)$	$T = m(g-a)$
$P = m(g-a)$	$\vec{F}_a = m\vec{g}$



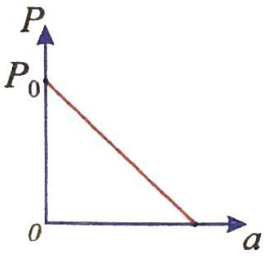


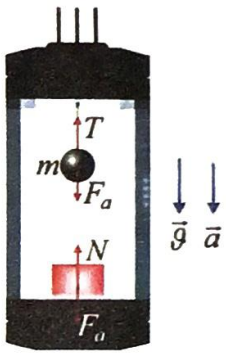
3. *Lift* ***aşağıya doğru bərabəryeyinləşən*** *hərəkət etdikdə, cismin çəkisi, dayağın reaksiya qüvvəsi, ipin gərilmə qüvvəsi ağırlıq qüvvəsindən (sükunətdəki çəkisindən) ma qədər az olur:* $(a < g)$ $\quad (T < mg;\ N < mg)$

Nyutonun ikinci qanununa əsasən yaza bilərik:

$ma = mg - N$ $\qquad$ $ma = mg - T$

$N = m(g-a)$	$T = m(g-a)$
$P = m(g-a)$	$\vec{F}_a = m\vec{g}$



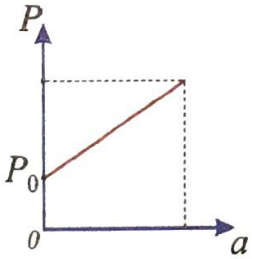


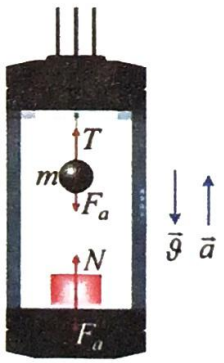
4. *Lift* ***aşağıya doğru bərabəryavaşıyan*** *hərəkət etdikdə, cismin çəkisi, dayağın reaksiya qüvvəsi, ipin gərilmə qüvvəsi ağırlıq qüvvəsindən (sükunətdəki çəkisindən) ma qədər çox olur.* $(T > mg;\ N > mg)$

Nyutonun ikinci qanununa əsasən yaza bilərik:

$ma = N - mg$ $\qquad$ $ma = T - mg$

$N = m(g+a)$	$T = m(g+a)$
$P = m(g+a)$	$\vec{F}_a = m\vec{g}$



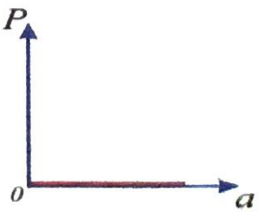


5. ***Lift bərabər sürətlə hərəkət edərsə*** $a = 0$ ***olar:***

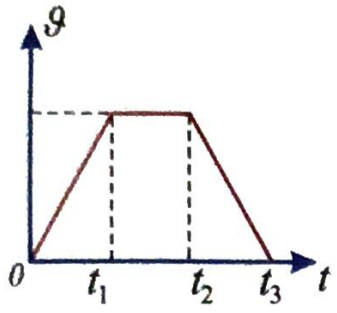
$P = mg \quad N = mg \quad T = mg \quad F_a = mg$

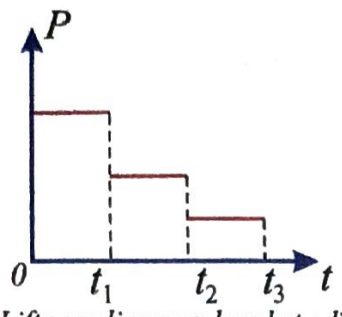
6. Cisim ***sərbəst düşərsə*** yəni $a = g$ olduqda,

çəkisizlik halında olur. $P = 0 \quad \vec{F}_a = m\vec{g}$

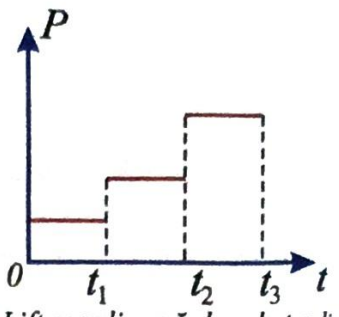


7. Liftin hərəkəti müddətində çəkinin zamandan asılılıq qrafikinə baxaq:
Qrafikdən göründüyü kimi cismin çəkisi zamana görə dəyişmir. Cismin çəkisi hərəkət istiqamətindən asılı deyil, təcilin istiqamətinə görə dəyişər.





Lift şaquli yuxarı hərəkət edir

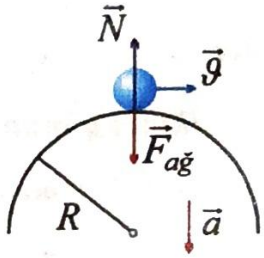


Lift şaquli aşağı hərəkət edir

8. *R* – radiuslu, qabarıq körpünün ən yüksək nöqtəsində *ϑ* – sürəti ilə hərəkət edən cismin çəkisi: **Nyutonun ikinci qanununa əsasən yaza bilərik:**

$$ma = mg - N$$
$$N = m(g - a)$$
$$a = \frac{\vartheta^2}{R}$$

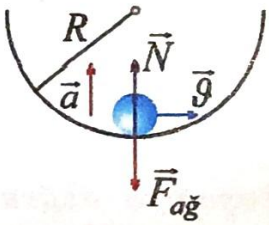
$$P = m(g - a) = m \cdot \left(g - \frac{\vartheta^2}{R}\right)$$



9. *Ən aşağı nöqtəsində:*

$$ma = N - mg$$
$$N = m(g + a)$$

$$P = m(g + a) = m \cdot \left(g + \frac{\vartheta^2}{R}\right)$$



❖ Əlavə yüklənmə nəyə deyilir? Cisim hansı hallarda əlavə yüklənməyə məruz qalar ?

Cismin çəkisinin ağırlıq qüvvəsindən,sükunətdəki çəkisindən neçə dəfə böyük olduğunu göstərən ədədə əlavə yüklənmə deyilir.

$$n = \frac{P}{F_a} = \frac{m(g + a)}{mg} = \frac{g + a}{g} = 1 + \frac{a}{g} \qquad n = 1 + \frac{a}{g}$$

Cismin çəkisi ağırlıq qüvvəsindən, sükunətdəki çəkisindən ***n*** dəfə çox olarsa cismin hərəkət təcili:

$$a = g(n - 1)$$

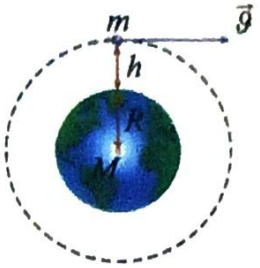
- Cisim *yuxarı doğru bərabəryeyinləşən, aşağıya doğru bərabəryavaşıyan* hərəkət etdikdə əlavə yüklənməyə məruz qalır,yəni cismin çəkisi ağırlıq qüvvəsindən, sükunətdəki çəkisindən çox olur.
- Cisim *aşağı doğru bərabəryeyinləşən, yuxarı doğru bərabəryavaşıyan* hərəkət etdikdə cismin çəkisi ağırlıq qüvvəsindən, sükunətdəki çəkisindən az olur, yəni cismin çəkisi azalır.

§4.4.Birinci kosmik sürət.

Cismi Yerin süni peykinə çevirmək üçün tələb olunan ən kiçik sürətə birinci kosmik sürət deyilir.

Yer səthi yaxınlığında *birinci kosmik* sürət:

$$\vartheta_I = \sqrt{g_0 \cdot R} = \sqrt{G\frac{M}{R}} = 2R\sqrt{\frac{\pi\, G\rho}{3}} \approx 8\,\frac{km}{san}$$

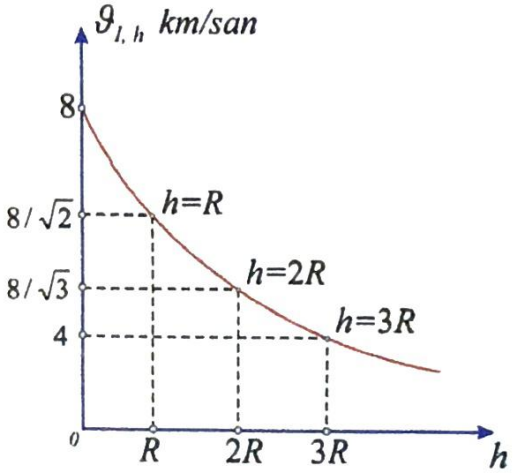


Yer səthindən h hündürlükdə *birinci kosmik* sürət:

$$\vartheta_{I,h} = \sqrt{G\frac{M}{R+h}}$$

Burada M - yerin kütləsi, R - Yerin radiusu, h isə peykin Yer səthindən olan hündürlüyüdür.

Əgər $h = nR$ olarsa: $\vartheta_h = \dfrac{\vartheta_I}{\sqrt{n+1}}$



Məsələn: $h = 3R$ *yüksəklikdə hərəkət edən peykin sürəti birinci kosmik sürətdən 2 dəfə kiçikdir.*

$$\vartheta = \frac{\vartheta_I}{\sqrt{3+1}} = \frac{8}{2} = 4\,\frac{km}{san}$$

$$\vartheta_I = \sqrt{G\frac{M}{R}} = 2R\sqrt{\frac{\pi\, G\rho}{3}} \approx 8\,\frac{km}{san}$$

Süni peykin dövretmə periodu. $T = \dfrac{2\pi R}{\vartheta} = 2\pi\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$ $\qquad T = 2\pi R\sqrt{\dfrac{R}{GM}}$

Süni peyklərin dövretmə periodlarının kvadratları nisbəti orbitlərin radiuslarının kubları nisbətinə bərabərdir (Kepler qanunu):

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$$

Yerin süni peykinin Yer mərkəzindən olan məsafəsi n ***dəfə*** artarsa,dövretmə periodu $n\sqrt{n}$ ***dəfə*** artar.

§4.5. Ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında hərəkət.

I. Cisimlərin sərbəst düşməsi ($\vartheta_0 = 0$).

Başlanğıc sürəti sıfır olan və şaquli istiqamətdə aşağı düşən cismin hərəkəti(sərbəstdüşmə) bərabəryeyinləşən hərəkətdir. Sərbəstdüşmədə $\vartheta_0 = 0$; $a = g$; $P = 0$ olur.

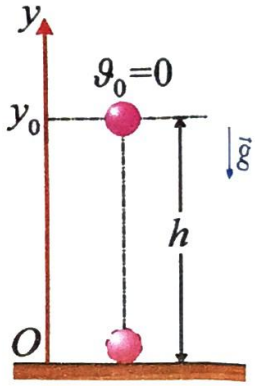
1. **Müəyyən hündürlüyündən sərbəst düşən cismin koordinatı:** $y = y_0 - \frac{gt^2}{2}$

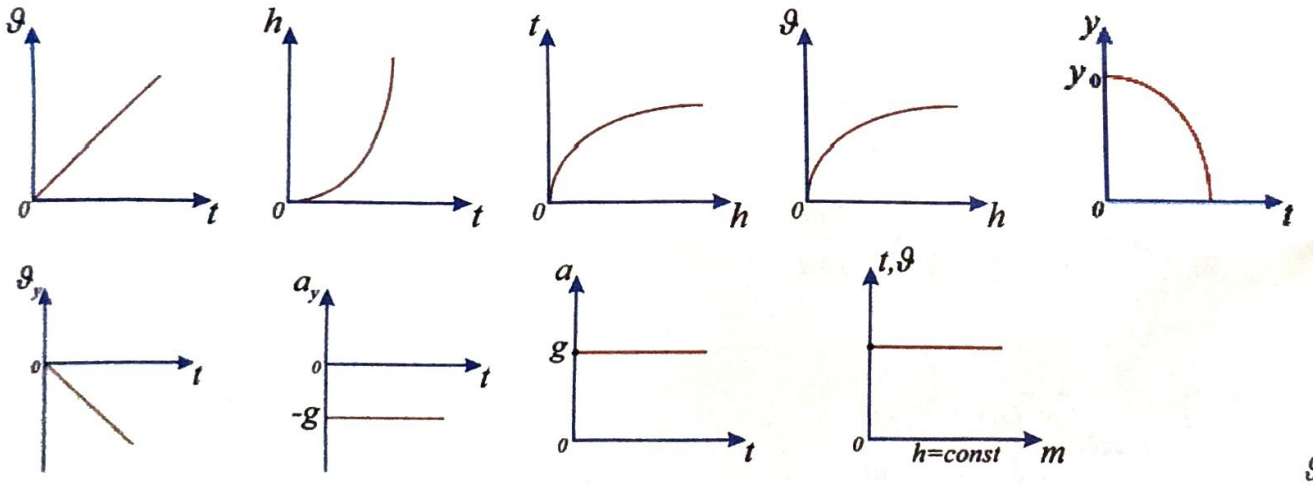
2. **Sərbəst düşən cismin getdiyi yol:** $h = \frac{gt^2}{2} = \frac{\vartheta^2}{2g}$

3. **Cismin istənilən anda ani sürətinin modulu:** $\vartheta = gt = \sqrt{2gh}$

4. **Orta sürəti:** $\vartheta_{or} = \frac{\vartheta}{2} = \frac{gt}{2} = \frac{\sqrt{2gh}}{2} = \sqrt{\frac{gh}{2}}$

5. **Cismin düşmə müddəti(uçuş müddəti):** $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{\vartheta}{g}$





- **Yerə sərbəst düşən bir cismin hərəkətinə baxaq:** $(g = 10\frac{m}{san^2})$

$t = 1\,san \qquad h = \frac{gt^2}{2} = \frac{10 \cdot 1}{2} = 5\,m \qquad \vartheta = gt = 10 \cdot 1 = 10\,m/san$

$t = 1\,san$	$h = 5m$	$\Delta h_1 = 5\,m$	$\vartheta = 10\,m/san$
$t = 2\,san$	$h = 20\,m$	$\Delta h_2 = 15\,m$	$\vartheta = 20\,m/san$
$t = 3\,san$	$h = 45m$	$\Delta h_3 = 25\,m$	$\vartheta = 30\,m/san$
$t = 4\,san$	$h = 60\,m$	$\Delta h_4 = 35\,m$	$\vartheta = 40\,m/san$



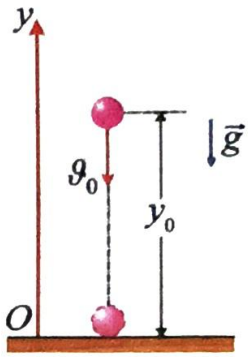
- **Sərbəst düşən cismin n– ci saniyədə getdiyi yol :** $\Delta h_n = \frac{g}{2} \cdot (2n-1)$

II. Başlanğıc sürətlə şaquli istiqamətdə aşağı atılmış cismin hərəkəti.

Əgər cisim ϑ_0 başlanğıc sürətlə aşağı doğru atılarsa, o zaman hərəkət tənlikləri aşağıdakı kimi olar:

1. Başlanğıc koordinatı y_0 olan cismin hərəkət tənliyi : $y = y_0 - \vartheta_0 t - \frac{gt^2}{2}$

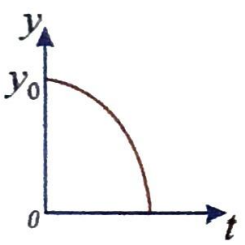
2. Cismin getdiyi yol: $h = \vartheta_0 t + \frac{gt^2}{2}$ $\left(h = \frac{\vartheta^2 - \vartheta_0^2}{2g}\right)$

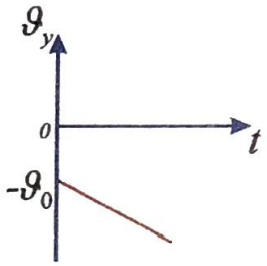


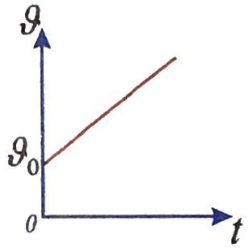
3. Cismin sürətinin proyeksiyası: $\vartheta_y = -\vartheta_{0y} - gt$

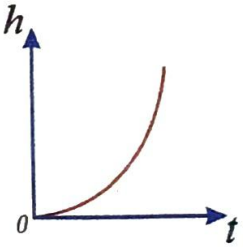
4. Cismin sürətinin modulu: $\vartheta = \vartheta_0 + gt$ $\left(\vartheta = \sqrt{\vartheta_0^2 + 2gh}\right)$

5. Orta sürəti: $\vartheta_{or} = \frac{\vartheta + \vartheta_0}{2}$



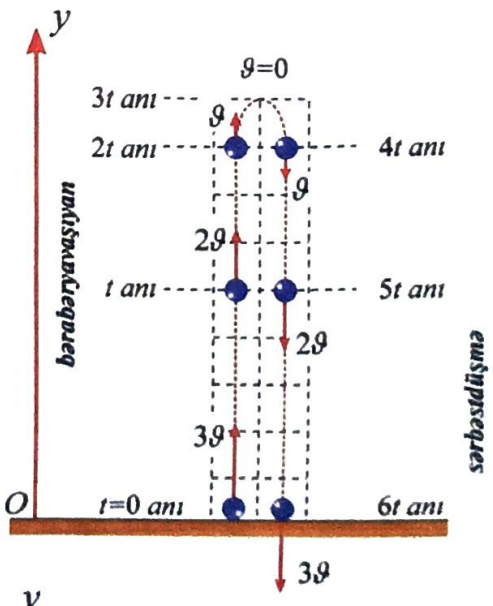






III. Şaquli yuxarı atılmış cismin hərəkəti.

Bu hərəkətdə cisim əvvəlcə yuxarı doğru ***bərabəryavaşıyan*** hərəkət edərək maksimal hündürlüyə qədər qalxır, sonra isə bir an dayanır. Daha sonra *sərbəstdüşmə (bərabəryeyinləşən)* hərəkəti icra edir.

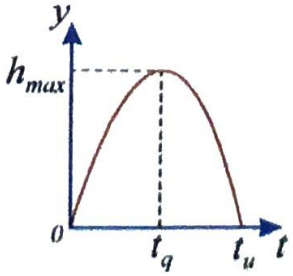


Qeyd: *Şaquli yuxarı atılmış cismin qalxma və düşmə trayektoriyaları eyni olur.*

1. Cismin koordinatı $(y_0 = 0)$; $y = \vartheta_0 t - \frac{gt^2}{2}$

2. Cismin yerdəyişməsi (və ya maksimal qalxma hündürlüyünə kimi getdiyi yol):

$h = \vartheta_0 t - \frac{gt^2}{2}$ $\quad h = \frac{\vartheta_0^2 - \vartheta^2}{2g}$



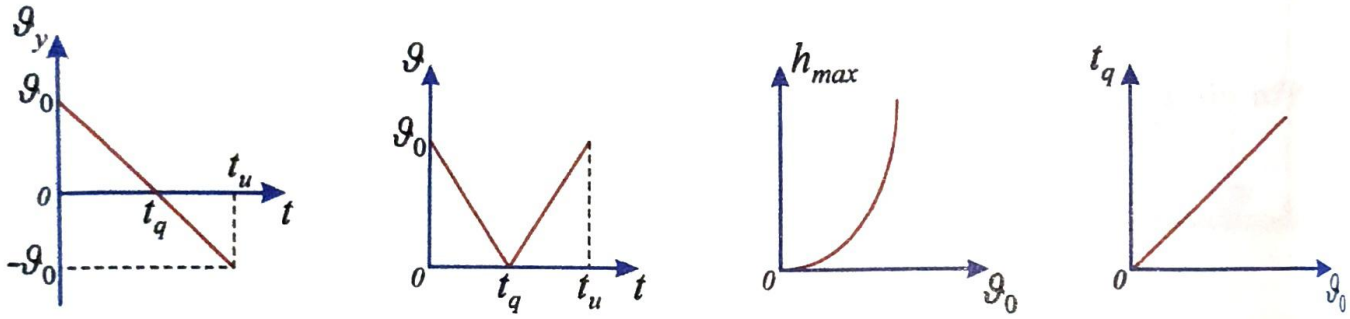
3.Cismin sürəti: $\vartheta = \vartheta_0 - gt$ $\qquad \vartheta = \sqrt{\vartheta_0^2 - 2gh}$

4. Maksimal qalxma hündürlüyü: $h_{max} = \dfrac{gt_q^2}{2} = \dfrac{\vartheta_0^2}{2g}$

5. Başlanğıc sürəti: $\vartheta_0 = g \cdot t_q = \sqrt{2gh_{max}}$

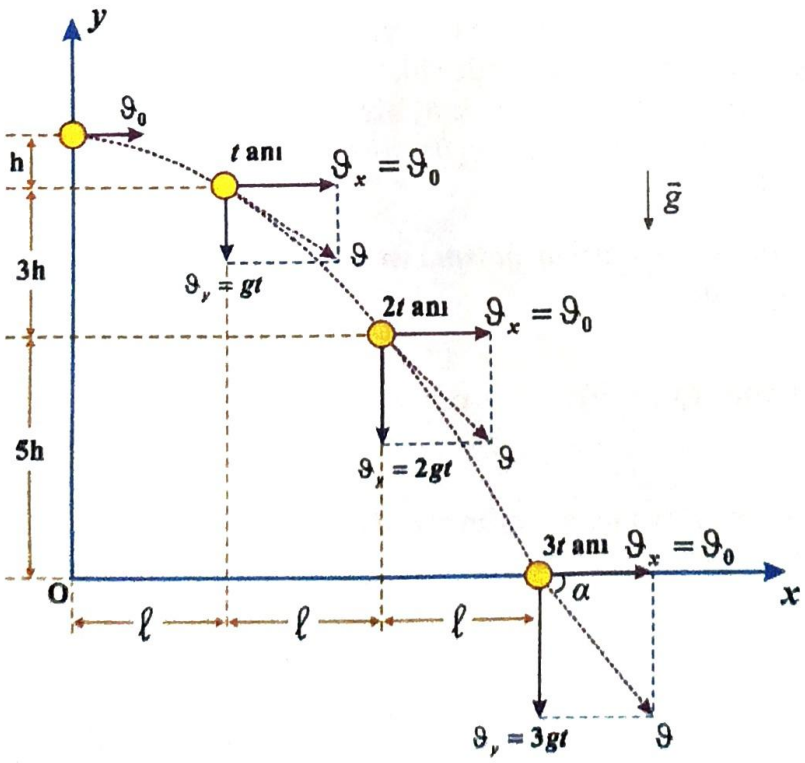
6. Cismin maksimal hündürlüyə qalxma zamanı: $t_q = \sqrt{\dfrac{2h_{max}}{g}} = \dfrac{\vartheta_0}{g}$

Uçuş müddəti: $t_{uçuş} = 2t_q$

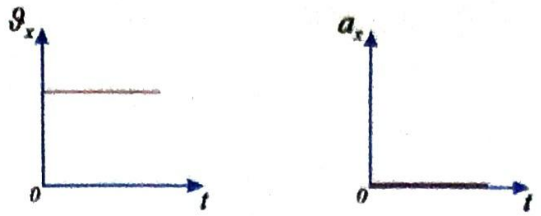


IV. Müəyyən h hündürlüyündən üfüqi istiqamətdə atılmış cismin hərəkəti.

Bu hərəkətdə cismə üfüqi istiqamətdə *(Ox)* qüvvə təsir etmədiyindən ***düzxətli bərabərsürətli***, şaquli istiqamətdə *(Oy)* yalnız ağırlıq qüvvəsi təsir etdiyindən ***sərbəstdüşmə*** hərəkəti icra edir .



1. Sürət və təcilin üfüqi və şaquli toplananları:

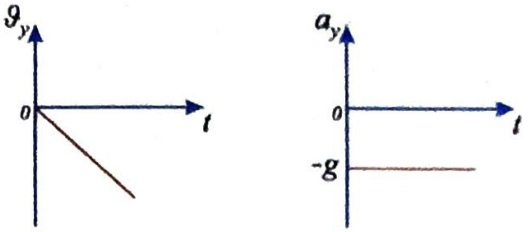


Sürətin üfüqi toplananı:

$\vartheta_x = \vartheta_0 = const \qquad a_x = 0$

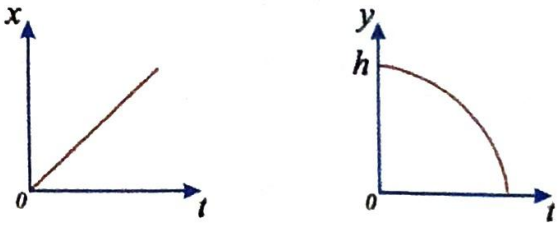
Sürətin şaquli toplananı:

$(\vartheta_{0y} = 0) \quad \vartheta_y = -gt = \sqrt{2gh} \quad a_y = -g$



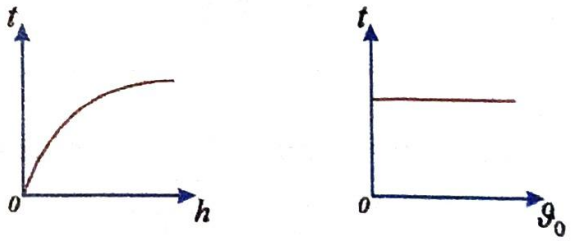
2. Cismin koordinatlarının düsturları:

$$x = \vartheta_x \cdot t = \vartheta_0 \cdot t \qquad y = h - \frac{gt^2}{2}$$



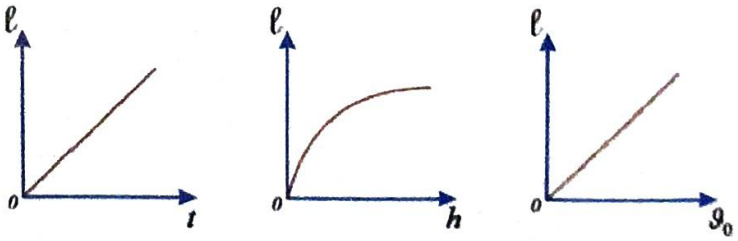
3. Cismin yerə düşmə müddəti (uçuş müddəti): Cismin yerə düşmə müddəti (uçuş müddəti)yalnız h - atılma hündürlüyündən asılıdır, başlanğıc sürətdən (ϑ_0)asılı deyil.

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

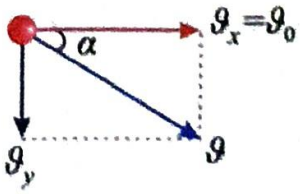


4. Uçuş məsafəsi:

$$\ell = \vartheta_x \cdot t = \vartheta_0 \cdot t = \vartheta_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$



5. Cismin ani sürəti: $\vartheta = \sqrt{\vartheta_x^2 + \vartheta_y^2} \qquad \vartheta = \sqrt{\vartheta_0^2 + 2gh}$

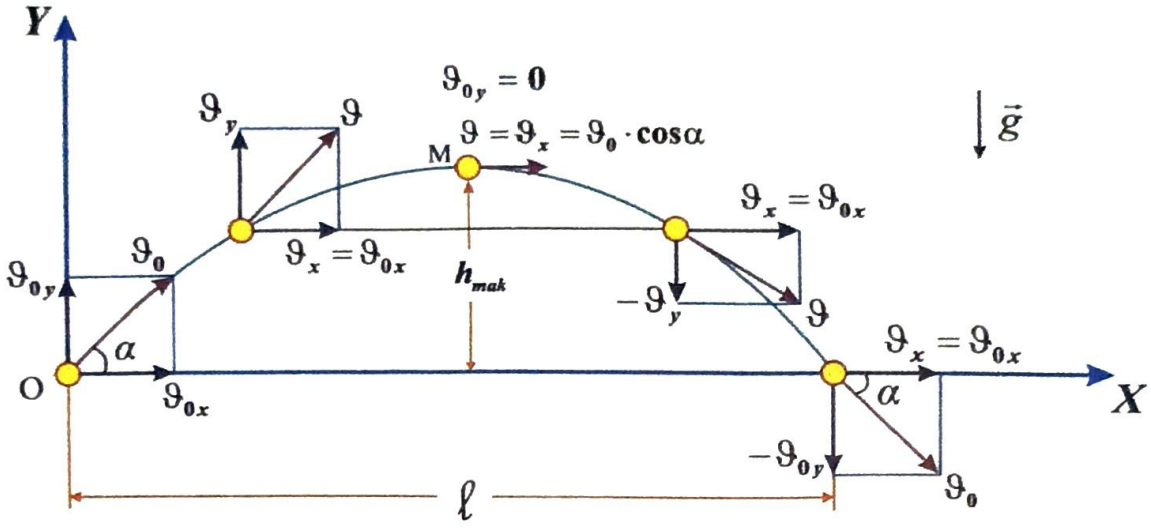


6. Yerə zərbə anında cismin sürəti və sürətin şaquli toplananı :

$$\vartheta = \frac{\vartheta_0}{\cos\alpha} \qquad \vartheta_y = \vartheta_0 \cos\alpha$$

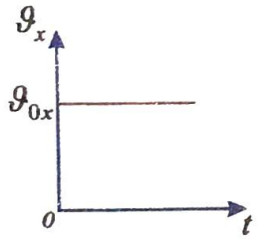
V. Üfüqə α bucağı altında atılmış cismin hərəkəti.

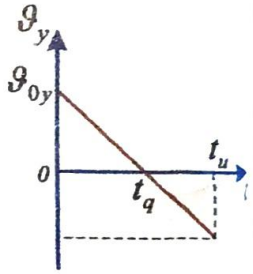
Bu hərəkətdə cismə üfüqi istiqamətdə *(Ox)* qüvvə təsir etmədiyindən ***düzxətli bərabərsürətli*** hərəkət edəcək. Şaquli istiqamətdə *(Oy)* yalnız ağırlıq qüvvəsi təsir etdiyindən ***şaquli yuxarı atılmış*** cisim kimi əvvəl *bərabəryavaşıyan*, sonra *sərbəstdüşmə* hərəkəti icra edəcək.



1. Cismin başlanğıc sürətinin proyeksiyaları :

$$\vartheta_{ox}=\vartheta_0\cdot\cos\alpha$$
$$\vartheta_{0y}=\vartheta_0\cdot\sin\alpha$$



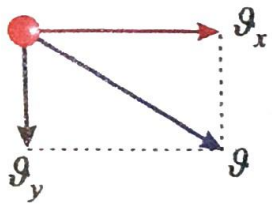


Sürətin üfüqi və şaquli toplananları:

$$\vartheta_x=\vartheta_{ox}=\vartheta_0\cos\alpha$$
$$\vartheta_y=\vartheta_{0y}-gt=\vartheta_0\cdot\sin\alpha-gt$$

2. Cismin istənilən t anındakı sürətinin modulu:

$$\vartheta=\sqrt{\vartheta_x^2+\vartheta_y^2}$$



Ən yüksək nöqtədə (M nöqtəsində) cismin sürətinin şaquli toplananı sıfır olur və cismin ani sürəti:

$$\vartheta_y=0 \qquad \vartheta=\vartheta_x=\vartheta\cdot\cos\alpha \quad \text{və ya} \quad \vartheta=\sqrt{\vartheta_0^2-2gh_{max}}$$

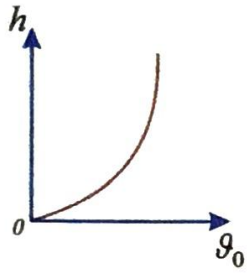
3. Cismin qalxma və uçuş müddəti:

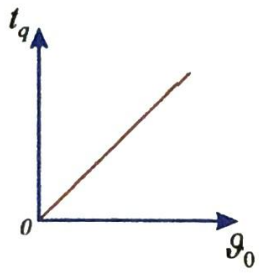
$$t_{qalx}=\frac{\vartheta_{oy}}{g}=\frac{\vartheta_0\sin\alpha}{g} \qquad t_{ucuş}=\frac{2\vartheta_{0y}}{g}=\frac{2\vartheta\sin\alpha}{g}$$

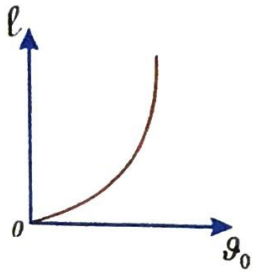
4. Cismin maksimal qalxma hündürlüyü: $h_{max} = \frac{\vartheta_{0y}^2}{2g} = \frac{\vartheta_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

5. Cismin uçuş məsafəsi: $\ell = \frac{2\vartheta_{0x} \cdot \vartheta_{0y}}{g} = \frac{\vartheta_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

$h_{max} = \frac{\ell \cdot tg\alpha}{4}$ $\alpha = 45^0$ olarsa, $h_{max} = \frac{\ell}{4}$ $\ell = 4h_{max}$



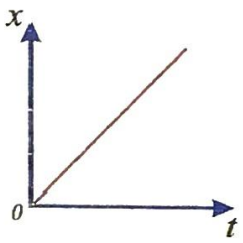


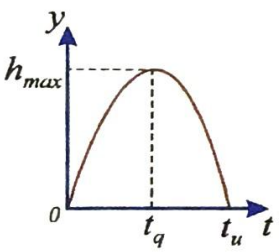


6. Cismin koordinat tənlikləri:

$x = \vartheta_x t = \vartheta_0 \cos\alpha \cdot t$

$y = \vartheta_{0y} t - \frac{gt^2}{2} = \vartheta_0 t \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}$





- *Cisim üfüqə* $\alpha = 45^0$ *bucağı altında atılarsa* $\sin 2\alpha = 1$ *olduğuna görə uçuş məsafəsi* ***ən böyük*** *olur. Atılma bucağı* $\alpha = 45^0$ *dən çox və ya az olarsa uçuş məsafəsi* ***azalar****. Maksimal qalxma hündürlüyü bucaq artıqca artır,* $\alpha = 90^0$ *olduqda* ***ən böyük*** *olur.*

- *Cisim üfüqə* α *və* $90^0 - \alpha$ *bucaqları altında eyni başlanğıc sürətlə atılarsa cisimlərin uçuş məsafələri bərabər olar. Məsələn, eyni başlanğıc sürətlə* $\alpha = 30^0$ *və* $\alpha = 60^0$ *bucaqları altında atılmış cismin uçuş məsafələri bərabərdir.*

- *Cisim üfüqə bucaq altında atılarsa 1,2,3 və 4 nöqtələrində aşağıdakı münasibətlər doğrudur.*

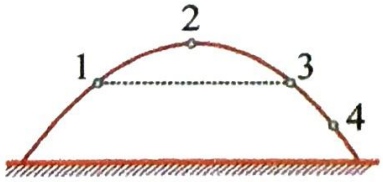
$\vartheta_{1x} = \vartheta_{2x} = \vartheta_{3x} = \vartheta_{4x}$

$\vartheta_{4y} > \vartheta_{1y} = \vartheta_{3y} > \vartheta_{2y}$

$\vartheta_4 > \vartheta_1 = \vartheta_3 > \vartheta_4$

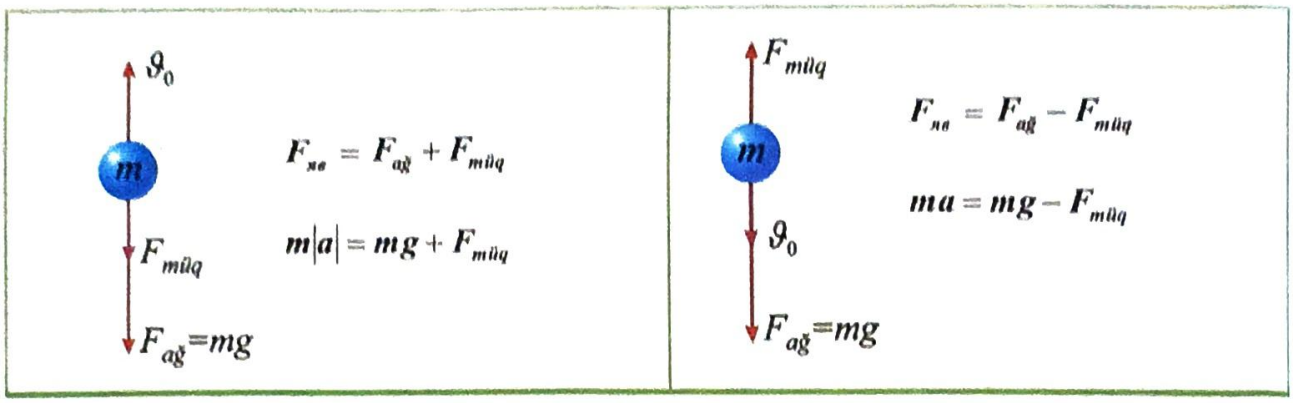
$a_4 = a_1 = a_3 = a_2$

$F_4 = F_1 = F_3 = F_2$



❖ Mövzu ilə əlaqəli qeydlər:

- *Cisim şaquli yuxarı atılarsa havanın müqavimət qüvvəsinin istiqaməti aşağı, aşağı atılarsa, yuxarı yönələr,bu halda Nyutonun II qanununun riyazi ifadəsi (əvəzləyici qüvvə) aşağıdakı kimi tapılır.*

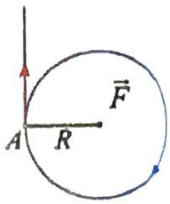


- *Cisim Yer radiusuna bərabər hündürlükdən Yerə doğru yalnız ağırlıq qüvvəsinin təsiri ilə hərəkət etdikdə,cisimlə Yer arasındakı məsafə azaldığından cazibə qüvvəsi artır,ona görə cisim* ***artan təcillə yeyinləşən*** *hərəkət edir.*

- *Cisim Yer səthindən birinci kosmik sürətlə şaquli yuxarı atılmışdırsa, maksimal qalxma hündürlüyünə qədər cisimlə Yer arasındakı məsafə artdığından cisim* ***azalan təcillə yavaşıyan*** *hərəkət edir.*

- *Fırlanma tezliyi* n *(periodu* T*) olan ipə bağlanmış cisim A nöqtəsində qırılarsa maksimal qalxma hündürlüyü:*

$$\vartheta_0 = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi n R$$



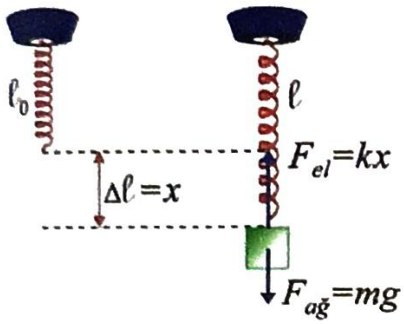
$$h_{max} = \frac{\vartheta_0^2}{2g} = \frac{2\pi^2 R^2}{T^2 g} = \frac{2\pi^2 n^2 R^2}{g} \qquad t_q = \frac{\vartheta_0}{g} = \frac{2\pi R}{Tg} = \frac{2\pi n R}{g}$$

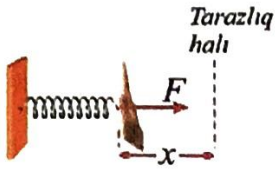
5. ELASTİKLİK QÜVVƏSİ. SÜRTÜNMƏ QÜVVƏSİ.

§5.1. Deformasiya və onun növləri. Elastiklik qüvvəsi. Huk qanunu

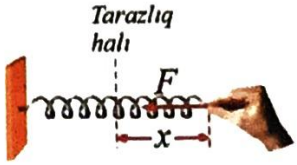
Xarici qüvvənin təsiri ilə cisimlərin forma və ölçülərini dəyişməsi deformasiya adlanır. Xarakterinə görə deformasiyalar ***elastik*** və ***plastik*** olur. Xarici qüvvənin təsiri kəsiləndən sonra cisim öz əvvəlki forma və ölçülərini alarsa, belə deformasiya elastik deformasiya adlanır. Xarici qüvvənin təsiri kəsiləndən sonra cismin forma və ölçüləri bərpa olunmursa, deformasiya plastikdir.Cisimlərin deformasiyası təsir edən qüvvədən,bu qüvvənin təsir müddətindən və cismin materialından asılıdır. ***Cismin deformasiyası zamanı yaranan və cismin hissəciklərinin yerdəyişməsinin əksinə yönələn qüvvəyə elastiklik qüvvəsi deyilir.*** Elastiklik qüvvəsi təbiətcə elektromaqnit qüvvəsidir.

Huk qanunu: *Yayın deformasiyası zamanı yaranan elastiklik qüvvəsi yayın uzanması ilə düz mütənasibdir.*





Sıxılmış yay əlimizi kənarlara doğru itələyər

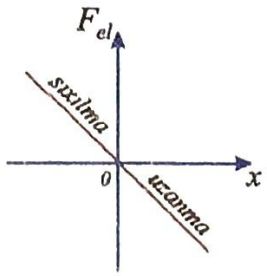


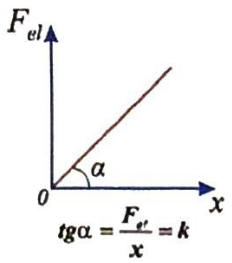
Uzanmış yay əlimizi içəri doğru çəkər

Burada, ℓ_0 – yayın başlanğıc uzunluğu, ℓ – son uzunluğu, $\Delta\ell = x$ – mütləq uzanmadır.

$$x = \Delta\ell = \ell - \ell_0$$

$$F_{el} = -k \cdot x$$





$X = \frac{Fel}{k}$

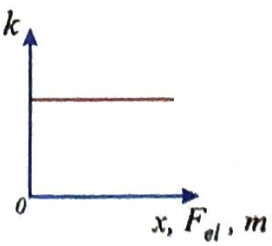
F_{el} – elastiklik qüvvəsi, k – yayın sərtliyi (sərtlik əmsalı) adlanan mütənasiblik əmsalıdır.

Qrafikdən göründüyü kimi yayın uzanma və sıxılması zamanı elastiklik qüvvəsi artır.

Mənfi işarəsi elastiklik qüvvəsinin yayın uzanmasının (sıxılmasının) əksinə yönəldiyini göstərir.

Yayın sərtliyi $k = \frac{F_{el}}{x}$ düsturu ilə hesablanır.

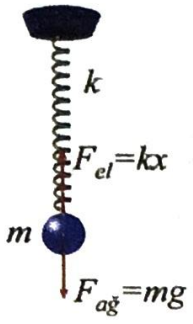
$$[k] = 1\frac{N}{m} = 1\frac{kq}{san^2}$$



Verilmiş yayın sərtliyi onun uclarına tətbiq olunmuş qüvvədən və yayın uzanmasından asılı deyildir. Yayın sərtliyi onun ***materialından və həndəsi ölçülərindən (uzunluğundan, en kəsiyinin sahəsindən)*** asılıdır.

Qüvvə **dinamometrlə** ölçülür (yunanca *dinamis*—qüvvə, *metreo*—ölçürəm deməkdir). Yaylı dinamometrin iş prinsipi Huk qanununa əsaslanır. *Yayın sərtliyini dinamometr və xətkeşlə ölçmək olar.*

- ***Yaydan m kütləli yük asılarsa, sükunət və ya düzxətli bərabərsüreli hərəkət halında elastiklik qüvvəsi cismin çəkisinə bərabərdir.***

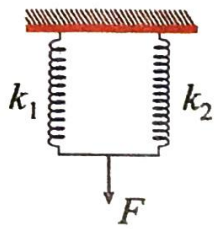


$$F_{el} = P = mg \qquad kx = mg$$

- ***a – təcili ilə yuxarı hərəkət edərsə:*** $kx = m(g + a)$

- ***a – təcili ilə aşağı hərəkət edərsə:*** $kx = m(g - a)$

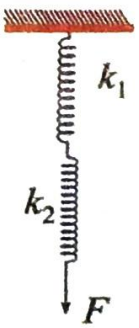
❖ ***Yayların paralel birləşdirilməsi:***



$$F = F_1 + F_2$$
$$x = x_1 = x_2$$
$$k_p = k_1 + k_2$$

N sayda hər birinin sərtliyi k olan yaylar paralel birləşərsə: $k_p = k \cdot N$

❖ ***Yayların ardıcıl birləşdirilməsi:***



$$F = F_1 = F_2$$
$$x = x_1 + x_2$$
$$\frac{1}{k_a} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

$E_p = mgh = \frac{Kx^2}{2} = \frac{F^2}{2K} = \frac{Fx}{2}$

N sayda hər birinin sərtliyi k olan yaylar ardıcıl birləşərsə: $k_a = \frac{k}{N}$

$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{pv}{2}$

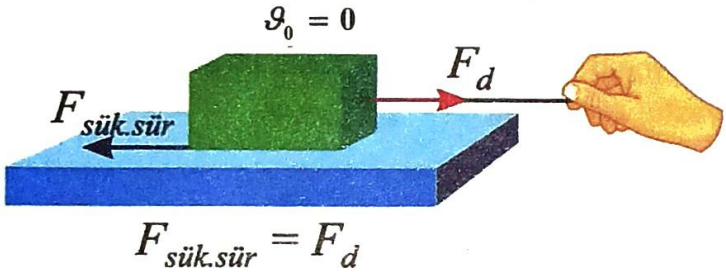
§5.2. Sürtünmə qüvvəsi.

Cisimlərin toxunması zamanı meydana çıxan və onların hərəkətinə maneə olan qüvvəyə sürtünmə qüvvəsi deyilir.



Sürtünmə qüvvəsinin növləri: ***sükunət sürtünməsi, sürüşmə sürtünməsi, diyirlənmə sürtünməsi.***

• ***Sükunət sürtünmə qüvvəsi*** — *sükunətdə olan cisim hərəkətə gətirilən zaman meydana çıxan və hərəkətə maneə olan qüvvədir.* Sükunətdəki cismi hərəkətə gətirməyə çalışan dartı qüvvəsindən asılı olaraq sükunət sürtünmə qüvvəsi dəyişir. Sükunətdə olan cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsi ilə dayağın reaksiya qüvvəsi bir-birini tarazlaşdırır və sükünət sürtünmə qüvvəsi sıfıra bərabərdir. Cismi dartmağa başladıqda dartı qüvvəsinin kiçik qiymətində tircik hərəkətə gəlmir və əvvəlki kimi sükunətdə qalır. Buna səbəb sükunət sürtünmə qüvvəsinin yaranması və dartı qüvvəsini tarazlaşdırmasıdır.

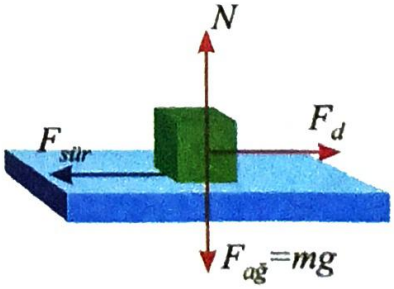


$$F_{sük.sür} = F_d$$

Dartı qüvvəsinin artması ilə sükunət sürtünmə qüvvəsi də artır, lakin dartı qüvvəsinin müəyyən qiymətində tircik hərəkətə gələrək sürüşməyə başlayır.Həmin an sükünət sürtünmə qüvvəsi maksimal qiymət alır və bu zaman yaranan sürtünmə qüvvəsi sürüşmə sürtünmə qüvvəsidir. Dartı qüvvəsinin sonrakı artımında sürüşmə sürtünmə qüvvəsi dəyişmir cisim təcillə hərəkət edir.

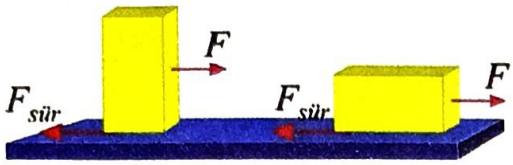
• ***Sürüşmə sürtünmə qüvvəsi*** — *bir cismin üzərində digər cisim sürüşdükdə yaranan və hərəkət istiqamətinin əksinə yönəlmiş qüvvədir.* Sürtünmə qüvvəsi ***elektromaqnit*** təbiətlidir.Sürtünmə qüvvəsini ***dinamometrlə*** ölçürlər.Sürüşmə sürtünmə qüvvəsinin modulu dayağın reaksiya qüvvəsinin (və ya təzyiq qüvvəsinin) modulu ilə düz mütənasibdir. Sürüşmə sürtünmə qüvvəsi dartı qüvvəsindən asılı deyil. Sürtünmə qüvvəsi toxunan səthlərin sahəsindən isə asılı deyildir.

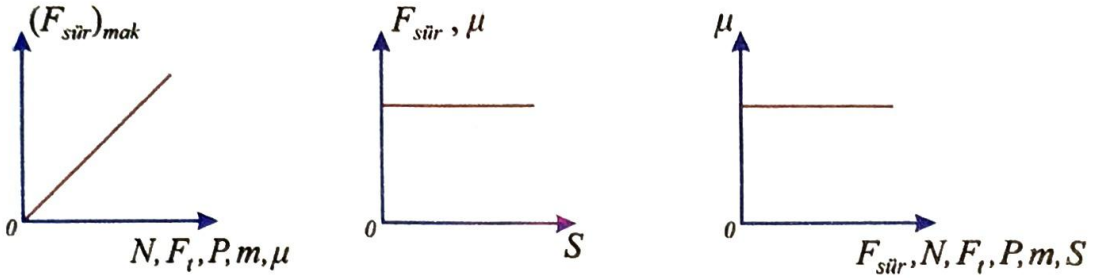
$$F_{sür} = \mu \cdot N = \mu \cdot mg$$
$$F_{sür} = \mu \cdot F_t = \mu \cdot P$$



Burada, $N = mg$ dayağın reaksiya qüvvəsidir, $F_t = mg$ təzyiq qüvvəsidir, $P = mg$ cismin çəkisidir. μ – sürüşmə sürtünmə əmsalıdır, vahidi yoxdur.

Sürtünmə əmsalı toxunan cisimlərin materialından, onların toxunma səthlərinin emal olunma keyfiyyətindən asılıdır, toxunan səthlərin sahəsindən isə asılı deyildir.



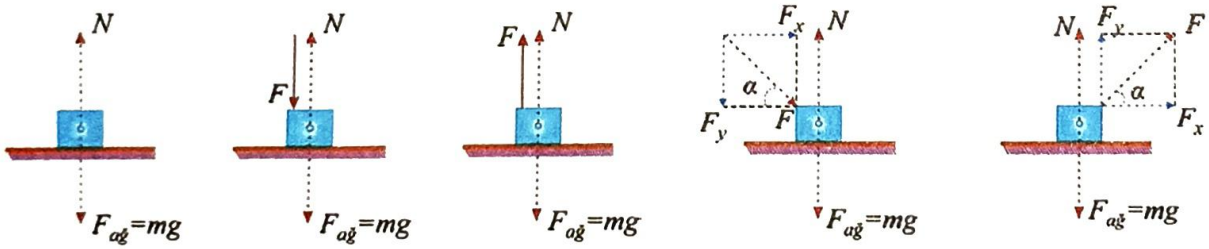


Sürtünmə qüvvəsinin yaranma səbəbləri səthlərin kələ-kötür olması və toxunan cisimlərin molekullarının bir–birini cəzb etməsidir. Sürtünən səthləri yağlamaqla da sürtünmə qüvvəsini azaltmaq olur. Qışda buzlu yollara qum səpməklə, avtomobil təkərlərinə zəncir bağlamaqla sürtünmə qüvvəsini artırırlar,sürüşməni azaldırlar.

• ***Diyirlənmə sürtünmə*** – bir cisim başqa cisim üzərində diyirləndikdə yaranan sürtünmə qüvvəsi diyirlənmə sürtünmə qüvvəsi adlanır. Diyircəkli yastıqlardan istifadə etməklə sürtünmə qüvvəsini azaldırlar.

❖ Dayağın reaksiya qüvvəsi. Təzyiq qüvvəsi

Cismi üfüqi müstəvidə səthə sıxan qüvvəyə təzyiq qüvvəsi (F_t) ***deyilir.*** *Təzyiq qüvvəsinin təsiri ilə cisim dayağa sıxılır və dayaq deformasiya edir. Bu zaman dayaqda elastiklik qüvvəsi yaranır və bu qüvvə də cismə əks–təsir edir. Elastiklik qüvvəsinin bu növünə* ***dayağın reaksiya qüvvəsi deyilir.*** *Nyutonun üçüncü qanununa görə təzyiq qüvvəsi modulca dayağın reaksiya qüvvəsinə bərabərdir* $(N = F_t)$. *Təzyiq qüvvəsi, dayağın reaksiya qüvvəsi elektromaqnit təbiətli qüvvədir. Aşağıda müxtəlif hallarda dayağın reaksiya qüvvəsinin tapılması verilmişdir.*



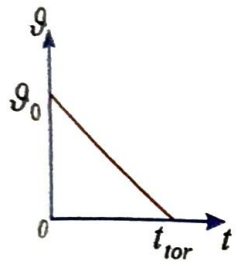
$N = mg$	$N = mg + F$	$N = mg - F$	$N = mg + F \cdot \sin\alpha$ $F_y = F \cdot \sin\alpha$ $F_x = F \cdot \cos\alpha$ $F_{sür} = \mu N = \mu(mg + F \sin\alpha)$	$N = mg - F \cdot \sin\alpha$ $F_y = F \cdot \sin\alpha$ $F_x = F \cdot \cos\alpha$ $F_{sür} = \mu N = \mu(mg - F \sin\alpha)$

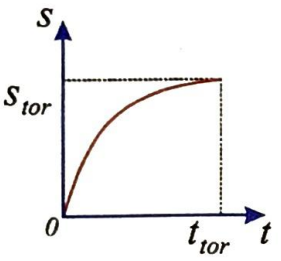
5.3. Sürtünmə qüvvəsinin təsiri altında hərəkət.

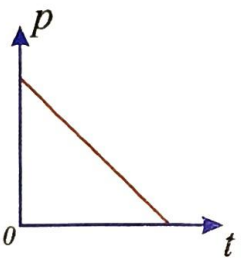
Cismin üfüqi yolda yalnız sabit sürtünmə qüvvəsinin təsiri ilə hərəkəti bərabəryavaşıyan hərəkətdir. Bu hərəkət zamanı $F_d = 0$, $F_{sür} \neq 0$ ifadələri doğrudur.

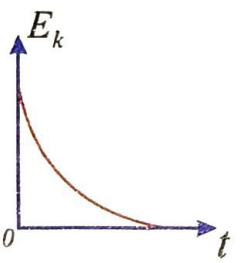
- **Bu zaman cismin təcili:** $ma = F_{sur} \Rightarrow a = \frac{F_{sür}}{m} = \frac{\mu m g}{m} = \mu g \Rightarrow a = \mu g$

- **Cismin sürəti:** $\vartheta = \vartheta_0 - at = \vartheta_0 - \mu g t$ **Yerdəyişməsi:** $s = \vartheta_0 t - \frac{\mu g t^2}{2} = \frac{\vartheta_0^2 - \vartheta^2}{2\mu g}$

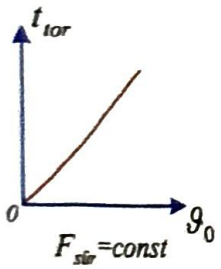


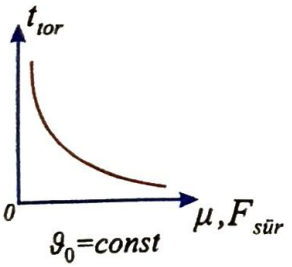


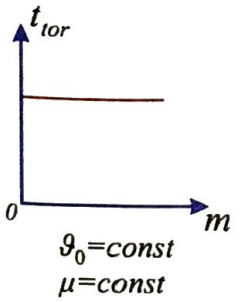


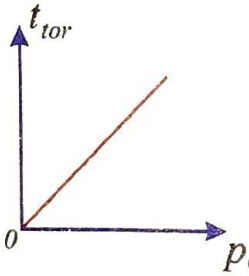


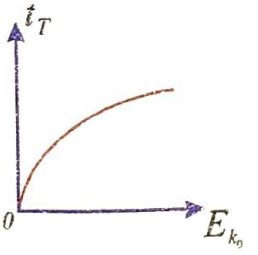
- **Tormozlanma müddəti:** $t_{tor} = \frac{\vartheta_0}{a} = \frac{\vartheta_0}{\mu g} = \frac{m\vartheta_0}{F_{sür}} = \frac{p_0}{F_{sür}} = \frac{\sqrt{2E_{k0}m}}{F_{sür}}$



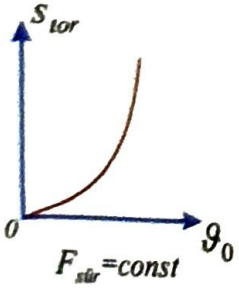


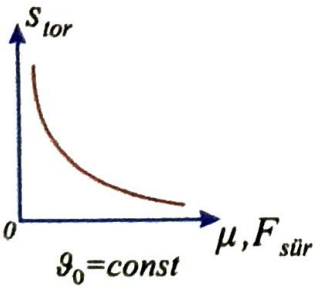


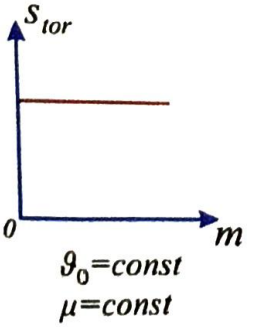


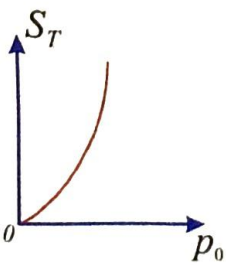


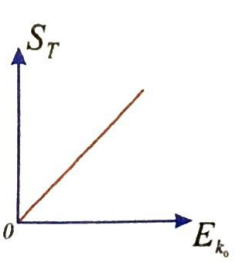
- **Tormozlanma yolu:** $s_{tor} = \frac{\vartheta_0^2}{2a} = \frac{\vartheta_0^2}{2\mu g} = \frac{m\vartheta_0^2}{2F_{sür}} = \frac{E_{k0}}{F_{sür}} = \frac{p_0^2}{2mF_{sür}}$











§5.4. Bir neçə qüvvənin təsiri altında hərəkət.

Cisim dartı və sürtünmə qüvvəsinin təsirilə üfüqi istiqamətdə bərabəryeyinləşən hərəkət edərsə *Nyutonun II qanununun riyazi ifadəsi (əvəzləyici qüvvə) aşağıdakı kimi yazılar:*

$$ma = F_d - F_{sür} \qquad (F_d > F_{sür})$$



- ***Bərabəryavaşıyan hərəkət edərsə:*** $m|a| = F_{sür} - F_d \qquad (F_{sür} > F_d)$

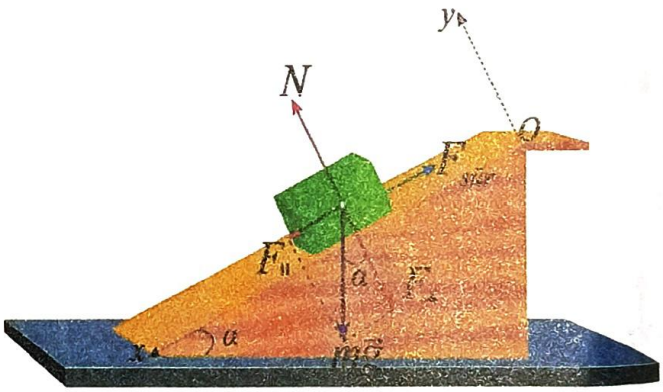
- ***Cisim sükunətdə olarsa və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət edərsə, təcil sıfır olur və sürtünmə qüvvəsi qiymətcə dartı qüvvəsinə bərabər olur:***

$$F_d = F_{sür} = \mu mg$$

- ***Havanın müqavimət qüvvəsi də nəzərə alınarsa:*** $ma = F_d - (F_{sür} + F_{müq})$

§5.5. Cismin mail müstəvidə aşağı doğru hərəkəti.

Cismin mail müstəvidə hərəkəti zamanı ona ağırlıq qüvvəsi, sürtünmə qüvvəsi, dayağın (mail müstəvinin) reaksiya qüvvəsi təsir edir. Bu qüvvələrin qrafiki təsvirinə keçməmiş qeyd edək ki, verilmiş hərəkəti öyrənərkən koordinat sisteminin absis oxunu mail müstəvi üzrə cismin hərəkəti istiqamətində yönəltmək lazımdır. Bu zaman hesablamalar aparmaq daha rahat olur. Bu halda ağırlıq qüvvəsinin ($F_a = mg$) koordinat oxlarına proyeksiyaları aşağıdakı kimi təyin olunur:



1. ***Ox*** *oxu boyunca yönələn və cismi aşağı salmağa çalışan (cismi sürüşdürən) ağırlıq qüvvəsinin paralel toplananı:*

$$F_x = F_{//} = mg\sin\alpha$$

2. ***Oy*** *oxu boyunca yönələn və cismi səthə sıxan ağırlıq qüvvəsinin perpendikulyar toplananı:*

$$F_y = F_{\perp} = mg\cos\alpha$$

Oy oxu istiqamətində hərəkət olmadığından qüvvələrin bu oxa proyeksiyasının vektorial cəmi sıfıra bərabər olmalıdır:

$$N - F_{\perp} = 0$$

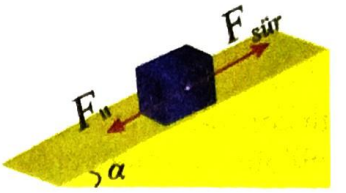
3. *Buradan dayağın reaksiya qüvvəsi və sürtünmə qüvvəsini təyin edək:*

$$N = F_{\perp} = mg\cos\alpha$$

$$F_{sür} = \mu mg\cos\alpha$$

4. Ox oxu istiqamətində qüvvələrin bu oxa proyeksiyalarının vektorial cəmini Nyutonun ikinci qanununa görə yaza bilərik:

$$ma = F_{//} - F_{sür}$$
$$ma = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha$$
$$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$$



Əgər sürtünmə nəzərə alınmazsa mail müstəvidə cismin təcili: $a = g\sin\alpha$ $(\mu = 0)$

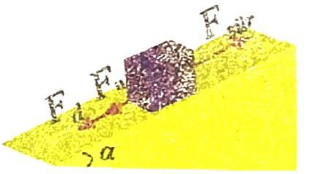
Qeyd: Mail müstəvidə sürüşən cismin təcili kütləsindən asılı deyil !

- Mail müstəvidə cismin hərəkət təcili mail müstəvinin meyl bucağından və sürtünmə qüvvəsinən aslıdır.
  - ✓ *Cisim mail müstəvi üzrə təcillə sürüşərsə* $tg\alpha > \mu$ *olmalıdır.*
  - ✓ $tg\alpha = \mu$ *olarsa cisim mail müstəvi üzrə bərabərsürətlə sürüşər.*
  - ✓ $tg\alpha < \mu$ *olarsa cisim mail müstəvi üzərində sükunətdə qalar.*

5. *Bu halda* ***sükunət sürtünmə*** *qüvvəsi:* $F_{sük.sür} = F_{//} = mg\sin\alpha$

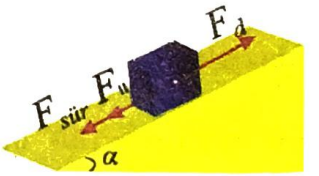
6. *Cisim mail müstəvidə dartı qüvvəsinin təsiri altında bərabərtəcillə aşağı hərəkət etdirilərsə Nyutonun ikinci qanununu aşağıdakı kimi yaza bilərik.*

$$ma = F_d + F_{//} - F_{sür}$$
$$ma = F_d + mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha$$



7. *Yuxarı hərəkət etdirdikdə:*

$$ma = F_d - (F_{//} + F_{sür})$$
$$ma = F_d - (mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha)$$



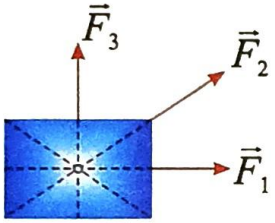
8. *Dartı qüvvəsinin təsiri altında bərabərsürətlə yuxarı hərəkət etdirdikdə* $F_{nə} = 0$, $a = 0$ *olar.*

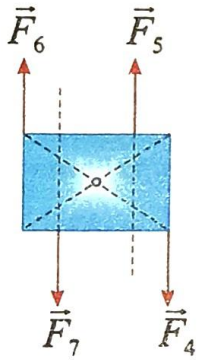
$$0 = F_d - (F_{//} + F_{sür})$$
$$F_d = F_{//} + F_{sür} = mg\sin\alpha + \mu mg\cos\alpha$$

6. STATİKANIN ƏSASLARI.

§6.1. Qüvvənin fırladıcı təsiri. Qüvvə momenti.

Cisim qüvvənin təsiri ilə həm irəliləmə, həm də fırlanma hərəkəti edə bilər. Elə qüvvə cismi irəliləmə hərəkəti etdirir ki, onun təsir xətti fırlanma oxundan keçsin.Məsələn, şəkildəki cismə $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ qüvvələri irəliləmə hərəkəti verir. Qüvvənin təsir xətti fırlanma oxundan keçərsə belə qüvvə cismi fırlada bilməz və bu cisim irəliləmə hərəkəti icra edər. Cismi elə qüvvə fırlada bilər ki, onun təsir istiqaməti fırlanma oxundan keçməsin. Məsələn, $\vec{F}_4$ və $\vec{F}_6$ qüvvələri cismi saat əqrəbi istiqamətində, $\vec{F}_5$ və $\vec{F}_7$ qüvvələri cismi saat əqrəbinin əksi istiqamətində fırladır. Qüvvənin fırladıcı təsiri həm qüvvənin qiymətindən, həm qüvvənin təsir xəttinin fırlanma oxundan olan məsafəsindən asılıdır.





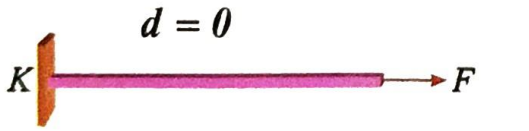
Fırlanma mərkəzindən (oxundan) qüvvənin təsir xəttinə endirilmiş perpendikulyarın uzunluğuna qüvvənin qolu deyilir.

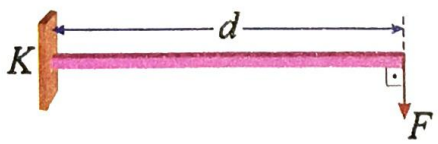
Qüvvənin qolu d *hərfi ilə işarə edilir. BS-də onun vahid* $[d] = 1\,m$ *-dir.*

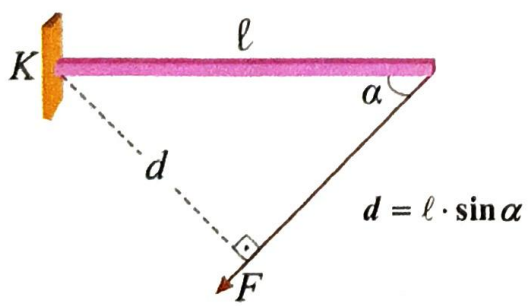
a) $\alpha = 90^\circ$ olarsa, qüvvə qolu d – olar və cisim fırlanma hərəkəti icra edər.

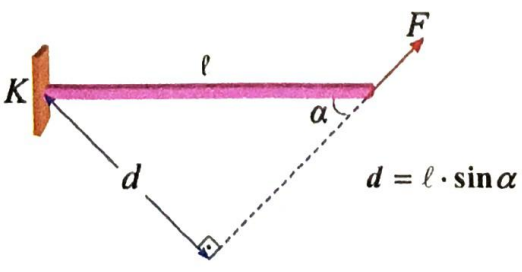
b) Fırlanma oxundan qüvvənin tətbiq nöqtəsinə kimi məsafə (ℓ) ilə F qüvvəsinin istiqaməti arasında qalan bucaq α olarsa, qüvvə qolu $d = \ell \cdot \sin\alpha$ olar.

c) $\alpha = 0^\circ$ və ya $\alpha = 180^\circ$ olarsa, qüvvə qolu sıfıra bərabər olar $(d = 0)$. Bu halda qüvvənin təsir xətti fırlanma oxundan keçər və cisim irəliləmə hərəkəti icra edər.





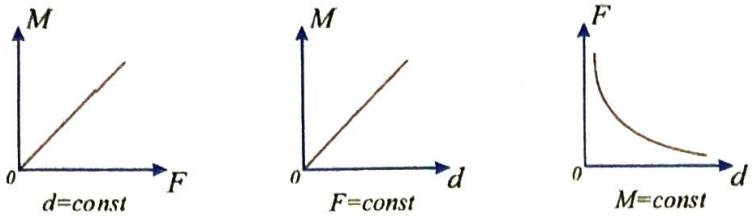




Qüvvənin modulu ilə qüvvə qolunun hasilinə bərabər olan fiziki kəmiyyət qüvvə momenti adlanır. Qüvvə momenti qüvvənin fırladıcı təsirini xarakterizə edir.

$$M = F \cdot d$$

Vahidi: $[M] = 1\,N \cdot m$



a) $\alpha = 90^\circ$ *olduqda,* $\sin 90^\circ = 1$ *olur. Qüvvə momenti:*

$$M = F \cdot d$$

b) Fırlanma oxundan qüvvənin tətbiq nöqtəsinə kimi məsafə (ℓ) *ilə* F *qüvvəsinin istiqaməti arasında qalan bucaq* α *olarsa, qüvvə momenti:*

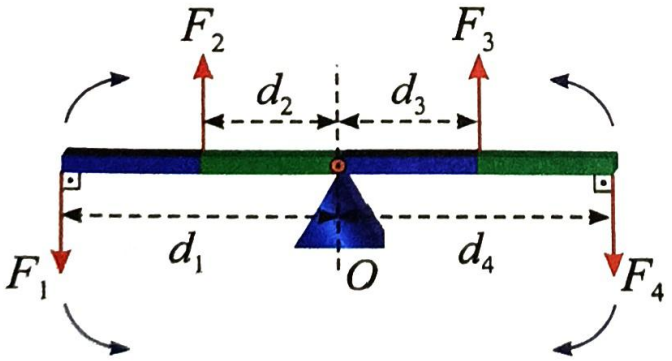
$$M = F \cdot d = F \cdot \ell \cdot \sin\alpha$$

c) $\alpha = 0^\circ$ *və ya* $\alpha = 180^\circ$ *olduqda,* $\sin 0^\circ = 0$ *və* $\sin 180^\circ = 0$ *olur. Qüvvə qolu və qüvvə momenti sıfıra bərabər olar* $(d = 0;\ M = 0)$.

§6.2. Momentlər qaydası. Tarazlığın növləri. Ağırlıq mərkəzi

Statika - mexanikanın bir bölməsi olub, cisimlərin tarazlıq şərtlərini öyrənir. ***Fırlanma hərəkəti edən cismin tarazlıqda olması üçün ona təsir edən qüvvə momentlərinin cəbri cəmi sıfıra bərabər olmalıdır.*** *Bu şərt* ***momentlər qaydası*** *adlanır.* Cismi saat əqrəbinin hərəkət istiqamətinin əksinə fırladan qüvvə momenti müsbət, saat əqrəbinin hərəkəti istiqamətində fırladan qüvvənin momenti isə mənfi qəbul edilmişdir. *Fırlanma hərəkəti edən cismin tarazlıqda qalması üçün, onu saat əqrəbi istiqamətində fırlada bilən qüvvələrin momentləri cəmi, saat əqrəbinin əksinə fırlada bilən qüvvələrin momentləri cəminə bərabər olmalıdır.*

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 0$$

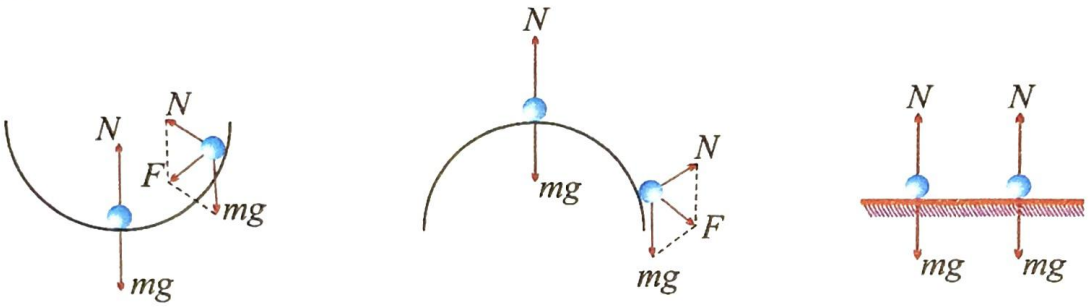


$$M_1 + M_3 = M_2 + M_4$$

$$F_1 d_1 + F_3 d_3 = F_2 d_2 + F_4 d_4$$

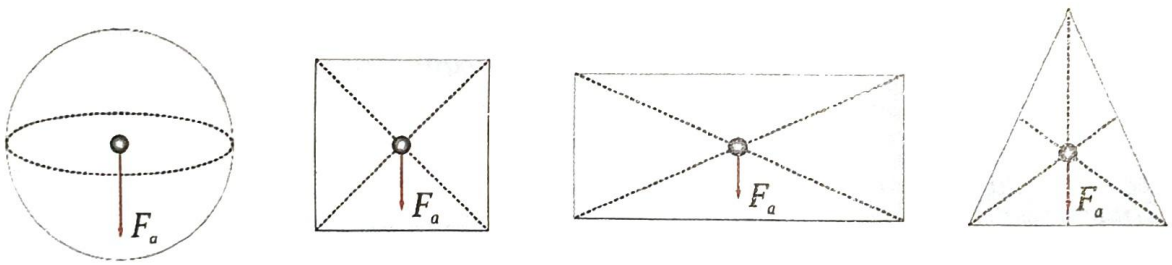
❖ Cisimlərin tarazlığı:

Cisimlərin tarazlığının 3 növü var: ***dayanıqlı, dayanıqsız*** və ***fərqsiz*** tarazlıq.
Tarazlıq vəziyyətindən azacıq çıxarılmış cisim özbaşına əvvəlki vəziyyətinə qayıdarsa, bu növ tarazlıq ***dayanıqlı tarazlıq*** *adlanır. Tarazlıq vəziyyətindən azacıq çıxarılmış cisim özbaşına əvvəlki vəziyyətinə qayıda bilmirsə, belə tarazlığa* ***dayanıqsız tarazlıq*** *deyilir. Cismin tarazlıq vəziyyətindən azacıq meyl etməsi zamanı heç bir qüvvə meydana çıxmırsa belə tarazlıq* ***fərqsiz tarazlıqdır.***



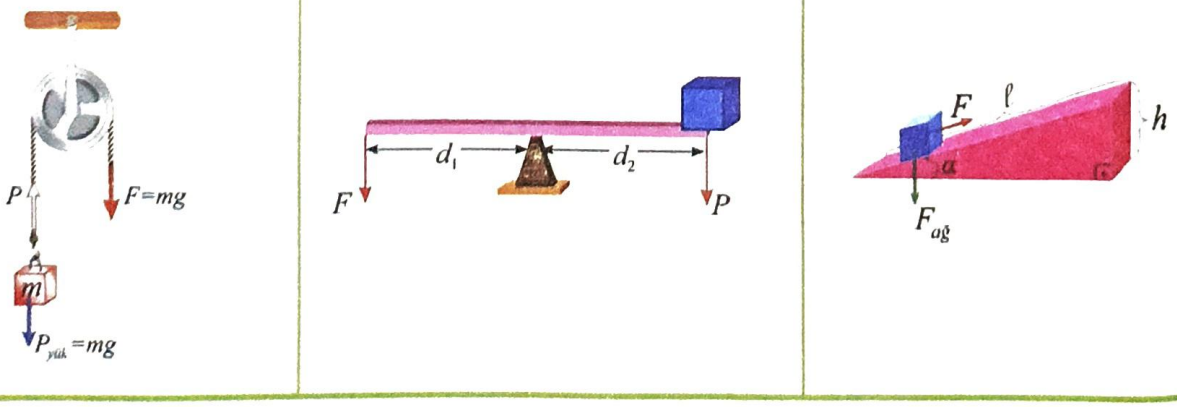
❖ Ağırlıq mərkəzi

Ağırlıq qüvvəsinin tətbiq olunduğu nöqtəyə ağırlıq mərkəzi (kütlə mərkəzi) deyilir. Dayaq sahəsi böyük və ağırlıq mərkəzi mümkün qədər aşağıda olan cisim daha dayanıqlı vəziyyətdə olur. Bircins kürə, kub, kvadrat, düzbucaqlı formalı cisimlər simmetrik olduğundan onların ağırlıq mərkəzi həndəsi mərkəzi ilə üst-üstə düşür. Bircins çubuğun ağırlıq mərkəzi onun ortasında yerləşir.



§6.3. Sadə mexanizmlər. Ling. Tərpənməz blok. Tərpənən blok. Mail müstəvi. Polispast. Mexanikanın qızıl qaydası

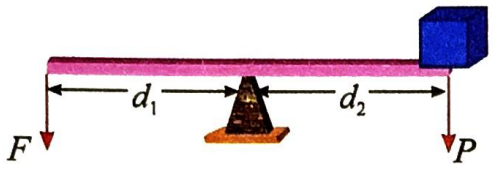
Sadə mexanizmlər qüvvənin qiymət və istiqamətini dəyişmək üçün istifadə olunan qurğulara deyilir.Tərpənməz blok, tərpənən blok, polispast, ling, mail müstəvi, hidravlik pres, dolama çarx sadə mexanizmlərdir.



❖ Ling.

Ling tərpənməz dayaq nöqtəsi ətrafında fırlanan bərk cisimdir. Dayaq nöqtəsinin vəziyyətindən asılı olaraq üç növ ling vardır: ***birinci növ ling , ikinci növ ling, üçüncü növ ling.***

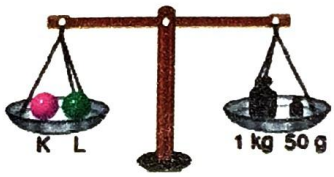
a) Birinci növ ling: Lingin O dayaq nöqtəsi ona təsir edən iki qüvvənin tətbiq nöqtələri arasında yerləşərsə, belə ling birinci növ ling adlanır.





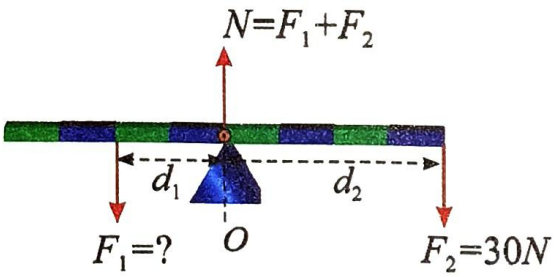






Lingin tarazlıqda qalması üçün qüvvə momentləri bərabər olmalıdır.

$$M_1 = M_2$$
$$F_1 d_1 = F_2 d_2$$
$$F_1 \cdot 2 = 30 \cdot 4$$
$$F_1 = 60N$$



$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$F_1 - in\ qolu \quad d_1 = 2\ sm$

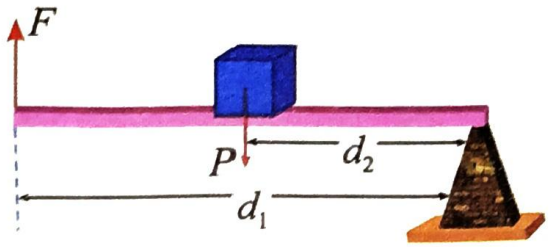
$F_2 - in\ qolu \quad d_2 = 4\ sm$

$$\frac{d_2}{d_1} = n \qquad \frac{F_1}{F_2} = n$$

n – qüvvədə qazancdır.

Lingin qüvvədə qazancını tapmaq üçün böyük qolu kiçik qola və ya böyük qüvvəni kiçik qüvvəyə bölmək lazımdır. Şəkildə verilmiş ***ling qüvvədə 2 dəfə*** qazanc verir.

b) İkinci növ linq: Bu halda lingin *O* dayaq nöqtəsi təsir edən qüvvələrin tətbiq nöqtələrindən bir tərəfdə yerləşir.

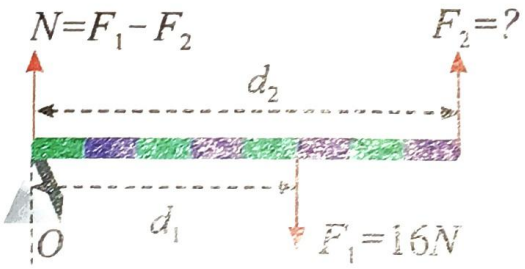




$F_1 d_1 = F_2 d_2$

$16 \cdot 5 = F_2 \cdot 8$

$F_2 = 10N$

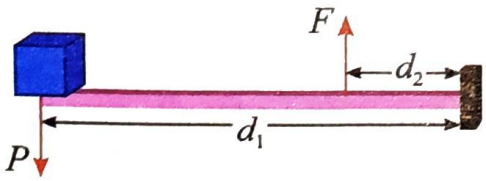


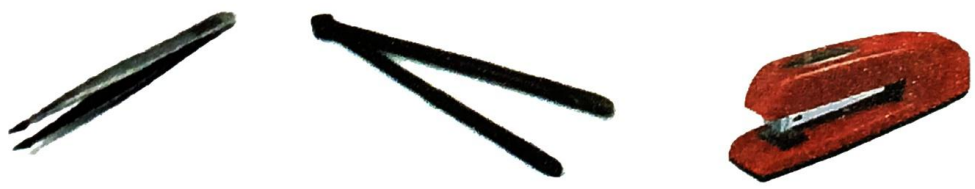
F_1 – in qolu $d_1 = 5\,sm$

F_2 – in qolu $d_2 = 8\,sm$

Bu linq qüvvədə 1,6 dəfə qazanc verir.

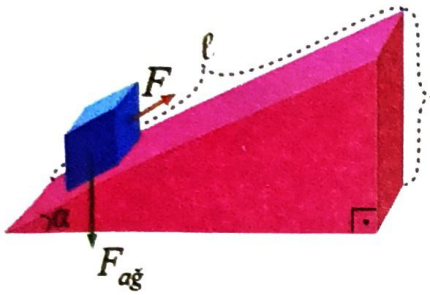
c) Üçüncü növ linq: Bu halda dayaq və yük kənarlarda, qüvvə ortada yerləşir.Üçüncü növ linq qüvvədə qazanc vermir.Qüvvənin təsirini azaltmaq üçün istifadə olunur.





Mail müstəvi.

Mail müstəvi üfüqlə müəyyən bucaq əmələ gətirən səthdir. *Mail müstəvinin uzunluğu hündürlüyündən neçə dəfə böyükdürsə, cismi mail müstəvidə tarazlıqda saxlayan qüvvə də ağırlıq qüvvəsindən bir o qədər dəfə kiçikdir.* ***Mail müstəvinin qüvvədə qazancını tapmaq üçün onun uzunluğunu hündürlüyünə bölmək lazımdır*** . Cismi mail müstəvi ilə sabit sürətlə qaldırmaq üçün lazım olan dartı qüvvəsi (F_d) aşağıdakı kimi tapılır (sürtünmə qüvvəsi nəzərə alınmır).



$$h=\ell\cdot\sin\alpha$$

$$\frac{F_d}{F_{ağ}}=\frac{h}{\ell}$$

$$F_d=F_{ağ}\cdot\sin\alpha=mg\cdot\sin\alpha$$

$$n=\frac{\ell}{h}=\frac{1}{\sin\alpha}$$

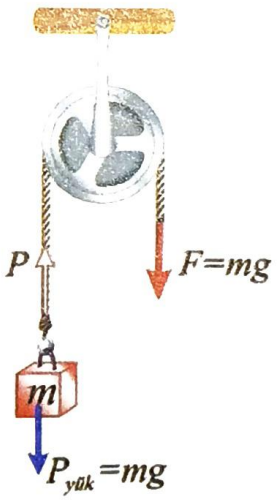
n – qüvvədə qazancdır.

Blok.

Blok çənbəri üzərində nov olan və oxa nəzərən fırlana bilən çarxdır.

a) Tərpənməz blok.

Tərpənməz blok qüvvədə qazanc vermir, ondan qüvvənin istiqamətini dəyişmək üçün istifadə edirlər. Yükü tərpənməz blokla tarazlıqda saxlamaq və ya sabit sürətlə qaldırmaq üçün ipin sərbəst ucuna tətbiq olunan F qüvvəsi cismin çəkisinə bərabər olmalıdır.



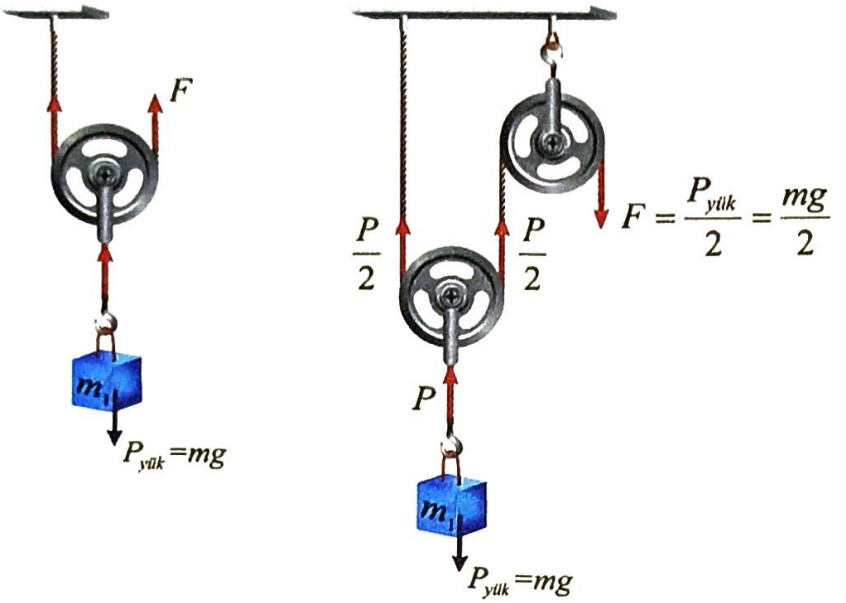
- *Sürtünmə qüvvəsi nəzərə alınmazsa:* $F=P_{yük}=mg$
- *Sürtünmə qüvvəsi nəzərə alınarsa:* $F=P_{yük}+F_{sür}$
- *Cisim bərabər təcillə qaldırılarsa:* $F=m(g+a)$
- *Cisim bərabər təcillə endirilərsə:* $F=m(g-a)$
- *Tərpənməz blokda yükün sürəti, təcili, yerdəyişməsi, ipin sürəti, təcili, yerdəyişməsinə bərabərdir.*

$$h_{yük}=h_{ip}\qquad \vartheta_{yük}=\vartheta_{ip}\qquad a_{yük}=a_{ip}\qquad h_{yük}=\vartheta_{yük}\cdot t$$

b) Tərpənən blok.

Tərpənən blokla (sürtünmə qüvvəsini və blokun çəkisi nəzərə almasaq) qüvvədə 2 dəfə qazanc əldə edilir, yolda isə 2 dəfə itirilir.

Yükü tərpənən blokla tarazlıqda saxlamaq və ya sabit sürətlə qaldırmaq üçün ipin sərbəst ucuna tətbiq olunan F qüvvəsi cismin çəkisinin yarısına bərabər olmalıdır.



Sürtünmə qüvvəsi nəzərə alınmazsa: $F = \frac{P_{yük}}{2} = \frac{mg}{2}$

Sürtünmə qüvvəsi və blokun çəkisi nəzərə alınarsa: $F = \frac{P_{yük} + P_{blok}}{2} + F_{sür}$

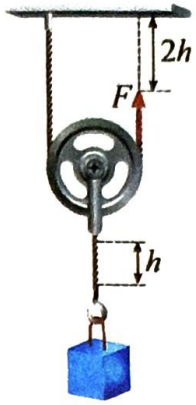
- *Cisim bərabər təcillə qaldırılarsa:* $F = \frac{m(g+a)}{2}$
- *Cisim bərabər təcillə endirilərsə:* $F = \frac{m(g-a)}{2}$
- *Tərpənən blokda ipin sürəti, təcili, yerdəyişməsi, yükün sürəti, təcili yerdəyişməsindən 2 dəfə çoxdur.*

$$h_{ip} = 2h_{yük} \qquad \vartheta_{ip} = 2\vartheta_{yük} \qquad a_{ip} = 2a_{yük} \qquad h_{yük} = \vartheta_{yük} \cdot t$$

Tərpənən blokda ipin aşağı düşməsi zamanı görülən iş yükün yuxarı qalxması zamanı görülən işə bərabərdir.

- ***Heç bir mexanizm işdə qazanc vermir. Qüvvədə neçə dəfə qazanırıqsa, yolda bir o qədər dəfə itiririk. Bu, mexanikanın "qızıl qaydasıdır".***

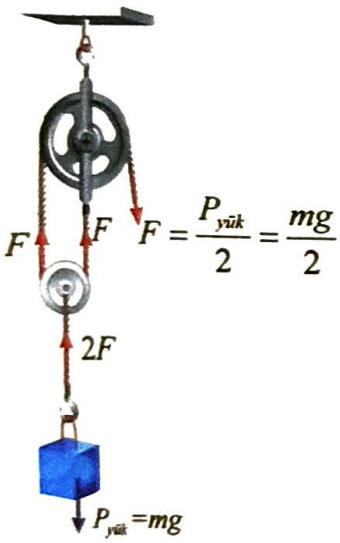
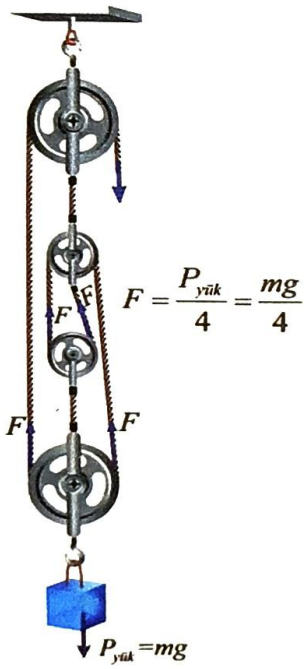
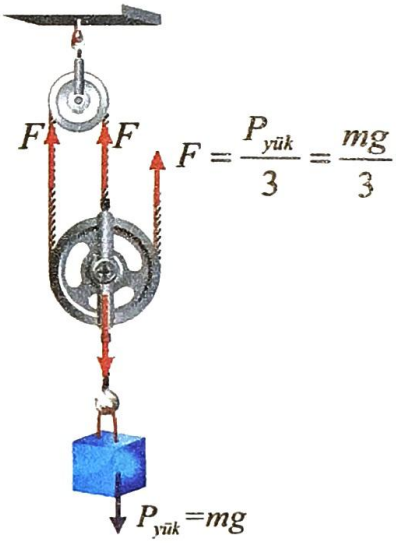
- *Yükü bərabərsürətlə qaldırdıqda ağırlıq qüvvəsinin işi:* $A = mgh_{yük}$
- *Yükün kinetik enerjisi:* $E_k = \frac{m\vartheta_{yük}^2}{2}$
- *Yükün potensial enerjisi dəyişməsi:* $\Delta E_p = mgh_{yük}$
- *Yükün impulsu:* $p = m\vartheta_{yük}$



Polispast

Həm qüvvənin istiqamətini dəyişmək, həm də qüvvədə qazanc əldə etmək üçün praktikada çox vaxt tərpənən blok tərpənməz blokla birlikdə istifadə edilir. *Tərpənməz və tərpənən bloklar sistemindən ibarət sadə mexanizm* ***polispast*** *adlanır.* Bir cüt blokdan (tərpənən və tərpənməz) ibarət polispast qüvvədə 2 dəfə, iki cüt blokdan (iki tərpənməz və iki tərpənən) ibarət polispast qüvvədə 4 dəfə qazanc verir.

Qeyd: Verilən bütün şərtlərdə sürtünmə qüvvəsi və blokun çəkisi nəzərə alınmır.

		
Qüvvədə ***2 dəfə*** *qazanc verir. İp* ***1 m*** *çəkilərsə yük* ***0,5 m*** *yuxarı qalxar.*	*Qüvvədə* ***4 dəfə*** *qazanc verir. İp* ***1 m*** *çəkilərsə yük* ***0,25 m*** *yuxarı qalxar.*	*Qüvvədə* ***3 dəfə*** *qazanc verir. İp* ***1 m*** *çəkilərsə yük* $\frac{1}{3}$ ***m*** *yuxarı qalxar.*

7. İMPULS. QÜVVƏ İMPULSU. İMPULSUN SAXLANMA QANUNU

§7.1. İmpuls. Qüvvə impulsu.

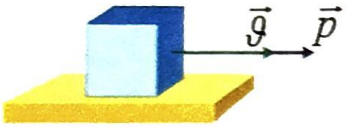


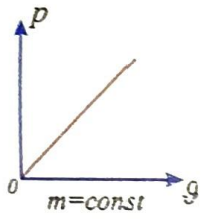


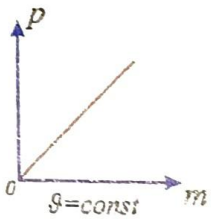
Üzərimizə yavaş gələn bir topu dayandırmaq asan, sürətli gəldikdə isə dayandırmaq çətinləşir. Topun yerinə eyni sürətlə gələn maşın olarsa bilirsiz ki, onu saxlamaq nə qədər çətin olar. Əgər maşını kamazla əvəz etsək onu dayandırmaq daha da çətinləşər. Bu məsələdən aydın olur ki, kütlə və sürət hərəkəti dayandırmaq üçün vacib kəmiyyətlərdir. ***Cismin kütləsi ilə sürətinin hasilinə bərabər olan kəmiyyətə impuls deyilir.*** İmpuls vektorial kəmiyyətdir, onun istiqaməti sürət vektorunun istiqaməti ilə eynidir.

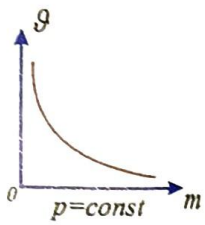
$$\vec{p} = m \cdot \vec{\vartheta}$$

Vahidi: $[p] = 1\dfrac{kq \cdot m}{san}$



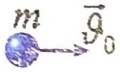






- ***Cisim eyni istiqamətdə hərəkət edərək sürətini dəyişərsə, impulsunun dəyişməsinin modulu:***

$$\Delta p = p - p_0 = m\vartheta - m\vartheta_0$$



əvvəl

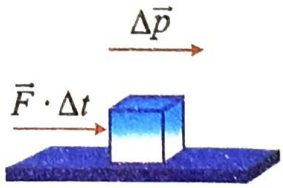


sonra

❖ Qüvvə impulsu.

Bir cismə qüvvə təsir edərsə bilirik ki, təcilli hərəkət edər. Qüvvə cismin sürətini dəyişdirir. Sürətin dəyişməsi impulsun dəyişməsinə səbəb olar. Qüvvə cismə nə qədər uzun zaman təsir edərsə cismin impulsu həmin təsir müddətində artar. Təsir müddəti eyni qalıb, qüvvə çox olarsa yenə impuls artar. ***Qüvvə ilə onun Δt təsir müddətinin hasilinə bərabər olan kəmiyyət qüvvə impulsu adlanır.*** Qüvvə impulsu da vektorial kəmiyyətdir, onun istiqaməti əvəzləyici qüvvə vektorunun(təcilin) istiqaməti üzərinə düşür.

$$\vec{F} \cdot \Delta t$$



Vahidi: $[F \cdot \Delta t] = 1N \cdot san$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{a} \cdot \Delta t = m\frac{\Delta\vec{\vartheta}}{\Delta t} \cdot \Delta t = m\Delta\vec{\vartheta} = m(\vec{\vartheta} - \vec{\vartheta}_0) = m\vec{\vartheta} - m\vec{\vartheta}_0 = \vec{p} - \vec{p}_0 = \Delta\vec{p}$$

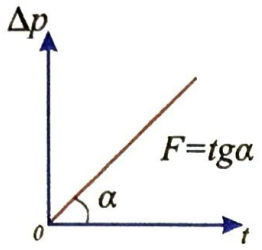
- ***Cismin impulsunun dəyişməsi qüvvə impulsuna bərabərdir.***

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

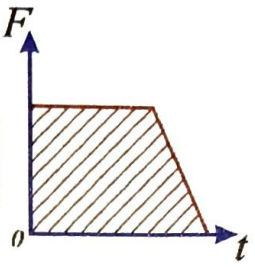
- ***İmpulsun dəyişməsi ədədi qiymətcə fiqurun sahəsinə bərabərdir.*** $\Delta p = S_{fiqur}$
- ***Qüvvə ədədi qiymətcə vahid zamanda cismin impulsunun dəyişməsinə bərabərdir.***

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta \vec{t}}$$

$$F = p'(t)$$



$$\Delta p = S_{fiqur}$$



Məsələ: *Cismin impulsu zamana görə* $p = 2t^2 + 5t$ *qanunu ilə dəyişir.* ***3-cü*** *saniyənin sonunda cismə təsir edən qüvvəni hesablayın.*

Həlli: $F = p'(t) = (2t^2 + 5t)' = 4t + 5 = 4 \cdot 3 + 5 = 17N$

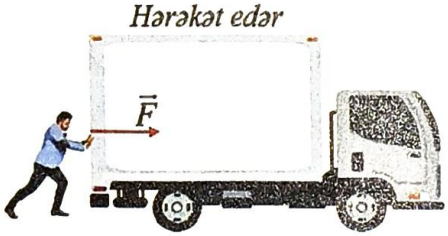
§7.2. İmpulsun saxlanma qanunu.

Bir cismin və ya sistemin impulsu xarici bir qüvvənin təsiri ilə dəyişdirilə bilər. Daxili qüvvələr cisimlər sistemin impulsunu dəyişdirə bilməz. Çünki daxili qüvvələr mütləq əks istiqamətdə bir qüvvənin yaranmasına səbəb olur. *Məsələn,* arabanın içərisində olan oğlan əliylə arabanı F qüvvəsi ilə itələyən zaman əks istiqamətdə ayağı ilə arabanı $-F$ qüvvəsi ilə itəliyər. Əvəzləyici qüvvə sıfır olduğundan araba hərəkət etməz və impulsu dəyişməz.

Hərəkət etməz



Hərəkət edər



Bir cismə və ya sistemə kənardan əks qüvvə təsir etmədikcə impulsu dəyişməz. Kənardan heç bir qüvvə təsir etməyən cisimlər sisteminə ***qapalı sistem*** deyilir. ***Qapalı sistemi təşkil edən cisimlərin impulslarının vektor cəmi sabit qalar.*** **Bu, impulsun saxlanma qanunudur.**

$$\vec{p} = const$$

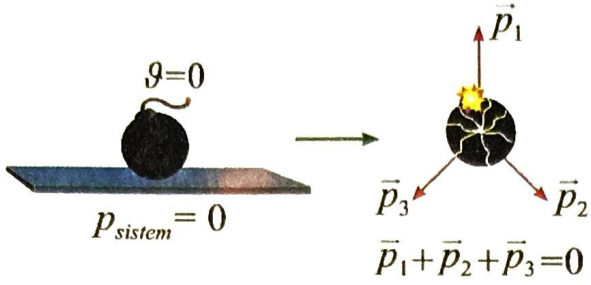
$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \ldots\ldots + \vec{p}_n = const$$

- Partlama və toqquşmalarda cisimə daxili qüvvələr təsir edir. Xarici qüvvələr təsir etmədiyindən partlama və toqquşma anlarında hər bir cismin impulsu dəyişsə də, sistemin impulsu sabit qalır.

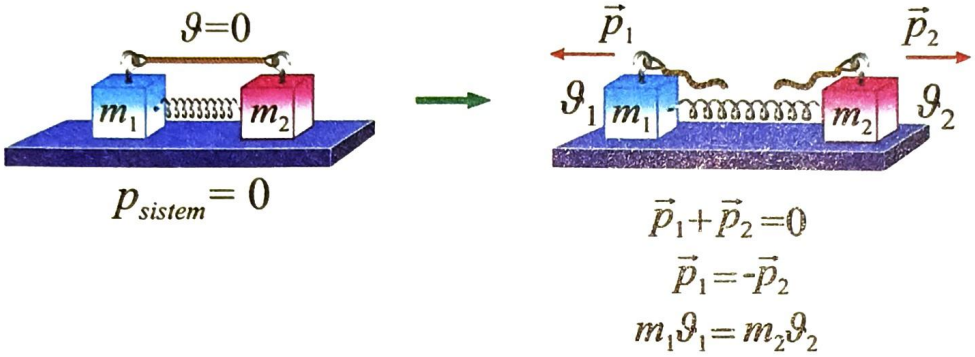
$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$$

$$\vec{p}_{əvvəl} = \vec{p}_{sonra}$$

- İmpulsun saxlanma qanuna görə bombanın partlamadan əvvəlki impulsu, partlamadan sonra parçaların impulslarının vektorial cəminə bərabərdir.

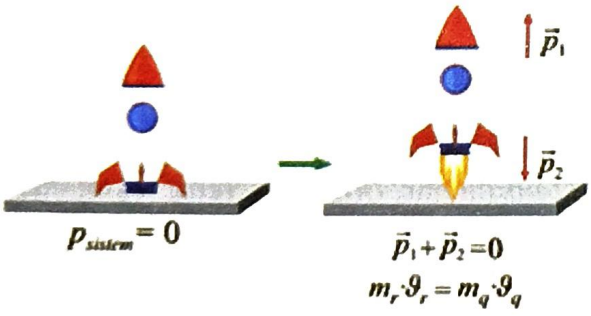


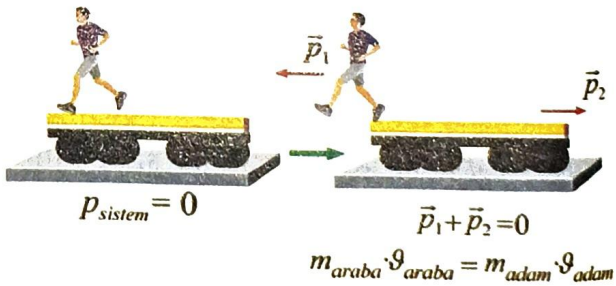
- Sıxılmış yayın uclarındakı cisimləri tutan ip kəsilərsə hərəkət edən cisimlərin impulslarının vektorial cəmi əvvəlki impulsa bərabərdir.

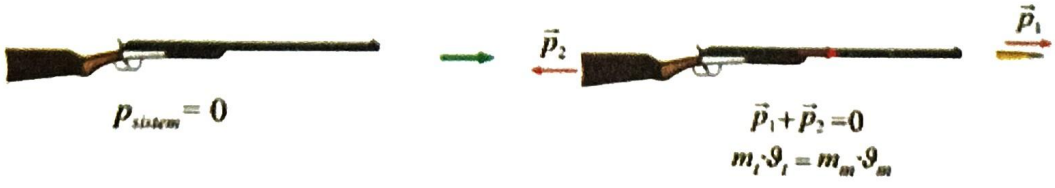


❖ Reaktiv hərəkət.

Cisimdən bir hissə ayrılaraq hərəkət edən zaman onun özünün əks istiqamətdə hərəkət alması ***reaktiv hərəkət*** *adlanır.* Raketlərin hərəkəti,atəş zamanı tüfəngin hərəkətə gəlməsi, adamın qayıqdan tullanan zaman qayığın əks istiqamətdə hərəkətə gəlməsi reaktiv hərəkətdir. Raketlərin hərəkəti zamanı raket yanacağı yandırdıqda qazlar böyük sürətlə xaricə atılır, örtük isə əks istiqamətdə sürət alır:







§7.3. Mütləq elastiki və mütləq qeyri – elastiki toqquşma. Reaktiv hərəkət.

❖ Mütləq elastiki toqquşma.

Toqquşma müddəti çox qısa olduğundan xarici qüvvələr sistemin impulsunu kəskin dəyişə bilmir və bu müddət ərzində sistemi qapalı sistem hesab edə bilərik. Qapalı sistem təşkil edən, kütləsi m_1, sürəti ϑ_1 olan cisim, kütləsi m_2 və sürəti ϑ_2 olan ***cisimlə mütləq elastiki*** toqquşur. Mütləq elastiki toqquşma zamanı cisimlər bir-birinə konservativ qüvvələrlə təsir göstərir və bu səbəbdən enerji itkisi baş vermir və sistemin tam mexaniki enerjisi, impulsu, kinetik enerjisi, daxili enerjisi, temperaturu dəyişmir. Bu zaman impulsun saxlanma qanunu aşağıdakı kimi olar.

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$$

$$m_1\vartheta_{1x} + m_2\vartheta_{2x} = m_1\vartheta_{1x}' + m_2\vartheta_{2x}'$$



$$\frac{m_1\vartheta_1^2}{2} + \frac{m_2\vartheta_2^2}{2} = \frac{m_1\vartheta_1'^2}{2} + \frac{m_2\vartheta_2'^2}{2}$$

ϑ_{1x} və ϑ_{2x} – cisimlərin toqquşmadan əvvəlki sürətləri, ϑ_{1x}' və ϑ_{2x}' – isə toqquşmadan sonrakı sürətləridir. Yuxarıda verilmiş düsturlardan aşağıdakı ifadələri alarıq:

$$\vartheta_{1x}' = \frac{2m_2\vartheta_{2x} + (m_1 - m_2)\cdot\vartheta_{1x}}{m_1 + m_2} \qquad \vartheta_{2x}' = \frac{2m_1\vartheta_{1x} + (m_2 - m_1)\cdot\vartheta_{2x}}{m_1 + m_2}$$

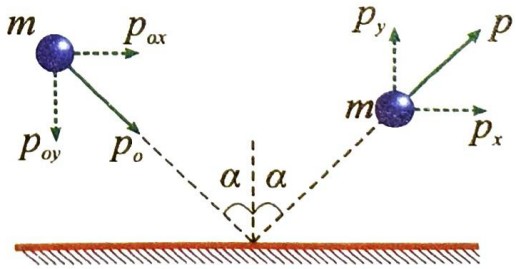
- Elastik polad kürənin tərpənməz polad müstəvi lövhə ilə bucaq altında mütləq elastiki toqquşması zamanı lövhə sürət almırsa, kürənin kinetik enerjisi sabit qalar.

$$\frac{m\vartheta_0^2}{2} = \frac{m\vartheta^2}{2} \text{ buradan } \vartheta = \vartheta_0 \text{ alınır.}$$

Yəni elastik toqquşma zamanı kürənin sürəti yox istiqaməti dəyişir.

$$p_{0x} = m\vartheta_0 \sin\alpha \qquad p_x = m\vartheta\sin\alpha$$
$$\Delta p_x = p_x - p_{0x} = m\vartheta\sin\alpha - m\vartheta_0\sin\alpha = 0$$

$$p_{0y} = m\vartheta_0\cos\alpha \qquad p_y = m\vartheta\cos\alpha$$
$$\Delta p_y = p_y - p_{0y} = p_y - (-p_y) = 2p_y = 2m\vartheta\cos\alpha$$



❖ Mütləq qeyri – elastiki toqquşma.

1. Kütləsi m_1 , sürəti ϑ_1 olan cisim , eyni istiqamətdə hərəkət edən kütləsi m_2 və sürəti ϑ_2 olan cisimlə mütləq qeyri – elastiki toqquşur. Qeyri – elastiki toqquşmadan sonra cisimlər birləşərək bir cisim kimi hərəkət edir. İmpulsun saxlanma qanununu tətbiq etsək, cisimlərin zərbədən sonrakı sürəti:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$$

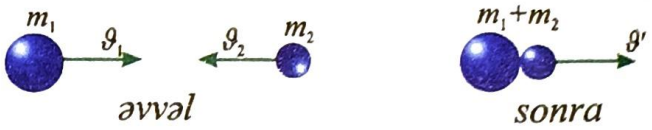
$$m_1\vartheta_1 + m_2\vartheta_2 = (m_1 + m_2)\vartheta'$$



$$\vartheta' = \frac{m_1\vartheta_1 + m_2\vartheta_2}{m_1 + m_2}$$

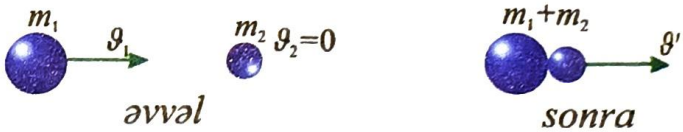
2. Toqquşmaya qədər cisimlər qarşı-qarşıya hərəkət edirlərsə, toqquşmadan sonra hər iki cisim impulsu böyük olan cismin hərəkəti istiqamətində eyni sürətlə, eyni istiqamətdə hərəkət edər. Bu halda toqquşmaya qədər cisimlərin impulsları eyni olarsa toqquşmadan sonra dayanarlar.

$$\vartheta' = \frac{|m_1\vartheta_1 - m_2\vartheta_2|}{m_1 + m_2}$$



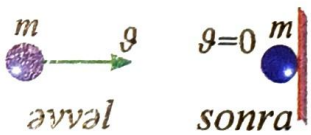
3. Toqquşmaya qədər cisimlərdən biri sükunətdə olarsa, toqquşmadan sonrakı sürəti:

$$\vartheta' = \frac{m_1\vartheta_1}{m_1 + m_2}$$



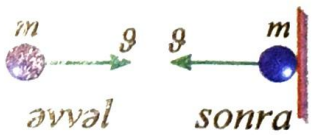
- *Cisim düz xətt istiqamətində ϑ sürətilə hərəkət edərək tərpənməz divarla qeyri-elastiki (plastik) toqquşan zaman impulsunun dəyişməsinin modulu:*

$$\Delta p = m\vartheta$$



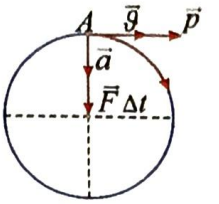
- *Cisim düz xətt istiqamətində ϑ sürətilə hərəkət edərək tərpənməz divarla mütləq elastiki toqquşan zaman impulsunun dəyişməsinin modulu:*

$$\Delta p = |p_2 - p_1| = |m\vartheta - (-m\vartheta)| = 2m\vartheta$$



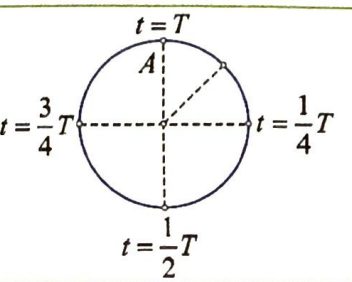
❖ Çevrə üzrə hərəkətdə impuls və impuls dəyişməsi.

Çevrə üzrə hərəkətdə impuls vektoru sürət vektoru istiqamətində, qüvvə impulsu vektoru isə əvəzləyici qüvvə vektoru istiqamətində yönəlir. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət zamanı xətti sürətin bütün düsturlarını impulsun ifadəsində nəzərə almaq olar.



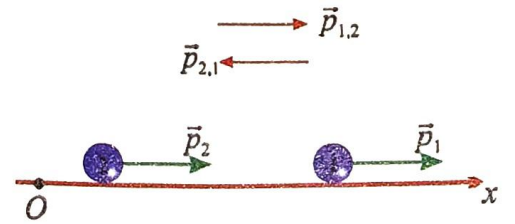
$$p = m\vartheta = \frac{2\pi R}{T} m = 2\pi n R m = \omega R m$$

- **Çevrə üzrə A nöqtəsindən hərəkət edən cismin impuls dəyişməsinin modulu:**

$\Delta t = \frac{1}{4}T; \frac{3}{4}T; \frac{5}{4}T$	$\Delta t = \frac{1}{2}T; \frac{3}{2}T$	$\Delta t = \frac{1}{6}T$	$\Delta t = T \cdot N$	
$\Delta p = \sqrt{2}p = \sqrt{2}m\vartheta$	$\Delta p = 2p = 2m\vartheta$	$\Delta p = p = m\vartheta$	$\Delta p = 0$	

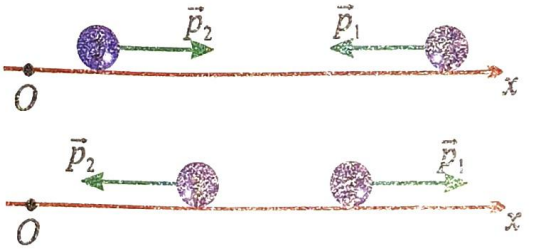
❖ Cisimlərin bir – birinə nəzərən impulsu:

1. İki cisim bir düz xətt üzrə eyni istiqamətdə hərəkət edərsə, onların bir-birinə nəzərən nisbi impulslarının modulu $(\vartheta_1 > \vartheta_2)$ *:*



$$p_{1,2} = m_1\vartheta_{1,2} = m_1|\vartheta_1 - \vartheta_2|$$
$$p_{2,1} = m_2\vartheta_{2,1} = m_2|\vartheta_2 - \vartheta_1|$$

2. Cisimlər bir düz xətt üzrə əks istiqamətlərdə və ya qarşı-qarşıya hərəkət edərsə, onların bir-birinə nəzərən nisbi impularının modulu:



$$p_{1,2} = m_1\vartheta_{1,2} = m_1(\vartheta_1 + \vartheta_2)$$
$$p_{2,1} = m_2\vartheta_{2,1} = m_2(\vartheta_2 + \vartheta_1)$$

❖ Sistemin impulsu:

Sistemin impulsu cisimlərin ayrı-ayrı impulslarının proyeksiyalarının cəminə bərabərdir.



$$p = p_{1x} + p_{2x} = 2m\vartheta + 2m\vartheta = 4m\vartheta$$



$$p = p_{1x} + p_{2x} = -2m\vartheta + 2m\vartheta = 0$$

8. ENERJİ. ENERJİNİN SAXLANMA QANUNU.

§ 8.1. Mexaniki enerji.

Enerji cismin iş görmə qabilliyyətini xarakterizə edən skalyar fiziki kəmiyyətdir. *E – hərfi ilə işarə edilir, BS – də vahidi Couldur. Mexaniki enerjinin iki növü var:* ***kinetik və potensial.*** $[E] = 1C = \frac{kq \cdot m^2}{san^2}$

$\frac{E_K}{E_P} = \frac{H-h}{h}$

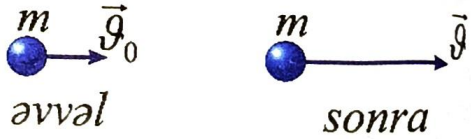
❖ Kinetik enerji.

Hərəkət nəticəsində cismin malik olduğu enerji kinetik enerji adlanır. Kinetik enerji cismin kütləsindən və sürətindən asılıdır. Cismin kinetik enerjisi müsbət skalyar kəmiyyətdir.

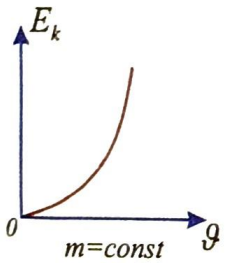
$E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} \Rightarrow \vartheta = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}$	$E_k = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p = \sqrt{2E_k m}$	$E_k = \frac{p\vartheta}{2} \Rightarrow p = \frac{2E_k}{\vartheta}$

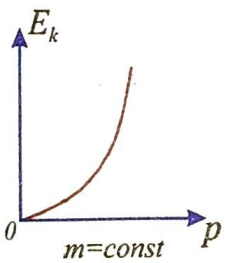
- **Cismin kinetik enerjisinin dəyişməsi:**

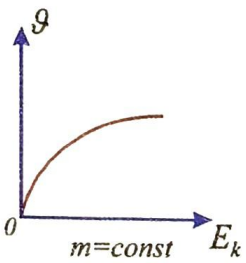
$$\Delta E_k = E_k - E_{k0} = \frac{m\vartheta^2}{2} - \frac{m\vartheta_0^2}{2} = \frac{m}{2}(\vartheta^2 - \vartheta_0^2)$$

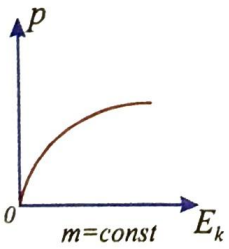


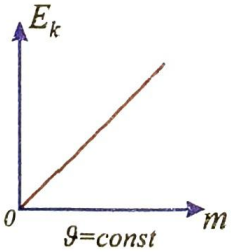
$\frac{2E_k}{R}$

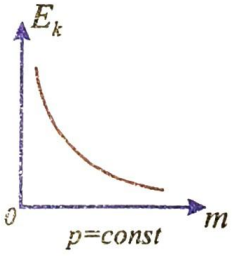












- **Çevrə üzrə hərəkətdə kinetik enerji düsturları:**

$$E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{m\omega^2 R^2}{2} = 2\pi^2 n^2 R^2 m = \frac{2\pi^2 R^2}{T^2} m$$

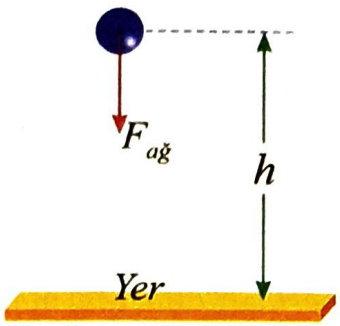
$$F_m = \frac{m\vartheta^2}{R} = \frac{2E_k}{R}$$

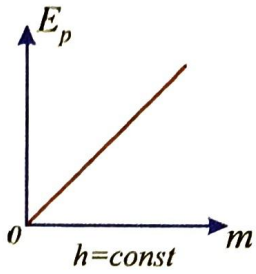
Potensial enerji.

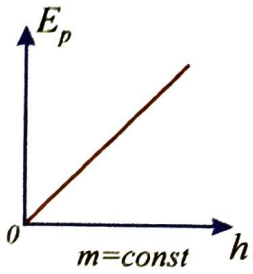
Cisimlərin və ya eyni bir cismin hissələrinin qarşılıqlı vəziyyəti ilə müəyyən olunan enerji potensial enerji adlanır. Potensial enerjini iki halına baxaq: ***cismin potensial enerjisi, yayın potensial enerjisi.***

- **Cismin potensial enerjisi:** Yer səthindən müəyyən hündürlükdəki cisim potensial enerjiyə malikdir, çünki o Yerlə qarşılıqlı təsirdədir. Potensial enerjinin qiyməti sıfır səviyyəsinin seçilməsindən asılıdır. Cisim sıfır səviyyəsindən aşağıda yerləşərsə onun potensial enerjisi mənfi, yuxarıda yerləşərsə müsbət olur. Yer səthindən h hündürlükdə olan cismin potensial enerjisi belə təyin olunur:

$$E_p = mgh$$

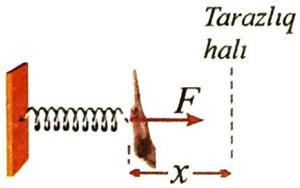




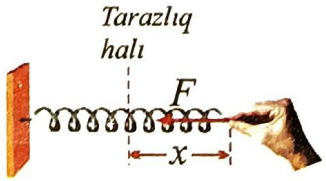


- **Elastik deformasiya olunmuş yayın potensial enerjisi:**

Uzanmış və ya sıxılmış yay potensial enerjiyə malik olur. Yayın potensial enerjisi yayın uzanmasından və sıxılmasından kvadratik düz asılıdır.

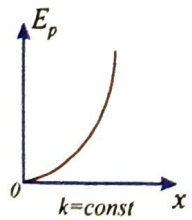


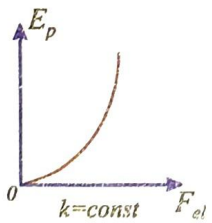
Sıxılmış yay əlimizi kənarlara doğru itələyər

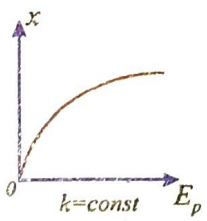


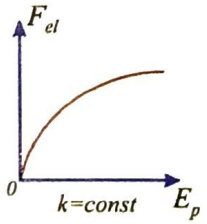
Uzanmış yay əlimizi içəri doğru çəkər

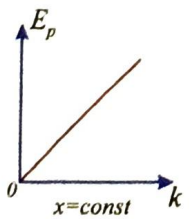
$E_p = \frac{kx^2}{2} \Rightarrow x = \sqrt{\frac{2E_p}{k}}$	$E_p = \frac{F_{el}^2}{2k} \Rightarrow F_{el} = \sqrt{2E_p k}$	$E_p = \frac{F_{el} \cdot x}{2} \Rightarrow F_{el} = \frac{2E_p}{x}$

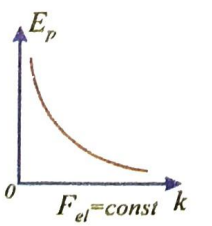








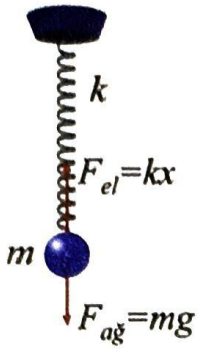


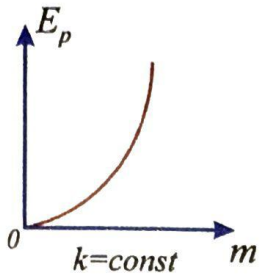


• *Əgər yaydan* m *kütləli yük asılarsa, bu zaman yayın potensial enerjisi yaydan asılan cismin kütləsinin kvadratı ilə düz mütənasibdir (sükunət və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət halında). Yəni, verilmiş sərtlikli yaydan asılmış cismin kütləsini 3 dəfə artırdıqda yayın potensial enerjisi 9 dəfə artar.*

$$F_{el} = F_{ağ} = mg$$

$$E_p = \frac{F_{el}^2}{2k} = \frac{m^2 g^2}{2k}$$





§ 8.2. Tam mexaniki enerji. Mexaniki enerjinin saxlanma qanunu. Enerji çevrilmələri.

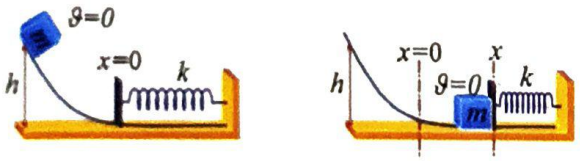
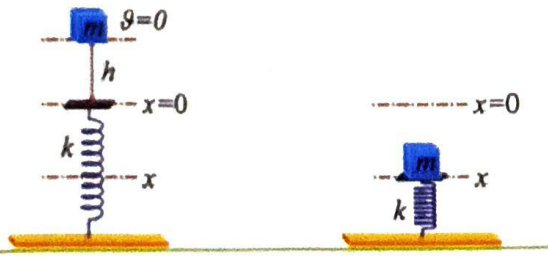
Cisimlər sisteminin kinetik və potensial enerjiləri cəmi tam mexaniki enerji adlanır:

$$E_T = E_k + E_p$$

Qapalı konservativ sistemin tam mexaniki enerjisi sabit qalır. $E_T = const$

Bu, mexanikada enerjinin saxlanma qanunudur. ***Yəni, kinetik enerji nə qədər artarsa, potensial enerji bir o qədər azalar.***

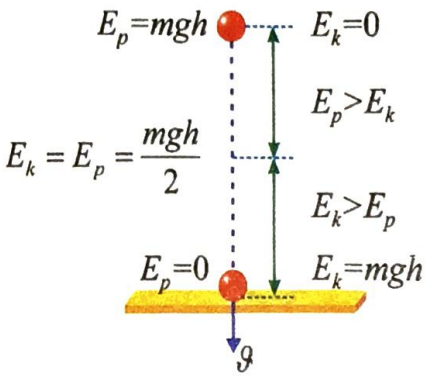
❖ ***Yayda yaranan bəzi enerji çevrilmələri şəkildəki kimi olar (sürtünmə nəzərə alınmır):***

1.		$E_{k\,cisim} = E_{p\,yay}$ $\quad \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{kx^2}{2}$
2.		$E_{p\,yay} = E_{k\,cisim}$ $\quad \frac{kx^2}{2} = \frac{m\vartheta^2}{2}$
3.		$E_{p\,cisim} = E_{p\,yay}$ $\quad mgh = \frac{kx^2}{2}$
4.		$E_{p\,cisim} = E_{p\,yay}$ $\quad mg(h+x) = \frac{kx^2}{2}$

❖ Ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında hərəkətlərdə enerji çevrilməsi:

1. Cisim h hündürlüyündən şaquli istiqamətdə sərbəst düşür:

Cisim yerə doğru yaxınlaşdıqca potensial enerjisi azalır, kinetik enerjisi artır (tam mexaniki enerjisi dəyişmir), yerə dəyən anda potensial enerji sıfır olur, kinetik enerji tam mexaniki enerjiyə bərabər olur və maksimum qiymətini alır. Bu zaman tam mexaniki enerjinin saxlanma qanununu aşağıdakı kimi yaza bilərik:

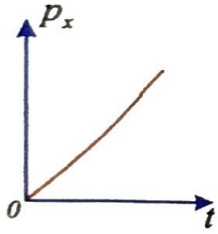


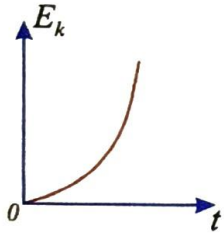
$$mgh=\frac{m\vartheta^2}{2}$$

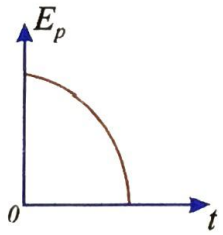
$$\vartheta=\sqrt{2gh}=gt \qquad p=mgt=m\sqrt{2gh} \qquad E_k=\frac{m\vartheta^2}{2}=\frac{mg^2t^2}{2}$$

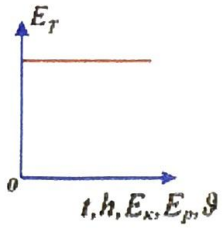
$$E_T=E_k+E_p$$
$$E_p=E_T-E_k$$

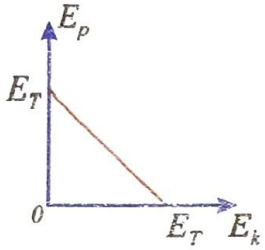
Sərbəst düşən cismin potensial enerjisi ***30C azalarsa****, kinetik enerjisi* ***30C artar,*** *tam mexaniki enerjisi dəyişməz.*







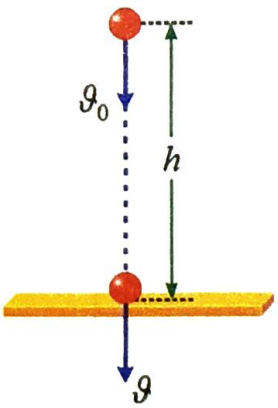




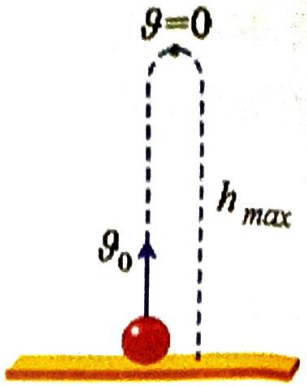
2. Cisim başlanğıc sürətlə şaquli istiqamətdə aşağı atılmışdır:

Bu hərəkətdə cisim atıldığı an həm kinetik, həm də potensial enerjiyə malik olur. Aşağı düşdükcə itirdiyi potensial enerji kinetik enerjiyə çevrilir. Yerə çatan anda potensial, enerjinin hamısı kinetik enerjiyə çevrilir. Bu zaman tam mexaniki enerjinin saxlanma qanununu aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\frac{m\vartheta_0^2}{2}+mgh=\frac{m\vartheta^2}{2}$$

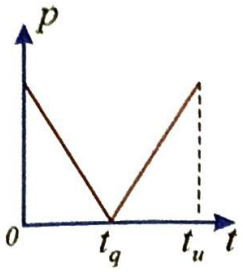


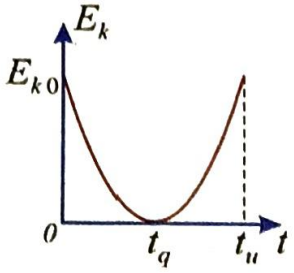
3. Cisim şaquli istiqamətdə yuxarı atılıb:

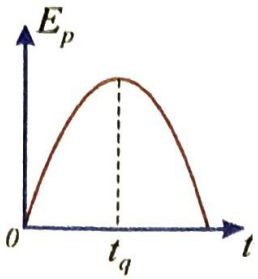


Atılan anda cisim kinetik enerjiyə malikdir, potensial enerjisi yoxdur. Yuxarı qalxdıqca kinetik enerji potensial enerjiyə çevrilir. Təpə nöqtəsində potensial enerji maksimum, kinetik enerji sıfır olur. Sonra potensial enerji kinetik enerjiyə çevrilir. Bu hərəkətdə tam mexaniki enerjinin saxlanma qanununu aşağıdakı kimi yaza bilərik:

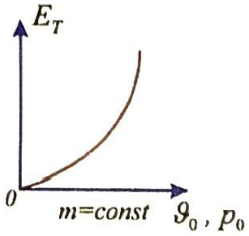
$$\frac{m\vartheta_0^2}{2} = mgh_{max} \qquad \vartheta_0 = gt_q \qquad p_0 = mgt_q \qquad E_{k0} = \frac{mg^2t_q^2}{2}$$

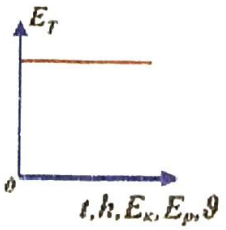






$$E_T = \frac{m\vartheta_0^2}{2} = \frac{p_0^2}{2m} = \frac{p_0\vartheta_0}{2} = mgh_{max}$$

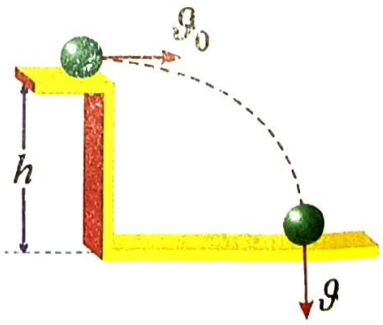




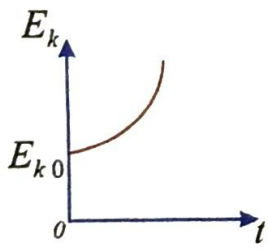
4. Cisim h hündürlükdən üfüqə atılıb:

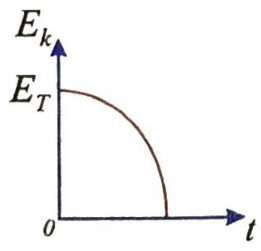
Bu hərəkətdə cisim atıldığı an həm kinetik, həm də potensial enerjiyə malik olur. Aşağı düşdükcə potensial enerji kinetik enerjiyə çevrilir. Yerə çatan anda potensial enerjinin hamısı kinetik enerjiyə çevrilir. Bu zaman tam mexaniki enerjinin saxlanma qanununu aşağıdakı kimi yaza bilərik:

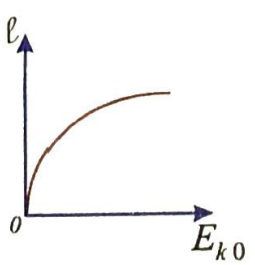
$$\frac{m\vartheta_0^2}{2} + mgh = \frac{m\vartheta^2}{2}$$

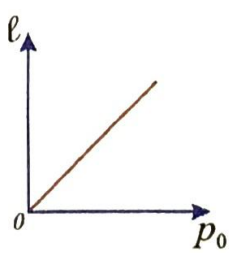


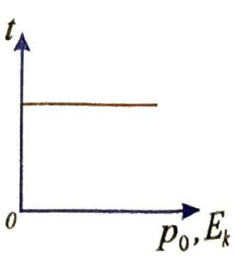
Uçuş məsafəsinin düsturu: $\ell = \vartheta_0\sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{p_0}{m}\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{4E_{k0}\cdot h}{mg}}$









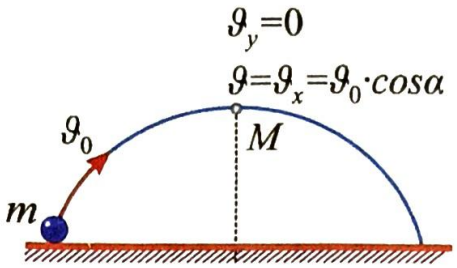


5. Cisim üfüqə bucaq altında atılmışdır:

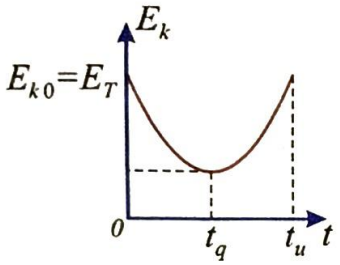
Cisim atılan anda potensial enerji sıfır olduğundan kinetik enerji tam mexaniki enerjiyə bərabər olur və maksimal qiymətini alır ($E_{k\,mak} = E_T$). *Yuxarı doğru qalxdıqca kinetik enerji azalır, potensial enerji artır, ən yüksək nöqtədə* (*M* *nöqtəsində*) *kinetik enerji minimum olub, sıfırdan fərqlidir, potensial enerji maksimum qiymətini alar. Cisim üfüqə* $\alpha = 45^\circ$ *bucaq altında atılarsa ən yüksək nöqtədən keçdikdə* $E_{k\,min} = E_{p\,mak}$ *olar.*

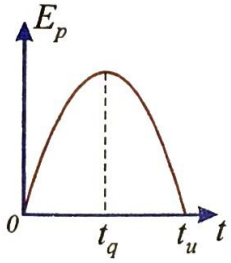
$$E_{k\,min} = E_T \cos^2\alpha = \frac{m\vartheta_0^2 \cdot \cos^2\alpha}{2} = \frac{m\vartheta_{0x}^2}{2}$$

$$E_{p\,mak} = E_T \sin^2\alpha = \frac{m\vartheta_0^2 \cdot \sin^2\alpha}{2} = \frac{m\vartheta_{0y}^2}{2}$$



Ən yüksək nöqtədə (**M** *nöqtəsində) cismin impulsu* ($\vartheta_y = 0$): $p = m \cdot \vartheta = m\vartheta_0 \cos\alpha$

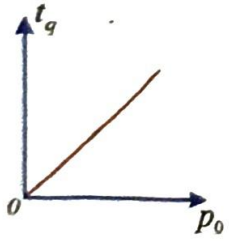


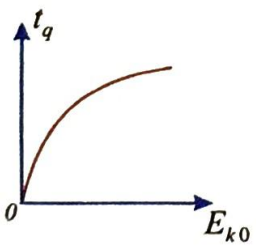


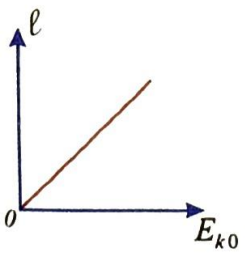
$$h_{mak} = \frac{\vartheta_0^2 \sin^2\alpha}{2g} = \frac{E_{k0} \sin^2\alpha}{mg} = \frac{p_0^2 \sin^2\alpha}{2m^2 g}$$

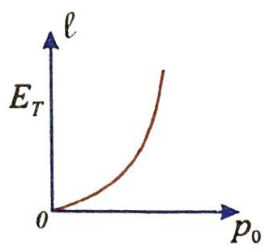
$$t_{qalx} = \frac{\vartheta_0 \sin\alpha}{g} = \sqrt{\frac{2E_{k0}}{m}} \cdot \frac{\sin\alpha}{g} = \frac{p_0 \sin\alpha}{mg}$$

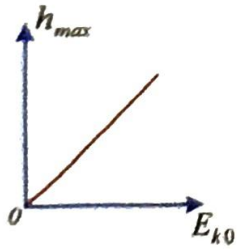
$$\ell = \frac{\vartheta_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{2E_{k0} \sin 2\alpha}{mg} = \frac{p_0^2 \sin 2\alpha}{m^2 g}$$

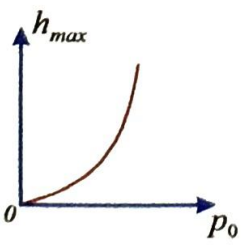




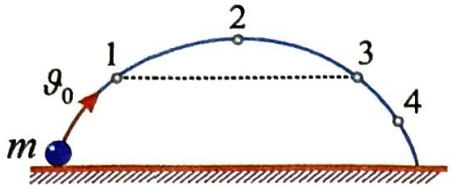








- Cisim üfüqə bucaq altında atılarsa 1,2,3 və 4 nöqtələrində aşağıdakı münasibətlər doğrudur.



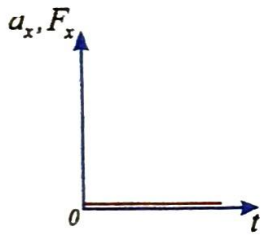
$\vartheta_{1x} = \vartheta_{2x} = \vartheta_{3x} = \vartheta_{4x}$ $\quad$ $\vartheta_{4y} > \vartheta_{1y} = \vartheta_{3y} > \vartheta_{2y}$ $\quad$ $\vartheta_4 > \vartheta_1 = \vartheta_3 > \vartheta_2$

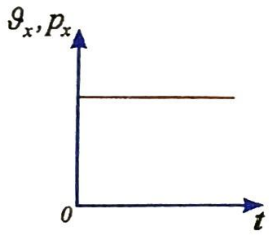
$E_{4k} > E_{1k} = E_{3k} > E_{2k}$ $\quad$ $E_{4p} < E_{1p} = E_{3y} < E_{2p}$ $\quad$ $p_4 > p_1 = p_3 > p_2$

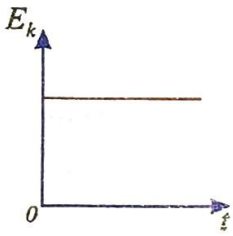
$a_4 = a_1 = a_3 = a_2$ $\quad$ $F_4 = F_1 = F_3 = F_2$

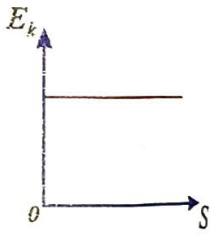
❖ Üfüqi istiqamətdə hərəkətlərdə kinetik enerji – zaman qrafikləri:

1. Cisim üfüqi istiqamətdə düzxətli bərabərsürətli hərəkət edir: $(E_p = const)$





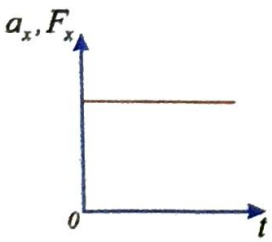


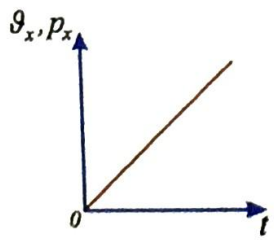


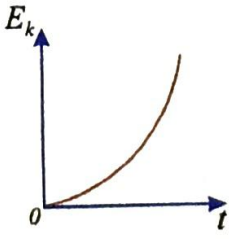
2. Cisim üfüqi istiqamətdə bərabəryeyinləşən hərəkət edir: $(E_p = const)$

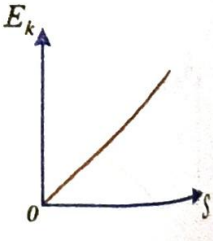
$$\vartheta = \vartheta_0 + at \qquad E_k = \frac{m}{2}(\vartheta_0 + at)^2$$

$\vartheta_0 = 0$ olarsa, $\vartheta = at$ $\quad$ $p = mat$ $\quad$ $E_k = \dfrac{ma^2t^2}{2}$ $\quad$ $E_k = maS$



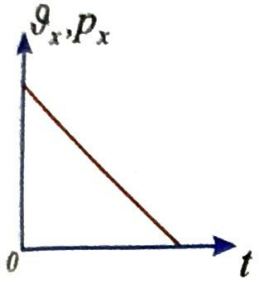


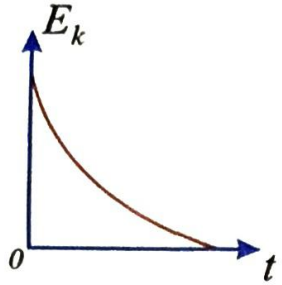


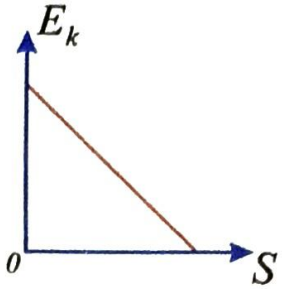


3. Cisim üfüqi istiqamətdə bərabəryavaşıyan hərəkət edir :

$$\vartheta = \vartheta_0 - at \qquad E_k = \frac{m}{2}(\vartheta_0 - at)^2$$

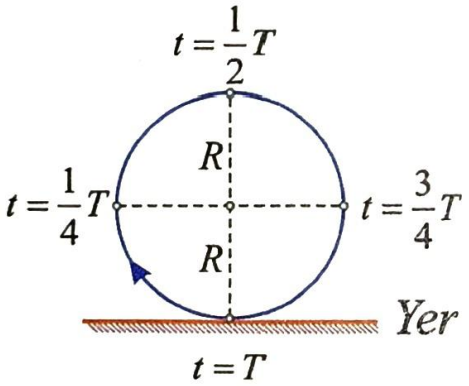






❖ **Cismin R radiuslu şaquli müstəvidə çevrə boyunca bərabərsürətli hərəkət etdikdə potensial və kinetik enerjilərinin dəyişmələri.**

*Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə kinetik enerji həmişə sabit qalır ($E_k = const$) və bütün hallarda kinetik enerji dəyişməsi sıfıra bərabərdir (cisim **t=0** başlanğıc anda trayektoriyanın ən aşağı nöqtəsindədir, **E_p=0**).*

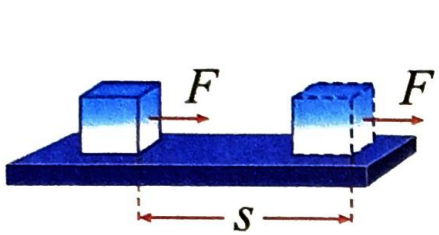


$t = \frac{1}{4}T \quad h = R$	$t = \frac{1}{2}T \quad h = 2R$	$t = \frac{3}{4}T \quad h = R$	$t = T \quad h = 0$
$\Delta E_p = mgR$ $\Delta E_k = 0$	$\Delta E_p = 2mgR$ $\Delta E_k = 0$	$\Delta E_p = mgR$ $\Delta E_k = 0$	$\Delta E_p = 0$ $\Delta E_k = 0$

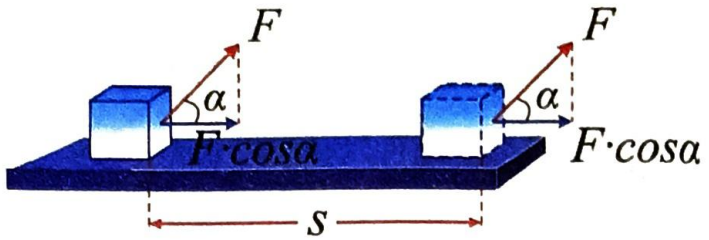
9. MEXANİKİ İŞ. GÜC

§9.1. Mexaniki iş.

Sabit qüvvənin gördüyü mexaniki iş, qüvvə ilə yerdəyişmənin modulları və onlar arasındakı bucağın kosinusu hasilinə bərabərdir: *Vahidi:* $[A] = 1C = 1N \cdot m$

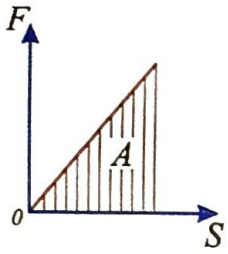


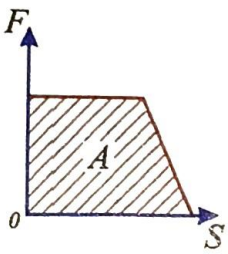
$A = F \cdot s$

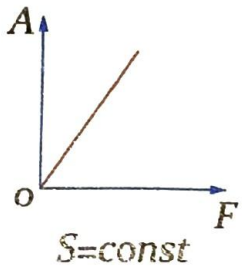


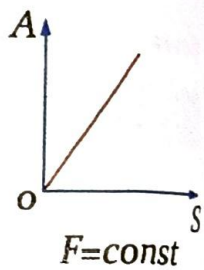
$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha$

$A = S_{fiqur}$







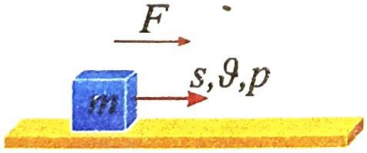


Burada F – qüvvənin modulu, s – yerdəyişmənin modulu, α – qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları arasındakı bucaqdır. Mexaniki iş skalyar kəmiyyətdir, müsbət və mənfi qiymətlər ala bilər. İşin işarəsi qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları arasındakı bucaqdan asılı olaraq dəyişir.

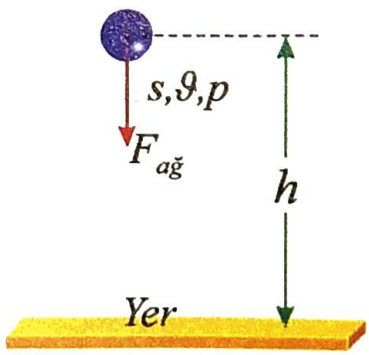
❖ Xüsusi hallarda mexaniki işin düsturuna baxaq:

1. ***Qüvvə ilə yerdəyişmə eyni istiqamətdə yönələrsə*** $(\alpha = 0^\circ)$***, bu halda*** $(\cos 0^\circ = 1)$ ***olur və görülən iş maksimum olur.***

- *Dartı qüvvəsi bütün hallarda yerdəyişmə ilə eyni istiqamətdə yönəldiyindən həmişə müsbət iş görür.*
- h *– hündürlüyündən sərbəst düşən cismin ağırlıq qüvvəsinin gördüyü iş müsbət olur.*



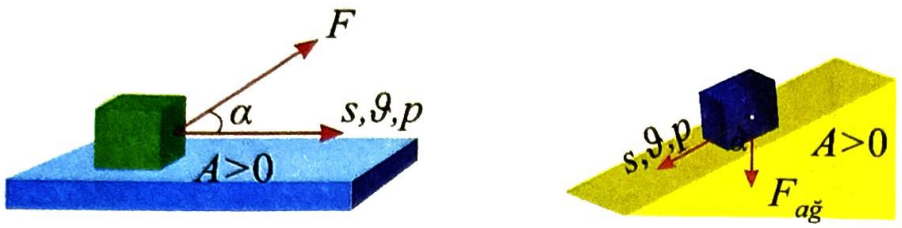
$A = F \cdot s$



$A = F_{ağ} \cdot s = mgh$

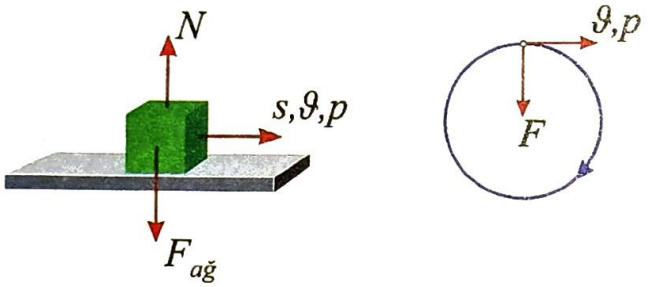
2. Əgər qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları arasındakı bucaq iti bucaq olarsa ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$), bu halda $\cos\alpha > 0$ olur və qüvvənin gördüyü iş müsbət olur.

- *Cisim meyl bucağı α olan mail müstəvi üzərində aşağı düşərsə, ağırlıq qüvvəsi müsbət iş görür.*



3. Qüvvə ilə yerdəyişmə perpendikulyar olarsa ($\alpha = 90^\circ$), bu halda $\cos 90^\circ = 0$ olur və görülən iş $A = 0$ olur.

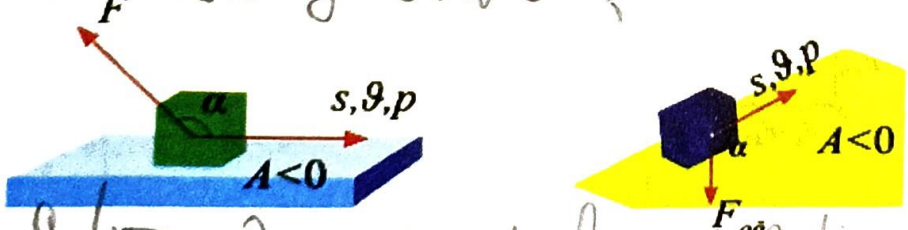
- *Üfüqi səthdə və mail müstəvidə dayağın reaksiya qüvvəsi yerdəyişməyə perpendikulyar yönəldiyindən işi sıfıra bərabər olar.* $A = 0$
- *Cismin üfüqi səthdə hərəkəti zamanı ağırlıq qüvvəsi yerdəyişməyə perpendikulyar yönəldiyindən işi sıfıra bərabər olar.* $A = 0$
- *Cisim çevrə üzrə bərabər sürətli hərəkət etdikdə mərkəzəqaçma qüvvəsi sürətə perpendikulyar olduğundan iş görmür* $A = 0$.
- *Yerin süni peyki Yer ətrafında dairəvi orbit üzrə hərəkət etdikdə ağırlıq qüvvəsinin işi sıfıra bərabərdir.* $A = 0$



4. Qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları arasındakı bucaq kor bucaq ($90^\circ < \alpha < 180^\circ$) olarsa, bu halda $\cos\alpha < 0$ olur və görülən iş mənfi olur.

- *Cisim meyl bucağı α olan mail müstəvi üzərində yuxarı qalxarsa ağırlıq qüvvəsi mənfi iş görür.*

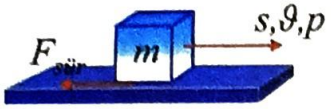
Kub üzərində görülən iş



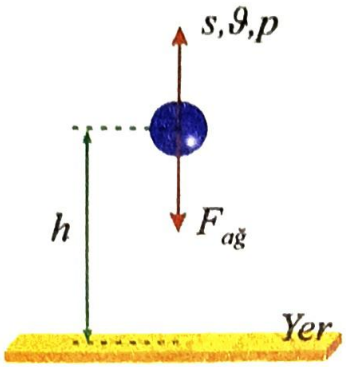
$A = mg\frac{a}{2}(\sqrt{2}-1)$ a kubun tilidir.

5. Qüvvə ilə yerdəyişmə əks istiqamətdə yönələrsə ($\alpha = 180^\circ$), bu halda $\cos 180^\circ = -1$ olur.

- *Havanın müqavimət qüvvəsi həmişə yerdəyişmənin əksinə yönəldiyi üçün gördüyü iş mənfi olar.*
- *Cisim şaquli yuxarı doğru **h** qədər yerini dəyişərsə ağırlıq qüvvəsi yerdəyişmənin əksinə yönəldiyindən gördüyü iş mənfi olur.*
- *Sürtünmə qüvvəsi həmişə yerdəyişmənin əksinə yönəldiyi üçün gördüyü iş mənfi olar. Cisim üfüqi səthdə hərəkət edərək ℓ yolunu gedərsə sürtünmə qüvvəsinin işi:*



$$A = -F_s \cdot \ell = -\mu mg\ell$$



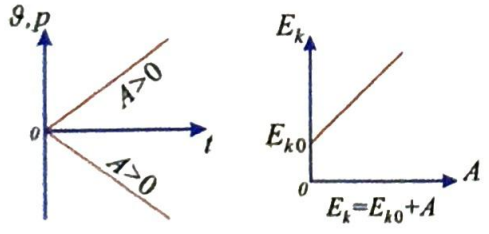
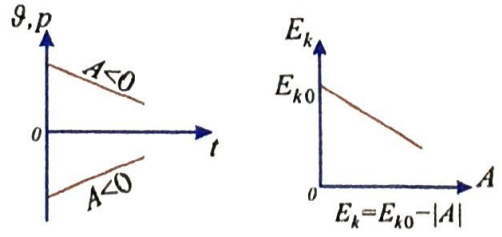
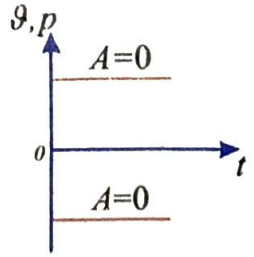
$$A = -F_{ağ} \cdot s = -mgh$$

§9.2. Kinetik enerji haqqında teorem.

Cismə təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisinin gördüyü iş onun kinetik enerjisinin dəyişməsinə bərabərdir. *Bu ifadə istənilən təbiətli qüvvələr (sürtünmə, elastiklik, qravitasiya) üçün doğrudur.*

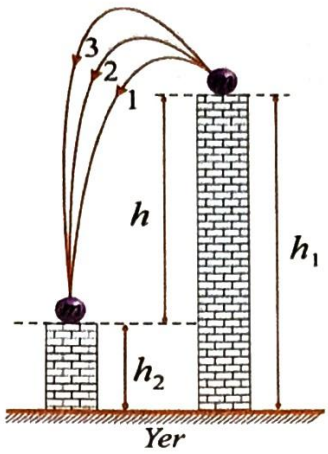
$$A = \Delta E_k = E_k - E_{k0} = \frac{m\vartheta^2}{2} - \frac{m\vartheta_0^2}{2} = \frac{m}{2}(\vartheta^2 - \vartheta_0^2) \quad \vartheta_0 = 0 \text{ olarsa, } A = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{p\vartheta}{2}$$

- $A > 0$ *olarsa, cisim bərabəryeyinləşən hərəkət edər, kinetik enerjisi, impulsu, sürəti artar.* $E_k > E_{k0}$
- $A < 0$ *olarsa, cisim bərabəryavaşıyan hərəkət edər, kinetik enerjisi, impulsu, sürəti azalar.* $E_k < E_{k0}$
- $A = 0$ *olarsa, cisim bərabərsürətli hərəkət edər və ya sükunətdə qalar, kinetik enerjisi, impulsu, sürəti sabit qalar və ya sıfır olar. Cisim çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət etdikdə də iş görmür.*

Bərabəryeyinləşən	**Bərabəryavaşıyan**	**Bərabərsürətli**
		

§9.3. Potensial enerji haqqında teorem. Ağırlıq qüvvəsinin işi.

- ***Konservativ qüvvənin işi əks işarə ilə potensial enerjinin dəyişməsinə bərabərdir.***

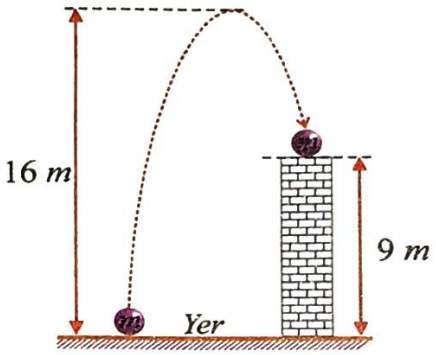


$$A = -\Delta E_p = -(E_{p2} - E_{p1})$$

$$A = E_{p1} - E_{p2} = mgh_1 - mgh_2 = mg(h_1 - h_2)$$

Ağırlıq qüvvəsinin işi: $A = mg(h_1 - h_2) = mgh$

Məsələ: *Kütləsi m= 2kg olan cisimin ağırlıq qüvvəsinin gördüyü işi hesablayın.* $(h_1 = 0)$



$$A = mg(h_1 - h_2) = 2 \cdot 10(0 - 9) = -180C$$

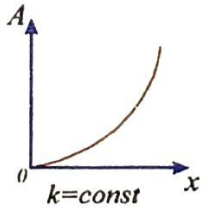
- *Ağırlıq qüvvəsinin işi cismin trayektoriyasının formasından asılı deyil, cismin Yer səthindən olan başlanğıc və son hündürlüklərin fərqindən asılıdır.* $A_1 = A_2 = A_3$
- $h_1 > h_2$ *olarsa, yəni cisim aşağı düşərsə, ağırlıq qüvvəsinin işi müsbət olar.* $A = mgh$
- $h_1 < h_2$ *olarsa, yəni cisim yuxarı qalxarsa, ağırlıq qüvvəsinin işi mənfi olar.* $A = -mgh$
- *Qapalı trayektoriyada ağırlıq qüvvəsinin işi sıfıra bərabərdir.* $A = 0$

Qeyd: ***Gördüyü iş hərəkət trayektoriyasından asılı olmayan, yaxud qapalı trayektoriya boyunca gördüyü iş sıfır olan qüvvələr konservativ qüvvələr adlanır.*** *Elastiklik, Kulon, ağırlıq qüvvəsi və ümumiyyətlə qravitasiya qüvvələri konservativ qüvvələrdir. Sürtünmə qüvvəsi isə konservativ qüvvə deyildir, onun gördüyü iş cismin hərəkət trayektoriyasından asılıdır.*

❖ Elastiklik qüvvəsinin işi.

Deformasiya olunmuş yayın əvvəlki uzunluğu x_1, deformasiyadan sonrakı uzunluğu x_2 olarsa, elastiklik qüvvəsinin işi:

$$A = -\Delta E_p = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2} = \frac{k}{2}(x_1^2 - x_2^2)$$



Tarazlıq vəziyyətində olan yay (deformasiya olunmamış) x qədər deformasiya etdikdə elastiklik qüvvəsinin işi:

$$A = \frac{kx^2}{2} = \frac{F_{el}^2}{2k} = \frac{F_{el} \cdot x}{2}$$

§ 9.4. Güc

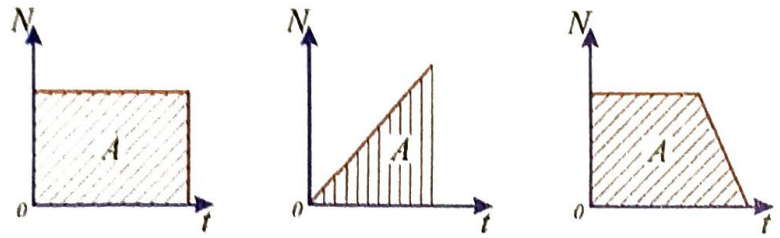
Görülən işin, bu işin görülməsinə sərf olunan zamana nisbəti ilə ölçülən skalyar fiziki kəmiyyətə güc deyilir. Güc vahid zamanda görülən işə bərabərdir, işin görülmə yeyinliyini xarakterizə edir.

$$N = P = \frac{A}{t} \qquad A = N \cdot t$$

Vahidi: $[N] = 1Vt(Vatt) = 1\dfrac{C}{san} = 1\dfrac{kq \cdot m^2}{san^3}$

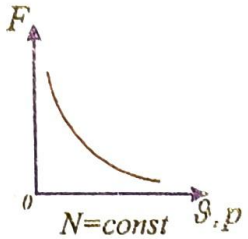
$1Vt \cdot san = 1C \qquad 1kVt \cdot saat = 3{,}6 \cdot 10^6 C \qquad 1MVt \cdot saat = 3{,}6 \cdot 10^9 C$

Gücün zamandan asılılıq qrafikində qrafiklə zaman oxu arasında qalan ştrixlənmiş hissənin sahəsi ədədi qiymətcə qüvvənin gördüyü işə bərabərdir. $A = S_{fiqur}$



- Sabit ϑ – sürəti ilə hərəkət edən nəqliyyat vasitəsinin mühərrikinin dartı qüvvəsi F – olarsa, mühərrikin gücü dartı qüvvəsi ilə sürətin modulları hasilinə bərabərdir.

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot \vartheta \qquad F = \frac{N}{\vartheta}$$



- Avtomobilin dartı qüvvəsini artırmaq üçün mühərriki kiçik sürətə keçirmək lazımdır.

$\vartheta = \sqrt{\dfrac{2E_k}{m}} = \dfrac{p}{m}$ olduğunu nəzərə alsaq $F = \dfrac{N}{\vartheta} = N \cdot \sqrt{\dfrac{m}{2E_k}} = N \cdot \dfrac{m}{p}$

- m kütləli cismi h hündürlüyünə qaldırdıqda dartı qüvvəsinin gücü: $N = \dfrac{A}{t} = \dfrac{mgh}{t}$

- m kütləli cismi sabit ϑ sürətilə qaldırdıqda dartı qüvvəsinin gücü: $N = F \cdot \vartheta = mg \cdot \vartheta$

- Üfüqi səth üzərində sabit ϑ sürətilə bərabərsürətli hərəkət edən cismin dartı qüvvəsi sürtünmə qüvvəsinə bərabər olarsa, dartı qüvvəsinin gücü: $N = F \cdot \vartheta = \mu mg \cdot \vartheta$

§ 9.5. Mexanizmin faydalı iş əmsalı.

Faydalı işin, tam işə nisbətinə bərabər olan kəmiyyətə mexanizmin faydalı iş əmsalı deyilir:

$$\eta = \frac{A_{fay}}{A_{tam}} \cdot 100\% = \frac{P_{fay}}{P_{tam}} \cdot 100\%$$

η (*eta*) – *faydalı iş əmsalıdır, vahidi yoxdur.*

❖ FİƏ–nın xüsusi hallarda düsturları:

1. *Gücü* P *olan mühərrik* m *kütləli cismi* h *hündürlüyünə qaldırarsa mühərrikin f.i.ə :*

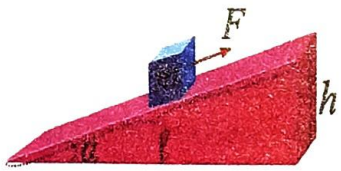
$$\eta = \frac{mgh}{P \cdot t} \cdot 100\%$$

2. *Gücü* P *olan* m *kütləli lift sabit* ϑ *sürəti ilə yuxarı qalxarsa mühərrikin f.i.ə:*

$$\eta = \frac{mg\vartheta}{P} \cdot 100\%$$

3. *Cisim üfüqi müstəvidə dartı və sürtünmə qüvvələrinin təsiri ilə hərəkət etdikdə f.i.ə:*

$$\eta = 1 - \frac{F_{sür}}{F_d}$$

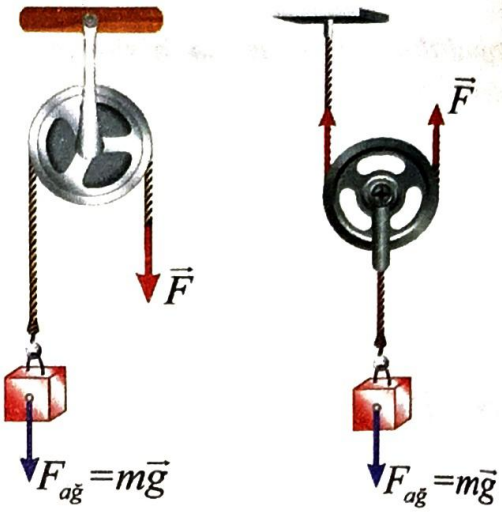


4. *Mail müstəvinin f.i.ə:* $\eta = \frac{mgh}{F_d \cdot \ell} \cdot 100\% = \frac{1}{1 + \mu\, ctg\alpha} \cdot 100\%$

Qeyd: *Düsturdan görünür ki, mail müstəvinin meyl bucağını artırdıqda mail müstəvinin f.i.ə. –lı artar, sürtünmə əmsalını artırdıqda mail müstəvinin f.i.ə. –lı azalar.*
Mail müstəvinin f.i.ə. –lı qaldırılan cismin kütləsindən asılı deyil.

5. *Tərpənməz blokun f.i.ə:* $\eta = \dfrac{mg}{F} \cdot 100\%$

6. *Tərpənən blokun f.i.ə:* $\eta = \dfrac{mg}{2F} \cdot 100\%$



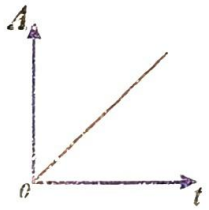
7. *Lingin f.i.ə:* $\eta = \dfrac{mgh}{F \cdot \ell} \cdot 100\%$

h *– yükün şaquli yerdəyişməsi,* ℓ *– qüvvə tətbiq olunan nöqtənin hərəkət istiqamətində yerdəyişməsidir.*

❖ Mövzu ilə əlaqəli qeydlər:

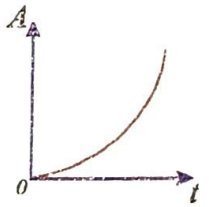
- Cisim sabit F dartı qüvvəsinin təsiri altında düzxətli bərabərsürətli hərəkət edərsə, işin zamandan asılılıq qrafiki:

$$A = F \cdot s = F \cdot \vartheta \cdot t$$



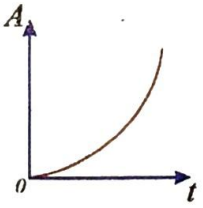
- Cisim sabit F dartı qüvvəsinin təsiri altında düzxətli bərabərtəcilli hərəkət edərsə, işin zamandan asılılıq qrafiki: $(\vartheta_0 = 0)$

$$A = F \cdot s = F \cdot \frac{at^2}{2}$$



- Sərbəst düşən cismin ağırlıq qüvvəsinin gördüyü işin zamandan asılılıq qrafiki:

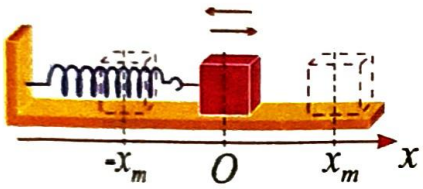
$$h = \frac{gt^2}{2} \qquad A = mgh = \frac{mg^2t^2}{2}$$

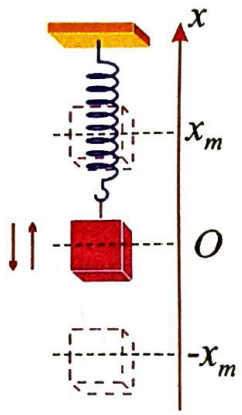


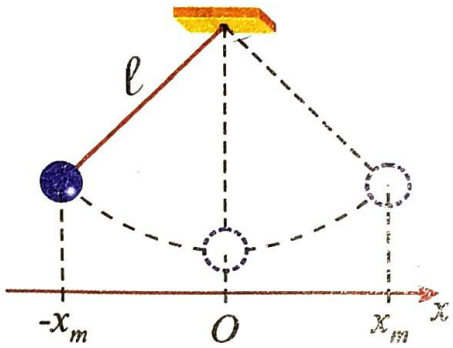
§10. MEXANİKİ RƏQSLƏR VƏ DALĞALAR

§10.1. Rəqsi hərəkətin xarakteristikaları.

Təbiət hadisələrinin mühüm xüsusiyyətlərindən biri də onların dövriliyi,təkrarlanmasıdır. *Müəyyən zaman müddətindən sonra təkrarlanan hərəkətlər periodik hərəkətlər adlanır.* Periodik hərəkətlərin bir növü də rəqsi hərəkətlərdir. ***Rəqsi hərəkət — cismin eyni bir trayektoriya üzrə, tarazlıq vəziyyəti ətrafında müəyyən zaman müddətindən sonra təkrarlanan hərəkətidir.*** Rəqsi hərəkəti öyrənmək üçün ideal rəqs modelindən — *riyazi rəqqas və yaylı rəqqasdan* istifadə edilir. Riyazi rəqqas uzanmayan, çəkisiz sapdan asılmış yükdən, yaylı rəqqas yaydan asılmış yükdən ibarət sistemdir. Rəqqası tarazlıq vəziyyətindən çıxartmaqla hərəkətə gətirsək görərik ki, tarazlıq nöqtəsi ətrafında təkrarlanan hərəkət edir.
Rəqsi hərəkətin tarazlıq vəziyyətindən ən böyük yerdəyişməsinin moduluna rəqsin amplitudu deyilir.
Amplitud A və ya x_m hərfi ilə işarə edilir. ***Vahidi:*** $[A]=[x_m]=1\,m$







- ***Rəqqasın tam bir rəqsə sərf etdiyi zamana rəqsin periodu deyilir.*** $[T]=1\,san$

$$T=\frac{t}{N}$$

- ***Rəqqasın bir saniyədəki rəqslərinin sayına rəqs tezliyi deyilir.*** $[\nu]=\frac{1}{san}=1\,san^{-1}=1\,Hs$

$$\nu=\frac{N}{t}=\frac{1}{T} \qquad T=\frac{1}{\nu}$$

- ***Rəqqasın 2π saniyədəki rəqslərin sayına dövri tezlik deyilir.*** $[\omega]=\frac{1}{san}=1san^{-1}$

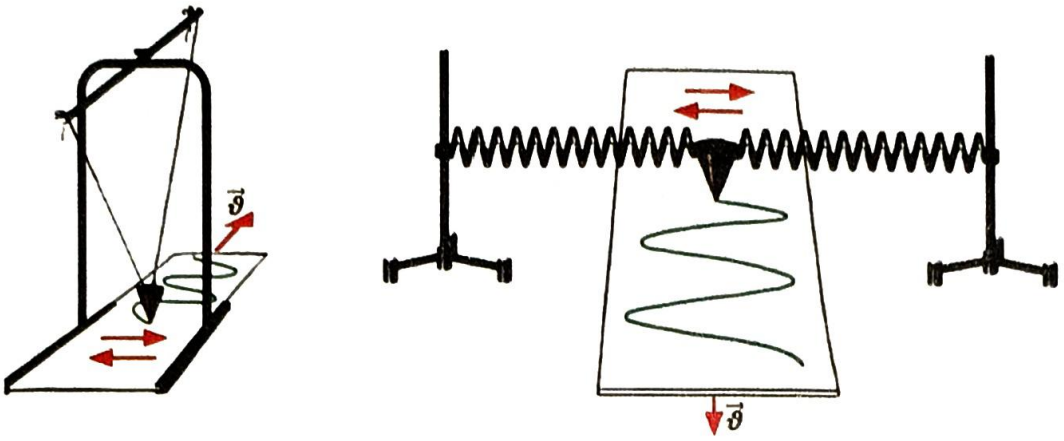
$$\omega=2\pi\nu=\frac{2\pi}{T}=\frac{2\pi N}{t}$$

- *Bir tam rəqs edəndə maddi nöqtə amplitudun dörd mislinə bərabər məsafə qət edir.* $\ell=4A$
- *Əgər rəqqas N sayda dövr edərsə t müddətində maddi nöqtənin getdiyi yol:*

$$\ell=4A\cdot N=4A\nu t=4A\frac{t}{T} \qquad N=\nu t=\frac{t}{T}$$

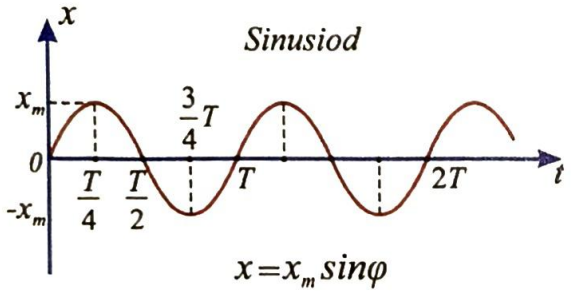
❖ Harmonik rəqs və onun qrafiki:

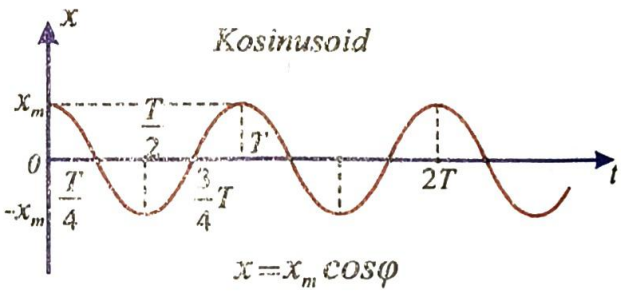
Rəqsi hərəkətin trayektoriyasını həm yaylı rəqqas, həm də ipli rəqqasda (riyazi rəqqas) içərisi qum doldurulan nazik deşikli qıfla aparılan təcrübədə asanlıqla müşahidə etmək mümkündür. Qıfı tarazlıq vəziyyətindən biraz çıxardaq və rəqsi hərəkətə etdirib qumun töküldüyü kağızı sabit sürətlə ($\vec{\vartheta} = const$) çəkək. *Rəqs sistemində kiçik zaman fasiləsində sürtünmə qüvvəsinin təsirini nəzərə almamaq mümkün olduğu üçün rəqsi hərəkətin* ***sinusoid*** və ya ***kosinusoid*** *adlanan əyrisi alınacaqdır.*



Bu cür rəqslər harmonik rəqslər adlanır ("harmoniya" – yunanca "uyğunlaşma" deməkdir). Ən sadə rəqsi hərəkət *harmonik rəqsdir.* ***Yerdəyişmə ilə düz mütənasib olan və yerdəyişmənin əksinə yönəlmiş qüvvənin təsiri altında yaranan rəqslər harmonik rəqslər adlanır.***

Harmonik rəqs *– sərbəst rəqs edən sistemin vəziyyətini xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlərin zamandan asılı olaraq* ***sinus*** *və ya* ***kosinus*** *qanunu ilə dəyişdiyi rəqslərdir.* x *– harmonik rəqs edən nöqtənin koordinatı və yerdəyişməsidir.*





Harmonik rəqs edən cismin istənilən anda vəziyyətini müəyyən edən kəmiyyət ***rəqsin fazası*** *adlanır.*

$$\varphi = \omega t + \varphi_0$$

φ_0 başlanğıc fazadır. BS – də fazanın vahidi radiandır: $[\varphi] = 1\,rad$.

Rəqsin fazasını harmonik rəqsin tənliyində nəzərə alsaq:

$$x = x_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$
$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$\varphi_0 = 0$ olarsa:

$$x = x_m \sin\omega t$$
$$x = x_m \cos\omega t$$

§10.2. Harmonik rəqs edən cismin sürəti və təcili.

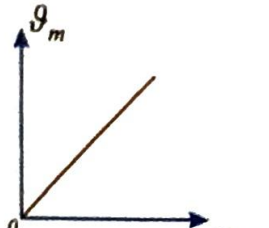
Harmonik rəqslərdə cismin koordinatı (yerdəyişməsi) kimi, sürəti və təcili də sinus və ya kosinus qanunu ilə dəyişir. Sürəti təyin etmək üçün koordinatdan zamana görə törəmə almaq lazımdır. Fərz edək ki, rəqs ***kosinus*** qanunu ilə baş verir və $\varphi_0 = 0$.

$$x = x_m \cos\omega t$$

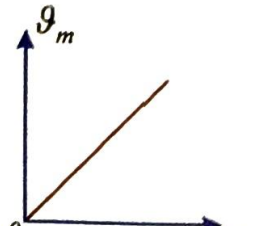
$$\vartheta = x'(t) = (x_m \cos\omega t)' = -x_m\omega \cdot \sin\omega t = -\vartheta_m \sin\omega t = \vartheta_m \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Yəni, sürət rəqsləri koordinat rəqslərini fazaca $\frac{\pi}{2}$ qədər qabaqlayır. Burada ϑ_m sürətin amplitud və ya maksimal qiymətidi:

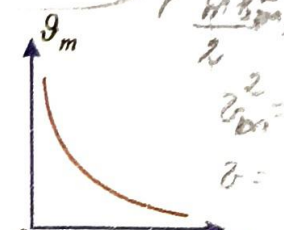
$$\vartheta_m = \omega \cdot x_m = 2\pi\nu \cdot x_m = \frac{2\pi}{T} \cdot x_m = \frac{2\pi N}{t} \cdot x_m$$



x_m=const



ω,ν,T=const



x_m=const

Təcil də sinus və ya kosinus qanunu ilə dəyişir. Harmonik rəqs edən cismin ani təcilini təyin etmək üçün onun sürətindən zamana görə birinci tərtib törəmə və ya koordinatından ikinci tərtib törəmə almaq lazımdır.

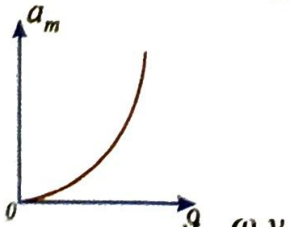
$$a = \vartheta'(t) = (-\vartheta_m \sin\omega t)' = -\vartheta_m\omega \cdot \cos\omega t = -a_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$ və ya

$$a = x''(t) = a_m \cos(\omega t + \pi)$$

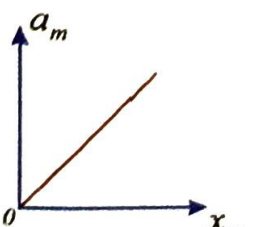
Yəni, təcil rəqsləri sürət rəqslərini fazaca $\frac{\pi}{2}$ — qədər, koordinat rəqslərini π — qədər qabaqlayır. a_m — rəqs edən nöqtənin təcilinin maksimal və ya amplitud qiymətidir.

$$a_m = \omega^2 x_m = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot x_m = 4\pi^2\nu^2 x_m = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} \cdot x_m$$

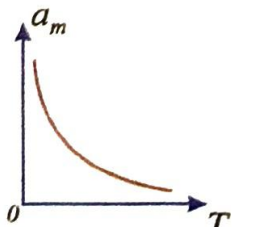
$$a_m = \omega\vartheta_m = \frac{2\pi}{T} \cdot \vartheta_m = 2\pi\nu\vartheta_m = \frac{\vartheta_m^2}{x_m}$$



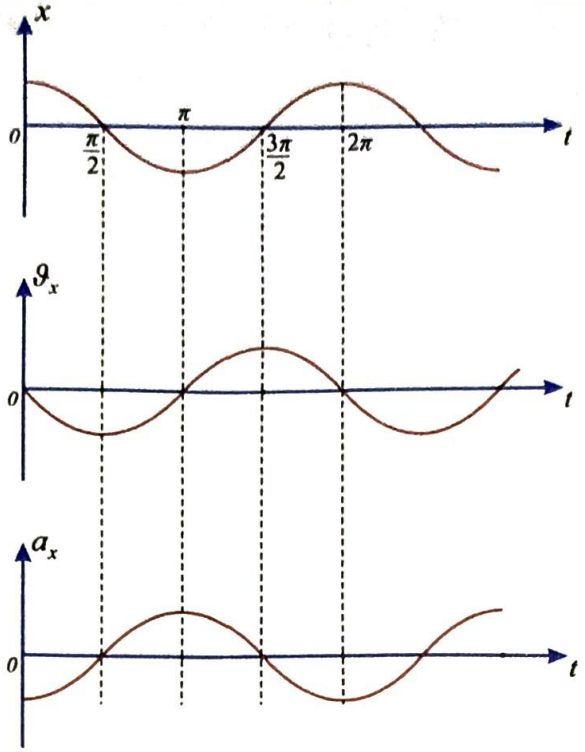
x_m=const



ω,ν,T=const



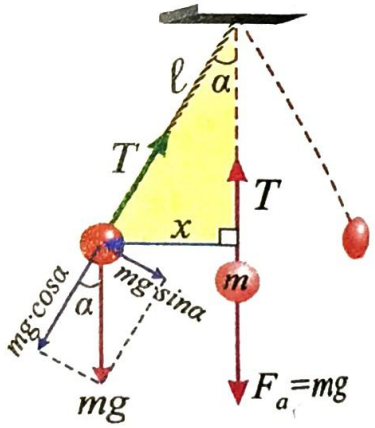
x_m=const



§10.3. Riyazi rəqqasda harmonik rəqslər

Uzanmayan çəkisiz sapdan asılmış maddi nöqtə riyazi rəqqas adlanır. Rəqqas tarazlıq vəziyyətindən çox kiçik α bucağı qədər açılıb buraxılarsa harmonik rəqs edər ($\alpha < 10^\circ$). Daha böyük bucaqda açılarsa harmonik hərəkətə uyğun olmaz. Rəqqasın tarazlıq vəziyyətində kürəciyə təsir edən ağırlıq qüvvəsi (F_a) sapın gərilmə qüvvəsi ilə (T) tarazlaşır. Lakin rəqqası kiçik α bucağı qədər yana meyil etdirib tarazlıqdan çıxarsaq, ağırlıq qüvvəsi vektorunun iki toplananı yaranır – sap boyunca yönələn $mg \cdot \cos\alpha$ və sapın uzantısına perpendikulyar olan $mg \cdot \sin\alpha$. Bu zaman $mg \cdot \cos\alpha$ və T qüvvələri bir-birinin təsirini tarazlaşdırır. Nyutonun II qanununa əsasən m kütləli kürəciyin rəqsi hərəkət tənliyini proyeksiyada belə yazmaq olar:

$$\begin{cases} ma_x = -mg \cdot \sin\alpha \\ ma_x = -mg \cdot \dfrac{x}{\ell} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_x = -\dfrac{g}{\ell}x \\ a_x = -\omega_0^2 x \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_0 = \sqrt{\dfrac{g}{\ell}} \end{cases}$$

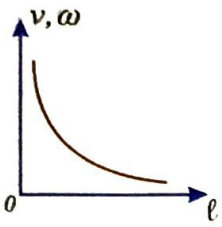


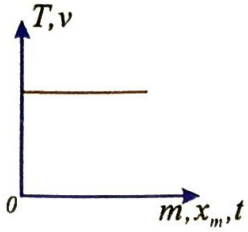
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad \nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}} \qquad N = \frac{t}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

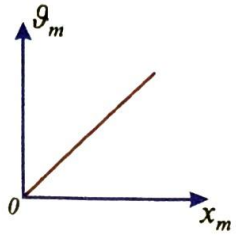
$$\vartheta_m = \omega \cdot x_m = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \cdot x_m \qquad a_m = \omega^2 \cdot x_m = \frac{g}{\ell} \cdot x_m$$

- **Riyazi rəqqasın rəqs periodu və tezliyi xətkeşlə ölçülür.**
  Riyazi rəqqasın sərbəst rəqslərinin periodu və tezliyi zamandan, amplituddan, kütlədən asılı deyil. Çəkisizlik şəraitində riyazi rəqqas rəqs etmir.

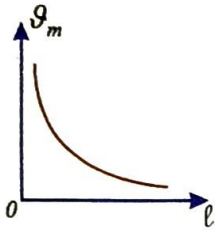


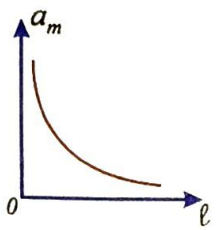








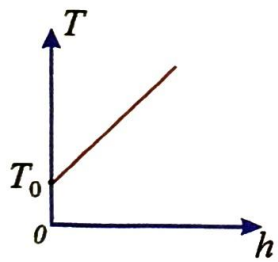


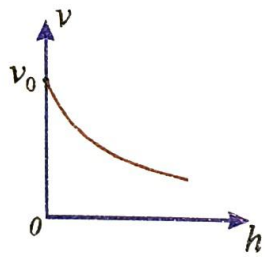


- *Riyazi rəqqasın asıldığı nöqtə* a *təcili ilə yuxarı (aşağı) hərəkət etdirildikdə periodu azalar(artar), tezliyi artar(azalar):*

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g \pm a}} \qquad \nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g \pm a}{\ell}}$$

- *Yer səthində rəqqasın periodu və tezliyi:* $T = 2\pi R\sqrt{\frac{\ell}{GM}}$ $\qquad \nu = \frac{1}{2\pi R}\sqrt{\frac{GM}{\ell}}$





- *Əgər rəqqas yer səthindən* h *hündürlükdə olarsa, periodu və tezliyi:*

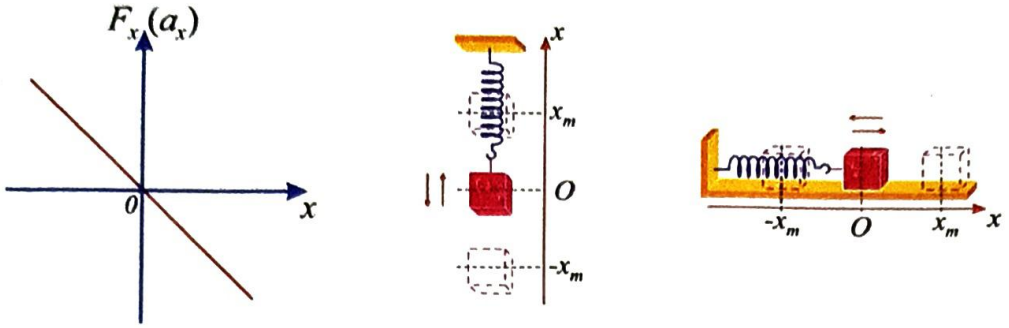
$$T = 2\pi(R+h)\sqrt{\frac{\ell}{GM}} \qquad \nu = \frac{1}{2\pi(R+h)}\sqrt{\frac{GM}{\ell}}$$

Yer səthindən $h = R$ *hündürlükdə riyazi rəqqasın periodu 2 dəfə artar, tezliyi 2 dəfə azalar, Yer səthindən* $h = 2R$ *hündürlükdə riyazi rəqqasın periodu 3 dəfə artar, tezliyi 3 dəfə azalar.*

- *Birinci riyazi rəqqasın periodu* T_1, *ikinci riyazi rəqqasın periodu* T_2 *– dır. Uzunluğu birinci və ikinci riyazi rəqqasların uzunluqları cəminə bərabər olan rəqqasın periodu:* $T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2}$

§10.4. Yaylı Rəqqas harmonik rəqslər

Yaylı rəqqas elastik yay və ona bağlanmış yükdür.



Rəqsləri yaradan elastiklik qüvvəsidir. Yaylı rəqqas üçün Nyutonun ikinci qanunu aşağıdakı kimi yazılır:

$$\begin{cases} F_{el} = -kx \\ ma_x = -kx \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_x = -\dfrac{k}{m}x \\ a_x = -\omega_0^2 x \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \omega_0 = \sqrt{\dfrac{k}{m}} \end{cases}$$

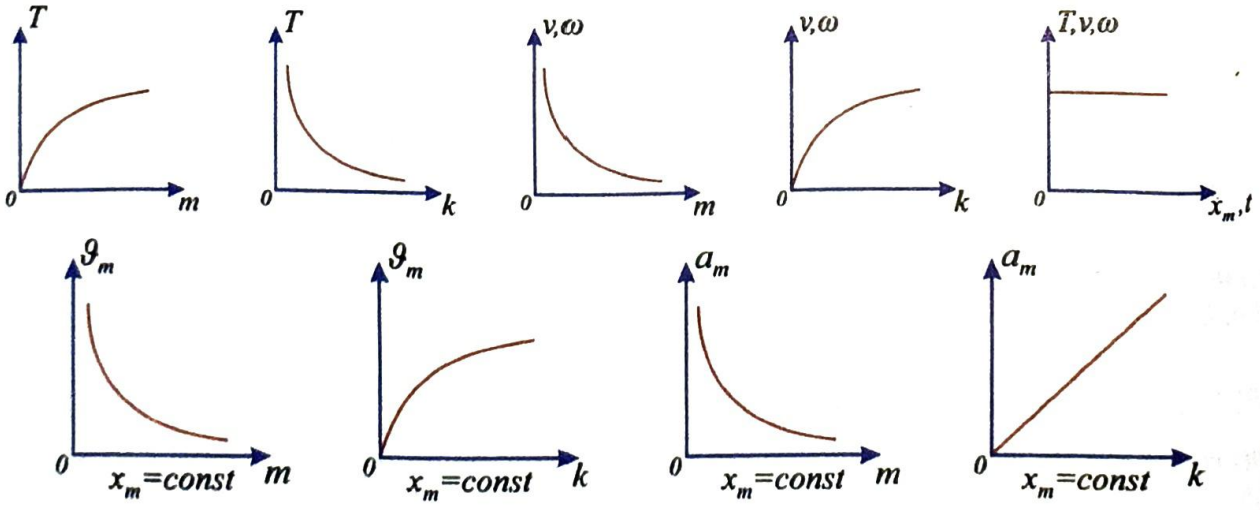
- ***Yay sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olduqda periodu, tezliyi, dövri tezliyi və dövrlərin sayı aşağıdakı düsturlarla hesablanır***

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad \nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} \qquad N = \frac{t}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

- ***Rəqqasın sürət və təcili:*** $\vartheta_m = \omega \cdot x_m = \sqrt{\dfrac{k}{m}} \cdot x_m \qquad a_m = \omega^2 \cdot x_m = \dfrac{k}{m} \cdot x_m$

- ***Yükün hərəkət tənliyi:*** $x'' = -\dfrac{k}{m}x \qquad x'' = -\omega^2 x$

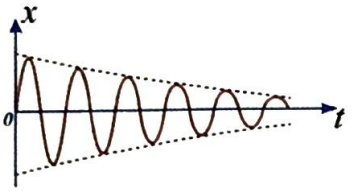
- ***Verilmiş sərtlikli yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyi tərəzi ilə ölçülür***



§10.5. Sərbəst rəqslər. Məxsusi rəqslər. Məcburi rəqslər.

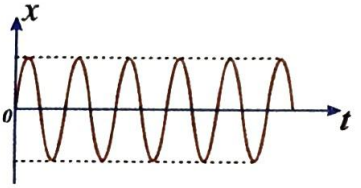
Rəqs yaradan qüvvələrin xarakterindən asılı olaraq, rəqsi hərəkətlər üç növ olur: ***sərbəst, məxsusi və məcburi*** rəqslər.

- **Sərbəst rəqslər:** ***Bir dəfə enerji verməklə daxili qüvvələrin və sürtünmə qüvvəsinin təsiri ilə yaranan rəqslərə sərbəst rəqslər deyilir.*** Sürtünmə olduğu üçün $(F_{sür} \neq 0;\ F_{xar} = 0)$ sistemdə enerji itkisi baş verir və buna görə də bir müddətdən sonra rəqslər sönür. Sönən rəqslərdə enerji itkisi olduğundan rəqsin tam enerjisi, kəmiyyətlərin amplitudları zaman keçdikcə azalır, rəqsin tezliyi və periodu sabit qalır. Yaylı və riyazi rəqqasların rəqsləri sərbəst rəqslərdir. ***Əgər, sürtünməni nəzərə almasaq*** $(F_{sür} = 0$ ***olarsa)*** , ***sərbəst harmonik rəqslər məxsusi rəqslər kimi sönməyən olar.***



Sönən rəqslər:

$F_{sür} \neq 0;\ F_{xar} = 0$



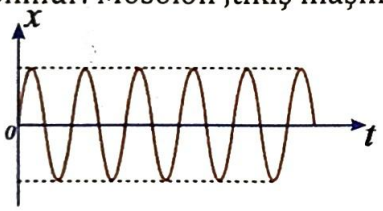
Sərbəst harmonik rəqslər:

$F_{sür} = 0;\ F_{xar} = 0$

- **Məxsusi rəqslər:** ***Sürtünmə olmadıqda sistemdəki daxili konservativ qüvvələrin təsiri ilə yaranan rəqslərə məxsusi rəqslər deyilir.*** Sürtünmə olmadığı üçün $(F_{sür} = 0;\ F_{xar} = 0)$ sistemdə enerji itkisi olmur və buna görə də məxsusi rəqslər sönmür. Sönməyən rəqslərdə enerji itkisi olmadığından rəqsin tam enerjisi, kəmiyyətlərin amplitudları, rəqsin tezliyi və periodu zaman keçdikcə sabit qalır. Məxsusi rəqslər real həyatda müşahidə olunmur.

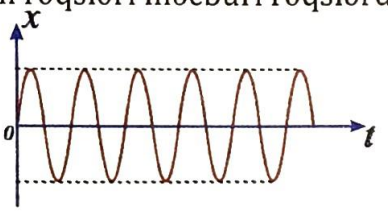
- **Məcburi rəqslər:**

Periodik dəyişən xarici qüvvənin təsiri ilə əmələ gələn rəqslərə məcburi rəqslər deyilir. Məcburi rəqslərdə sistemin enerji itkisi xarici qüvvələrin işi hesabına bərpa olunduğu üçün məcburi rəqslər sönmür. Məsələn ,tikiş maşınında iynənin rəqsləri məcburi rəqslərdir.



Məxsusi rəqslər:

$F_{sür} = 0;\ F_{xar} = 0$

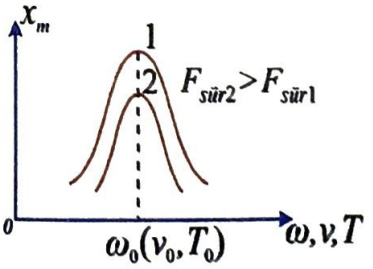


Məcburi rəqslər:

$F_{sür} \neq 0;\ F_{xar} \neq 0$

❖ Rezonans.

Məcburedici qüvvənin tezliyi (periodu) sistemin məxsusi rəqs tezliyinə (periodunu) bərabər olduqda, məcburi rəqslərin amplitudunun kəskin artması hadisəsinə rezonans deyilir. Sürtünmə qüvvəsi az olarsa rəqs amplitudunun maksimumu daha kəskin alınır. *Məcburi rəqslərin tezliyi məcburedici qüvvənin tezliyinə bərabərdir.*



$$\omega = \omega_0 \qquad \nu = \nu_0 \qquad T = T_0 \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

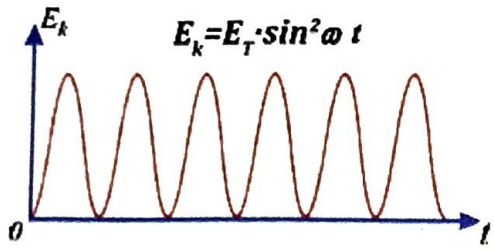
§10.6. Harmonik rəqslərdə enerji çevrilmələri.

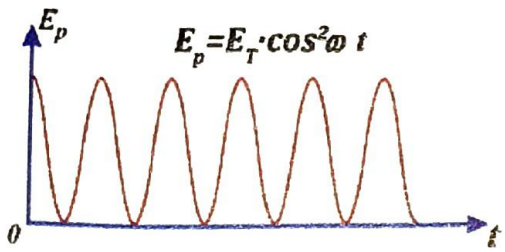
Harmonik rəqs edən yaylı və riyazi rəqqas həm potensial, həm də kinetik enerjiyə malikdir:

$$E_T = E_k + E_p \qquad E_T = \frac{m\vartheta_m^2}{2} = \frac{p_m^2}{2m} = \frac{p_m\vartheta_m}{2} = \frac{kx_m^2}{2} = \frac{F_m^2}{2k} = \frac{F_m x_m}{2}$$

$$E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{p\cdot\vartheta}{2} \qquad E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{F^2}{2k} = \frac{F\cdot x}{2}$$

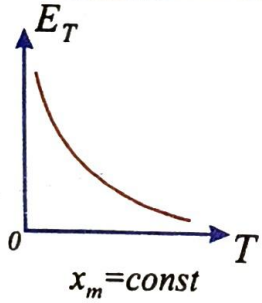
Fərz edək ki, rəqs **kosinus** *qanunu ilə baş verir və* $\varphi_0 = 0$.

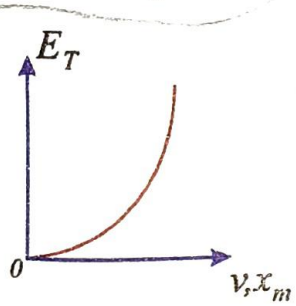


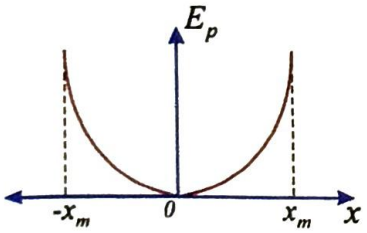


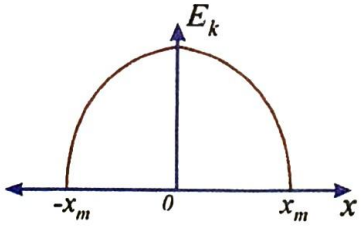
- ***Tam enerjini period və tezliklə ifadə etmək olar:***

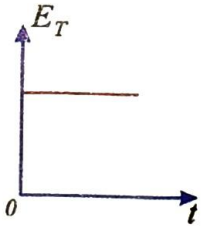
$$E_T = \frac{\omega^2 x_m^2}{2} m = 2\pi^2 \nu^2 x_m^2 m = \frac{2\pi^2 x_m^2}{T^2} m$$







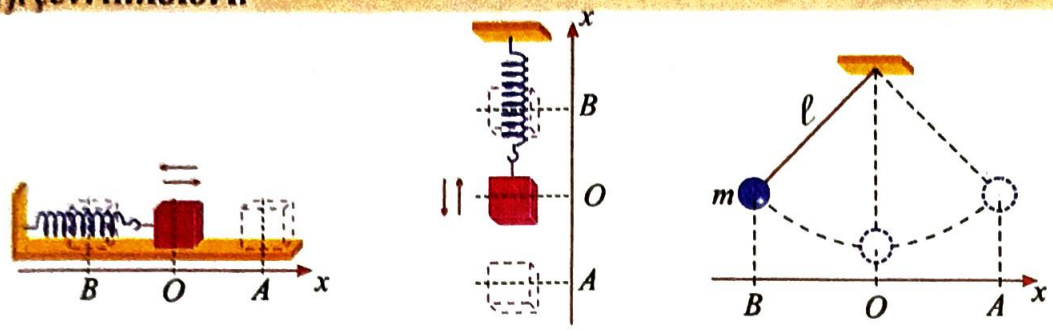




- *Harmonik rəqs edən maddi nöqtənin maksimal sürəti* ϑ_m – dir. Rəqs sisteminin potensial enerjisi kinetik enerjisindən n dəfə çox olan anda maddi nöqtənin ani sürəti:

$$\vartheta = \frac{\vartheta_m}{\sqrt{n+1}} \qquad p = \frac{p_m}{\sqrt{n+1}}$$

Enerji çevrilmələri:

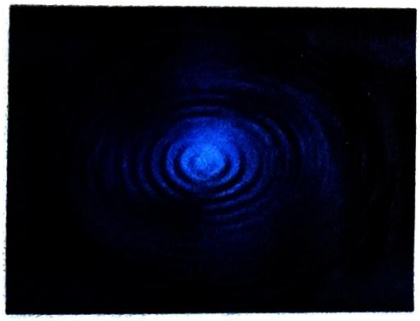


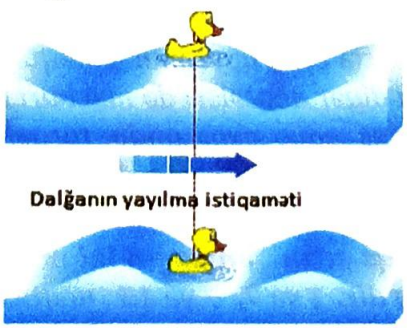
Yaylı və riyazi rəqqas O tarazlıq nöqtəsi ətrafında rəqsi hərəkət edir. A və B amplitud nöqtələrində maddi nöqtənin ***təcili, potensial enerjisi və ona təsir edən əvəzləyici qüvvə maksimum olur. Sürəti, impulsu, kinetik enerjisi sıfır olur.*** O tarazlıq nöqtəsində maddi nöqtənin ***təcili, potensial enerjisi və ona təsir edən əvəzləyici qüvvə sıfır olur. Sürəti, impulsu, kinetik enerjisi isə maksimum olur.*** Ona görədə rəqqasın tarazlıq vəziyyətinə doğru hərəkəti zamanı təcil azalıb, sürət artdığı üçün belə hərəkət ***azalan təcillə yeyinləşən***, tarazlıq vəziyyətindən amplituda doğru hərəkəti zamanı təcil artıb, sürət azaldığı üçün belə hərəkət ***artan təcillə yavaşıyan*** hərəkət olur.

$O \Rightarrow A$ $O \Rightarrow B$	$F\uparrow \ a\uparrow \ E_p\uparrow$	$\vartheta\downarrow \ p\downarrow \ E_k\downarrow$
$A \Rightarrow O$ $B \Rightarrow O$	$F\downarrow \ a\downarrow \ E_p\downarrow$	$\vartheta\uparrow \ p\uparrow \ E_k\uparrow$

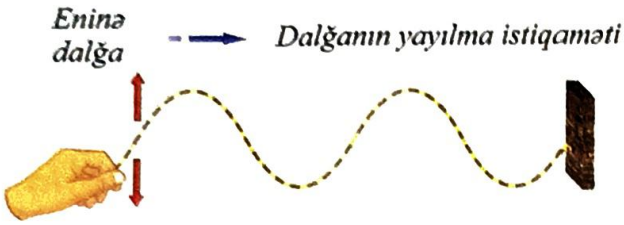
§10.7. Mexaniki Dalğalar. Dalğa uzunluğu. Dalğanın yayılma sürəti.

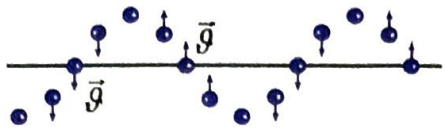
Dalğanın hərəkəti zamanı zərrəciklər ilk verilən enerjini bir–birinə ötürərək dalğanın hərəkətini təmin edirlər. Dalğa hərəkəti molekulların titrəməsi ilə meydana gəlir.Su dalğası su molekulların, səs dalğası hava molekulların titrəməsi ilə yaranır. Demək dalğanın yayılması üçün ən vacib şərt *elastik mühitin* olmasıdır.Mühitin hər bir zərrəciyi qonşu zərrəciklərlə elastiki qüvvələrlə bağlıdırsa, belə mühitə elastik mühit deyilir. Qazlar, mayelər və bərk cisimlər elastik mühit sayılır. ***Rəqslərin elastik mühitlərdə yayılması mexaniki dalğa adlanır***. Mexaniki dalğalar yalnız mühitdə yayıla bilər, vakuumda yayıla bilməz. Durğun suya daş atdıqda onun düşdüyü nöqtədən konsentrik su halqalarının yayıldığı görünür. Bizə elə gəlir ki, ətrafa qabarıqlar və çöküklər formasında yayılan sudur. Lakin daşın düşdüyü nöqtə yaxınlığına bir top qoyularsa, topun yayılan su halqaları ilə deyil, yerindəcə yalnız yuxarı-aşağı rəqsi hərəkət etdiyi müşahidə edərik. Buradan aydın olurki dalğada maddə daşınması baş vermir. *Dalğa, maddə daşınmadan, mühitdə enerjinin və impuls daşınması prosesidir.* Mexaniki dalğaların iki növü var: ***eninə*** və ***uzununa dalğalar.***





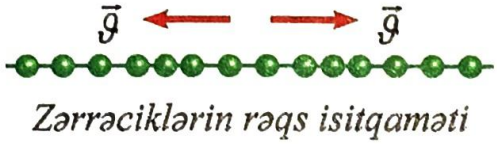
• **Eninə dalğalar:** ***Dalğanın yayılma istiqaməti zərrəciklərin rəqs istiqamətinə perpendikulyardırsa, belə dalğa eninə dalğalar adlanır.*** *Eninə dalğalar yalnız bərk cisimlərdə və suyun səthində yayılır.* Forma dəyişikliyi zamanı yaranan elastiklik qüvvələri yalnız bərk cisimlərdə yarandığından eninə dalğalar da əsas etibarilə bərk cisimlərdə yaranır. Mayelərin səthində də eninə dalğalar yarana bilir, lakin həmin dalğalar ağırlıq qüvvəsinin və maye səthinin gərilməsi hesabına yaranır.



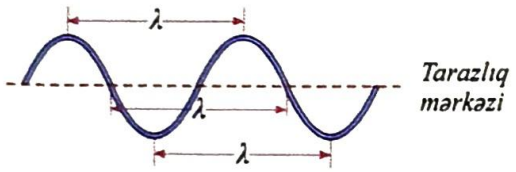


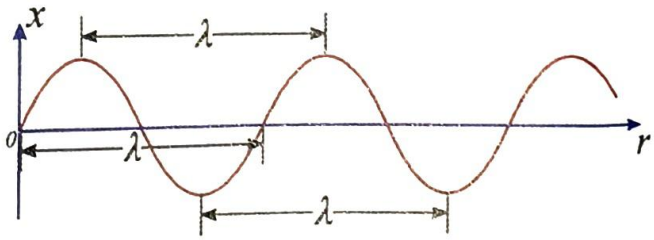
• **Uzununa dalğalar:** ***Zərrəciklərin rəqsi istiqamətinə paralel yayılan dalğalar uzununa dalğalar adlanır.*** Mühitdə zərrəciklərin sıxlaşma və seyrəkləşməsi növbə ilə təkrarlanır – mühitdə həcm dəyişikliyi təkrarlanır. Uzununa dalğalar bütün mühitlərdə, bərk cisimlərdə, mayelərdə və qazlarda yayılır. Səs dalğaları uzununa dalğalardır.



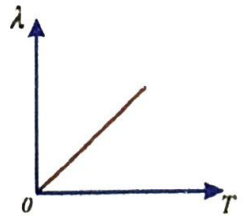


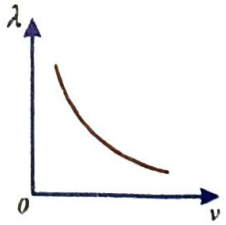
Dalğa uzunluğu: *Eninə dalğalarda iki qonşu təpə (və ya çökük) nöqtəsi arasındakı məsafə, uzununa dalğada isə iki qonşu sıxlaşma (və ya seyrəkləşmə) nöqtəsi arasındakı məsafə* ***dalğa uzunluğuna*** *bərabərdir.* ***Dalğanın bir rəqs periodu ərzində yayıldığı məsafəyə dalğa uzunluğu deyilir.*** λ *– dalğa uzunluğudur.*



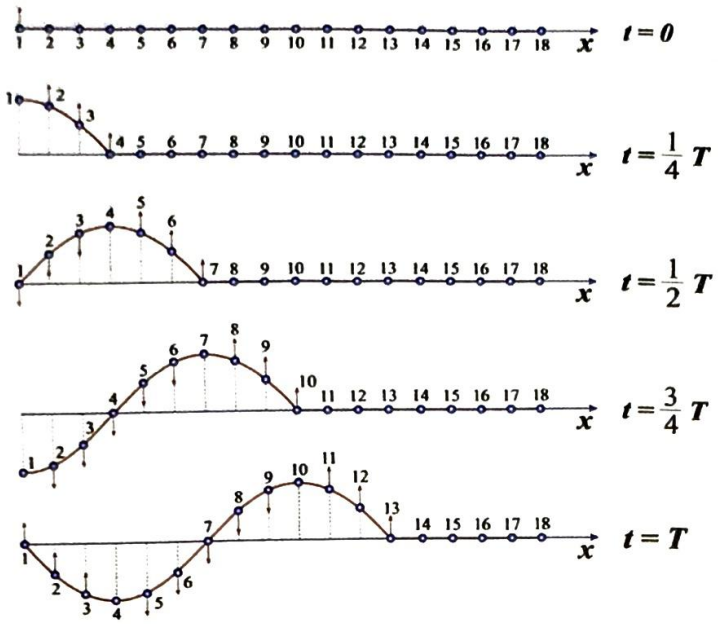


$$\lambda = \vartheta \cdot T = \frac{\vartheta}{\nu} \qquad \textbf{Vahidi: } [\lambda] = 1\,m$$





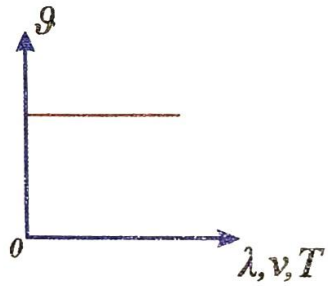
• *Üfüqi vəziyyətlə olan qaytanın* **1** *nöqtəsini yuxarı-aşağı istiqamətdə harmonik rəqsə gətirək. Onda qaytanın digər nöqtələri də məcburi rəqs etməyə başlayacaq.* $t=T$ *olanda* **1** *və* **13** *nöqtələri eyni tərzdə rəqs edir, eyni anda tarazlıq nöqtəsindən keçir, eyni anda tarazlıq halından maksimal uzaqlaşır.Buna əsasən deyə bilərik ki,* **1** *və* **13** *nöqtələri* ***eyni fazada*** *rəqs edir.* ***Eyni fazada rəqs edən ən yaxın iki nöqtə arasındakı məsafə dalğa uzunluğuna*** (λ) ***bərabərdir. Əks fazada rəqs edən ən yaxın iki nöqtə arasındakı məsafə dalğa uzunluğunun yarısına*** $(\lambda / 2)$ ***bərabərdir.*** **1** *və* **7**, **7** *və* **13** *nöqtələri əks fazada rəqs edir.*



• **Dalğanın yayılma sürəti:** *Bir dalğanın yayılma sürəti yalnız yayıldığı mühitin fiziki xassələrindən və maddənin aqreqat halından asılıdır. Eyni bircins mühitdə dalğanın yayılma sürəti dalğanın uzunluğundan və tezliyindən asılı deyil.* Bərk cisimlərdə dalğanın sürəti və dalğa uzunluğu ən böyük, qazlarda ən kiçikdir.

$$\vartheta = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$$

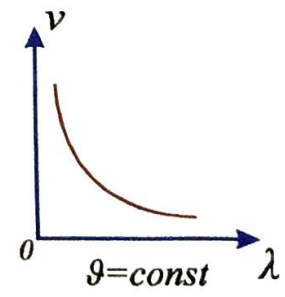
$$\vartheta_b > \vartheta_m > \vartheta_q \qquad \lambda_b > \lambda_m > \lambda_q$$



• **Dalğanın rəqs tezliyi və periodu:** Dalğada zərrəciklərin rəqs tezliyi və periodu dalğanın yayıldığı mühitin fiziki xassələrindən və maddənin aqreqat halından asılı deyil. Dalğa bir mühitdən digərinə keçəndə rəqs tezliyi dəyişmir. Məsələn, səs havadan suya keçdikdə sürəti və dalğa uzunluğu artar, tezliyi və periodu dəyişməz. Bir dalğanın rəqs periodu və tezliyi onu yaradan dalğanın mənbəyindən aslıdır. Eyni bir mühitdə iki müxtəlif dalğanın yayılma sürəti eyni olacaq. Bu zaman tezliyi böyük olan dalğanın dalğa uzunluğu kiçik, tezliyi kiçik olan dalğanın dalğa uzunluğu böyük olacaq.

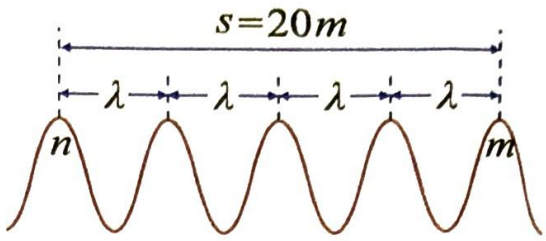
$$\nu = \frac{\vartheta}{\lambda} \qquad T = \frac{\lambda}{\vartheta}$$

$$\nu_b = \nu_m = \nu_q \qquad T_b = T_m = T_q$$



- ***Əgər dalğanın n-ci və m-ci qabarıq (və ya çökək) nöqtələri arasındakı məsafə S olarsa dalğa uzunluğunu***

$$\lambda = \frac{s}{m-n}$$ düsturu ilə təyin etmək olar.



$$\lambda = \frac{20}{4} = 5\,m$$

- ***Dalğanın ixtiyari iki nöqtəsi*** (Δs) ***arasındakı fazalar fərqi:***

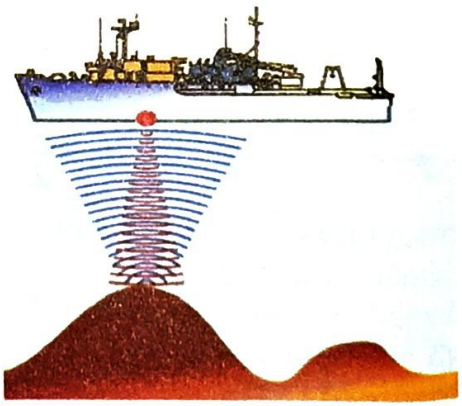
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta s}{\lambda} \qquad \Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta s \cdot \nu}{\vartheta} = \frac{2\pi\Delta s}{\vartheta \cdot T}$$

§10.8. Səs dalğaları. Səsin gurluğu və səs tonunun yüksəkliyi.

Fizikanın səs hadisələrini öyrənən bölməsinə akustika deyilir. İnsan qulağı tezliyi 16 Hs ilə 20000 ***Hs*** arasında olan rəqsləri səs şəklində qəbul edir. Tezliyi 20000 ***Hs*** -dən böyük olan dalğalar ultrasəslər, tezliyi 16 ***Hs***-dən kiçik olan dalğalar isə infrasəslər adlanır. Elastik mühitdə yayılan və səs duyğusu yarada bilən mexaniki dalğalar səs dalğaları adlanır. ***Səsin gurluğu rəqs amplitudundan asılıdır***. Rəqs amplitudu böyük olduqca, səs daha gur olur. ***Gurluğun vahidi desibeldir (1 dB). Tonun yüksəkliyi səs rəqslərinin tezliyindən asılıdır.*** Rəqs tezliyi böyük olduqda, ton daha yüksək olur.

- ***Əks – səda:*** ***Səs dalğalarının öz yolunda rast gəldiyi maneələrdən əks olunaraq qayıtması hadisəsi əks-səda adlanır.*** Səs dalğalarının köməyi ilə obyektlərin yerinin aşkar edilməsi və onlara qədər məsafənin təyin edilməsi üsulu ***səs lokasiyası*** adlanır. Dəniz və okeanların dərinliyini ölçmək üçün ***exolot adlanan*** cihazdan istifadə olunur. Exolotun iş prinsipi əks – səda hadisəsinə əsaslanır.Səsin gedib qayıtma müddəti t olarsa, səs mənbəyi ilə obyekt arasındakı məsafə:

$$s = \frac{\vartheta \cdot t}{2}$$

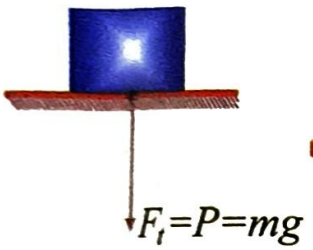


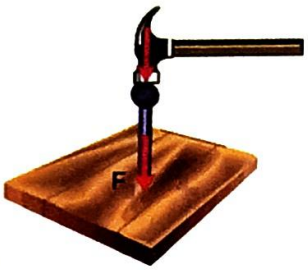
§11. AERO-HİDROSTATİKA. AERO-HİDRODİNAMİKA.

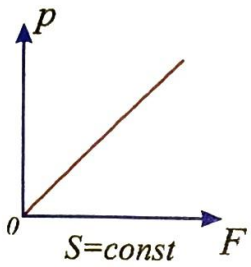
§11.1. Təzyiq. Təzyiq qüvvəsi.

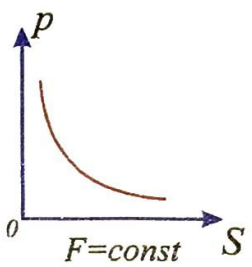
Səthə perpendikulyar təsir edən təzyiq qüvvəsinin modulunun səthin sahəsinə olan nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyət təzyiq adlanır. Təzyiq skalyar kəmiyyətdir və bərk cisimlərdə təzyiq qüvvə istiqamətində ötürülür.

$$p=\frac{F}{S} \qquad p=\frac{mg}{S} \qquad \text{Vahidi: } [p]=1Pa=1\frac{N}{m^2}=1\frac{kq}{m\cdot san^2}$$





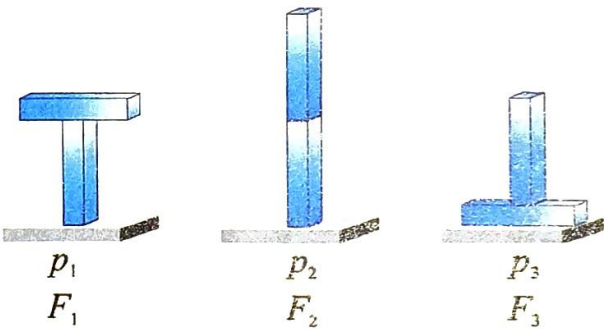




- *Cismi **1** vəziyyətindən **2** və **3** vəziyyətinə gətirdikdə çəkisi dəyişmədiyi üçün təzyiq qüvvəsi dəyişməz.*

$$p_1 = p_2 > p_3$$

$$F_1 = F_2 = F_3$$

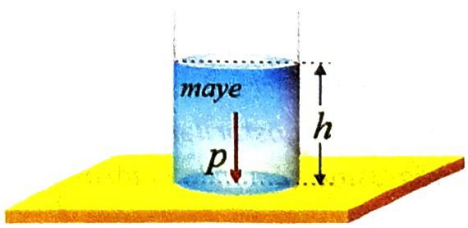


§11.2. Hidrostatik təzyiq. Atmosfer təzyiqi.

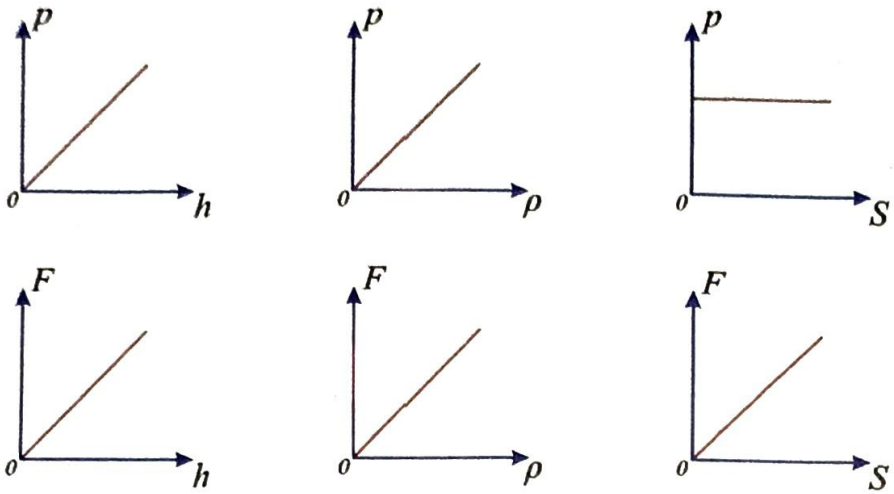
Bərk cisimlərə qüvvə təsir edərkən təzyiq qüvvə istiqamətində ötürülür. Maye və qazlarda hissəciklər sərbəst yerini dəyişə bildiyindən, təzyiq yalnız qüvvə istiqamətində deyil, bütün istiqamətlərdə ötürülür. Maye və qazların bu xassəsini nəzərə alaraq Paskal aşağıdakı qanununu vermişdir: ***Qapalı qabda olan maye və qazlara xaricdən edilən təzyiq dəyişmədən maye və qazların bütün nöqtələrinə bərabər ötürülür.*** Ağırlıq qüvvəsinin təsiri nəticəsində mayenin qabın dibinə və divarına göstərdiyi təzyiq hidrostatik təzyiq adlanır. Maye səthindən h dərinlikdə mayenin yaratdığı *hidrostatik təzyiq* və təzyiq qüvvəsi:

$$p=\frac{F}{S}=\frac{mg}{S}=\frac{\rho Vg}{S}=\frac{\rho Shg}{S}=\rho gh$$

$$p=\rho gh$$
$$F=p\cdot S=\rho ghS$$

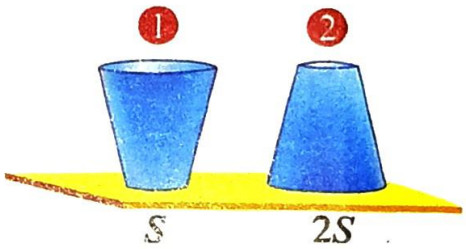


Mayenin qabın dibinə göstərdiyi təzyiq, mayenin sıxlığı və maye sütununun hündürlüyü ilə düz mütənasibdir, qabın dibinin sahəsindən (radiusundan, diametrindən) asılı deyildir.



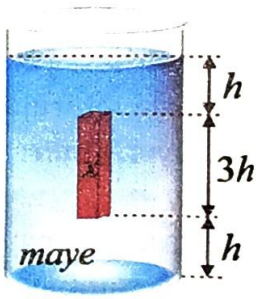
- *Su ilə dolu kip bağlı qabı* **1** *vəziyyətindən* **2** *vəziyyətinə gətirdikdə mayenin hündürlüyü dəyişmədiyi üçün hidrostatik təzyiq dəyişməz, sahə artdığı üçün təzyiq qüvvəsi artar.*

$$F_2 > F_1 \qquad p_2 = p_1$$

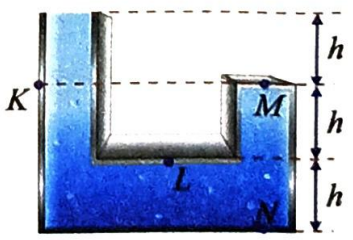


- *Qab, içərisindəki maye ilə birlikdə şaquli yuxarı yönəlmiş* a *təcili ilə hərəkət edirsə, onda hidrostatik təzyiq:* $p = \rho(g + a) \cdot h$
- *Əgər aşağı yönəlmiş* a *təcili ilə hərəkət edərsə:* $p = \rho(g - a) \cdot h$
- *İçərisində maye olan qab sərbəst düşərsə (çəkisizlik halındadırsa) onda hidrostatik təzyiq sıfra bərabərdir.* $p = 0$
- *Mayenin qabın divarına göstərdiyi orta təzyiq düsturu:* $p_{div} = \dfrac{\rho gh}{2}$
- *Mayedə tarazlıqda qalan* x *cisminə üstdən və altdan göstərilən təzyiq: Bu tip sualları işləyərkən fikir vermək lazımdır ki, mayenin cisma göstərdiyi təzyiqdən danışıldığı üçün* h *mayenin səthindən götürülməlidir.*

$$p_{üst} = \rho gh$$
$$p_{alt} = 4\rho gh$$



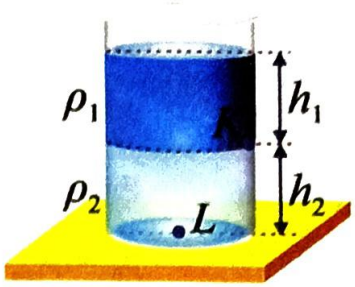
- *K nöqtəsinə göstərilən hidrostatik təzyiq:* $p = \rho gh$
  L nöqtəsinə göstərilən hidrostatik təzyiq: $p = 2\rho gh$
  M nöqtəsinə göstərilən hidrostatik təzyiq: $p = \rho gh$
  N nöqtəsinə göstərilən hidrostatik təzyiq: $p = 3\rho gh$



- *Qabda iki müxtəlif maye olarsa qabın dibinə göstərilən təzyiq:*

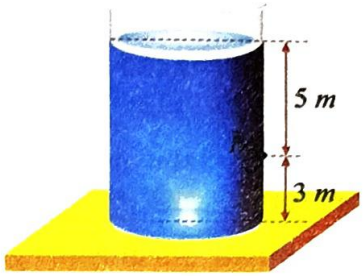
$$p_k = \rho_1 g h_1$$

$$p_L = \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2$$



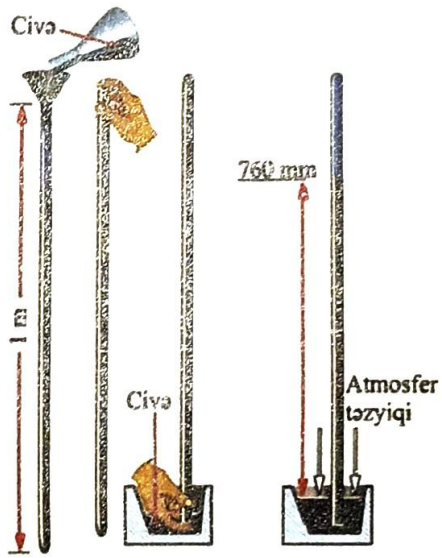
Məsələ: *Su ilə doldurulmuş qabın M nöqtəsindəki hidrostatik təzyiqi hesablayın.* $(\rho_{su} = 1000 kq/m^3, g = 10 m/san^2)$

$$p = \rho g h = 1000 \cdot 10 \cdot 5 = 50 kPa$$



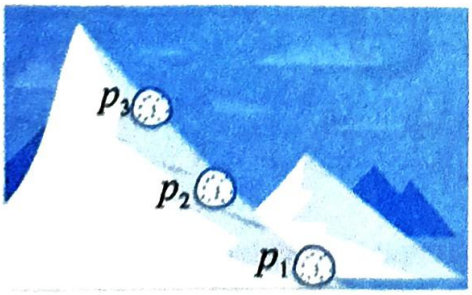
❖ Atmosfer təzyiqi.

Yeri əhatə edən hava təbəqəsi atmosfer adlanır. Atmosferin yaratdığı təzyiq atmosfer təzyiqi adlanır. Normal atmosfer təzyiqi nəyə bərabərdir? Atmosfer təzyiqini ilk dəfə italyan alimi ***Evangelista Toriçelli*** ölçmüşdür. O, 1 *m* uzunluqda, bir ucu lehimlənmiş (bağlı olan) şüşə borunu civə ilə doldurur. Borunun açıq ucunu barmağı ilə qapayıb çevirərək civə olan geniş qaba daxil edir. Civənin içərisində borunun ucundan barmağını götürür. Bu zaman borudakı civənin az hissəsi qaba tökülmüş, çox hissəsi isə boruda qalmışdır. Boruda qalan civə sütununun hündürlüyü təxminən 760 *mm* olmuşdur. *Hadisə belə izah edilir: geniş qabdakı civənin səthinə atmosfer, əks tərəfdən isə boruda qalan civə sütunu təzyiq göstərir. Qabdakı civə daşmadığından və borudakı civə tam boşalmadığından ümumi tarazlıq yaranır: atmosfer təzyiqi borudakı civə sütununun təzyiqinə bərabər olur* $(p = p_{civ})$*.Beləliklə, atmosfer təzyiqi boruda qalan 760 mm civə sütununun təzyiqinə bərabər olub təqribən* 10^5 *Pa-a bərabərdir:*

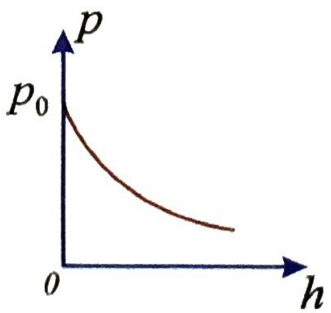


$$p = \rho_{civ} g \cdot h = 13000 \frac{kq}{m^3} \cdot 9{,}8 \frac{kq}{san^2} \cdot 0{,}76 m = 760 mm.c.süt. = 10^5 Pa \qquad 1 mm.c.st. \approx 133 Pa$$

Dəniz səviyyəsindən başlayaraq $(h = 0,\ p = 760 mm.c.süt.)$ *yüksəklik artdıqca atmosfer təzyiqi təqribən hər* **12 m**-*də* **1 mm c.süt.** *qədər azalır. Dəniz səviyyəsindən aşağı düşdükdə isə, əksinə, atmosfer təzyiqi hər 12 m -də 1 mm c.süt. qədər artır.*



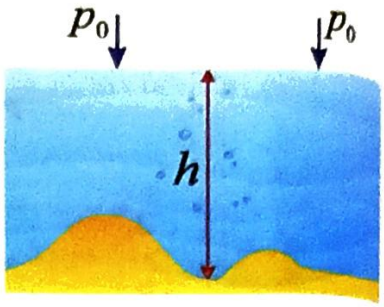
$p_1 > p_2 > p_3$



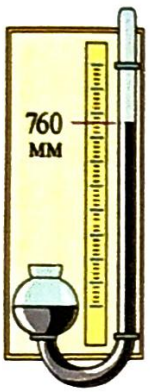
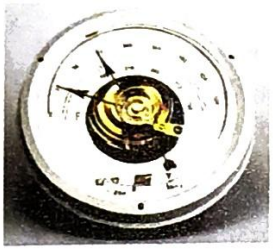
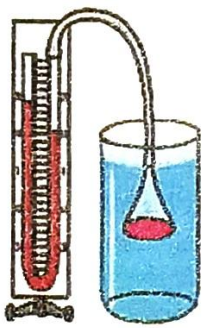
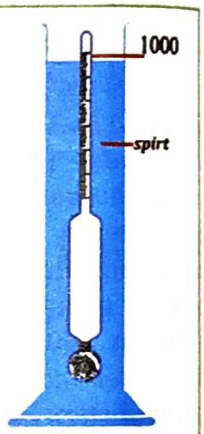
- Əgər gölün sərbəst səthinə göstərilən xarici atmosfer təzyiqi – p_0 nəzərə alınarsa, mayenin gölün dibinə göstərdiyi tam təzyiq:

$$p = p_0 + \rho gh \qquad h = \frac{p - p_0}{\rho g}$$

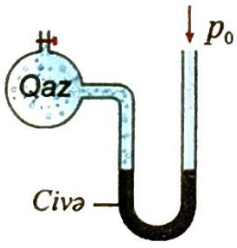
$$p_0 = p_{atm} = 10^5\ Pa$$



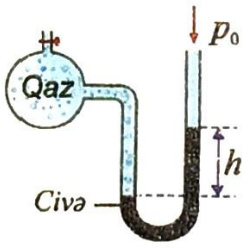
- Atmosfer təzyiqi **civəli barometr** və **metal barometr – aneroid** ilə ölçülür. İş prinsipi Paskal qanununa əsaslanır.
- Maye və qazların təzyiqi **manometr** adlanan cihazla ölçülür. İş prinsipi Paskal qanununa əsaslanır.
- Manometr quruluşuna görə iki cür olur: **mayeli manometr , metal manometr.**
- Mayelərin sıxlığı **areometr** adlanan cihazla ölçülür. Onun iş prinsipi Arximed qüvvəsinin təsirinə əsaslanır.

				
Civəli barometr	**Metal barometr aneroid**	**Mayeli manometr**	**Metal manometr**	**Areometr**

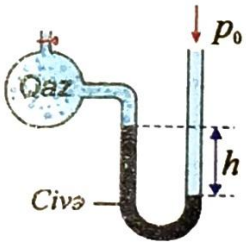
- Şəkildə verilmiş manometrlərdə qazlarının təzyiqinin atmosfer təzyiqi ilə üç halı verilmişdir.



$p_{qaz}=p_0$



$p_{qaz}=p_0+\rho gh$



$p_{qaz}=p_0-\rho gh$

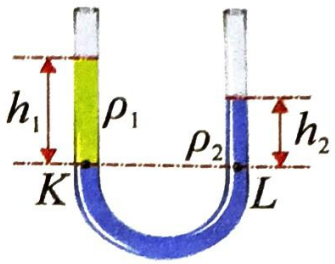
❖ Birləşmiş qablar qanunu.

Dibləri bir-biri ilə boru vasitəsilə əlaqələndirilmiş qablar birləşmiş qablar adlanır. Paskal qanununa görə birləşmiş qablarda mayelərin qabın dibində yaratdıqları hidrostatik təzyiqləri eynidir. Birinci mayenin sıxlığı ρ_1, hündürlüyü h_1, ikinci mayenin sıxlığı ρ_2, hündürlüyü h_2 olarsa, aşağıdakı ifadələr doğrudur:

$$p_K = p_L$$

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \qquad h_1 > h_2 \quad \rho_2 > \rho_1$$

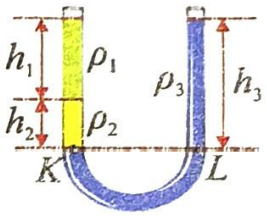


Birləşmiş qablarda mayelərin hündürlükləri sıxlıqları ilə tərs mütənasibdir. Birləşmiş qablarda bircins mayelər olarsa, $\rho_1 = \rho_2$ olduğuna görə $h_1 = h_2$ olar.

- ***Əgər boruda üç müxtəlif maye olarsa:***

$$p_k = p_L$$

$$\rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 = \rho_3 g h_3$$



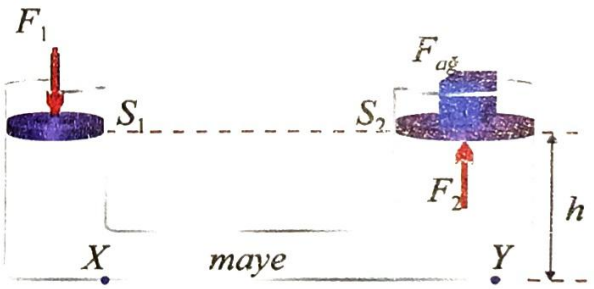
❖ Hidravlik maşın.

Hidravlik maşın sadə mexanizmdir, qüvvədə qazanc verir. ***İş prinsipi Paskal qanununa əsaslanır.*** *Paskal qanununa görə hidravlik maşında porşenlərin altında qüvvələrin yaratdığı təzyiqlər eynidir:*

$$p_x = p_y$$

$$\frac{F_1}{S_1} + \rho g h = \frac{F_2}{S_2} + \rho g h$$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$



$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} \qquad \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \qquad S = \pi R^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

- *Hidravlik presin qüvvədə qazancını tapmaq üçün, böyük porşenin sahəsini kiçik porşenin sahəsinə və ya böyük porşenə təsir edən qüvvəni kiçik porşenə təsir edən qüvvəyə bölmək lazımdır.*

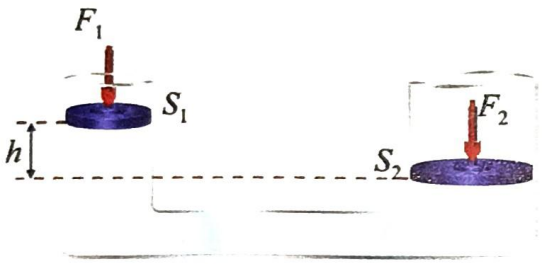
- Hidravlik presin kiçik porşeni F_1 qüvvəsinin təsiri altında h_1, F_2 qüvvəsinin təsiri altında h_2 yerdəyişməsi icra edərsə:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{h_1}{h_2}$$

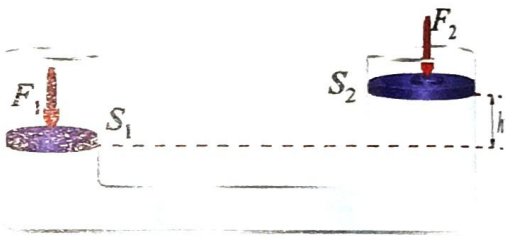
- Hidravlik pres işdə qazanc vermir: $A_2 = A_1$ və ya $\frac{A_2}{A_1} = 1$

- Hidravlik presin porşenlərinin altında qalan təzyiqlərin nisbəti: $\frac{p_2}{p_1} = 1$

- Tarazlıqdan başa düşüldüyü kimi kiçik porşenə kiçik qüvvə, böyük porşenə böyük qüvvə təsir edəcəkdir. Bunun sahəsində kiçik bir qüvvə ilə böyük cismi saxlama imkanımız olacaq. Bu sistem maşınları qaldıran danqratlarda, hidravlik əyləclərdə, hidravlik sükanlarda, ekskavatorlarda, sovurma- sıxma kimi nasoslarda istifadə olunur.



$$\frac{F_1}{S_1} + \rho gh = \frac{F_2}{S_2}$$

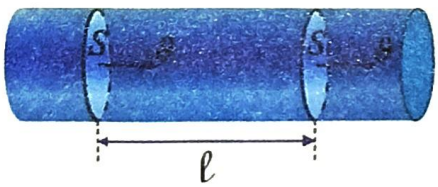


$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} + \rho gh$$

§11.3. Mayenin axın sürətinin borunun en kəsiyindən asılılığı. Bernulli qanunu

Tamamilə sıxılmayan və ayrı-ayrı təbəqələri arasında sürtünmə qüvvəsi olmayan maye ideal maye adlanır. Borunun istənilən en kəsiyindən eyni zamanda axan mayenin (qazın) həcmi sabit olarsa, bu cür axın qərarlaşmış axın adlanır. Borunun istənilən en kəsiyindən Δt müddətində axan mayenin həcmi:

$$\Delta V = S \cdot \ell = S \cdot \vartheta \cdot \Delta t$$



Mayenin qərarlaşmış axını zamanı borunun istənilən kəsiyindən eyni zamanda keçən mayenin həcmi sabit olmalıdır.

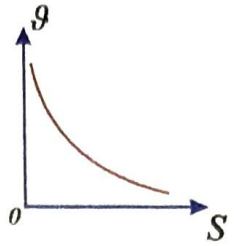
$$S_1 \cdot \vartheta_1 \cdot \Delta t = S_2 \cdot \vartheta_2 \cdot \Delta t$$

Buradan axının kəsilməzliyi tənliyini aşağıdakı kimi alarıq:

$$S_1 \cdot \vartheta_1 = S_2 \cdot \vartheta_2$$

Mayenin (qazın) axın sürəti borunun en kəsiyinin sahəsi ilə tərs mütənasibdir.

- ***En kəsiyinin sahəsi böyük olan hissələrində axın sürəti kiçik, en kəsiyinin sahəsi kiçik olan hissələrində axın sürəti böyük olur.***

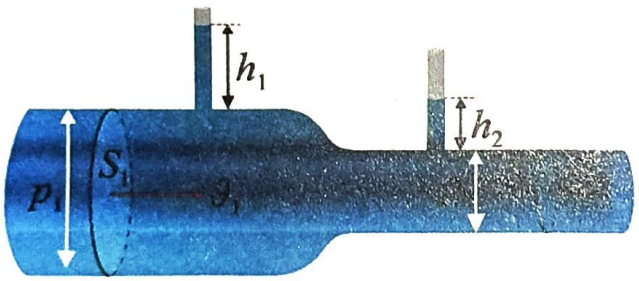


$$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \qquad S = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

Öyrəndik ki, ideal mayenin (və ya qazın) axın sürəti borunun en kəsiyinin sahəsi artıqca azalır və ya əksinə. Deməli, maye (və ya qaz) borunun geniş hissəsindən dar hissəsinə keçəndə təcil artır. Təcilli hərəkət yalnız qüvvənin təsiri altında mümkündür. Bu qüvvəni isə borunun müxtəlif hissələrindəki təzyiqlər fərqi yaradır. Deməli, mayenin axması üçün borunun geniş hissəsindəki təzyiq dar hissəsindəki təzyiqdən böyük olmalıdı. İdeal mayenin axın sürəti ilə onun təzyiqi arasındakı kəmiyyət əlaqəsini ilk dəfə olaraq İsveç alimi Daniil Bernulli müəyyən etmişdir.

- ***Boruda axan mayenin (qazın) təzyiqi, axının sürəti kiçik olan hissələrdə böyük, böyük olan hissələrdə isə kiçik olur. Bu, Bernulli qanunudur*** *və*

$$p_1 + \frac{\rho \vartheta_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho \vartheta_2^2}{2}$$ *şəkilində yazılır.* p *– statik,* $\frac{\rho \vartheta^2}{2}$ *dinamik təzyiqdir.*



Borunun müxtəlif hissələrinə açıq borular–manometrlər birləşdirək. Görünür ki, borunun geniş hissəsindəki manometrik boruda qalxan maye sütununun hündürlüyü daha böyükdür. Bu isə həmin hissədə mayenin təzyiqinin yüksək olması deməkdir.

Borunun en kəsiyinin sahəsi nə qədər böyük olarsa, orada axın sürəti bir o qədər kiçik, təzyiq isə böyük olacaqdır.

$$S_1 > S_2 \qquad h_1 > h_2 \qquad p_1 > p_2 \qquad \vartheta_2 > \vartheta_1$$

§11.4. Arximed qüvvəsi. Cismin mayedəki çəkisi.

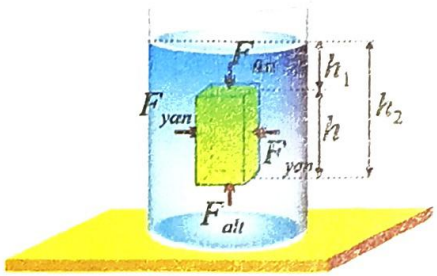
Maye və ya qaz daxilində olan cisimlərə maye və ya qaz tərəfindən qaldırma qüvvəsi təsir edir. Uçan quşlar, böcəklər, hava balonları havanın qaldırma qüvvəsindən faydalanırlar. Üzən balıqlar, gəmilər suyun qaldırma qüvvəsindən faydalanırlar.





Bu hadisələrin səbəbi nədir ?

Mayeyə batırılmış cismə təsir edən itələyici qüvvənin necə yarandığını aydınlaşdırmaq üçün belə bir xüsusi hala baxaq: Bunun üçün sıxlığı ρ_m olan mayeyə salınmış, oturacağının sahəsi S, hündürlüyü h olan düzbucaqlı paralelepiped formalı taxta cismin ip vasitəsi ilə qabın dibinə bağlandığını təsəvvür edək.



İpi kəssək, cisim suyun səthinə qalxar. Aydındır ki, cismin yan üzlərinə təsir edən qüvvələr qarşılıqlı bərabər olub, bir-birini tarazlaşdırır. Odur ki, cisim yanlara doğru yerini dəyişmir. Lakin cismin üst və alt üzlərinə düşən təzyiq qüvvələri bir-birinə bərabər deyildir.

$$F_{üst} = \rho_m g h_1 S \qquad F_{alt} = \rho_m g h_2 S$$

$h_2 > h_1$ olduğundan $F_{alt} > F_{üst}$ olar. Ona görə cisim $F_{alt} - F_{üst}$ qüvvələr fərqinə bərabər olan arximed qüvvəsi ilə mayedən itələnər:

$$F_A = F_{alt} - F_{üst} = \rho_m g h_2 S - \rho_m g h_1 S = \rho_m g S(h_2 - h_1) = \rho_m g h S$$

$V_b = Sh$ cismin mayeyə batan hissəsinin həcmi olduğundan:

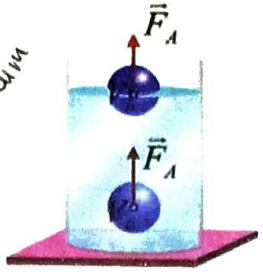
$$F_A = \rho_m g V_b$$

Arximed qüvvəsinin modulu mayenin sıxlığı (ρ_m), sərbəstdüşmə təcili (g) və cismin mayeyə (V_b) batan hissəsinin həcmi hasilinə bərabərdir.

- Cisim mayeyə tam batdıqda $V_b = V_c$ olur. V_c – cismin həcmidir.

$$F_A = \rho_m g V_c$$

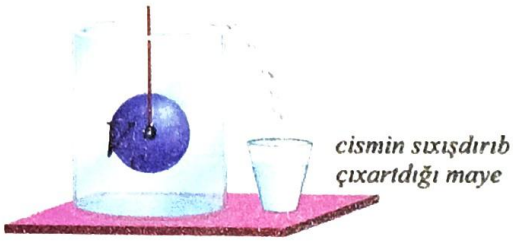
$\rho_c = \frac{\rho_m \cdot P_0}{P_0 - P}$ – laqqırım



- Mayeyə batmış cismin sıxışdırıb çıxartdığı mayenin həcmi (V_m) onun mayeyə batan hissəsinin həcminə bərabərdir:

$$V_b = V_m$$

$$F_A = \rho_m V_b g = \rho_m V_m g$$

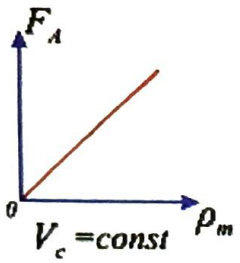


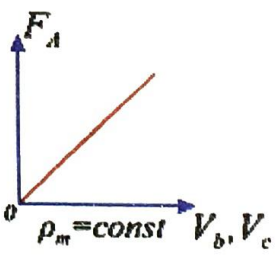
$\rho_m V_m = m_m$ – cismin sıxışdırıb çıxartdığı mayenin kütləsidir.

$$F_A = P = m_m g$$

P_m – cismin sıxışdırıb çıxartdığı mayenin çəkisidir.

Mayeyə (və ya qaza) batırılmış cismə bu cismin sıxışdırıb çıxartdığı mayenin (və ya qazın) çəkisinə bərabər yuxarı yönəlmiş itələyici qüvvə (qaldırıcı) təsir edir. Bu qüvvəyə Arximed qüvvəsi deyilir. *Mayeyə batırılmış cismə təsir edən Arximed qüvvəsi mayenin sıxlığı ρ_m və cismin mayeyə batan hissəsinin həcmi V_b ilə düz mütənasibdir. Arximed qüvvəsi cismin mayeyə batırılma dərinliyindən, cismin formasından, sıxlığından və kütləsindən asılı deyildir.*





❖ Cismin mayedəki çəkisi:

Mayeyə salınmış cismin çəkisi (P), onun vakuumdakı çəkisindən (P_0) Arximed qüvvəsi qədər azdır:

$$P = P_0 - F_A$$

$F_A = \rho_m g V_c$ $\quad V_c = \frac{m}{\rho_c}$ olduğunu nəzərə alsaq Arximed qüvvəsi üçün

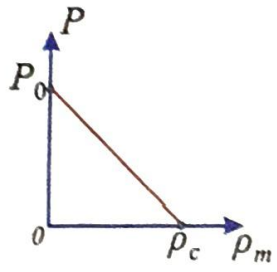
$$F_A = mg\frac{\rho_m}{\rho_c} = P_0\frac{\rho_m}{\rho_c}$$

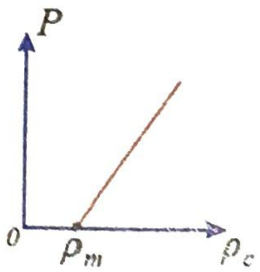
düsturunu alarıq.

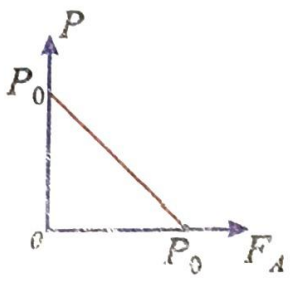
$$F_{ağ} = P_0 = mg = \rho_c g V_c$$

P_0 – cismin havadakı (vakuumdakı) çəkisidir.

$P = mg - mg\frac{\rho_m}{\rho_c} = mg\left(1-\frac{\rho_m}{\rho_c}\right) = P_0\left(1-\frac{\rho_m}{\rho_c}\right)$	$P = \rho_c g V_c - \rho_m g V_c = V_c g(\rho_c - \rho_m)$
$F_A = P_0 - P = \rho_c g V_c - P$	$P_0 = P + F_A = P + \rho_m g V_c$

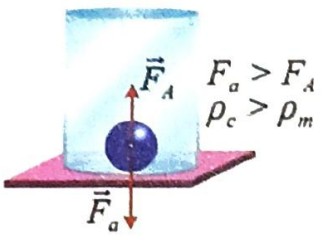






§11.5. Cisimlərin üzməsi.

1. Ağırlıq qüvvəsi Arximed qüvvəsindən böyükdür. Bu halda cisim mayedə batır.



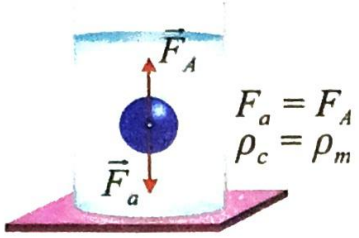
- Bu halda cismin mayedə düşmə təcili (*müqavimət qüvvəsi nəzərə alınmazsa*):

$$ma = F_a - F_A \qquad a = g\left(1-\frac{\rho_m}{\rho_c}\right)$$

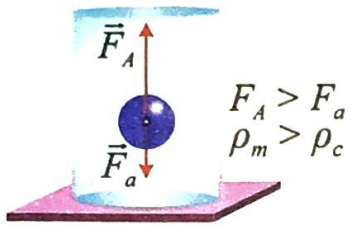
- Əgər müqavimət qüvvəsi də nəzərə alınarsa: $ma = F_a - (F_A + F_m)$

2.Ağırlıq qüvvəsi Arximed qüvvəsinə bərabərdir. Bu halda cisim mayenin daxilində üzür. Bu halda cismin mayedə çəkisi sıfra bərabər olar. $P = 0$

$$F_A = F_{ağ} = mg$$



3. Arximed qüvvəsi ağırlıq qüvvəsindən böyük olarsa, əvəzləyici qüvvə yuxarı yönələr və cisim mayenin səthinə qalxar.

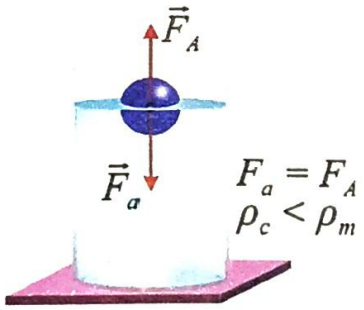
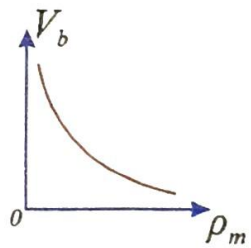


- Bu halda cismin təcili (*müqavimət qüvvəsi nəzərə alınmazsa*):

$$ma = F_A - F_a \qquad a = g \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho_c} - 1 \right)$$

- Əgər müqavimət qüvvəsi də nəzərə alınarsa: $ma = F_A - (F_a + F_m)$

4.Bu halda cisim mayenin səthinə qalxır və orada üzür. Cisim mayenin səthində üzərkən Arximed qüvvəsi ağırlıq qüvvəsinə bərabər olur. Bu halda cismin mayedə çəkisi sıfra bərabər olar. $P = 0$. Burada V_b – cismin mayeyə batan hissəsinin həcmidir.

$F_A = F_{ağ} = mg$ $\rho_m g V_b = \rho_c g V_c$ $V_b = \frac{\rho_c}{\rho_m} \cdot V_c$		

Məsələ: *Kütləsi* $m = 6kq$ *olan cismin* $\frac{2}{3}$ *hissəsi mayeyə bataraq üzərsə, arximed qüvvəsini hesablayın:*

$$F_A = F_{ağ} = mg = 60N$$

Qeyd: *Cisim mayedə üzərsə, bu halda cismin hansı hissəsinin mayeyə batmasından asılı olmayaraq Arximed qüvvəsi ağırlıq qüvvəsinə bərabər olur:* $F_A = F_{ağ} = mg$

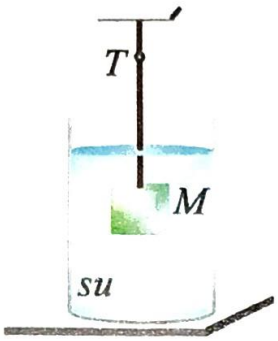
❖ Mövzu ilə əlaqəli qeydlər (xüsusi hallar) :

- *Arximed qüvvəsinin işi:* $A = F_A \cdot h = \rho_m \, g V_c \cdot h = m\, g \dfrac{\rho_m}{\rho_c} \cdot h$

- *M cismi maye daxilində tarazlıqdadır. Bu mayeni sıxlığı böyük olan digər maye ilə əvəz etsək* F_A *artar,* T *azalar.*

$$F_a > F_A$$

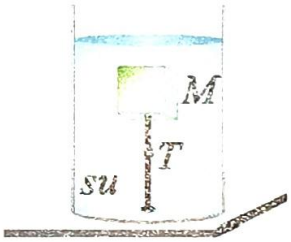
$$T = F_{ağ} - F_A = mg\left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c}\right)$$



- *M cismi maye daxilində tarazlıqdadır. Bu mayeni sıxlığı böyük olan digər maye ilə əvəz etsək* F_A *artar,* T *artar.*

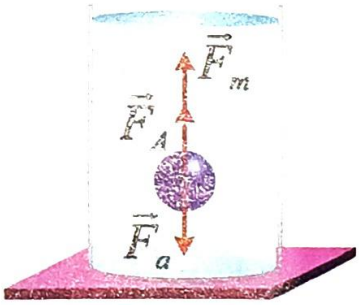
$$F_a < F_A$$

$$T = F_A - F_{ağ} = mg\left(\frac{\rho_m}{\rho_c} - 1\right)$$



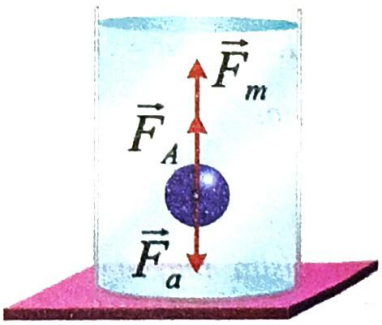
- *Mayedə bərabər sürətlə düşən cismə mayenin göstərdiyi müqavimət qüvvəsi:*

$$F_m = F_{ağ} - F_A = mg\left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c}\right)$$

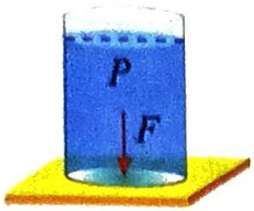


- *Cismi mayedə bərabər sürətlə* h *hündürlüyə qaldıran zaman xarici qüvvənin* (F_d) *gördüyü iş:* $(F_m = 0)$

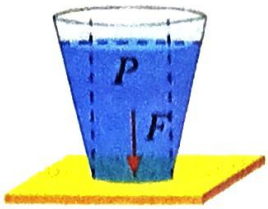
$$F_d = F_{ağ} - F_A = mg\left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c}\right) \qquad A = F_d \cdot h$$



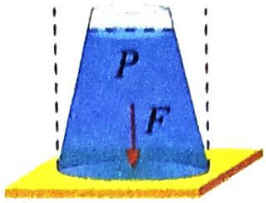
- *Üç müxtəlif qaba eyni miqdarda su tökülərsə, təzyiq qüvvəsi və mayenin çəkisi arasında aşağıdakı asılılıqlar doğrudur.*



$F=P$

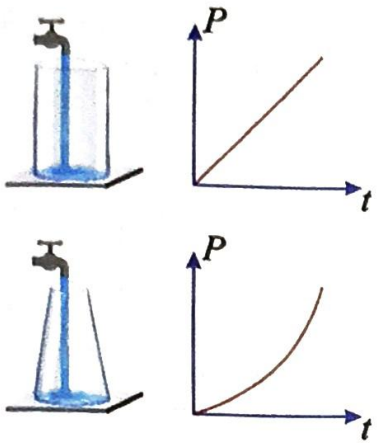


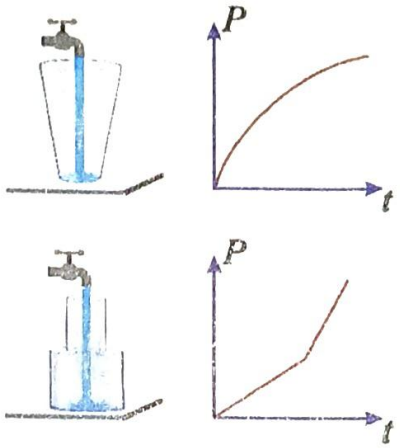
$F<P$



$F>P$

- *Müxtəlif formalı qablara tökülən mayenin qabın dibinə göstərdiyi təzyiqin zamana görə dəyişməsi:*





- *Tərpənməz və tərpənən blokdan asılmış cisimlərin kütləsi aşağıdakı düsturla tapılır:*

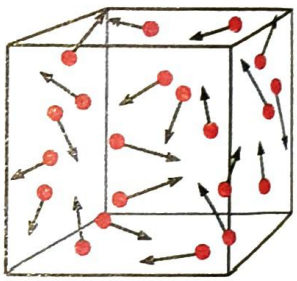
	$m_1 = m_2 \cdot \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c}\right)$		$m_1 = \frac{m_2 \cdot \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_c}\right)}{2}$

12. MOLEKULYAR KİNETİK NƏZƏRİYYƏ. İDEAL QAZ QANUNLARI.

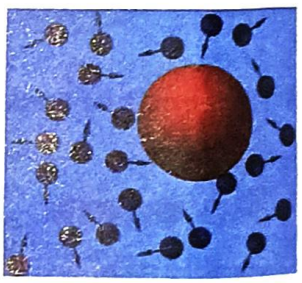
§ 12.1. MKN–in əsas müddəaları. Broun hərəkəti. Diffuziya. Molekulların qarşılıqlı təsiri.

Molekulyar fizika maddələrin daxili quruluşunu, onları təşkil edən atom və molekullar arasındakı qarşılıqlı təsiri, maddələrin bir sıra xassələrini – istidən genişlənməsi, qızması, soyuması, buxarlanması, kondensasiyası, əriməsi, bərkiməsi, diffuziyası, konveksiyası və s. öyrənən fizika bölməsidir. ***Cisimlərin quruluş və xassələrini molekulların hərəkəti və qarşılıqlı təsiri əsasında öyrənən nəzəriyyə molekulyar kinetik nəzəriyyə (MKN) adlanır.*** Bu nəzəriyyənin əsasını üç müddəa təşkil edir:

1.Bütün maddələr zərrəciklərdən - atom və molekullardan təşkil olunmuşdur. Atom və molekulların varlığını ilk dəfə ingilis kimyaçısı Con Dalton aşkar etmişdir. Maddələrin atomar quruluşa malik olmasını mayelərin buxarlanması, iyin yayılması, cisimlərin istidən genişlənməsi, bərk cismin bölünməsi və s. təsdiq edir.



2. Molekullar daim nizamsız (xaotik) hərəkət edir. Bu müddəanın doğruluğu 1827-ci ildə ingilis botaniki **Robert Broun** asılı halda olan bitki tozcuqlarının (hissəciklərinin) suda hərəkətini müşahidə etməklə aşkarladı. O, müəyyən etdi ki, tozcuqlar mürəkkəb trayektoriya üzrə nizamsız, xaotik hərəkət edir və bu hərəkət heç vaxt kəsilmir. ***Mayelərdə və ya qazlarda asılı halda olan kiçik "yad" hissəciklərin nizamsız hərəkəti broun hərəkəti adlanır.*** Broun hərəkətinin intensivliyi onun kimyəvi təbiətindən deyil, mühitin temperaturundan, hissəciklərin ölçülərindən, mayenin qatılıq dərəcəsindən asılıdır. Temperatur yüksəldikcə broun hərəkətinin *intensivliyi* də artır. Hissəciklərin *"Broun hərəkəti"* adlandırılan belə nizamsız hərəkətin izahını nəzəri olaraq 1905-ci ildə Albert Eynşteyn tərəfindən vermişdir. *Broun hərəkətinin səbəbi – maye molekullarının hissəciklərə hər tərəfdən zərbələr vurması və bu zərbələrin bir–birini tarazlaşdırmamasıdır.*



Molekulların daim nizamsız (xaotik) hərəkət etməsini təsdiq edən hadisələrdən biri də *diffuziyadır.* ***Təmasda olan müxtəlif maddə molekullarının özbaşına bir - birinə qarışması hadisəsi diffuziya adlanır.*** *Diffuziyanın sürəti maddənin növündən və temperaturdan asılıdır.* Diffuziya qazlarda molekullar arası məsafə böyük olduğuna görə daha sürətlə,bərk cisimlərin molekulları sıx olduğuna görə çox yavaş,mayelərdə qazlara nisbətən yavaş,bərk cisimlərə nisbətən sürətli gedir.Temperatur artdıqca diffuziya sürətinin artması molekulların hərəkət sürətinin artması ilə izah olunur. Ətir iyinin yayılması, şəkərin suda həll olması diffuziyadır.



3. Molekullar arasında qarşılıqlı cazibə və itələmə xarakterli qüvvələr mövcuddur. Molekullar arasında yaranan qüvvə elektromaqnit təbiətli qüvvədir. Molekullar uzaq məsafədən bir-birini cəzb edir, yaxın məsafədən bir-birini dəf edirlər. Məsələn,dartılmış elastik cismin öz-özünə sıxılması molekullar arasında cazibənin olmasını,sıxılmış elastik cismin öz-özünə açılması molekulların bir-birini dəf etməsini göstərir.

§ 12.2. Molekulların kütləsi. Avoqadro sabiti. Maddə miqdarı. Molyar kütlə. Molekulların konsentrasiyası.

Maddənin bir molekulunun kütləsinin, karbon molekulunun kütləsinin $\frac{1}{12}$ ***- nə olan nisbətinə nisbi molekulyar kütlə deyilir.*** m_0 – bir molekulun kütləsidir. Nisbi molekulyar kütlənin vahidi yoxdur.

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0(c)}}$$

Nisbi molekulyar kütləni hesablamaq üçün molekulun tərkibinə daxil olan atomların nisbi atom kütlələrini toplamaq lazımdır. Məsələn, suyun nisbi molekulyar kütləsi:

$$Mr(H_2O) = 2A_r(H) + A_r(O) = 2 \cdot 1 + 16 = 18$$

Kütləsi ***0,012 kq (12 q)*** olan karbondakı atomların sayı qədər molekullardan (və ya atomlardan) təşkil olunmuş maddə miqdarına ***bir mol deyilir.*** İstənilən maddənin bir molunda $6{,}02 \cdot 10^{23}$ sayda molekul (və ya atom) vardır. 1 ***mol*** maddədə olan molekulların sayı Avaqadro sabiti adlanır. $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$ ***Vahidi:*** $[N_A] = \frac{1}{mol} = mol^{-1}$

- ***Verilmiş maddədəki molekulların sayının Avaqadro sabitinə olan nisbətinə maddə miqdarı deyilir.***

$$\nu = \frac{N}{N_A} \qquad \nu = \frac{m}{M} \qquad \textit{Vahidi: } [\nu] = 1\,mol \quad \textit{BS-də əsas vahidir.}$$

Molekulların sayı: $N = \nu \cdot N_A = \frac{m}{M} \cdot N_A$ m – maddənin kütləsi, M – molyar kütlədir.

- ***Bir mol miqdarında götürülmüş maddənin kütləsinə molyar kütlə deyilir.***

$$M = \frac{m}{\nu}$$

İstənilən maddənin m *kütləsi, bir molekulun* m_0 *kütləsi ilə, maddəni təşkil edən molekulların* N *sayı hasilinə bərabərdir.*

$$m = m_0 \cdot N = m_0 \cdot \nu N_A \qquad M = \frac{m}{\nu} = \frac{m_0 \nu N_A}{\nu} = m_0 N_A$$

$$M = m_0 N_A \qquad \textit{Vahidi: } [M] = 1 \frac{kq}{mol}$$

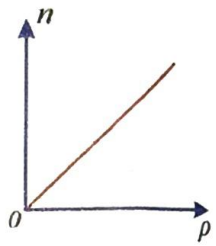
Molyar kütlə ilə nisbi molekulyar kütlə arasında $M = 10^{-3} M_r \cdot \frac{kq}{mol}$ *əlaqə mövcuddur.*

Suyun molyar kütləsi $M = 10^{-3} \cdot 18 \frac{kq}{mol} = 0{,}018 \frac{kq}{mol}$ *– dur. Bu o deməkdir ki, bir mol suyun kütləsi* $0{,}018\,kq$ *– dır.*

- ***Vahid həcmdə olan molekulların sayına molekulların konsentrasiyası deyilir.***

$$n = \frac{N}{V} \qquad \text{Vahidi: } [n] = \frac{1}{m^3} = 1\,m^{-3}$$

$N = \frac{m}{M} \cdot N_A$ *düsturunu nəzərə alsaq* $n = \frac{1}{V}\frac{m}{M}N_A = \frac{\rho N_A}{M} = \frac{\rho}{m_0}$



$$n = \frac{\rho}{m_0} \qquad \rho = n \cdot m_0$$

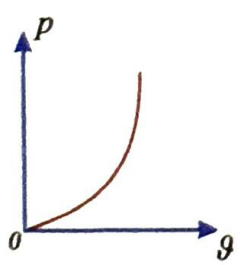
§ 12.3. İdeal qaz. MKN–in əsas tənliyi

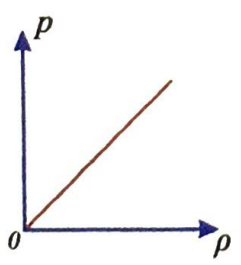
Molekulları arasında qarşılıqlı təsir nəzərə alınmayacaq dərəcədə kiçik olan qaza *ideal qaz deyilir.* İdeal qazlarda atom və molekullar arasında heç bir qarşılıqlı təsir yoxdur $(E_p = 0)$. Qaz molekulları nizamsız hərəkət etdiyindən orta kvadratik sürətdən istifadə olunur.

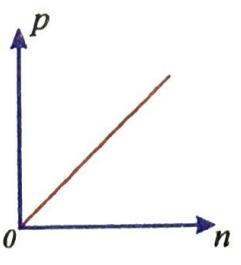
$$\overline{\vartheta}^2 = \frac{\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2 + \vartheta_3^2 + \ldots + \vartheta_N^2}{N}$$

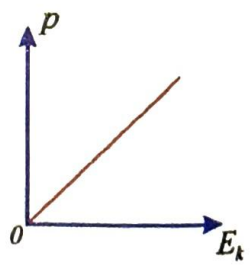
İdeal qaz üçün MKN–nin əsas tənliyi (Klauzius tənliyi): İdeal qazın təzyiqi dedikdə qaz molekulların qabın dibinə və divarına vurduğu zərbə başa düşülür. p – qazın təzyiqi, $\overline{\vartheta}$ – molekulların orta kvadratik sürətidir.

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{\vartheta}^2 = \frac{1}{3} \rho \overline{\vartheta}^2 = \frac{2}{3} n \overline{E}_k = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \overline{E}_k$$









§ 12.4. Temperatur. Qaz molekullarının orta kinetik enerjisi. Molekulların orta kvadratik sürəti.

❖ **Temperatur.** Cismi təşkil edən molekulların istilik hərəkətinin intensivliyi ***temperatur*** adlanan fiziki kəmiyyətlə əlaqədardır.Temperatur makroskopik sistemin istilik tarazlığı halını xarakterizə edir. İstilik tarazlığında olan sistemin bütün nöqtələrində temperatur eynidir. Məsələn, soyuq su və isti suyu qarışdırdıqda ilıq su alınır və qabın istənilən nöqtəsində suyun temperaturu eyni olur.Temperatur *termometrlə* ölçülür.Civəli termometrin iş prinsipi civənin həcminin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsinə (istidən genişlənməsinə) əsaslanır. ***Temperaturun üç əsas şkalası var: Selsi, Kelvin, Farenheyt.***

- **Selsi şkalası:** Selsi şkalasında hesablama başlanğıcı kimi suyun donma (buzun ərimə) temperaturu $t = 0^\circ C$, normal atmosfer təzyiqində qaynama temperaturu isə $t = 100^\circ C$ götürülür.
- **Kelvin şkalası:** Kelvin şkalasında hesablama başlanğıcı kimi temperaturun ***mütləq sıfır*** qiyməti götürülür.

$$T = 0K \quad \text{və ya} \quad t = -273^\circ C$$

Mütləq sıfır temperaturunda molekulların irəliləmə hərəkəti kəsilir. Mütləq sıfır temperaturunu praktik olaraq almaq mümkün deyil. Bu temperatur təbiətdə ən aşağı temperaturdur. Yəni, mütləq temperatur mənfi ola bilməz həmişə müsbətdir.

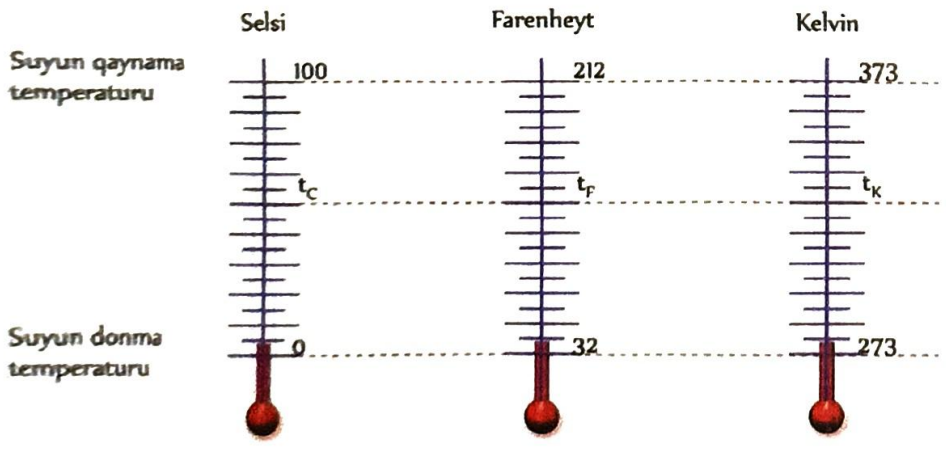
Temperatur vahidi: $[T] = 1K$ (Kelvin) BS – də əsas vahidir. Mütləq və Selsi temperaturları arasındakı əlaqə:

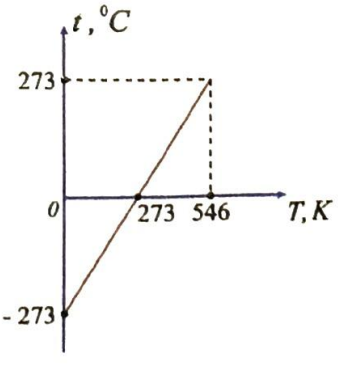
$$T = t + 273 \qquad t = T - 273$$

Temperaturun dəyişməsi hər iki şkalada eynidir: $\Delta T = \Delta t$

- **Farenheyt şkalası:** ABŞ və İngiltərədə istifadə edilən termometrlərin şkalası isə Farenheyt dərəcə t_F $(^\circ F)$ vahidi ilə dərəcələnmişdir. Farenheyt şkalasına görə buzun ərimə temperaturu $32^\circ F$, suyun qaynama temperaturu isə $212^\circ F$ uyğundur. Selsi və Farenheyt şkalaları arasında aşağıdakı münasibət var:

$$t_c = \frac{5}{9}(t_F - 32) \qquad t_F = \frac{9}{5}t_c + 32$$





❖ Qaz molekulların orta kinetik enerjisi.

Təcrübələr göstərir ki, istilik tarazlığı halında olan müxtəlif qazlar üçün

$$\frac{pV}{N} = const$$ ifadəsi doğrudur.

Qazın təzyiqinin onun molekullarının konsentrasiyasına nisbətinin enerji vahidi coulla ölçülən sabit kəmiyyətə bərabər olduğunu alarıq:

$$\frac{pV}{N} = \frac{p}{n} = \theta$$

Burada θ (*teta*) – enerji vahidləri ilə ifadə olunan temperaturdur. θ – ideal qazlar üçün yalnız temperaturdan asılıdır, qazın növündən, onun həcm və təzyiqindən, molekulların sayından asılı deyil. Temperaturun yüksəlməsi ilə θ kəmiyyəti artır.

$$\theta = k \cdot T \qquad \frac{pV}{N} = \frac{p}{n} = k \cdot T$$

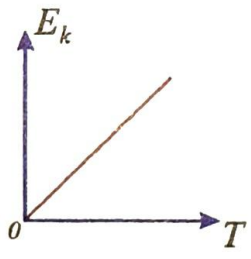
Burada, k – mütənasiblik əmsalı olub, Bolsman sabiti adlanır. Bolsman sabiti enerji vahidi ilə ifadə olunan θ temperaturunu T temperaturu ilə əlaqələndirir.

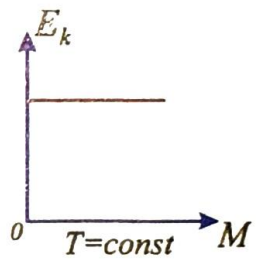
$$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{C}{K} \quad Vahidi: [k] = 1\frac{C}{K} = \frac{kq \cdot m^2}{K \cdot san^2}$$

MKN – in $p = \frac{2}{3}\frac{N}{V}\overline{E}_k \Rightarrow \frac{pV}{N} = \frac{2}{3}\overline{E}_k = kT$ əsas tənliyindən düsturunu alarıq.

Qaz molekullarının irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi mütləq temperaturdan düz mütənasib asılıdır:

$$\overline{E}_k = \frac{3}{2}k \cdot T$$





Nəzəri yolla müəyyən edilmişdir ki, cismin temperaturu onu təşkil edən molekulların orta kinetik enerjisindən asılıdır. Cismi təşkil edən molekulların orta kinetik enerjisi böyük olduqda onun temperaturu da yüksək olur. ***Temperatur – cismi təşkil edən molekulların orta kinetik enerjisinin ölçüsüdür.***

❖ Molekulların orta kvadratik sürəti.

Eyni cismin, məsələn, soyuq və isti suyun molekulları eynidir, lakin temperaturun dəyişməsi ilə onların xaotik hərəkət sürətləri də dəyişir: isti suyun molekulları soyuq suyun molekullarına nəzərən daha sürətlidir. Müəyyən olunmuşdur ki, normal şəraitdə hidrogen molekullarının orta sürəti $1693\frac{m}{san}$, oksigen molekullarının orta sürəti $425\frac{m}{san}$, karbon qazı molekullarının orta sürəti isə $362\frac{m}{san}$ – dir. Göründüyü kimi, eyni temperaturda müxtəlif qazların molekullarının sürətləri müxtəlifdir. Deməli, molekulların orta sürəti yalnız temperaturdan deyil, həm də molekulun kütləsindən asılıdır. Aşağıda verilən məlum olan düsturlardan orta kvadratik sürət üçün aşağıdakı düsturları ala bilərik:

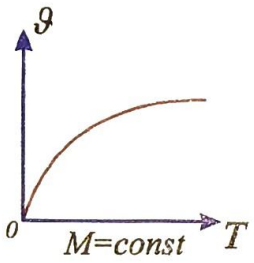
$$E_k = \frac{m_0\vartheta^2}{2} = \frac{3}{2}kT \qquad p = \frac{1}{3}nm_0\overline{\vartheta}^2 = \frac{1}{3}\rho\overline{\vartheta}^2 \qquad m_0 = \frac{M}{N_A}$$

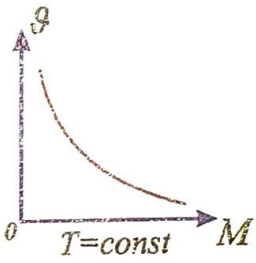
$$\overline{\vartheta} = \sqrt{\frac{2\overline{E}_k}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kN_AT}{M}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}$$

Burada, R – universal qaz sabitidir.

$$R = k \cdot N_A = 8{,}31 \cdot \frac{C}{mol \cdot K}$$

Vahidi: $[R] = 1\frac{C}{mol \cdot K} = \frac{kq \cdot m^2}{K \cdot mol \cdot san^2}$





§ 12.5. İdeal qazın hal tənliyi. Mendeleyev–Klapeyron və Klapeyron tənlikləri.

İdeal qazın makroskopik parametrləri *(həcm $-V$, təzyiq $-p$, temperatur $-T$)* arasındakı əlaqəni müəyyən edən tənlik ***ideal qazın hal tənliyidir.*** Bu tənlik Mendeleyev – Klapeyron tənliyi adlanır.

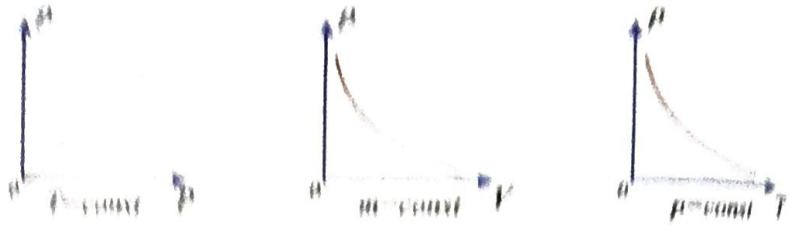
$$pV = \nu RT \quad \text{və ya} \quad pV = \frac{m}{M}RT$$

Verilmiş kütləli qazın təzyiqin həcmə hasilinin temperatura olan nisbəti sabit kəmiyyətdir.

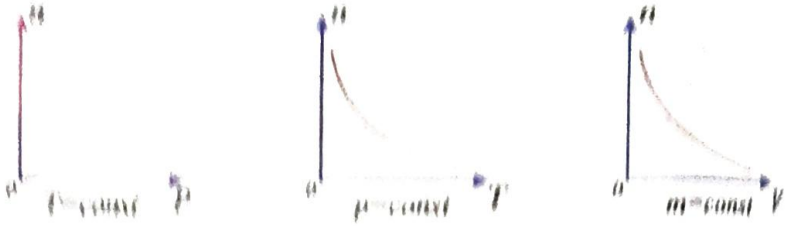
$$\frac{pV}{T} = const \Rightarrow \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$$ bu tənlik Klapeyron tənliyi adlanır.

Məlum olan düsturlardan aşağıdakı düsturları ala bilərik:

$$p = \frac{\rho RT}{M} \qquad \rho = \frac{pM}{RT} \qquad \rho = \frac{m}{V}$$



$$p = nkT \qquad n = \frac{p}{kT} \qquad n = \frac{N}{V}$$



§ 12.6. İzoproseslər. İdeal qaz qanunları.

Verilmiş kütləli ($m = const$) qazın makroskopik parametrlərindən birinin sabit qalması ilə gedən proseslərə izoproseslər deyilir.

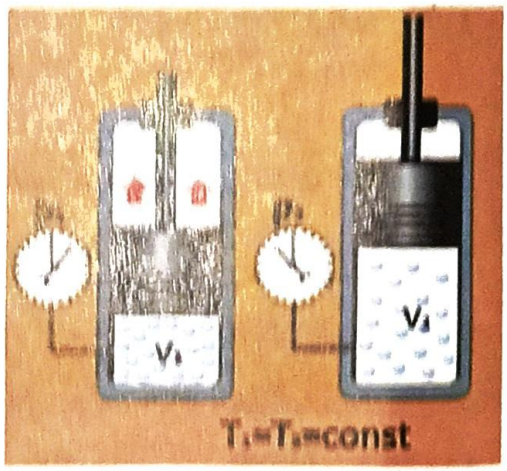
1. İzotermik proses

Sabit temperaturda verilmiş kütləli ideal qazın halının dəyişməsi prosesi ***izotermik proses*** *adlanır.* $m = const$ *və* $T = const$ *olduqda ideal qazın hal tənliyindən alınır:*

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad \rightarrow \quad pV = const$$

$$p_1V_1 = p_2V_2 \quad \rightarrow \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$p = nkT \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{pM}{RT}$$



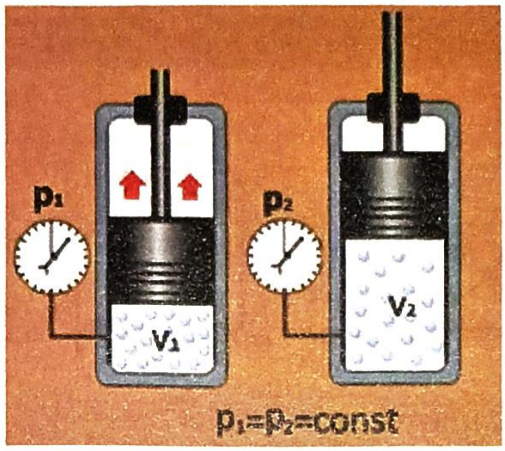
Boyl – Mariot qanunu: *Sabit temperaturda verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin onun həcminə hasili sabit kəmiyyətdir. İzotermik prosesdə verilmiş kütləli ideal qazın molekullarının orta kinetik enerjisi sabit qalır:* $T = const \qquad E_k = const$



2.İzobar proses.

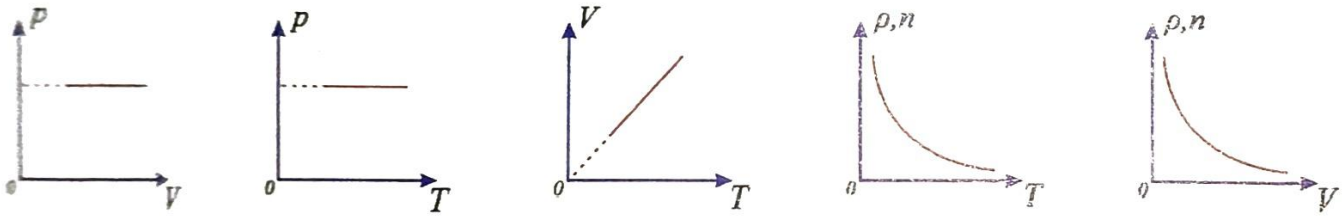
Sabit təzyiqdə verilmiş kütləli ideal qazın halının dəyişməsi prosesinə ***izobar proses*** *deyilir.* $m = const$ *və* $p = const$ *olduqda ideal qazın hal tənliyindən alırıq:*

$$\frac{V}{T} = const \qquad \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$



Gey – Lüssak qanunu. *Sabit təzyiqdə verilmiş kütləli ideal qazın həcminin mütləq temperatura olan nisbəti sabit qalır.*

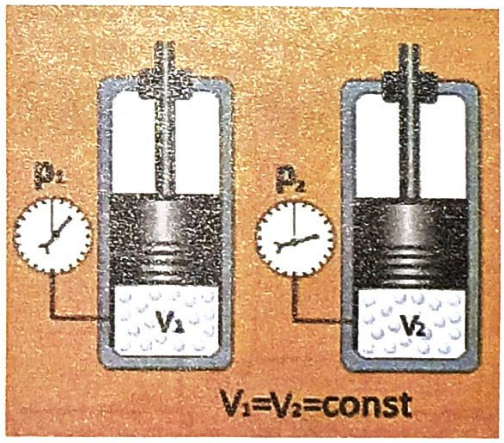
- *İzobar prosesdə porşenlə qapanmış silindirik qabda verilmiş kütləli ideal qaz tərəfindən porşenə təsir edən qüvvənin qiyməti sabit qalır.*



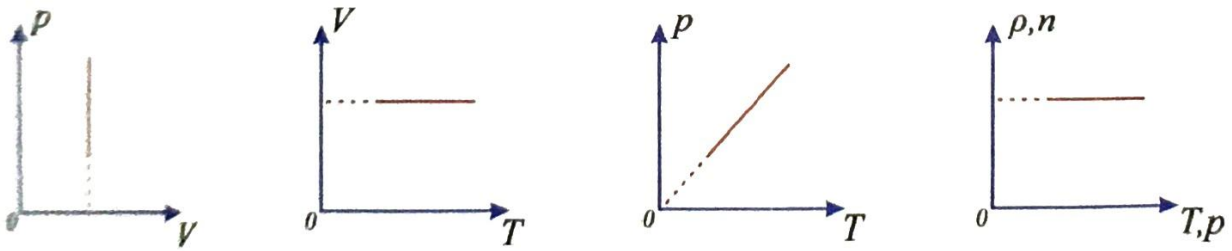
3.İzoxor proses.

Sabit həcmdə verilmiş kütləli ideal qazın halının dəyişməsi prosesi ***izoxor proses*** *adlanır.* $m = const$ və $V = const$ olarsa, $\rho = const$ $n = const$ olar. İdeal qazın hal tənliyindən alınıq:

$$\frac{p}{T} = const \qquad \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

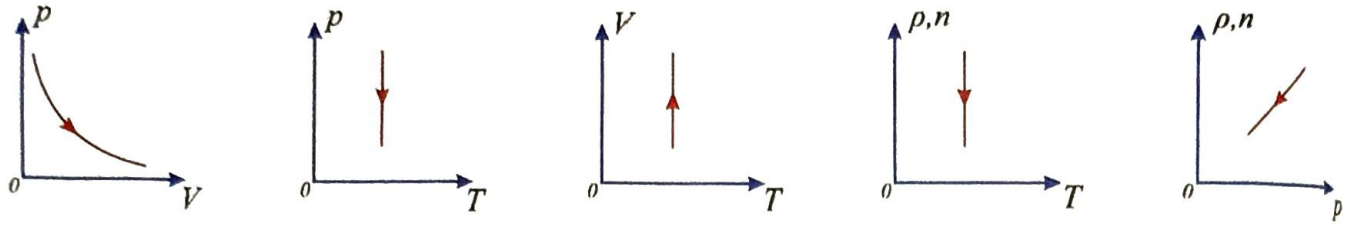


Şarl qanunu. *Sabit həcmdə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin temperatura nisbəti sabit qalır.*

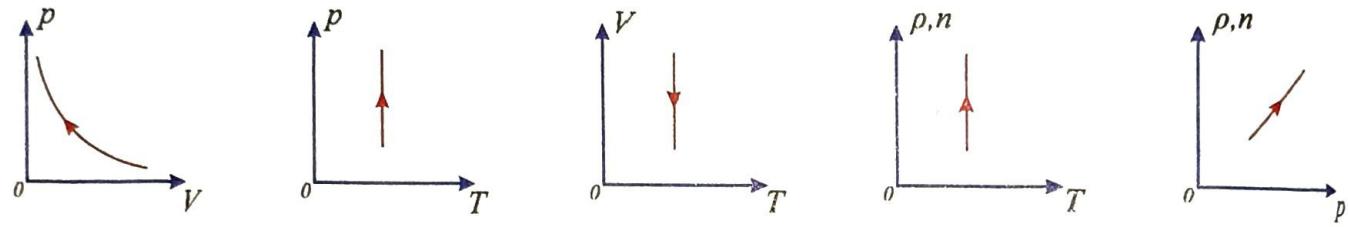


❖ Xüsusi hallar:

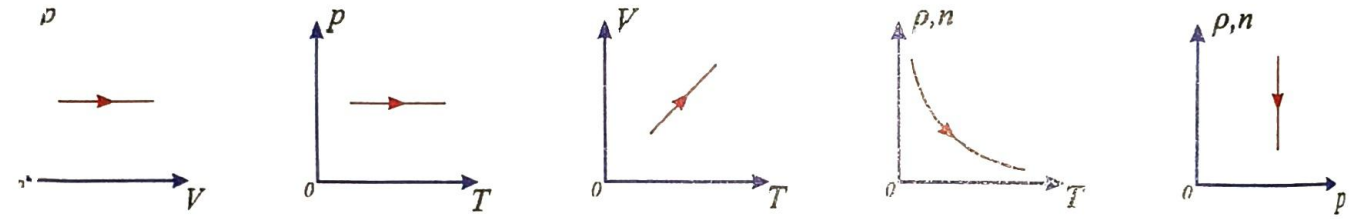
1. İzotermik genişlənmə; $T = const$ $V\uparrow$ $p\downarrow$ $n\downarrow$ $\rho\downarrow$



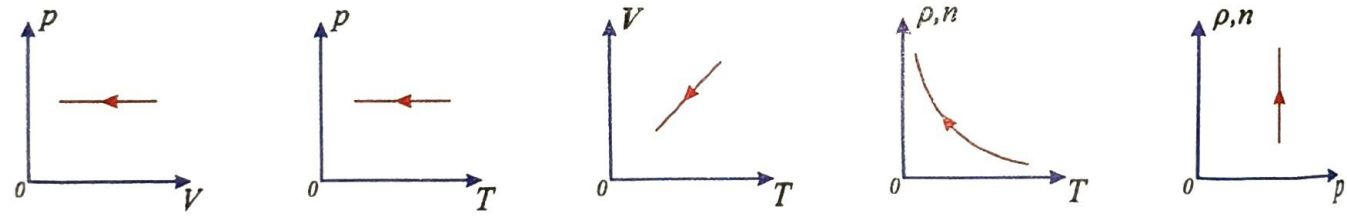
2. İzotermik sıxılma; $T = const$ $V\downarrow$ $p\uparrow$ $n\uparrow$ $\rho\uparrow$



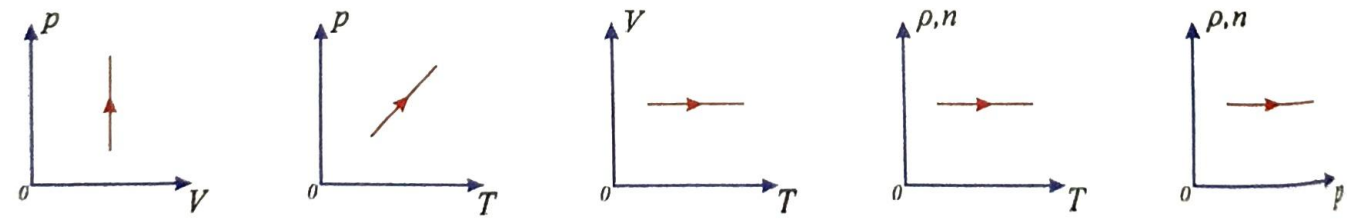
3. İzobar qızma (izobar genişlənmə); $p = const$ $T\uparrow$ $V\uparrow$ $n\downarrow$ $\rho\downarrow$



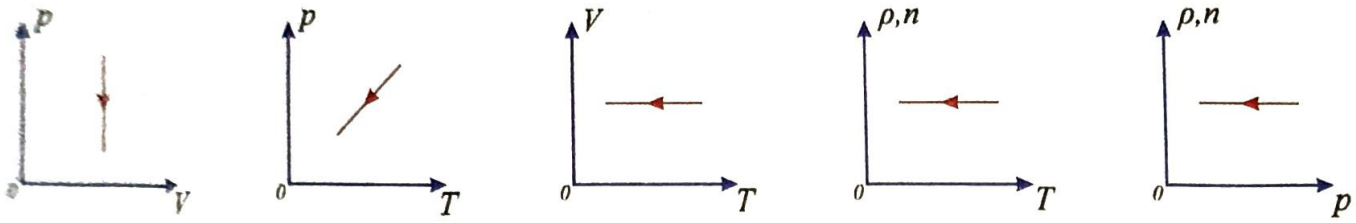
4. İzobar soyuma (izobar sıxılma); $p = const$ $T\downarrow$ $V\downarrow$ $n\uparrow$ $\rho\uparrow$



5.İzoxor qızma; $V = const$ $n = const$ $\rho = const$ $T\uparrow$ $p\uparrow$

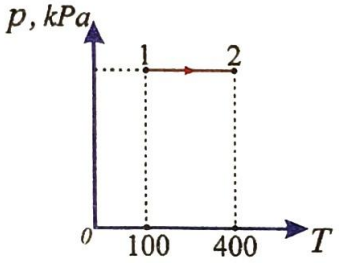


6. İzoxor soyuma; $V = const$ $n = const$ $\rho = const$ $T \downarrow$ $p \downarrow$



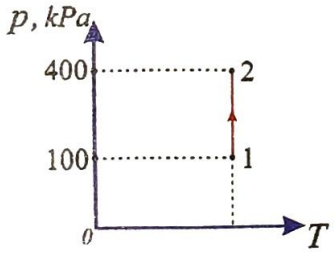
- Təzyiqin sabit qiymətində ideal qazın temperaturunu n dəfə artırdıqda, həcminin sabit qalması üçün onun kütləsini n dəfə azaltmaq lazımdır.

$$pV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow \quad m\frac{pVM}{RT}$$



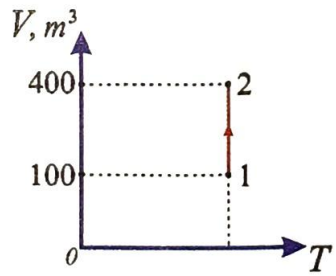
Verilmiş qrafikdə: $p = const$, $T_2 = 4T_1$, $V = const$ *olması üçün* $m_1 = 4m_2$ *olmalıdır.*

- Həcmin və temperaturun sabit qiymətində ideal qazın təzyiqini n dəfə artırmaq üçün onun kütləsini n dəfə artırmaq lazımdır.



Verilmiş qrafikdə: $V = const$, $T = const$, $p_2 = 4p_1$ *olması üçün* $m_2 = 4m_1$ *olmalıdır.*

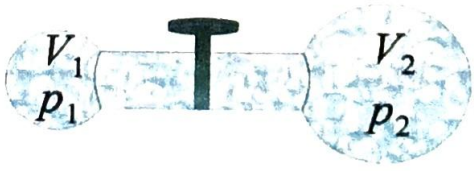
- İdeal qazın təzyiqinin və temperaturun sabit qiymətində həcmini n dəfə artırmaq üçün onun kütləsini n dəfə artırmaq lazımdır.



Verilmiş qrafikdə: $p = const$, $T = const$, $V_2 = 4V_1$ *olması üçün* $m_2 = 4m_1$ *olmalıdır.*

- Sabit temperaturda həcmi V_1 olan qabdakı qazın təzyiqi p_1, həcmi V_2 olan qabdakı qazın təzyiqi p_2 olarsa, qabları birləşdirdikdə qərarlaşmış təzyiq – p aşağıdakı kimi ifadə olunur.

$$p = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2}$$

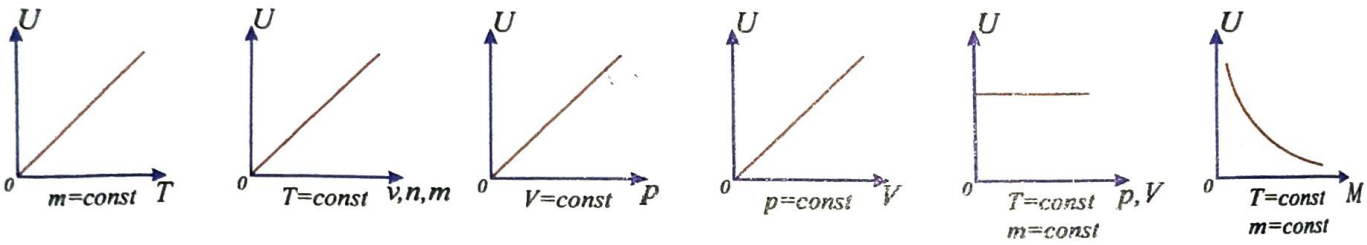


13. TERMODİNAMİKANIN ƏSASLARI.

§13.1. Daxili enerji.

Maddənin molekulyar qurluşunu nəzərə almadan makroskopik cisimlərin istilik xassələrini öyrənən bölmə *termodinamika* adlanır. Bütün cisimlər molekullardan təşkil olunmuşdur və molekullar daim nizamsız hərəkət edir. Onda deyə bilərik ki, molekullar kinetik enerjiyə malikdir. Molekullar arasında qarşılıqlı təsir qüvvələri mövcud olduğu üçün onlar potensial enerjiyə də malikdir. ***Cismi təşkil edən zərrəciklərin kinetik və potensial enerjiləri cəminə daxili enerji deyilir.*** *Molekulu bir atomdan ibarət olan qaza biratomlu qaz deyilir.* Helium, neon, arqon və digər təzirsiz qazlar biratomludur.Biratomlu ideal qaz atomları arasında qarşılıqlı təsir çox zəif olduğundan potensial enerji nəzərə alınmır ($E_p = 0$).Bir atomlu ideal qazın daxili enerjisi onun molekullarının kinetik enerjisindən ibarətdir.

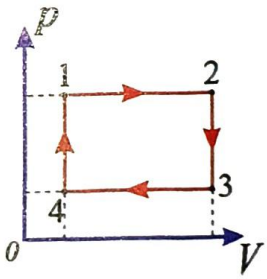
$$U = N\overline{E}_k = \frac{3}{2}kT \cdot \nu N_A = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}pV$$



➢ ***İdeal qazın daxili enerjisinin dəyişmə düsturları:***

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\frac{m}{M}R\Delta T$$

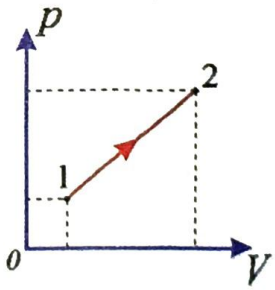
➢ ***İzobar prosesdə*** $(p = const; 1 \to 2;\ 3 \to 4)$***:***



$$\Delta U = \frac{3}{2}p\Delta V = \frac{3}{2}p(V_2 - V_1)$$

➢ ***İzoxor prosesdə*** $(V = const; 4 \to 1;\ 2 \to 3)$

$$\Delta U = \frac{3}{2}V\Delta p = \frac{3}{2}V(p_2 - p_1)$$



➢ ***İdeal qaz 1 halından 2 halına keçdikdə daxili enerjisi dəyişməsi:***

$$\Delta U = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$$

➢ ***İzotermik prosesdə*** $(m = const)$ $T = const$; $U = const$; $\Delta U = 0$

➢ ***Verilmiş kütləli biratomlu ideal qazın daxili enerjisini termometrdən istifadə etməklə hesablamaq olar.***

§13.2. İstilik miqdarı. Maddənin xüsusi istilik tutumu. İstilik tutumu. İstilik balansı tənliyi. Yanacağın xüsusi yanma istiliyi

İstilikvermə prosesində cismin aldığı və ya verdiyi enerji istilik miqdarı (Q) adlanır.
Verilmiş kütləli cismin temperaturunu $\Delta t\,(\Delta T)$ qədər dəyişmək üçün tələb olunan istilik miqdarı

$$Q = cm\Delta t = cm(t_2 - t_1) \quad \text{və ya} \quad Q = cm\Delta T = cm(T_2 - T_1)$$

Burada m - cismin kütləsi, $\Delta t = (t_2 - t_1)$ – temperatur dəyişməsi, c – maddənin xüsusi istilik tutumudur. İstilik miqdarının vahidi: $[Q] = 1C$ ***və ya kaloridir.*** $1\,kal = 4{,}2\,C$
Cisim istilik miqdarı aldıqda qızır $Q > 0$, istilik miqdarı verdikdə soyuyur $Q < 0$.

1 kq kütləli maddəni 1 K (1 °C) qızdırmaq üçün lazım olan istilik miqdarına bərabər olan fiziki kəmiyyət xüsusi istilik tutumu adlanır:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t} = \frac{Q}{m\Delta T} \qquad [c] = 1\frac{C}{kq \cdot K} = \frac{m^2}{K \cdot san^2}$$

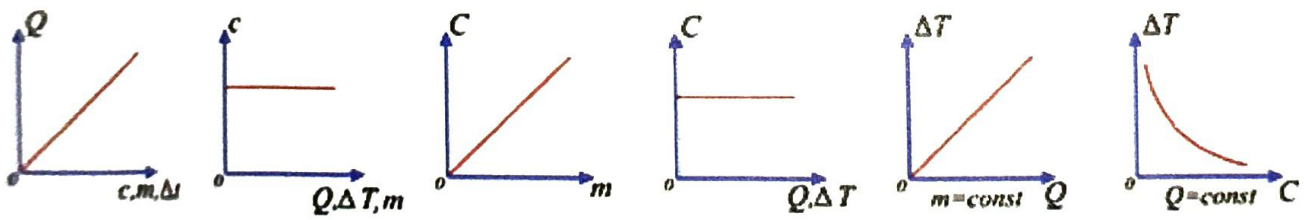

Kalorimetr

Xüsusi istilik tutumu yalnız maddənin növündən asılıdır. Maddənin xüsusi istilik tutumunu ***kalorimetr*** adlanan cihazla təyin edirlər.

Cismin temperaturunu 1 K (1 °C) artırmaq üçün lazım olan istilik miqdarına bərabər olan fiziki kəmiyyət istilik tutumu adlanır.

$$C = c \cdot m \qquad C = \frac{Q}{\Delta T} \qquad \Delta T = \frac{Q}{mc} = \frac{Q}{C}$$

C istilik tutumudur, maddənin növündən və kütləsindən asılıdır. $[C] = 1\frac{C}{K} = \frac{kq \cdot m^2}{K \cdot san^2}$



➢ *Sabit həcmdə ($V = const$) bir atomlu ideal qazın xüsusi istilik tutumu:*

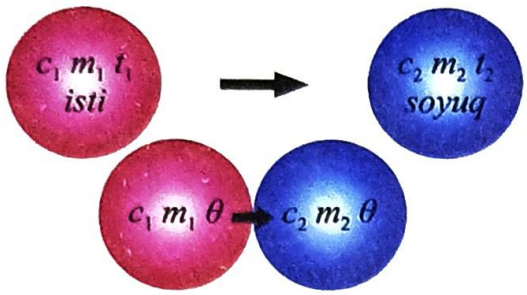
$$c_V = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{M} \qquad C_V = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} R$$

➢ *Sabit təzyiqdə ($p = const$) bir atomlu ideal qazın xüsusi istilik tutumu:*

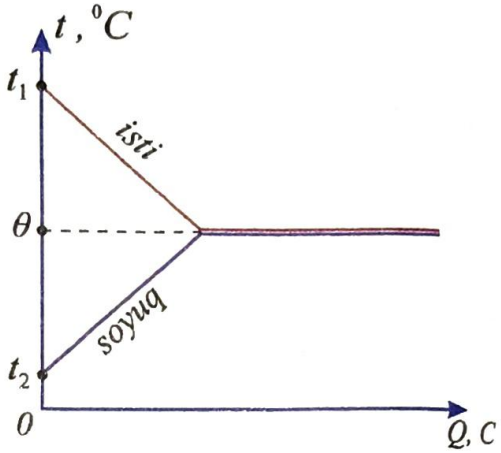
$$c_p = \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{M} \qquad C_p = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} R$$

❖ İstilik balansı tənliyi. Qərarlaşmış temperatur:

Müxtəlif temperaturlu iki cisim götürək ($t_1 > t_2$). Sistemdə heç bir enerji çevrilməsi baş vermir, yalnız həmin cisimlər arasında istilik mübadiləsi mövcuddur. Temperaturu yüksək olan cisim müəyyən istilik miqdarı verir, digəri isə müəyyən istilik miqdarı alır. Bu proses cisimlərin temperaturu bərabərləşənə kimi davam edir. Cisimlərin son temperaturunu θ (*teta*) ilə işarə edək. Enerjinin saxlanma qanununa görə:



θ - *Qərarlaşmış temperatur*



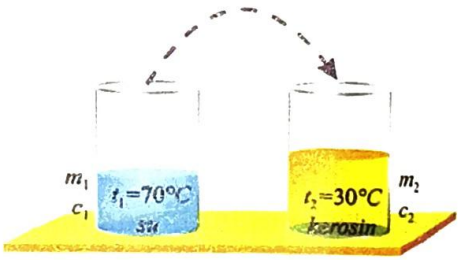
$$Q_1 + Q_2 = 0$$

Burada, $Q_1 = c_1 m_1 (\theta - t_1)$ isti cismin verdiyi, $Q_2 = c_2 m_2 (\theta - t_2)$ soyuq cismin aldığı istilik miqdarıdır.

Beləliklə, $c_1 m_1 (\theta - t_1) + c_2 m_2 (\theta - t_2) = 0$ istilik balansı tənliyini alırıq.

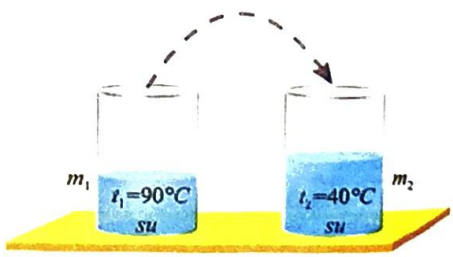
- ***Hər iki cismin son temperaturu*** $(\theta - teta)$**:**

$$\theta = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$



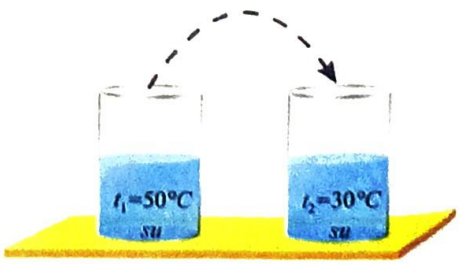
- ***Əgər cisimlər eyni maddədən hazırlanıblarsa*** $(c_1 = c_2 \quad \rho_1 = \rho_2)$**:**

$$\theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \frac{V_1 t_1 + V_2 t_2}{V_1 + V_2}$$



- ***Əgər cisimlər eyni maddədən hazırlanıblarsa*** $(c_1 = c_2)$ *və kütlələri də eyni olarsa,* $(m_1 = m_2)$*:*

$$\theta = \frac{t_1 + t_2}{2}$$



Yanacağın xüsusi yanma istiliyi.

Yanacaq yandıqda verdiyi enerjiyə yanacağın yanma istiliyi deyilir.

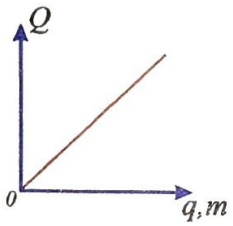
$$Q = m \cdot q$$

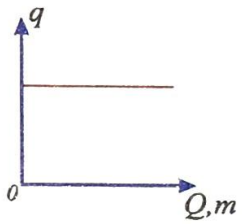
Burada m - yanacağın kütləsi, Q – yanacaq yanarkən ayrılan istilik miqdarı, q – yanacağın xüsusi yanma istiliyidir, maddənin növündən asılıdır.

Ədədi qiymətcə 1 kq yanacaq tam yandıqda ayrılan istilik miqdarına bərabər olan fiziki kəmiyyət yanacağın xüsusi yanma istiliyi adlanır.

$$q = \frac{Q}{m}$$

Vahidi: $[q] = 1\frac{C}{kq} = 1\frac{m^2}{san^2}$





§13.3. Daxili enerjinin dəyişmə üsulları. İstilikvermənin növləri.

Sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi iki üsulla — müəyyən Q istilik miqdarı verilməklə və sistem üzərində A işi görülməklə baş verir.

$$\Delta U = Q + A$$

➢ **Sistem üzərində iş görməklə:** Cisim üzərində mexaniki iş görüldükdə onun daxili enerjisi artır, cisim özü iş gördükdə isə onun daxili enerjisi azalır. Məsələn, çəkiclə polad tirciyə zərbə endirilməsi, iki taxta parçasının bir-birinə sürtülməsi və.s.
Əgər sistemin daxili enerjisi yalnız mexaniki işgörmə nəticəsində dəyişirsə, bu halda onun daxili enerjisi xarici qüvvələrin sistem üzərində gördüyü işə (A) bərabər olur.

$$\Delta U = A$$

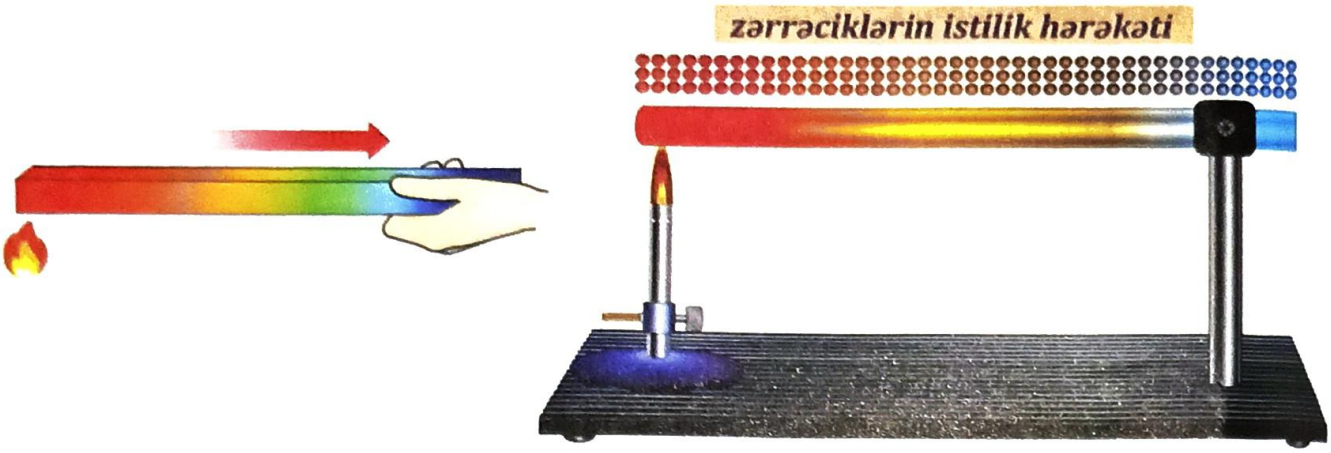
➢ **İstilikvermə yolu ilə:** *Əgər sistemin daxili enerjisi yalnız istilik mübadiləsi nəticəsində dəyişirsə, bu halda onun daxili enerjisi sistemə verilən (və ya sistemin verdiyi) istilik miqdarına bərabər olur.* Məsələn, dəmir qaba qaynar su tökdükdə dəmir qab qızar və daxili enerjisi artar. Cisim qızarkən və soyuyarkən onun daxili enerjisinin dəyişməsi belə təyin edilir:

$$\Delta U = Q = c\,m\,\Delta t$$

Cisim üzərində iş görmədən cismin daxili enerjisinin dəyişməsi prosesinə ***istilikvermə*** *deyilir.* İstilik vermənin üç növü var: ***istilikkeçirmə, konveksiya, şüalanma.***

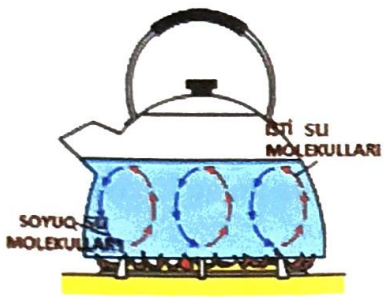
1.İstilikkeçirmə:

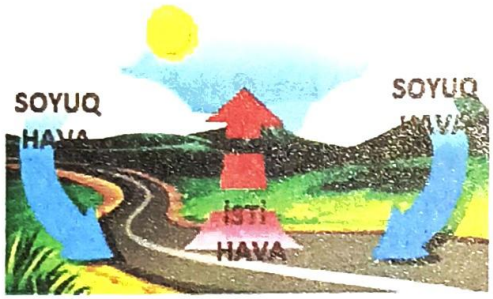
Zərrəciklərin istilik hərəkəti nəticəsində enerjinin cismin çox qızmış hissəsindən az qızmış hissəsinə köçürülməsi prosesinə istilikkeçirmə deyilir. Məsələn, metal məftilin bir ucundan qızdırdıqda digər ucunun da temperaturu artar. Müxtəlif maddələrin istilik keçirməsi müxtəlifdir. Metallar istiliyi yaxşı, qazlar isə çox pis keçirir.

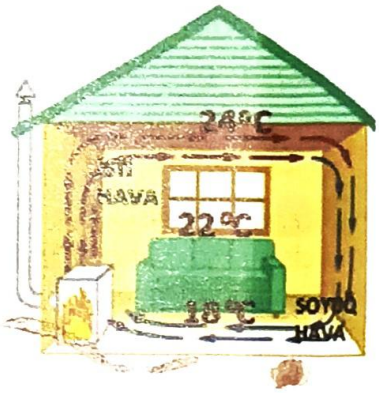


2.Konveksiya:

Enerjinin maye və ya qaz axını vasitəsi ilə köçürülməsi prosesidir. Məsələn, suyu aşağıdan qızdırdıqda qızmış su kütləsi yuxarı qalxır, onun yerinə yuxarıdakı soyuq su kütləsi aşağı düşür. Konveksiyada maddə daşınması baş verir.

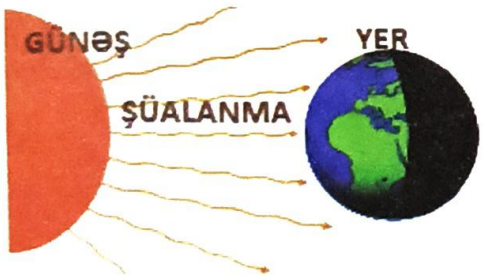






3.Şüalanma:

Enerjinin bir cisimdən digər cismə elektromaqnit dalğaları vasitəsilə verilməsi prosesi şüalanma adlanır. Günəşdən Yerə enerji şüalanma yolu ilə verilir. Şüalanma vakuumda da baş verir.

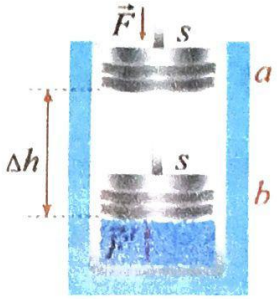




§ 13.4. Termodinamikada iş.

Termodinamikada iş sistemin daxili enerjisinin dəyişməsinin miqdar ölçüsüdür. Fərz edək ki, silindirik formalı en kəsiyinin sahəsi S olan qabda porşen altında qaz vardır. Xarici F – qüvvəsi ilə porşenə təsir edərək qazı sıxdıqda, porşen a vəziyyətindən b vəziyyətinə gələrək yerini Δh qədər dəyişir. Qaz sıxılanda qazın temperaturu yüksəlir, daxili enerjisi artır və bu zaman deyilir ki, xarici qüvvələr qaz üzərində müsbət iş görür $(A > 0)$.

Qaz genişləndikdə qaz porşenə F' – qüvvəsilə təsir edərək porşeni yuxarı hərəkət etdirir, qaz soyuyur, daxili enerjisi azalır və bu zaman deyilir ki, qaz xarici qüvvələrə qarşı müsbət iş görür $(A' > 0)$.



- A – xarici qüvvələrin qaz üzərində gördüyü iş.
- A' – qazın xarici qüvvələrə qarşı gördüyü iş. $A' = -A$

$$A' = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = \nu R\Delta T = \frac{m}{M} R\Delta T$$

➢ *Qaz genişlənəndə* $(V_2 > V_1 \quad \Delta V > 0)$ *qazın işi müsbət, xarici qüvvələrin işi mənfi olur.*

$$A > 0 \quad A < 0$$

➢ *Qaz sıxılanda* $(V_2 < V_1 \quad \Delta V < 0)$ *qazın işi mənfi, xarici qüvvələrin işi müsbət olur.*

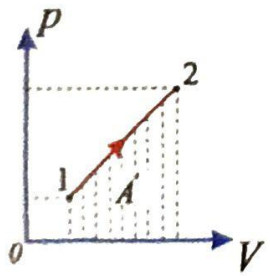
$$A' < 0 \quad A > 0$$

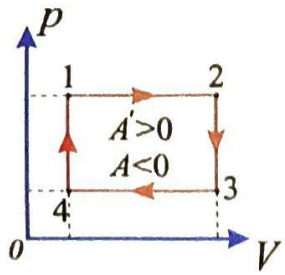
➢ Qazın həcmi dəyişməsə $(V = const)$ iş görülmür. $A' = A = 0$

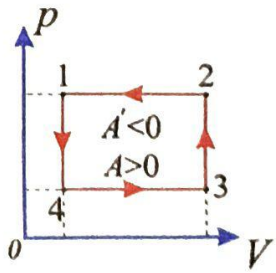
➢ ***Silindrik qabda izobar prosesdə qazın gördüyü işi manometr və xətkeşlə müəyyən etmək olar.***

$$\Delta V = S \cdot \Delta h \qquad A' = p \cdot S\Delta h$$

$$A' = S_{fiqur}$$







R – universal qaz sabitidir. 1 mol ideal qazı izabar olaraq 1K qızdıran zaman qazın gördüyü işə bərabərdir.

$$R = \frac{A'}{\nu \cdot \Delta T}$$

§ 13.5. Termodinamikanın I qanunu.

Termodinamikanın I qanunu – istilik proseslərində enerjinin saxlanma qanunudur və belə ifadə olunur: ***Sistem bir haldan başqa hala keçdikdə onun daxili enerjisinin dəyişməsi xarici qüvvələrin sistem üzərində gördüyü işlə ona verilən istilik miqdarının cəminə bərabərdir:***

$\Delta U = Q + A$	$Q = \Delta U - A$
$\Delta U = Q - A'$	$Q = \Delta U + A'$

Sistemə verilən istilik miqdarı onun daxili enerjisinin dəyişməsinə və sistemin xarici qüvvələrə qarşı işin görülməsinə sərf olunur.

§ 13.6. Termodinamikanın I qanununun müxtəlif proseslərə tətbiqi

1. İzotermik proses: $(m = const, \quad T = const)$

İzotermik prosesdə temperatur sabitdir $(T = const)$ onda daxili enerjinin dəyişməsi $(U = const \Rightarrow \Delta U = 0)$ sıfra bərabərdir.

$Q = A'$	$Q = -A$	$Q = p\Delta V$

- ***İzotermik prosesdə sistemə verilən istilik miqdarının hamısı işin görülməsinə sərf olunur.***

2. İzoxor proses: $(m = const, \quad V = const)$ $\quad Q = \Delta U + A'$

Qazın həcmi dəyişmir $(V = const \Rightarrow \Delta V = 0$ və ona görə də görülən iş sıfra bərabərdir.

$A' = -A = 0$	$Q = \Delta U$	$Q = \frac{3}{2} V \Delta p = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$

- ***İzoxor prosesdə sistemə verilən istilik miqdarı tamamilə daxili enerjinin dəyişməsinə sərf olunur.***

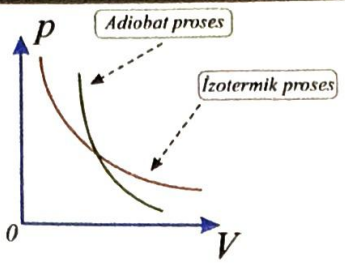
3. İzobar proses: $(m = const, \quad p = const)$ $\quad Q = \Delta U + A'$

$$Q = \Delta U + A' = \frac{3}{2} p\Delta V + p\Delta V = \frac{5}{2} p\Delta V = \frac{5}{2} \nu R \Delta T \qquad Q = \frac{5}{2} A' = \frac{5}{3} \Delta U$$

$\frac{A'}{Q} = \frac{2}{5} = 0{,}4 \Rightarrow A' = 0{,}4Q$	$\frac{\Delta U}{Q} = \frac{3}{5} = 0{,}6 \Rightarrow \Delta U = 0{,}6Q$	$\frac{\Delta U}{A'} = \frac{3}{2} = 1{,}5 \Rightarrow \Delta U = 1{,}5A'$

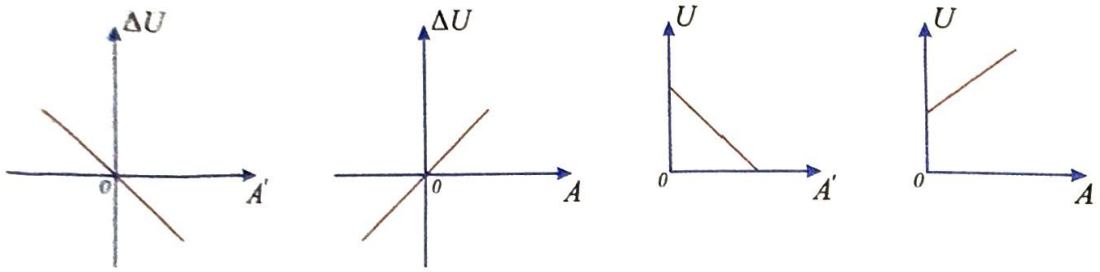
- ***Yəni, izobar prosesdə biratomlu qaza verilən istilik miqdarının 0,4 (40%) hissəsi işin görülməsinə, 0,6 (60%) hissəsi isə daxili enerjinin dəyişməsinə sərf olunur.***

4. Adiabat proses ***(m=const, Q=0). İstilikdən təcrid olunmuş sistemdə gedən proses adiabat proses adlanır.*** Adiabat prosesdə $Q = 0$ olduğundan daxili enerjinin dəyişməsi yalnız işin görülməsi hesabına baş verir.



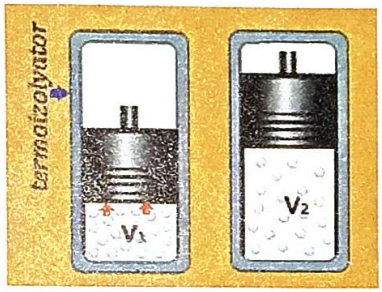
$$\Delta U = -A' \quad \Rightarrow \quad \Delta U = A$$

$$A' = -\Delta U = -\frac{3}{2}\frac{m}{M}R(T_2 - T_1) = -\frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$$



a) Adiabat genişlənmə:

Qaz adiabat genişlənəndə xarici qüvvə mənfi iş gördüyündən qazın daxili enerjisi azalır—qaz soyuyur və temperaturu (orta kinetik enerjisi, orta kvadratik sürəti, təzyiqi) azalır.

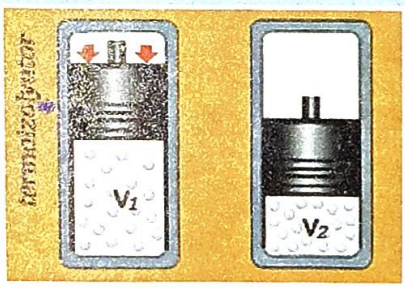


$$\Delta U = -A'$$

$$A' > 0 \quad A < 0 \quad \Delta U < 0 \quad \Delta T < 0$$

b) Adiabat sıxılma:

Qaz adiabat sıxılmada xarici qüvvə müsbət iş gördüyündən qazın daxili enerjisi yüksəlir – qaz qızır və temperaturu (orta kinetik enerjisi, orta kvadratik sürəti, təzyiqi) artır.



$$\Delta U = -A'$$

$$A' < 0 \quad A > 0 \quad \Delta U > 0 \quad \Delta T > 0$$

Qaz adiabat sıxılarkən onun temperaturu yüksəldiyindən qazın təzyiqi izotermik prosesdəkinə nisbətən daha sürətlə artır, adiabat genişlənərkən soyuduğundan qazın təzyiqi izotermik prosesdəkinə nisbətən daha sürətlə azalır.

§ 13.7. İstilik proseslərinin istiqamətliliyi. Termodinamikanın II qanunu.

İstilik özbaşına olaraq yalnız bir istiqamətdə—temperaturu yüksək olan cisimdən aşağı temperaturlu cismə doğru axır. Əks proses, yəni istiliyin soyuq cisimdən daha isti cismə özbaşına verilməsi mümkün deyil. İstilikvermə prosesi dönməyəndir. Termodinamikanın II qanunu enerjinin mümkün olan çevrilmələrinin istiqamətini müəyyən edir və makroskopik sistemlərdə gedən proseslərin dönməzliyini göstərir. Alman alimi R.Klauzius bu qanunu belə ifadə etmişdir. ***Yeganə nəticəsi istliyin soyuq cisimdən isti cismə verilməsindən ibarət olan proses mümkün deyil.***

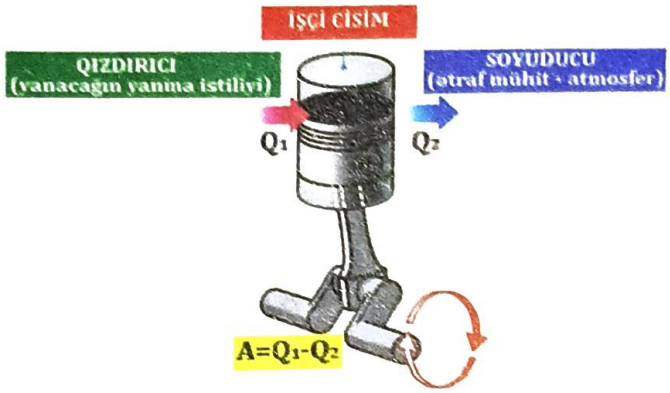
§13.8. İstilik mühərrikləri. FİƏ. Karno düsturu.

Yanacağın daxili enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən qurğulara istilik mühərrikləri deyilir. İstilik mühərriklərinin üç növü var: **1.Daxiliyanma mühərriki** – *yanacağın birbaşa silindrdə, mühərrikin özünün daxilində yandığı istilik mühərrikidir.* Hazırda daxiliyanma mühərrikinin iki növü mövcuddur: *karbüratorlu mühərrik* və *dizel mühərriki.*

2. Buxar turbini – *su buxarının daxili enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən istilik mühərrikidir.*

3. Reaktiv mühərrik – *yanacağın daxili enerjisini qaz şırnağının kinetik enerjisinə çevirən və qaz şırnağının reaksiya qüvvəsinə bərabər dartı qüvvəsi yaradan istilik mühərriki reaktiv mühərrikdir.* İki növ reaktiv mühərrik mövcuddur: *raket mühərriki* və *hava reaktiv mühərriki.*

Bütün istilik istilik mühərrikləri üç əsas hissədən ibarətdir: Temperaturu T_1 olan qızdırıcıdan, temperaturu T_2 olan soyuducudan (adətən ətraf mühit), işçi cisimdən (genişlənəndə iş görən qaz və ya buxar). Q_1 – qızdırıcıdan alınan istilik miqdarı, Q_2 – soyuducuya verilən istilik miqdarıdır. İstilik mühərrikində işçi cisim qızdırıcıdan Q_1 istilik miqdarını alaraq, A' işini görür və Q_2 istilik miqdarını soyuducuya verir.



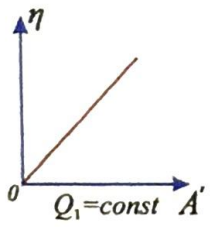
- Qızdırıcıdan alınan istilik miqdarı: $Q_1 = A' + Q_2$
- Qazın gördüyü iş: $A' = Q_1 - Q_2$
- Soyuducuya verilən istilik miqdarı: $Q_2 = Q_1 - A'$

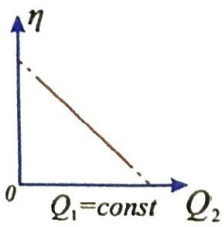
İstilik mühərrikinin f.i.ə: $\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ $\quad Q_2 = Q_1(1-\eta)$ $\quad Q_1 = \frac{Q_2}{1-\eta}$

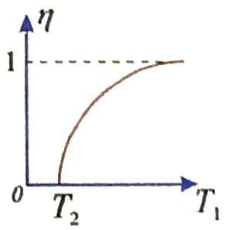
Karno düsturu: Fransız mühəndisi Sadi Karno müəyyən etmişdir ki, qızdırıcının temperaturu T_1 soyuducunun tam temperaturu T_2 olarsa, onda ideal istilik maşının f.i.ə.

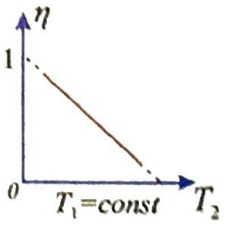
$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad T_2 = T_1(1-\eta) \qquad T_1 = \frac{T_2}{1-\eta}$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$









Mövzu ilə əlaqəli qeydlər (xüsusi hallar) :

- *Faydalı gücü* **P** *olan istilik mühərrikində işçi cisim* **t** *müddəti ərzində qızdırıcıdan* Q_1 *qədər istilik miqdarı alırsa mühərrikin* **FİƏ**-*lı:*

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{P \cdot t}{Q_1}$$

- **s** *məsafəsinə uçan dartı qüvvəsi* **F** *olan raket xüsusi yanma istiliyi* **q** *olan* **m** *kütləli yanacaq sərf edərsə, onun mühərrikinin* **FİƏ**-*lı:*

$$\eta = \frac{F \cdot s}{mq}$$

- *Gücü* **P** *olan elektrik qızdırıcısı* **t** *zaman fasiləsində ərimə temperaturunda götürülmüş* **m** *kütləli kristal cismi tam əridirsə, onun* **FİƏ**-*lı:*

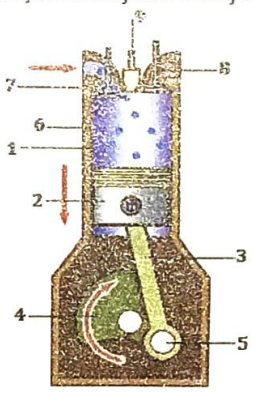
$$\eta = \frac{\lambda \cdot m}{P \cdot t}$$

- *Gücü* **P** *olan elektrik qızdırıcısı* **t** *zaman fasiləsində qaynama temperaturunda* **m** *kütləli mayeni tam buxarlandırırsa, onun* **FİƏ**-*lı:*

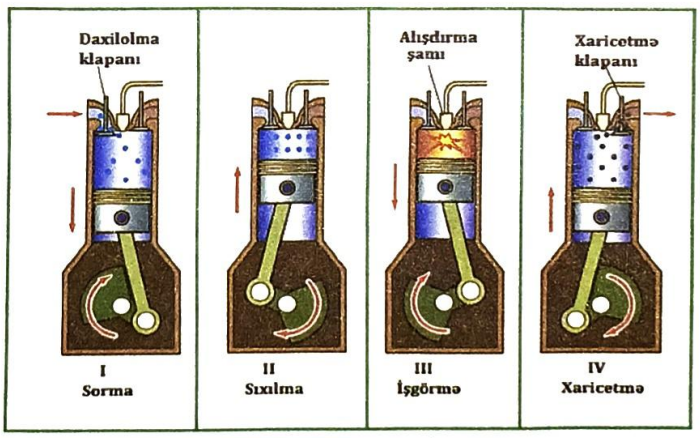
$$\eta = \frac{L \cdot m}{P \cdot t}$$

§13.9. Daxiliyanma mühərrikinin quruluş və iş prinsipi:

Daxiliyanma mühərriki – yanacağın birbaşa silindrdə, mühərrikin özünün daxilində yandığı istilik mühərrikidir.İlk porşenli daxiliyanma mühərrikini 1860-cı ildə fransız mühəndisi Etyen Lenuar ixtira etmişdir. Hazırda daxiliyanma mühərrikinin iki növü mövcuddur: karbüratorlu və dizel mühərriki. Karbüratorlu mühərrikdə yanacaq qarışığı (benzinin hava ilə qarışığı) mühərrikdən kənarda yerləşən karbürator adlanan xüsusi qurğuda hazırlanır və oradan mühərrikin silindrinə daxil olur. Dizel mühərrikində isə yanacaq qarışığı birbaşa mühərrikin özündə hazırlanır.Karbüratorlu daxiliyanma mühərriki aşağıdakı hissələrdən ibarətdir. Yanacaq qarışığı mühərrikin **1** silindrində yanır. Silindrdəki **2** porşeni **3** sürgü qoluna birləşdirilmişdir. Porşenin irəliləmə hərəkəti sürgü qoluna geydirilən **4** çarx qolu vasitəsilə **5** dirsəkli vala fırlanma hərəkəti verir. Vala isə metaldan hazırlanmış nazimçarx bərkidilir. Porşen yuxarı hərəkət etdikdə o, silindrin qapağına çatmır. Ona görə də silindrin qapağı ilə porşen arasında həmişə boş fəza - **6** yanma kamerası olur. Klapanlar müəyyən edilən iş ardıcıllığına uyğun olaraq avtomatik açılır: **7** daxilolma klapanından silindrə yanacaq qarışığı daxil olur və **8** xaricetmə klapanından isə yanacağın yanma tullantısı xaric edilir. **9** Alışdırma şamının yaratdığı elektrik qığılcımı yanacaq qarışığını alovlandırır. Daxiliyanma mühərrikində porşenin yuxarı və ya aşağı hər bir gedişi takt adlanır. Mühərrikin bir tam işi dörd taktda baş verir. Bu səbəbdən belə mühərrik ***dördtaktlı mühərrik*** adlanır:



I takt – sorma. Porşen aşağı hərəkət edir. Silindrdə seyrəlmə yaranır, daxilolma klapanı açılır (xaricetmə klapanı bağlıdır), və yanacaq qarışığı silindrə sorulur. Sorma taktının sonunda daxilolma klapanı bağlanır. ***II takt – sıxılma.*** Porşen yuxarı hərəkət edərək yanacaq qarışığını sıxır. Sıxılma zamanı yanacaq kəskin qızır. Sıxılma taktının sonunda, porşen yuxarı vəziyyətə çatmağa az qalmış, şamın yaratdığı elektrik qığılcımı yanacaq qarışığını alışdırır. ***III takt – işgörmə.*** Alışma nəticəsində yanacaq qarışığından ayrılan qazlar porşenə böyük qüvvə ilə təsir edərək onu aşağı itələyir. Nəticədə dirsəkli vala bərkidilən nazimçarx böyük sürətlə fırlanma hərəkəti alır. Nazimçarx ətaləti nəticəsində fırlanmaqda davam edərək porşenin sonrakı taktlardakı hərəkətini təmin edir.***IV takt – xaricetmə.*** Xaricetmə klapanı açılır (daxilolma klapanı bağlıdır), porşen yuxarı hərəkət edir və yanma məhsulları silindrdən atmosferə xaric edilir. Taktın sonunda xaricetmə klapanı bağlanır və yenidən birinci takt - sorma taktı başlanır.



14. MADDƏNİN AQREQAT HALLARI. DOYAN VƏ DOYMAYAN BUXAR.

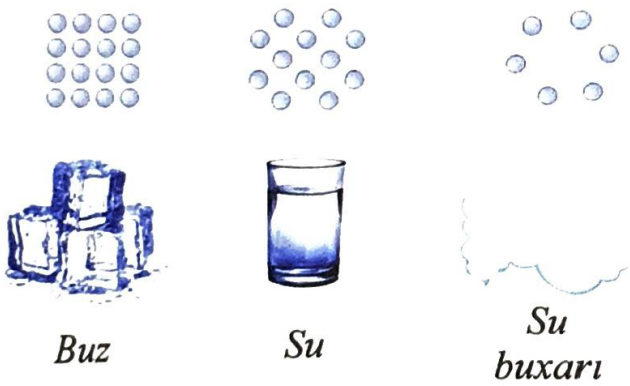
§ 14.1. Maddənin aqreqat halları.

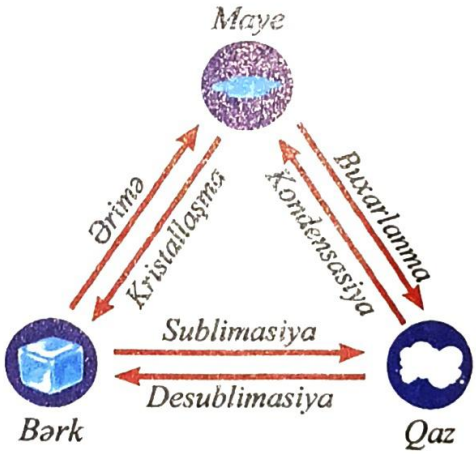
Maddələr adi şəraitdə üç aqreqat halda – bərk, maye və qaz hallarında ola bilir. **Maddənin müxtəlif aqreqat halları bir – birindən molekulların düzülüşü, hərəkəti və qarşılıqlı təsirinin xarakteri ilə fərqlənir.** *Hansı səbəblərə görə eyni temperaturda bəzi maddələr bərk, bəziləri maye, bəziləri qaz halında olur?* Maddəni təşkil edən zərrəciklər (atomlar, molekullar, ionlar) daim nizamsız istilik hərəkəti edir və onlar arasında molekulyar qüvvələr mövcuddur. Deməli, molekullar həm kinetik (E_k), həm də potensial (E_p) enerjiyə malikdir. Molekulların orta kinetik enerjisi temperaturdan, potensial enerjisi isə molekullar arasındakı məsafədən və qarşılıqlı təsirdə olan molekulların növlərindən asılıdır.

1. Müəyyən temperaturda zərrəciklərin orta kinetik enerjisi onların qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisindən olduqca kiçikdir: $\overline{E}_k << |E_p|$ (potensial enerji mənfi olduğundan modul götürülür). Bu halda zərrəciklər müəyyən tarazlıq vəziyyəti ətrafında rəqs edir və maddə bərk halda olur. Bərk maddəni təşkil edən molekullar müəyyən nizamlı düzülüşə malikdir. Onlar arasındakı cəzbetmə qüvvələri çox böyük olduğundan bu molekullar bir-birindən uzaqlaşa bilmir. Ona görə də bərk cisimlər həcm və formalarını saxlayır.

2. Maddəni qızdırdıqda zərrəciklərin orta kinetik enerjisi artaraq potensial enerji tərtibində olarsa $(\overline{E}_k \cong |E_p|)$*, maddə maye halına keçər.* Mayelərdə zərrəciklər həm irəliləmə, həm də rəqsi hərəkət icra edir. Mayeni təşkil edən molekulların nizamlı düzülüşü yoxdur, onlar yerlərini sərbəst dəyişir. Mayelər formalarını dəyişə bilir, lakin həcmlərini saxlayır.

3. Maddənin temperaturu daha da yüksəlsə, zərrəciklərin orta kinetik enerjisi potensial enerjidən dəfələrlə böyük olar $(\overline{E}_k >> |E_p|)$, onda molekulyar qüvvələr zərrəcikləri bir–birinin yanında saxlaya bilməz, onlar fəzaya yayılar və maddə qaz halına keçər. Qazları təşkil edən molekullar arasındakı məsafələr onların öz ölçülərindən çox–çox böyükdür. Qaz molekulları yerləşdikləri mühitdə – qabda, otaqda, havada fasiləsiz sərbəst hərəkət edir və hər yerə yayılır. Ona görə də qazlar forma və həcmlərini saxlamır.





- *Maddənin bərk haldan maye halına keçməsinə ərimə deyilir, əks prosesə isə kristallaşma və ya bərkimə deyilir.*
- *Maddənin maye halından qaz halına keçməsinə buxarlanma, əks prosesə isə kondensasiya deyilir.*
- *Maddənin bərk haldan maye halına keçmədən bir başa qaz halına keçməsi sublimasiya, əks proses isə desublimasiya adlanır.*

§14.2. Xüsusi ərimə istiliyi. Kristal maddələrin ərimə və bərkimə qrafikləri.

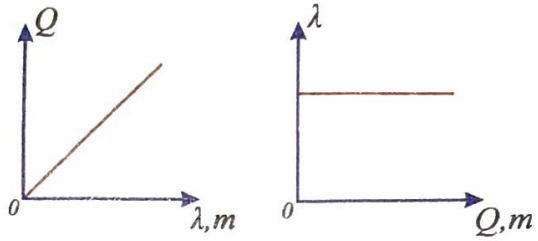
Ədədi qiymətcə 1 kq kütləli kristal maddəni ərimə temperaturunda mayeyə çevirmək üçün sərf edilən istilik miqdarına bərabər olan fiziki kəmiyyət xüsusi ərimə istiliyi adlanır.

$$\lambda = \frac{Q}{m} \qquad \text{Vahidi: } [\lambda] = 1\frac{C}{kq} = 1\frac{m^2}{san^2}$$

Burada m – maddənin kütləsi, Q – ərimə istiliyi, λ – xüsusi ərimə istiliyidir, maddənin növündən asılıdır.

Ərimə temperaturunda götürülmüş kristal maddənin bərk haldan maye halına keçməsi üçün lazım olan istilik miqdarına ərimə istiliyi deyilir.

$$Q = m \cdot \lambda$$



Mayenin kristallaşması prosesində maddənin daxili enerjisi azalır və sistem özü ətraf mühitə istilik miqdarı verir.

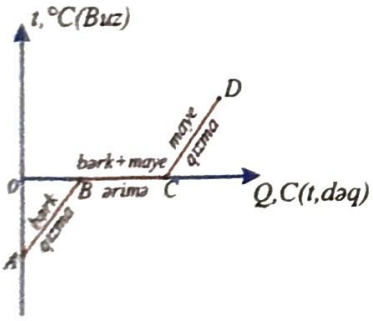
$$Q = -m \cdot \lambda$$

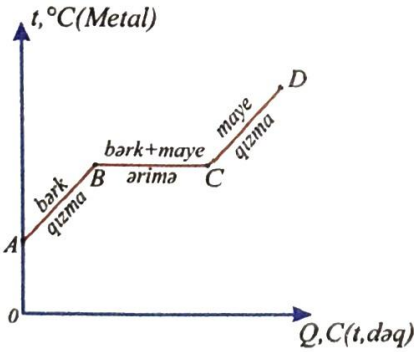
❖ Kristal maddələrin ərimə və bərkimə qrafikləri.

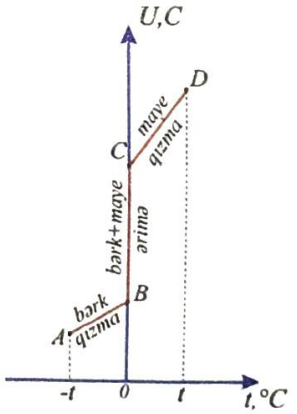
Kristal maddənin ərimə prosesini öyrənmək üçün temperaturun ona verilən istilik miqdarından (zamandan) və ya daxili enerjinin temperaturdan asılılıq qrafikinə baxaq.

- *Qrafikin AB hissəsi kristal* ***maddənin qızmasına*** *uyğundur:* $Q = c_b m\Delta T$
- ***B*** nöqtəsində maddə ərimeyə başlayır.
- *Qrafikin BC hissəsi kristal maddənin* ***ərimə prosesinə*** *uyğundur:* $Q = m \cdot \lambda$

Ərimə prosesində maddə qızdırıcıdan isilik miqdarı alsa da ***temperaturu və molekulların orta kinetik enerjisi dəyişmir****. Ərimə prosesində maddəyə verilən istilik miqdarı kristal qəfəslərin dağılmasına sərf olunur və molekulların potensial enerjisi artır. Ərimə prosesində maddənin* ***daxili enerjisi artır****.*







- *Qrafikin BC hissəsində bərk cismin kütləsi azalır,mayenin kütləsi artır.*
- *Qrafikin CD hissəsi mayenin qızmasına uyğundur:* $Q = c_{maye} m\Delta T$

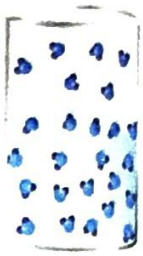
Əks proses isə maddənin maye halından – bərk hala keçməsinə uyğundur.

DC - mayenin soyuması, ***CB*** - mayenin bərkiməsi (kristallaşması), ***BA*** - bərk cismin soyumasıdır.

§ 14.3. Buxarəmələgəlmə. Buxarlanma və Qaynama. Xüsusi buxarlanma istiliyi.

Mayenin buxara çevrilməsi prosesinə *buxarəmələgəlmə* deyilir. Buxarın əmələ gəlməsi *buxarlanma* və *qaynama* yolu ilə baş verir.

❖ Buxarlanma:



Məlumdur ki, maye molekulları müxtəlif sürətlərlə maye daxilində xaotik hərəkət edir.Eyni zamanda bu molekullar arasında cazibə qüvvəsi də mövcuddur və cazibə qüvvəsi molekulları bir-birinin yanında saxlayır, onların uçub getməsinə maneə olur. Mayenin səthinə yaxın olan və kifayət qədər böyük sürət almış molekullar qonşu molekulların cazibəsinə üstün gələrək mayeni tərk edir. Mayenin sərbəst səthini tərk edən molekullar maye üzərində buxar əmələ gətirir. ***İstənilən temperaturda mayenin sərbəst səthindən molekulların kənara çıxması prosesinə buxarlanma deyilir.*** Buxarlanma zamanı mayeni böyük kinetik enerjiyə malik olan molekullar tərk etdiyi üçün mayenin daxili enerjisi və temperaturu azalır (əgər kənardan istilik miqdarı verilməzsə). Buxarlanmanın ***sürəti mayenin növündən, mayenin temperaturundan, mayenin sərbəst səthinin sahəsindən, maye səthini əhatə edən hava cərəyanının sürətindən*** asılıdır.

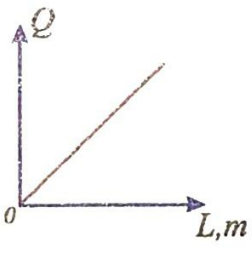
❖ Xüsusi buxarlanma istiliyi.

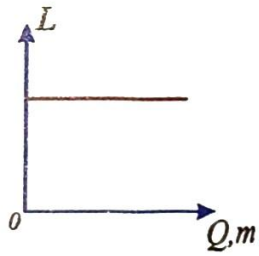
Ədədi qiymətcə sabit temperaturda $1\,kq$ ***mayeni buxara çevirmək üçün sərf olunan istilik miqdarına bərabər olan fiziki kəmiyyətə xüsusi buxarlanma istiliyi deyilir.***

$$L = \frac{Q}{m} \qquad Vahidi: [L] = 1\frac{C}{kq} = 1\frac{m^2}{san^2}$$

Burada m – mayenin kütləsi, Q – buxarlanma istiliyi, L – mayenin xüsusi buxarlanma istiliyidir. *Xüsusi buxarlanma istiliyi mayeni buxarlandırmaq üçün lazım olan istilik miqdarından və mayenin kütləsindən asılı deyil, maddənin növündən və eyni bir maye üçün temperaturdan asılıdır. Temperatur yüksəldikcə xüsusi buxarlanma istiliyi azalır, qaynama temperaturunda minimum olur.* Mayeni buxarlandırmaq üçün lazım olan istilik miqdarı:

$$Q = Lm$$



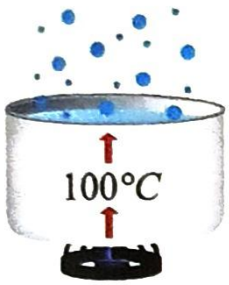


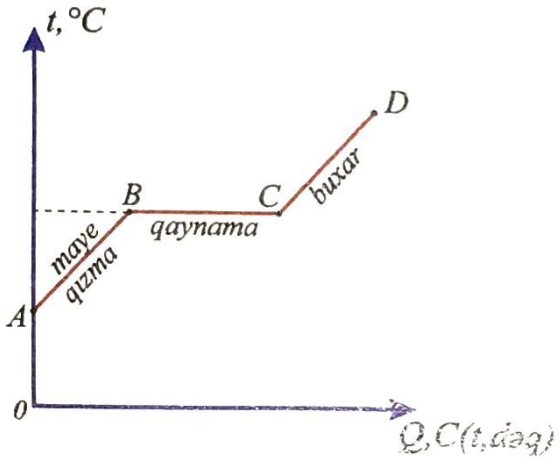
Buxar kondensasiya etdikdə isə həmin qədər enerji ayrılır: $Q = -Lm$

Qaynama.

Müəyyən temperaturda mayenin bütün həcmində baş verən buxarlanma prosesi qaynama adlanır. Mayenin qaynadığı temperatura mayenin qaynama temperaturu deyilir. *Mayenin qaynama temperaturu* ***xarici təzyiqdən*** *və* ***mayenin növündən*** *asılıdır.* Qaynama o temperaturda başlayar ki, qabarcıqlardakı doymuş buxarın təzyiqi xarici atmosfer təzyiqinə bərabər olsun ($p_{daxili} = p_{atm}$). Xarici təzyiq artanda mayenin qaynama temperaturu yüksəlir, təzyiq azaldıqda isə qaynama temperaturu aşağı düşür. Dağa qalxdıqda atmosfer təzyiqi azaldığına görə suyun qaynama temperaturu aşağı düşür.

Mayenin temperaturunun ona verilən istilik miqdarından asılılıq qrafikinə baxaq:





- *Qrafikin AB hissəsi mayenin qaynama temperaturuna kimi qızmasına uyğundur:* $Q = cm\Delta T$
- *B nöqtəsində maye qaynamağa başlayır.*
- *Qrafikin BC hissəsi mayenin qaynama prosesinə uyğundur:* $Q = Lm$

  Qaynama prosesində maddə qızdırıcıdan istilik miqdarı alsa da ***temperaturu*** *və* ***molekulların orta kinetik enerjisi dəyişmir****, molekulların* ***potensial enerjisi artır, daxili enerjisi artır.*** *Qaynama prosesində mayeyə verilən istilik miqdarı mayenin buxara çevrilməsinə sərf olunur.*
- *Qrafikin BC hissəsində mayenin kütləsi azalır, buxarın kütləsi artır.*
- *Qrafikin CD hissəsi buxarın qızmasına uyğundur.*

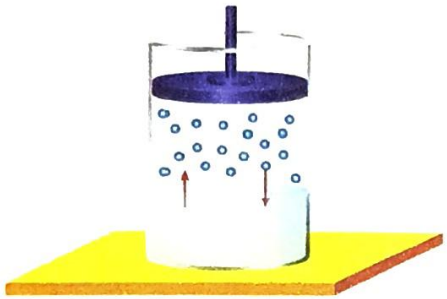
Qeyd: *$t_1°C$ temperaturlu verilmiş kütləli suyu (m_{su}) qaynatmaq və onun müəyyən hissəsini buxara (m_{bux}) çevirmək üçün lazım olan istilik miqdarı: suyun qaynama temperatur $t_2 = 100\,°C$*

$$Q = c\,m_{su}\,\Delta T + L\,m_{bux}$$

§ 14.4. Doyan və doymayan buxar.

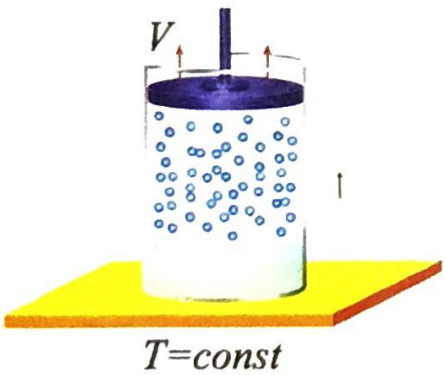
❖ Doyan buxar:

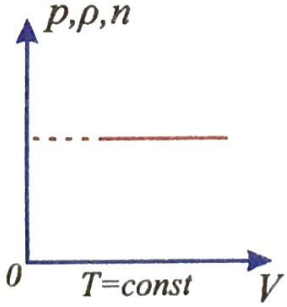
Qaba az miqdarda sabit temperaturda su tökək və onun ağzını porşenlə kip bağlayaq. Burada həm buxarlanma, həm də kondensasiya prosesləri gedir. İlk vaxtlar mayedən çıxan molekulların sayı mayeyə qayıdan molekulların sayından çox olur. Bu səbəbdən mayenin sıxlığı tədricən azalır. Lakin, buxarın sıxlığı artdıqca mayeyə qayıdan molekulların sayı da artır. Nəhayət, elə bir an gəlib çatır ki, maye ilə onun buxarı arasında dinamik tarazlıq yaranır. *Vahid zamanda mayeni tərk edən molekulların sayı mayeyə qayıdan molekulların sayına bərabər olur.* ***Öz mayesi ilə dinamik tarazlıqda olan buxara doyan buxar deyilir.*** Doyan buxar müəyyən temperaturda qapalı qabda olan mayenin sərbəst səthinin üzərində yaranır. Doyan buxar bir haldan digər hala keçdikdə kütləsi sabit qalmadığından ideal qaz qanunlarına tabe olmur.

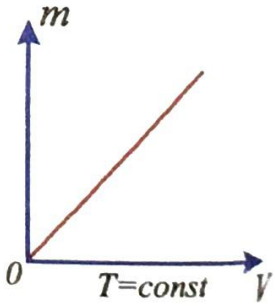


1. Sabit temperaturda doyan buxarın sıxlığı və təzyiqi onun həcmindən necə asılıdır?

Bu suala cavab vermək üçün təcrübəni davam etdirək. Porşeni yavaş – yavaş yuxarı qaldırmaqla buxarın tutduğu həcmi böyüdək. Bu zaman buxarla maye arasında dinamik tarazlıq pozulur, mayeni tərk edən molekulların sayı artır. Nəticədə mayenin buxarlanması hesabına doyan buxarın miqdarı artır, mayenin miqdarı azalır və maye ilə buxar arasındakı dinamik tarazlıq bərpa olunur. Buxarın kütləsi və həcmi eyni artır, sıxlığı isə $\rho = \frac{m}{V}$ düsturuna əsasən deyə bilərik ki, dəyişmir. Manometr də doyan buxarın təzyiqinin dəyişmədiyini göstərir. Porşeni aşağı hərəkət etdirsək əks proses baş verər: *doyan buxarın miqdarı azalır, mayenin miqdarı artır, sıxlıq və təzyiq dəyişməz qalır.* ***Deməli, sabit temperaturda doyan buxarın təzyiqi, sıxlığı və konsentrasiyası həcmdən asılı deyil.***



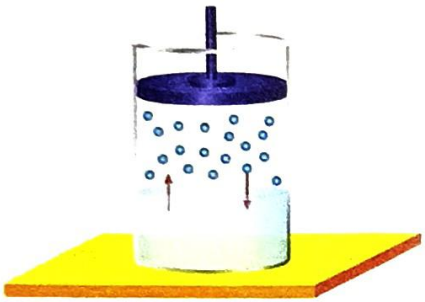


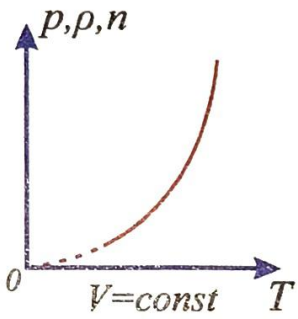


2. Sabit həcmdə doyan buxarın sıxlığı və təzyiqi onun temperaturundan necə asılıdır ?

Doyan buxarın təzyiqi $p_0 = nkT$ düsturu ilə hesablanır. Temperatur yüksəldikcə doyan buxarın təzyiqi ideal qazın təzyiqinə nisbətən daha sürətlə artır. Buna səbəb temperaturun artması ilə doyan buxar molekullarının konsentrasiyasının (sıxlığının) da artmasıdır. Prosesi davam etdirsək maye tamamilə buxarlanar, buxar və maye arasında dinamik tarazlıq pozular, doyan buxar doymayan buxar halına keçər.

$V = const$





❖ Doymayan buxar:

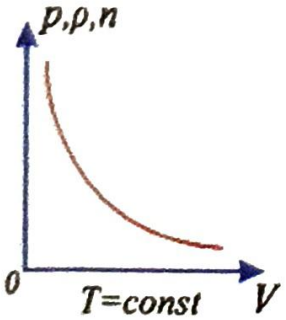
Öz mayesi ilə dinamik tarazlıqda olmayan buxar doymayan buxar adlanır.

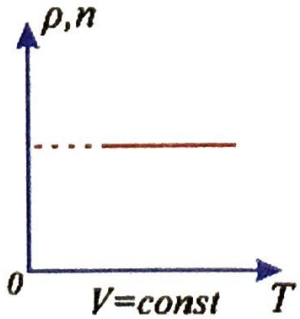
Doymayan buxar özünü ideal qaz kimi aparır. Doymayan buxar ideal qaz qanunlarına tabe olur və onun halı Mendeleyev – Klapeyron tənliyi ilə xarakterizə olunur.

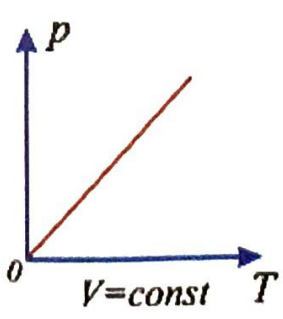
$$pV = \frac{m}{M}RT \qquad \rho = \frac{pM}{RT} \qquad \rho = \frac{m}{V}$$

1. Sabit temperaturda doymayan buxarın sıxlığı (konsentrasiyası) və təzyiqi onun həcmi ilə tərs mütənasibdir.

2. Sabit həcmdə doymayan buxarın sıxlığı (konsentrasiyası) temperaturdan asılı deyil, təzyiqi temperaturdan düz asılıdır.





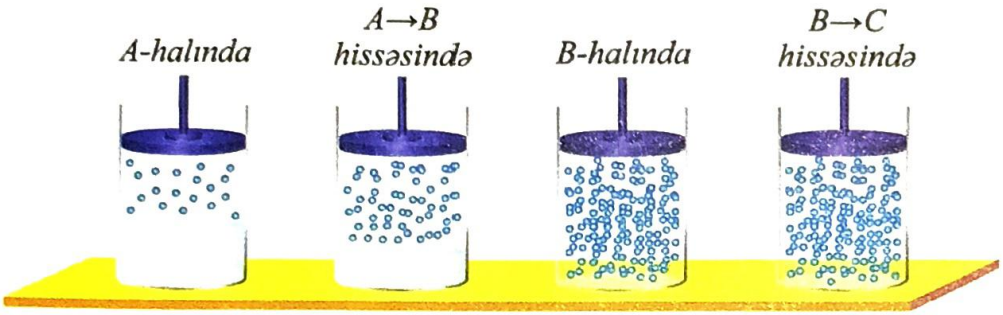


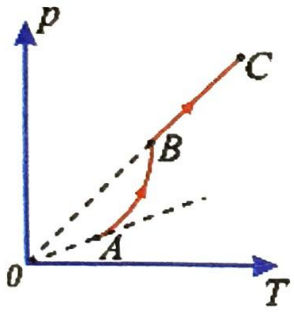
❖ Doyan buxarın → doymayan buxara çevrilməsi:

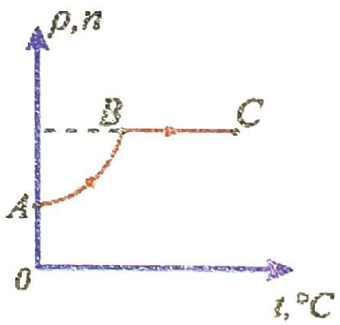
- *Doyan buxarı sabit həcmdə qızdırdıqda doymayan buxara çevrilir* $V = const$, $T \uparrow$.
- *Doyan buxarı sabit temperaturda genişləndirdikdə doymayan buxara çevrilir* $T = const$, $V \uparrow$.

1. Sabit həcmdə qızdırıldıqda doyan buxarın → doymayan buxara çevrilməsi. $V = const$, T – artır

Temperatur yüksəldikcə doyan buxarın təzyiqi ideal qazın təzyiqinə nisbətən daha sürətlə artır. Sabit həcmdə temperaturu artırsaq mayeni tərk edən molekulların sayı artar buxar və maye arsında dinamik tarazlıq pozular. Prosesi davam etdirsək maye tamamilə buxarlanar, doyan buxar doymayan buxar halına keçər.







Qrafikin:

A – nöqtəsi qabdakı mayenin kütləsinin maksimum olmasına uyğundur.

$A \rightarrow B$ hissəsi *doyan buxar* halına uyğundur. Temperatur artdıqca mayenin kütləsi azalır, buxarın kütləsi, sıxlığı, konsentrasiyası artır.

B – nöqtəsində maye tamamilə buxara çevrilir.

$B \rightarrow C$ hissəsi *doymayan buxar* halına uyğundur. Temperatur artıqca buxarın kütləsi, sıxlığı, konsentrasiyası dəyişməz. *BC* hissəsində mayenin kütləsi sıfırdır.

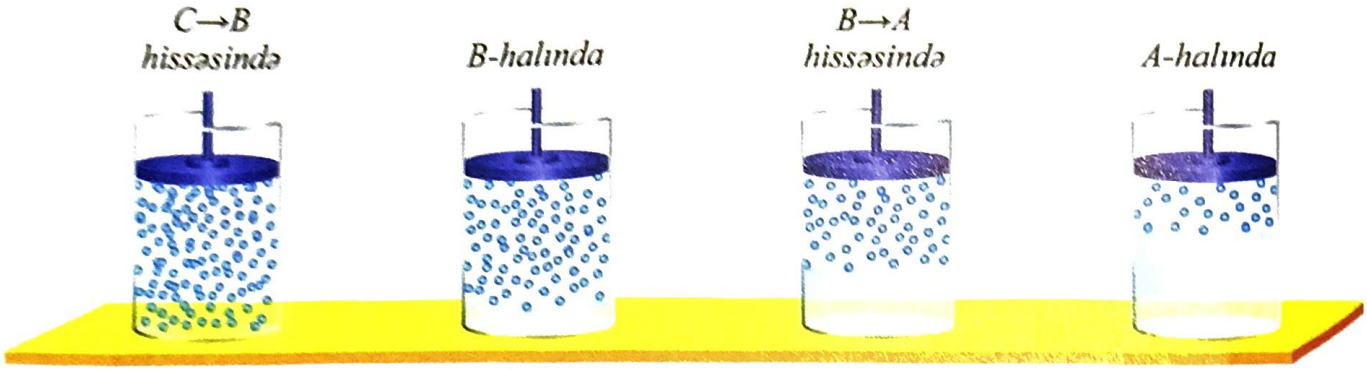
Su buxarının kütləsini, konsentrasiyasını, sıxlığını, müqayisə edək:

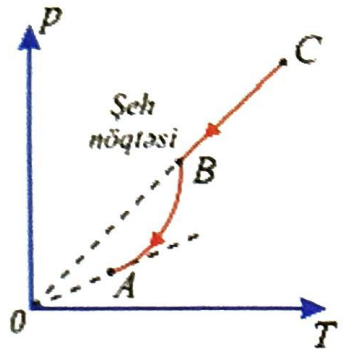
$$m_C = m_B > m_A \qquad n_C = n_B > n_A \qquad \rho_C = \rho_B > \rho_A$$

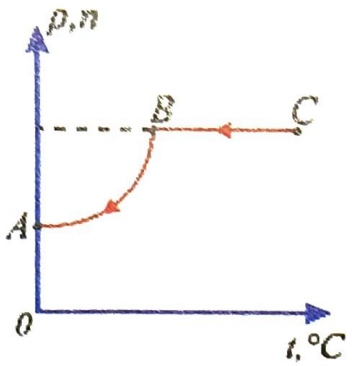
❖ Doymayan buxarın → doyan buxara çevrilməsi:

1. Sabit həcmdə soyutduqda doymayan buxarın → doyan buxara çevrilməsi: $V = const$, T – azalır.

Temperatur azaldıqca doyan buxarın təzyiqi doymayan buxarın təzyiqinə nisbətən daha sürətlə azalır. Sabit həcmdə temperaturu azaltsaq buxar kondensasiya etməyə başlayır. Müəyyən müddətdən sonra dinamik tarazlıq yaranır və buxar doyan hala gəlir.







$C \rightarrow B$ hissəsi *doymayan buxar* halına uyğundur. Temperatur azaldıqca buxarın kütləsi, sıxlığı, konsentrasiyası dəyişməz, təzyiq azalar.

B – nöqtəsi doymayan buxarın doyan buxara keçmə nöqtəsidir.

Havadakı su buxarının doyan buxar halına keçdiyi temperatur ***şeh nöqtəsi*** *adlanır.* Hava şeh nöqtəsinə qədər soyuduqda kondensasiya başlanır, duman əmələ gəlir, şeh düşür.

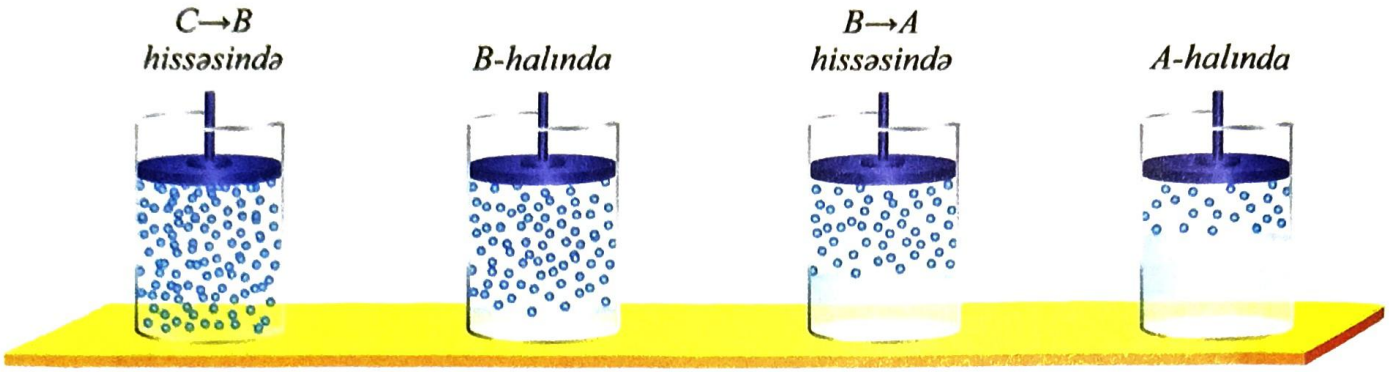
$B - A$ hissəsi *doyan buxar* halına uyğundur. Temperatur azaldıqca mayenin kütləsi artar, buxarın kütləsi, sıxlığı, konsentrasiyası azalar.

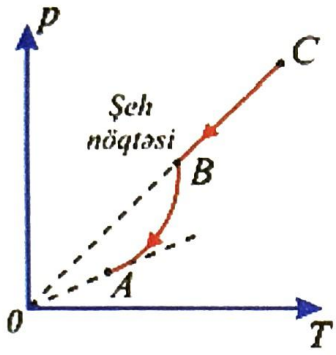
A – nöqtəsi qabdakı mayenin kütləsinin maksimum olmasına uyğundur.

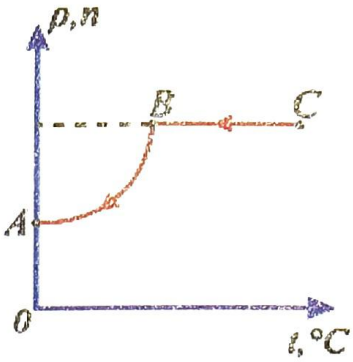
❖ Doymayan buxarın → doyan buxara çevrilməsi:

1. Sabit həcmdə soyutduqda doymayan buxarın → doyan buxara çevrilməsi: $V = const$, T – azalır.

Temperatur azaldıqca doyan buxarın təzyiqi doymayan buxarın təzyiqinə nisbətən daha sürətlə azalır. Sabit həcmdə temperaturu azaltsaq buxar kondensasiya etməyə başlayır. Müəyyən müddətdən sonra dinamik tarazlıq yaranır və buxar doyan hala gəlir.







$C \rightarrow B$ hissəsi *doymayan buxar* halına uyğundur. Temperatur azaldıqca buxarın kütləsi, sıxlığı, konsentrasiyası dəyişməz, təzyiq azalar.

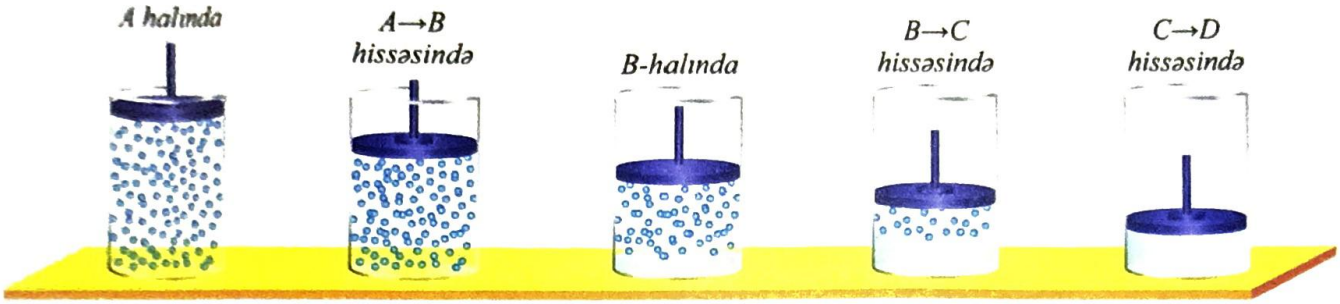
B – nöqtəsi doymayan buxarın doyan buxara keçmə nöqtəsidir.

Havadakı su buxarının doyan buxar halına keçdiyi temperatur ***şeh nöqtəsi*** *adlanır.* Hava şeh nöqtəsinə qədər soyuduqda kondensasiya başlanır, duman əmələ gəlir, şeh düşür.

$B – A$ hissəsi *doyan buxar* halına uyğundur. Temperatur azaldıqca mayenin kütləsi artar, buxarın kütləsi, sıxlığı, konsentrasiyası azalar.

A – nöqtəsi qabdakı mayenin kütləsinin maksimum olmasına uyğundur.

2. Sabit temperaturda sıxdıqda doymayan buxarın → doyan buxara çevrilməsi:
$T = const$, V – azalır



Qrafikin :

$A \rightarrow B$ hissəsi sabit temperaturlu doymayan buxar halına uyğundur.

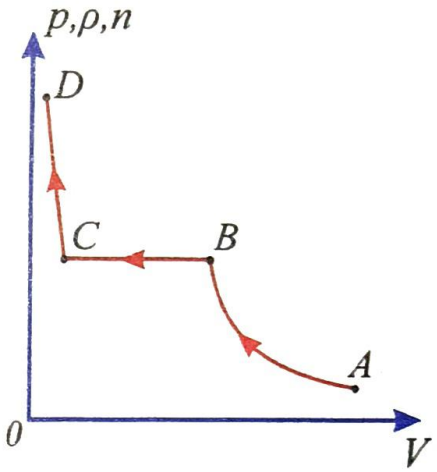
$A \rightarrow B$ hissəsində buxarın həcmi kiçildikcə, onun təzyiqi (sıxlığı, konsentrasiyası) artır, kütləsi dəyişmir.

B – nöqtəsində buxarın kondensasiyası başlayır,buxar doyan hala gəlir.

$B \rightarrow C$ hissəsində doyan buxarın sıxılması zamanı mayenin kütləsi tədricən artır, buxarın kütləsi azalır və təzyiq (sıxlıq, konsentrasiya) dəyişməz qalır. Bu proses bütün buxar mayeyə çevrilənə qədər davam edir.

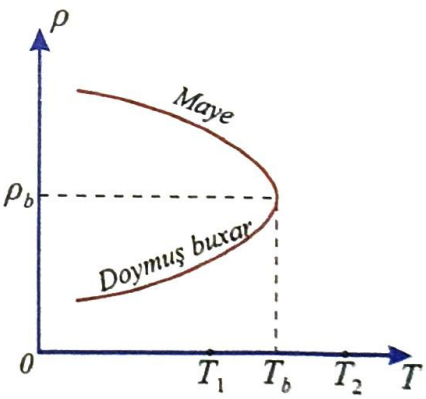
C – nöqtəsində buxarın hamısı mayeyə çevrilir.

$C \rightarrow D$ hissəsi mayeyə aiddir, burada həcmin azalması təzyiqin (sıxlığın, konsentrasiyanın) kəskin artmasına səbəb olur.



Qeyd:

İzotermik sıxmaqla doyan buxarın mayeyə çevrilməsi yalnız *böhran temperaturundan* aşağı temperaturda mümkündür. Temperatur yüksələndə doyan buxarın sıxlığı artır, mayenin sıxlığı isə həcmin genişlənməsi nəticəsində azalır. Müəyyən T_b temperaturunda mayenin sıxlığı doyan buxarın sıxlığına bərabər olur. Həmin temperatur *böhran temperaturu* adlanır. Maye ilə onun doyan buxarının fiziki xassələri arasındakı fərqin yox olduğu temperatura ***böhran temperaturu*** deyilir. Böhran temperaturunda doyan buxarın sıxlığı mayenin sıxlığına bərabərdir ($\rho_{bux} = \rho_{maye}$) . Böhran temperaturundan yuxarı temperaturda ($T_2 > T_b$) maddə qaz halında olur və o, sabit temperaturda nə qədər yüksək təzyiq altında sıxılsa da mayeyə çevrilmir, böhran temperaturdan aşağı temperaturda ($T_1 < T_b$) mayeyə çevrilir. Böhran temperaturu molekulların qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisindən, yəni qazın (mayenin) növündən asılıdır.



Məsələn, su üçün böhran temperatur $T_b = 647K$ $(t = 374^\circ C)$, azot üçün böhran temperaturu $T_b = 126K, (t = -147^\circ C)$-dir. Yəni, su buxarı $650K$ qızdırılsa onu heç bir təzyiq altında mayeyə çevirmək olmaz, $620K$ qızdırılsa olar.

§ 14.5. Havanın rütubəti. Mütləq və nisbi rütubət. Şeh nöqtəsi.Rütubəti ölçən cihazlar.

Çay, göl, dəniz və okeanların səthindən, torpaqdan və bitkilərdən arasıkəsilmədən su buxarlanır. Bu səbəbdən havada həmişə su buxarı olur. Tərkibində su buxarı olan hava rütubətli hava adlanır. Havanın rütubətliyini mütləq və nisbi rütubətlə xarakterizə edirlər. Havada olan su buxarının miqdarı *mütləq rütubət* adlanan fiziki kəmiyyətlə təyin edilir.

Ədədi qiymətcə havanın $1\,m^3$ həcmindəki su buxarının kütləsinə bərabər olan fiziki kəmiyyətə mütləq rütubət deyilir:

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \text{Vahidi: } [\rho] = 1\frac{q}{m^3}$$

Burada V – havanın həcmi, m – havada olan su buxarının kütləsi, ρ – mütləq rütubətdir (su buxarının sıxlığıdır).

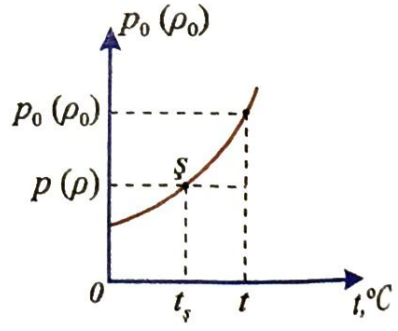
Su buxarının miqdarı çox kiçik olduğundan onu qramlarla ifadə edirlər. Mütləq rütubətin $\rho = 25\frac{q}{m^3}$ olması o deməkdir ki, $1\,m^3$ havada $25q$ su buxarı var. Atmosfer müxtəlif qazların və su buxarının qarışığından ibarətdir. *Havada başqa qazlar olmadıqda yalnız su buxarının yaratdığı təzyiq* ***parsial təzyiq*** *adlanır.* Mendeleyev–Klapeyron tənliyinə görə, su buxarının parsial təzyiqi mütləq rütubətlə mütənasibdir.

$$p = \frac{\rho RT}{M}$$

Burada T – havanın temperaturu, M – suyun molyar kütləsi, R – universal qaz sabitidir. Parsial təzyiqin vahidi paskaldır. $p = 1\,Pa$

Havadakı su buxarı doyan və ya doymayan buxar halında ola bilər. Mütləq rütubətə və ya su buxarının parsial təzyiqinə görə havadakı su buxarının doyan buxar halından nə qədər fərqləndiyini müəyyən etmək mümkün deyil. Buna görə nisbi rütubət adlanan kəmiyyət daxil edilir. Verilmiş temperaturda su buxarının doyan buxardan nə qədər fərqləndiyini göstərən ***nisbi rütubət*** adlandırılan fiziki kəmiyyət qəbul edilmişdir.

Verilmiş temperaturda havada olan su buxarının p *parsial təzyiqinin* (ρ – *sıxlığının*) həmin temperaturda *doyan buxarın* p_0 *təzyiqinə* (ρ_0 – *sıxlığının*) olan nisbətinin faizlə ifadəsinə havanın φ – *nisbi rütubəti deyilir.*



$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%$$

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$$

$$\varphi = \frac{n}{n_0} \cdot 100\%$$

Havadakı su buxarının doyan buxar halına keçdiyi temperatur şeh nöqtəsi adlanır. *Şeh nöqtəsində havanın nisbi rütubəti* 100% *olur.* Hava şeh nöqtəsinə qədər soyuduqda kondensasiya başlanır, duman əmələ gəlir, şeh düşür. Şeh nöqtəsi havanın mütləq və nisbi rütubətlərini tayin etməyə imkan verir.

Şəkildə doyan su buxarının p_0 təzyiqinin (ρ_0 sıxlığının) temperaturdan asılılıq qrafiki verilmişdir.

t – temperaturunda havadakı su buxarının parsial təzyiqi (havanın mütləq rütubəti), şeh nöqtəsində (S) doyan su buxarının təzyiqinə (sıxlığına) bərabərdir.

$$p = p_0(t_ş) \qquad \rho = \rho_0(t_ş)$$

t – temperaturunda doyan su buxarının təzyiqi $p_0(t)$, sıxlığı isə $\rho_0(t)$-dir.

Deməli, nisbi rütubət üçün alarıq:

$$\varphi = \frac{p_0(t_ş)}{p_0(t)} \cdot 100\% \qquad \varphi = \frac{\rho_0(t_ş)}{\rho_0(t)} \cdot 100\%$$

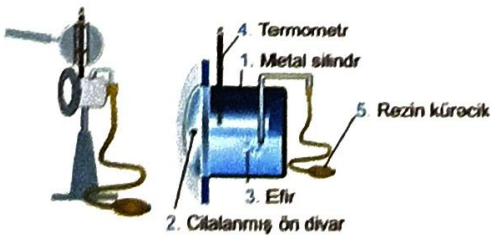
Məsələ: *Havadakı su buxarının şeh nöqtəsi* $12\ ^\circ C$ *olarsa,* $14\ ^\circ C$ *– də otaqdakı havanın nisbi rütubətini hesablayın(*$14\ ^\circ C$ *-də doyan su buxarının təzyiqi* $1{,}6kPa$, $12\ ^\circ C$ *-də isə* $1{,}4kPa$ *-dır)*

Həlli: $$\varphi = \frac{p_{0\,şeh.tem}}{p_{0\,hava.tem}} \cdot 100\% = \frac{1{,}4}{1{,}6} \cdot 100\% = 87{,}5\%$$

Nisbi rütubəti φ_1, həcmi V_1 olan hava, nisbi rütubəti φ_2, həcmi V_2 olan havayla qarışdıqda qarışığın nisbi rütubəti $\varphi = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2}$ düturu ilə hesablanır.

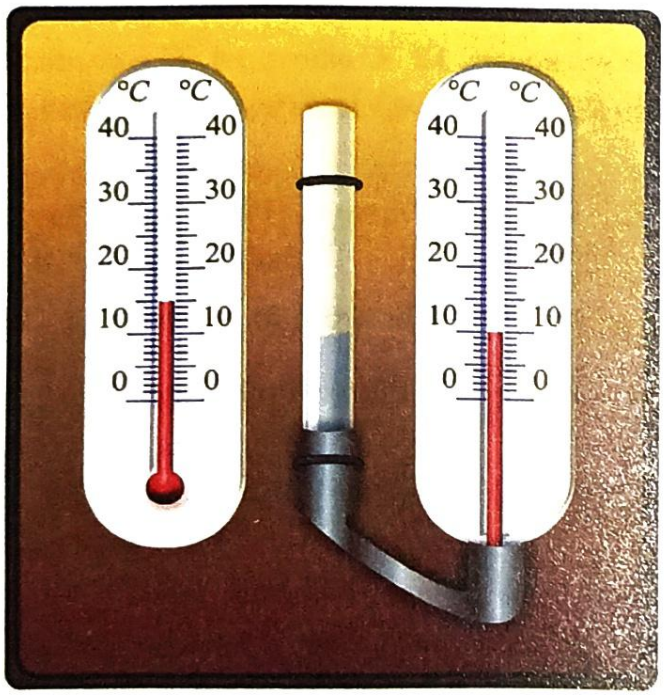
❖ Rütubəti ölçən cihazlar.

Havanın rütubəti ***hiqrometr*** və ya ***psixrometrlə*** ölçülür. Hiqromet iki cür olur: *Tüklü və kondensasiyalı metal hiqrometr.* Kondensasiyalı metal hiqrometr bilavasitə ***şeh nöqtəsini*** ölçür. Kondensasiyalı hiqrometr metal silindrdən (1) ibarətdir. Onun ön divarı cilalanır (2). Silindrə tez buxarlanan maye – efir tökülür (3) və termometr (4) daxil edilir. Silindrlə əlaqələndirilən boruya rezin kürəcik (5) birləşdirilir. Rezin kürəciklə silindrə hava vurduqda efir sürətlə buxarlanır və silindr soyuyur. Bu zaman cilalanan divarın səthi tərləyir – şeh damcıları yaranır. Deməli, su buxarı doyan buxara çevrilmişdir. Həmin an termometr şeh nöqtəsinə uyğun temperaturu göstərir. Şeh nöqtəsi və havanın temperaturunu bilməklə xüsusi cədvəllərin köməyi ilə havanın mütləq və nisbi rütubətini təyin etmək olur. Tüklü hiqrometr ***nisbi rütubəti*** ölçür, iş prinsipi rütubətin artması ilə yağsızlaşdırılmış insan tükünün uzanması hadisəsinə əsaslanmışdır.



Havanın nisbi rütubətini təyin etməyə imkan verən cihazlardan biri də ***psixrometrdir***. Onun iş prinsipi buxarlanan suyun soyumasına əsaslanır. *Psixrometr iki eyni termometrdən ibarətdir:* ***quru*** *və* ***yaş***. Quru termometr havanın (otağın) temperaturunu ölçür, yaş termometrin kürəciyi ucu suya salınmış parça ilə sarınır. Buxarlanan su soyuduğundan yaş termometrin göstəricisi quru termometrin göstəricisindən aşağı olur. Hava nə qədər quru olarsa (rütubətsiz), su daha tez buxarlanar və yaş termometr daha aşağı temperatur göstərir. Demək, quru və yaş termometrlərin fərqi havanın nisbi rütubətindən asılıdır. *Havanın nisbi rütubəti az olduqda termometrlərin göstərişləri fərqi böyük olur, havanın nisbi rütubəti artanda isə temperaturlar fərqi azalır, rütubət 100% olduqda termometrlərin göstərişləri eyni olur.*

Quru və nəm termometrlərin göstəriciləri arasındakı fərqə əsasən xüsusi psixrometrik cədvəl vasitəsilə havanın nisbi rütubəti təyin edilir. Fərz edək ki, quru termometr **15** $^{\circ}C$, yaş termometr **10** $^{\circ}C$ –ni göstərir. Termometrlərin göstərişləri fərqi **5**$^{\circ}C$ –dir.Verilmiş cədvələ əsasən nisbi rütubətin **52%** olduğunu müəyyən edə bilərik.



Quru termometrin, C	Quru və yaş termometrlərin göstərişləri fərqi $^{\circ}C$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Nisbi rütubət, %-lə									
10	100	88	76	63	51	40	28	18	7	5
12	100	89	78	65	54	44	34	24	14	11
14	100	89	79	68	57	48	38	38	20	17
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20

§15. MAYELƏRİN VƏ BƏRK CİSİMLƏRİN XASSƏLƏRİ.

§15.1. Səthi gərilmə qüvvəsi və səthi gərilmə əmsalı.

Qazlardan fərqli olaraq,maye molekulları arasında çox böyük cazibə qüvvələri mövcuddur. Hər hansı molekul yalnız onun təsir sferasında yerləşən molekullarla qarşılıqlı təsirdə olur. *a)* maye daxilindəki molekullar hər tərəfdən qonşu molekullarla əhatə olunur. Bu səbəbdən onlar arasındakı cazibə xarakterli qarşılıqlı təsirlər bir-birini tarazlaşdırır.

b) maye səthindəki bütün maye molekulların qarşılıqlı təsir sferasının bir hissəsini maye səthindəki qaz molekulları, digər hissəsini maye daxilindəki maye molekullar əhatə edir. Maye molekulları tərəfindən cazibə qüvvəsi daha güclü olduğu üçün qüvvələrin əvəzləyicisi mayenin daxilinə yönəlir, bunun nəticəsində səthdəki maye molekulları daxilə doğru cəzb olunur və mayenin açıq səthi altında mayedaxili təzyiq yaranır.



*Səthdəki molekulların maye daxilinə cəzb olunması nəticəsində molekulyar təzyiqin yaranması hadisəsinə səthin gərilmə hadisəsi deyilir.*Molekulyar təzyiq nəticəsində maye elə forma almağa çalışır ki, onun səthindəki molekulların sayı minimum olsun. Verilmiş həcmə malik maye kürə formasını aldıqda onun səthinin sahəsi ən kiçik olur. Bu səbəbdən yalnız molekulyar qüvvələrin təsiri altında olan maye kürə formasını alır. Məsələn, kiçik şeh və yağış damlaları kürəvidir.

Belə bir təcrübəyə baxaq: məftil halqaya sap bağlayaraq, onu sabunlu su məhluluna salıb, çıxardaq. Bu zaman halqada sabun pərdəsi alınır və sap pərdə üzərində dartılmadan sərbəst qalır (şəkil, *a*). Sapın bir tərəfindəki pərdəni yox edək,bu zaman sap dartılaraq qövs şəklini alır(şəkil, *b*). Bu onu göstərir ki, sabun pərdəsi tərəfindən sapa perpendikulyar istiqamətdə qüvvə təsir edir. Bu qüvvə, *səthi gərilmə qüvvəsidir.*



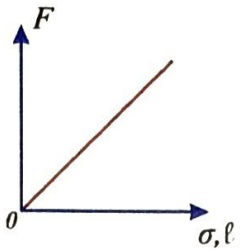
Səthi gərilmə qüvvəsi – *mayenin sərbəst səthinin kənarına perpendikulyar olmaqla səthə toxunan istiqamətdə yönələn və mayenin səthinin sahəsini kiçiltməyə çalışan qüvvədir.* Səthi gərilmə qüvvəsi maye ilə bərk cismin toxunma sərhədinin uzunluğu (mayenin sərbəst səthinin uzunluğu) ilə düz mütənasibdir.

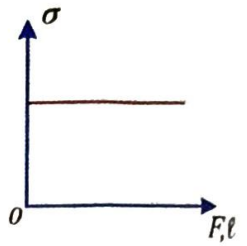
$$F = \sigma \ell$$

Burada, F – səthi gərilmə qüvvəsi, ℓ – mayenin sərbəst səthinin kənarının uzunluğu,

σ – mütənasiblik əmsalı olub, *səthi gərilmə əmsalı* adlanır. Səthi gərilmə əmsalı ədədi qiymətcə səthin vahid uzunluğuna təsir edən qüvvəyə bərabərdir.

$$\sigma = \frac{F}{\ell}$$





Vahidi: $[\sigma] = 1\frac{N}{m} = 1\frac{kq}{san^2}$

Səthi gərilmə əmsalının qiyməti mayenin növündən və temperaturundan asılıdır – *mayenin temperaturu artdıqda onun molekulları arasında məsafə artır, molekulyar qüvvələr zəifləyir, səthi gərilmə əmsalı azalır və böhran temperaturunda sıfra bərabər olur* ($\sigma = 0$). Molekullar arasında cazibə qüvvəsi güclü olan mayenin səthi gərilmə əmsalı böyük olur.

§15.2. İslatma. Kapilyar hadisələr.

Üfüqi qoyulmuş şüşə üzərində su damcısının yayılaraq yastılanmış (*a*), civənin isə kürə forması (*b*) aldığını müşahidə edərik. Bu hadisə belə izah olunur:

a) *Maye molekulları ilə bərk cismin molekulları arasındakı cazibə qüvvəsi* (F_{mb}), *mayenin öz molekulları arasındakı* (F_{mm}) *cazibə qüvvəsindən böyükdürsə* ($F_{mb} > F_{mm}$), *maye bərk cismi isladır.* Belə maye bərk cismin səthində yayılır və qabın divarı yanında yuxarı qalxır.Mayenin səthinə çəkilən toxunan ilə divar arasındakı kənar bucaq (θ) iti bucaq olur.

$0^\circ < \theta < 90^\circ$.

Tam isladan maye üçün $\theta = 0^\circ$ olur.





şüşə qab

b) *Maye molekulları ilə bərk cismin molekulları arasındakı cazibə qüvvəsi* (F_{mb}), *mayenin öz molekulları arasındakı* (F_{mm}) *cazibə qüvvəsindən kiçikdirsə* ($F_{mb} < F_{mm}$), *maye bərk cismi islatmır.* Bu halda mayenin səthi divar yaxınlığında aşağı enir və kənar bucaq (θ) kor bucaq olur.

$90^\circ < \theta < 180^\circ$.

Tam islatmayan maye üçün $\theta = 180^\circ$ olur.

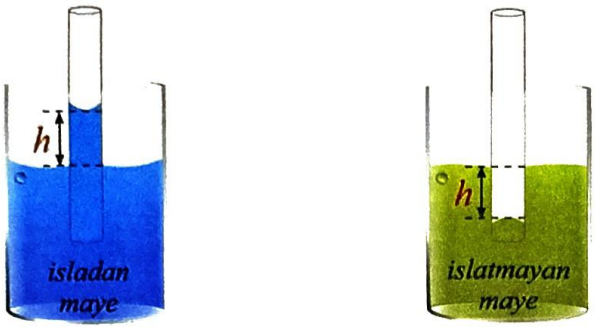




şüşə qab

➢ Mayenin əyri səthində yaranan təzyiq: $p = \frac{F}{S} = \frac{\sigma\ell}{S} = \frac{2\pi r\sigma}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r}$

Diametri millimetr tərtibində və daha kiçik olan borular ***kapilyarlar*** *adlanır.* Kapilyarlarda isladan maye yuxarı qalxır, islatmayan maye aşağı enir.



Kapilyar boruda yuxarı qalxan mayeyə təsir edən ağırlıq qüvvəsi (çəkisi) səthi gərilmə qüvvəsi ilə tarazlaşır.

➤ Kapilyar boruda qalxan mayenin çəkisi: $P = F = \sigma \ell = 2\pi r\sigma = \pi d\sigma$

➤ Kapilyar boruda qalxan mayenin kütləsi: $m = \dfrac{2\pi r\sigma}{g} = \dfrac{\pi d\sigma}{g}$

➤ Kapilyar boruda qalxan mayenin həcmi: $V = \dfrac{2\pi r\sigma}{g\rho} = \dfrac{\pi d\sigma}{g\rho}$

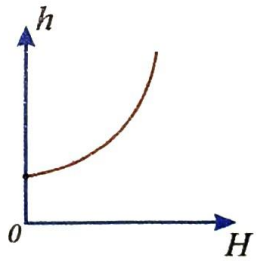
➤ Kapilyar boruda qalxan mayenin hündürlüyü: $h = \dfrac{2\sigma}{g\rho r} = \dfrac{4\sigma}{g\rho d}$

Əgər kapilyar boru daxil edilmiş qab a təcili ilə yuxarı qalxarsa (aşağı düşərsə):

$$h = \frac{2\sigma}{\rho r(g \pm a)}$$

Əgər kapilyar boru daxil edilmiş qab Yer səthindən H hündürlükdə olarsa:

$g = G\dfrac{M}{(R+H)^2}$ olduğundan $h = \dfrac{2\sigma(R+H)^2}{MG\rho r}$



➤ Maye kapilyar boru ilə yuxarı qalxarkən səthi gərilmə qüvvəsinin gördüyü iş:

$$A = Fh = 2\pi r\sigma\frac{2\sigma}{g\rho r} = \frac{4\pi\sigma^2}{g\rho}$$

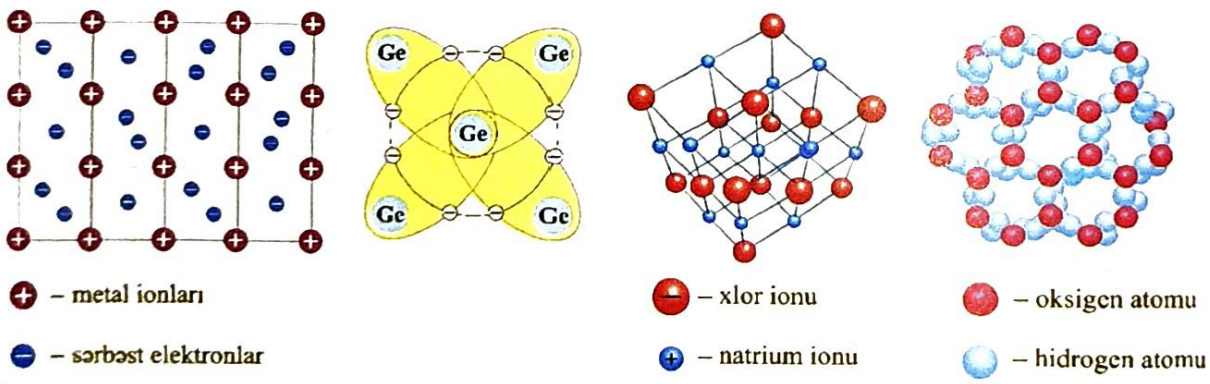
§15.3. Kristal və amorf cisimlər. Deformasiya

Fiziki xassələrinə görə bərk cisimlər ***kristal*** *və* ***amorf*** *cisimlərə ayrılır.*

❖ *Kristal cisimlər:*

Kristal cisimlərə bərk halda olan metallar, müxtəlif minerallar, məsələn, xörək duzu, kvars, dağ bülluru və s. aiddir. Kristal cisimlərdə zərrəciklər (atom, molekul və ya ionlar) fəzada nizamla düzülərək simmetrik düzgün həndəsi formaya malik kristal qəfəslər əmələ gətirir. Kristalda zərrəciklərin yerləşdiyi nöqtələr kristal qəfəsin düyün nöqtələri adlanır. Kristal cisimlərin müəyyən ərimə temperaturu vardır. Kristal cisimlər ***monokristal*** ("mono" – vahid) və ***polikristal*** ("poli" – çoxlu) formasında olur. Monokristallarının əsas xüsusiyyəti onların *anizotrop* olmalarıdır. ***Anizotropluq*** – *fiziki xassələrin (mexaniki, istilik, elektrik, optik və s. xassələrin) istiqamətdən asılı olmasıdır.* Məsələn, monokristalların istidən genişlənməsi müxtəlif istiqamətdə müxtəlifdir. Təbiətdə rast gəlinən və sənayedə alınan bərk cisimlərin əksəriyyəti nizamsız düzülüşə malik kiçik monokristal hissəciklərdən ibarətdir. Belə bərk cisimlər *polikristal* adlanır. ***Polikristallar*** – *müxtəlif istiqamətlərə yönələn çoxlu sayda Kristal mərkəzlərin böyüməsi və birləşməsi nəticəsində yaranan kristallardır.* Bütün metallar, demək olar,polikristaldır. Məsələn, təzə sınmış çuquna diqqətlə baxdıqda onun müxtəlif istiqamətlərə yönələn və düzgün formaya malik olmayan çoxlu sayda kristal dənələrindən ibarət olduğu görünür. Polikristalların hər bir kristal dənəciyi ayrılıqda anizotropdur, lakin bu dənəciklər nizamsız düzüldüyündən polikristallar bütövlükdə *izotropdur.* *İzotropluq – fiziki xassələrin istiqamətdən asılı olmamasıdır.* Məsələn, polikristalların istidən genişlənməsi, demək olar, bütün istiqamətlərdə eynidir.

Kristal qəfəsin növləri: Kristal qəfəsin düyünlərində yerləşən zərrəciklər arasındakı kimyəvi rabitənin növündən və onlar arasındakı qarşılıqlı təsirin xarakterindən asılı olaraq kristallar dörd növdə olur. Bunlar *metallik, atom, ion,* və *molekulyar* kristal qəfəsləridir.

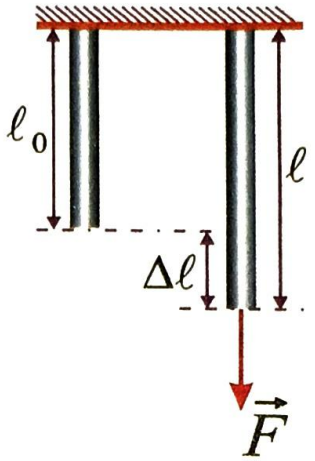


❖ *Amorf cisimlər:*

Amorf cisimlərə isə opal, obsidian, ebonit, şüşə, plastmaslar, qatran, kanifol, kəhrəba və s. aiddir. Amorf cisimlərdə zərrəciklərin düzülüşündə nizamlılıq yoxdur. ***Amorf cisimlər izotropdur,*** *yəni onların fiziki xassələri bütün istiqamətlərdə eynidir.* Amorf cisimlərin müəyyən ərimə temperaturu yoxdur – onları qızdırdıqda tədricən yumşalır və mayeyə çevrilir.

Deformasiya:

Xarici qüvvənin təsiri altında cismin öz forma və ölçülərini dəyişməsinə deformasiya deyilir. Cisim xarici qüvvənin təsiri kəsildikdən sonra elastiklik qüvvəsinin təsiri altında öz əvvəlki forma və ölçülərini alarsa, belə deformasiya *elastik deformasiya adlanır.* Xarici qüvvənin təsiri kəsildikdən sonra cismin öz əvvəlki *forma və ölçüləri bərpa olunmursa belə deformasiya plastik deformasiya adlanır.*



Şəkildə verilmiş başlanğıc uzunluğu ℓ_0 olan çubuğa $\vec{F}$ qüvvəsi təsir edir. Çubuq gərilmə deformasiyasına məruz qalır, onun son uzunluğu ℓ -dir.

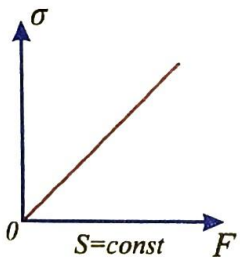
Deformasiya zamanı ***mütləq uzanma*** $\Delta\ell = \ell - \ell_0$ *və* ***nisbi uzanma*** ***isə*** $\varepsilon = \dfrac{\Delta\ell}{\ell_0} = \dfrac{\ell - \ell_0}{\ell_0}$ *kimi ifadə olunur.*

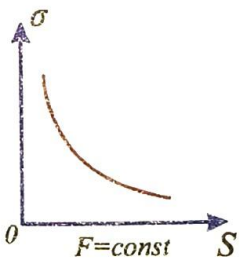
BS-də mütləq uzanma $[\Delta\ell] = 1\,m$ ilə ifadə edilir, nisbi uzanmanın (ε – epsilon) isə vahidi yoxdur. Gərilmə deformasiyasında $\varepsilon > 0$, $\Delta\ell > 0$, sıxılma deformasiyasında $\varepsilon < 0$, $\Delta\ell < 0$ olur.

§15.4. Mexaniki gərginlik.

Deformasiyaya məruz qalan cismin halı *mexaniki gərginlik* adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə olunur. ***Elastiklik qüvvəsinin modulunun çubuğun en kəsiyinin sahəsinə olan nisbəti mexaniki gərginlik adlanır:***

$$\sigma = \frac{F}{S}$$





Vahidi: $[\sigma] = 1\,Pa = 1\dfrac{N}{m^2} = 1\dfrac{kq}{m \cdot san^2}$

Əgər materialın en kəsiyi dairə olarsa, $S = \pi R^2 = \dfrac{\pi d^2}{4}$

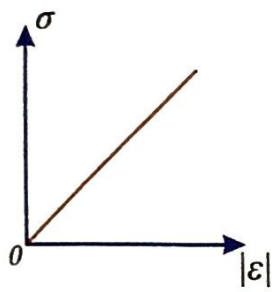
$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi R^2} = \frac{4F}{\pi d^2} = \frac{mg}{S}$$

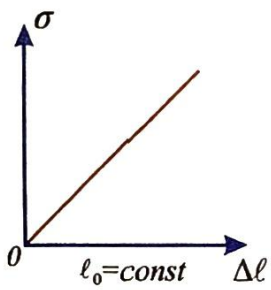
➢ ***Huk qanununa görə, mexaniki gərginlik kiçik deformasiyalarda nisbi uzanma ilə düz mütənasibdir:***

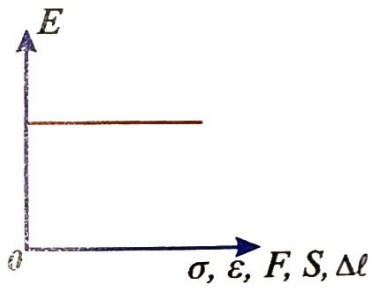
$$\sigma = E|\varepsilon| = E\frac{|\Delta\ell|}{\ell_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{|\varepsilon|} \qquad \text{Vahidi: } [E] = 1\,Pa$$

Burada E – **elastiklik modulu** və ya **Yung modulu** adlanır. Yunq modulu nümunənin gərilmə (sıxılma) deformasiyasına qarşı göstərdiyi müqaviməti xarakterizə edir, vahid nisbi uzanma yaradan gərginlikdir. *Yunq modulu yalnız çubuğun materialından asılıdır.* Yunq modulu böyük olan metalları deformasiya etdirmək bir o qədər çətin olur





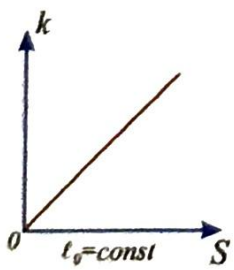


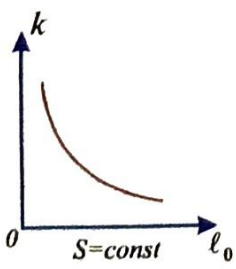
$\sigma = E|\varepsilon|$ düsturunu $F = \sigma S$ – də nəzərə alsaq,

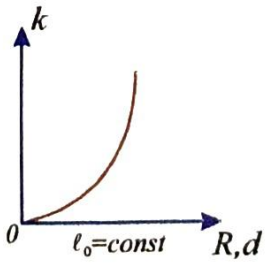
$$F = ES|\varepsilon| = ES\frac{|\Delta\ell|}{\ell_0}$$ ifadələrini alarıq.

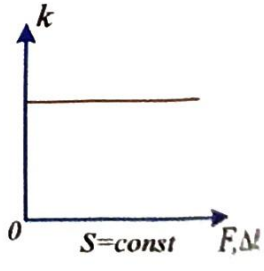
➢ Bu zaman məftilin sərtlik əmsalı: $$k|\Delta\ell| = \frac{|\Delta\ell|}{\ell_0}ES$$

$$k = \frac{ES}{\ell_0} = \frac{E\pi R^2}{\ell_0} = \frac{E\pi d^2}{4\ell_0}$$

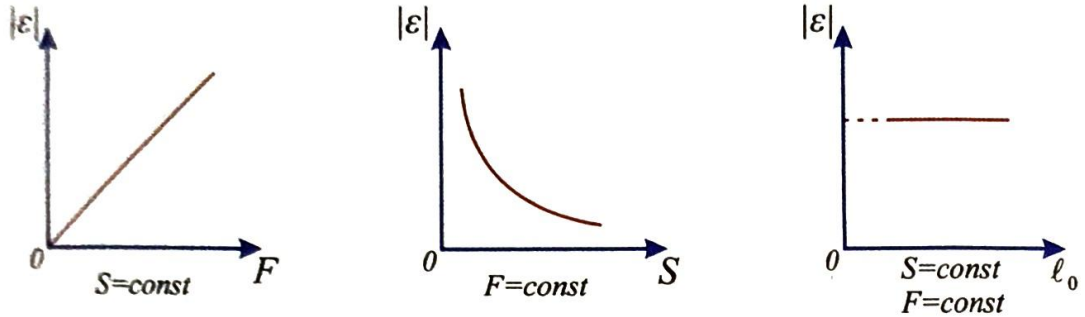


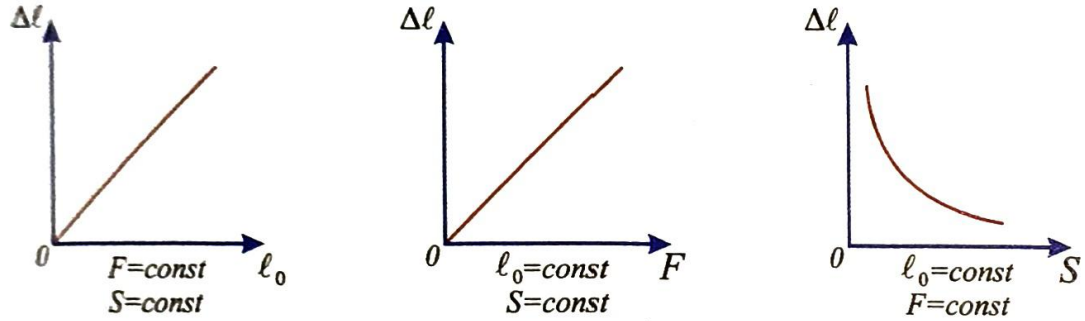






▶ Məftilin nisbi və mütləq uzanması: $\varepsilon = \frac{F}{ES}$ $\Delta\ell = \frac{F \cdot \ell_0}{E \cdot S}$

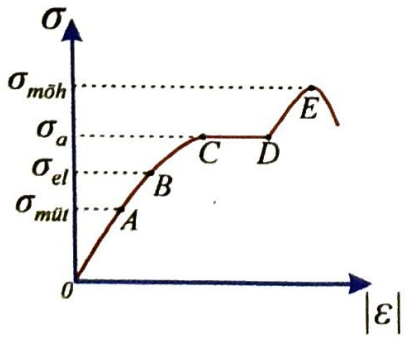




▶ Mexaniki gərginliyin nümunənin nisbi uzanmasından asılılıq qrafiki ***gərilmə diaqramı*** adlanır.

Mütənasiblik həddi: *Huk qanununun ödənildiyi maksimal gərginlik mütənasiblik həddi adlanır.* Kiçik deformasiyalarda mexaniki gərginlik nisbi uzanma ilə düz mütənasibdir, yəni diaqramın *OA* hissəsində Huk qanunu ödənilir.

Elastiklik həddi: *Elastik deformasiya yaradan maksimal gərginlik elastiklik həddi adlanır.*
Axma həddi: *Materialın axmasına uyğun gələn gərginlik axma həddi adlanır.* Diaqramın CD hissəsində gərginlik sabit olduqda belə nisbi uzanma artır. Bu hadisə materialın axması adlanır.
Möhkəmlik həddi: *Nümunənin tab gətirdiyi gərginliyin maksimal qiyməti (dağılmasına səbəb olan maksimal gərginlik) möhkəmlik həddi adlanır.*Binalar,körpülər tikilərkən möhkəmlik ehtiyatı nəzərə alınmalıdır.



§16. NİSBİLİK NƏZƏRİYƏSİNİN ELEMENTLƏRİ

§16.1. Nisbilik nəzəriyəsinin postulatları və onlardan çıxan nəticələr

Əsrlər boyu fəza, zaman və hərəkət barədə klassik təsəvvürlər hökm sürmüşdür. Bu təsəvvürlərə görə fəza və zaman mütləq hesab olunur, hərəkət zamanının gedişinə heç bir təsir göstərmir, istənilən cismin xətti ölçüləri isə cismin sükunətdə və ya hərəkətdə olmasından asılı deyil. XIX əsrin ikinci yarısında Maksvel elektromaqnit sahəsinin əsas qanunlarını ifadə edən tənliklər sistemini verdi. Bu tənliklərlə Nyuton mexanikası arasında müəyyən ziddiyətlər yarandı. Maksvel nəzəriyyəsinə görə elektromaqnit dalğalarının vakuumda yayılma sürəti bütün istiqamətlərdə eynidir və $c = 3 \cdot 10^8\ m/san$ – ə bərabərdir. Lakin Nyuton mexanikasına görə işqın vakuumda yayılma sürəti $\left(c = 3 \cdot 10^8\ m/san\right)$ yalnız müəyyən seçilmiş hesablama sistemində c – yə bərabər ola bilər. Həmin hesablama sisteminə nəzərən hərəkət edən digər hesablama sistemlərində c – dən fərqlidir. Bu gözlənilməz nəticə fizikləri seçim qarşısında qoydu.

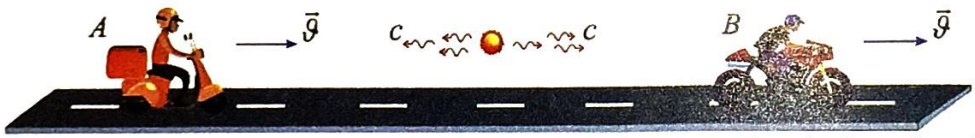
1. Maksvel tənliklərini düzgün hesab etməyərək onlardan imtina etməli. 2.Nisbilik nəzəriyyəsindən imtina etməli. 3.Qaliley çevrilmələrinin dəqiq olmadığını qəbul edərək onları yenisi ilə əvəz etməli.

A.Eynşteyn Maksvel tənliklərini və nisbilik nəzəriyyəsini doğru qəbul edərək 1905-ci ildə Maksvel tənliklərinin də invariant qaldığı yeni çevirmələr işləyib hazırladı.

Maksvel tənliklərindən alınır ki, işıq vakuumda $c = 3 \cdot 10^8\ m/san$ sürətlə yayılan elektromaqnit dalğasıdır. Odur ki, bu tənliklərin invariantlığından işıq sürətinin bütün inersial sistemlərdə sabit olması alınmalıdır. Yeni çevrilmələrin alınmasında A.Eynşteyn aşağıdakı iki postulatı irəli sürdü.

1. Təbiətin bütün qanunları (təkcə mexanika qanunları yox) bütün inersial hesablama sistemlərində eyni cür baş verir və heç bir fiziki təcrübənin köməyi ilə bir inersial sistemi digərindən fərqləndirmək olmaz. Bütün inersial sistemlərin eyni hüquqlu olması müddəası xüsusi nisbilik prinsipi adlanır. Eynşteyn Qolileyin nisbilik prinsipini inkişaf etdirməklə, onu təbiətdə baş verən bütün fiziki hadisələr, o cümlədən elektromaqnit, optika və kvant hadisələri üçün ümumiləşdirdi.

2.İşığın vakuumda yayılma sürəti bütün inersial hesablama sistemlərində eynidir. O, mənbəyin və qəbuledicinin sürətindən asılı deyil. *İşıq sürəti $\left(c = 3 \cdot 10^8\ m/san\right)$ nə mənbəyin,nə də qəbuledicinin hərəkət sürətindən aslıdır. İşıq sürəti fundamental dünyəvi sabitlərdən biri olub, mütləqdir.Bu postulatdan çıxır ki, işıq sürəti təbiətdə qarşılıqlı təsirləri daşıyan maksimal mümkün olan sürətdir. Bu postulatı belə izah edə bilərik:*



Klassik təsəvvürə görə işığa qarşı hərəkət edən A qəbuledicisinə görə işığın sürəti $c + \vartheta$, ondan uzaqlaşan B qəbuledicisinə görə isə işığın sürəti $c - \vartheta$ dir.

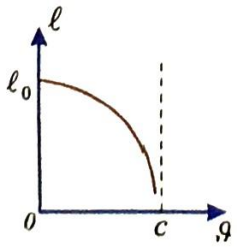
Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinə görə isə işığın A və B qəbuledicilərinə nəzərən sürəti c – yə bərabərdir.

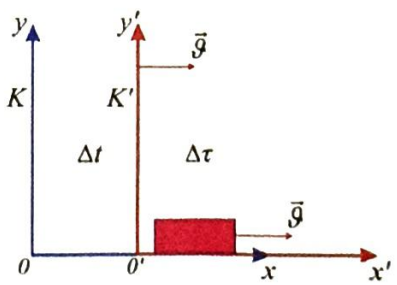
Nisbilik nəzəriyyəsinin postulatlarından aşağıdakı nəticələr çıxır.

1. Uzunluğun nisbiliyi. K' sistemi ilə bağlı xətkeş x' oxuna paralel yerləşir. Verilmiş sistemə nəzərən sükunətdə olan xətkeşin uzunluğu məxsusi uzunluq adlanır. Onu ℓ_0 ilə işarə edək. Xətkeş K hesablama sisteminə nəzərən $\vec{\vartheta}$ sürəti ilə hərəkət edir. K sisteminə nəzərən xətkeşin uzunluğu:

$$\ell_0 = \frac{\ell}{\sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}}$$

$$\ell = \ell_0 \sqrt{1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}}$$

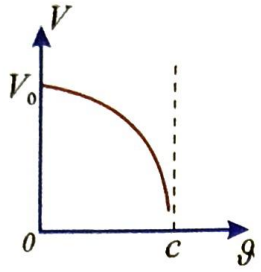




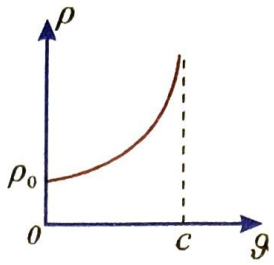
Düsturdan görünür ki, $\ell < \ell_0$ – dır, yəni hərəkət edən xətkeş tərpənməz müşahidəçiyə nəzərən qısalır.

Qeyd etmək lazımdır ki, cimin yalnız hərəkət istiqamətindəki Δx ölçüsü qısalır, onun hərəkət istiqamətində perpendikulyar Δy və Δz ölçüləri dəyişmir. Onda cismin həcmi və sıxlığı aşağıdakı kimi dəyişir.

$$V = V_0\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}$$

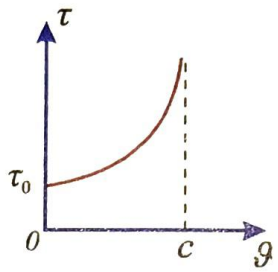


$$\rho = \frac{\rho_0}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}$$



2.Zamanın ləngiməsi. Hərəkət edən sistemlərdə zaman ləngiyir.

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}$$ düsturu ilə təyin edilir.



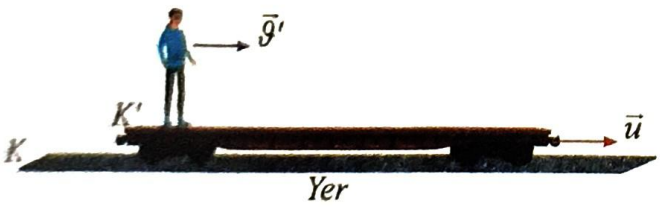
Bu ifadədən alınır ki, $\vartheta < c$ olduğu üçün $\tau < \tau_0$. Bu o deməkdir ki, hərəkətdəki koordinat sistemində zaman ləngiyir. Cismin özü ilə birlikdə hərəkət edən saatla ölçülən τ_0 zaman fasiləsi *məxsusi zaman* adlanır. Sükunətdəki koordinat sistemindən saatla təyin edilən τ zaman fasiləsinə isə *koordinat zamanı* deyilir.

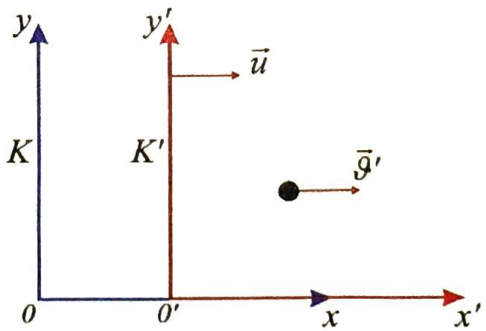
Keçən əsrin 70-ci illərində zamanın ləngiməsinin doğruluğunu yoxlamaq üçün amerikan fizikləri xüsusi eksperment aparmışlar. Təcrübələrdə dəqiqliyi 10^{-19} ***san*** olan atom saatlarından istifadə edilmişdir. Saatlardan biri laboratoriyada saxlanmış, digər isə təyyarə ilə uzun müddətli uçuşda olmuşdur. Saatların göstərişlərinin müqayisəsi zamanın ləngiməsinin doğru olduğunu təsdiqləmişidir.

3.Sürətlərin relyativistik toplanması. Məkan və zaman haqqındakı klassik təsəvvürlər dəyişdiyindən təbii ki, sürətlərin klassik toplanma qanunun da doğru qala bilməz. Əks halda bu işığın vakuumdakı sürətinin sabit olması müddəasına zidd olardı.

Qatar ϑ sürəti ilə hərəkət edirsə və vaqonda qatarın hərəkəti istiqamətində işıq dalğası yayılırsa, onun yerə nəzərən sürəti $\vartheta + c$ yox, yenə də c – yə bərabər olmalıdır. Sürətlərin yeni toplanma qanunu bu nəticəyə gətirməlidir.

Fərz edək ki, cismin K' hesablama sisteminə nəzərən x' oxu istiqamətində ϑ' sürəti ilə hərəkət edir. K' sisteminin tərpənməz K sisteminə nəzərən sürəti u – dur. Onda cismin tərpənməz K sisteminə nəzərən sürəti





$$\vartheta = \frac{\vartheta' + u}{1+\frac{\vartheta' \cdot u}{c^2}}$$ ifadəsi ilə təyin edilir.

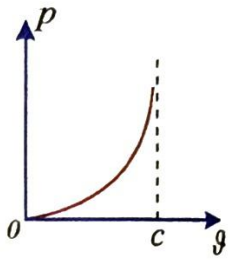
$\vartheta' = c$ olan halda, nisbilik nəzəriyyəsinin ikinci postulatının tələb etdiyi kimi, ϑ – də c – yə bərabər olur.

$$\vartheta = \frac{c+u}{1+\frac{c\cdot u}{c^2}} = c\frac{c+u}{c+u} = c$$

§16.2. Relyativistik dinamika. Cismin kütləsi və impulsu

Klassik mexanikada qüvvə $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$ kimi təyin edilir. Bu düstura və impulsun

$\vec{p} = m\vec{\vartheta}$ ifadəsinə görə cismə uzun müddət təsir edən qüvvə onun sürətini sonsuz artıra bilər. Lakin relyativistik mexanikanın (nisbilik nəzəriyyəsinin) postulatına görə cismin sürəti sonsuz arta bilməz və yuxarıdan məhdud olmalıdır: $\vartheta < c$



$\vec{p} = \frac{m\vec{\vartheta}}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}$ kimi təyin edilir.

Burada m kütləsi klassik mexanikada olduğu kimi invariant kəmiyyətdir və ƏHS-nin seçilməsindən, yəni cismin sürətindən asılı deyildir. Kütlə də elektrik yükü kimi zərrəciyin məxsusi xarakteristikasıdır. Relyativistik mexanikada dinamikanın əsas tənliyi

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t}\left(\frac{m\vartheta}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}\right) = F \text{ kimi təyin edilir.}$$

§16.3. Relyativistik mexanikada tam enerji. Tam enerji və impuls arasında əlaqə

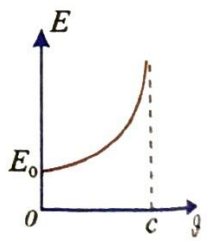
Nisbilik nəzəriyyəsində $E = E_0 + E_k = mc^2 + E_k$

E – tam, E_0 – sükunət, E_k – kinetik enerjidir.

Eynşteyn müəyyən etmişdir ki, ϑ – sürətilə hərəkət edən və digər zərrəciklərlə qarşılıqlı təsirdə olmayan zərrəciyin tam enerjisini

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{\vartheta^2}{c^2}}}$$

kimi təyin etmək olar.

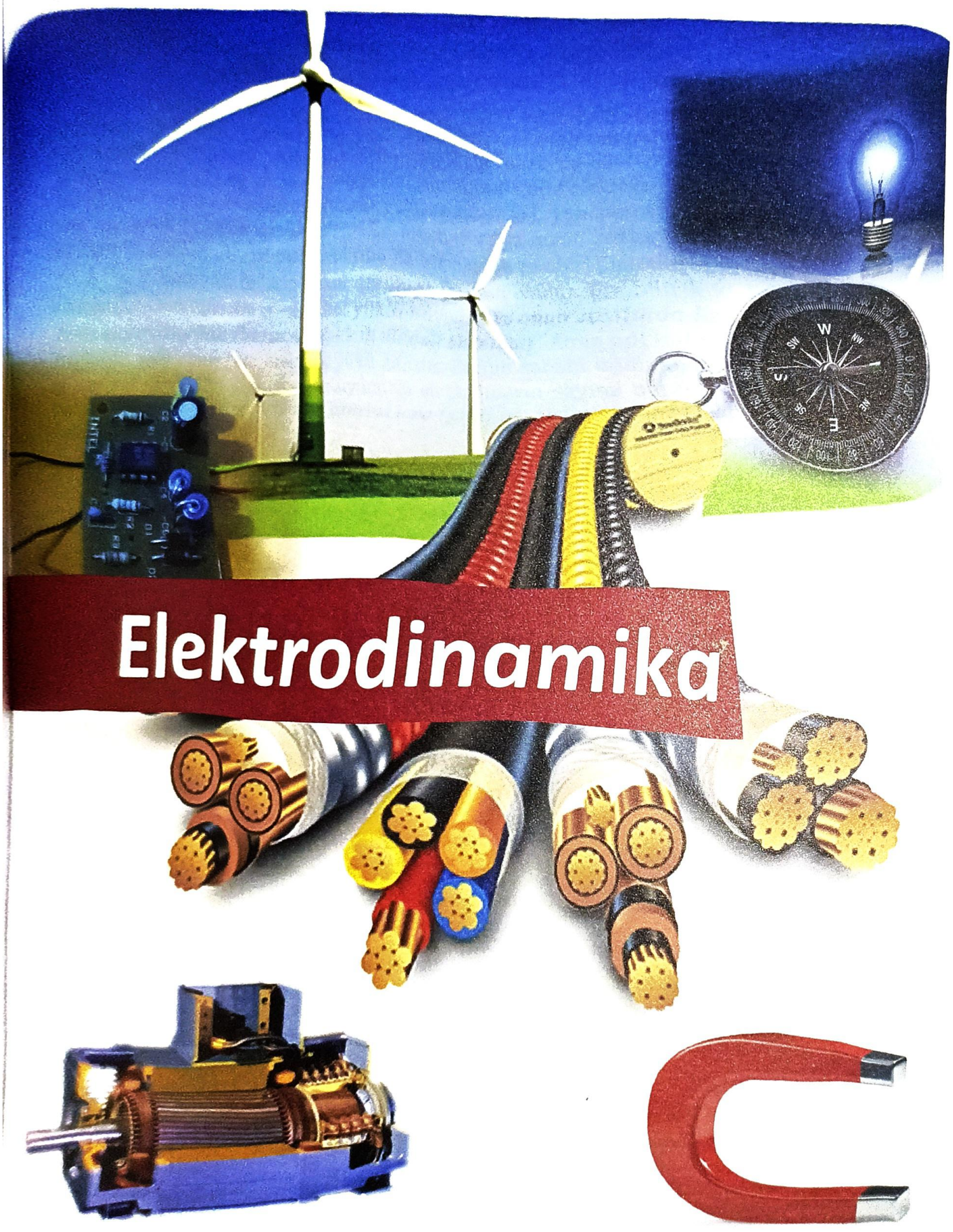


Deməli, sükunətdəki cisim də $(\vartheta = 0)$ enerjiyə malikdir. $E_0 = mc^2$

E_0 – sükunət və ya məxsusi enerjidir. Cismin tam enerjisi dəyişəndə onun kütləsi də dəyişir (məsələn, cisim qızanda, soyuyanda), lakin bu çox cüzidir.

Enerji və impuls arasında əlaqə aşağıdakı kimidir: $E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$

$m = 0$ olsa, (məsələn foton üçün) alarıq $E = pc$ $\qquad \frac{E}{c^2} = \frac{p}{\vartheta}$

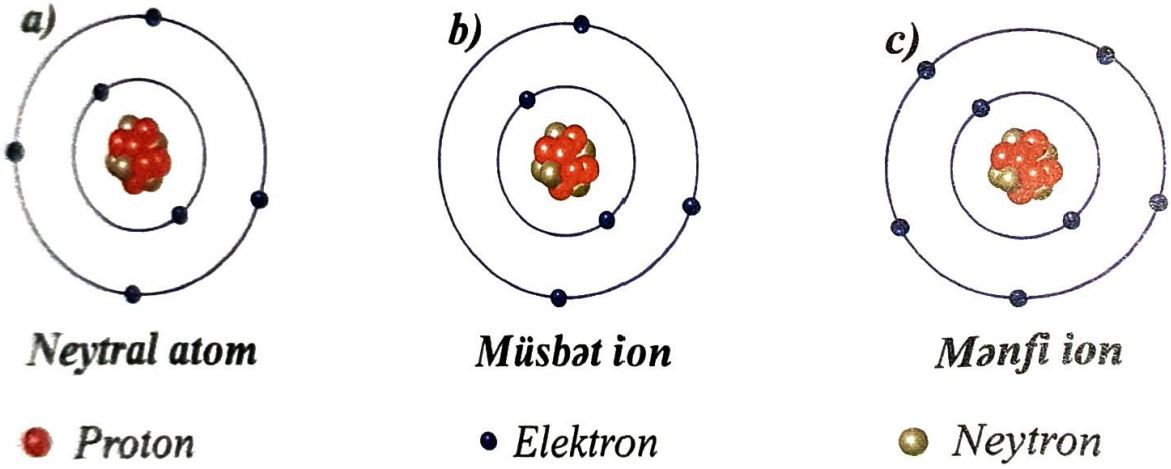


Elektrodinamika

17. ELEKTRİK YÜKÜ. ELEKTRİK SAHƏSİ

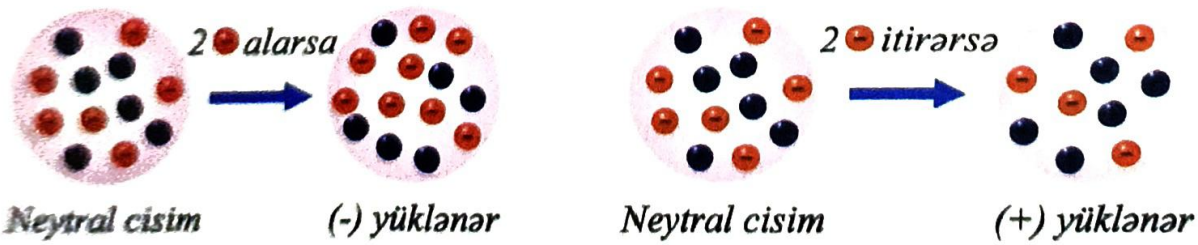
§17.1. Elektrik yükü və onun xassələri. Elektrik yükünün saxlanma qanunu

Elektrik hadisələri hələ qədim zamanlardan aşkar edilmişdir. Qədim yunan alimi Fales (e.ə. 625-547) müəyyən etmişdir ki, yuna sürtülmüş kəhrəba müxtəlif cisimləri özünə cəzb edir. Kəhrəbaya yunanca "elektron" deyilir. "Elektrik" sözü də elə buradan əmələ gəlmişdir. Təbiətdə müsbət **(+)** və ya mənfi **(−)** yüklər olmaqla iki növ elektrik yükü mövcuddur. Şərti olaraq ipək parçaya sürtülmüş şüşənin yükü müsbət (+), yun parçaya sürtülmüş ebonitin yükü isə mənfi (−) yük qəbul edilmişdir. Müsbət və ya mənfi sözləri dilə uyğun gələn bir adlandırma şəklidir. Riyazi işarələndirmə ilə bir əlaqəsi yoxdur. Cisimlərin müsbət (+) və ya mənfi (−) yüklənməsi onların daxili quruluşu ilə izah olunur. Biz bilirik ki, bütün cisimlər atomlardan ibarətdir. ***Atom−müsbət yüklü nüvədən və onun ətrafında hərəkət edən mənfi yüklü elektronlardan ibarət mürəkkəb əlaqəli sistemdir.*** Atom adi halda elektrik cəhətdən neytraldır, yəni onun tam elektrik yükü sıfırdır. Bunun səbəbi odur ki, atomun nüvəsindəki protonların sayı onun elektron örtüyündəki elektronların sayına bərabərdir***(şəkil a).*** Atom bir və ya bir neçə elektron itirərsə ***müsbət iona (şəkil b),*** əksinə özünə elektron birləşdirərsə, ***mənfi iona*** çevrilər ***(şəkil c).***



Cisimlər atomlar sistemindən ibarətdir. Deməli adi şəraitdə cisimlər də atomlar kimi elektrik cəhətdən neytraldır ($N_e = N_p$). Neytral cisim hər hansı başqa cisimdən əlavə elektronlar alarsa, ondakı elektronların sayı protonların sayından çox olar ($N_e > N_p$) və cisim mənfi yüklə elektriklənər. Neytral cisim elektronlarını itirərsə, onadakı elektronların sayı protonların sayından az olar ($N_e < N_p$) və cisim müsbət yüklə elektriklənər.


Neytral cisim



Elektrik yükünə malik olan cisim və zərrəciklər arasındakı qarşılıqlı təsir elektromaqnit qarşılıqlı təsir adlanır. Elektrik yükü - cisim və ya zərrəciklər ətrafında elektromaqnit sahəsi yaratma xassəsidir.

Elektrik yükü skalyar kəmiyyət olub, Q və ya q hərfi ilə işarə edilir. BS-də elektrik yükünün vahidi fransız fiziki S.Kulonun şərəfinə Kulon (1 Kl) qəbul edilmişdir. *Kulon, 1A şiddətində sabit cərəyanlı naqilin en kəsiyindən 1 san müddətində keçən elektrik yükünün miqdarıdır:*

$$1Kl = 1A \cdot san$$

1 *Kl* çox böyük yükdür, ona görə onun hissələrindən istifadə olunur:

$$1mKl = 10^{-3}\,Kl, \qquad 1mkKl = 10^{-6}\,Kl$$
$$1nKl = 10^{-9}\,Kl, \qquad 1pKl = 10^{-12}\,Kl$$

Yüklü zərrəciklər arasında qarşılıqlı təsir materiyanın xüsusi forması olan elektromaqnit sahəsi vasitəsi ilə ötürülür. Elektromaqnit sahəsi qanunlarını öyrənən fizika bölməsi ilə elektrodinamika adlanır. Sükunətdə olan elektrik yüklərinin yaratdığı sabit elektrik sahəsini öyrənən elektrodinamika bölməsi ilə ***elektrostatika*** *adlanır.*

❖ Təcrübələrlə elektrik yükünün bir sıra xassələri aşkar edilmişdir:

1. Elektrik yükü diskretdir (kəsilməz deyil, bölünəndir). Təbiətdə elementar yük adlanan minimal elektrik yükü mövcuddur. Təcrübələr bir elektronun yükünün ən kiçik yük olduğunu göstərmişdir. Buna görə bir elektronun yükü vahid yük olaraq götürülmüşdür, adına elementar yük deyilmişdir:

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,Kl$$

Elementar yük dünyəvi sabitlərdən biridir. Zərrəciklərin, atom və molekulların, makroskopik cisimlərin elektrik yükü elementar yükün tam mislinə bərabərdir.

$$q = \pm N \cdot e$$

Burada N– itirilmiş və ya qazanılmış elektronların sayıdır ($N = 0,1,2,3\ldots$ tam ədəddir) protonun elektrik yükü müsbət elementar yükə $(q_p = +e)$, elektronun yükü isə mənfi elementar yükə $(q_e = -e)$ bərabərdir, neytron neytral zərrəcikdir, onun elektrik yükü yoxdur.

Məsələn, $4 \cdot 10^{10}$ *sayda elektron qazanmış metal kürənin yükü:*

$$q = -N \cdot e = -4 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} = -6{,}4 \cdot 10^{-9}\,Kl = -6{,}4\,nKl$$

Elektrik yükü diskret olduğundan o, keçirici səthdə müntəzəm paylana bilir. Fərz edək ki, elektrik yükü S sahəli səthdə müntəzəm paylanmışdır. *Səthin vahid sahəsinə düşən elektrik yükünə elektrik yükünün səthi sıxlığı deyilir.*

$$\sigma = \frac{q}{S} = \pm\frac{N \cdot e}{S} \qquad \text{Vahidi: } [\sigma] = 1\frac{Kl}{m^2}$$

2. Elektrik yükü additiv kəmiyyətdir, yəni istənilən zərrəciklər (cisimlər) sisteminin elektrik yükü onu təşkil edən zərrəciklərin (cisimlərin) elektrik yüklərinin cəbri cəminə bərabərdir:

$$q_{sistem} = q_1 + q_2 + q_3 + \ldots + q_n$$

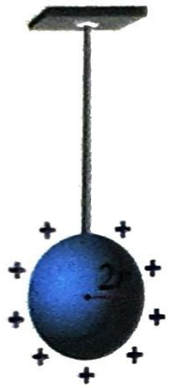
3. Elektrik yükü saxlanma qanununu ödəyir. Qapalı sistemindəki cisimlərin (zərrəciklərin) elektrik yüklərinin cəbri cəmi dəyişməz qalır:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \ldots + q_n = const$$

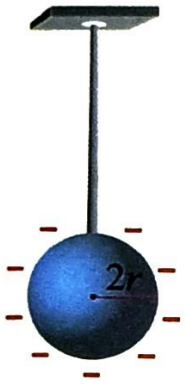
Elektrostatikada ətraf mühitlə yük mübadiləsi olmayan sistem qapalı sistemdir. Yüklənmiş cisimləri bir-birinə toxundurduqda onlarda elektrik yüklərinin yenidən paylanması baş verir.

a) Eyni radiuslu metal kürələrdə, yüklər bərabər paylanır və kürələrin yükü aşağıdakı düsturla tapılır.

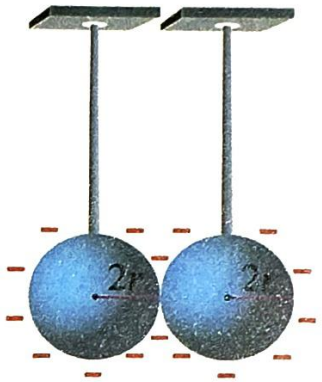
$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2}$$



$q_1 = +4q$



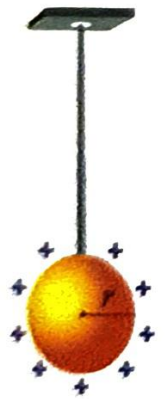
$q_2 = -6q$



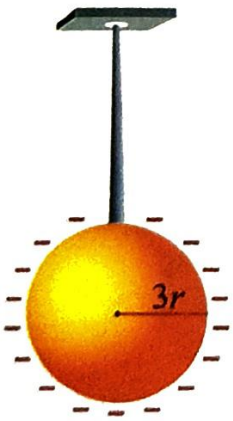
$q'_1 = q'_2 = -q$

b) Müxtəlif radiuslu kürələrdə isə yüklər radiuslarla düz mütənasib paylanır.

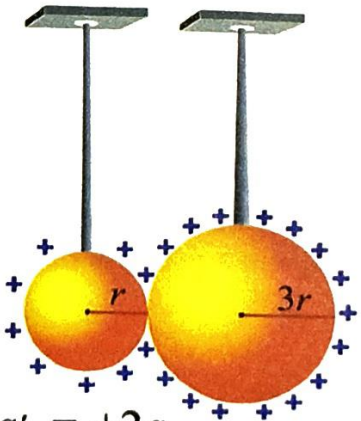
$$q_1' = \frac{q_1 + q_2}{R_1 + R_2} \cdot R_1 \qquad q_2' = \frac{q_1 + q_2}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$



$q_1 = +12q$



$q_1 = -4q$



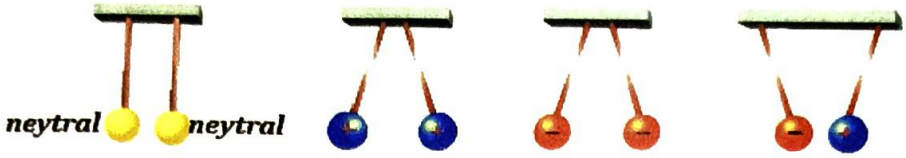
$q'_1 = +2q$ $q'_2 = +6q$

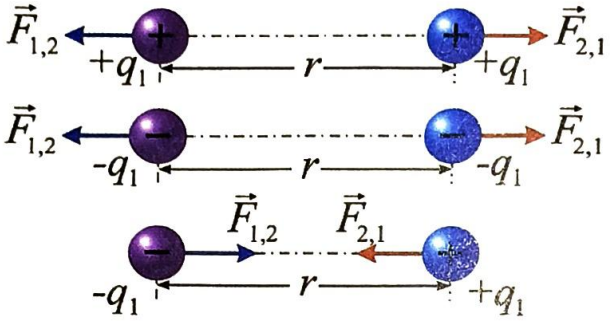
Burada q_1' və q_2' uyğun olaraq birinci və ikinci kürələrin toxundurub, araladıqdan sonrakı yükləridir.

§17.2. Elektrik yüklərinin qarşılıqlı təsiri. Kulon qanunu

Elektrik yükü ilə yüklənmiş cisimlər arasında qarşılıqlı təsir qüvvələri mövcuddur.

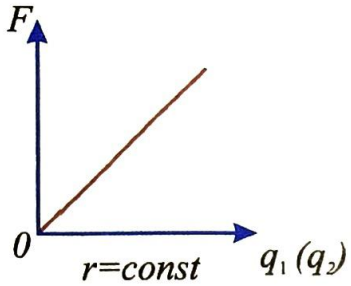
- ✓ Eyni işarəli yükə malik cisimlər bir-birini dəf edər
- ✓ Əks işarəli yükə malik cisimlər bir-birini cəzb edər
- ✓ Yüklü cisimlər (müsbət və ya mənfi) neytral cisimləri çəkər.

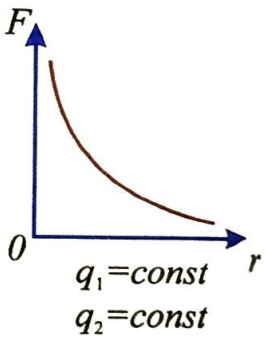




Sükunətdə olan iki nöqtəvi yükün vakuumda qarşılıqlı təsir qüvvəsi yüklərin modulları hasili ilə düz və aralarındakı məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasibdir. Kulon qüvvəsi mərkəzi qüvvə olub nöqtəvi yükləri birləşdirən düz xətt boyunca yönəlir. Kulon qüvvələri modulca bərabər, istiqamətcə əks qüvvələrdir: $\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21}$

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$





Burada q_1 və q_2 sükunətdəki yüklərin miqdarı, r –onlar arasındakı məsafə, F –kulon qüvvəsinin modulu, k isə mütənasiblik əmsalı olub Kulon sabiti adlanır. Kulon qanunundakı k - mütənasiblik əmsalının fiziki mənasını aydınlaşdıraq:

$$k = \frac{F \cdot r^2}{|q_1||q_2|}$$

Əgər $|q_1| = |q_2| = 1Kl$, $r = 1m$ olarsa, onda ədədi qiymətcə $k = F$ alınar.

Yəni, k əmsalı ədədi qiymətcə hər birinin yükü 1 Kl, aralarındakı məsafə 1 m olan iki nöqtəvi yükün qarşılıqlı təsir qüvvəsinə bərabərdir.

Kulon qanununa əsasən k əmsalının BS-də vahidini müəyyənləşdirək:

$$[k]=\frac{N\cdot m^2}{Kl^2}=\frac{kq\cdot m^3}{A^2\cdot san^4}$$

k - sabitinin ədədi qiymətli, təcrübi yolla təyin edilmişdir. $k=9\cdot10^9\ \frac{N\cdot m^2}{Kl^2}$

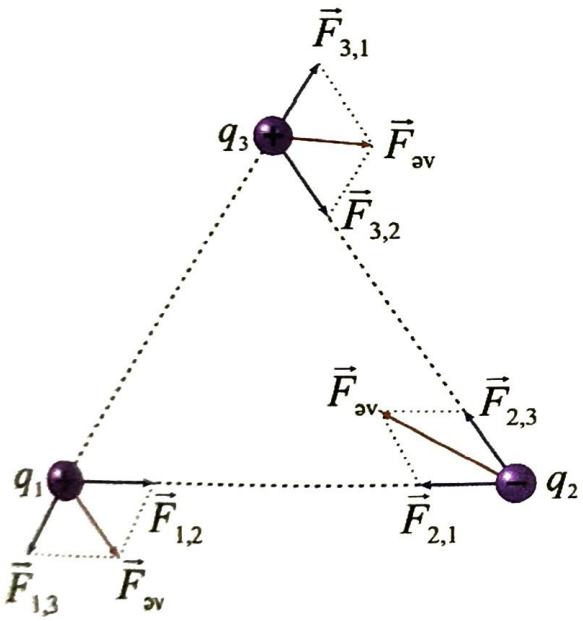
BS-də k sabitini $k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ şəklində yazmağı şərtləşmişlər. Burada ε_0 - elektrik sabiti adlanır.

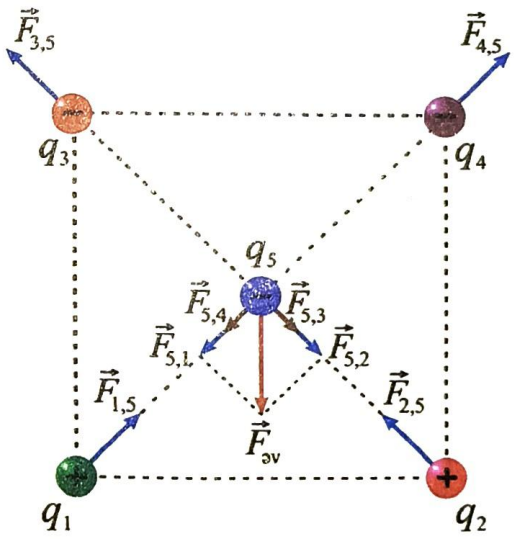
Onun vahidi: $[\varepsilon_0]=\frac{Kl^2}{N\cdot m^2}=\frac{A^2\cdot san^4}{kq\cdot m^3}$

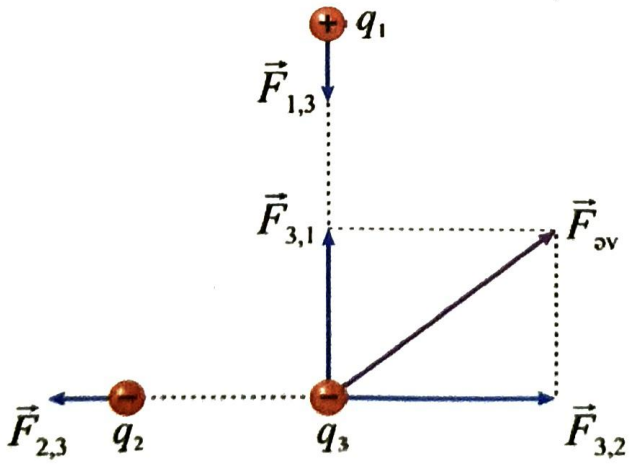
Ədədin qiyməti isə təcrübi yolla təyin edilmişdir: $[\varepsilon_0]=\frac{1}{4\pi k}=8{,}85\cdot10^{-12}\ \frac{Kl^2}{N\cdot m^2}$

Beləliklə, Kulon qanununu $F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ şəklində yazmaq olar.

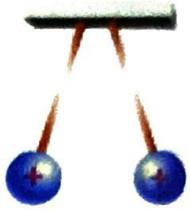
❖ ***Yüklü cismə birdən çox yüklü cisimlər tərəfindən təsir edən əvəzləyici qüvvənin istiqamətinin tapılması:***







§17.3. Elektrik Sahəsi. Elektrik Sahəsinin İntensivliyi



İpək sapdan asılmış müsbət yüklü kürəciklər bir-birini itələyir. Sual olunur: yüklər toxunmadan müəyyən məsafədən necə təsir edir, təsir bir yükdən digərinə necə ötürülür? Elektrik yükü olan fəzada elektrik sahəsi mövcuddur. Elektrik yükləri bir-birinə birbaşa yox, elektrik sahəsi vasitəsilə təsir edir.

Elektrik sahəsi – yüklənmiş cisimlər arasında elektrik qarşılıqlı təsiri ötürən materiya növüdür. **Elektrik sahəsinin qüvvə xarakteristikası *elektrik sahəsinin intensivliyidir.*** ***Elektrik sahəsinin intensivliyi – elektrik sahəsində sınaq yükünə təsir edən qüvvənin həmin yükün miqdarına olan nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir:***

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Burada q – sahəyə gətirilmiş sınaq yükünün miqdarı, $\vec{F}$ – ona təsir edən qüvvə, $\vec{E}$ – elektrik sahəsinin intensivliyidir.

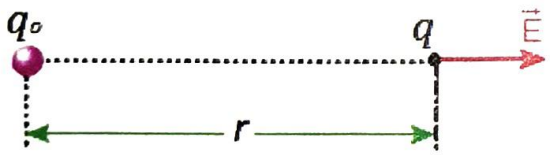
q = 1 Kl olduqda ədədi qiymətcə E=F alınır, yəni verilmiş nöqtədə elektrik sahəsinin intensivliyi ədədi qiymətcə həmin nöqtəyə gətirilmiş vahid yükə (1 Kl) təsir edən qüvvəyə bərabərdir.

BS-də elektrik sahəsinin intensivliyinin vahidi:

$$[E] = 1\frac{N}{Kl} = 1\frac{kq \cdot m}{A \cdot san^3}$$

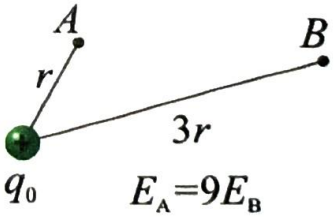
$1\frac{N}{Kl}$ *sahənin elə nöqtəsindəki intensivliyə deyilir ki, həmin nöqtəyə gətirilmiş 1 Kl yükə 1 N qüvvə təsir etsin.*

Hər hansı nöqtəvi q_0 yükünün özündən r məsafədə elektrik sahəsinin intensivliyini qiymətini təyin etmək üçün həmin nöqtəyə q sınaq yükü yerləşdirək.



Kulon qanununa görə sınaq yükünə vakuumda $F = k\frac{|q||q_0|}{r^2}$ qüvvəsi təsir edir. Qüvvənin qiymətini $E = \frac{F}{q}$ düsturunda nəzərə alsaq elektrik sahəsinin intensivliyi üçün:

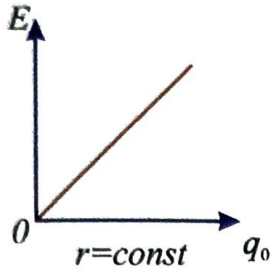
$E = \frac{F}{q} = k\frac{q_0}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|q_0|}{r^2}$ düsturunu alarıq.

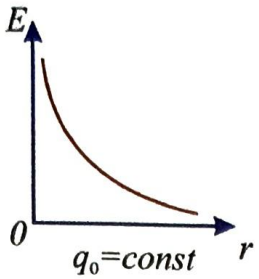


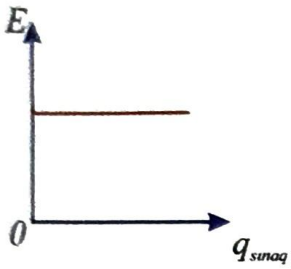
Demək nöqtəvi q_0 yükünün vakuumda verilmiş nöqtədə yaratdığı elektrik sahəsi intensivliyinin modulu sahəni yaradan yükün miqdarı ilə düz, yük ilə həmin nöqtə arasındakı məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasib olub, sahəyə gətirilən sınaq yükünün miqdarından asılı deyil .

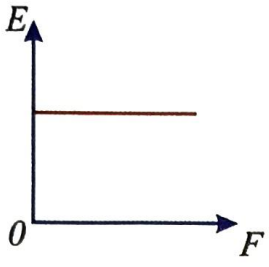
Elektrik sahəsinin elektrik yükünə təsir etdiyi qüvvə $\vec{F}_{el}$ – **elektrik qüvvəsi** adlanır. *Elektrik qüvvəsi elektrik sahəsinin intensivliyi ilə sınaq yükünün miqdarı hasilinə bərabərdir:*

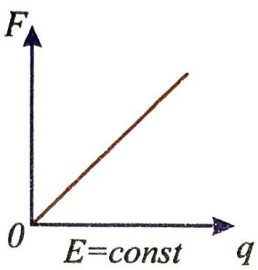
$$\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$$











❖ **Xüsusi yük:** *Zərrəciyin yükünün kütləsinə nisbəti* $\left(\frac{q}{m}\right)$ *onun xüsusi yükü adlanır.*

$$\textit{Vahidi}: \left[\frac{q}{m}\right] = 1\frac{Kl}{kq}$$

§17.4. Elektrik sahəsinin qüvvə xətləri. Bircins və qeyri-bircins elektrik sahəsi

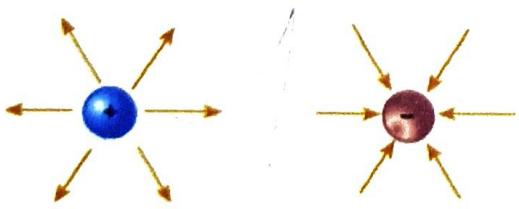
Elektrik sahəsi haqqında əyani təsəvvürü qüvvə xətləri vasitəsilə almaq mümkündür. *Elektrik sahəsinin qüvvə xətləri elə xətlərə deyilir ki, onun hər bir nöqtəsinə çəkilən toxunan həmin nöqtədə* $\vec{E}$ *intensivlik vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşsün.* Qeyd edək ki, qüvvə xətləri şərti qəbul edilmiş məfhumdur. Bu xətlər yalnız elektrik sahəsinin fəzada paylanmasını təsəvvür etməyə kömək edir.

Elektrik sahəsi bircins və qeyri-bircins ola bilər.

Elektrik sahəsinin intensivliyi nöqtədən-nöqtəyə dəyişən sahəyə qeyri-bircins elektrik sahəsi deyilir. Nöqtəvi yüklərin, metal sferanın xaricdə yaratdığı sahə *qeyri-bircins* sahədir.

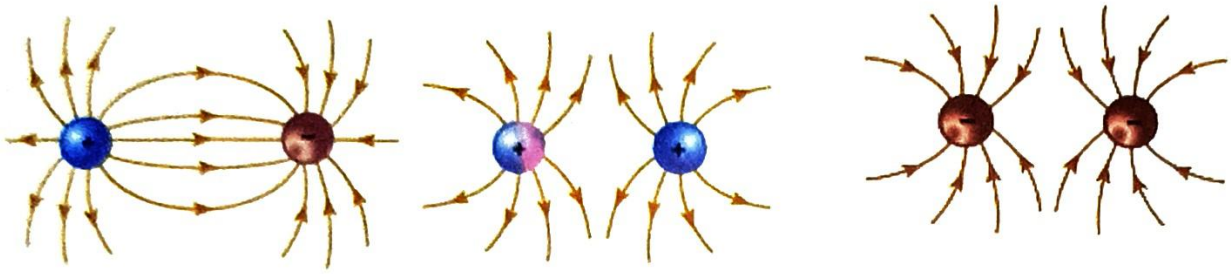
Qüvvə xətlərinin mənzərəsində müəyyən qanunauyğunluqlar var.

1. Müsbət nöqtəvi yükün intensivlik xətləri yükdən çıxaraq sonsuzluğa gedən, mənfi nöqtəvi yükün qüvvə xətləri sonsuzluqdan gəlib yükə daxil olan radial xətlərdir.



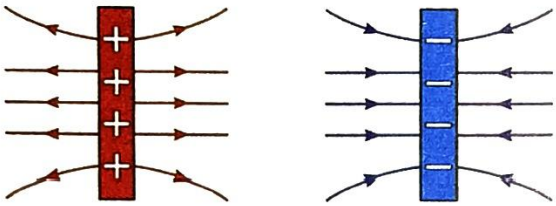
Qeyri-bircins elektrik sahəsi

2. *Elektrik sahəsinin qüvvə xətləri qapalı deyil. Onlar müsbət yüklərdən başlayır və mənfi yüklərdə qurtarır.*
3. *Qüvvə xətləri bir-biri ilə kəsişmir, fəzanın hər bir nöqtəsindən yalnız bir qüvvə xəttini keçirmək olar.*
4. *Sahənin intensivliyi böyük olan yerlərdə qüvvə xətləri daha sıx yerləşir.*



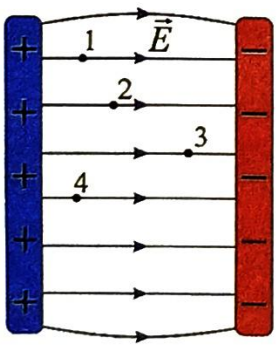
❖ ***Bütün nöqtələrində intensivliyi qiymət və istiqamətcə eyni olan sahəyə bircins elektrik sahəsi deyilir.*** Bircins sahənin qüvvə xətləri paralel xətlər olub, hər yerdə sıxlığı eynidir.

5. *Bərabər yüklənmiş sonsuz müstəvinin intensivlik xətləri müstəviyə perpendikulyar xətlərdir.*



Bircins elektrik sahəsi

6. *Biri +q, digəri −q yükünə malik olan iki paralel müstəvi lövhə arasındakı sahə də* ***bircins elektrik sahədir.***



$$E_1=E_2=E_3=E_4$$

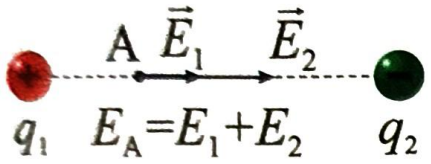
Bircins elektrik sahəsi

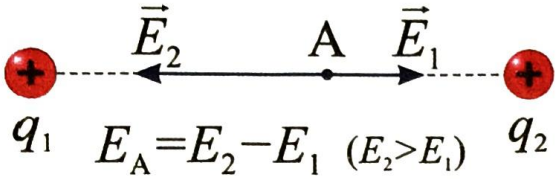
§17.5. Elektrik sahəsinin superpozisiya prinsipi

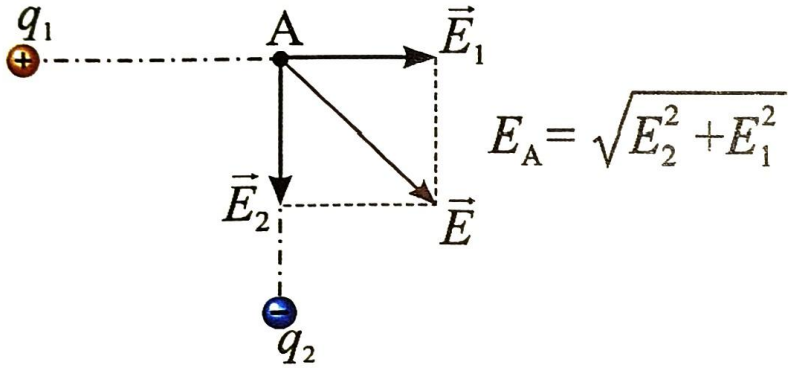
Elektrik sahəsi superpozisiya prinsipini ödəyir. Fəzanın verilmiş nöqtəsində bir neçə yükün yaratdığı sahənin yekun intensivliyi, ayrı-ayrı yüklərin yaratdığı sahələrin intensivliklərinin həndəsi cəminə bərabərdir.

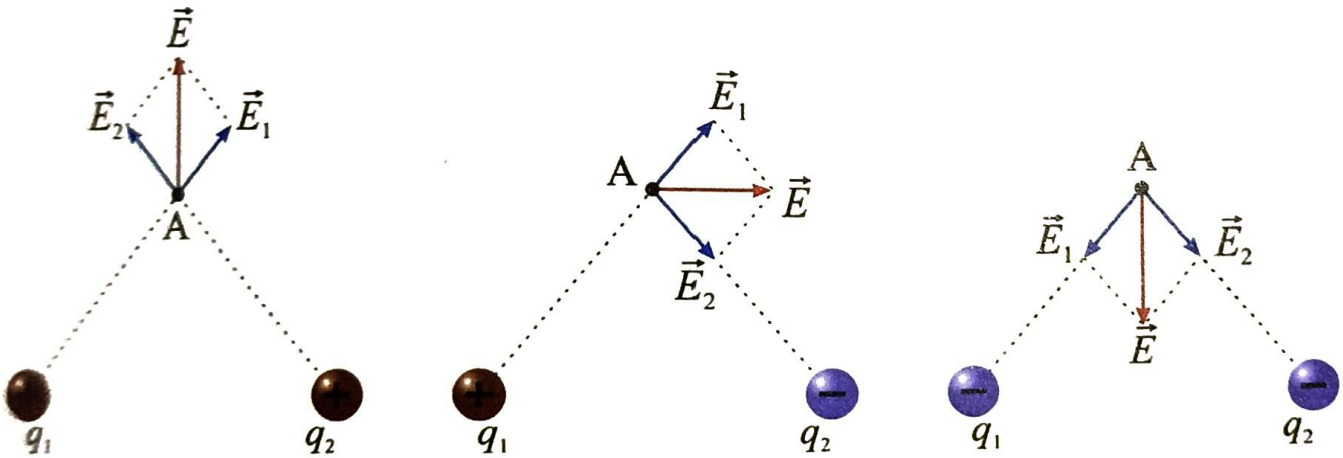
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots + \vec{E}_4$$

Qiymətcə eyni olan iki nöqtəvi yükün fəzanın müxtəlif nöqtəsində yaratdığı sahənin yekun intensivliyinin tapılması verilmişdir.





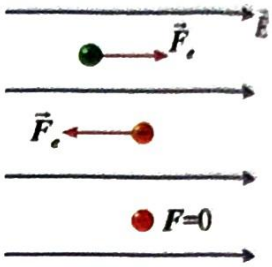




§17.6. Yüklü zərrəciklərin bircins elektrik sahəsində hərəkəti

Bircins elektrik sahəsində *müsbət yüklü zərrəciyə* sahə tərəfindən intensivlik vektoru istiqamətində, *mənfi yüklü zərrəciyə* intensivlik vektorunun əksinə yönələn sabit qüvvə təsir edir:

$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$

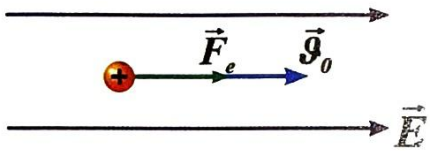


Bircins elektrik sahəsində yüklü zərrəciyin hərəkət tənliyi $m\vec{a} = q\vec{E}$ şəklində yazılır. Buradan görünür ki, bircins sahədə $\vec{E} = const$ olduğu üçün $\vec{a} = const$ olur. Deməli, yüklü zərrəcik bircins elektrik sahəsində ***bərabərtəcilli*** hərəkət edir.

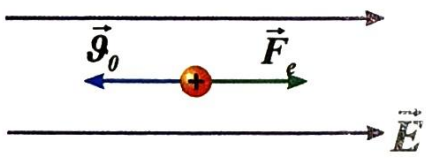
$$a = \frac{q}{m}E \qquad \vartheta = \frac{qEt}{m} = \sqrt{\frac{2qEs}{m}} \quad (\vartheta_0 = 0) \qquad S_x = \frac{qEt^2}{2m} \quad (\vartheta_0 = 0)$$

❖ ***Yüklü zərrəciyin başlanğıc ϑ_0 sürətinin istiqamətindən asılı olaraq bircins elektrik sahəsində bir neçə cür hərəkət növü mümkündür***

1. Müsbət yüklü zərrəcik intensivliyin xətləri istiqamətində bircins elektrik sahəsinə daxil olur. Bu halda başlanğıc sürət və təcil vektoru eyni istiqamətdə yönəldiyi üçün hərəkət ***bərabəryeyinləşən*** olur.



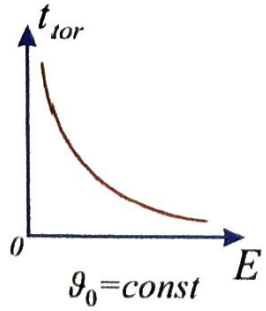
2. Müsbət yüklü zərrəcik intensivlik xətlərinin əksi istiqamətində bircins elektrik sahəsinə daxil olur. Bu hərəkətdə başlanğıc sürət və təcil vektorları əks istiqamətdə yönəldiyi üçün hərəkət ***bərabəryavaşıyan*** olur.

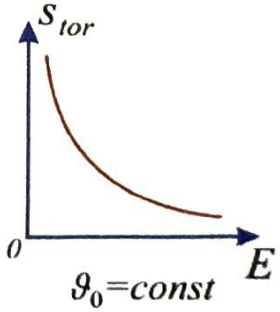


Bu hərəkətdə zərrəciyin tormozlanma başlanan andan dayanana qədər sərf etdiyi zaman fasiləsi (tormozlanma müddəti) və gedilən yol (tormozlanma yolu) tapılır.

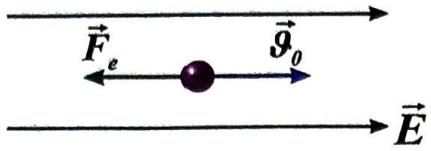
$$t_{tor} = \frac{\vartheta_0}{a} = \frac{m\vartheta_0}{qE}$$

$$S_{tor} = \frac{\vartheta_0^2}{2a} = \frac{m\vartheta_0^2}{2qE}$$

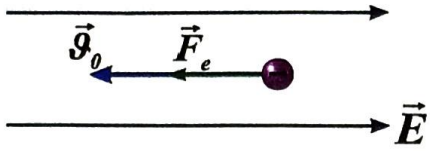




3. ***Mənfi yüklü zərrəcik intensivlik xətləri istiqamətində bircins elektrik sahəsinə daxil olur.*** Başlanğıc sürət və təcil vektoru əks istiqamətdə yönəldiyi üçün hərəkət ***bərabəryavaşıyandır.***



4. ***Mənfi yüklü zərrəcik intensivlik xətlərinin əksi istiqamətində bircins elektrik sahəsinə daxil olur.*** Bu hərəkətdə başlanğıc sürət və təcil vektorları eyni istiqamətdə yönəldiyi üçün hərəkət ***bərabəryeyinləşən*** olur.

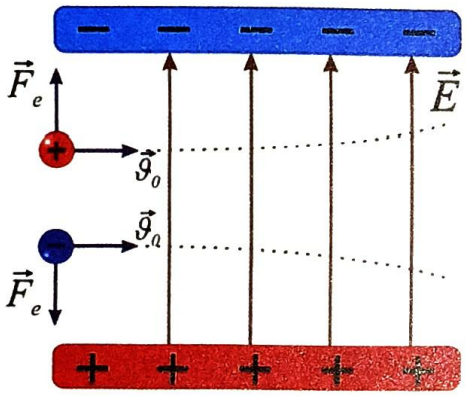


5. ***Yüklü zərrəcik qüvvə xətlərinə perpendikulyar istiqamətdə bircins elektrik sahəsinə daxil olur*** ($\vec{\vartheta}_0 \perp \vec{E}$).

Yüklü zərrəciklərin bu hərəkəti yerindən müəyyən hündürlükdən üfuqi istiqamətdə atılmış cismin hərəkətinə bənzəyir. Bu zaman yüklü zərrəciyin hərəkəti:

X oxu istiqamətində bərabərsürətli (bu istiqamətlə onu qüvvə təsir etmir),

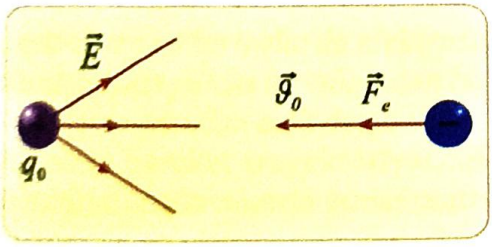
Y oxu istiqamətində isə bərabərtəcilli olur.

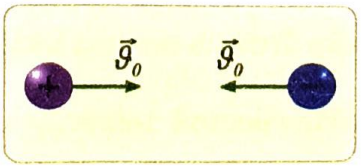


§17.7. Yüklü zərrəciklərin qeyri - bircins elektrik sahəsində hərəkəti

1. ***Mənfi yüklü zərrəcik sükunətdəki nöqtəvi q_0 yükünün yaratdığı qeyri-bircins elektrik sahəsinə daxil olur (və ya müsbət yüklü zərrəciklə qarşı-qarşıya hərəkət edir).***

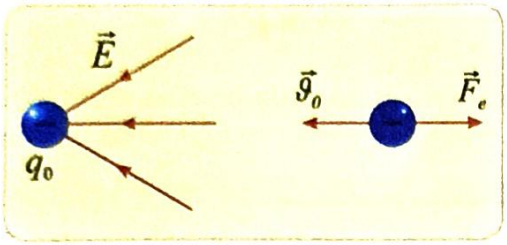
Yüklü zərrəciklər arasında məsafə azaldığı üçün qarşılıqlı təsir qüvvəsi $\left(F = k\frac{|q_0||q|}{r^2};\ F = ma\right)$ və elektronun ***təcili modulca artar.*** Elektronun sürət və təcil vektoru eyni istiqamətdə yönəldiyi üçün ***artan təcillə yeyinləşən*** hərəkət edər.

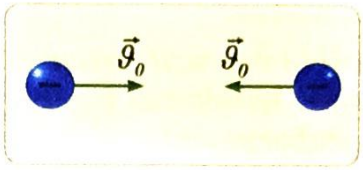




2. Mənfi yüklü zərrəcik sükunətdəki nöqtəvi q_0 yükünün yaratdığı qeyri-bircins elektrik sahəsinə daxil olur (və ya mənfi yükü zərrəciklə qarşı-qarşıya hərəkət edir).

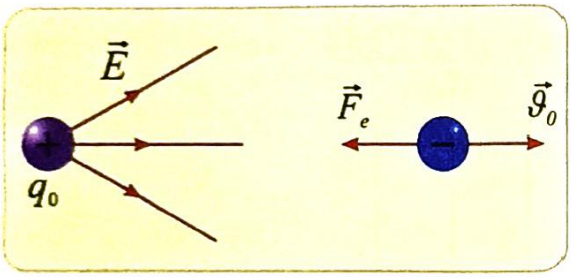
Yüklü zərrəciklər arasında məsafə azaldığı üçün qarşılıqlı təsir qüvvəsi və elektronun ***təcili modulca artar***. Elektronun sürət və təcil vektoru əks istiqamətdə yönəldiyi üçün ***artan təcillə yavaşıyan*** hərəkət edər.

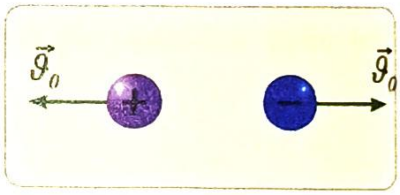




3. Mənfi yüklü zərrəcik sükunətdəki nöqtəvi q_0 yükünün yaratdığı qeyri-bircins elektrik sahəsindən uzaqlaşır (və ya müsbət yükü zərrəciklə əks istiqamətlərdə hərəkət edir).

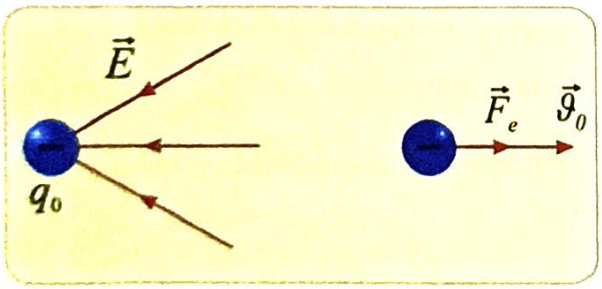
Yüklü zərrəciklər arasında məsafə artdığı üçün qarşılıqlı təsir qüvvəsi $\left(F = k\dfrac{|q_0||q|}{r^2};\ F = ma\right)$ və elektronun ***təcili modulca azalar***. Elektronun sürət və təcil vektoru əks istiqamətdə yönəldiyi üçün ***azalan təcillə yavaşıyan*** hərəkət edər.

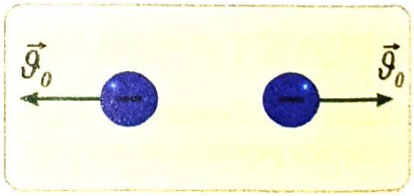




4. Mənfi yüklü zərrəcik sükunətdəki nöqtəvi q_0 yükünün yaratdığı qeyri-bircins elektrik sahəsindən uzaqlaşır (və ya mənfi yükü zərrəciklə əks istiqamətlərdə hərəkət edir).

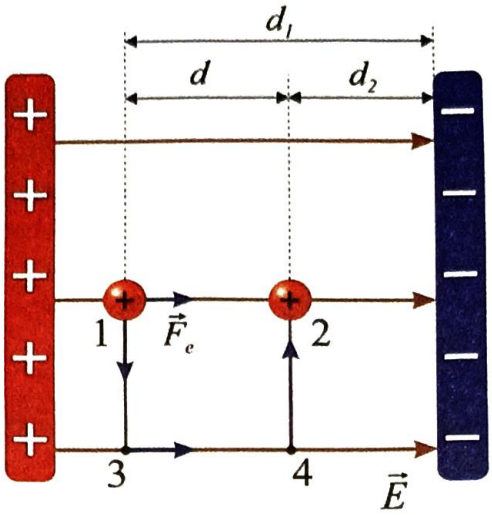
Yüklü zərrəciklər arasında məsafə artdığı üçün qarşılıqlı təsir qüvvəsi və elektronun ***təcili modulca azalar***. Elektronun sürət və təcil vektoru eyni istiqamətdə yönəldiyi üçün ***azalan təcillə yeyinləşən*** hərəkət edər.





§17.8. Elektrik sahəsində yükün yerdəyişməsi zamanı görülən iş

Elektrik sahəsində yükün yerdəyişməsi zamanı elektrik sahəsi tərəfindən iş görülür. Görülən işin hansı kəmiyyətlərdən asılı olduğunu müəyyənləşdirək. İki paralel metal lövhəni yükləməklə, onlar arasında bircins elektrik sahəsi yaradaq. Həmin sahəyə müsbət q yükü gətirək. Həmin yükə qüvvə xətti istiqamətində yönəlmiş sabit $\vec{F} = q\vec{E}$ qüvvəsi təsir edir. Fərz edək ki, həmin müsbət q yükü qüvvə xətti istiqamətində 1 nöqtəsindən 2 nöqtəsinə gəlir. Bu nöqtələr arasındakı məsafə $d = d_1 - d_2$ dir. Yəni yük d qədər yerdəyişmə etmişdir.



Cismə onun yerdəyişməsi istiqamətində təsir edən qüvvə müsbət, əks istiqamətdə təsir edən qüvvə mənfi iş görür və həmin yerdəyişmə zamanı bircins sahədə görülən iş

$$A = F \cdot d = qE(d_1 - d_2) = qEd$$ *kimi təyin olunur.*

Elektrik sahəsində q yükünün 1 – 3 – 4 – 2 – 1 trayektoriyası üzrə görülən işə baxaq:

- **1 – 3** *və* **4 – 2** *yerdəyişmələrində sahə tərəfindən yükə təsir edən qüvvə yerdəyişməyə perpendikulyar olduğundan həmin hissələrdə görülən iş sıfıra bərabərdir.*

$$A_{13} = A_{42} = 0$$

- **1 – 2** *yerdəyişməsində sahə tərəfindən yükə təsir edən qüvvə yerdəyişmə ilə eyni istiqamətdə yönəldiyindən həmin hissədə görülən iş:*

$$A_{12} = qEd$$

- **2 – 1** *yerdəyişməsində sahə tərəfindən yükə təsir edən qüvvə yerdəyişmənin əksi istiqamətdə yönəldiyindən həmin hissədə görülən iş mənfi olar:*

$$A_{21} = -qEd \qquad A_{12} = -A_{21}$$

Beləliklə, ***q yükünü 1 – 3 – 4 – 2 – 1 trayektoriyası üzrə hərəkət etdirsək görülən iş*** *sıfıra bərabər olar:*

$$A_{13421} = A_{13} + A_{34} + A_{42} + A_{21} = 0 + (A) + 0 + (-A) = 0$$

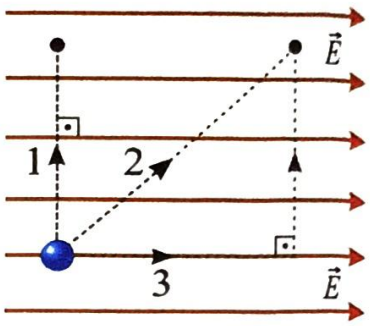
Deməli, elektrik sahəsinin gördüyü iş yükün hərəkət trayektoriyalarının formasından asılı deyil, yalnız trayektoriyanın başlanğıc və son nöqtələrinin sahədəki vəziyyətindən asılıdır. Bu faktlar elektrostatik sahənin gördüyü işin iki mühüm xassəyə malik olmasını təsdiqləyir.

1. *İstənilən qapalı trayektoriyalarda elektrostatik qüvvənin işi sıfıra bərabərdir.*
2. *Elektrostatik sahədə yükün bir nöqtədən başqa nöqtəyə hərəkəti zamanı elektrik qüvvəsinin işi trayektoriyanın formasından asılı deyil.*

Görülən işi cismin hərəkət trayektoriyasından asılı olmayan qüvvələr ***konservativ qüvvələr*** adlanır. Elektrostatik qüvvələrdə konservativ qüvvələrdir.

İstənilən qapalı trayektoriya boyunca elektrostatik sahənin gördüyü iş sıfıra bərabərdir. Belə xassəyə malik sahələr potensiallı sahədir. Bu müddəa elektrostatikanın əsas teoremidir.

Məsələ: Verilmiş şəkilə əsasən görülən işləri müqayisə edin.



İzah: Yüklü zərrəciyin **1** trayektoriyası üzrə hərəkəti zamanı sahə tərəfindən yükə təsir edən qüvvə yerdəyişməyə perpendikulyar olduğundan həmin hissədə görülən iş sıfıra bərabərdir. Yüklü zərrəciyin **2** və **3** taryektoriyaları üzrə hərəkəti zamanı yerdəyişmələr eyni olduğu üçün görülən işlərdə eynidir.

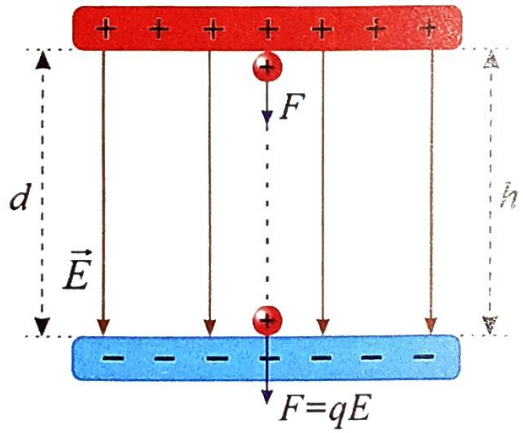
$$A_1 = 0 \qquad A_2 = A_3$$

§17.9. Elektrostatik sahəyə gətirilmiş yükün potensial enerjisi. Elektrostatik sahənin potensialı

Potensial enerji haqqında teoremə əsasən elektrostatik qüvvənin işi əks işarə ilə yüklü zərrəciklərin potensial enerjisinin dəyişməsinə bərabərdir:

$$A = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2}$$

Deməli,elektrik sahəsində yüklü zərrəcik potensial enerjiyə malikdir. Bircins elektrik sahəsində yüklü zərrəciyin potensial enerjisinin ifadəsini müəyyən edək. Məlumdur ki, potensial enerjinin qiyməti sıfırıncı səviyyənin seçilməsindən asılıdır.



Sıfırıncı səviyyə olaraq mənfi yüklənmiş müstəvi lövhəni götürsək, onda həmin lövhədən d məsafəsində yerləşmiş müsbət q yükünün potensial enerjisi:

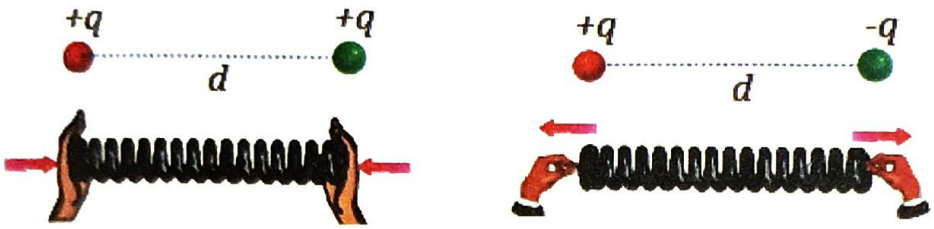
$W_p = qEd$ *düsturu ilə hesablanar.*

Bu düstur Yer səthindən h hündürlükdəki cismin potensial enerjisi $E_p = mgh$ düsturuna oxşayır.

Yüklü zərrəcik bərabəryinləşən hərəkət etdiyi üçün elektrostatik sahənin gördüyü iş müsbət olar, kinetik enerjisi artar, potensial enerjisi azalar

• İki yüklü cisim arasında yaranan potensial enerji:

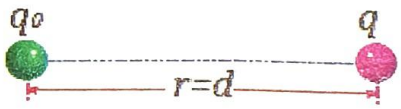
Hər birinin yükü $+q$; $+q$ olan iki yük arasındakı potensial enerji sıxılmış yayda yaranan potensial enerjiyə bənzəyir.
Hər birinin yükü $+q$ və $-q$ yük arasındakı potensial enerji dartılmış yayda yaranan potensial enerjiyə bənzəyir.



İki yüklü cisim arasında müəyyən bir məsafədə qarşılıqlı təsir nəticəsində yaranan enerji elektrik potensialı enerjisi adlanır. Yüklənmiş cisimləri tarazlıqda saxlamaq və ya sonsuzluqdakı iki yüklənmiş cismi bir–birinə yaxınlaşdırmaq üçün görülən iş elektrik potensialı enerjisinə bərabər olmalıdır. Elektrik potensialı enerjisi elektrostatik qüvvədən qaynaqlanır.

Verilmiş şəkildəki sistemdə yüklər arasındakı qarşılıqlı təsirin potensial enerjisi:

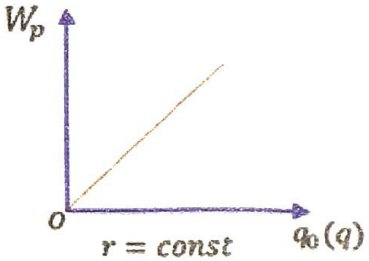
$$W_p = F_e \cdot d$$



$$F_e = k\frac{q \cdot q_0}{r^2} \qquad W_p = k\frac{q \cdot q_0}{r^2} \cdot d = k\frac{q \cdot q_0}{r}$$

Deməli, iki yüklü cisim arasında yaranan qarşılıqlı təsirin potensial enerjisi

$$W_p = k\frac{q \cdot q_0}{r}$$ düsturu ilə hesablanır.



Burada q_0 – elektrik sahəsini yaradan elektrik yükü, q – bu sahəyə gətirilən sınaq yükü, d və ya r – sahə mənbəyindən sınaq yükünə qədər məsafədir.
Potensial enerji skalyar kəmiyyət olduğu üçün q_1 və q_2 yükləri eyni işarəli olduqda potensial enerji müsbət ($W_p > 0$), əks işarəli olduqda isə potensial enerji mənfi olur ($W_p < 0$).

❖ Elektrostatik sahənin potensialı

Elektrik sahəsinin verilmiş nöqtəsindəki sınaq yükünün potensial enerjisinin bu yükə olan nisbəti sınaq yükünün miqdarından asılı deyil:

$$\frac{W_p}{q} = const$$

Bu nisbət elektrik sahəsinin yeni kəmiyyət xarakteristikası olan ***potensial*** adlanır.

Elektrik sahəsinin verilmiş nöqtəsindəki sınaq yükünün potensial enerjisinin bu yükün miqdarına olan nisbətinə həmin nöqtədə sahənin potensialı adlanır.

$$\varphi = \frac{W_p}{q} = E \cdot d$$

Potensial φ (fi) hərfi ilə işarə olunur və BS-də vahidi voltdur (V): $[\varphi] = 1\frac{C}{Kl} = 1V = 1\frac{kq \cdot m^2}{A \cdot san^3}$

1 Volt sahənin elə nöqtəsinin potensialına deyilir ki, 1Kl yük həmin nöqtədə 1C potensial enerjiyə malik olsun.

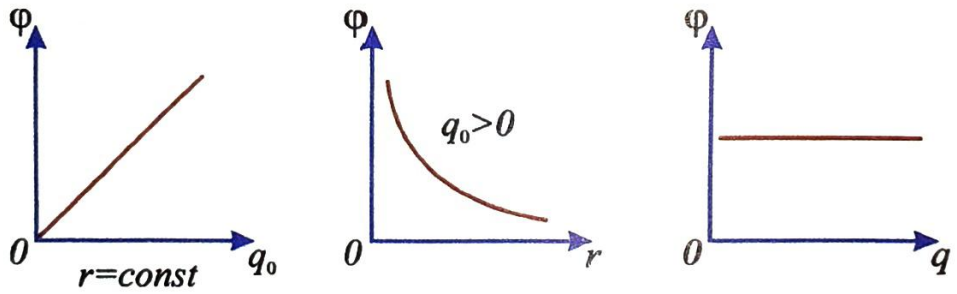
Elektrik sahəsinin potensialı skalyar kəmiyyət olub, sahənin enerji xarakteristikasıdır. O, sahəni verilmiş nöqtəsində yükün malik olduğu potensial enerjini təyin edir.

$$W_p = q \cdot \varphi$$

Potensial enerjinin $W_p = k\frac{q_0 \cdot q}{r}$ düsturunu $\varphi = \frac{W_p}{q}$ düsturunda nəzərə alsaq,

$\varphi = k\frac{q_0}{r}$ düsturunu alarıq.

Vakuumda nöqtəvi q_0 yükünün verilmiş nöqtədə yaratdığı sahənin potensialı yükün miqdarı ilə düz, mənbə ilə həmin nöqtə arasındakı məsafə ilə tərs mütənasibdir. Sahəyə gətirilmiş sınaq yükünün miqdarından asılı deyil.



Elektrik sahəsini potensialı skalyar kəmiyyətdir. $q_0 > 0$ olduqda sahənin potensialı müsbət, $q_0 < 0$ olduqda isə mənfidir, ona görə də müsbət yükə yaxın nöqtədə potensial böyük, uzaqda isə kiçikdir. Mənfi yükə yaxın nöqtədə potensial kiçik, uzaqda isə böyükdür.



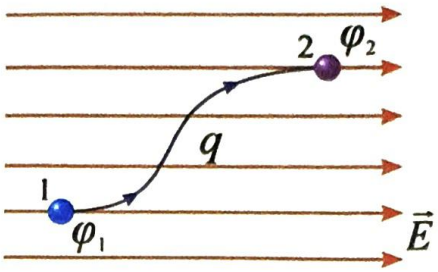
§17.10. Potensiallar fərqi (və ya gərginlik)

Elektrostatik qüvvənin işi əks işarə ilə yükün potensial enerjisinin dəyişməsinə bərabər olduğundan alırıq:

$$A = -\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2} = q\varphi_1 - q\varphi_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$\Delta W_p = q(\varphi_2 - \varphi_1)$$



$\varphi_1 - \varphi_2$ kəmiyyəti elektrik sahənin iki nöqtəsi arasındakı ***potensiallar fərqi*** *və ya* ***gərginlik*** adlanır, elektrik sahəsinin enerji xarakteristikasıdır.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = U = \frac{A}{q}$$

Potensiallar fərqi (gərginlik), yükün iki nöqtə arasındakı hərəkəti zamanı elektrik sahəsinin gördüyü işin həmin yükün miqdarına olan nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir. BS-də potensiallar fərqinin (gərginliyin) vahidi də ***Voltdur.***

$$[U] = 1\frac{C}{Kl} = 1V = 1\frac{kq \cdot m^2}{A \cdot san^3}$$

İki nöqtə arasında yükün hərəkəti zamanı sahənin gördüyü iş yükün miqdarı ilə həmin nöqtələr arasındakı potensiallar fərqinin (gərginliyin) hasilinə bərabərdir.

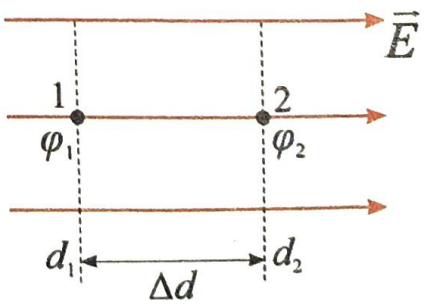
$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q \cdot U$$

Bu düstur əsasında zərrəciklər fizikasında geniş istifadə olunur. Sistemdənkənar enerji vahidi ***elektron volt (1 eV)*** daxil edilir. Elektronun potensiallar fərqi 1V olan iki nöqtə arasında sürətləndiyi zaman qazandığı enerji ***elektron – volt*** adlanır:

$$1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19} C \qquad 1MeV = 1{,}6 \cdot 10^{-13} C$$

§17.11. Elektrik sahəsinin intensivliyi ilə potensiallar fərqi arasında əlaqə

Elektrik sahəsinin intensivliyi ilə potensialın dəyişməsi arasında müəyyən bir əlaqə mövcuddur. Həmin əlaqəni müəyyən etmək üçün fərz edək ki, müsbət q yüklü zərrəcik bircins elektrik sahəsində 1 nöqtəsindən 2 nöqtəsinə qüvvə xətti istiqamətində hərəkət edir. Ona təsir edən qüvvə $F = qE$ olduğundan elektrik sahəsi yük üzərində işini görür. Δd - yükün yerdəyişməsidir.



Potensial enerji haqqında teoremə əsasən, sahənin gördüyü iş əks işarə ilə potensial enerjinin dəyişməsinə bərabərdir:

$$A = F \cdot \Delta d = qE\Delta d$$

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q \cdot U$$

$$qE\Delta d = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$E=\frac{\varphi_1-\varphi_2}{\Delta d}=\frac{U}{\Delta d} \qquad [E]=\frac{[U]}{[d]}=1\frac{V}{m}$$

Elektrik sahəsində hərəkət edən m kütləsi q yüklü zərrəcik potensialı φ_1 olan nöqtədən potensial φ_2 olan nöqtəyə yerini dəyişən zaman onun kinetik enerjisinin dəyişməsi aşağıdakı düsturla hesablanır.

$$\Delta W_k = A = q(\varphi_1-\varphi_2)=q\cdot U$$

$$A=\Delta W_k=\frac{m}{2}\left(\vartheta^2-\vartheta_0^{\,2}\right)$$

Verilmiş ifadələri bərabərləşdirsək, $qU=\frac{m}{2}\left(\vartheta^2-\vartheta_0^{\,2}\right)$ ifadəsini alarıq.

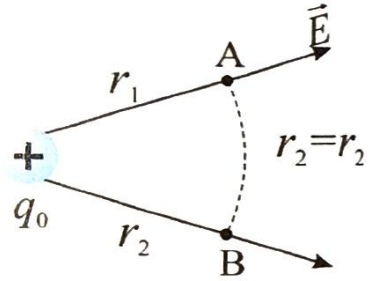
Yüklü zərrəcik sükunət vəziyyətindən hərəkətə başlayarsa: $(\vartheta_0=0)$

$$qU=\frac{m\vartheta^2}{2} \quad\Rightarrow\quad \vartheta=\sqrt{\frac{2qU}{m}}=\sqrt{\frac{2q(\varphi_1-\varphi_2)}{m}}$$

§17.12. Ekvipotensial səthlər

Nöqtəvi q_0 yükünün A və B nöqtələrində potensialını müqayisə edək.

$$\varphi=k\frac{q_0}{r}$$



düsturu əsasən yükdən eyni məsafədə olan bütün nöqtələrdə sahənin potensialı eynidir $(\varphi_A=\varphi_B)$

Bütün nöqtələrində potensialı eyni olan səth ekvipotensial səth adlanır.

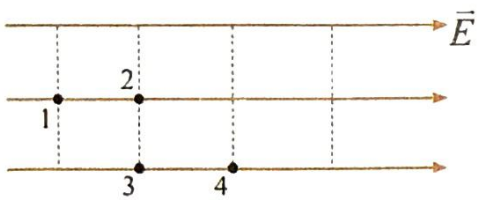
Ekvipotensial səthin istənilən iki nöqtəsi arasındakı potensiallar fərqi sıfıra bərabərdir.

$$\varphi_A-\varphi_B=0$$

Bu səbəbdən ekvipotensial səth üzrə yük hərəkət edərkən sahə iş görmür.

$$A=q(\varphi_A-\varphi_B)=0$$

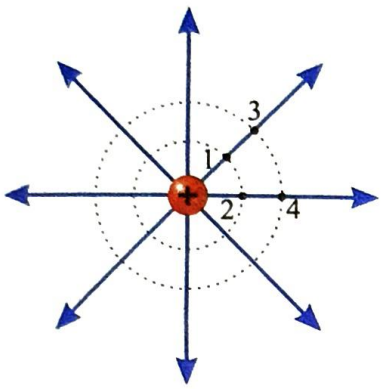
Bircins elektrik sahəsinin ekvipotensial səthləri qüvvə xəttlərinə perpendikulyar olan müstəvilərdir. Elektrik sahəsinin qüvvə xətləri potensialın azalması istiqamətinə yönəlir.



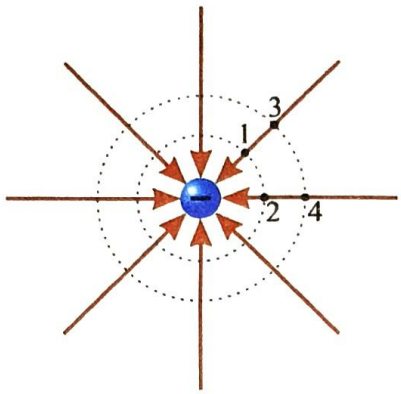
$E_1=E_2=E_3=E_4$

$\varphi_1>\varphi_2=\varphi_3>\varphi_4$

Nöqtəvi yük sahəsinin ekvipotensial səthləri mərkəzində həmin yük olan konsentrik sferalardır.



$$E_1=E_2>E_3=E_4$$
$$\varphi_1=\varphi_2>\varphi_3=\varphi_4$$

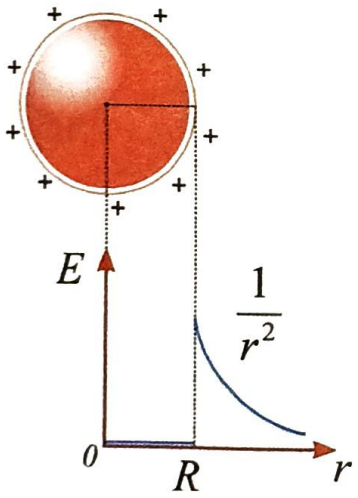


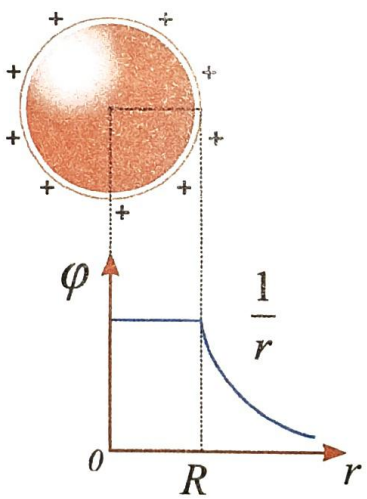
$$E_1=E_2>E_3=E_4$$
$$\varphi_1=\varphi_2<\varphi_3=\varphi_4$$

Müsbət yükdən uzaqlaşdıqca potensial azalır, mənfi yükdən uzaqlaşdıqca da isə potensial artır. Sahənin qüvvə xətləri potensialın azalması istiqamətinə yönəlir

§17.13. Yüklənmiş metal kürənin (və ya sferanın) yaratdığı sahənin intensivliyi və potensialı

Metal kürə (və ya sfera) daxilində istənilən nöqtədə sahənin intensivliyi sıfıra bərabərdir. Çünki kürə səthindəki yüklərin elektrik sahəsi bir-birini tarazlaşdırır. Kürədən kənarda isə sahənin intensivliyi sferanın mərkəzində yerləşən nöqtəvi yükün sahə intensivliyi kimi təyin olunur.





$$E_{daxil}=0$$

$$E_{sethde}=k\frac{|q_0|}{R^2}$$

$$E_{xaricde}=k\frac{|q_0|}{r^2}$$

$$\varphi_{daxild}=\varphi_{sethde}=k\frac{q_0}{R}$$

$$\varphi_{xaricde}=k\frac{q_0}{r}$$

$$r=R+h$$

§17.14. Dielektrik nüfuzluğu

Mühitin elektrik xassələrini xarakterizə etmək üçün dielektrik nüfuzluğu adlanan fiziki kəmiyyətdən istifadə olunur. Mühitin dielektrik nüfuzluğu bircins dielektrik daxilində elektrik sahəsinin E intensivliyinin, həmin sahənin vakuumdan E_0 intensivliyindən neçə dəfə kiçik olduğunu göstərən fiziki kəmiyyətdir.

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} \qquad E = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

Burada ε dielektrik nüfuzluğudur. Dielektrik nüfuzluğunun vahidi yoxdur, o, skalyar kəmiyyətdir. E_0 və E uyğun olaraq vakuumda və bircins mühitdə elektrik sahəsinin intensivliyidir.

Nöqtəvi yükün bircins dielektrik daxilində yaratdığı sahənin intensivliyi və potensialı uyğun olaraq aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$E = k\frac{|q_0|}{\varepsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{|q_0|}{\varepsilon r^2} \qquad \varphi = k\frac{q_0}{\varepsilon r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q_0}{\varepsilon r}$$

Bircins dielektrikin daxilində nöqtəvi yüklərin qarşılıqlı təsir qüvvəsi, eləcə də qarşılıqlı təsirin potensial enerjisi sahə intensivliyinin azalması nəticəsində ε dəfə azalır:

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F} \qquad F = \frac{F_0}{\varepsilon} \qquad F = k\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{\varepsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{\varepsilon r^2} \qquad W_p = k\frac{q_1\cdot q_2}{\varepsilon r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r}$$

Beləliklə, ümumdünya cazibə qüvvəsindən fərqli olaraq yüklü cisimlər arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi onların yerləşdiyi mühitin xassələrindən də asılıdır.

Müxtəlif maddələrin dielektrik nüfuzluğu bir - birindən kəskin fərqlənir. Vakuumda (havada) $\varepsilon = 1$, *distillə olunmuş suda* $\varepsilon_{su} = 81$ *-dir.*

Məsələn, su ilə dolu qabda sükunətdə və bir-birilə qarşılıqlı təsirdə olan iki nöqtəvi yük vardır. Su tamamilə buxarlandıqdan sonra sahə intensivliyinin artması nəticəsində yüklər arasındakı Kulon qarşılıqlı təsir qüvvəsi ***81*** *dəfə artar.*

Mövzu ilə əlaqəli əlavə məlumatlar

❖ Keçiricilər və dielektriklər

Cisimlər elektriki ***keçirən*** və ***keçirməyən*** olur.


Naqil


Quru taxta

• Keçiricilər

Elektrik yükünü keçirən maddələr ***keçiricilər****, yaxud* ***naqillər*** *adlanır.* Keçiricilərə metallar, duz və turşunun suda məhlulları və s. aiddir.

Nə üçün keçiricilər elektrik yükünü asanlıqla keçirir? Keçirici maddələrdə bütün istiqamətlərə sərbəst hərəkət edəbilən yükdaşıyıcılar mövcuddur. Metallarda bu yükdaşıyıcılar atomu tərk etmiş *sərbəst elektronlar,* məhlullarda *isə mənfi* və *müsbət ionlardır. Keçiriciləri elektrikləndirdikdə elektrik yükdaşıyıcıları cismin səthində bütün istiqamətlərə paylanır.* Bu səbəbdən əlinizdə tutduğunuz metal çubuğu sürtünmə ilə elektrikləndirmək

mümkün deyildir, çünki insan bədəni də keçirici olduğundan yaranan elektrik yükləri bədəninizə keçir.

- **Dielektriklər**

Elektrik yükünü keçirməyən maddələr ***dielektriklər*** *adlanır.* Dielektriklərə plastmas, rezin, şüşə, ebonit, quru taxta, hava, saxsı və s. aiddir. Dielektriklərdən hazırlanan cisimlər *izolyator* adlanır. Keçirici elektrik alətlərinin dəstəkləri izolyatordan hazırlanır. *Dielektrikləri də elektrikləndirmək mümkündür, lakin onlarda elektrik yükləri hərəkət etmir: sürtünmə və ya toxunma ilə dielektrikdə yaranan elektrik yükləri yarandığı yerdə də qalır.* Məsələn, şüşə çubuğun bir hissəsini yun parçaya sürtməklə mənfi, digər hissəsini isə ipək parçaya sürtməklə müsbət yüklə elektrikləndirmək olar.

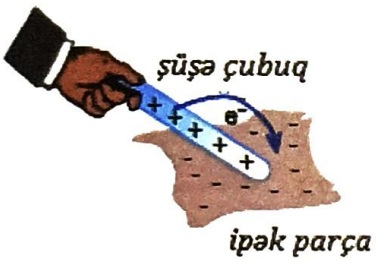
❖ Cisimlərin müxtəlif üsullarla elektriklənməsi

Cisimlər üç yolla elektriklənə bilər:

1. Sürtünmə yolu ilə elektiklənmə.

Şüşə çubuqu ipək parçaya sürtdükdə, şüşənin atomlarında elektronun nüvə ilə rabitəsi zəif olduğuna görə sürtünmə zamanı belə atomlar elekton verərək müsbət iona çevrilir, şüşənin özü müsbət yüklənir. İpəyin atomlarında elektronun nüvə ilə rabitəsi güclüdür, onun atomları özünə əlavə elektron birləşdirərək mənfi iona çevrilir, ipək parça bu zaman mənfi yüklə elektriklənir.

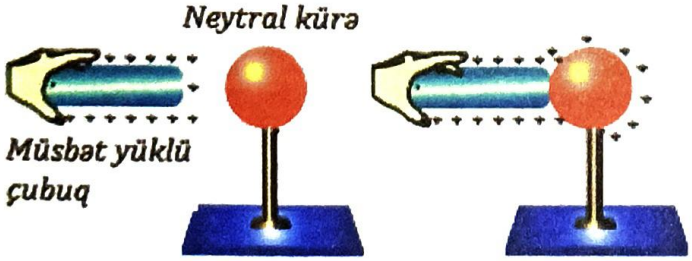
Diqqət: Elektriklənmənin heç bir növündə müsbət yüklərin (protonların) hərəkəti baş verməz, hərəkət edən yalnız elektronlardır. Çünki müsbət yüklər (protonlar)nüvəyə güclü nüvə qüvvələri ilə bağlıdır.



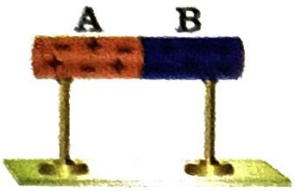
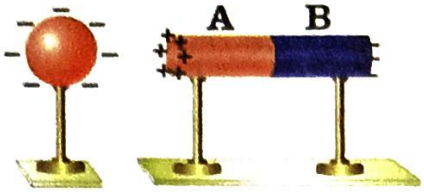
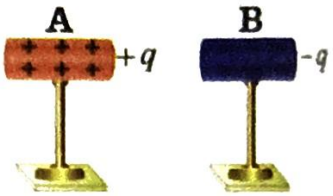


2. Toxunma ilə elektriklənmə.

Elektrik yükü ilə yüklənmiş metal cisim neytral cisimə toxunarsa, aralarında elektron mübadiləsi baş verir və nəticədə hər iki cisim eyni işarəli yüklə elektriklənir. Məsələn, müsbət yüklü cisim neytral cismə toxunarsa, ondan elektron alaraq onu da müsbət yüklə elektrikləndirər .

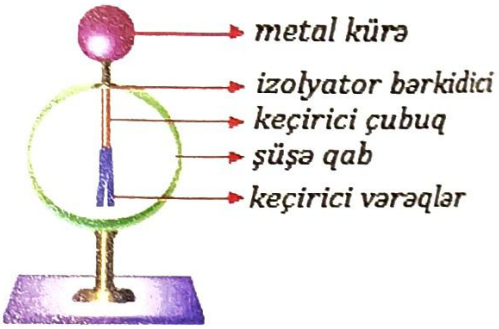


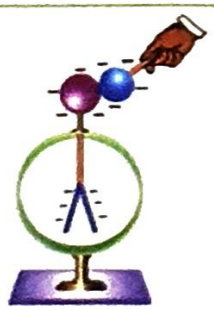
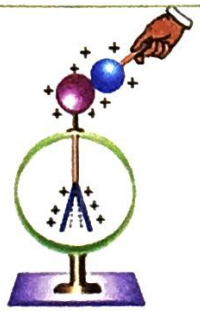
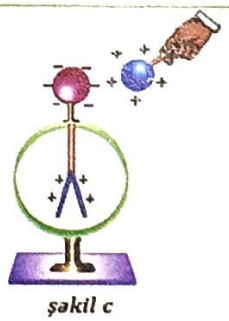
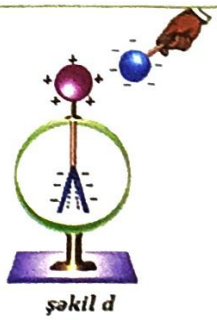
3. Təsirlə elektrikləndirmə (elektrostatik induksiya hadisəsi).

Neytral metal çubuqlar		
		
Adi halda metal naqil elektrik cəhətdən neytraldır, ondakı sərbəst elektronların və ionların yükləri cəmi sıfıra bərabərdir.	*Bir – birinə toxunan neytral **A** və **B** metal çubuqlarını mənfi yüklə yüklənmiş kürəyə yaxınlaşdıraq. Bu zaman eyni işarəli yüklər bir-birini dəf etdiyi üçün elektronların metal çubuqun **A** ucundan **B** ucuna axını başlayar və nəticədə **B** ucu mənfi, **A** ucu müsbət yüklə yüklənər. Araşdırmadan məlum olur ki, cismi elektriklənmiş digər cismə toxundurmadan da elektrikləndirmək mümkündür.*	*Cisimlərin toxunma olmadan elektriklənməsi **təsirlə elektriklənmə** və ya **elektrostatik induksiya** adlanır. **Elektrostatik induksiya**– elektrik sahəsinə gətirilmiş metal daxilində yüklərin paylanması hadisəsidir*

❖ Elektroskop

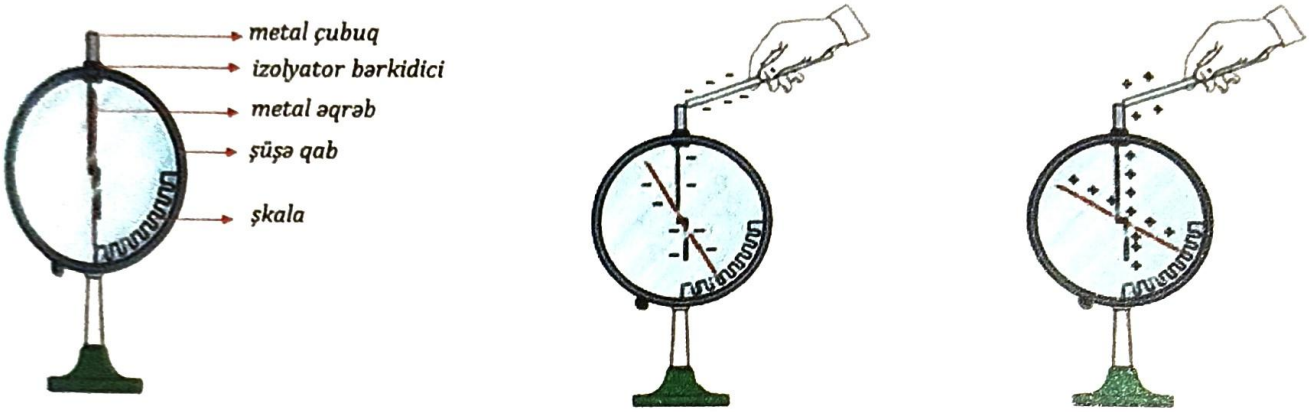
Cismin elektrikləndiyini ***elektroskop*** adlanan cihazla müəyyən edirlər. Elektroskop (yunan sözləri elektron və skopeo –"müşahidə etmək", "aşkar etmək" deməkdir) yüklənmiş cisimlərin qarşılıqlı təsirini keyfiyyətcə öyrənmək üçün istifadə olunur. Onun iş prinsipi yüklənmiş cisimlərin qarşılıqlı təsirinə əsaslanmışdır. Şəkildə məktəb elektroskopu təsvir edilmişdir.



 şəkil a	 şəkil b	 şəkil c	 şəkil d
Yüklənmiş cismi elektroskopun yüksüz kürəsinə toxundurduqda kürə və vərəqlər də eyni yüklə elektriklənir, eyni yüklər bir-birini dəf etdiyindən vərəqlər aralanır.		*Yüksüz bir elektroskopa müsbət yüklü cisim yaxınlaşdırılarsa əks işarəli yükləri-elektronları kürəyə çəkər.Kürə mənfi, vərəqlər müsbət yüklənər.*	

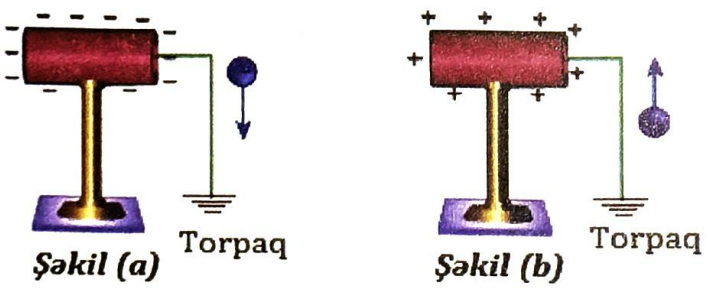
Elektrometr

Cisimlərin elektriklənməsini və elektrik yükünün xassəsini araşdırmaq məqsədilə **elektrometr** adlanan cihazdan istifadə olunur. Onun da iş prinsipi elektroskopda olduğu kimi, elektriklənmiş cisimlərin qarşılıqlı təsirinə əsaslanır. Elektrometrin metal çubuğuna elektriklənmiş cisimlə toxunduqda həm çubuq, həm də metal əqrəb eyni yüklə elektriklənir və əqrəb çubuqdan itələnir. Əqrəbin meyil bucağına əsasən elektriklənmə dərəcəsini müəyyən etmək olur: meyil bucağı nə qədər çoxdursa, əqrəb və çubuq da bir o qədər böyük elektrik yükü alır. Potensiallar fərqi (gərginlik) də **elektrometrlə** ölçülür. Yüklənmiş iki metal naqil arasındakı gərginliyi ölçmək üçün onlardan birini elektrometrik çubuğuna, digərini isə gövdəsinə birləşdirirlər. Elektrometrik əqrəbinin dönmə bucağı çubuqla gövdə arasında yaranan gərginlikdən asılıdır.



Torpaqlama

Mənfi yüklü cisim torpağa bir naqillə birləşdirilərsə, cisimdə olan artıq mənfi yüklər torpağa axar (*şəkil a*). Müsbət yüklü cisim torpağa bir naqillə birləşdirilərsə müsbət yüklər hərəkət etmədiyi üçün, torpaqdan cismə mənfi yüklər çəkilər (*şəkil b*).



Şəkil (a) *Şəkil (b)*

Mövzu ilə əlaqəli qeydlər

- Əks işarəli iki yük bir–birinə yaxınlaşdırılarsa və ya eyni işarəli iki yük bir–birindən uzaqlaşdırılarsa elektrik qüvvəsi müsbət iş görər, kinetik enerji artar,potensial enerji azalar.



Potensial enerji azalar, kinetik enerji artar.
Elektrik qüvvəsi müsbət iş görər.

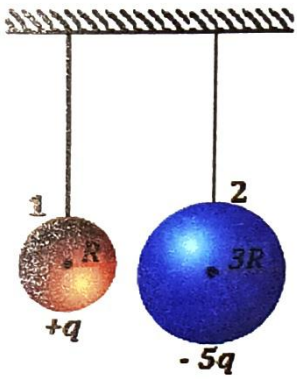
- Eyni işarəli iki yük bir – birinə yaxınlaşdırılarsa və ya əks işarəli iki yük bir – birindən uzaqlaşdırılarsa elektrik qüvvəsi mənfi iş görər, kinetik enerji azalar, potensial enerji artar.



Potensial enerji artar, kinetik enerji azalar.
Elektrik qüvvəsi mənfi iş görər.

- ***Yükləri $+q$ və $-5q$ olan iki yük arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi F dir.***
  Cisimləri bir-birinə toxundurub əvvəlki məsafəyə gətirsək qarşılıqlı təsir qüvvəsi necə dəyişər ?

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$



Toxundurmadan əvvəl:

$q_1 = +q$
$q_2 = -5q$

$$F_{evvel} \sim |q_1||q_2| = |+q||-5q| = 5q^2$$

Toxundurduqdan sonra:

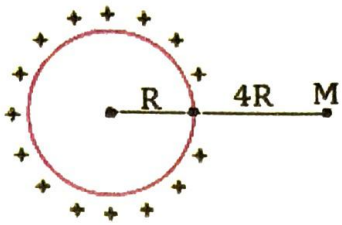
$$q_1' = \frac{q_1+q_2}{R_1+R_2}\cdot R_1 = \frac{+q-5q}{R+3R}\cdot R = -q \qquad q_2' = \frac{q_1+q_2}{R_1+R_2}\cdot R_2 = \frac{+q-5q}{R+3R}\cdot 3R = -3q$$

$$F_{sonra} \sim |q_1'||q_2'| = |-q||-3q| = 3q^2 \qquad \frac{F_{sonra}}{F_{evvel}} = \frac{3}{5} \qquad F_{sonra} = \frac{3}{5}F$$

$$\frac{F_{sonra}}{F_{evvel}} = \frac{|q_1'|\cdot|q_2'|}{|q_1|\cdot|q_2|}$$

- **Müntəzəm yüklənmiş kürənin səthində elektrik sahəsinin intensivliyi $100\frac{N}{Kl}$ - dur. Bu kürənin səthindən $4R$ məsafədə elektrik sahəsinin intensivliyi nəyə bərabərdir?**

$r = R + 4R = 5R$



$$E_{səthdə} = k\frac{|q_0|}{R^2} = 100\frac{V}{m}$$

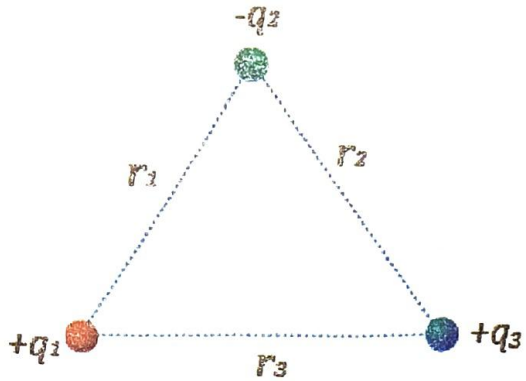
$$E_{xaricdə} = k\frac{|q_0|}{r^2} = k\frac{|q_0|}{25R^2} = \frac{100}{25} = 4\frac{N}{Kl}$$

Müntəzəm yüklənmiş kürənin səthində elektrik sahəsinin potensialı $100V$ - dur. Bu kürənin səthindən $4R$ məsafədə elektrik sahəsinin potensialı nəyə bərabərdir?

$r = R + 4R = 5R$

$$\varphi_{səthdə} = k\frac{q_0}{R} = 100V \qquad \varphi_{xaricdə} = k\frac{q_0}{r} = k\frac{q_0}{5R} = \frac{100}{5} = 20V$$

- *İki və ya daha çox yükdən ibarət sistemin potensial enerjisi hər bir yükün qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan potensial enerjilərin cəminə bərabərdir.*
Şəkildəki sistemin potensial enerjisi:

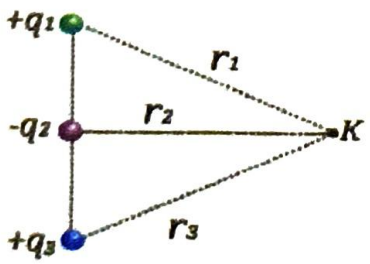


$$W_{p\text{üm}} = k\frac{q_1\cdot(-q_2)}{r_1} + k\frac{q_1\cdot q_3}{r_3} + k\frac{q_3\cdot(-q_2)}{r_2}$$

- *Əgər fəzanın verilmiş nöqtəsində q_1 yükü φ_1, q_2 yükü φ_2, q_3 yükü φ_3, ... q_n yükü φ_n potensiallı sahə yaradırsa, onda bu nöqtədə yekun potensial:*

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \ldots + \varphi_n$$

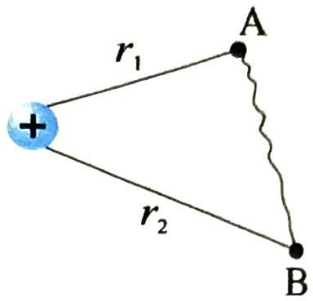
- Elektrostatik sahəni bir neçə yük yaradırsa, ixtiyarı nöqtədə sahənin yekun potensialı ayrı-ayrı yüklərin yaratdığı potensialların cəbri cəminə bərabərdir.Bu münasibət sahənin superpozisiya prinsipinin nəticəsidir. Verilmiş şəkildə K nöqtəsində sahənin yekun potensialı:



$$\varphi_{yek} = k\frac{q_1}{r_1} - k\frac{q_2}{r_2} + k\frac{q_3}{r_3}$$

- *Nöqtəvi q_0 yükünün yaratdığı sahədə q sınaq yükü **A** nöqtəsindən **B** nöqtəsinə hərəkət etdikdə görülən iş üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:*

$$\varphi_A = k\frac{q_0}{r_1} \qquad \varphi_B = k\frac{q_0}{r_2}$$

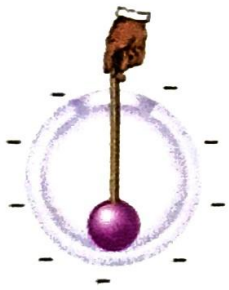


$$A = q(\varphi_A - \varphi_B) = k\frac{q\cdot q_0}{r_1} - k\frac{q\cdot q_0}{r_2} = kqq_0\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

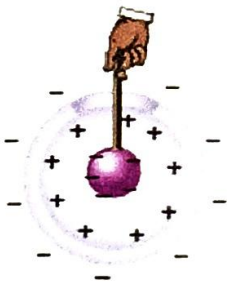
- *Mənfi yüklü bir cisim içi boş neytral metal kürənin içinə toxundurduqda bütün yükünü kürəyə verərək özü neytral olar. Kürə mənfi yüklü olar və bütün yüklər kürənin səthinə paylanar.* ***(şəkil a)***

- *Mənfi yüklü bir cisim içi boş neytral metal kürənin içərisinə saldıqda kürənin daxilində olan sərbəst elektronları səthinə itələyər. Kürənin daxili elektron çatışmazlığından müsbət yüklənər.* ***(şəkil b)***

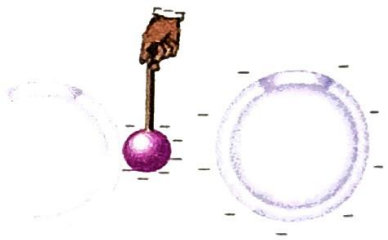
- *Kürənin xaricinə mənfi yüklü kürə toxundurduqda hər iki kürədə yüklər radiusları nisbətində paylanar.* ***(şəkil c)***



(şəkil a)



(şəkil b)

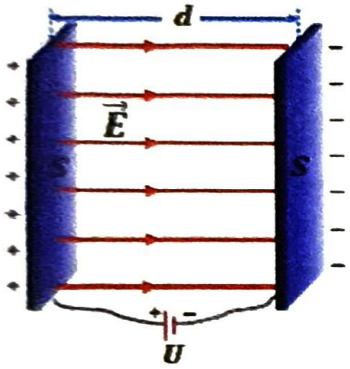


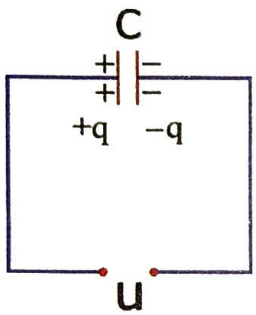
(şəkil c)

18. ELEKTRİK TUTUMU. ELEKTRİK SAHƏSİNİN ENERJİSİ

§18.1. Kondensator. Elektrik tutumu

Kondensator qalınlığı çox kiçik olan dielektrik qatı ilə bir–birindən təcrid olunmuş iki naqildən(metal lövhədən) ibarət sistem olub, böyük miqdarda elektrik yükünü və elektrik sahəsinin enerjisinin toplaya bilən qurğudur (latın sözü olub kondensar "sıxlaşma" deməkdir). Bu, müstəvi kondensatordur, həmin naqillər kondensator köynəkləri adlanır. Köynəklər işarəcə əks, modulca bərabər yüklənir: $+q$ və $-q$.







Kondensatorun yükü dedikdə, onun köynəklərindən birinin yükünün mütləq qiyməti başa düşülür: $q = |\pm q|$. Məsələn, bir lövhəsinin yükü $+20mkKl$ o birisinin yükü isə $-20mkKl$ olan kondensatorun yükü $20mkKl$ -dur.

Kondensatorun elektrik yükünü və elektrik sahə enerjisini toplamaq xassəsini xarakterizə etmək üçün ***elektrik tutumu*** adlanan fiziki kəmiyyət daxil edilir.

Köynəklərdən birinin q yükünün onlar arasındakı U gərginliyinə olan nisbəti sabit kəmiyyətdir və naqilin elektrik tutumu adlanır.

$$C = \frac{q}{U}$$

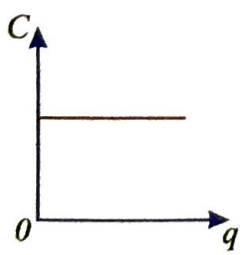
Elektrik tutumu skalyar kəmiyyətdir və BS-də vahidi faraddır: $[C] = 1F = 1\frac{Kl}{V} = \frac{A^2 \cdot san^4}{kq \cdot m^2}$

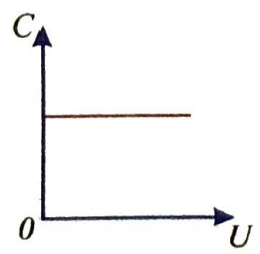
$1F$ elə kondensatorun elektrik tutumudur ki, onun yükü $1Kl$ olduqda gərginliyi $1V$ olsun.

Farad çox böyük elektrik tutumudur, praktikada mikrofarad, nanofarad və pikofaraddan istifadə edirlər:

$$1mkF = 10^{-6}F; \qquad 1nF = 10^{-9}F; \qquad 1pF = 10^{-12}F$$

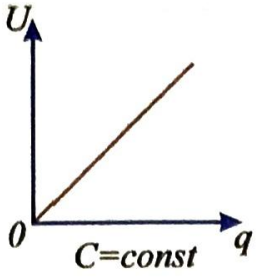
Elektrik tutumu naqillərin materialından, naqillərə verilən q – yükündən və naqillər arasındakı U –gərginliyindən asılı deyil.

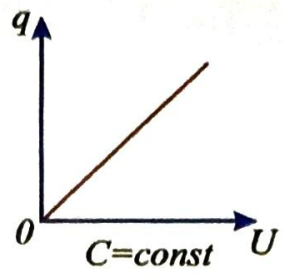




$$U = \frac{q}{C}$$

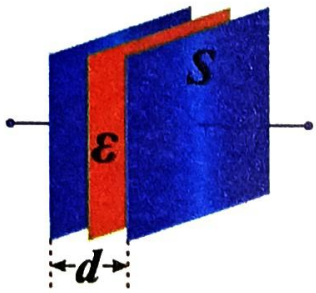
$$q = C \cdot U$$

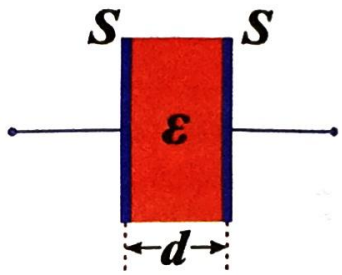




Müstəvi kondensatorun elektrik tutumu köynəklərin bir - birini örtən hissəsinin sahəsindən (S), köynəklər arasındakı məsafədən (d) və mühitin dielektrik nüfuzluğundan (ε) asılıdır.

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$



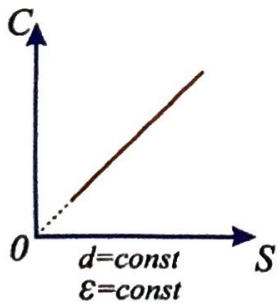


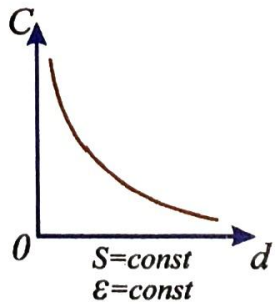
Burada $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k}$ elektrik sabitidir. $C = \frac{\varepsilon S}{4\pi k d}$

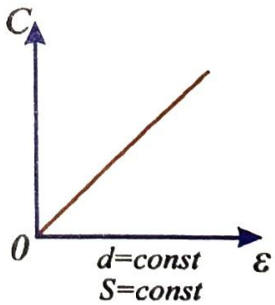
Əgər kondensatorun lövhələri arasındakı dielektrik yalnız havadırsa ($\varepsilon_{hava} = 1$), belə kondenstor *hava kondensatoru* adlanır və onun elektrik tutumu:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}$$

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d} \qquad C = \varepsilon \cdot C_0$$

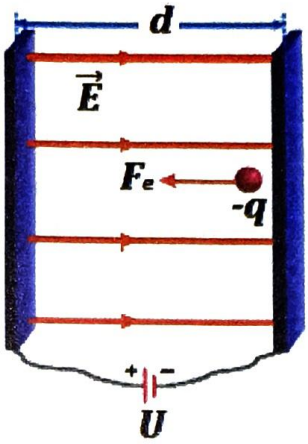






Elektrik dövrəsində sabit tutumlu kondensator  işarəsi ilə, dəyişən tutumlu kondensator isə  işarəsi ilə göstərilir. Kondensator elektrik sahəsinin enerjisini toplayır, boşalma zamanı isə, həmin enerjini ani olaraq sərf edə bilir. Elektrotexnikada müxtəlif ölçülü və elektrik tutumlu kondensatorlar geniş tətbiq edilir. *Fotoqrafiyada işlədilən alışqan-lampanın və stroboskopun iş prinsipi bu hadisəyə əsaslanır.*

§18.2. Yüklənmiş kondensatorun elektrik sahəsinin enerjisi. Enerji sıxlığı



Kondensator yükləndiyi zaman onun köynəkləri arasındakı fəzada elektrik sahəsi yaranır. Deməli, elektrik sahəsi enerjiyə malikdir və həmin düsturun alınmasına baxaq. Fərz edək ki, yüklənmiş müstəvi kondensatorun köynəkləri arasındakı bircins elektrik sahəsinin intensivliyi E - dir. Bu halda bir köynəyin yaratdığı sahənin intensivliyi $E_1 = \frac{E}{2}$ olar. Mənfi yüklənmiş köynəkdən bütün artıq elektronlar digər köynəyə keçərsə, kondensator tam boşalar və onun elektrik sahəsi yox olar. Deməli elektrik yüklərinin bir köynəkdən digərinə aparılması prosesində görülən iş elektrik sahəsinin enerjisinə bərabərdir:

$$A = W_e$$

Bircins elektrik sahəsində $-q$ yükünü qüvvə xətlərinin əks istiqamətində d məsafəsinə apararkən elektrik sahəsi yük üzərində

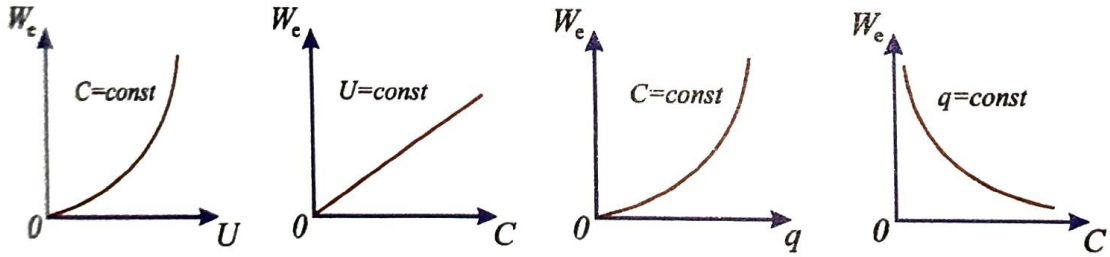
$$A = |q|E_1 d = \frac{|q|Ed}{2} = \frac{|q|U}{2}$$

qədər iş görür, burada $U = Ed$ – kondensatorun köynəkləri arasındakı gərginlikdir. Beləliklə, yüklənmiş kondensatorun enerjisi üçün

$$W_e = \frac{qU}{2}$$ düsturu alırıq.

Elektrik tutumun düsturunu daxil etməklə kondensatorun enerjisi düsturlarını aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$W_e = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qEd}{2}$$



Kondensatorun enerjisi onun köynəkləri arasındakı elektrik sahəsində toplanır. Bu elektrik sahəsinin enerjisinin fəzada paylanmasını xarakterizə etmək üçün enerji sıxlığı adlanan kəmiyyətdən istifadə olunur. Vahid həcmdə toplanmış elektrik sahəsinin enerjisinə enerji sıxlığı deyilir:

$$w_e = \frac{W_e}{V}$$ və ya $$w_e = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$$

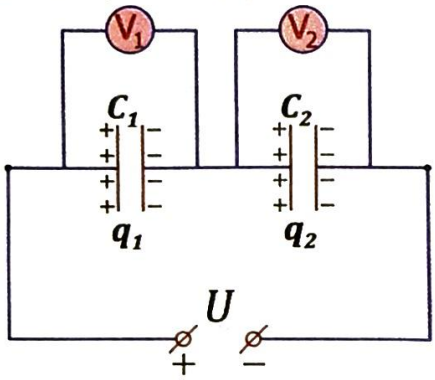
Vahidi: $[w_e] = 1\frac{C}{m^3} = 1\frac{kq}{m \cdot san^2}$

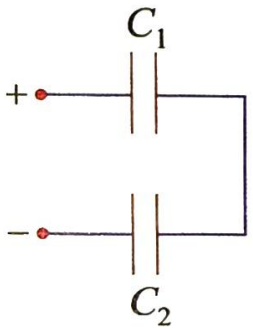
§18.3. Kondensatorların ardıcıl və paralel birləşdirilməsi

Verilmiş kondensatorlardan müxtəlif elektrik tutumlu batareyalar almaq məqsədi ilə elektrik dövrlərində onları iki üsulla – ardıcıl və paralel birləşdirirlər:

1.Kondensatorların ardıcıl birləşdirilməsi

Ardıcıl birləşmədə birinci kondensatorun mənfi yüklənmiş köynəyi ikinci kondensatorun müsbət yüklənmiş köynəyi ilə birləşdirilir. Elektrik tutumu C_1 olan kondensatorun sol köynəyinə mənbədən $+q$ yükü daxil olur. Elektrostatik induksiya hadisəsi nəticəsində həmin kondensatorun sağ köynəyində $-q$ yükü yaranacaqdır.





❖ ***Ardıcıl birləşdirilmiş kondensatorlar üçün aşağıdakı ifadələr doğrudur:***

- *Hər bir kondensatorun yükü bərabərdir:* $q = q_1 = q_2 = \ldots = q_n$
- *Kondensator batareyasının uclarındakı ümumi gərginlik, ayrı – ayrı kondensatorların gərginlikləri cəminə bərabərdir:* $U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$
- *Ardıcıl birləşdirilmiş kondensatorlar batareyasının ümumi elektrik tutumunun tərs qiyməti ayrı–ayrı kondensatorların elektrik tutumlarının tərs qiymətləri cəminə bərabərdir.*

$$\frac{1}{C_a} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

- *Ardıcıl birləşdirilmiş iki kondensatordan ibarət batareyanın ümumi elektrik tutumu*

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \qquad C_1 = \frac{C_2 \cdot C_a}{C_2 - C_a} \qquad C_2 = \frac{C_1 \cdot C_a}{C_1 - C_a}$$

- *Eyni elektrik tutumuna malik olan* n *sayda kondensatorların* ($C_1 = C_2 = \ldots = C_n = C$) *ardıcıl birləşməsində ümumi elektrik tutumu:*

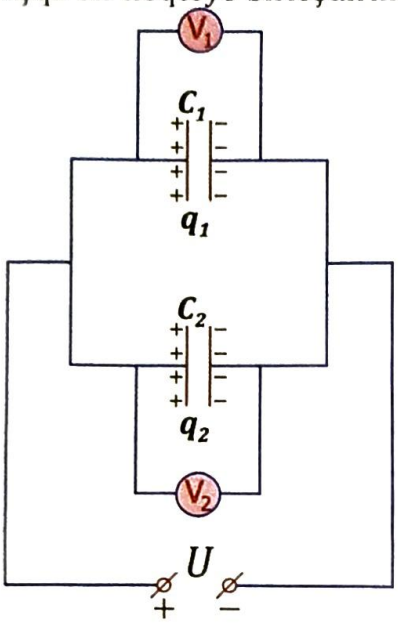
$$C_a = \frac{C}{n}$$

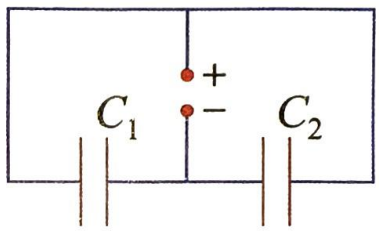
- Ardıcıl birləşmə zamanı $q = const$ olduğu üçün kondensatorların *gərginlikləri və enerjiləri* onların elektrik tutumları ilə tərs mütənasibdir deyə bilərik:

$$U = \frac{q}{C} \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} \qquad W = \frac{q^2}{2C} \Rightarrow \frac{W_1}{W_2} = \frac{C_2}{C_1}$$

2. Kondensatorların paralel birləşdirilməsi

Bu halda bütün kondensatorların müsbət yüklənmiş köynəkləri bir nöqtəyə, mənfi yüklənmiş köynəkləri də başqa bir nöqtəyə birləşdirilir.





❖ ***Paralel birləşdirilmiş kondensatorlar üçün aşağıdakı ifadələr doğrudur:***

- *Paralel birləşdirilmiş kondensatorların gərginlikləri eynidir:*

$$U = U_1 = U_2 = \ldots = U_n$$

- *Kondensator batareyasında toplanmış ümumi yükün miqdarı ayrı-ayrı kondensatorlardakı yüklərin cəminə bərabərdir:*

$$q = q_1 + q_2 + \ldots + q_n$$

- *Paralel birləşdirilmiş kondensatorlar batareyasının ümumi elektrik tutumu, ayrı-ayrı kondensatorların elektrik tutumlarının cəminə bərabərdir.*

$$C_p = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$$

- *Paralel birləşdirilmiş iki kondensatordan ibarət batareyanın ümumi elektrik tutumu:*

$$C_p = C_1 + C_2$$

- *Eyni elektrik tutumuna malik olan* n *sayda kondensatorların* $(C_1 = C_2 = \ldots = C_n = C)$ *paralel birləşməsində ümumi elektrik tutumu:*

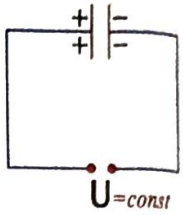
$$C_p = nC \qquad \frac{C_p}{C_a} = n^2$$

- *Paralel birləşmə zamanı* $U = const$ *olduğu üçün kondensatorların yükləri və enerjiləri onların elektrik tutumları ilə düz mütənasibdir:*

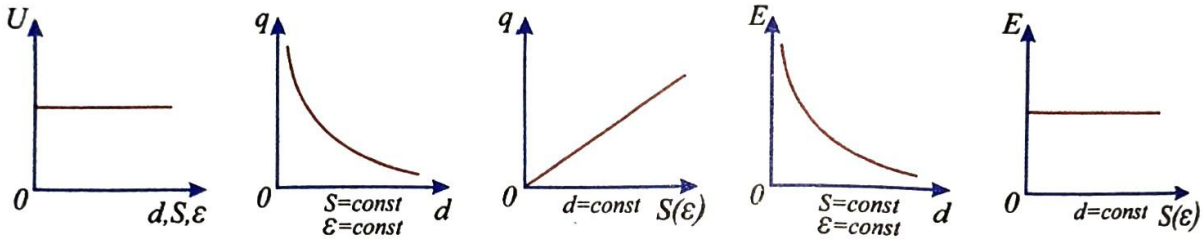
$$q = CU \quad \Rightarrow \quad \frac{q_2}{q_1} = \frac{C_2}{C_1} \qquad W = \frac{CU^2}{2} \quad \Rightarrow \quad \frac{W_2}{W_1} = \frac{C_2}{C_1}$$

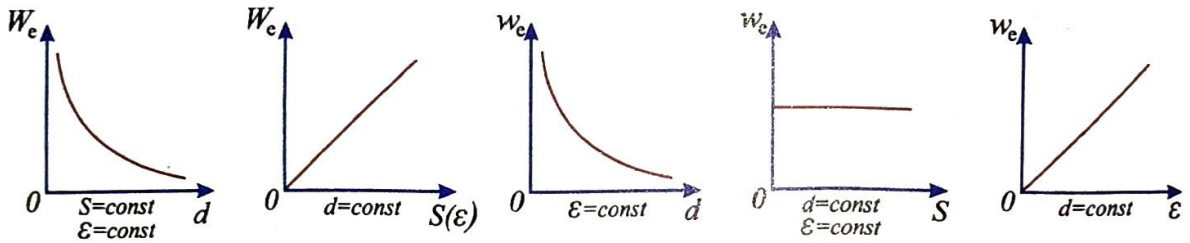
❖ İki xüsusi halı araşdıraq

1. Müstəvi kondensator sabit gərginlik mənbəyinə qoşulmuşdur ($U = const$).

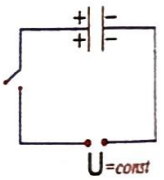


- Bu zaman kondensatorun yükü: $q = CU = \dfrac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}U$
- Köynəklər arasındakı elektrik sahəsinin intensivliyinin modulu: $E = \dfrac{U}{d}$
- Kondensatorun enerjisi və enerji sıxlığı: $W_e = \dfrac{CU^2}{2} = \dfrac{\varepsilon\varepsilon_0 SU^2}{2d}$, $w_e = \dfrac{\varepsilon\varepsilon_0 U^2}{2d^2}$

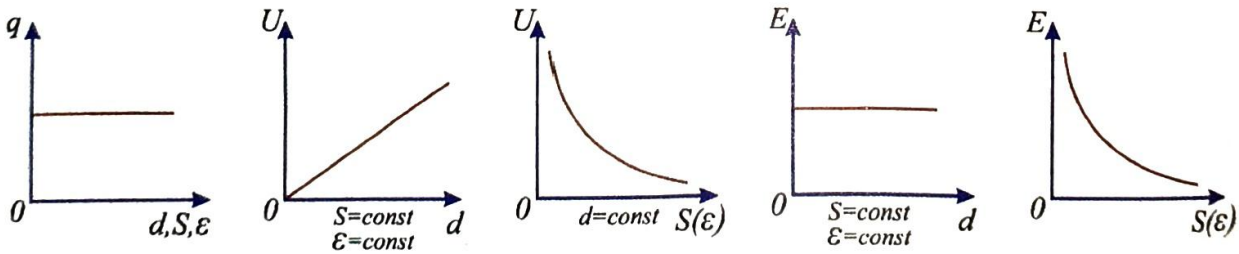


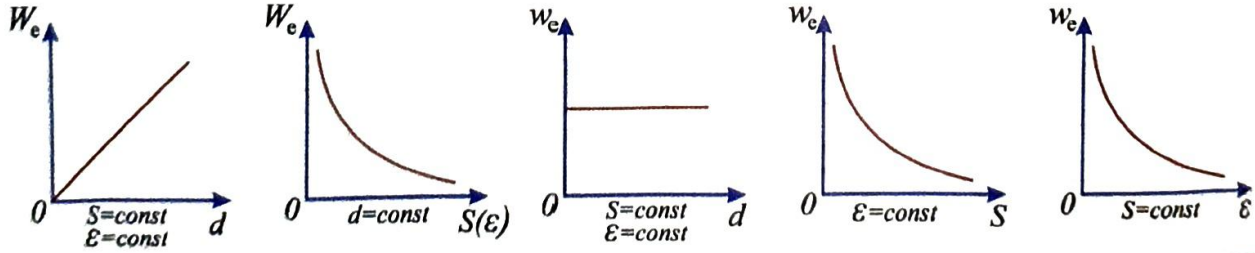


2. Yükləndikdən sonra sabit gərginlik mənbəyindən ayrılmış müstəvi kondensator üçün $q = const$ olur.



- Bu zaman kondensatorun gərginliyi: $U = \dfrac{q}{C} = \dfrac{qd}{\varepsilon\varepsilon_0 S}$
- Köynəklər arasındakı elektrik sahəsinin intensivliyinin modulu: $E = \dfrac{U}{d} = \dfrac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S}$
- Kondensatorun enerjisi və enerji sıxlığı: $W_e = \dfrac{q^2}{2C} = \dfrac{q^2 d}{2\varepsilon\varepsilon_0 S}$, $w_e = \dfrac{q^2}{2\varepsilon\varepsilon_0 S^2}$



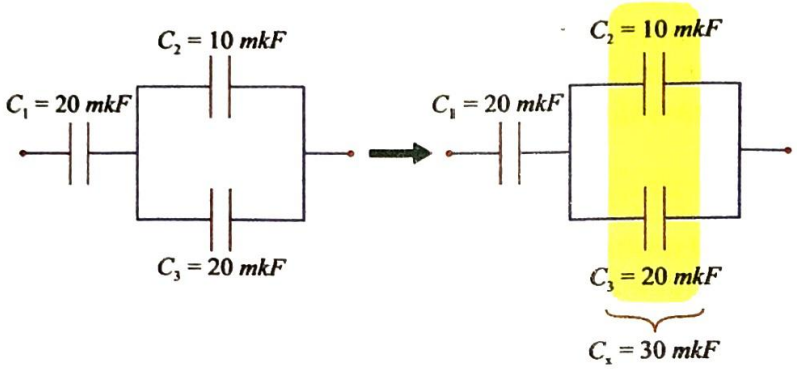


Nümunə1: Kondensatorlar batareyasının ümumi elektrik tutumunu hesablayın.

İzahı: C_2 və C_3 *kondensatorları paralel birləşdiyi üçün:*

$$C_x = C_2 + C_3 = 10 + 20 = 30\,mkF$$

C_1 və C_x *ardıcıl olduğu üçün:* $C_{ümumi} = \dfrac{C_1 \cdot C_x}{C_1 + C_x} = \dfrac{20 \cdot 30}{20 + 30} = \dfrac{600}{50} = 12\,mkF$

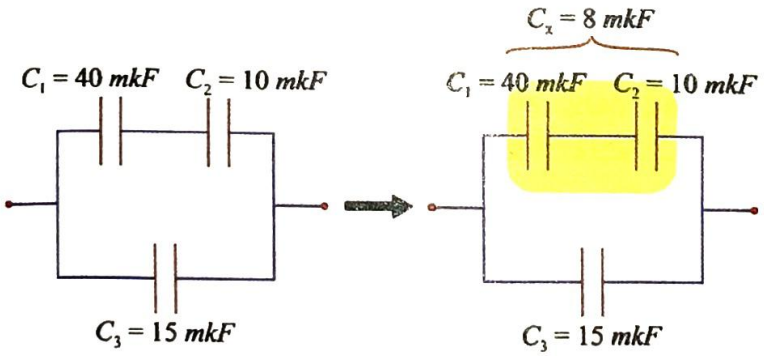


Nümunə2: Kondensatorlar batareyasının ümumi elektrik tutumunu hesablayın.

İzahı: C_1 və C_2 *kondensatorları ardıcıl birləşdiyi üçün:*

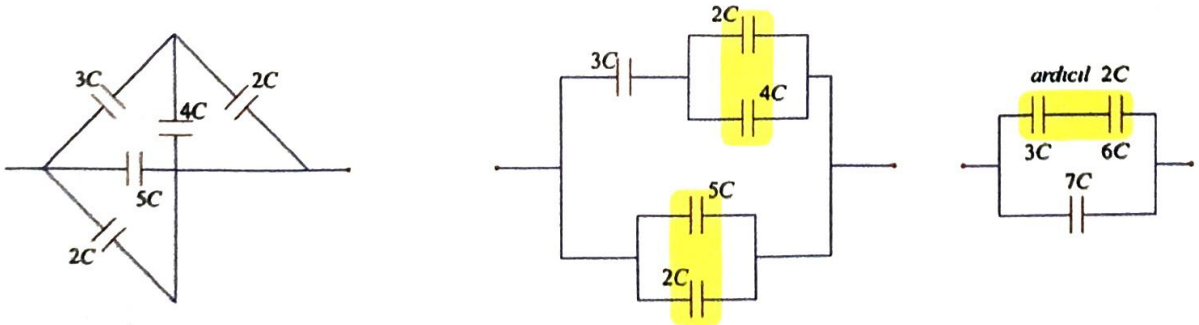
$$C_x = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{40 \cdot 10}{40 + 10} = \frac{400}{50} = 8\,mkF$$

C_2 və C_x *paralel olduğu üçün:* $C_{ümumi} = 15 + 18 = 23\,mkF$



Nümunə3: Kondensatorlar batareyasının ümumi elektrik tutumunu hesablayın.

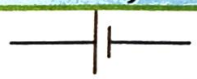
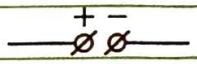
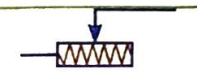
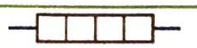
$$C_{ümumi} = 2C + 7C = 9C$$



19. SABİT CƏRƏYAN QANUNLARI

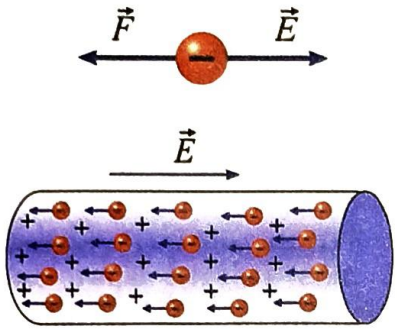
§19.1. Elektrik dövrəsi və onun elementləri

Bir–birilə naqillərlə birləşdirilən cərəyan mənbələri, işlədicilər və qapayıcı qurğular elektrik dövrəsini təşkil edir. Qalvanik element, akkumulyator, generator, günəş batareyası və s. cərəyan mənbələridir. Cərəyan mənbələrinin rolu elektrik dövrəsini enerji ilə qidalandırmaqdır. Elektrik lampası, elektrik ütüsü, elektrik mühərriki, televizor və s. işlədicilərdir. Onlarda cərəyan mənbəyinin elektrik enerjisi başqa enerji növlərinə, məsələn, elektrik mühərrikində mexaniki enerjiyə, elektrik ütüsündə daxili enerjiyə və s. çevrilir.
Elektrik dövrəsi sxem əsasında yığılır. Sxemlərdə hər bir element xüsusi şərti işarələrlə göstərilir. Onlardan bəzi nümunələr cədvəldə verilmişdir.

Elementin adı	Sxemdə işarəsi
1. Qalvanik element və ya akkumulyator ***Cərəyan mənbəyinin bir növüdür.***	
2. Gərginlik mənbəyinin qütbləri	
3. Açar ***Dövrəni qapamaq və açmaq üçün işlədilir.***	
4. Rezistor ***Müəyyən müqavimətə malik naqildir.***	
5. Reostat ***Dövrədə cərəyan şiddətini tənzimləmək üçün istifadə olunur.***	
6. Elektrik lampası ***Elektrik dövrəsində işıqlandırmaq üşün işlədilir.***	
7. Elektrik zəngi ***Xəbərdarlıq üçün işlədilir.***	
8. Ampermetr ***Dövrənin cərəyan şiddətini ölçür.***	
9. Voltmetr ***Dövrə hissəsinin uclarıdakı gərginliyi ölçür.***	
10. Əriyən qoruyucu ***Dövrdə cərəyan şiddəti kəskin artan zaman işlədiciləri dövrədən avtomatik açır, iş prinsipi Coul-Lens qanununa əsaslanır.***	
11. Qızdırıcı element ***Qızdırıcı məqsədlər üçün işlədilir, iş prinsipi Coul-Lens qanununa əsaslanır.***	
12. Kondensator ***Elektrik yüklərini toplayır.***	
13. Dəyişən tutumlu kondensator ***Elektirik yüklərini toplayır.***	
14. Sarğac	

§19.2. Elektrik cərəyanı. Cərəyan şiddəti

Yüklü zərrəciklərin nizamlı hərəkəti elektrik cərəyanı adlanır. Elektrik cərəyanının yaranması üçün sərbəst yüklü zərrəciklərin və naqilin daxilində elektrik sahəsinin mövcud olması zəruri şərtdir. Naqilin ucunda potensiallar fərqi olduqda onun daxilində elektrik sahəsi yaranır. Elektrik sahəsində yüklü zərrəciyə $\vec{F} = q\vec{E}$ qüvvəsi təsir edir, məhz həmin qüvvə yüklü zərrəciklərin nizamlı hərəkətini yaradır.



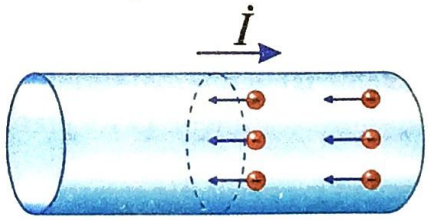
Cərəyanın istiqaməti olaraq müsbət yüklü zərrəciklərin istiqaməti qəbul edilmişdir, mənfi yüklü zərrəciklərin isə hərəkətin əks istiqamətində cərəyan yaradır. Elektrik cərəyanının istiqaməti naqildə elektrik sahəsinin intensivliyi istiqamətindədir. Elektrik cərəyanını onun yaratdığı təsirlər vasitəsi ilə müəyyən etmək olar. *Elektrik cərəyanının üç təsir növü var:*

1. ***Cərəyanın istilik təsiri***—elektrik cərəyanı keçən naqil qızır, lakin ifrat keçiricilərdən cərəyan keçərkən istilik ayrılmır.
2. ***Cərəyanın kimyəvi***— təsiri yalnız elektrolit məhlullarından müşahidə olunur, məhluldan cərəyan keçərkən elektrodlar üzərində maddənin ayrılması hadisəsi (elektroliz) baş verir.
3. ***Cərəyan maqnit təsiri***—cərəyan keçən bütün naqillərin ətrafında maqnit sahəsi yaranır.

❖ Cərəyan şiddəti

Elektirik cərəyanını kəmiyyətcə xarakterizə etmək üçün ***cərəyan şiddəti*** adlanan fiziki kəmiyyət daxil edilir. ***Ədədi qiymətcə naqilin en kəsiyindən bir saniyədə keçən elektrik yükünün miqdarına bərabər olan kəmiyyətə cərəyan şiddəti deyilir:***

$$I = \frac{q}{t} = \frac{eN}{t}$$

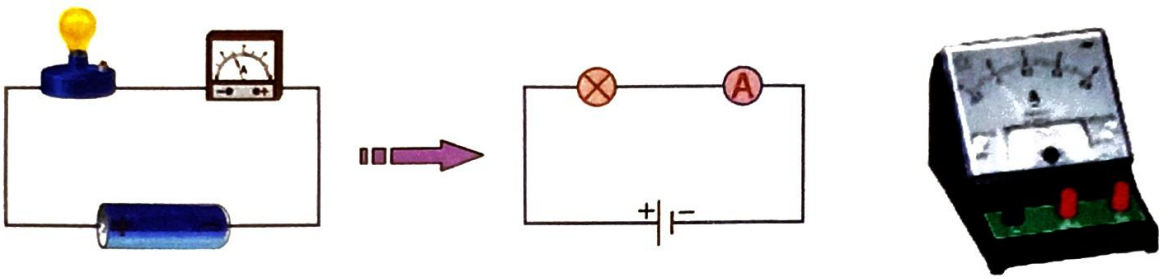


burada, q naqilin en kəsiyindən t müddəti ərzində keçən elektrik yükünün miqdarı, I cərəyan şiddətidir, ***skalyar*** fiziki kəmiyyətdir.

Cərəyan şiddətinin vahidi amperdir. Amper BS-də əsas vahiddir.

$$[I] = 1\,A\ (Amper) = 1\frac{kl}{san}$$

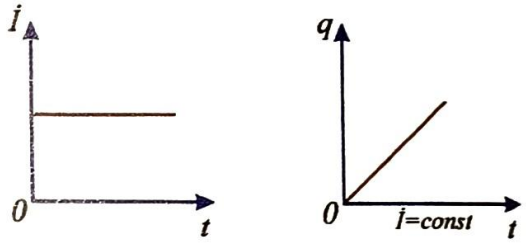
➤ *Cərəyan şiddəti* ***ampermetr*** *adlanan cihazla ölçülür. Ampermetr cərəyan şiddəti ölçülən dövrə hissəsinə ardıcıl qoşulur.* ***İş prinsipi Amper qüvvəsinə və ya maqnit sahəsinin cərəyanlı çərçivəyə göstərdiyi təsirə əsaslanır.*** *Dövrədə sxemi və qoşulması şəkildəki kimidir.*



❖ Sabit cərəyan

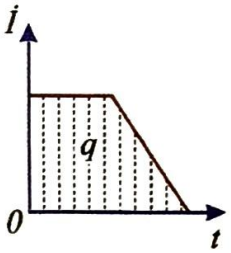
- ***Cərəyan şiddəti zamandan asılı olaraq dəyişmirsə, onda bu cərəyan sabit cərəyan adlanır: İ=const.***
- *Naqilin en kəsiyindən keçən yükün miqdarı cərəyan şiddəti ilə zamanın hasilinə bərabərdir:*

$$q = İ \cdot t \qquad 1kl = 1\,A \cdot san$$



- Cərəyan şiddətində zamandan asılılıq qrafikində ştrixlənmiş fiqurun sahəsi ədədi qiymətcə elektrik yükünə bərabərdir.

$$q = S_{fiqur}$$

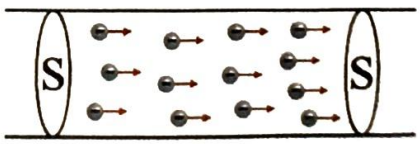


- Cərəyan şiddəti naqilin en kəsiyinin sahəsi **(S)**, sərbəst zərrəciklərin konsentrasiyası **(n)**, onların nizamlı hərəkət sürəti **(ϑ)** ilə düz mütənasibdir:

$$İ = q_0 nS\vartheta$$

- Metal naqillərdə elektrik cərəyanı sərbəst elektronların nizamlı hərəkətindən ibarət olduğundan ($q_0 = e$) aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$İ = enS\vartheta$$



- Metal naqillərdə sərbəst elektronların nizamlı hərəkət sürəti naqilin en kəsik sahəsi ilə tərs mütənasibdir:

$$\vartheta = \frac{İ}{enS} \qquad \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \qquad S = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

Metal naqillərdə sərbəst elektronların nizamlı hərəkət sürəti çox kiçik kəmiyyətdir ($0{,}1 \div 10\,mm/san$). Cərəyanın naqildə yayılma sürəti heç də elektronun yayılma sürəti deyil. Elektrik cərəyanının naqildəki sürəti elektrik sahəsinin naqildə yayılma sürətinə bərabərdir. Elektrik sahəsi naqildə çox böyük sürətlə–işığın vakuumdakı sürətinə ($c = 3 \cdot 10^8\,m/san$) yaxın sürətlə yayılır.

- ***Cərəyan sıxlığı*** – *ədədi qiymətcə naqildəki cərəyan şiddətinin onun en kəsik sahəsinə nisbətinə bərabər fiziki kəmiyyətdir:*

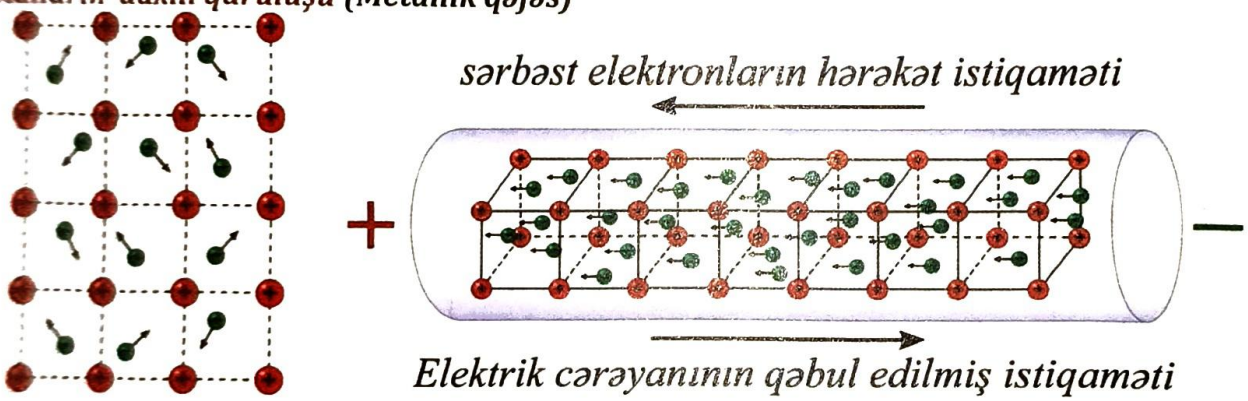
$$j = \frac{I}{S} = en\vartheta \qquad \text{Vahidi: } [j] = 1\frac{A}{m^2}$$

§19.3. Naqilin müqaviməti. Dövrə hissəsi üçün Om qanunu

Metallarda hər atom orta hesabla bir elektron itirərək müsbət yüklü iona çevrilir. İonlar kristal qəfəsin düyün nöqtələrində rəqsi hərəkət edir. Sərbəstləşmiş elektronlar metal daxilində nizamsız istilik hərəkəti edir. Naqildə elektrik sahəsi olduqda sərbəst elektronlar əlavə nizamlı hərəkət alır. Bu hərəkət zamanı sərbəst elektronlar rəqsi hərəkət edən ionlarla toqquşur və ionlar sərbəst elektronların nizamlı hərəkətinə mane olur.

Cərəyanın yaranmasına göstərilən həmin maneçilik elektrik müqaviməti adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə olunur. Elektrik müqaviməti – naqilin cərəyana göstərdiyi əks təsirin ölçüsüdür.

Metalların daxili quruluşu (Metallik qəfəs)

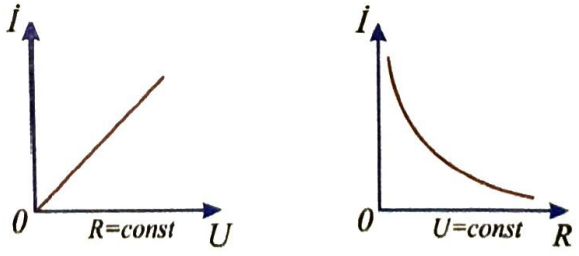


Naqildəki cərəyan şiddəti bu naqilin uclarındakı potensiallar fərqindən (gərginlikdən) və naqilin müqavimətindən asılıdır. Naqildən keçən cərəyan şiddətinin onun uclarındakı gərginlikdən asılılığına naqilin **volt-amper xarakteristikası (VAX)** deyilir.

Om qanunu

Dövrə hissəsindəki cərəyan şiddəti həmin hissəsinin uclarındakı gərginliklə düz, onun müqaviməti ilə tərs mütənasibdir.

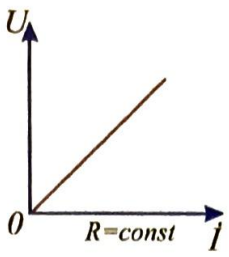
$$I = \frac{U}{R}$$

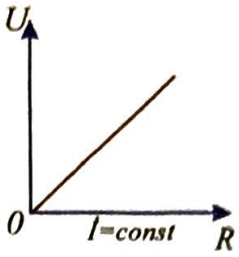


Burada I – dövrə hissəsindən keçən cərəyan şiddəti, U – həmin hissənin uclarındakı gərginlik, R – isə elektrik müqavimətidir.

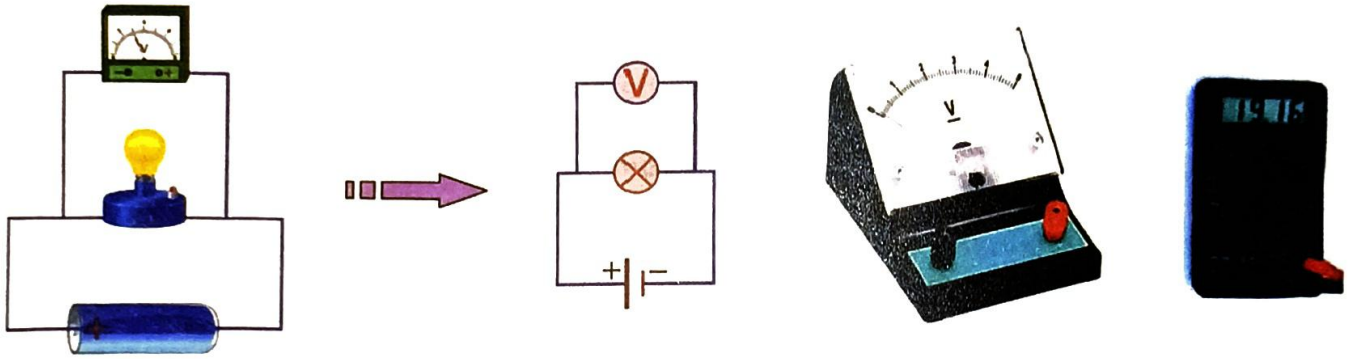
- Dövrə hissəsindəki cərəyan şiddətinin onun müqavimətinə hasili gərginlik düşküsü adlanır:

$$U = I \cdot R$$



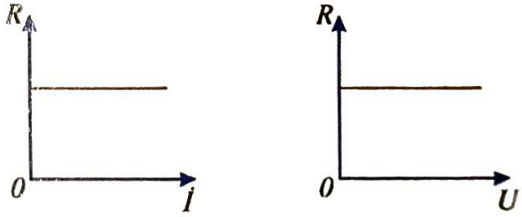


➢ *Dövrə hissəsinin uclarındakı gərginlik voltmetr vasitəsi ilə ölçülür. Voltmetr dövrə hissəsinə paralel qoşulur, voltmetrin müqaviməti sonsuz böyükdür. Dövrədə sxemi və qoşulması şəkildəki kimidir.* ***İş prinsipi Amper qüvvəsinə və ya maqnit sahəsinin cərəyanlı çərçivəyə göstərdiyi təsirə əsaslanır.***



- Naqilin müqaviməti onun uclarındakı gərginliyin cərəyan şiddətinə olan nisbətinə bərabərdir:

$$R = \frac{U}{I}$$

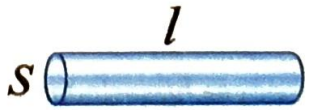


Elektrik müqaviməti skalyar kəmiyyət olub BS-də vahidi omdur (**1 Om**)

$$[R] = 1Om = 1\frac{V}{A} \qquad 1Om = 1\frac{kq \cdot m^2}{A^2 \cdot san^3}$$

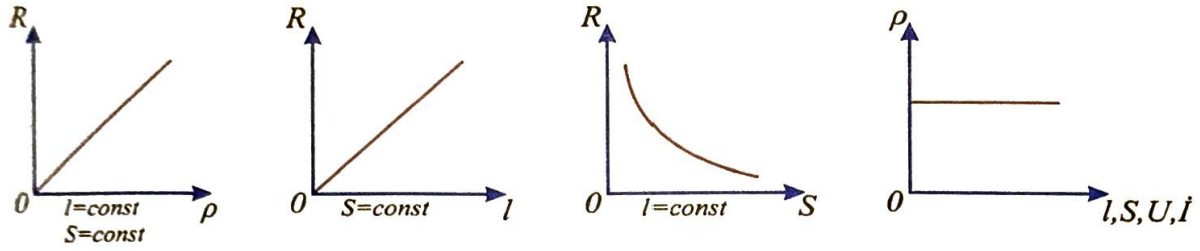
Naqilin müqaviməti ***ommetr*** adlanan cihazla ölçülür. Məlumdur ki, metallarda elektrik müqavimətinin yaranmasına səbəb sərbəst elektronların nizamlı hərəkətinə kristal qəfəsin ionlarının maneçiliyidir. Ona görə də elektrik müqaviməti naqilin uzunluğundan, en kəsiyinin sahəsindən, kristal qəfəsinin quruluşundan, naqilin növündən və temperaturdan asılıdır.

$$R = \rho\frac{l}{S}$$



Burada l - naqilin uzunluğu, S - naqilin en kəsiyinin sahəsi, ρ - naqilin xüsusi müqavimətidir. Xüsusi müqaviməti ədədi qiymətcə uzunluğu 1m, en kəsiyinin sahəsi $1m^2$ olan, naqilin müqavimətinə bərabərdir. *Xüsusi müqaviməti naqilin uzunluğundan və en kəsiyinin sahəsindən asılı olmayan, yalnız naqilin materialından və temperaturdan asılıdır:*

$$\rho = \frac{RS}{l} \qquad \text{Vahidi: } [\rho] = 1Om \cdot m = 1\frac{kq \cdot m^3}{A^2 \cdot san^3}$$

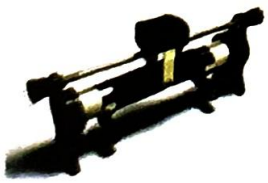


§19.4. Reostat. Gərginlik paylayıcısı (Potensiometr)

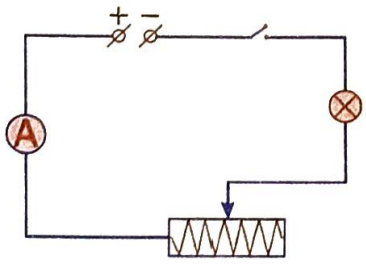
• ***Dövrədə cərəyan şiddətini tənzimləmək üçün işlədilən cihaz reostat adlanır. Onun iş prinsipi elektrik müqavimətinin naqilin uzunluğundan asılı olmasına əsaslanır.*** Şəkildə sürgülü reostat və onun şərti işarəsi göstərilmişdir.

Açarı qapayaraq sürgüsünü sağa tərəf hərəkət etdirsək, cərəyanın axdığı sarğıların sayı artdığı üçün reostatın müqaviməti artacaq ($R = \rho\frac{l}{S}$)*,cərəyan azalacaq. Bu zaman lampanın parlaqlığı azalacaq. Sürgünün sola tərəf hərəkət etdirəndə cərəyanın axdığı sarğıların sayı azaldığı üçün reostatın müqaviməti azalacaq, cərəyan artacaq, lampanın parlaqlığı artacaq.*

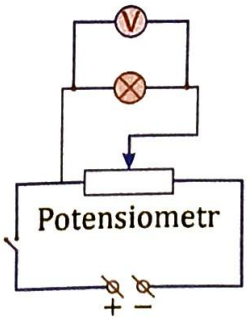
• ***Dövrədə gərginlik tənzimləyən cihaz gərginlik paylayıcısı və ya potensiometr adlanır.*** *Potensiometrin sürgüsü sol ən kənar vəziyyətdə olduqda lampadakı gərginlik sıfıra bərabər olur, ondan elektrik cərəyanı keçmir. Sürgünü sağa ən son vəziyyətə gətirdikdə lampadakı gərginliklə cərəyan mənbəyinin qütüblərindəki gərginlik bərabərləşir. Bu halda lampa daha parlaq közərir.* Beləliklə, reostat sürgüsünü aşağı hərəkət etdirməklə lampanın uclarındakı gərginliyi , ondakı cərəyan şiddətini aramsız artırmaq olar.



Reostat



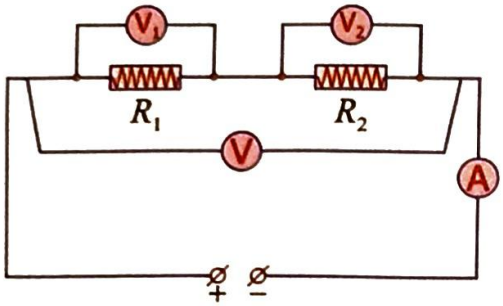
Reostat

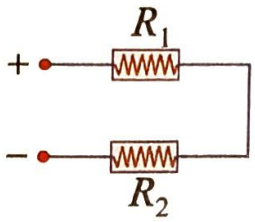


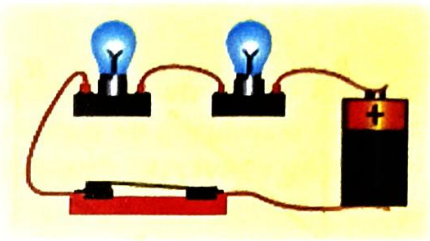
§19.5. Naqillərin ardıcıl və paralel birləşdirilməsi

❖ Ardıcıl birləşmə:

Birinci naqilin sonu ikinci naqilin başlanğıcına, ikinci naqilin sonu üşüncü naqilin başlanğıcına və s. birləşdirilir.







- *Ardıcıl birləşmə zamanı dövrənin istənilən hissəsində cərəyan şiddəti eynidir.*

$$I = I_1 = I_2 \qquad \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

- *Ardıcıl birləşmə zamanı dövrənin uclarındakı gərginlik, onun ayrı-ayrı naqillərin arasındakı gərginliklərin cəminə bərabərdir:*

$$U = U_1 + U_2$$

- *Ardıcıl birləşdirilmiş naqillərin ümumi müqaviməti ayrı-ayrı naqillərin müqavimətləri cəminə bərabərdir:*

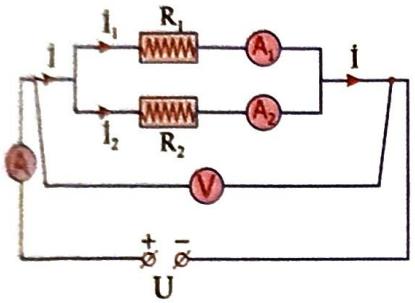
$$R_a = R_1 + R_2$$

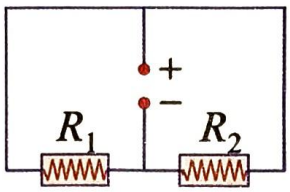
- *Ardıcıl birləşdirilmiş eyni* R *müqavimətli (* $R_1=R_2=.....=R_n=R$ *)* n *sayda naqildən ibarət dövrənin ümumi müqaviməti:*

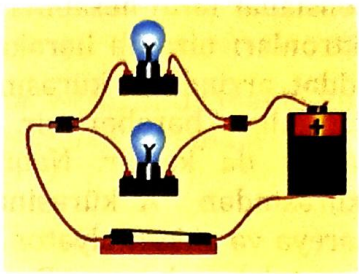
$$R_a = n \cdot R$$

Paralel birləşmə:

Paralel birləşmə zamanı naqillərin bir ucu dövrənin eyni bir nöqtəsinə, digər ucu isə dövrənin digər nöqtəsinə birləşdirilir:







- Paralel birləşdirilmiş naqillərin uclarındakı gərginlik eynidir:

$$U_1 = U_2 = U \qquad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

- Paralel birləşmə zamanı dövrənin budaqlanmayan hissəsindəki cərəyan şiddəti ayrı-ayrı naqillərdəki cərəyan şiddətinin cəminə bərabərdir:

$$I = I_1 + I_2$$

- Paralel birləşdirilmiş naqillərin ümumi müqavimətinin tərs qiyməti ayrı-ayrı naqillərin müqavimətlərinin tərs qiymətləri cəminə bərabərdir:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

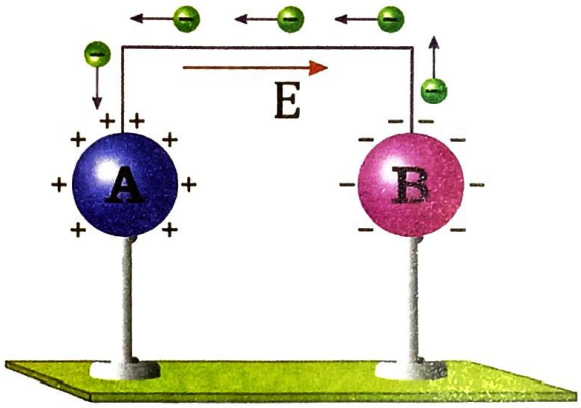
$$R_p = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- Eyni müqavimətli ($R_1=R_2=.....=R_n=R$) n sayda naqilin paralel birləşməsindən ibarət dövrə hissəsinin ümumi müqaviməti:

$$R_p = \frac{R}{n}$$

§19.6. Cərəyan mənbəyinin elektrik hərəkət qüvvəsi. Tam dövrə üçün Om qanunu

Əks işarəli yükə malik iki A və B metal kürələri naqillə birləşdirək. Naqilin uclarındakı potensiallar fərqi hesabına onda elektrik sahəsi yaranır. Bu elektrik sahəsi naqildəki sərbəst elektronları nizamlı hərəkətə gətirir. Nəticədə, naqildə elektrik cərəyanı yaranır. Çox qısa müddət ərzində B kürəsindəki elektronlar naqil vasitəsi ilə A kürəsinə keçərək kürənin potensialları bərabərləşir. Nəticədə naqilin daxilində elektrik sahəsi ilə birlikdə elektrik cərəyanı da kəsilir. Naqildə elektrik cərəyanının uzun müddət mövcud olması üçün ***B*** kürəsindən **A** kürəsinə gələn elektronları yenidən ***B*** kürəsinə qaytarmaq lazımdır. Batareya və akkumulyator kimi güc mənbələri bu dövrədə elektron hərəkətini təmin etmək üçün tələb olunur. Bu məqsədlə xüsusi qurğulardan – ***cərəyan mənbələrindən*** *(generatorlardan, akkumulyatorlardan)* istifadə edilir. Cərəyan mənbələrində fasiləsiz olaraq müsbət və mənfi yüklərin ayrılması prosesi gedir. Ayrılan yüklər mənbəyin qütblərində toplanaraq, onların arasında sabit potensiallar fərqi yaradır.



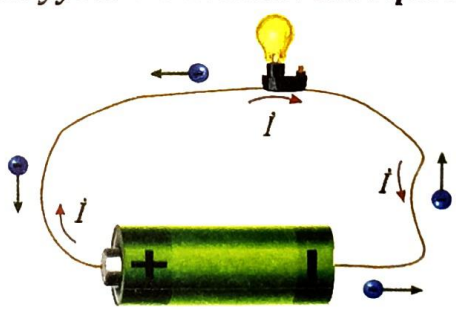
Cərəyan mənbəyində müsbət və mənfi yüklərin ayrılma prosesini təmin edən qüvvələr ***kənar qüvvələr*** *adlanır. Kənar qüvvələrin yüklü zərrəciklər üzərində qapalı yolda gördüyü iş sıfırdan fərqlidir.* Kənar qüvvələrin təbiəti müxtəlif ola bilər. Məsələn, akkumulyator və qalvanik elementlərdə kimyəvi qüvvələr təsir göstərir, elektrik stansiyalarının generatorlarında kənar qüvvə hərəkət edən naqildəki sərbəst elektronlara maqnit sahəsi tərəfindən təsir edən qüvvədir.

Kənar qüvvələrin təsiri ***elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ)*** adlanan kəmiyyətlə xarakterizə edilir. EHQ cərəyan mənbəyinin enerji xarakteristikasıdır.

Yükü qapalı dövrə boyunca hərəkət etdirən zaman kənar qüvvələrin gördüyü işin həmin yükün miqdarına olan nisbətinə bərabər olan fiziki kəmiyyətə elektrik hərəkət qüvvəsi deyilir.

$$\varepsilon = \frac{A_{kənar}}{q}$$

Vahidi: $[\varepsilon] = 1V = 1\frac{C}{kl} = 1\frac{kq \cdot m^2}{A \cdot san^3}$



Burada ε - EHQ, $A_{kən}$ – kənar qüvvələrin gördüyü iş, q–elektrik yüküdür.

Elektrik hərəkət qüvvəsi skalyar kəmiyyətdir və BS-də vahidi Voltdur.

Elektrik hərəkət qüvvəsi ədədi qiymətcə müsbət vahid yük qapalı dövrə boyunca hərəkət edən zaman kənar qüvvələrin gördüyü işə bərabərdir.

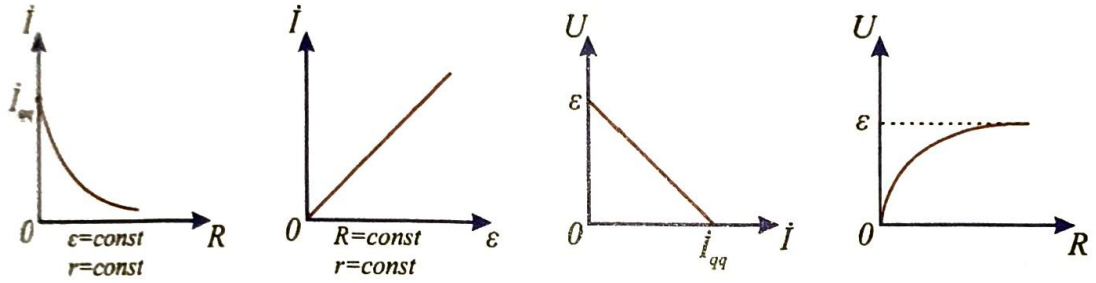
Tam dövrə üçün Om qanunu

Qapalı dövrədəki cərəyan şiddəti EHQ ilə düz, dövrənin tam müqaviməti ilə tərs mütənasibdir.

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$$

R - dövrənin xarici, r - isə daxili müqavimətləridir. Daxili müqavimət elektrolitik məhlulun və elektrodların, generatorlarda isə dolaqların müqavimətidir. Mənbəyin sıxaclarındakı gərginlik isə aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$U = I \cdot R = \frac{\varepsilon R}{R+r} = \varepsilon - I r \qquad \varepsilon = U + I r$$

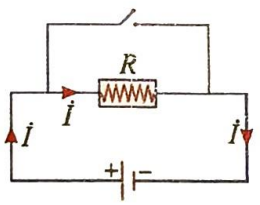


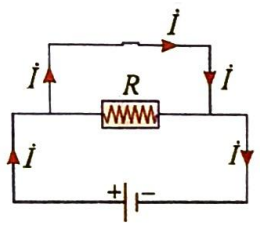
Xüsusi hal:

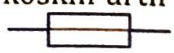
1. Dövrənin xarici müqaviməti $R \to 0$ olduqda cərəyan şiddəti maksimum qiymətə çatır. Həmin cərəyan isə qısaqapanma cərəyan adlanır.

Açar açıq olarsa, cərəyan reostatdan keçəcəkdir. Əgər açarı qapasaq, reostatda yaranan müqavimət cərəyana maneçilik göstərdiyi üçün, cərəyan da hərəkət zamanı müqavimət olmayan yola üstünlük verəcəkdir. Bu hadisə ***qısa dövrə*** adlanır.

$$I_{qq} = \frac{\varepsilon}{r}$$

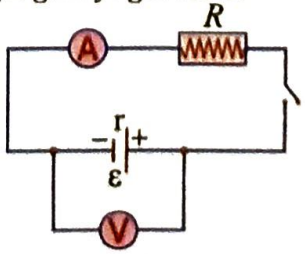




Qısaqapanma zamanı xarici müqavimət sıfıra yaxınlaşdığı üçün cərəyan şiddəti kəskin artır və naqil daha çox qızır. Qısaqapanma hadisəsinin qarşısı ***əriyən qoruyucuların***  köməyi ilə alınır. Qoruyucunun vəzifəsi elektrik xəttində cərəyan şiddəti yol verilən normadan çox olduqda həmin xətti şəbəkədən ayırmaqdır. Xəttə əriyən qoruyucu qoşulur, cərəyan şiddəti normadan artıq olduqda qoruyucunun nazik məftili əriyir və dövrəni açır.

2. Xarici müqavimət olduqca böyükdür ($R \to \infty$). Bu dövrənin açıq olduğu hala uyğundur. Belə dövrədən cərəyan keçmir ***($I = 0$).*** Mənbəyin sıxaclarındakı gərginlik isə onun elektrik hərəkət qüvvəsinə bərabərdir ($U = \varepsilon$) Dövrənin açıq vəziyyətində voltmetr cərəyan mənbəyinin EHQ-ni göstərir. Dövrə qapandıqda isə voltmetr gərginliyi göstərir.

Açar açıq olduqda:	$U = \varepsilon$
Açar qapalı olduqda:	$U = \frac{\varepsilon R}{R+r}$



§19.7. Cərəyan mənbələrinin ardıcıl və paralel birləşdirilməsi

Müxtəlif elektrik hərəkət qüvvələrinə malik cərəyan mənbələrini almaq üçün elementləri ardıcıl və paralel birləşdirirlər.

❖ Ardıcıl birləşdirmə

Ardıcıl birləşdirilmiş elementlərin tam elektrik hərəkət qüvvəsi ayrı-ayrı mənbələrin elektrik hərəkət qüvvələrinin cəbri cəminə bərabərdir: $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \ldots + \varepsilon_n$

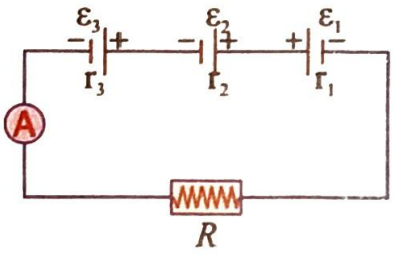
Bu bərabərlikdə istənilən mənbəyin elektrik hərəkət qüvvəsinin işarəsini təyin etmək üçün əvvəlcə kontur boyunca hərəkət istiqaməti seçilir. Saat əqrəbinin hərəkətinin əksinə dolanarkən mənbəyin mənfi qütbündən müsbət qütbünə keçilirsə elektrik hərəkət qüvvəsi müsbət hesab edilir $\varepsilon > 0$. Əksinə mənbəyin müsbət qütbündən mənfi qütbünə keçilirsə, elektrik hərəkət qüvvəsi mənfidir $\varepsilon < 0$.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 - |\varepsilon_2| - |\varepsilon_3|$$

$$r = r_1 + r_2 + r_3$$

$$\dot{I} = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

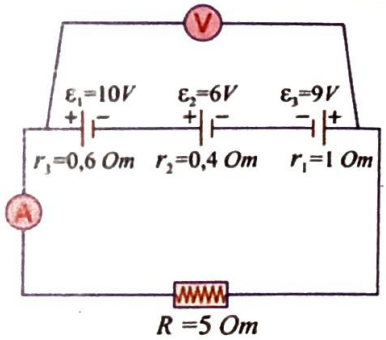
$\varepsilon_1 > 0 \quad \varepsilon_2 < 0 \quad \varepsilon_3 < 0$





Nümunə:

$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 10 + 6 + (-9) = 7V$	
$r = r_1 + r_2 + r_3 = 0{,}6 + 0{,}4 + 1 = 2\,Om$	
$\dot{I} = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{7}{5 + 2} = 1A$	$U = \dot{I} \cdot R = 1 \cdot 5 = 5V$



❖ Paralel birləşmə

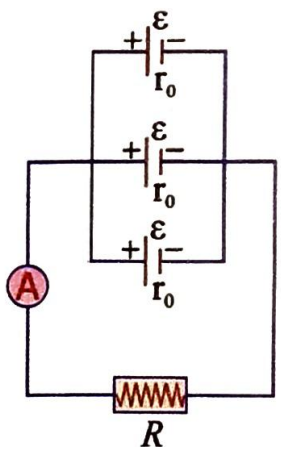
Paralel birləşdirilmiş elementlərin tam elektrik hərəkət qüvvəsi bir mənbəyin elektrik hərəkət qüvvəsinə bərabərdir.

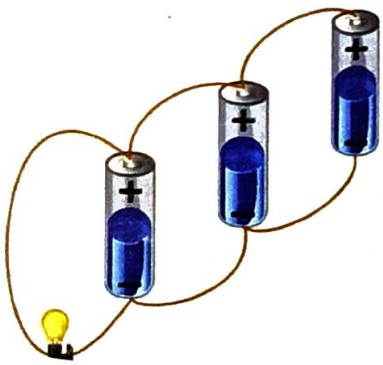
n – mənbələrin sayıdır.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$$

$$r = \frac{r_0}{n}$$

$$\dot{I} = \frac{\varepsilon}{R + r}$$





§19.8. Sabit cərəyanın işi və gücü. Cərəyan mənbəyinin faydalı iş əmsalı

Elektrik sahəsi naqildə yüklü zərrəcikləri nizamlı hərəkətə gətirərək iş görür. Yüklü zərrəciklərin nizamlı hərəkəti, məlum olduğu kimi naqildə cərəyan yaradır. Cərəyan elektrik lampasını közərdir, elektrik mühərriklərini hərəkətə gətirir və s. Deməli, elektrik enerjisi daxili enerjiyə, mexaniki enerjiyə və başqa enerji növlərinə çevilir. *İşlədicilərdə başqa növ enerjiyə çevrilən elektrik sahəsinin enerjisi* ***elektrik cərəyanının işi*** *adlanır.*

Uclarındakı gərginlik U olan naqilin en kəsiyindən t müddəti ərzində q yükü keçərsə, elektrik sahəsinin gördüyü iş:

$$A = q \cdot U = I \cdot U \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t = I^2 R t$$

- Cərəyan digər mühüm xarakteristikası da onun gücüdür. Güc, ədədi qiymətcə vahid zamanda götürülən işə bərabər kəmiyyətdir.

$$P = \frac{A}{t} = \frac{qU}{t} = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

Ardıcıl birləşmə: $I = const$

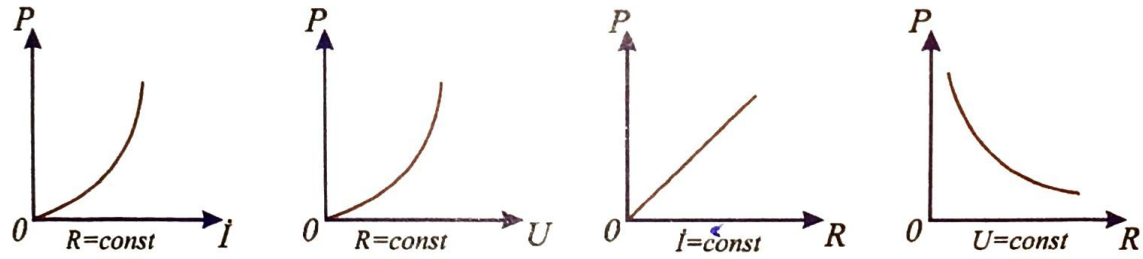
$$P = I^2 \cdot R$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

Paralel birləşmə: $U = const$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{R_1}{R_2}$$



Elektrik cərəyanın işi ***elektrik sayğacı*** adlanan xüsusi cihazla ölçülür və ***kilovatt-saatla*** ifadə olunur. ***Kilovatt-saat*** – gücü 1 kVt olan elektrik cərəyanının 1 saatda gördüyü işə bərabərdir:

$$1\,kVt \cdot saat = 1000\,Vt \cdot 3600\,san = 3{,}6 \cdot 10^6\,C$$

Elektrik cərəyanın gücü ***vattmetrlə*** ölçülür. Elektrik cərəyanının gücünü ***voltmetr və ampermetrin*** köməyi ilə də ölçmək olar ($P = I \cdot U$)

- ***Dövrənin xarici müqavimətindəki güc (buna bəzən faydalı güc də deyilir):***

$$P_f = I \cdot U = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2}$$

R=r *olduqda* ***R*** *müqavimətində ayrılan faydalı güc maksimum olur.*

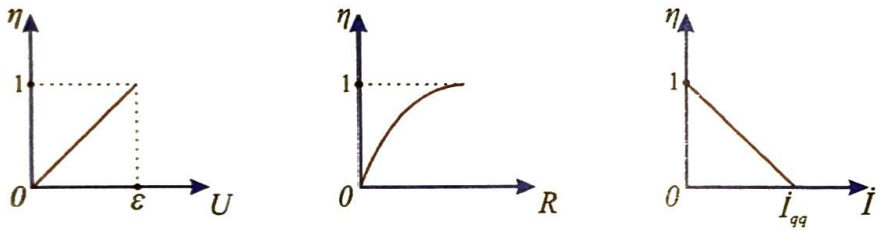
- ***Qapalı cərəyan dövrəsində sərf olunan tam güc:*** $P_T = I \cdot \varepsilon = I^2 (R+r) = \frac{\varepsilon^2}{R+r}$

❖ Faydalı iş əmsalı

Dövrənin xarici hissəsində ayrılan faydalı gücün tam gücə olan nisbəti mənbəyin ***faydalı iş əmsalı*** adlanır:

$$\eta = \frac{P_f}{P_T} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R}{R+r} = 1 - \frac{I \cdot r}{\varepsilon}$$

Mənbəyin sıxaclarındakı gərginlik (U) və xarici müqavimət (R) artdıqca mənbəyin faydalı iş əmsalı da artır, lakin dövrədəki cərəyan şiddəti artıqca faydalı iş əmsalı azalır və qısaqapanmada $\eta=0$ olur.



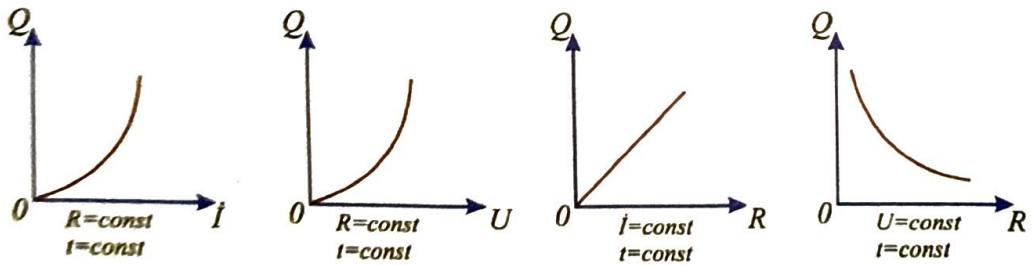
§19.9. Coul – Lens qanunu

Naqildən elektrik cərəyanı keçdikdə qızır. Bu hadisə belə izah edilir ki, cərəyan axan zaman nizamlı hərəkət edən elektronlar kristal qəfəsin düyünlərində rəqsi hərəkət edən ionlarla toqquşaraq öz enerjisinin bir hissəsini onlara verir. Nəticədə ionların rəqsi hərəkətinin enerjisi artır. Bu isə naqilin daxili enerjisinin artmasına və onun temperaturunun yüksəlməsi ilə nəticələnir. Tərpənməz metal naqildə cərəyanın gördüyü iş yalnız onun daxili enerjisinin artmasına sərf olunur:

$$A = Q$$

$$Q = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} \cdot t = IUt$$

Naqildə cərəyanın ayırdığı istilik miqdarı cərəyan şiddətinin kvadratı, naqilin müqaviməti və cərəyan keçmə müddətinin hasilinə bərabərdir. Bu qanun təcrübi olaraq ilk dəfə ingilis alimi Coul və rus alimi Lens tərəfindən kəşf edilmişdir və ***Coul – Lens*** qanunu adlanır.



Ardıcıl birləşmiş naqillərdə: $I = const$

$$Q = I^2 Rt$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{R_2}{R_1}$$

Paralel birləşmiş naqillərdə: $U = const$

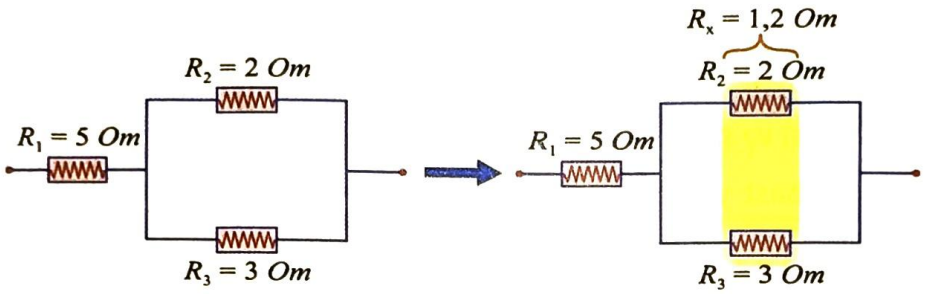
$$Q = \frac{U^2}{R} t$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

Nümunə1: Dövrənin ümumi müqavimətini hesablayın.

R_2 və R_3 naqilləri paralel birləşdiyi üçün: $R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{2 \cdot 3}{2+3} = \frac{6}{5} = 1{,}2\,Om$

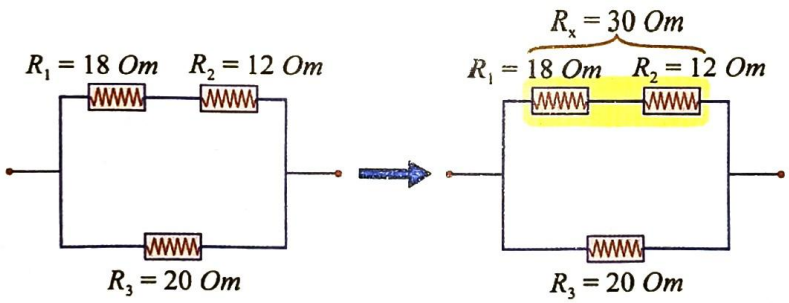
R_1 və R_x ardıcıl birləşdiyi üçün: $R_{ümumi} = R_1 + R_x = 5 + 1{,}2 = 6{,}2\ Om$



Nümunə2: Dövrənin ümumi müqavimətini hesablayın.

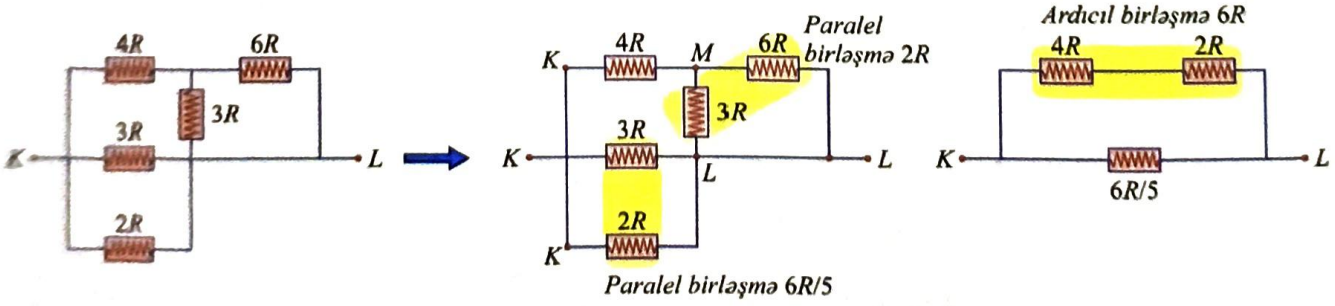
R_1 və R_2 naqilləri ardıcıl birləşdiyi üçün: $R_x = R_1 + R_2 = 18 + 12 = 30\ Om$

R_3 və R_x paralel birləşdiyi üçün: $R_{ümumi} = \frac{R_3 \cdot R_x}{R_3 + R_x} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12\,Om$



Nümunə3: Dövrənin ümumi müqavimətini hesablayın.

$$R_{KL} = \frac{6R \cdot \frac{6R}{5}}{6R + \frac{6R}{5}} = \frac{\frac{36R^2}{5}}{\frac{36R}{5}} = R$$



20. MÜXTƏLİF MÜHİTLƏRDƏ ELEKTRİK CƏRƏYANI

§20.1. Metallarda elektrik cərəyanı

Maddələr elektrikkeçirmə qabiliyyətinə görə üç qrupa ayrılır: ***naqillər***, ***dielektriklər*** və ***yarımkeçiricilər***.

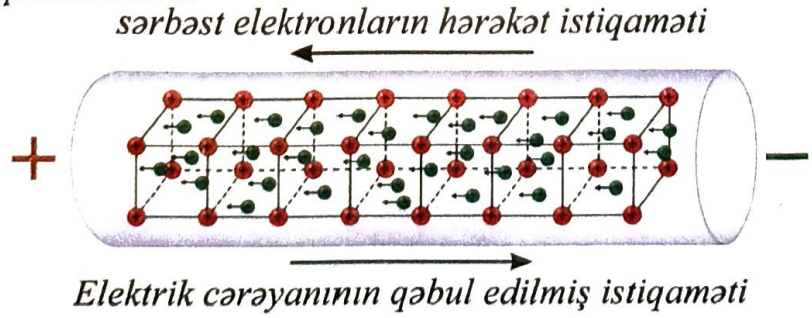
- ***Naqillər*** – elektrik cərəyanını yaxşı keçirən maddədir. Naqillərə aiddir: *metallar, elektrolit məhlul və ərintiləri, plazma.*
- ***Dielektriklər*** – sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası çox az olan, əsasən bağlı yüklərdən ibarət maddədir. Dielektriklərə aiddir: *qazlar, bəzi mayelər (distillə edilmiş su, yağ və s.), şüşə, kauçuk, saxsı və s.*
- ***Yarımkeçirici*** – sərbəst yükdaşıyıcılarının sayı xarici təsirlərdən (temperatur, işıqlanma, tərkibinə aşqar daxil etmək və s.) asılı olan maddədir. Yarımkeçiricilərə aiddir: *germanium, silisium, qalay, bəzi oksidlər və sulfidlər, telluridlər və s.*

	İstilik təsiri	Kimyəvi təsiri	Maqnit təsiri
Metal	+	--	+
Elektrolit	+	+	+
İfratkeçirici	--	--	+
Yarımkeçirici	+	--	+

Əvvəlki dərsimizdə qeyd edildiyi kimi, metallarda adi halda hər atom orta hesabla bir elektron itirərək müsbət yüklü iona çevrilir. İonlar kristal qəfəslərin düyün nöqtələrində müəyyən tarazlıq vəziyyətləri ətrafında rəqsi hərəkət edir və cərəyanın yaranması prosesində iştirak etmir. ***Metal naqillərdə elektrik cərəyanı sərbəst elektronların nizamlı hərəkətindən ibarətdir.*** Naqillərdə sərbəst elektronların nizamlı hərəkətinin sürəti çox kiçikdir $(0{,}1 \div 10\,mm/san)$. Buna səbəb isə elektronların öz hərəkətləri zamanı kristal qəfəsin ionları ilə saysız-hesabsız toqquşmasıdır.Belə toqquşmalar elektronların nizamlı hərəkətlərini tormozlayır. Cərəyanın naqildə yayılma sürəti heç də sərbəst elektronların nizamlı hərəkətinin sürəti demək deyildir. Elektrik cərəyanının naqildəki sürəti – elektrik sahəsinin naqildə yayılma sürətinə bərabərdir. Naqildə elektrik sahəsi çox böyük sürətlə işığın vakuumda yayılma sürətinə yaxın olan $3 \cdot 10^8\ m/san$ sürət ilə yayılır.

❖ Metalların müqavimətinin temperaturdan asılılığı:

Metallarda elektrik cərəyanı **sərbəst elekrtonların** nizamlı hərəkətindən ibarətdir. Təcrübələr göstərir ki, metal naqilləri qızdırdıqda onların müqaviməti artır. Metal naqili qızdıran zaman kristal qəfəslərin düyünlərində yerləşən müsbət yüklü ionların rəqsi hərəkətləri intensivləşir və sərbəst elektronların ionlarla toqquşmalarının sayı artır. Məhz bu səbəbdən naqilin müqaviməti artır.



Naqilin müqavimətinin temperaturdan asılılıq düsturu:

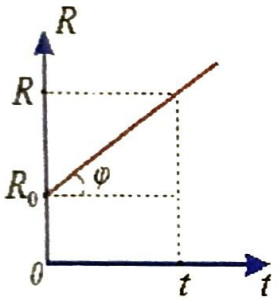
$R = R_0(1+\alpha \cdot t)$	$\rho = \rho_0(1+\alpha \cdot t)$

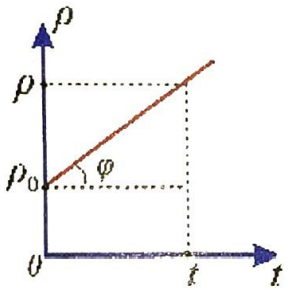
Burada, R – metal naqilin naqilin $t\,^0C$ temperaturdakı müqaviməti, R_0 – metal naqilin 0^0C temperaturdakı müqavimətidir.

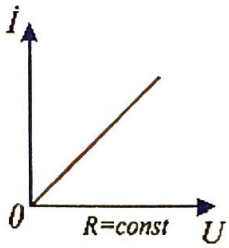
α –müqavimətin temperatur əmsalı olub, yalnız naqilin materialından asılıdır. Metallar üçün $\alpha > 0$ olur. ***Müqavimətin temperatur əmsalı ədədi qiymətcə naqili 1^0C $(1\,K)$ qızdırdıqda, onun müqavimətinin nisbi dəyişməsinə bərabərdir.***

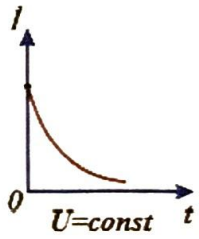
$\alpha = \dfrac{R - R_0}{R_0 \cdot t} = \dfrac{tg\varphi}{R_0}$	$[\alpha] = 1\,K^{-1}$

- *Cərəyan şiddətinin gərginlikdən asılılığı* ***volt-amper xarakteriztikası (VAX)*** *adlanır. Naqildən axan cərəyan şiddəti onun uclarındakı gərginlikdən düz, gərginliyin sabit qiymətində temperaturla tərs mütənasibdir.*







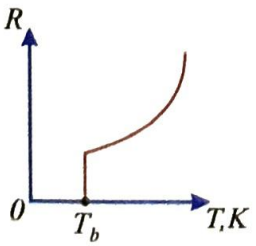


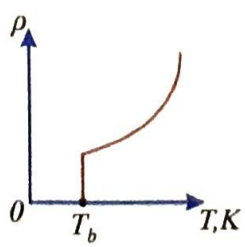
- Metalların müqavimətinin temperaturdan asılılığından müqavimət termometrlərində istifadə olunur. Təmiz metallardan hazırlanan bu termometrlər çox yüksək və ya çox aşağı temperaturları ölçməyə imkan verir.Metalların müqavimətinin temperaturdan asılılığından müqavimət termometrlərində istifadə olunur.



❖ İfratkeçiricilik:

Temperaturun aşağı düşməsi ilə metal naqillərin müqaviməti azalır. Naqilin elektrik müqavimətinin sıfıra qədər azaldığı temperatur ***böhran temperaturu,*** *ondan aşağı temperaturdakı keçiricilik isə* ***ifratkeçiricilik*** *adlanır.Əgər ifratkeçirici naqildə elektrik cərəyanı yaradılarsa, o həmin naqildə cərəyan olmadıqda belə uzun müddət qalacaqdır.İfratkeçirici naqildən elektrik cərəyanı keçərkən istilik miqdarı ayrılmır.*

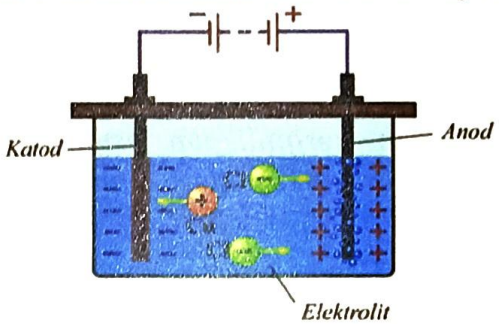




§20.2. Elektrolitlərdə elektrik cərəyanı. Elektroliz qanunu

Mayelərin elektrik keçirməsinin metallar, vakuum və qazların elektrik keçirməsindən fərqli xüsusiyyətləri var. Distillə edilmiş su olan qaba iki kömür elektrod salaq və onları cərəyan mənbəyinə birləşdirək, dövrəni qapayaq. Cərəyan mənbəyinin sıxaclarında gərginlik olduğu halda, ampermetr dövrədən cərəyanın keçmədiyini göstərir. Deməli, təmiz su elektrik cərəyanını keçirmir. Orada cərəyan yarada biləcək sərbəst yükdaşıyıcılar yoxdur. Suya az miqdarda mis 2-xlorid ($CuCl_2$) əlavə edək. Bu zaman dövrəyə qoşulmuş lampa işıqlanır və ampermetr dövrədən cərəyan keçdiyini göstərir. Deməli, duzun suda məhlulunda sərbəst yükdaşıyıcılar yaranır. Sərbəst yükdaşıyıcıların yaranma səbəbi suda duz həll olduqda suyun polyar molekullarının elektrik sahəsinin təsiri ilə duz molekullarının ionlara ayrılmasıdır.

$$CuCl_2 \rightarrow Cu^{2+} + 2Cl^-$$



Suda neytral molekulların parçalanması zamanı müsbət və mənfi ionların əmələ gəlməsinə ***elektrolitik dissosiasiya*** deyilir (dissosiasiya latın sözü olub, *"ayırıram"* deməkdir). Məhlulları və ərintiləri elektrik cərəyanı keçirən maddələr (duz, turşu və qələvi) ***elektrolitlər*** adlanır. Məhlulda elektrik sahəsi yaratsaq, əmələ gələn sərbəst ionlar nizamlı hərəkətə başlayır, müsbət ionlar katoda, mənfi ionlar anoda doğru hərəkət edir. ***Elektrolitik məhlulda elektrik cərəyanı müsbət və mənfi ionların nizamlı hərəkətidir.*** *Bu tip keçiricilik ion keçiriciliyi adlanır.* Məhlulda bütün molekullar ionlara parçalanmır. Məhlulda ionlara parçalanmış molekullar sayının həll olmuş molekullar sayına nisbəti ***dissosiasiya dərəcəsi*** adlanır.

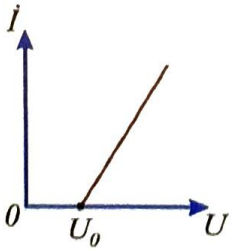
$$\alpha = \frac{N_i}{N}$$

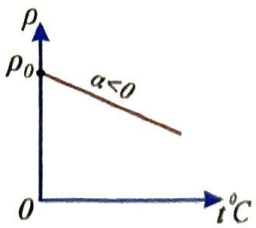
Burada N – ümumi molekulların sayı, N_i – ionlara ayrılan molekulların sayıdır.

Dissosiasiya dərəcəsi temperaturdan, məhlulun konsentrasiyasından və həlledicinin dielektrik nüfuzluğundan (ε) asılıdır. Temperatur yüksəldikcə, dissosiasiya dərəcəsi artır.

- *Təcrübələr göstərir ki, elektrolitlər üçün Om qanunu ödənir və cərəyan şiddəti gərginlikdən xətti asılıdır.*
- *Təcrübələr göstərir ki, temperatur artdıqca, elektrolitin müqaviməti xətti azalır, çünki temperatur artdıqda elektrolit məhlullarında zərrəciklərin istilik hərəkəti intensivləşir və onunla əlaqədar dissosiasiya dərəcəsi – yəni ionlara parçalanan molekulların sayı artır.*

$$\rho = \rho_0(1 - \alpha \cdot \Delta t)$$





Burada α – müqavimətin temperatur əmsalıdır, mənfi qiymətə malikdir. $\alpha < 0$, ρ_0 – elektrolitin $0^0C\,(273K)$ temperaturda xüsusi müqavimətidir.

Elektroliz qanunu

Elektrolitlərin elektrik keçiriciliyinin əsas xüsusiyyəti yüklə bərabər kütlə (maddə) daşımasıdır. Bunu elektrodlar üzərində maddə ayrılması təsdiq edir. Şəkildən də görünür ki, mənfi yüklü ionlar artıq elektronlarını anoda verməklə neytrallaşır, onun səthində qaz qabarcıqları şəklində xlor ayrılır. Katoda çatan müsbət yüklü ionlar isə ondan elektron alaraq neytral atoma çevrilir və katod üzərində toplanaraq mis təbəqəsi yaradır.

- ***Elektrolitdən cərəyan keçərkən elektrodlar üzərində maddə toplanması prosesi elektroliz adlanır.***

Elektroliz qanununu 1836-cı ildə Faradey müəyyənləşdirmişdir.

I qanun: *Elektroliz zamanı elektrodlar üzərində ayrılan maddənin kütləsi elektrolitdən keçən elektrik yükünün miqdarı ilə düz mütənasibdir.*

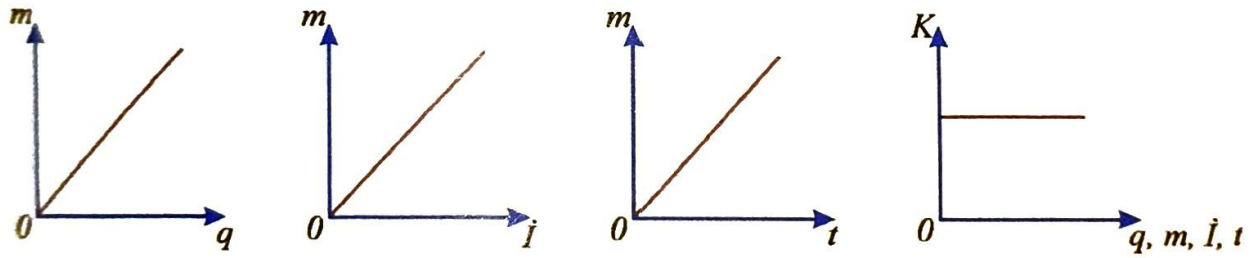
$$m = k \cdot q = k\, I\, \Delta t$$

Burada m – elektrod üzərində ayrılan maddənin kütləsi, q – elektrolitdən keçən elektrik yükünün miqdarı, k – isə maddənin elektrokimyəvi ekvivalentidir.

$$k = \frac{m}{q} \qquad \text{Vahidi: } [k] = 1\frac{kq}{kl} = 1\frac{kq}{A \cdot san}$$

Maddənin elektrokimyəvi ekvivalenti ədədi qiymətcə elektrolitdən 1 kl yük keçdikdə elektrod üzərində ayrılan maddənin kütləsinə bərabərdir. Müxtəlif maddələrin elektrokimyəvi ekvivalenti müxtəlifdir.

- *Verilmiş maddənin elektrokimyəvi ekvivalenti üzərində ayrılan maddənin kütləsindən və elektrolitdən keçən elektrik yükünün miqdarından asılı deyil.*



- *Maddənin elektrokimyəvi ekvivalenti ionun kütləsinin onun yükünə olan nisbətinə bərabər olub, molyar kütlə ilə düz, valentliyi ilə tərs mütənasibdir.*

İonun yükünün $q_{0i} = ne$, kütləsinin $m_{0i} = \frac{M}{N_A}$ olduğunu nəzərə alsaq :

$$k = \frac{m_{oi}}{q_{oi}} = \frac{1}{eN_A} \cdot \frac{M}{n}$$

Burada M – molyar kütlə, n – maddənin valentidir.

❖ Ümumiləşmiş elektroliz qanunu:

Elektrolitdən elektrik cərəyanı keçərkən elektrodda ayrılan maddənin kütləsi, molyar kütlə, cərəyan şiddəti və zamanla düz, elementin valentliyi ilə tərs mütənasibdir.

$$m = \frac{1}{eN_A} \cdot \frac{M}{n} İ\Delta t$$

Elementar yükün Avaqadro ədədinə hasili Faradey sabiti (və ya Faradey ədədi) adlanır.

$F = e \cdot N_A$ $\qquad k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}$ $\qquad \frac{M}{n}$ – maddənin kimyəvi ekvivalentidir.

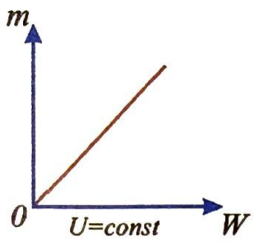
II qanun: *Maddənin elektrokimyəvi ekvivalenti, maddənin kimyəvi ekvivalenti ilə düz mütənasibdir.*

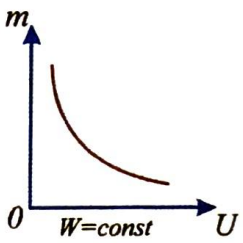
❖ Mövzu ilə əlaqəli qeydlər:

- *Elektroliz zamanı m kütləli maddənin ayrılmasına sərf olunan enerji və görülən iş:*

$$W = A = q \cdot U = \frac{m}{k} U$$

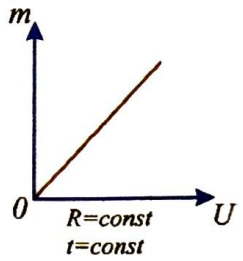
$$m = k \cdot \frac{W}{U}$$





- *Elektroliz zamanı elektrodlar üzərində ayrılan maddənin kütləsinin gərginlikdən aslılığı:*

$$m = k İ\Delta t = k \frac{U}{R} \Delta t$$



- *Elektroliz zamanı katodda ayrılan maddənin həcmi:*

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{kq}{\rho} = \frac{kİ\Delta t}{\rho}$$

- *Elektroliz prosesində məhluldan keçən cərəyan şiddəti $İ$, t zaman fasiləsində katoddan ayrılan metalın maddə miqdarı ν, molyar kütləsi M olarsa:*

$m = k İ t$	$\nu \cdot M = k İ t$

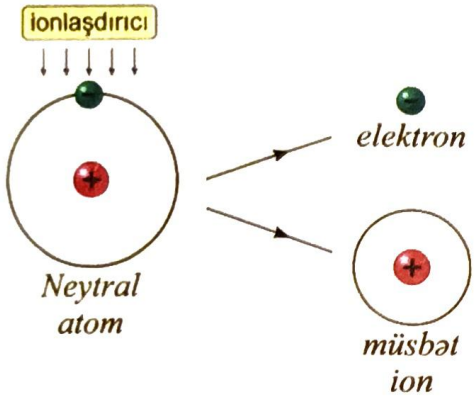
Məsələ: **Elektrokimyəvi ekvivalenti $2 \cdot 10^{-7} \frac{kq}{kl}$ olan madənin ikivalentli ionun kütləsi nəyə bərabərdir $\left(e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\, kl\right)$?** **Həlli:** $m = k \cdot q = k \cdot en = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 = 6{,}4 \cdot 10^{-26}\, kq$

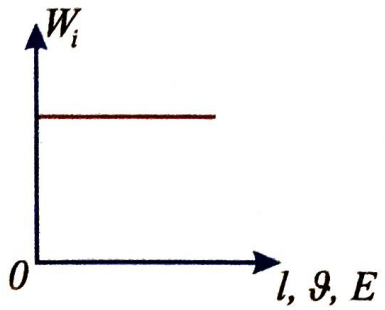
- *Sabit gərginlikdə müəyyən zamanda katod üzərində ayrılan maddənin kütləsi elektrodların məhlula daxil olma dərinliyi (h) ilə düz, elektrodlar arasındakı məsafə ilə (l) tərs mütənasibdir.*

§20.3. Qazlarda elektrik cərəyanı. Müstəqil və qeyri-müstəqil qaz boşalması

Adi şəraitdə qazlar elektrik cərəyanını keçirmir, çünki onlar neytral atom və molekullardan təşkil olunmuşdur, onlarda sərbəst yükdaşıyıcılar yoxdur. Qazlarda cərəyan yaratmaq üçün neytral atom və molekulları ionlaşdırmaq, yəni neytral atomdan elektronu qoparmaq lazımdır. İonlaşma qazı qızdırmaqla və ya yüksək enerjili şüalarla (ultrabənövşəyi, rentgen, radioaktiv şüalarla) şüalandırmaqla həyata keçirilə bilər. Neytral atomu iona çevirmək üçün, yəni ondan elektron qoparmaq üçün lazım olan minimal enerji atomun ionlaşma enerjisi adlanır. *İonlaşma enerjisi yalnız qazın növündən asılıdır, elektronun sürətindən və sərbəst qaçış yolunun uzunluğundan asılı deyil.*

$$W_i = eU = eEl$$





Burada, E – elektrik sahəsinin intensivliyi, l – elektronun sərbəst qaçış yolunun uzunluğudur.

- *Qazlardan elektrik cərəyanının keçməsi* ***qaz boşalması*** *adlanır.*

Qaz boşalmasının iki növü var:

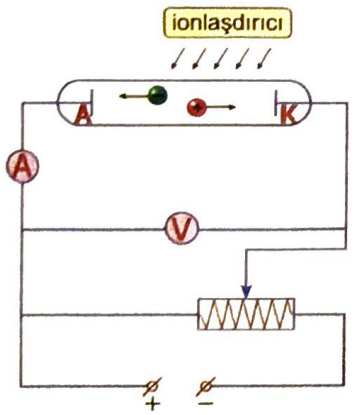
1. ***qeyri-müstəqil boşalma***
2. ***müstəqil boşalma***

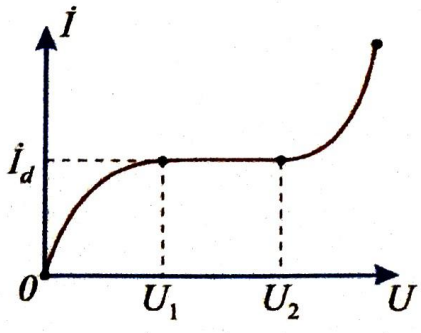
İonlaşdırıcının təsiri altında baş verən qaz boşalması ***qeyri-müstəqil boşalma*** adlanır.

Qaz boşalmasının volt-amper xarakteristikası təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir.

Seyrədilmiş qaz olan şüşə boruda (məsələn neon) iki elektrod – katod(K) və anod (A) yerləşdirək. Elektrodlar arasındakı gərginliyi tədricən artıraq. Bu zaman ionlaşdırıcının təsirilə yaranan ***elektronlar və mənfi ionlar anoda, müsbət ionlar*** katoda doğru hərəkət edərək boruda elektrik cərəyanı yaradır.

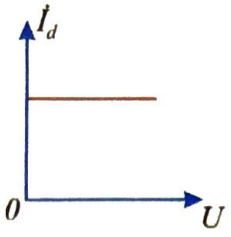
Lakin gərginliyin müəyyən U_1 qiymətindən sonra yüklü zərrəciklərin hamısı elektrodlara gəlib çatdığı üçün cərəyan daha artmır, sabir qalır. Necə deyərlər, cərəyan doyma halına çatır.

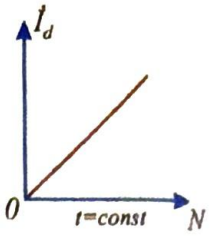




Doyma cərəyan şiddəti: $I_d = \frac{eN}{t}$

Burada e – elektron yük, N – ionlaşdırıcının təsiri ilə yaranan elektron-ion cütlərinin sayıdır.





- *Qrafikin U_2 gərginliyinə qədər olan hissəsi **qeyri-müstəqil qaz boşalmasına** aiddir, çünki bu hissədə ionlaşdırıcını kənarlaşdırsaq qaz boşalması dayanacaq.*
- *Qrafikin U_2 gərginliyindən böyük gərginliyə uyğun hissəsi **müstəqil qaz boşalmasına** aiddir, çünki ionlaşdırıcını uzaqlaşdırsaq belə qaz boşalması davam edəcək.*
- ***Qeyd:** U_2 gərginliyi qeyri-müstəqil boşalmaya uyğun ən böyük gərginlik, müstəqil boşalmaya uyğun ən kiçik gərginlikdir.*
- ***İonlaşdırıcının təsiri olmadan qazın elektrik cərəyanı keçirməsi müstəqil boşalma adlanır.** Müstəqil qaz boşalması zamanı yüklü zərrəciklər iki səbəb nəticəsində yaranır:*

a) Elektron zərbəsi ilə ionlaşma hadisəsi
b) Müsbət ionların katoda dəyərək onun səthindən elektron qoparması. Bu hadisə elektron emissiyası adlanır.
Elektron zərbəsi ilə ionlaşma hadisəsinin baş verməsi üçün elektron neytral atoma zərbə vuran anda kinetik enerjisi ionlaşma enerjisinə bərabər və ya ondan böyük olmalıdır.

$$E_k \geq W_i \qquad E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = eEl = e\frac{U}{d}l$$

❖ Müstəqil qaz boşalmasının növləri. Plazma

***1. Alovsuz boşalma** – aşağı təzyiqlərdə (1-2 mm.c.süt.) şüşə boru daxilindəki anod və katod arasında işıqlanan zolaq şəklində müşahidə olunur. Alovsuz boşalmadan reklam borularında, gündüz işıq lampalarında və qaz lazerlərində istifadə olunur.*
***2. Qığılcım boşalma** – havada elektrodlar arasında yüksək gərginlik olduqda baş verir. Qığılcımlı boşalmaya ildırımı misal göstərmək olar.*
***3. Qövs boşalması** (elektrik qövsü) – atmosfer təzyiqində və 50 V tərtibində gərginlikdə yüksək temperatura qədər qızdırılan kömür və ya metal elektrodlar arasında baş verən qaz boşalmasıdır. Qövs boşalmasından projektorlarda, metalları qaynaq etmək üçün istifadə edilir.*
***4. Tac boşalması** – normal atmosfer təzyiqində güclü elektrik sahəsinin təsiri ilə elektrik yükünə malik naqillərin iti ucları yaxınlığında baş verən qaz boşalmasıdır. Tac boşalması yüksək gərginlik xətlərinin yaxınlığında tac formasında müşahidə olunur.*



Alovsuz boşalma


Qığılcım boşalma


Qövs boşalması

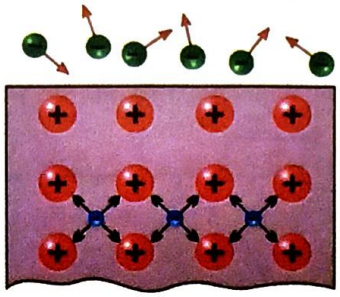

Tac boşalması

- **Plazma:** ***Qazın qismən və ya tamamilə ionlaşmış halı plazma adlanır.*** Plazma ümumilikdə neytral qazdır, çünki orada müsbət və mənfi ionların sayı, demək olar ki, eynidir. Plazma alçaq və ya yüksək temperaturlu ola bilər. O, yüksək elektrik keçirmə xassəsinə malikdir. Plazma bu xassəsinə görə ifratkeçiricilərə daha yaxındır. Günəş və digər ulduzlar, onların atmosferi yüksək temperaturlu plazmadan ibarətdir. Reklam borularında qaz plazma halındadır.

§20.4. Vakuumda elektrik cərəyanı

Adi halda vakuum elektrik cərəyanı keçirmir, çünki orada sərbəst yüklü zərrəciklər yoxdur. Vakuumda elektrik cərəyanı almaq üçün bu fəzaya süni yolla elektrik daşıyan zərrəciklər daxil edilməli və həmin mühitdə elektrik sahəsi yaradılmalıdır. Bu məqsədlə ***termoelektron emissiyası*** hadisəsindən istifadə edirlər. ***Yüksək temperatura qədər qızdırılmış metalların özlərindən elektron buraxması hadisəsi termoelektron emissiyası hadisəsi adlanır.***

Metalı yüksək temperatura qədər qızdırdıqda ondakı sərbəst elektronların kinetik enerjisi artır və temperaturun müəyyən qiymətində elektronlar metalı tərk edir – ***termoelektron emissiyası*** *baş verir.* Metalı elə elektron tərk edə bilər ki, onun kinetik enerjisi çıxış işindən böyük və ya ona bərabər olmalıdır.



$$E_k \geq A_ç \qquad E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} \qquad A_ç = \frac{m\vartheta_{min}^2}{2} = eU$$

Çıxış işi $(A_ç)$ yalnız metalın növündən asılıdır. $[A]=1eV$

Vakuum diodunun, elektron – şüa borusunun iş prinsipi termoelektron emissiyasına əsaslanır.

❖ Vakuum diodu – ikielektrodlu elektron lampası

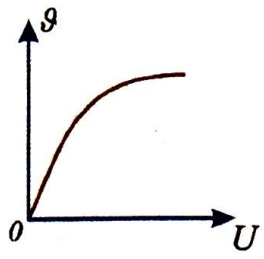
Vakuum diodunun sxematik təsviri şəkildə verilmişdir. Havası sorulmuş şüşə balonda iki elektrod – anod və katod yerləşdirilir. Katod közərmə telindən cərəyan buraxmaqla qızdırılır. Qızdırılmış katod özündən arasıkəsilmədən elektronlar buraxır. Cərəyan mənbəyinin müsbət qütbünü anoda, mənfi qütbünü isə katoda birləşdirək. Bu zaman elektrik sahəsinin təsiri ilə elektronların bir qismi anoda doğru hərəkət edir və elektrik cərəyanı yaranır ***(şəkil a).***

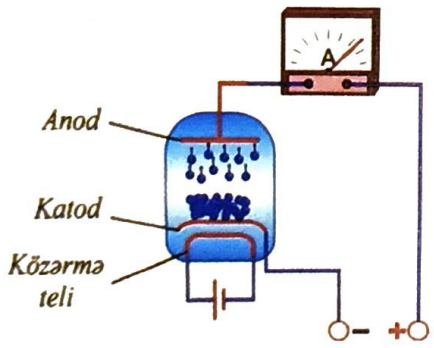
Vakuumda elektrik cərəyanı qızdırılmış katodun buraxdığı elektronlar selindən ibarətdir.

Əgər anodu cərəyan mənbəyinin mənfi, katodu müsbət qütbünə qoşsaq onda anod elektronları geriyə itələyər və dövrədə elektrik cərəyanı yaranmaz***(şəkil b).*** Deməli, vakuum diodu-birtərəfli keçiriciliyə malikdir. ***Vakuum diodun bu xassəsindən dəyişən cərəyanı düzləndirmək (sabit cərəyana çevirmək) üçün istifadə olunur.***

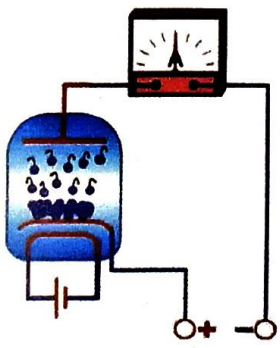
Anoda çatan elektronların kinetik enerjisi və sürəti:

$$E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = eU \qquad \vartheta = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$





şəkil a

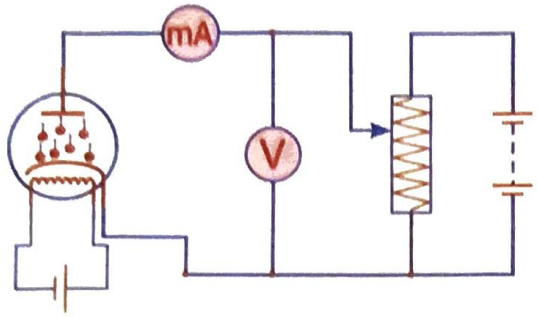


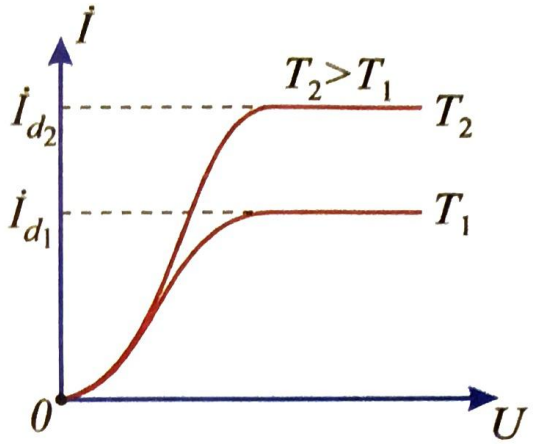
şəkil b



❖ Vakuum diodunun Volt-amper xarakteristikası (VAX)

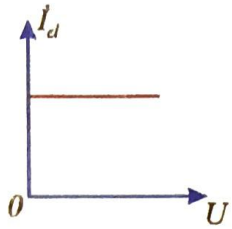
Təcrübə göstərir ki, cərəyan şiddəti gərginliyin artması ilə əvvəlcə artır, lakin gərginliyin müəyyən qiymətindən sonra vahid zamanda katodu tərk edən elektronların hamısı anoda çatır və gərginliyin sonrakı artırılması zamanı cərəyan şiddəti dəyişmir, sabit qalır. Doyma cərəyanı yaranır.

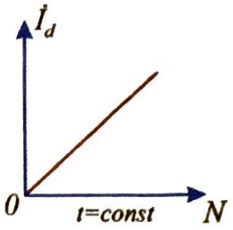




Doyma cərəyan şiddəti:

$$İ_d = \frac{eN}{t}$$



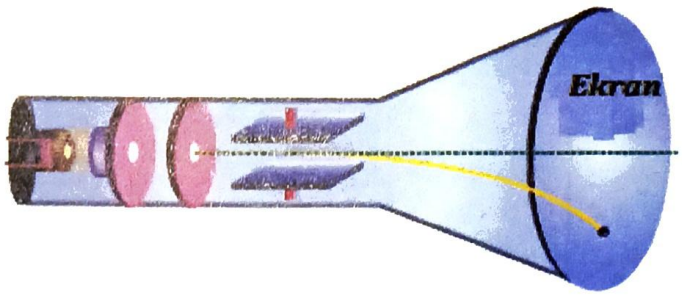


Burada e – elementar yük, N –katodu tərk edən elektronların sayıdır.
Doyma cərəyan şiddəti katodun temperaturundan və materialından asılıdır.

- ***Katodun temperaturu yüksəldikcə, vahid zamanda emissiya edən elektronların sayı artdığı üçün doyma cərəyan şiddəti də artır.***

❖ Elektron şüa borusu

Nazik elektron selini sürətləndirərək elektrik siqnallarını işıq siqnallarına çevirən vakuum cihazı elektron-şüa borusu adlanır. Elektron-şüa borusunda iş prinsipi termoelektron emissiya hadisəsinə əsaslanır. Elektron – şüa borusu uzun illər kompüter, televizor, radiolakator və başqa cihazların mühüm hissələrindən biri olmuşdur.

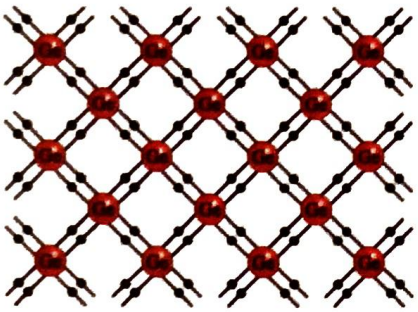


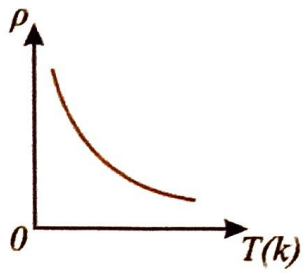
§20.5. Yarımkeçiricilərdə elektrik cərəyanı. Yarımkeçiricilərin məxsusi keçiriciliyi

Sərbəst yükdaşıyıcılarının miqdarı xarici amillərdən (temperaturdan, işıqlanmadan, aşqarlardan və s.) kəskin şəkildə asılı olan maddələr yarımkeçiricilər adlanır. Germanium, silisum, selen və s. elementlər yarımkeçiricilərə aiddir. Yarımkeçiricilərin müqaviməti temperaturdan kəskin asılıdır: temperatur artdıqda onun xüsusi müqaviməti azalır.

Bəs nə üçün xarici təsirlər nəticəsində yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyi artır? Suala cavab vermək üçün bu maddələrin elektrik keçirmə mexanizmini araşıdıraq. Misal üçün, germanium kristalına baxaq.

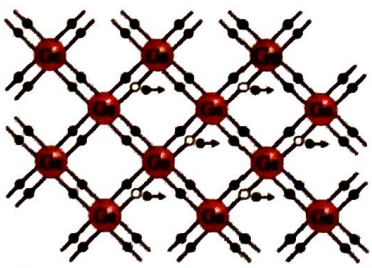
Germanium dördvalentli elementdir. Bu o deməkdir ki, germanium atomunun xarici elektron təbəqəsində nüvə ilə zəif rabitədə olan dörd elektronu var. Hər bir atom dörd ən yaxın atomla cüt-elektron rabitədədir. Aşağı temperaturda bütün rabitələr kifayət qədər güclü olduğu üçün kristal qəfəsdə sərbəst yükdaşıyıcılar yoxdur. Bu o deməkdir ki, aşağı temperaturda yarımkeçiricinin müqaviməti çox böyükdür və o, elektrik cərəyanını keçirmir.





Germaniumu qızdıran zaman bəzi elektronların kinetik enerjisi o qədər artır ki, onlar rabitəni qıraraq atomu tərk edir-sərbəstləşir. Elektronun rabitədə boş qoyduğu yer deşik adlanır. Elektronu boşaltdığı yeri qonşu atomlardan birinin elektronu tutur. Lakin elektronunu itirən başqa atomda yeni deşik yaranır. Ona görə də ***təmiz yarımkeçiricidə (məxsusi yarımkeçiricidə) sərbəst elektronların və deşiklərin sayı eyni olur:*** $N_e = N_d$

Beləliklə, təmiz yarımkeçiricidə elektrik sahəsi yaradıldıqda həm elektronlar, həm də deşiklər eyni zamanda nizamlı hərəkət etməklə maddənin elektrik keçiriciliyini təmin edir. Deşiklər özlərini müsbət yüklü zərrəciklər kimi aparır və kristal daxilində elektrik sahəsinin intensivliyi istiqamətində (elektronların hərəkət istiqamətinin əksinə) nizamlı hərəkət edir. Deməli, yarımkeçiricilərdə elektrik cərəyanı iki növ yükdaşıyıcının, sərbəst elektronların və deşiklərin hərəkəti nəticəsində yaranır.

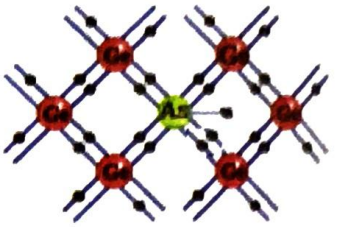


Tərkibində heç bir aşqarı (qatqısı) olmayan təmiz yarımkeçirilərin elektrik keçiriciliyi məxsusi keçiricilik adlanır.

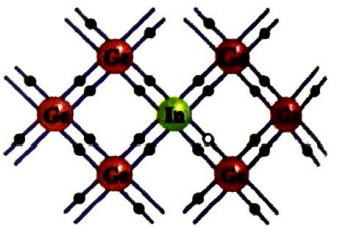
- *Yarımkeçiricidə sərbəst elektronların hərəkəti ilə yaranan keçiricilik elektron və ya n-tipli keçiricilik adlanır (**n**-"mənfi" mənasını verən "neqativus" latın sözünün ilk hərfidir).*
- *Yarımkeçiricilərdə deşiklərin hərəkəti ilə yaranan keçiricilik deşik və ya p-tipli keçiricilik adlanır (**p**-"müsbət" mənasını verən "pozitivus" latın sözünün ilk hərfidir).*

§20.6. Yarımkeçiricilərin aşqar keçiriciliyi

Yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyini artırmaq üçün onların daxilinə aşqarlar vurmaqla yükdaşıyıcıların sayını dəfələrlə yüksəltmək olar. ***Aşqarların iki növü var: donor aşqar və akseptor aşqar.***



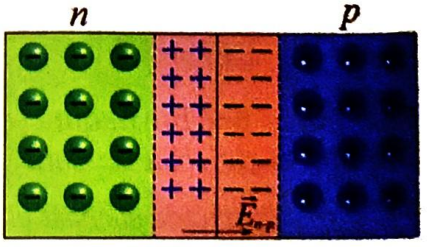
● ***Donor aşqar*** – *öz elektronlarını asanlıqla verərək sərbəst elektron əmələ gətirə bilən aşqara deyilir.* Bu o zaman baş verir ki, təmiz yarımkeçirici kristalına vurulan aşqarın valent elektronlarının sayı bu kristalın valent elektronlarının sayından çox olsun. Məsələn, IV qrup germanium üçün donor aşqar V qrup elementləri: fosfor (P), arsen (As), stibium (Sb) və s. elementləri ola bilər. ***Məsələn, dörd valentli germaniuma aşqar olaraq beş valent elektronu olan arseni daxil edək.*** Arsen atomunun dörd valent elektronu qonşu germaniumun atomları ilə rabitə yaradır. Arseniumun beşinci valent elektronunun atomla rabitəsi çox zəifdi və bu rabitəni qırmaq üçün cüzi enerji kifayətdir. Ona görə də, adi otaq temperaturunda belə bütün arsen atomları valent elektronunu itirir. *Arsen atomlarının sayı qədər sərbəst elektronlar əmələ gəlir.* ***Ona görədə donor yarımkeçiricilərdə elektronlar əsas, deşiklər isə qeyri-əsas yükdaşıyıcılardır.*** *Əsas yükdaşıyıcısı* ***elektron olan*** *yarımkeçiricilər* ***n-tip yarımkeçiricilər adlanır.*** n-tip yarımkeçiricilərdə sərbəst elektronların sayı deşiklərin sayından çox olur: $N_e > N_d$



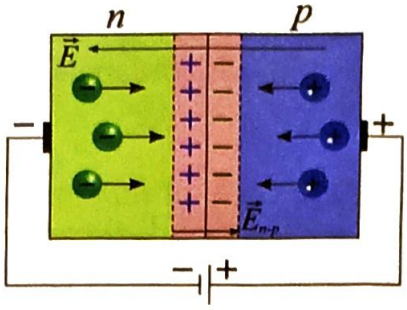
● ***Akseptor aşqarlar*** – *özünə əlavə valent elektronu birləşdirərək yarımkeçiricidə deşiklərin sayını artıra bilən aşqara deyilir.* Bu o zaman baş verir ki, təmiz yarımkeçirici kristalına vurulan aşqarın valent elektronlarının sayı bu kristalın valent elektronlarının sayından az olur. Məsələn, IV qrup elementi germanium üçün akseptor aşqar III qrup elementlərinin atomlarıdır: bor (B), indium (İn) və s. ***Dördvalentli germanium kristalına aşqar olaraq üçvalentli indium daxil edək.*** İndium atomu qonşu germanium atomlarından yalnız üçü ilə rabitə yarada bilir, dördüncü qonşu atomla rabitə tamamlanmamış qalır. İndium atomu qonşu germanium atomlarının birindən elektron alaraq mənfi ionu çevrilir. Bu isə germanium atomlarından birində deşiyin yaranmasına səbəb olur. ***Ona görə də akseptor yarımkeçiricilərdə deşiklər əsas, elektronlar isə qeyri-əsas yükdaşıyıcılardır.*** *Əsas yükdaşıyıcısı* ***deşiklər olan*** *yarımkeçiricilər* ***p-tip yarımkeçirici*** *adlanır. p-tip yarımkçiricilərdə deşiklərin sayı sərbəst elektronların sayından çox olur:* $N_d > N_e$

§20.7. p – n keçidi (və ya elektron – deşik keçidi)

Müxtəlif tipli yarımkeçiricinin kontaktı ***p-n*** keçidi adlanır. Fərz edək ki, yarımkeçiricinin sağ hissəsi ***akseptor (p-tip),*** sol hissəsi isə ***donor (n-tip)*** aşqarına malikdir. Bu zaman ***n-tip*** kristaldan *elektronlar,* ***p-tip*** kristaldan isə *deşiklər* hərəkətə gələrək toxunma sərhədindən qarşı tərəflərə diffuziya edəcək. Nəticədə yarımkeçirici kristalın ***p-n*** keçidində müxtəlif işarəli yüklərin öz-özünə toplandığı bağlayıcı təbəqə yaranacaqdır. Bu təbəqə elektronların n-hissədən p-hissəyə, deşiklərin isə p-hissədən n-hissəyə sonrakı keçidlərinin qarşısını alır.

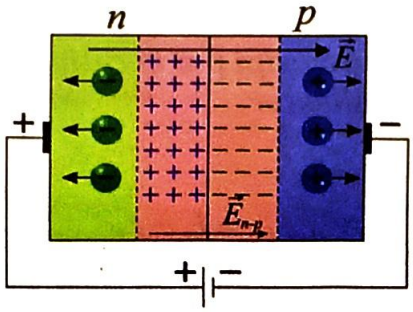


❖ Düz keçid



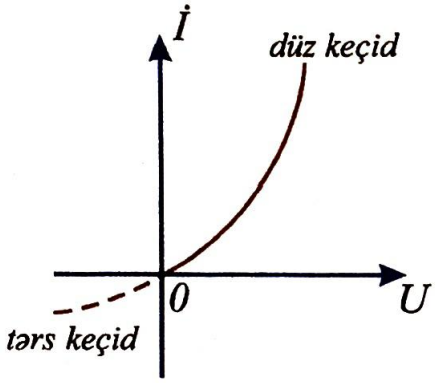
Fərz edək ki, ***n-tip*** kristal cərəyan mənbəyinin ***mənfi***, ***p-tip*** kristal isə ***müsbət*** qütbünə birləşdirilmişdir. Bu zaman cərəyan mənbəyinin yaratdığı elektrik sahəsinin təsiri ilə n-tip kristaldan elektronlar, p-tip kristaldan deşiklər bir-birinə qarşı hərəkət edərək bağlayıcı təbəqəni keçəcək və dövrdən elektrik cərəyanı maneəsiz keçəcəkdir. *Elektrik yükdaşıyıcılarının yarımkeçirici kristallardan belə p-n keçidi düz keçid adlanır.*

❖ Tərs keçid



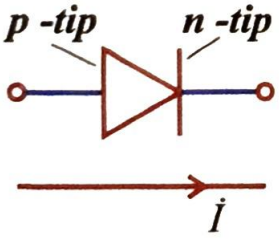
Fərz edək ki, n-tip kristal cərəyan mənbəyinin müsbət, p-tip kristal isə mənfi qütbünə birləşdirilmişdir. Bu zaman cərəyan mənbəyinin yaratdığı elektrik sahəsinin intensivlik vektoru ikiqat təbəqənin elektrik sahə intensivliyi ilə üst-üstə düşəcək. Xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə n-tip kristaldan elektronlar, p-tip kristaldan deşiklər qarşılıqlı əks istiqamətlərə hərəkət edərək bağlayıcı təbəqənin qalınlığını artırır. Kristalın ümumi müqaviməti artacaq, dövrədən demək olarki, elektrik cərəyanı keçməyəcəkdir. *p-n keçidin bu xassəsindən dəyişən cərəyanı düzləndirmək üçün istifadə edirlər.*

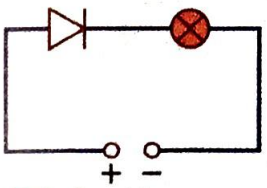
- ***Düz və tərs keçidin volt-amper xarakteristikası:***



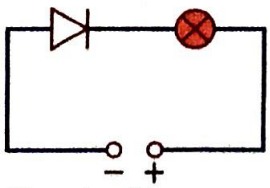
§20.8. Yarımkeçirici cihazlar və qurğular

I. Yarımkeçirici diod : Yarımkeçirici diod bir p-n keçidindən ibarətdir. O, dəyişən cərəyanı düzləndirmək üçün istifadə olunur, iş prinsipi p-n keçidinə əsaslanır. Yarımkeçirici diodun şərti işarəsi aşağıda verilmişdir:



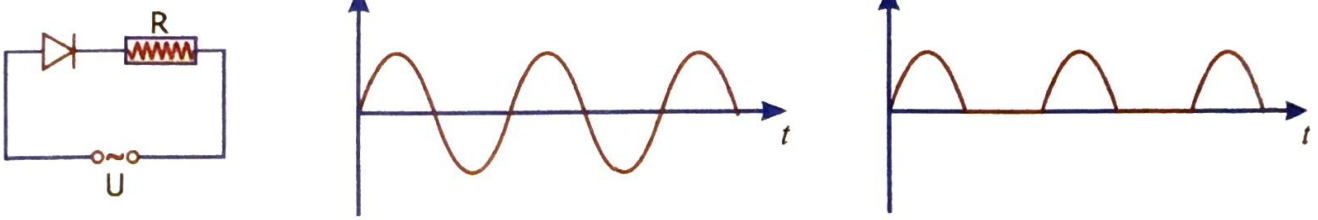


Düz keçid
Dövrədən cərəyan keçir və lampa yanır



Tərs keçid
Dövrədən çox cüzi cərəyan keçir və lampa yanmır

Dəyişən cərəyanı düzləndirmək üçün diod rezistorla birləşdirilərək mənbəyə qoşulur. Bu zaman diodun girişində gərginliyin zamandan asılılıq qrafiki və R rezistorundan keçən cərəyanın zamandan asılılıq qrafiki aşağıdakı kimi olar.

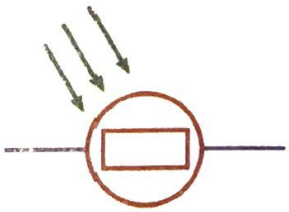


II. Tranzistor: ***Elektromaqnit rəqslərini yaratmaq və gücləndirmək üçün istifadə olunur, iş prinsipi p-n keçidinə əsaslanır.*** Tranzistor üç əsas hissədən ibarətdir: ***emitter, baza və kollektor.***

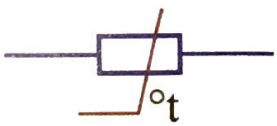
$$I_e = I_b + I_k$$



III. Fotorezistor: ***Zəif işıq selini ölçür. İş prinspi yarımkeçiricinin müqavimətinin üzərinə düşən işıq selindən asılılığına əsaslanır.*** Üzərinə düşən işıq seli artdıqda yarımkeçiricidə sərbəst elektronların və deşiklərin sayı artır, müqaviməti azalır. Səthlərin emal keyfiyyətini müəyyənləşdirmək üçün istifadə olunur.



IV. Termistor: ***Temperaturu ölçür. İş prinsipi yarımkeçiricinin müqavimətinin temperaturundan asılı olmasına əsaslanır.*** Yanğına qarşı siqnal verilməsində istifadə olunur.



21.MAQNİT SAHƏSİ. MAQNİT İNDUKSİYASI

§21.1.Maqnit sahəsi. Cərəyanlı naqillərin maqnit qarşılıqlı təsiri. Maqnit sahəsinin qüvvə xətləri

Maqnit xassəli maddələr insanlara hələ çox qədim zamanlardan məlum idi. Qədim Çində yerin maqnit sahəsinin olduğunu və onun maqnit qütblərini təyin edən maqnit xassəli cihaz – kompas kəşf etdilər. Maqnit xəssələrini uzun müddət özündə saxlayan maddələr sabit maqnitlər adlanır. Maqnit xassəli maddələr iki cürdür: *təbii maqnitlər (məsələn, dəmir filizi – maqnetit) və süni maqnitlər.*



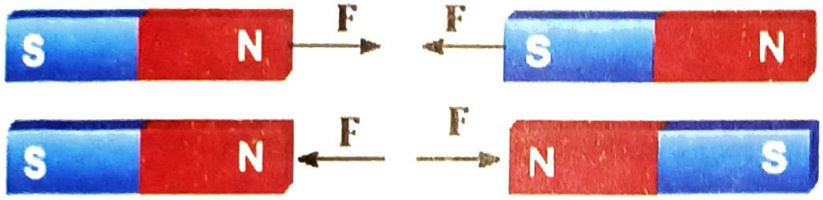
Təbii maqnit

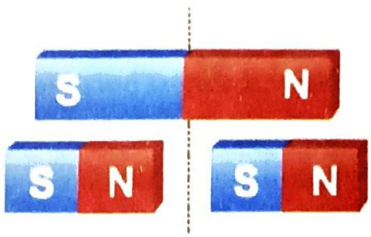


Süni maqnit

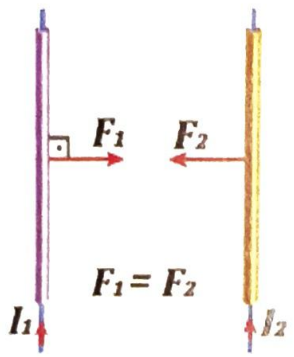
- ***Sabit maqnitin əsas xassələri:***

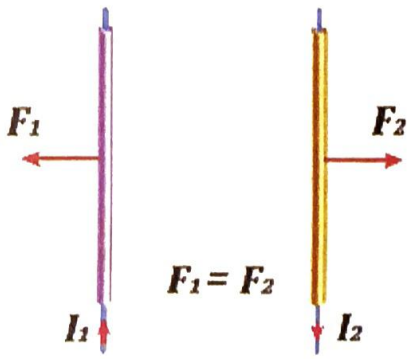
1. Hər bir maqnitin maqnit təsiri daha güclü olan iki qütbü var: ***şimal (N)*** *və* ***cənub (S)***
2. Müxtəlif adlı qütblər bir-birini cəzb edir, eyni adlı qütblər isə bir-birini itələyir
3. Yalnız bir qütbdən ibarət maqnit almaq mümkün deyil





Təcrübələrlə müəyyən edilmişdir ki, elektrik yüklərinin hərəkət etdiyi bütün hallarda bu yüklərin ətrafında maqnit sahəsi yaranır. Deməli, cərəyanlı naqilləri əhatə edən fəzada da maqnit sahəsi yaranır. 1820-ci ildə A. Amper iki paralel cərəyanlı naqilin sabit maqnitlər kimi qarşılıqlı təsirini aşkar etdi. Naqillərdən axan cərəyanlar eyni istiqamətdə olduqda onlar arasında cəzbetmə qüvvələri, əks istiqamətdə olduqda isə dəfetmə qüvvələri meydana çıxır.



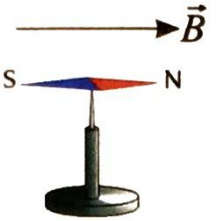


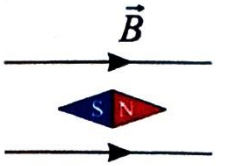
- ***Cərəyanlı naqillər arasında qarşılıqlı təsir maqnit qarşılıqlı təsirdir.*** Maqnit qarşılıqlı təsir qüvvəsinin qiyməti qarşılıqlı təsirdə olan cərəyanlı paralel naqillərdəki cərəyan şiddətindən (I), naqillərin uzunluğundan (ℓ) və onlar arasındakı məsafədən (r) asılıdır:

$$F_m \sim \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot \ell}{r}$$

- ***Maqnit sahəsi – hərəkətdə olan elektrik yüklərinin yaratdığı materiya növüdür.***
- ***Maqnit sahəsinin qüvvə xarakteristikası $\vec{B}$ maqnit induksiya vektorudur.***
- ***Maqnit induksiya vektorunun istiqaməti maqnit əqrəbi vasitəsilə təyin edilir.***
- ***Maqnit əqrəbinin şimal qütbü verilmiş nöqtədə maqnit induksiya vektorunun istiqamətini göstərir.***

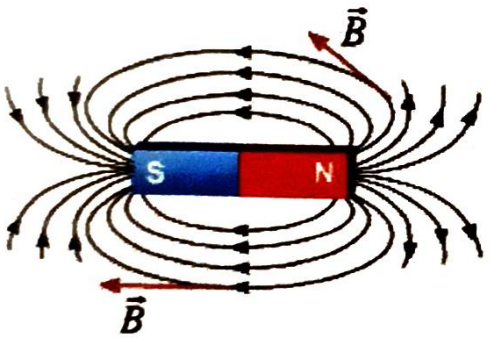


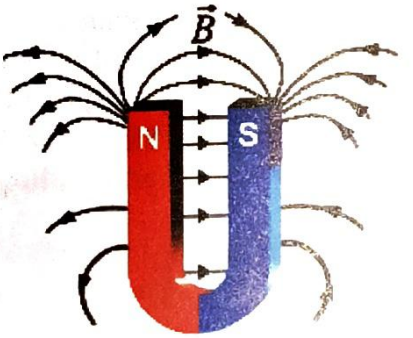


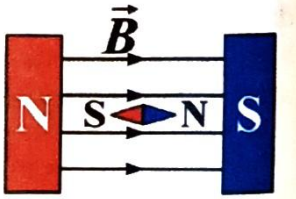


❖ Maqnit sahəsi də, elektrik sahəsi kimi qüvvə xətləri və ya induksiya xətləri ilə təsvir olunur

- *Maqnit qüvvə xətləri elə xətlərə deyilir ki, onların hər bir nöqtəsinə çəkilən toxunan həmin nöqtədə $\vec{B}$ maqnit indusiya vektorunun üzərinə düşsün.*
- *Elektrostatik sahədən fərqli olaraq, maqnit sahəsinin qüvvə xətlərinin başlanğıcı və sonu yoxdur, onlar qapalı xətlərdir.*
- *Qüvvə xətləri qapalı olan sahəyə burulğanlı sahə deyilir.*
- *Maqnit sahəsi burulğanlı sahədir.*
- *Düz maqnit qüvvə xətləri şimal qütbündən çıxır və cənub qütbünə daxil olur.*
- *Maqnitin daxilində isə, qüvvə xətləri cənub qütbündən şimal qütbünə doğru istiqamətlənmişdir.*



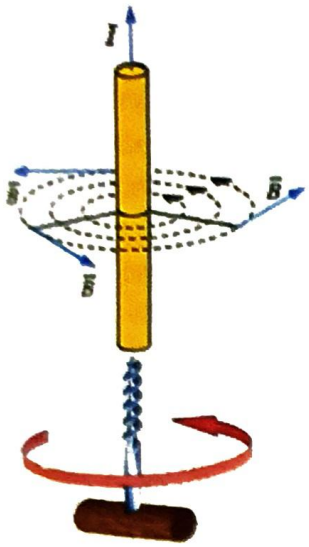


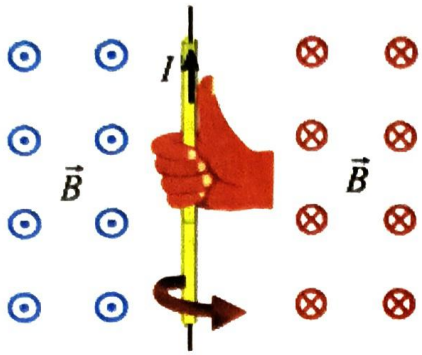


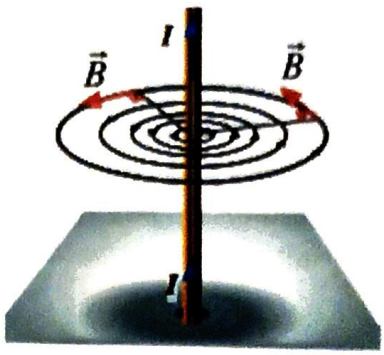
❖ Düz naqilin maqnit sahəsinin qüvvə xətləri

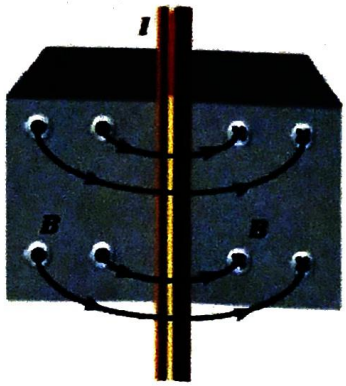
Cərəyanlı naqilin yaratdığı maqnit sahəsinin qüvvə xətlərinin istiqaməti *sağ yivli burğu qaydası* və ya *sağ əl qaydası* ilə təyin olunur.

- ***Sağ yivli burğu qaydası:*** Burğunun irəliləmə hərəkəti naqildəki cərəyanın istiqamətində olarsa, onun dəstəyini fırlanma istiqaməti maqnit qüvvə xətlərinin istiqamətini göstərəcəkdir.
- ***Sağ əl qaydası:*** Fikrən cərəyanlı düz naqil sağ əllə elə tutulur ki, baş barmaq cərəyanın istiqamətini göstərsin. Bu halda bükülmüş dörd barmaq cərəyanın maqnit sahəsinin induksiya xətlərinin istiqamətində olacaq.









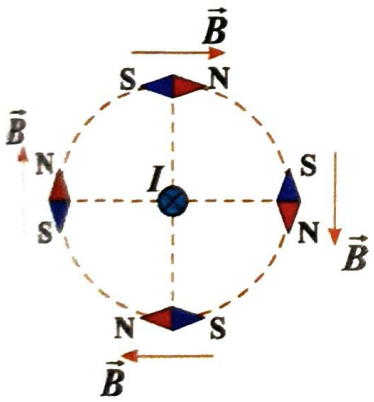
⊗ *İşarəsi maqnit induksiya vektorunun* $(\vec{B})$ *istiqamətinin perpendikulyar istiqamətdə bizdən şəkil müstəvisinə doğru olduğunu göstərir.*

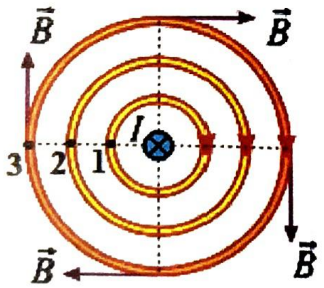
⊙ *İşarəsi maqnit induksiya vektorunun* $(\vec{B})$ *istiqamətinin perpendikulyar istiqamətdə şəkil müstəvisindən bizə doğru olduğunu göstərir.*

- *Maqnit əqrəbi ilə maqnit induksiya vektorunun istiqamətinin tapılması*

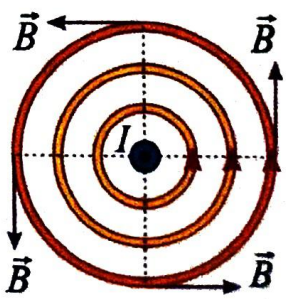
⊗ *Naqildəki cərəyan bizdən perpendikulyar istiqamətdə şəkil müstəvisinə doğru axır.*

⊙ *Naqildəki cərəyan şəkil müstəvisindən perpendikulyar istiqamətində bizə doğru axır.*





$B_1 > B_2 > B_3$

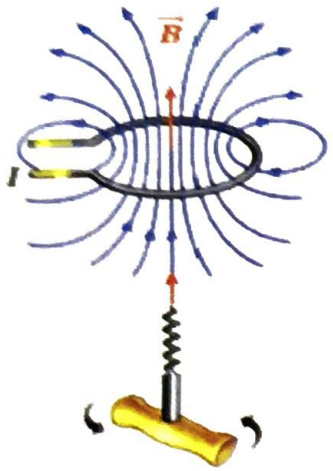


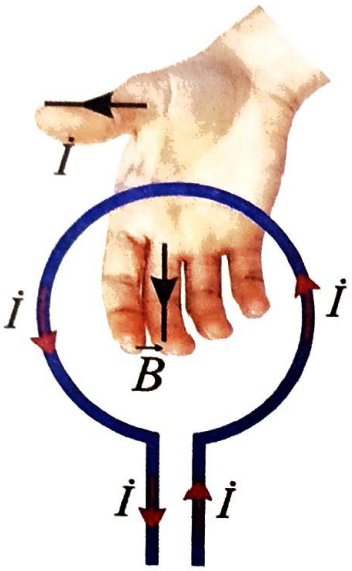
- *Düzxətli sonsuz uzun naqilin yaratdığı maqnit sahəsinin induksiyası* $(\vec{B})$ *naqildən axan cərəyan şiddəti* (I) *ilə düz, cərəyanlı naqil ilə sahəni təyin etdiyimiz nöqtə arasındakı məsafə* (r) *ilə tərs mütənasibdir.*

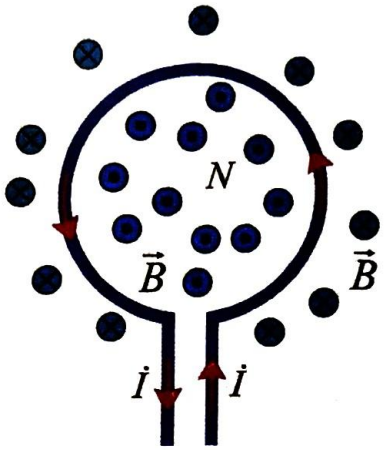
$$B \sim I \qquad B \sim \frac{1}{r}$$

❖ Dairəvi cərəyanın maqnit sahəsinin qüvvə xətləri

- **Dairəvi cərəyan üçün sağ yivli burğu qaydası:** *burğunun dəstəyini dairəvi cərəyan istiqamətində burduqda burğunun irəliləmə hərəkətinin istiqaməti dairəvi cərəyanın daxilində maqnit sahəsinin induksiyasının istiqamətini göstərəcəkdir.*
- **Dairəvi cərəyan üçün sağ əl qaydası:** *fikrən dairəvi cərəyanın ixtiyari hissəsi sağ əllə elə tutulur ki, baş barmaq həmin hissədə cərəyanın istiqamətini göstərsin, bu halda bükülmüş dörd barmaq həmin hissədə cərəyanın maqnit saha induksiyasının istiqamətində olacaqdır.*

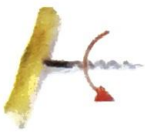


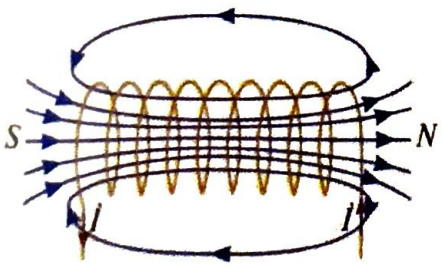


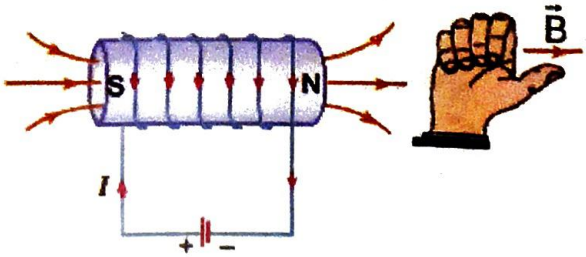


❖ Cərəyanlı sarğacın maqnit sahəsinin qüvvə xətləri

- **Cərəyanlı sarğac üçün sağ yivli burğu qaydası:** *burğunun dəstəyini sarğacdakı cərəyan istiqamətində burduqda, burğunun irəliləmə hərəkətinin istiqaməti sarğacın daxilində maqnit sahəsinin induksiya xətlərinin istiqamətini göstərəcəkdir.*
- **Cərəyanlı sarğac üçün sağ əl qaydası:** *sarğac sağ əllə elə tutulur ki, bükülən dörd barmaq sarğılardakı cərəyan istiqamətində olsun, bu halda açılan baş barmaq sarğacın daxilində maqnit sahəsinin induksiya xətlərinin istiqamətini göstərəcəkdir.*



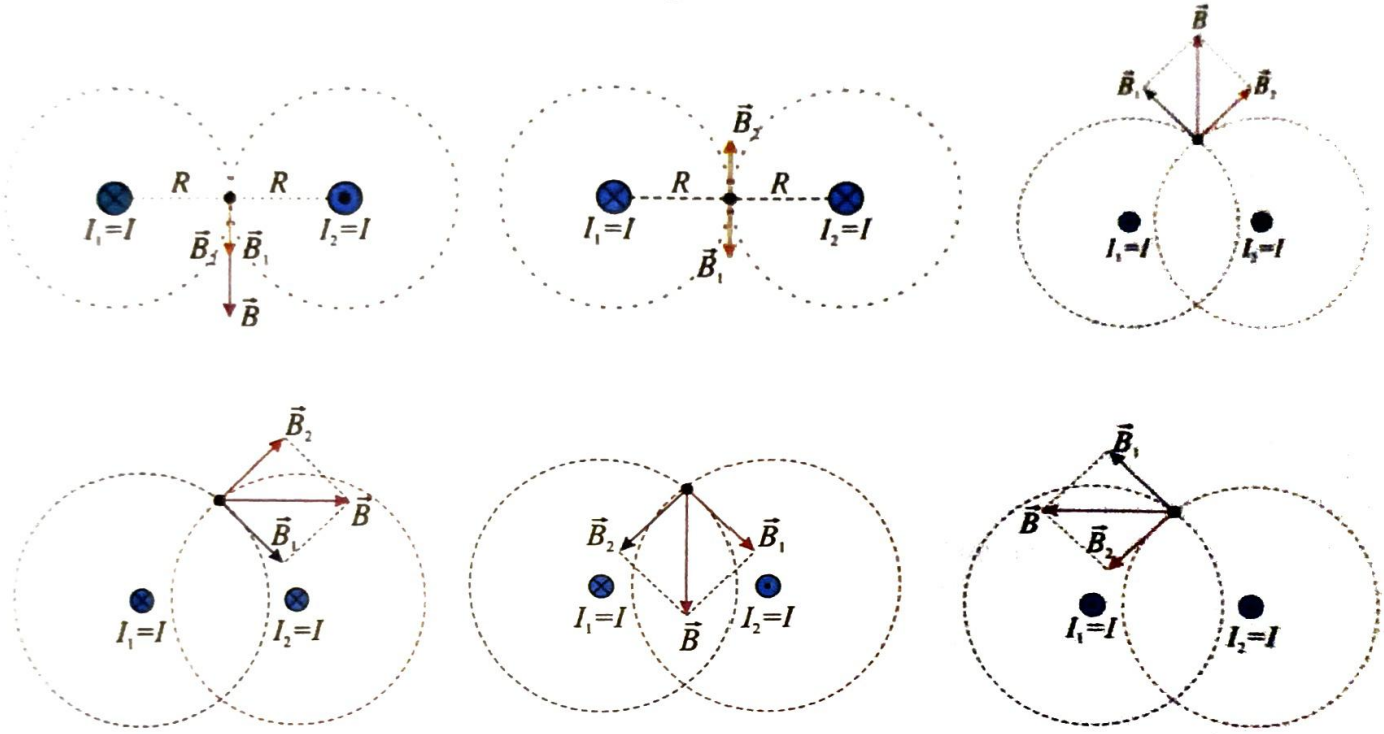




Maqnit sahələrinin superpozisiya (toplanma) prinsipi

Fəzanın verilmiş nöqtəsindən bir neçə cərəyanın yaratdığı maqnit sahəsinin induksiya vektoru, ayrı-ayrı cərəyanların yaratdığı maqnit induksiya vektorlarının cəminə bərabərdir.

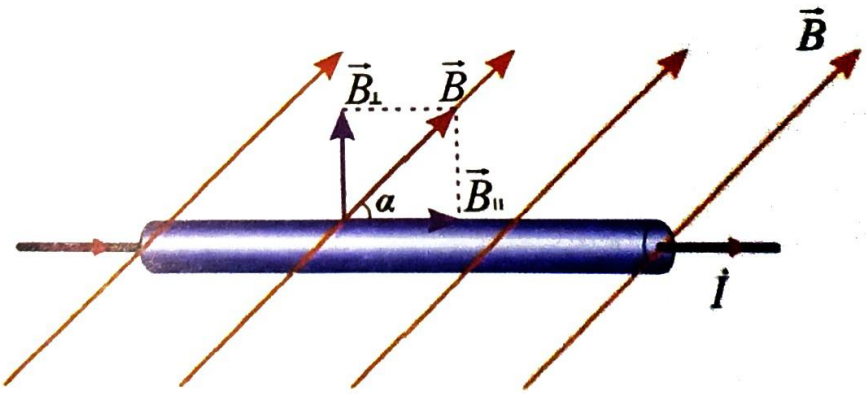
$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \ldots + \vec{B}_n$$



§21.2.Amper qüvvəsi. Maqnit induksiya vektorunun modulu

Maqnit sahəsi tərəfindən cərəyanlı naqilə təsir edən qüvvə Amper qüvvəsi adlanır. Amper qüvvəsinin modulu:

$$F_A = I B_\perp l = I B l \sin\alpha \qquad B_\perp = B \sin\alpha$$



Burada, ***I***- naqildən axan cərəyan şiddəti, ***B*** - maqnit induksiya vektorunun modulu, $B_\perp$ - maqnit induksiya vektorunun naqilə perpendikulyar toplananı, $B_\parallel$ -maqnit induksiya vektrounun naqilə paralel toplananı, ***l***-naqilin maqnit sahəsində olan hissəsinin (aktiv hissəsinin) uzunluğu, α - naqildəki cərəyanın istiqaməti ilə maqnit induksiya vektoru arasında qalan bucaqdır.

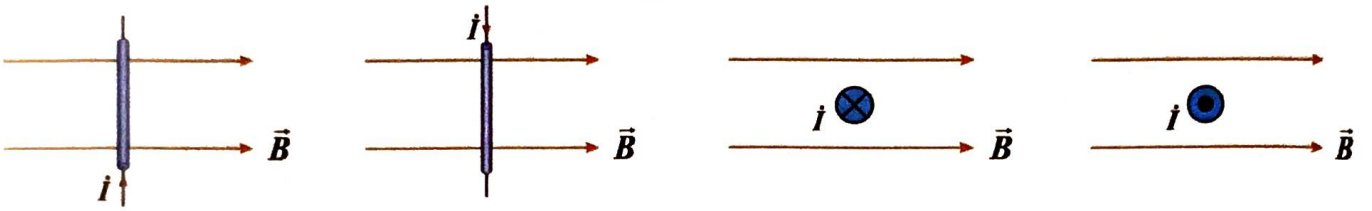
- *Əgər $\alpha=0^0$ və ya $\alpha=180^0$ olarsa, yəni naqil induksiya xətlərinə paralel yerləşərsə, ona təsir edən Amper qüvvəsi sıfıra bərabər olar:*

$F_A = 0$



- *Əgər $\alpha=90^0$ olarsa, yəni naqil induksiya xətlərinə perpendikulyar yerləşərsə, ona təsir edən Amper qüvvəsi maksimum olar:*

$$F_{A,\max} = IBl$$



Qeyd: ***Deməli, maqnit induksiya vektorunun naqilə paralel toplananı $B_{//}$ – cərəyanlı naqilə heç bir təsir göstərmir $F_A = 0$. Amper qüvvəsinin qiyməti maqnit induksiya vektorunun naqilə perpendikulyar toplananından $B_{\perp}$ – asılıdır.***

§21.3.Maqnit induksiya vektorunun modulu

Cərəyanlı naqilə maqnit sahəsi tərəfindən təsir edən maksimal qüvvənin modulunun, cərəyan şiddəti ilə naqilin uzunluğu hasilinə nisbəti ilə ölçülən fiziki ***kəmiyyətə maqnit induksiya vektorunun*** *modulu deyilir:*

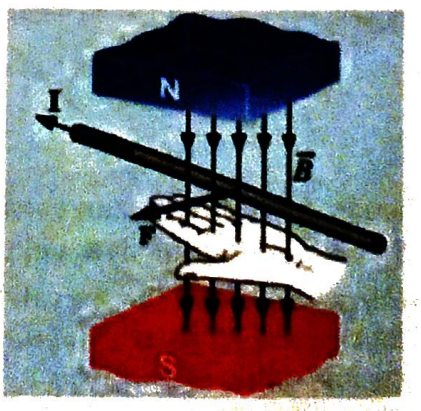
$$B = \frac{F_m}{I \cdot l} \qquad \text{Vahidi: } [B] = 1Tl\,(Tesla) \qquad 1Tl = 1\frac{N}{A \cdot m} = 1\frac{kq}{A \cdot san^2}$$

Burada I – cərəyan şiddəti, l – naqilin maqnit sahəsində yerləşmiş hissəsinin uzunluğu (aktiv uzunluq), F_m – maqnit sahəsi tərəfindən naqilə təsir edən maksimal qüvvənin moduludur. $I=1A$, $l=1m$ olduqda, $B=F_m$ olar. Yəni, maqnit induksiya vektorunun modulu ədədi qiymətcə $1A$ cərəyan şiddəti keçən naqilin $1m$ uzunluqlu parçasına maqnit sahəsi tərəfindən təsir edən maksimal qüvvəyə bərabərdir.

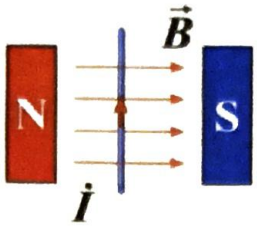
Qeyd: ***Düzxətli sonsuz uzun cərəyanlı naqilin yaratdığı maqnit sahəsinin induksiyası (B) naqildən axan cərəyan şiddəti ilə düz (I), cərəyanlı naqil ilə sahəni təyin etdiyimiz nöqtə arasındakı məsafə ilə (r) tərs mütənasibdir.***

- ***Amper qüvvəsi üçün sol əl qaydası:***

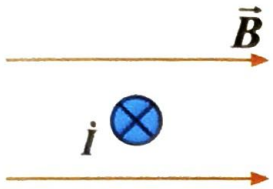
Sol əli maqnit sahəsində elə yerləşdirmək lazımdır ki, maqnit induksiya xətləri ovuca daxil olsun və uzadılmış dörd barmaq cərəyanın istiqamətində yönəlsin. Bu zaman 90^0 açılmış baş barmaq Amper qüvvəsinin istiqamətini göstərir.



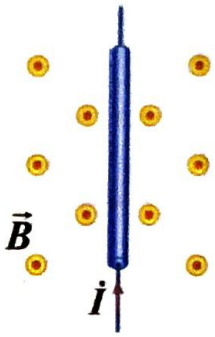
- ***Amper qüvvəsinin istiqamətinin tapılmasına aid nümunə.***



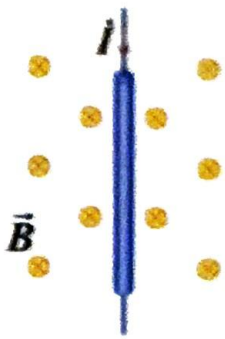
Cavab : Bizdən şəkil müstəvisinə doğru və ya $F_A \otimes$



Cavab: $F_A \downarrow$



Cavab: $F_A \rightarrow$



Cavab: $F_A \rightarrow$

- *Ampermetr, voltmetr, ucadandanışan, elektrik mühərikinin iş prinsipi Amper qüvvəsinə və ya maqnit sahəsinin cərəyanlı çərçivəyə göstərdiyi təsirə əsaslanır.*
- *Naqil induksiya xətlərinə perpendikulyar istiqamətdə s qədər yerdəyişmə icra edərsə onda Amper qüvvəsinin gördüyü iş:*

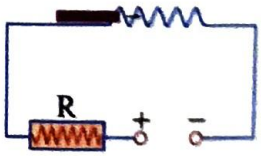
$$A = F_A \cdot s = İ\,B\,l\,s$$

§21.4.Maddənin maqnit xassələri. Maqnit nüfuzluğu

Bircins mühitdə maqnit induksiya vektorunun modulunun (B), vakuumdakı maqnit induksiya vektrounun modulundan (B_0) neçə dəfə fərqləndiyini göstərən kəmiyyətə mühitin maqnit nüfuzluğu deyilir. *Sarğacın daxilinə maqnit nüfuzluğu μ olan ferromaqnit içlik daxil etdikdə həmin mühitdə maqnit induksiya vektorunun modulunun μ dəfə artar.*

$$\mu = \frac{B}{B_0}$$

μ – vahidsiz kəmiyyətdir



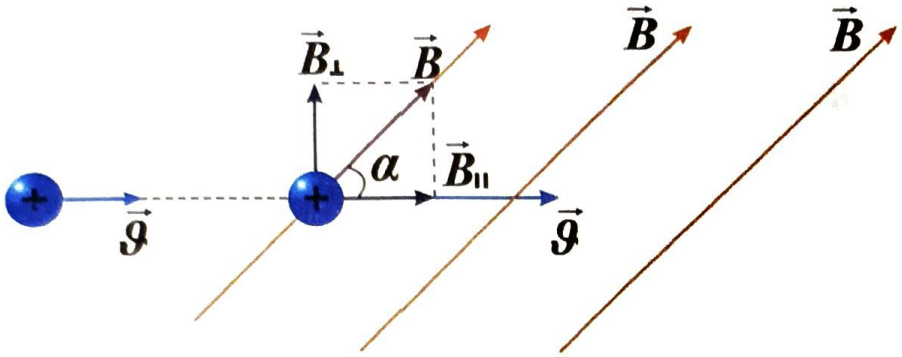
Maddələr maqnit nüfuzluğunun qiymətinə görə üç qismə bölünür:

1. ***Maqnit nüfuzluğu vahiddən kiçik olan maddələr diamaqnitlər adlanır ($\mu < 1$).*** Diamaqnitlərə misal olaraq Cu, Ag və s. göstərmək olar. Diamaqnitlərdə məxsusi maqnit sahəsi xarici sahənin əksinə yönəlir və onu cüzi miqdarda zəiflədir. ***2. Maqnit nüfuzluğu vahiddən cüzi böyük olan maddələr paramaqnitlər adlanır ($\mu > 1$).*** Paramaqnitlərə Al, Li və s. misal göstərmək olar. Paramaqnitlərdə məxsusi maqnit sahəsi xarici sahə ilə eyni istiqamətdə olur və onu cüzi miqdarda gücləndirir. Paramaqnitlər sabit maqnit tərəfindən zəif cəzb olunur. ***3.Maqnit nüfuzluğu vahiddən çox böyük olan maddələr ferromaqnitlər adlanır ($\mu >> 1$).*** Ferromaqnitlərə misal olaraq Fe, Ni və s. göstərmək olar. Ferromaqnitlərdə məxsusi maqnit sahəsi xarici sahə istiqamətində yönəlir və onu dəfələrlə gücləndirir. *Ferromaqnitlər üçün elə bir temperatur vardır ki, həmin temperaturdan yuxarı temperaturda onun ferromaqnit xassəsi yox olur. Bu temperatur* ***Küri temperaturu*** *adlanır.* Dəmir üçün Küri temperaturu 769^0C-dir. Temperaturu bu qiymətdən yuxarı olarsa, dəmir ferromaqnit xassəsini itirərək paramaqnitə çevrilir.

§21.5.Bircins maqnit sahəsində yüklü zərrəciyin hərəkəti

Maqnit sahəsinin hərəkət edən yüklü zərrəciyə göstərdiyi təsir qüvvəsi ***Lorens qüvvəsi*** *adlanır.*

$$F_l = q B_\perp \vartheta = q \vartheta B \sin\alpha \qquad B_\perp = B\sin\alpha$$

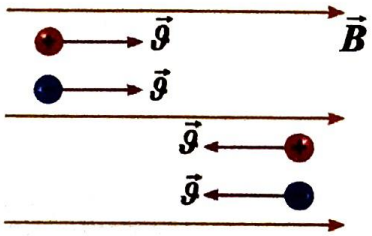


Burada, q*- zərrəciyin yükünün modulu,* B*-maqnit induksiya vektorunun modulu,* $B_\perp$*- maqnit induksiya vektorunun zərrəciyin sürətinə perpendikulyar toplananı,* $B_{//}$*- maqnit induksiya vektorunun zərrəciyin sürətinə paralel toplananı,* ϑ*-zərrəciyin sürətinin modulu,* α*- zərrəciyinin hərəkət istiqaməti (sürəti) ilə maqnit induksiya vektoru arasındakı bucaqdır.*

❖ Xüsusi hallar:

- Yüklü zərrəcik maqnit induksiya xətləri istiqamətində ($\alpha = 0^0$) və ya induksiya xətlərinin əksinə ($\alpha = 180^0$) bircins maqnit sahəsinə daxil olur. Bu halda $\sin 0^0 = 0$ və ya $\sin 180^0 = 0$ olduğundan, zərrəciyə qüvvə təsir etmir: $F_L = 0$
  Bu halda yüklü zərrəcik sahəyə daxil olduğu sürətlə düzxətli bərabərsürətli hərəkət edir.

$F_L = 0$



- *Yüklü zərrəcik maqnit induksiya xətlərinə perpendikulyar istiqamətdə bircins maqnit sahəsinə daxil olur* ($\vartheta \perp B$). *Bu halda* $\alpha = 90^0$ *və* $\sin 90^0 = 1$ olduğundan

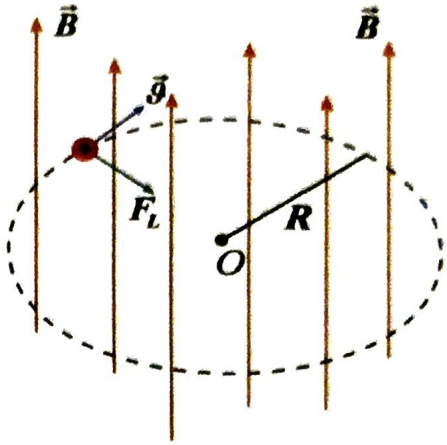
$$F_L = |q| \vartheta B \quad \text{olur.}$$

Qeyd:

- ***Maqnit induksiya vektorunun zərrəciyin sürətinə paralel toplananı*** $B_{//}$ ***– yüklü zərrəciyə heç bir təsir göstərmir*** $F_L = 0$.
- ***Lorens qüvvəsinin qiyməti maqnit induksiya vektorunun zərrəciyin sürətinə perpendikulyar toplananından*** $B_\perp$ ***– asılıdır.***

- *Lorens qüvvəsinin təsiri ilə zərrəciyin yalnız hərəkət istiqaməti dəyişir və çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edir. Belə hərəkətdə* **mərkəzəqaçma təcili:**

$a = \frac{\vartheta^2}{R}$ burada R – çevrənin radiusudur.



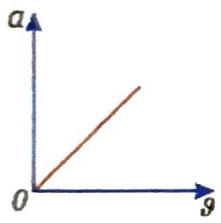
Nyutonun ikinci qanununa əsasən yaza bilərik:

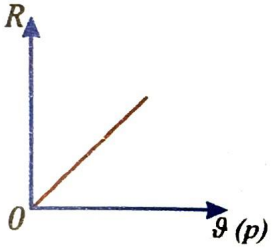
$$ma = |q|\vartheta B \qquad m\frac{\vartheta^2}{R} = |q|\vartheta B$$

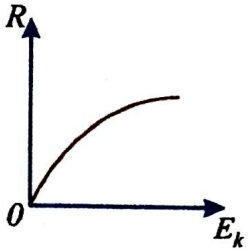
- **Yüklü zərrəciyin təcili:** $a = \frac{|q|\vartheta B}{m}$

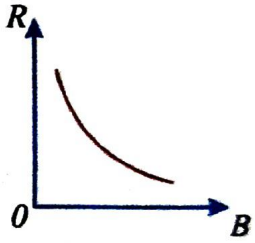
- **Çevrənin radiusu:** $R = \frac{m\vartheta}{|q|B} = \frac{p}{|q|B} = \frac{\sqrt{2mE_k}}{|q|B}$ **Yüklü zərrəciyin sürəti:** $\vartheta = \frac{|q|BR}{m}$

- **Yüklü zərrəciyin impulsu:** $p = |q|BR$





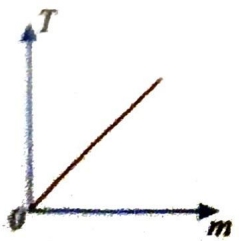


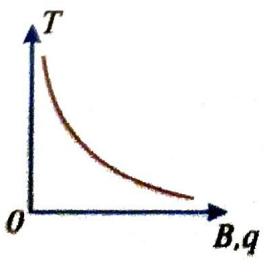


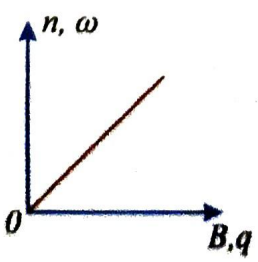
- **Yüklü zərrəciyin fırlanma periodu:** $T = \frac{2\pi m}{|q|B}$

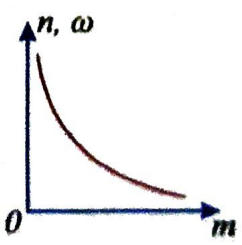
- **Yüklü zərrəciyin fırlanma tezliyi və bucaq sürəti:** $n = \frac{|q|B}{2\pi m}$ $\omega = \frac{|q|B}{m}$

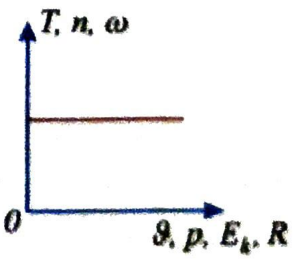
Zərrəciyin periodu və tezliyi zərrəciyin sürətindən, kinetik enerjisindən, impulsundan, cızdığı çevrənin radiusundan asılı deyil.





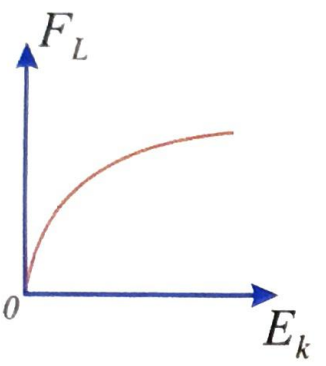


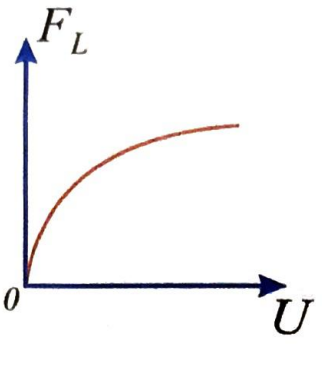




- *Lorens qüvvəsinin kinetik enerjidən və gərginlikdən asılılığı:*

$$F_L = q\vartheta B\sin\alpha = q\sqrt{\frac{2E_k}{m}}B\sin\alpha = q\sqrt{\frac{2qU}{m}}B\sin\alpha$$



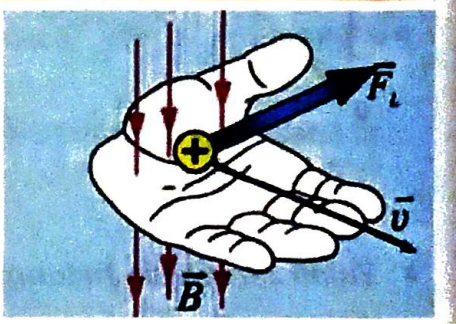


- *Maqnit sahəsində fırlanan zərrəciyin* ***kinetik enerjisi*** (E_k) *və* ***radiusu*** (R) *məlumdursa, ona təsir edən* ***Lorens qüvvəsi****:*

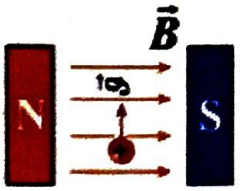
$$F_L = \frac{2E_k}{R}$$

• Lorens qüvvəsinin istiqamətinin təyin edilməsi:

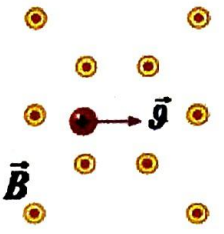
Lorens qüvvəsi üçün sol əl qaydası: *sol əli maqnit sahəsində elə tutmaq lazımdır ki, maqnit induksiya vektoru ovuca daxil olsun və açılan dörd barmaq müsbət yükün hərəkəti istiqamətində (mənfi yükün hərəkətinin əksinə) yönəlsin. Bu zaman 90° bucaq altında açılmış baş barmaq yükə təsir edən Lorens qüvvəsinin istiqamətini göstərəcək.*



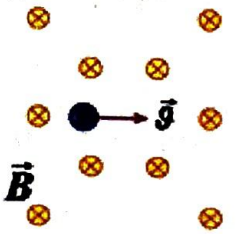
- ***Lorens qüvvəsinin istiqamətinin tapılmasına aid nümunə.***



Cavab: $F_L \otimes$



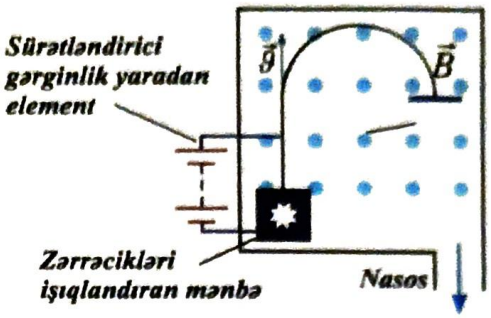
Cavab: $\downarrow F_L$



Cavab: $\downarrow F_L$

❖ Kütlə spektroqrafı

Zərrəciyin kütləsini təyin etmək məqsədi ilə istifadə olunan cihaz **"Kütlə spektroqrafı"** adlanır. İş prinsipi maqnit sahəsinin hərəkət edən yüklü zərrəciklərə təsirinə (Lorens qüvvəsinə) əsaslanır. Kütlə spektroqrafının iş prinsipi belədir: cihazın vakuum kamerası bircins maqnit sahəsində yerləşdirilir (onun induksiya vektoru şəkil müstəvisinə perpendikulyardır). Elektrik sahəsi ilə sürətləndirilən yüklü zərrəcik maqnit sahəsində qövs cızaraq fotolövhə üzərində iz qoyur. İzə görə qövsün radiusu ölçülür. Çevrənin radiusu xüsusi yükdən və sürətdən aslıdır.

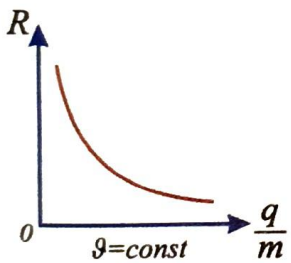


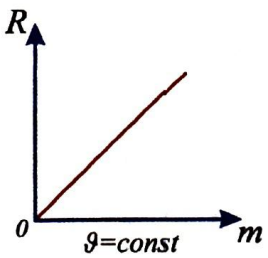
- **Xüsusi yükü böyük** olan zərrəciklər **kiçik radiusa malik olar:** $R = \dfrac{\vartheta}{\left|\dfrac{q}{m}\right| B}$ $(\vartheta = const)$

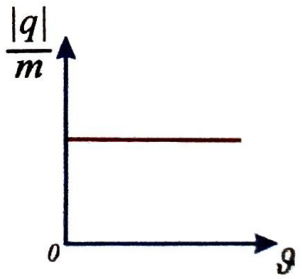
- Əgər təcrübə eyni yüklü zərrəciklərlə aparılarsa **kütləsi böyük** olan zərrəciklər böyük **radiusa malik olar:** $R = \dfrac{m\,\vartheta}{|q|\,B}$ $(\vartheta = const)$

- Kütlə spektroqrafı vasitəsilə zərrəciyin kütləsi $m = \dfrac{qBR}{\vartheta}$ düstürü ilə təyin edilir.

- Kütlə spektroqrafı vasitəsilə zərrəciyin xüsusi yükünü $\dfrac{|q|}{m} = \dfrac{\vartheta}{BR}$ düsturu ilə təyin edilir.







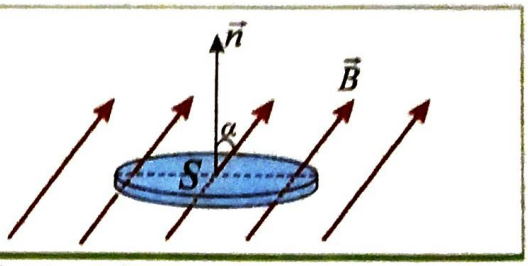
§22.ELEKTROMAQNİT İNDUKSİYASI. MAQNİT SAHƏSİNİN ENERJİSİ

§22.1.Maqnit seli

Bircins maqnit sahəsində qapalı kontur (çərçivə) yerləşdirilsə, bu konturun müstəvisindən müəyyən sayda maqnit induksiya xətləri keçər. Həmin induksiya xətlərinin sayı ilə mütənasib olan kəmiyyət ***maqnit seli*** *adlanır.* ***Maqnit seli*** *– maqnit induksiya vektorunun modulu konturun sahəsi və konturun normalı ilə induksiya vektoru arasında qalan bucağın kosinusu hasilinə bərabər kəmiyyətdir.*

$\Phi = BS\cos\alpha$

$[\Phi] = 1Vb = 1Tl \cdot m^2 = 1\dfrac{kq \cdot m^2}{A \cdot san^2}$

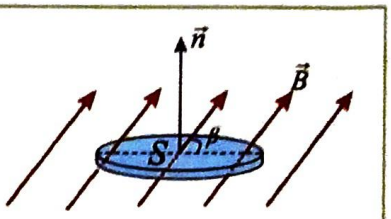


Burada B *– induksiya vektorunun modulu,* S *– konturun sahəsi,* α *– konturun normalı (kontura perpendikulyar vektor) ilə induksiya vektoru arasında qalan bucaqdır.*

Qeyd: *Əgər verilmiş bucaq* ***induksiya vektoru ilə konturun səthi*** *arasında qalan bucaq olarsa:* β *– konturun səhti ilə induksiya vektoru arasında qalan bucaqdır.*

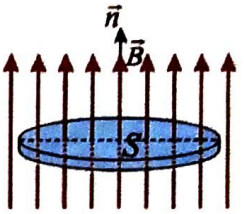
$\alpha = 90^0 - \beta$

$\Phi = BS\cos(90^0 - \beta)$

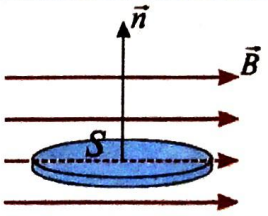


- *Əgər induksiya vektoru konturun normalarına paralel* $(\alpha = 0^0)$ *və ya konturun səthinə perpendikulyardırsa* $(\beta = 90^0)$*, o zaman səthdən keçən maqnit seli maksimum olur.*

$\Phi_{max} = B \cdot S \qquad S = \pi R^2$



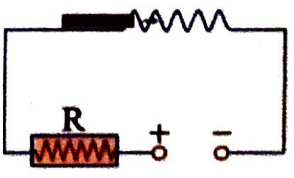
- *Əgər induksiya vektoru konturun normalına perpendikulyar* $(\alpha = 90^0)$ *və ya konturun səthinə paraleldirsə* $(\beta = 0^0)$*, o zaman səthdən keçən maqnit seli sıfır olur.* $\Phi = 0$



- *Əgər kontur* **N** *sarğıdan ibarət olarsa, ondan keçən maqnit seli:*

$\Phi = BSN$

- *Sarğacın daxilinə maqnit nüfuzluğu* μ *olan ferromaqnit içlik daxil etdikdə ondan keçən maqnit seli:* $\Phi = \mu\Phi_0 = \mu BSN$

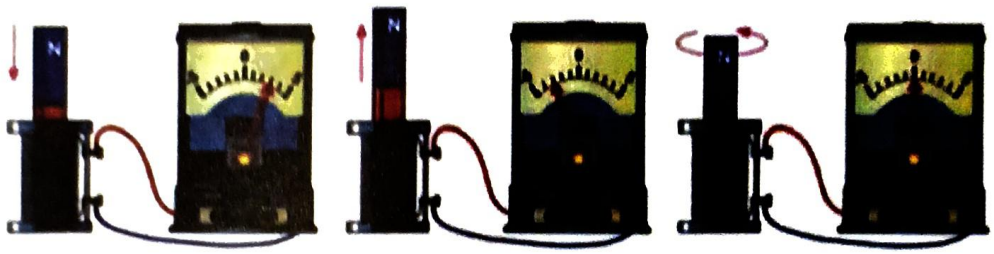


- *Maqnit seli* B, S, α *kəmiyyətlərindən biri hesabına dəyişə bilər:*

$\Delta\Phi = (B_2 - B_1)S\cos\alpha \qquad \Delta\Phi = B(S_2 - S_1)\cos\alpha \qquad \Delta\Phi = BS(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)$

§22.2.Elektromaqnit induksiya hadisəsi

1820-ci ildə H.Ersted təcrübi olaraq göstərdi ki, maqnit sahəsinin mənbəyi elektrik cərəyanıdır. Onun ardınca digər alimlər belə bir suala cavab verməyə cəhd etdilər: Əgər elektrik cərəyanı maqnit sahəsi yaradırsa, maqnit sahəsi də öz növbəsində elektrik cərəyanı yarada bilərmi? Yalnız 11 ildən sonra, 1831-ci ildə ingilis alimi Maykl Faradey bu suala cavab verə bildi. Faradey müəyyən etdi ki, qapalı dolaqda (konturda) yaranan elektrik cərəyanı yalnız dəyişən (artan və ya azalan) maqnit seli ilə yaradılır. Qalvonometr və ya ampermetrə birləşdirilən sarğaca sabit maqnit daxil etdikdə və çıxartdıqda sarğacın dolaqlarında induksiya cərəyanı yaranır. Maqnit sarğacın daxilində sükunətdə olarsa və ya fırladılarsa, cərəyan yaranmaz. Deməli, induksiya cərəyanının yaranmasına səbəb maqnit selinin dəyişməsidir.

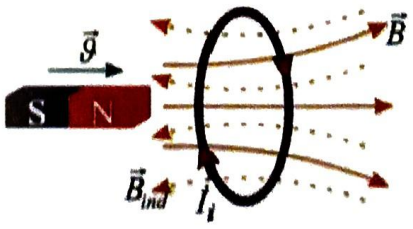


- *Keçirici konturla hüdudlanmış səthdən keçən maqnit selinin dəyişməsi nəticəsində konturda elektrik cərəyanının yaranması* ***elektromaqnit induksiyası hadisəsi*** *adlanır.Konturda yaranan cərəyan isə* ***induksiya cərəyanı*** *adlanır və yaranan induksiya cərəyanının istiqaməti Lens qaydası ilə müəyyən olunur.*

§22.3.İnduksiya cərəyanının istiqaməti. Lens qaydası

Rus fiziki ***Lens*** induksiya cərəyanının istiqamətini təyin etmək üçün aşağıdakı qaydanı vermişdir. ***İnduksiya cərəyanı elə istiqamətə yönəlir ki, onun yaratdığı maqnit sahəsi bu cərəyanı yaradan xarici maqnit sahəsinin ixtiyari dəyişməsinə əks-təsir göstərir.***

- Düz maqniti konturun içinə doğru hərəkət etdirək. Bu zaman induksiya cərəyanının maqnit induksiyası ($\vec{B}_{ind}$), xarici maqnit induksiyasının ($\vec{B}$) əksinə yönəlir. $\vec{B}_{ind}$-nın istiqamətini bildikdən sonra dairəvi cərəyanlar üçün sağ yivli burğu qaydası və ya sağ əl qaydası tətbiq etməklə konturda yaranan induksiya cərəyanının istiqamətini asanlıqla təyin etmək mümkündür. *(bax: səhifə 226)*

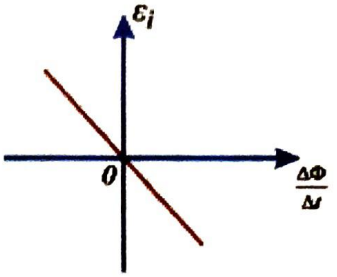


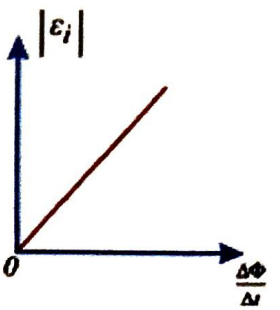
- Düz maqniti konturdan kənarlaşdıraq. Bu zaman induksiya cərəyanının maqnit induksiyası ($\vec{B}_{ind}$), xarici maqnit sahəsinin induksiyasının ($\vec{B}$) istiqamətinə yönələr.



- ***Elektromaqnit induksiya qanunu:*** *Qapalı konturda yaranan induksiya elektrik hərəkət qüvvəsi konturla hüdudlanmış səthdən keçən maqnit selinin dəyişmə sürəti ilə düz mütənasibdir.*

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'(t)$$

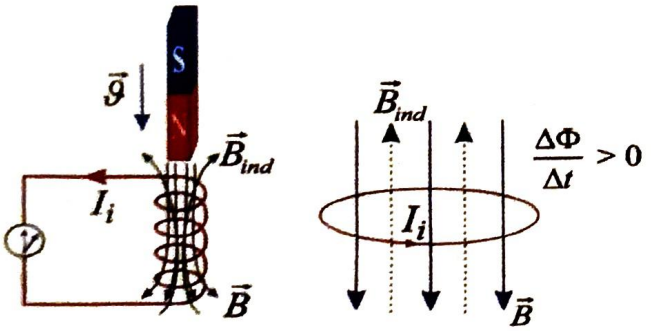




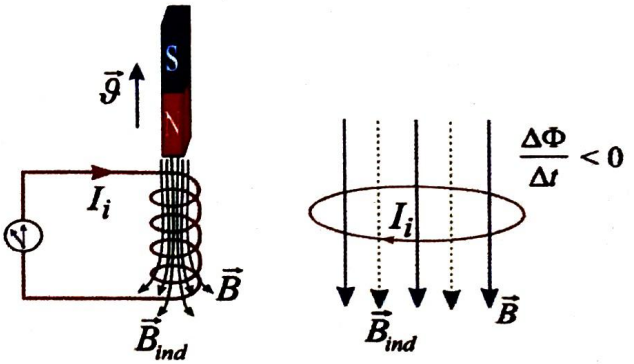
Burada, ε_i – induksiya EHQ olub
BS-də vahidi: $[\varepsilon_i] = 1V\ (Volt)$

$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ *vahid zamanda konturdan keçən maqnit selinin dəyişməsi olub,* ***maqnit selinin dəyişmə sürəti*** *adlanır. Vahidi:* $\left[\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right] = 1\frac{Vb}{san} = 1V$

- Əgər kontur N – sarğıdan ibarətdirsə, $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\cdot N$



$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0$; $\varepsilon_i < 0$



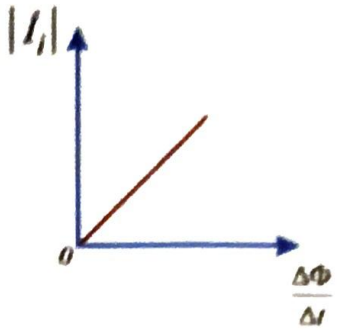
$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0$; $\varepsilon_i > 0$

Qeyd: *Mənfi işarəsi onu göstərir ki, induksiya cərəyanının yaratdığı maqnit sahəsi bu cərəyanı yaradan xarici maqnit selinin dəyişməsinə manə olur. Yəni, Lens qaydasına uyğun olaraq yazılmışdır.*

Qeyd: *Transformatorun, elektrodinamik mikrofonun iş prinsipi elektromaqnit induksiya hadisəsinə əsaslanır.*

- Əgər konturun müqaviməti R olarsa, bu konturda yaranan induksiya cərəyan şiddəti Om qanununa əsasən müəyyən olunur.

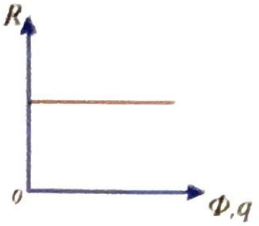
$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{1}{R}\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \frac{1}{R}|\Phi'(t)|$$



- Naqilin en kəsiyindən Δt müddətində keçən yükün miqdarı:

$$\Delta\Phi = I_i R t = q \cdot R \qquad q = \frac{|\Delta\Phi|}{R} \qquad R = \frac{\Delta\Phi}{q}$$

$$\Delta\Phi = q \cdot R = eN \cdot R$$



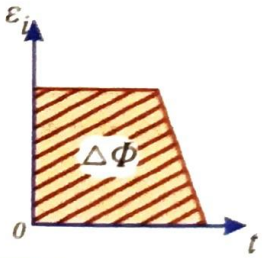
Test : *Müqaviməti 8 Om olan qapalı konturdan keçən maqnit seli zamana görə* $\Phi = 50 - 2t^2$ *qanunu ilə dəyişir. 10-cu saniyənin sonunda konturda yaranan induksiya EHQ-nı və induksiya cərəyan şiddətini hesablayın.*

$$\varepsilon_i = -\Phi'(t) = -(50 - 2t^2)' = 4t = 4 \cdot 10 = 40V$$

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{40}{8} = 5A$$

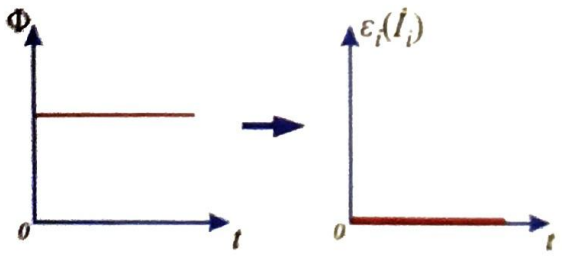
- Konturda yaranan induksiya EHQ-nin zamandan asılılıq qrafikinin altında yaranan fiqurun sahəsi ədədi qiymətcə konturu kəsən maqnit selinin dəyişməsinin moduluna bərabərdir.

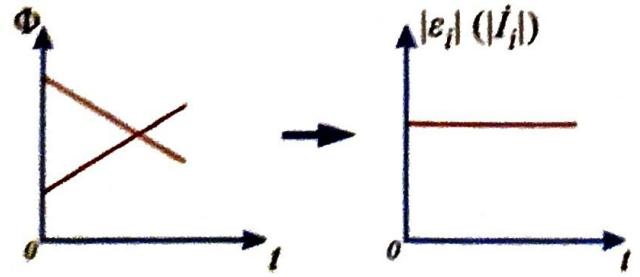
$$|\Delta\Phi| = S_{fiqur}$$

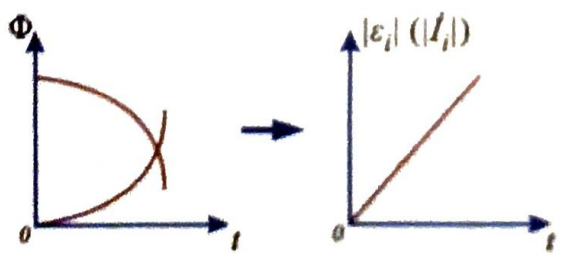


$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'(t) \qquad \varepsilon_i \sim \Phi'(t)$$

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R} = \frac{1}{R}\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = \frac{1}{R}|\Phi'(t)| \qquad I_i \sim \Phi'(t)$$

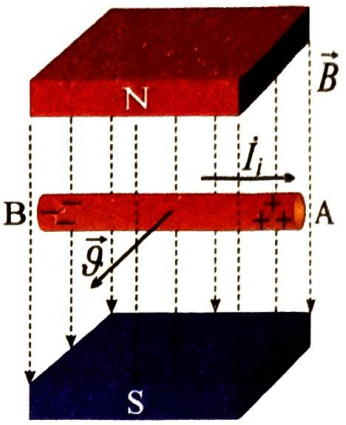


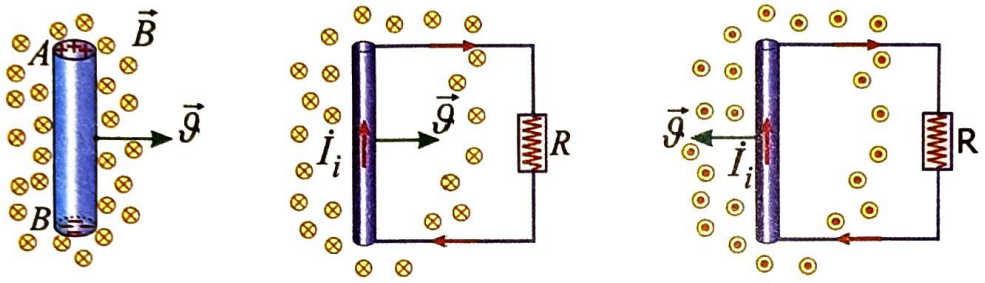




§22.4. Maqnit sahəsində hərəkət edən naqildə yaranan induksiya elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ)

Fərz edək ki, bircins maqnit sahəsində qüvvə xətlərinə perpendikulyar istiqamətdə l uzunluqlu naqil ϑ sürəti ilə hərəkət edir. Naqillə birlikdə hərəkət edən müsbət ionlara və elektronlara maqnit sahəsi tərəfindən Lorens qüvvəsi təsir göstərir. Lorens qüvvəsinin təsiri ilə sərbəst elektronlar naqilin B ucuna yığılır. Elektronların azlığından naqilin A ucu müsbət yüklənər. *Hərəkət edən naqildə yaranan induksiya cərəyanının istiqaməti* ***sağ əl qaydası*** *ilə təyin olunur.* ***Sağ əl elə tutulur ki, maqnit qüvvə xətləri ovucumuza daxil olsun, 90^0 açılmış baş barmaq naqilin hərəkət istiqamətini göstərsin, onda uzadılmış dörd barmaq induksiya cərəyanının istiqamətini göstərir.***

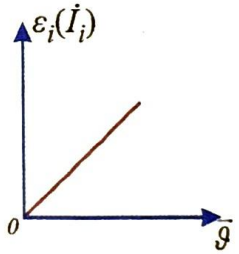




Deməli, maqnit sahəsində hərəkət edən naqildə EHQ yaranmasının səbəbi ondakı elektronlara təsir edən Lorens qüvvəsidir. Naqildə yaranan induksiya EHQ və görülən iş:

$$\varepsilon_i = B\vartheta l \cdot \sin\alpha \qquad A = qB\vartheta l \cdot \sin\alpha$$

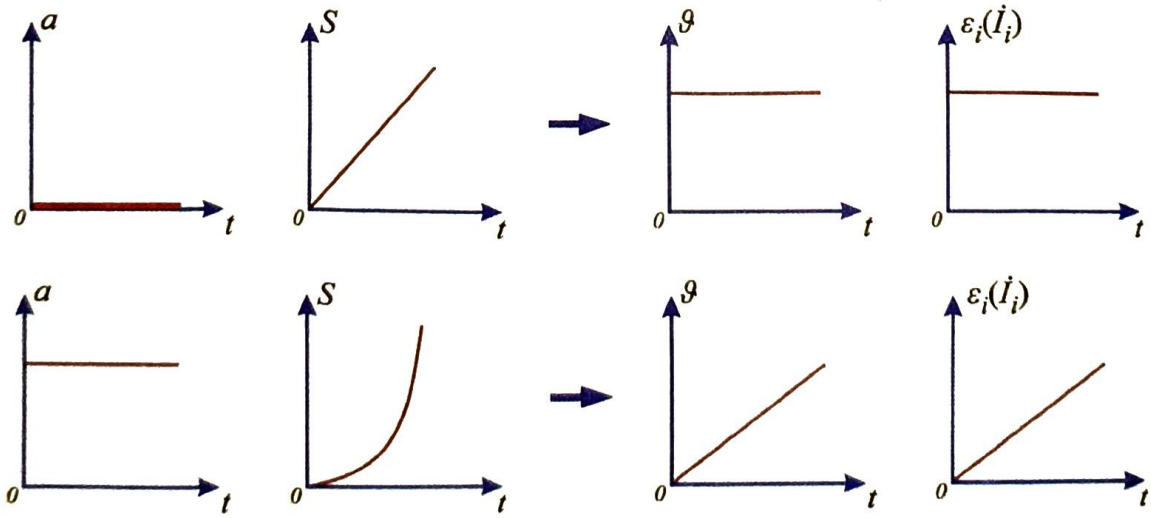
α – naqilin hərəkət istiqaməti ilə induksiya vektoru arasında qalan bucaqdır. $\alpha = 90^0$ olarsa, $\sin 90^0 = 1$



$$\varepsilon_i = B\vartheta l$$

Bu zaman naqil dövrəsindən axan cərəyan şiddəti: $\dot{I}_i = \dfrac{\varepsilon_i}{R} = \dfrac{B\vartheta l}{R}$

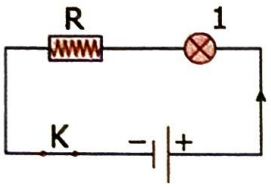
$$\varepsilon_i \sim \vartheta \quad \dot{I}_i \sim \vartheta$$

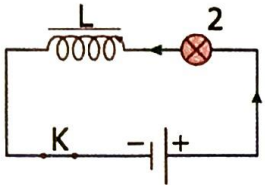


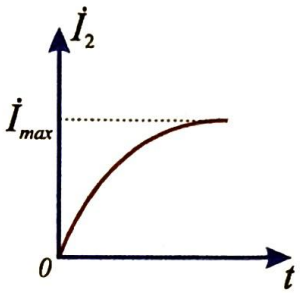
§22.5.Öz-özünə induksiya hadisəsi. İnduktivlik

Sarğacdan keçən cərəyan şiddəti dəyişərsə, onun yaratdığı maqnit seli də dəyişər. Maqnit selinin dəyişməsi, öz növbəsində həmin sarğacda induksiya elektrik hərəkət qüvvəsinin yaranmasına səbəb olar. ***Keçirici konturda cərəyan şiddətinin dəyişməsi nəticəsində induksiya elektrik hərəkət qüvvəsinin yaranması öz-özünə induksiya hadisəsi, yaranan elektrik hərəkət qüvvəsi isə öz-özünə induksiya elektrik hərəkət qüvvəsi adlanır.***

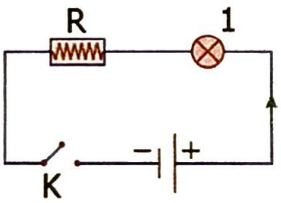
Həmin hadisəni təcrübədə müşahidə edək: K açarını eyni anda qapadıqda 1 lampası dərhal parlaq közərər, 2 lampasının közərməsi isə bir qədər ləngiyir. Bu onunla izah olunur ki, 1 lampasında cərəyan yaranmasına mane olan səbəb olmadığından cərəyan öz maksimal qiymətinə ani çatır. 2 lampası isə sarğaca ardıcıl qoşulduğundan L sarğacında *öz-özünə induksiya elektrik hərəkət qüvvəsi* yaranır ki, bu da Lens qaydasına uyğun olaraq, cərəyan şiddətinin artmasına mane olur. Nəticədə 2 lampasında cərəyan şiddəti öz maksimal qiymətini dərhal yox, tədricən, müəyyən zamandan sonra alır.

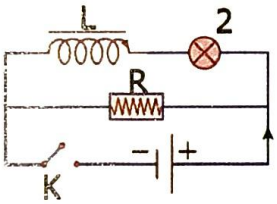


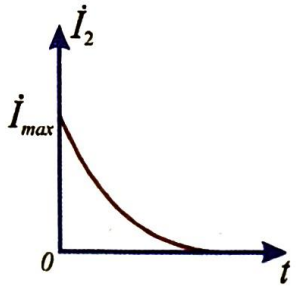




K açarını açdıqda isə 1 lampası ani, 2 lampası müəyyən gecikmə ilə sönür. Bunun səbəbi odur ki, 1 lampasında cərəyanın azalmasına mane olan səbəb olmadığından cərəyan öz sıfır qiymətinə ani çatır. 2 lampası isə sarğaca ardıcıl qoşulduğundan bu lampadan keçən cərəyan şiddəti azaldıqda Lens qaydasına görə L sarğacında dövrədəki cərəyan istiqamətində yönələn öz-özünə induksiya cərəyanı yaranır. Bu induksiya cərəyanı da 2 lampasının ani kəsilməsinə mane olur.



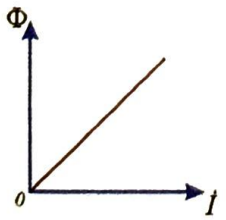


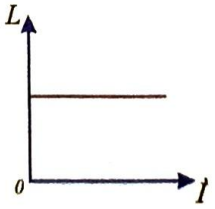


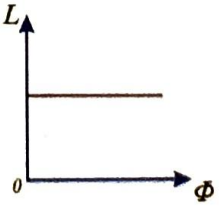
Deyilənlərdən aydın olur ki, konturda yaranan məxsusi maqnit seli həmin konturdan keçən cərəyan şiddəti ilə düz mütənasibdir.

$$\Phi = L\dot{I} \qquad L = \frac{\Phi}{\dot{I}} \qquad [L] = 1\,Hn = 1\frac{Vb}{A}$$

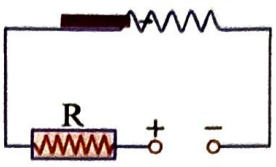
Burada L – mütənasiblik əmsalı olub sarğacın induktivliyi adlanır. İnduktivlik skalyar kəmiyyətdir və BS-də vahidi henridir (1 Hn).







İnduktivlik naqilin həndəsi ölçülərindən, formasından, naqilin yerləşdiyi mühitin maqnit xassələrindən asılıdır. Əgər sarğacın daxilinə maqnit nüfuzluğu μ olan ferromaqnit içlik yerləşdirsək, onun induktivliyi μ dəfə artar.

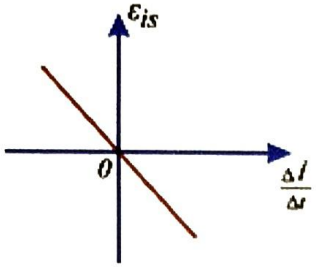


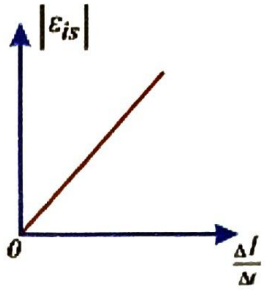
$$L = \mu \cdot L_0$$

- ***Onda elektromaqnit induksiya qanununa görə sarğacda yaranan öz-özünə induksiya EHQ:***

$$\varepsilon_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\frac{\Delta \dot{I}}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{is} = -L\frac{\Delta \dot{I}}{\Delta t} = -L\,\dot{I}'(t)$$





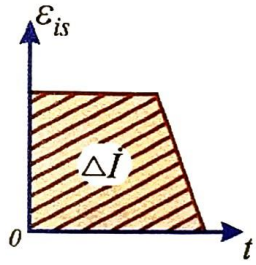
Burada ε_{is} – öz-özünə induksiya EHQ, $\frac{\Delta \dot{I}}{\Delta t}$ – sarğacdan keçən cərəyan şiddətinin dəyişmə sürətidir.Vahidi: $\left[\frac{\Delta \dot{I}}{\Delta t}\right] = 1\frac{A}{san}$

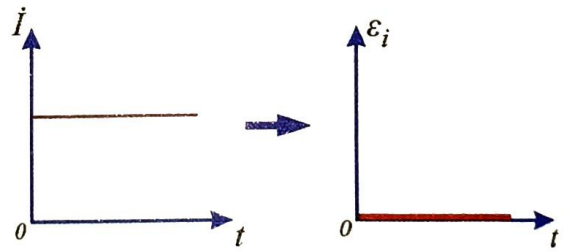
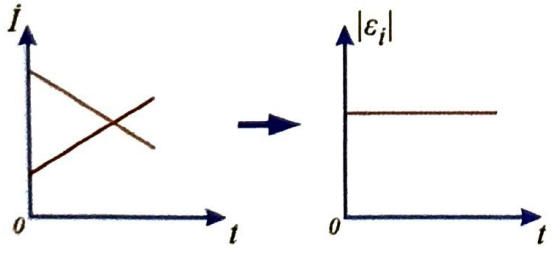
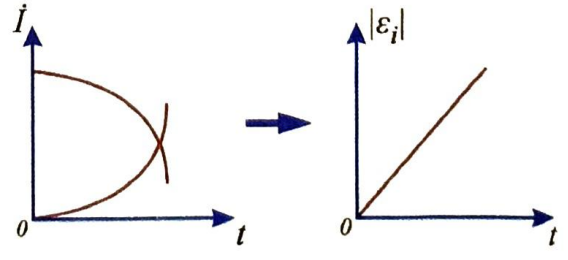
Test : *İnduktivliyi 3 Hn olan sarğacdan keçən cərəyan şiddəti İ=2+6t (A) qanunu ilə dəyişir. Bu sarğacda yaranan öz-özünə induksiya EHQ-nin modulunu hesablayın.*

$$|\varepsilon_{is}| = L \cdot \dot{I}'(t) = 3 \cdot (2+6t)' = 3 \cdot 6 = 18V$$

- Konturda yaranan öz-özünə induksiya EHQ-nin zamandan asılılıq qrafikinin altında yaranan fiqurun sahəsi ədədi qiymətcə induktivliyi ***L=1Hn*** olan konturdan axan cərəyan şiddətinin dəyişməsinin moduluna bərabərdir.

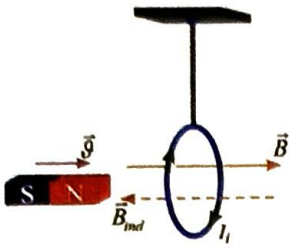
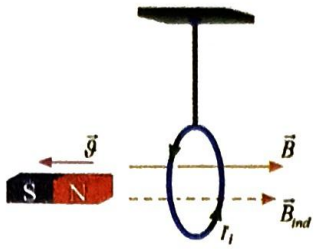
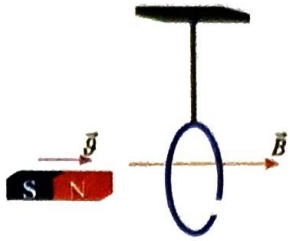
$$|\Delta \dot{I}| = S_{fiqur}$$



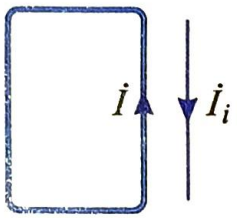
$\varepsilon_{is} = -L\frac{\Delta \dot{I}}{\Delta t} = -L \cdot \dot{I}'(t)$ $\varepsilon_{is} \sim \dot{I}'(t)$	
	

❖ Mövzu ilə əlaqəli qeydlər:

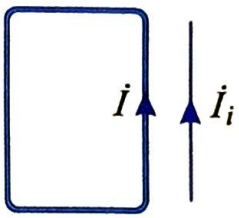
- *Şəkildən göründüyü kimi maqniti keçirici qapalı kontura* ***yaxınlaşdırdıqda kontur maqnitdən itələnər, uzaqlaşdırdıqda cəzb olunar.***

		
Kontur maqnitdən itələnər, induksiya cərəyanı yaranar	***Kontur maqnitdə cəzb olunar, induksiya cərəyanı yaranar***	***Kontur tərpənməz,induksiya cərəyanı yaranmaz***

- Qapalı konturdakı cərəyan şiddəti İ zamana görə artarsa, konturda yaranan induksiya cərəyanı $\dot{I}_i$ Lens qaydasına uyğun olaraq bu cərəyanın əks istiqamətində yönələr, azalarsa eyni istiqamətdə yönələr.

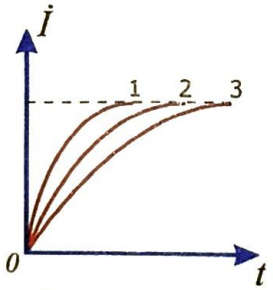


İ - zamana görə artanda



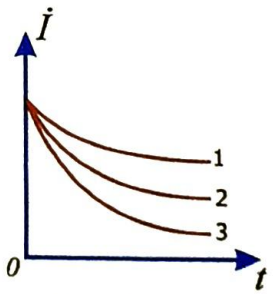
İ - zamana görə azalanda

- Sabit cərəyan mənbəyinə növbə ilə qoşulan və sabit cərəyan mənbəyindən növbə ilə ayrılan müxtəlif sarğacdakı cərəyan şiddətinin zamandan asılılıq qrafikinə görə sarğacların induktivlikləri aşağıdakı kimi müqayisə olunur.



$L_3 > L_2 > L_1$

$\mu_3 > \mu_2 > \mu_1$



$L_1 > L_2 > L_3$

$\mu_1 > \mu_2 > \mu_3$

- İnduktivliyi L olan sarğac cərəyan mənbəyinə qoşulmuşdur.

Dövrəni qapayan anda yaranan ümumi EHQ: $\varepsilon_{üm} = \varepsilon - L \cdot \frac{\Delta \dot{I}}{\Delta t}$

Dövrəni açan anda yaranan ümumi EHQ: $\varepsilon_{üm} = \varepsilon + L \cdot \frac{\Delta \dot{I}}{\Delta t}$

§22.6.Maqnit sahəsinin enerjisi

Maqnit sahəsinin enerjisi cərəyan şiddətinin kvadratı və induktivliklə düz mütənasibdir.

$$W = \frac{L\dot{I}^2}{2} \quad \Rightarrow \quad \dot{I} = \sqrt{\frac{2W}{L}}$$

$$1C = 1Hn \cdot A^2$$

$$1A = \sqrt{1\frac{C}{Hn}}$$

$$W = \frac{\Phi^2}{2L} \quad \Rightarrow \quad \Phi = \sqrt{2WL}$$

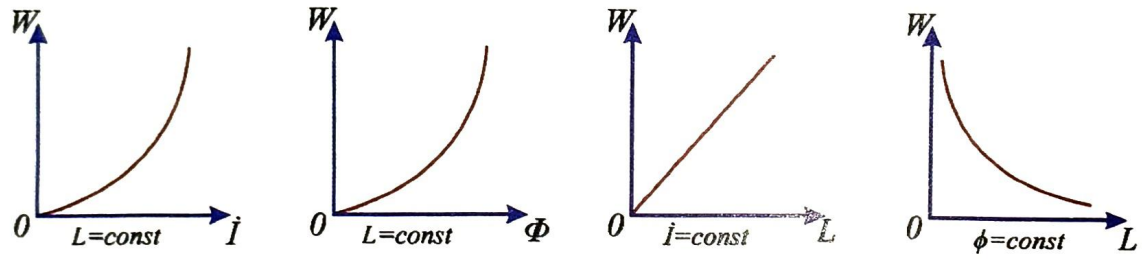
$$1C = 1\frac{Vb^2}{Hn}$$

$$1Vb = \sqrt{1C \cdot Hn}$$

$$W = \frac{\Phi \cdot \dot{I}}{2} \quad \Rightarrow \quad \Phi = \frac{2W}{\dot{I}}$$

$$1C = 1Vb \cdot A$$

$$1Vb = 1\frac{C}{A}$$



Qeyd: *İnduktivliyi* L *olan sarğacda cərəyan şiddəti* $\dot{I}_1$ *-dən* $\dot{I}_2$*-ə qədər azaldıqda maqnit sahəsinin eneji dəyişməsi:*

$$\Delta W = \frac{L}{2}(\dot{I}_2^2 - \dot{I}_1^2)$$

Qeyd: *İnduktivliyi* L *olan sarğacın daxilindəki maqnit seli* Φ_1 *-dən* Φ_2 *-ə qədər azaldıqda maqnit sahəsinin eneji dəyişməsi:*

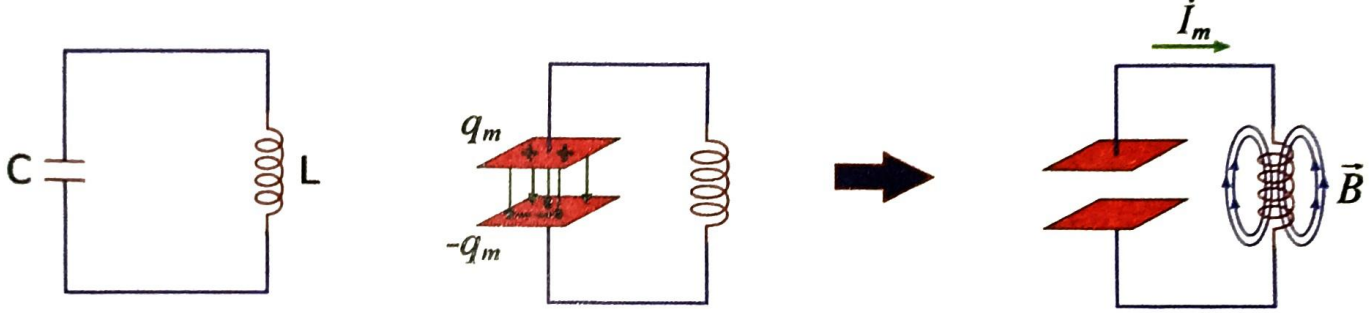
$$\Delta W = \frac{1}{2L}(\Phi_2^2 - \Phi_1^2)$$

23.ELEKTROMAQNİT RƏQSLƏRİ VƏ DALĞALARI

§23.1.Rəqs konturu. Sərbəst elektromaqnit rəqsləri

Elektrik yükünün, cərəyan şiddətinin və gərginliyin periodik dəyişməsi ***elektromaqnit rəqsləri*** adlanır. Sərbəst elektromaqnit rəqsləri almaq üçün ***rəqs konturundan*** istifadə olunur. Rəqs konturu C tutumlu kondensatordan və onun köynəklərinə birləşdirilmiş L induktivlikli sarğacdan ibarətdir. Konturda elektromaqnit rəqslərinin necə yarandığını aydınlaşdıraq:

Əgər yüklənmiş kondensatorun köynəkləri sarğaca birləşdirilərsə, o, dərhal boşalmağa və sarğacdan cərəyan keçməyə başlayar. Öz-özünə induksiya hadisəsinə görə sarğacdakı cərəyan şiddəti tədricən artır və kondensator tam boşaldıqdan sonra maksimal qiymətə çatır. Lakin bu cərəyan öz-özünə induksiya nəticəsində öz istiqamətini saxlamaqla boşalmış kondensatoru yenidən yüklənməyə başlayır və cərəyan şiddəti tədricən azalır. Bir müddətdən sonra kondensatorun lövhələri başlanğıc miqdarda, lakin əks işarəli yüklə yüklənir və sarğacda cərəyan şiddəti sıfıra bərabər olur. Kondensatorun sarğac vasitəsilə yenidən yüklənməsi periodik olaraq təkrarlanır.



Əgər rəqs konturun aktiv müqaviməti nəzərə alınmazsa, onda yaranan elektromaqnit rəqsləri sönməyən olacaq və konturun tam enerjisi sabit qalacaq. Xarici mənbələrdən enerji almadan elektrik yükünün, cərəyan şiddətinin və gərginliyin periodik dəyişmələri ***sərbəst elektromaqnit rəqsləri*** adlanır.

- *Kondensatordakı elektrik sahəsinin enerjisinin ani qiyməti:* $W_e = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q \cdot u}{2}$

Burada q və u – kondensatordakı yükün və gərginliyin ani qiymətləridir.

- *Sarğacdakı maqnit sahəsinin enerjisinin ani qiyməti:* $W_m = \frac{Li^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L} = \frac{\Phi \cdot i}{2}$

Burada i və Φ – cərəyan şiddətinin və maqnit selinin ani qiymətləridir.

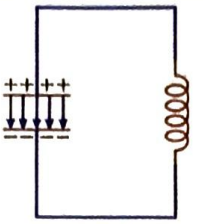
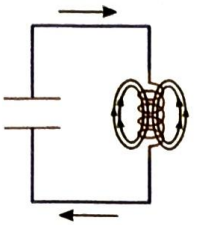
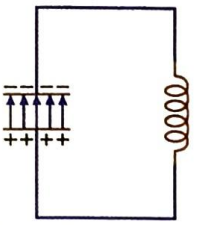
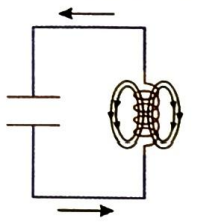
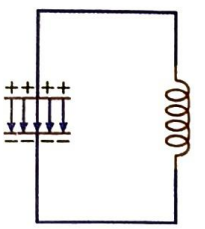
- *Rəqs konturunun tam enerjisi elektrik və maqnit sahələri enerjilərinin cəminə bərabədir.*

$$W_T = W_e + W_m$$

$$W_T = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{q_m U_m}{2} = \frac{L\dot{I}_m^2}{2} = \frac{\Phi_m^2}{2L} = \frac{\Phi_m \cdot \dot{I}_m}{2}$$

Burada q_m, U_m, $\dot{I}_m$ və Φ_m uyğun olaraq yük, gərginlik, cərəyan şiddəti və maqnit seli rəqslərinin amplitud qiymətləridir.

- Rəqs konturunda **başlanğıc zaman anında kondensatorun yükü maksimum olarsa,** periodun müxtəlif hissələrinə uyğun zaman müddətlərində uyğun enerji çevrilmələri cədvəldə verilmişdir.

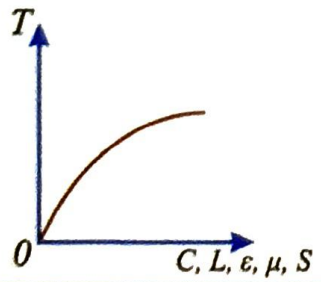
$t=0$	$W_e=max$ $\omega_e=max$ $q=q_m$ $U=U_m$	$W_m=0$ $\omega_m=0$ $i=0$ $\Phi=0$	
$t=\frac{1}{4}T$	$W_e=0$ $\omega_e=0$ $q=0$ $U=0$	$W_m=max$ $\omega_m=max$ $i=\dot{I}_m$ $\Phi=\Phi_m$	
$t=\frac{1}{2}T$	$W_e=max$ $\omega_e=max$ $q=-q_m$ $U=-U_m$	$W_m=0$ $\omega_m=0$ $i=0$ $\Phi=0$	
$t=\frac{3}{4}T$	$W_e=0$ $\omega_e=0$ $q=0$ $U=0$	$W_m=max$ $\omega_m=max$ $i=-\dot{I}_m$ $\Phi=-\Phi_m$	
$t=T$	$W_e=max$ $\omega_e=max$ $q=q_{max}$ $U=U_{max}$	$W_m=0$ $\omega_m=0$ $i=0$ $\Phi=0$	

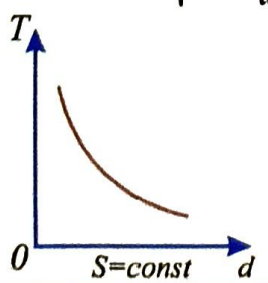
- *Rəqs konturundakı sərbəst elektromaqnit rəqslərin periodu (Tomson düsturu):*

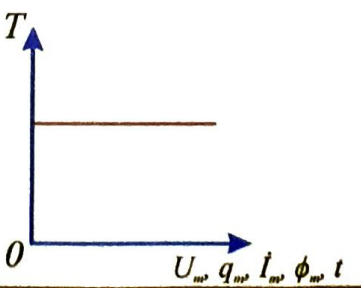
$$T=2\pi\sqrt{LC}$$

- *Əgər kondensatorun lövhələri arasında dielektrik və sarğaca ferromaqnit içlik daxil edilərsə:*

$$T=2\pi\sqrt{\frac{\mu L_0 \varepsilon \varepsilon_0 S}{d}}$$





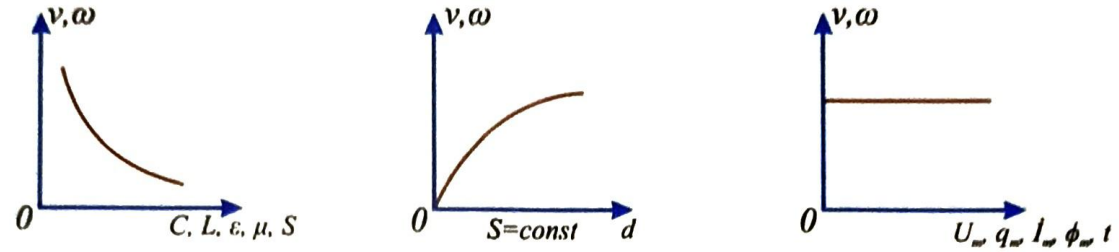


- *Rəqs konturunda sərbəst elektromaqnit rəqslərin tezliyi və dairəvi tezliyi:*

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- *Əgər kondensatorun lövhələrinin arasına dielektrik və sarğaca ferromaqnit içlik daxil edilərsə:*

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{d}{\mu L_0 \varepsilon \varepsilon_0 S}} \qquad \omega = \sqrt{\frac{d}{\mu L_0 \varepsilon \varepsilon_0 S}}$$



- *Rəqs konturunda baş verən sərbəst elektromaqnit rəqsləri aşağıda verilmiş tənliklə ifadə olunur:*

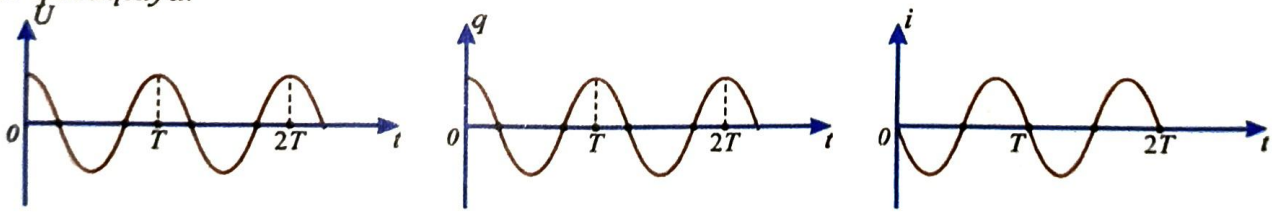
$$q'' = -\frac{1}{LC}\cdot q$$

- *Rəqs konturunda kondensatordakı yük və gərginlik zamana görə kosinus və ya sinus qanunu ilə dəyişir.*
- *Fərz edək ki, kondensatordakı yük* $q = q_m \cdot \cos\omega t$ *qanunu ilə dəyişir.*
- *Onda kondensatordakı gərginlik* $U = U_m \cdot \cos\omega t$ *qanunu ilə dəyişəcək.* $U_m = \frac{q_m}{C}$
- *Bu halda sarğacdakı cərəyan şiddəti:*

$$i = q' = (q_m \cos\omega t)' = -q_m \omega \sin\omega t = -\dot{I}_m \sin\omega t = \dot{I}_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Burada $\dot{I}_m$ – cərəyan şiddətinin amplitud qiymətidir: $\dot{I}_m = q_m \cdot \omega = 2\pi\nu q_m = \frac{2\pi}{T}\cdot q_m$

Göründüyü kimi, yük və gərginlik eyni fazada rəqs edir, cərəyan şiddətinin rəqsləri isə onları $\frac{\pi}{2}$ *qədər qabaqlayar*



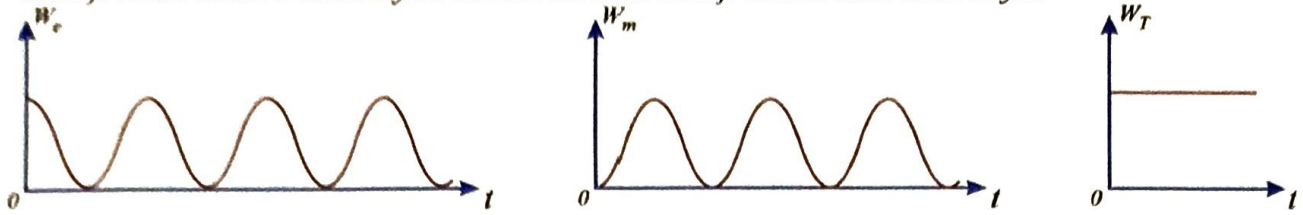
- *Maqnit selinin amplitud qiyməti:* $\Phi_m = LI_m = L \cdot q_m \omega$
- *Sarğacda yaranan öz-özünə induksiya EHQ-nin maksimal qiyməti:* $\varepsilon_m = U_m = \frac{q_m}{C}$
- *Rəqs konturunun kondensatorunda elektrik sahəsinin enerjinin zamandan asılılıq düsturu:*

$$W_e = W_T \cdot \cos^2 \omega t$$

- *Rəqs konturunda sarğacın maqnit sahəsinin enerjisinin zamandan asılılıq düsturu:*

$$W_m = W_T \cdot \sin^2 \omega t$$

- *Enerji itkisi nəzərə alınmayan konturda tam enerji zamandan asılı deyil:*



❖ Xüsusi hallar:

- ***Rəqs konturunda sarğacın maqnit sahəsinin enerjisi kondensatorun elektrik sahəsinin enerjisindən n dəfə böyük olan anda gərginliyin (yükün) ani qiyməti:***

$$u = \frac{U_m}{\sqrt{n+1}} \qquad q = \frac{q_m}{\sqrt{n+1}}$$

- ***Rəqs konturunda kondensatorun elektrik sahəsinin enerjisi sarğacın maqnit sahəsinin enerjisindən n dəfə böyük olan anda cərəyan şiddətinin ani qiyməti:***

$$i = \frac{I_m}{\sqrt{n+1}}$$

- ***Rəqs konturunda*** $t = \frac{1}{8}T$ ***zaman anında:*** $W_e = W_m = \frac{1}{2}W_T$

§23.2.Elektromaqnit sahəsi. Elektromaqnit dalğaları

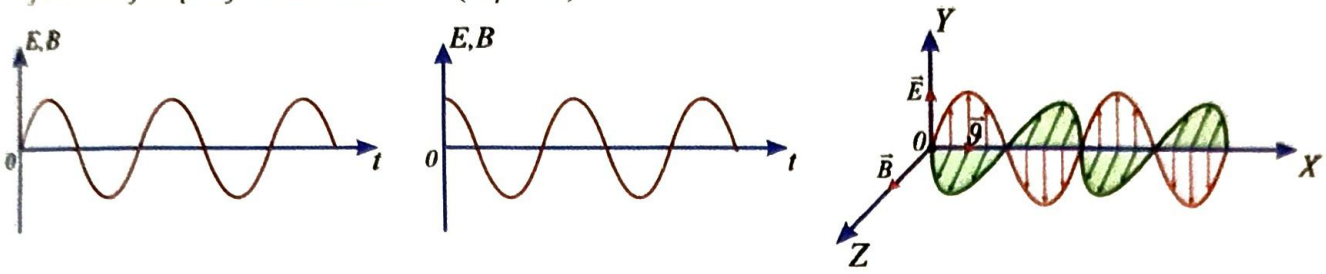
Faradeyin kəşf etdiyi elektromaqnit induksiya hadisəsi göstərdi ki, maqnit sahəsinin zamana görə dəyişdiyi bütün hallarda ətraf fəzada burulğanlı elektrik sahəsi yaranır. Maksvel daha irəli gedərək, qarşısına belə sual qoydu: əgər dəyişən maqnit sahəsi elektrik sahəsi yaradırsa, təbiətdə bunun tərsi olan proses mövcuddurmu, yəni dəyişən elektrik sahəsi öz növbəsində maqnit sahəsi yaradırmı? Onun fərziyyəsinə görə belə proses təbiətdə real mövcuddur:

- *Elektrik sahəsinin zamana görə dəyişdiyi bütün hallarda maqnit sahəsi yaranır.*
- *Dəyişən elektrik və maqnit sahələri birlikdə elektromaqnit sahəsi adlanır. Elektromaqnit sahəsi materiyanın bir növü olub elektromaqnit qarşılıqlı təsirini ötürür.*
- *Elektromaqnit dalğaları – dəyişən elektromaqnit sahəsinin fəzada yayılmasıdır. İlk dəfə elektromaqnit dalğalarının varlığını 1864-cü ildə Maksvel söyləmişdir.*

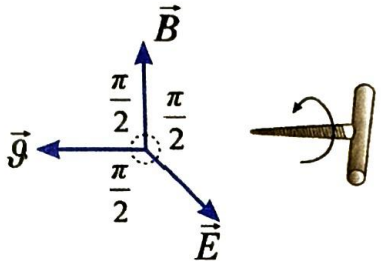
❖ Elektromaqnit dalğalarının əsas xassələri:

- *Elektromaqnit dalğaları rəqs edən yüklü zərrəciklər tərəfindən şüalandırılır. Burada mühüm cəhət odur ki, yüklü zərrəcik dəyişənsürətli hərəkət etməlidir.*
- *Elektromaqnit rəqslərin fəzada yayılmasına elektromaqnit dalğaları deyilir.*
- *Yüklü zərrəciklərin təcillə hərəkət etməsi elektromaqnit dalğalarının şüalandırılmasının zəruri şərtidir. Yüklü zərrəciyin hərəkət təcili nə qədər böyükdürsə, şüalanan dalğanın intensivliyi də bir o qədər böyük olur.*
- *Elektromaqnit dalğası eninə dalğadır. Bu dalğada* $\vec{E}$ *intensivlik vektorunun və maqnit sahəsinin* $\vec{B}$ *induksiya vektorunun rəqsləri bir-birinə və dalğanın yayılma istiqamətinə perpendikulyar müstəvilərdə baş verir.* $\vec{E} \perp \vec{B}$ $\vec{E} \perp \vec{\vartheta}$ $\vec{B} \perp \vec{\vartheta}$

- *Elektromaqnit dalğasında $\vec{E}$ və $\vec{B}$ vektorları eyni fazada rəqs edir və rəqsləri arasındakı fazalar fərqi sıfıra bərabərdir* $(\Delta\varphi = 0)$.



- *Elektromaqnit dalğasının yayılma istiqaməti sağ yivli burğu qaydası ilə tapılır. Sağ yivli burğunun dəstəyini $\vec{E}$ vektorundan $\vec{B}$ vektoruna doğru fırlatdıqda burğunun hərəkət istiqaməti $\vec{\vartheta}$ sürət vektoru ilə üst-üstə düşür.*

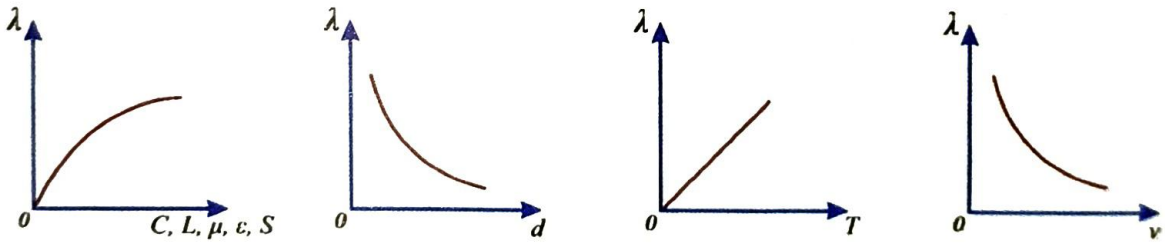


- *Elektromaqnit dalğası həm vakuumda, həm də mühitdə yayıla bilir.*
- *Bir mühitdən digər mühitə keçdikdə elektromaqnit dalğasının enerjisi, tezliyi və periodu dəyişmir, sürəti və dalğa uzunluğu dəyişir.Vakuumda elektromaqnit dalğası* $c = 3 \cdot 10^8$ ***m / san*** *sürətlə yayılır.*
- *Vakuumda elektromaqnit dalğasının uzunluğu:*

$$\lambda_0 = c \cdot T = c \cdot 2\pi\sqrt{L \cdot C} \qquad \lambda_0 = \frac{c}{\nu}$$

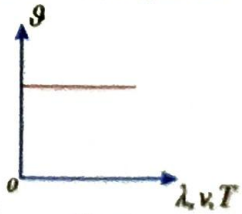
Burada L – rəqs konturunda sarğacın induktivliyi, C – kondensatorun tutumudur.Əgər rəqs konturunda kondensatorun lövhələri arasına dielektrik (ε) *və sarğaca ferromaqnit içlik* (μ) *daxil edilərsə:*

$$\lambda = 2\pi c\sqrt{\frac{\mu L_0 \varepsilon \varepsilon_0 S}{d}}$$



- *Mühitdə elektromaqnit dalğasının sürəti və dalğa uzunluğu vakuumdakından mühitin* ***n***– *sındırma əmsalı dəfə azalır.*

$$\vartheta = \frac{c}{n} \qquad \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \qquad n = \sqrt{\varepsilon\mu}$$



Burada n – mühitin sındırma əmsalı, ε – mühitin dielektik nüfuzluğu, μ – mühitin maqnit nüfuzluğudur. Vakuum (hava) üçün n=1, digər mühitlə üçün $n > 1$

- *Eyni bircins mühitdə dalğanın yayılma sürəti dalğanın uzunluğundan və tezliyindən asılı deyil, yayıldığı mühitin fiziki xassələrindən asılıdır.*

§23.3.Şüalanma gücü. Elektromaqnit şüalanma selinin sıxlığı (şüalanma intensivliyi)

Elektromaqnit dalğaları özləri ilə enerji daşıyır. Elektromaqnit ***şüalanmasının gücü (şüalanma seli)*** sahəsi S olan səthdən vahid zamanda daşınan enerjidir.

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \qquad \text{Vahidi: } [P] = 1Vt$$

Dalğaların yayılma istiqamətinə perpendikulyar qoyulmuş vahid səthdən keçən şüalanmanın gücü şüalanma ***selinin sıxlığı və ya şüalanmanın intensivliyi*** *adlanır:*

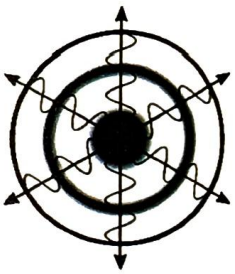
$$İ = \frac{P}{S} = \frac{\Delta W}{S \cdot \Delta t} \qquad P = İ \cdot S \qquad \text{Vahidi: } [İ] = 1\frac{Vt}{m^2} = 1\frac{kq}{san^3}$$

Elektromaqnit şüalanma selinin sıxlığı enerji sıxlığı ilə dalğanın yayılma sürəti hasilinə bərabərdir.

$$İ = w_e \cdot c$$

- *Elektromaqnit dalğalarını şüalandıran ən sadə mənbə nöqtəvi mənbədir. Belə mənbə bütün istiqamətlərdə eyni intensivlikli dalğalar şüalandırır. Mərkəzi nöqtəvi mənbə olan* R *radiuslu sferanın səthinin sahəsi* $S = 4\pi R^2$ *olduğundan*

$$İ = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi} \frac{1}{R^2} \qquad \textit{ifadəsini alarıq.}$$



$$İ = \frac{\Delta W}{4\pi R^2 \cdot \Delta t}$$

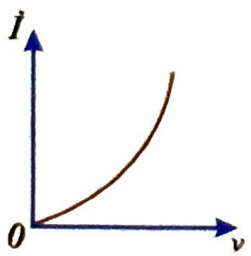
$$P = İ \cdot S = İ \cdot 4\pi R^2$$

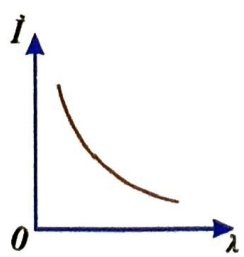
- *Nöqtəvi mənbəyin şüalanma intensivliyi mənbədən olan məsafənin kvadratı ilə tərs, rəqsin tezliyinin dördüncü dərəcəsi ilə düz mütənasibdir.*

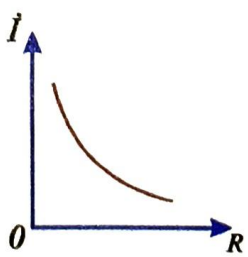
$$İ \sim \frac{1}{R^2} \qquad İ \sim \nu^4 \qquad İ \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

- *Elektromaqnit şüalanmasının gücü şüalandırıcı konturun rəqs rəqs tezliyinin dördüncü dərəcəsi ilə düz mütənasibdir.*

$$P \sim \nu^4$$







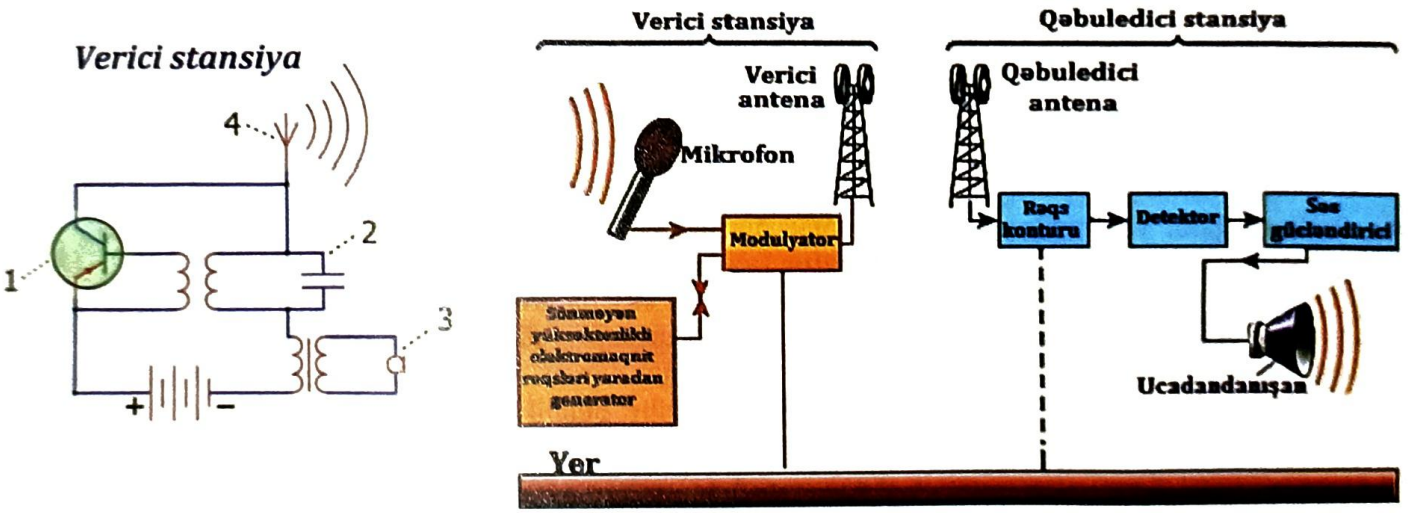
§23.4.Radiorabitənin prinsipləri. Modulyasiya və detektəetmə. Radiolokasiya

- ***Radiorabitə*** - informasiyaların (səs və təsvir) elektromaqnit dalğaları vasitəsi ilə verilməsi və qəbul olunmasıdır. Radiorabitənin əsasını *verici stansiya* və *qəbuledici stansiya* təşkil edir.

❖ *Verici stansiya:*

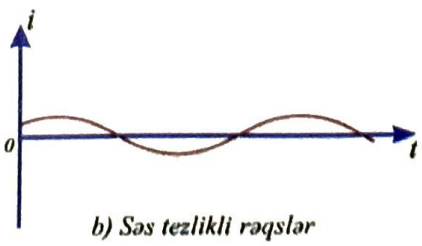
Verici stansiyanın sadələşdirilmiş sxeminə əsasən hissələri: 1 – *transiztorlu generatordan*, 2 – *rəqs konturundan*, 3 – *mikrofon dövrəsindən*, 4 – *verici antenadan*
Bu hissələrin işlənmə sxemi aşağıdakı kimidir:

- Generator sönməyən yüksəktezlikli elektromaqnit rəqsləri yaradır. Bu rəqslər alçaq tezlikli (səs) rəqslərin daşıyıcısı rolunu oynayır.
- Sonra həmin rəqslər mikrofondan daxil olan səs tezlikli elektromaqnit rəqsləri ilə modullaşdırılır
- ***Modullaşma*** – *yüksəktezlikli elektromaqnit dalğalarının amplitudunun (tezliyinin və ya fazasının) alçaqtezlikli səs dalğalarının amplituduna (tezliyinə və ya fazasına) uyğun olaraq dəyişdirilməsidir.* ***Modulyasiya-alçaqtezlikli rəqsləri uzaq məsafəyə vermək üçündür.***
- Alınan modullaşmış rəqslər verici antena vasitəsilə fəzaya şüalandırılır.

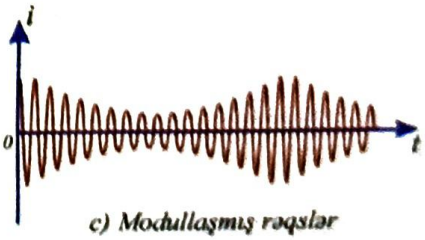




a) Yüksək tezlikli elektromaqnit rəqsləri



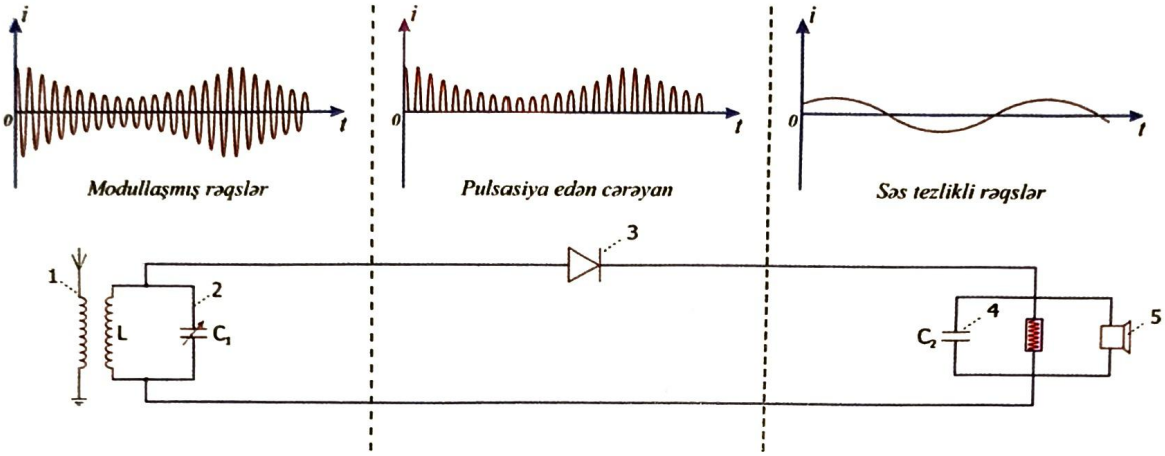
b) Səs tezlikli rəqslər



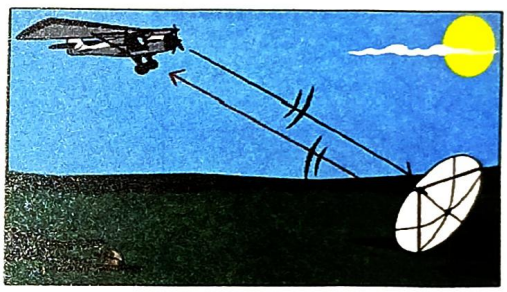
c) Modullaşmış rəqslər

❖ Qəbuledici stansiya

Qəbuledici stansiyanın sadləşdirilmiş sxeminə əsasən onun əsas hissələri:
1 – *elementi antenanı göstərir və modullaşmış elektromaqnit rəqsləri qəbul etmək üçündür.*
2 – *elementi dəyişən tutumlu kondensator olan rəqs konturundur və onun köməyi ilə qəbuledicinin müəyyən radiostansiyaya köklənməsi həyata keçirilir.*
3 – *detektordur və onunla rəqslər detektə edilir. Detektəetmə yarımkeçirici diod vasitəsilə həyata keçirilir. Detektəetmə yüksəktezlikli rəqslərin alçaqtezlikli rəqslərə çevrilməsi prosesidir.*
4 – *kondensatordur və onun köməyi ilə pulsasiya edən cərəyanların hamarlanması həyata keçirilir.*
5 – *ucadandanışana (dinamik) daxil olan alçaqtezlikli elektromaqnit rəqsləri həmin tezlikli səs rəqslərinə çevirir.*



❖ Radiolokasiya



- ***Radiolokasiya*** *– radiodalğaların köməyi ilə müxtəlif obyektlərin aşkar etməkdir.*
- Radiodalğalar vasitəsilə obyektə qədərki məsafəsinin müəyyən olunmasına xidmət edən qurğu radiolokator (və ya radar) adlanır. Radiolokasiya radiodalğaların müxtəlif maneələrdən əks olunması hadisəsinə əsaslanır. Radiolokator radiodalğaların qısa impulslar şəklində şüalandırır. Hər iki ardıcıl impuls arasındakı zaman fasiləsində lokator avtomatik olaraq obyektdən qayıdan siqnalları qəbul edən antenə çevrilir. Beləliklə, radiodalğaların əks etdiyi obyektə qədərki məsafə **(*l*)** asanlıqla təyin edilir:

$$l = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

Burada Δt – lokatorun göndərdiyi və qəbul etdiyi siqnal arasındakı zaman fasiləsi, c – işığın vakuumdakı sürətidir $(c = 3 \cdot 10^8 \, m/san)$.

§23.5.Elektromaqnit dalğaları şkalası

Elektromaqnit dalğalarının bir neçə növü vardır:

1. ***Radiodalğalar***
2. ***İnfraqırmızı şüalanma***
3. ***Görünən işıq (Qırmızı, Narıncı, Sarı, Yaşıl, Mavi, Göy, Bənövşəyi)***
4. ***Ultrabənövşəyi şüalanma***
5. ***Rentgen şüaları***
6. ***Qamma-şüalanma.***

Sıralanmanın axırına getdikcə, ***dalğa uzunluğu qısalır, tezliyi isə artır.***

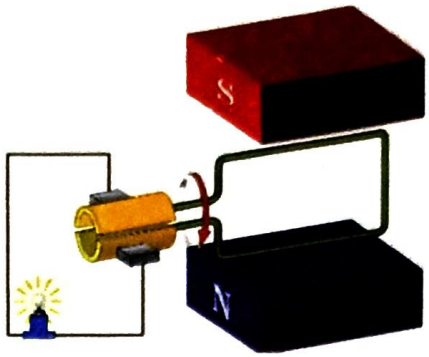
$$\nu_{rad.dalğ} < \nu_{i.q} < \nu_q < \nu_n < \nu_s < \nu_y < \nu_m < \nu_g < \nu_b < \nu_{u.b} < \nu_{retg} < \nu_\gamma$$

$$\lambda_{rad.dalğ} > \lambda_{i.q} > \lambda_q > \lambda_n > \lambda_s > \lambda_y > \lambda_m > \lambda_g > \lambda_b > \lambda_{u.b} > \lambda_{retg} > \lambda_\gamma$$

24.DƏYİŞƏN ELEKTRİK CƏRƏYANI

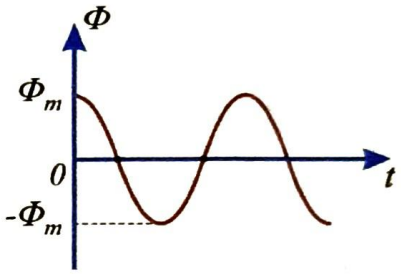
§24.1.Dəyişən cərəyan generatoru

Dəyişən cərəyan – istiqməti və cərəyan şiddəti zamana görə periodik dəyişən cərəyandır. Dəyişən cərəyan almaq üçün ***dəyişən cərəyan generatorundan*** istifadə olunur. Dəyişən cərəyan generatorunun iş prinsipi *elektromaqnit induksiya hadisəsinə* əsaslanır. Belə generatorun ən sadə modeli bircins maqnit sahəsində fırlanan keçirici konturdur. Generatorun fırlanan hissəsi ***rotor,*** tərpənməz hissəsinə ***stator*** deyilir. Bu generatorda mexaniki enerji elektrik enerjisinə çevrilir.



Keçirici kontur induksiya $\vec{B}$ olan bircins maqnit sahəsində ω dairəvi tezliyi ilə fırlandıqda konturu kəsən maqnit seli harmonik qanunla dəyişir:

$$\Phi = \Phi_m \cdot \cos\omega t$$



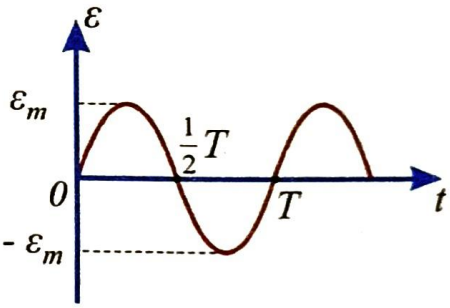
Çərçivədən keçən maqnit selinin maksimal (amplitud) qiyməti:

$$\Phi_m = N \cdot B \cdot S$$

Burada, S – konturun sahəsi, N – sarğıların sayıdır.
Elektromaqnit induksiya qanuna görə konturda periodik qanunla dəyişən EHQ əmələ gəlir:

$$\varepsilon = -\Phi'(t) = -(\Phi_m \cos\omega t)' = \Phi_m \omega \sin\omega t = \varepsilon_m \sin\omega t$$

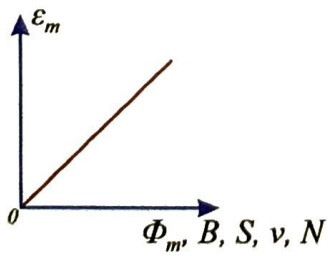
$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin\omega t$$

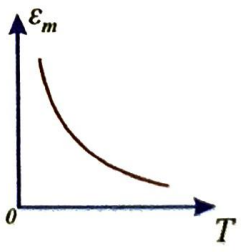


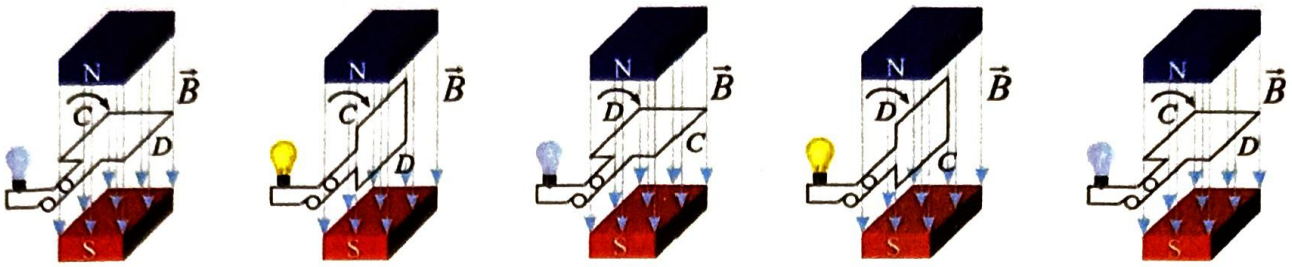
Burada, ε_m – çərçivədə yaranan induksiya EHQ-nın amplitud qiymətidir.

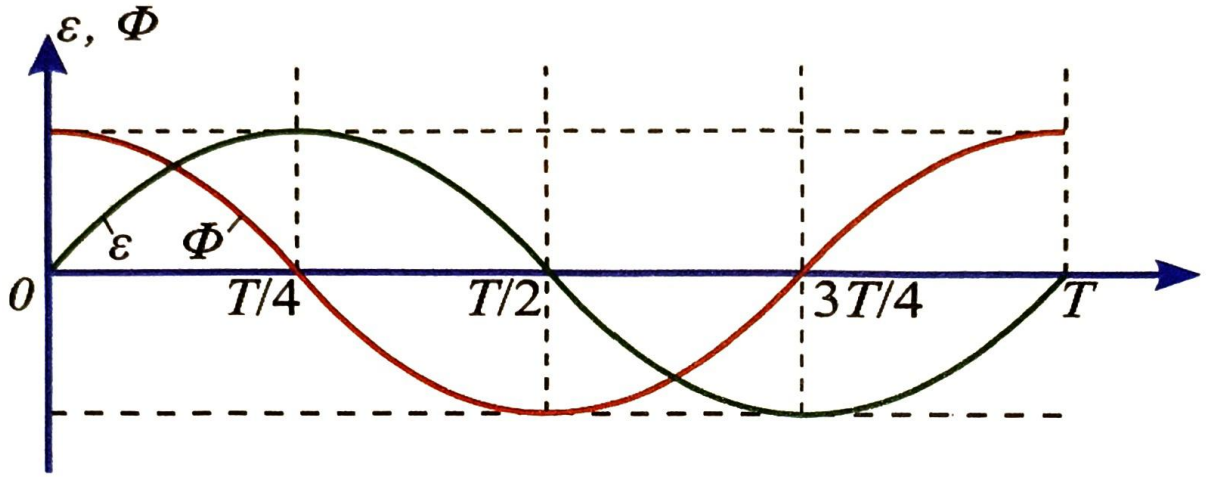
$$\varepsilon_m = \Phi_m \omega = NBS\omega = NBS \cdot 2\pi\nu = NBS \cdot \frac{2\pi}{T}$$

Burada, ν və T – müvafiq olaraq dəyişən cərəyanın rəqs tezliyi və periodu, ω - isə dəyişən cərəyanın dövri tezliyidir.



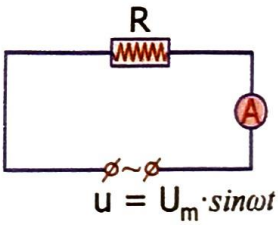






Dəyişən cərəyanın gərginliyinin rəqsləri ***ossilloqraf*** adlanan cihazla müşahidə edilir. Ossilloqraf elektrik dövrəsində baş verən tez dəyişən prosesləri tədqiq etmək üçün işlədilən cihazdır. 

§24.2.Dəyişən cərəyan dövrəsində aktiv müqaviməti

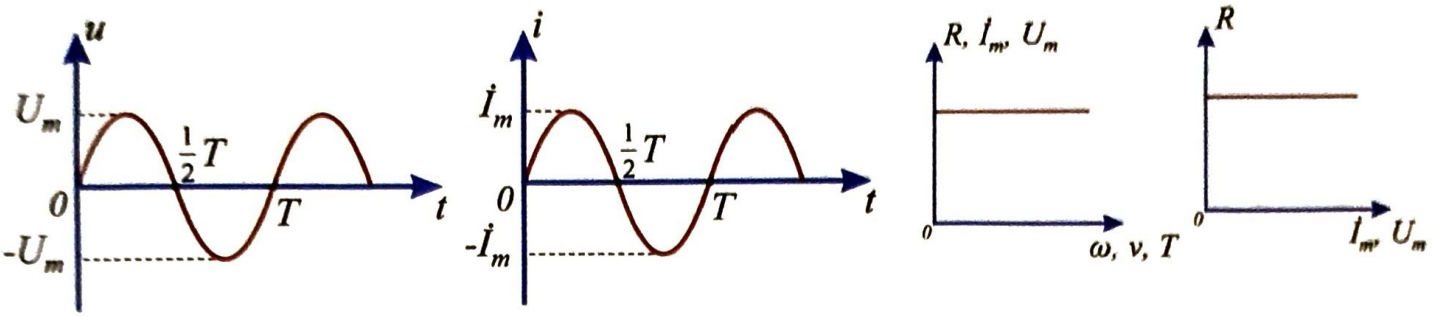


Dəyişən cərəyan dövrəsində müqaviməti R olan rezistor ***aktiv müqavimət*** adlanır. Aktiv müqavimətli dövrədə elektrik enerjisinin müəyyən hissəsi daxili enerjiyə çevrilir. Fərz edək ki, dəyişən cərəyan generatoruna müqaviməti R olan rezistor $u = U_m \sin \omega t$ qanunu ilə dəyişən gərginlik mənbəyinə qoşulmuşdur. Naqildəki cərəyan şiddətinin ani qiymətini *Om* qanuna görə tapa bilərik:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t \qquad I_m = \frac{U_m}{R} \qquad R = \rho \frac{l}{S}$$

Burada, u – gərginliyin ani qiyməti, U_m – gərginliyin amplitud qiymətini, i – cərəyan şiddətinin ani qiymətini, I_m – cərəyan şiddətinin amplitud qiymətini göstərir.

- *Göründüyü kimi, rezistorda gərginlik və cərəyan şiddəti eyni fazada rəqs edir, yəni fazalar fərqi sıfıra bərabərdir.*
- *Yalnız rezistor qoşulan dəyişən cərəyan dövrəsində aktiv müqavimət, gərginlik və cərəyan şiddətinin amplitud qiymətləri dəyişən cərəyan tezliyindən asılı deyil.*
- *Aktiv müqavimət gərginlik və cərəyan şiddətinin amplitud qiymətlərindən asılı deyil.*



- *Eyni naqildə dəyişən cərəyanın ayırdığı orta güc qədər güc ayıran sabit cərəyan şiddətinə dəyişən* ***cərəyanın təsiredici qiyməti*** *deyilir.* Dəyişən cərəyan şiddətinin, gərginliyin təsiredici qiymətləri onun amplitud qiymətlərindən $\sqrt{2}$ dəfə azdır:

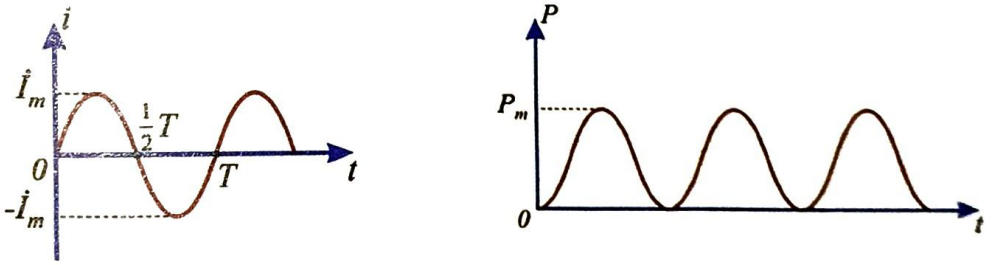
$$i = \frac{İ_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow İ_m = i\sqrt{2} \qquad u = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow U_m = u\sqrt{2} \qquad \varepsilon = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}} \Rightarrow \varepsilon_m = \varepsilon\sqrt{2}$$

Dəyişən cərəyan dövrəsində ampermetr və voltmetr, müvafiq olaraq, cərəyan şiddəti və gərginliyin təsiredici qiymətlərini ölçür.

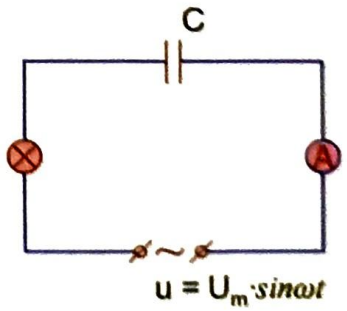
- *Aktiv müqavimət qoşulmuş dəyişən cərəyan dövrəsində* ***orta güc*** *və* ***ayrılan istilik miqdarı****:*

$$\overline{P} = \frac{İ_m U_m}{2} = \frac{İ_m^2 R}{2} = \frac{U_m^2}{2R} \qquad Q = \frac{İ_m U_m t}{2} = \frac{İ_m^2 R t}{2} = \frac{U_m^2 \cdot t}{2R}$$

- *Rezistorda cərəyan şiddətinin zamandan asılılıq qrafikinə əsasən ayrılan gücün zamandan asılılıq qrafiki:*



§24.3.Dəyişən cərəyan dövrəsində tutum müqaviməti



Kondensatoru sabit gərginlik mənbəyinə qoşduqda dövrədə qısa müddətli cərəyan keçər, lampa ani közərər və dərhal sönər. Buna səbəb kondensatorun lövhələri arasında dielektrik olmasıdır. Lakin dəyişən cərəyan mənbəyinə qoşulan kondensator periodik olaraq dolub – boşaldığından dövrədən cərəyan keçir və lampa işıqlanır. Əgər lampa dəyişən cərəyan mənbəyinə birbaşa, kondensatorsuz qoşularsa, o, parlaq işıqlanır, kondensator dövrəsinə qoşulduqda isə onun parlaqlığı azalır. Deməli, kondensator dəyişən cərəyan dövrəsində müəyyən müqavimət yaradır. Həmin müqavimət ***tutum müqaviməti*** adlanır və X_c ilə işarə edilir. Tutum müqaviməti qoşulmuş dəyişən cərəyan dövrəsinin xarakteristikaları arasındakı münasibət aşağıdakı kimidir:

Fərz edək ki, kondensatora verilən gərginlik $u = U_m \sin \omega t$ qanunu ilə dəyişir. Onda kondensatorun yükü də həmin qanunla dəyişir:

$$q = Cu = CU_m \sin \omega t = q_m \sin \omega t$$

Yükün rəqslərinin amplitud qiyməti: $q_m = CU_m$

Cərəyan şiddəti yükün zamana görə törəməsinə bərabərdir:

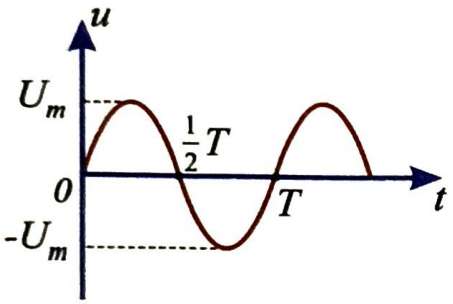
$$i = q' = (q_m \sin \omega t)' = q_m \cdot \omega \cos \omega t = \dot{I}_m \cos \omega t = \dot{I}_m \sin(\frac{\pi}{2} + \omega t)$$

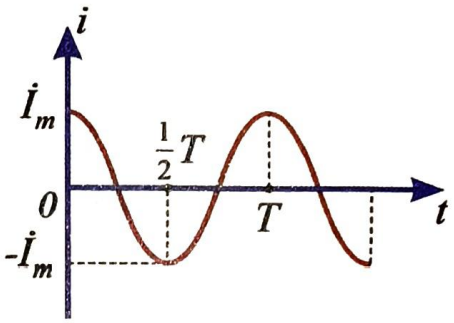
$$i = \dot{I}_m \sin(\frac{\pi}{2} + \omega t)$$

$\dot{I}_m$ – cərəyan şiddətinin amplitud qiymətidir:

$$\dot{I}_m = q_m \cdot \omega = CU_m \omega = 2\pi \nu CU_m = \frac{2\pi}{T} CU_m = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d} U_m \omega$$

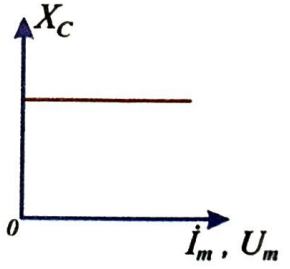
- *Kondensator qoşulan dəyişən cərəyan dövrəsində cərəyan şiddətinin rəqsləri gərginliyin rəqslərini fazaca* $\frac{\pi}{2}$ *qədər qabaqlayır.*





- *C tutumlu kondensatorun dəyişən cərəyana göstərdiyi müqavimət* ***tutum müqaviməti*** *adlanır.*
  Belə dövrə üçün Om qanunu:

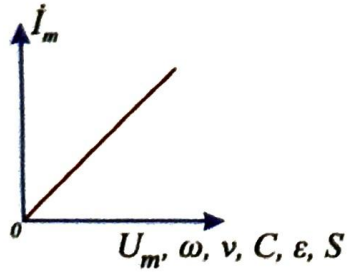
$$\dot{I}_m = \frac{U_m}{X_c} \Rightarrow \qquad X_c = \frac{U_m}{\dot{I}_m} = \frac{U_m}{CU_m \omega} = \frac{1}{C\omega}$$

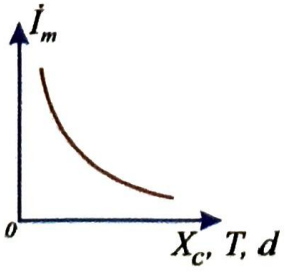


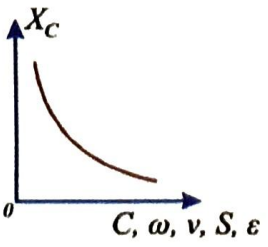
- *Burada,* X_c *– tutumu müqavimətidir, vahidi Om – dur.*

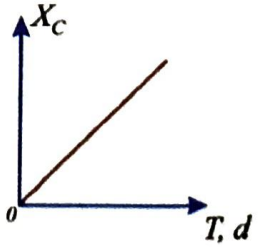
$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \nu C} = \frac{T}{2\pi C} = \frac{d}{\omega \varepsilon \varepsilon_0 S}$$

Qeyd: *Kondensator qoşulmuş dəyişən cərəyan dövrəsində orta güc sıfırdır və mənbədən alınan enerji daxili enerjiyə çevrilmir, yəni istilik miqdarı ayrılmır.*

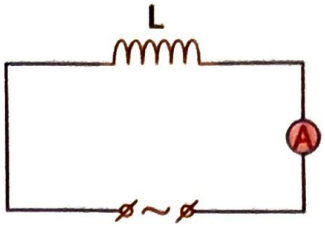








§24.4.Dəyişən cərəyan dövrəsində induktiv müqavimət



Tutaq ki, çox kiçik aktiv müqavimətə malik ideal sarğac dəyişən cərəyan dövrəsinə qoşulmuşdur. ***Sarğacın dövrədə yaratdığı müqavimət induktiv müqavimət adlanır və*** X_L ***ilə işarə edilir.*** Fərz edək ki, dövrədəki cərəyan şiddəti

$$i = \dot{I}_m \sin\omega t$$ qanunu ilə dəyişir.

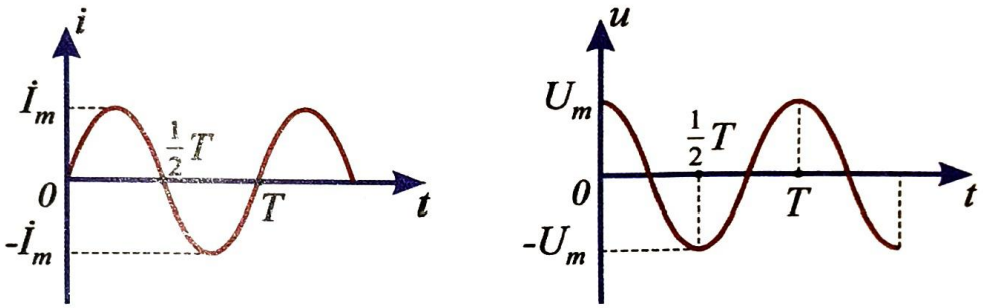
Bu zaman sarğacda öz-özünə induksiya EHQ yaranır. $\varepsilon_L = -L\frac{\Delta i}{\Delta t} = -Li'$

Bu zaman sarğacın uclarındakı gərginliyin ani qiyməti

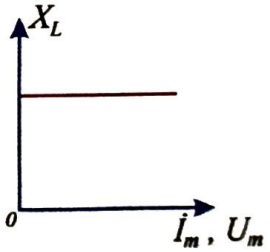
$$u = -\varepsilon_L = Li' = L\cdot(\dot{I}_m \sin\omega t)' = L\dot{I}_m\omega\cos\omega t = U_m \sin(\frac{\pi}{2}+\omega t)$$

$$u = U_m \sin(\frac{\pi}{2}+\omega t)$$ qanunu ilə dəyişir

- Gərginliyin amplitud qiyməti: $U_m = L\dot{I}_m\omega$
- *Deməli, sarğacda gərginliyin rəqsləri cərəyan şiddətinin rəqslərini fazaca* $\frac{\pi}{2}$ *qədər qabaqlayır.*



- *Bu halda Om qanuna görə:* $\dot{I}_m = \frac{U_m}{X_L} \Rightarrow X_L = \frac{U_m}{\dot{I}_m} = \frac{L\dot{I}_m\omega}{\dot{I}_m} = L\omega$

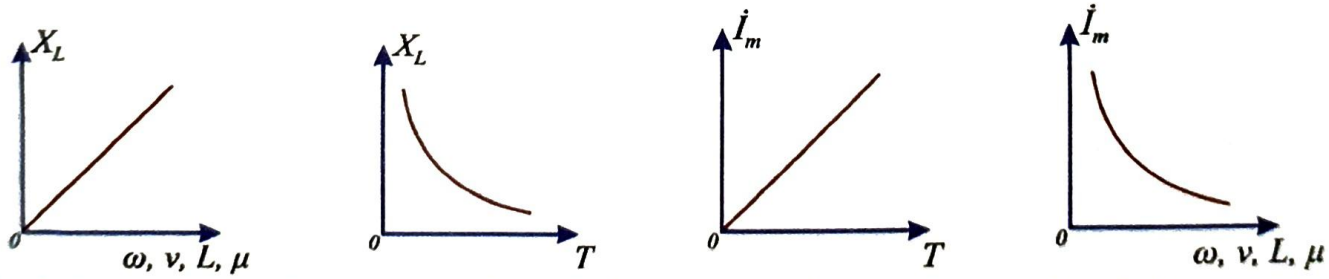


- *Burada,* X_L *– induktiv müqavimətdir, vahidi Om – dur.*

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L = \frac{2\pi}{T}\cdot L = \omega\cdot\mu\cdot L_0$$

- *Burada,* $\dot{I}_m$ *- cərəyan şiddətinin amplitud qiymətidir.*

$$\dot{I}_m = \frac{U_m}{X_L} = \frac{U_m}{\omega L} = \frac{U_m}{2\pi\nu L} = \frac{U_m\cdot T}{2\pi L} = \frac{U_m}{\omega\mu L_o}$$

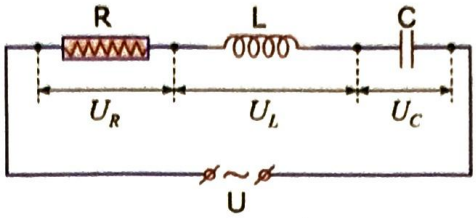


Qeyd: ***Sarğac və kondensator qoşulmuş dəyişən cərəyan dövrəsində orta güc sıfırdır və mənbədən alınan enerji daxili enerjiyə çevrilmir, yəni istilik miqdarı ayrılmır*** $(\overline{P}=0\ ,Q=0)$.

§24.5.Aktiv, induktiv və tutum müqavimətlərinin ardıcıl birləşdiyi dəyişən cərəyan dövrəsi üçün Om qanunu

Ardıcıl birləşdirilmiş aktiv, induktiv və tutum müqavimətli dövrənin tam müqaviməti həmin müqavimətlərdən asılıdır:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

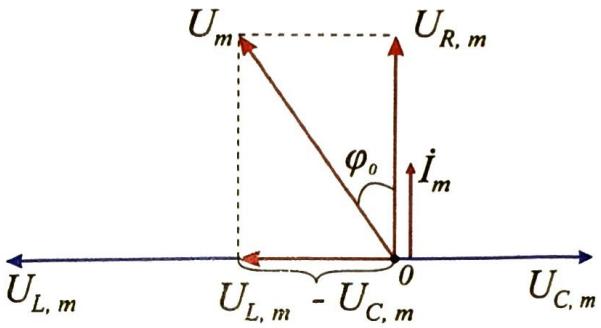


Burada, Z – dəyişən cərəyan dövrəsinin tam müqavimətidir. Dəyişən cərəyan dövrəsi üçün Om qanununu belə də yazmaq olar:

$$\dot{I}_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Dəyişən cərəyan dövrəsinin hissələrindəki gərginliklərin vektor diaqramına əsasən almaq olar. Diaqramdan görünür ki:

$$U_m = \sqrt{U_{R,m}^2 + (U_{L,m} - U_{C,m})^2}$$



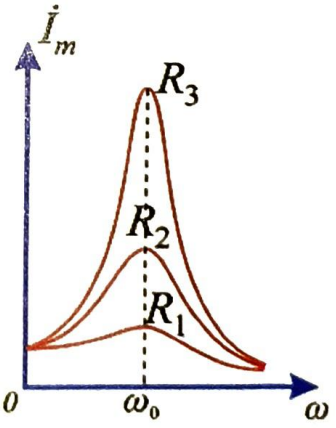
Aşağıdakı uyğun gərginlik düşkülərini nəzərə alaq:

$$U_{R,m} = \dot{I}_m \cdot R \qquad U_{L,m} = \dot{I}_m \cdot X_L \qquad U_{C,m} = \dot{I}_m \cdot X_C$$

$$U_m = \sqrt{(\dot{I}_m \cdot R)^2 + (\dot{I}_m \cdot X_L - \dot{I}_m \cdot X_C)^2} = \dot{I}_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

❖ Rezonans

Şəkildə rezistorun müqavimətinin üç qiyməti üçün dəyişən cərəyan şiddətinin amplitud qiymətinin EHQ –nin tezliyindən asılılıq qrafiki təsvir edilmişdir. Qrafikdən görünür ki, aktiv müqavimət azaldıqca $(R_1 > R_2 > R_3)$ cərəyan şiddəti rəqslərin amplitud qiyməti artır. Cərəyan şiddətinin amplitud qiyməti o zaman kəskin artır ki, dövrənin tam müqaviməti minimum olsun, yəni



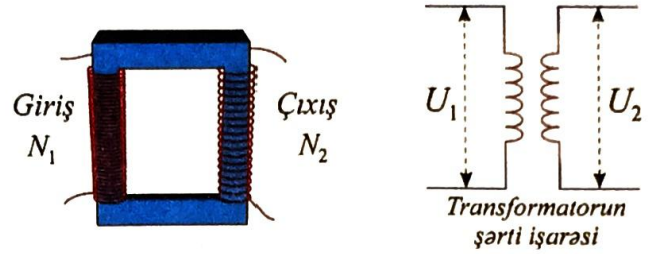
$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \Rightarrow X_L = X_C$$

Bu zaman dəyişən cərəyan şiddətinin və mənbəyin EHQ – nın rəqslərinin tezliyi (ω) dövrənin sərbəst məxsusi rəqslərinin tezliyi (ω_0) ilə üst-üstə düşür – rezonans hadisəsi baş verir:

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

§24.6. Transformator

Transformator praktik olaraq güc itkisi olmadan və tezliyi dəyişmədən dəyişən gərginliyi artırıb - azaltmaq üçün istifadə olunur. Transformatorun iş prinsipi *elektromaqnit induksiya qanununa* əsaslanır. O ferromaqnit içliyə geydirilmiş iki dolaqdan ibarətdir. Sarğıların sayı N_1 olan birinci dolaq (giriş) dəyişən cərəyan mənbəyinə, N_2 olan ikinci dolaq (çıxış) işlədiciyə qoşulur. Transformatorun əsas xarakteristikası onun transformasiya əmsalıdır. Güc itkisi olmasa (ideal transformator) transformatorun girişindəki güc çıxışındakı gücə bərabərdir:
N_1 *və* N_2 *birinci və ikinci dolaqda olan sarğıların sayıdır.*



$$P_1 \approx P_2 \qquad \dot{I}_1 U_1 \approx \dot{I}_2 U_2 \qquad \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} = K \qquad \nu_1 = \nu_2 \qquad \omega_1 = \omega_2$$

Yəni, transformator gərginliyi neçə dəfə artırırsa, cərəyan şiddətini bir o qədər dəfə azaldır və ya tərsinə, gücü isə dəyişmir.

$$K = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1}$$

K – transformatorun transformasiya əmsalı adlanır. Transformasiya əmsalının vahidi yoxdur.
Burada, ε_1, U_1, $\dot{I}_1$ – birinci dolaqda, ε_2, U_2, $\dot{I}_2$ – ikinci dolaqda EHQ - nin, gərginliyin, cərəyan şiddətinin təsiredici qiymətləridir.
Əgər, $N_1 > N_2$, $K > 1$ olarsa, transformator ***alçaldıcı transformator*** adlanır.
Alçaldıcı transformatorda: $\varepsilon_1 > \varepsilon_2; U_1 > U_2; \dot{I}_2 > \dot{I}_1$
Əgər, $N_1 < N_2$, $K < 1$ olarsa, transformator ***yüksəldici transformator*** adlanır.
Yüksəldici transformatorda: $\varepsilon_1 < \varepsilon_2; U_1 < U_2; \dot{I}_2 < \dot{I}_1$
Enerji itkisi nəzərə alındıqda transformatorun f.i.ə belə təyin olunur:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{\dot{I}_2 U_2}{\dot{I}_1 U_1} \cdot 100\%$$

Qeyd: transformatorun çıxış sarğacı işlədiciyə qoşularsa, transformasiya əmsalı:

$$K = \frac{U_1}{U_2 + \dot{I}_2 \cdot r_2}$$

Burada, r_2 - ikinci sarğacın müqavimətidir.

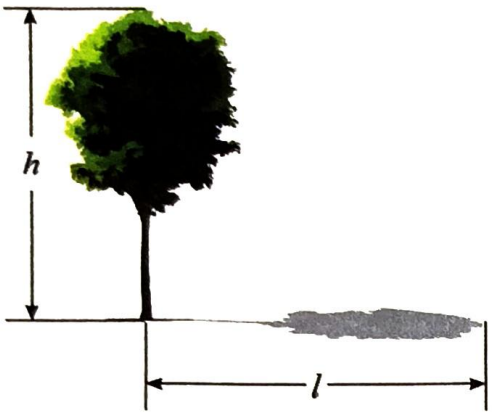
25.HƏNDƏSİ OPTİKA

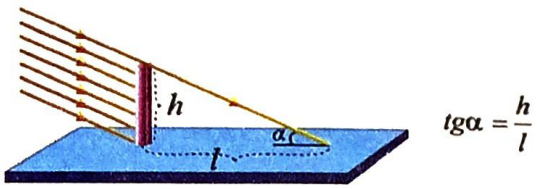
§25.1.İşıq optikası. Həndəsi optikanın əsas qanunları

Fizikanın işıq hadisələrini öyrənən bölməsi optika (yunanca "optos" – görünən) adlanır. Optika iki hissəyə bölünür: *həndəsi optika* və *dalğa optikası*. Həndəsi optikada işıq hadisələri düzxətli işıq şüaları təsəvvürü əsasında öyrənilir. Müasir təsəvvürə görə, işıq elektromaqnit təbiətli olub, eyni zamanda dalğa və zərrəcik xassəsinə malikdir. Müəyyən hadisələrdə işıq özünü dalğa, digər hadisələrdə isə zərrəciklər seli kimi, yəni fotonlar seli kimi aparır. İşıq enerjisinin yayılma istiqamətini göstərən xətlərə işıq şüaları deyilir.
Həndəsi optikanın üç əsas qanunu vardır:

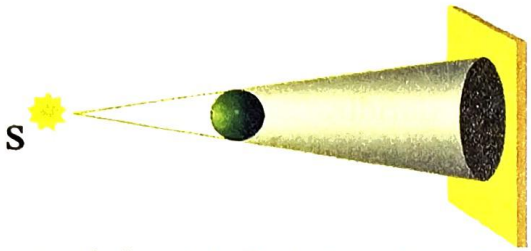
1. Bircins mühitdə işığın düz xətt boyunca yayılma qanunu

Bircins mühitdə işıq düz xətt boyunca yayılır. Kölgənin və yarımkölgənin əmələ gəlməsi işığın düz xətt boyunca yayılması ilə izah edilir.

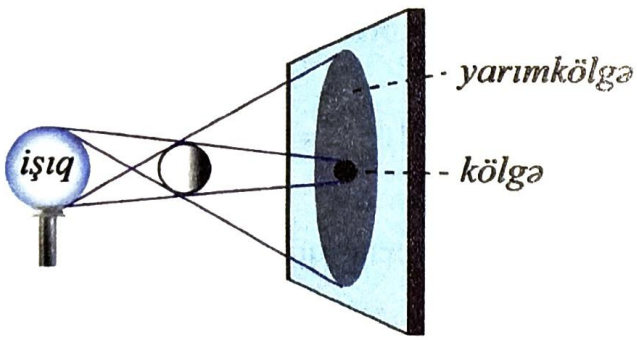




Kürənin arxasında onun kənarlarına düşən işıq şüaları ilə məhdudlaşan dairəşəkilli kəskin kölgə yaranacaq.



Böyük ölçülü işıq mənbəyindən istifadə edək. Bu halda ekranda kəskin kölgə ilə yanaşı, yarım kölgə də alınır.



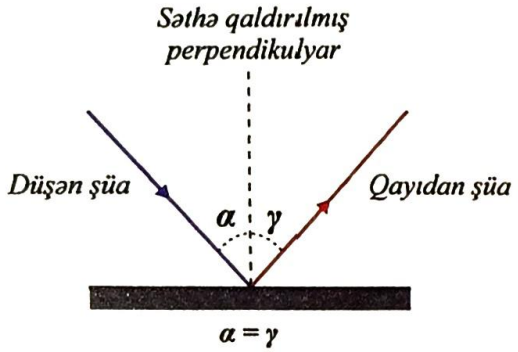
Bu yarımkölgənin yaranma səbəbi nədir? İşıq mənbəyin çoxlu miqdarda işıq verən nöqtələrdən ibarətdir. Bu nöqtələrin hər birindən şüalanan işıq düzxətli yayılaraq ekrana düşür. Həmin kölgələr üst-üstə düşmədiyindən ekranda yarımkölgə əmələ gəlir.

Belə hadisələr Günəş tutulması zamanı da baş verir. Kölgə zonasında olan müşahidəçi Günəşin tam tutlmasının şahidi olur.



2. İşığın qayıtma qanunu

Düşən şüa, qayıdan şüa və şüanın düşmə nöqtəsindən səthə qaldırılmış perpendikulyar bir müstəvidə yerləşir. Qayıtma bucağı (γ) düşmə bucağına (α) bərabərdir.

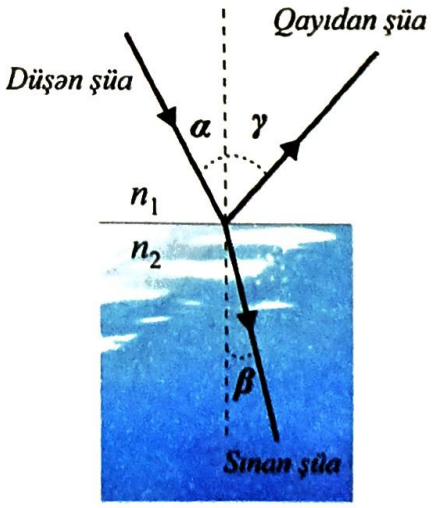


3. İşığın sınma qanunu

İşıq şüası iki şəffaf mühitin sərhəddindən keçdikdə nə üçün istiqamətini dəyişir?İşıq şüası sıxlıqları müxtəlif olan iki şəffaf mühiti ayıran səthə düşdükdə onun bir hissəsi səthdən qayıdır, digər hissəsi isə bu iki mühitin sərhəddindən keçərək yayılma istiqamətini dəyişir. Məsələn: hava-su, hava-şüşə, şüşə-su və.s

Düşən şüa, sınan şüa və şüanın düşmə nöqtəsindən iki mühitin sərhədinə qaldırılmış perpendikulyar bir müstəvi üzərində yerləşir. Düşmə bucağı sinusunun sınma bucağı sinusuna olan nisbəti verilmiş iki mühit üçün sabit kəmiyyətdir:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n$$



n – nisbi sındırma əmsalı adlanır.

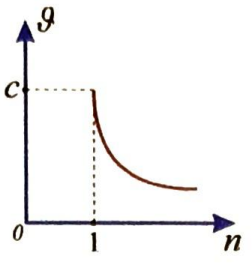
$$n = \frac{n_2}{n_1} \qquad \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

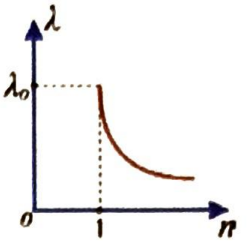
- *Sındırma əmsalının qiyməti şüanın düşmə, yaxud sınma bucağından asılı deyil, verilmiş iki mühitin xassələrindən (növündən) asılıdır. Məsələn:* $n_{su} = 1{,}3$ $n_{şüş} = 1{,}6$ $n_{hava} = 1$

- *Mühitin vakuuma nəzərən sındırma əmsalı həmin mühitin* **mütləq sındırma əmsalı** *adlanır. Mütləq sındırma əmsalı* (n) *işığın verilmiş mühitdəki yayılma sürətinin* (ϑ) *vakuumda yayılma* (c) *sürətindən neçə dəfə kiçik olduğunu göstərir.*

$$n = \frac{c}{\vartheta} \qquad n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \; m/san$$





- *İşıq bir mühitdən başqa mühitə keçdikdə tezliyi dəyişmir, dalğa uzunluğu və sürəti dəyişir.*
- *İşığın bircins mühitdə yayılma sürəti* (ϑ) *və dalğa uzunluğu* (λ) *vakuumdakı sürəti* (c) *və dalğa uzunluğundan* (λ_0) *mühitin sındırma əmsalı* (n) *dəfə kiçikdir:*

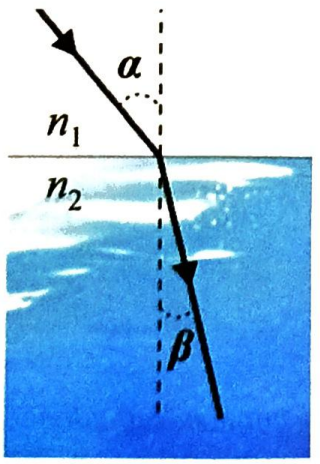
$$\vartheta = \frac{c}{n} \qquad \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \qquad \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

- *İki mühit sərhəddində işığın sınma qanunu ümumi şəkildə belə yazılır:*

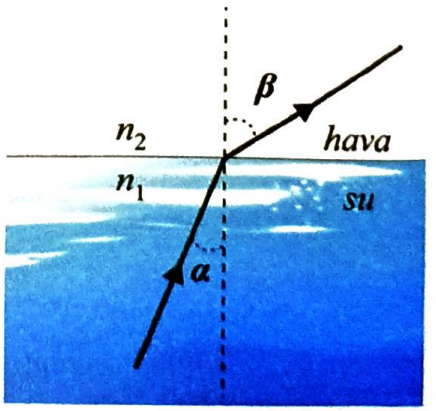
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

- ***Mütləq sındırma əmsalı böyük olan mühitlər optik sıx mühitlər adlanır.***
- *İşıq şüası mütləq sındırma əmsalı kiçik olan mühitdən böyük olan mühitə keçdikdə, sınaraq iki mühiti ayıran səthə qaldırılan perpendikulyara yaxınlaşır.*
- *İşıq şüası mütləq sındırma əmsalı böyük olan mühitdən kiçik olan mühitə keçdikdə isə sınaraq perpendikulyardan uzaqlaşır.*

$n_2 > n_1$
$\alpha > \beta$
$\vartheta_1 > \vartheta_2$
$\lambda_1 > \lambda_2$
$\nu_1 = \nu_2$
$T_1 = T_2$



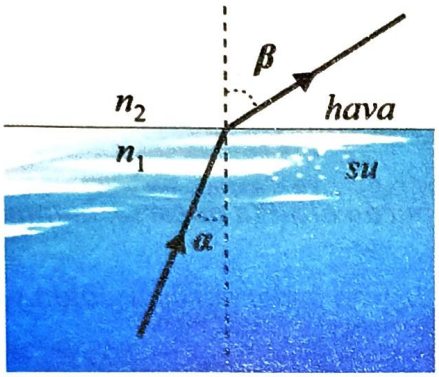
$n_1 > n_2$
$\beta > \alpha$
$\vartheta_2 > \vartheta_1$
$\lambda_2 > \lambda_1$
$\nu_1 = \nu_2$
$T_1 = T_2$



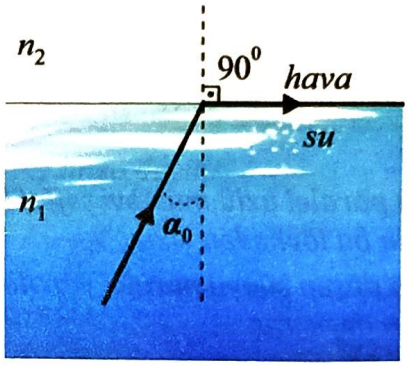
§25.2.İşığın tam daxili qayıtması

İşıq optik sıxlığı çox olan mühitdən az olan mühitə keçərkən sınan şüa mövcud olmaya da bilər.

- Suyun daxilindəki işıq mənbəyindən su-hava sərhəddinə işıq şüaları düşür. Düşmə bucağının kiçik qiymətlərində işıq şüasının bir hissəsi havaya keçir ***(şəkil a).***
- α - bucağın böyüdükcə sınma bucağıda böyüyür. Nəhayət, düşmə bucağının müəyyən α_0 qiymətində sınma bucağı özünün maksimal qiymətinə çatır $\beta_{max} = 90^0$ və sınan şüa iki mühiti ayıran sərhəddi boyunca yayılır***(şəkil b).***



şəkil a



şəkil b

90^0-lik sınma bucağına uyğun gələn α_0 düşmə bucağı ***tam qayıtmanın limit bucağı*** adlanır.

$\beta = 90^0$ olan hal üçün sınma qanununu yazaq:

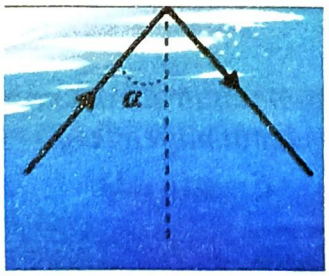
$$\frac{\sin\alpha_0}{\sin 90^0} = \frac{n_2}{n_1}$$

Havanın mütləq sındırma əmsalı $n_2 \approx 1$, $\sin 90^0 = 1$, $n_1 = n$ olduğunu nəzərə alaq.

İşığın verilmiş mühitdən havaya keçdiyi hal üçün ***tam qayıtmanın limit*** bucağı

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n}$$ kimi təyin edilir.

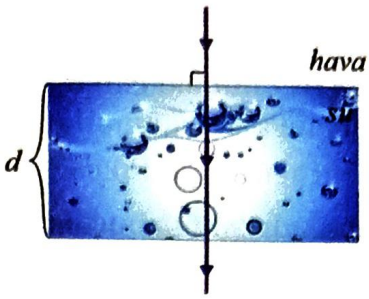
- Şüanın düşmə bucağı $\alpha > \alpha_0$ olduqda sınma hadisəsi baş vermir, işıq bütövlüklə əks olunaraq səthdən qayıdır. Bu hadisə ***işığın tam qayıtması*** adlanır.



- *Beləliklə, işığın tam qayıtmasının baş verməsi üçün iki şərt ödənilməlidir.*
  1. işıq optik sıxlığı çox olan mühitdən optik sıxlığı az mühitə keçməlidir $(n_1 > n_2)$.
  2. Şüanın düşmə bucağı tam qayıtmanın limit bucağından böyük olmalıdır $(\alpha > \alpha_0)$.
  İşıq ötürənin iş prinsipi tam daxili qayıtma hadisəsinə əsaslanır.

- ***İşıq şüası iki mühiti ayıran sərhədə perpendikulyar düşdükdə, yayılma istiqaməti dəyişmir.*** Bu mühit daxilində işığın yayılma müddəti:

$$t = \frac{d}{\vartheta} = \frac{d}{\frac{c}{n}} = \frac{d \cdot n}{c}$$



Deməli, sındırma əmsalı böyük olan mühitlərdə işığın yayılma müddəti çox olur.

§25.3. İşığın paralel üzlü müstəvi lövhədən və üçüzlü prizmadan keçməsi

- *İşıq şüası paralel üzlü müstəvi şəffaf lövhəyə hansı bucaq altında düşərsə, həmin bucaq altında da bu lövhədən çıxır.*
- *Çıxan şüa düşən şüaya paralel yönəlir, onun yeri müəyyən qədər sürüşür, lakin yayılma istiqaməti dəyişmir.*
- *Şüanın yerdəyişməsi lövhənin qalınlığından, sındırma əmsalından və şüanın düşmə bucağından asılıdır.* ***(şəkil a)***
- *Əgər işığın şüası üç fərqli mühitdən keçərsə:* ***(şəkil b)***

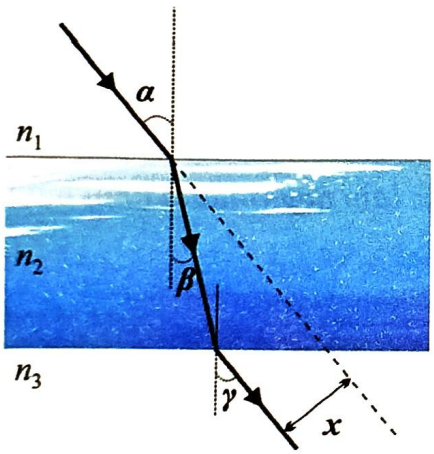
$\alpha = \gamma > \beta$

$n_1 = n_3 < n_2$

$\vartheta_1 = \vartheta_3 > \vartheta_2$

$\lambda_1 = \lambda_3 > \lambda_2$

$v_1 = v_2 = v_3$



(şəkil a)

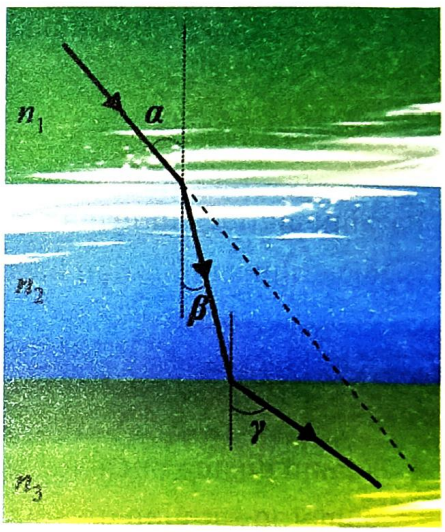
$\gamma > \alpha > \beta$

$n_3 < n_1 < n_2$

$\vartheta_3 > \vartheta_1 > \vartheta_2$

$\lambda_3 > \lambda_1 > \lambda_2$

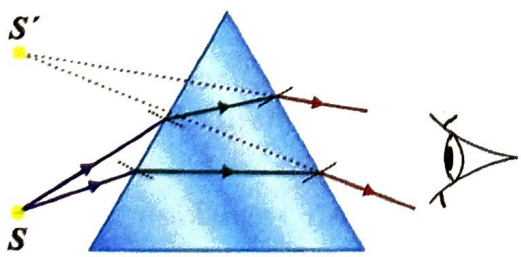
$v_1 = v_2 = v_3$

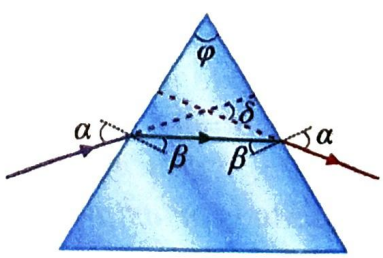


(şəkil b)

- *Üçüzlü prizmada da şüanın yolu işığın sınma qanununa əsasən qurulur.*
  φ – prizmanın sındırıcı bucağı, δ -şüanın meyl bucağı

$$\delta = \varphi(n-1)$$





§25.4.Nazik linzalar

Sferik səthlərlə hüdudlanmış şəffaf cisimlərə ***linzalar*** *deyilir.Linzalar* ***toplayıcı*** *və* ***səpici*** *olur.*

- *Ortası kənarlarına nisbətən qalın olan linzaya* ***toplayıcı (qabarıq)*** *linzalar adlanır.*



iki tərəfli qabarıq linza



müstəvi-qabarıq linza



Çökük-qabarıq linza



Şərti işarəsi

- *Ortası kənarlarından nazik olan linzaya* ***səpici (çökük)*** *linza deyilir.*



iki tərəfli çökük linza



müstəvi-çökük linza

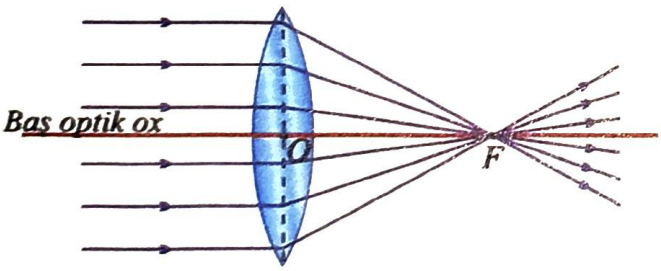


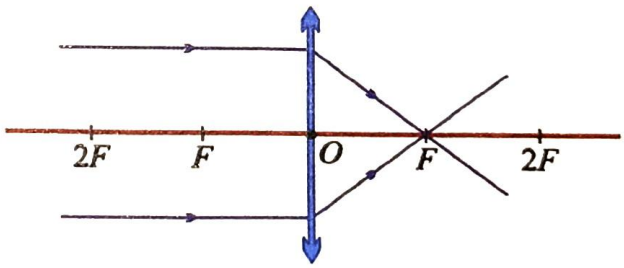
qabarıq-çökük linza



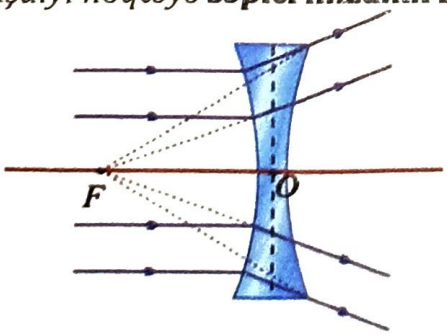
şərti işarəsi

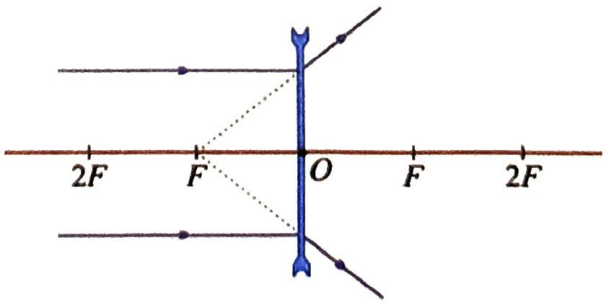
- *Baş optik oxla kəsişən linzanın O nöqtəsi* ***optik mərkəz*** *adlanır.*
- *Toplayıcı linzanın baş optik oxuna paralel düşən şüaların linzada sındıqdan sonra baş optik oxla kəsişdiyi nöqtə linzanın* ***baş fokus nöqtəsi*** *adlanır.*
- *Linzanın optik mərkəzi ilə baş fokus nöqtəsi arasındakı məsafə* ***fokus məsafəsi*** *adlanır. Fokus məsafəsi* F *ilə işarə olunur, vahidi* $[F]=1m$





- *Səpici linzanın baş optik oxuna paralel düşən şüalar linzada sındıqdan sonra uzantılarının kəsişdiyi nöqtəyə* ***səpici linzanın baş fokusu*** *deyilir.*





- *Fokus məsafəsinin tərs qiymətinə linzanın* ***optik qüvvəsi*** *deyilir.*

$$D = \frac{1}{F} \qquad \text{Vahidi: } [D] = \frac{1}{m} = 1dptr\,(dioptriya)$$

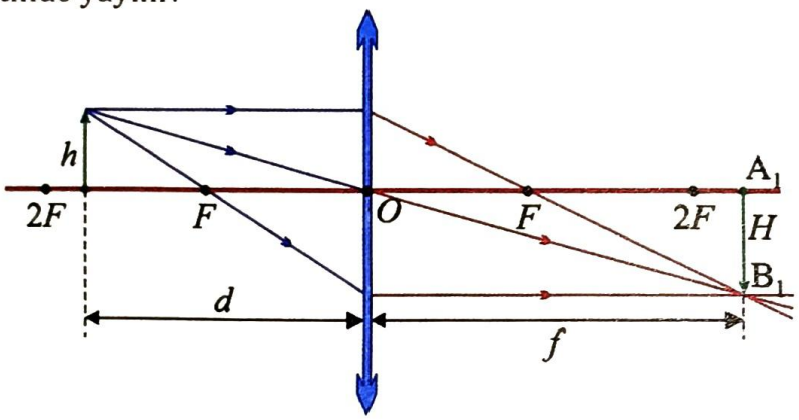
Fokus məsafəsi 1 metr olan linzanın optik qüvvəsinə 1 dioptriya deyilir.

- ***Linzalar sisteminin optik qüvvəsi:*** $D = D_1 + D_2$

§25.5.Linzada xəyalların qurulması

❖ Toplayıcı linzada xəyalın qurulması

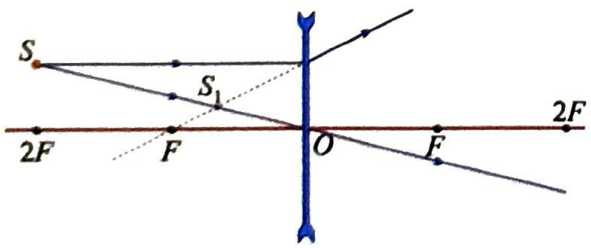
- Baş optik oxa paralel düşən şüa linzada sındıqdan sonra baş fokus nöqtəsindən keçir.
- Linzanın optik mərkəzindən keçən şüa sınmayaraq əvvəlki istiqamətində yayılır.
- Baş fokus nöqtəsindən keçəcək linza üzərinə düşən şüa sındıqdan sonra baş optik oxa paralel istiqamətində yayılır.

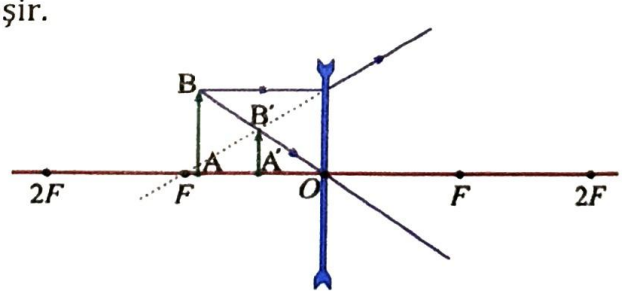


d *– cisimdən linzaya qədər məsafə,* ***f*** *– xəyaldan linzaya qədər məsafə,* ***d+f*** *– cisimlə xəyal arasındakı məsafə,* ***h*** *– cismin hündürlüyü,* ***H*** *– xəyalın hündürlüyüdür.*
Toplayıcı linzada alınan xəyalın xarakteri cismin linzaya nəzərən vəziyyətindən asılıdır.
Burada altı müxtəlif halın alınması səhifə 113 də qrafikdə verilmişdir.

❖ Səpici linzada xəyalın qurulması

- Baş optik oxa paralel düşən şüa sınandan sonra elə meyl edir ki, onun uzantısı baş fokus nöqtəsindən keçsin.
- Linzanın optik mərkəzindən keçən şüa sınmadan yoluna davam edir.
- Cismin istənilən vəziyyətində səpici linza mövhumi, kiçildilmiş $(\Gamma < 1)$ və düzünə xəyal verir. Cisimlə xəyal linzanın eyni tərəfində yerləşir.





❖ Nazik linzanın düsturları

- Toplayıcı linzada həqiqi xəyal üçün linza düsturu: $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$ $D=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$

  $F>0,\ D>0,\ f>0$

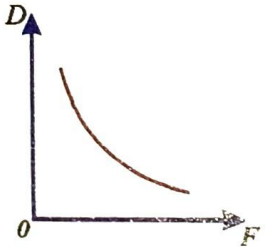
- Toplayıcı linzada mövhumi xəyal üçün linza düsturu: $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}-\frac{1}{|f|}$ $D=\frac{1}{d}-\frac{1}{|f|}$

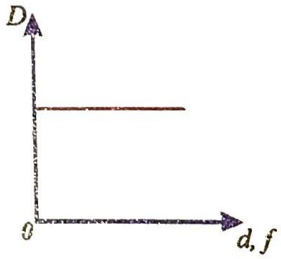
  $F>0,\ D>0,\ f<0$

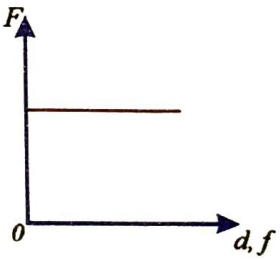
- Səpici linzanın düsturu: $F<0,\ D<0,\ f<0$ $-\frac{1}{|F|}=\frac{1}{d}-\frac{1}{|f|}$

- Toplayıcı linzada $F>0, D>0$, səpici linzada $F<0, D<0$

- Linzanın *fokus məsafəsi* və *optik qüvvəsi* onun sferik səthlərinin əyrilik radiusundan, linzanın hazırlandığı maddənin sındırma əmsalından və onun yerləşdiyi mühitin sındırma əmsalından asılıdır.







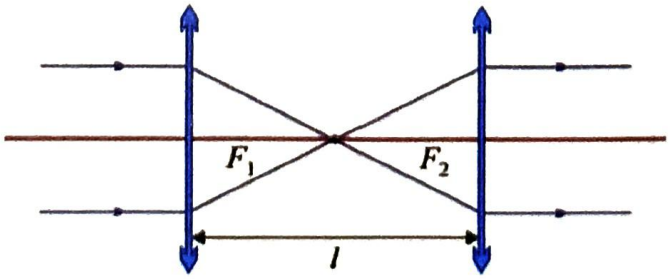
- ***Xəyalın xətti ölçülərinin cismin xətti ölçülərinə olan nisbətinə linzanın böyütməsi deyilir.***

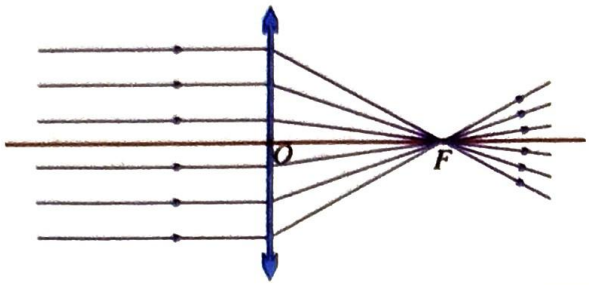
$$\Gamma=\frac{H}{h}=\frac{|f|}{d}$$

Xətti böyütmənin vahidi yoxdur. Linzalar sisteminin böyütməsi: $\Gamma=\Gamma_1\cdot\Gamma_2$

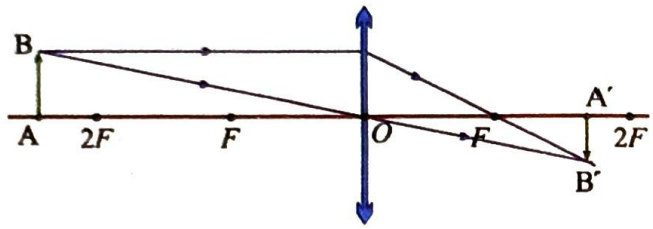
- Linzalar sistemində düşən və çıxan şüalar bir – birinə paralel olarsa onlar arasındakı məsafə:

$$l=F_1+F_2$$

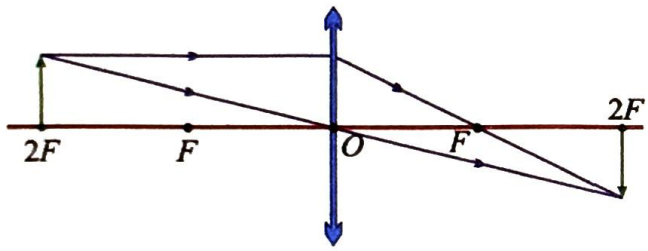




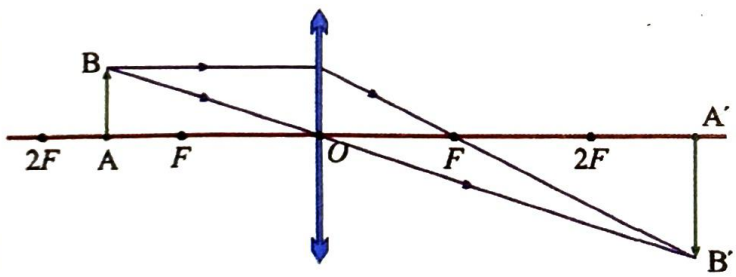
1. *Cisim linzadan sonsuz uzaq məsafədə yerləşir:* $d \to \infty$. *Həqiqi xəyal linzanın fokusunda nöqtə şəklində alınır:* $f = F$



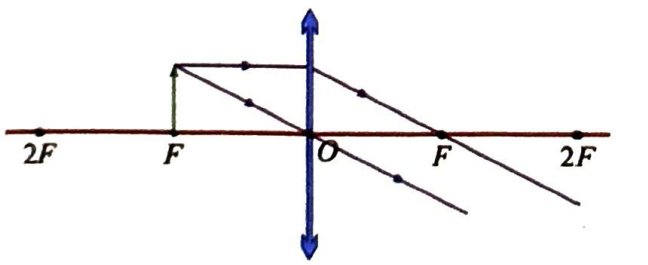
2. *AB cismi linzanın ikiqat foksundan arxada yerləşir:* $d > 2F$. *Linza cismin həqiqi, kiçildilmiş* $(\Gamma < 1)$ *və tərsinə çevrilmiş xəyalını verir. Xəyal linzanın fokusu ilə ikiqat fokusu arasında yerləşir:* $F < f < 2F$. *Fotoaparatda belə xəyaldan istifadə olunur.*



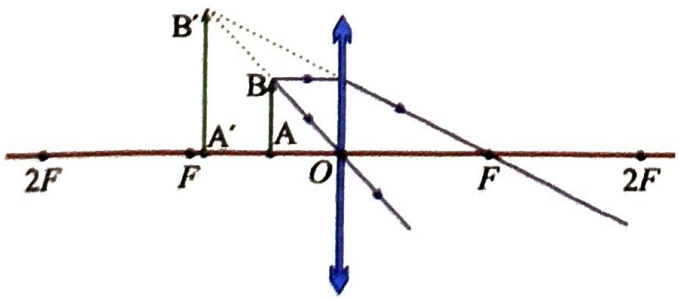
3. *Cisim linzanın ikiqat foksunda yerləşir:* $d = 2F$. *Cismin xəyalı həqiqi, özü boyda* $(\Gamma = 1)$ *və tərsinə çevrilmiş alınır. Xəyal linzanın ikiqat foksunda yerləşir:* $f = 2F$.



4. *Cisim linzanın fokusu ilə ikiqat fokusu arasında yerləşir:* $F < d < 2F$. *Cismin xəyalı həqiqi, böyüdülmüş* $(\Gamma > 1)$ *və tərsinə çevrilmiş alınır. Xəyal linzanın ikiqat fokus məsafəsinin arxasında yerləşir:* $f > 2F$. *Proyeksiya aparatında və kinoaparatda bu cür xəyallardan istifadə olunur.*



5. *Cisim linzanın fokusunda yerləşir:* $d = F$. *Bu halda xəyal alınmır, çünki linzadan keçən şüalar kəsişmir.*

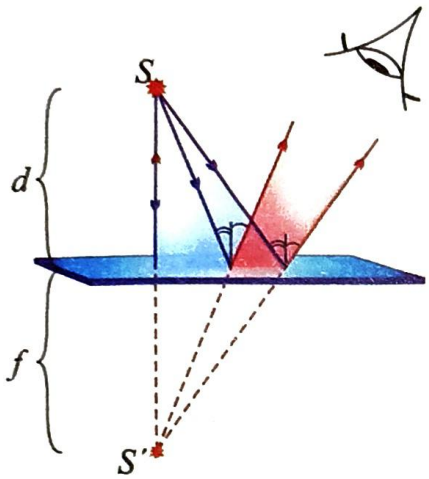


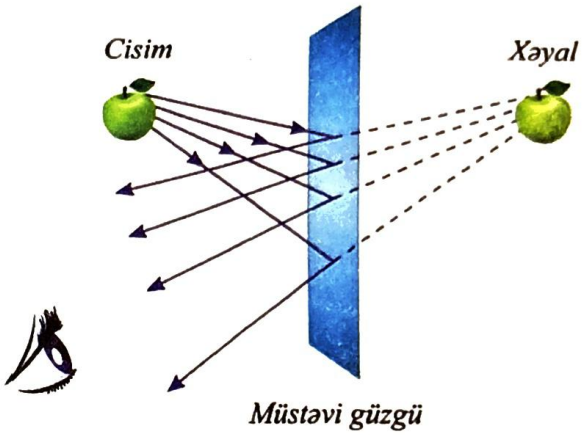
6. *Cisim linza ilə onun fokusu arasında yerləşir:* $d < F$. *Xəyal mövhumi, böyüdülmüş* $(\Gamma > 1)$ *və düzünə alınır. Xəyal cisim olan tərəfdə, lakin cismə nisbətən daha uzaqda yerləşir:* $|f| > d$. *Lupadan alınan xəyal mövhumidir.*

§25.6.Müstəvi güzgü. Müstəvi güzgüdə xəyalın qurulması

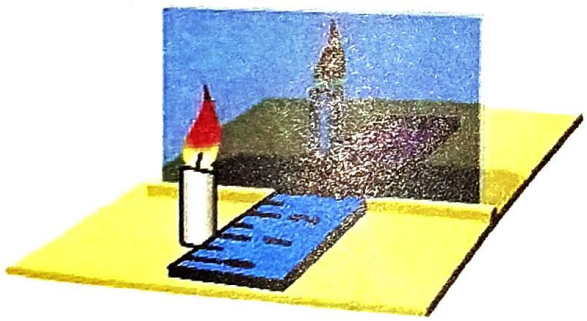
Müstəvi güzgüdə xəyal necə alınır? Üzərinə düşən işıq dəstəsini səpməyib, ancaq bir istiqamətdə qaytaran səth güzgü adlanır. Səthi müstəvi parçası olan güzgü *müstəvi güzgü* adlanır. Cismin müstəvi güzgüdə xəyalın qurulması işığın qayıtma qanununa əsaslanır.
Nöqtəvi işıq mənbəyindən müstəvi güzgü üzərinə düşən şüalar əks olunduqda müşahidəçinin gözünə düşərsə, o, mənbəyin xəyalını görər. Müşahidəçiyə elə gəlir ki, onun gözünə düşən şüalar həqiqi mənbədən deyil, güzgünün arxasındakı mövhumi xəyaldan gəlir. Biz bu xəyali mənbəni almaq üçün müşahidəçinin gözünə düşən şüaların uzantısını çəkməliyik.

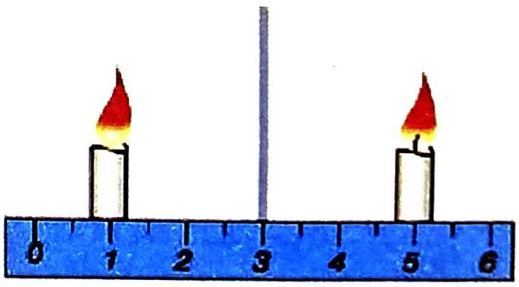
- *Müstəvi güzgüdə cismin xəyalı* ***mövhumi, özü boyda və düzünə*** *alınır.*



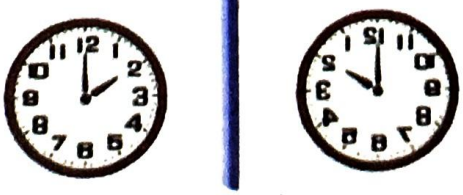


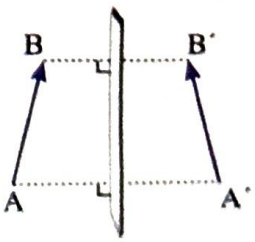
- *Müstəvi güzgüdə cismin xəyalı güzgüyə nəzərən simmetrik alınır, yəni cisimdən güzgüyə qədər olan məsafə, güzgüdən xəyala qədər olan məsafəyə bərabərdir.*



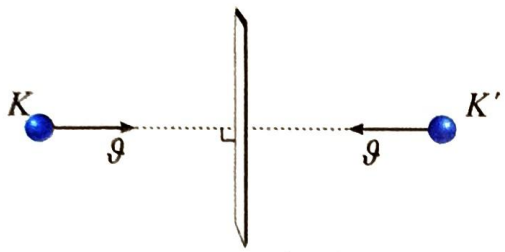




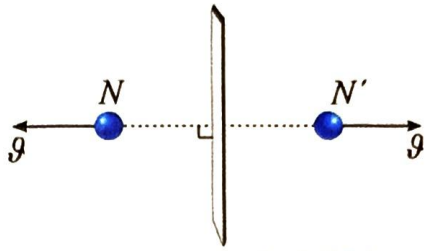




- Cisim güzgüyə ϑ sürəti ilə yaxınlaşırsa, xəyalı da güzgüyə ϑ sürəti ilə yaxınlaşır. Onda cismin xəyalına nəzərən sürəti 2ϑ olar ***(şəkil a)***.
- Cisim güzgüdən ϑ sürəti ilə uzaqlaşarsa, xəyalı da güzgüdən ϑ sürəti ilə uzaqlaşar. Onda cismin xəyala nəzərən sürəti 2ϑ olar ***(şəkil b)***.



(şəkil a)



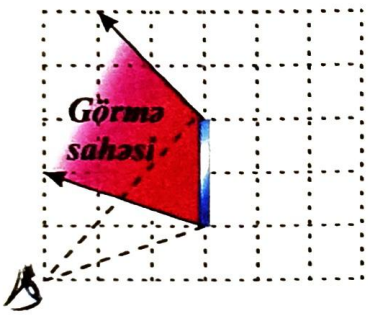
(şəkil b)

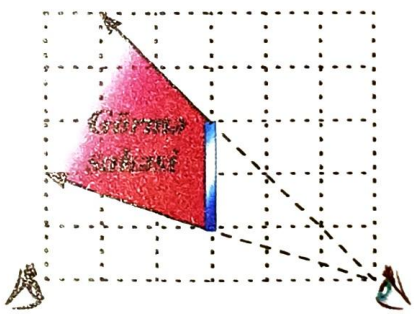
❖ *Müstəvi güzgüdə görmə sahəsinin müəyyən olunması*

Müstəvi güzgüyə baxan gözün görmə sahəsini necə müəyyən etmək olar? Bunun üçün iki üsuldan istifadə etmək olar.

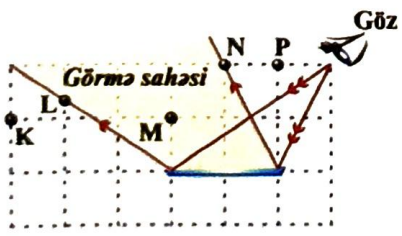
1-ci üsul. Göz nöqtəvi işıq mənbəyi kimi qəbul edilir, onun yerləşdiyi nöqtədən güzgünün kənar nöqtələrinə iki şüa yönəldilir. Həmin nöqtələrdən qayıdan şüaların əhatə etdiyi sahə bu güzgüyə baxan gözün görmə sahəsini əmələ gətirir (sxemdə qırmızı rənglə göstərilmişdir). Görmə sahəsində yerləşən ixtiyari nöqtə (və ya cisim) görünən, bu sahədən kənarda yerləşən nöqtə isə görünməz olur.

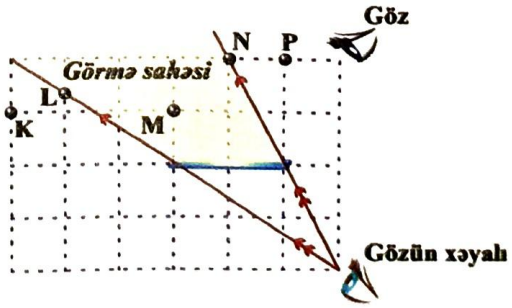
2-ci üsul. Güzgüyə nisbətən gözün simmetriyasını nəzərə alaraq, güzgünün uclarından çəkilən şüalar arasındakı sahə bu güzgüyə baxan gözün görmə sahəsini əmələ gətirir (sxemdə qırmızı rənglə göstərilmişdir).





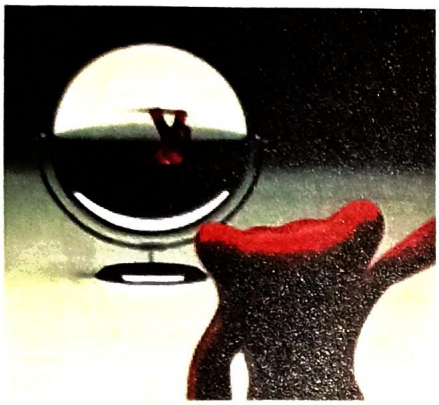
Şəkildəki güzgüdə göz L, M, N nöqtələrini görər, K və P nöqtələrini görə bilməz.



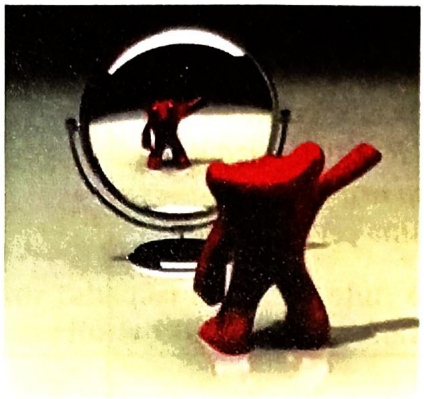


§25.7.Sferik güzgü. Sferik güzgüdə xəyalın qurulması

Güzgülərin səthi müstəvi olmaqla yanaşı, sferik şəkilli də olur. Sferik seqment formasında olan və işığı güzgü kimi əks etdirən cisim səthi – sferik güzgü adlanır.
Sferik güzgü iki növ olur: *çökük sferik güzgü, qabarıq sferik güzgü.*
Bir qaşığın daxili səthi çökük, xarici səthi qabarıq güzgüdür. Çaydanın xarici səthi qabarıq güzgüdür. Əl fənərlərində, avtomobil faralarında, teleskopda çökük güzgüdən istifadə olunur.



Çökük güzgü

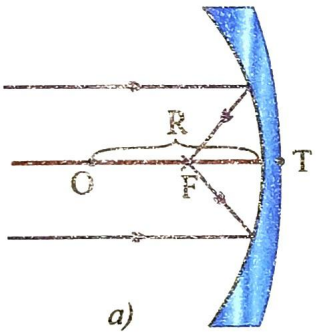


Qabarıq güzgü

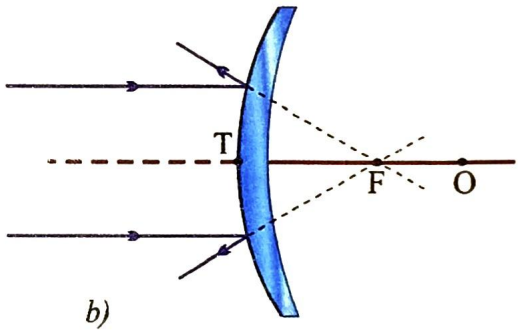


***1. çökük sferik güzgü** – işıq şüalarının sferik seqmentin daxili səthindən qaytaran güzgüdür*
***2. qabarıq sferik güzgü** – işıq şüalarının sferik seqmentin xarici səthindən səpələyən güzgüdür*

$$F = \frac{R}{2}$$



a)

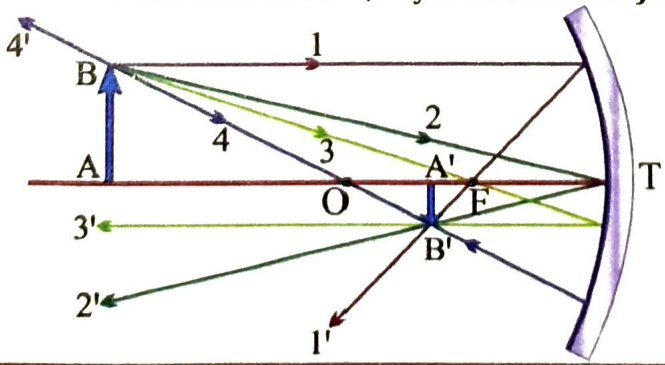


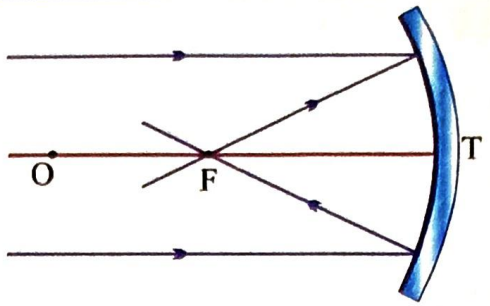
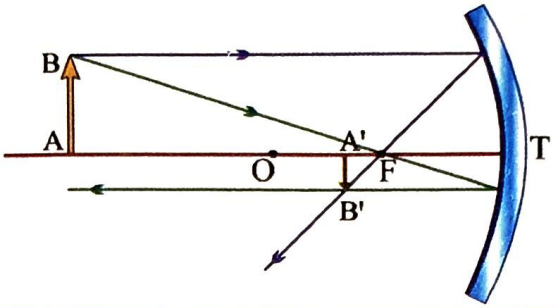
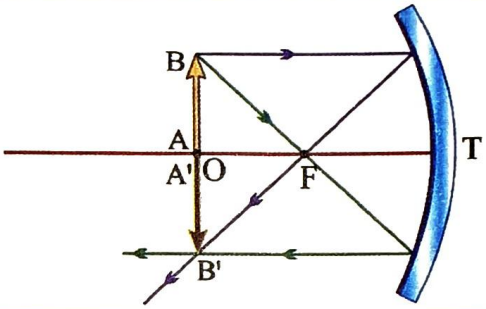
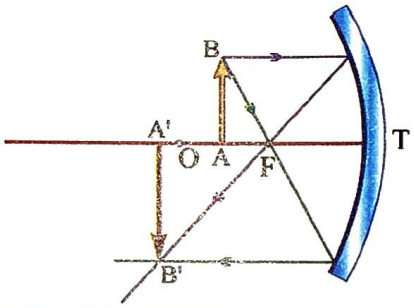
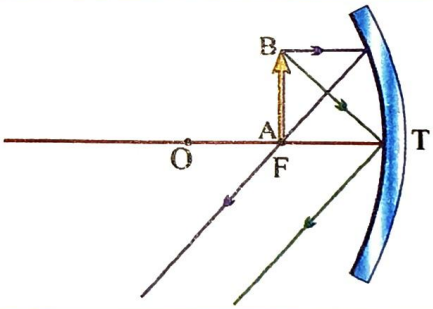
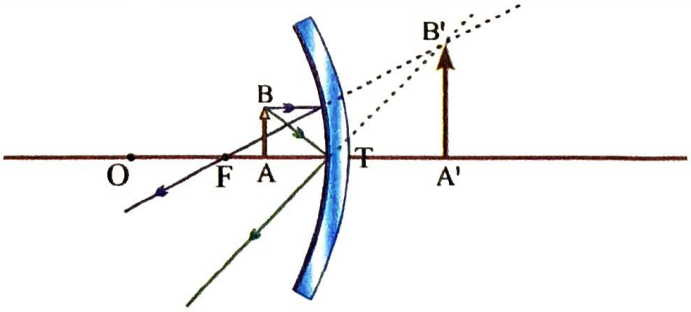
b)

***O** – optik mərkəz, **T** – seqmentin təpə nöqtəsidir, **F** – fokus məsafəsidir , **R** – əyrilik radiusudur.*

❖ Çökük güzgüdə xəyalın qurulması

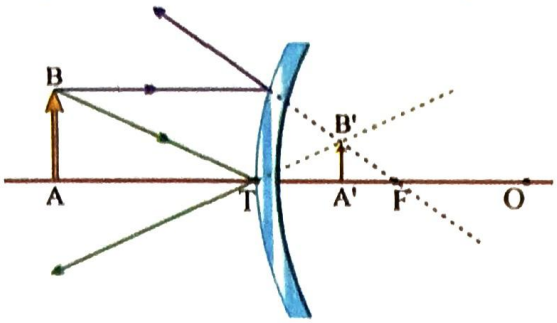
1 – Güzgünün baş optik oxuna paralel olan şüa qayıtdıqdan sonra güzgünün foksundan keçir.
2 – Güzgünün qütb təpə nöqtəsinə düşən şüası həmin nöqtədən simmetrik qayıdır.
3 – Güzgünün foksundan keçən şüa güzgüdən baş optik oxa paralel qayıdır.
4 – Optik mərkəzdən keçən şüa güzgünün səthinə hansı yolla düşürsə, həmin yolla qayıdır.
Cismin sferik güzgüdən olan məsafəsi cisim məsafəsi, bu cismin xəyalının güzgüdən olan məsafəsi xəyal məsafəsi adlanır. Cisim məsafəsi ***d***, xəyal məsafəsi isə ***f*** hərfi ilə işarə olunur.



1. *Cisim sonsuzluqda olduqda:* $d \to \infty$ *Sonsuzluqdan düşən şüalar paralel qəbul olunur və qayıdan şüalar güzgünün foksunda toplanır:* $f = F$	
2. *Cisim güzgünün əyrilik mərkəzindən uzaqlıqda olduqda:* $d > R$. *Xəyal güzgünü əyrilik mərkəzi ilə fokusu arasında* $(F < f < R)$, *həqiqi tərsinə çevrilmiş və kiçildilmiş alınır.*	
3. *Cisim güzgünün əyrilik mərkəzində olduqda:* $d = R = 2F$. *Xəyal güzgünün əyrilik mərkəzində* $(f = R = 2F)$, *həqiqi, tərsinə çevrilmiş və özü boyda alınır.*	
4. *Cisim güzgünün əyrilik mərkəzi ilə fokusu arasında olduqda:* $F < d < 2F$. *Xəyal güzgünün əyrilik mərkəzindən uzaqda* $(f > R)$, *həqiqi, tərsinə çevrilmiş və böyüdülmüş alınır.*	
5. *Cisim güzgünün fokusunda olduqda:* $d = F$. *Xəyal sonsuzluqda alınır:* $f \to \infty$	
6. *Cisim güzgünün fokusu ilə qütb nöqtəsi arasında olduqda:* $d < F$. *Xəyal güzgünün arxasında – mövhumi, düzünə və böyüdülmüş alınır.*	

❖ Qabarıq güzgüdə xəyalın qurulması

Qabarıq güzgüdə cisim məsafəsindən asılı olmayaraq bütün hallarda xəyal güzgünün arxasında (mövhumi), güzgünün təpə nöqtəsi ilə fokusu arasında, düzünə və kiçildilmiş alınır.

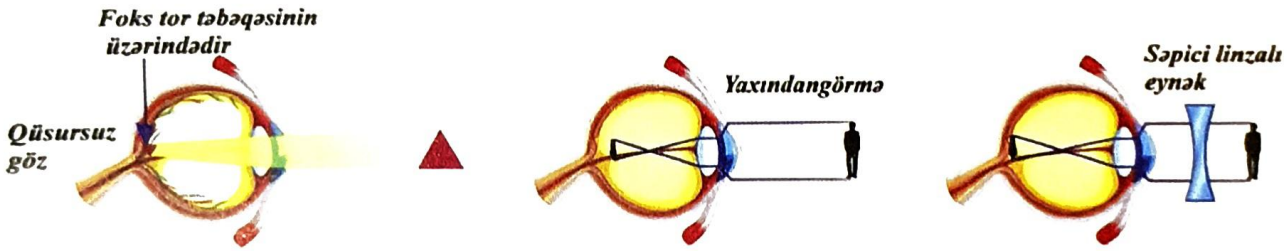


§25.8.Görmə qüsurları. Eynək

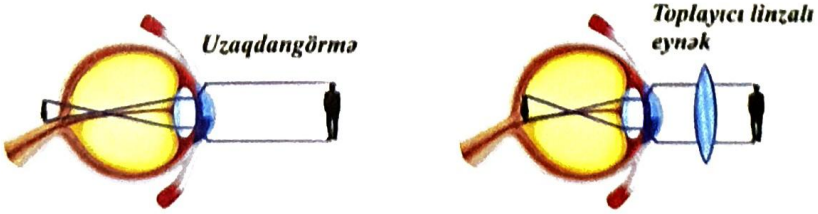
Qüsursuz gözün optik sisteminin fokusu tor təbəqəsi üzərində olur. ***Gözün tor təbəqəsində cisimlərin həqiqi, kiçildilmiş və tərsinə çevrilmiş xəyalı alınır.*** Belə göz müxtəlif cisimləri gərginləşmədən və aydın görür.

Lakin bir çox insan görmə qüsurundan əziyyət çəkir. Belə qüsurlardan ikisi daha geniş yayılmışdır. Bunlar *yaxındangörmə* və *uzaqdangörmədir.*

Yaxındangörmə: Yaxından görən gözün optik sisteminin fokusu tor təbəqədə deyil, ondan qabaqda yerləşir. Buna görə də yaxındangörmə qüsuru olan insan uzaqda olan cisimləri aydın görə bilmir. O hər hansı bir cismin kiçik hissələrini görə bilmək üçün bu cismi gözünə yaxınlaşdırmalı olur. Aparılan araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, yaxından görən gözün optik qüvvəsi qüsursuz gözün optik qüvvəsindən böyükdür. Görmədəki bu qüsuru aradan qaldırmaq üçün gözün optik qüvvəsi azaldılmalıdır. Səpici linzalı eynəklərin köməyi ilə yaxındangörməni aradan qaldırmaq olur. Belə ki, optik qüvvəsi "–" olan (məsələn: –2 dptr, – 2,5 dptr və s.) linzalı eynək gözün optik qüvvəsini azaldır və cismin xəyalı qüsursuz gözdə olduğu kimi – gözün tor təbəqəsində alınır.



Uzaqdangörmə: Uzaqdan görən gözün optik sisteminin fokusu tor təbəqəsində deyil, ondan arxada yerləşir. Ona görə də, uzaqgörən göz gərgin baxmadan (büllurun qabarıqlığını dəyişmədən) yaxındakı cisimləri aydın görə bilmir. Belə gözün optik qüvvəsi qüsursuz gözün optik qüvvəsindən kiçikdir. Görmədəki bu qüsuru aradan qaldırmaq üçün gözün optik qüvvəsi artırılmalıdır. Toplayıcı linzalı eynəklərin köməyi ilə uzaqdangörməni aradan qaldırmaq olur. Belə ki, optik qüvvəsi "+" olan (məsələn, +2 dptr, + 2,5 dptr və s.) linzalı eynək gözün optik qüvvəsini artırır və cismin xəyalı gözün tor təbəqəsində alınır.



26.DALĞA OPTİKASI

§26.1.İşığın dispersiyası

Mühitin sındırma əmsalının işığın rəqs tezliyindən (dalğa uzunluğundan) asılı olması dispersiya adlanır. Dispersiya hadisəsinin Nyuton kəşf etmişdir (1666-cı il). O, nazik ağ işıq dəstəsinin qarşısında üçüzlü prizamanı yerləşdirir və müəyyən edir ki, ağ işıq dəstəsi prizmadan keçərkən rəngli zolaqlara ayrılır. Həmin rəngli zolaqları spektr adlandırmışdır. Spektrdə *qırmızı, narıncı, sarı, yaşıl, mavi, göy və bənövşəyi* olmaqla yeddi müxtəlif rəngə malik şüalar mövcuddur. Nyuton belə nəticəyə gəldi ki, ağ işıq mürəkkəb tərkibə malik olub, yeddi rəngli işıqdan ibarətdir. Müxtəlif rəngli şüalar üçün prizmanın sındırma əmsalı müxtəlifdir. Mühitin sındırma əmsalını işığın rəngindən asılı olmasını Nyuton dispersiya adlandırdı. Sonra Nyuton prizmanın üzərinə müəyyən rəngə malik işığı, məsələn, yaşıl işığı göndərir, prizmadan keçərkən həmin işığın rənginin dəyişmədiyi aydın olur. Belə müəyyən rəngli işıq monoxromatik işıq adlanır (yunanca "monos" tək, "xromos" isə rəngli deməkdir). Spektrin müxtəlif rəngli şüalanmalarını bir yerə topladıqda, yenidən ağ işıq alınır.

İşığın rəngini onun rəqs tezliyi müəyyən edir. Monoxromatik işıq müəyyən tezlikli elektromaqnit dalğasıdır. Müxtəlif tezlikli elektromaqnit dalğaları vakuumda eyni sürətlə $(c = 3 \cdot 10^8\, m/san)$ ***yayılır. Lakin, müxtəlif tezlikli dalğaların eyni bir mühitdə yayılma sürətləri müxtəlifdir.***

Mühitin mütləq sındırma (n) əmsalı işığın maddədəki sürətindən (ϑ) asılıdır:

$$n = \frac{c}{\vartheta}$$

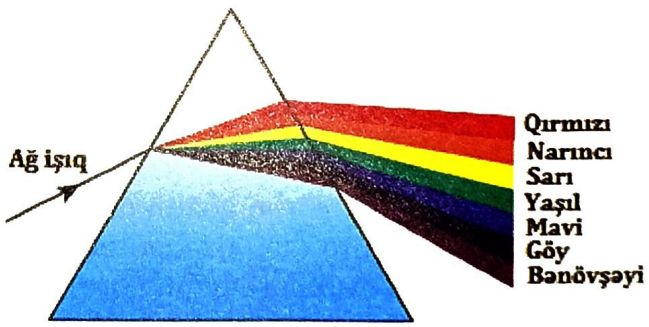
Qırmızı *rəngli şüaların maddədə* ***sürəti*** *və* ***dalğa uzunluğu ən böyükdür****, sındırma əmsalı isə ən kiçikdir. Ona görə də, qırmızı rəngli şüalar prizmadan keçərkən ən az sınır.*

Bənövşəyi *rəngli şüaların sındırma əmsalı ən böyükdür, çünki bənövşəyi şüaların maddədə* ***sürəti*** *və* ***dalğa uzunluğu ən kiçikdir****. Bənövşəyi şüalar prizmadan keçərkən ən çox sınır. Beləliklə, mühitin sındırma əmsalı qırmızı işıq üçün ən kiçik, bənövşəyi işıq üçün isə ən böyükdür.*

$$v_q < v_n < v_s < v_y < v_m < v_g < v_b$$

$$n_q < n_n < n_s < n_y < n_m < n_g < n_b$$

$$\lambda_q > \lambda_n > \lambda_s > \lambda_y > \lambda_m > \lambda_g > \lambda_b$$



Prizmanın daxilində işığın yayılma sürətləri arasındakı münasibət:

$$\vartheta_q > \vartheta_n > \vartheta_s > \vartheta_y > \vartheta_m > \vartheta_g > \vartheta_b$$

- ***İşıq bir mühitdən başqa mühitə keçdikdə tezliyi dəyişmir, dalğa uzunluğu və sürəti dəyişir.***
- ***İşığın bircins mühitdə yayılma sürəti*** (ϑ) ***və dalğa uzunluğu*** (λ) ***vakuumdakı sürəti*** (c) ***və dalğa uzunluğundan*** (λ_0) ***mühitin sındırma əmsalı*** (n) ***dəfə kiçikdir:***

$$\vartheta = \frac{c}{n} \qquad \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \qquad \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{n_2}{n_1} \qquad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Təbiətdəki cisimlərin rəngarəngliyi ağ işığın mürəkkəb tərkibə malik olması ilə əlaqədardır. Cisimlərin rəngi onun buraxdığı və ya qaytardığı işığın rəngi ilə müəyyən olunur. Ağ kağız vərəq üzərinə düşən bütün rəngli şüaları qaytarır və o, ağ görünür. Qırmızı rəngə boyanmış vərəqin üzərinə ağ işıq düşərsə, yalnız qırmızı şüalar əks olunur, bütün digər rəngli şüalar isə udulur, ona görə vərəq bizə qırmızı görünər. Yaşıl şüşə ilə yaşıl rəngli cismə baxdıqda, bizə yaşıl, qırmızı şüşə ilə baxdıqda isə qara görsənir.

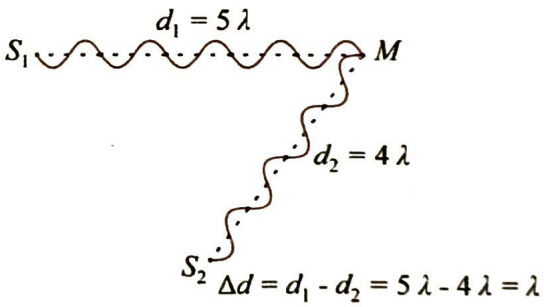
§26.2.İşığın interferensiyası

Dalğaların toplanması nəticəsində yekun rəqslərin amplitudunun artması və ya azalması hadisəsinə ***interferensiya*** *deyilir. Dalğa uzunluğu eyni, fazalar fərqi sabit qalan dalğalara* ***koherent dalğalar*** *deyilir.*

- ***Maksimumlar şərti:*** Müəyyən nöqtədə görüşən iki dalğanın yollar fərqi yarımdalğa uzunluğunun cüt misli $(\Delta d = 2k\frac{\lambda}{2})$ və yaxud da dalğa uzunluğunun tam misli $(\Delta d = k\lambda)$ bərabər olduqda, yekun rəqs amplitudu maksimum olur.

Toplanan dalğaların fazalar fərqi $\Delta\varphi = 2\pi k \quad (k = 0,1,2,3...)$ şərti də maksimumluq şərtidir.

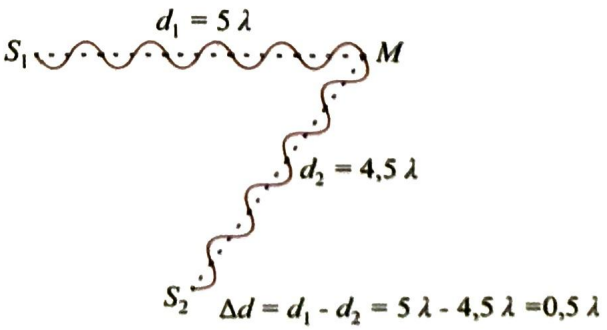
$$A_{yekun} = A_1 + A_2$$



Δd – yollar fərqi, $\Delta\varphi$ – fazalar fərqi, **A** –rəqsin amplitududur. *Vahidi:* $[\Delta d] = 1m$

- ***Minimumlar şərti:*** Müəyyən nöqtədə görüşən iki dalğanın yollar fərqi yarımdalğa uzunluğunun tək misilinə $(\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2})$ bərabər olduqda, yekun rəqs amplitudu minimum olur. $\Delta\varphi = \pi(2k+1) \quad (k = 0,1,2,3...)$ şərti də minimumluq şərtidir.

$$A_{yekun} = |A_1 - A_2|$$



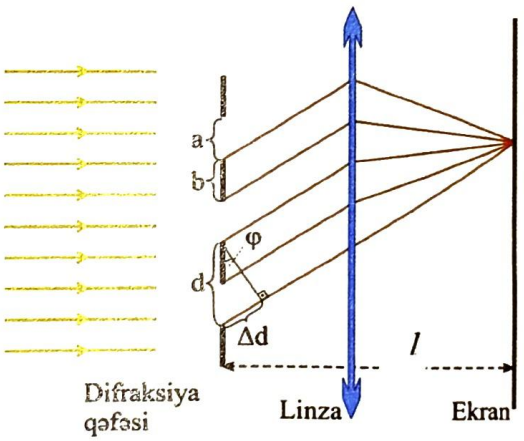
- Yollar fərqi $(1{,}6\lambda,\ 0{,}75\lambda)$ qədər dəyişən zaman fəzanın interferensiya mənzərəsində - maksimum nöqtələrində işığın intensivliyi azalır, minimum nöqtələrində isə artır.
- Yollar fərqi $(0{,}5\lambda,\ 1{,}5\lambda)$ qədər dəyişdikdə interferensiya mənzərəsinin maksimum və minimumları biri digəri ilə yerini dəyişər.
- Yollar fərqi $(\lambda,\ 2\lambda)$ qədər dəyişdikdə interferensiya mənzərəsi dəyişməz.
- Optikanın şəffaflaşdırılması interferensiya hadisəsinə əsaslanır.
- Optik şüşələrin üzərinə xüsusi nazik təbəqələrin çəkilməsi hesabına əks olunan işıq enerjisinin azaldılması optikanın şəffaflaşdırılması adlanır.
- Optikanın şəffaflaşdırmaq üçün şüşənin üzərinə çəkilən təbəqənin qalınlığı: $h = \frac{\lambda_0}{4n}$

§26.3.İşığın difraksiyası. Difraksiya qəfəsi

Dalğaların düz xətt boyunca yayılmasından kənara çıxması, yəni dalğaların maneələri aşması ***difraksiya*** *adlanır.* Difraksiya hadisəsi difraksiya qəfəsində müşahidə olunur.

Difraksiya qəfəsi - işığı spektrə ayıran və dalğa uzunluğunu dəqiq ölçməyə imkan verən optik cihazdır. Difraksiya qəfəsinin iş prinsipi işığın *difraksiyası və interferensiyasına* əsaslanır. Difraksiya qəfəsi çox kiçik məsafədə yerləşən N sayda qeyri-şəffaf cizgilərdən və onlar arasındakı şəffaf zolaqlardan ibarətdir (adətən, qurğunun 1mm hissəsində 500 ÷ 1200-ə qədər belə cizgi olur). Difraksiya qəfəsinə perpendikulyar düşən işıq şüaları zolaqlardan φ – bucağı altında meyl edərək çıxır. Koherent dalğa mənbəyi olan bu zolaqlardan keçən şüaların interferensiyası nəticəsində ekranda difraksiyanın maksimum və minimumları alınır. *Difraksiya qəfəsində* ***maksimum*** *şərti belədir.*

$$d \cdot \sin\varphi = k\lambda \qquad \textit{Vahidi: } [d] = 1m$$



Burada, d – difraksiya qəfəsinin sabiti və ya periodu adlanır $d = a + b$, vahidi metrdir, a və b uyğun olaraq şəffaf və qeyri-şəffaf zolaqların ölçüləridir,
$k=0,\ 1,\ 2,\ 3,$.....maksimumların tərtibi,
φ – isə k tərtib maksimum verən şüanın meyl bucağıdır.

$$d = \frac{\ell}{N}$$

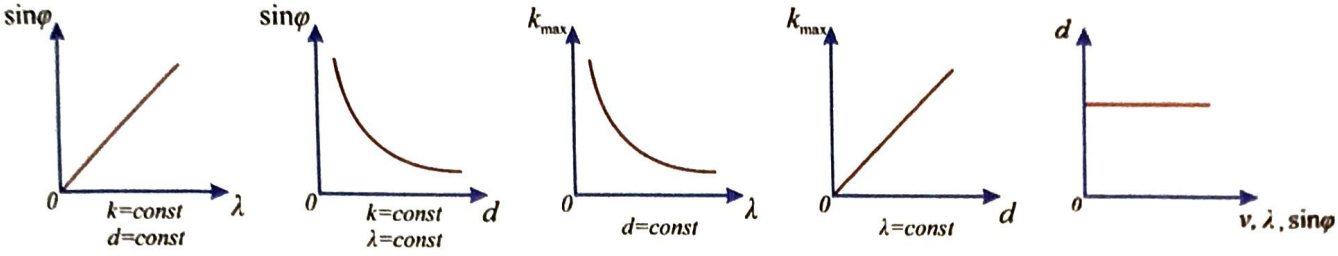
$$\frac{\ell}{N} \cdot \sin\varphi = k\frac{c}{\nu}$$

Burada, ℓ – məsafə, N – ştrixlərin sayıdır.

$$d = \frac{k\lambda}{\sin\varphi} \qquad \sin\varphi = \frac{k\lambda}{d} \qquad \lambda = \frac{d\sin\varphi}{k} \qquad k = \frac{d\sin\varphi}{\lambda}$$

Minimumlar isə maksimumlar arasında yerləşir və $d \cdot \sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$

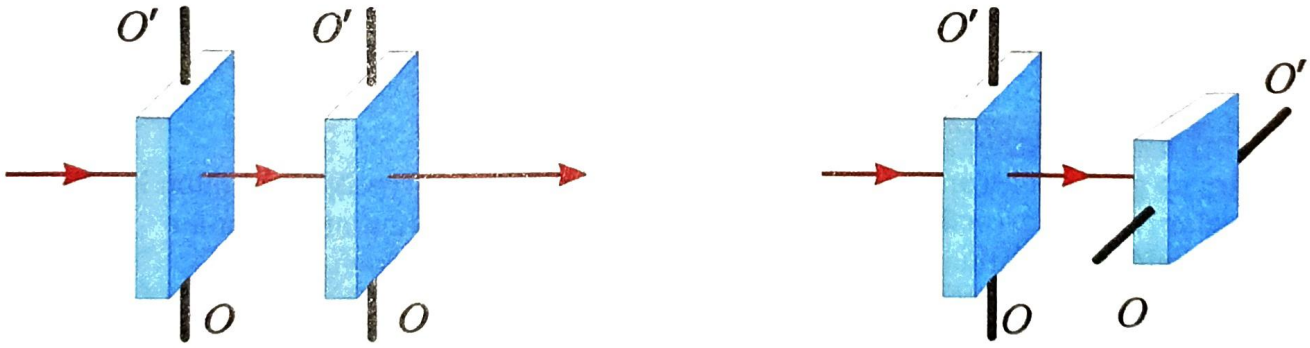
(k=0, 1, 2, 3,.....) şərtini ödəyən bucaqlar altında müşahidə olunur.



- ***Difraksiya qəfəsində şüanın meyl etmə bucağı dalğa uzunluğu ilə düz mütənasibdir.***
- ***Difraksiya qəfəsində ən çox sınan qırmızı, ən az sınan bənövşəyi rəngli şüalardır.***

§26.4.İşığın polyarlaşması

İnterferensiya və difaksiya hadisələri həm eninə, həm də uzununa dalğalarda müşahidə edildiyindən işıq dalğasının eninə olduğunu təcrübi olaraq müəyyən etmək mümkün deyildir. Lakin elə optik hadisə vardır ki, onun köməyi ilə işıq dalğasının eninə elektromaqnit dalğası olduğu müəyyən edilə bilər. Həmin hadisə işığın polyarlaşmasıdır. İşığı polyarlaşdıran həmin qurğulardan biri turmalin kristalıdır. İşığın həqiqətən polyarlaşdığını yoxlamaq üçün polyaroiddən keçən işığını qarşısına ikinci belə lövhə - analizator qoyulur. Məlum olur ki, polyaroidlə analizatorun OO' oxları paralel olduqda $\alpha = 0°$ işıq hər iki lövhədən tam keçir . Lövhələrin oxları arasındakı bucaq $0° < \alpha < 90°$ arasında dəyişərsə, onlardan keçən işığın intensivliyinin azaldığı - işığın qismən keçdiyi müşahidə olunur. Lakin lövhələrin OO' oxları bir-birinə perpendikulyar $\alpha = 90°$ olduqda işıq analizatordan keçmir.



§26.5.Elektromaqnit dalğaları şkalası

Elektromaqnit dalğalarını dalğa uzunluğuna (tezliyinə) görə ardıcıl düzdükdə alınan şkala elektromaqnit dalğaları şkalası adlanır. Elektromaqnit dalğalarının bir neçə növü vardır:
1. Radiodalğalar, 2. İnfraqırmızı şüalanma, 3. Görünən işıq (Qırmızı, Narıncı, Sarı, Yaşıl, Mavi, Göy, Bənövşəyi), 4. Ultrabənövşəyi şüalanma, 5. Rentgen şüaları, 6. Qamma-şüalanma.
Sıralanmanın axırına getdikcə, ***dalğa uzunluğu qısalır, tezliyi isə artır.*** Müxtəlif dalğa uzunluqlu şüalanmalar bir-birindən onların alınma və qeyd olunması üsulları ilə fərqlənir, onların tətbiq sahələri də müxtəlifdir.

27.İŞIQ KVANTLARI

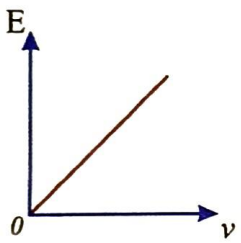
§27.1.Plank fərziyyəsi. Foton və onun xassələri. Fotonun enerjisi və impulsu

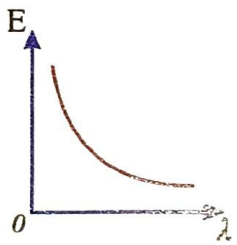
XIX əsrin sonu və XX əsrin başlanğıcı fizika elminin inkişafı tarixinə klassik fizikanın tənəzzül dövrü kimi daxil olmuşdur. Belə ki, eksperimental fizikanın bir çox yeniliklərini klassik fizika qanunları izah edə bilmədi. Məsələn, Maksvelin klassik elektromaqnit nəzəriyyəsinə görə, qızdırılan cisim elektromaqnit dalğaları şüalandırmaqla (görünən, infraqırmızı və ultrabənövşəyi hissələrdə) arasıkəsilmədən enerji itirərək, mütləq sıfıra qədər soyulmalı idi və nüvə ətrafında hərəkət edən elektron daim enerji şüalandırmaqla nüvə üzərinə düşməli və atom məhv olmalı idi. Əslində buna bənzər heç bir hadisə baş vermir, nə qızdırılan cisim özünün bütün enerjisini elektromaqnit dalğaları şüalandırmağa sərf edir, nə də elektron enerji şüalandırmaqla nüvənin üzərinə düşür. Bu nəzəriyyə əsasən, maddə ilə şüalanma arasında istilik tarazlığı mümkün deyil. Nəzəriyyə ilə təcrübə arasındakı bu ziddiyyətdən çıxış yolu axtaran alman alimi Maks Plank yeni fərziyyə irəli sürdü (1900 -cu il).

- **Plank fərziyyəsi:** ***Atomlar elektromaqnit enerjisini ayrı-ayrı porsiyalar - kvantlar şəklində şüalandırır və udur. Foton adlanan hər porsiyanın enerjisi şüalanma tezliyi ilə düz mütənasibdir.***

$$E_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Burada, E_f - fotonun(kvantın) enerjisi, ν - şüalanma tezliyi, c - işığın vakuumdakı sürəti, λ - dalğa uzunluğu, h - Plank sabiti adlanır. $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34} C \cdot san$



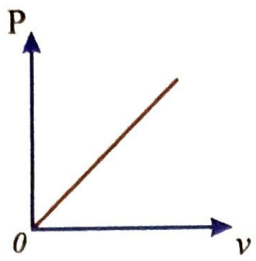


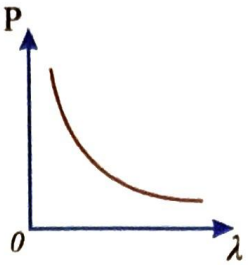
❖ Foton və onun xassələri:

Eyşteynə görə, elektromaqnit şüalanması, o cümlədən işıq zərrəciklər selindən ibarətdir. Sonralar həmin zərrəciklər - elektromaqnit şüalanmasının kvantları—fotonlar adlandırıldı. Foton müasir təsəvvürlərə görə aşağıdakı xassələrə malikdir:

- *Foton atomda sərbəst halda mövcud deyil, o, atomun enerjisi səviyyəsinin dəyişməsi zamanı yaranır.*
- *Foton bölünməz zərrəcikdir - onun tərkib hissəsi müəyyən olunmayıbdır.*
- *Foton elektrik cəhətdən neytraldır, onun yükü yoxdur.*
- *Fotonun istənilən hesablama sisteminə nəzərən hərəkət sürəti sabit olub işığın vakuumda sürətinə bərabərdir* ($c = 3 \cdot 10^8\ m/san$).
- *Fotonun sükunət kütləsi yoxdur* ($m_0 = 0$)
- *Foton maddə ilə qarışılıqlı təsir zamanı udula, səpilə və yeni fotonun yaranmasına səbəb ola bilər.*

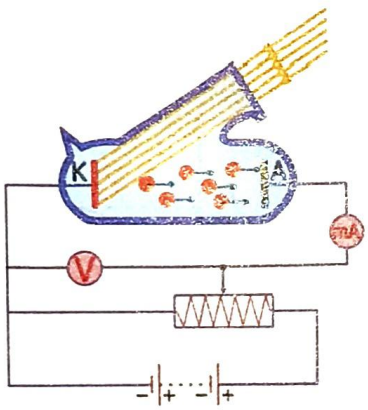
- **Foton impulsa malikdir:** $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

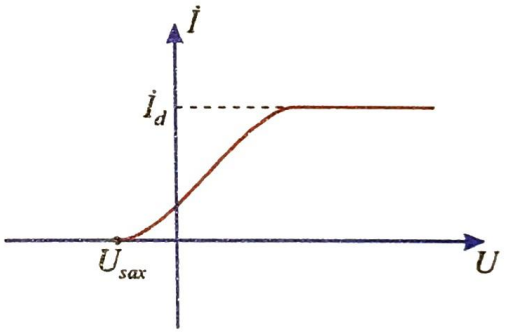




§27.2.Fotoeffekt. Fotoeffekt qanunları

İşığın təsiri ilə maddədən elektronların qopması hadisəsi ***fotoeffekt*** *adlanır.* Fotoeffektin baş vermə qanunauyğunluqlarını təcrübi olaraq 1888-1890 -cı illərdə rus alimi Aleksandr Stoletov vakuum fotoelementin köməyi ilə müəyyən etdi. Vakuum fotoelementi – içərisindən havası çıxarılmış şüşə balondan ibarətdir. Balon katod (K) və anodla (A) təhciz edilmişdir. İşıq şüası katodun üzərinə düşərək onun səthindən fotoelektronları (elektronu) qoparır. Qopan elektronların bəziləri anoda çataraq katodla anod arasında fotocərəyan yaradır. Fotocərəyan milliampermetrlə, elektrodlar arasındakı gərginlik isə voltmetrlə ölçülür. Bu təcrübə nəticəsində vakuum fotoelementinin VAX-ı alınmışdır.





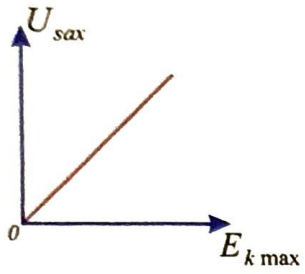
- Qrafikdən görünür ki, katodla anod arasındakı potensiallar fərqi müsbətdirsə, katod üzərinə düşən işığın intensivliyinin sabit qiymətində elektrodlar arasında gərginliyi artırsaq, cərəyan şiddəti əvvəlcə artır. Gərginliyin müəyyən bir qiymətindən sonra cərəyan şiddəti maksimum qiymət alır və sonra dəyişmir. Deməli, bu halda fotoelektronların hamısı anoda çatıb. Fotocərəyan şiddətinin maksimal qiyməti doyma cərəyan şiddəti ($\dot{I}_d$) adlanır.

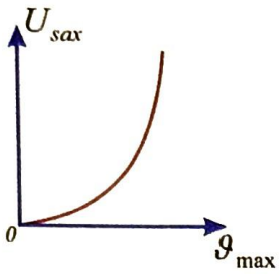
$$\dot{I}_d = \frac{eN}{t}$$

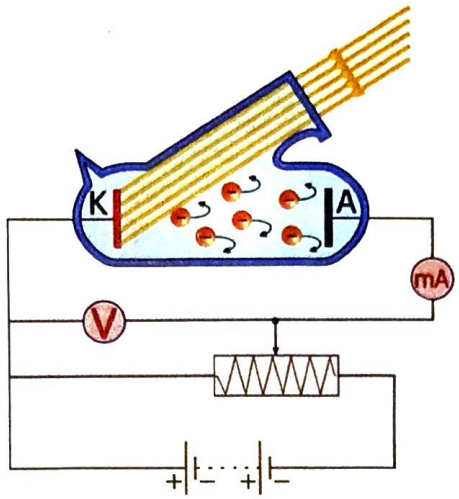
Burada, e - elementin yüküdür ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} kl$), $N - t$ müddətində katoddan qopan elektronların sayıdır.

• Cərəyan mənbəyinin qütblərini dəyişək, katod müsbət yük verdikdə fotoelektronlar elektrik sahəsi tərəfindən tormozlanır. Nəticədə fotocərəyan şiddəti azalır və gərginliyin müəyyən U_{sax} qiymətində sıfıra bərabər olur. Həmin gərginlikdə fotoelektronlar anoda çatmayaraq geriyə - katodun üzərinə qayıdır. *Fotoelektronların anoda doğru hərəkətini saxlayan U_{sax} gərginliyi* ***saxlayıcı gərginlik*** *adlanır.* Saxlayıcı gərginliyin qiyməti fotoelektronların maksimal kinetik enerjisindən asılıdır:

$$E_{k\,max} = eU_{sax} = \frac{m\vartheta_{max}^2}{2}$$

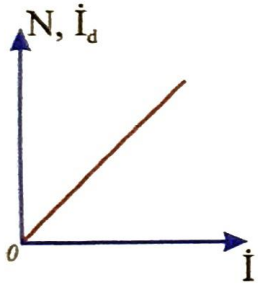


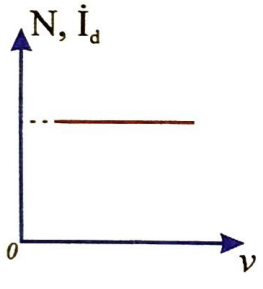


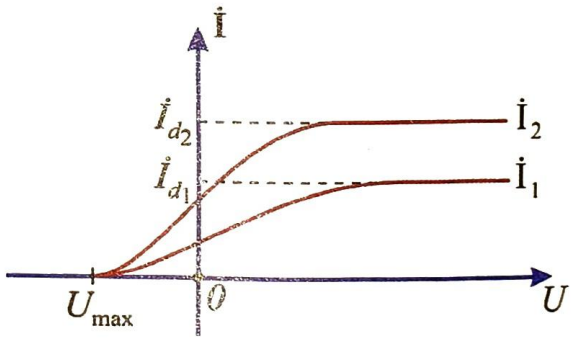


Aparılan çox saylı təcrübələrdən fotoeffektin aşağıdakı qanunları müəyyən edildi:

I qanunu: ***Metalın səthindən işığın bir saniyədə qopardığı fotoelektronların sayı*** (N) ***və doyma cərəyan şiddəti*** $(\dot{I}_d)$ ***şüalanmanın intensivliyi*** $(\dot{I})$ ***ilə düz mütənasibdir. İşığın tezliyindən və dalğa uzunluğundan asılı deyil.***

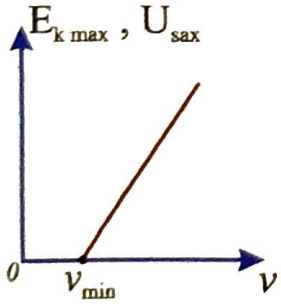


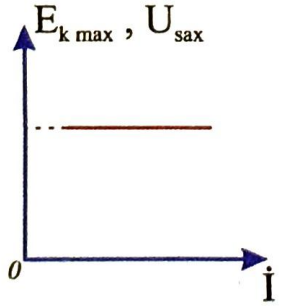


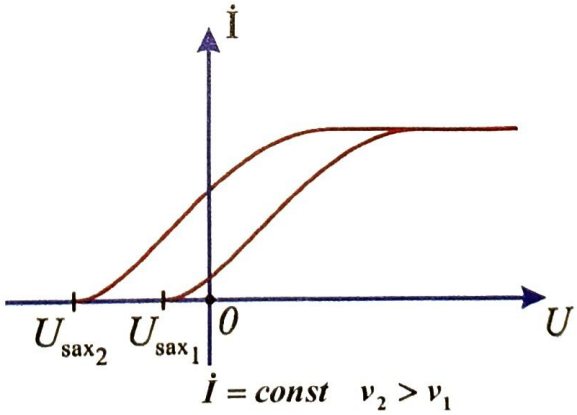


İ – işığın intensivliyidir $\nu = const \quad N_2 > N_1 \quad I_{d2} > I_{d1}$

II qanunu: ***Fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi işığın tezliyindən xətti asılı olaraq artır, işığın intensivliyidən asılı deyil.***







$\dot{I} = const \quad \nu_2 > \nu_1$

III qanunu: Hər bir maddə üçün tezliyin minimum qiyməti (ν_{min}) mövcuddur ki, düşən işığın tezliyinin qiyməti bu qiymətindən kiçik olarsa, fotoeffekt baş vermir.
Hər maddənin özünəməxsus ν_{min} tezliyi vardır. Həmin tezlik fotoeffektin qırmızı sərhəd tezliyi adlanır (verilmiş metal üçün qırmızı rəngə uyğun tezlik ən kiçik olduğu üçün belə adlandırılır).

§27.3.Fotoeffekt üçün Eynşteyn tənliyi

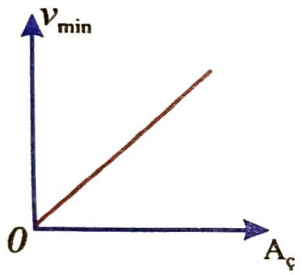
Fotoeffektin nəzəri izahını Plank fərziyyəsindən istifadə edərək A.Eynşteyn verdi. Eynşteynin ideyasına görə, fotoeffekt hadisəsində hər bir elektronu bir foton (işıq kvantı) qoparır. ***Elektron foton "udaraq" onun $E_f = h\nu$ enerjisini qəbul edir. Bu enerji elektronun metaldan çıxış işinə və ona maksimal kinetik enerjisinin verilməsinə sərf olunur:***

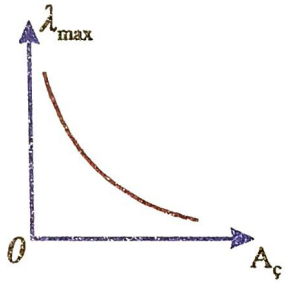
$$E_f = A_ç + E_{k\,max}$$

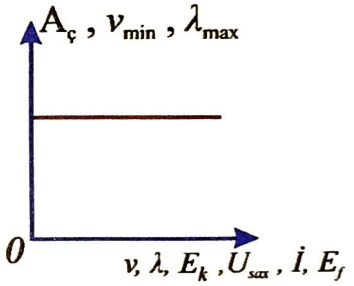
$$h\nu = A_ç + E_{k\,max} \quad \text{və ya} \quad h\nu = A_ç + \frac{m\vartheta_{max}^2}{2}$$

Çıxış işi maddənin növündən asılı olduğuna görə müxtəlif maddələr üçün qırmızı sərhəd tezliyi də müxtəlifdir.

$$A_ç = h\nu_{min} = \frac{hc}{\lambda_{max}} \qquad \nu_{min} = \frac{A_ç}{h} \qquad \lambda_{max} = \frac{hc}{A_ç}$$







- *Fotoeffekt o vaxt baş verir ki, fotonun enerjisi çıxış işindən (maddədən elektronun çıxması üçün lazım olan işdən) böyük və ya bərabər olsun.*

$$E_f \geq A_ç \qquad \nu \geq \nu_{min} \qquad \lambda \leq \lambda_{max}$$

ν_{min} fotoeffektin qırmızı sərhəd tezliyi, λ_{max} fotoeffektin qırmızı sərhədinə uyğun düşən işığın dalğa uzunluğudur.

- $E_f = A_ç$ $\nu = \nu_{min}$ olduqda fotoeffekt yaranar, elektronlar hərəkət etməz $(E_k = 0)$.
- $E_f > A_ç$ $\nu > \nu_{min}$ olduqda fotoeffekt yaranar, elektronlar hərəkət edər $(E_k \neq 0)$.
- $E_f < A_ç$ $\nu < \nu_{min}$ olduqda fotoeffekt yaranmaz.

Məsələn: *Lövhənin hazırlandığı maddə üçün fotoeffektin qırmızı sərhədi spektrin **mavi** hissəsinə düşür. Lövhəni hansı şüalanma ilə işıqlandırdıqda fotoeffekt müşahidə olunar?*

$$\nu_{rad.dalğ} < \nu_{i.q} < \nu_q < \nu_n < \nu_s < \nu_y < (\nu_m) < \nu_g < \nu_b < \nu_{u.b} < \nu_{retg} < \nu_\gamma$$

İzahı: *Bilirik ki, düşən işığın tezliyi qırmızı sərhəd tezliyindən böyük olduqda fotoeffekt müşahidə olunar. Verilmiş məsələdə qırmızı sərhədə tezliyi spektrin* **mavi** *hissəsinə düşür. Deməli, lövhəni mavi işığın tezliyindən böyük tezliyi uyğun şüalanma ilə işıqlandırdıqda fotoeffekt müşahidə olunar. Yəni lövhəni qırmızı sərhəd tezliyindən sağda yerləşən şüalarla işıqlandırdıqda fotoeffekt baş verər, solda yerləşən şüalarla işıqlandırdıqda fotoeffekt baş verməz.*

- ***Fotoelektronların kinetik enerjisi:***

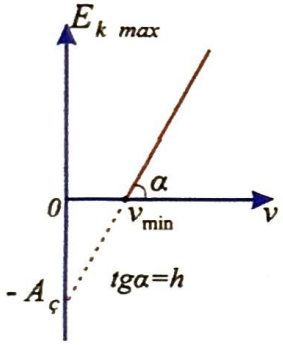
$$E_{k\,max} = h\nu - A_ç = h\nu - h\nu_{min}$$

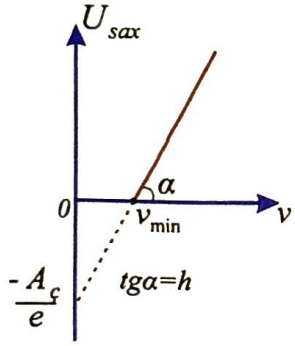
$$E_{k\,max} = \frac{hc}{\lambda} - A_ç = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

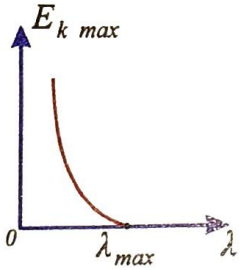
- ***Eynşteyn tənliyindən hər bir metal üçün saxlayıcı gərginliyin qiymətini hesablaya bilərik:***

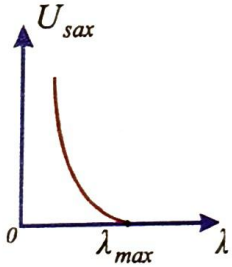
$$h\nu = A_ç + eU_{sax}$$

$$U_{sax} = \frac{h\nu - A_ç}{e}$$





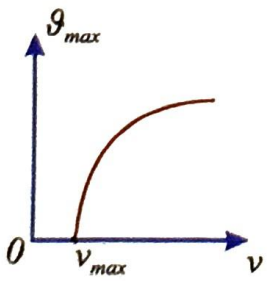


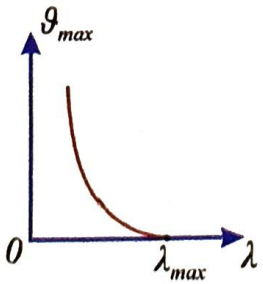


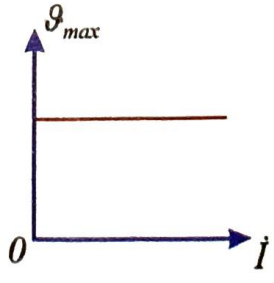
- ***Fotoelektronların maksimal sürəti:***

$$\frac{m\vartheta_{max}^2}{2} = h\nu - h\nu_{min} \quad \text{və ya} \quad \frac{m\vartheta_{max}^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

$$\vartheta_{max} = \sqrt{\frac{2h(\nu - \nu_{min})}{m}} \quad \text{və ya} \quad \vartheta_{max} = \sqrt{\frac{2hc}{m}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{max}}\right)}$$



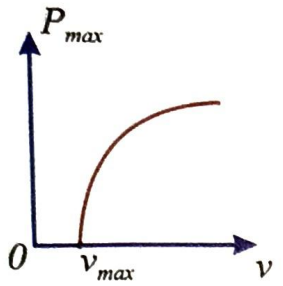


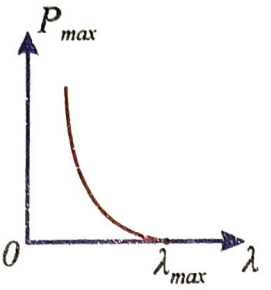


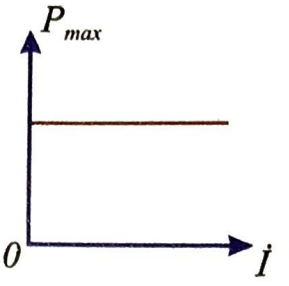
- **Fotoelektronların maksimal impulsu:**

$$\frac{p_m^2}{2m} = h\nu - h\nu_{min} \quad \text{və ya} \quad \frac{p_m^2}{2m} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{max}}$$

$$p_m = \sqrt{2mh(\nu - \nu_{min})} \quad \text{və ya} \quad p_m = \sqrt{2mhc(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{max}})}$$







Qeydlər:

- *Elektronun impulsu fotonun impulsuna bərabər olarsa:* $m\vartheta = \frac{h\nu}{c}$ $m\vartheta = \frac{h}{\lambda}$

- *İşıq mənbəyinin gücü:* $P = \frac{Nh\nu}{t}$ $N - t$ *zaman müddətindəki fotonların sayıdır.*

- *Gücü* P *olan rentgen borusu* t *müddətində tezliyi* ν *olan* N *sayda foton şüalandırırsa, onda borunun faydalı iş əmsalı:*

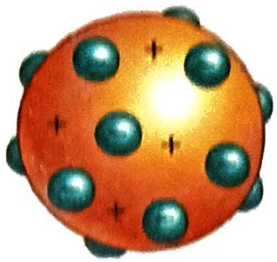
$$\eta = \frac{Nh\nu}{Pt} = \frac{Nhc}{Pt\lambda}$$

- *Kütləsi* m *olan suyun üzərinə tezliyi* ν *olan* N *sayda foton düşərsə və su* ΔT *qədər qızarsa:*

$$Nh\nu = cm\Delta T$$

28.ATOM VƏ NÜVƏ FİZİKASI

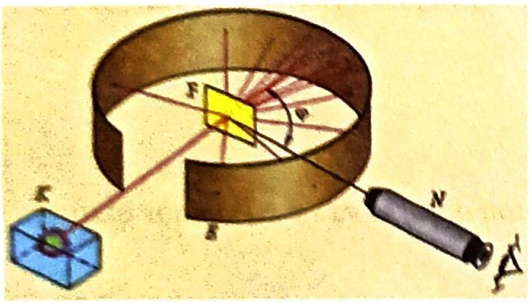
§28.1.Rezerford təcrübələri. Atomun planetar modeli



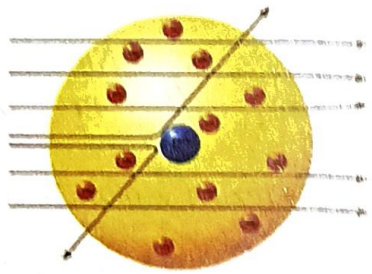
Atomun ilk modelini 1903 -cu ildə elektronu kəşf edən C.Tomson vermişdir. Onun modelinə görə atom radiusu təqribən $10^{-10}m$ olan kürə formasındadır, müsbət yük kürənin həcmində bərabər sıxlıqla paylanmışdır elektronlar isə onun daxilində bir-birindən müəyyən məsafədə yerləşmişdir.

Tomson modelinin yoxlamaq və müsbət yükün atomun daxilində necə paylandığını öyrənmək üçün 1911-ci ildə ilk təcrübəni ingilis alimi E.Rezerford aparmışdır ***(şəkil a)***. O, α – zərrəciklərin ağır element atomlarından səpilməsini tədqiq etmişdir. Radiaktiv maddə olan radiumun buraxdığı α – zərrəciklər üzəri sink-sulfidlə örtülmüş ekrana düşərək parıltılar yaradır. Parıltılar mikroskopla müşahidə edilir. Təcrübələr göstərir ki, α – zərrəciklərin əksəriyyəti lövhədən meyl etmədən, düz keçir və çox az qismi 90^0-dən böyük bucaqlar altında səpilir. Çox nadir hallarda α - zərrəciklər geri qayıdır, yəni 180^0 səpilir. Təcrübənin nəticəsini təhlil edərək, Rezerford belə bir qənaətə gəlmişdir ki, elektronların kütləsi çox kiçik olduğundan o, α - zərrəciklərin trayektoriyasını hiss olunacaq dərəcədə dəyişə bilməz. α - zərrəciklərin böyük bucaq altında meyli o halda mümkün ola bilər ki, atomun daxilində güclü elektrik sahəsi olsun***(şəkil b)***. Belə güclü sahə yalnız kiçik həcmdə toplanmış, böyük kütləyə malik müsbət yük tərəfindən yaradıla bilər. Rezerford atomun müsbət yüklərinin cəmləşdiyi çox kiçik hissəni atomun nüvəsi adlandırdı. Rezerford 1911-ci ildə apardığı təcrübələrə əsasən atomun planetar modelini təklif etdi.

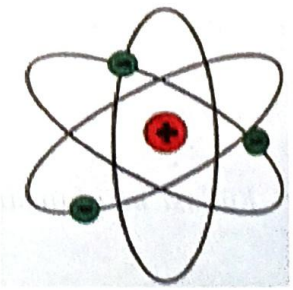
Bu modelə görə atomun mərkəzində müsbət yüklü nüvə yerləşir, elektronlar isə, planetlərin Günəş ətrafında fırlanmasına oxşar olaraq, nüvənin ətrafında hərəkət edir. Atom neytral olanda elektronların ümumi yükü modulca nüvənin yükünə bərabərdir. Nüvənin yükü nüvədəki protonların sayı ilə müəyyən edilir. Neytral atomda elektronların və nüvədəki protonların sayı bərabərdir***(şəkil c)***.



(şəkil a)

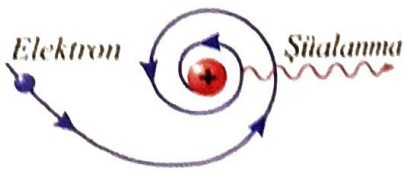


(şəkil b)



(şəkil c)

§28.2.Bor postulatları



Rezerfordun planetar modeli atomun dayanıqlılığını izah edə bilmədi. Çünki elektronlar nüvə ətrafında təcillə hərəkət edir. Maksvel elektrodinamikasının qanunlarına görə, təcillə hərəkət edən yüklü zərrəcik elektromaqnit dalğaları şüalandırmalıdır. Elektronlar şüalanma yolu ilə daima enerji itirərək nüvənin üzərinə düşməli və atom məhv olmalıdır. Lakin həqiqətdə isə elə hal müşahidə olunmur, atomlar sistemi dayanıqlıdır. Yaranmış ziddiyyətdən çıxış yolunu 1913-cü ildə Nils Bor təklif etdi. Bor aşağıdakı postulatları irəli sürdü:

I postulat *– atom hər birinə müəyyən* $E_1, E_2, \ldots, E_n$ *enerjisi uyğun olan xüsusi stasionar hallarda və ya kvant hallarında ola bilər. Stasionar hallarda atom şüalanmır və şüa udmur* ***(şəkil a).***

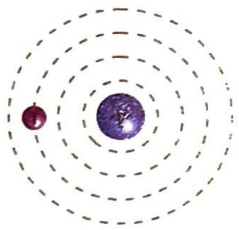
II postulat *– atom bir stasionar haldan digərinə keçdikdə enerjisi* $h\nu$ *olan bir işıq kvantı şüalandırır və ya udur. Şüalanan və ya udulan kvantın enerjisi stasionar halların enerjiləri fərqinə bərabərdir:*

$$h\nu = E_m - E_n$$

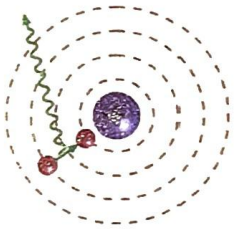
Burada, E_m və E_n uyğun olaraq m və n -ci hallarda atomun enerjisidir. Buraxılan və ya udulan şüalanmanın tezliyi və dalğa uzunluğu aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h} \qquad \lambda = \frac{ch}{E_m - E_n}$$

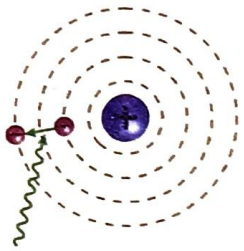
- Atom böyük enerjili stasionar haldan kiçik enerjili stasionar hala $(E_n > E_m)$ keçdikdə şüalanma baş verir. Bu zaman elektron bir kvant şüalandıraraq uzaq orbitdən nüvəyə yaxın orbitə keçir ***(şəkil b).***
- Atom bir işıq kvantı udduqda isə o, kiçik enerjili stasionar haldan böyük enerjili stasionar hala keçir $(E_n < E_m)$. Bu zaman elektron nüvəyə yaxın orbitdən uzaq orbitə keçir ***(şəkil c).***



(şəkil a)



(şəkil b)



(şəkil c)

❖ Atomun enerji səviyyələri

Bor nəzəriyyəsinə görə hidrogen atomunun stasionar hallarının enerjisinin qiyməti

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$$ düsturu ilə hesablanır.

Burada $E_0 = 13{,}6\,eV$ hidrogen atomunun ionlaşma enerjisi, n - baş kvant ədədi və ya orbitlərin nömrələridir $(n = 1, 2, 3, \ldots)$.

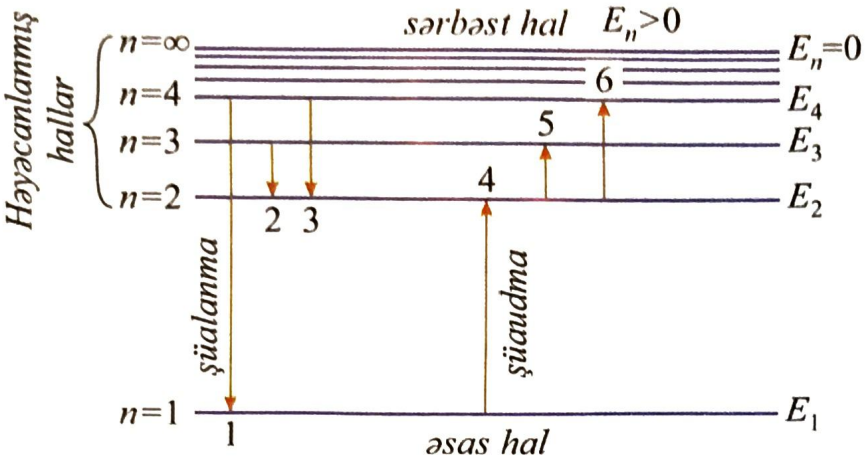
- $n = 1$ stasionar halı atomun əsas halıdır və bu halda o, enerji şüalandırmır. Bu halda atom sonsuz qala bilər.
- $n > 1$ olan atomun bütün halları onun həyəcanlanmış halıdır. Atom həyəcanlanmış halda çox qala bilmir, $(10^{-7} \div 10^{-9})$ şüalanma yolu ilə yenə minimum enerji halına qayıdır.

Beləliklə, düstura əsasən, hidrogen atomunun stasionar hallarının enerjisi:

- *Birinci stasionar halda:* $n = 1$ $E_1 = -E_0 = -13{,}6\,eV$
- *İkinci stasionar halda:* $n = 2$ $E_2 = -\frac{E_0}{4} = -3{,}4\,eV$
- *Üçüncü stasionar halda:* $n = 3$ $E_3 = -\frac{E_0}{9} = -1{,}51\,eV$
- *Dördüncü stasionar halda:* $n = 4$ $E_4 = -\frac{E_0}{16} = -0{,}85\,eV$

Deməli, atom birinci stasionar haldan ikinci stasionar hala keçdikdə enerjisi 4 dəfə, üçüncüyə keçdikdə 9 dəfə, dördüncüyə keçdikdə 16 dəfə artır.

Atomun enerji səviyyələri üfüqi xətlərlə təsvir edilir. Atomun bir stasionar halından digərinə keçidi şaquli oxlarla təsvir edilir. Oxun aşağı olması fotonun şüalanmasına, yuxarı olması isə udulmasına uyğundur. Şaquli xətt uzun olduqda şüalanan və ya udulan fotonun tezliyi, enerjisi, impulsu böyük və dalğa uzunluğu kiçik olur. Şaquli xətt qısa olduqda şüalanan və ya udulan fotonun tezliyi, enerjisi, impulsu kiçik və dalğa uzunluğu böyük olur.



$$E_1 > E_3 > E_2$$
$$p_1 > p_3 > p_2$$
$$\nu_1 > \nu_3 > \nu_2$$
$$\lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_1$$

Atomun enerji səviyyələri diaqramından görünür ki, $n \to \infty$ olduqda elektron nüvədən sonsuz məsafəyə uzaqlaşır $(E_\infty \to 0)$. Bu o deməkdir ki, elektron sərbəst hala keçir. Ona görə də nüvə ilə rabitədə olan elektronların enerji səviyyələri enerjinin sıfırdan kiçik, mənfi qiymətlərinə uyğun olmalıdır. Elektron nüvəyə cəzb olunduğuna görə onu atomdan qoparmaq üçün sıfırdan böyük, müsbət iş görməlidir. Əsas haldakı elektronu sərbəst hala keçirmək üçün sərf olunan minimal enerjiyə atomun ionlaşma enerjisi deyilir.

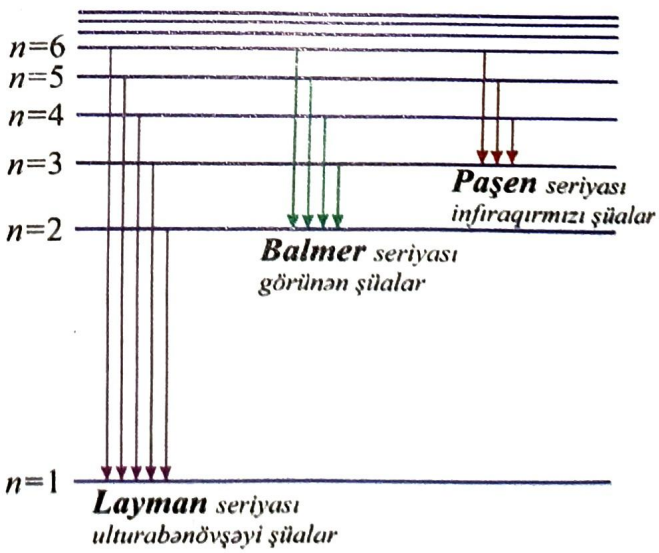
$$W_i = |E_1| = E_0 = 13{,}6\,eV$$

- *Borun III postulatına görə hidrogen atomunun şüalanmasının mümkün olan tezlikləri*

$$\nu = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

düsturu ilə təyin edilir. Burada $R \approx 3{,}3 \cdot 10^{15} san^{-1}$ Ridberq sabitidir.

- $k = 2,3,4 \ldots$ enerji səviyyələrindən $n = 1$ səviyyəsinə keçidlər Layman seriyasını əmələ gətirir ki, bu zaman ***ultrabənövşəyi*** şüalar buraxılır.
- $k = 3,4,5 \ldots$ enerji səviyyələrindən $n = 2$ səviyyəsinə keçidlər Balmer seriyasını əmələ gətirir ki, bu zaman ***görünən şüalar*** buraxılır.
- $k = 4,5,6 \ldots$ enerji səviyyələrindən $n = 3$ səviyyəsinə keçidlər Paşen seriyasını əmələ gətirir ki, bu zaman ***infraqırmızı şüalar*** buraxılır.



§28.3.Atom nüvəsinin tərkibi. İzotoplar

Atomun nüvəsi–onun müsbət yükünün və əsas kütləsinin toplandığı hissəsidir. Nüvədəki proton və neytronlar birlikdə nuklonlar adlanır. Müxtəlif nüvələr bir-birindən tərkibindəki proton və neytronların sayı ilə fərqlənir. Neytron neytral zərrəcik olduğundan, nüvənin elektrik yükü onun tərkibindəki protonların sayı (Z) ilə müəyyən edilir. Z nüvənin yük ədədi olub, elementin dövri sistemdəki sıra nömrəsinə bərabərdir. Deməli, nüvənin elektrik yükü kimyəvi elementin sıra nömrəsi ilə elementar yükün hasilinə bərabərdir:

$$q = Ze$$

Nüvədəki nuklonların sayı ***kütlə ədədi*** *adlanır:* $A = Z + N \qquad N = A - Z$

Burada, A – nüvənin ***kütlə ədədi****, N – isə nüvədəki* ***neytronların*** *sayıdır.*

Nüvə simvolik olaraq ${}^{A}_{Z}X$ kimi işarə edilir, burada X – kimyəvi elementin işarəsidir.

Məsələn, ${}^{23}_{11}Na$ *nüvəsində* $Z=11$ *protonların sayını,* $A=23$ *isə nüvənin kütlə ədədini (nüvədəki nuklonların ümumi sayını) göstərir. Onda nüvədə neytronların sayı* $N = A - Z = 23 - 11 = 12$ *olur.*

Protonların sayı eyni, lakin neytronların sayı ilə fərqlənən nüvələrə izotoplar deyilir. Məsələn, hidrogenin 3 izotopu var. ${}^{1}_{1}H$ - protium, ${}^{2}_{1}H$ - deyteriom, ${}^{3}_{1}H$ - tritium. İzotoplar fiziki xassələrinə görə bir-birindən fərqlənirlər. Bütün elementlərin izotopları var.

§28.4.Nüvənin rabitə enerjisi. Kütlə defekti

Təcrübi faktlar göstərir ki, nüvələr çox möhkəm və həm də dayanıqlı sistemdir. ***Nuklonları nüvədə saxlayan və nüvənin dayanıqlığını təmin edən qüvvəyə nüvə qüvvələri deyilir.*** Nüvənin ayrı-ayrı nuklonlara ayırmaq üçün nuklonlar arasındakı cazibə xarakterli nüvə qüvvələrinə qarşı iş görmək lazımdır. Bu isə sistemin enerjisinin artmasına gətirir. Deməli, nüvənin enerjisi onu təşkil edən ayrı-ayrı nuklonların enerjiləri – cəmindən kiçikdir. ***Nüvənin ayrı-ayrı nuklonlara ayırmaq üçün lazım olan minimal enerjiyə nüvənin rabitə enerjisi deyilir.*** Nüvənin sükunət kütləsi onu təşkil edən proton və neytronların sükunət kütlələri cəmindən kiçikdir:

$$M_n < Z \cdot m_p + N \cdot m_n$$

Nüvəni təşkil edən sərbəst nuklonların kütlələri cəmi ilə nüvənin kütləsi fərqi kütlə defekti adlanır.

$$\Delta M = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_n$$

Burada, M_n nüvənin kütləsi, Z protonların sayı, m_p protonun kütləsi, m_n neytronların kütləsi, ΔM kütlə defektidir.

Nuklonlar sistemindən nüvə əmələ gələn zaman kütlənin azalması bu sistemin enerjisinin rabitə enerjisi qədər azalması deməkdir.

- ***Nüvənin rabitə enerjisi:*** $E_{rab} = \Delta Mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_n)c^2$

Vahidi $[E_{rab}] = 1\,MeV = 1{,}6 \cdot 10^{-13}\,C$

- ***Nüvənin bir nuklonuna düşən rabitə enerjisi xüsusi rabitə enerjisi adlanır.*** *Xüsusi rabitə enerjisi kütlə ədədindən asılıdır.*

$$\varepsilon = \frac{E_{rab}}{A} \qquad \text{Vahidi } [\varepsilon] = 1\,\frac{MeV}{nuklon}$$

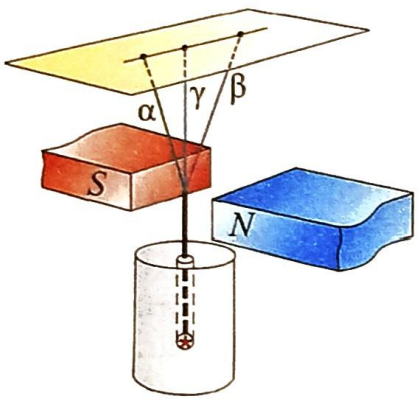
§28.5.Radioaktivlik. Radioaktiv çevrilmələr: α, β və γ - şüalanma. Radioaktiv yerdəyişmə qaydası

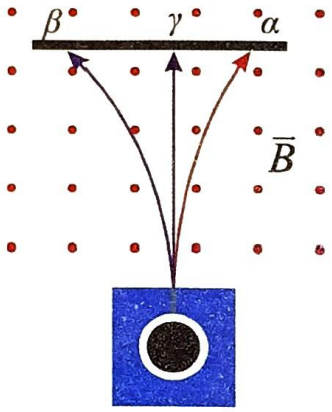
İlk dəfə 1896-cı ildə fransız fiziki Anri Bekkerel radioaktivlik hadisəsini kəşf etdi. O, uran duzu üzərində tədqiqat apararkən müşahidə etdi ki, uran duzu fotolövhəni qaraltmaq və havanı ionlaşdırmaq qabiliyyətinə malik gözə görünməyən şüalar buraxır. Sonralar Pyer Küri və Mariya Küri müəyyən etdilər ki, urandan əlavə bir sıra elementlər (polonium, radium, torium və.s) də güclü şüalanma qabiliyyətinə malikdir. Onlar bu şüalanmanı radioaktivlik *(latınca "radium" – şüa buraxıram, "action" – fəaliyyət)* adlandırdılar.

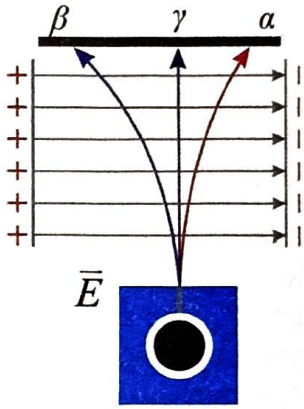
Atomların xarici təsirlər olmadan öz-özünə şüalanma hadisəsi təbii radioaktivlik, baş verən şüalanma isə radioaktiv şüalanma adlanır. Aparılan çoxsaylı təcrübələr göstərir ki, təbii radioaktivlik xassəsi yalnız elementin atom nüvəsinin tərkibi və quruluşu ilə əlaqədardır. Xarici amillər (mexaniki təzyiq, temperatur, elektrik və maqnit sahələri və.s) bu xassəyə təsir göstərmir.

Radioaktivlik kəşfindən sonra ingilis fiziki Ernest Rezerford təcrübi olaraq müəyyən etdi ki, radioktiv şüaların tərkibi maqnit və elektrik sahəsində meyl edən müxtəlif xassəyə malik üç şüalanmadan ibarətdir. Bunlar yunan əlifbasının üç ardıcıl hərfi ilə adlandırıldı:

α – şüalanma, β – şüalanma və γ – şüalanma.







- ***α – şüalanma:*** Şüaların müsbət komponenti α – şüaları helium ${}_2^4He$ nüvələri selindən ibarətdir. ${}_2^4He$ yük ədədi 2, kütlə ədədi isə 4-dür. α – şüaları kiçik nüfuzetmə qabiliyyətinə malikdir *(bərk cisimlər üçün 0,1 mm, qazlar üçün isə bir neçə sm-dir).* Elektrik və maqnit sahəsində zəif meyl edir. Elektromaqnit dalğası deyil. Sürəti işıq sürətinin $\frac{1}{15}$-ə bərabərdir.

- ***β – şüalanma:*** β – şüalar işıq sürətinə yaxın sürətlə hərəkət edən elektronlar ${}_{-1}^{0}e$ (β^-) selindən ibarətdir. Yük ədədi –1, kütlə ədədi 0-dır. Elektrik və maqnit sahələrində güclü meyl edir, qalınlığı bir neçə mm olan alüminium lövhə tərəfindən tamamilə tutulur. Elektromaqnit dalğası deyil.

- ***γ – şüalanma:*** γ – şüaları şüaların yüksüz komponentidir. γ – şüalar çox böyük tezlikli foton selindən ibarət elektromaqnit şüalanmasıdır. Çox böyük nüfuzetmə qabiliyyətinə malikdir – qalınlığı bir neçə santimetr olan qurğuşun divardan keçə bilər. Bu şüalar elektrik yükünə malik olmadığından elektrik və maqnit sahəsinin təsirinə məruz qalmır.

❖ Radioaktiv çevrilmələr

Atom nüvəsinin müxtəlif zərrəciklər buraxmaqla özbaşına digər nüvələrə çevrilməsi ***radioaktivlik*** *adlanır.*

- ***α – çevrilmə zamanı nüvənin yükü 2 (2e) vahid, kütlə ədədi isə 4 vahid azalır və atom 2 neytron itirir.*** *Element öz yerini dövri sistemin başlanğıcına doğru iki xana dəyişir.*

α - çevrilməsinə nümunə olaraq uranın radioaktiv toriuma çevrilməsi reaksiyasını göstərmək olar:

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \qquad {}^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

- ***β^- – çevrilmə zamanı nüvənin yükü bir vahid (e qədər) artır, kütlə ədədi dəyişmir, neytronların sayı bir vahid azalır.*** *Element öz yerini dövri sistemin axırına doğru bir xana dəyişir.* Nümunə olaraq aşağıdakı reaksiyanı göstərmək olar:

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\tilde{\nu}_e \qquad {}^{90}_{38}Sr \rightarrow {}^{90}_{39}Y + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\tilde{\nu}_e$$

β^- - çevrilməsi zamanı nüvədəki ***neytronlardan*** biri protona çevrilir:

$${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\tilde{\nu}_e$$

Burada, ${}^{0}_{0}\tilde{\nu}_e$ elektron ***antineytrinosudur***, kütləsi və yükü yoxdur, foton kimi işıq sürəti ilə hərəkət edir.

- ***β^+ – çevrilmə zamanı nüvənin yükü bir vahid (e qədər) azalır, kütlə ədədi dəyişmir, neytronların sayı bir vahid artır.*** *Element öz yerini dövri sistemin başlanğıcına doğru bir xana dəyişir.* Nümunə olaraq aşağıdakı reaksiyanı göstərmək olar:

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu_e \qquad {}^{22}_{11}Na \rightarrow {}^{22}_{10}Ne + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu_e$$

β^+ – çevrilmə zamanı nüvədəki ***protonlardan*** biri neytrona çevrilir:

$${}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu_e$$

Burada ${}^{0}_{0}\nu_e$ çevrilmə zamanı yaranan yüksüz və kütləsiz zərrəcik olan ***elektron neytrinosudur***.

- ***γ– şüalanma zamanı həyəcanlanmış nüvə normal hala qayıdır və artıq enerjisini γ – kvantlar (fotonlar) şəklində şüalandırır.***

γ – şüalanmada nüvənin kütlə və yük ədədləri dəyişməz qalır, radioaktiv yerdəyişmə baş vermir.

$${}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{0}\gamma$$

Qeyd: ***Bütün nüvə çevrilmələri və nüvə reaksiyaları üçün mütləq şəkildə kütlə və yük ədədlərinin saxlanması qanunu ödənir.***

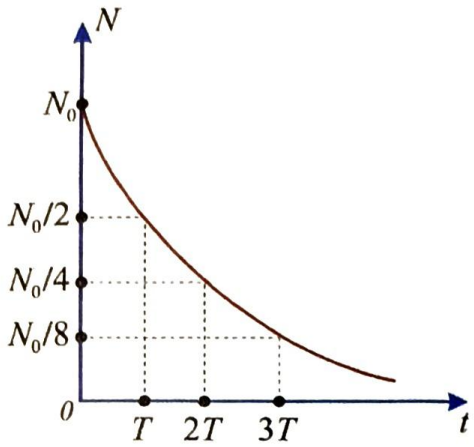
❖ Radioaktiv çevrilmə qanunu

Radioaktiv nüvələrin yarısını çevrilməsi üçün sərf olunan zamana ***yarımçevrilmə periodu*** *deyilir.* Yarımçevrilmə periodu T hərfi ilə işarə edilir və BS-də vahidi – saniyədir. Yarımçevrilmə periodu – radioaktiv çevrilmənin sürətini xarakterizə edən əsas kəmiyyətdir. Yarımçevrilmə periodu kiçik olduqda atomlar daha az müddət yaşayır radioaktiv çevrilmə daha tez baş verir.

- ***t müddətindən sonra qalan nüvələrin sayı radioaktiv çevrilmənin qanunu olan***

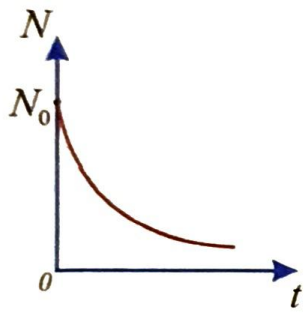
$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

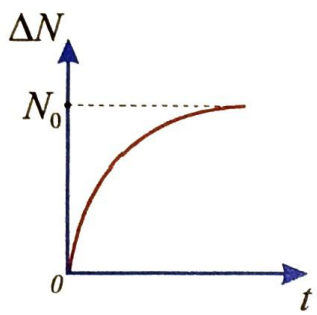
düsturu ilə təyin olunur. Burada N_0 başlanğıc andakı $(t = 0)$ nüvələri sayıdır.

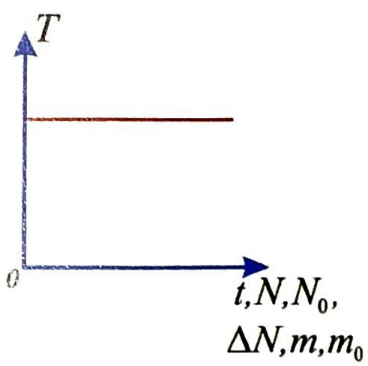


- ***Çevrilməyə məruz qalan nüvələrin sayı:***

$$\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - 2^{-\frac{t}{T}})$$





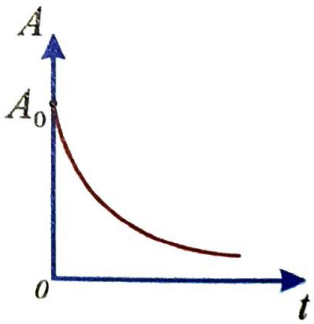


Hər bir radioaktiv izotopun öz yarımçevrilmə periodu var, məsələn, uran – 238 izotopunun yarımçevrilmə periodu 4,5 milyard il, radium – 226 -nın isə 1600 ildir.

- ***Radioaktiv nüvələrin aktivliyi də zaman keçdikcə nüvələrin sayının azalma qanunu ilə azalır:***

$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

Vahidi: $[A] = 1\,san^{-1} = 1\,Bk$ *(Bekkerel)*



- ***t müddətindən sonra qalan radioaktiv maddənin kütləsi:***

$$m = m_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

Çevrilməyə məruz qalan maddənin kütləsi: $\Delta m = m_0 - m = m_0(1 - 2^{-\frac{t}{T}})$

§28.6.Nüvə reaksiyaları. Uran nüvəsinin bölünməsi. Zəncirvari nüvə reaksiyası

Nüvə reaksiyaları kimyəvi reaksiyalardan nə ilə fərqlənir? Nüvə reaksiyalarında atom nüvələri dəyişikliyə məruz qalır. Nüvə reaksiyalarının baş verməsi üçün zərrəciklər nüvəyə çox yaxınlaşmalı və nüvə qüvvələrinin təsir dairəsinə ($\approx 10^{-15} m$) düşməlidir.

Atom nüvələrinin elementar zərrəciklərlə və ya bir-birinə qarşılıqlı təsiri zamanı başqa nüvələrə çevrilməsinə nüvə reaksiyaları deyilir.

Nüvə reaksiyaları enerjinin saxlanma qanununa uyğun baş verir. Nüvə reaksiyaları zamanı nuklonlar sayının və elektrik yüklərinin saxlanma qanunları ödənilir. Nüvə reaksiyaları simvolik olaraq aşağıdakı kimi yazılır.

$$^{A_1}_{Z_1}X_1 + ^{A_2}_{Z_2}X_2 \Rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X_3 + ^{A_4}_{Z_4}X_4$$

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$
$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

Reaksiyada iştirak edən nüvələrin və zərrəciklərin əvvəlki və sonrakı sükunət enerjilərinin fərqinə nüvə reaksiyalarının çıxış enerjisi deyilir.

$$\Delta E = \Delta M c^2 = (M_1 + M_2 - M_3 - M_4)c^2$$

Təcrübi olaraq ilk nüvə reaksiyasını 1919 -cu ildə Rezerford aparmışdır. O, α – zərrəciyi vasitəsi ilə azot $^{14}_{7}N$ nüvəsini atəşə tutmuş və nəticədə oksigen $^{17}_{8}O$ nüvəsi və proton almışdır.

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}H_e \Rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}p$$

Sonralar protonlarla litium nüvəsini parçalamaq mümkün olmuşdur:

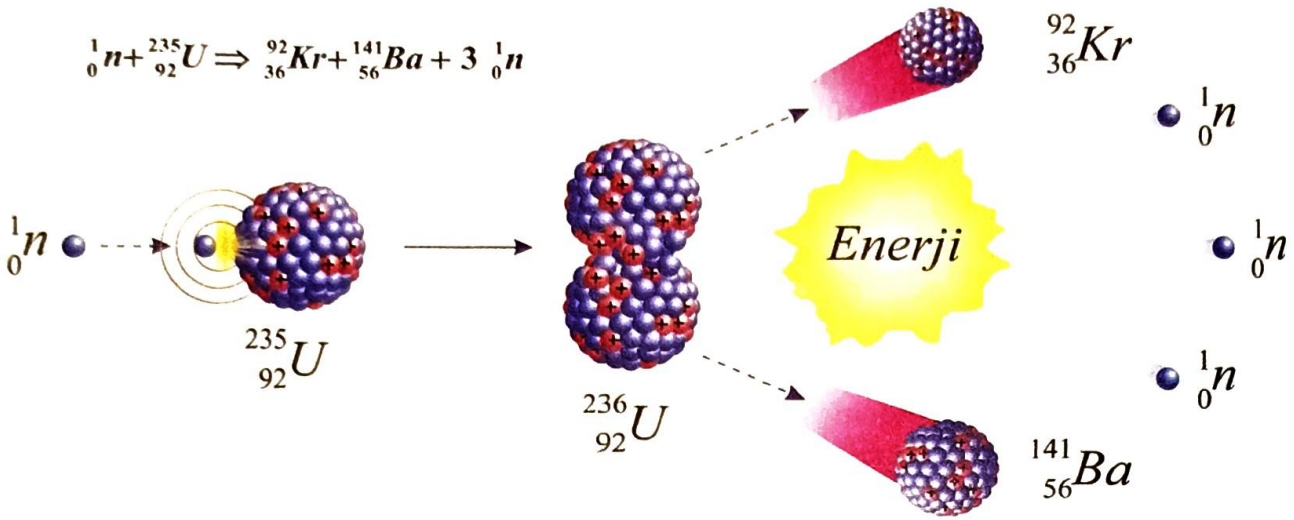
$$^{1}_{1}p + ^{7}_{3}Li \Rightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$$

Neytronlar neytral olduğundan atom nüvələrinə maneəsiz daxil olur və onların çevrilməsini yaradır, məsələn:

$$^{1}_{0}n + ^{27}_{13}Al \Rightarrow ^{24}_{11}Na + ^{4}_{2}He$$

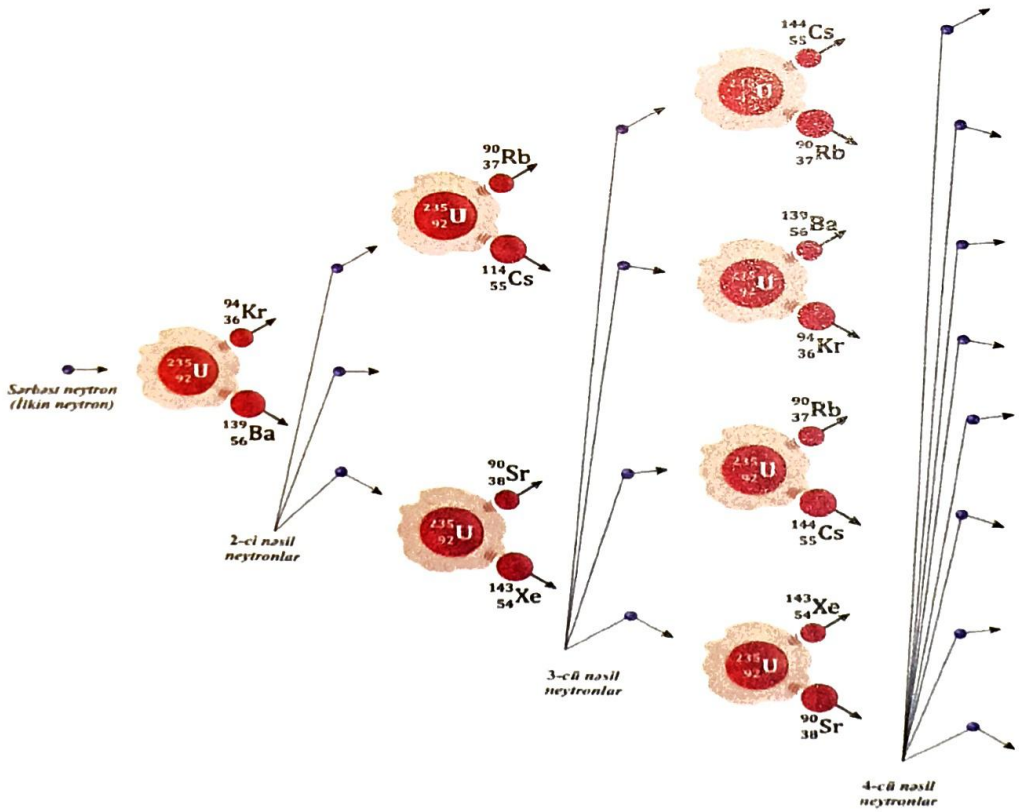
§28.7.Uran nüvəsinin bölünməsi. Zəncirvari nüvə reaksiyaları

Ən mühüm nüvə reaksiyalarından biri uran nüvəsinin neytronlarla bölünmə reakasiyasıdır. Bu reaksiyanı 1938-ci ildə alman alimləri O.Han və F.Ştrasman kəşf etmişlər. Bu reaksiya zamanı neytronu udan uran – 235 izotopu yeni izotopa çevrilir. Lakin yaranan bu izotop dayanıqsız olub dərhal orta kütləli iki nüvəyə bölünərək müxtəlif nüvələr yaranır:



❖ ***Zəncirvari nüvə reaksiyaları:*** Uran nüvəsinin bölünmə reaksiyası zamanı yaranan yeni "nəsil" neytronların qarşısına başqa uran çıxdıqda onların da bölünmə reaksiyaları baş verir. Bu reaksiyaların hər birindən növbəti "nəsil" neytronlar yaranır və beləliklə, ilkin neytronların təsiri altında uran nüvəsinin bölünməsinin uzun zənciri alınır .

- ***Zəncirvari reaksiyalar*** – bölünən uran nüvələrinin sayının sel artımıdır. Zəncirvari reaksiyalarda onu yaradan zərrəciklər həmin reaksiyanın məhsulu kimi yaranır.



Zəncirvari nüvə reaksiyalarının baş verməsinin zəruri şərtləri. Zəncirvarı nüvə reaksiyasının mövcud olması üçün iki zəruri şərt ödənilməlidir:

1. Zəncirvarı reaksiya zamanı neytronların artma əmsalı vahidə bərabər və ya ondan böyük olmalıdır. *Hər hansı nəsildə olan neytronlar sayının ondan əvvəlki nəsil neytronlar sayına nisbəti neytronların artma əmsalı (k) adlanır.*

$$k = \frac{N_{sonraki}}{N_{evvelki}}.$$

Deməli, zəncirvarı nüvə reaksiyasının getməsi üçün neytronların artma əmsalı $k \geq 1$ olmalıdır.
Əgər $k > 1$ olarsa, bölünmə yaradan neytronların sayı getdikcə artar və idarəedilməyən – partlayışa səbəb olan zəncirvari nüvə reaksiyası baş verər.
Əgər $k < 1$ olarsa, bölünmə yaradan neytronların sayı getdikcə azalar və reaksiya sönər.
Əgər $k = 1$ olarsa, bölünmə yaradan neytronların sayı dəyişməz qalar və idarəolunan zəncirvari nüvə reaksiyası baş verər.

2. Uranın kütləsi müəyyən minimal miqdarda – böhran kütləsinə bərabər və ya ondan böyük olmalıdır. Böhran kütləsi neytronların uran nüvələri ilə toqquşma yaradır, zəncirvarı reaksiyanın baş verməsini təmin edir. Böhran kütlədən kiçik olduqda neytronlar uran nüvəsi ilə qarşılıqlı təsirə məruz qalmayıb ondan kənara "uçub" keçir–zəncirvarı reaksiya baş vermir.
Zəncirvari nüvə reaksiyasının getməsi üçün tələb olunan ən kiçik uran kütləsi böhran kütlə adlanır.
Böhran kütlə uran $^{235}_{92}U$ izotopu üçün 48 kq, plutonium $^{239}_{94}Pu$ izotopu üçünsə 10 kq -dır.

- Götürülən uranın kütləsi böhran kütlədən çox olarsa, $m > m_{böh}$ zəncirvari nüvə reaksiyası baş verər.
- Götürülən uranın kütləsi böhran kütləyə bərabər olarsa, $m = m_{böh}$ idarəolunan zəncirvari nüvə reaksiyası baş verər.
- Götürülən uranın kütləsi böhran kütlədən az olarsa, $m < m_{böh}$ reaksiya sönər.

§28.8.Nüvə reaktoru. İstilik nüvə reaksiyaları

Nüvə enerjisindən dinc məqsədlərlə istifadənin başlıca problemi idarəolunan zəncirvarı nüvə reaksiyasının alınmasına – nüvə enerjisinin çox qısa müddətdə partlayış şəklində deyil, əksinə, uzun müddət kiçik dozalarla alınmasına nail olmaqdır. Bunun üçün elə etmək lazımdır ki, vahid zamanda bölünən nüvələrin sayı eyni olsun. Həmin prosesi həyata keçirmək məqsədi ilə tətbiq olunan qurğu *nüvə reaktoru* adlanır.

İdarəolunan zəncirvarı nüvə reaksiyası əldə etməyə və onu istənilən qədər saxlamağa imkan verən qurğu nüvə reaktoru adlanır. Nüvə reaktorunun əsas elementləri bunlardır:

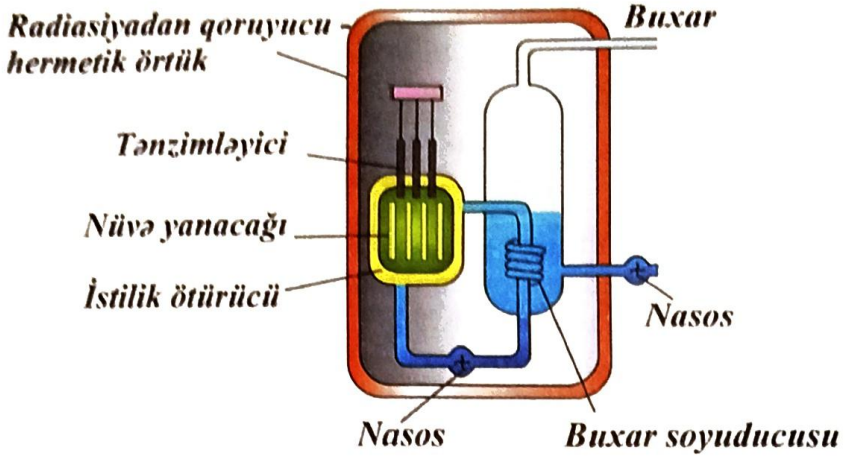
1. Nüvə yanacağı *($^{235}_{92}U$; $^{238}_{92}U$; $^{239}_{94}Pu$ və s.) – o, xüsusi ampulalara doldurularaq reaktorun aktiv həcmində yerləşdirilir;*

2. Neytron yavaşıdıcısı (ağır və ya adi su, qrafit və s.) *– o sürətli neytronları yavaşıdaraq onların nüvə yanacağı ilə qarşılıqlı təsirini təmin edir;*

3. İstilik ötürücüsü (soyuq su və ya maye natrium) *– nüvə reaksiyasından ayrılan istiliyi buxar generatoruna ötürür;*

4. Tənzimləyici qurğu (tərkibində kadmium və ya bor olan çubuqla) – reaksiya prosesində neytronların artma əmsalını idarə edir. Çubuqlar tamamilə aktiv həcmə daxil edildikdə neytronların artma əmsalı $k < 1$ olur. Əgər çubuqlar aktiv həcmdən tamamilə çıxarılarsa, $k > 1$ olur. Radiasiyanın (γ - şüalanma, neytronlar seli və s.) qarşısını almaq üçün reaktor xaricdən hermetik qoruyucu örtüklə əhatə olunur.

- **Nüvə reaktorunun əsas elementləri:**



- ***Çox yüksək temperaturda gedən yüngül nüvələrin birləşmə reaksiyalarına istilik-nüvə reaksiyaları deyilir.***

$$^{3}_{2}He+^{3}_{2}He \Rightarrow {}^{4}_{2}He+2{}^{1}_{1}H$$

$$^{2}_{1}H+^{3}_{1}H \Rightarrow {}^{4}_{2}He+{}^{1}_{0}n$$

$$^{2}_{1}H+^{2}_{1}H \Rightarrow {}^{3}_{1}H+{}^{1}_{1}p$$

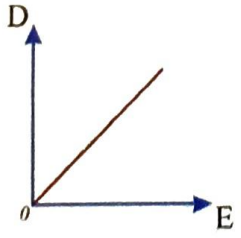
Günəş və digər ulduzlar öz-özünə idarəedilən təbii istilik nüvə reaktorlarıdır.

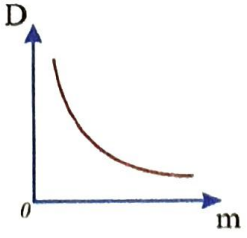
§28.9.Şüalanmanın udulma dozası

Maddənin udduğu şüalanma enerjisinin onun kütləsinə nisbəti şüalanmanın udulma dozası adlanır:

$$D=\frac{E}{m} \qquad \text{Vahidi:} \qquad [D]=1\,Qr=1\frac{C}{kq}$$

Burada, D – şüalanmanın udulma dozası, E – udulan şüalanmanın enerjisi, m – şüa udan cismin kütləsidir. Şüalanmanın udulma dozasının BS-də vahidi ***qreydir*** (Qr).





§28.10.Elementar zərrəciklərin qeydə alınma üsulları

- ***Heyger sayğacı – zərrəcikləri saymaq üçün istifadə olunan qurğudur.*** *Heyger sayğacının iş prinsipi yüklü zərrəciyin qaz atomlarını zərbə ilə ionlaşdırması hadisəsinə əsaslanır.* Heyger sayğacında yaranan birvalentli ion cütlərinin sayı:

$$q = ne = CU$$

Burada C – sayğacın elektrik tutumu, U – ondakı gərginlik düşgüsüdür.

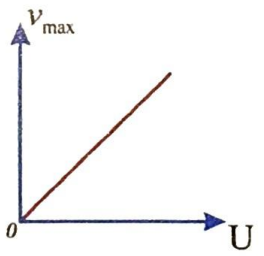
- ***Vilson kamerasının – işi ifrat doymuş buxarın ionlar üzərinə kondensasiya etməsi nəticəsində su damcılarından ibarət izin əmələ gəlməsinə əsaslanır.*** *İzin uzunluğuna görə zərrəciyin enerjisini təyin etmək olar.* ***İzi uzun olduqca zərrəciyin kinetik enerjisi böyük olur. Yükü böyük olan zərrəciyin buraxdığı iz isə daha qalın olur.*** *Vahid uzunluqdakı damcıların sayına görə isə zərrəciyin sürətini qiymətləndirmək olur. İzin vahid uzunluğundakı yaranan damcıların sayı çox olduqca zərrəciyin sürəti kiçik olur.*

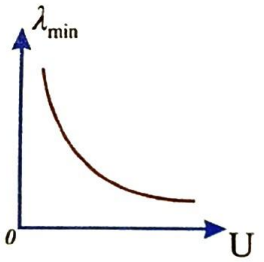
- ***Qabarcıqlı kameranın– işi yüklü zərrəciyin ifrat qızmış mayedə hərəkəti zamanı yaranan ionların üzərinə buxar qabarcıqlarının əmələ gəlməsinə əsaslanır.***

- ***Rentgen borusu:*** *Rentgen borusunda sürətlənmiş elektronlar anodla toqquşanda kəskin tormozlanır və bu zaman rentgen şüaları yaranır.*
  Rentgen şüalanmasının maksimal ***tezliyi*** və minimal ***dalğa*** uzunluğu:

$$h\nu_{max} = eU \qquad \frac{hc}{\lambda_{min}} = eU$$

$$\nu_{max} = \frac{eU}{h} \qquad \lambda_{min} = \frac{hc}{eU}$$





- ***Rentgen borusunun gücü və faydalı iş əmsalı:***

$$P = \dot{I} \cdot U$$

$$\eta = \frac{Nh\nu}{Pt} = \frac{Nhc}{\lambda Pt} = \frac{Nh\nu}{\dot{I}Ut} = \frac{Nh\nu}{qU}$$

- ***Nüvə reaksiyalarında iştirak edən zərrəciklər:***

1. proton ${}_1^1p$ $({}_1^1H)$ – yükü 1, kütlə ədədi 1;
2. neytron ${}_0^1n$ – yükü 0, kütlə ədədi 1;
3. elektron ${}_{-1}^0e$ – yükü -1, kütlə ədədi 0;
4. pozitron ${}_{+1}^0e$ – yükü +1, kütlə ədədi 0;
5. γ – kvant ${}_0^0\gamma$ – yükü və kütlə ədədi 0;
6. neytrino (antineytrino) ${}_0^0\nu_e$ $({}_0^0\tilde{\nu}_e)$ – yükü və kütlə ədədi 0;
7. α – zərrəcik ${}_2^4He$ – yükü 2, kütlə ədədi 4;
8. deyterium ${}_1^2H$ – yükü 1, kütlə ədədi 2;
9. tritium ${}_1^3H$ – yükü 1, kütlə ədədi 3;
10. antiproton ${}_{-1}^1\tilde{p}$ – yükü -1, kütlə ədədi 1;
11. antineytron ${}_0^1\tilde{n}$ – yükü 0, kütlə ədədi 1;

- ***Fundamental qarşılıqlı təsirlər***

Təbiətdə 4 növ təsir mövcuddur:

1. Qravitasiya qarşılıqlı təsir. Qravitasiya qüvvələri bütün makrocisim və sükunət kütləsi olan elementar zərrəciklər arasında mövcuddur. Lakin elementar zərrəciklərin sükunət kütləsi çox-çox kiçik olduğundan, qravitasiya qüvvələrinin təsiri nəzərə alınmır. Qravitasiya qarşılıqlı təsir kvantı qravitondur. Vakuumda sonlu sürətlə $(\vartheta \approx 3 \cdot 10^8 m/san)$ yayılır və özü ilə enerji daşıyır.

2. Elektromaqnit qarşılıqlı təsir – yüklü cisimlər arasındakı qarşılıqlı təsirdir. Elektromaqnit qarşılıqlı təsir atom, molekul və kristalların mövcudluğunu təmin edir və maddənin (bərk , maye, qaz və plazma) xassəsini müəyyən edir.

3. Güclü qarşılıqlı təsir (nüvə qüvvələri) – atomun nüvəsinin tərkib hissələri – nuklon arasındakı qarşılıqlı təsirdir. Bu təsir adronlar – mezonlar və barionlar üçün xarakterikdir. Lepton və fotonlar güclü qarşılıqlı təsirdə iştirak etmir. Güclü qarşılıqlı təsir atom nüvəsinin davamlılığını təmin edir. Onun daşıyıcı kvantı qlüondur.

4. Zəif qarşılıqlı təsir- elementar zərrəciklərin bir-birinə çevrilməsi zamanı yaranan qarşılıqlı təsirdir.

§28.11.Spontan və məcburi şüalanma. Lazerlər

Spontan şüalanma: Çox qızdırılan cismin işıq şüalandırması hadisəsini Bor nəzəriyyəsi belə izah edir. Cismi qızdırdıqda onu təşkil edən atomlardakı elektronlar əlavə enerji alaraq daha böyük enerjili orbitə keçir. Belə hadisə atomun "həyəcanlanmış" vəziyyəti adlanır. Lakin atom həyəcanlanmış vəziyyətdə uzun müddət qala bilmir, o aldığı əlavə enerjini şüalandıraraq öz dayanıqlı vəziyyətinə qayıdır. ***Qızdırılan cisimdə atomun həyəcanlanmış vəziyyət alması və şüalanması öz-özünə baş verdiyindən belə şüalanma spontan şüalanma adlanır.*** Spontan şüalanma nizamsız olur: işıq şüalanması müxtəlif istiqamətlərdə müxtəlif tezliklərdə baş verir. Odur ki belə şüalanmalar zəif olur. Elektrik lampası, şam, göyqurşağı, tonqal, Günəş, qütb parıltısı və s. şüalanmaları spontan baş verir.

Məcburi şüalanma: A.Eynşteyn 1919-cu ildə üzərinə düşən işığın təsiri ilə həyəcanlanan atomların görünən işıq şüalandırdığı ideyasını irəli sürür.

Atomun yuxarı enerji səviyyəsindən aşağı enerji səviyyəsinə özbaşına (spontan) deyil, xarici təsir altında keçməsi məcburi şüalanma adlanır.

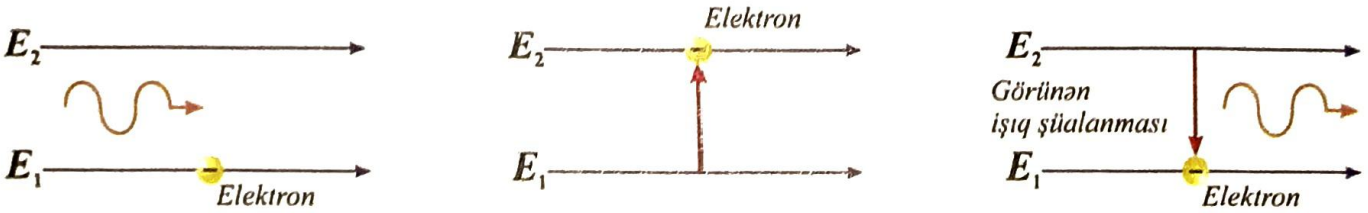
1960-cı ildə ABŞ alimi T.Meyman isə məcburi şüalanma nəticəsində çox böyük tezliyə və enerjiyə qədər gücləndirilmiş nizamlı və idarəolunan işıq şüalanması - lazer almışdır.

Lazer - *"Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" ingilis sözlərinin baş hərfləri olub "Məcburi şüalanma ilə işığın gücləndirilməsi" deməkdir.*

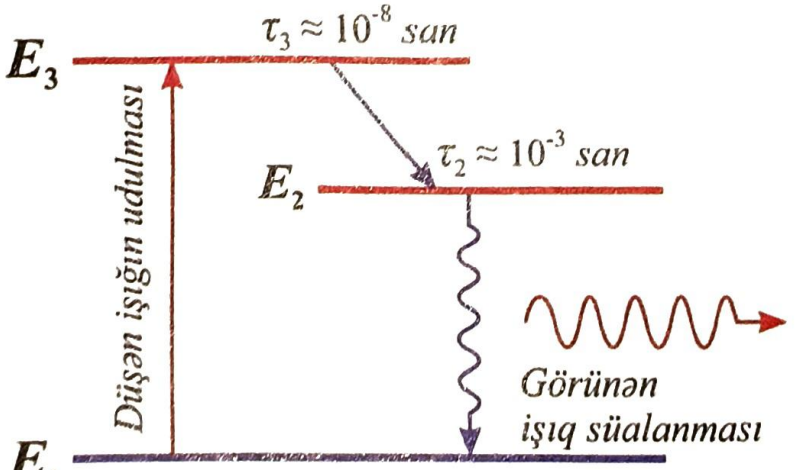
Lazerin iş prinsipi: Adətən, atom adi şəraitdə minimum enerji səviyyəsində (həyəcanlanmayan hal) olur. Belə atom öz-özünə enerji şüalandırmır: elektron stasionar orbitdədir ***(şəkil a)***. Atom şüalanmaya məruz qaldıqda şüalanma enerjisinin udulması baş verir. Atom həyəcanlanır və yüksək enerji səviyyəsinə keçir: elektron ikinci orbitə keçir ***(şəkil b).*** Lakin atom həyəcanlanmış halda çox az müddətdə (10^{-3} ***san***) qalır və dərhal görünən işıq şüalandırmaqla minimum enerji səviyyəsinə qayıdır ***(şəkil c).***

Atomun şüalandırdığı görünən işığı gücləndirmək üçün həyəcanlanmış atomların sayını artırmaq lazımdır. Bu məqsədlə sistem aşağı enerji səviyyəsindən 3-cü enerji səviyyəsinə keçirilir, bu səviyyədən isə atomlar öz-özünə 2-ci enerji səviyyəsinə düşür. Bu keçid zamanı ayrılan enerji kristal qəfəs tərəfindən udulduğundan şüalanma baş vermir.

Sonra sistemə xaricdən işıq şüası ilə təsir edilir. 2-ci enerji səviyyəsinə toplanan həyəcanlanmış atomlar görünən işıq şüalandırmaqla 1-ci enerji səviyyəsinə qayıdır ***(şəkil d).***



Həyəcanlanmayan atom *Həyəcanlanmış atom* *Həyəcanlanmayan vəziyyətə qayıtması*



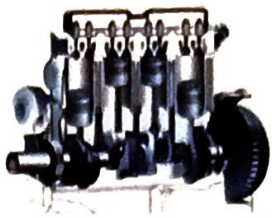
Atomların minimum enerji səviyyəsi

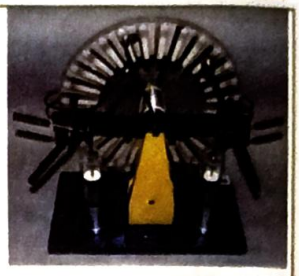
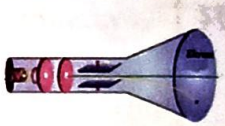
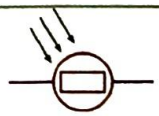
Tətbiqi: Lazerlərdən vakuumda metalları qaynaq etmək üçün, tibbdə cərrahiyyə əməliyyatı aparmaq üçün, hərbidə işıq lokatoru kimi obyektlərə qədər olan məsafəni ölçmək üçün və başqa məqsədlər üçün istifadə edilir.

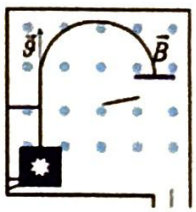
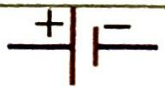
Lazerin gücü: $P = \frac{Nh\nu}{t} = \frac{Nhc}{\lambda t}$ burada N -t müddətində şüalandırılan fotonların sayıdır.

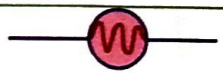
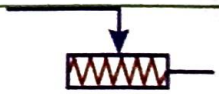
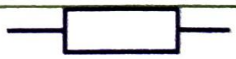
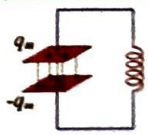
CİHAZLAR VƏ QURĞULAR

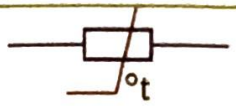
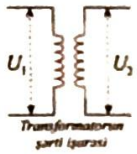
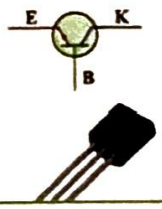
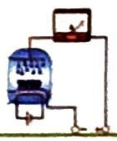
№	Cihazın adı	Nəyi ölçür və ya nə üçün işlədilir?	İş prinsipi nəyə əsaslanır?	Sxemdə şərti işarəsi və ya şəkli
1	Açar	Dövrəni qapamaq və ayırmaq üçün		
2	Akkumulyator (sabit cərəyan mənbəyi)	Cərəyan mənbəyi yaratmaq üçün	Kənar qüvvələrin təsirinə. Akkumulyatorda kimyəvi reaksiyanın enerjisi elektrik enerjisinə çevrilir.	
3	Akselerometr	Təcili ölçür		
4	Altmetr	Hündürlük ölçür	Atmosfer təzyiqinin hündürlükdən asılılığına əsaslanır	
5	Ampermetr	Cərəyan şiddətini ölçür	Cərəyanlı çərçivəyə maqnit sahəsini göstərdiyi yönəldici təsirə və ya Amper qüvvəsinə əsaslanır. Dövrəyə ardıcıl qoşulur	
6	Antena	Rəqs konturuna qoşulmuş siqnalları şüalandıran və qəbul edən elementdir	Elektromaqnit qarşılıqlı təsirinə əsaslanır	
7	Areometr	Mayelərin sıxlığını təyin edir	Arximed qanununa əsaslanır	
8	Barometr (civəli barometr)	Atmosfer təzyiqini ölçür	Paskal qanununa əsaslanır	
9	Barometr-aneroid	Atmosfer təzyiqini ölçür	Atmosfer təzyiqi ilə metal qutunun sıxılmasına əsaslanır	
10	Batareya	Sabit cərəyan mənbəyidir	Kənar qüvvələrin təsirinə əsaslanır	
11	Burulma tərəzisi	Kulon qarşılıqlı təsirini aşkar etmək üçün işlədilir	Huk qanununa əsaslanır	

12	**Daxili yanma mühərriki**	İstilik mühərrikdir	Yanacağın daxili enerjisini mexaniki enerjiyə çevirir	
13	**Detektor**	Diod olub, yüksəktezlikli siqnallardan alçaq tezlikli siqnalları ayırmaq üçün istifadə olunan elementdir	p-n keçidinə və birtərəfli keçiriciliyə əsaslanır	
14	**Dinamometr**	Qüvvəni ölçür	Huk qanununa əsaslanır	
15	**Dozimetr**	Radioaktiv şüalanmanı ölçür		
16	**Exalot**	Dənizin dərinliyini ölçür	Əks-səda hadisəsinə əsaslanır	
17	**Elektrik lampası**	Elektrik dövrəsində istifadə edilir	İstilik şüalanmasına əsaslanır	
18	**Elektrik mühərriki**	Elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirir	Cərəyanlı çərçivəyə maqnit sahəsini göstərdiyi yönəldici təsirə əsaslanır və ya Amper qüvvəsinə əsaslanır	
19	**Elektrik sayğacı**	Elektrik cərəyanının işini və ya sərf olunan elektrik enerjisi ölçür	Elektromaqnit qarşılıqlı təsirinə əsaslanır	
20	**Elektrik zəngi**	Xəbərdarlıq üçün işlədilir	Elektromaqnit qarşılıqlı təsirinə əsaslanır	

21	**Elektrofor maşın**	*Mexaniki enerjini elektrik enerjisinə çevirir*	*Sürtünmə ilə cisimlərin elektriklənməsinə əsaslanır*	
22	**Elektrometr**	*Potensiallar fərqini təyin edən cihaz*	*Elektromaqnit qarşılıqlı təsirinə əsaslanır*	
23	**Elektron şüa borusu**	*Elektron dəstləri almaq üçün istifadə olunur*	*Termoelektron emissiyası hadisəsinə əsaslanır*	
24	**Elektroskop**	*Cismin elektrikləndiyini müəyyən edir*	*Yüklənmiş cisimlərin qarşılıqlı təsirinə əsaslanır*	
25	**Fotodiod**	*İşıq enerjisindən elektrik cərəyanı almaq üçün istifadə edilir*	*İşığın təsiri ilə katoddan elektron qopması hadisəsinə asaslanır*	
26	**Fotoelement**	*Dövrəni avtomatik qapayır və ya açır*	*Xarici fotoeffektə əsaslanır*	
27	**Fotorezistor və ya fotomüqavimət**	*Zəif işıq selini ölçür*	*Yarımkeçiricinin müqavimətinin üzərinə düşən işıq selindən asılılığına əsaslanır*	
28	**Generator**	*Həm sabit, həm dəyişən cərəyan almaq üçün qurğu*	*Elektromaqanit induksiya hadisəsinə əsaslanır*	
29	**Heyger sayğacı**	*Yüklü zərrəciklərin qeyd etmək üçündür*	*Zərbə ilə ionlaşdırma hadisəsinə əsaslanır*	
30	**Hiqrometr (metal)**	*Şeh nöqtəsinə görə rütubəti ölçür*	*Doymamış buxarın soyuyaraq doymuş buxara keçməsi hadisəsinə əsaslanır*	
31	**Hiqrometr (tük)**	*Nisbi rütubəti ölçür*	*Rütubətin təsiri ilə tükün uzunluğunun dəyişməsinə əsaslanır*	
32	**Xətkeş**	*Uzunluğu ölçür*		

33	**İşıq ötürən**	İşığın və xəyalın ötürülməsi üçündür	İşığın tam qayıtmasına əsaslanır	
34	**Kalorimetr**	Cisimlərin istilik tutumunu təyin edir	İstilik proseslərində enerjinin saxlanma qanununa əsaslanır	
35	**Kompas**	Yerin maqnit qüvvə xətlərinin istiqamətini və ya yerin maqnit qütblərini təyin edir	Maqnit qarşılıqlı təsirinə əsaslanır	
36	**Kondensator (dəyişən tutumlu)**	Elektrik yüklərini toplamaq üçündür	Dielektrik mühitlə ayrılmış naqillərin elektrik yüklərini saxlaması hadisəsinə əsaslanır	
37	**Kondensator (sabit tutumlu)**	Elektrik yüklərini toplamaq üçündür	Dielektrik mühitlə ayrılmış naqillərin elektrik yüklərini saxlaması hadisəsinə əsaslanır	
38	**Kütlə spektroqrafı**	Yüklü zərrəciklərin kütləsini təyin etmək üçündür	Maqnit sahəsinin hərəkət edən yüklü zərrəciklərə təsirinə (Lorens qüvvəsinə) əsaslanır	
39	**Qabarcıqlı kamera**	Yüklü zərrəcikləri qeyd etmək üçündür	İfrat qızmış mayedə buxar qabarcıqlarının əmələ gəlməsinə əsaslanır	
40	**Qalvanik element**	Sabit cərəyan mənbəyidir	Kənar qüvvələrin təsirinə əsaslanır. Qalvanik elementdə kimyəvi reaksiyanın enerjisi elektrik enerjisinə çevrilir	
41	**Qalvonometr**	Dövrədə cərəyanın olmasını müəyyən edir	Maqnit sahəsinin cərəyanlı çərçivəyə yönəldici təsirə əsaslanır.	
42	**Qızdırıcı element**	Qızdırıcı məqsədlər üçün istifadə edilir	Coul-Lens qanununa əsaslanır	
43	**Qoruyucu**	Dövrədə qısa qapanma (yəni cərəyan şiddəti kəskin artan zaman) olduqda dövrəni ayıran cihaz	Coul-Lens qanununa əsaslanır	
44	**Lazer**	Lazer şüaları almaq üçün işlədilir	Məcburi şüalanma hadisəsinə əsaslanır	

45	**Linza**	Cisimlərin xəyalını almaq üçün istifadə olunur		
46	**Lupa**	Cisimlərin böyüdülmüş xəyalını almaq üçündür	İşığın sınmaq qanununa əsaslanır	
47	**Manometr**	Qazların təzyiqini ölçür	Paskal qanununa əsaslanır	
48	**Menzurka**	Maye və bərk cisimlərin həcmini ölçür	Arximed qanununa əsaslanır	
49	**Metronomla**	Hərəkət müddətini hesablamaq olur		
50	**Mikrofon**	Səs dalğalarını elektromaqnit dalğalarına çevirmək üçün istifadə edilir	Elektromqanit qarşılıqlı təsirinə əsaslanır	
51	**Ommetr**	Müqaviməti ölçür		
52	**Ossilloqraf**	Elektromaqnit rəqslərini müşahidə etmək üçün işlədilir		
53	**Ölçü lenti**	Yerdəyişməni ölçmək üçün istifadə olunur		
54	**Psixometr**	Havanın rütubətini ölçür	Quru və nəm (yaş) termometrlərin göstərişləri fərqinə əsaslanır	
55	**Radiolokator**	Cisimlərə qədər olan məsafələri dəqiq təyin etmək üçün tətbiq olunur	Lazer şüalarla işləyir	
56	**Reostat**	Dövrədə cərəyan şiddətini tənzimləyən cihaz	Naqilin müqavimətinin onun uzunluğundan asılı olmasına və Om qanununa əsaslanır	
57	**Rezistor**	Müəyyən müqavimətə malik naqil		
58	**Rəqs konturu**	Elektromaqnit rəqsləri yaratmaq üçün istifadə olunur		
59	**Ruletka**	Uzunluğu ölçür		
60	**Saniyəölçən**	Zamanı (vaxtı) ölçür		

61	**Seysmoqraf**	Zəlzələnin gücünü təyin edir		
62	**Spektroqraf**	Spektrlərin şəklini çəkir	Dispersiya hadisəsinə əsaslanır	
63	**Spektroskop**	Spektrləri müşahidə edir	Dispersiya hadisəsinə əsaslanır	
64	**Spidometr**	Sürəti ölçür	Maqnit qarşılıqlı təsirinə əsaslanır	
65	**Termometr**	Temperaturu ölçür	Mayenin sıxlığının temperaturdan asılı olaraq dəyişməsinə əsaslanır	
66	**Termorezistor (termistor)**	Temperaturu ölçən yarımkeçiricidir	Yarımkeçiricinin müqavimətinin onun temperaturdan kəskin asılı olmasına əsaslanır	
67	**Transformator**	Dəyişən cərəyanın gərginliyini artırıb azaldan elementdir	Elektromaqnit induksiya hadisəsinə əsaslanır	
68	**Tranzistor (n-p-n tipli)**	Zəif elektromaqnit siqnallarını gücləndirmək üçün işlədilir	Yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyinə əsaslanır	
69	**Ucadanışan**	Elektromaqnit rəqslərini səs dalğasına çevirmək üçün işlədilir	Maqnit sahəsinin cərəyanlı naqilə göstərdiyi təsirinə əsaslanır	
70	**Vakuum diodu (iki elektrodlu lampa)**	Dəyişən cərəyanı düzləndirir	Termoelektron emissiyasına və diodun birtərəfli keçiriciliyinə əsaslanır	
71	**Vattmetr**	Elektrik cərəyanının gücünü ölçür		
72	**Vilson kamerası**	Yüklü zərrəcikləri qeyd edir	Doymuş buxarın kondensiyasına əsaslanır	
73	**Voltmetr**	Gərginlik ölçür	Cərəyanlı çərçivəyə maqnit sahəsini göstərdiyi yönəldici təsirə və ya Amper qüvvəsinə əsaslanır. Dövrəyə paralel qoşulur.	
74	**Yarımkeçirici diod**	Dəyişən cərəyanı düzləndirən yarımkeçirici element	Birtərəfli p-n keçiriciliyinə əsaslanır	

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. M.Murquzov, R.Abdurazaqov, R.Əliyev, D.Əliyeva. Fizika 7-ci sinif. Bakı-2018
2. M.Murquzov, R.Abdurazaqov, R.Əliyev, D.Əliyeva. Fizika 8-ci sinif. Bakı-2019
3. M.Murquzov, R.Abdurazaqov, R.Əliyev, D.Əliyeva. Fizika 9-ci sinif. Bakı-2017
4. M.Murquzov, R.Abdurazaqov, R.Əliyev, Fizika 10-ci sinif. Bakı-2017
5. R.Abdurazaqov, R.Əliyev, Qalib Şərifov . Fizika 11-cu sinif. Bakı-2018
6. S.Abdullayev. Əsas fiziki kəmiyyətlər, qanunlar və qrafiklər. Bakı-2010
7. Tələbə Qəbulu üzrə Dövlət Komissiyası. Fizika. Bakı-2012
8. Ekstrem Yayıncılık. 10-cu sınıf Fizik. Konu Anlatımlı Soru Bankası.
9. Ekstrem Yayıncılık. 11-ci sınıf Fizik. Konu Anlatımlı Soru Bankası.

FİZİKA

YENİ TƏHSİL PROQRAMI (KURİKULUM) ÜZRƏ

ELEKTRODİNAMİKA
OPTİKA
ATOM FİZİKASI

ABİTURİYENTLƏR VƏ MÜƏLLİMLƏRİN İŞƏ QƏBULU İMTAHANINA HAZIRLAŞANLAR ÜÇÜN VƏSAİT

Mətn redaktorları: ***Nurlan Dadaşov***

Əhmədağa Hacıbalayev

Dilbər Mustafazadə

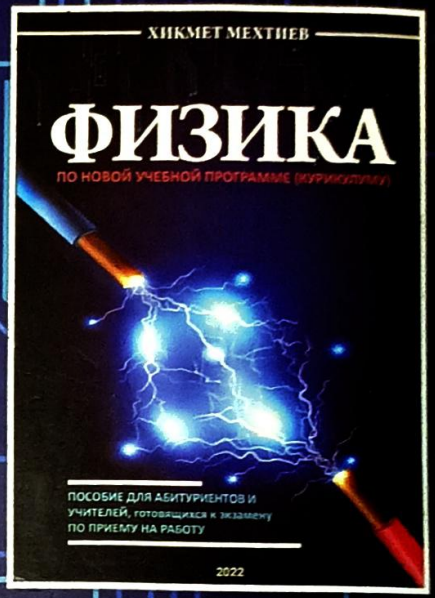
Çapa imzalanmışdır: 01.09.2023
Şərti çap vərəqi:24
Kağız formatı: 60x90 1/8
Tiraj: 1000

Qiymət: 13 ₼

SATIŞDA OLAN DİGƏR VƏSAİTLƏR!











050 627 01 82