

AzTu-nun nəzdində
Bakı Texniki Kollecinin
Fizika fənnindən
mühazirələr

Bakı-2023

Mündəricat

AzTu-nun nəzdində Bakı Texniki Kollecinin	1
Giriş.....	4
Mövzu 1.Maddi nöqtənin irəliləmə və fırlanma hərəkətinin kinematikasını	4
YOL VƏ YERDƏYİŞMƏ	5
DÜZXƏTLİ BƏRABƏRSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT, SÜRƏT	7
DÜZXƏTLİ DƏYİŞƏNSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT. TƏCİL.....	8
Mövzu 2.İmpuls.	10
QAPALI SİSTEM. İMPULSUN SAXLANMASI QANUNU	11
Mexaniki iş və güc.	13
Mövzu 4.Elastiki dalğalar.	15
Mövzu.RƏQSLƏRİN ELASTİK MÜHİTDƏ YAYILMASI:MEXANİKİ DALĞA.....	16
Mövzu 5.İdeal qaz haqqında anlayış.	18
İDEAL QAZ. İDEAL QAZIN MOLEKULYAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSAS TƏNLİYİ	21
Mövzu 6.Termodinamikanın qanunları.....	23
TERMODİNAMİKANIN BİRİNCİ QANUNU	26
TERMODİNAMİKANIN İKİNCİ QANUNU.İSTİLİK MÜHƏRRİKLƏRİNİN İŞ PRİNSİPİ.....	29
Mövzu 7. Qazların istilik tutumu.	33
HAVANIN RÜTUBƏTLİLİYİ. ŞEH NÖQTƏSİ.....	38
MAYELƏRİN SƏTHİ GƏRİLMƏSİ. KAPİLYAR HADİSƏLƏR.....	39
Mövzu 8.Bərk cisimlər.	42
Mövzu 9.Kulon qanunu. Elektrik sahəsinin intensivliyi.	46
Mövzu 10.Dielektriklər elektrik sahəsində. Elektrik cərəyanı.	49
Mövzu 11.Om qanunu.	52
Mövzu 12.Sabit cərəyanın işi və gücü.	55
Mövzu 13.Coul - Lens qanunu.	56
Mövzu 14.Maqnit sahəsi və onun xassələri.....	59
Mövzu 15.Lorens qüvvəsi.	60
Mövzu 16.Amper qanunu.....	61
Mövzu 17.Elektromaqnit induksiya hadisəsi. İnduktivlik.....	64
Mövzu 18.Dəyişən cərəyan.	68
İşığın interferensiyası, difraksiyası, dispersiyası, polyarlaşması.....	71
DALĞALARIN DİFRAKSİYASI. İŞIĞIN DİFRAKSİYASI	75
İŞIĞIN POLYARLAŞMASI	77

İşığın kvant təbiəti. Fotoeffekt hadisəsi.	78
Atom haqqında ümumi məlumat. Nüvənin quruluşu və onun əsas xarakteristikaları.....	82
Nüvə qüvvələri. Nüvə modelləri.	84
Ədəbiyyat	87

Giriş

Mövzu 1. Maddi nöqtənin irəliləmə və fırlanma hərəkətinin kinematikasısı.

Ətraf aləmdə fasiləsiz baş verən dəyişiklik materiyasının əsas xassələrindən biri olan *hərəkətdir*. Hərəkətin isə ən sadə forması *mexaniki hərəkətdir*.

- *Mexaniki hərəkət - cismin zaman keçdikcə fəzada başqa cisimlərə nəzərən yerinin (yaxud koordinatlarının) dəyişməsidir.*
- *Mexaniki hərəkətin qanunauyğunluqlarını, onun səbəbini öyrənən elm mexanika (yun. "mekhane" - maşın, mexanizm) adlanır.*
- *İstənilən zaman anında cismin vəziyyətini təyin etmək mexanikanın əsas məsələsidir.*

Mexanikanın əsas məsələsini həll etmək üçün cismin necə hərəkət etdiyini, onun vəziyyətinin zaman keçdikcə necə dəyişdiyini dəqiq müəyyən etmək lazımdır. Başqa sözlə desək, mexaniki hərəkəti xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlər arasında əlaqələri təyin etmək lazımdır.

Mexanikanın mexaniki hərəkəti təsvir edən bölməsi *kinematikadır*.
•Kinematika (yun. "kinematos" - hərəkət) - *mexaniki hərəkəti dəyişdirən səbəbləri araşdırmadan, onu öyrənən mexanika bölməsidir.*

Mexaniki hərəkətin ən sadə növlərindən biri *irəliləmə* hərəkətidir.
irəliləmə hərəkəti - bütün nöqtələri eyni hərəkət edən cismin hərəkətinə deyildir.
 İrəliləmə hərəkətində cismin xəyalən iki ixtiyari nöqtəsindən keçən düz xətt əvvəlki vəziyyətinə paralel qalır. Məsələn, çamadanı döşəmədən stulun üzərinə qoyduqda ona irəliləmə hərəkəti verilir (**b**). İrəliləmə hərəkətində cismin bütün nöqtələri eyni hərəkət etdiyindən, onun hərəkəti cismin bir nöqtəsinin hərəkətinə gətirilir. Bu halda *maddi nöqtə* adlandırılan ideallaşdırılan fiziki modeldən istifadə etmək əlverişli olur.

- *Maddi nöqtə - verilmiş şəraitdə ölçüləri nəzərə alınmayan cisimdir.*

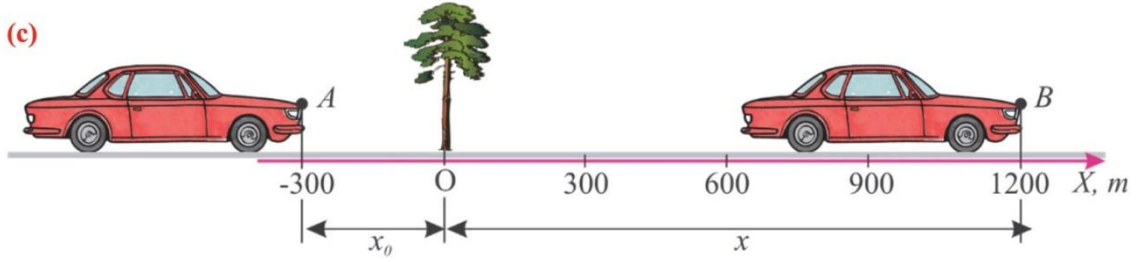
Maddi nöqtənin ixtiyari zamanda vəziyyətini müəyyən etmək üçün *hesablama cismi* seçilməlidir:

- *Maddi nöqtənin hərəkəti hansı cismə nəzərən öyrənilirsə, həmin cisim hesablama cismi adlanır.*

Hesablama cismi ixtiyari seçilir və o, şərti olaraq tərpənməz qəbul olunur. Məsələn, Günəş, Yer, görünən ulduz, məktəb binası, getdiyimiz qatar vaqonu, ağac, abidə və s. hesablama cismi ola bilər.

Hesablama cismi seçilibsə, ona nəzərən maddi nöqtənin vəziyyəti ya *koordinat*, yaxud da *radius-vektor* üsulu ilə verilə bilər.

Maddi nöqtənin vəziyyətinin koordinat üsulu ilə verilməsi. Bu üsula əsasən hesablama cismi seçilir və onun hər hansı nöqtəsindən koordinat oxları keçirilir və cismin istənilən nöqtəsinin vəziyyəti həmin koordinatlarla təyin olunur. Bunun necə edildiyini riyaziyyat fənnindən öyrənmisiniz. Məsələn, düz yolda hərəkət edən avtomobilin vəziyyətini təyin edək (**c**).



Bunun üçün yolboyu yönəlmiş **OX** koordinat oxu çəkilir. Koordinat oxunun başlanğıc nöqtəsini (**O** nöqtəsi) yol kənarında bitən ağacı qəbul edək. Belə halda avtomobilin vəziyyəti onun x koordinatı ilə təyin edilir. Koordinat başlanğıcından sağ tərəfə hesablanan koordinatlar müsbət, sol tərəfə hesablanan koordinatlar isə mənfi qəbul olunur. Fərz edək ki, müşahidəyə başlanan anda ($t = 0$ *anında*) avtomobilin koordinatı - **300 m**-dir. Bu onun başlanğıc koordinatı olub (A nöqtəsindəki vəziyyəti) x_0 ilə işarə edilir:

$x_0 = -300$ m.

Avtomobil **OX** oxu istiqamətində hərəkət etdiyindən, zaman keçdikcə onun koordinatı artaraq müəyyən t anında $x = 1200$ m olur. Koordinatın zamandan asılılığı [$x = x(t)$] məlum olarsa, avtomobilin istənilən anda vəziyyətini təyin etmək mümkündür.

Maddi nöqtənin vəziyyətinin radius-vektor üsulu ilə verilməsi.

• *Koordinat başlanğıcını maddi nöqtə ilə birləşdirən vektor **radius-vektor** adlanır. Radius-vektor hərfi ilə işarə edilir. Onun uzunluğu (və ya modulu) koordinat başlanğıcından M nöqtəsinə qədərki məsafədir (**f**). Radius-vektordan o zaman istifadə edilir ki, onun modulu və fəzada istiqaməti məlum olsun. Radius-vektorun zamandan asılılığı (**t**) maddi nöqtənin hərəkətini təsvir edir.*

Maddi nöqtənin mexaniki hərəkətini (düz xətt üzrə, müstəvidə və ya fəzada) tam təsvir etmək üçün onun koordinatlarının zamana görə necə dəyişdiyini təyin etmək lazımdır. Bu məqsədlə zamanı ölçən cihazın da olması zəruridir. Zamanı ölçən cihaz kimi saatdan (adətən, saniyəölçəndən) istifadə edilir. Məhz zamanı ölçən cihaz vasitəsilə nöqtənin hərəkətə başladığı t_0 zamanındakı koordinatlarının zamanın t_1 , t_2 , t_3 və s. anlarında necə dəyişdiyi təyin olunur.

Beləliklə, maddi nöqtənin hərəkəti seçilən hesablama sistemində görə öyrənilir.

- *Hesablama cismi, onunla bağlı koordinat sistemi və zamanı hesablamaq üçün cihaz birlikdə hesablama sistemini təşkil edir.*

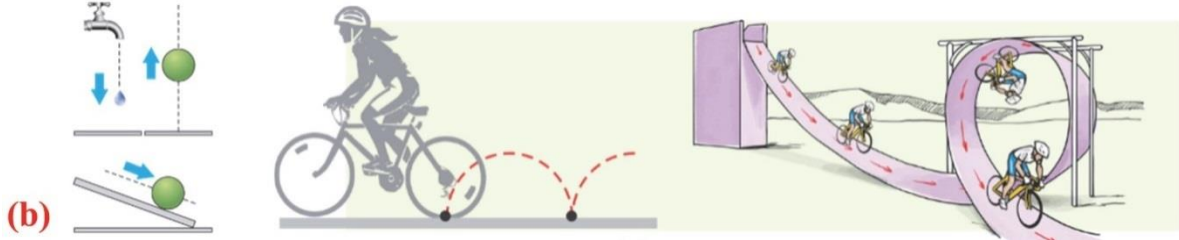
YOL VƏ YERDƏYİŞMƏ

Bilirsiniz ki, hər cür hərəkət müəyyən trayektoriya üzrə baş verir.

• *Hərəkət trayektoriyası maddi nöqtənin verilmiş hesablama sistemində nəzərdən hərəkət etdiyi xətdir. Bu xətt görünməyə də bilər, məsələn, balığın suda, təyyarənin səmada, arının havada və s. hərəkət trayektoriyaları yalnız təsəvvür edilə bilər. Hərəkət trayektoriyası formasına görə **düzxətli** və **əyrixətli** olur:*

• *Verilmiş hesablama sistemində nəzərdən trayektoriyası düz xətt olan hərəkət **düzxətli hərəkət** (**b**), ayri xətt olan hərəkət isə **əyrixətli hərəkət** adlanır (**c**).*

- Maddi nöqtənin hərəkət trayektoriyasının uzunluğuna bərabər olan fiziki kəmiyyət **gedilən yol** adlanır. Gedilən yol skalyar müsbət kəmiyyət olub ***l*** hərfi ilə işarə edilir və BS-də vahidi metrdir.



Maddi nöqtənin hərəkətini tam xarakterizə etmək üçün onun fəzada vəziyyətinin dəyişməsi müəyyən olunmalıdır. O ya maddi nöqtənin *koordinatlarının dəyişməsi*, yaxud da *radius-vektorun dəyişməsidir*.

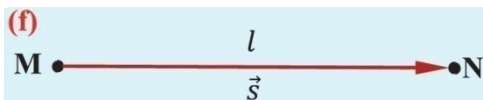
- *İstənilən fiziki kəmiyyətin dəyişməsi onun son və başlanğıc qiymətlərinin fərqinə bərabərdir və həmin kəmiyyətin işarəsinin əvvəlində Δ yazılır.*
- *Yerdəyişmə - hərəkətdə olan maddi nöqtənin başlanğıc və son vəziyyətini birləşdirən istiqamətlənmiş düz xətt parçasıdır. Yerdəyişmə vektorial kəmiyyətdir.*
- *Vektorial kəmiyyət - ədədi qiymətindən (modulundan) başqa, istiqaməti ilə də verilən kəmiyyətdir.*

Vektorial kəmiyyət kimi yerdəyişmə vektorlarını üçbucaq və ya paraleloqram qaydası ilə toplamaq və ya çıxmaq olar.

Yerdəyişmənin də yol kimi BS-də vahidi metrdir, lakin o, kəmiyyət olaraq gedilən yoldan fərqlidir: *yerdeyişmə fiziki mənaca verilmiş zaman fasiləsində maddi nöqtənin başlanğıc vəziyyətdən hansı məsafəyə və hansı istiqamətə yerini dəyişdiyini göstərir*

Diqqət! Yalnız bir istiqamətdə baş verən düzxətli hərəkətdə yerdəyişmənin modulu gedilən yola bərabərdir

- f)** qalan bütün hallarda (düzxətli hərəkətin istiqaməti dəyişdikdə, əyri xətlə hərəkətdə) gedilən yol yerdəyişmənin modulundan böyük olur (**g**). ilən yol yerdəyişmənin modulundan böyük olur (**g**).



Maddi nöqtə aralarındakı məsafə l olan M nöqtəsindən N nöqtəsinə gəlmişdir. Bu halda gedilən yol yerdəyişmənin moduluna bərabərdir: $s = l$.



Maddi nöqtə aralarındakı məsafə l olan M nöqtəsindən N nöqtəsinə gəlmiş, sonra isə həmin xətt üzrə geriye, M nöqtəsinə qayıtmışdır. Bu halda nöqtənin getdiyi yol $2l$ olduğu halda, onun yerdəyişməsinin modulu sıfıra bərabərdir: $\vec{s} = \overrightarrow{MN} + \overrightarrow{NM} = \mathbf{0}$, $s = MN + NM = 2l$.

Müstəvi üzərində hərəkətdə olan maddi nöqtənin başlanğıc halının koordinatları və yerdəyişmə vektoru məlumdursa, onun son koordinatlarını təyin etmək olar. Məsələn, fərz

edək ki, maddi nöqtə yerdəyişməsi icra etmişdir (**h**). Bu vektorun başlanğıc və sonundan OX və OY oxuna perpendikulyar çəkməklə, s_x və s_y proyeksiyalarını alırıq. Şəkildən görüldüyü kimi, həmin proyeksiyalar maddi nöqtənin başlanğıc və sonunun koordinatları fərqi bərabərdir:

$$s_x = x - x_0, \quad s_y = y - y_0.$$

DÜZXƏTLİ BƏRABƏRSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT, SÜRƏT

VII sinifdən məlumdur ki, mexaniki hərəkətin ən sadə növü düzxətli bərabərsürətli hərəkətdir:

- *Düzxətli bərabərsürətli hərəkət — düz xətt boyunca istənilən bərabər zaman fasilələrində eyni yerdəyişmə icra edən maddi nöqtənin hərəkətidir.*

- *Zaman keçdikcə düzxətli bərabərsürətli hərəkətin sürətinin modulu və istiqaməti dəyişmir:* $\vartheta = \text{const.}$

- *Düzxətli bərabərsürətli hərəkətin sürəti maddi nöqtənin yerdəyişməsinin həmin yerdəyişməyə sərf olunan zaman fasiləsinə nisbətində bərabər olan sabit kəmiyyətə deyilir:*

$$\vartheta = \frac{s}{t} \quad (1.1)$$

Düsturdakı $1/t$ nisbəti müsbət skalyar kəmiyyət olduğundan sürət vektoru - nin istiqaməti yerdəyişmə vektoru -in istiqaməti ilə eyni olur. BS-də sürətin vahidi saniyədə-metrdir:

$$\vartheta = \frac{[s]}{[t]} = \frac{1m}{1san} = 1 \frac{m}{san}$$

Sürət məlumdursa, t zaman fasiləsində düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə yerdəyişməni təyin etmək olar:

$$S = \vartheta \cdot t. \quad (1.2)$$

- *Düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə gedilən yol yerdəyişmənin moduluna bərabərdir.*

$$l = s = \vartheta t. \quad (1.3)$$

Vektorların proyeksiyaları üzərində cəbri əməllər aparmaq mümkün olduğundan, yerdəyişməni hesablamaq üçün ifadəsində vektor olan düsturlardan yox, vektorun koordinat oxları üzərində proyeksiyaları daxil edilmiş düsturlardan istifadə edilir. Düzxətli hərəkətdə trayektoriya düz xətt olduğundan maddi nöqtənin vəziyyəti bir x koordinatı ilə təyin edilir. Maddi nöqtənin həm sürət, həm də yerdəyişmə vektorlarının bu oxa proyeksiyaları təyin olunur və tənlik proyeksiyalarla yazılaraq həll edilir. Yerdəyişmənin və sürətin OX oxu üzərindəki proyeksiyalarını (1.2) ifadəsində nəzərə alaraq yazmaq olar:

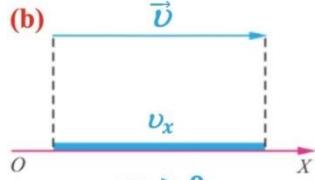
$$s_x = v_x t. \quad (1.4)$$

İstənilən zaman anında nöqtənin x koordinatının hesablanma düsturunu almaq olar (bax: 1.2 mövzusu):

$$x = x_0 + s_x, \quad x = x_0 + v_x t. \quad (1.5)$$

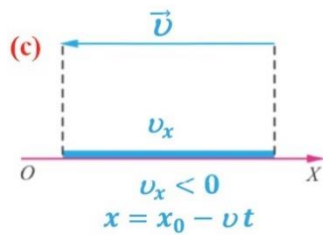
(1.5) ifadəsi *düzxətli bərabərsürətli hərəkətin tənliyidir*. Maddi nöqtə seçilən OX oxu istiqamətində hərəkət edirsə, sürətin proyeksiyası müsbət (**b**), koordinat oxunun əksinə

hərəkət edirsə, sürətin proyeksiyası mənfi qəbul edilir (c).
(1.5) tənliyindən sürətin proyeksiyası təyin olunur:



$$v_x > 0$$

$$x = x_0 + vt$$



$$v_x < 0$$

$$x = x_0 - vt$$

$$v = \frac{x - x_0}{t} \quad (1.6)$$

(1.6) tənliyindən sürətin hansı fiziki məna daşdığı aydın olur: *sürətin ox üzərində proyeksiyası uyğun koordinatın vahid zamanda dəyişməsinə bərabərdir.*

Maddi nöqtənin düzxətli bərabərsürətli hərəkətində gedilən yol və koordinat zamanın xətti funksiyasıdır (d). Sürət isə sabit olduğundan sürət-zaman qrafiki zaman oxuna paralel düz xətdir - sürət zamandan asılı deyildir (e):

Bərabərsürətli hərəkətin koordinat - zaman qrafiki zaman oxu ilə müəyyən bucaq təşkil edir. Bu bucağın tangensi sürətin ox üzrə proyeksiyasına bərabərdir. (f): $tg\alpha = \Delta x/t = v_x$

DÜZXƏTLİ DƏYİŞƏNSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT. TƏCİL

Düzxətli hərəkətdə bərabər zaman fasilələrində müxtəlif yerdəyişmələr icra edən maddi nöqtənin hərəkəti düzxətli dəyişənsürətli hərəkət adlanır. Dəyişənsürətli hərəkətdə sürət sabit qiyməti ilə xarakterizə oluna bilmir. Belə hərəkətdə ya orta sürət yaxud da *ani sürət* adlanan sürətdən istifadə edilir.

Orta sürət.

• Dəyişənsürətli hərəkət edən maddi nöqtənin trayektoriyasının verilən hissəsindəki orta sürəti, onun bu hissəsindəki yerdəyişməsinin həmin yerdəyişməyə sərf etdiyi zamana nisbətində bərabərdir.

$$v_{or} = \frac{s}{t} \quad (1.7)$$

• Dəyişənsürətli hərəkət edən maddi nöqtənin yola görə orta sürəti gedilən ümumi yolun bu yolu getməyə sərf etdiyi zamana nisbətində bərabərdir:

$$v_{or} = \frac{l_{üm}}{t_{üm}} \quad (1.8)$$

Ani sürət

• Maddi nöqtənin verilmiş zaman anında və ya hərəkət trayektoriyasının verilən nöqtəsindəki sürəti onun ani sürəti və ya verilən nöqtədəki sürəti adlanır. Ani sürət hərəkət trayektoriyası üzərində götürülən nöqtə ətrafında olduqca kiçik yerdəyişmənin (Δs) həmin yerdəyişmənin icrasına sərf olunan kiçik zaman fasiləsinə (Δt) nisbətində bərabərdir ($\Delta t \rightarrow 0$ şərti daxilində):

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1.12)$$

Burada maddi nöqtənin ani sürətidir.

Təcil. Dəyişənsürətli hərəkətdə ani sürətin qiymət və istiqamətinin dəyişmə yeyinliyi təcil adlanan kəmiyyətlə xarakterizə olunur:

• Təcil - sürət dəyişməsinin bu dəyişmənin baş verdiyi zaman fasiləsinə nisbətində bərabər olan fiziki kəmiyyətdir:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

Əgər zamanın hesablanması sıfırdan başlayırsa $\Delta t = t - 0 = t$ olur, bu halda:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}$$

Təcil vektorial kəmiyyət olub istiqamət \vec{a} inin \vec{v} istiqaməti ilə üst-üstə düşür.

Sadəlik üçün burada və gələcəkdə elə düzxətli dəyişənsürətli hərəkətə baxılacaq ki, həmin hərəkətdə maddi nöqtənin istənilən bərabər zaman fasiləsində sürəti eyni qədər dəyişmiş olsun. Bu cür hərəkət *bərabərtəcilli hərəkət* adlanır:

• *Bərabərtəcilli hərəkət* - istənilən bərabər zaman fasilələrində sürət dəyişməsi sabit qalan hərəkətdir. *Bərabərtəcilli hərəkətdə təcilin qiymət və istiqaməti dəyişmir:*

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t} = \text{const.} \quad (1.16)$$

Bərabərtəcilli hərəkətdə təcilin ixtiyari ox üzrə, məsələn, x oxu üzrə proyeksiyası da sabitdir:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t} = \text{const.} \quad (1.17)$$

Bu o deməkdir ki, bərabərtəcilli hərəkətdə təcil-zaman qrafiki zaman oxuna paralel düz xətdir - təcilin seçilən ox üzrə proyeksiyası zamandan asılı deyildir (c).

Təcilin BS-də vahidi $1 \frac{m}{san^2}$ - elə düzxətli bərabərtəcilli hərəkətin təcili qəbul edilir ki, maddi nöqtənin 1 san-də sürət dəyişməsi $1 \frac{m}{san}$ olsun:

$$[a] \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{1 \frac{m}{san}}{san} = 1 \frac{m}{san^2}$$

Bilirsiniz ki, maddi nöqtənin (və ya cismin) fəzada vəziyyəti hesablama sisteminin seçilməsindən asılıdır - müxtəlif hesablama sisteminə nəzərən maddi nöqtənin vəziyyəti müxtəlif ola bilər. Deməli, cismin fəzada vəziyyəti nisbidir. Bu nisbilik cismin yalnız vəziyyətinə deyil, onun hərəkətinə də aiddir:

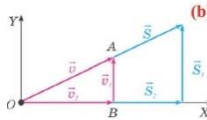
• *Cismin bir-birinə nəzərən hərəkətdə olan müxtəlif hesablama sistemlərinə nisbətən yerdəyişməsi və sürəti də müxtəlifdir.*

Buradan sürətlərin toplanmasının ümumi qanunu alınır:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2.$$

- Sükunətdə olan hesablama sisteminə nəzərən cismin sürəti onun hərəkətdə olan sistemə nəzərən sürəti ilə () hərəkətdə olan sistemin sükunətdə olan sistemə nəzərən

sürətinin () həndəsi cəminə bərabərdir.



Sürətlərin toplanması qanunundan istifadə edərək salın səthində addımlayan balıqçının sahildə duran müşahidəçiyə nəzərən sürəti hesablanır. Çertyojdan görüldüyü kimi, v_1 və v_2 sürətləri bir-birinə perpendikulyar yönəlməklə düzbucaqlı ΔOAB üçbucağının katetlərini, yekun v sürəti isə onun hipotenuzunu əmələ gətirir (b). Sürətin ədədi qiyməti Pifaqor teoreminə görə:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}.$$

Mövzu 2. İmpuls.

Kinematikadan bilirsiniz ki, cismin təcili onun sürət dəyişməsinin yeyinliyidir:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}. \quad (2.3)$$

Bu ifadəni Nyutonun II qanununda nəzərə alsaq:

$$\frac{m \cdot (\vec{v} - \vec{v}_0)}{\Delta t} = \vec{F}.$$

Sadələşmə aparsaq, alırıq:

$$\frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t} = \vec{F} \quad \text{və ya} \quad \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \vec{F}. \quad (2.4)$$

Burada $m\vec{v}$ — *impuls (vəya hərəkət miqdarı) adlanır.*

- *İmpuls — mexaniki hərəkətin miqdarı olub cismin kütləsi ilə onun sürəti hasilinə bərabər vektorial fiziki kəmiyyətdir. İmpuls \vec{p} hərfi ilə işarə edilir:*

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (2.5)$$

İmpulsun BS-də vahidi: $[p] = [m] \cdot [v] = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$

Nyutonun II qanununu hərəkət miqdarı əsasında belə də ifadə etmək olar:

- *Cismin hərəkət miqdarının dəyişməsi ona təsir edən əvəzləyici qüvvə istiqamətində baş verir və o həmin qüvvə ilə mütənasibdir: $\Delta(m\vec{v}) = \vec{F}\Delta t$. (2.6)*

- Qüvvə ilə onun təsir müddətinin hasilinə *qüvvə impulsu* deyilir.

Burada $\vec{F}\Delta t$ — *qüvvə impulsu* adlanır.

Qüvvə impulsu vektorial kəmiyyət olub istiqamətcə əvəzləyici qüvvənin təsir istiqamətindədir. Onun BS-də vahidi *nyuton-saniyə*dir:

$$[F\Delta t] = 1N \cdot san = 1 \frac{kg \cdot m}{san}$$

Beləliklə, Nyutonun II qanunu dinamikanın mühüm bir faktını ümumiləşdirdi:

- *Qüvvənin təsiri hərəkət sürətinin özünü deyil, onun dəyişməsinə - təcili doğurur.*

QAPALI SİSTEM. İMPULSUN SAXLANMASI QANUNU

Qapalı sistem nədir? Siz artıq bilərsiniz ki, təbiətdə baş verən bütün dəyişikliklər cisimlər arasındakı qarşılıqlı təsirlərin nəticəsidir. Qarşılıqlı təsirlər isə xarakterinə görə müxtəlif növə malikdir - *qravitasiya, elektromaqnit, güclü və zəif qarşılıqlı təsirlər.*

Bu qarşılıqlı təsirlərin xarakteri cisimlər arasındakı məsafədən və onların xassələrindən asılıdır. Müəyyən hadisənin baş verməsində qarşılıqlı təsirin bir növü digərləri ilə müqayisədə daha həlledici olur. Məsələn, böyük məsafələrdə qravitasiya qarşılıqlı təsiri həlledici olduğu halda, atom nüvəsi ölçüləri ilə müqayisə olunan məsafələrdə yalnız nüvə qüvvələrinin təsirindən danışıla bilər. Ona görə də hər hansı fiziki hadisəni öyrənərkən eyni zamanda bütün qarşılıqlı təsirləri nəzərə almaq, uyğun hesablamalar aparmaq tamamilə mürəkkəb və gərəksiz bir iş olardı. Odur ki müəyyən fiziki hadisə araşdırılan zaman ikincidərəcəli (hadisənin baş verməsində həlledici olmayan) qarşılıqlı təsirlər nəzərə alınmır. Məsələn, helikopterin qaldırıcı qüvvəsini hesabladıqda əhəmiyyətli olan - Yer cazibə qüvvəsini nəzərə almaqdır. Bu zaman Ayın cazibə təsiri, buludla helikopterin gövdəsi arasındakı elektromaqnit təsirləri nəzərə alınmaya bilər.

Beləliklə, təbiətin ümumi elmi mənzərəsində ətraf mühitdən şərti təcrid edilmiş və ümumi əlamətlərinə görə əlaqələndirilən cisimlər toplusundan ibarət sistemə *qapalı sistem* kimi baxılır.

- *Qapalı sistem - verilən şəraitdə bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olub başqa cisimlərlə qarşılıqlı təsirdə olmayan cisimlərdən ibarət sistemdir. Saxlanma qanunları qapalı sistemlərdə ödənilir.*

İmpulsun saxlanması qanunu. Saxlanma xassəsinə malik fiziki kəmiyyətlərdən biri impulsdur. Bu xassə ondan ibarətdir ki, yalnız bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin impulslarının cəmi dəyişmir, cisimlərin tam impulsu sabit qalır.

- *Sistemi təşkil edən bütün cisimlərin impulslarının həndəsi cəmi həmin sistemin tam impulsu adlanır.*

Cisimlərin qarşılıqlı təsirləri nəticəsində onların impulsları dəyişir. Nümunə üçün iki cismin qarşılıqlı təsirini araşdıraq.

Birinci cismin qarşılıqlı təsirdən əvvəlki impulsunu \vec{p}_{01} , qarşılıqlı təsirdən sonrakı impulsunu \vec{p}_1 ikinci cismə aid olan uyğun impulsları isə \vec{p}_{02} və \vec{p}_2 ilə işarə edək. Bu cisimlərin qarşılıqlı təsir qüvvələrini isə uyğun olaraq \vec{F}_1 və \vec{F}_2 ilə işarə etsək, Nyutonun III qanununa əsasən təsir əks təsire bərabər olar: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Bərabərliyin hər iki tərəfi

cisimlərin qarşılıqlı təsir müddətinə (Δt) vurularsa, qapalı sistem üçün bərabərlik pozulmaz:

$$\vec{F}_1 \cdot \Delta t = -\vec{F}_2 \cdot \Delta t \quad (3.1)$$

Burada $\vec{F}_1 \cdot \Delta t$ birinci cismin, $\vec{F}_2 \cdot \Delta t$ isə ikinci cismin impulsunun dəyişməsi olduğundan (bax: 2.3 mövzusu) alınır:

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2$$

və ya

$$\vec{p}_1 - \vec{p}_{01} = -(\vec{p}_2 - \vec{p}_{02}). \quad (3.2)$$

• *İki cismin qarşılıqlı təsiri nəticəsində onların impulslarının dəyişməsi qiymətçə bərabər, istiqamətçə bir-birinin əksinədir.*

Buradan alınır ki, öz aralarında qarşılıqlı təsirdə olan iki cismin vektoru (həndəsi) cəmi sabitdir:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \text{const.}$$

Sonuncu ifadəni n sayda cisimdən təşkil olunan qapalı sistem üçün də ümumiləşdirdikdə qapalı sistemi təşkil edən cisimlər üçün *impulsun saxlanması qanunu* alınır:

• *Qapalı sistem təşkil edən cisimlərin impulsunun vektorial cəmi sabit qalır:*

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots + \vec{p}_n = \text{const} \quad (3.4)$$

İki cismin toqquşması. İki cismin toqquşması onların deformasiya etməsi və yaranan elastiklik qüvvələrinin təsiri altında impulslarının dəyişməsi ilə nəticələnir. İdeallaşdırılmış şəraitdə iki növ toqquşma fərqləndirilir: *mütləq elastiki toqquşma* və *plastiki toqquşma*.

Mütləq elastiki toqquşma. *Mütləq elastiki toqquşmada cisimlərin elastiki deformasiyası baş verir - toqquşma qurtarıqdan sonra deformasiya yox olur.* Bilyard və ya polad kürələrin toqquşması mütləq elastiki deformasiyaya misal göstərilə bilər. Belə toqquşmada mexaniki enerji sistemin daxili enerjisinə çevrilir - sistemin tam mexaniki enerjisi dəyişmir: kürələrin kinetik enerjisi tamamilə və ya qismən elastiki deformasiyanın potensial enerjisinə çevrilir və bu enerji isə, öz növbəsində, yenidən kürələrin kinetik enerjisində çevrilir. Mütləq elastiki toqquşma üçün impulsun saxlanması qanununun (3.3) ifadəsi ödənilir: *iki cismin mütləq elastiki toqquşmadan əvvəlki impulslarının həndəsi cəmi onların toqquşmadan sonrakı impulslarının həndəsi cəminə bərabərdir.*

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad (3.5)$$

Burada m_1, m_2 - qapalı sistem təşkil edən kürəciklərin kütləsi; \vec{v}_{01} və \vec{v}_{02} - bu kürəciklərin toqquşmadan əvvəlki sürətləri, \vec{v}_1 və \vec{v}_2 - onların toqquşmadan sonrakı sürətləridir.

Plastiki toqquşma. *Plastiki toqquşmada yaranan deformasiya tamamilə saxlanılır.* Bu zaman tam mexaniki enerji saxlanmır, onun bir hissəsi sistemin daxili enerjisində çevrilir.

İki cismin plastiki toqquşmasından sonra hər iki cisim bir-birinə "yapışaraq" ya eyni sürətlə hərəkət edir, yaxud da sükunətdə qalır. Beləliklə, qapalı sistem təşkil edən iki cismin plastiki toqquşmasının impulsun saxlanması qanununa əsasən belə yazmaq olar:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = (m_1 + m_2) \vec{v}$$

Burada \vec{v} - qapalı sistem təşkil edən iki cismin plastiki toqquşmasından sonra birlikdə aldıkları sürətdir. (3.6) ifadəsindən sistemin sürəti təyin edilir:

$$\vec{v} = \frac{m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02}}{(m_1 + m_2)} \quad (3.7)$$

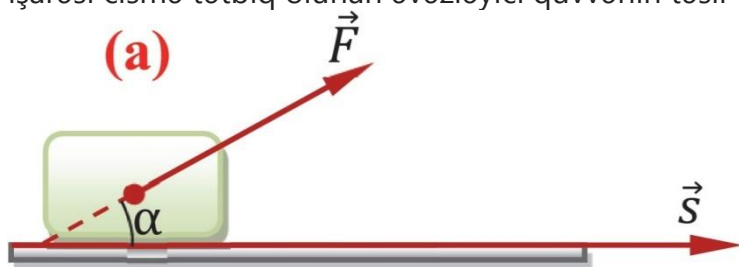
Mexaniki iş və güc.

Mexaniki iş. Mexaniki iş cismin halının dəyişməsinə xarakterizə edən fiziki kəmiyyətdir. O, cismə təsir edən əvəzləyici qüvvənin qiymətindən, istiqamətindən və qüvvənin tətbiq nöqtəsinin yerdəyişməsindən asılıdır.

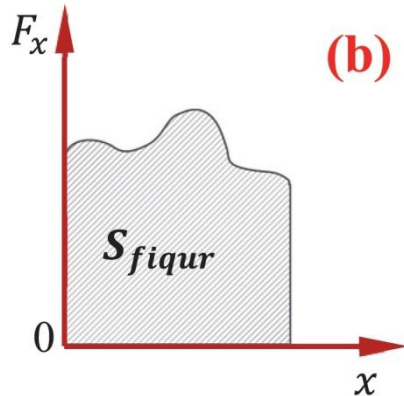
• *Mexaniki iş - cismə təsir edən qüvvənin modulu, yerdəyişmənin modulu və bu qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları arasında qalan bucağın kosinusuna bərabərdir:*

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (3.8)$$

İş skalyar fiziki kəmiyyətdir, lakin digər skalyar fiziki kəmiyyətlərdən (məsələn, yol, kütlə, sahə və s.) fərqli olaraq o həm sıfır, həm müsbət, həm də mənfi işarəli ola bilər. İşin işarəsi cismə tətbiq olunan əvəzləyici qüvvənin təsir istiqamətindən asılıdır (a):



- əgər cismə təsir edən qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları iti bucaq əmələ gətirərsə: $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$, bu halda $\cos \alpha > 0$ olur və qüvvənin gördüyü iş müsbətdir: $A > 0$;
- əgər cismə təsir edən qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları kor bucaq əmələ gətirərsə: $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$, bu halda $\cos \alpha < 0$ olur və qüvvənin gördüyü iş mənfidir: $A < 0$;
- əgər cismə təsir edən qüvvə yerdəyişməyə perpendikulyardırsa: $\alpha = 90^\circ$, bu halda $\cos \alpha = 0$ olur və həmin qüvvə iş görmür: $A = 0$. İşin BS-də vahidi couldur (C):
- *Coul (1C) — hərəkət istiqamətində təsir edən 1N qüvvənin 1m yerdəyişmədə gördüyü işdir.*

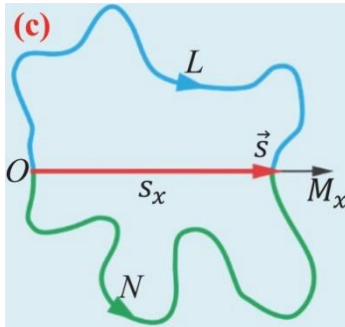


e.

f. $[A] = 1\text{N} \cdot \text{m} = 1 \frac{\text{kq} \cdot \text{m}^2}{\text{san}^2} = 1\text{C}.$

- g. **Xüsusi hal.** Cisim x oxu üzrə hərəkət edirsə, \vec{F} qüvvəsinin gördüyü iş ədədi qiymətcə həmin qüvvənin x oxu üzrə proyeksiyasının (F_x) x -dan asılılıq qrafiki ilə absis oxu arasında qalan fiqurun sahəsinə bərabərdir (b): $A = S_{fiqur}$

Qiymət və istiqamətcə sabit qalan əvəzləyici qüvvənin işi iki mühüm xassəyə malikdir:



1. İstənilən qapalı trayektoriya üzrə sabit əvəzləyici qüvvənin işi sifra bərabərdir. Çünki, qapalı trayektoriya cızan cismin yerdəyişməsinin modulu sifra bərabərdir:

$$s = 0 \rightarrow A = F \cos \alpha = 0.$$

2. Verilmiş iki nöqtə arasında cismin hərəkəti zamanı sabit əvəzləyici qüvvənin gördüyü iş bu nöqtələri birləşdirən trayektoriyanın formasından asılı deyildir.

Məsələn, O və M nöqtələrini birləşdirən OLM və ONM trayektoriyaları üzrə hərəkət edən cismin yerdəyişməsi eyni olduğundan həmin trayektoriyalar üzrə sabit əvəzləyici qüvvənin işi də eynidir (c):

$$A_{OLM} = A_{ONM} = F_x \cdot s_x.$$

Güc. Görülən işin yeyinliyi *güc* adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə olunur.

- *Güc* — görülmə işi bu işi görməyə sərf edilən zamana nisbətində deyilir:

$$N = \frac{A}{t} \quad (3.9)$$

Gücün BS-də vahidi *vatt*dır (Vt):

$$[N] = 1 \frac{C}{san} = 1 \frac{kq \cdot m^2}{san^3} = 1Vt.$$

• *Vatt (1Vt) — 1 saniyədə 1C iş görən mexanizmin gücünə deyilir.* Güc vahidi olaraq, ilk dəfə 1783-cü ildə ingilis fiziki və ixtiraçısı Ceyms Vatt (1736-1819) *at qüvvəsi* (a.q.) adlanan vahid təklif etmişdir. Bu vahiddən bəzən indi də istifadə olunur:

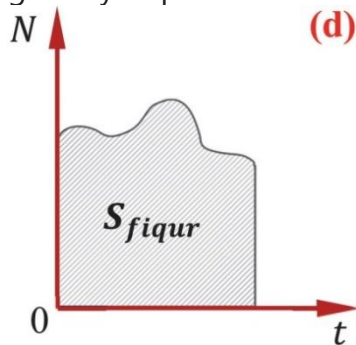
$$1 a.q. = 736 Vt.$$

Güc sabit olduqda t müddətində görülən iş: $A = Nt$. (3.10)

Bu düstur əsasında iş vahidi olaraq kilovatt-saatdan da istifadə olunur:

$$1 kVt \cdot saat = 3\,600\,000 C.$$

Güc zamana görə dəyişərsə, iş ədədi qiymətəcə güc-zaman qrafikinə t oxu ilə əmələ gətirdiyi fiqurun sahəsinə bərabər olur **(d)**: $A = S_{fiqur}$.



Güc cismin hərəkət sürəti ilə də əlaqələndirilə bilər, məsələn, düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən avtomobilin sürəti sürtünmə qüvvəsinin sabit qiymətində onun mühərrikinin gücündən düz mütənasib asılıdır:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{FS}{t} = F \cdot v. \quad (3.11)$$

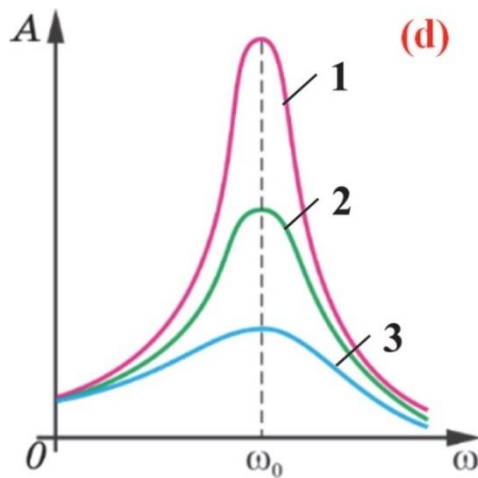
Bu ifadədən alınır ki, avtomobilin mühərrikinin gücü sabit olduqda avtomobilin sürətinin kiçik qiymətində dartı qüvvəsi artır (avtomobilin I sürət ötürücüsündə olduğu hal), dartı qüvvəsinin kiçik qiymətində isə sürət artır (avtomobilin IV və V sürət ötürücüsündə olduğu hal):

$$F = \frac{N}{v}; \quad v = \frac{N}{F}.$$

Mövzu 4. Elastiki dalğalar.

Rəqs sisteminə periodik dəyişən, məsələn, $F = F_m \cos \omega t$ harmonik qanunu ilə dəyişən xarici qüvvə - məcburedici qüvvə təsir etdikdə bu sistemdə məcburi rəqslər yaranır.

• *Məcburi rəqslərin tezliyi həmişə məcburedici qüvvənin dəyişmə tezliyinə bərabər olur - xarici qüvvə hansı tezliklə dəyişirsə, sistem də həmin tezliklə rəqs edir.*



• Rezonans - məcburi rəqslərin amplitudu məcburedici qüvvənin tezliyindən asılıdır - məcburedici qüvvənin dəyişmə tezliyinin qiyməti sistemin məxsusi rəqs tezliyinin qiymətinə yaxınlaşdıqca məcburi rəqslərin amplitudu artır

(d). Nəticədə sistemdə rezonans hadisəsi baş verir:

• Məcburedici qüvvənin dəyişmə tezliyinin qiyməti sistemin sərbəst rəqs tezliyinin qiymətinə bərabər olarsa ($\omega = \omega_0$), məcburi rəqslərin amplitudunun kəskin artması hadisəsidir.

Rezonans əyrisinin maksimumunun kəskinliyi sürtünmə qüvvəsindən asılıdır. Belə ki, 1 əyrisi kiçik sürtünmə qüvvəsinə (maksimum kəskindir), 2 əyrisi isə böyük sürtünmə qüvvəsinə uyğundur (bax: d).

Rezonans hadisəsinin baş verməsi amplitudun dövrü tezlikdən asılılıq düsturundan (4.33)-dən asanlıqla görünür: $\omega = \omega_0$ olduqda rəqs amplitudu sonsuzluğa qədər böyüyür:

$$A = \left| \frac{F_m}{m(\omega^2 - \omega_0^2)} \right| = \frac{F_m}{0} \rightarrow \infty.$$

Məcburi rəqslərdə rezonans rəqs sistemlərində fəlakətlərə səbəb olabilən böyük dağıdıcı qüvvə yaradır. Məsələn, körpüdən ahəngdar addımlayan piyada və ya süvari alayının yaratdığı məcburedici təsir qüvvəsinin tezliyi körpünün sərbəst rəqs tezliyi ilə üst-üstə düşdükdə körpünün məcburi rəqs amplitudu kəskin artar və o dağıla bilər. Bu səbəbdən əsgər alayları körpüdən keçdikdə azad yerləşlə addımlamaq komandası alırlar.

Mövzu.RƏQSLƏRİN ELASTİK MÜHİTDƏ YAYILMASI:MEXANİKİ DALĞA

Dalğa. Biz mexaniki rəqsləri ayrı-ayrı qapalı rəqs sistemlərində - yaylı rəqqas və riyazi rəqqasda öyrəndik. Lakin təbiətdə ən çox rast gəldiyimiz rəqslər *əlaqəli rəqs sistemlərinin* rəqsidir. Əlaqəli rəqs sistemlərində rəqs bir sistemdən digərinə ötürülür. Məsələn, 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 üzgəc və ya tennis topu qoyularsa, onun yayılan su halqaları ilə deyil, yerindəcə yalnız yuxarı-aşağı rəqsi hərəkət etdiyi müşahidə olunur.

Beləliklə, su zərrəciklərinin müəyyən nöqtədə yaranan rəqsi hərəkəti sudaki qonşu zərrəciklərə verilməklə rəqsi hərəkətə yeni-yeni zərrəciklər cəlb olunur. Nəticədə, hər tərəfə yayılan əlaqəli zərrəciklər sisteminin rəqsi hərəkəti yaranır. *Dalğa* adlanan belə yayılmada su axını baş vermir, onun forması daşınır.

- *Dalğa* - rəqslərin zaman keçdikcə fəzada yayılma prosesidir.

Bu zaman mühitdə aşağıdakı hadisələr baş verir: a) *dalğanın yayıldığı mühitin zərrəciklərinin rəqsi hərəkəti* - mühitin zərrəcikləri yalnız öz tarazlıq vəziyyətləri ətrafında rəqsi hərəkət edir və *dalğada maddə daşınması baş vermir*; b) *mühitin zərrəciklərinin qonşu zərrəciklərlə qarşılıqlı təsiri* — zərrəciklər arasındakı qarşılıqlı təsirlər enerji daşınması ilə nəticələnir. Bu səbəbdən dalğaya belə tərif də verilir:

- *Dalğa* - mühitdə maddə daşınması deyil, enerji daşınması prosesidir.

Mexaniki dalğa. Təbiətdə ən çox rast gəlinən dalğa *mexaniki dalğa*dır.

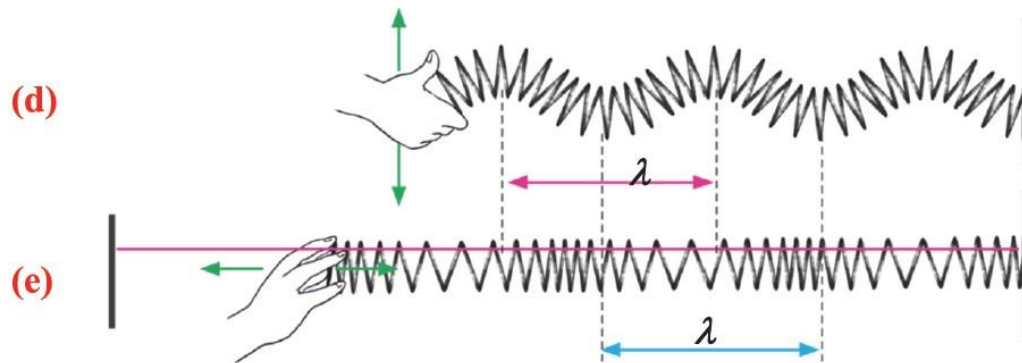
- *Mexaniki dalğa* - mexaniki rəqslərin mühitdə yayılma prosesidir. O, vakuumda yayılmır. *Mexaniki dalğalar elastik mühitdə (bərk cisim, maye və qazlarda) yayılır.*

Elastik mühitdə yayılan mexaniki dalğalar *elastik dalğalardır.*

- *Elastik dalğalar* - elastik mühitlərdə mexaniki dalğaların yayılma prosesidir. Bu proses *dalğanı yaradan mənbəyin rəqs tezliyinə uyğun tezliklə baş verir.*

Dalğalar iki növdə olur: *eninə* və *uzununa* dalğalar.

- *Eninə dalğa* - mühitin zərrəciklərinin rəqsi hərəkət istiqamətinə perpendikulyar yayılan dalğadır. *Eninə dalğalar yalnız bərk cisimlərdə və mayelərin səthində yayıla bilər. Eninə dalğalar mühitdə bir-birini əvəz edən qabarıqlar və çöküklər formasında yayılır (d).*



- *Uzununa dalğa* - mühitin zərrəciklərinin rəqsi hərəkət istiqamətində boyunca yayılan dalğadır. *Uzununa dalğalar bütün mühitlərdə (bərk cisim, maye və qazlarda) yayıla bilər. Uzununa dalğalar mühitdə bir-birini əvəz edən sıxlaşmalar və seyrəkləşmələr formasında yayılır.* Məsələn, uzun yaydan plastmas ip keçirib ipin hər iki ucunu, yayın isə bir ucunu tərپənməz dayağa üfüqi bərkidib yayın sərbəst ucunu sağa-sola periodik itələsək, halqaların sıxlaşma və seyrəkləşməsinin növbələşməsinə müşahidə etmək olar (e).

Dalğanın xarakteristikası. Mühitin hər hansı nöqtəsində baş verən rəqs onun başqa nöqtələrinə ani yox, müəyyən sonlu sürətlə yayılır ki, o da *dalğa sürətini* müəyyənləşdirir.

- *Dalğa sürəti* - rəqslərin mühitdə yayılma sürətidir.

Bircins mühitdə dalğa bərabərsürətli yayıldığından:

$$v = \frac{l}{t} \quad (4.34)$$

Burada l – dalğanın t müddətində yayıldığı məsafədir: $l = v \cdot t$.

Dalğanın digər xarakteristikaları *dalğa tezliyi, periodu və dalğa uzunluğudur*.

- *Dalğa tezliyi (periodu) — dalğa yaradan mənbəyin rəqs tezliyidir (periodudur).*
- *Dalğa uzunluğu - bir rəqs perioduna bərabər müddətdə ($t = T$) dalğanın yayıldığı məsafədir ($l = \lambda$).*

Bu tərif (4.34) də nəzərə alsaq, dalğanın yayılma sürəti üçün alırıq:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (4.35)$$

və ya

$$v = v \cdot \lambda \quad (4.36)$$

Burada λ (*lambda*) — dalğa uzunluğudur, onun BS-də vahidi metrdir.

Dalğa uzunluğunu son iki düsturdan müəyyənləşdirmək olar:

$$\lambda = v \cdot T; \lambda = \frac{v}{\nu} \quad (4.37)$$

Dalğa sürəti onun tezliyindən və periodundan asılı deyildir. Dalğa sürəti mühitin xassəsindən və aqreqat halından asılıdır. Dalğa uzunluğu isə bircins mühitdə ($v = \text{const}$) rəqs periodundan düz, tezliyindən tərs mütənasib asılıdır.

Bir mühitdən digərinə keçdikdə dalğanın tezliyi və periodu dəyişmir, lakin müxtəlif mühitlərdə dalğa sürəti fərqli olduğundan onun dalğa uzunluğu da dəyişir.

- *Dalğa uzunluğu - eyni fazada rəqs edən iki ən yaxın nöqtə arasındakı məsafədir. Dalğa uzunluğu eninə dalğalarda iki qonşu təpə (və ya çökük) nöqtəsi arasındakı məsafədir (bax: **d**), uzununa dalğada isə iki qonşu sıxlaşma (və ya seyrəkləşmə) nöqtəsi arasındakı məsafəyə bərabərdir (bax: **e**).*

Mövzu 5. İdeal qaz haqqında anlayış.

Molekulyar-kinetik nəzəriyyə (MKN). Biz və bizi əhatə edən aləm *makroskopik cisimlər* sistemidir.

- *Makroskopik cisim - böyük miqdar atom və molekulardan təşkil olunan cisimdir.*

Qum dənəsi, qabda su, balonda qaz, dəmir çubuq, Ay, Günəş və s. - makroskopik cismə misal ola bilər. Mexanikada makroskopik cismə müəyyən kütlə, fəza ölçüsü, enerji xassələrinə malik (çox vaxt isə o, maddi nöqtə kimi qəbul edilir) obyekt kimi baxılır, bu cisimlərin fəzada vəziyyətləri və onların digər cisimlərlə qarşılıqlı təsirləri öyrənilir. Lakin mexanika makroskopik cisimlərin daxili quruluşunu, onları təşkil edən atom və molekulardakı qarşılıqlı təsirləri, bunun nəticəsində maddələrin bir sıra xassələrini (istidən genişlənməsi, qızması, soyuması, buxarlanması, kondensasiyası, əriməsi, bərkiməsi, diffuziyası, konveksiyası və s.) izah edə bilmədi. Fizikada, sistemin halını onun daxili quruluşunu nəzərə almaqla öyrənen *molekulyar fizika* bölməsi yarandı.

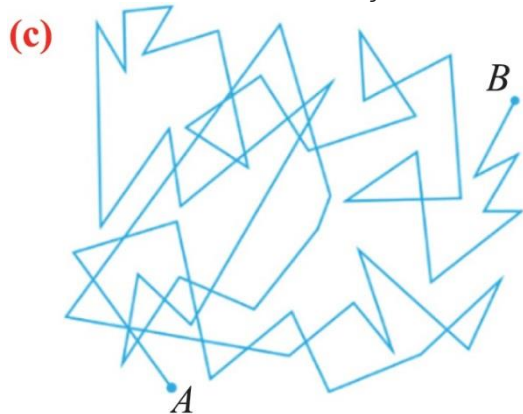
- *Molekulyar fizika - makroskopik cisimlərin daxili quruluşunu, onun xassəsini və materiyanın istilik hərəkətinin əsas qanunauyğunluqlarını öyrənən fizika bölməsidir.*
- *Makroskopik cisimlərin atom və molekulardan təşkil edildiyini, bu zərrəciklərin daim xaotik hərəkətdə və qarşılıqlı təsirdə olma təsəvvürləri əsasında maddələrin xassələrini və*

onlarda gedən istilik proseslərini izah edən nəzəriyyə **molekulyar-kinetik nəzəriyyə** (MKN) adlanır.

Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin əsas müddələri. MKN-nin əsasını 3 müddə təşkil edir:

I müddə: bütün maddələr zərrəciklərdən — atom və molekulardan təşkil olunmuşdur. Atom və molekulların varlığını ilk dəfə ingilis kimyaçı alimi Con Dalton (1766-1844) aşkar etmişdir. O, bir sıra kimyəvi elementin atom çəkisini hesablamaqla maddələrin atom quruluş nəzəriyyəsini vermişdir. Sonralar obyektin ölçüsünü milyon dəfəyə qədər böyütməyə imkan verən elektron mikroskopu ixtira edildi və onun vasitəsilə kifayət qədər böyük molekulları görmək, onların fotosəkillərini çəkmək mümkün oldu.

II müddə: maddəni təşkil edən zərrəciklər fasiləsiz və nizamsız (xaotik) hərəkətdədir.



Bu müddənin doğruluğu 1827-ci ildə ingilis botaniki Robert Broun (1773-1858) çiçək tozcuqlarının suda hərəkətini müşahidə etməsi ilə aşkarlandı. O, müəyyən etdi ki, tozcuqların belə hərəkəti xaotikdir və onlar mürəkkəb trayektoriya üzrə yerlərini dəyişir (c). Hissəciklərin "*Broun hərəkəti*" adlandırılan belə nizamsız hərəkəti MKN əsasında nəzəri olaraq 1905-ci ildə Albert Eynşteyn tərəfindən əsaslandırıldı. Nəzəriyyə təcrübi olaraq 1909—1911-ci illərdə fransız fiziki Jan Batist Perren (1870-1942) tərəfindən təsdiqləndi. O, müəyyənləşdirdi ki, boyaq hissəciklərinin suda xaotik hərəkət etməsinə səbəb su molekullarının istilik hərəkətinin nəticəsidir. Perren müəyyənləşdirdi ki, zərrəciklərin broun hərəkətinin intensivliyi onun kimyəvi təbiətindən deyil, temperaturundan asılıdır: temperatur yüksəldikcə broun hərəkətinin intensivliyi də artır.

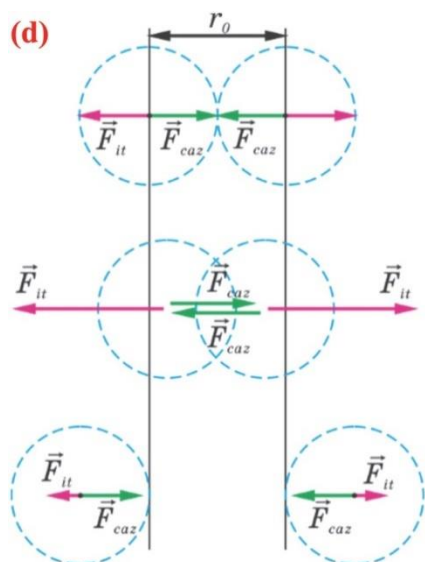
Beləliklə:

- *Broun hərəkəti — mayelərdə (və ya qazlarda) asılı halda olan "yad" hissəciklərin nizamsız hərəkətidir.*

MKN-nin ikinci müddəasını təsdiq edən amillərdən biri də *diffuziya* hadisəsidir.

- *Diffuziya - bir maddənin atom və ya molekulalarının öz-özünə digər maddənin atom və ya molekulalarına qarışması prosesidir.* Bu hadisəni kəmiyyət baxımından 1855-ci ildə alman fiziki və fizioloqu Adolf Fik (1829-1901) isbat edərək "*Diffüziyanın Fik qanununu*" müəyyənləşdirmişdir.

II müddə: maddə zərrəcikləri bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdədir - onlar arasında cazibə və itələmə xarakterli qüvvələr mövcuddur



III müddə: maddə zərrəcikləri bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdədir

Bu müddəni cisimlərin deformasiyası zamanı elastiklik qüvvələrinin yaranması təsdiqlədi. Həmin qüvvələr yaxına təsir xarakterlidir, elektromaqnit təbiətlidir və zərrəciklər arasındakı məsafədən kəskin asılıdır. Məsələn, müəyyən edilmişdir ki, molekullar arasındakı cazibə xarakterli qüvvələr onlar arasındakı məsafənin $\frac{1}{r^7}$ nisbəti, itələmə xarakterli qüvvələr isə onlar arasındakı məsafənin $\frac{1}{r^9}$ nisbəti ilə mütənasibdir. Bu qüvvələrin əvəzləyicisi molekulun diametrindən 2-3 dəfə böyük olan məsafədə [$r \geq (4 \div 6)r_0$] və molekulların diametrinə bərabər olan məsafədə ($r = r_0$), demək olar, sıfıra bərabərdir (d).

Atom və molekulların xarakteristikası. Atom və molekulların xarakteristikaları sizə məlumdur (bax: *Kimya - 8*): onlar xətti ölçüsü, nisbi kütləsi, vahid həcmdəki sayı, maddə miqdarı və s. kəmiyyətlərlə xarakterizə olunur (bax: cədvəl 6.1).

Cədvəl 6.1

Zərrəciyin xarakteristikası	İfadə olunur
Atom kütlə vahidi (a.k.v)	Atom kütlə vahidi (a.k.v.) - ${}^6_{12}\text{C}$ izotopunun kütləsinin 1/12 hissəsinə deyilir. 1 a. k.v. = 1 $12m_{0,C} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kq}$

	$m_{0,c}$ — karbon atomunun kütləsidir.
Maddənin nisbi molekül kütləsi	<p>Maddənin nisbi molekül (və ya atom) kütləsi - həmin maddənin molekülünün m_0 kütləsinin karbon atomu kütləsinin 1/12-nə olan nisbətində deyilir:</p> $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0,c}}$ <p>M_r — nisbi molekül kütləsi, m_0 — maddə molekülünün kütləsidir. Nisbi molekül kütləsinin vahidi yoxdur.</p>
Maddə miqdarı	<p>Cisimdəki maddə miqdarı (v) - ondakı molekulların və ya atomların nisbi sayının avoqadro ədədinə olan nisbətində deyilir: $v = N/N_A$. N — verilən maddədəki molekulların sayıdır. Maddə miqdarının BS-də vahidi moldur (1mol): $[v] = 1 \text{ mol}$. Mol (1 mol) - kütləsi 0,012 kq olan karbon atomlarının sayı qədər molekullardan və ya atomlardan təşkil olunmuş maddə miqdarıdır.</p>
Avoqadro ədədi	<p>Avoqadro ədədi (sabit) - istənilən maddənin bir molunda olan molekulların (və ya atomların) sayıdır: N_A — $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.</p>
Molyar kütlə	<p>Molyar kütlə - maddənin bir molunun kütləsinə deyilir: $M = m_0 \cdot N_A$. Molyar kütlənin BS-də vahidi molda kiloqramdır (1 kq mol): $[M] = \frac{\text{kq}}{\text{mol}}$. Maddənin bir molekülünün kütləsi: $m_0 = \frac{M}{N_A} \rightarrow N_A = \frac{M}{m_0}$</p> <p>İstənilən maddənin m kütləsi: $m = m_0 \cdot N \rightarrow N = \frac{m}{m_0}$</p> <p>Buradan alınır ki, maddə miqdarı maddənin kütləsinin onun molyar kütləsinə nisbətində bərabərdir:</p> $v = \frac{m}{M}$
Maddədəki molekulların sayı	<p>Kütləsi m, molyar kütləsi M olan istənilən maddədəki molekulların sayı:</p> $N = v \cdot N_A = \frac{m}{M} \cdot N_A.$

İDEAL QAZ. İDEAL QAZIN MOLEKULYAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSAS TƏNLIYI

İdeal qaz. İxtiyari fiziki nəzəriyyənin qurulmasının ilk addımı - real obyektin ideallaşdırılan fikri modelinin qurulmasından ibarətdir. Belə model həmişə gerçəkliyin

sadələşdirilmiş şəkli olur, onun vasitəsilə real obyektin xassələrinin qanunauyğunluqları keyfiyyət və kəmiyyət baxımından müəyyən sərhədlər çərçivəsində öyrənilir.

Molekulyar-kinetik nəzəriyyədə qazların xassələrini öyrənmək üçün tətbiq olunan fikri model "ideal qaz"dır.

- *İdeal qaz - aşağıdakı şərtləri ödəyən qazdır.*

- *molekullarının xətti ölçüləri onlar arasındakı məsafədən çox-çox kiçikdir və nəzərə alınmur. Ona görə də ideal qaz molekulları, demək olar, bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olmur*
- *ideal qaz molekullarının qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisi sıfıra bərabərdir:*

$E_p = 0.$

Odur ki ideal qaz istənilən qədər sıxıla bilər;

- *molekulları arasındakı qarşılıqlı cazibə xarakterli qüvvələr nəzərə alınmayacaq dərəcədə zəifdir;*

- *molekulları arasında itələmə xarakterli qüvvələr, onlar yalnız bir-biri ilə və ya yerləşdikləri qabın divarı ilə toqquşduqda meydana çıxır; molekulların toqquşmaları mütləq elastiki qəbul edilir;*

- *molekulları ixtiyari sürət ala bilər, hər bir molekulun hərəkəti klassik mexanika qanunlarına tabedir.*

İdeal qazın xassələri *mikroskopik* və *makroskopik* parametrlər və onlar arasındakı əlaqələrlə xarakterizə olunur.

- *Qazın əsas mikroskopik parametrləri - qaz molekulları və onların hərəkətini xarakterizə edən parametrlərdir. Bu parametrlərə molekulun kütləsi, onun sürəti, impulsu və irəliləmə hərəkətinin kinetik enerjisi aiddir.*

- *Qazın makroskopik parametrləri - qazın bütövlükdə xassələrini müəyyən edən təzyiq, həcm və temperaturdur.*

Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin əsas məsələsi qazın makroskopik və mikroskopik parametrləri arasında əlaqə yaratmaqdır.

İdeal qazın molekulyar-kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyi. Bilirsiniz ki, qapalı qabda yerləşən qazın molekullarının qabın divarına fasiləsiz olaraq vurduqları çoxsaylı nizamsız zərbələr nəticəsində qazın təzyiqi yaranır. Bu təzyiq vahid səthə təsir edən əvəzləyici qüvvənin modulunun orta qiymətinə bərabərdir:

$$p = \frac{F}{S}.$$

Alman fiziki Rudolf Klauzius (1822-1888) ideal qaz modelindən istifadə etməklə 1857-ci ildə qazın təzyiqini - *ideal qazın molekulyar-kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyini* müəyyənləşdirir.

- *İdeal qazın molekulyar-kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyi - qazı xarakterizə edən makroskopik parametr olan təzyiqi onun molekullarını xarakterizə edən mikroskopik parametrlərlə əlaqələndirən tənlikdir:*

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}. \quad (6.1)$$

Molekulun xaotik hərəkətində hər üç istiqamətin "eyni ehtimallı"dır. Burada m_0 — bir molekulun kütləsi, n - molekullarının konsentrasiyası, $v_{or.kv}$ - molekulların orta kvadratik sürətidir.

- *Molekulların konsentrasiyası - vahid həcmdə olan molekulların sayıdır:*

$$n = \frac{N}{V}. \quad (6.2)$$

Konsentrasiyanın BS-də vahidi: $[n] = \frac{1}{m^3} = m^{-3}$.

- *Molekulların orta kvadratik sürəti - molekulların sürətinin kvadratının orta qiymətinin kvadrat köküdür.*

$$v_{or.kv} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}}$$

Molekulların orta kvadratik sürəti onların irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi ilə əlaqədar olduğundan ideal qazın təzyiqinin də molekulların orta kinetik enerjisindən asılı olduğu alınır:

$$\overline{E_k} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}, \quad (6.3)$$

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}. \quad (6.4)$$

- *İdeal qazın təzyiqi molekulların konsentrasiyası ilə onların irəliləmə hərəkətlərinin orta kinetik enerjisindən düz mütənəsisib asılıdır.*

Qazın sıxlığının $\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_0 N}{V} = m_0 n$ olduğu (6.1)-də nəzərə alınırsa, ideal qazın təzyiqinin onun sıxlığından asılılıq düsturu alınır:

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}. \quad (6.5)$$

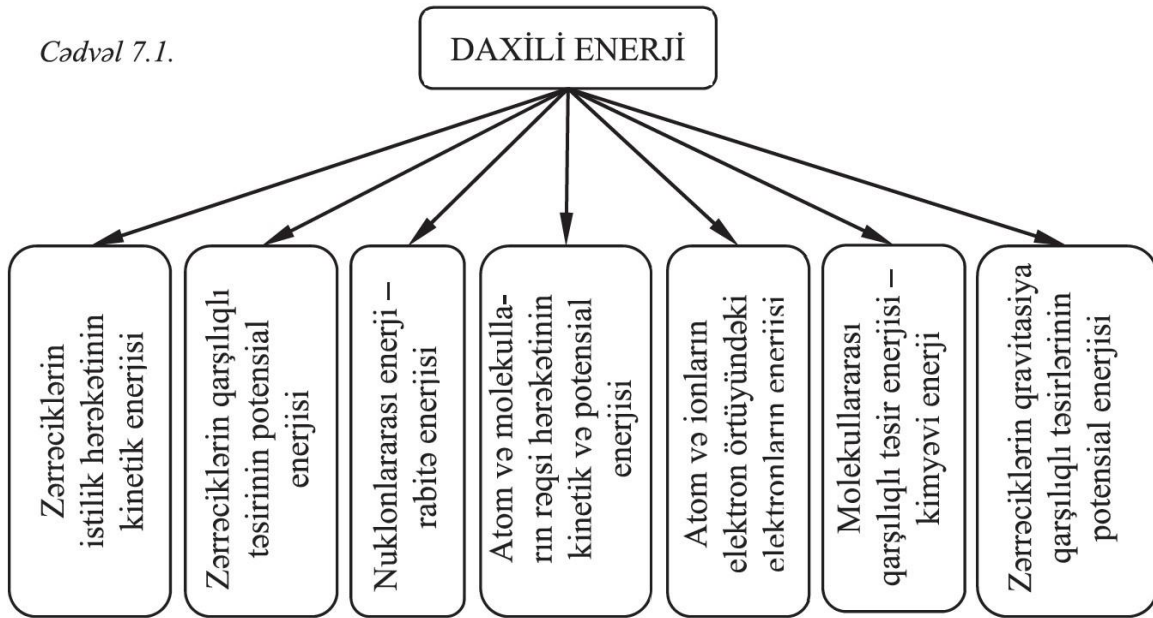
Mövzu 6. Termodinamikanın qanunları

Termodinamik sistem. Fizikanın istilik hadisələrini makroskopik nöqtəyi-nəzərindən öyrənən bölməsi *termodinamika* adlanır. Termodinamikanın əsasında böyük miqdar faktlara söykənən termodinamik qanunlar durur. Bu qanunlar "necə?" sualını izah edir, məsələn, cismə (bərk cisim, maye və ya qaza) istilik verdikdə (və ya soyutduqda) onun halı necə dəyişir, istilik öz-özünə hansı istiqamətdə və necə verilir, qaz genişləndikdə onun temperaturu necə dəyişir və s. Termodinamik tədqiqat obyektini *termodinamik sistemdir*.

- *İstənilən makroskopik cisim və ya cisimlər sistemi termodinamik sistem adlanır.* Termodinamik sistemin halı makroskopik və ya termodinamik parametrlərlə (kütlə, sıxlıq, həcm, təzyiq, temperatur) xarakterizə olunur.

Daxili enerji. Termodinamik sistemin verilmiş andaki halı və ya həmin ana uyğun sistemin makroskopik parametrləri ilə təyin olunan kəmiyyətlər onun *hal funksiyası* adlanır. Belə kəmiyyətlərdən ən başlıcası *daxili enerjidir*.

- Daxili enerji - sistemi təşkil edən zərrəciklərin müxtəlif növ hərəkətləri və qarşılıqlı təsirləri ilə xarakterizə olunan enerjilərin cəmidir (bax: cədvəl 7.1).



Termodinamik sistemin daxili enerjisi onun halını müəyyən edən temperatur və həcm funksiyasıdır: $U(T, V)$.

Biratomlu ideal qazın daxili enerjisi. Molekulları bir atomdan ibarət olan qaz biratomlu qaz adlanır. Biratomlu qazın daxili enerjisi zərrəciklərin irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi ilə qarşılıqlı təsir potensial enerjiləri cəminə

bərabərdir: $U = N \cdot \bar{E}_k + E_p$ (N — zərrəciklərin sayıdır). Lakin verilmiş kütləli ideal qazın daxili enerjisi yalnız onun zərrəciklərinin xaotik hərəkətinin orta kinetik enerjisinin cəmindən ibarətdir: $U = N \cdot \bar{E}_k$.

Biratomlu ideal qazın bir zərrəciyinin orta kinetik enerjisi $\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT$ olduğundan onun daxili enerjisinin yalnız temperaturdan asılı olduğu görünür:

$$U = \frac{3}{2}N \cdot kT = \frac{3}{2}vN_A \cdot kT = \frac{3}{2}v \cdot RT = \frac{3}{2} \frac{m}{M}RT. (7.1)$$

- *İdeal qazın daxili enerjisi onun kütləsindən, növündən (molyar kütlədən) və temperaturundan asılıdır. Sabit temperaturda qazın təzyiq və həcmi dəyişsə də, onun daxili enerjisi dəyişmir.*

Bu, *Coul qanunudur.*

(7.1) düsturunu Mendeleyev-Klapeyron tənliyi ilə müqayisə etdikdə:

$$U = \frac{3}{2}pV. (7.2)$$

Daxili enerjinin dəyişmə üsulları. Termodinamik sistemin daxili enerjisini dəyişmək üçün ya sistemin molekullarının istilik hərəkətinin orta kinetik enerjisini, ya onların qarşılıqlı təsir potensial enerjisini, yaxud da onların hər iki enerjilərini birlikdə dəyişmək

lazımdır. Çoxsaylı təcrübələrdən müəyyən edilmişdir ki, bunu iki üsulla həyata keçirmək olur: *istilikvermə və işgörmə* (bax: *Fizika-8*, s.23).

• *Sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi iki üsulla — müəyyən Q istilik miqdarı verilməklə və sistem üzərində A işi görülməklə baş verir.*

$$\Delta U = Q + A. (7.3)$$

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, cisim qızarkən və soyuyarkən onun daxili enerjisinin dəyişməsi belə təyin edilir:

$$\Delta U = Q = cm(T_2 - T_1) = cm\Delta T (7.4)$$

Bərk cismin əriməsi və ya mayenin kristallaşması prosesində onun daxili enerjisinin dəyişməsi cismin molekullarının qarşılıqlı təsir potensial enerjiləri hesabına baş verir. Ona görə də daxili enerjinin dəyişməsi ədədi qiymətcə ərimə (kristallaşma) istiliyinə bərabər olur:

$$\Delta U = Q_{ar} = \pm \lambda m. (7.5)$$

Burada λ - xüsusi ərimə istiliyidir.

Buxarlanma və kondensasiya prosesləri zamanı sərf edilən istilik miqdarı da cismin daxili enerjisinin dəyişməsinə bərabərdir:

$$\Delta U = Q_{bux} = \pm Lm. (7.6)$$

Burada L - xüsusi buxarlanma istiliyidir.

Biratomlu ideal qazın daxili enerjisinin dəyişməsi onun temperaturunun dəyişməsi ilə müəyyən olunur:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \nu \cdot R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R\Delta T. (7.7)$$

Burada U_1 və U_2 — uyğun olaraq biratomlu qazın başlanğıc və son hallarındakı daxili enerjisidir.

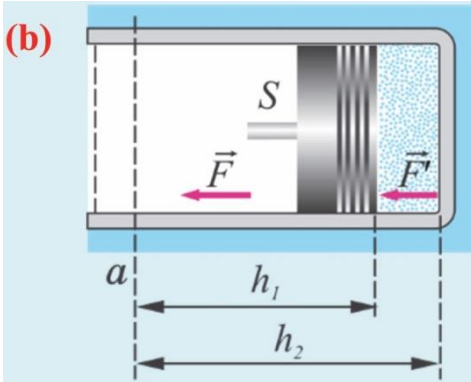
Diqqət! *Termodinamik sistemdə daxili enerjinin dəyişməsi prosesin formasından deyil, onun başlanğıc və son halından asılıdır.*

Termodinamikada iş. *Əgər sistemin daxili enerjisi yalnız mexaniki işgörmə nəticəsində dəyişirsə, bu halda onun daxili enerjisi ya xarici qüvvələrin sistem üzərində gördüyü işə (A), yaxud da sistemin xarici qüvvələr üzərində gördüyü işə (A') bərabər olur:*

$$\Delta U = A = - A'. (7.8)$$

• *Termodinamikada iş - termodinamik sistemin daxili enerjisinin dəyişməsinin miqda*

Qaz həcmnin dəyişməsi zamanı görülmən iş. Fərz edək ki, porşenlə təchiz edilən qalındıvarlı silindrik qabda qaz vardır. Qazı sıxdıqda porşen öz kinetik enerjisinin bir hissəsini qazın molekullarına verir, nəticədə qazın temperaturu yüksəlir və onun daxili enerjisi artır - xarici qüvvələr qaz üzərində iş görür. Qaz genişləndikdə isə, əksinə, molekullar öz enerjilərinin bir hissəsini porşenə verərək sürətlərini azaldır və qaz soyuyur - qaz xarici qüvvələr üzərində iş görür (**b**).



Beləliklə, verilən kütləli qazın sabit təzyiqdə genişlənməsi nəticəsində xarici qüvvələr üzərində gördüyü iş:

$$A' = F \cdot \Delta h = pS \cdot (h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1)$$

və ya

$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V. (7.9)$$

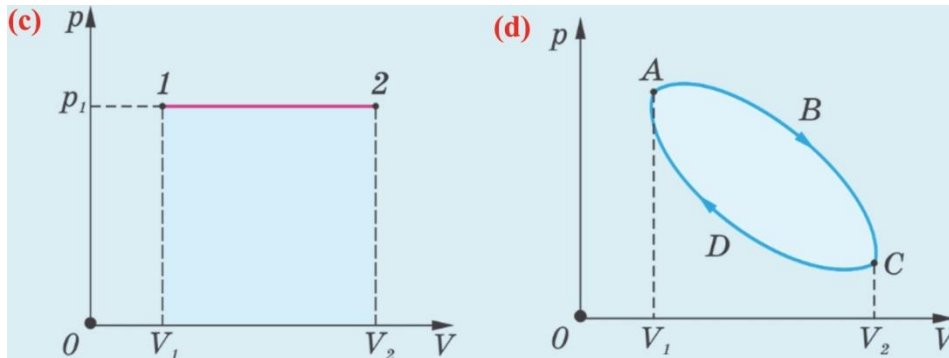
Xarici qüvvələrin qaz üzərində gördüyü iş isə:

$$A = -A' = -p(V_2 - V_1) = p(V_1 - V_2) = -p\Delta V. (7.10)$$

Burada $F = pS$ — qazın porşenə təsir etdiyi qüvvə, Δh — porşenin yerdəyişməsi, p — qazın təzyiqi, S — silindrin en kəsiyinin sahəsi, ΔV — qazın həcmnin dəyişməsidir.

Görülən iş $p \cdot \Delta V$ koordinat sistemində ədədi qiymətcə qrafikin əmələ gətirdiyi fiqurun sahəsinin ədədi qiymətinə bərabərdir: qaz genişləndə (qazın həcmi artanda) $A' > 0$ və $A < 0$; qaz sıxılanda (onun həcmi kiçiləndə) isə $A' < 0$ və $A > 0$ olur (c). İşgörmə prosesində qazın halı dəyişən zaman o, əvvəlki vəziyyətinə qayıdırsa, belə proses qapalı və ya dövri proses adlanır.

Dövri prosesin istiqamətini göstərən oxlar saat əqrəbinin hərəkəti istiqamətindədirsə, qazın işi müsbət, xarici qüvvələrin işi mənfi olur (d). Prosesin istiqamətini bildirən oxlar saat əqrəbi hərəkətinin əksi istiqamətindədirsə, qazın işi mənfi, xarici qüvvələrin işi müsbət olur.



TERMODİNAMİKANIN BİRİNCİ QANUNU

Termodinamikanın birinci qanunu. Təbiətin fundamental qanunlarından biri olan enerjinin saxlanması qanununa görə, qapalı sistemin tam enerjisi (mexaniki və daxili enerji) qapalı sistem daxilində baş verən bütün proseslərdə sabit qalır:

$$E + U = \text{const}$$

İstilik proseslərində enerjinin saxlanması qanunu termodinamikanın birinci qanunundan ibarətdir:

- *Termodinamik sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi bu sistemə verilən istilik miqdarı ilə xarici qüvvələrin sistem üzərində gördüyü işin cəminə bərabərdir.*

$$\Delta U = Q + A \quad (7.11)$$

Qapalı və izolə edilmiş sistem üzərində xarici qüvvələr iş görmür ($A = 0$) və o, ətrafdakı cisimlərlə istilik mübadiləsində olmur ($Q = 0$). Belə halda termodinamikanın birinci qanununa görə, qapalı və izolə edilmiş sistemin daxili enerjisi dəyişmir:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 0 \rightarrow U_2 = U_1$$

Sistemin xarici qüvvələr üzərində gördüyü iş əks işarə ilə xarici qüvvələrin sistem üzərində gördüyü işə bərabər olduğundan ($A = -A'$) termodinamikanın birinci qanunu belə də ifadə edilə bilər:

- *Termodinamik sistemə verilən istilik miqdarı onun daxili enerjisinin dəyişməsinə və sistemin xarici qüvvələr üzərində gördüyü işə sərf olunur:*

$$Q = \Delta U + A'. \quad (7.12)$$

Enerjinin saxlanması qanunu kəşf ediləndən sonra məlum oldu ki, *birinci növ daimi mühərrik* yaratmaq mümkün deyildir:

- *Birinci növ daimi mühərrik (perpetuum mobile I) - bir dəfə işə salınan və kənar mənbədən enerji almadan daim işləyən mühərrikdir.*

(7.11) ifadəsinə əsasən, sistemin iş görməsi üçün o ya kənardan istilik miqdarı almalıdır, yaxud da sistemin daxili enerjisi sərf olunmalıdır:

$$A' = Q - \Delta U, \quad (7.13)$$

əks halda, yəni $Q = 0$ və $\Delta U = 0$ olarsa, $A' = 0$ olur və "daimi mühərrik" işləmir.

Termodinamikanın birinci qanununun müxtəlif proseslərə tətbiqi.

1. İzotermik proses ($m = \text{const}, T = \text{const}$). Bu prosesdə sistemin temperaturu sabit olduğundan onun daxili enerjisi də sabit qalır, daxili enerjinin dəyişməsi isə sıfıra bərabər olur: $U = \text{const} \rightarrow \Delta U = 0$.

Termodinamikanın birinci qanununun (7.11) və (7.12) ifadələrindən alınır:

$$Q = A'. \quad (7.14)$$

$$Q = -A. \quad (7.15)$$

- *İzotermik prosesdə sistemə verilən istilik miqdarı tamamilə işin görülməsinə sərf olunur.*

2. İzoxor proses ($m = \text{const}, V = \text{const}$). Bu prosesdə həcm sabit olduğundan (7.10) ifadəsinə əsasən iş görülmür ($A = 0, A' = 0$). Termodinamikanın birinci qanununa əsasən:

$$Q = \Delta U. \quad (7.16)$$

Biratomlu ideal qaz üçün:

$Q = \Delta U =$ **Termodinamikanın birinci qanunu.** Təbiətin fundamental qanunlarından biri olan enerjinin saxlanması qanununa görə, qapalı sistemin tam enerjisi (mexaniki və daxili enerji) qapalı sistem daxilində baş verən bütün proseslərdə sabit qalır:

$$E + U = \text{const}$$

İstilik proseslərində enerjinin saxlanması qanunu termodinamikanın birinci qanunundan ibarətdir:

• *Termodinamik sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi bu sistemə verilən istilik miqdarı ilə xarici qüvvələrin sistem üzərində gördüyü işin cəminə bərabərdir.*

$$\Delta U = Q + A \quad (7.11)$$

Qapalı və izolə edilmiş sistem üzərində xarici qüvvələr iş görmür ($A = 0$) və o, ətrafdakı cisimlərlə istilik mübadiləsində olmur ($Q = 0$). Belə halda termodinamikanın birinci qanununa görə, qapalı və izolə edilmiş sistemin daxili enerjisi dəyişmir:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 0 \rightarrow U_2 = U_1$$

Sistemin xarici qüvvələr üzərində gördüyü iş əks işarə ilə xarici qüvvələrin sistem üzərində gördüyü işə bərabər olduğundan ($A = -A'$) termodinamikanın birinci qanunu belə də ifadə edilə bilər:

• *Termodinamik sistemə verilən istilik miqdarı onun daxili enerjisinin dəyişməsinə və sistemin xarici qüvvələr üzərində gördüyü işə sərf olunur:*

$$Q = \Delta U + A'. \quad (7.12)$$

Enerjinin saxlanması qanunu kəşf ediləndən sonra məlum oldu ki, *birinci növ daimi mühərrik* yaratmaq mümkün deyildir:

• *Birinci növ daimi mühərrik (perpetuum mobile I) - bir dəfə işə salınan və kənar mənbədən enerji almadan daim işləyən mühərrikdir.*

(7.11) ifadəsinə əsasən, sistemin iş görməsi üçün o ya kənardan istilik miqdarı almalıdır, yaxud da sistemin daxili enerjisi sərf olunmalıdır:

$$A' = Q - \Delta U, \quad (7.13)$$

əks halda, yəni $Q = 0$ və $\Delta U = 0$ olarsa, $A' = 0$ olur və "daimi mühərrik" işləmir.

Termodinamikanın birinci qanununun müxtəlif proseslərə tətbiqi.

1. İzotermik proses ($m = \text{const}$, $T = \text{const}$). Bu prosesdə sistemin temperaturu sabit olduğundan onun daxili enerjisi də sabit qalır, daxili enerjinin dəyişməsi isə sıfıra bərabər olur: $U = \text{const} \rightarrow \Delta U = 0$.

Termodinamikanın birinci qanununun (7.11) və (7.12) ifadələrindən alınır:

$$Q = A'. \quad (7.14)$$

$$Q = -A. \quad (7.15)$$

• *İzotermik prosesdə sistemə verilən istilik miqdarı tamamilə işin görülməsinə sərf olunur.*

2. İzoxor proses ($m = \text{const}$, $V = \text{const}$). Bu prosesdə həcm sabit olduğundan (7.10) ifadəsinə əsasən iş görülmür ($A = 0, A' = 0$). Termodinamikanın birinci qanununa əsasən:

$$Q = \Delta U. \quad (7.16)$$

Biratomlu ideal qaz üçün:

$$Q = \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T \quad (7.17)$$

• *İzoxor prosesdə sistemə verilən istilik miqdarı tamamilə onun daxili enerjisinin dəyişməsinə sərf olunur.*

Biratomlu ideal qazın sabit həcmdə xüsusi istilik tutumu. (7.17) də biratomlu ideal qazın daxili enerjisinin dəyişməsinin (7.7) və istilik miqdarınının (7.4) ifadələrini nəzərə aldıqda sabit həcmdə xüsusi istilik tutumunun ifadəsini almaq olur:

$$c_v = \frac{3}{2} \frac{R}{M}. \quad (7.18)$$

3. İzobar proses ($m = \text{const}$, $p = \text{const}$). Bu prosesdə sistemin təzyiqi sabit olur, temperaturu və həcmi isə dəyişir. Proses üçün termodinamikanın birinci qanunu belə yazılır:

$$Q = \Delta U + A' = \Delta U + p\Delta V. \quad (7.19)$$

• İzobar prosesdə (genişlənmədə) sistemə verilən istilik miqdarı onun daxili enerjisinin artmasına və xarici qüvvələrə qarşı görülən işə sərf olunur.

Biratomlu ideal qazın sabit təzyiqdə xüsusi istilik tutumu. Biratomlu ideal qaz üçün:

$$\begin{cases} A' = p\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T, \\ \Delta U = \frac{3m}{2M}R\Delta T \end{cases} \quad (7.20)$$

olduğunu (7.19) da nəzərə alsaq:

$$Q = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R\Delta T. \quad (7.21)$$

Bu ifadələr əsasında biratomlu ideal qazın sabit təzyiqdə xüsusi istilik tutumu aşağıdakı düsturla təyin edilə bilər:

$$c_p = \frac{5}{2} \frac{R}{M} = c_v + \frac{R}{M}. \quad (7.22)$$

(7.20) və (7.21) ifadələrinin müqayisəsindən görünür ki, izobar prosesdə biratomlu ideal qaz üçün verilən istilik miqdarı, daxili enerjinin dəyişməsi və görülən iş arasında aşağıdakı münasibətlər var:

$$\Delta U = 0,6 Q, \quad (7.23)$$

$$\Delta U = 1,5A', \quad (7.24)$$

$$A' = 0,4 Q. \quad (7.25)$$

4. Adiabat proses ($m = \text{const}$, $Q = 0$). Bu prosesdə sistem kənar cisimlərlə istilik mübadiləsində olmadığından termodinamikanın birinci qanunu belə yazılır:

$$\Delta U = -A'$$

və ya

$$\Delta U = A.$$

Qaz adiabat genişləndikdə onun temperaturu və daxili enerjisi azalır - qaz soyuyur; qaz adiabat sıxıldıqda isə, əksinə, onun temperaturu və daxili enerjisi yüksəlir - qaz qızır.

• *Adiabat proses — xarici mühitlə istilik mübadiləsi olmayan sistemlərdə gedən prosesdir.*

TERMODİNAMİKANIN İKİNCİ QANUNU. İSTİLİK MÜHƏRRİKLƏRİNİN İŞ PRİNSİPİ

Termodinamikanın ikinci qanunu. Termodinamikanın birinci qanunu istilik prosesləri üçün enerjinin saxlanması qanunudur. Bu qanun birinci növ daimi mühərrik yaratmağın qeyri mümkünlüyünü təsdiqləyir. Lakin o, istilik proseslərinin hansı istiqamətdə getdiyini müəyyən etmir. Məsələn, temperaturları müxtəlif olan iki cismi bir-

birinə toxunduraq. Bir müddətdən sonra onlar arasında istilik tarazlığı yaranır. Termodinamikanın birinci qanunu ödəndi - isti cisim nə qədər istilik miqdarı verdisə, soyuq cisim də bir o qədər istilik miqdarı aldı. Əgər bu proses əksinə baş versəydi, yəni istilik soyuq cisimdən öz-özünə (xarici təsir olmadan) isti cismə verilsəydi, yenə də termodinamikanın birinci qanunu ödəniləcəkdi. Lakin əsrlərdən bəri aparılan heç bir eksperiment bu prosesin öz-özünə əksinə baş verdiyini müəyyən etmədi. Başqa sözlə desək, sonlu temperatur fərfinə malik termodinamik sistemlərdə istilikvermə prosesi *dönməz* prosesdir. Bu müddəə alman alimi R.Y.Klauziusun (1822-1888) 1850-ci ildə formalaşdırdığı *termodinamikanın ikinci qanununun* əsasını təşkil edir:

- *Yeganə nəticəsi yalnız bir mənbədən alınan istilik hesabına periodik işləyən maşın düzəltmək mümkün deyildir. İstilik enerjisi öz-özünəsoyuq cisimdən isti cismə keçə bilməz.*

Bununla da termodinamikanın ikinci qanunu termodinamik proseslərin istiqamətinin qanunauyğunluğunu müəyyən etdi. O göstərdi ki, istiliyin soyuq cisimdən isti cismə verilmə prosesini öz-özünə deyil, işgörmə nəticəsində həyata keçirmək olar.

Sonrakı araşdırmalardan müəyyən olundu ki, nəinki istilik hadisələri, ümumiyyətlə, təbiətdə baş verən bütün hadisələr *dönməz proseslərdən* ibarətdir.

- *Dönməz proses - təbii hadisələrin öz-özünə əksinə baş verməsinin qeyri-mümkün olduğu prosesdir.*

İstilik mühərriklərinin iş prinsipi. Termodinamikanın ikinci qanunu *istilik maşınlarının* iş prinsipinin tədqiqi ilə əlaqədar olub onun elmi əsasını təşkil edir.

- *İstilik maşını - bir cisimdən istilik miqdarı alaraq dövrə proses icra edən (mexaniki iş görən) termodinamik sistemdir. İstilik maşınları iki növ olur: istilik mühərrikləri və soyuducu qurğular.*

- *İstilik mühərriki - müxtəlif növ yanacaqın daxili enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən qurğudur.*

Bilirsiniz ki, bütün istilik mühərrikləri quruluş xüsusiyyətlərindən asılı olmayaraq üç əsas hissədən ibarətdir (bax: *Fizika-8*, s.90-92):

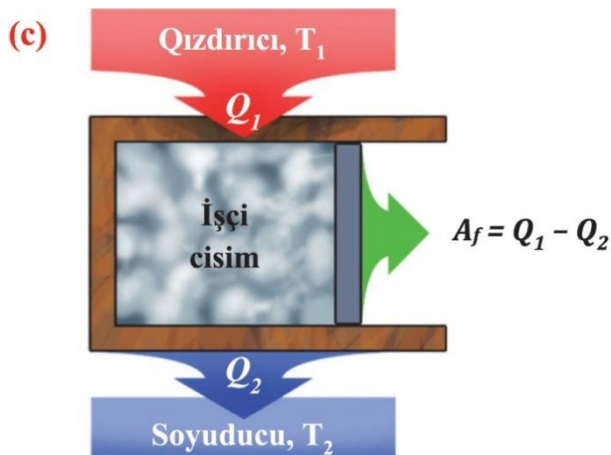
1. *Qızdırıcı - müxtəlif növ yanacağın yanması və ya nüvə reaksiyası nəticəsində ayrılan enerji hesabına yaranan yüksək T_1 temperaturunu sabit saxlayan hissə.*

2. *İşçi cisim - genişlənilib, sıxılması nəticəsində mexaniki iş görə bilən qaz və ya buxar.*

3. *Soyuducu - temperaturu T_2 ($T_2 < T_1$) olan hissə: ətraf mühit (atmosfer), su.*

İstilik mühərrikinin prinsiplial sxemi belədir: işçi cisim qızdırıcıdan Q_1 qədər istilik miqdarı alır, Q_2 qədər istilik miqdarını soyuducuya verir və nəticədə o, bir dövrdə A_f qədər faydalı iş görür (c):

$$A_f = Q_1 - Q_2 . (7.27)$$



İstilik mühərrikinin fasiləsiz işləməsi üçün mühərrikdə gedən proses dövri olmalıdır. Bu məqsədlə mühərik elə tənzimlənir ki, işçi cisim (qaz) əvvəlcə istidən genişlənərək silindrdəki porşeni itələyib onun üzərində iş görür, sonra isə sıxılaraq onu əvvəlki vəziyyətinə gətirir. Bundan sonra qaz yenidən genişlənir və beləliklə, proses dövri təkrarlanır (mühərrikdə sürtünmə və ətrafla istilik mübadiləsi minimuma endirilir) (bax: **c**).

Dövri proses icra edən istilik mühərriki soyuducusuz işləyə bilməz. Həqiqətən, mühərrikdə faydalı işin görülməsinə qızdırıcıdan alınan Q_1 istilik miqdarının hamısı deyil, müəyyən hissəsi sərf olunur, qalan Q_2 istilik miqdarı soyuducuya verilir. Qızdırıcıdan alınan istilik miqdarının hansı hissəsinin faydalı işə sərf olunduğunu istilik mühərrikinin *faydalı iş əmsalı* ($FİƏ$) adlanan xarakteristikası müəyyən edir.

• *İstilik mühərrikinin faydalı iş əmsalı* (η) - onun gördüyü faydalı işin qızdırıcıdan aldığı istilik miqdarına nisbətində deyilir.

$$\eta = \frac{A_f}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (7.28)$$

İstilik mühərrikləri soyuducusuz işləyə bilmədiyindən onların $FİƏ$ -si həmişə vahiddən -100% -dən kiçikdir. Bu o deməkdir ki, termodinamikanın II qanunu *ikinci növ daimi mühərrikin* (*perpetuum mobile II*) yaradılmasının qeyri-mümkün olduğunu təsdiq edir:

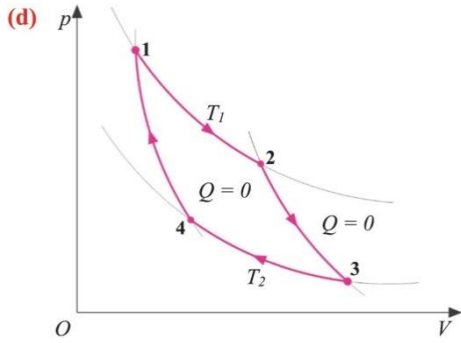
• *İkinci növ daimi mühərik* (*perpetuum mobile II*) - yalnız bir mənbədən alınan istilik hesabına daim işləyən mühərrikdir.

Fransız mühəndisi Sadi Karno (1796-1832) 1824-cü ildə ideal istilik mühərrikinin iş prinsipinin (iş prinsipi ideal qaz qanunlarına tabe olan mühərik) nəzəriyyəsini müəyyənləşdirdi. Bu nəzəriyyəyə görə, ideal istilik mühərrikinin maksimal $FİƏ$ -si yalnız qızdırıcının və soyuducunun mütləq temperaturundan asılıdır:

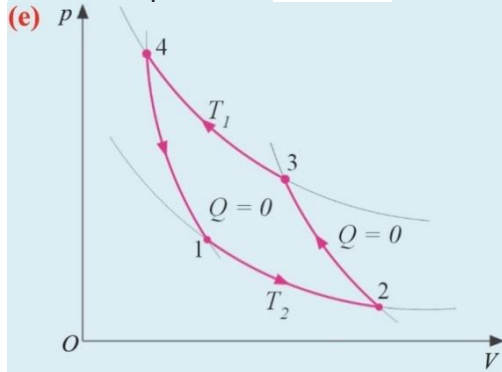
$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (7.29)$$

(7.29) ifadəsindən görünür ki, mühərrikin $FİƏ$ -sini artırmaq üçün qızdırıcının temperaturunun yüksəldilməsinə, soyuducunun temperaturunun isə azaldılmasına nail olmaq lazımdır.

İdeal istilik mühərrikinin həyata keçirdiyi dövr proses iki izotermdən və iki adiabatdan ibarət olub *Karno dövrü* adlanır (**d**). İstilik mühərrikləri üçün bu dövr *düz dövr* adlanır.



Soyuducu qurğuların iş prinsipi. Mühərrikin soyuducu qurğu kimi işləməsi üçün Karno dövrü tərs proses - *tərs dövr* icra etməlidir (**e**).



Soyuducu qurğuda enerjinin çevrilmə sxemindən görünür ki, işçi cisim genişlənərək soyuducu kameradan müəyyən qədər Q_2 istilik miqdarı alır. Bu zaman xarici qüvvələr A işini görərək işçi cismi sıxır, nəticədə o, qızdırıcıya Q_1 qədər istilik miqdarı verir ($Q_1 > Q_2$) (**f**):

$$Q_1 = Q_2 + A.$$

Beləliklə, termodinamik sistemdə istiliyin soyuq cisimdən isti cismə verilmə prosesi öz-özünə deyil, xarici qüvvələrin iş görməsi nəticəsində baş verdi.

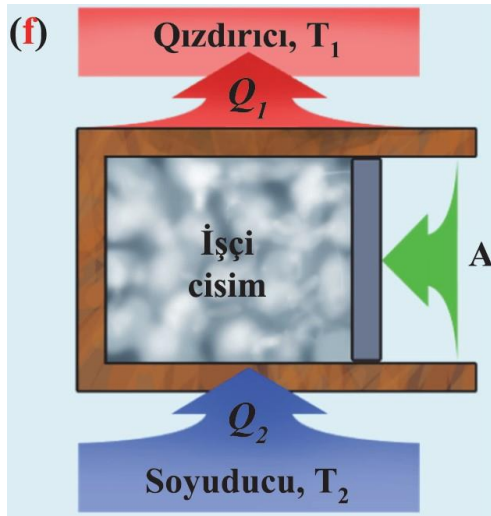
Soyuducu qurğunun mühüm xarakteristikası *soyuducu əmsalıdır*.

• *Soyuducu qurğunun soyuducu əmsalı* (ξ — psi) - *soyuducudan alınan istilik miqdarının xarici qüvvələrin (məsələn, elektrik mühərrikinin) gördüyü işə nisbətində deyilir:*

$$\xi = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}. \quad (7.30)$$

İdeal soyuducu qurğunun *soyuducu əmsalı*:

$$\xi_{max} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (7.31)$$



Mövzu 7. Qazların istilik tutumu.

İdeal qazın hal tənliyinin köməyi ilə qazın kütləsi və makroskopik parametrlərindən birinin sabit qaldığı prosesləri araşdırmaq olar.

- Qazın halını xarakterizə edən makroskopik parametrlərindən birinin sabit qiymətində qalan iki parametri arasında kəmiyyət asılılığını müəyyən edən qanunlar **qaz qanunları** adlanır.

- Verilmiş kütləli qazın ($m = \text{const}$) makroskopik parametrlərindən birinin sabit qiymətində qazda baş verən proseslərə izoproseslər (yun.: izos - bərabər) deyilir.

Boyl -Mariott qanunu. Bu qanunu 1662-ci ildə ingilis fiziki Robert Boyle (1627- 1691) və 1667-ci ildə fransız fiziki Edm Mariott (1620-1684) müəyyən etmişdir.

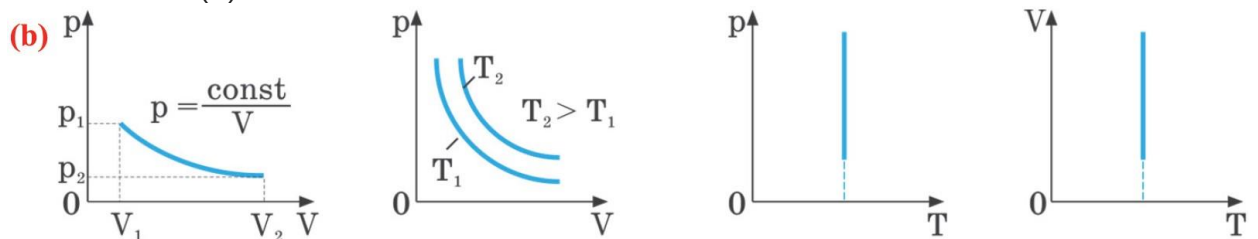
- Sabit temperaturda verilmiş ideal qazın təzyiqinin həcminə hasili sabitdir ($T = \text{const}$, $m = \text{const}$):

$$pV = \frac{m}{M}RT = \text{const}$$

Sabit temperaturda verilmiş kütləli ideal qazın başlanğıc halındakı p_1 təzyiqi ilə V_1 həcmnin hasili bu parametrlərin qazın ixtiyari halındakı p_2 və V_2 qiymətləri hasilinə bərabərdir:

$$p_1V_1 = p_2V_2 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}. \quad (6.21)$$

- Sabit temperaturda ($T = \text{const}$) ideal qazın halının dəyişmə prosesi **izotermik proses** adlanır. İzotermik prosesdə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqi onun həcmi ilə tərs mütənasibdir (b).



Gey-Lüssak qanunu. Bu qanunu 1802-ci ildə fransız fiziki Gey-Lüssak Jozef Lui (1778-1850) təcrübi olaraq müəyyən etmişdir.

- *Sabit təzyiqdə verilmiş kütləli ideal qazın həcmnin onun mütləq temperaturuna nisbəti sabitdir ($p = const, m = const$):*

$$\frac{V}{T} = \frac{mR}{M} \cdot \frac{1}{p} = const. \quad (6.22)$$

Qazın başlanğıc halındakı V_1 həcmnin T_1 temperaturuna olan nisbəti bu parametrlərin qazın ixtiyari halındakı V_2 və T_2 qiymətləri nisbətində bərabərdir:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}. \quad (6.23)$$

Gey-Lüssak qanunu belə də ifadə olunur:

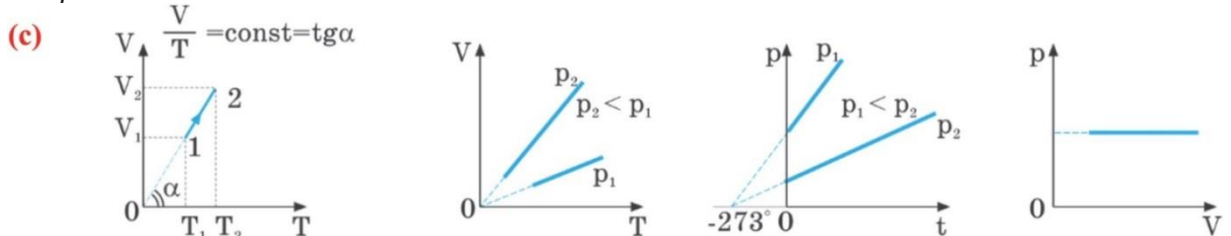
- *Sabit təzyiqdə verilmiş kütləli ideal qazın həcmnin nisbi dəyişməsi temperaturun dəyişməsi ilə düz mütənasibdir ($p = const, m = const$):*

$$\frac{V - V_0}{V_0} = \alpha t \rightarrow V = V_0(1 + \alpha t) \quad (6.24)$$

Burada V_0 - verilən ideal qazın sabit təzyiqdə 0°C temperaturundakı həcmi, V - son haldakı həcmi, α - həcmi genişlənmə əmsalıdır. Təcrübələr göstərir ki, başlanğıc temperaturu 0°C olan verilmiş kütləli bütün seyrəldilmiş qazları 1K (1°C) qızdırdıqda onlar öz həcmələrini başlanğıc haldakı həcmələrinin $\frac{1}{273}$ hissəsi qədər dəyişir:

$$\alpha = \frac{V_{100} - V_0}{100^\circ\text{C} \cdot V_0} \approx \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}} = \frac{1}{273} \frac{1}{\text{K}} \quad (6.25)$$

- *Sabit təzyiqdə ($p = const$) verilmiş ideal qazın halının dəyişmə prosesi **izobarik proses** adlanır (c). İzobarik prosesdə verilmiş kütləli ideal qazın həcmi onun temperaturundan düz mütənasib asılıdır.*



Şarl qanunu. Bu qanunu 1787-ci ildə fransız fiziki Şarl Jak Aleksandr Sezar (1746-1823) təcrübi olaraq müəyyənləşdirmişdir:

- *Sabit həcmdə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin onun mütləq temperaturuna nisbəti sabitdir ($V = const, m = const$):*

$$\frac{p}{T} = \frac{mR}{M} \cdot \frac{1}{V} = const \quad (6.26)$$

Qazın başlanğıc halındakı p_1 təzyiqinin T_1 temperaturuna olan nisbəti bu parametrlərin qazın ixtiyari halındakı p_2 və T_2 qiymətləri nisbətində bərabərdir:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (6.27)$$

Şarl qanunu belə də ifadə olunur:

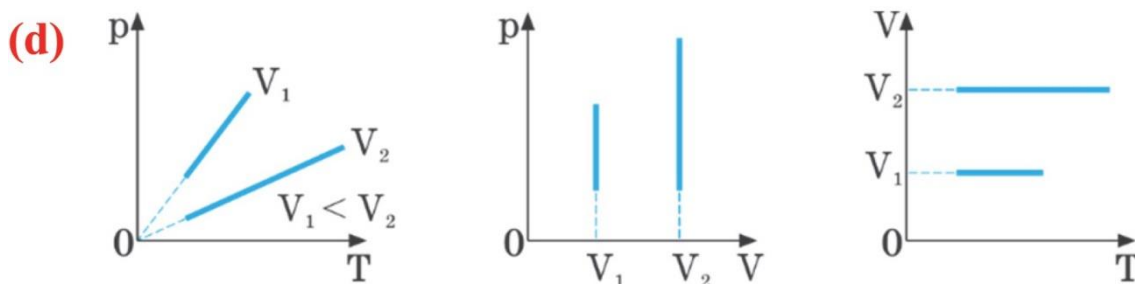
- *Sabit həcmdə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin nisbi dəyişməsi temperaturun dəyişməsi ilə düz mütənasibdir ($p = const, m = const$):*

$$\frac{p - p_0}{p_0} = \beta t \rightarrow p = p_0(1 + \beta t) \quad (6.28)$$

Burada p_0 — verilən ideal qazın sabit həcmdə başlanğıc haldakı (t_0 -temperaturunda) təzyiqi, p — son haldakı (t — temperaturunda) təzyiqi, β — təzyiqin dəyişmə əmsəlidir. Hesablamalardan müəyyən edilmişdir ki, başlanğıc temperaturu 0°C olan bütün seyrəldilmiş qazları 1K (1°C) qızdırdıqda onlar öz təzyiqlərini başlanğıc haldakı təzyiqlərinin $\frac{1}{273}$ hissəsi qədər dəyişir:

$$\beta = \frac{P_{100} - P_0}{100^\circ C * P_0} \approx \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}} = \frac{1}{273} \frac{1}{\text{K}}. \quad (6.29)$$

• *Sabit həcmdə ($V = \text{const}$) ideal qazın halının dəyişmə prosesi **izoxorik proses** adlanır (d). İzoxorik prosesdə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqi onun temperaturundan düz mütənasib asılıdır.*



Dalton qanunu. Bu qanunu 1801-ci ildə ingilis tədqiqatçısı Con Dalton (1766-1844) müəyyən etmişdir:

• *Kimyəvi qarşılıqlı təsirdə olmayan ideal qazların təzyiqi parsial təzyiqlərin cəminə bərabərdir:*

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n. \quad (6.30)$$

• *Parsial təzyiq — qaz qarışıqında ayrıca götürülmüş qazın təzyiqidir.*

Avoqadro qanunu. Bu qanun 1811 -ci ildə italyan fiziki Amedeo Avoqadro (1776-1856) tərəfindən fərziyyə kimi müəyyən edilmişdir. Fərziyyə, sonralar çoxsaylı təcrübələrlə təsdiqlənmişdir.

• *Eyni temperatur və təzyiqdə həcmələri bərabər olan qazların molekullarının sayı eynidir, məsələn, istənilən qazın 1 molundakı molekulların sayı $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ qədərdir. Bir mol qaz sabit təzyiq və temperaturda $22,4 \text{ l}$ (l/mol) həcmə malikdir. Bu həcm ideal qazın molyar həcmi adlanır.*

Buxarlanma. Mayedə (və ya bərk cisimlərdə) ixtiyari temperaturda müəyyən miqdar molekullar (atomlar) mövcuddur ki, onların kinetik enerjisi qonşu molekullarla qarşılıqlı təsir potensial enerjisindən böyükdür. Belə molekullar cismin səthinə yaxın hissədədirsə, onlar səthi asanlıqla tərk edərək onun üzərində buxar əmələ gətirir. *Buxarəmələgəlmə* iki üsulla baş verir: *buxarlanma* və *qaynama*.

• *Buxarəmələgəlmə - maddənin maye halından qaz halına keçmə prosesidir.*

• *Buxarlanma - mayenin səthində baş verən buxarəmələgəlmə hadisəsidir.*

• *Qaynama - mayenin bütün həcmində baş verən buxarlanma prosesidir (bax: Fizika-8, s. 75-76).*

Buxarlanmada maye səthini böyük kinetik enerjiyə malik zərrəciklər tərk edir.

Nəticədə mayedə qalan zərrəciklərin orta kinetik enerjisinin azalması baş verir. Ona görə

də buxarlanma prosesi mayenin soyuması ilə müşayiət olunur (əgər mayeyə kənardan istilik verilmirsə).

Buxarlanmanın sürəti asılıdır: *mayenin növündən, mayenin temperaturundan, mayenin sərbəst səthinin sahəsindən, maye səthini əhatə edən hava cərəyanının sürətindən, mayenin səthinə göstərilən təzyiqdən (təzyiq artdıqda buxarlanmanın sürəti azalır), mayenin xüsusi buxarlanma istiliyindən.*

● *Xüsusi buxarlanma istiliyi — ədədi qiymətcə sabit temperaturda kütləsi 1kq olan mayeni tamamilə buxara çevirmək üçün lazım olan istilik miqdarına bərabərdir.*

$$L = \frac{Q}{m}. \quad (6.31)$$

Burada L - xüsusi buxarlanma istiliyi, Q - buxarlanma istiliyidir. Xüsusi buxarlanma istiliyinin BS-də vahidi:

$$[L] = 1 \frac{C}{kq} = 1 \frac{m^2}{san^2}$$

Xüsusi buxarlanma istiliyinin qiyməti mayenin növündən və temperaturundan asılıdır - temperatur artdıqca xüsusi buxarlanma istiliyinin qiyməti azalır. Xüsusi buxarlanma istiliyinin minimal qiyməti mayenin qaynama temperaturuna uyğundur.

● *Buxarlanma istiliyi - sabit temperaturda m kütləli mayeni buxara çevirmək üçün lazım olan istilik miqdarıdır.*

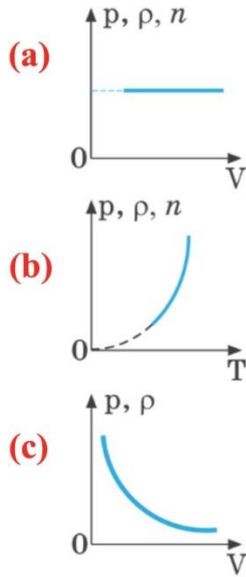
$$Q = Lm \quad (6.32)$$

Təbii proseslərdən biri də buxarlanmanın əks prosesidir. *Kondensasiya* adlanan prosesdə buxar mayeyə çevrilir:

● *Kondensasiya - buxarın mayeyə çevrilmə prosesidir. Kondensasiya edən buxar ətraf mühitə $Q = Lm$ qədər istilik verir. Kondensasiya nəticəsində maye buxarlanmaya sərf etdiyi qədər istilik alır.*

Doyan və doymayan buxar. Sıxlığının və təzyiqinin temperaturdan asılılıq xarakterinə görə buxar *doyan* və *doymayan* ola bilər.

● *Doyan buxar — öz mayesi ilə dinamik tarazlıqda olan buxardır. Maye ilə onun buxarı arasında dinamik tarazlıq o zaman yaranır ki, mayenin sərbəst səthini tərk edən molekulların sayı mayeyə qayıdan molekulların sayına bərabər olsun. Doyan buxar qapalı qabda olan mayenin sərbəst səthinin üzərində yaranır.*



Qabın ağzı açıq olduqda isə maye səthini tərk edən molekulların bir hissəsi mayeyə qayıtmır, dinamik tarazlıq pozulur və buxar doymayan hala keçir.

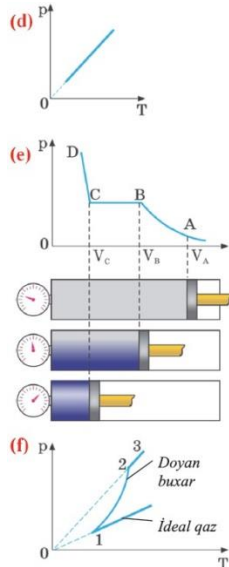
- *Doymayan buxar* - öz mayesi ilə dinamik tarazlıqda olmayan buxardır.

Doyan buxarın xassələri:

- sabit temperaturda doyan buxarın təzyiqi, sıxlığı və konsentrasiyası həcmdən asılı deyil
- doyan buxar Boyle-Mariott qanununa tabe deyil (a);
- doyan buxarın təzyiqi, sıxlığı və konsentrasiyası temperatur yüksəldikcə kəskin artır - doyan buxar Şarl qanununa tabe deyil. Bu ondan irəli gəlir ki, doyan buxarın təzyiqi yalnız temperaturun yüksəlməsi ilə deyil, eyni zamanda buxarın molekullarının konsentrasiyasının (sıxlığının) artması hesabına artır: $p = nkT$ ifadəsinə əsasən (b).

Doymayan buxarın xassələri:

- a) sabit temperaturda verilən kütləli doymayan buxarın təzyiqi və sıxlığı onun həcmindən tərs mütənasib asılıdır - doymayan buxar üçün Boyle-Mariott qanunu ödənilir (c);



b) sabit həcmdə verilən kütləli doymayan buxarın təzyiqi temperaturdan düz mütənəsb asılıdır - doymayan buxar üçün Şarl qanunu ödənilir (**d**).

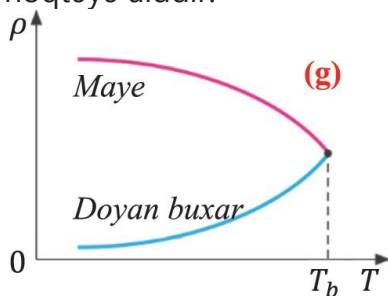
Doyan və doymayan buxarların biri digərinə çevrilə bilir.

• *Doyan buxar izotermik genişləndikdə o, doymayan buxara çevrilir.* • *Doymayan buxar izotermik sıxıldıqda o, doyan buxara çevrilir.*

Bu belə baş verir: fərz edək ki, manometrə qoşulan porşenli silindrdə T temperaturu doymayan buxar var və o, V_A həcmi tutur (**e**). Porşeni izotermik sıxıldıqda buxarın həcmi kiçildikcə onun təzyiqi (sıxlığı və molekullarının konsentrasiyası) artır (qrafikin AB hissəsi).

Həcm V_B qiymətində buxar kondensasiya etməyə başlayır, silindrdə maye damcıları yaranır və buxar doyan hala gəlir. Buxarın təzyiqi, sıxlığı və molekullarının konsentrasiyası verilən temperatur üçün maksimal qiymət alır. Həmin hissədə buxarın təzyiqi sabit qalır (qrafikin BC hissəsi), çünki həcm kiçilməsi nəticəsində buxarın bir hissəsi kondensasiya edərək mayeyə çevrilir. Bu proses doyan buxarın tamamilə mayeyə çevrilməsinə qədər davam edir (C nöqtəsi). Həcm sonrakı sıxılması mayeyə aiddir və onu sıxmaq mümkün olmadığından təzyiqi kəskin artır (qrafikin CD hissəsi).

• *Doyan buxar izoxor qızdırıldıqda doymayan buxara çevrilir.* Sabit həcmdə buxarın təzyiqinin temperaturdan asılılıq qrafikində 1-2 hissəsi buxarın doyan halına uyğundur (**f**). Qrafikin 2-3 hissəsi doymayan buxara və 2 nöqtəsi mayenin tamamilə qurtardığı nöqtəyə aiddir.



Qeyd. İzotermik sıxılmada doyan buxarın mayeyə çevrilməsi yalnız *böhran temperaturundan* aşağı temperaturlarda mümkündür.

• *Böhran temperaturu - maye ilə onun doyan buxarı arasındakı fiziki fərqin yox olduğu temperaturdur.* Böhran temperaturunda doyan buxarın sıxlığı mayenin sıxlığına bərabər olur (**g**). Böhran temperaturundan yuxarı temperaturlarda maddə yalnız bir aqrekat halında - qaz (buxar) halında olur və o nə qədər yüksək təzyiq altında sıxılsa da mayeyə çevrilmir. *Böhran temperaturunun qiyməti yalnız buxarın növündən asılıdır.* Məsələn, helium üçün $T_b = 4K$, azot üçün $T_b = 12K$ -dir.

HAVANIN RÜTUBƏTLİLİYİ. ŞEH NÖQTƏSİ

Rütubətli hava - tərkibində su buxarı olan havadır. Belə havanın əsas kəmiyyət xarakteristikaları *mütləq rütubət* və *nisbi rütubətdir*.

• *Mütləq rütubət - verilən şəraitdə havada olan su buxarının sıxlığına bərabər olan fiziki kəmiyyətdir.*

Mütləq rütubəti (havadakı su buxarının sıxlığını) Mendeleyev-Klapeyron tənliyinə əsasən su buxarının parsial təzyiqi ilə ifadə etmək olar:

$$\rho_b = \frac{\rho_p M}{RT} \quad (6.33)$$

Burada $M = 18 \frac{q}{mol}$ – suyun molyar kütləsi, T — havanın temperaturu, p_p — buxarın parsial təzyiqi, R — universal qaz sabiti, ρ_b — havada olan su buxarının sıxlığıdır - mütləq rütubətdir. Mütləq rütubət, adətən, q/m^3 ilə ölçülür.

Yalnız havadakı su buxarının sıxlığını və parsial təzyiqini bilməklə verilən şəraitdə buxarın hansı halda olduğunu, onun doyma halından nə dərəcədə fərqləndiyini təyin etmək mümkün deyildir. Bu səbəbdən havanın rütubəti üçün ikinci xarakteristika - *nisbi rütubət* daxil edilmişdir.

• *Nisbi rütubət - verilən temperaturda havanın mütləq rütubətinin həmin temperaturda doyan su buxarının sıxlığına nisbətində bərabər olan fiziki kəmiyyətdir.*

$$\varphi = \frac{\rho_p}{\rho_0} 100\% \quad (6.34)$$

Burada ρ_0 — havadakı doyan su buxarının sıxlığı, (φ — havanın nisbi rütubətidir. Havadakı su buxarının sıxlığı (6.33) ifadəsinə əsasən buxarın parsial təzyiqi ilə əlaqədar olduğundan nisbi rütubəti təzyiqlə də ifadə etmək olar:

• *Nisbi rütubət — verilən temperaturda havadakı su buxarının parsial təzyiqinin həmin temperaturda doyan su buxarının təzyiqinə nisbətində bərabər olan fiziki kəmiyyətdir:*

$$\varphi = \frac{p_p}{p_0} 100\% \quad (6.35)$$

Beləliklə, nisbi rütubət nəinki mütləq rütubətlə, həm də havanın temperaturu ilə təyin edilir. Havanın nisbi rütubəti psixrometr və hiqrometrlə ölçülür.

Əgər verilən temperaturda havadakı su buxarının parsial təzyiqi həmin temperaturda doyan buxarın təzyiqinə bərabər olarsa, deyilir ki, hava su buxarı ilə doyubdur. Əgər verilən temperaturda havadakı su buxarının sıxlığı həmin temperaturda doyan su buxarının sıxlığından böyükdürsə, bu halda deyilir ki, havadakı su buxarı *ıfraz doyan* halındadır. Belə hal qeyri tarazlıq halı olub buxarın kondensasiyası ilə nəticələnir.

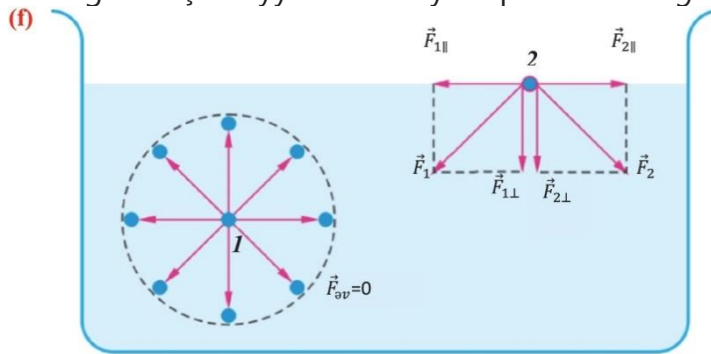
Havadakı su buxarının izobar soyuması nəticəsində doyan buxara çevrildiyi temperatur şəh nöqtəsi adlanır. Havanın temperaturu şəh nöqtəsindən aşağı düşdükdə su buxarının kondensasiyası baş verir. Məsələn, fərz edək ki, gündüz havanın temperaturu $t_1 = 32^\circ\text{C}$, havadakı su buxarının sıxlığı isə $\rho_b = 20,5 q/m^3$ olmuşdur. Gecə havanın temperaturu $t_2 = 18^\circ\text{C}$, həmin temperaturda doyan su buxarının sıxlığı isə $\rho_0 = 10,2 q/m^3$ oldu. Deməli, artıq buxar kondensasiya edir - şəh düşür. Bu proses duman və buludun yaranmasına yağışın yağması səbəb olur

MAYELƏRİN SƏTHİ GƏRİLMƏSİ. KAPİLYAR HADİSƏLƏR

Səthi gərilmə qüvvəsi. Mayeləri qazlardan fərqləndirən xüsusiyyətlərdən biri onların sərbəst səthə malik olmasıdır. Mayenin sərbəst səthindəki molekullarla onun daxilindəki molekulların hallarında da fərq vardır, belə ki:

a) maye daxilindəki molekullar hər tərəfdən qonşu molekullarla əhatə olunduğunda onlar arasındakı cazibə xarakterli qarşılıqlı təsirlər bir-birini tarazlaşdırır (**f; 1 molekulu**);

b) maye səthindəki molekulların isə qarşılıqlı təsir sferasının bir hissəsi maye daxilindəki molekulları əhatə edirsə, digər hissəsi maye səthindəki qaz molekullarının (maye buxarı və ya hava molekullarının) "payına" düşür (bax: **f; 2 molekulu**). Lakin qaz molekullarının 2 molekulu cəzibmə qüvvəsi maye molekulları arasındakı cazibə xarakterli qüvvədən çox kiçik olduğundan nəzərə alınmır. Nəticədə 2 molekulu maye daxilindəki qonşu molekullar tərəfindən cazibə xarakterli əvəzləyici \vec{F}_1 və \vec{F}_2 qüvvəsinin hər biri iki toplanan qüvvəyə ayrılır: səthə paralel $\vec{F}_{1\parallel}$ və $\vec{F}_{2\parallel}$ və səthə perpendikulyar $\vec{F}_{1\perp}$ və $\vec{F}_{2\perp}$ qüvvələri. Səthə perpendikulyar olan toplanan qüvvələr maye daxilində yönəlməklə səthdəki maye molekullarının daxilə doğru çəkiri və mayenin açıq səthi altında mayedaxili təzyiqlik yaradır. Səthə paralel olan toplanan qüvvələrin təsiri ilə isə mayenin səthi boyunca yönələn, səthi hüdudlandıran xəttə perpendikulyar olan və səthi gərilmiş vəziyyətdə saxlayan qüvvə - *səthi gərilmə qüvvəsi* $\vec{F}_{s,g}$ yaranır:



- *Səthi gərilmə qüvvəsi* - mayenin səthini hüdudlandıran xəttə perpendikulyar olub səth boyunca yönələn və mayenin səthinin sahəsini kiçiltməyə çalışan qüvvədir. *Səthi gərilmə qüvvəsi* maye ilə bərk cismin toxunma sərhədinin uzunluğu ilə düz mütənasibdir.

$$F_{s,g} = \sigma \cdot l. \quad (6.36)$$

Burada $F_{s,g}$ — mayenin səthi gərilmə qüvvəsi, l — mayenin sərbəst səthinin bərk cismə toxunma sərhədinin uzunluğu, σ (siqma) — *səthi gərilmə əmsalıdır*:

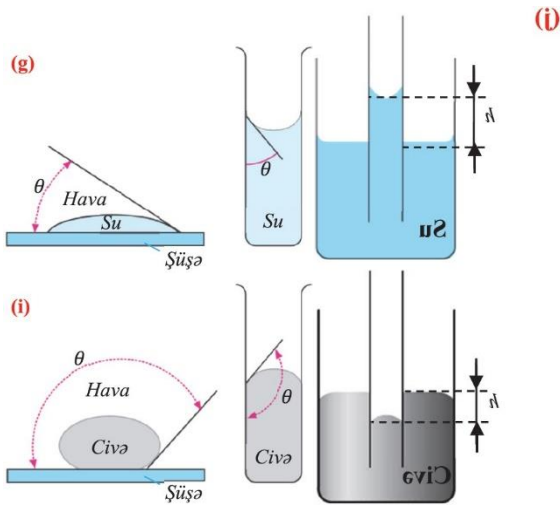
- *Səthi gərilmə əmsalı* - ədədi qiymətə maye ilə bərk cismin vahid toxunma sərhədinin uzunluğuna düşən *səthi gərilmə qüvvəsinə* bərabərdir:

$$\sigma = \frac{F_{s,g}}{l} \quad (6.37)$$

Səthi gərilmə əmsalının qiyməti mayenin növündən və temperaturundan asılıdır mayenin temperaturu artdıqda onun səthi gərilmə əmsalı azalır və böhran temperaturunda sıfıra bərabər olur. Səthi gərilmə əmsalının BS-də vahidi: $[\sigma] = 1 \frac{N}{m}$.

İsladan və islatmayan maye. Diqqətlə baxdıqda maye ilə bərk cismin sərhədində maye səthini əyilmiş formada görmək olur ki, bu da *menisk* adlanır.

əyilmiş formada görmək olur ki, bu da *menisk* adlanır.



• *Menisk-mayenin bərk cismin (və ya digər mayenin) səthinə toxunması nəticəsində onun sərbəst səthinin əyilməsidir. Menisklə bərk cismin səthi arasındakı bucaq **kənar bucaq** adlanır.*

Mayenin *isladan* və ya *islatmayan* olmasından asılı olaraq kənar bucağın $[\theta \text{ (teta)}]$ -nin qiyməti iti və ya kor olur:

• *İsladan maye — kənar bucağı iti olan mayedir.* İsladan maye ilə bərk cismin molekulları arasındakı cazibə xarakterli qüvvələr mayenin öz molekulları arasındakı cazibə qüvvələrindən böyük olur. Nəticədə qabdakı mayenin sərbəst səthi çökük olur, məsələn, şüşə qabdakı su isladan mayedir **(g)**.

• *İslatmayan maye — kənar bucağı korbucaq olan mayedir.* İslatmayan maye ilə bərk cismin molekulları arasındakı cazibə xarakterli qüvvələr mayenin öz molekulları arasındakı cazibə qüvvələrindən kiçik olur. Nəticədə qabdakı mayenin sərbəst səthi qabarıq olur, məsələn, şüşə qabdakı civə islatmayan mayedir **(i)**.

Kapilyar hadisələr. Gündəlik həyatımızda suyu asanlıqla özünə çəkən cisimlərlə rastlaşır, onlardan istifadə edirik. Dəsmal, kağız vərəq, qənd parçası, kərpic, bitkilər və s. belə cisimlərdəndir. Cisimlərdəki bu xüsusiyyət onlarda böyük miqdarda çox kiçik borucuqların - *kapilyarların* mövcud olmasıdır.

• *Kapilyar - diametri $10^{-3}m$ və daha kiçik tərtibdə olan kanaldır (borudur).* Verilən mayeyə batırılan kapilyara daxil olan həmin mayenin səviyyəsi onun xassəsindən (isladan və ya islatmayan) asılı olaraq ya boru boyunca qalxır, yaxud enir:

• **Kapilyarlıq** - *mayenin isladan (və ya islatmayan) olması nəticəsində yaranan səthi əyriliyi ilə əlaqədar həmin maye sütununun kapilyar boru boyunca qalxması (və ya enməsi) hadisəsidir (j).* Kapilyarda qalxan mayeni xarakterizə edən kəmiyyətlər arasındakı asılılıqlar cədvəl 6.4-də verilmişdir.

Cədvəl 6.4

Kapilyarda qalxan mayenin xarakteristikası	Düsturu
Kapilyarda mayeni qaldıran qüvvə	$P = mg = F_{s.g} = \sigma l = 2\pi r \sigma = \pi d \sigma. (6.37)$

ədədi qiymətə ağırlıq qüvvəsinə bərabərdir. Bu səbəbdən onun çəkisi	Burada r — kapilyarın radiusu, d — kapilyarın diametridir.
Kapilyarda qalxan mayenin kütləsi	$m = \frac{F_s \cdot g}{g} = \frac{2\pi r \sigma}{g} = \frac{\pi d \sigma}{g}$. (6.38)
Kapilyarda qalxan mayenin hündürlüyü	$h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho g r} = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho g d}$. (6.39) Maye tam isladandırırsa, $\theta = 0^\circ \rightarrow \cos\theta = \cos 0^\circ = 1$ olur: $h = \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{4\sigma}{\rho g d}$. (6.40) Burada ρ – kapilyarda qalxan mayenin sıxlığıdır. <i>Kapilyarda mayenin qalxma hündürlüyü mayenin növündən asılı olub, kapilyarın daxili radiusu ilə tərs mütənasibdir.</i>
Kapilyarda qalxan mayenin təzyiqi	$p = \rho g h = \rho g \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{4\sigma}{d}$. (6.41)

Mövzu 8. Bərk cisimlər.

Xarici təsirlər olmadan öz forma və həcmi saxlayan cisimlər bərk cisimlərdir. Məsələn, metal, plastmas, şüşə və ebonitdən hazırlanan cisimlər bərk cisimlərdir. Bərk cisimlər fiziki xassəsinə görə fərqlənən iki qrupa ayrılır: *kristal və amorf cisimlər*. *Kristal cisimlərə* bərk halda olan metallar, müxtəlif minerallar, məsələn, xörək duzu, kvars, dağ bülluru aiddir. *Amorf cisimlərə* isə opal, obsidian, ebonit, şüşə, plastmaslar, qatran, kanifol, kəhrəba və s. aiddir. Kristal və amorf cisimlər arasında fərq nədir?

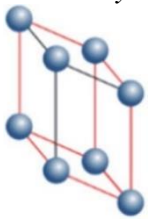

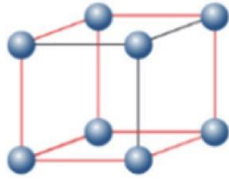
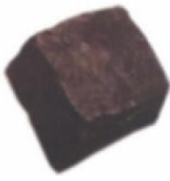
Kristal cisimlər. *Kristal cisimlərin zərrəcikləri (atom, molekul və ya ionlar) fəzada müəyyən nizamlı və qanunauyğun düzülüşə malik olub kristal qafəs əmələ gətirirlər. Kristal cisimlərin müəyyən arimə temperaturu vardır.*

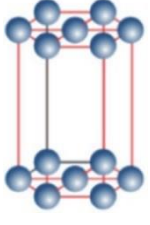

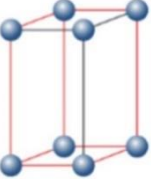

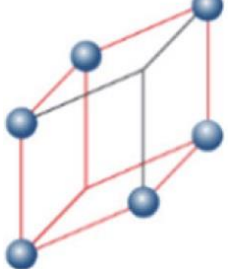

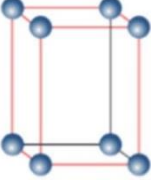

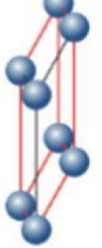

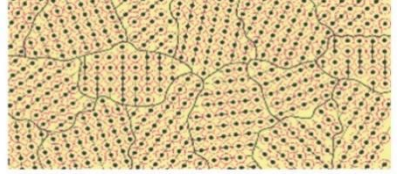
• *Kristalda zərrəciklərin yerləşdiyi nöqtələr **kristal qafəsin düyün nöqtələri** adlanır*

Zərrəciklərinin nizamlı düzülüşü nəticəsində monokristallar təbii müstəvi səthlərlə hüdudlanmış simmetrik həndəsi formaya malik olur (a).

Monokristallarının əsas xüsusiyyəti onların *anizotrop* olmalarıdır:

(a)

<i>Monoklinal simmetriya</i> 	<i>Gips</i> 	<i>Kub simmetriyası</i> 	<i>Qurğuşun filizi</i> 
<i>Heksoqunal</i>	<i>Zümrüd</i>	<i>Tetraqonal</i>	<i>İdoKraz</i>

<p><i>simmetriya</i></p> 		<p><i>simmetriya</i></p> 	
<p><i>Triqonal simmetriya</i></p> 	<p><i>Kvars</i></p> 	<p><i>Ortorombik simmetriya</i></p> 	<p><i>Topaz</i></p> 
<p><i>Triklinal simmetriya</i></p> 	<p><i>Aksinit</i></p> 	<p>(b)</p> 	

• *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:

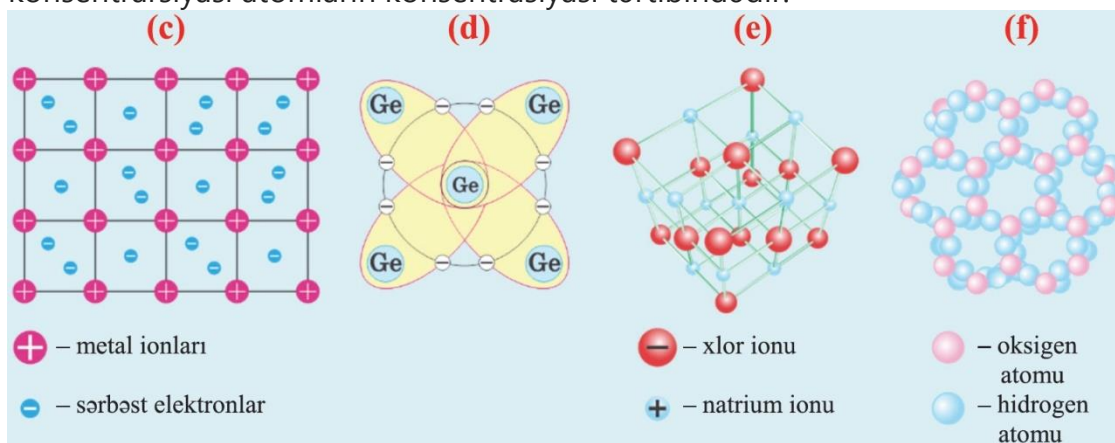
• *Polikristallar* - müxtəlif istiqamətlərə yönələn çoxlu sayda kristal mərkəzlərin böyüməsi və birləşməsi nəticəsində yaranan kristallardır.

Bütün metallar, demək olar, polikristaldır. Məsələn, təzə sınımış çuquna diqqətlə baxdıqda onun müxtəlif istiqamətlərə yönələn və düzgün formaya malik olmayan çoxlu sayda kristal dənələrindən ibarət olduğu görünür **(b)**. Polikristalların hər bir kristal dənəciyi ayrılıqda anizotropdur, lakin bu dənəciklər nizamsız düzöldüyündən 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 rəbitənin növündən və qarşılıqlı təsirlərindən asılı olaraq kristallar dörd növdə olur. Bunlar *metallik, atom, ion və molekulyar* kristal qəfəsləridir.

Metallik qəfəs. *Metallik qəfəsin düyünlərində müsbət yüklü metal ionları yerləşir.* Belə kristallar ionlaşma enerjisi çox kiçik olan eyni növ metal atomlarının qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranır. Metal atomlarında xarici valent elektronları nüvə ilə çox zəif əlaqədədir. Bərk hal yaranarkən atomlar bir-birinə o qədər yaxın yerləşir ki, valent elektronları öz atomlarını tərk edir və kristal daxilində sərbəstləşir. Onlar elektron qazını əmələ gətirərək qəfəsin müsbət ionları arasında nizamsız hərəkət etməklə onları əlaqələndirirlər - metallik rəbitəni yaradır (c). Metallarda sərbəst elektronların konsentrasiyası atomların konsentrasiyası tərtibindədir.



Atom qəfəsi. *Atom qəfəsinin düyünlərində neytral atomlar yerləşir.* Atomlar arasında kovalent rəbitə onların valent elektronlarının qoşalaşması hesabına yaranır. Kristalda kovalent rəbitə *sp* elementləri üçün xarakterikdir. Belə kristala nümunə olaraq silisium, germanium və s. elementləri göstərmək olar. Bu elementlərin atomları xarici elektron təbəqəsində dörd valent elektronuna malikdir. Atomun hər bir elektronu qonşu atomun bir elektronu ilə kovalent rəbitə yaratdığından hər bir atom dörd kovalent rəbitədə iştirak edir. Beləliklə, atom özünə dörd elektron birləşdirməklə energetik davamlı səkkiz s^2p^6 təsirsiz qaz elektron konfigurasiyası əldə edir. Kovalent rəbitədə elektronların hərəkəti istiqamətlənmiş xarakter daşıyır: hər bir elektron dörd atomun nüvəsi ətrafında hərəkət edir (d).

İon qəfəsi. *İon qəfəsinin düyünlərində müsbət və mənfi yüklü ionlar yerləşir.* Bu rəbitə ionlaşma enerjisi kiçik və böyük olan iki müxtəlif atomun qarşılıqlı təsiri nəticəsində elektron mübadiləsi zamanı yaranır. Əksişərəli ionlar arasında yaranan cazibə xarakterli Kulon qüvvələri onları kristal qəfəsin düyünlərində saxlayır. Bu növ maddələrə qələvi metalların hidrogen birləşmələrini, məsələn, NaCl kristal qəfəsini nümunə göstərmək olar (e).

Molekulyar qəfəs. *Molekulyar kristal qəfəsin düyünlərində molekullar yerləşir.* Bu molekullar müəyyən qaydada yönəlməklə bir-biri ilə molekulyar qarşılıqlı rabitə yaradırlar. Qaz halında olan hidrogen, xlor, karbon dörd oksid bərk halda molekulyar qəfəs əmələ gətirirlər. Bu növ kristalların molekulları arasındakı rabitə çox zəif olduğundan onlar aşağı temperaturlarda qırılır - maddə əriyir. Bunu buz kristalının modelində aydın görmək olur (**f**). Modeldən görünür ki, hər bir oksigen atomu dörd hidrogen atomu ilə əhatə olunmuşdur. Hidrogen atomları oksigen atomları arasında əlaqələndirici rol oynayır. Buzu qızdırdıqda onun ərimə prosesində onun kristal qəfəsi sürətlə dağılır.

Amorf cisimlər. Amorf cisimlər zərrəciklərinin uzaq düzülüşünün olmadığı ilə xarakterizə edilir. Bu düzülüş yalnız qonşu zərrəciklərdə gözlənildiyindən deyilir ki, amorf cisimlər - zərrəcikləri *yaxın düzülüş* xassəsinə malik bərk cisimlərdir. Qatılığı yüksək olan mayelər (özlü maye) amorf bərk cismə aid edilə bilər.

● *Amorf cisimlər - zərrəciklərinin fəzadakı düzülüşündə nizamsızlıq olan və fiziki xassələri daxilində götürülən istiqamətdən asılı olmayan, yəni izotrop olan bərk cisimdir. Amorf cisimlərin müəyyən ərimə temperaturu yoxdur — onları qızdırdıqda tədricən yumşalır və mayeyə çevrilir.*

Maddələr amorf halından kristal hala və əksinə çevrilə bilər. Məsələn, şəkər kristalını əvvəlcə əridib sonra soyutduqda o, amorf sorma şəkərə ("şüşə" konfetə) çevrilir. Zaman keçdikcə isə sorma şəkərin səthində yenidən şəkər kristalları yaranmağa başlayır.

Ərimə və bərkimə, sublimasiya və desublimasiya.

● *Maddənin bərk haldan maye halına keçmə prosesi **ərimə**, maye halından bərk halına keçmə prosesi isə **bərkimə** adlanır.*

● *Kristal cisimlərin bərkimə prosesi **kristallaşma** adlanır.*

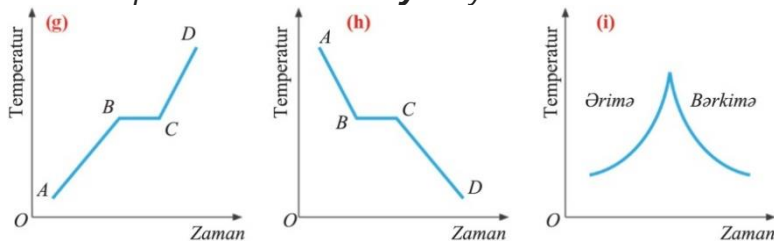
Kristal cisimlərin əriməsi müəyyən *ərimə temperaturunda* baş verir, məsələn, volframın ərimə temperaturu 3410°C, buzun 0°C, civənin -39°C-dir.

● *Verilən kristal cismin əridiyi temperatura **ərimə temperaturu** və ya **ərimə nöqtəsi** deyilir.*

Təcrübə göstərir ki, cismi əritmək üçün onu ərimə temperaturuna qədər qızdırmaq kifayət etmir, cismə verilən istilik miqdarını davam etdirmək lazımdır. Lakin istiliyin verilməsinə baxmayaraq, kristal cisim əridikdə onun temperaturu artmır. O, tam əridikdən sonra verilən istilik mayenin temperaturunun artmasına səbəb olur (**g**). Kristal cismin ərimə qrafikinin AB hissəsi bərk cismin ərimə temperaturuna qədər qızmasına uyğundur; qrafikin BC hissəsi - ərimə prosesinə uyğundur, bu zaman cisim eyni zamanda həm bərk, həm də maye hallarındadır; qrafikin CD hissəsi isə mayenin qızmasına uyğundur (bax: **g**). Enerjinin saxlanması qanununa müvafiq olaraq verilən mayenin ərimə temperaturuna bərabər temperaturda onun bərkimə prosesi baş verir (**h**).

Amorf cisimlərin müəyyən ərimə və bərkimə temperaturları olmadığından, onların ərimə və bərkimə proseslərinin temperatur-zaman qrafikləri də kristal cisimlərin uyğun qrafiklərindən fərqlənir (**i**).

• Cismın ərımə temperaturunda bərk haldan maye halına keçməsi üçün lazım olan istilik miqdarına **ərımə istiliyi** deyilir.



Ərimə temperaturuna qədər qızdırılan eyni kütləli, lakin müxtəlif maddələrdən hazırlanan kristal cisimlərin istiliyi qəbuletmə qabiliyyətlərini xarakterizə etmək üçün *xüsusi ərımə istiliyi* adlanan fiziki kəmiyyətdən istifadə olunur:

• *Xüsusi ərımə istiliyi* - ədədi qiymətə kütləsi 1 kq olan kristal maddəni ərımə temperaturunda mayeyə çevirmək üçün sərf edilən istilik miqdarıdır.

$$\lambda = Q$$

m. (6.42)

λ - verilən maddənin xüsusi ərımə istiliyidir. Onun BS-də vahidi $[\lambda] = 1 \text{ C}$

kq - dir. Enerjinin saxlanması qanununa müvafiq olaraq, ərımə zamanı cismın aldığı istilik miqdarı, bərkimə prosesində ondan ayrılan istilik miqdarına bərabərdir.

Bəzən elə hallar olur ki, bərk cisimlər maye halına keçmədən birbaşa qaz halına və ya əksinə, qaz halından birbaşa bərk cismə çevrilmə prosesi baş verə bilər:

• *Bərk cismın maye halına keçmədən qaz halına keçmə prosesi sublimasiya* (bərk cismın buxarlanması), əksinə, maddənin qaz halından maye halına keçmədən bərk cismə çevrilmə prosesi isə *desublimasiya* adlanır.

Mövzu 9. Kulon qanunu. Elektrik sahəsinin intensivliyi.

İkunətdə olan elektrik yüklərinin yaratdığı sahə **elektrostatik sahə** adlanır.

Elektrik sahəsinin intensivliyi - elektrik sahəsində sınaq yükünə təsir edən elektrik

qüvvəsinin bu yükün miqdarına olan nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir: $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$.

Elektrik sahəsinin intensivliyinin BS-də vahidi: $[E] = \frac{F}{q} = 1 \frac{N}{kC} = 1 \frac{V}{m}$ -dir.

- Elektrik qüvvəsi elektrik sahəsinin intensivliyi ilə sınaq yükünün miqdarı hasilinə bərabərdir: $\vec{F}_e = q\vec{E}$.
- **Kulon qanunu:** sükunətdə olan iki nöqtəvi yükün vakuumdakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi yüklərin modulları hasilinə bərabərdir, aralarındakı məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasibdir:

$$F = k \frac{q_0 q_1}{r^2}$$

Kulon qüvvəsini intensivlik düsturunda nəzərə aldıqda elektrik sahə intensivliyinin asılı olduğu kəmiyyətlər müəyyən olunur.

- Nöqtəvi yükün verilmiş nöqtədə yaratdığı elektrik sahəsinin intensivliyinin modulu yükün miqdarı ilə düz, yükdən olan məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasibdir:

$$E = k \frac{q_0}{r^2}$$

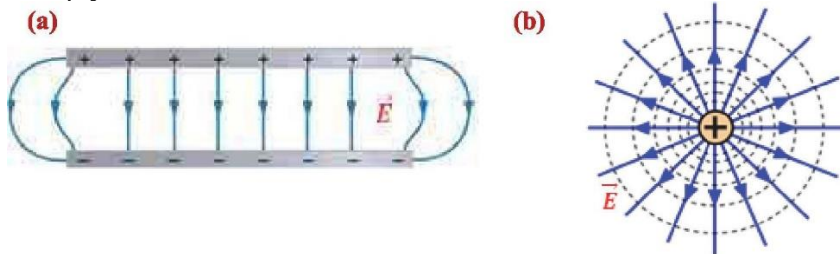
Elektromaqnit sahəsinin xüsusi hallarından biri sükunətdəki elektrik yükünün yaratdığı elektrik sahəsidir.

• *Elektrik sahəsi* - verilən hesablamaya sistemə nəzərən $\vec{E} \neq 0, \vec{B} = 0$ olan elektromaqnit sahəsidir. Əgər elektrik sahəsinə verilən hesablamaya sistemə nəzərən sükunətdə olan elektrik yükləri yaradırsa, belə sahə elektrostatik sahə adlanır. Bundan sonra sadəlik üçün *elektrik sahəsi* dedikdə *elektrostatik sahə* nəzərdə tutulacaq.

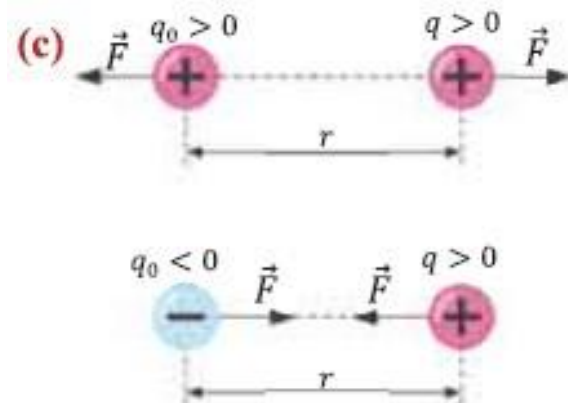
Elektrik sahəsi bircins və qeyri-bircins ola bilər.

• *Bircins elektrik sahəsi* - intensivliyi fəzanın bütün nöqtələrində qiymət və istiqamətca eyni olan elektrik sahəsidir. Əks halda sahə qeyri-bircinsdir.

Məsələn, biri müsbət, digəri eyni miqdar mənfi yükə malik paralel müstəvi lövhələrarası fəzadakı elektrik sahəsi bircins **(a)**, nöqtəvi yükün yaratdığı elektrik sahəsi isə qeyri-bircinsdir **(b)**.



Nöqtəvi elektrik yükünün vakuumdə və mühitdə yaratdığı elektrik sahəsinin intensivliyi. Məlumdur ki, nöqtəvi q_0 yükünün vakuumdə yaratdığı elektrik sahəsinə q sınaq yükü gətirilsə, onlar arasında Kulon qarşılıqlı təsiri yaranacaq.



• *Vakuumdə sükunətdə olan iki nöqtəvi yükün qarşılıqlı təsir qüvvəsi* yüklərin modulları hasilinə düz, aralarındakı məsafənin kvadratı ilə tərs mütənasib olub yükləri birləşdirən düz xətt boyunca yönəlir **(c)**:

$$F_0 = k \frac{|q_0| |q|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_0| |q|}{r^2} \quad (1)$$

Burada k mütənasiblik əmsəlidir, onun qiyməti:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{kl^2}$$

Həmin sabit onu göstərir ki, hər birinin yükü 1 Kl , aralarındakı məsafə 1 m olan iki nöqtəvi yük vakuumda bir-birinə $9 \cdot 10^9 \text{ N}$ qüvvə ilə təsir edir.

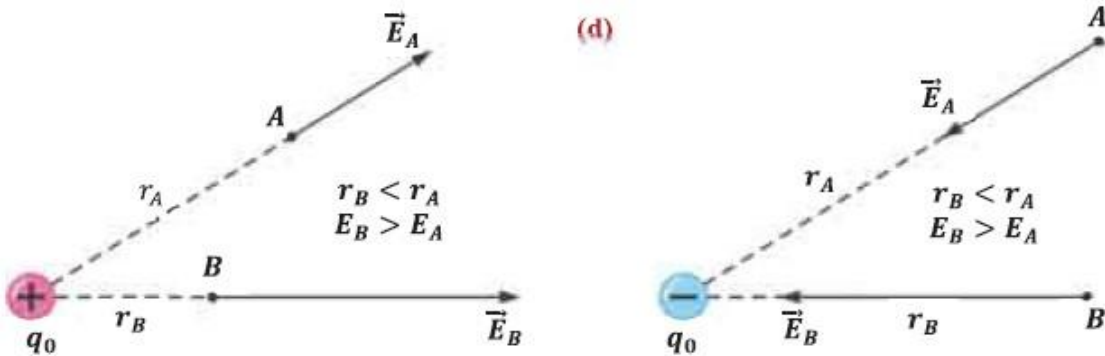
Burada ϵ_0 elektrik sabitidir: $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi} 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{kl^2}{N \cdot m^2}$

Beləliklə, Kulon qanununun riyazi ifadəsi əsasında vakuumda q_0 yükünün yaratdığı elektrik sahəsinin mənbədən ixtiyari r məsafəsindəki nöqtədə intensivliyin modulunu təyin etmək olar:

$$E_0 = \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0}{r^2}$$

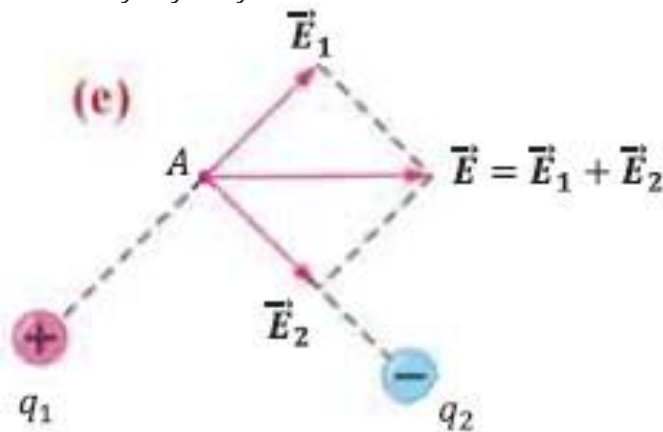
• Nöqtəvi elektrik yükünün vakuumda yaratdığı sahənin intensivliyi bu yükün miqdarından düz, mənbədən sahənin verilən nöqtəsinə qədərki məsafənin kvadratından tərs mütənasib aslıdır.

Əgər q_0 yükü müsbətdirsə, intensivlik vektoru sahənin istənilən nöqtəsində radial istiqamətində yükə xaricə, mənfidirsə, həmin nöqtədən yükə doğru yönəlir **(d)**.



Elektrik sahələri üçün superpozisiya prinsipi ödənilir.

• Fəzanın verilən nöqtəsində bir neçə elektrik yükünün yaratdığı sahənin yekun intensivliyi ayrı-ayrı



yüklərin yaratdığı sahələrin intensivliklərinin həndəsi cəminə bərabərdir.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n.$$

Şəkilə iki nöqtəvi elektrik yükünün **A** nöqtəsində yaratdığı sahənin yekun intensivliyinin təyin olunması sxemi təsvir edilmişdir (**e**).

Mühitdə (bircins dielektrik daxilində) Kulon qüvvəsi vakuumdakına nisbətən ε dəfə azalır:

$$F = \frac{F}{\varepsilon} = k \frac{q_0 I q I}{\varepsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_0 I q I}{r^2}$$

Burada ε mühitin dielektrik nüfuzluğu olub yüklər arasındakı məsafə sabit qalarkən vakuumdən bircins dielektrik daxilinə keçdikdə Kulon qüvvəsinin neçə dəfə azaldığını göstərən, vahidi adsız olan fiziki kəmiyyətdir: $\varepsilon = \frac{F_0}{F}$

Mühitdə elektrik sahəsinin intensivliyi vakuumdakına nisbətən ε dəfə azalır:

$$E = \frac{E_0}{\varepsilon} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_0 I}{r^2}$$

Deməli, mühitin dielektrik nüfuzluğu həm də bircins dielektrik daxilinə elektrik yükünün verilmiş nöqtədə yaratdığı sahənin intensivliyinin vakuumda həmin nöqtədə yaratdığı intensivlikdən neçə dəfə kiçik olduğunu göstərən kəmiyyətdir: $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$

Müxtəlif maddələrin dielektrik nüfuzluğu bir-birindən kəskin fərqlənə bilər. Məsələn, vakuumda $\varepsilon = 1$, distillə edilən suda isə $\varepsilon = 81$ -dir.

Mövzu 10. Dielektriklər elektrik sahəsində. Elektrik cərəyanı.

- Naqıl - elektrik cərəyanını yaxşı keçirən maddədir. Naqillərə aiddir: metallar, elektrolit məhlul və ərintiləri, plazma. Rütubətli hava, insan və heyvan bədəni də elektrik cərəyanını keçirir.
- Elektrik cərəyanının istiqaməti şərh olaraq naqıl daxilindəki elektrik sahəsinin intensivlik vektorunun istiqaməti qəbul edilmişdir.
- Metal naqillərin elektrik keçiriciliyinin fiziki mexanizmi klassik elektron nəzəriyyəsinin əsas müddələri ilə müəyyənləşir. Bunlar aşağıdakılardır:
- Metallar - kristal quruluşa malik fiziki sistemdir. Adi halda metal atomları elektronunu itirərək müsbət iona çevrilir. Kristal qəfəsin düyünlərində yerləşən bu ionlar müəyyən tarazlıq vəziyyətləri ətrafında rəqsi hərəkət edir. Ona görə də ionlar metallarda elektrik cərəyanının yaranması prosesində iştirak edə bilmir.

Metaldə elektronlar ionlararası fəzədə sərbəst hərəkət edir. Ona görə də belə elektronlar **sərbəst elektronlar** adlanır. Müəyyən olunmuşdur ki, metallarda sərbəst elektronların konsentrosiyası $10^{26} \div 10^{28} \text{ m}^{-3}$ -dir.

- Elektrik sahəsi olmadıqda sərbəst elektronlar çoxsaylı toqquşmalar nəticəsində xotik hərəkət edir. Bu hərəkət qaz molekulların nizamsız istilik hərəkətinə bənzədiyindən metallardakı sərbəst elektronlara **elektron qazı modeli** kimi baxılır.
- Naqili cərəyan mənbəyinə birləşdirdikdə yaranan elektrik sahəsi sərbəst elektronların xotik hərəkətinə müəyyən istiqamətdə nizamlılıq verir. Bu zaman hər bir elektronun

nizamlı hərəkət sürəti iki amildən asılı olur: a) ionlarla toqquşmaları sayından; b) elektrik sahəsindən. Naqillərdə sərbəst elektronların nizamlı hərəkətinin sürəti çox kiçikdir.

I. Elektrik keçiriciliyi: xüsusi keçiricilik.

• *Elektrik keçiriciliyi* ($V\alpha$ ya sadəcə: *keçiricilik*) - maddənin elektrik cərəyanını keçirə bilmək xassəsidir. Maddənin bu xassəsi ədədi qiymətə xüsusi elektrik keçiriciliyi ($v\alpha$ ya: *xüsusi keçiricilik*) adlı fiziki kəmiyyətlə xarakterizə olunur.

• *Xüsusi keçiricilik*—ədədi qiymətə maddənin xüsusi müqavimətinin tərs qiymətinə bərabər fiziki kəmiyyətdir.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} (1)$$

Burada σ — maddənin xüsusi keçiriciliyi olub BS-də vahidi $\frac{1}{Om \cdot m}$ -dir.

Xüsusi keçiriciliyin qiymətindən asılı olaraq maddələr 3 qrupa ayrılır: 1. *Naqillər* (keçiricilər) - xüsusi keçiriciliyi $\sigma > 10^6 (Om \cdot m)^{-1}$ olub elektriki yaxşı keçirən maddələrdir. 2. *Dielektriklər* - xüsusi keçiriciliyi $\sigma > 10^{-8} (Om \cdot m)^{-1}$ olub elektriki keçirməyən maddələrdir. *Dielektridlərə* aiddir: qazlar, bəzi mayelər (distillə edilmiş su, yağ və s), şüşə, kauçuk, saxsı və s. 3. *Yarımkeçiricilər* - xüsusi keçiriciliyi dielektriklər ilə naqillər arasında olan maddələrdir. *Yarımkeçiricilərə* aiddir: germanium, silisium, qalay, bəzi oksidlər və sulfidlər, telluridlər və s.

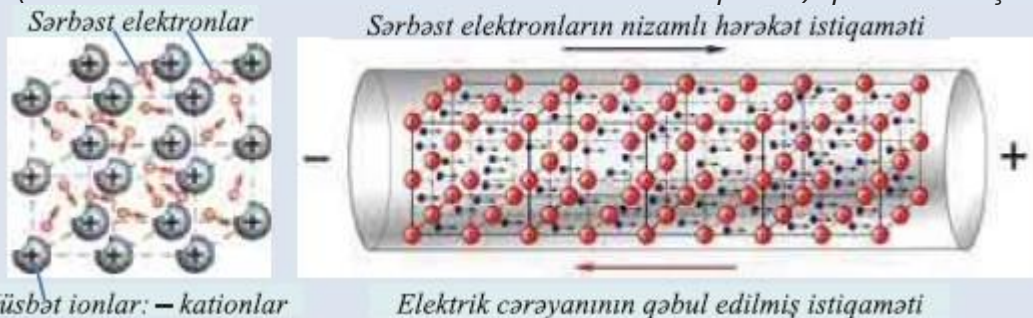
II. Metalların elektrik keçiriciliyi. Metallar xüsusi keçiriciliyinə görə iki qrupa bölünür: yüksək və zəif elektrik keçiriciliyinə malik metallar .

Metalların elektrik keçiriciliyinin klassik elektron nəzəyyəsindən çıxan əsas nəticələr aşağıdakılardır:

1. *Metallar* — *düynlərində elektronunu itirən müsbət ionlar olan kristal qəfəsə malikdir. Bu ionlar yalnız öz tarazlıq vəziyyətləri ətrafında rəqsi hərəkət edir.*
2. *Metallarda vahid həcmdəki sərbəst elektronların sayı (konsentrasiyası), demək olar, vahid həcmdəki atomların sayı qədərdir; məsələn, misdə sərbəst elektronların konsentrasiyası $n = 8,5 \cdot 10^{28} m^{-3}$ -dür.*
3. *Sərbəst elektronlar kristal qəfəsin bütün həcmində xaosik hərəkət edir.*
4. *Sərbəst elektronlar xaosik hərəkət etməklə yalnız ionlarla toqquşur.*
5. *Sərbəst elektronlar toqquşma zamanı öz kinetik enerjilərini tamamilə ionlara verir.*
6. *Sərbəst elektronların hərəkəti Nyuton qanunlarına tabedir.*
7. *Metal xarici elektrik sahəsinə gətirildikdə (onun uclarında potensiallar fərqi yaradıldıqda) xaosik hərəkət edən sərbəst elektronlar nizamlı hərəkət alır metal naqildə elektrik cərəyanı yaranır.*

Metal daxilində kollektivləşmiş sərbəst elektronlar ideal qaz molekulları kimi daim xaosik hərəkətdədir. Bu kollektivləşmiş "elektron qazı" bütün kristal üçün ümumi olub müsbət yüklü ionları əlaqələndirməklə güclü metallik rabitə əmələ gətirir. Metal daxilində, elektrik sahəsi yaradıldıqda elektronlara intensivlik vektorunun əksi istiqamətində $F_e = -eE$ elektrik qüvvəsi təsir edir. Həmin qüvvə xaosik hərəkət edən elektronlara nizamlı hərəkət verir. Hər tərəfdən bu elektronlara qəfəsə düynlərində yerləşən ionlar tormozlayıcı təsir göstərir. Nəticədə bu iki qüvvənin təsirinə məruz qalan sərbəst elektronların nizamlı

hərəkət sürəti sabit qalır - metalda sabit cərəyan yaranır. Lakin elektrik cərəyanının istiqaməti 1820-ci ildə fransız alimi Amperin təklifi ilə müsbət yüklü zərrəciklərin hərəkət istiqaməti (xarici elektrik sahəsinin intensivlik vektorunun istiqaməti) qəbul edilmişdir.



Metallarda elektrik cərəyanını xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlər *cərəyan şiddəti və cərəyan sıxlığıdır.*

• *Cərəyan şiddəti - ədədi qiymətçə vahid zamanda naqilin en kəsiyindən keçən elektrik yükünün miqdarına bərabərdir.* Əgər naqilin en kəsiyindən Δt müddətində Δq miqdarda elektrik yükü keçərsə, cərəyan şiddəti:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q'(t) \quad (2)$$

Deməli, *cərəyan şiddəti - elektrik yükünün zamana görə birinci tərtib törəməsinə bərabərdir.*

• *Cərəyan şiddətinin qiyməti və cərəyanın istiqaməti zaman keçdikcə dəyişmirsə, belə cərəyan sabit cərəyan adlanır.*

$$I = \frac{q}{t} \quad (3)$$

Cərəyan şiddəti skalyar fiziki kəmiyyət olub BS-də vahidi amperdir: $[I] = 1 \text{ A}$.

Cərəyan şiddətinin vahidi amper elektrik cərəyanının maqnit təsirinə əsasən müəyyən edilmişdir.

• *1A elə cərəyan şiddətidir ki, vakuumba aralarındakı məsafə 1 m olan iki paralel sonsuz uzun və nazik naqillərin hər birindən eyni şiddətdə cərəyan keçdikdə onların hər birinin, digərinin 1 m uzunluqlu hissəsinə $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ qüvvə ilə təsir etmiş olsun.*

Cərəyan şiddəti yükdaşıyıcı zərrəciyin yükündən (q_0), onların konsentrasiyasından, istiqamətlənmiş hərəkət sürətindən və naqilin en kəsiyindən asılıdır:

$$I = q_0 n v S. \quad (4)$$

Metallarda yükdaşıyıcılar sərbəst elektronlar (e) olduğundan (4) ifadəsini belə də yazmaq olar:

$$I = e n v S. \quad (5)$$

• *Cərəyan sıxlığı - ədədi qiymətçə naqildəki cərəyan şiddətinin onun en kəsik sahəsinə nisbətində bərabər fiziki kəmiyyətdir.*

$$j = \frac{I}{S}$$

Mövzu 11.Om qanunu.

R - naqilin xarakteristikası olub elektrik müqavimətidir. Onun BS-də vahidi Om-dur:

$$[R] = \frac{[U]}{[I]} = 1 \frac{V}{A} = 1 \text{ Om.}$$

• Naqilin müqaviməti onun uzunluğundan, en kəsik sahəsindən və hazırlandığı maddədən asılıdır:

$$R = \frac{1}{S} \rho$$

Burada ρ — xüsusi müqavimətdir.

• Xüsusi müqavimət - ədədi qiymətcə uzunluğu 1 m, en kəsinin sahəsi 1 m² olan naqilin müqavimətidir. O, naqilin hazırlandığı maddədən asılı olan fiziki kəmiyyət olub BS-də vahidi ommetrdir: $[\rho] = \frac{S}{l} R = 1 \text{ m} \cdot \text{Om}$.

• Metal naqilin müqaviməti temperaturdan asılıdır. Kiçik temperatur intervalında metal naqillərin müqaviməti temperaturdan xətti asılıdır:

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t) \text{ və ya } R = R_0(1 + \alpha \Delta T).$$

Burada α - müqavimətin temperatur əmsalıdır.

• Müqavimətin temperatur əmsalı ədədi qiymətcə naqili 1°C (1 K) qızdırdıqda onun müqavimətinin nisbi dəyişməsinə bərabərdir: $\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 \Delta T}$

Təmiz metallar üçün müqavimətin temperatur əmsalı həmişə $\alpha > 0$ olur və müxtəlif metallar üçün müxtəlif qiymətə bərabərdir.

• Naqilin elektrik müqavimətinin sıfıra qədər azaldığı temperatur böhran temperaturu, ondan aşağı temperaturdakı keçiricilik isə ifrat keçiricilik adlanır.

Dövrə hissəsi üçün Om qanunu. Naqildən elektrik cərəyanının keçməsi üçün onun uclarında potensial fərqi olmasa zəruri şərt deyil. Elektrik dövrəsinin ixtiyari hissəsinin uclarıdakı potensial fərqi (elektrik gərginliyi) ədədi qiymətcə hamın hissə boyunca 1 Kl yük keçdikdə görülən işə bərabərdir:

$$U = \frac{A}{q} \quad (1).$$

Dövrə hissəsindən keçən cərəyan şiddəti həmin hissənin uclarıdakı gərginlikdən asılıdır. Bu asılılıq 1827-ci ildə alman alimi Georq Om (1787-1854) tərəfindən təcrübi olaraq müəyyən edilmiş və **Om qanunu** adlanır.

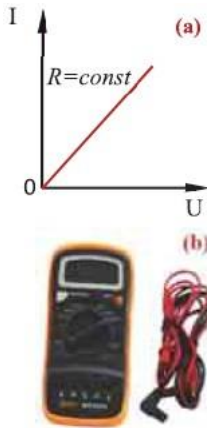
• *Dövrənin müəyyən hissəsindəki cərəyan şiddəti həmin hissənin uclarıdakı gərginliklə düz, onun müqaviməti ilə tərs mütənasibdir:*

$$I = \frac{U}{R} \quad (2)$$

İstənilən növ naqildən keçən cərəyan şiddətinin onun uclarıdakı gərginlikdən asılılığı naqilin *volt-ampere xarakteristikası* (VAX) adlanır. Metal naqillər üçün VAX koordinat başlanğıcından keçən düz xətdir (**a**).

• Dövrə hissəsindəki cərəyan şiddətinin onun müqavimətinə hasili gərginlik düşküsi adlanır:

$$U = IR. (3)$$



Burada R - naqilin müqavimətidir. O , naqilin əsas elektrik xarakteristikalarından biridir. Naqilin müqaviməti gərginlik və cərəyan şiddətindən asılı deyildir.

• Metal naqilin müqaviməti onun materialından, həndəsi ölçülərindən və temperaturundan asılıdır.

$$R = \rho \frac{l}{S}. (4)$$

Naqilin müqaviməti *ommetr* adlanan cihazla ölçülür. Cihazda müqavimət Ω (omeqa) simvolu ilə işarə edilir **(b)**. Cihazın birləşdirici naqillərini müqaviməti ölçülən metal məftilin uclarına toxundurmaq kifayət edir.

Metalların müqavimətinin temperaturdan asılılığı. Müqavimət naqildə elektrik cərəyanının yaranmasına göstərilən əks-təsirin ölçüsüdür. Klassik elektron nəzəriyyəsinə görə, metal naqildə müqavimətin yaranmasının səbəbi nizamlı hərəkət edən sərbəst elektronların kristal qəfəsin düyünlərində rəqsi hərəkətdə olan müsbət ionlarla toqquşmasıdır.

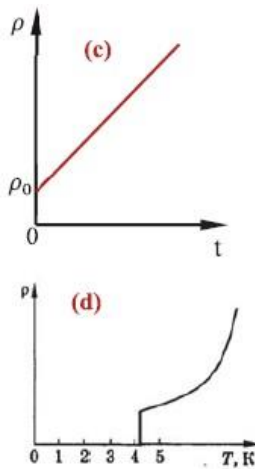
Naqilin temperaturu artdıqda hər bir elektronun sərbəst yolunun uzunluğu (ionlarla iki ardıcıl toqquşma arasındakı məsafə) və bu yola sərf etdiyi orta zaman müddəti azalır. Kristal qəfəsin düyünlərindəki ionların rəqs amplitudu isə artır. Nəticədə elektronların ionlarla toqquşma sayı çoxalır. Onlar elektrik sahəsində əldə etdikləri kinetik enerjini tamamilə ionlara ötürməklə nizamlı hərəkət sürətlərini, demək olar, sıfıra qədər azaldır. Bu da naqilin müqavimətinin artmasına gətirir.

Təcrübələr göstərir ki, metal naqilin müqavimətinin nisbi dəyişməsi onun temperaturunun dəyişməsi ilə düz mütənasibdir:

$$\frac{R-R_0}{R_0} = \alpha \Delta T$$

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta T). (6)$$

Burada R_0 — naqilin 273K (0°C) temperaturunda müqaviməti, R — naqilin T temperaturunda müqaviməti, α — müqavimətin temperatur əmsalidir.



• *Müqavimətin temperatur əmsalı — ədədi qiymətçə naqili 1°C (1K) qızdırdıqda onun müqavimətinin nisbi dəyişməsinə bərabərdir.*

Naqili qızdırdıqda onun həndəsi ölçüləri cüzi dəyişdiyindən bu dəyişmə nəzərə alınmaya bilər. Belə halda (4) düsturunu nəzərə alsaq, metal naqilin xüsusi müqavimətinin də temperaturdan xətti asılı olduğu almar **(c)**:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T). \quad (7)$$

İfrat keçiricilik. Hollandiya fiziki Hayke Kamerling-Onnes (1853-1926) 1911-ci ildə təmiz civəni (aşqarsız) maye heliumda soyudan zaman onun xüsusi müqavimətinin əvvəlcə tədricən azaldığını, lakin 4,1 K temperaturunda isə sıçrayışla sıfıra qədər endiyini müşahidə etdi **(d)**. Bu hadisə *ifratkeçiricilik* adlandırıldı. 1913-cü ildə bu işlərinə görə Kamerling-Onnes fizika üzrə Nobel mükafatına layiq görülmüşdür.

• **İfratkeçiricilik** — maddənin sonsuz xüsusi keçiriciliyə malik olmaq xassəsidir. Belə maddə müəyyən temperaturda xüsusi müqavimətini tamamilə itirir.

1986-cı ildə alman fiziki Yohannes Bednors (1950) və İsveçrə fiziki Karl Müllər (1927) tərkibinə mis, lantan və barium oksidi aşqan vurulmuş keramik materialında 30K temperaturunda ifratkeçiricilik xassəsi aşkar etdilər. Orlar *yüksək temperaturda ifratkeçiricilik* adlandırılan bu eksperimental işlərinə görə 1987-ci ildə fizika üzrə Nobel mükafatına layiq görüldülər. Hazırda müxtəlif aşqarh keramiklərdə ifratkeçiriciliyi daha yüksək - 100K ÷ 169K temperaturda almaq mümkün olmuşdur. Aparılan çoxsaylı təcrübələrdən ifratkeçirici maddələrdə qeyri-adi xassələr aşkar edilmişdir. Məsələn, müəyyən edilmişdir ki, ifratkeçirici keramik məftildən hazırlanan elektromaqnitdə cərəyan yaratdıqdan sonra mənbə aradan qaldırılarsa, həmin elektromaqnitdə cərəyan şiddəti uzun müddət dəyişməz qalır. Belə elektromaqnit Coul-Lens istiliyi ayırmadığından (ifratkeçirici naqillərdə istilik təsiri olmur), o, uzun müddət güclü maqnit sahəsi yarada bilər. İfratkeçirici maqnitlər elementar yüklü zərrəciklərin sürətləndiricilərində, qaynar plazmanı idarə edən qurğularda və s.-də tətbiq olunur.

Mövzu 12. Sabit cərəyanın işi və gücü.

Elektrik sahəsinin enerji xarakteristikası elektrik gərginliyi və ya sadəcə gərginlik adlanır.

- Vahid yükü elektrik sahəsinin iki nöqtəsi arasında hərəkət etdirmək üçün elektrik sahəsinin gördüyü iş sahənin bu iki nöqtəsi arasındakı elektrik gərginliyi və ya gərginlik adlanır:

$$U = \frac{A}{q}$$

Gərginlik sahənin enerji xarakteristikası olub BS-də vahidi voltdur: $[U]=1 \text{ C}$
 $KI=1V$

- Mexaniki iş — cismə təsir edən qüvvənin modulu yerdəyişmənin modulu və bu qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları arasında qalan bucağın kosinusunu hasilinə bərabərdir:

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

Yerin qravitasiya sahəsində ağırlıq qüvvəsinin gördüyü iş: $A = F_g \cdot h = mgh$.

- Ağırlıq qüvvəsinin işi cismin hərəkət trayektoriyasının formasından asılı deyil, o, cismin kütlə mərkəzinin başlanğıc və son hündürlüklərinin fərqiindən asılıdır.

$$A = -(mgh_2 - mgh_1)$$

- Gördüyü iş cismin hərəkət trayektoriyasından asılı olmayan qüvvələr konservativ qüvvələr adlanır. Deməli, ağırlıq qüvvəsi konservativ qüvvədir.

Bu müddəə ağırlıq qüvvəsinin təsiri ilə qarşılıqlı təsirdə olan sistem üçün "potensial enerji" anlayışını çıxarmağa imkan verir. Belə ki, sonuncu düsturdakı mgh ifadəsi Yer səthindən h hündürlükdə yerləşən cisimlə Yerin qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisidir:

$$E_p = mgh.$$

- Ağırlıq qüvvəsinin gördüyü iş əks işarə ilə cismin potensial enerjisinin dəyişməsinə bərabərdir:

$$A = -(E_2 - E_1) = -\Delta E_p.$$

Bircins elektrik sahəsinin işi. Müsbət q sınaq yükü bircins elektrik sahəsində sabit $\vec{F}_e = q\vec{E}$ qüvvəsinin təsiri ilə sahənin ixtiyari iki nöqtəsi arasında \vec{s} yerdəyişməsi etdikdə elektrik qüvvəsi iş görür (**a**):

$$A = F_e \cdot s \cdot \cos \alpha.$$

Burada α - sahənin qüvvə xətti və yükün yerdəyişmə vektoru arasındakı bucaqdır. Yerdəyişmənin qüvvə xətti üzrə proyeksiyası $d = s \cdot \cos \alpha$ olduğundan sahənin gördüyü iş üçün alınır:

$$A = qEd. (1)$$

- Müsbət q sınaq yükünün elektrik qüvvəsinin təsiri altında yerdəyişməsi zamanı bircins elektrik sahəsinin gördüyü iş bu yükün miqdarı, elektrik sahəsinin intensivliyinin modulu, qüvvə xətti istiqamətində yükün yerdəyişməsinin modulu hasilinə bərabərdir.

(1) ifadəsini belə də yazmaq olar:

$$A = qE(r_1 - r_2). (2)$$

Burada r_1 və r_2 - uyğun olaraq mənfə yüklü lövhədən 1 və 2 nöqtəsinə qədər olan məsafədir.

Elektrik sahəsinin işi sınaq yükünün miqdarından düz mütənasib asılı olduğundan $\frac{A}{q}$ nisbəti də sınaq yükündən və onun hansı trayektoriya üzrə hərəkətindən asılı deyildir. Həmin nisbət yalnız sahədən və bu sahədə yükün başlanğıcda və sonda olduğu nöqtələrin seçilməsindən asılıdır. *Ona görə də deyilir ki, elektrik sahəsində sınaq yükünün sahənin bir nöqtəsindən digərinə hərəkəti zamanı elektrik qüvvəsinin gördüyü iş trayektoriyam formasından asılı olmadığına görə elektrik qüvvəsi konservativ qüvvə, elektrik sahəsi isə konservativ-potensiallı sahədir.*

• *Elektrik yükünün sahənin bir nöqtəsindən digərinə hərəkəti zamanı sahənin gördüyü işin həmin yükün miqdarına nisbətində bərabər olan kəmiyyət bu iki nöqtə arasındakı **potensiallar fərqi** və ya **gərginlik** adlanır:*

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} \quad (3)$$

Burada $(\varphi_1 - \varphi_2)$ - potensiallar fərqi. İndeksdəki 1 və 2 rəqəmləri sınaq yükünün elektrik sahəsinin hansı nöqtələri arasında hərəkət etdiyini göstərir. Potensiallar fərqinin BS-də vahidi voltdur: $[\varphi_1 - \varphi_2] = 1 \frac{C}{kl} = 1V$.

(3) ifadəsindən yükün elektrik sahəsinin iki nöqtəsi arasında hərəkəti zamanı sahənin gördüyü iş təyin edilə bilər:

Yükün elektrik sahəsinin iki nöqtəsi arasında hərəkəti zamanı sahənin gördüyü iş yükün miqdarı ilə həmin nöqtələr arasındakı potensiallar fərqinin (gərginliyin) hasilinə bərabərdir.

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU \quad (4)$$

(1) və (3) düsturlarının müqayisəsindən bircins elektrik sahəsində *intensivliklə gərginlik arasında əlaqə düsturu alınır:*

$$U = \frac{A}{q} = \frac{qEd}{q} = Ed \rightarrow E = \frac{U}{d} \text{ və ya } E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \quad (5)$$

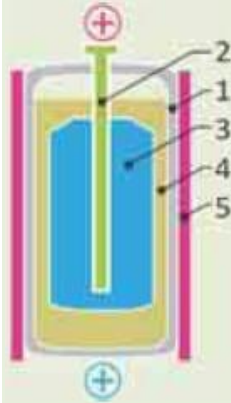
Sahənin intensivliyinin istiqaməti potensial böyük nöqtədən kiçiyə doğru

Mövzu 13. Coul - Lens qanunu.

Naqildən elektrik cərəyanının uzun müddət keçməsi üçün onun uclarında fasiləsiz olaraq potensiallar fərqi yaradılmalıdır: naqilin uclarında fasiləsiz olaraq elektrik yüklərinin toplanması təmin edilməlidir. Bu məqsədlə

cərəyan mənbəyindən və ya generator adlanan qurğudan istifadə olunur.

- Cərəyan mənbəyində elektrik yüklərinin ayrılması baş verir: müsbət yüklər onun bir qütbündə, mənfi yüklər isə digər qütbündə toplanır.
- İş prinsipi kimyəvi reaksiyaya əsaslanan cərəyan mənbəyi *qalvanik element* adlanır. O, italyan biologu Luici Qalvaninin şərafinə adlandırılmışdır: alim heyvanlar üzərində təcrübə apararkən əzələ yığılması zamanı elektrikliyə hadisəsini aşkar etmişdir.

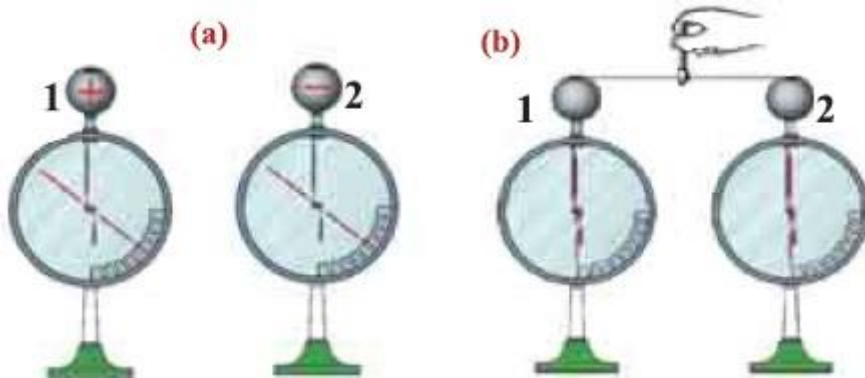


Müasir quru qalvanik element daxilində kömür çubuğu **(2)** olan sink qabından **(1)** ibarətdir. Kömür çubuğu içərisində manqan oksidi ilə kömür qarışığı olan kətan kisəciyində **(3)** yerləşdirilir. Kisəcik naşatır məhlulu ilə un qarışığından hazırlanmış qatı yapışqanla **(4)** əhatə edilir. Sink qab karton qutu **(5)** içərisinə qoyulur və üstdən qatran qatı ilə örtülür. Elementin daxilində gedən kimyəvi reaksiyalar nəticəsində kömür çubuq müsbət, sink qab isə mənfi yüklənir.

Elektrik dövrəsi müxtəlif elementlərdən ibarət ola bilər: a) cərəyan mənbəyi; b) elektrik işlədici (lampa, elektrik zəngi, elektrik qızdırıcısı, televizor və s.); c) elektrik açan; d) elektrik ölçü cihazları (ampermetr, voltmetr və s.); e) birləşdirici naqillər.

► Dövrə hissəsindən cərəyan keçəndə naqildən müəyyən miqdar istilik ayrılır - dövrədə enerji itkisi baş verir. Lakin dövrədən cərəyan keçməsi davam edir. Bu o deməkdir ki, enerjinin saxlanması qanununa görə enerji itkisinə məruz qalan dövrəyə fasiləsiz olaraq kənarından enerji verilir.

Kənar qüvvələr. İki eyni elektrometrin metal sferalarını əksişarəli yüklə elektriləndirib naqillə birləşdirək **(a və b)**. Sferalardakı potensiallar fərqi hesabına naqildə yaranan elektrik sahəsi onun sərbəst elektronlarını nizamlı hərəkətə gətirir. Nəticədə naqildə elektrik cərəyanı yaranır və dərhal da kəsilir - elektrometrlər boşalır. Bu o deməkdir ki, sferalar arasındakı potensiallar fərqi yox olur və



elektrik sahəsi naqildə fasiləsiz sabit elektrik cərəyanı yarada bilmir.

Cərəyanın uzun müddət mövcud olması üçün **1** və **2** metal sferaları arasında potensiallar fərqi saxlamaq lazımdır. Bunun üçün xüsusi qurğulardan - cərəyan mənbələrindən istifadə edilir. Əgər elektrostatik sahə naqildəki sərbəst elektronları yalnız potensialı az olan hissədən çox olan hissəyə hərəkət etdirsə, cərəyan mənbəyinin

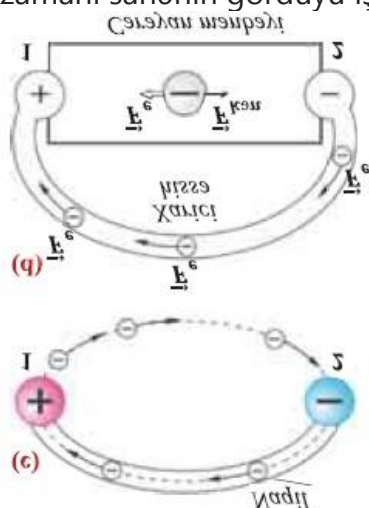
vəzifəsi isə bu elektronları yenidən potensialı az olan hissəyə (mənfi yüklü qütbə) qaytarmaqdır **(c)**. Deməli, cərəyan mənbəyində sərbəst elektronlar elektrik sahəsi istiqamətində hərəkət etməlidir. Bu isə o zaman mümkündür ki, cərəyan mənbəyində yüklərə elektrostatik təbiətə malik olmayan qüvvələr təsir etsin.

- *Yüklü zərrəciklərə təsir edən və elektrostatik təbiətə malik olmayan bütün qüvvələr kənar qüvvələr adlanır.*

- *Cərəyan mənbəyi — sərbəst yüklü zərrəciklərə təsir edən kənar qüvvələr yaradan qurğudur.*

Kənar qüvvələr kimyəvi təbiətli (qalvanik elementdə), istilik təbiətli (termoelementdə), işıq təbiətli (fotoelementdə) və s. ola bilər.

Qeyd edək ki, dövrdə sabit elektrik cərəyanının olması üçün kənar qüvvələrin zəruriliyi enerjinin saxlanması qanununun nəticəsidir. Belə ki, elektrostatik sahə potensialı sahə olduğundan qapalı elektrik dövrəsi boyunca yüklü zərrəciklərin hərəkəti zamanı sahənin gördüyü iş sıfıra bərabərdir.



Naqildən elektrik cərəyanı keçdikdə onda enerji itkisi baş verir - naqildən Coul - Lens istiliyi ayrılır. Ona görə də dövrdə digər enerji mənbəyi olmalıdır ki, onun işi hesabına itirilən enerji bərpa edilsin. Cərəyan mənbəyindəki kənar qüvvələr qeyri-potensiallı olmalıdır ki, qapalı dövrdə onların gördüyü iş sıfırdan fərqli olsun. Kənar qüvvələrin işi hesabına yükdaşıyıcılar cərəyan mənbəyi daxilində enerji alır. Odur ki cərəyan mənbəyinin qütblərinə naqil birləşdirdikdə sərbəst elektronları mənbə daxilində kənar qüvvələr, naqildə isə elektrostatik qüvvələr hərəkətə gətirir **(d)**.

Elektrik hərəkət qüvvəsi. Bilirsiniz ki, elektrik cərəyanı yaradan sahənin sıfırdan fərqli gördüyü iş *induksiya elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ)* adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə edilir (*bax: 1.9 mövzusu*).

Mövzu 14. Maqnit sahəsi və onun xassələri.

Cisimləri bir-birinə sürtdükə onların səthlərində **elektrik yükləri** yaranır. Bu halda deyilir ki, cisimlər **elektriklənir** - ona **elektrik yükü** verilmişdir və ya o, **elektrik yükü** itirmişdir.

- Elektriklənmiş cisimlər arasında elektrik qarşılıqlı təsiri onların yüklərinin işarəsindən asılı olaraq ya itələmə, ya da cazibə xarakterli olur:
 - eyni növ elektrik yükünə malik cisimlər bir-birini itələyir;
 - müxtəlif növ elektrik yükləri ilə elektriklənən cisimlər bir-birini cəzb edir.
- Təbiətdə iki növ elektrik yükü mövcuddur: müsbət elektrik yükü (+) və mənfəi elektrik yükü (-). Eyni işarəli elektrik yükləri bir-birini itələyir, müxtəlif işarəli elektrik yükləri isə bir-birini cəzb edir. Artıq elektrik yükü olmayan cisimlər elektroneytral (elektrik cəhətdən neytral) və ya yüksüz cisim adlanır.
- Elektrik yükü **q** hərfi ilə işarə edilir. Onun BS-də vahidi fransız fiziki Şarl Kulonun şərəfinə kulon (**Kl**) qəbul edilmişdir: $[q]=1\text{Kl}$.
- Elektostatik sahə - sükunətdə olan elektrik yüklərinin yaratdığı maddəyə növüdür.
- Elektrik sahəsinin intensivliyi bu sahənin qüvvə xarakteristikasıdır. Elektrik sahəsinin intensivliyi vektorial kəmiyyət olub bu sahədəki müsbət yükə təsir edən elektrik qüvvəsinin istiqamətində yönəlir. Maqnit xassəsini uzun müddət özündə saxlayan maddələr **sabit maqnitlər** və ya sadəcə, **maqnitlər** adlanır. Hər bir maqnitin iki qütbü olur: şimal (N) və cənub (S). Maqnitlərin müxtəlifadlı qütbləri bir-birini cəzb edir, eyniadlı qütbləri isə bir-birini itələyir.
- Maqnit sahəsi - hərəkətdə olan elektrik yüklərinin yaratdığı maddəyə növüdür.
- Maqnit sahəsinin induksiyası (və ya maqnit induksiyası) bu sahənin qüvvə xarakteristikasıdır. Maqnit induksiya vektorunun istiqaməti - bu sahənin verilmiş nöqtəsində yerləşən maqnit əqrəbinin şimal qütbünün yönəldiyi istiqamətdədir.

Elektrik yükü

• *Elektrik yükü — zərrəciklərin və ya cisimlərin ətraflarında elektromaqnit sahəsi yaratma xassəsidir. Elektrik yükü bu xassənin kəmiyyət ölçüsü olaraq da qəbul edilir.*

Elektrik yüklü zərrəciklər arasındakı qarşılıqlı təsir elektromaqnit qarşılıqlı təsir adlanır. Məsələn, proton müsbət, elektron mənfəi yüklü zərrəcikdir dedikdə onlar arasında elektromaqnit qarşılıqlı təsirinin mövcud olduğunu əminliklə söyləmək olar. Lakin yüksüz (elektroneytral) zərrəciklər arasında elektromaqnit qarşılıqlı təsirləri mövcud olmur. Ona görə də deyilir ki:

Elektrik yükü elektromaqnit qarşılıqlı təsirinin intensivliyini müəyyən edir.

Elektrik yükü aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdir:

1. *Elektrik yükü diskretdir (kəsilməz deyil, bölünəndir) - cismin elektrik yükü elementar yükün tam misillərinə bərabərdir:*

$$q = \pm Ne.$$

Burada N cismin aldığı və ya verdiyi elektronların sayıdır.

Təbiətdə ən kiçik elektrik yükünün mütləq qiyməti **elementar yük** adlanır. Elementar yük **e** hərfi ilə işarə edilir və ədədi qiymətə elektronun və ya protonun yükünün mütləq qiymətinə bərabərdir:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl.}$$

Təbiətdə elektron və protonlardan başqa, bir neçə növ elementar zərrəciklər də mövcuddur. Lakin yalnız elektronlar və protonlar sərbəst halda sonsuz müddət mövcud ola bilər. Digər yüklü elementar zərrəciklər isə çox az - saniyənin milyonda bir hissəsi qədər yaşaya bilər. Onlar sürətli zərrəciklərin toqquşması nəticəsində yaranır və dərhal da digər zərrəciklərə çevrilir.

Mövzu 15. Lorens qüvvəsi.

- Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə xətti sürət ədədi qiymətə gedilən yolun bu yolu getməyə sərf olunan zamana nisbətində bərabər

$$v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T}$$

Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən maddi nöqtənin mərkəzaqaçma təcilinin modulu xətti sürət kvadratının çevrənin radiusuna nisbətində bərabərdir: $\alpha = \frac{v^2}{R}$

- Maqnit sahəsinin hərəkət edən yüklü zərrəciyə təsir qüvvəsi Lorens qüvvəsi adlanır.

$$F_L = qBv \sin \alpha$$

Yüklü zərrəcik maqnit sahəsinə induksiya xətlərinə perpendikulyar istiqamətdə daxil olarsa, Lorens qüvvəsi maksimal qiymət alır: $F_{L \max} = qBv$.

Lorens qüvvəsi \vec{B} və \vec{v} vektorlarına perpendikulyardır və onun istiqaməti sol əl qaydası ilə təyin olunur.

• **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.

• Maqnit sahəsi - verilən hesablaşma sistemində nəzərə alınmayan maqnit sahəsinin induksiya sıfırdan fərqli ($\vec{B} \neq 0$), elektrik sahəsinin intensivliyi isə sıfır olan ($\vec{E} = 0$) elektromaqnit sahəsidir.

Maqnit sahəsində hərəkət edən yüklü zərrəciyə Lorens qüvvəsi təsir edir:

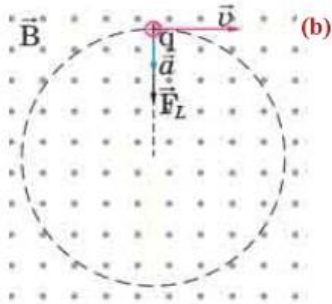
$$F_L = qBv \sin \alpha. (1)$$

Lorens qüvvəsinin istiqaməti zərrəciyin hərəkət sürətinə perpendikulyar olduğundan ($\vec{F}_L \perp \vec{v}$) bu qüvvə iş görmür: $A = 0$. Bu səbəbdən Lorens qüvvəsi nə zərrəciyin sürətini və impulsunun modulunu, nə də kinetik enerjisini dəyişə bilmir. O yalnız zərrəciyin hərəkət istiqamətini dəyişir. Zamana görə dəyişməyən bircins maqnit sahəsində yüklü zərrəciyin hərəkət tənliyi ($v \ll c$ şərti ilə) Nyutonun II qanununa əsasən belə yazılır:

$$m\alpha = |q|B \sin \alpha (2)$$

Zərrəcik maqnit qüvvə xətlərinə perpendikulyar istiqamətdə ($\vec{v} \perp \vec{B}$) sahəyə daxil olduqda ona maksimal Lorens qüvvəsi təsir edir ($\sin 90^\circ = 1$):

$$F_{max} = |q|Bv$$



Bu halda zərrəciyin hərəkət tənliyi:

$$ma = |q|Bv \quad (3)$$

Lorens qüvvəsi zərrəciyə mərkəzəqaçma təcili verərək ($\vec{F}_L \perp \vec{v}$ olduğundan) onu radiusu R olan çevrə üzrə hərəkət etdirir (b):

$$\alpha = \frac{v^2}{R}$$

Beləliklə, zərrəciyin hərəkət tənliyi üçün alarıq:

$$\frac{mv^2}{R} = |q|Bv. \quad (4)$$

(4)-dən zərrəciyin dövr etdiyi çevrənin radiusunun asılı olduğu kəmiyyətləri müəyyən etmək olar:

$$R = \frac{mv}{|q|B} = \frac{p}{|q|B} = \frac{\sqrt{2mE_k}}{|q|B}. \quad (5)$$

Burada p və E_k uyğun olaraq zərrəciyin impulsunun modulu və kinetik enerjisidir.

•Maqnit sahəsində yüklü zərrəciyin "cızdığı" çevrənin radiusu onun hərəkət sürətinin (impulsunun) modulu ilə düz, maqnit induksiya vektorunun modulu ilə tərs mütənasibdir.

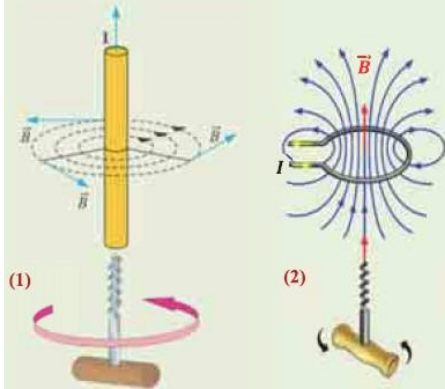
Zərrəciyin çevrə üzrə dövretmə periodu isə onun kütləsindən, yükünün miqdarından və maqnit sahə induksiyasının modulundan asılıdır:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}. \quad (6)$$

Mövzu 16. Amper qanunu.

Cərəyanın yaratdığı maqnit sahəsinin induksiya vektorunun istiqamətini **sağ yivli burğu qaydası** ilə təyin etmək əlverişlidir: burğunun irəliləmə hərəkəti

naqıldəki cərəyan istiqamətində olarsa, onun dəstəyinin fırlanma istiqaməti bu cərəyanın yaratdığı maqnit induksiyası vektorunun istiqamətini göstərəcəkdir (1). Dairəvi cərəyanın da maqnit induksiyasının istiqamətini **sağ yivli burğu qaydası** ilə təyin etmək olur: burğunun dəstəyini dairəvi cərəyan istiqamətində burduqda burğunun irəliləmə hərəkətinin istiqaməti dairəvi cərəyanın daxilində maqnit sahəsinin induksiyasının istiqamətini göstərəcəkdir (2).



• Cərəyanlı naqil bircins maqnit sahəsində yerləşərsə, ona təsir edən Amper qüvvəsinin modulu cərəyan şiddəti, maqnit induksiya vektorunun modulu, naqilin uzunluğu və cərəyanın istiqaməti ilə maqnit induksiya vektoru arasındakı bucağın sinusuna bərabərdir:

$$F = IB\sin\alpha.$$

Amper qüvvəsinin istiqaməti sol əl qaydası ilə təyin edilir: sol əli maqnit sahəsində elə yerləşdirmək lazımdır ki, maqnit induksiya xətləri ovuca perpendikulyar daxil olsun və uzadılmış dörd barmaq cərəyanın istiqamətində yönəlsin. Bu zaman 90° bucaq qədər açılan baş barmaq cərəyanlı naqilə təsir edən Amper qüvvəsinin istiqamətini göstərir.

Danimarka alimi H.Ersted təcrübi olaraq cərəyanı naqillə maqnit əqrəbinin qarşılıqlı təsirini aşkar etdikdən sonra fransız fiziki A.Amper iki paralel cərəyanı naqilin sabit maqnitlər kimi qarşılıqlı təsirini aşkar etdi. Məlum oldu ki, eyni istiqamətdə cərəyan keçən iki paralel naqil arasında cazibə xarakterli, əks istiqamətli cərəyanı naqillər arasında isə itələmə xarakterli maqnit qarşılıqlı təsiri baş verir. Elektrik cərəyanı yüklü zərrəciklərin nizamlı hərəkəti olduğuna görə maqnit qarşılıqlı təsiri də hərəkətdə olan yüklü zərrəciklərin fəzada yaratdıqları maqnit sahələrinin qarşılıqlı təsiridir.

Maqnit sahəsinə gətirilən istənilən cərəyanı naqilə (*sınaq cərəyanı*) sahə tərəfindən müəyyən qüvvə təsir edir. Amper qüvvəsi adlanan bu qüvvənin modulu naqildəki cərəyan şiddəti, maqnit induksiya vektorunun modulu, naqilin uzunluğu və cərəyanın istiqaməti ilə maqnit induksiya vektoru arasında qalan bucağın sinusuna bərabərdir:

$$F_A = IB\sin\alpha.$$

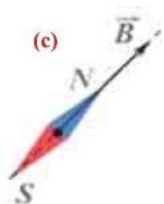
Məlumdur ki, Amper qüvvəsinin istiqaməti sol əl qaydası ilə təyin olunur. Əgər *sınaq cərəyanı sahənin induksiya vektoruna perpendikulyar olarsa* ($\sin 90^\circ = 1$), bu cərəyanı təsir edən Amper qüvvəsi maksimal qiymət alır:

$$F_{max} = IB.$$

Bu düsturdan maqnit sahəsinin qüvvə xarakteristikası olan maqnit sahə induksiya vektorunun fiziki mənasını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar.

• Maqnit sahəsinin induksiya vektorial kəmiyyətdir, onun modulu maqnit sahəsinə gətirilən *sınaq cərəyan elementinə* ($I \cdot l$) təsir göstərən maksimal qüvvəni xarakterizə edir:

$$B = \frac{F_{max}}{Il}$$



• Maqnit induksiyası vektorunun istiqaməti olaraq maqnit sahəsində sərbəst dönə bilən maqnit əqrəbinin şimal qütübünün yönəldiyi istiqamət götürülür **(c)**.

Maqnit induksiyasının BS-də vahidi tesladır (1 Tl):

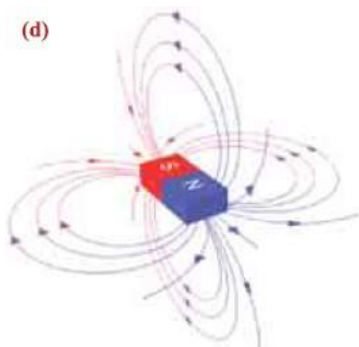
$$[B] = \frac{F_{max}}{IL} = 1 \frac{N}{A \cdot m} = 1 \text{ Tl}$$

• 1 tesla - elə bircins maqnit sahəsinin induksiyasıdır ki, bu sahə maqnit induksiya xətlərinə perpendikulyar yerləşən 1 m uzunluqlu naqildən şiddəti 1 A olan cərəyan keçdikdə ona 1 N qüvvə ilə təsir etsin.

• Hər bir nöqtəsində \vec{B} -nin qiymət və istiqaməti eyni olan sahə **bircins maqnit sahəsi** adlanır.

Maqnit sahəsi üçün *superpozisiya prinsipi* ödənilir: əgər maqnit sahəsinə bir neçə cərəyanlı naqil yaradırsa, yekun sahənin induksiya vektoru ayrı-ayrı cərəyanlı naqillərin yaratdığı maqnit sahələrinin induksiya vektorlarının həndəsi cəminə

bərabərdir: $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$.



Maqnit sahəsinə əyani təsvir etmək üçün onu *maqnit induksiya xətləri* ilə təsvir edirlər **(d)**:

• Maqnit sahəsinin induksiya xətləri - hər bir nöqtəsinə çəkilən toxunan həmin nöqtədə maqnit induksiya vektoru ilə üst-üstə düşən xətlərdir.

Maqnit sahəsinin induksiya xətləri qapalıdır, onların başlanğıcı və sonu yoxdur.

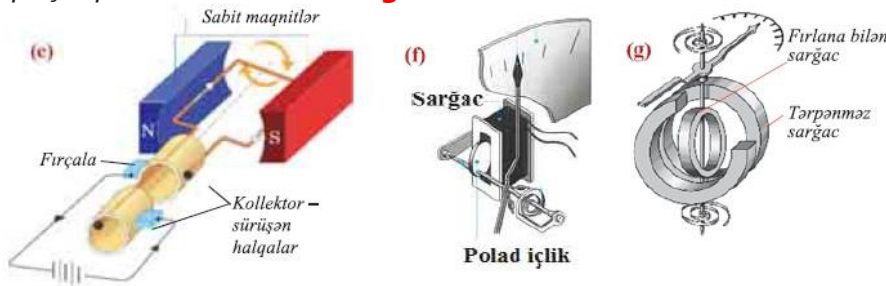
• Qüvvə xətləri qapalı olan sahəyə burulğanlı sahə deyilir.

Amper qüvvəsinin elektrik ölçü cihazlarına tətbiqləri. Məlumdur ki, elektrik ölçü cihazlarının - ampermetr, voltmetr və vattmetrin müxtəlif sistemləri mövcuddur. Bunlar *maqnitoelektrik, elektromaqnit və elektrodinamik sistemlərdir*. Həmin sistemlərin hamısının iş prinsipi maqnit sahəsinin cərəyanlı naqilə təsirinə əsaslanır.

• Maqnitoelektrik sistemli cihazın iş prinsipi ölçülən cərəyanın keçirici çərçivədən keçməsi nəticəsində onun yaratdığı maqnit sahəsi ilə sabit maqnitin qarşılıqlı təsirinə əsaslanır **(e)**.

- Elektromağnit sistemli cihazın iş prinsipi ölçülən cərəyanın sarğacdən keçməsi nəticəsində onun yaratdığı maqnit sahəsinin bu sahədə yerləşən polad içliklə qarşılıqlı təsirinə əsaslanır **(f)**.

- Elektrodinamik sistemli cihazın iş prinsipi ölçülən cərəyanın tərpənməz sarğac və onun içərisində fırlana bilən sarğacdən keçdikdə onların yaratdıqları maqnit sahələrinin qarşılıqlı təsirinə əsaslanır **(g)**.



Mövzu 17. Elektromağnit induksiya hadisəsi. İnduktivlik.

M. Faradey apardığı çoxsaylı təcrübələrin köməyi ilə 1831-ci ildə müəyyən etdi ki, maqnit sahəsinin dəyişməsi qapalı keçirici konturda elektrik cərəyanı yaradır.

- Qapalı keçirici konturda maqnit sahəsinin dəyişməsi ilə elektrik cərəyanının yaranması **elektromağnit induksiya hadisəsi**, yaranan cərəyan isə **induksiya cərəyanı** adlanır.

- Dəyişən maqnit sahəsi həmişə ətraf fəzada burulğanlı elektrik sahəsinin yaranması ilə müşayiət olunur.

Burulğanlı elektrik sahəsi elektrostatik sahədən kəskin fərqlənir:

a) elektrostatik sahəni sükunətdəki elektrik yükü, burulğanlı elektrik sahəsinə isə dəyişən maqnit sahəsi yaradır;

b) elektrostatik sahənin intensivlik xətləri müsbət yükə başlayır, mənfi yükə qurtarır - bu xətlər açıqdır. Burulğanlı elektrik sahəsinin intensivlik xətlərinin nə başlanğıcı, nə də sonu var; o, maqnit induksiya xətləri kimi qapalıdır.

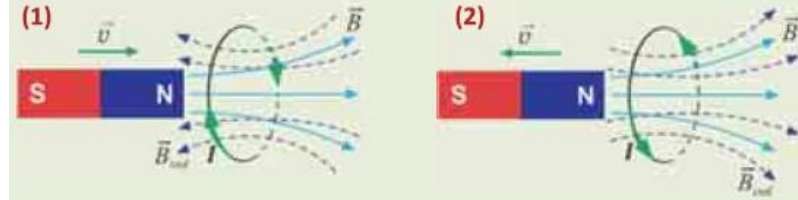
Rus fiziki Emili Xristianoviç Lens 1833-cü ildə induksiya cərəyanının istiqamətini təyin edən ümumi qaydanı - Lens qaydasını müəyyənləşdirdi:

- İnduksiya cərəyanı elə istiqamətə yönəlir ki, onun yaratdığı maqnit sahəsi bu cərəyanı yaradan xarici maqnit sahəsinin ixtiyari dəyişməsinə mane olur.

Əgər xarici maqnit sahəsi güclənərsə, induksiya cərəyanının maqnit sahəsi onun dəyişməsinə zəiflədəcəkdir. Bu zaman induksiya cərəyanının maqnit induksiya xarici maqnit sahəsinin induksiya sahəsinin əksinə yönəlir **(1)**.

Əgər xarici maqnit sahəsi zəifləyərsə, induksiya cərəyanının maqnit sahəsi onun dəyişməsinə mane olur, yəni "çalışır" ki, bu sahə zəifləməsin. Bu zaman induksiya

cərəyanının maqnit induksiyası xarici maqnit sahəsinin induksiyasının istiqamətinə yönəlir (2).



Maqnit seli. Bircins maqnit sahəsində qapalı kontur (çərçivə) yerləşdirilsə, bu konturun hüdudlandırdığı səthin S sahəsindən müəyyən sayda maqnit induksiya xətləri keçər (c). Həmin induksiya xətlərinin sayı ilə mütənəsb olan kəmiyyət *maqnit induksiya seli* və ya sadəcə *maqnit seli* adlanır.

• *Maqnit induksiya seli* (φ) - ədədi qiymətcə maqnit induksiya vektorunun modulu, konturun sahəsi və konturun normalı ilə induksiya vektoru arasında qalan bucağın kosinusu hasilinə bərabər kəmiyyətdir.

$$\varphi = BS \cos \alpha$$

Maqnit seli skalyar kəmiyyət olub mənfi, müsbət və ya sıfıra bərabər ola bilər:

- əgər induksiya vektoru ilə konturun normalı arasındakı bucaq iti bucaqdırsa, maqnit seli müsbət, kor bucaqdırsa, mənfidir;

- əgər induksiya vektoru səthə perpendikulyardırsa, yəni səthin normalına paraleldirsə, $\alpha = 0^\circ \rightarrow \cos 0^\circ = 1$ olur və səthdən keçən maqnit seli maksimum qiymət alır:

$$\varphi = BS;$$

- əgər induksiya vektoru səthə paraleldirsə - səthin normalına perpendikulyardır - sa, $\alpha = 90^\circ \rightarrow \cos 90^\circ = 0$ olur və səthdən keçən maqnit seli də sıfıra bərabər olur: $\varphi = 0$.

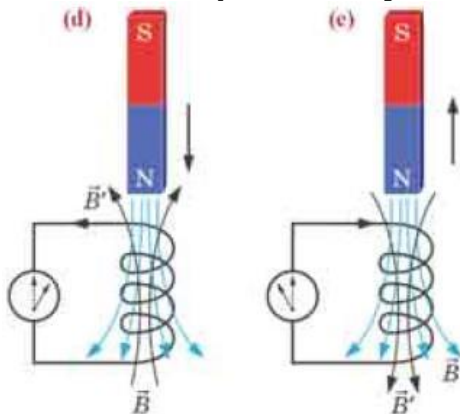
Deməli, səthi kəsb keçməyən induksiya vektorları maqnit seli yaratmır.

Maqnit induksiya selinin BS-də vahidi *veberdir* (1 Vb):

$$[\varphi] = [B][S] = 1 \text{ Tl} \cdot \text{m}^2 = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} \cdot \text{m}^2 = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{C}}{\text{A}} = 1 \text{ Vb}.$$

• 1 veber - induksiyası 1 Tl olan maqnit sahəsinin induksiya xətlərinə perpendikulyar yerləşdirilən 1 m² səthdən keçən maqnit selidir.

Elektromağnit induksiyası hadisəsi.



İngilis alimi Maykl Faradeyin (1791-1867) 1831-ci ildə kəşf etdiyi elektromaqnit induksiya hadisəsi elektrik və maqnit sahələrinin qarşılıqlı əlaqəsinin mövcud olduğunu göstərdi.

Bilirsiniz ki, qalvanometrə birləşdirilən sarğaca sabit maqnit daxil etdikdə və çıxardıqda sarğacın konturlarında (dolaqlarında) induksiya cərəyanı yaranır. Maqnit sarğacın daxilində sükunətdə olarsa və ya fırladılsa, cərəyan yaranmır.

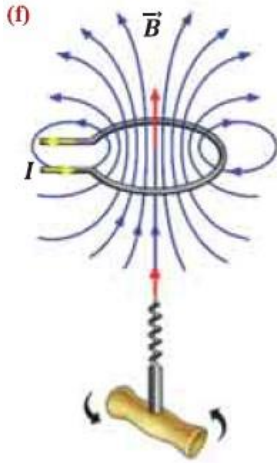
Deməli, *induksiya cərəyanının yaranmasına səbəb maqnit selinin dəyişməsidir (d və e).*

• *Keçirici konturla hüdudlanmış səthdən keçən maqnit selinin dəyişməsi nəticəsində konturda elektrik cərəyanının yaranması **elektromaqnit induksiya hadisəsi** adlanır.*

İnduksiya cərəyanının istiqaməti maqnit selinin artması və ya azalmasından asılıdır.

1. *Maqnit seli artır ($\Delta\phi > 0$). Bu o halda mümkündür ki, maqnit kontura yaxınlaşsın.*

Nəticədə maqnit seli artır, konturda yaranan induksiya cərəyanı özünün məxsusi maqnit sahəsini yaradır. Həmin



sahə yaxınlaşmaqda olan maqnitə itələyir. Deməli, konturda cərəyan yaranan xarici maqnit sahəsinin induksiya vektoru \vec{B} ilə induksiya cərəyanının yaratdığı maqnit sahəsinin induksiya vektoru \vec{B} qarşı-qarşıya yönəlir (bax: d). Bu halda maqnit və kontur eyniqütblü maqnitlər kimi bir-birini itələyir. \vec{B} -nin istiqamətini bilməklə və dairəvi cərəyanlar üçün sağ yivli burğu qaydasını tətbiq etməklə konturda yaranan induksiya cərəyanının istiqaməti asanlıqla təyin edilir - induksiya cərəyanı saat əqrəbinin hərəkəti istiqamətindədir.

• *Dairəvi cərəyan üçün sağ yivli burğu qaydası: burğunun dəstəyini dairəvi cərəyan istiqamətində burduqda burğunun irəliləmə hərəkətinin istiqaməti dairəvi cərəyanın daxilində maqnit sahəsinin induksiya vektorunu göstərəcəkdir (f).*

2. *Maqnit seli azalır ($\Delta\phi < 0$). Bu o halda mümkündür ki, maqnit konturdan çıxarılsın.* Nəticədə maqnit seli azalır. Konturda yaranan induksiya cərəyanı elə istiqamətdə olur ki, onun məxsusi maqnit induksiya vektoru \vec{B} maqnitin \vec{B} induksiya vektoru ilə eyni istiqamətə yönəlir. Bu halda maqnit və kontur müxtəlifqütblü maqnitlər kimi bir-birini cəzb edir (bax: e). Sağ yivli burğu qaydasına əsasən müəyyən olunur ki, induksiya cərəyanı saat əqrəbi hərəkətinin əksi istiqamətindədir.

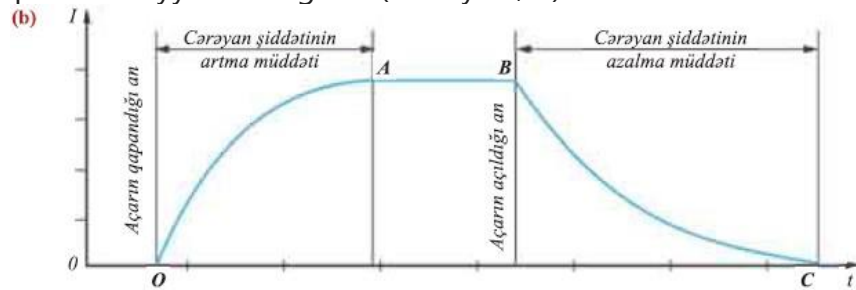
Beləliklə, keçirici qapalı konturda yaranan induksiya cərəyanı həmişə elə istiqamətə yönəlir ki, onun məxsusi maqnit sahəsi bu cərəyanın yaranmasına səbəb olan xarici maqnit selinin dəyişməsinə mane olsun.

Bu, induksiya cərəyanının istiqamətini təyin etməyə imkan verən Lens qaydasıdır.

Öz-özünə induksiya EQ. İxtiyari qapalı konturda mövcud olan elektrik cərəyanı özünəməxsus maqnit sahəsi yaradır. Konturda cərəyan şiddəti dəyişdikdə onun hüdudlandırdığı səthdən keçən maqnit seli də dəyişir. Nəticədə həmin konturda induksiya EQ yaranır.

• Keçirici konturda cərəyan şiddətinin dəyişməsi nəticəsində həmin konturda induksiya EQ-nin yaranması hadisəsi **öz-özünə induksiya hadisəsi** adlanır.

Qapalı konturda cərəyan şiddəti sıfırdan müəyyən qiymətə qədər artdığı zaman bu konturdan keçən maqnit seli də artır. Nəticədə konturda yaranan öz-özünə induksiya EQ həmin konturdan keçən cərəyanın əksinə yönələn induksuya cərəyanı yaradır. Bu cərəyan isə əsas cərəyanın maksimal qiymət almasını ləngidir - cərəyan şiddəti maksimal qiymətə alana qədər müəyyən vaxt gedir (**OA** əyrisi, **b**).



Dövrəni açdıqda isə konturda cərəyan şiddəti maksimal qiymətdən sıfıra qədər azalan zaman orada bu cərəyanı davam etdirməyə çalışan öz-özünə induksiya EQ yaranır. O isə konturda induksiya cərəyanı əmələ gətirir. Bu cərəyan Lens qaydasına görə konturdan keçən əsas cərəyanın istiqamətinə yönəlməklə onun azalmasını ləngidir (**BC** əyrisi, **b**).

Deyilənlərdən aydın olur ki, konturda yaranan məxsusi maqnit seli həmin konturdan keçən cərəyan şiddəti ilə mütənasibdir: $\varphi \sim I$ və ya:

$$\varphi = LI. \quad (1)$$

Burada L — mütənasiblik əmsalı olub *konturun (sarğacın) induktivliyi* adlanır. İnduktivlik konturun həndəsi ölçülərindən, onun daxilindəki mühitin maqnit nüfuzluğundan, vahid uzunluqdakı sarğuların sayından asılıdır. O, konturdan keçən cərəyan şiddətindən və maqnit selindən asılı deyildir.

İnduktivlik skalyar kəmiyyətdir və BS-də vahidi ABŞ alimi Cozef Henrinin şərəfinə *henri* (1 Hn) adlandırılmışdır:

$$[L] = 1 \frac{\varphi}{I} = 1 \frac{V \cdot B}{A} = 1 \text{ Hn.}$$

• 1Hn konturun (sarğacın) elə induktivliyidir ki, ondakı cərəyan şiddəti 1 A olduqda konturdan keçən məxsusi maqnit seli 1 Vb olsun.

Elektromağnit induksiyası qanununda (1) ifadəsini nəzərə aldıqda öz-özünə induksiya EHQ-nin qapalı konturdan keçən cərəyan şiddətinin dəyişmə sürəti ilə düz mütənasib olduğu alınır:

$$\varepsilon_0 = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -\frac{\Delta LI}{\Delta t} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (2)$$

Burada ε_0 — öz-özünə induksiya EHQ, $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ isə konturdan keçən cərəyan şiddətinin dəyişmə sürətidir.

Mövzu 18. Dəyişən cərəyan.

Öyrəndiniz ki, real rəqs konturunda elektromağnit rəqsləri həmişə sönəndir. Rəqslərin sönməzliyini təmin etmək üçün rəqs konturuna periodik olaraq eneji verilməlidir. Bu məqsədlə rəqs konturuna ardıcıl olaraq EHQ-si harmonik qanunla, məsələn,

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t \quad (1)$$

qanunu ilə dəyişən cərəyan mənbəyi qoşmaq lazımdır **(b)**. Elektrik sxemlərində dəyişən cərəyan mənbəyi "⌚" simvolu ilə işarə edilir. (1) ifadəsində ε_m — EHQ-nin maksimal (və ya amplitud) qiyməti, ω — EHQ-nin dəyişdiyi dairəvi tezlikdir. EHQ-si dəyişən cərəyan mənbəyinin təsiri ilə LC-konturunda məcburi elektromağnit rəqsləri yaranır.

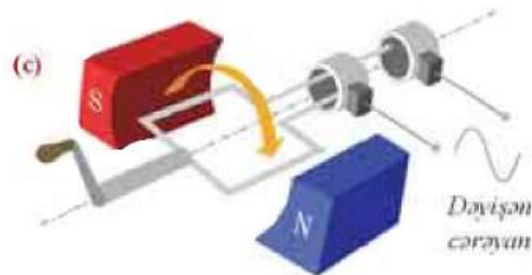
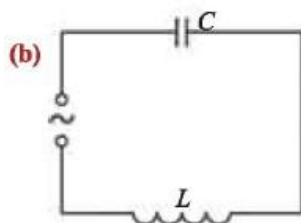
- Məcburi elektromağnit rəqsləri - xarici cərəyan mənbəyinin EHQ-sinin dəyişməsi ilə konturda elektrik yükünün, cərəyan şiddətinin və gərginliyin ω dairəvi tezliyinə bərabər tezliklə dəyişməsidir.

Məcburi elektromağnit rəqslərinə ardıcıl birləşdirilmiş rezistor, kondensator və sarğacdan ibarət konturdan keçən dəyişən cərəyan kimi baxıla bilər.

- Dəyişən cərəyan - istiqaməti və cərəyan şiddəti zamana görə periodik dəyişən cərəyandır.

Dəyişən cərəyan fabrik və zavodlarda elektrik mühərriklərini hərəkətə gətirir, məişətimizdəki işıqlandırma sistemlərini, elektrik cihazlarını və s.-ni işə salır.

Dəyişən cərəyanın alınması. Dəyişən cərəyanı hasil edən qurğu dəyişən cərəyan generatoru və ya induksiya generatoru adlanır. Generatorun iş prinsipi elektromağnit induksiyası qanununa əsaslanır. Belə generatorun ən sadə modeli bircins maqnit sahəsində fırlanan keçirici konturdur **(c)**.



Keçirici kontur induksiyası \vec{B} olan bircins maqnit sahəsində ω dairəvi tezliyi ilə fırlandıqda konturu kəsən maqnit seli harmonik qanunla dəyişir:

$$\varphi = BS \cos \omega t = \varphi_m \cos \omega t. \quad (2)$$

Elektromağnit induksiya qanununa görə konturda periodik qanunla dəyişən EHQ əmələ gəlir:

$$\varepsilon = - \Delta\varphi$$

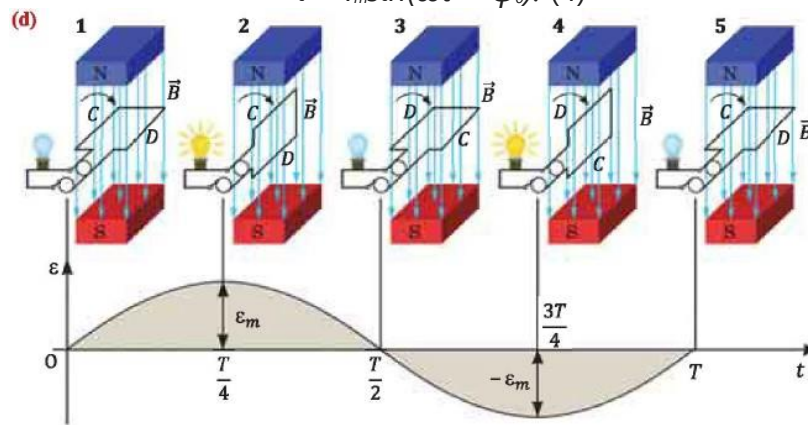
$$\Delta t = -\varphi'(t) = (-\varphi_m \cos \omega t)' = \varphi_m \omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t.$$

Bunun nəticəsində konturun qütblərində sinus qanunu ilə dəyişən gərginlik yaranır:

$$u = U_m \sin \omega t. (3)$$

Əgər generator modelindəki konturun qütblərinə elektrik işlədici, məsələn, elektrik lampası qoşularsa, ondan harmonik qanunla dəyişən induksiya cərəyanı keçər - lampa periodik olaraq gah parlaq işıqlanar, gah da sönər **(d)**:

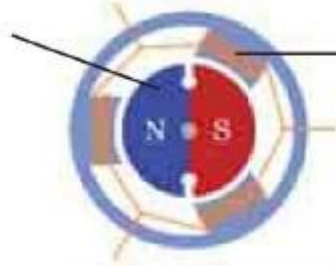
$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0). (4)$$



(2), (3) və (4) ifadələrində φ , u və i — uyğun olaraq maqnit selinin, gərginliyin və cərəyan şiddətinin ani qiyməti, φ_m , U_m və I_m — uyğun kəmiyyətlərin maksimal (amplitud) qiymətləri, φ_0 — gərginliklə cərəyan şiddəti arasında faza fərqidir.

Dəyişən cərəyan generatoru iki hissədən ibarətdir: *stator* adlanan tərpənməz hissə və *rotor* adlanan tərpənən hissə. Stator keçirici dolaqlardan ibarət sarğacdan, rotor isə stator içərisində fırlana bilən sabit maqnitdən ibarət olur. İstilik elektrik stansiyalarında iki maqnit qütblü rotordan ibarət generatordan istifadə olunur **(e)**.

(e) *Rotor* – generatorun fırlanan hissəsi olub sabit maqnitdən və ya elektro-maqnitdən ibarətdir.



Stator – generatorun tərpənməz hissəsi olub keçirici dolaqlardan ibarətdir.

Mövzu 19. Dəyişən cərəyan dövrəsində güc

Dəyişən cərəyanı xarakterizə edən digər kəmiyyətlər

Naqildən cərəyan keçdikdə elektrik enerjisinin daxili enerjiyə çevrilməsi prosesi baş verir, nəticədə naqıl qızır. Dəyişən cərəyan dövrəsində ani gücün periodik dəyişməsinə baxmayaraq orta güc istənilən periodda sabit qalır:

$$\bar{P} = \frac{I_m \cdot U_m}{2} \cdot \cos \varphi_0. (5)$$

Burada $\cos\varphi_0$ — güc əmsalı olub dövredə elektrik enejişinin hansı hissəsinin dönməz olaraq daxili və ya mexaniki enerjiyə çevrildiyini göstərir. (5) ifadəsini belə də yazmaq olar:

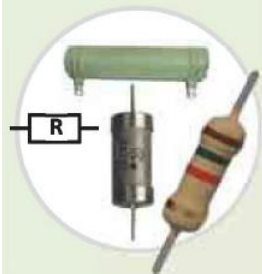
$$\bar{P} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \cos\varphi_0 = IU \cos\varphi_0. \quad (6)$$

(6) ifadəsindəki $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ və $\frac{U_m}{\sqrt{2}}$ nisbətləri uyğun olaraq dəyişən cərəyan şiddətinin və gərginliyin təsiredici qiymətləri adlanır:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{və} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (7)$$

- Cərəyan şiddətinin təsiredici qiyməti - naqildə eyni zaman müddətində dəyişən cərəyanın ayırdığı qədər istilik miqdarı ayıran sabit cərəyan şiddətinə bərabərdir.
- Dəyişən cərəyan dövrlərində istifadə olunan ampermetr və voltmeter cərəyan şiddəti və gərginliyin təsiredici qiymətlərini ölçür.

Stor - xüsusi ərintidən hazırlanan və sıxacları olan naqildir. Elektrik sxemlərində rezistor **R** hərfi işarə edilən düzbucaqlı şəkildə təsvir olunur. Mikrosxemlərdə müxtəlif rezistorlardan istifadə olunur.



Dövrə hissəsindəki cərəyan şiddəti, gərginlik və müqavimət arasındakı asılılıq dövrə hissəsi üçün **Om qanunu** adlanır: $I = \frac{U}{R}$

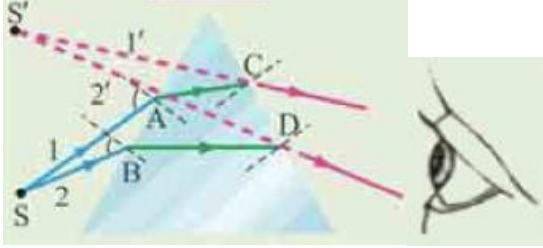
Burada **R** - naqilin müqavimətidir. Naqilin müqaviməti onun hazırlandığı maddədən, həndəsi ölçülərindən və temperaturundan asılıdır:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- Dövrə hissəsində cərəyanın işi cərəyan şiddəti ilə bu hissənin uçlarındakı gərginlik və işin görülməsinə sərf olunan zamanın hasilinə bərabərdir: $A = IUt$.
- Elektrik cərəyanının gücü cərəyanın gördüyü işin bu işi görməyə sərf olunan zamana nisbətində bərabərdir:

$$P = \frac{A}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$$

İşığın interferensiyası, difraksiyası, dispersiyası, polyarlaşması.



Mühitin vakuuma nəzərən sındırma əmsalı həmin mühitin mütləq sındırma əmsalı adlanır. Mütləq sındırma əmsalı işığın verilən mühitdəki sürətinin vakuumdakı sürətindən neçə dəfə kiçik olduğunu göstərir:

$$n = \frac{c}{v}$$

- Cisimdən prizmanın üzərinə düşən şüalar istiqamətlərini prizmanın oturacağına doğru dəyişir.

İşığın təbiəti. Bir neçə əsr işıq təbiətmə aid iki müxtəlif təsəvvür yer almışdır: *ışığın korpuskulyar və dalğa təbiəti*.

İşığın korpuskulyar təbiətə malik olması təsəvvürünün banisi İ.Nyutondur. O hesab edirdi ki, işıq zərrəciklər (korpuskul) selidir. Bu təsəvvürə görə işığın düzxətli yayılma və qayıtma qanunları asanlıqla izah olunurdu.

İşığın dalğa təbiətinə malik olması təsəvvürünün banisi isə holland alimi Xristian Hüygensdir (1629-1695). Bu təsəvvürün yaranmasının başlıca səbəbi işıq şüalarının da dalğalar kimi bir-birinin içərisindən keçərək yayıla bilməsidir. XIX əsrdə ingilis alimi Tomas Yunq (1773-1829) apardığı təcrübələrlə işığın dalğa təbiətini təsdiq edən çoxsaylı faktlar aşkarladı. Elektromaqnit sahə nəzəriyyəsinin banisi C.Maksvell işığın elektromaqnit dalğa təbiətinə malik olduğunu nəzəri cəhətdən əsaslandırdı. Müasir təsəvvürlərə görə isə işıq və digər elektromaqnit dalğalan ikili - zərrəcik və dalğa təbiətinə malikdir.

İşığın dispersiyası. İşığın dalğa təbiətli olduğunu sübut edən hadisələrdən biri *ışığın dispersiyasıdır*.

• *İşığın dispersiyası - mühitin sındırma əmsalının düşən işıq tezliyindən (dalğa uzunluğundan) asılı olmasıdır.*

Bu hadisəni ilk dəfə ingilis alimi İsaak Nyuton tədqiq etmişdir. O, pəncərəni tam örtən qara pərdədə açılan kiçik dəlikdən keçən nazik günəş şüasının qarşısında üçüzlü şəffaf şüşə prizma yerləşdirir. Günəş şüası prizmadan keçdikdə görünən 7 rəngli tərkib hissəyə ayrılır. Dispersiya *spektri* adlanan bu hissələrdə rənglərin ardıcılığı eyni olur: **qırmızı, narıncı, sarı, yaşıl, mavi, göy, bənövşəyi**.

Monoxromatik (berrəngli) şüa adlandırılan rəngli şüalardan ən çox sınaq bənövşəyi, ən az sınaq isə qırmızı şüadır (bax: **a**). Hadisənin səbəbi işığın dalğa təsəvvürü əsasında izah edilir. Belə ki, mühitin mütləq sındırma əmsalı işığın verilən mühitdəki sürətinin

vakuumdakı sürətindən neçə dəfə kiçik olduğunu göstərir:

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$$

Burada λ_0 - işığın vakuumda dalğa uzunluğu, λ - işığın mühitdə dalğa uzunluğudur. Deməli, ən az sınımaya məruz qalan qırmızı işıq üçün mühitin sındırma əmsalı da ən kiçikdir. Bu isə o deməkdir ki, qırmızı işıq ən böyük dalğa uzunluğuna (və ya ən kiçik tezliyə) malikdir. Bənövşəyi şüa üçüncü əksinə, mühitin sındırma əmsalı ən böyükdür və bənövşəyi işıq ən kiçik dalğa uzunluğuna (və ya ən böyük tezliyə) malikdir. Sonralar aparılan təcrübələrdən müəyyənləşdirilir ki, görünən işıq dispersiya spektri elektromagnit dalğalar şkalasında $\lambda_q = 7,6 \cdot 10^{-7}$ m-dən (qırmızı) $\lambda_b = 3,8 \cdot 10^{-7}$ m-dək (bənövşəyi) hissəsini əhatə edir.

Nəticə. Beləliklə, dispersiya hadisəsi ağ işığın mürəkkəb tərkibə - müxtəlifrəngli monoxromatik işıq şüalarına malik olduğunu aşkar etdi. Monoxromatik şüaların hər biri məxsusi tezlik və dalğa uzunluğuna malikdir. Ona görə də monoxromatik şüa şüşə prizmadan keçdikdə o yalnız sınımaya məruz qalmış və istiqamətini dəyişmişdir. Görünən spektrin bütün monoxromatik şüalarını toplayıb prizmadan keçirdikdə yenidən ağ işıq alınmışdır.

Rənglər fizikasına görə, qırmızı, yaşıl və göy rənglər biri digər ikisinin qarışığından alınır. Lakin *əsas rəng* adlandırılan bu üç rəngdən qalan digər rəngləri və onların çalarlarını almaq mümkündür.

Ətraf aləmin çoxçalarlı rənglərlə görünməsi işığın udulması, sınıması və əks etməsi ilə izah olunur. Məsələn, vərəq ona görə ağ görünür ki, o, səthinə düşən ağ işığı tamamilə əks etdirir. Əgər cisim işığı tam udursa, o, qara görünür, məsələn, his.

Dalğaların interferensiyası. Araşdırmada dalğa generatorunun harmonik və eyni tezlikli rəqsə gətirdiyi kürəciklərin su səthində yaratdığı *koherent dalğaları* müşahidə etdiniz.

• *Koherent dalğa - müxtəlif mənbələrdən yayılan, dalğa uzunluqları (tezlikləri) eyni olan və fazalar fərqi zamandan asılı olmayaraq sabit qalan dalğalara deyilir.*

Koherent dalğalar görüşdükdə onların mənbədən görüş nöqtəsinə qədər keçdikləri yollar fərqi olduğundan asılı olaraq yekun rəqslər ya güclənir, ya da zəifləyir - *dalğaların interferensiyası baş verir.*

• *Dalğaların interferensiyası (lat. "inter" - qarşılıqlı, "ferio" - vuraram) - koherent dalğaların toplanması nəticəsində yekun rəqslərin amplitudunun güclənməsi və zəifləməsidir.*

Toplanan dalğaların bir-birini gücləndirməsi və ya söndürməsi interferensiyanın maksimum və minimum şərti ilə müəyyən olunur.

İnterferensiyanın maksimumluq şərti. İnterferensiya maksimumu suyun (fəzanın) elə nöqtələrində müşahidə olunur ki, həmin nöqtələrdə toplanan dalğaların maksimumları biri digərinin üzərinə düşür. O, dalğaların toplanma nöqtələrinə qədərki yollar fərqi olduğundan asılıdır.

• *Toplanan dalğaların yollar fərqi sıfır və ya cüt sayda yarımdalğa uzunluğuna (fazalar*

fərqi sıfırdır və ya cüt sayda π -dir) bərabər olan nöqtələrdə interferensiya maksimumu alınır **(d)**:

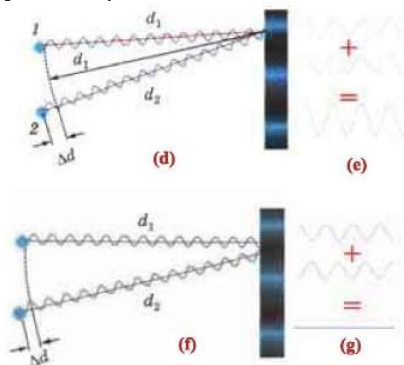
$$\Delta d = \frac{\lambda}{2} \cdot 2k. \quad (1)$$

Burada $\Delta d = d_2 - d_1$ — koherent dalğaların toplanma nöqtələrinə qədərki yollar fərqi, k - maksimumun tərtibi olub $k = 0, 1, 2, \dots$ tam ədədlərdir.

Koherent dalğaların fazalar fərqi ilə yollar fərqi arasında belə bir əlaqə vardır:

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta d. \quad (2)$$

(2)-də (1) ifadəsini nəzərə alsaq, interferensiya maksimumunu fazalar fərqi üçün belə yazmaq olar:



$$\Delta \varphi = \pi \cdot 2k. \quad (3)$$

Bu halda əgər dalğaların amplitudları eynidirsə, onların toplanması nəticəsində yekun rəqsin amplitudu toplanan rəqslərin amplitudları cəminə bərabər olur **(e)**:

$$X_{max} = A + A = 2A \quad (4)$$

İnterferensiyanın minimumluq şərti. İnterferensiya minimumu fəzanın elə nöqtələrində müşahidə olunur ki, toplanan dalğalar həmin nöqtələrə əks fazalarda gəlir. Belə halda bir dalğanın maksimumu digərinin minimumu üzərinə düşür. Nəticədə bu dalğalar bir-birini zəiflədir.

• *Toplanan dalğaların yollar fərqi tək sayda yarım dalğa uzunluğuna (fazalar fərqi tək sayda π -yə bərabərdir) bərabər olan nöqtələrdə interferensiya minimumu alınır **(f)**:*

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2} \cdot (2k + 1); \quad (5)$$

$$\Delta \varphi = \pi \cdot (2k + 1). \quad (6)$$

Bu halda əgər dalğaların amplitudları eynidirsə, onların toplanması nəticəsində yekun rəqsin amplitudu sıfıra bərabər olana qədər zəifləyəcək **(g)**:

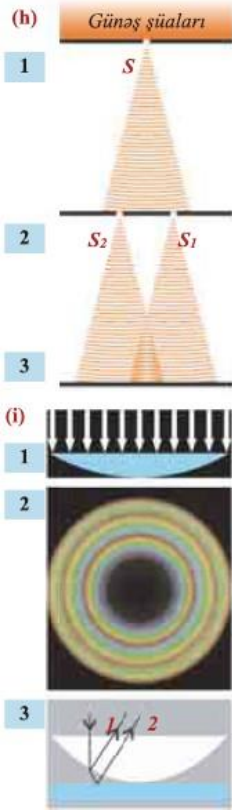
$$X_{max} = A + (-A) = 0. \quad (7)$$

İşığın interferensiyası. İnterferensiya bütün növ dalğalar, o cümlədən işıq dalğaları üçün xarakterik olan ümumi xassədir. Belə ki, fəzada iki işıq dəstəsi toplandıqda onlar bir-birini gücləndirə və ya zəiflədə bilər, hətta belə də ola bilər:

İşıq + işıq = zülmət.

• *İşığın interferensiyası — koherent işıq dalğalarının toplanması nəticəsində fəzanın müəyyən nöqtələrində işıq rəqslərinin güclənməsi, digər nöqtələrində isə zəifləməsi hadisəsidir.*

Koherent işıq dalğalarının alınma üsulu uzun illər məlum olmadığından işığın da interferensiya edə



bilmək xassəsini uzun illər sübut etmək mümkün olmamışdır. Yalnız XIX əsrin əvvəllərində Tomas Yunq sadə qurğu vasitəsilə təcrübi olaraq işığın interferensiyasını müşahidə edə bildi **(h)**.

Qurğuda işığın interferensiyası belə alınır: Günəş şüalan qeyri-şəffaf **1** ekranını işıqlandırır. Işıq dar S dəliyindən keçərək **2** ekranına düşür. Bu ekrandakı dar S_1 və S_2 dəliklərindən artıq iki koherent işıq dalğası çıxır. Həmin dalğalar bir-birinin üzərinə toplanmaqla **3** ekranında işığın interferensiya zolaqlarını əmələ gətirir. Ekranın mərkəzi hissəsində bir-birini əvəz edən rəngli və qaranlıq zolaqlar müşahidə olunur. Mərkəzdən uzaqlaşdıqca bu zolaqlar zəifləyir. Yunq bu təcrübədə interferensiyanın maksimumluq şərtindən istifadə etməklə (1) düsturuna əsasən işığın interferensiya zolaqlarındakı müxtəlifrəngli şüaların dalğa uzunluğunu ölçə bilmişdir. Qəribə də olsa, işığın interferensiyasına aid ilk təcrübəni onun dalğa təbiətli olduğunu qətiyyətlə inkar edən İ.Nyuton aparmışdır. O, müstəvi-qabarıq imzanı qabarıq tərəfi aşağı olmaqla şüşə lövhə üzərində yerləşdirir və onu yuxandan işıqlandırır **(i, 1)**. Nyuton linzaya yuxandan baxdıqda bir-birini əvəz edən işıqlı və qaranlıq konsentrik dairələr müşahidə edir **(i, 2)**. Lakin nə Nyuton, nə də bu maraqlı təcrübəni 100 ildən çox icra etmiş digər alimlər "Nyuton halqaları" adlandırılan işığın bu sirrini izah edə bilmədilər.

Yalnız 1802-ci ilə T.Yunq "Nyuton halqaları"nın sirrini belə izah etdi: Linzanın müstəvi səthinə düşən işıq şüası qismən onun alt sferik səthindən qayıdır (1 şüası), qismən isə linzanın yerləşdiyi şüşə lövhənin səthindən qayıdır (2 şüası; bax: **i, 3**). Işıq şüasının belə çoxsaylı qayıtmasından iki koherent şüa əmələ gəlir. Bu şüalar toplanaraq

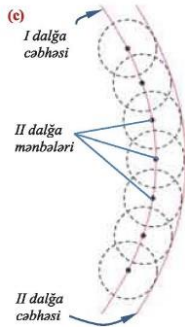
interferensiyanın maksimumluq və minimumluq şərtlərinə uyğun olaraq interferensiya mənzərəsi - işıqlı və qaranlıq konsentrik halqalar mənzərəsi yaradır.

DALĞALARIN DİFRAKSİYASI. İŞIĞIN DİFRAKSİYASI

• Işıq şüası - işıq enerjisinin yayıldığı xətdir.

Işıq şüalanı paralel, divergent (haçalanan) və konvergent (yaxınlaşan) ola bilər. Çox böyük uzaqlıqda yerləşən mənbələrdən, məsələn, Günəş və ulduzlardan Yer səthinə düşən işıq paralel işıq şüaları qəbul edilir.

Dalğa səthi və dalğa cəbhəsi. İxtiyari növ dalğaların müxtəlif mühitlərdə yayılma qanunauyğunluğu universal xarakterə malikdir. Məsələn, durğun su səthinə düşən damcının düşmə nöqtəsində



yaratdığı rəqslər zaman keçdikcə bütün istiqamətlərə eyni sürətlə yayılaraq mühitin müəyyən hissəsini əhatə edir **(b)**. Zaman keçdikcə dalğa yayılmaqda davam edərək su səthinin daha çox hissəsini həyəcanlandırır. Deməli, dalğa yayılarkən su səthi (mühit) dalğanın yayıldığı və hələ yayılmadığı iki hissədən ibarət olur. Verilmiş anda bu hissələri bir-birindən ayıran təmas xətti *dalğa səthidir*.

• *Dalğa səthi* - verilmiş anda dalğaların çatdığı nöqtələrin həndəsi yeridir.

Dalğa yayılan mühitdə müəyyən nöqtələr toplusu eyni faza ilə rəqs edir. Belə nöqtələrdən keçən səth üzərində faza eyni bir qiymətə malik olduğundan həmin səthlər *bərabər fazalı səth*, yaxud *dalğa cəbhəsi* adlanır.

• *Dalğa cəbhəsi* - eyni fazada rəqs edən nöqtələrin həndəsi yeridir.

Dalğa cəbhəsi həndəsi məfhum olub eyni fazada rəqs edən nöqtələrdən keçən səth təsəvvürü yaradır **(c)**. Mühitdə dalğa yayılarkən onun ardıcıl gələn müxtəlif nöqtələrində fazanın qiyməti müxtəlif ola bildiyinə görə həmin mühitdə sonsuz sayda dalğa cəbhəsi mövcud ola bilər.

Dalğa cəbhəsi müstəvi olan dalğa *müstəvi dalğa*, sferik və silindrik olan dalğalar isə müvafiq olaraq *sferik və silindrik dalğa* adlanır.

• *Müstəvi dalğa müəyyən bir istiqamətdə* - *müstəvi dalğa səthinə perpendikulyar istiqamətdə yayılan dalğadır*.

Dalğaların difraksiyası. Huygens prinsipi. Bütün növ dalğaların malik olduğu ümumi xassələrdən biri də onların *difraksiyasıdır*.

• *Dalğaların difraksiyası - maneəyə rast gəldikdə dalğaların həndəsi yayılma istiqamətlərindən kənara çıxma (maneəni aşaraq onun arxasına keçmə) hadisəsidir.*

Dalğa uzunluğu ilə onun rast gəldiyi maneənin ölçüsü arasındakı nisbətdən asılı olaraq dalğa həmin maneəni aşaraq onun arxasına keçə bilər. Başqa sözlə, difraksiya hadisəsi o vaxt aydın görünür ki:

$$l \geq \frac{D^2}{\lambda}$$

şerti ödənsin. Burada λ — dalğa uzunluğu, D — dalğanın difraksiyaya uğradığı maneənin (və ya dəliyin) ölçüsü, l — maneədən difraksiya müşahidə olunduğu yerə qədərki məsafədir.

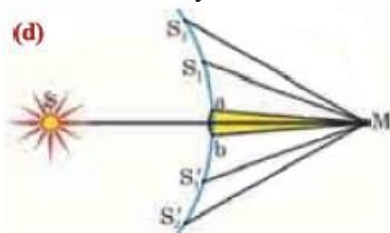
Difraksiya hadisəsi keyfiyyətcə 1690-cı ildə Hüygensin formalaşdırdığı prinsip əsasında izah edilə bilər. *Hüygens prinsipinə görə - dalğa cəbhəsinin çatdığı hər bir nöqtə tezlikləri dalğanın tezliyinə bərabər yarımşferik dalğa mənbəyinə çevrilir. Bu yarımşferik dalğaların (onlar ikinci dalğalar adlanır) qurşayanı verilmiş an üçün yeni dalğa cəbhəsinə verir* (bax: **c**).

Dalğanın yayılma istiqaməti dalğa cəbhəsinə perpendikulyar olduğundan hər sonrakı anda dalğanın yayılma istiqaməti - *şüa* müəyyən oluna bilər.

• *Şüa - verilən nöqtədə dalğa cəbhəsinə çəkilmiş normaldır.*

Beləliklə, Hüygens prinsipinə görə difraksiya hadisəsi belə izah edilir: fərz edək ki, kəsiyi olan maneə üzərinə perpendikulyar olaraq müstəvi dalğa düşür. Dalğa maneəyə çatdıqda kəsiyin hər bir nöqtəsi yarımşferik dalğa mənbəyinə çevrilir. Həmin dalğaların qurşayanı yanlardan əyildiyindən kəsikdən keçən dalğa da qismən ilk yayılma istiqamətindən kənarlara doğru meyil edərək maneənin arxasına tərəf yayılır - difraksiya hadisəsi baş verir. Lakin Hüygens prinsipi yalnız dalğa cəbhəsinin yayılma istiqaməti ilə bağlı məsələləri həll etməyə imkan verdi, o, müxtəlif istiqamətlərə yayılan dalğaların amplitudlarının və deməli, intensivliklərinin necə dəyişdiyini izah edə bilmədi. Bu problem yalnız 1819-cu ildə *ışığın difraksiyasını* müəyyən və izah edən fransız fiziki Ogüsten Jan Frenel (1788-1827) tərəfindən həll olundu.

Hüygens-Frenelprinsipi. Işığın difraksiyası. Hüygens prinsipini inkişaf etdirən Frenelə görə, dalğa cəbhəsinin səthində yerləşən bütün ikinci mənbələr (S_1, S_2, S'_1, S'_2 və s.) *koherent dalğa mənbələridir*. Ona görə də *ışığın difraksiyası* bu *koherent mənbələrdən* gələn koherent dalğaların fəzanın hər hansı M nöqtəsində toplanmasının — interferensiyasının nəticəsidir (**d**).



• *Işığın difraksiyası - ışığın düz xətt boyunca yayılma qanunundan kənara çıxaraq maneənin həndəsi kölgə sahəsinə daxil olması hadisəsidir.* Beləliklə, interferensiya prinsipi ilə Frenel tərəfindən tamamlanmış Hüygens prinsipi *Hüygens-Frenel prinsipi* adlanır.

Bu prinsip işığın difraksiyasını kəmiyyətə izah etməyə imkan verdi. İşığın dalğa uzunluğu çox kiçik olduğundan onun difraksiyası da çox kiçik dəlikləri olan qeyri-şəffaf ekranda və ya cisimlərin sərhədində müşahidə oluna bilər. Ona görə də işığın difraksiyasını müşahidə etmək və kəmiyyətə araşdırmaq üçün *difraksiya qəfəsi* adlanan xüsusi qurğudan istifadə olunur (e).

• *Difraksiya qəfəsi* - işığı spektrə ayıran və işığın dalğa uzunluğunu ölçməyə imkan verən optik qurğudur.

Difraksiya qəfəsi çox kiçik məsafədə yerləşən N sayda qeyri-şəffaf cizgilərdən və onlar arasındakı şəffaf zolaqlardan ibarətdir (adətən, qurğunun 1mm hissəsində $500 \div 1200$ -ə qədər belə cizgi olur). Difraksiya qəfəsinə perpendikulyar düşən işıq şüaları φ zolaqlardan bucağı altında meyil edərək çıxır. Koherent dalğa mənbəyi olan bu zolaqlardan keçən şüaların interferensiyası nəticəsində ekranda difraksiyanın *maksimum və minimumları* alınır (bax: e).

Difraksiya qəfəsində maksimum şərti belədir.

$$d \cdot \sin\varphi = k\lambda. (1)$$

Burada d — *difraksiya qəfəsinin sabiti (və ya periodu)* adlanır: $d = a + b$. a və b — uyğun olaraq şəffaf zolaq və qeyri-şəffaf cizgilərin enidir, φ isə k tərtib maksimum verən şüanın meyil bucağıdır, k -nın maksimal qiyməti $\varphi = 90^\circ$, $\sin 90^\circ = 1$ olduqda alınır:

$$k_{max} = \frac{d}{\lambda} (2)$$

Difraksiya qəfəsindən keçən ağ işığın bütün maksimumları (mərkəzi sıfırıncı istisna olmaqla) rəngli almır. Mərkəzdən başlayaraq hər bir maksimum bənövşəyidən qırmızıya qədər 7 görünən rəng əks etdirir. Buna *difraksiya spektri* deyilir. Difraksiya spektrində alman şüalardan, dispersiya spektrindən fərqli olaraq ən çox meyil edən qırmızı, ən az meyil edən isə bənövşəyi rəngli şüadır.

İŞIĞIN POLYARLAŞMASI

Dalğanın yayılması nəticəsində mühitdə aşağıdakı hadisələr baş verir:

dalğanın yayıldığı mühitin zərrəciklərinin rəqsi hərəkəti: mühitin zərrəcikləri yalnız öz tarazlıq rəqsi ətrafında rəqsi hərəkət edir və dalğada maddə daşınması baş vermir ;

b. mühitin zərrəciklərinin qonşu zərrəciklərlə qarşılıqlı təsiri: zərrəciklər arasındakı qarşılıqlı təsirlər enerji daşınması ilə nəticələnir.

- Eninə dalğa - mühitin zərrəciklərinin rəqsi hərəkət istiqamətinə perpendikulyar yayılan dalğadır. Eninə dalğalar yalnız bərk cisimlərdə və mayelərin səthində yayıla bilər. Eninə dalğalar mühitdə bir-birini əvəz edən qabarıqlar və çöküklər formasında yayılır.
 - Maksvell nəzəriyyəsinin mühüm nəticələrindən biri işığın eninə elektromaqnit dalğası olmasıdır. Bu nəzəriyyəyə görə, elektromaqnit təbiətli işıq dəyişən elektrik və maqnit sahələrinin \vec{E} və \vec{B} vektorlarının fəzada yayılan rəqsidir. Həmin rəqslər təbii işıq dalğalarında həm bir-birinə, həm də yayılma sürətinə

perpendikulyar müstəvilər üzrə bütün istiqamətlərdə yayılır (**e**); məsələn, Günəşin şüalandırdığı ağ işıq təbii işıq dalğasıdır.

- İnterferensiya və diffaksiya 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 *ışığın polyarlaşmasıdır*.
- *Polyarlaşmış işıq təbii işığın tərkibindən xüsusi qurğu vasitəsilə ayrılmış və müəyyən müstəvidə \vec{E} və \vec{B} vektorunun rəqslərinin üstünlük təşkil etdiyi hissəsidir* (bax: **e**).
- Işıq polyarlaşdıran həmin qurğulardan biri turmalin kristalıdır. Turmalin lövhələr ilə aparılan təcrübələrdən biri belədir: lövhənin səthinə perpendikulyar istiqamətdə ağ işıq şüası yönəldilir. İlk baxışdan elə görünür ki, ondan keçən işıq dəyişmir. Əslində isə turmalin kristalı elə işıq dalğasını keçirir ki, onun \vec{E} vektoru müəyyən M müstəvisində rəqs edir (bax: **e**). Deməli, kristal lövhədən müstəvi polyarlaşan işıq şüası keçir. Belə lövhə *polyaroid* adlanır. Işığın həqiqətən polyarlaşdığını yoxlamaq üçün polyaroiddən keçən işığı qarşısına ikinci belə lövhə - *analizator* qoyulur.

İşığın kvant təbiəti. Fotoeffekt hadisəsi.

- *Cisim üzərində mexaniki iş görüldükdə onun daxili enerjisi artır, cisim özü iş gördükdə isə onun daxili enerjisi azalır.*
- *İstiliyin isti cisimdən (və ya cismin hissəsindən) soyuq cismə (və ya cismin hissəsinə) verilməsi prosesi **istilikvermə** adlanır.* İstilikvermənin 3 növü var: *istilikkeçirmə, şüalanma və konveksiya*. Konveksiyada cismin hissələri arasında maddə və enerji daşınması baş verir. İstilikkeçirmə və şüalanma isə enerji daşınmasıdır.
- *Enerjinin cismin bir hissəsindən digər hissəsinə, yaxud bir-birinə toxunan bir cisimdən digərinə verilməsi prosesi **istilikkeçirmə** adlanır. Bu zaman iki cismin temperaturları bərabərləşdikdə deyilir ki, onlar arasında istilik tarazlığı yaranır.*
- *Şüalanma - enerjinin bir cisimdən digərinə şüalar (görünən və ya görünməyən) vasitəsilə verilməsidir. Yer planeti üçün ən böyük təbii şüalanma mənbəyi olan Günəş həm işıq, həm də istilik şüalandırır.*

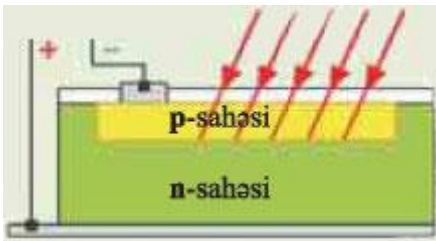
Cisimdən şüalanan eneji digər cisimlərin səthinə çatdıqda onun bir hissəsi həmin səth tərəfindən udulur, digər hissəsi isə əks olunur. Cisim şüalanan enerjini udduqda onun daxili enerjisi artır və o qızır. Tünd və açıqrəngli səthlər müxtəlif şüaudma qabiliyyətinə malikdir. Belə ki, tünd-qara rəngli səthlər eneji şüalarını daha yaxşı udur, açıqrəngli səthlər isə, əksinə, şüaları daha yaxşı əks etdirir. Cisimlərin şüalanması və şüaudması onların təşkil olunduqları atomun quruluşu ilə izah edilir. Atomun quruluşuna dair Rezerfordun təklif etdiyi planetar modelə görə, atomun mərkəzində müsbət yüklü nüvə yerləşir. Elektronlar isə nüvə ətrafında dairəvi orbitlər üzrə hərəkət edir. Lakin bu model atomun davamlı mövcud olmasını izah edə bilmədi, çünki klassik fizikaya görə, dairəvi orbitlər üzrə hərəkət edən elektron enerji şüalandırmalıdır. Bu halda elektron get-gedə aşağı orbitlərə keçməli və nəhayət, nüvə üzərinə düşməlidir - atomun varlığına son qoyulmalıdır. Əslində isə atom sistemi davamlı olaraq mövcuddur. Rezerfordun izah edə bilmədiyi bu çətin vəziyyətdən çıxış yolunu 1913-cü ildə danimarkalı alim Nils Bor iki postulatı ilə göstərdi:

Birinci postulat: *atomlar yalnız hər birinə müəyyən enerji uyğun gələn xüsusi stasionar hallarda və ya kvant hallarında ola bilər. Stasionar halda atom elektromaqnit dalğaları şüalandırmır və udmur.*

İkinci postulat: *atom böyük enerjili stasionar haldan kiçik enerjili stasionar hala keçdikdə şüalanma baş verir. Bu zaman elektron uzaq orbitdən nüvəyə yaxın orbitə keçir. Əksinə, atom enerji udduqda kiçik enerjili stasionar haldan böyük enerjili stasionar hala keçir. Bu zaman elektron nüvəyə yaxın orbitdən uzaq orbitə keçir.*

- Fotoelement - işıq enənism elektrik enerjisinə çevirən cihazdır.

Yarımkəçirici fotoelement - tərkibinə aşqar əlavə edilməklə səthində p-tip keçiriciliyə malik sahə yaradılmış n-tip silisium kristalından ibarətdir.



p-n keçidinin kontaktlarında öz-özünə əks işarəli yüklər yaranır. Ona görə də bu kontaktlara qısamüddətli cərəyan yaradan mənbə kimi baxmaq olar. Əgər p-n keçidi işıqlandırılırsa, orada yeni elektron-deşik cütləri yaranmaqla ekoloji təmiz cərəyan mənbəyi almar; məsələn, günəş batareyası. Qazı elektrik keçiricisi etmək üçün orada yükdaşıyıcılar - sərbəst elektronlar və ionlar yaradan mənbələr olmalıdır. Belə mənbələrdən biri ionlaşdırıcının təsiri ilə yaradılmış ionlardır. Müstəqil qaz boşalmasında güclü elektrik sahəsinin təsiri ilə böyük kinetik eneji alan bu ionlar katoda zərbələr endirərək onu öz səthindən elektronlar emissiya etməyə məcbur edir. Bu proses *zərbə ilə*

emissiya hadisəsi adlanır. Beləliklə, müstəqil qaz boşalması zərbə ionlaşması və katodun səthindən elektronların emissiyası vasitəsilə baş verir.

Vakuum borusundakı katodun qızdırılması nəticəsində elektronların termoelektron emissiyası baş verir. Bu elektronlar anodla katod arasına verilən onlarca kilovolt gərginlik hesabına yaradılan sahənin təsiri ilə sürətləndirilir. Sürətlənmiş elektronlar anoda toqquşduqda onlar kəskin tormozlanır və bu zaman rentgen şüalanması (*X-ray radiation*) baş verir.

Fotoeffektin eksperimental təsdiqi. Araşdırmadan müəyyənləşdirdiniz ki, görünən işığın ultrabənövşəyi diapazonundakı şüaları (şüşə lövhə ultrabənövşəyi şüaları buraxmır) metaldan elektronlar qopara bilmək xassəsinə malikdir. Bu araşdırmanı ilk dəfə 1887-ci ildə alman alimi Henrix Hers (1857-1894) apararaq *fotoeffekt hadisəsini* aşkar etmişdir.

• *İşığın təsiri ilə maddədən elektronların qopması hadisəsi fotoeffekt (və ya fotoelektrik effekti) adlanır.*

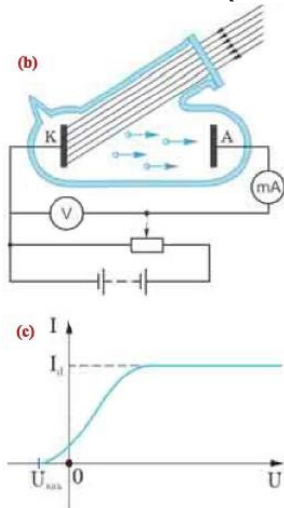
İşığın təsiri ilə maddənin (məsələn, metal) səthindən qopan elektronlar *fotoelektronlar*, onların yaratdığı cərəyan isə *fotocərəyan* adlanır.

Fotoeffektin bir neçə növü müəyyən olunmuşdur; bunlar *xarici, daxili, ventil* və s. *Fotoeffektlərdir.*

• *Xarici fotoeffekt - işığın təsiri ilə maddənin səthindən fotoelektronların xarici fəzaya çıxmasıdır.*

• *Daxili fotoeffekt - işığın təsiri ilə maddəni (yarımkeçirici və dielektrik) təşkil edən atomlardan elektronların qoparaq sərbəstləşməsi və beləliklə, maddə daxilində keçirici elektron və deşiklərin yaranmasıdır.*

• *Ventil fotoeffekt - işığın təsiri ilə iki müxtəlif yarımkeçirici, yaxud yarımkeçirici-metal kontaktında EQ-nin yaranmasıdır.*



Fotoeffektin baş vermə qanunauyğunluqlarını təcrübi olaraq 1888-1890-cı illərdə rus alimi Aleksandr Stoletov (1839-1896) *vakuum fotoelementinin* köməyi ilə müəyyən etdi (b). Vakuum fotoelementi - içərisindən havası çıxarılmış şüşə balondan ibarətdir. Balon katod (K) və anodla (A) təchiz edilmişdir. Işıq şüası katodun üzərinə düşərək onun səthindən fotoelektronlar qoparır. Qopan elektronların bəziləri anoda çataraq katodla

anod arasında fotocərəyan yaradır. Fotocərəyan milliampmetrlə, elektrodlar arasındakı gərginlik isə voltmetrlə ölçülür (bax: **b**). Bu təcrübə nəticəsində vakuum fotoelementinin VAX-ı alınmışdır (**c**). Qrafikdən görünür ki, katodla anod arasındakı potensiallar fərqi müsbətdirsə və kifayət qədər böyükdürsə, fotocərəyan şiddəti də doyma qiymətinə (I_d) qədər artır. Deməli, bu halda fotoelektronların hamısı anoda çatır.

Əgər elektrodlar arasındakı potensiallar fərqi mənfidirsə (katodun cərəyan mənbəyinin müsbət, anodun isə mənfi qütübünə birləşdirildiyi hal) və modulca *saxlayıcı gərginlik* (U_{sax}) adlanan qiymətindən böyükdürsə, fotocərəyan şiddəti sıfıra bərabərdir. Bu onunla izah edilir ki, qopan fotoelektronların kinetik enerjisi mənfi qütblü anodun Kulon itələyici qüvvəsini dəf etməyə kifayət etmir. Belə halda enerjinin saxlanması qanununa və gərginliklə elektrik sahəsinin işi arasındakı əlaqəyə əsasən fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi ilə saxlama gərginliyi arasında qanunauyğunluğu müəyyən etmək olar:

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = eU_{sax} \quad (1)$$

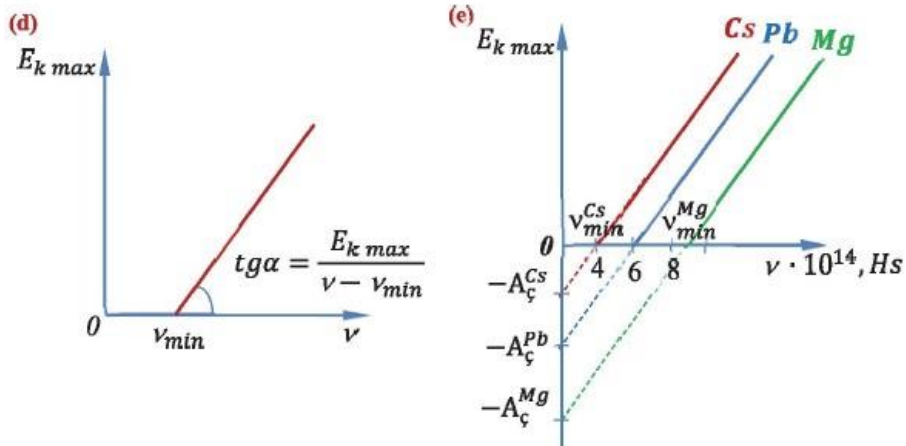
Apanlan çoxsaylı təcrübələrdən fotoeffektin aşağıdakı qanunları müəyyən edildi:

1. *İşıq metalın səthindən bir saniyədə qopardığı fotoelektronların sayı işığın udulan enerjisi (intensivliyi) ilə mütənasibdir.*

2. *Fotoelektronların maksimal kinetik enerjisi düşən işığın tezliyinin artmasından asılı olaraq xətti artır və işığın intensivliyindən asılı deyildir (**d**).*

3. *Hər bir maddə üçün tezliyin minimum qiyməti (ν_{min}) mövcuddur ki, düşən işığın tezliyinin qiyməti bu qiymətdən kiçik olarsa, fotoeffekt baş vermir (bax: **d**).*

*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).*



Fotoeffektin nəzəriyyəsi. Fotoeffektin nəzəri izahını Plank fərziyyəsindən istifadə edərək A.Eynşteyn verdi. Eynşteynin ideyasına görə, fotoeffekt hadisəsində hər bir elektronu bir foton (ışq kvantı) qoparır. Belə ki:

- Elektron foton "udaraq" onun $E = h\nu$ enerjisini qəbul edir. Bu enerji elektronun metaldan çıxış işinə və ona maksimal kinetik enerjinin verilməsinə sərf olunur.

$$h\nu = A_{\zeta} + E_{k\max} \text{ və ya}$$

$$h\nu = A_{\zeta} + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (2)$$

Eynşteyn tənliyi fotoeffektin qanunlarını və hər maddə üçün qırmızı sərhədin mövcud olduğunu izah edir. Belə ki, çıxış işi maddənin növündən asılı olduğuna görə müxtəlif maddələr üçün qırmızı sərhəd tezliyi də müxtəlifdir (**e**): $U = \frac{A_{\zeta}}{h}$. (3)

(1) düsturunda (2) və (3) ifadələri nəzərə almarısa, hər bir metal üçün saxlayıcı gərginliyin tezlikdən asılılığını müəyyən etmək olar:

$$U_{\text{max}}(c) = \frac{h}{e} (\nu - \nu_{\min}). \quad (4)$$

Beləliklə, fotoeffekt hadisəsi işığın korpuskulyar (zərrəcik) təbiətini təsdiq etdi. Məlum oldu ki, işıq yayılarda dalğavi təbiəti meydana çıxır - işığın dispersiya, difraksiya, interferensiya və polyarlaşma hadisələri bunu sübut etdi. Lakin fotoeffekt hadisəsi sübut etdi ki, maddə ilə qarşılıqlı təsirdə olan işıq porsiyalarla - hər birinin enerjisi $h\nu$ olan kvantlarla udulur və şüalanır. Buna görə deyilir ki, işıq *dualizmə* - *dalğa və zərrəcik* xassəsinə malikdir.

A.Eynşteyn fotoeffekt qanunlarının nəzəriyyəsinin izahına görə 1921-ci ildə Nobel mükafatına layiq görülmüşdür.

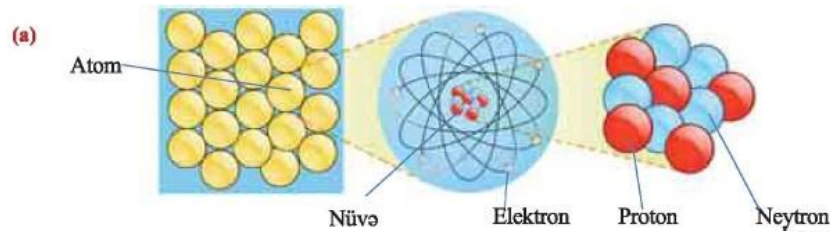
Atom haqqında ümumi məlumat. Nüvənin quruluşu və onun əsas xarakteristikaları 1932-ci ildə rus alimi Dmitri İvanenko və alman alimi Verner Heyzenberq nüvənin proton-neytron modelini təklif etdilər. Bu modelə görə:

- Atomun nüvəsi - proton və neytronlardan ibarət dayanıqlı əlaqəli sistemdir. Proton (yun. "*protos*" - ilkin) **p** hərfi ilə işarə edilir, müsbət elektrik yükünə malik olub modulu elektronun yükünün moduluna bərabərdir. Protonun kütləsi $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ kq olub elektronun kütləsindən 1836 dəfə böyükdür. Neytron (elektrik cəhətdən neytral mənasını daşıyır) **n** hərfi ilə işarə olunur, kütləsi təqribən protonun kütləsinə bərabərdir: $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ kq. Nüvədəki proton və neytronlar birlikdə **nuklonlar** (lat. "*nuklus*" - nüvəyə məxsus hissəciklər) adlanır. Nüvənin dayanıqlığı nuklonlar arasında qeyri-elektrik təbiətli güclü nüvə qüvvələrinin mövcud olması ilə izah edilir.
- Nüvə qüvvələri - zərrəcikləri (proton və neytronları) nüvədə saxlayan qüvvələrə deyilir. Nüvə qüvvələri yaxmatəsir xarakterlidir. Belə ki, nüvə qüvvələrinin təsir radiusu nüvənin ölçüsü qədərdir: $\approx 10^{-15}$ m. Nüvə qüvvələri bu məsafədə qiymətcə eyni işarəli yükə malik protonlar arasındakı itələmə xarakterli Kulon qüvvələrindən onlarca dəfə böyükdür.
- Nüvənin kütlə ədədi - nüvədəki nuklonların ümumi sayına bərabərdir. O, **A** hərfi ilə işarə edilir: Kütlə ədədi (**A**) = protonların sayı (**Z**) + neytronların sayı (**N**); **A = Z + N**. Bu ifadədən ixtiyari elementin nüvəsindəki neytronların sayı asanlıqla müəyyən edilə bilər: **N = A - Z**. Kütlə ədədi kimyəvi elementin yuxarı indeksində yazılır.

- Nüvənin yük ədədi - nüvədə olan protonların sayıdır. O, **Z** hərfi ilə işarə edilir və elementin aşağı indeksində yazılır.

Beləliklə, ixtiyari kimyəvi element ${}^A_Z X$ şəklində ifadə edilə bilər. Burada **X** - kimyəvi elementin simvoludur. Məsələn, oksigen nüvəsi üçün kütlə ədədi $A = 16$, yük ədədi isə $Z = 8$ olduğuna görə belə yazılır: ${}^{16}_8 O$.

Atom nüvəsinin quruluşu. Atom nüvəsi nuklonlar adlanan iki növ zərrəciklərdən - müsbət yüklü protonlardan və elektrik cəhətdən neytral olan neytronlardan təşkil olunmuşdur **(a)**.



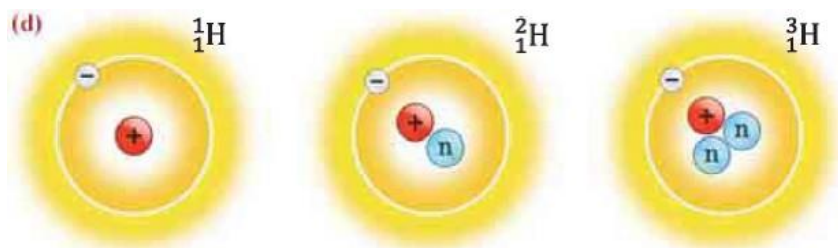
Adətən, hidrogen atomunun nüvəsi proton adlanır. O, ${}^1_1 p$ və yaxud ${}^1_1 H$ simvolu ilə işarə edilir. Protonun xarakteristikaları belədir: $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} kq$; $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} Kl = e$; nüvədən kənar sərbəst yaşama dövrü $r > 10^{32}$ ildir.

Neytron ${}^1_0 n$ simvolu ilə işarə olunur və məlum xarakteristikaları belədir: $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} kq$; $q_n = 0$; nüvədən kənar sərbəst yaşama dövrü $\tau \approx 886$ san-dir.

İzotoplar

- Nüvələrində protonlarının sayı eyni, lakin neytronlarının sayı müxtəlif olan atomlar verilən kimyəvi elementin **izotopları** (yun. "izos" - eyni + "topos" - yer) adlanır. Tərfi belə də söyləmək olar:

- Protonlarının sayı eyni, kütlə ədədləri müxtəlif olan atomlar izotoplar adlanır. Məsələn, hidrogenin üç izotopu məlumdur: ${}^1_1 H$ (protium) izotopu yalnız 1 protondan ibarətdir, ${}^2_1 H$ (deyterium) və ${}^3_1 H$ (tritium) izotopları isə bir protondan və uyğun olaraq bir və iki neytrondan ibarətdir **(d)**. Qeyd edək ki, neytronlar elementin kimyəvi xassəsinə heç bir təsir göstərmədiyindən eyni elementin bütün izotoplannın kimyəvi xassələri də eyni olur. Lakin neytronlarının sayı müxtəlif olan izotoplar fiziki xassələrinə görə (məs.: atomun enerji səviyyələrinə görə) bir-birindən fərqlənir.



Nüvə qüvvələri. Nüvə modelləri.

Nüvə qüvvələri

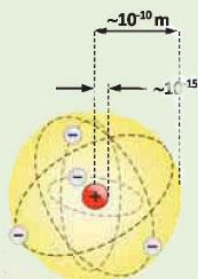
Nüvənin dayanıqlığı onu təşkil edən proton və neytronlar arasında *nüvə qüvvələri* (və ya *güclü qarşılıqlı təsir qüvvələri*) adlanan xüsusi cazibə xarakterli qüvvələrin mövcud olmasındadır.

• *Nüvə qüvvələri - nuklonları nüvədə saxlayan və onun dayanıqlığını təmin edən qüvvələrdir.*

Bu qüvvələrdə aşağıdakı xüsusiyyətlər aşkar edilmişdir:

- 1) cazibə xarakterli qüvvələrdir;
- 2) nüvə ölçüləri dairəsində protonlar arasında mövcud olan itələmə xarakterli Rulon qüvvələrindən 100 dəfə böyükdür;
- 3) yaxın təsir xarakterlidir - nüvə ölçüləri dairəsində ($10^{-15} \div 10^{-14}m$) meydana çıxır;
- 4) nuklonlar arasındakı nüvə qarşılıqlı təsir qüvvələri elektrik yükündən asılı deyildir: protonla - proton, protonla - neytron və neytronla - neytron arasındakı nüvə qüvvələri eynidir;
- 5) doyma xassəsinə malikdir: bu o deməkdir ki, nüvə daxilindəki nuklonlar yalnız yaxın "qonşuluqdakı" zərrəciklərlə qarşılıqlı təsirdə ola bilər;
- 6) mərkəzi təsir xarakterli deyildir, yəni nüvə qüvvələri qarşılıqlı təsirdə olan nuklonların mərkəzlərini birləşdirən xətt boyunca yönəlmişdir.

Atomun quruluşunun ilk modelini 1903-cü ildə ingilis fiziki Con Cozef Tomson (1856-1940) irəli sürür. Bu modelə görə, atom radiusu təxminən $10^{-10}m$ olan kürə formasındadır. Müsbət yük həmin kürənin bütün həcmi təşkil edir, mənfi yüklü elektronlar bu kürənin daxilində "keksdə kişmiş" kimi yerləşir. Lakin bu model radioaktivliyi, elektromaqnit hadisələrini və s.-ni izah edə bilmədi.



1910—1911-ci illərdə ingilis fiziki Ernest Rezerford (1871-1937) apardığı silsilə təcrübələrlə atomun tamamilə fərqli quruluşa malik olduğunu aşkar etdi. Rezerford modelinə görə, atom aşağıdakı quruluşa malikdir:

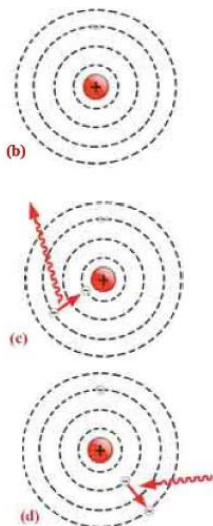
- *Atomun, demək olar ki, bütün kütləsi ($\approx 99,96\%$) onun nüvəsində toplanmışdır. Nüvənin ölçüsü atomun ölçüsü ilə müqayisədə çox kiçikdir, onun diametri $\approx 10^{-15}m$ -dir.*
- *Atom nüvəsinin yükü $q_N = +Ze$ (e — elementar yükün kimyəvi elementlərin dövrü sistemindəki Z sıra nömrəsi hasilinə bərabərdir).*

Nüvə ətrafında Kulon elektrik qüvvələrinin təsiri altında dairəvi orbitlər üzrə elektronlar hərəkət edir. Neytral atomda elektronların sayı Z olduğundan atomdakı elektronların ümumi yükü $q_e = -Ze$ -yə bərabərdir. Bu model Günəş sisteminə bənzədiyindən ona atomun planetar modeli də deyilir.

Borun kvant postulatları. 1913-cü ildə danimarkalı alim Nils Bor (1885-1962) Plankın işıq kvantları fərziyyəsinə əsaslanaraq atomun kvant nəzəriyyəsinə aid işlərini nəşr etdirdi. Bu nəzəriyyədə o, üç postulat əsasında atomun planetar modelinin çətinliklərini kvant təsəvvürləri əsasında aradan qaldırdı.

Borun birinci postulatında atomda elə halların mövcud olduğu əsaslandırılır ki, həmin hallarda təcillə hərəkət edən elektronlar elektromaqnit dalğaları şüalandırmır.

• **I postulat** - atom klassik fizika qanunlarına tabe olan hallarda deyil, xüsusi kvant (və ya stasionar) hallarda mövcud ola bilər. Hər bir kvant halı müəyyən E_n enerjisində malikdir. Atom stasionar halında elektromaqnit dalğası şüalandırmır **(b)**.



Borun ikinci postulatında atomda işığın udulma və şüalanma prosesi izah edilir.

• **II postulat** - atom bir stasionar haldan digərinə keçdikdə enerjisi $h\nu_{mn}$ olan bir işıq kvantı şüalandırır və ya udur. Şüalanan və ya udulan kvantın enerjisi stasionar halların enerjiləri fərqiə bərabərdir:

$$h\nu_{mn} = E_m - E_n \quad (1)$$

Buradan alınır ki, şüalanma tezliyi:

$$\nu_{mn} = \frac{E_m - E_n}{h} \quad (2)$$

Atom böyük enerjili stasionar haldan kiçik enerjili stasionar hala keçdikdə şüalanma baş verir:

$$E_m < E_n$$

Bu zaman elektron bir kvant şüalandıraraq uzaq orbitdən nüvəyə yaxın orbitə keçir **(c)**.

Atom bir işıq kvantı udduqda isə o, kiçik enerjili stasionar haldan böyük enerjili stasionar hala keçir:

$$E_m > E_n$$

Bu zaman elektron nüvəyə yaxın orbitdən uzaq orbitə keçir **(d)**.

Atomun enerji səviyyələri. Bor hidrogen atomunun stasionar hallarının enerjisi üçün aşağıdakı düsturu müəyyən etdi:

$$E_n = -\frac{E_0}{N^2} \quad (3)$$

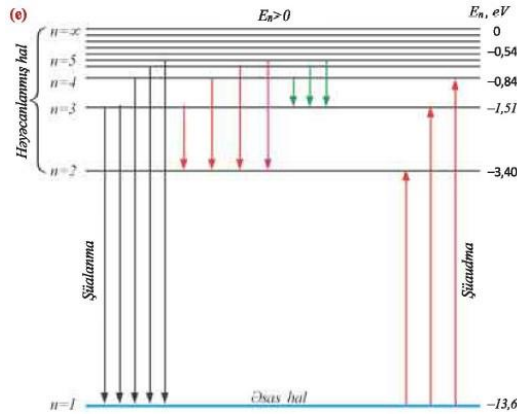
Burada $E_0 = 13,6$ eV minimum enerji halında olan hidrogen atomunun ionlaşma enerjisi, n - baş kvant ədədidir. Baş kvant ədədinin $n = 1$ olan stasionar halı *atomun əsas halıdır* və bu halda o, enerji şüalandırmır.

Atomun $n > 1$ olan bütün halları onun həyəcanlanmış halıdır. Atom həyəcanlanmış halda çox qala bilmir, şüalanma yolu ilə yenə minimum enerji halına qaydır.

Beləliklə, (3) düsturuna əsasən, hidrogen atomunun birinci kvant halında enerjisi

$E_1 = -E_0$, ikincidə $E_2 = -\frac{E_0}{2^2}$ üçüncüdə $E_3 = -\frac{E_0}{3^2}$ və s. olur. Bu o deməkdir ki, hidrogen atomu minimum enerji səviyyəsindən ikinci enerji səviyyəsinə keçdikdə enerjisi 4 dəfə, üçüncüyə keçdikdə 9 dəfə və s. artır.

Atomun enerji səviyyələri üfüqi xətlərlə təsvir edilir. Atomun bir stasionar halından digərinə keçidi şaquli oxlarla təsvir edilir: oxun aşağı olması bir kvant şüalanmasına, oxun yuxarı olması isə bir kvant udulmasına uyğundur **(e)**.



Atomun enerji səviyyələri diaqramından görünür ki, onun $n = \infty$ kvant halında enerjisi $E_\infty = 0$ olur. Bu o deməkdir ki, nüvə ilə rəbitəni tərk edən elektron sərbəst halda sükunətdədir. Ona görə də nüvə ilə rəbitədə olan elektronların enerji səviyyələri enerjinin sıfırdan kiçik, mənfi qiymətlərinə uyğun olmalıdır. Elektron nüvəyə cəzb olunduğuna görə onu atomdan qoparmaq üçün sıfırdan böyük, müsbət iş görülməlidir.

Borun III postulatına görə hidrogen atomunun şüalanmasının mümkün olan tezlikləri düsturu ilə təyin edilir. Burada $R \approx 3,3 \cdot 10^{15} \text{san}^{-1}$ Ridberq sabitidir.

$$\nu_{mn} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (4)$$

Ədəbiyyat

1. Qocayev N.M. Ümumi fizika kursu, 2 cildə. 2-ci cild, Molekulyar fizika. Bakı, Qafqaz Universiteti, 2008,432 s.
2. Савельев В.И. Курс общей физики. Т. 1,2,3, Москва, Высшая школа, 2006.
3. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа, 1981,400с.
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Механика. М.: Высшая школа, 1973,384 с.
5. Иванов С.А., Иванов А.Е. Механика. Молекулярная физика и термодинамика.М.: КноРус, 2012, 950 с.
6. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. М.: Гостехиздат, 2010,251 с.