

Azərbaycan Texniki Univaersitetinin nəzdində
Bakı Texniki kollecinin

“Ümumtəhsil fənləri” Fənn birliyinin
Fizika fəninin mühazirələri

Müəllim: Hüseynova Aytən Fizuli q

MÜNDƏRİCAT

<u>BÖLMƏ 1.</u>	4
<u>MÖVZU 1.MEXANİKİ HƏRƏKƏT VƏ ONUN TƏSVİRİ</u>	4
<u>MÖVZU 2.YOL VƏ YERDƏYİŞMƏ</u>	5
<u>MÖVZU 3.DÜZXƏTLİ BƏRABƏRSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT, SÜRƏT</u>	6
<u>MÖVZU 4.DÜZXƏTLİ DƏYİŞƏNSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT. TƏCİL</u>	8
<u>MÖVZU 5.DÜZXƏTLİ BƏRABƏRTƏCİLLİ HƏRƏKƏTDƏ SÜRƏT VƏ YERDƏYİŞMƏ</u>	9
<u>MÖVZU 6.CİSMİN SƏRBƏSTDÜŞMƏSİ</u>	11
<u>MÖVZU 7.MEXANİKİ HƏRƏKƏTİN NİSBİLİYİ</u>	13
<u>MÖVZU 8.ÇEVRE ÜZRƏ BƏRABƏRSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT</u>	13
<u>BÖLMƏ 2.MÖVZU 1.DİNAMİKANIN ƏSAS MƏSƏLƏSİ.QÜVVƏ.ƏVƏZLƏYİCİ QÜVVƏ. KÜTLƏ</u>	17
<u>MÖVZU 2.ƏTALƏTLƏ HƏRƏKƏT: NYUTONUN I QANUNU</u>	18
<u>MÖVZU 3.DİNAMİKANIN ƏSAS QANUNU: NYUTONUN II QANUNU</u>	18
<u>MÖVZU 4.TƏSİR VƏ ƏKS TƏSİR: NYUTONUN III QANUNU</u>	20
<u>MÖVZU 5.ÜMUMDÜNYA CAZİBƏ QANUNU</u>	20
<u>MÖVZU 6.AĞIRLIQ QÜVVƏSİ. QRAVİTASIYA SAHƏSİNİN İNTENSİVLİYİ</u>	21
<u>MÖVZU 7.ÇƏKİ VƏ ÇƏKİSİZLİK</u>	23
<u>MÖVZU 8.ELASTİKLİK QÜVVƏSİ</u>	24
<u>MÖVZU 9.SÜRTÜNMƏ QÜVVƏSİ.SÜRTÜNMƏ QÜVVƏSİNİN TƏSİRİ ALTINDA HƏRƏKƏT</u>	27
<u>MÖVZU 10.CİSMİN TARAQLI ŞƏRTLƏRİ</u>	29
<u>BÖLMƏ 3.MÖVZU 1.QAPALI SİSTEM. İMPULSUN SAXLANMASI QANUNU</u>	31
<u>MÖVZU 2.MEXANİKİ İŞ VƏ GÜC</u>	33
<u>MÖVZU 3.SİSTEMİN İŞGÖRMƏ QABİLİYYƏTİ - ENERJİDİR. KİNETİK ENERJİ</u>	35
<u>MÖVZU 4.POTENSİAL ENERJİ</u>	36
<u>MÖVZU 5.TAM MEXANİKİ ENERJİ. ENERJİNİN SAXLANMASI QANUNU</u>	39
<u>BÖLMƏ 4.MÖVZU 1.RƏQSİ HƏRƏKƏT.SƏRBƏST RƏQSLƏRİ</u>	43
<u>MÖVZU 2.YAYLI RƏQQASDA HARMONİK RƏQSLƏR</u>	45
<u>MÖVZU 3.RİYAZİ RƏQQASDA HARMONİK RƏQSLƏR</u>	46
<u>MÖVZU 4.HARMONİK RƏQSLƏRDƏ SÜRƏT VƏ TƏCİL</u>	48
<u>MÖVZU 5.HARMONİK RƏQSLƏRDƏ ENERJİ ÇEVRİLMƏLƏRİ</u>	49
<u>MÖVZU 6.MƏCBURİ RƏQSLƏR. REZONANS</u>	51
<u>MÖVZU 7.RƏQSLƏRİN ELASTİK MÜHİTDƏ YAYILMASI:MEXANİKİ DALĞA</u>	52
<u>BÖLMƏ 5.MÖVZU 1.NİSBİLİK NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSASLARI</u>	55
<u>MÖVZU 2.ENERJİ İLƏ KÜTLƏ ARASINDA QARŞILIQLI ƏLAQƏ QANUNU</u>	58
<u>BÖLMƏ 6.MÖVZU 1.MOLEKULYAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏ VƏ ONUN ƏSAS MÜDDƏALARI</u>	61

<u>MÖVZU 2.İDEAL QAZ. İDEAL QAZIN MOLEKULYAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSAS TƏNLİYİ</u>	64
<u>MÖVZU 3.İSTİLİK TARAZLIĞI – TEMPERATUR</u>	65
<u>MÖVZU 4.QAZ MOLEKULLARININ HƏRƏKƏT SÜRƏTİNİN MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİ</u>	68
<u>MÖVZU 5.İDEAL QAZIN HAL TƏNLİYİ</u>	69
<u>MÖVZU 6.QAZ QANUNLARI</u>	70
<u>MÖVZU 7.BUXARLARIN XASSƏLƏRİ: DOYAN VƏ DOYMAYAN BUXAR</u>	72
<u>MÖVZU 8.HAVANIN RÜTUBƏTLİLİYİ. ŞEH NÖQTƏSİ</u>	75
<u>MÖVZU 9.MAYELƏRİN SƏTHİ GƏRİLMƏSİ. KAPİLYAR HADİSƏLƏR</u>	76
<u>MÖVZU 10.BƏRK CİSİMLƏR VƏ ONLARIN BƏZİ XASSƏLƏRİ</u>	78
<u>BÖLMƏ 7.MÖVZU 1.TERMODİNAMİK SİSTEM. DAXİLİ ENERJİ</u>	83
<u>MÖVZU 2.TERMODİNAMİKANIN BİRİNCİ QANUNU</u>	86
<u>MÖVZU 3.TERMODİNAMİKANIN İKİNCİ QANUNU.İSTİLİK MÜHƏRRİKLƏRİNİN İŞ PRİNSİPİ</u>	89

BÖLMƏ 1.

MÖVZU 1.MEXANİKİ HƏRƏKƏT VƏ ONUN TƏSVİRİ

Ətraf aləmdə fasiləsiz baş verən dəyişiklik materiyanın 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 *kinematika*dır.

• **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 deyilir.

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.*

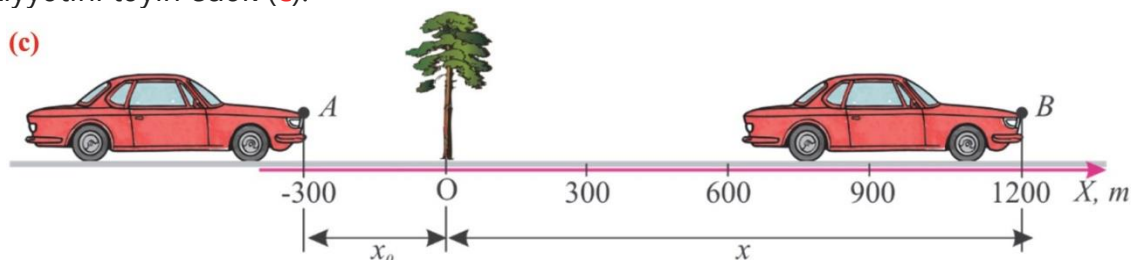
Maddi nöqtənin ixtiyari zamanda vəziyyətini müəyyən etmək üçün *hesablama cismi* seçilməlidir:

• *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 üsulla 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 öyrənmişiniz. 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:

$$x_0 = -300 \text{ m.}$$

Avtomobil **OX** oxu istiqamətində hərəkət etdiyindən, zaman keçdikcə onun koordinatı artaraq müəyyən t anında $x = 1200 \text{ m}$ 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 (**r**). 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.

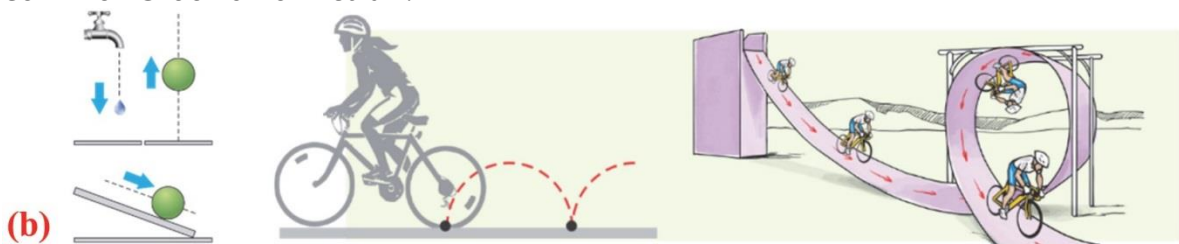
Beləliklə, maddi nöqtənin hərəkəti seçilən hesablama sistemində görə öyrənilir.

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

MÖVZU 2.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)**, ayrı 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*.

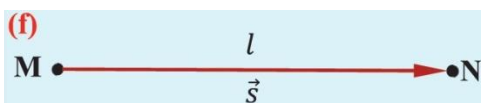
- *İstənilən fiziki kəmiyyətin dəyişməsi onun son və başlanğıc qiymətlərinin fərqinə bərabərdir və həmin kəmiyyətin işarəsinin əvvəlində Δ yazılır.*
- *Yerdəyişmə - hərəkətdə olan maddi nöqtənin başlanğıc və son vəziyyətini birləşdirən istiqamətlənmiş düz xətt parçasıdır. Yerdəyişmə vektorial kəmiyyətdir.*
- *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.

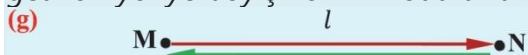
Yerdəyişmənin də yol kimi BS-də vahidi metrdir, lakin o, kəmiyyət olaraq gedilən yoldan fərqlidir: *yerdeyişmə fiziki mənaca verilmiş zaman fasiləsində maddi nöqtənin başlanğıc vəziyyətdən hansı məsafəyə və hansı istiqamətə yerini dəyişdiyini göstərir*

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 geriyyə, 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 fərqinə bərabərdir:

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

MÖVZU 3. 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:

$$v = \text{const.}$$

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

$$v = \frac{S}{t} \quad (1.1)$$

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:

$$v = \frac{[S]}{[t]} = \frac{1m}{1san} = 1 \frac{m}{san}$$

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

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

• Düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə gedilən yol yerdəyişmənin moduluna bərabərdir.

$$l = s = vt. \quad (1.3)$$

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 oxla proyeksiyaları təyin olunur və tənlik proyeksiyalarla yazılaraq həll edilir. Yerdəyişmənin və sürətin OX oxu üzərindəki proyeksiyalarını (1.2) ifadəsində nəzərə alaraq yazmaq olar:

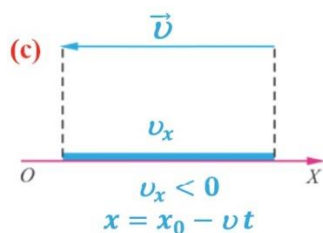
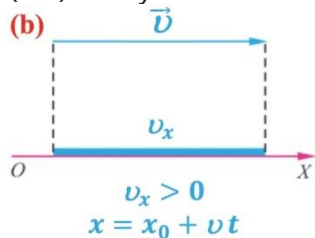
$$s_x = v_x t. \quad (1.4)$$

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:



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

(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**): $tg\alpha = \Delta x/t = v_x$

MÖVZU 4. 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 sürətyaxud 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.

$$\vartheta_{or} = \frac{S}{t} \quad (1.7)$$

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

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

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 (Δ) həmin yerdəyişmənin icrasına sərf olunan kiçik zaman fasiləsinə (Δt) nisbətində bərabərdir ($\Delta t \rightarrow 0$ şərti daxilində):

$$\vartheta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{S}{t} \quad (1.12)$$

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 ϑ 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:

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

MÖVZU 5. DÜZXƏTLİ BƏRABƏRTƏCİLLİ HƏRƏKƏTDƏ SÜRƏT VƏ YERDƏYİŞMƏ

Düzxətli bərabərtəcilli hərəkətdə sürət. (1.14) düsturundan görünür ki, təcili məlumdursa, istənilən andakı sürəti təyin etmək olar:

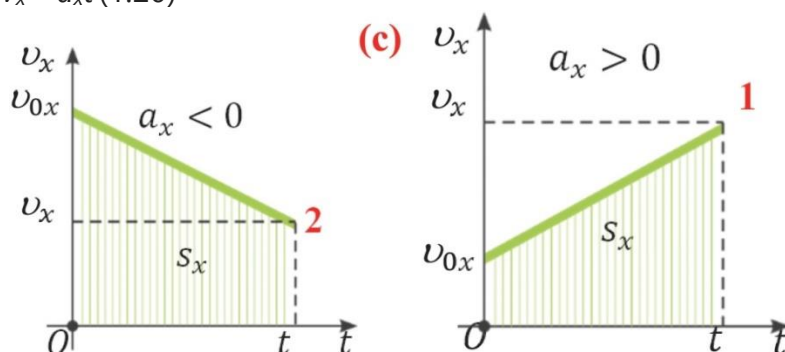
$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad (1.18)$$

və ya x oxu üzrə proyeksiyada:

$$v_x = v_{0x} + a_x t. \quad (1.19)$$

Əgər başlanğıc sürət sıfıra bərabərdirsə ($v_{0x} = 0$):

$$v_x = a_x t \quad (1.20)$$



Bu ifadələrdən məlum olur ki, bərabərtəcilli hərəkətdə sürət zamanın xətti funksiyası olub koordinat başlanğıcından (və ya v_{0x} -dan) keçən düz xətdir. Bu xətt sürətin artmasına, yaxud azalmasına uyğun olaraq ya yuxarı, yaxud da aşağı meyil edir (c).

Düzxətli bərabərtəcilli hərəkətdə yerdəyişmə. Bərabərtəcilli hərəkətdə yerdəyişmə düsturunun sürət-zaman qrafiki əsasında çıxarılması əlverişlidir. Yerdəyişmənin x oxu üzrə proyeksiyası $v_x(t)$ qrafiki ilə zaman oxu arasında qalan fiqurun sahəsinin ədədi qiymətinə bərabərdir. Verilən qrafikdə ştrixlənmiş bu fiqur trapesiyadır (bax: c):

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t \quad (1.21)$$

və ya vektor şəklində:

$$\vec{s} = \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2} \cdot t. \quad (1.22)$$

Sonuncu düsturda -nin əvəzinə onun (1.18)-dəki ifadəsi yazılırsa, bərabərtəcilli hərəkət üçün yerdəyişmənin ümumi tənliyi alınır:

$$\begin{aligned} \vec{s} &= \frac{\vec{v}_0 + \vec{v}}{2} \cdot t = \frac{\vec{v}_0 + (\vec{v}_0 + \vec{a}t)}{2} \cdot t = \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2, \\ \vec{s} &= \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2. \end{aligned} \quad (1.23)$$

Beləliklə, düzxətli bərabərtəcilli hərəkətdə yerdəyişmənin proyeksiyasının (məs.: x oxu üzərində) tənliyi:

$$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \quad (1.24)$$

koordinatının tənliyi isə:

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \quad (1.25)$$

(1.23) düsturu bərabərtəcilli hərəkətin vektor şəklində, (1.24) proyeksiya ilə, (1.25) isə koordinatla verilmiş ümumi tənliyidir. Maddi nöqtə sükunət halından ($v_{0x} = 0$) hərəkətə başlayarsa, onun hərəkət tənliyi:

$$s_x = \frac{a_x t^2}{2} \quad (1.26)$$

Tənlikdən göründüyü kimi, düzxətli bərabərtəcilli hərəkətdə yerdəyişmənin proyeksiyası zamandan kvadratik asılıdır ($s_x \sim t^2$) və onun qrafiki koordinat başlanğıcından keçən paraboladır (**d**).

Bəzi hallarda başlanğıc andan keçən t zamanını bilmədən maddi nöqtənin yerdəyişməsinə təyin etmək lazım gəlir. Belə məsələni o zaman həll etmək olur ki, təcil, başlanğıc sürət və yerdəyişmənin sonunda ani sürət məlum olsun. Uyğun tənliyi almaq üçün (1.19) ifadəsindən t təyin olunur:

$$t = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}$$

Sonuncu ifadə (1.21) tənliyində yerinə yazılır:

$$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} * \frac{v_x - v_{0x}}{a_x}$$

Sadə çevirmədən sonra alınır ki:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$$

Buradan son sürətin proyeksiyası üçün alınır: $v_x = \sqrt{v_{0x}^2 + 2a_x s_x}$. (1.28)

Hərəkət sükunət halından başlayarsa ($v_{0x} = 0$), yerdəyişmə və sürətin proyeksiyaları üçün alınır:

$$s_x = \frac{v_x^2}{2a_x} \quad (1.29)$$

$$v_x = \sqrt{2a_x s_x} \quad (1.30)$$

Bərabəryeyinləşən və bərabəryavaşıyan hərəkətlər. Bərabərtəcilli hərəkət xarakterinə görə ya *bərabəryeyinləşən*, yaxud da *bərabəryavaşıyan* olur.

• *Bərabəryeyinləşən hərəkətdə və vektorları eyni istiqamətə yönəlir. Bu halda v_{0x} və a_x proyeksiyalarının hər ikisinin işarəsi ya müsbət, yaxud da mənfi olur. Maddi nöqtə sükunət halından ($v_{0x}=0$) hərəkətə başlayırsa, istiqamətindən asılı olmayaraq hərəkət*

bütün hallarda bərabəryeyinləşəndir.

• Bərabəryavaşyan hərəkətdə və vektorları əks istiqamətə yönəlir. Bu halda v_{0x} və a_x proyeksiyaları əks işarəli olur - biri mənfi olduqda digəri müsbət olur.

Cədvəl 1.3-də düzxətli bərabəryeyinləşən və bərabəryavaşyan hərəkətlərin düsturları və uyğun qrafikləri verilmişdir.

Düzxətli bərabəryeyinləşən hərəkət		
$v_x = v_0 + at,$ $v_x = at,$ $v_x = -v_0 - at,$ $v_x = -at,$ $s_x = v_0 t + \frac{a_x t^2}{2}$ $s_x = -v_0 t - \frac{a_x t^2}{2}$ $s_x = \pm \frac{a_x t^2}{2}$		

Qeyd. $s_x \sim t^2$ olduğundan ($v_0 = 0$) yerdəyişmə proyeksiyalarının nisbəti uyğun zaman müddətlərinin kvadratları nisbətində bərabərdir:

$$s_{1x} : s_{2x} : s_{3x} : \dots : s_{nx} = t_1^2 : t_2^2 : t_3^2 : \dots : t_n^2.$$

Bu münasibət bəzən "yollar qanunu" da adlanır.

Düzxətli bərabəryavaşyan hərəkət		
$v_x = v_0 - at,$ $v_x = -v_0 + at,$ $s_x = v_0 t - \frac{a_x t^2}{2}$ $s_x = -v_0 t + \frac{a_x t^2}{2}$		

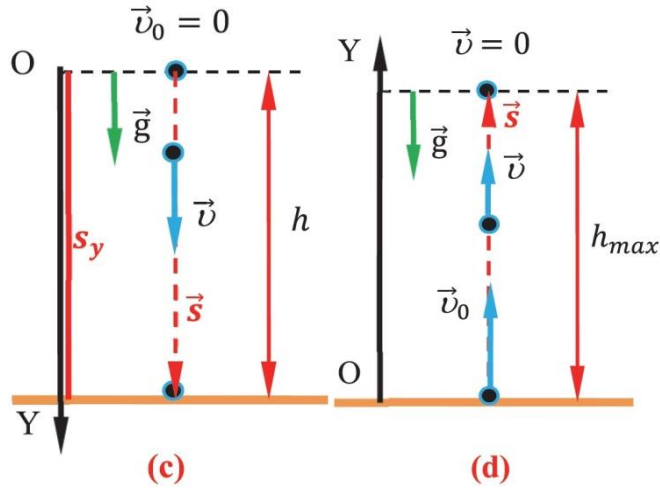
MÖVZU 6.CİSMİN SƏRBƏSTDÜŞMƏSİ

Yerdə ən çox rast gəlinən bərabərtəcilli hərəkət cisimlərin sərbəstdüşməsidir. Yer səthindən qaldırılan, dayağı və asqısı olmayan cisimlərin düşməsi sərbəstdüşmədir.

• Sərbəstdüşmə—cismın yalnız ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında düşən ($v_0=0$) hərəkətidir. Belə hərəkət g təcili ilə bərabəryeyinləşəndir.

Cisimlərin sərbəstdüşməsini ilk dəfə XVI əsrin sonlarında italyan alimi Qalileo Qaliley araşdırmışdır. O, eyni diametrlili müxtəlif kürələrin (taxta, dəmir və fil sümüyündən hazırlanmış kürələr) mail novda hərəkətlərini araşdırarkən müəyyən edir ki, bu cisimlər fərqli kütləli olmalarına baxmayaraq eyni təcillə hərəkət edir. Mail novun meyil bucağını dəyişdikdə də təcilin qiymətinin hər üç cisim üçün sabit qaldığı aşkar olur. Qalileyin gəldiyi nəticə: Yer kürəsi səthinin verilən hissəsində bütün cisimlərə eyni təcil verir.

Aparılan ölçmələr göstərmişdir ki, *sərbəstdüşmə təcili* adlandırılan bu təcil Yer səthinin yaxınlığında $\approx 9,8 m/san^2$ -ə bərabərdir. Sonralar aparılan çoxsaylı araşdırmalardan müəyyən edilir ki, bu qiymət Yer qütblərində $\approx 9,83 m/san^2$, ekvatorunda isə $\approx 9,78 m/san^2$ -dir.



Sərbəstdüşmə təcilinin istiqaməti həmişə şaquli aşağı - Yer mərkəzinə doğru yönəlir. Cisim düşərkən o bərabəryeyinləşən hərəkət edir. Bu zaman sərbəstdüşmə təcili vektorunun istiqaməti sürət vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşür. Seçilən koordinat oxu hərəkət istiqamətində yönəldilərsə, təcilin ox üzrə proyeksiyasının işarəsi müsbət olur (c).

Təcrübə göstərir ki, şaquli yuxarı atılan cisim də sərbəstdüşmə təcili ilə hərəkət edir. Belə ki, cisim yuxarı atıldıqda o, bərabəryavaşayan hərəkət edir. Seçilən koordinat oxu hərəkət istiqaməti üzrə yönəldilərsə, sərbəstdüşmə təcili vektorunun istiqaməti koordinat oxunun əksinə yönəldiyindən onun ox üzrə proyeksiyası mənfi olur (d).

Beləliklə, həm sərbəstdüşmədə, həm də şaquli yuxarı atılan cismin hərəkəti bərabərtəcilli olduğundan bu hərəkət üçün əvvəlki dərslərdə aldığımız düsturlar tamamilə ödənilir (bax: *cadval 1.4*).

Cadval 1.4.

Bərabərtəcilli hərəkətin kinematik tənlikləri: vektor və proyeksiyada	h hündürlüyündən şaquli aşağı atılan cismin sürəti	Şaquli yuxarı atılan cismin hərəkəti
$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ $\vec{s} = \vec{v}_0t + \frac{1}{2}\vec{g}t^2$ $v_y = \pm v_{0y} \pm g_yt$ $s_y = \pm v_{0y}t \pm \frac{g_yt^2}{2}$	Şaquli düşən və şaquli yuxarı hərəkət edən cismin yerdəyişməsinə uyğun olaraq düşdüyü və qalxdığı hündürlüyə bərabər olduğundan tənliklərin sadəliyi üçün $v_y = v$, $s_y = h$ və $v_{0y} = v_0$ götürülmüşdür:	
	$v = v_0 + gt$ $h = v_0t + \frac{gt^2}{2}$ $h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$	$v = v_0 - gt$ $h = v_0t - \frac{gt^2}{2}$ Cismin sürəti maksimum hündürlüyə çatdığı an sıfıra bərabər olduğundan ($v = 0$): $v_0 = gt$
	$v_0 = 0$ olduqda:	
	$v = gt$; $h = \frac{gt^2}{2}$.	

MÖVZU 7.MEXANİKİ HƏRƏKƏTİN NİSBİLİYİ

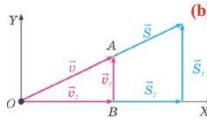
Bilirsiniz ki, maddi nöqtənin (və ya cismin) fəzada vəziyyəti hesablama sisteminin seçilməsindən asılıdır - müxtəlif hesablama sistemində nəzərən maddi nöqtənin vəziyyəti müxtəlif ola bilər. Deməli, cismin fəzada vəziyyəti nisbidir. Bu nisbilik cismin yalnız vəziyyətinə deyil, onun hərəkətinə də aiddir:

• *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 sistemində 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 8.ÇEVİRƏ ÜZRƏ BƏRABƏRSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT

Çevrə üzrə hərəkətin öyrənilməsinin mühüm nəzəri-praktik əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, ixtiyari əyrixətli trayektoriya müxtəlif radiuslu çevrələrin qövsələrinin cəmi kimi təsəvvür edilə bilər (a).

Çevrə üzrə hərəkətin ən sadə növü bərabərsürətli hərəkətdir.

• *Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət - maddi nöqtənin sürətinin modulunun çevrənin bütün nöqtələrində eyni olduğu hərəkətdir.* Belə hərəkət aşağıdakı kəmiyyətlərlə xarakterizə olunur:

Dövretmə periodu. *Dövretmə periodu - maddi nöqtənin çevrə üzrə tam bir dövrünə sərf etdiyi zamandır:*

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

Burada T — dövretmə periodu, N — maddi nöqtənin t müddətindəki tam dövrlərinin sayıdır. *Dövretmə periodunun BS-də vahidi saniyədir:* $[T] = 1 \text{ san}.$

Dövretmə tezliyi. *Dövretmə tezliyi - çevrə üzrə hərəkət edən maddi nöqtənin vahid zamandakı dövrlərinin sayıdır:*

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

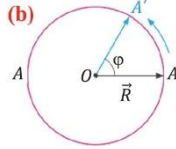
Burada v — dövretmə tezliyidir (bəzən ω hərfi ilə ifadə olunur). *Dövretmə tezliyinin BS-də vahidi saniyədə birdir:*

$$[v] = 1 \text{ san} = \text{san}^{-1}.$$

Dövretmə periodu ilə dövretmə tezliyi qarşılıqlı tərs kəmiyyətlərdir:

$$v = \frac{1}{T}; T = \frac{1}{v}$$

Bu o deməkdir ki, dövretmə tezliyi nə qədər kiçikdirsə, dövretmə periodu bir o qədər



dəfə böyükdür və ya əksinə.

Dönmə bucağı. *Dönmə bucağı* - çevrə üzrə hərəkətdə radius-vektorun döndüyü bucaqdır. O , radiuslar arasındakı qövsün uzunluğunun çevrənin radiusuna nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir (**b**):

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

Burada φ - dönmə bucağı, l - dönmə bucağına uyğun qövsün uzunluğu, R - çevrənin radiusudur. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən nöqtənin radius-vektorunun bərabər zaman fasilələrində dönmə bucaqları eyni olur. Dönmə bucağı skalyar kəmiyyət olub BS-də vahidi radiandır:

$$[\varphi] = 1 \text{ rad}$$

• 1 rad elə dönmə bucağına deyilir ki, onun cızdığı qövsün uzunluğu çevrənin radiusuna bərabər olsun ($l=R$).

Bucaq sürəti. *Bucaq sürəti* - dönmə bucağının bu dönməyə sərflənən zamana nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir:

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

Burada ω — bucaq sürətidir. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən nöqtənin bucaq sürəti zaman keçdikcə dəyişməz qalır ($\omega = \text{const}$). Bucaq sürətinin BS-də vahidi saniyədə radiandır.

$$[\omega] = 1 \frac{\text{rad}}{\text{san}}$$

• Bucaq sürətinin vahidi olaraq çevrə üzrə elə bərabərsürətli hərəkətin bucaq sürəti qəbul edilir ki, bu hərəkətdə radius vektor 1 san-də 1 rad bucaq qədər dönsün.

Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən maddi nöqtə dövretmə perioduna bərabər müddətdə ($t = T$) tam bir dövr edir və bu zaman radius-vektor $\varphi = 2\pi$ radian bucaq qədər dönür. Ona görə də bərabərsürətli hərəkətdə bucaq sürəti ilə dövretmə periodu və ya tezliyi arasında aşağıdakı əlaqə yaranır:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Xətti sürət. *Xətti sürət* - maddi nöqtənin çevrə üzrə hərəkət sürətinin moduluna deyilir. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə xətti sürətin modulu sabit olub ($v = \text{const}$) istiqaməti isə daim dəyişir və trayektoriyasının istənilən nöqtəsində çevrəyə toxunan istiqamətdə yönəlir (**c**).

Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə xətti sürət ədədi qiymətcə gedilən yolun bu yolu getməyə sərflənən zamana nisbətində bərabərdir.

$$v = \frac{l}{t}$$

Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən maddi nöqtə dövretmə perioduna bərabər müddətdə ($t = T$) tam bir dövr edir və bu zaman maddi nöqtə çevrənin uzunluğuna bərabər yol gedir: $l = 2\pi R$. Bunu xətti sürətin ifadəsində nəzərə alsaq, xətti sürətlə bucaq sürəti arasında əlaqə düsturu alınır:

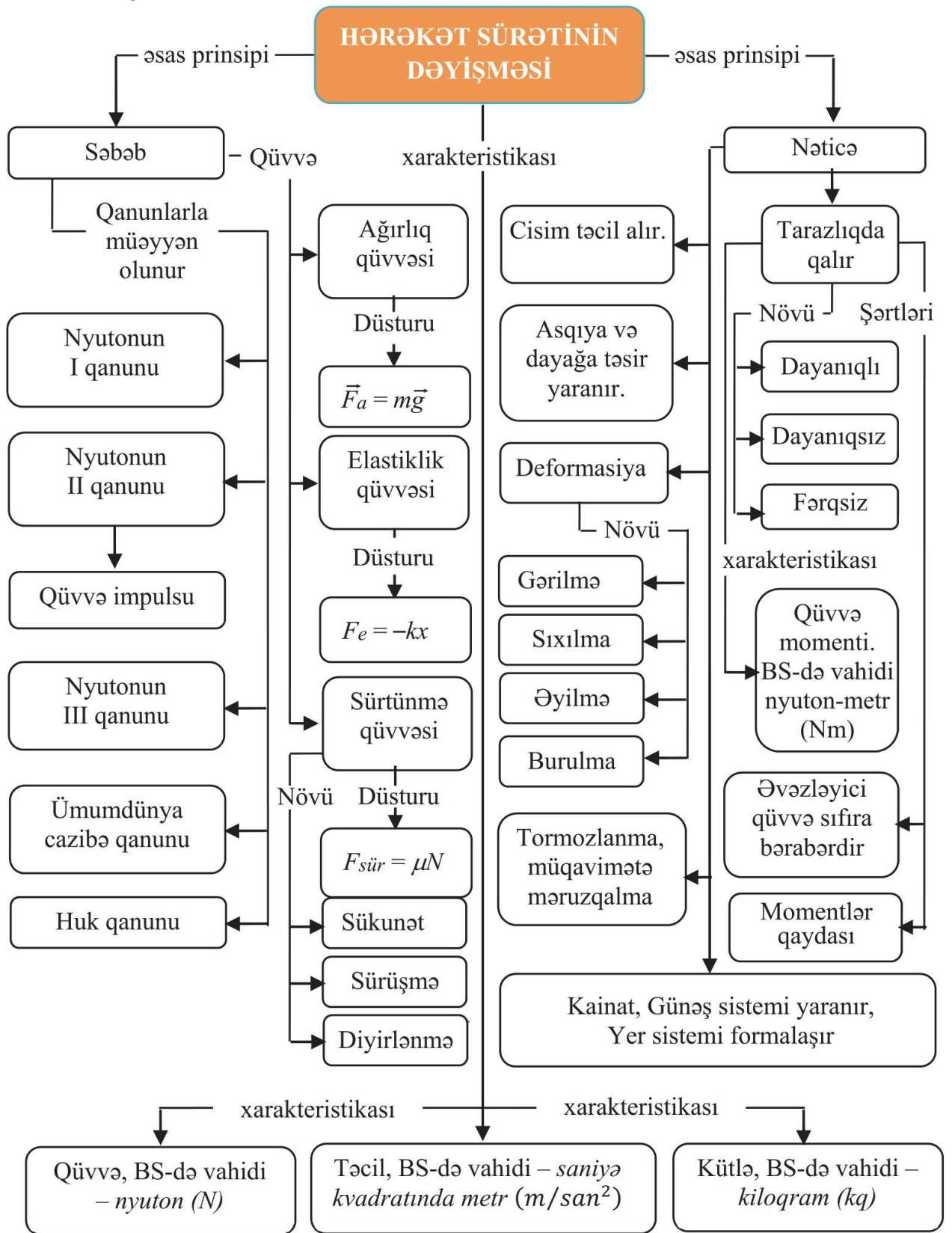
$$v = \frac{2\pi}{T} R = \omega R.$$

Mərkəzəqaçma təcili. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə xətti sürətin istiqamətinin dəyişmə yeyinliyi mərkəzəqaçma təcili və ya normal təcil adlanan fiziki kəmiyyətlə

xarakterizə olunur. Mərkəzaqaçma təcili və ya normal təcil vektoru trayektoriyanın hər bir nöqtəsində radius boyunca çevrənin mərkəzinə doğru yönəlir (bax: **c**). Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən maddi nöqtənin mərkəzaqaçma təcilinin modulu xətti sürət kvadratının çevrənin radiusuna nisbətində bərabərdir. $a = \frac{v^2}{R}$

BÖLMƏ 2.

Fəslin "Anlayışlar xəritəsi"



MÖVZU 1.DİNAMİKANIN ƏSAS MƏSƏLƏSİ.QÜVVƏ.ƏVƏZLƏYİCİ QÜVVƏ. KÜTLƏ

Siz "Kinematika" fəslinin dərs materiallarını öyrənməklə bərabərsürətli hərəkəti bərabərtəcilli hərəkətdən fərqləndirməyi, bu hərəkətlərin tənliklərini yazmağı bacardınız. Lakin hərəkətin hansı səbəbdən bərabərsürətli, yaxud təcilli olduğunu araşdırmadınız. Bu sual mexanikanın **dinamika** bölməsində öyrənilir.

• *Dinamika (yun. "dinamikos " - qüvvətli, güclü) - hərəkətin xarakterini müəyyənləşdirən səbəbləri aşkar edən, bu səbəblərin hərəkətə necə təsir etdiyini öyrənən mexanika bölməsidir.*

• *Dinamikanın əsas məsələsi - qüvvənin təsirinə görə cismin hərəkətinin xarakterini, yaxud əksinə, cismin hərəkətinin xarakterinə görə ona hansı qüvvənin təsir etdiyini müəyyənləşdirməkdir.*

Dinamikada "qüvvə" anlayışı başlıca anlayış olub cisimlərin qarşılıqlı təsirini xarakterizə edən vektorial fiziki kəmiyyətdir (bax: *Fizika-7*, s. 30). Qüvvə vektorunun istiqaməti bir cismin digərinə təsir istiqaməti ilə üst-üstə düşür, onun modulu isə bu təsiri miqdarca ifadə edir. *Müəyyən bir qüvvədən danışıldıqda aydın təsəvvür olunmalıdır ki:*

- *bu qüvvə hansı cismə təsir edir, yaxud hansı cismə tətbiq olunur?*
- *əgər cisim müəyyən ölçüyə malikdirsə, qüvvə onun hansı nöqtəsinə tətbiq olunur?*
- *o hansı cismin təsirini xarakterizə edir?*
- *bu qüvvə hansı xətt boyunca və necə yönəlmişdir?*
- *onun modulu nəyə bərabərdir?*

Cismə bir-neçə qüvvə təsir edirsə, bu qüvvələr bir yekun qüvvə ilə əvəzlənir.

- *Əvəzləyici qüvvə — cismə təsir edən bütün qüvvə vektorlarının cəminə bərabərdir.*

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = \sum \vec{F}_i.$$

Məsələn, əgər maddi nöqtəyə iki \vec{F}_1 və \vec{F}_2 qüvvələri bir-birinə perpendikulyar istiqamətdə təsir edirsə, onlar qüvvə vektoru ilə əvəzlənə bilər (**a**). Bu qüvvənin modulu:

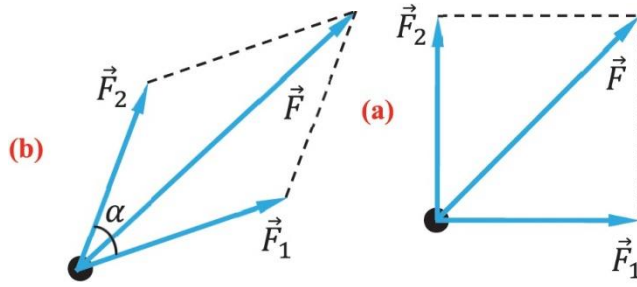
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}.$$

Əgər cismə təsir edən və qüvvə vektorları bir-biri ilə ixtiyari bucaq təşkil edərsə (**b**), əvəzləyici qüvvənin modulu *kosinuslar teoremi* (bax: *Riyaziyyat-9*) əsasında təyin edilir:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}.$$

Qüvvənin təsiri ilə cisim təcil aldığından dinamikada "təcil" anlayışı daha geniş mənə kəsb edir.

- *Cismin təcil alması - onun başqa cisimlərlə qarşılıqlı təsirdə olması*



deməkdir.

Məlumdur ki, qarşılıqlı təsirdə olan iki cismin təcillərinin modullarının nisbəti onların kütlələrinin tərs nisbətində bərabərdir:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

Cismin təcili ilə kütləsi arasındakı bu münasibət kütlənin təyini üsullarından biridir. Belə ki, ixtiyari cismin kütləsini təyin etmək üçün əvvəlcə kütlə vahidi - kütlə etalonu olaraq hər hansı bir cismin kütləsi seçilir. Sonra elə eksperiment qoyulur ki, həmin eksperimentdə kütləsi təyin olunan cisim etalon qəbul edilən cisimlə qarşılıqlı təsirdə olsun.

MÖVZU 2.ƏTALƏTLƏ HƏRƏKƏT: NYUTONUN I QANUNU

Dinamikanın əsasını İ.Nyutonun üç qanunu təşkil edir. Bu qanunlar çoxsaylı müşahidə və eksperimentlərin ümumiləşdirilməsinin nəticəsidir. İlk təcrübi ümumiləşməni XVII əsrdə yaşamış Q.Qaliley etmişdir. O sizin apardığınız araşdırmaya bənzər eksperimentlər nəticəsində *ətalət prinsipini* formalaşdırmışdır:

• Əgər cismə başqa cisimlər təsir edirsə və onların bu təsirləri bir-birini tarazlaşdırarsa, cisim ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət edər, yaxud da sükunətdə qalar.

Qalileyin ətalət prinsipinə istinad edən Nyuton dinamikanın I qanununu formalaşdırır. Hazırda Nyutonun I qanunu belə ifadə olunur:

• Elə hesablaşma sistemləri vardır ki, həmin sistemlərə görə digər cisimlər təsir etmədikdə (və ya təsirlər bir-birini kompensasiya etdikdə) o, sükunətdə qalır və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət edir.

Nyutonun I qanununun ödənilməsi bu hesablaşma sistemi *ətalət hesablaşma sistemi* (və ya *inertial hesablaşma sistemi*) adlanır. Yerə nəzərən sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olan sistemlərə təqribən ətalət hesablaşma sistemləri kimi baxıla bilər. Məsələn, düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən lokomotivlə bağlı hesablaşma sistemi ətalət hesablaşma sistemi qəbul oluna bilər.

Qeyd edək ki, "ətalət hesablaşma sistemi" anlayışı elmi abstraktdır. Real həyatda belə bir sistem mövcud deyildir, çünki təbiətdə mütləq sükunətdə olan cisim yoxdur.

MÖVZU 3.DİNAMİKANIN ƏSAS QANUNU: NYUTONUN II QANUNU

Araşdırmadan müəyyən etdiniz ki, verilən kütləli cismin təcili ona təsir edən əvəzləyici qüvvə ilə düz mütənasibdir:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_1}{F_2}$$

Digər tərəfdən, bilirsiniz ki, müxtəlif kütləli cisimlər eyni əvəzləyici qüvvənin təsiri altında müxtəlif təcillər alır - cismin təcili onun kütləsi ilə tərs mütənasibdir:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

Bu asılılıqları Nyuton araşdırmış və qanun şəklində ümumiləşdirmişdir. Nyutonun II qanunu adlanan həmin qanun belə ifadə olunur:

- Ətalət hesablama sistemində cismin aldığı təcil ona təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisi ilə düz, bu cismin kütləsi ilə tərs mütənəsibdir.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2.1)$$

və

ya

$$m\vec{a} = \vec{F}. \quad (2.2)$$

Qanunu belə də ifadə etmək olar: *cismə təsir edən əvəzləyici qüvvə cismə kütləsi ilə təcilinin hasilinə bərabərdir: $\vec{F} = m\vec{a}$.*

Nyutonun II qanunundan qüvvənin BS-də vahidi olan *nyutonun* ifadəsi müəyyən edilmişdir:

- 1 nyuton elə qüvvənin vahidinə deyilir ki, onun təsiri ilə kütləsi 1 kq olan cisim $1 \frac{m}{san^2}$ təcil alsın: $[F] = [m][a] = 1 \frac{kq \cdot m}{san^2} = 1N$

Qüvvə hərəkət sürətini dəyişən səbəbdir! 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 (və ya hərəkət miqdarı) adlanır.*

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

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

İmpulsun BS-də vahidi: $[p] = [m] \cdot [v] = 1 \frac{kq \cdot m}{san}$

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

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

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

Beləliklə, Nyutonun II qanunu dinamikanın mühüm bir faktını ümumiləşdirdi:

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

MÖVZU 4.TƏSİR VƏ ƏKS TƏSİR: NYUTONUN III QANUNU

Araşdırmadan müəyyən etdiniz ki, dinamometrlərin bir-birinə təsir etdikləri qüvvələr modulca bərabər, istiqamətcə əksdir (əqrəblər əks istiqamətlərə meyil etdi):

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2. \quad (2.7)$$

Bu bərabərlik Nyutonun III qanununu ifadə edir:

- *Ətalət hesablama sistemində iki cisim bir-birinə modulca bərabər, eyni bir düz xətt üzrə əks istiqamətlərə yönələn qüvvələrlə qarşılıqlı təsir edir.*

Nyutonun bu qanunu göstərir ki, cisimlər bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olduqları üçün qüvvələr həmişə cüt-cüt meydana çıxır. Bu o deməkdir ki, əgər ixtiyari cismə ikinci bir cisim müəyyən qüvvə ilə təsir edirsə, bu cisim də ikinci cismə mütləq modulca eyni, istiqamətcə əks tərəfə yönələn qüvvə ilə təsir edir. Nyutonun II qanununa görə, bu qüvvələr cisimlərə istiqamətcə bir-birinin əksinə yönəlmiş təcillər verəcək:

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2. \quad (2.8)$$

Burada m_1 və m_2 uyğun olaraq qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin kütlələri, \vec{a}_1 və \vec{a}_2 həmin cisimlərin təcilləridir. Nyutonun III qanunundan aşağıdakı nəticələr çıxır:

- *Cisimlərin qarşılıqlı təsiri zamanı eyni anda yaranan qüvvələr eyni təbiətlidir. Məsələn, iki küre elastiki toqquşduqda onlar bir-birinə eyni təbiətli (elektromaqnit təbiətli) qüvvə ilə təsir edir.*
- *Qarşılıqlı təsir nəticəsində meydana çıxan qüvvələr müxtəlif cisimlərə tətbiq olunur. Ona görə də bu qüvvələr heç vaxt bir-birini tarazlaşdırma bilmir - bir-birinin təsirini kompensasiya edə bilmir. Yalnız bir cismə tətbiq olunan qüvvələr bir-birinin təsirini kompensasiya edə bilər.*

MÖVZU 5.ÜMUMDÜNYA CAZİBƏ QANUNU

Bilirsiniz ki, Kainatdakı kütləyə malik bütün cisim və zərrəciklər - qalaktika ulduzları, Günəş və planetlər, Yer sistemi cisimləri, molekullar, atomlar və s. bir-birini *cazibə qüvvəsi* (və ya *qravitasiya qüvvəsi*) adlanan qüvvə ilə cəzb edir. İ.Nyuton bu qüvvənin asılı olduğu kəmiyyətləri araşdırdıqdan sonra onun dünyəvi xarakter daşdığını müəyyən edən qanun - *Ümumdünya cazibə qanununu* formalaşdırdı.

- *İki maddi nöqtə arasındakı qarşılıqlı cazibə qüvvəsi onların kütlələrinin hasilindən düz, aralarındakı məsafənin kvadratından tərs mütənasib asılıdır :*

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.9)$$

Burada F - cazibə (qravitasiya) qüvvəsinin modulu, m_1 və m_2 - maddi nöqtələrin kütlələri, r - maddi nöqtələr arasındakı məsafə, G - mütənasiblik əmsalı olub, *Ümumdünya cazibə sabiti* və ya sadəcə *qravitasiya sabiti* adlanır.

$$\text{Qravitasiya sabitinin BS-də vahidi: } [G] = \frac{[F] \cdot [r^2]}{[m] \cdot [m]} = 1 \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

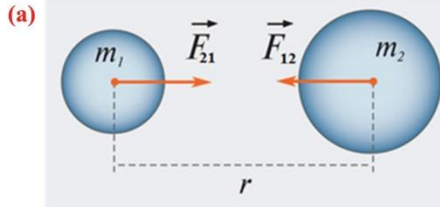
- *Qravitasiya sabiti - qiymətcə kütlələri 1 kq, aralarındakı məsafə 1 m olan iki maddi nöqtə arasındakı qarşılıqlı cazibə qüvvəsinə bərabərdir.*

Qravitasiya sabitinin ədədi qiymətini təcrübi olaraq 1798-ci ildə ingilis alimi Henri Kavendiş (1731-1810) təyin etmişdir. Bu qiymət dünyəvidir - Kainatda bütün cisimlər üçün, ölçülərindən və kütlələrindən asılı olmayaraq eynidir:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}. \quad (2.10)$$

Göründüyü kimi, qravitasiya sabitinin ədədi qiyməti çox kiçikdir. Buna görə də, nisbətən kiçik kütləli cisimlər arasında cazibə qüvvəsi hiss olunmur. Yalnız çox böyük kütləli cisimlər, məsələn, ulduz-planet, planet-peyk, planet-planet sisteminin cisimləri və s. arasında cazibə qüvvəsi hiss ediləcək dərəcədə böyük qiymətə malikdir.

Verilən şəraitdə maddi nöqtə kimi baxıla bilməyən iki ixtiyari cisim arasındakı cazibə qüvvəsi də Ümumdünya cazibə qanununun düsturundan təyin oluna bilər. Bu halda həmin cisimlər maddi nöqtələrin toplusu kimi təsəvvür edilir, iki ixtiyari maddi nöqtə arasındakı qüvvə hesablanır, alınan nəticələr toplanaraq ixtiyari iki cisim arasındakı



cazibə qüvvəsi hesablanır.

Belə hesablama mürəkkəb riyazi əməliyyatdır, lakin kürə formalı cisimlər arasındakı qarşılıqlı cazibə qüvvəsini hesablamaq üçün cazibə qanunundan istifadə edilir. Burada kürələr arasındakı məsafə olaraq onların mərkəzləri arasındakı məsafə götürülür (a). Odur ki cazibə düsturunu ixtiyari cisimlə Yer arasındakı cazibə qüvvəsinin hesablanması üçün də tətbiq etmək olar. Bu halda cisimlər arasındakı məsafə Yerin mərkəzindən götürülür: $r = R + h$. Yer ilə cisim arasındakı qarşılıqlı \vec{F}_{12} və \vec{F}_{21} qüvvələri cisimləri birləşdirən xətt boyunca yönəlir.

Nyutonun III qanununa əsasən $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ onların modulları isə bərabərdir: $F_{12} = F_{21} = F$.

$$F = G \frac{mM}{(R+h)^2} \quad (2.11)$$

Burada R - Yer kürəsinin radiusu, M - Yerin kütləsi, h - Yer səthindən radius boyunca cismin mərkəzinə qədərki məsafədir. Yer səthindəki ($h = 0$) cisimlər üçün cazibə qanunu belə yazılır:

$$F = G \frac{mM}{R^2}.$$

MÖVZU 6.AĞIRLIQ QÜVVƏSİ. QRAVİTASIYA SAHƏSİNİN İNTENSİVLİYİ

Bilirsiniz ki, fizikadan müasir təsəvvürlərə görə, cisimlərarası qarşılıqlı cazibə təsiri materiyanın xüsusi növü olan qravitasiya sahəsi vasitəsilə baş verir. İstənilən cisim öz ətrafında qravitasiya sahəsi yaradır. Digər fiziki sahələr kimi qravitasiya sahəsi də özünəməxsus qüvvə xarakteristikasına malikdir. Bu xarakteristika *qravitasiya sahəsinin intensivliyi* adlanır.

Qravitasiya sahəsinin intensivliyi - *qravitasiya sahəsində maddi nöqtəyə (cismə) təsir edən cazibə qüvvəsinin, onun kütləsinə nisbəti ilə ölçülən vektorial fiziki kəmiyyətdir:*

$$\vec{g}_0 = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (2.12)$$

Burada \vec{g}_0 - qravitasiya sahəsinin intensivliyi, m - bu sahəyə gətirilən maddi nöqtənin (cism) kütləsi, \vec{F} - qravitasiya sahəsində maddi nöqtəyə təsir edən cazibə qüvvəsidir.

Qravitasiya sahəsinin intensivliyinin modulu nədən asılıdır?

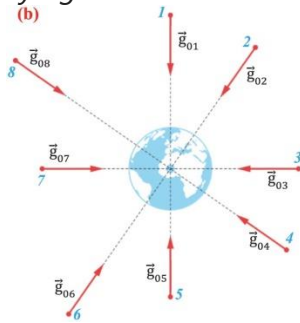
Bu məqsədlə qravitasiya sahəsinin intensivliyinin modulunu Yer səthi və Yer səthindən h hündürlükdəki ixtiyari nöqtə üçün hesablayaq:

$$g_0 = \frac{F_{Yer}}{m} = \frac{G \frac{mM}{R^2}}{m} = G \frac{M}{R^2}, \quad (2.13)$$

$$g_h = \frac{F_h}{m} = \frac{G \frac{mM}{(R+h)^2}}{m} = G \frac{M}{(R+h)^2}. \quad (2.14)$$

Burada F_{Yer} - Yer səthindəki cazibə qüvvəsi, M - Yerin kütləsi, R - Yerin radiusudur.

• Qravitasiya sahəsinin intensivliyinin modulu bu sahə mənbəyinin kütləsindən düz, sahənin verilmiş nöqtəsinə qədərki məsafənin kvadratından tərs mütənəsb asılıdır. O, sahəyə gətirilən cism kütləsindən asılı deyildir.



Qravitasiya sahəsinin intensivliyi radius boyunca sahə mənbəyinin mərkəzinə doğru yönəlir.

sahə mənbəyinin mərkəzinə doğru yönəlir (b). Qravitasiya sahəsinin verilmiş nöqtəsində sahə intensivliyinin modulu həmin nöqtədə sərbəstdüşmə təcilinin moduluna bərabərdir, verilmiş nöqtədə onların istiqamətləri də üst-üstə düşür.

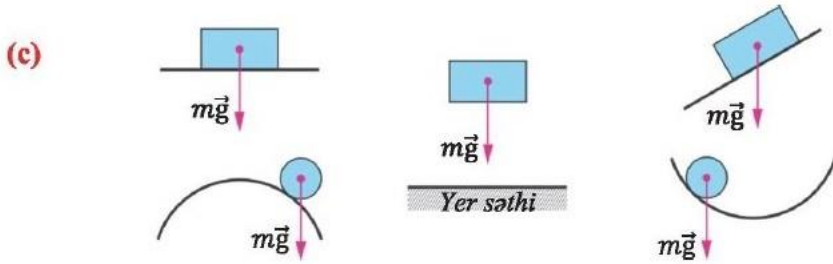
Qravitasiya sahəsinin intensivliyi ilə sərbəstdüşmə təcili eyni kəmiyyətlərdirmi?

Qravitasiya sahəsində yerləşən və ya bu sahəyə daxil olan ixtiyari cismə sahənin mənbəyi tərəfindən cazibə qüvvəsi təsir edir. Nəticədə cism sahə mənbəyinin mərkəzinə (məsələn, Yerin mərkəzinə) doğru istiqamətlənmiş təcil - sərbəstdüşmə təcili alır. Cismə bu təcili qravitasiya sahəsinin ona təsir etdiyi *ağırlıq qüvvəsi* verir.

• *Ağırlıq qüvvəsi* - cism *Yer tərəfindən cəzb olunduğu qüvvədir*. *Ağırlıq qüvvəsi sahəyə gətirilmiş cism kütləsi ilə Yerin bu cismə verdiyi sərbəstdüşmə təcili hasilinə bərabərdir*:

$$\vec{F}_a = m\vec{g}. \quad (2.15)$$

Ağırlıq qüvvəsi həmişə cism kütlə mərkəzinə tətbiq olunur və şaquli aşağı, Yerin (və ya digər planetin) mərkəzinə doğru (üfüqi səthə perpendikulyar) yönəlir (c).

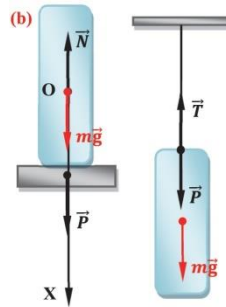


Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, "qravitasiya sahəsinin intensivliyi" və "sərbəstdüşmə təcili" anlayışları fərqli fiziki mahiyyət kəsb edir. Belə ki, qravitasiya sahəsinin intensivliyi sahənin yaranması ilə yarandığı halda, sərbəstdüşmə təcili yalnız bu sahəyə ixtiyari bir cisim (sınaq cismi) gətirildikdə ona ağırlıq qüvvəsinin təsiri nəticəsində yaranır.

MÖVZU 7.ÇƏKİ VƏ ÇƏKİSİZLİK

Çəki.

• Çəki - Yerın cazibəsi nəticəsində cismin üfüqi dayağa və ya asqıya göstərdiyi təsir qüvvəsidir. Çəki \vec{P} ilə işarə olunur, o, dayağa (və ya asqıya) tətbiq edilir, istiqaməti isə dayağa və ya asqıya perpendikulyardır. Dayağın vəziyyətindən asılı olaraq cismin çəkisi



dəyişə və ya dəyişməyə bilər.

Çəkinin dəyişmədiyi hal. Əgər cisim üfüqi dayağ üzərində sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdədirsə, onun çəkisi dəyişmir. Nə üçün?

Nyutonun III qanununa əsasən bu cismin çəkisi dayağın cismə göstərdiyi əks təsir qüvvəsinə - \vec{N} reaksiya qüvvəsinə modulca bərabər olub istiqamətcə onun əksinə yönəlir. Reaksiya qüvvəsi cismin özünə tətbiq olunur (b): $\vec{P} = -\vec{N}$ (sadəlik üçün reaksiya qüvvəsinin tətbiq nöqtəsi cismin mərkəzinə sürüşdürülmüşdür).

Əgər asqıdan asılan cisim sükunətdə və ya asqı ilə birlikdə düzxətli bərabərsürətli hərəkətdədirsə, Nyutonun III qanununa əsasən bu cismin çəkisi onun asıldığı ipə göstərdiyi əks təsir qüvvəsinə - \vec{T} gərilmə qüvvəsinə modulca bərabər olub, istiqamətcə onun əksinə yönəlir. Gərilmə qüvvəsi də cismin özünə tətbiq olunur (bax: b). $\vec{P} = -\vec{T}$.

Üfüqi dayağ üzərində sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olan cismin hərəkət tənliyi Nyutonun II qanununa əsasən belə yazılır: $m\vec{a} = \vec{F}$.

Burada əvəzləyici qüvvəsinin \vec{F} ağırlıq qüvvəsi ilə reaksiya qüvvəsinin vektorial cəminə bərabər olduğu nəzərə alınarsa, hərəkət tənliyi aşağıdakı şəkli alar:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}. \quad (2.16)$$

Tənliyi həll etmək üçün koordinat oxu seçilir, qüvvə vektorlarının bu ox üzərində proyeksiyaları təyin olunur və proyeksiyaların işarələri nəzərə alınaraq tənlikdə yerinə yazılır.

Koordinat oxunu (OX oxu) ağırlıq qüvvəsi istiqaməti üzrə yönəltmək əlverişlidir (bax: **b**). Beləliklə, qüvvələrin bu ox üzrə proyeksiyalarını, habelə üfüqi dayaq üzərində sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olan cismin təcilinin sıfıra bərabər olduğunu nəzərə alsaq, cismin hərəkət tənliyi üçün alarıq:

$$0 = mg - N. (2.17)$$

Buradan görünür ki, üfüqi dayaq üzərində sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olan cismin çəkisi ədədi qiymətcə ağırlıq qüvvəsinin moduluna bərabərdir:

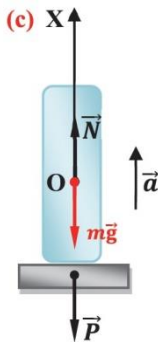
$$N = P = mg. (2.18)$$

Çəkinin dəyişdiyi hal. Əgər cisim üfüqi dayaqla (və ya asqıyla) birlikdə təcili ilə şaquli istiqamətdə hərəkət edərsə, hərəkət istiqamətindən asılı olaraq cismin çəkisi ya artar, yaxud da azalar.

Fərz edək ki, cisim dayaqla birlikdə \vec{a} təcili ilə şaquli yuxarı, ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətinin əksinə hərəkət edir. Cismin hərəkət tənliyinin vektoru şəkildə ifadəsi

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}.$$

dəyişmir:



Əlverişli olsun deyə koordinat oxunu hərəkət istiqamətində seçib tənliyi həll etsək (**c**), alarıq: $ma = N - mg. (2.19)$

Buradan da görünür ki, dayaqla birlikdə \vec{a} təcili ilə şaquli yuxarı hərəkət edən cismin çəkisi artır. Cismin bu halı *əlavə yüklənmə* adlanır:

$$N = P = ma + mg = m(a + g). (2.20)$$

Aydındır ki, əgər cisim üfüqi dayaqla birlikdə ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətində \vec{a} təcili ilə hərəkət edərsə, onun çəkisi azalar:

$$N = P = m(g - a). (2.21)$$

Çəkinin sıfıra bərabər olduğu hal - çəkisizlik. Cisim yalnız qravitasiya qüvvəsinin təsiri ilə hərəkət edərsə, yəni onun təcili sərbəstdüşmə təcilinə bərabər olarsa ($a = g$), cismin çəkisi sıfıra bərabər olar. Cismin bu halı *çəkisizlik* adlanır:

$$N = P = m(g - g) = 0. (2.22)$$

MÖVZU 8.ELASTİKLİK QÜVVƏSİ

Elektromağnit təbiətli qüvvələr. Məlumdur ki, elektrik yükü ilə elektriclənən cisimlər bir-birinə ya cazibə, yaxud da itələmə xarakterli elektrik qüvvəsi ilə təsir edir. Cisimdəki elektrik yükləri bir-birinə nəzərən hərəkət etdikdə isə onlar arasında elektrik qüvvəsindən əlavə, maqnit qüvvəsi də yaranır. Bir-biri ilə sıx rəbitədə olan bu qüvvələri ayırmaq qeyri-mümkündür, çünki onların təsiri eyni zamanda baş verir. Ona görə də deyilir ki, elektriclənmiş cisimlər arasındakı

qarşılıqlı təsir *elektromağnit təbiətli qüvvələrin* təsiri nəticəsində baş verir. Cisimlərin mexaniki hərəkət sürətlərinin dəyişdirilməsinə səbəb olan qüvvələrdən ikisi - elastiklik və sürtünmə qüvvələri də elektromağnit təbiətli qüvvələrdir.

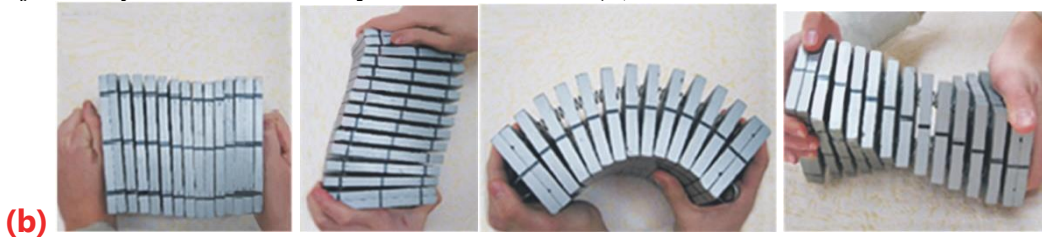
Elastiklik qüvvəsi elektromağnit təbiətli qüvvədir. Bilirsiniz ki, istənilən bərk cisim xarici qüvvənin təsiri altında *deformasiyaya* məruz qalır.

• *Deformasiya* - xarici qüvvənin təsiri altında cismin öz forma və ölçülərini dəyişməsidir. Deformasiya nəticəsində cismin atom və molekullarının bir-birinə nəzərən yerdəyişməsi baş verir: atomlar arasındakı məsafə ya artır, yaxud da azalır. Belə yerdəyişmə cismin atomlarının müsbət yüklü nüvələri və mənfi yüklü elektronları arasındakı elektrostatik qarşılıqlı təsirləri də artır-azalır. Nəticədə, cismin deformasiya olunan hissəsini əvvəlki vəziyyətinə qaytarmağa “çalışan” elektromağnit təbiətli qüvvə - *elastiklik qüvvəsi* yaranır.

• *Elastiklik qüvvəsi* — bərk cismin deformasiyası zamanı yaranan və cismin əvvəlki vəziyyətini bərpa etmək istiqamətində yönələn qüvvədir.

Cismə xarici qüvvənin təsiri kəsildikdən sonra o, elastiklik qüvvəsinin təsiri altında öz əvvəlki forma və ölçülərini alarsa, belə deformasiya *elastik deformasiya*, əksinə, almırsa, *plastik deformasiya* adlanır.

Deformasiya - *gərilmə-sıxılma, sürüşmə, burulma* və *əyilmə* növlərinə görə fərqləndirilir. Cismin *gərilmə-sıxılma* deformasiyasında onun hissələri arasındakı məsafə dəyişir, *sürüşmə deformasiyasında* isə bu hissələr bir-birinə nəzərən sürüşür. *Əyilmə deformasiyası* bərk cismin hissələrinin gərilmə və sıxılma deformasiyalarının, *burulma* isə *sürüşmə deformasiyasının* kombinasiyasından ibarətdir (b).



gərilmə
deformasiyası

sürüşmə
deformasiyası

əyilmə
deformasiyası

burulma
deformasiyası

Huk qanunu. Bərk cismin gərilmə-sıxılma deformasiyası *mütləq uzanma* və *nisbi uzanma* adlanan kəmiyyətlərlə xarakterizə olunur.

$$\Delta l = l - l_0, (2.23)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}, (2.24)$$

Burada l_0 - bərk cismin başlanğıc, l isə son uzunluğudur, Δl - mütləq uzanmadır. $\Delta l \ll l_0$ olduqda deformasiya elastik xarakterə malikdir, ε - nisbi uzanmadır və o, vahidsiz kəmiyyətdir.

Deformasiyaya məruz qalan cismin halı *mexaniki gərginlik* adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə olunur.

• *Mexaniki gərginlik* - deformasiya zamanı yaranan elastiklik qüvvəsinin modulunun (F_e) cismin en kəsiyinin sahəsinə (S) nisbətində bərabər olan fiziki kəmiyyətdir.

$$\sigma = \frac{F_e}{S}. (2.25)$$

Burada σ - mexaniki gərginlikdir. Onun BS-də vahidi paskaldır:

$$[\sigma] = 1 \frac{N}{m^2} = 1 Pa.$$

• *Huk qanununa görə, mexaniki gərginlik kiçik deformasiyalarda nisbi uzanma ilə mütənasibdir.*

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon| \quad (2.26)$$

E - mütənasiblik əmsalı olub *Yunq modulu* adlanır.

• *Yunq modulu* - nazik çubuğu iki dəfə dartıb uzatmaq üçün lazım olan gərginliyə bərabər fiziki kəmiyyətdir. O, cismin hazırlandığı materialdan asılıdır və onun da BS- də vahidi paskaldır: $[E] = [\sigma]$

$$[\varepsilon] = 1Pa$$

(2.24) və (2.25) ifadələri Huk qanununda - (2.26)-da nəzərə alınarsa:

$$\frac{F_e}{S} = E \frac{|\Delta l|}{l_0} \rightarrow F_e = \frac{ES}{l_0} |\Delta l| \quad (2.27)$$

Burada

$$\frac{ES}{l_0} = k \quad (2.28)$$

olub çubuğun *elastiklik əmsalı* və ya *sərtliyi* adlanır.

Sərtlik - *elastiklik qüvvəsi ilə mütləq uzanma arasında mütənasiblik əmsalı olub nümunənin hazırlandığı materialdan və onun həndəsi ölçüsündən asılıdır.*

(2.28)-i (2.27)-də nəzərə alsaq, Huk qanununu belə də yazmaq olar:

$$F_e = k |\Delta l|. \quad (2.29)$$

Adətən, Huk qanunu

$$F_e = -kx. \quad (2.30)$$

şəklində də ifadə olunur. Burada $x = \Delta l$ mütləq uzanmanı ifadə edir, mənfi işarəsi isə elastiklik qüvvəsinin zərrəciklərin yerdəyişməsinin əksinə yönəldiyini bildirir.

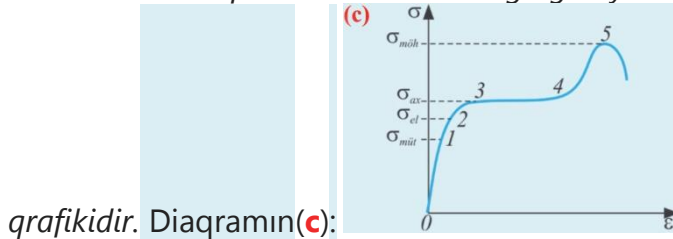
Onun BS-də vahidi:

$$[k] = \frac{[F_e]}{[\Delta l]} = 1 \frac{N}{m}.$$

Gərilmə

diaqramı

• *Gərilmə diaqramı* - *mexaniki gərginliyin nümunənin nisbi uzanmasından asılılıq*



- 0-1 hissəsi** - kiçik deformasiyalarda mexaniki gərginliyin nisbi uzanma ilə mütənasib olduğu - Huk qanununun ödənildiyi hissədir.
 - *Huk qanununun ödənildiyi maksimum mexaniki gərginlik **mütənasiblik həddi** ($\sigma_{müt}$) adlanır.*
- 1-2 hissəsi** - xarici təsirlər kəsildikdən sonra nümunənin öz əvvəlki ölçülərini almasına - elastik deformasiyanın davam etdiyi hala uyğundur.
 - *Elastik deformasiya yaradan maksimal gərginlik **elastiklik həddi** (σ_{el}) adlanır. Mexaniki gərginliyin elastiklik həddindən böyük qiymətlərdə deformasiya plastik olur;*
- 2-3 hissəsi** - plastik deformasiyaya uyğun mexaniki gərginlikdir;
- 3-4 hissəsi** - nümunənin "axdığı" hissədir. Mexaniki gərginlik sabit (σ_{ox}) həddinə malikdir və nisbi uzanma artır;
- 4-5 hissəsi** - mexaniki gərginliyin sürətlə artdığı, nümunənin dağıldığı hala uyğundur.

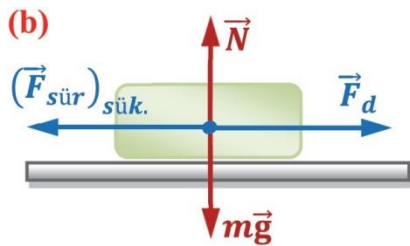
- Nümunənin dağılmasına səbəb olan maksimum mexaniki gərginlik **möhkəmlik həddi** ($\sigma_{möh}$) adlanır

MÖVZU 9.SÜRTÜNMƏ QÜVVƏSİ.SÜRTÜNMƏ QÜVVƏSİNİN TƏSİRİ ALTINDA HƏRƏKƏT

Sürtünmə qüvvəsi. Sürtünmə qüvvəsi bir-birinə toxunan cisimlər arasında yaranır və toxunan səthlər boyunca onların nisbi hərəkətinin əksinə yönəlir. Sürtünmə qüvvəsinin yaranmasına səbəb toxunan səthlərin kələ-kötür olması və bu səthlərin molekulları arasında "ilişmə qüvvələrinin" (cazibə xarakterli qüvvələrin) yaranmasıdır. Molekullar arasında belə qüvvələrin yaranması sürtünmə qüvvəsinin elektromaqnit təbiətli olduğunu müəyyənləşdirir.

Sürtünmə qüvvəsinin üç növü var: *sürüşmə, diyirlənmə və sükunət sürtünmə qüvvələri.*

- *Sürüşmə sürtünmə qüvvəsi - bir cismin səthində digər cisim sürüşdükdə yaranan sürtünmə qüvvəsidir.*
- *Diyirlənmə sürtünmə qüvvəsi - bir cismin səthində digər cisim diyirləndikdə yaranan sürtünmə qüvvəsidir.*



- *Sükunət sürtünmə qüvvəsi - bir-birinə nəzərən sükunətdə olan cisimlər arasında yaranan sürtünmə qüvvəsidir. Sükunət sürtünmə qüvvəsi ədədi qiymətcə sükunətdə olan cismə toxunan səthlərə paralel yönələn dartı qüvvəsinə bərabər olub onun əksinə yönəlir (b).*

Dartı qüvvəsinin müəyyən qiymətində cisim hərəkətə gələrək ikinci cismin səthində sürüşməyə başlayır - sürüşmə sürtünmə qüvvəsi yaranır.

Sürüşmə sürtünmə qüvvəsi ədədi qiymətcə səthin reaksiya qüvvəsi ilə (təzyiq qüvvəsi ilə) düz mütənasib olub sükunət sürtünmə qüvvəsinin maksimal qiymətinə bərabərdir.

$$(F_{sür.})_{sürüşmə} = (F_{sür.})_{sükunət}^{max} = \mu N \quad (2.31)$$

Burada μ — mütənasiblik əmsalı olub *sürüşmə sürtünmə əmsalı* adlanır: μ , toxunan cisimlərin hazırlandığı materialdan və toxunan səthlərin hamarlığından asılıdır. μ — adsız kəmiyyətdir, vahidi yoxdur.

Toxunan səthlərin xassəsindən asılı olaraq sürtünmə qüvvəsi *quru sürtünmə qüvvəsi* və *müqavimət qüvvəsi* adlandırılır.

- *Quru sürtünmə qüvvəsi - bərk cisimlərin toxunan səthləri arasında yaranan sürtünmədir.*
- *Müqavimət qüvvəsi - bərk cismin mayedə və qazda hərəkəti zamanı meydana çıxan və hərəkətin əksinə yönələn qüvvədir.*

Sürtünmə qüvvəsinin təsiri altında hərəkət. Sürtünmə qüvvəsinin təsiri altında m kütləli cismin müxtəlif hərəkətini araşdırmaq:

1. *Cisim üfüqi səthdə bərabərsürətli düzxətli hərəkət edir.* Ona təsir edən bütün qüvvələr sxemdə göstərilir (c). Bərabərsürətli hərəkətdə $a = 0$ olduğundan Nyutonun II qanununa əsasən cismin hərəkət tənliyi vektoru şəkildə belə yazılır:

$$0 = \vec{F}_d + \vec{F}_{sür} + \vec{N} + m\vec{g}.$$

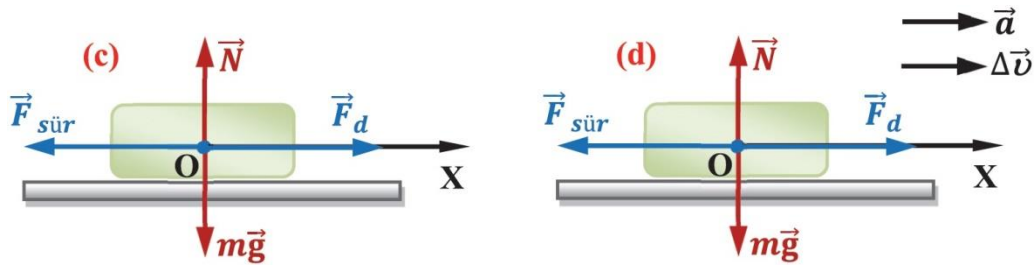
Koordinat oxunu dartı qüvvəsi istiqamətində (hərəkət istiqamətində) seçib qüvvələri onun üzərinə proyeksiyalasaq, tənlik asanlıqla həll edilir (bax: c):

$$0 = F_d - F_{sür} + 0 + 0.$$

Burada nəzərə alınmışdır ki, reaksiya qüvvəsi ilə ağırlıq qüvvələrinin OX oxu üzərində proyeksiyaları sifira bərabərdir - bu vektorlar oxa perpendikulyardır.

Beləliklə, üfüqi səthdə bərabərsürətli düzxətli hərəkət edən cismə təsir edən qüvvələrin modulları cüt-cüt bir-birinə bərabərdir və qarşılıqlı təsirlərini kompensasiya edir:

$$N = mg; F_d = F_{sür} = \mu N = \mu mg. (2.32)$$



2. *Cisim düzxətli bərabəryeyinləşən hərəkət edir (d).* Bu halda cismin hərəkət tənliyi ümumi şəkildə belə olar:

$$m\vec{a} = \vec{F}_d + \vec{F}_{sür} + \vec{N} + m\vec{g}. (2.33)$$

Qüvvələri koordinat oxu üzərinə proyeksiyalayıb skalyar şəkildə yazsaq, alarıq:

$$ma = F_d - F_{sür} = F_d - \mu mg. (2.34)$$

Sonuncu ifadədən tənliyə daxil olan ixtiyari kəmiyyət asanlıqla təyin edilir.

3. *Hərəkətdə olan cismə yalnız sürtünmə qüvvəsi təsir edir.* Sürtünmə qüvvəsi həmişə hərəkətin əksinə yönəldiyindən onun təsiri ilə cismin aldığı təcil sürətin əksinə yönəlir. Ona görə də hərəkətdə olan cismə yalnız sürtünmə qüvvəsi təsir edərsə, o, tormozlanır. Bu halda cismin hərəkət tənliyi belə yazılır:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{sür} + \vec{N} + m\vec{g} (2.35)$$

$$ma = F_{sür}. (2.36)$$

$$\text{Cismin təcili isə } a = \frac{F_{sür}}{m} = \frac{\mu mg}{m} = \mu g.$$

Buradan üfüqi yolda hərəkət edən cismin tormozlanma yolu və müddəti təyin edilir:

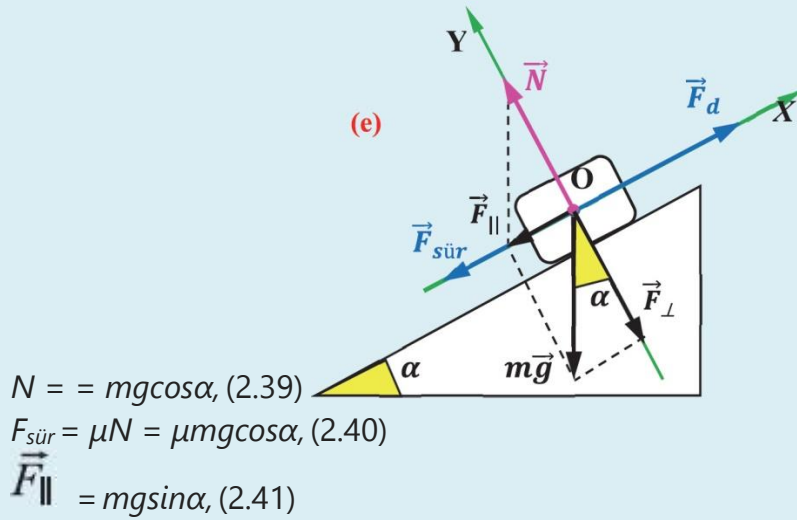
$$l_{tor} = \frac{\vartheta_0^2}{2a} = \frac{m\vartheta_0^2}{2F_{sür}} = \frac{\vartheta_0^2}{2\mu g} (2.37)$$

$$t_{tor} = \frac{\vartheta_0}{a} = \frac{m\vartheta_0}{F_{sür}} = \frac{\vartheta_0}{\mu g}. (2.38)$$

Cisim mail müstəvidə hərəkət edir.

Mail müstəvi - üfüqlə müəyyən α bucağı əmələ gətirən səthdir. Şəkildən görüldüyü kimi, mail müstəvidə dartı qüvvəsinin təsiri altında bərabərtəcilli hərəkət edən

cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsi iki toplanana ayrılır: səthə paralel \vec{F}_{\parallel} toplanan və səthə perpendikulyar \vec{F}_{\perp} toplanan (e). Bu halda səthin reaksiya qüvvəsinin modulu \vec{F}_{\perp} toplananının moduluna bərabərdir:



Mail müstəvidə hərəkət edən cismin hərəkət tənliyi ümumi şəkildə belə olar:

$$m\vec{a} = \vec{F}_d + \vec{F}_{\text{sür}} + \vec{N} + m\vec{g}.$$

Tənliyi həll etmək üçün XOY düzbucaqlı koordinat sistemi seçilir. Qüvvələri bu oxlar üzrə proyeksiyaladıqda iki tənlikdən ibarət sistem alınır:

$$\begin{cases} ma_x = F_d - F_{\text{sür}} - F_{\parallel} \\ ma_y = N - F_{\perp}. \end{cases} \quad (2.42)$$

OY oxu boyunca hərəkət olmadığından $a_y = 0$ olur. Bunu və (2.39) - (2.41) ifadələrini (2.42) sistemində nəzərə alsaq, cismin təcilini təyin etmək olar:

$$a_x = \frac{F_d - F_{\text{sür}} - F_{\parallel}}{m} = \frac{F_d - \mu mg \cos \alpha - mg \sin \alpha}{m}$$

MÖVZU 10. CİSMİN TARAZLIQ ŞƏRTLƏRİ

Nyutonun I qanununa görə, cismin tarazlıqda olması - onun inersial hesablaşma sistemində sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olması deməkdir. Cisim halından asılı olaraq müəyyən şərtlər ödənildikdə tarazlıqda qalır; onlarla tanış olaq.

İrəliləmə hərəkəti edən cismin tarazlığı. Cismin irəliləmə hərəkətinə onun bir nöqtəsinin - kütlə mərkəzinin hərəkəti kimi baxıla bilər. Belə halda sadəlik üçün cismin bütün kütləsinin onun kütlə mərkəzinə toplandığı və cismə təsir edən əvəzləyici qüvvənin həmin nöqtəyə tətbiq olunduğu qəbul oluna bilər. Nyutonun II qanunundan görüldüyü kimi, həmin nöqtənin təcili o zaman sıfıra bərabər olur ki, ona tətbiq olunan əvəzləyici qüvvə (təsir edən bütün qüvvələrin həndəsi cəmi) sıfıra bərabər olsun. Bu, irəliləmə hərəkətində olan cismin tarazlıq şərtidir.

• İrəliləmə hərəkətində olan cismin tarazlıqda olması üçün ona tətbiq edilən əvəzləyici qüvvə (cismə təsir edən bütün qüvvələrin həndəsi cəmi) sıfıra bərabər olmalıdır:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \vec{F} = \mathbf{0}.$$

Qüvvələrin həndəsi cəmi sıfıra bərabədirsə, bu qüvvələrin istənilən koordinat oxu üzərində proyeksiyalarının cəmi də sıfıra bərabər olar:

$$\begin{aligned} F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} &= 0 \\ F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} &= 0 \\ F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} &= 0. \end{aligned}$$

Tərpənməz fırlanma oxu olan cismin tarazlığı. Praktikada çox vaxt elə hallar olur ki, tərpənməz fırlanma oxu olan cismə qiymətcə eyni, istiqamətcə əks olan iki paralel qüvvə təsir etdikdə o, həmin ox ətrafında fırlanmaqda davam edir. Məsələn, blok, dolamaçarx və s. belə paralel qüvvələrin hesabına fırlanır.

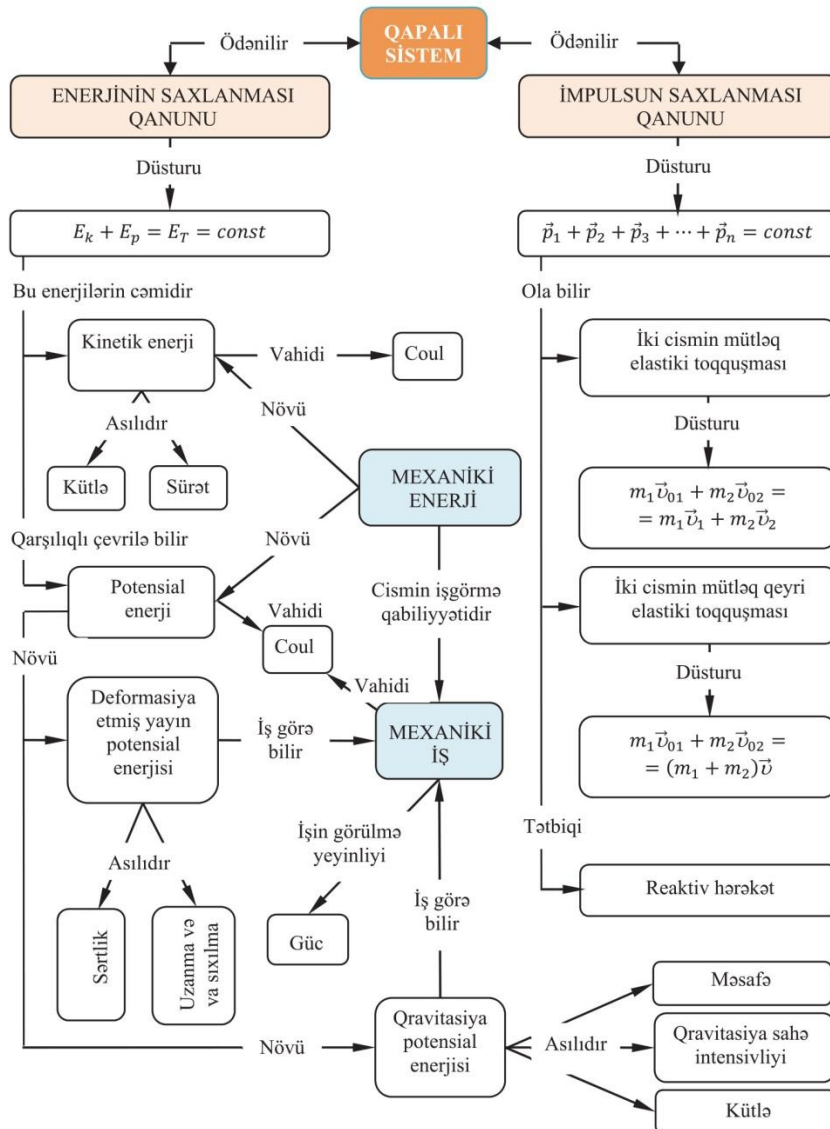
Deməli, tərpənməz fırlanma oxu olan cismin tarazlıqda olması üçün əvəzləyici qüvvənin sıfıra bərabər olması kifayət deyil. Bu məqsədlə tarazlığın ikinci şərti - *momentlər qaydası* ödənilməlidir.

• *Tərpənməz fırlanma oxu olan cismin tarazlıqda olması üçün ona təsir edən qüvvələrin fırlanma oxuna nəzərən momentlərinin cəbri cəmi sıfıra bərabər olmalıdır:*

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

BÖLMƏ 3

Fəslin "Anlayışlar xəritəsi"



MÖVZU 1.QAPALI SİSTEM. İMPULSUN SAXLANMASI QANUNU

Qapalı sistem nədir? Siz artıq bilirsiniz 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 hesabladığımızda 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 təsirə 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 qiymətə bərabər, istiqamətə 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 qurtardıqdan sonra deformasiya yox olur.* Bilyard və ya polad kürələrin toqquşması mütləq elastiki deformasiyaya misal göstərilə bilər. Belə toqquşmada mexaniki enerji sistemin daxili enerjisinə çevrilmir - sistemin tam mexaniki enerjisi dəyişmir: kürələrin kinetik enerjisi tamamilə və ya qismən elastiki deformasiyanın potensial enerjisinə çevrilir və bu enerji işə, öz növbəsində, yenidən kürələrin kinetik enerjisə 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 enerjisə 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:

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

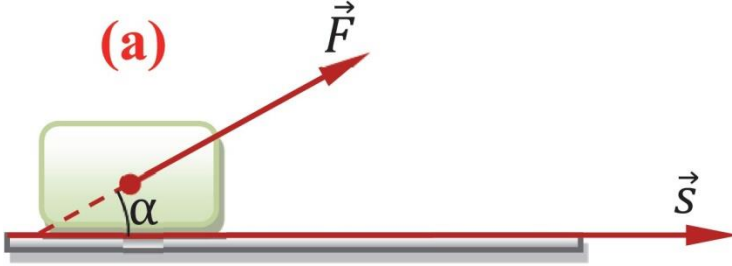
MÖVZU 2.MEXANİKİ İŞ VƏ GÜC

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.

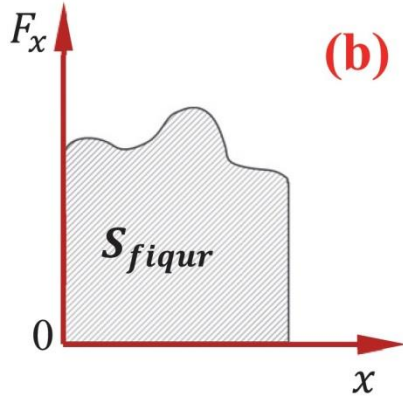
• Mexaniki iş - cismə təsir edən qüvvənin modulu, yerdəyişmənin modulu və bu qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları arasında qalan bucağın kosinusu hasilinə bərabərdir:

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

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):



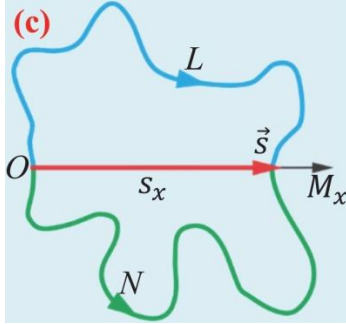
- əgər cismə təsir edən qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları iti bucaq əmələ gətirərsə: $0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$, bu halda $\cos \alpha > 0$ olur və qüvvənin gördüyü iş müsbətdir: $A > 0$;
- əgər cismə təsir edən qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları kor bucaq əmələ gətirərsə: $90^\circ < \alpha \leq 180^\circ$, 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. $[A] = 1N \cdot m = 1 \frac{kq \cdot m^2}{san^2} = 1C.$

- 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:

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

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* — *görülən işin bu işi görməyə sərf edilən zamana nisbətində deyilir:*

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

Gücün BS-də vahidi *vatt*dır (Vt):

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

- *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:

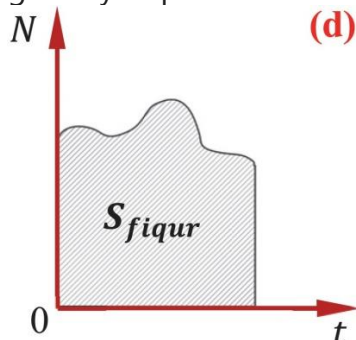
$$1 a.q. = 736 Vt.$$

Güc sabit olduqda t müddətində görülmüş 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 qiymətcə 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):

$$F = \frac{N}{v} \cdot v = \frac{N}{F}.$$

MÖVZU 3.SİSTEMİN İŞGÖRMƏ QABİLİYYƏTİ - ENERJİDİR. KİNETİK ENERJİ

Enerji - sistemin işgörmə qabiliyyətidir. Öyrəndiniz ki, qapalı sistemdə saxlanma xassəsinə malik fiziki kəmiyyətlərdən biri - sistemin impulsudur. Qapalı sistemdə saxlanma xassəsinə malik mühüm, bəlkə də ən mühüm digər fiziki kəmiyyət *enerjidir*. Gündəlik həyatımızda, hətta beynəlxalq iqtisadi münasibətlərə aid danışıqlarda da ən çox işlənən və müzakirə olunan anlayış "*enerji*"dir. Enerjinin müxtəlif növləri, onun bir növdən digərinə çevrilməsinə dair kifayət qədər məlumatınız vardır. Ən maraqlısı isə odur ki, fizika alimləri sistemin enerjisinin hər bir növü üçün ayrıca düstur müəyyənləşdirə bilmişlər. Bu düsturların köməyi ilə aparılan hesablamalar isə hər dəfə qapalı sistemin bütün növ enerjilərinin cəminin dəyişmədiyini - enerjinin saxlandığını təsdiq edir.

Bilirsiniz ki, *enerji - cismin işgörmə qabiliyyətidir* (bax: *Fizika-7*, s. 62). Digər tərəfdən, *enerji - cisimlərin hərəkətinin və onlar arasındakı qarşılıqlı təsirin ümumi ölçüsüdür: cismin hərəkəti ilə xarakterizə olunan enerji kinetik, cisimlərin qarşılıqlı təsiri ilə xarakterizə olunan enerji isə potensial enerjidir.*

Cismi irəliləmə hərəkəti etdirən əvəzləyici qüvvənin gördüyü iş və kinetik enerji. Cisim əvəzləyici qüvvənin təsiri ilə iş görürsə, onun sürətinin modulu v_1 -dən v_2 -yə dəyişir - cisim təcil alır. Sadəlik üçün fərz edək ki, cisim üfüqə paralel olan sabit əvəzləyici \vec{F} qüvvəsinin təsiri ilə müsbət iş görür. Bu halda o, $a = \frac{F}{m}$ təcili ilə bərabəryeyinləşən hərəkət edərək iş görür:

$$A = F \cdot s = ma \cdot \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

və ya

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \quad (3.12)$$

Sonuncu düsturda kütlə ilə sürət kvadratının hasilinin yarısına $\left(\frac{mv^2}{2}\right)$ bərabər olan fiziki kəmiyyət kinetik enerjini ifadə edir.

- *Kinetik enerji - cismin hərəkəti nəticəsində malik olduğu enerjidir.*

$$E_k = \left(\frac{mv^2}{2}\right)$$

Kinetik enerji sürətin modulundan (istişamətindən yox) və cismin kütləsindən asılıdır. (3.13) düsturunu (3.12)-da nəzərə alsaq, kinetik enerji haqqında teoremin ifadəsi alınır:

Qeyd.

1. Kinetik enerji haqqında teoremi cismə təsir edən əvəzləyici qüvvənin işinə əsasən isbat etdik, bu zaman qüvvənin hansı təbiətli olduğu vurğulanmadı. Bu isə o deməkdir ki, kinetik enerji haqqında teorem cismə təsir edən qüvvələrin növündən (ağırlıq qüvvəsi, sürtünmə qüvvəsi, elastiklik qüvvəsi və s. asılı olmayaraq bütün qüvvələrin əvəzləyicisi üçün doğrudur.
2. Kinetik enerji də hərəkət sürəti kimi hesablama sisteminin seçilməsindən asılıdır. Məsələn, hərəkət edən vaqonda oturan sərnəşinin sürəti vaqonla bağlı hesablama sisteminə nəzərən sıfıra bərabər olduğundan onun həmin hesablama sisteminə nəzərən kinetik enerjisi də sıfıra bərabərdir. Lakin sərnəşinin Yerlə bağlı hesablama sisteminə nəzərən kinetik enerjisi sıfırdan böyükdür.

• *Əvəzləyici qüvvənin cisim üzərində gördüyü iş cismin kinetik enerjisinin dəyişməsinə bərabərdir:*

$$A = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k. \quad (3.14)$$

Burada E_{k1} - cismin kinetik enerjisinin başlanğıc, E_{k2} - isə son qiymətidir. Kinetik enerji skalyar fiziki kəmiyyətdir və o, işdən fərqli olaraq yalnız müsbət qiymətlər alır və ya sıfıra bərabər olur (başqa növ enerjiyə çevrilir). (3.14) ifadəsindən kinetik enerjinin dəyişməsinə əsasən asanlıqla müəyyənləşdirmək olur ki:

- a. *əgər əvəzləyici qüvvənin gördüyü iş müsbətdirsə ($A > 0$), kinetik enerjinin dəyişməsi də sıfırdan böyük olur: $E_{k2} - E_{k1} > 0$ - kinetik enerji artır;*
- b. *əgər əvəzləyici qüvvənin gördüyü iş mənfidirsə ($A < 0$), kinetik enerjinin dəyişməsi də sıfırdan kiçik olur: $E_{k2} - E_{k1} < 0$ - kinetik enerji azalır;*
- c. *əgər əvəzləyici qüvvənin gördüyü iş sıfıra bərabərdirsə ($A = 0$), kinetik enerjinin dəyişməsi də sıfıra bərabər olur: $E_{k2} - E_{k1} = 0$ - kinetik enerji dəyişmir, sabit qalır: $E_{k2} = E_{k1} = \text{const}$.*

Kinetik enerji haqqında teoremdən görünür ki, kinetik enerjinin də vahidi işin vahidi ilə eyni olub, BS-də couldur (1C): $[E_k] = 1 \text{ C}$.

Sürət impuls ilə əlaqəli olduğundan kinetik enerji də impuls ilə əlaqələndirilə bilər:

$$E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{p\vartheta}{2} = \frac{p^2}{2m} \quad (3.15)$$

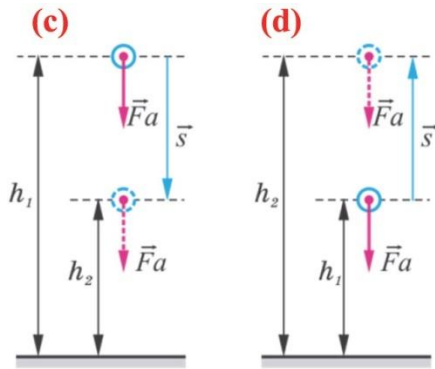
Cismin kütləsi məlumdursa, onun sürət və impulsunu kinetik enerji ilə ifadə etmək olar:

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}, \quad (3.16)$$

$$p = \sqrt{2mE_k}. \quad (3.17)$$

MÖVZU 4. POTENSİAL ENERJİ

Ağırlıq qüvvəsinin işi və potensial enerji. Fərz edək ki, qapalı sistem Yer və onun səthindən müəyyən h_1 hündürlüyünə qaldırılan cisimdən ibarətdir. Əgər cisim həmin hündürlükdən sərbəst buraxılırsa, o, ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında Yer səthinə doğru hərəkətə başlayar.



Cismin səthdən müəyyən h_2 hündürlüyünə qədər icra etdiyi \vec{s} yerdəyişməsində ağırlıq qüvvəsi müsbət iş görür (qüvvə ilə yerdəyişmənin istiqaməti eyni olduğundan: $\alpha = 0$) (c): $A = F_a \cdot s = mg(h_1 - h_2)$. (3.18)

Burada $s = h_1 - h_2$ olub h_1 hündürlüyündən h_2 hündürlüyünə sərbəst düşən cismin yerdəyişməsinin moduludur.

Əgər cisim h_1 hündürlüyündən şaquli yuxarı atılarsa, onun h_2 hündürlüyünə çatdığı an yerdəyişməsinin modulu $s = h_2 - h_1$ olar (d). Bu halda ağırlıq qüvvəsi ilə yerdəyişmə vektorları arasındakı bucaq $\alpha = 180^\circ$ və $\cos \alpha = \cos 180^\circ = -1$ olduğundan, ağırlıq qüvvəsi mənfi iş görür:

$$A = -F_a \cdot s = -mg(h_2 - h_1) = mg(h_1 - h_2). \quad (3.19)$$

(3.18) və (3.19) ifadələrinin müqayisəsindən görünür ki, yuxarı atılan və ya müəyyən hündürlükdən düşən cisim üzərində ağırlıq qüvvəsinin gördüyü iş eyni düsturla ifadə olunur.

- Ağırlıq qüvvəsinin işi cismin hərəkət trayektoriyasının formasından asılı deyil, o, cismin kütlə mərkəzinin başlanğıc və son hündürlüklərinin fərqi asılıdır.
- Gördüyü iş cismin hərəkət trayektoriyasından asılı olmayan qüvvələr **konservativ qüvvələr** adlanır. Deməli, ağırlıq qüvvəsi də konservativ qüvvədir.

(3.18) düsturunu belə də yazmaq olar:

$$A = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$$

və ya

$$A = -(mgh_2 - mgh_1). \quad (3.20)$$

Bu o deməkdir ki, ağırlıq qüvvəsinin gördüyü iş əks işarə ilə mgh kəmiyyətinin dəyişməsinə bərabərdir. Bu kəmiyyət Yer səthindən h hündürlükdə yerləşən cisimlə Yerin qarşılıqlı təsirinin *potensial enerjisi*dir.

- *Potensial enerji* - qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin (və ya zərrəciklərin) malik olduqları enerjidir.

$$E_p = mgh. \quad (3.21)$$

(3.21) ifadəsini (3.20) də nəzərə aldıqda *potensial enerji haqqında teoremin* ifadəsi alınır:

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

$$A = -(E_{p2} - E_{p1}) = -\Delta E_p. \quad (3.22)$$

Potensial enerji haqqında teoremdən görünür ki, potensial enerjinin də vahidi işin vahidi ilə eyni olub BS-də couldur (1C): $[E_p] = 1C$.

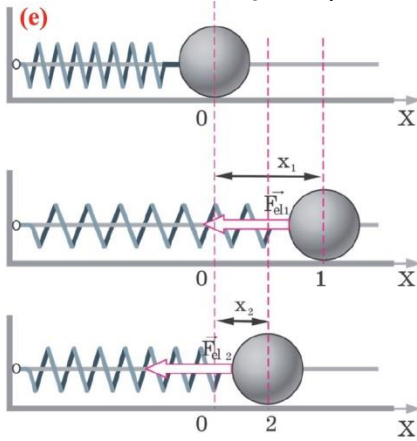
Ağırlıq qüvvəsi təsir edən cismin potensial enerjisi sıfırıncı hündürlüyün - sıfırına səviyyənin seçilməsindən asılıdır. Sıfırıncı səviyyə olaraq dəniz səviyyəsi, masanın səthi,

otağın döşəməsi və s. götürülə bilər. Bu səviyyələrə görə hər hansı hündürlüyə qaldırılan cismin potensial enerjisi üçün müxtəlif qiymətlər alınacaq. Lakin cismin iki müxtəlif vəziyyətinə uyğun potensial enerjilərinin fərqi sıfırıncı səviyyənin seçilməsindən asılı olmur və o, ağırlıq qüvvəsinin gördüyü işlə ölçülür.

Buradan *potensial enerjinin fiziki mənası* alınır: *cismin h hündürlüyündəki potensial enerjisi bu cismin həmin hündürlükdən sıfırıncı səviyyəyə düşdüyü halda ağırlıq qüvvəsinin gördüyü işə bərabərdir.*

Sıfırıncı səviyyənin seçilməsindən asılı olaraq potensial enerji həm müsbət, həm də mənfi ola bilər. Belə ki, sıfırıncı səviyyədən müəyyən h hündürlükdə yerləşən cismin potensial enerjisi müsbət, sıfırıncı səviyyədən müəyyən h dərinlikdə yerləşən cismin potensial enerjisi mənfidir.

Elastiklik qüvvəsinin işi və potensial enerji. Konservativ qüvvələrdən biri də elastiklik qüvvəsidir. Ona görə də elastiklik qüvvəsinin gördüyü iş də cismin potensial enerjisinin dəyişməsinə bərabər olmalıdır. Bunu araşdıraq: yayın bir ucunu dayağa, digər ucunu isə hamar çubuq üzrə hərəkət edə bilən cismə (kürəciyə) bağlayaq.



Kürəciyi sağa sürüsdürməklə yayı x_1 qədər gərək. Bu zaman elastiklik qüvvəsinin modulu $F_1 = kx_1$ olur.

Sərbəst buraxılan kürəcik bu qüvvənin təsiri altında sola, məsələn, 1 vəziyyətindən 2 vəziyyətinə gəlir (e). Həmin vəziyyətdə yayın deformasiyası x_2 olduğundan kürəciyin yerdəyişməsinin modulu yayın gərilmələrinin fərqinə bərabər olur: $s = x_1 - x_2$. Elastiklik qüvvəsi yerdəyişmə istiqamətində olduğundan onun gördüyü iş müsbət olur, lakin nəzərə alınmalıdır ki, elastiklik qüvvəsinin modulu sabit deyildir: o, kx_1 qiymətindən kx_2 -yə dəyişir. Ona görə də belə halda elastiklik qüvvəsinin modulunun orta qiyməti götürülməlidir: *elastiklik qüvvəsinin modulunun orta qiyməti onun başlanğıc kx_1 və son kx_2 qiymətlərinin orta ədədi qiymətinə bərabərdir:*

$$F_{el.orta} = \frac{kx_1 - kx_2}{2}$$

Beləliklə, elastiki deformasiya etmiş yayın elastiklik qüvvəsinin gördüyü iş:

$$A = F_{el.orta} \cdot s = F_{el.orta} \cdot (x_1 - x_2) = \frac{kx_1 + kx_2}{2} (x_1 - x_2)$$

$$\text{və ya } A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$

Düsturu belə də yazmaq olar:

$$A = - \left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2} \right). \quad (3.23)$$

Göründüyü kimi, elastiklik qüvvəsinin gördüyü iş yayın başlanğıc və son deformasiyalarından asılıdır - deməli, elastiklik qüvvəsi konservativ qüvvədir.

(3.20) və (3.23) düsturlarının müqayisəsindən görünür ki, $\frac{kx_2^2}{2}$ ifadəsinə bərabər olan fiziki kəmiyyət də potensial enerjinin - *elastiki deformasiya olunmuş yayın potensial enerjisinin* ifadəsidir:

• *Elastiki deformasiya olunmuş cismin potensial enerjisi - onun sərtliyi və gərilməsinin (və ya sıxılmasının) kvadratı hasilinin yarısına bərabərdir:*

$$E_p = \frac{kx_2^2}{2}$$

MÖVZU 5. TAM MEXANİKİ ENERJİ. ENERJİNİN SAXLANMASI QANUNU

Tam mexaniki enerji. Cisimlər sistemi eyni zamanda həm kinetik, həm də potensial enerjiyə malik ola bilər. Məsələn, müəyyən sürətlə uçan təyyarə kinetik enerji ilə yanaşı, eyni zamanda Yerlə qarşılıqlı təsirdə olduğuna görə həm də potensial enerjiyə malikdir.

• *Cisimlər sisteminin kinetik və potensial enerjilərinin cəmi **tam mexaniki enerji** adlanır:*

$$E_T = E_k + E_p .$$

Tam mexaniki enerjinin saxlanması qanunu. Bilirsiniz ki, konservativ qüvvələr olan ağırlıq və elastiklik qüvvələrinin işi əks işarə ilə sistemin potensial enerjisinin dəyişməsinə bərabərdir. Digər tərəfdən bu iş həm də sistemin kinetik enerjisinin dəyişməsinə bərabərdir:

$$\begin{cases} A = -(E_{p2} - E_{p1}) \\ A = E_{k2} - E_{k1}. \end{cases}$$

Beləliklə, alınır ki:

$$E_{k2} - E_{k1} = E_{p1} - E_{p2}$$

Uyğun kəmiyyətləri qruplaşdırsaq, tam mexaniki enerjinin saxlanması qanununun ifadəsi belə yazılır:

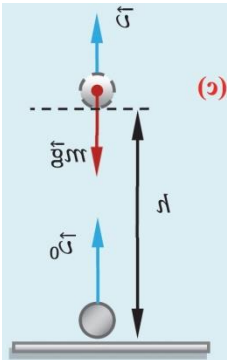
$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}, E_T = const. (3.25)$$

• *Qapalı sistem təşkil edən cisimlər bir-birinə konservativ qüvvələrlə təsir etdikdə sistemin tam mexaniki enerjisi sabit qalır.*

Enerjinin saxlanması qanunu zamanın bircinsliliyinin nəticəsidir.

• *Zamanın bircinsliliyi - zamanın köçürülməsinə nəzərən simmetriyasıdır: qapalı sistemin fiziki xassələri zamanın başlanğıc anının seçilməsindən asılı deyildir, zamanın bütün anları ekvivalentdir.*

Tam mexaniki enerjinin saxlanması qanununa görə, sistemin potensial enerjisinin müəyyən qədər artması sistemin kinetik enerjisinin həmin qədər azalması ilə nəticələnir və ya əksinə. Potensial enerjinin kinetik enerjiyə, kinetik enerjinin potensial enerjiyə çevrilməsi və bu zaman tam mexaniki enerjinin saxlanması təbiətin ən mühüm qanunlarından biridir.



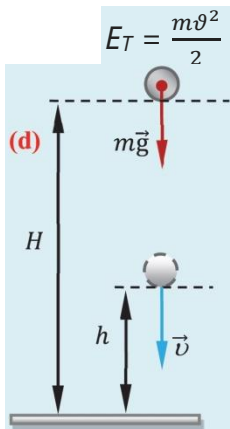
Xüsusi hallar

1. Cismin Yerin ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında hərəkəti üçün onun tam mexaniki enerjisi:

$$E_T = mgh + \frac{mv^2}{2} = \text{const.}$$

Burada h — verilən anda cismin sıfırıncı səviyyədən hündürlüyü, v — həmin andakı sürətidir. Sabit kəmiyyət olan tam mexaniki enerjinin qiyməti, qoyulan şərtlərdən asılıdır. Məsələn:

- a. cisim $h = 0$ hündürlüyündən v_0 başlanğıc sürəti ilə atılmışdırsa, onun tam mexaniki enerjisi:



olar. Bu halda hərəkət trayektoriyasının ixtiyari nöqtəsində tam mexaniki enerjinin saxlanması qanunu belə yazılır (c):

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv^2}{2}$$

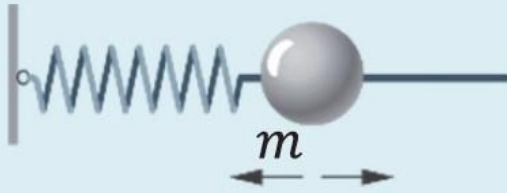
- b. şaquli yuxarı atılan cisim H maksimal hündürlüyə qalxarsa, onun tam mexaniki enerjisi:

$$E_T = mgH$$

olar. Bu halda yuxarı atılan cismin hərəkət trayektoriyasının ixtiyari nöqtəsində onun üçün tam mexaniki enerjinin saxlanması qanunu belə yazılır (d):

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

(e)



2. Bir ucu dayağa bərkidilmiş, digər ucu isə hamar çubuq üzrə hərəkət edə bilən m kütləli kürəciyə bağlanmış k sərtlikli çəkisiz yayı dartıb buraxdıqda "kürəcik-yay" sisteminin rəqsi hərəkətinin tam mexaniki enerjisi belə ifadə olunur (e):

$$E_T = \frac{kx^2}{2} + \frac{m\vartheta^2}{2} = const.$$

Tam enerjinin saxlanması qanunu. Məlumdur ki, Yer-cisim sistemində müəyyən hündürlükdən düşən cismin trayektoriyasının ixtiyari nöqtəsində tam mexaniki enerjisi eynidir.

- *Cisim Yer səthinə düşüb dayandıqda nə baş verir?*

- *Bu halda söyləmək olarmı ki, "cismin həm kinetik, həm də potensial enerjisi sıfıra bərabər olur, mexaniki enerji yox olur və enerjinin saxlanması qanunu pozulur"?*

Qapalı sistem təşkil edən cisimlərin mexaniki enerjisi yox olmur! O, başqa növ enerjiyə - sistemin daxili enerjisinə çevrilir: Yer səthinə zərblə dəyən cismin Yerlə qarşılıqlı təsirindən sistem qızır və onun daxili enerjisi artır.

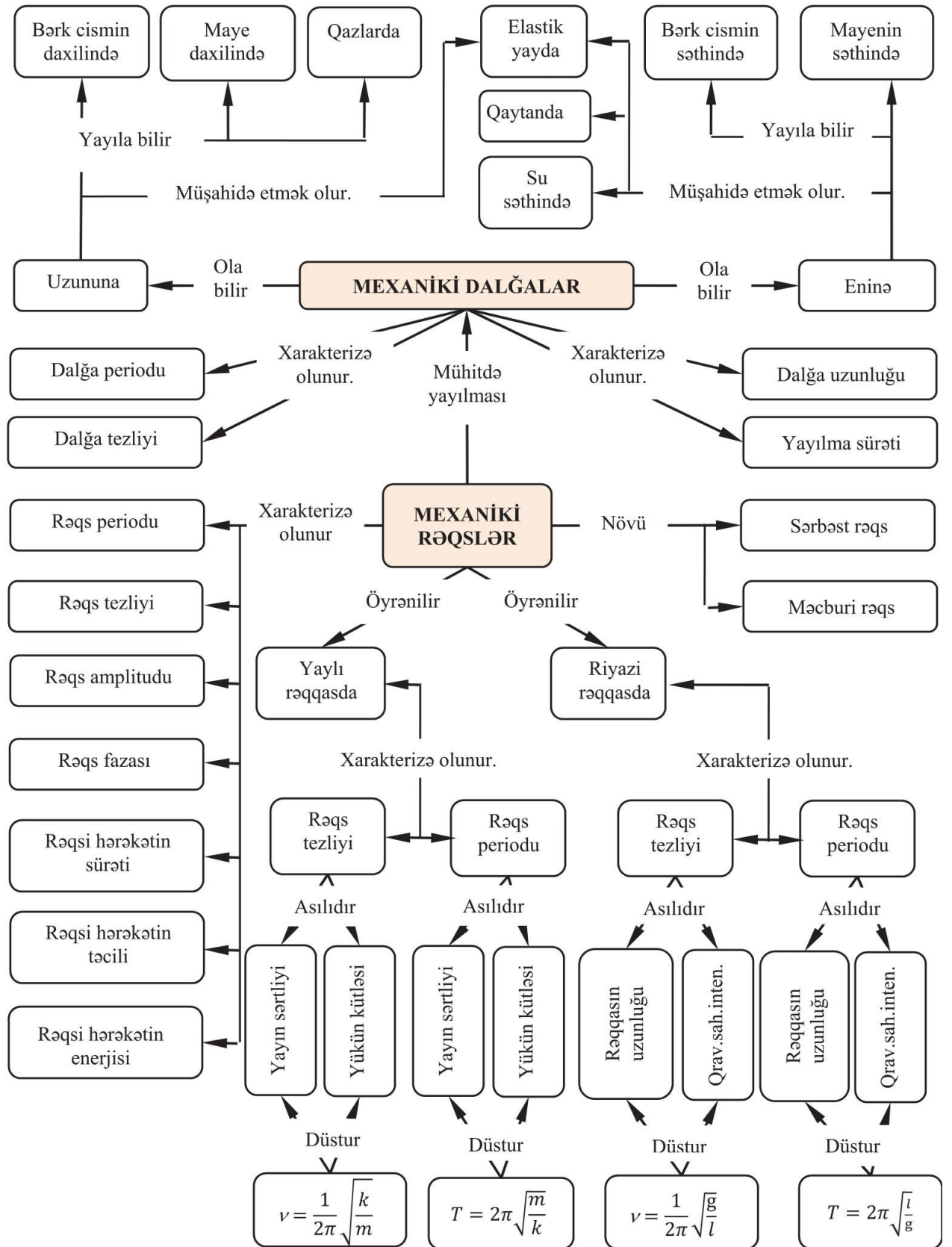
Digər qapalı sistemdə də enerji çevrilmələri baş verə bilər, məsələn, avtomobil-şosse sistemində hərəkətdə olan avtomobil tormozlandıqda onun kinetik enerjisi sürtünmə nəticəsində təkərlərin qızaraq daxili enerjisinə çevrilməsi ilə nəticələnir.

Beləliklə, *tam enerjinin saxlanması qanunu* dedikdə qapalı sistemin bir-birinə çevrilə bilən bütün növ enerjisinin (mexaniki, daxili, elektromaqnit və s.) cəminin saxlanması nəzərdə tutulur:

- *Enerji itmir və heçdən yaranmır, o bir növdən başqa növə çevrilir.*

Bölmə 4.

Fəslin "Anlayışlar xəritəsi"



MÖVZU 1.RƏQSI HƏRƏKƏT.SƏRBƏST RƏQSLƏRİ.

Mexaniki rəqsi hərəkət. Təbiətdə ən geniş yayılan hərəkətlərdən biri *mexaniki rəqsi hərəkətidir*.

• *Mexaniki rəqsi hərəkət - cismin və ya cisimlər sisteminin tarazlıq vəziyyəti ətrafında əks istiqamətlərdə tamamilə və ya qismən təkrarlanan hərəkətidir. Başqa sözlə desək: Mexaniki rəqsi hərəkət—cismin və ya cisimlər sisteminin tarazlıq vəziyyəti ətrafında gah bu, gah da digər istiqamətdə yerdəyişməsidir.*

Rəqsi hərəkət periodik və qeyri-periodik ola bilər:

• *Periodik rəqsi hərəkət - cismin və ya cisimlər sisteminin bərabər zaman fasilələrindən sonra təkrarlanan rəqsidir.*

• *Qeyri-periodik rəqsi hərəkət - cismin və ya cisimlər sisteminin ixtiyari zaman fasilələrindən sonra təkrarlanan rəqsidir. Belə rəqslərin müəyyən periodu olmur.*

Rəqsi hərəkət, əsasən, iki növdə olur: *məcburi rəqslər* və *sərbəst rəqslər*.

• *Məcburi rəqs -periodik dəyişən xarici qüvvələrin təsiri nəticəsində baş verən rəqslərdir.*

• *Sərbəst rəqslər - tarazlıq halından çıxarılmış sistemdə daxili qüvvələrin təsiri nəticəsində baş verən rəqslərdir.*

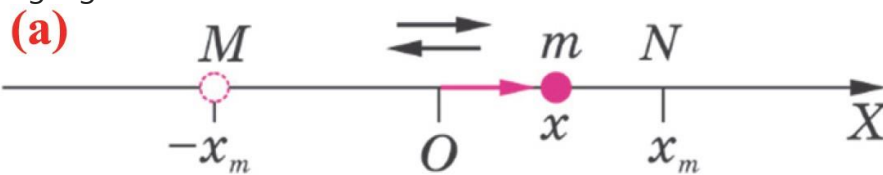
Sərbəst rəqslər. Rəqsi hərəkətləri öyrənərkən aparılan ölçmə və hesablamaların sadəliyi üçün qapalı sistemdən istifadə etmək əlverişlidir. Qapalı sistemdə cisimlər daxili qüvvələrin qarşılıqlı təsiri nəticəsində rəqsi hərəkət edir.

Yaya bərkidilən yükün əmələ gətirdiyi *yay-yük sistemi* və ya sapdan asılan cismin əmələ gətirdiyi *sap-cisim sistemindəki* rəqslər sərbəst rəqslərə aid edilə bilər. Yay-yük sistemində daxili qüvvə yayın elastiklik qüvvəsi, sap-cisim sistemində isə cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsi və sapın gərilmə qüvvəsidir.

Rəqsi hərəkətin kinematik xarakteristikaları. Onların bəziləri ilə tanış olaq.

• *Yerdəyişmə - rəqs edən cismin müəyyən zaman anında tarazlıq vəziyyətindən hansı tərəfə və nə qədər uzaqlaşdığını göstərən fiziki kəmiyyətdir.*

Məsələn, fərz edək ki, m kütləli cisim X oxu boyunca O tarazlıq nöqtəsi ətrafında gah sağa, gah da



sola təkrarlanan periodik hərəkət edir. Cismin verilən t anındakı x koordinatı həmin cismin tarazlıq vəziyyətindən yerdəyişməsini göstərir (a).

• *Amplitud - rəqs edən cismin tarazlıq vəziyyətindən maksimum yerdəyişməsinin moduludur. Amplitud x_m və ya A ilə işarə olunur, BS-də vahidi metrdir.*

Əgər cisim O tarazlıq nöqtəsindən sağa hərəkət edib x_m amplitudu qədər yerini dəyişib (N nöqtəsi), orada ani dayandıqdan sonra geri dönərək O nöqtəsindən sola keçib — x_m qədər yerdəyişmə edib (M nöqtəsində), orada da ani dayandıqdan sonra geri dönüb yenidən O nöqtəsinə gələrsə, buna *bir tam rəqs* deyilir (bax: a). Sonrakı zamanlarda rəqs təkrar olunur. Beləliklə, *cisim bir tam rəqs müddətində 4 amplituda bərabər yol gedir:*

$$l = 4x_m .$$

Əgər cisim t müddətində N sayda tam rəqs edərsə, gedilən yol:

$$l = 4x_m N = 4x_m t v = 4x_m \cdot \frac{t}{T}. \quad (4.1)$$

Burada v (nü) — rəqs tezliyi, T — rəqs periodudur.

- Rəqs tezliyi - ədədi qiymətcə bir saniyədəki rəqslərin sayına bərabər olan fiziki kəmiyyətdir:

$$\nu = \frac{N}{t}. \quad (4.2)$$

Rəqs tezliyinin BS-də vahidi alman fiziki Henri Hersin şərəfinə *hers* (*Hz*) adlandırılmışdır:

- (1Hz) - 1 saniyədə 1 rəqs edən rəqsin tezliyidir. $[\nu] = 1 \text{ Hz} = 1 \text{ san}^{-1}$.
- Rəqs periodu - bir tam rəqsə sərf olunan zamandır:

$$T = \frac{t}{N}. \quad (4.3)$$

Onun BS-də vahidi saniyədir (1san): $[T] = 1 \text{ san}$.

Rəqsin tezliyi ilə periodu qarşılıqlı tərs kəmiyyətlərdir.

$$T = \frac{1}{\nu} \text{ və ya } \nu = \frac{1}{T}. \quad (4.4)$$

- Dövri tezlik - rəqs tezliyindən 2π dəfə böyük kəmiyyət olub, fiziki mənaca rəqqasın $\approx 6,28$ saniyədə ($2\pi \approx 6,28$) neçə rəqs etdiyini göstərir:

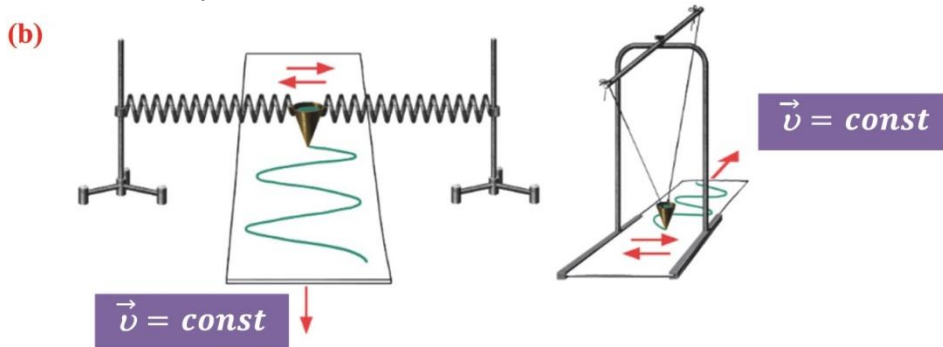
$$\omega = 2\pi\nu \quad (4.5)$$

Burada ω (*omeqa*) — dövri tezlikdir. Dövri tezliyin BS-də vahidi: $[\omega] = 1 \frac{\text{rad}}{\text{san}}$

Harmonik rəqs və onun qrafiki. Ən sadə rəqsi hərəkət *harmonik rəqsdir*.

- *Harmonik rəqs* - sərbəst rəqs edən sistemin vəziyyətini xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlərin zamandan asılı olaraq sinus və ya kosinus qanunu ilə dəyişdiyi rəqslərdir.

Sərbəst harmonik rəqsi hərəkət edən cismin zaman keçdikcə vəziyyəti dəyişir. Rəqs sistemində kiçik zaman fasiləsində sürtünmə qüvvəsinin təsirini nəzərə almamaq mümkün olduğu üçün rəqsi hərəkətin *sinusoid* və ya *kosinusoid* adlanan *əyrisi* alınacaqdır. Sinusoid (və ya kosinusoid) əyrisini həm yaylı rəqqas, həm də ipli rəqqasda içərisi qum doldurulmuş nazik deşikli qıfla aparılan təcrübədə asanlıqla müşahidə etmək mümkündür **(b)**.



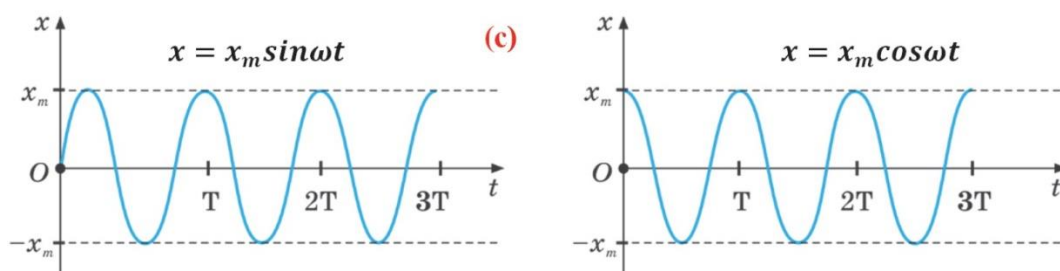
Bu əyri rəqqasın x yerdəyişməsinin t zamanına görə sinus və ya kosinus qanunu ilə dəyişmə qrafikinə uyğundur **(c)**:

$$x = x_m \sin \omega t \quad (4.6)$$

və ya

$$x = x_m \cos \omega t \quad (4.7)$$

Qrafikdən görünür ki, zamanın rəqs perioduna bərabər müddətində ($t = T$) rəqqas bir tam rəqs edir (bax: **c**).



- **Diqqət!** • Qapalı sistemə xarici qüvvələr təsir etmədiyindən sərbəst rəqs edən sistemdə, demək olar ki, tam mexaniki enerji saxlanılır. Bu o deməkdir ki, ideallaşdırılmış şəraitdə qapalı sistemdə sərbəst rəqslər amplitudu dəyişməyən rəqslər olub sönməyən rəqslərdir. Lakin reallıqda sərbəst rəqslər sönəndir - sürtünmə qüvvələrinin təsiri altında sistemin tam mexaniki enerjisi zaman keçdikcə azalır, rəqsin amplitudu kiçilir və rəqs sönür **(d)**.

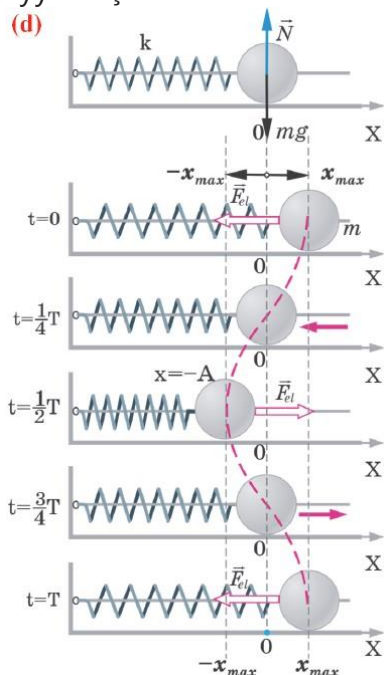
- **Sönən rəqslər** - qapalı rəqs sistemində sürtünmə qüvvələrinin təsiri nəticəsində sistemin tam mexaniki enerjisinin tədricən azalması və amplitudun kiçilməsi ilə müşayiət olunan rəqslərə de

MÖVZU 2.YAYLI RƏQQASDA HARMONİK RƏQSLƏR

Harmonik rəqs edən ən sadə rəqs sistemlərindən biri *yaylı rəqqasdır*.

- **Yaylı rəqqas** - yay və ona bağlanmış cisimdən ibarət rəqs sistemidir. Yaylı rəqqasda yaranan rəqslər harmonik rəqslərin fiziki mahiyyətinə tam uyğundur:
- **Harmonik rəqs dedikdə, yerdəyişmə ilə düz mütənəsib olub, yerdəyişmənin əksinə yönələn qüvvənin təsiriylə yaranan rəqs başa düşülür.**

Yaylı rəqs sistemin rəqslərinin araşdırılmasının böyük praktik əhəmiyyəti vardır; məsələn, gövdəsi resora və yaya bərkidilən avtomobillərin titrəməsinin hesablanması, binaların və ağır dəzgahların titrəyişlərinin özüllərə təsirinin nəzərə alınması, lor xəstəliklərinin diaqnozunda qulaq pərdəsinin elastikliyinə müəyyənləşdirilməsi və s. hadisələrin tədqiqində mühüm rol oynayır.



Bu səbəbdən yaylı rəqqasın fizikasını müəyyənləşdirmək aktual problemdir.

Rəqs sisteminə təsir edən qüvvələri azaltmaq məqsədilə üfüqi bərkidilmiş yay-kürəcik rəqs sistemindən istifadə edilməsi məqsəduyğundur (d). Bu sistemdə üfüqi mil boyunca rəqs edən kürəciyin istənilən vəziyyətində ona təsir edən ağırlıq qüvvəsi və milin reaksiya qüvvəsi bir-birinin təsirini tarazlaşdırır. Kürəciyi tarazlıq vəziyyətindən çıxarıb, məsələn, yayı dartaraq $x = x_m$ vəziyyətinə gətirib buraxdıqda yay təsir edən elastiklik qüvvəsi kürəciyə təcil verərək onu 0 tarazlıq nöqtəsi ətrafında sağa-sola rəqsli hərəkət etdirəcəkdir. Nyutonun II qanununa əsasən yaylı rəqqasın hərəkət tənliyini proyeksiyada belə yazmaq olar:

$$ma_x = -kx, \quad (4.8)$$

və ya

$$a_x = -\frac{k}{m}x. \quad (4.9)$$

(4.9) düsturu yaylı rəqqasın sərbəst harmonik rəqslərinin tənliyidir.

Burada m - yaya bağlanmış kürəciyin kütləsi, a_x - onun təcilinin X oxu üzrə proyeksiyası, k - yayın sərtliyi, x - yayın uzanmasıdır. Tənlikdəki k m nisbəti verilən rəqs sistemi üçün sabit müsbət kəmiyyətlərdir, çünki sərtlik və kütlə mənfi ola bilməz. Yaylı rəqqasın (4.9) rəqs tənliyini periodik hərəkətin digər növü ilə - çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə mərkəzəqaçma təcilinin məlum ifadəsi ilə müqayisə etdikdə (bax: Fizika-10, mövzu 1.8), k m nisbətinin dövrü tezliyin kvadratına (ω^2) bərabər olduğu alınır:

$$\begin{cases} a_x = -\frac{k}{m}x \\ a_n = \omega^2 R \end{cases} \rightarrow \omega^2 = \frac{k}{m} \quad (4.10)$$

və ya

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.11)$$

Beləliklə, yaylı rəqqasın hərəkət tənliyini belə də yazmaq olar:

$$a_x = -\omega^2 x. \quad (4.12)$$

(4.11) və (4.5) ifadələrinin müqayisəsindən yaylı rəqqasın rəqs tezliyi və periodunun asılı olduğu kəmiyyətlər məlum olur:

$$\begin{cases} \omega = 2\pi\nu \\ \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \end{cases} \rightarrow \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (4.14)$$

$$T = \frac{1}{\nu} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (4.15)$$

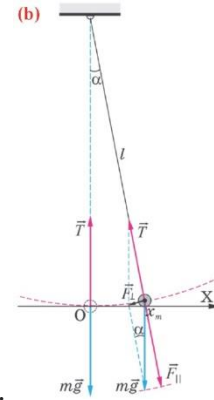
(4.14) və (4.15) ifadələrindən görünür ki, yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyi yayın sərtliyindən və ondan asılan yükün kütləsindən asılıdır.

MÖVZU 3.RİYAZİ RƏQQASDA HARMONİK RƏQSLƏR

Harmonik rəqslər ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında da əmələ gəlir. Bunu *riyazi rəqqasda* da müşahidə etmək olur.

- Riyazi rəqqas - uzanmayan və çəkisi nəzərə alınmayacaq qədər kiçik olan sapdan asılan

maddi nöqtədən ibarət ideallaşdırılmış rəqs sistemidir. Riyazi rəqqası tədqiq etmək üçün



nazik uzun sap-kürəcik sistemindən istifadə edilə bilər (b).

Harmonik rəqslər ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında da əmələ gəlir.

Rəqqasın tarazlıq vəziyyətində kürəciyə təsir edən ağırlıq qüvvəsi ($m\vec{g}$) sapın gərilmə qüvvəsi ilə (\vec{T}) tarazlaşır. Lakin rəqqası kiçik α bucağı qədər yana meyil etdirib tarazlıqdan çıxarsaq, ağırlıq qüvvəsi vektorunun iki toplananı yaranır - sap boyunca yönələn \vec{F}_{\parallel} və sapın uzantısına perpendikulyar olan \vec{F}_{\perp} toplananı. Bu zaman \vec{F}_{\parallel} və \vec{T} qüvvələri bir-birinin təsirini kompensasiya etdiyindən \vec{F}_{\perp} qüvvəsi kürəciyi tarazlıq vəziyyətinə qaytarmağa "çalışan" əvəzləyici qüvvə olacaq (bax: a). Bunu nəzərə alsaq, Nyutonun II qanununa əsasən m kütləli kürəciyin rəqsi hərəkət tənliyini proyeksiyada belə yazmaq olar: $ma_x = \vec{F}_{\perp}$.

$$\begin{cases} F_{\perp} = mgsin\alpha, \\ sin\alpha = \frac{x}{l} \quad (\alpha - \text{meyil bucağının kiçik qiymətində}). \end{cases}$$

Riyazi rəqqasın rəqs tənliyi üçün alarıq:

$$a_x = -\frac{g}{l}x. \quad (4.16)$$

Burada l — riyazi rəqqasın (sapın) uzunluğu, g - sərbəstdüşmə təcili, x_m — rəqsin amplitududur.

Tənlikdəki g

l nisbəti verilən rəqs sistemi üçün sabit müsbət kəmiyyətlərdir, çünki sərbəstdüşmə təcili və uzunluq mənfi ola bilməz. (4.16) və (4.10) tənliklərini müqayisə etsək, asanlıqla görmək g olar l ki, g

l nisbəti də dövrü tezliyin kvadratına (ω^2) bərabərdir:

$$\omega^2 = \frac{g}{l} \quad (4.17)$$

və ya

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Beləliklə, riyazi rəqqasın hərəkət tənliyini belə də yazmaq olar:

$$a_x = -\omega^2x. \quad (4.19)$$

(4.19) tənliyi o deməkdir ki, riyazi rəqqasın rəqsləri - dövrü tezliyi ω olan sərbəst harmonik rəqslərdir.

Buradan riyazi rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin asılı olduğu kəmiyyətlər müəyyən edilir:

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad (4.20)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (4.21)$$

Beləliklə, riyazi rəqqasın rəqs periodu və tezliyi rəqqasın uzunluğundan və onun yerləşdiyi nöqtənin qravitasiya sahə intensivliyindən asılıdır.

MÖVZU 4. HARMONİK RƏQSLƏRDƏ SÜRƏT VƏ TƏCİL

Harmonik rəqsdə rəqqasın yerdəyişməsi harmonik qanunla dəyişdiyinə görə onun sürət və təcilinin də harmonik qanunla dəyişdiyini isbat etmək o qədər də çətin deyildir. Fərz edək ki, yerdəyişmə kosinus qanunu ilə dəyişir və başlanğıc faza sıfıra bərabərdir ($\varphi_0 = 0$): $x = A \cos \omega t$.

Sürət yerdəyişmənin (koordinatın) zamana görə birinci tərtib törəməsi olduğundan:

$$v_x = x' = (A \cos \omega t)' = -A\omega \cdot \sin \omega t = A\omega \cdot \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (4.22)$$

və ya

$$v_x = -v_m \sin \omega t. \quad (4.23)$$

(4.22) ifadəsindən görünür ki, harmonik qanunla dəyişən sürət yerdəyişməni fazaca $\pi/2$ qədər qabaqlayır (a).

Sürətin maksimal (amplitud) qiyməti isə rəqsin amplitudundan, tezliyindən və periodundan asılıdır:

$$v_m = \omega A = 2\pi \nu A = \frac{2\pi}{T} A. \quad (4.24)$$

Təcil sürətin zamana görə birinci tərtib törəməsinə bərabər olduğundan alırıq:

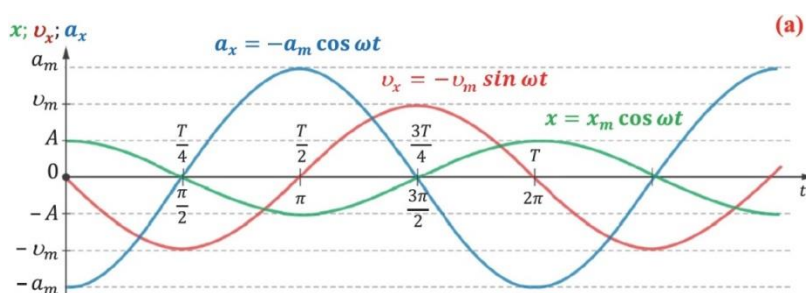
$$a_x = v_x' = (-A\omega \cdot \sin \omega t)' = -A\omega^2 \cdot \cos \omega t = A\omega^2 \cdot \cos(\omega t + \pi) \quad (4.25)$$

və ya

$$a_x = -a_m \cos \omega t. \quad (4.26)$$

(4.25) ifadəsindən görünür ki, harmonik qanunla dəyişən təcil yerdəyişməni fazaca π qədər, sürəti isə $\pi/2$ qədər qabaqlayır (bax: a). Təcilin maksimal (amplitud) qiyməti də rəqsin amplitudundan, tezliyindən və periodundan asılıdır:

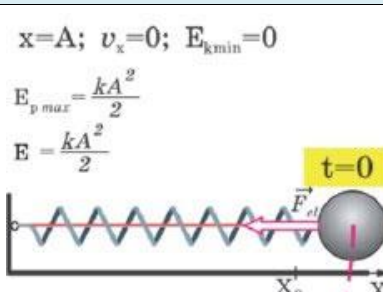
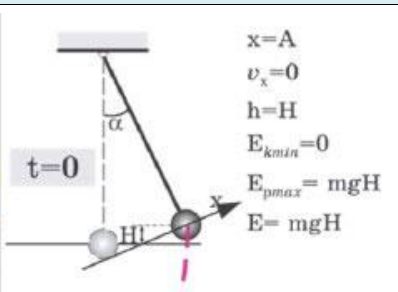
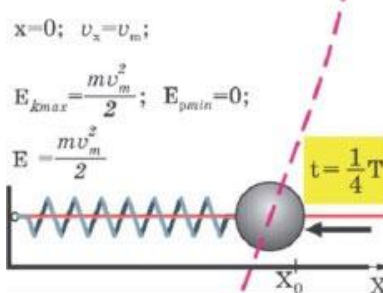
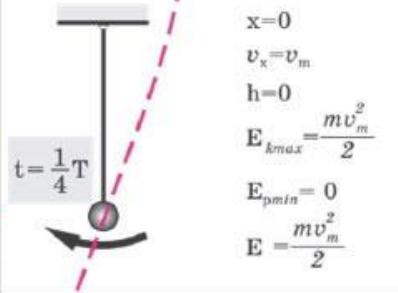
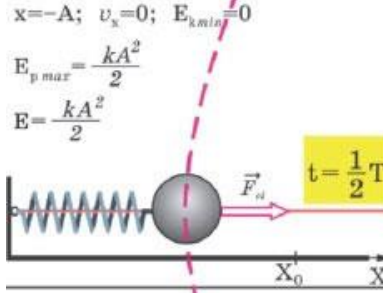
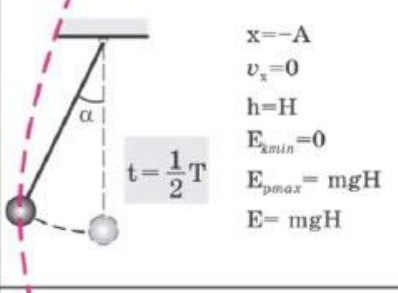
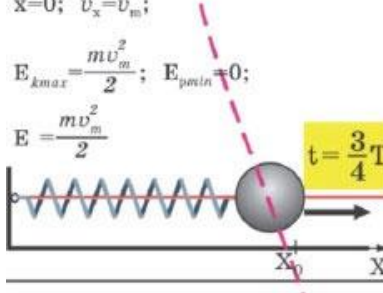
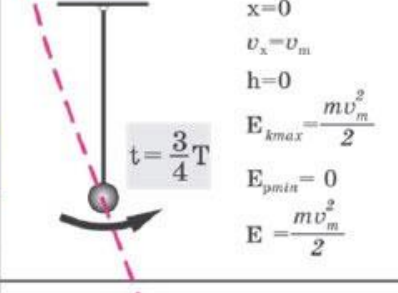
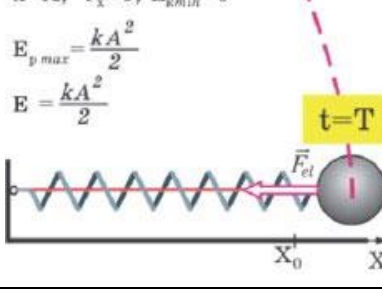
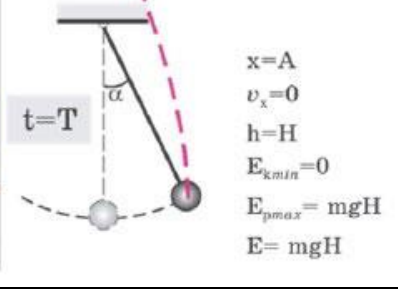
$$a_m = \omega^2 A = 4\pi^2 \nu^2 A = \frac{4\pi^2}{T^2} A. \quad (4.27)$$



MÖVZU 5.HARMONİK RƏQLƏRDƏ ENERJİ ÇEVRİLMƏLƏRİ

Harmonik rəqlərdə enerji çevrilmələrinə aid elektron təqdimat hazırlayın. Təqdimat hazırlamazdan əvvəl 4.4 cədvəlini diqqətlə araşdırın və "Nəzəri material" yarımbaşlığında verilən məlumatlarla tanış olun.

Cədvəl 4.4

Yaylı enerji çevrilməsi	rəqqasda	Riyazi enerji çevrilməsi	rəqqasda	Sistemdə proseslərin gedişi
$x=A; v_x=0; E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = \frac{kA^2}{2}$ $E = \frac{kA^2}{2}$ 		$x=A$ $v_x=0$ $h=H$ $E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = mgH$ $E = mgH$	$t=0$ anında rəqqas tarazlıq vəziyyətindən $x=A$ məsafəsi qədər çıxarılmış və sükunətdədir ($v_x=0$). Sistemə əlavə potensial enerji verilmişdir. Tam enerji potensial enerjiyə bərabərdir.	
$x=0; v_x=v_m$ $E_{kmax} = \frac{mv_m^2}{2}; E_{pmin}=0;$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$ 		$x=0$ $v_x=v_m$ $h=0$ $E_{kmax} = \frac{mv_m^2}{2}$ $E_{pmin}=0$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$	Sistem sol tərəfə - tarazlıq vəziyyətinə doğru hərəkətə gəlir. Zamanın $t=\frac{1}{4}T$ anında sistem tarazlıq nöqtəsindən keçdiyindən, yerdəyişmə sıfır, sürət isə maksimum olur. Sistemin potensial enerjisi sıfır, kinetik enerjisi maksimum olur. Tam enerji maksimal kinetik enerjiyə bərabərdir.	
$x=-A; v_x=0; E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = \frac{kA^2}{2}$ $E = \frac{kA^2}{2}$ 		$x=-A$ $v_x=0$ $h=H$ $E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = mgH$ $E = mgH$	$t=\frac{1}{2}T$ anında sistem tarazlıq vəziyyətinə nəzərən sol kənar vəziyyətdə olur ($x = -A$), sürəti sıfıra bərabərdir ($v_x = 0$). Potensial enerji maksimum qiymət alır, kinetik enerji sıfıra qədər azalır. Tam enerji potensial maksimal enerjiyə bərabərdir.	
$x=0; v_x=v_m$ $E_{kmax} = \frac{mv_m^2}{2}; E_{pmin}=0;$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$ 		$x=0$ $v_x=v_m$ $h=0$ $E_{kmax} = \frac{mv_m^2}{2}$ $E_{pmin}=0$ $E = \frac{mv_m^2}{2}$	Sistem sağ tərəfə - tarazlıq vəziyyətinə doğru hərəkətə gəlir. Zamanın $t = \frac{3}{4}T$ anında sistem tarazlıq nöqtəsindədir yerdəyişmə sıfır, sürət maksimumdur. Sistemin potensial enerjisi sıfır, kinetik enerjisi maksimumdur. Tam enerji maksimal kinetik enerjiyə bərabərdir.	
$x=A; v_x=0; E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = \frac{kA^2}{2}$ $E = \frac{kA^2}{2}$ 		$x=A$ $v_x=0$ $h=H$ $E_{kmin}=0$ $E_{pmax} = mgH$ $E = mgH$	$t=T$ tam perioda bərabər zaman anında sistem rəqsə başladığı ilkin vəziyyət alır ($x=A, v_x=0$). Tam enerji maksimal potensial enerjiyə bərabərdir. Kinetik enerji sıfır, potensial enerji maksimum olur.	

Nəzəri material. Qapalı sistemdə sərbəst harmonik rəqslərin potensial və kinetik enerjiləri periodik olaraq biri digərinə çevrilir. Cədvəl 4.4-də yaylı və riyazi rəqqaslarda enerji çevrilmələrinin müqayisəsi verilmişdir.

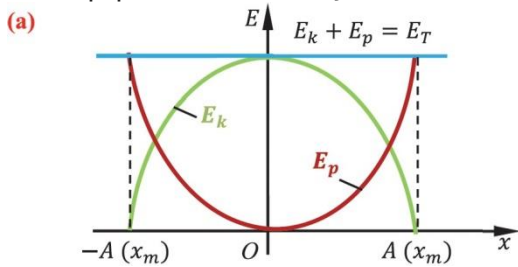
Cədvəldən görünür ki, rəqs sisteminin potensial enerjisi qayıtma nöqtələrində ($x = A$) maksimum qiymət alır:

$$E_{p \max} = \frac{kA^2}{2} \quad (4.28)$$

Rəqqas tarazlıq nöqtəsində olduğu anda isə potensial enerji minimumdur: $E_{p \min} = 0$. Sistemin kinetik enerjisi isə, əksinə, qayıtma nöqtəsində minimum ($E_{k \min} = 0$), tarazlıq nöqtəsindən keçdiyi an isə maksimum olur:

$$E_{k \max} = \frac{m\vartheta^2}{2}. \quad (4.29)$$

Şəkildə harmonik rəqsi hərəkətin potensial və kinetik enerjilərinin yerdəyişmədən asılılıq qrafikləri verilmişdir (a).



Zamanın istənilən t anında qapalı rəqs sisteminin tam mexaniki enerjisi sabit qalır (sürtünmə nəzərə alınmadıqda):

a) yaylı rəqqas üçün: $E_T = E_k + E_p = \frac{m\vartheta^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$

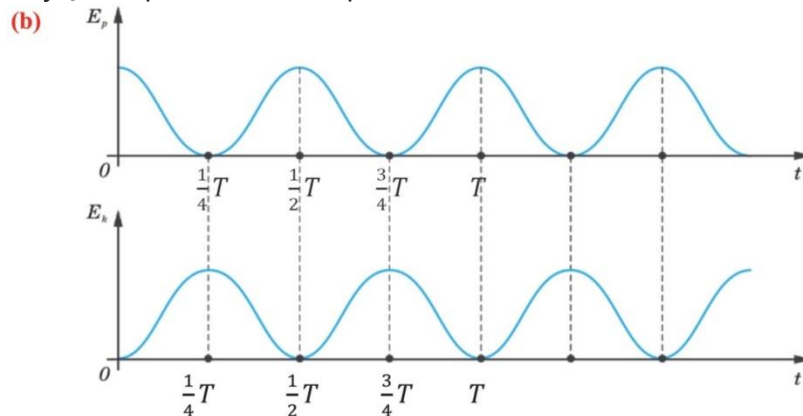
b) riyazi rəqqas üçün: $E_T = E_k + E_p = \frac{m\vartheta^2}{2} + mgh$.

Rəqsi hərəkətin potensial və kinetik enerjilərinin düsturlarında yerdəyişmə və sürətin harmonik qanunla dəyişdiyi nəzərə alınarsa, harmonik rəqsdə bu enerjilərin də harmonik qanunla dəyişdiyi məlum olar:

$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0), \quad (4.30)$$

$$E_k = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0). \quad (4.31)$$

Tənliklərdə $\varphi_0 = 0$ qəbul edilərsə, rəqsin uyğun enerjilərinin harmonik qanunla dəyişmə qrafikini asanlıqla təsvir etmək olar (b):



Sistemin tam enerjisi isə yuxarıda deyilən kimi, harmonik qanunla dəyişir:

$$E_T = \frac{m\vartheta^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0) + \frac{kA^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0) = \frac{kA^2}{2}. \quad (4.32)$$

- Harmonik rəqslərin tam enerjisi rəqslərin amplitudunun kvadratından düz mütənasib asılıdır.

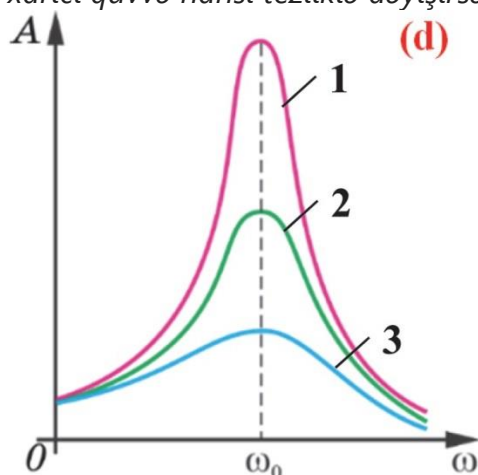
Sistemdə sürtünmə qüvvəsi mövcuddursa, onun tam mexaniki enerjisi saxlanılmır, cismin mexaniki enerjisinin dəyişməsi sürtünmə qüvvəsinin gördüyü işə bərabər olur. Nəticədə, tam mexaniki enerji zaman keçdikcə azalır və rəqs sönür:

$$\Delta E_T = A_{sür}$$

MÖVZU 6.MƏCBURİ RƏQSLƏR. REZONANS

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

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



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

(d). Nəticədə sistemdə rezonans hadisəsi baş verir:

- Məcbureddici 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 məcbureddici 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 7.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, yerində yalnız yuxarı-aşağı rəqsi hərəkət etdiyi müşahidə olunur. Beləliklə, su zərrəciklərinin müəyyən nöqtədə yaranan rəqsi hərəkəti sudakı 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 dalğadır.*

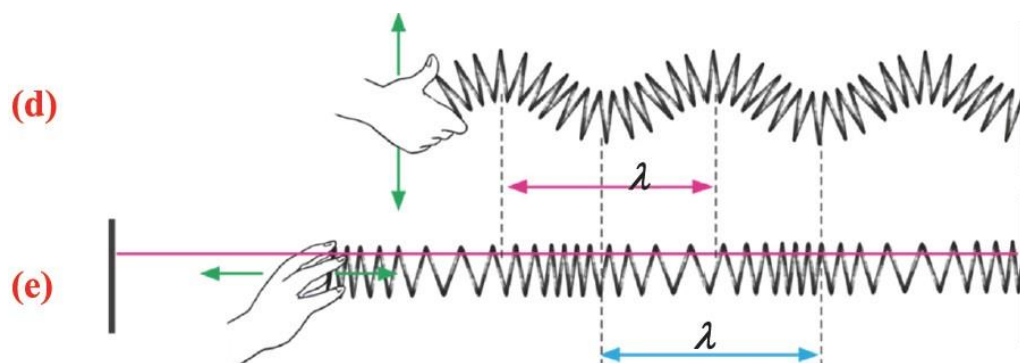
• *Mexaniki dalğa - mexaniki rəqslərin mühitdə yayılma prosesidir. O, vakuumda yayılmır. Mexaniki dalğalar elastik mühitdə (bərk cisim, maye və qazlarda) yayılır.*

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 tərpnəmz 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 1.NİSBİLİK NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSASLARI

Qalileyin nisbilik prinsipi. Q.Qaliley cisimlərin hərəkətinin öyrənilməsinə dair tədqiqatlarını ümumiləşdirərək 1636-cı ildə özünün *nisbilik prinsipini* formalaşdırdı:

● *Mexanika qanunları bütün ətalət hesablama sistemlərində eynidir.*

Bu prinsip mexaniki hərəkət tənliklərinin quruluşuna müəyyən sərhəd qoydu: *mexaniki hərəkəti ifadə edən tənliklər bütün ətalət hesablama sistemlərində eyni şəkildədir.*

Klassik adlandırılan bu təsəvvürlərə görə, mexaniki hərəkəti xarakterizə edən *fəza və zaman mütləq* hesab olundu - cismin xətti ölçüləri onun sükunətdə və ya hərəkətdə olmasından asılı deyildir, *ışıq sürəti isə sonsuz böyük* qəbul olundu. Nyuton mexanikası bütövlükdə bu prinsip üzərində qurulmuşdur. Beləliklə, klassik mexanikada koordinat, zaman, uzunluq və sürətlərin müxtəlif ətalət hesablama sistemlərinə nəzərən əlaqələri yığcam formada "Qaliley çevrilmələri" adlanan və ondan çıxan nəticələrlə təsvir edildi (bax: cədvəl 5.1). Lakin işıq sürətinə yaxın sürətlərdə baş verən hadisələri, məsələn, elektromaqnit, qravitasiya, atomdaxili prosesləri klassik təsəvvürlər izah edə bilmədi.

Eynşteynin xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi. XVII əsrin sonlarında işığın sürətinin təyininə dair Olaf Ryomerin astronomik üsulla və XIX əsrin ortalarında Lui Fizonun laboratoriya üsulu ilə aparılan praktik araşdırmaları (bax: *Fizika-9*, s.116 - 117), XIX əsrin sonlarında isə C.Maksvellin elektromaqnit sahəsinə dair apardığı nəzəri araşdırmaları işığın sonlu sürətə malik olduğunu əsaslandırdı.

XX əsrin əvvəllərində klassik nisbilik prinsipi və ondan çıxan nəticələr yenidən araşdırılmağa başlandı, işıq sürətinə yaxın sürətlə hərəkət edən ətalət sistemlərində fəza, zaman və digər fiziki kəmiyyətlər arasında "H.Lorens çevrilmələri" adlı əlaqə düsturları müəyyən edildi. A.Eynşteyn bu sahədə aparılan bütün araşdırmaları ümumiləşdirərək 1905-ci ildə yeni nəzəriyyə - "Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi"ni (XNN) formalaşdırmaqla *relyativistik mexanikanın* nəzəri əsasını qoydu.

● *Relyativistik mexanika - işıq sürəti ilə müqayisə olunan sistemlərdə mexanika qanunlarını öyrənən fizika bölməsidir.* Eynşteyn riyazi hesablamalarla sübut etdi ki, klassik mexanikanın mütləq qəbul etdiyi fundamental anlayışlar nisbidir və bu nisbilik hərəkət edən sistemdən, tərپənməz sistemə keçdikdə Lorensin

müəyyənləşdirdiyi $1/\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}$ universal vurğuya uyğun çevrilməyə məruz qalır (bax: cədvəl 5.1).

XNN-nin əsası iki postulatdan ibarətdir:

● *I postulat: təbiətin bütün qanunları bütün ətalət hesablama sistemlərində eynidir və heç bir fiziki təcrübə ilə ətalət sistemlərini bir-birindən fərqləndirmək olmaz.*

● *II postulat: işığın vakuumdakı yayılma sürəti bütün ətalət hesablama sistemlərində eynidir və o, işıq mənbəyinin və işıq qəbuledicisinin sürətindən asılı deyildir. Işıq sürəti təbiətdə mövcud olan maksimal sürətdir.*

<p>Burada:</p> <p>a. ştrixsiz kəmiyyətlər verilən hadisənin tərpənməz K hesablam a sistemində baş verməsini xarakterizə edir;</p> <p>b. ştrixli kəmiyyətlər isə həmin hadisənin K sistemində nəzərən \vec{u} sürəti ilə hərəkət edən K' hesablam a sistemində baş verməsini xarakterizə edir;</p> <p>c. c — işıq sürətidir, o, klassik təsəvvürlərə görə sonsuz, relyativistik mexanikada sonlu qiymətə malikdir.</p>	
---	--

Qaliley çevrilməsi		Lorens çevrilməsi	
Düz çevrilmə	Əks çevrilmə	Düz çevrilmə	Əks çevrilmə
$x' = x - ut$	$x = x' + ut$	$x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$	$x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$
$y' = y$	$y = y'$	$y' = y$	$y' = y$
$z' = z$	$z = z'$	$z' = z$	$z' = z$
$t' = t$	$t = t'$	$t' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$	$t = \frac{t' + \frac{ux'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$
Qaliley çevrilmələrindən çıxan nəticələr		Eynşteynin postulatlarına görə Lorens çevrilmələrindən çıxan nəticələr	
Zaman fasiləsi mütləqdir: $\Delta t' = \Delta t$		Zaman fasiləsi nisbidir: <i>sükunətdəki koordinat sistemində nəzərən hərəkət edən koordinat sistemində zaman fasiləsi ləngiyir:</i>	

	$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$ <p>Burada Δt — tərpənməz sistemlə bağlı zaman fasiləsi, Δt_0 - hərəkətdə olan sistemlə bağlı məxsusi zaman fasiləsidir.</p>
Fəza ölçüsü mütləqdir: $\Delta l' = \Delta l$	<p>Fəza ölçüsü nisbidir: sükunətdəki koordinat sistemində nəzərə alınmayan hərəkətdə olan koordinat sistemində cismin uzununa ölçüsü qısalır:</p> $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ <p>Burada l - tərpənməz sistemlə bağlı hərəkət istiqamətindəki uzunluq, l_0 - hərəkətdə olan sistemlə bağlı məxsusi uzunluqdur.</p>
Kütlə invariantdır: bütün hesablamada sistemlərdə ödənilir: $m' = m$	Kütlə invariantdır: bütün hesablamada sistemlərdə ödənilir: $m' = m$.
<p>Qalileyin sürətlərin toplanması qaydası: $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$.</p> <p>Qarşılıqlı təsir sonlu c sürəti ilə deyil, ani olaraq sonsuz böyük sürətlə ötürülür. Bir koordinat sistemindən digərinə keçdikdə sürət sonsuz böyük qiymət ala bilər:</p> $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}, c = v' = \infty,$ $v = \infty + u = \infty.$	<p>Sürətlərin relyativistik toplama qaydası: <i>İşığın vakuumdakı sürəti bütün ətalət hesablamada sistemlərdə bütün istiqamətlərdə eynidir.</i></p> $v = \frac{v' + u}{1 + \frac{v'u}{c^2}} = c,$ <p>burada: $v' = c$ - dir.</p>

Ümumi nisbilik nəzəriyyəsi (ÜNN). Ümumi nisbilik nəzəriyyəsi 1911—1916-cı illərdə xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin çatışmayan cəhətlərini tamamlamaq və qravitasiya nəzəriyyəsinə relyativistik baxımdan izah etmək məqsədilə A.Eynşteyn tərəfindən formalasdırılmışdır. XNN-nin çatışmayan cəhətləri bunlardır: a) bu nəzəriyyə yalnız ətalət hesablamada sistemlərdə ödənilir. Bir-birinə nəzərə alınmayan hərəkət edən sistemlərdə XNN ödənmir; b) bu nəzəriyyə yalnız düzxətli müstəvi koordinatlarda işlənilə bilər, digər koordinat sistemlərdə işlətmək mümkün deyildir. ÜNN iki əsas prinsipə əsaslanır: *Ekvivalentlik prinsipi və ya zəif ekvivalentlik prinsipi: bu prinsipə əsasən, ətalət kütləsi ilə qravitasiya kütləsi ekvivalentdir - bir-birinə bərabərdir.* Klassik mexanikada iki "kütlə" anlayışından istifadə olunur: Nyutonun II qanununa əsasən təcilə münasibətdə olan *ətalət kütləsi* və qravitasiya sahəsinin mənbəyi olan *qravitasiya kütləsi*. Eynşteyn bu kütlələrin hər ikisinin eyni olduğunu *fikri eksperimentlərlə* sübut

edir. Güclü ekvivalentlik prinsipi: bu prinsipə görə, sərbəstdüşmə təcilinə bərabər təcillə düşən sistemdə bütün fiziki qanunlar qravitasiya yoxmuş kimi təzahür edir.

Bu prinsiplərdən çıxan başlıca nəticələr:

1. Günəşin qravitasiya sahəsinin təsiri ilə işığın düzxətli yayılma qanununun pozulması və işıq şüalarının əyilməsi-, fəza-zaman koordinatlarının əyilməyə məruz qalması. Bu effekt 1919- cu ildə Günəş tutulması zamanı aparılan müşahidələr nəticəsində təsdiqini tapmışdır.
2. Qravitasiya sahəsində zaman fasiləsinin ləngiməsi - qravitasiya qırmızı sürüşməsinin baş verməsi. Bu effekt 1960-cı ildə Harvard Universitetinin laboratoriya qülləsində ABŞ fizikləri R.Paund və Q.Rebki tərəfindən təcrübi olaraq təsdiq edilmişdir.
3. Binar (ikili) ulduz sistemlərinin toqquşması və Kainatın genişlənməsi nəticəsində qravitasiya dalğalarının şüalanması və s. Qravitasiya dalğalarının mövcud olmasını 100 ildən sonra - 2016-cı ildə ABŞ alimləri iki "Qara deşiyin (sönmüş ulduzlar)" toqquşması nəticəsində aşkar etmişlər

MÖVZU 2.ENERJİ İLƏ KÜTLƏ ARASINDA QARŞILIQLI ƏLAQƏ QANUNU

Kütlə ilə enerji arasında qarşılıqlı əlaqə. Klassik mexanika materiyayı iki növə ayırır: maddə və fiziki sahəyə. Maddənin başlıca xassəsi onun kütləyə, fiziki sahənin başlıca xassəsi isə onun enerjiyə malik olmasıdır.

Nisbilik nəzəriyyəsinə görə isə kütlə ilə enerji arasında qarşılıqlı əlaqə mövcuddur - maddənin kütləsi varsa, o, enerjiyə də malikdir. 1905-ci ildə A.Eynşteyn *kütlə ilə enerji arasında qarşılıqlı əlaqə qanununu* formalaşdırdı:

• Mövcud olan ixtiyari cisim *sükunət enerjisinə* malikdir, həmin enerji bu cismin kütləsi ilə işığın vakuumdakı sürətinin kvadratı hasilinə bərabərdir:

$$E_0 = mc^2. (5.1)$$

• *Sükunət enerjisi (E₀) -seçilmiş hesablama sistemində nəzərdən sükunətdə olan cismin enerjisidir.* (5.1) ifadəsindən görünür ki, makroskopik kütlə enerjinin mühüm xarakteristikasıdır. Məsələn, (5.1) münasibətinə əsasən asanlıqla hesablamaq olar ki, cismin 1q kütləsinə $9 \cdot 10^{13}C$ sükunət enerjisi ekvivalentdir:

$$E_0 = 10^{-3}kq \cdot (3 \cdot 10^8)^2m^2/san^2 = 9 \cdot 10^{13}C.$$

Belə enerji atom bombasının partlayışı prosesində ayrılır (bax: Fizika 9, s.191) və o, 30 000 t suyu buxara çevirməyə kifayət edir.

Sistemin elektromaqnit şüalanması, məsələn, işıq şüalandırma prosesi, bu sistemin daxili enerjisinin şüalanma enerjisinə çevirmə prosesisidir. Həmin prosesdə daxili enerjiyə ekvivalent olaraq sistemin kütləsi də azalır:

$$\Delta m = \frac{E_0}{c^2} = \frac{E_{\text{şüalanma}}}{c^2}$$

Kütlənin dəyişməsi enerjinin dəyişməsinə ekvivalentdir:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}. (5.2)$$

Günəş və digər ulduzların fasiləsiz şüalanması - onların fasiləsiz enerji və kütlə itkisinə məruz qalmaları deməkdir. Aparılan hesablamalardan müəyyən edilmişdir ki, Günəş şüalanmaqla hər saniyədə kütləsini 4 000 000 t azaldır.

Relyativistik mexanikada enerji (və ya tam enerji). Nisbilik nəzəriyyəsinə görə, sistemin tam enerjisi onun sükunət enerjisi ilə kinetik enerjisinin cəminə bərabərdir:

$$E = E_0 + E_k = mc^2 + E_k. \quad (5.3)$$

Eynşteyn müəyyən etmişdir ki, $v \leq c$ sürəti ilə hərəkət edən və digər zərrəciklərlə qarşılıqlı təsirdə olmayan zərrəciyin tam enerjisi bir ətalət hesablamada sistemindən digərinə keçdikdə relyativistik çevrilməyə məruz qalır:

$$E = m \frac{c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (5.4)$$

Əgər cisim sükunətdə olarsa: $v = 0$, (5.4) ifadəsindən alınır ki, cisim $E_0 = mc^2$ sükunət enerjisinə malikdir.

Relyativistik mexanikada kinetik enerji. Cismin kinetik enerjisi onun tam və sükunət enerjilərinin fərqinə bərabərdir:

$$E_k = E - E_0 = E - mc^2. \quad (5.5)$$

Burada tam enerjinin əvəzinə (5.4) ifadəsini yazsaq, alarıq:

$$E_k = mc^2 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \quad (5.6)$$

Relyativistik mexanikada impuls. Nisbilik nəzəriyyəsinə görə, sistemin impulsu bir ətalət hesablamada sistemindən digərinə keçdikdə relyativistik çevrilməyə məruz qalır:

$$\vec{p} = m \frac{\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (5.7)$$

Tam enerji ilə impuls arasında əlaqə. Relyativistik mexanikada cismin tam enerjisi ilə impulsu arasında aşağıdakı əlaqə mövcuddur:

$$E^2 = m^2c^4 + p^2c^2 \quad (5.8)$$

və ya

$$E^2 - p^2c^2 = m^2c^4. \quad (5.9)$$

Bu münasibət bütün ətalət hesablamada sistemlərinə ödənilir. Bir ətalət hesablamada sistemindən digərinə keçəndə tam enerji və impuls dəyişir, lakin $E^2 - p^2c^2$ fərqi dəyişmir.

Əgər kütlə sıfıra bərabər olarsa ($m = 0$), (5.9) -dan alınır:

$$E^2 = p^2c^2 \quad \rightarrow \quad E = pc. \quad (5.10)$$

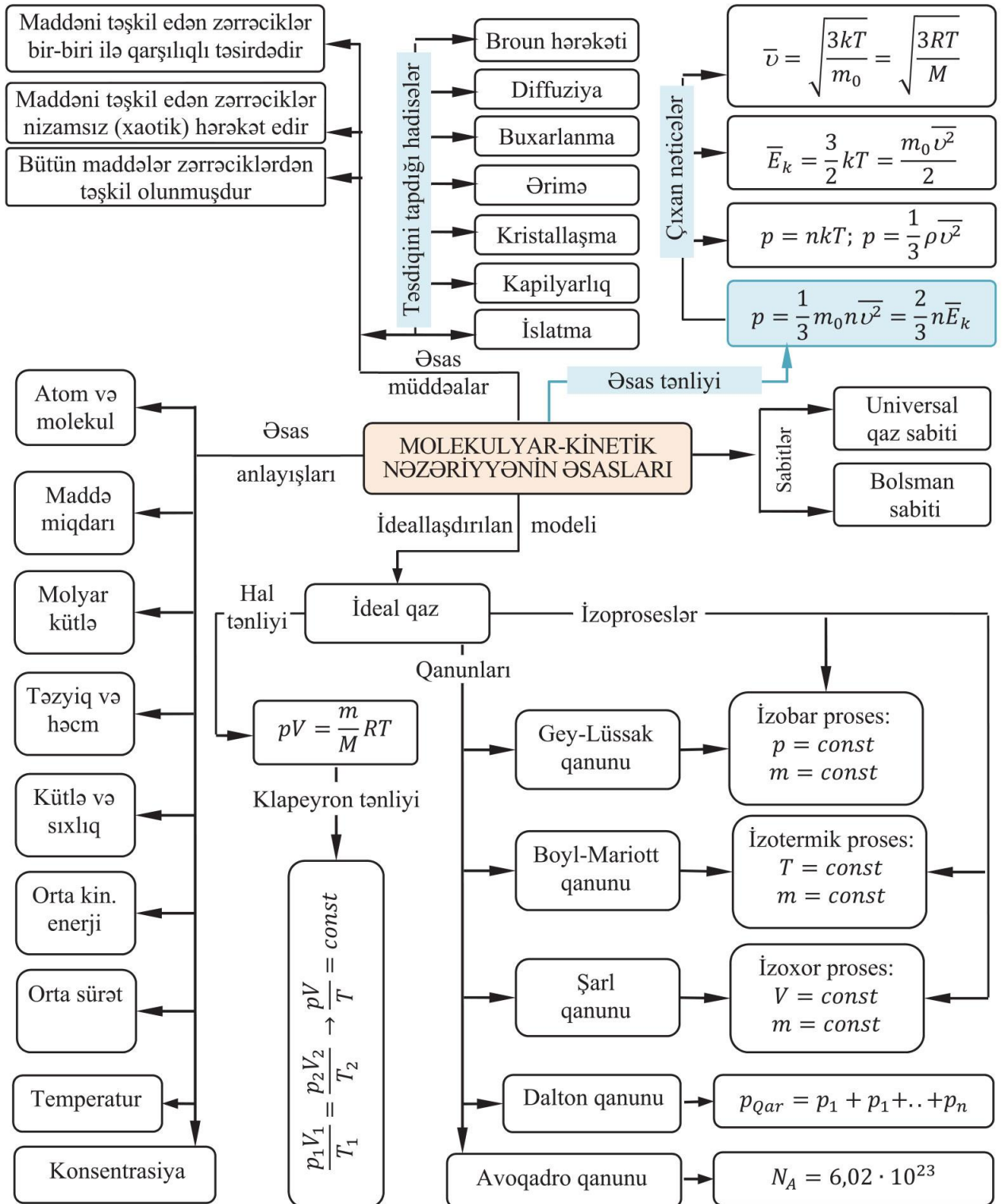
(5.4) və (5.7) düsturlarından zərrəciyin tam enerjisi ilə onun impulsu arasında belə bir mütənasib olduğu alınır:

$$\frac{E}{c^2} = \frac{p}{v}. \quad (5.11)$$

(5.10) düsturunu burada nəzərə aldıqda məlum olur ki, $m = 0$ olduqda zərrəcik (məsələn, foton) işıq sürəti ilə hərəkət edir: $v = c$.

BÖLMƏ 6.

Fəslin "Anlayışlar xəritəsi"



MÖVZU 1.MOLEKULAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏ VƏ ONUN ƏSAS MÜDDƏALARI

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 molekullar arasındakı 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.

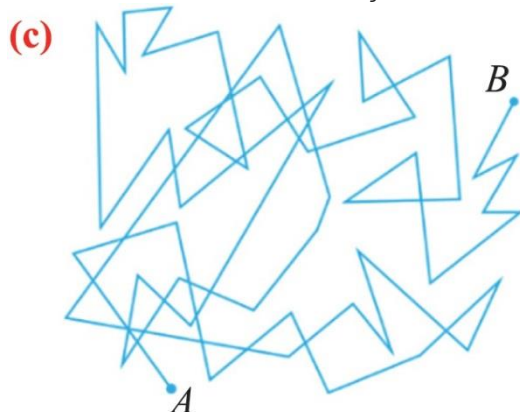
- *Molekulyar fizika - makroskopik cisimlərin daxili quruluşunu, onun xassəsini və materiyanın istilik hərəkətinin əsas qanunauyğunluqlarını öyrənen fizika bölməsidir.*

- *Makroskopik cisimlərin atom və molekulardan təşkil edildiyini, bu zərrəciklərin daim xaosik 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 müddəaları. MKN-nin əsasını 3 müddəə təşkil edir:

I müddəə: 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 müddəə: maddəni təşkil edən zərrəciklər fasiləsiz və nizamsız (xaotik) hərəkətdədir.



Bu müddəanın 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 xaos hərəkat etməsinə səbəb su molekullarının istilik hərəkatının nəticəsidir. Perren müəyyənləşdirdi ki, zərrəciklərin broun hərəkatının intensivliyi onun kimyəvi təbiətindən deyil, temperaturundan asılıdır: temperatur yüksəldikcə broun hərəkatının intensivliyi də artır.

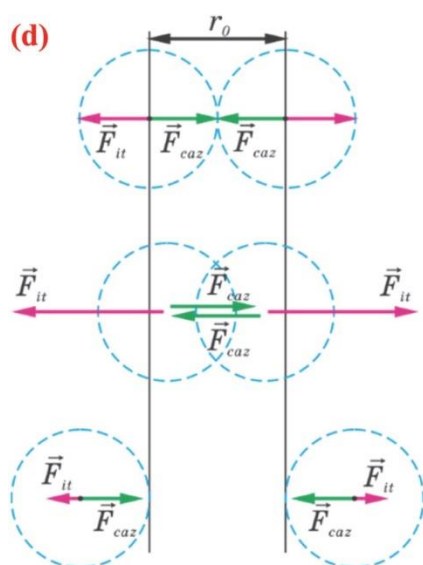
Beləliklə:

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

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

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

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



III müddəa: maddə zərrəcikləri bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdədir

Bu müddəanı 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 mütənəsbidir. 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.kv.) - ${}^6_{12}\text{C}$ 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	Maddənin nisbi molekül (və ya atom) kütləsi - həmin maddənin molekülünün m_0 kütləsinin karbon atomu kütləsinin 1/12-nə olan nisbətində deyilir: $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0,C}}$ M_r — nisbi molekül kütləsi, m_0 — maddə molekülünün kütləsidir. Nisbi molekül kütləsinin vahidi yoxdur.
Maddə miqdarı	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.
Avoqadro ədədi	Avoqadro ədədi (sabit) - istənilən maddənin bir molunda olan molekulların (və ya atomların) sayıdır: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.
Molyar kütlə	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: $m_0 = \frac{M}{N_A} \rightarrow N_A = \frac{M}{m_0}$ İstənilən maddənin m kütləsi: $m = m_0 \cdot N \rightarrow N = \frac{m}{m_0}$ Buradan alınır ki, maddə miqdarı maddənin kütləsinin onun molyar kütləsinə nisbətində bərabərdir: $v = \frac{m}{M}$
Maddədəki molekulların sayı	Kütləsi m , molyar kütləsi M olan istənilən maddədəki molekulların sayı: $N = v \cdot N_A = \frac{m}{M} \cdot N_A$

MÖVZU 2. İDEAL QAZ. İDEAL QAZIN MOLEKULAR-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 mütənasib 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 3. İSTİLİK TARAZLIĞI - TEMPERATUR

İstilik tarazlığı. Məlumdur ki, müxtəlif temperaturlu iki cismi bir-birinə toxundurduqda onlar arasında istilik mübadiləsi baş verir: istilik temperaturu yüksək olan cisimdən aşağı temperaturlu cismə verilir. Bu proses hər iki cismin temperaturu bərabərləşənə qədər davam edir. Belə vəziyyət cismin temperaturunun ölçülməsində nəzərə alınır - termometr cismə toxundurulur, lakin onun göstəricisi dərhal deyil, müəyyən zaman fasiləsindən sonra qeyd olunur.

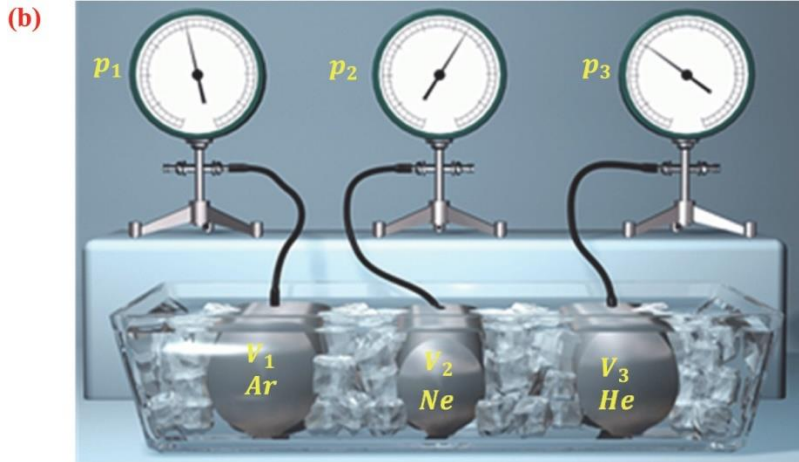
Bu müddətdə cisimlə termometr arasında *istilik tarazlığı* və ya *termodinamik tarazlıq* yaranır. Termodinamik tarazlıqda sistemin makroskopik parametrləri sabit qalır - maddənin aqrekat hallarının dəyişməsi baş vermir.

- *İstilik tarazlığı və ya termodinamik tarazlıq - sistemin makroskopik parametrlərinin uzun müddət dəyişməz qaldığı halıdır.*

Sistemin istilik tarazlığı temperaturla xarakterizə olunur.

- *Temperatur - makroskopik sistemin istilik tarazlığını xarakterizə edən kəmiyyətdir: istilik tarazlığında sistemin bütün hissələrinin temperaturu eynidir.* Temperaturun keyfiyyət və kəmiyyətə müəyyənləşdirilməsi elə fiziki kəmiyyətə əsaslanmalıdır ki, o, birincisi, cismin halını xarakterizə etsin, ikincisi, istilik tarazlığında olan bütün cisimlər üçün eyni olsun. Belə kəmiyyət maddə molekullarının irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisidir. Həmin enerjini xaotik hərəkətində olan bir- atomlu ideal qaz molekulları üçün asanlıqla təyin etmək olur.

Bu məqsədlə belə bir maraqlı eksperiment qoyulmuşdur: manometrlə (təzyiq ölçən cihaz) təchiz edilən müxtəlif həcmli üç balona müxtəlif qaz, məsələn, arqon, neon və helium qazı doldurulur. Balonlar əvvəlcə əriməkdə olan buzda ($t_0 = 0^\circ\text{C}$), sonra isə qaynayan suda ($t = 100^\circ\text{C}$) saxlanılır (b).



Aparılan ölçmələrdən məlum olur ki, istilik tarazlığının hər iki halında (həm 0°C , həm də 100°C temperaturunda) təzyiq və zərrəciklərin konsentrasiyasının müxtəlif olmasına baxmayaraq, $\frac{PV}{N}$ ə nisbəti bütün balonlarda, demək olar ki, sabit qalır:

$$t = 0^\circ\text{C} - \text{d} \rightarrow \frac{P_1 V_1}{N_1} = \frac{P_2 V_2}{N_2} = \frac{P_3 V_3}{N_3} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{N} \cdot \text{m} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{C},$$

$$t = 100^\circ\text{C} - \text{d} \rightarrow \frac{P_1 V_1}{N_1} = \frac{P_2 V_2}{N_2} = \frac{P_3 V_3}{N_3} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{N} \cdot \text{m} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{C}.$$

Burada $\frac{V}{N} = \frac{1}{N}$ olduğu nəzərə alınarsa, istilik tarazlığında qazın təzyiqinin onun molekullarının konsentrasiyasına nisbətinin enerji vahidi coulla ölçülən sabit kəmiyyətə bərabər olduğu alınır:

$$\frac{P}{N} = \theta. \quad (6.6)$$

Burada θ (teta) — sabit kəmiyyət olub ideal qaza yaxın olan seyrəldilmiş bütün qazlar üçün yalnız temperaturdan asılıdır:

$$\theta = kT. \quad (6.7)$$

Burada T - mütləq temperatur, k - mütənasiblik əmsalı olub *Bolsman sabiti* adlanır - Avstriya fiziki Lüdviq Bolsmanın şərəfinə (1844—1906). Təcrübi olaraq müəyyən edilmişdir ki, Bolsman sabiti:

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{C}}{\text{K}}. \quad (6.8)$$

Bolsman sabiti enerji vahidi ilə ölçülən θ temperaturunu Kelvinlə ölçülən T mütləq temperaturu ilə əlaqələndirir.

(6.6) və (6.7) ifadələrindən ideal qazın təzyiqi üçün alınır:

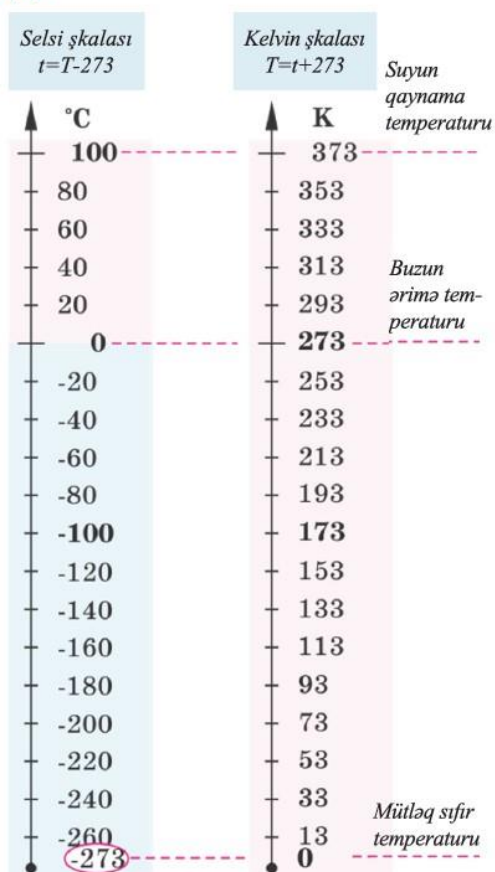
$$p = nkT. \quad (6.9)$$

Temperaturu ölçmək üçün Kelvin şkalasından istifadə olunursa, onun qiyməti (6.9) ifadəsindən təyin edilə bilər:

$$T = \frac{P}{nK}. \quad (6.10)$$

(6.10) düsturu maddənin (qazın) növündən asılı olmayan yeni temperatur şkalasının yaradılmasına imkan verdi.

(c)



Mütləq temperatur şkalası adlandırılan belə temperatur şkalasını 1848-ci ildə ingilis fiziki Uilyam Tomson (1824–1907) təklif etdi. O, fizika elmi sahəsindəki xidmətlərinə görə 1892-ci ildə *lord Kelvin* titulu ilə təltif edilmişdir. Buna görə də onun təklif etdiyi temperatur şkalası *Kelvin şkalası* adlanır. Kelvin şkalasında sıfır nöqtəsi - *mütləq sıfır temperaturu* nəzəri mümkün olabilən ən aşağı temperaturdur. Bu şkalaya görə buzun ərimə temperaturu $T_0 = 273,15K$ -dir.

Temperaturların Selsi şkalası ilə Kelvin şkalaları arasında münasibət:

$$T = t + 273 .$$

Hesablamalarda bu əlaqə sadə şəkildə belə yazılır:

$$T = t + 273. \quad (6.11)$$

Mütləq temperaturun BS-də vahidi əsas vahid olub Kelvindir (İK): $[T] = 1K$. Temperaturun Kelvin şkalasında $1K$ dəyişməsi onun Selsi şkalasında da $1^\circ C$ dəyişməsinə uyğundur. Ona görə də, həm Kelvin, həm də Selsi şkalalarında temperaturlar fərqi eynidir:

$$\Delta T = \Delta t \quad (c).$$

Temperatur - molekulların orta kinetik enerjisinin ölçüsüdür. Həqiqətən, (6.4) və (6.9) ifadələrinin müqayisəsindən alınır ki, ideal qazın (və ya seyrəldilmiş qaz) makroskopik parametri olan mütləq temperatur onun mikroskopik parametri olan molekulların orta kinetik enerjisi ilə əlaqədardır:

- Qaz molekulunun irəliləmə xaosik hərəkətinin orta kinetik enerjisi mütləq temperaturdan düz mütənasib asılıdır.

$$\overline{E}_k = \frac{3}{2}kT. \quad (6.12)$$

(6.12) düsturundan temperaturun fiziki mənası aydın olur:

Temperatur — cismın molekullarının xotik irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisinin ölçüsüdür.

(6.12) ifadəsi mayelər və bərk cisimlər üçün də ödənilir. Düsturdan görünür ki, mütləq sıfır temperaturunda molekulların irəliləmə hərəkətlərinin orta kinetik enerjisi və deməli, orta kvadratik sürətləri sıfıra bərabərdir.

Molekulların orta kvadratik sürəti. (6.1), (6.3) və (6.5) düsturlarından molekulların orta kvadratik sürətlərini MKN baxımından hesablamaq olar:

$$v_{or.kv} = \sqrt{\frac{2\bar{E}_k}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}. \quad (6.13)$$

MÖVZU 4.QAZ MOLEKULLARININ HƏRƏKƏT SÜRƏTİNİN MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİ

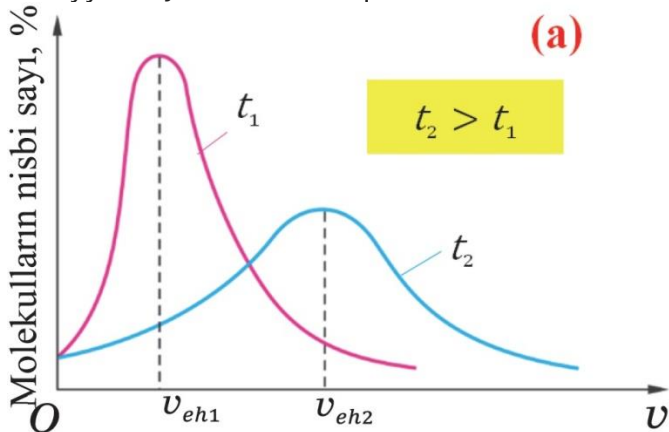
Qaz molekullarının hərəkət sürətinin müəyyənləşdirilməsi. Qaz molekulları fasiləsiz xotik hərəkətdədir. Maraqlıdır ki, nizamsız hərəkət edən külli miqdarda qaz molekullarının sürətlərə görə müəyyən paylanma qanunauyğunluğu mövcuddur. Cədvəl 6.2-də azot molekullarının sürətlərə görə paylanması verilmişdir (cədvəl otaq temperaturunda və verilmiş sürətdəki molekulların ümumi molekulların sayına nisbətinin faizlə qiyməti üçün qurulmuşdur).

Cədvəl 6.2.

Sürət, m/san	0 ÷ 100	100 ÷ 300	300 ÷ 500	500 ÷ 700	700 ÷ 900	900 <
Molekulların nisbi sayı, %	1	25	42	24	7	1

Cədvəli araşdırdıqda məlum olur ki, molekulların ümumi sayının 1%-i ən kiçik sürətlə hərəkət edir. Molekulların təqribən yarısı (42%) orta (300 ÷ 500) $\frac{m}{san}$ sürətə malikdir. Molekulların ümumi sayının 91% -nin sürəti isə (100 ÷ 700) $\frac{m}{san}$ aralığındadır.

İngilis fiziki Ceyms Maksvell (1831-1879) riyazi ehtimal nəzəriyyəsiindən istifadə edərək 1860-cı ildə molekulların sürətlərə görə paylanma qanunauyğunluğunu müəyyənləşdirdi və onu qrafikdə əks



etdirdi (a). Qrafikdən görünür ki, onun maksimumu ən çox ehtimal edilən sürətə (v_{eh}) uyğundur. Bu o deməkdir ki, verilən temperatur və həcmdəki qaz molekullarının ən çoxu v_{eh} sürətinə yaxın sürətlə hərəkət edir. Məsələn, azot üçün 20°C temperaturunda $v_{eh} = 415m/san$ -dir. Temperatur artıqda böyük sürətlə hərəkət edən molekulların sayı artır, əksinə, yavaş sürətli molekulların sayı isə azalır.

Nəticədə v_{eh} sürətinə yaxın sürətlə hərəkət edən molekulların sayı da artır və bu zaman "paylanma" əyrisinin maksimumunun yeri böyük sürətlər tərəfə sürüşür (bax: **a**).

Qaz molekullarının sürətinin təcrübədə ölçülməsinə dair ilk araşdırmaları 1920- ci ildə alman alimi Otto Ştern (1888-1969) aparmışdır. Onun molekulların sürəti üçün təyin etdiyi qiymətlər MKN əsasında təyin olunan qiymətlərlə üst-üstə düşdü. Ştern təcrübələrinin elmi əhəmiyyəti ondan ibarət oldu ki, bu təcrübələr həm qaz molekullarının sürətlərini eksperimental üsulla təyin etdi, həm də qaz molekullarının sürətlərə görə paylanma qanunauyğunluğunu təsdiqlədi.

MÖVZU 5.İDEAL QAZIN HAL TƏNLİYİ

Klapeyron tənliyi. İdeal qazın halını xarakterizə edən üç makroskopik parametri (təzyiq, həcm və temperaturu) arasındakı əlaqəni ideal qazın hal tənliyi müəyyən edir.

• *İdeal qazın hal tənliyi - qazın halını təsvir edən, onun başlanğıc və son halının parametrləri arasında əlaqəni müəyyən edən tənlikdir.*

Əgər ideal qaz bir haldan digər hala keçdikdə onun molekullarının sayı sabit qalırsa - kütləsi və molyar kütləsi dəyişməzsə, (6.2) və (6.9) düsturlarından alınır ki:

$$\begin{cases} p_1 V_1 = N k T_1 \\ p_2 V_2 = N k T_2 \end{cases} \quad (6.14)$$

Burada p_1, V_1, T_1 — ideal qazın başlanğıc halının, p_2, V_2, T_2 isə son halının parametrləridir. (6.14) ifadələri üzərində sadə riyazi çevrilmələr etməklə verilmiş kütləli ($m = const$) ideal qaz üçün alırıq:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{və ya} \quad \frac{pV}{T} = const \quad (6.15)$$

(6.15) tənliyini ilk dəfə 1834-cü ildə fransız fiziki Benua Klapeyron (1799-1864) aldığına görə o, ideal qazın halını xarakterizə edən Klapeyron tənliyi adlanır.

• *Verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin həcmə hasilinin mütləq temperatura nisbəti sabit kəmiyyətdir.*

Mendeleyev-Klapeyron tənliyi. Maddə zərrəciklərinin sayını maddənin ümumi kütləsi, molyar kütləsi və Avoqadro ədədi ilə əlaqələndirən

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

düsturunu (6.14)-də nəzərə alsaq, onu:

$$pV = k N_A \frac{m}{M} T \quad (6.16)$$

şəklində yazmaq olar. Burada Bolsman və Avoqadro sabitlərinin hasilinə bərabər sabit kəmiyyət *universal qaz sabiti* adlanır, R hərfi ilə işarə edilir və ədədi qiyməti:

$$R = k N_A = 8,31 \frac{C}{mol \cdot K} \quad (6.17)$$

(6.17) ifadəsi (6.16)-da nəzərə alındıqda ideal qazın halını xarakterizə edən *Mendeleyev-Klapeyron tənliyi* adlanan düstur alınır:

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT \quad \text{və ya} \quad \frac{pV}{T} = \nu R \quad (6.18)$$

Sonuncu ifadələri universal qaz sabitinin fiziki mənası alınır: bir mol qaz üçün təzyiqin həcmə hasilinin mütləq temperatura nisbəti bütün qazlar üçün sabit kəmiyyətdir.

Mendeleyev- Klapeyron tənliyini bu şəkildə də yazmaq olar:

$$p = \frac{\rho}{M} RT. \quad (6.19)$$

Burada $\rho = \frac{m}{V}$ - qazın sıxlığıdır.

MÖVZU 6.QAZ QANUNLARI

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.

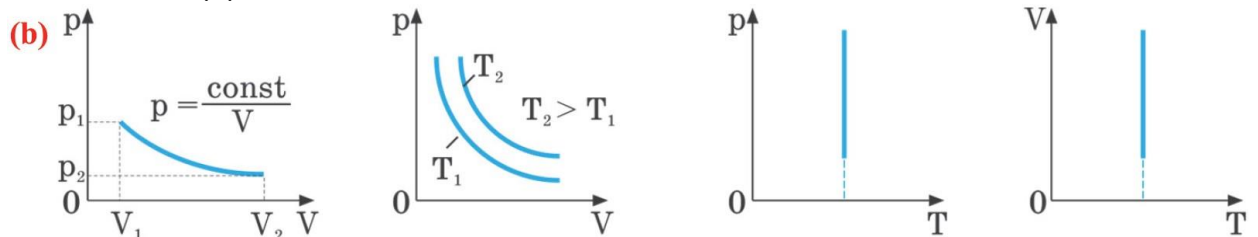
- Sabit temperaturda verilmiş ideal qazın təzyiqinin həcminə hasilı sabitdir ($T = \text{const}$, $m = \text{const}$):

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

Sabit temperaturda verilmiş kütləli ideal qazın başlanğıc halındakı p_1 təzyiqi ilə V_1 həcmnin hasilı 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 prosədə 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 ($p = \text{const}$, $m = \text{const}$):

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

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:

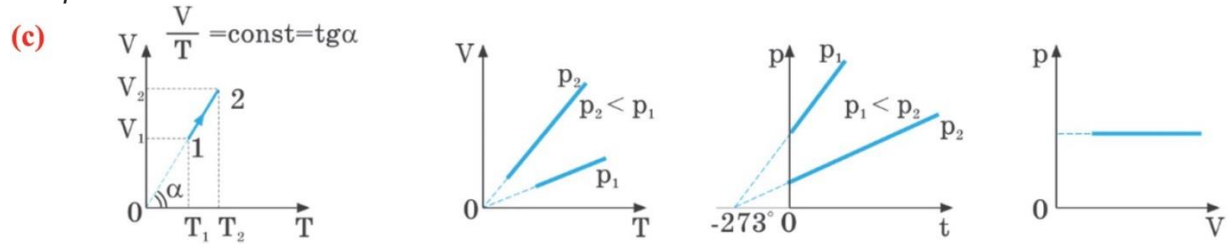
- Sabit təzyiqdə verilmiş kütləli ideal qazın həcmnin nisbi dəyişməsi temperaturun dəyişməsi ilə düz mütənasibdir ($p = \text{const}$, $m = \text{const}$):

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

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:

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

• *Sabit təzyiqdə ($p = \text{const}$) 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) təcrübə olaraq müəyyənləşdirmişdir:

• *Sabit həcmdə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin onun mütləq temperaturuna nisbəti sabitdir ($V = \text{const}$, $m = \text{const}$):*

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

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:

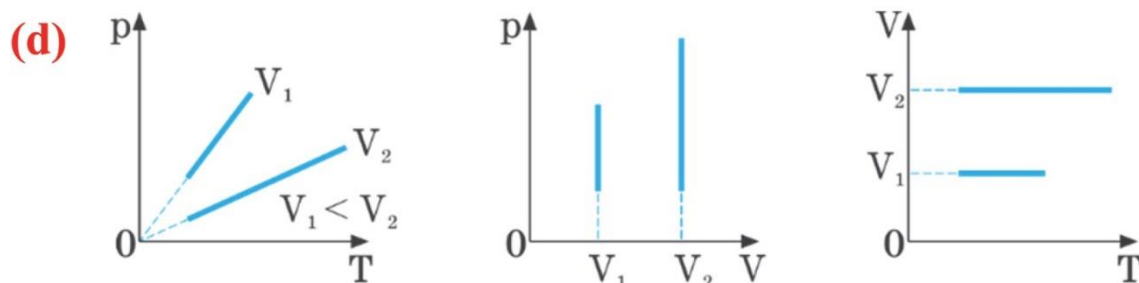
• *Sabit həcmdə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin nisbi dəyişməsi temperaturun dəyişməsi ilə düz mütənasibdir ($p = \text{const}$, $m = \text{const}$):*

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

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 $0^\circ C$ olan bütün seyrəldilmiş qazları $1K$ ($1^\circ C$) qızdırdıqda onlar öz təzyiqlərini başlanğıc haldakı təzyiqlərinin $\frac{1}{273}$ hissəsi qədər dəyişir:

$$\beta = \frac{p_{100} - p_0}{100^\circ C * p_0} \approx \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ C} = \frac{1}{273} \frac{1}{K} \quad (6.29)$$

• *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 həcmə 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 l (l/mol) həcmə malikdir. Bu həcm ideal qazın molyar həcmi adlanır.*

MÖVZU 7. BUXARLARIN XASSƏLƏRİ: DOYAN VƏ DOYMAYAN BUXAR

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:

$$[L] = 1 \frac{\text{C}}{\text{kg}} = 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \text{kg}}$$

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.*

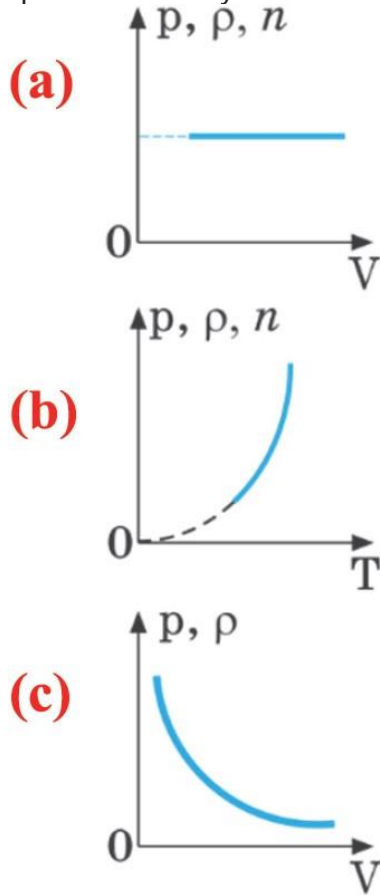
$$Q = Lm \quad (6.32)$$

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.

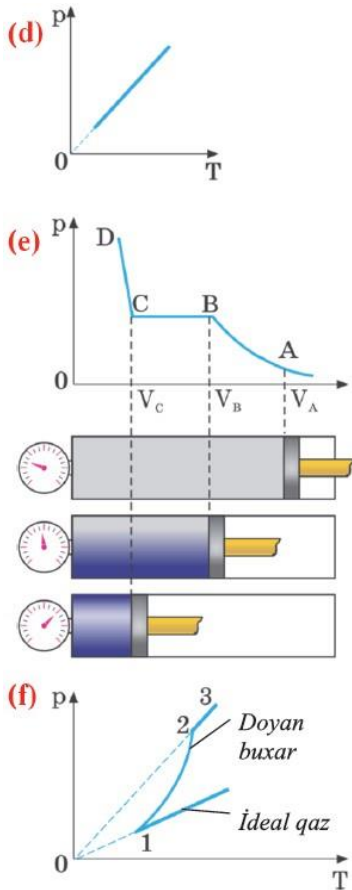
• *Doymayan buxar* - öz mayesi ilə dinamik tarazlıqda olmayan buxardır.

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 mütənəsb asılıdır - doymayan buxar üçün Boyle-Mariott qanunu ödənilir (c);



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

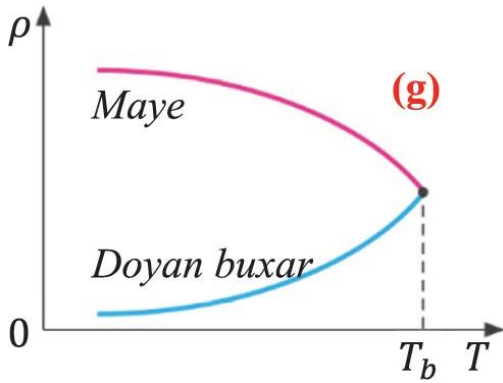
Doyan və doymayan buxarların biri digərinə çevrilə bilər.

•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 sıxılda doyan buxarın mayeyə çevrilməsi yalnız böhran temperaturundan aşağı temperaturalarda 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.

MÖVZU 8.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 *ifrat 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 $\rho_b = 20,5 \text{ q/m}^3$ olmuşdur. Gecə havanın temperaturu $t_2 = 18^\circ\text{C}$, həmin temperaturda doyan su buxarının sıxlığı isə $\rho_0 = 10,2 \text{ q/m}^3$ oldu. Deməli, artıq buxar kondensasiya edir - şəh düşür. Bu proses duman və buludun yaranmasına yağışın yağması səbəb olur

MÖVZU 9.MAYELƏRİN SƏTHİ GƏRİLMƏSİ. KAPİLYAR HADİSƏLƏR

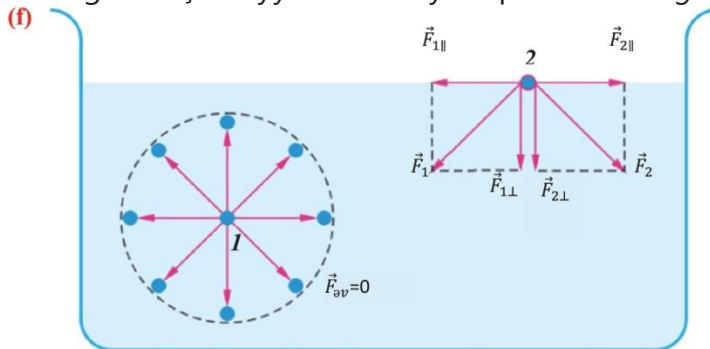
Səthi gərilmə qüvvəsi. Mayeləri qazlardan fərqləndirən xüsusiyyətlərdən biri onların sərbəst səthə malik olmasıdır. Mayenin sərbəst səthindəki molekullarla onun daxilindəki molekulların hallarında da fərq vardır, belə ki:

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 edərsə, 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 daxilinə yönəlməklə səthdəki maye molekullarının daxilə doğru çəkir və mayenin açıq səthi altında mayedaxili təzyiq yaradır. Səthə paralel olan toplanan qüvvələrin təsiri ilə isə mayenin səthi boyunca yönələn, səthi hüdudlandıran xəttə perpendikulyar olan və

səthi gərilmə 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.

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

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

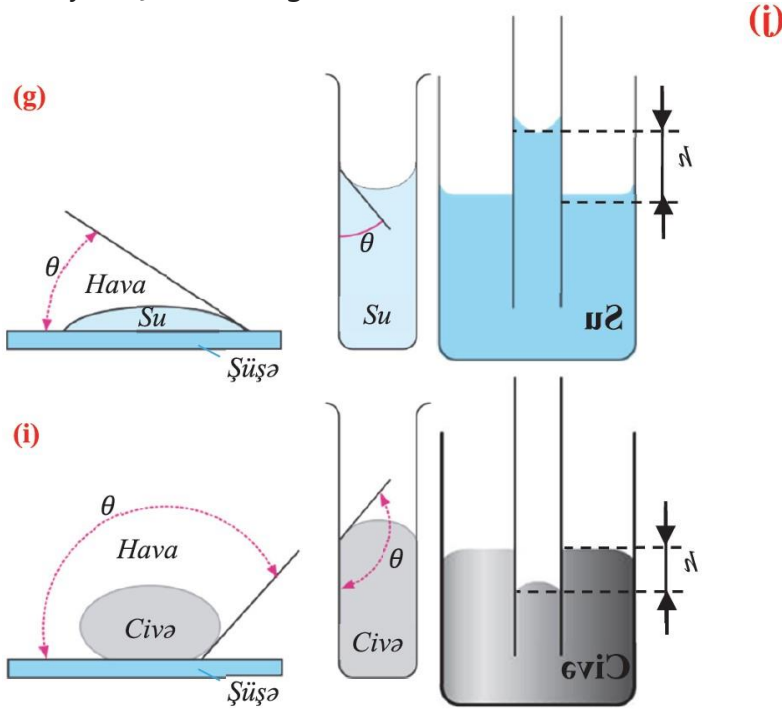
- *Səthi gərilmə əmsalı* - ədədi qiymətcə maye ilə bərk cismin vahid toxunma sərhədinin uzunluğuna düşən səthi gərilmə qüvvəsinə bərabərdir:

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

Səthi gərilmə əmsalının qiyməti mayenin növündən və temperaturundan asılıdır mayenin temperaturu artdıqda onun səthi gərilmə əmsalı azalır və böhran temperaturunda sifira 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 (vəya 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 $[\theta$ (*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

arasındaki 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:*

• **Kapillarylıq** - mayenin isladan (və ya islatmayan) olması nəticəsində yaranan səthi ayrılığı 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 ədədi qiymətə ağırlıq qüvvəsinə bərabərdir. Bu səbəbdən onun çəkisi	$P = mg = F_{s.g} = \sigma l = 2\pi r \sigma = \pi d \sigma. (6.37)$ Burada r — kapilyarın radiusu, d — kapilyarın diametridir.
Kapilyarda qalxan mayenin kütləsi	$m = \frac{F_{s.g}}{g} = \frac{2\pi r \sigma}{g} = \frac{\pi d \sigma}{g}. (6.38)$
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 isladandırsa, $\theta = 0^\circ \rightarrow \cos\theta = \cos 0^\circ = 1$ 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 10.BƏRK CİSİMLƏR VƏ ONLARIN BƏZİ XASSƏLƏRİ

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?

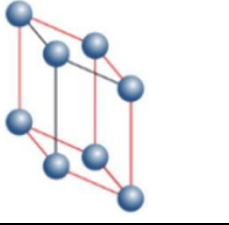

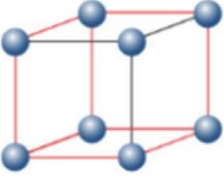

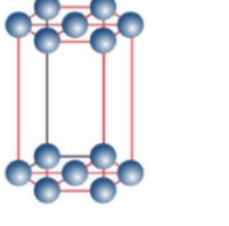

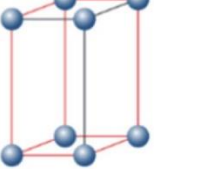

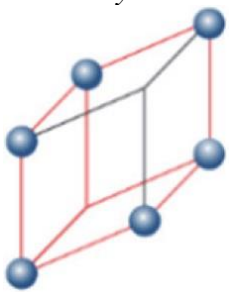

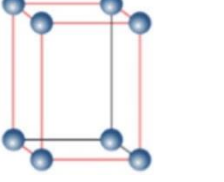

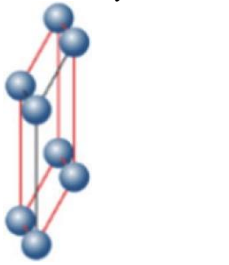


Kristal cisimlər. *Kristal cisimlərin zərrəcikləri (atom, molekul və ya ionlar) fəzada müəyyən nizamlı və qanunauyğun düzülüşə malik olub kristal qəfəs əmələ gətirirlər. Kristal cisimlərin müəyyən ərimə temperaturu vardır.*

• *Kristalda zərrəciklərin yerləşdiyi nöqtələr **kristal qəfəsin 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)

<p><i>Monoklinal simmetriya</i></p> 	<p><i>Gips</i></p> 	<p><i>Kub simmetriyası</i></p> 	<p><i>Qurğuşun filizi</i></p> 
<p><i>Heksoqonal simmetriya</i></p> 	<p><i>Zümrüd</i></p> 	<p><i>Tetraqonal simmetriya</i></p> 	<p><i>İdoKraz</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:

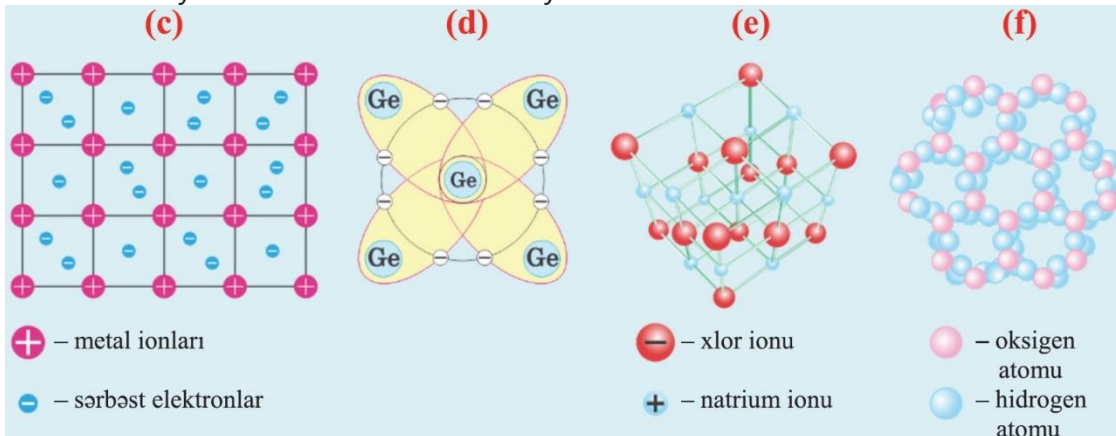
- *Polikristallar - müxtəlif istiqamətlərə yönələn çoxlu sayda kristal mərkəzlərin böyüməsi və birləşməsi nəticəsində yaranan kristallardır.*

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 rabitənin 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 rabitəni yaradır (c). Metallarda sərbəst elektronların konsentrasiyası atomların konsentrasiyası tərtibindədir.



Atom qəfəsi. *Atom qəfəsinin düyünlərində neytral atomlar yerləşir.* Atomlar arasında kovalent rabitə onların valent elektronlarının qoşulaşması hesabına yaranır. Kristalda kovalent rabitə *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 rabitə yaratdığından hər bir atom dörd kovalent rabitədə iştirak edir. Beləliklə, atom özünə dörd elektron birləşdirməklə energetik davamlı səkkiz s^2p^6 təsirsiz qaz elektron konfigurasiyası əldə edir. Kovalent rabitədə 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 rabitə ionlaşma enerjisi kiçik və böyük olan iki müxtəlif atomun qarşılıqlı təsiri nəticəsində

elektron mübadiləsi zamanı yaranır. Əksişarəli 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.*

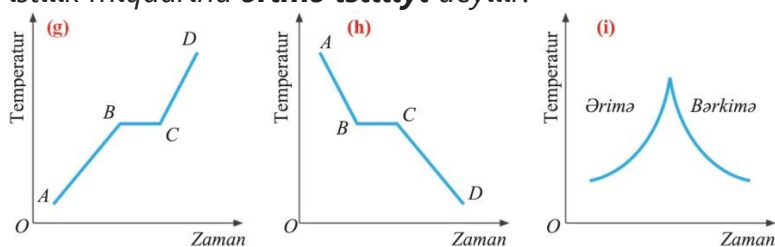
Kristal cisimlərin əriməsi müəyyən *ərimə temperaturunda* baş verir, məsələn, volframın ərimə temperaturu 3410°C, buzun 0°C, civənin -39°C-dir.

- *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 qiymətcə kütləsi 1 kq olan kristal maddəni ərımə temperaturunda mayeyə çevirmək üçün sərflənən istilik miqdarıdır.

$$\lambda = \frac{Q}{m} \quad (6.42)$$

λ - verilən maddənin xüsusi ərımə istiliyidir. Onun BS-də vahidi $[\lambda] = 1 \text{ C kq}^{-1}$ - dir. Enerjinin saxlanması qanununa müvafiq olaraq, ərımə zamanı cismın aldığı istilik miqdarı, bərkimə prosesində ondan ayrılan istilik miqdarına bərabərdir.

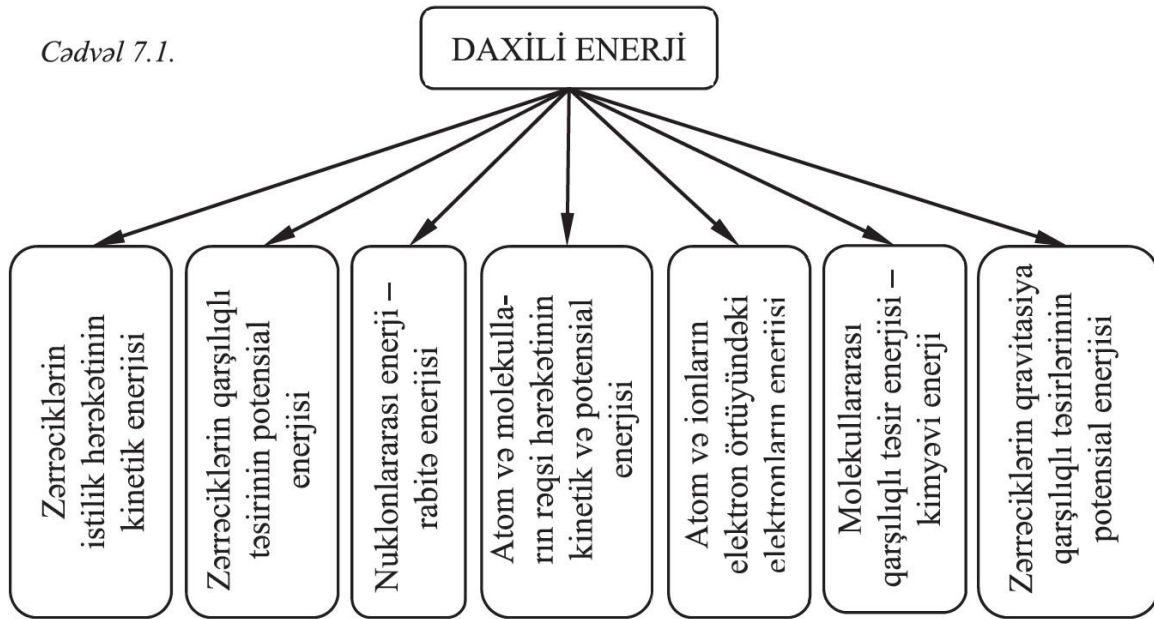
Bəzən elə hallar olur ki, bərk cisimlər maye halına keçmədən birbaşa qaz halına və ya əksinə, qaz halından birbaşa bərk cismə çevirmə prosesi baş verə bilər:

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

BÖLMƏ 7.

Fəslin "Anlayışlar xəritəsi"

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 xotik 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:

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

• *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:

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

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:

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

Burada λ - xüsusi ərimə istiliyidir.

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

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

Burada L - xüsusi buxarlanma istiliyidir.

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

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

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

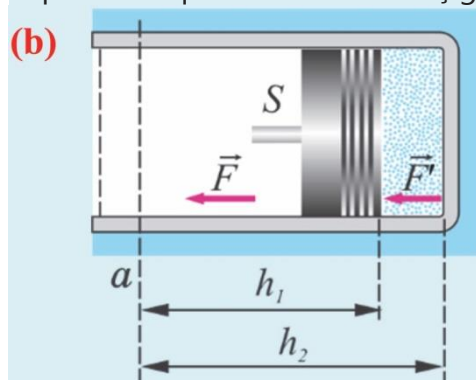
Diqqət! *Termodinamik sistemdə daxili enerjinin dəyişməsi prosesin formasından deyil, onun başlanğıc və son halından asılıdır.*

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:*

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

• *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

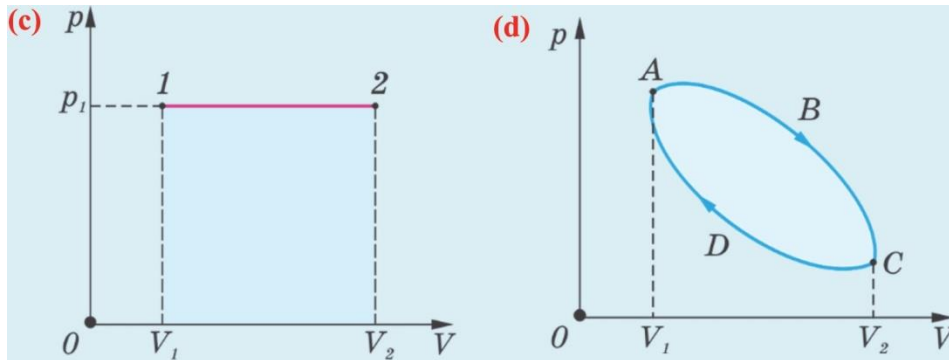
$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V. (7.9)$$

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

Dövrü 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.



MÖVZU 2. 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:

$$E + U = const$$

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.*

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

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:*

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

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:

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

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 sifıra bərabər olur: $U = \text{const} \rightarrow \Delta U = 0$.

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

$$Q = A' (7.14)$$

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

• 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:

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

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.*

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

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:*

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

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:

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

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:

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

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

• 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:

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

Biratomlu ideal qaz üçün:

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

• 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 miqdarının (7.4) ifadələrini nəzərə aldıqda sabit həcmdə xüsusi istilik tutumunun ifadəsini almaq olur:

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

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:

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

• 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:

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

olduğunu (7.19) da nəzərə alsaq:

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

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

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

(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:

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

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

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

4. Adibat 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.

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

MÖVZU 3.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 birbirinə toxunduraq. Bir müddətdən sonra onlar arasında istilik tarazlığı yaranır. Termodinamikanın birinci qanunu ödəndi - isti cisim nə qədər istilik miqdarı verdiyə, 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 fərqi 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 qanuna uyğunluğunu 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):

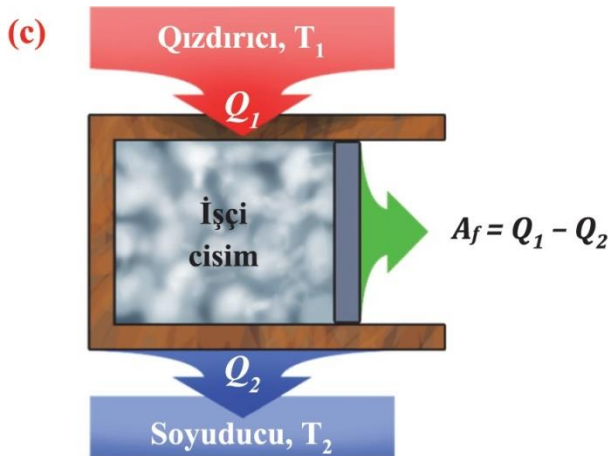
1. Qızdırıcı - müxtəlif növ yanacaqın yanması və ya nüvə reaksiyası nəticəsində ayrılan enerji hesabına yaranan yüksək T_1 temperaturunu sabit saxlayan hissə.

2. İşçi cisim - genişləniş, 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 prinsipial 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 dövrü 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 dövrü 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.

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

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:

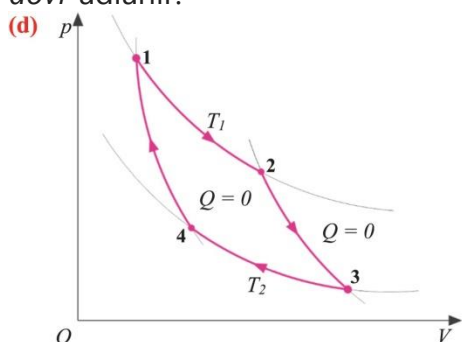
• *İkinci növ daimi mühərik* (*perpetuum mobile II*) - yalnız bir mənbədən alınan istilik hesabına daim işləyən mühərrikdir.

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:

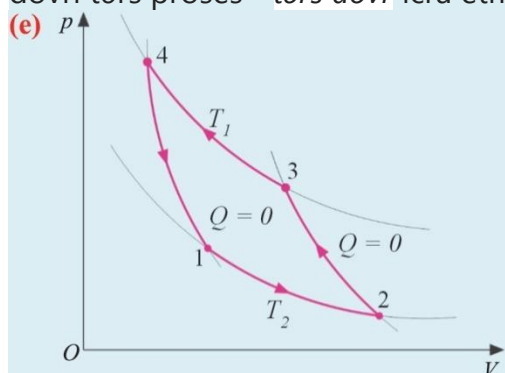
$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (7.29)$$

(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**):

$$Q_1 = Q_2 + A.$$

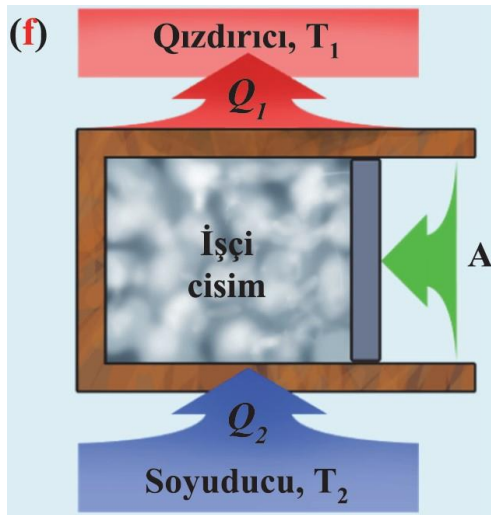
Beləliklə, termodinamik sistemdə istiliyin soyuq cisimdən isti cismə verilmə prosesi öz-özünə deyil, xarici qüvvələrin iş görməsi nəticəsində baş verdi. Soyuducu qurğunun mühüm xarakteristikası *soyuducu əmsalıdır*.

• *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*:

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



Ədəbiyyatlar

1. Əhmədov F.A.. Mexanika və molekulyar fizika. Bakı, 2007, 387s
2. Əsgərov B.M. Termodinamika və statistik fizika, Bakı, BDU, 2005, 625 s.
3. Eyvazov E.Ə., Qurbanov S.Ş., Xəlilov Ş.X. Molekulyar fizika və termodinamikaya giriş. Bakı, 2010.
4. Qocayev N.M. Ümumi fizika kursu, 2 cildə. 1-ci cild, Mexanika, Bakı, Qafqaz Universiteti, 2007,408 s.
5. Qocayev N.M. Ümumi fizika kursu, 2 cildə. 2-ci cild, Molekulyar fizika. Bakı, Qafqaz Universiteti, 2008,432 s.
6. Савельев В.И. Курс общей физики. Т. 1,2,3, Москва, Высшая школа, 2006.
7. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Высшая школа, 1981,400с.
8. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Механика. М.: Высшая школа, 1973,384 с.
9. Иванов С.А., Иванов А.Е. Механика. Молекулярная физика и термодинамика.М.: КноРус, 2012, 950 с.
10. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. М.: Гостехиздат, 2010,251 с.