



**Çap üçün dəyişil**

**HEYDƏR ƏLİYEV**  
**AZƏRBAYCAN XALQININ ÜMUMMİLLİ LİDERİ**

Çap  
üçün deyil

# Fizika

MİRZƏLİ MURQUZOV  
RASİM ABDURAZAQOV  
RÖVŞƏN ƏLİYEV

10

Ümumtəhsil məktəblərinin 10-cu sinfi üçün  
Fizika fənni üzrə  
DƏRSLİK

Bu nəşrlə bağlı irad və təkliflərinizi  
[bn@bakineshr.az](mailto:bn@bakineshr.az) və [derslik@edu.gov.az](mailto:derslik@edu.gov.az)  
elektron ünvanlarına göndərməyiniz xahiş olunur.  
Əməkdaşlığınıza üçün evvəlcədən təşəkkür edirik!



B A K I N S I N F I D E R S L İ K

Bakı – 2017

## I fəsil

## • KİNEMATİKANIN ƏSASLARI •

1.1. Mexaniki hərəkət və onun təsviri .....	10
1.2. Yol və yerdəyişmə .....	13
1.3. Düzxətli bərabərsürətli hərəkət. Sürət .....	17
1.4. Düzxətli dəyişənsürətli hərəkət. Təcil .....	21
1.5. Düzxətli bərabərtəcilli hərəkətdə sürət və yerdəyişmə .....	24
• PRAKTİK İŞ. Bərabərtəcilli hərəkət üçün “yollar qanunu” .....	28
1.6. Cismin sərbəstdüşməsi.....	29
1.7. Mexaniki hərəkətin nisbiliyi .....	32
1.8. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət .....	35
• I fəslə aid məsələlər .....	38

## II fəsil

## • DİNAMİKANIN ƏSASLARI •

2.1. Dinamikanın əsas məsələsi. Qüvvə. Əvəzləyici qüvvə. Kütlə .....	43
2.2. Ətalətlə hərəkət: Nyutonun I qanunu .....	46
2.3. Dinamikanın əsas qanunu: Nyutonun II qanunu.....	49
2.4. Təsir və eks təsir. Nyutonun III qanunu .....	52
2.5. Ümumdünya cazibə qanunu .....	54
2.6. Ağırlıq qüvvəsi. Qravitasiya sahəsinin intensivliyi .....	57
2.7. Çeki və çəkisizlik.....	60
2.8. Elastiklik qüvvəsi.....	65
2.9. Sürtünmə qüvvəsi. Sürtünmə qüvvəsinin təsiri altında hərəkət .....	69
2.10. Cismin tarazlıq şərtləri .....	73
• II fəslə aid məsələlər .....	75

## III fəsil

## • SAXLANMA QANUNLARI •

3.1. Qapalı sistem. İmpulsun saxlanması qanunu .....	79
3.2. Mexaniki iş və güc .....	84
3.3. Sistemin işgörmə qabiliyyəti – enerjidir. Kinetik enerji .....	87
3.4. Potensial enerji .....	89
3.5. Tam mexaniki enerji. Enerjinin saxlanması qanunu .....	93
3.6. Azərbaycanda alternativ enerji mənbələrindən istifadə (Təqdimat dərs) .....	96
• III fəslə aid məsələlər .....	97



IV fəsil  
• MEXANİKİ RƏQSLƏR VƏ DALĞALAR •

4.1. Rəqsi hərəkət. Sərbəst rəqslər .....	101
4.2. Yaylı rəqqasda harmonik rəqslər .....	104
4.3. Riyazi rəqqasda harmonik rəqslər .....	108
• PRAKTİK İŞ. Riyazi rəqqas vasitəsilə sərbəstdüşmə təciliinin təyini ..	111
4.4. Harmonik rəqslərdə sürət və təcil .....	112
4.5. Harmonik rəqslərdə enerji çevrilmələri (Təqdimat dərs) .....	114
4.6. Məcburi rəqslər. Rezonans .....	116
4.7. Rəqslərin elastik mühitdə yayılması: mexaniki dalğa .....	119
• IV fəslə aid məsələlər .....	122

V fəsil  
• RELYATİVİSTİK MEXANİKA •

5.1. Nisbilik nəzəriyyəsinin əsasları .....	126
5.2. Enerji ilə kütłə arasında qarşılıqlı əlaqə qanunu .....	130
• V fəslə aid məsələlər .....	132

VI fəsil  
• MOLEKULYAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏ •

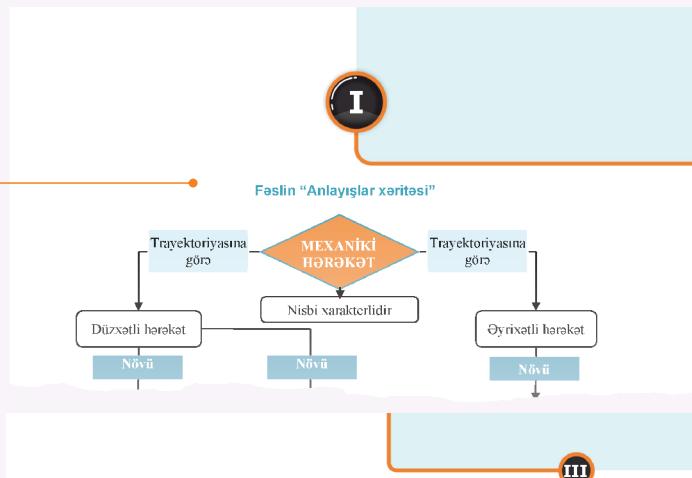
6.1. Molekulyar-kinetik nəzərİyyə və onun əsas müddəələri .....	135
6.2. İdeal qaz. İdeal qazın molekulyar-kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyi .....	139
6.3. İstilik tarazlığı – temperatur .....	142
6.4. Qaz moleküllərinin hərəkət sürətinin müəyyənləşdirilməsi (Təqdimat dərs) ..	146
6.5. İdeal qazın hal tənliyi .....	147
6.6. Qaz qanunları .....	149
6.7. Buxarların xassələri: doyan və doymayan buxar .....	154
6.8. Havanın rütubətliliyi. Şəh nöqtəsi .....	157
6.9. Mayelərin səthi gərilməsi. Kapilyar hadisələr .....	160
6.10. Bərk cisimlər və onların bəzi xassələri .....	164
• VI fəslə aid məsələlər .....	169

VII fəsil  
• TERMODİNAMİKANIN ƏSASLARI •

7.1. Termodinamik sistem. Daxili enerji .....	173
7.2. Termodinamikanın birinci qanunu .....	178
7.3. Termodinamikanın ikinci qanunu. İstilik mühərriklərinin iş prinsipi .....	182
• Layihə. İstilik mühərrikləri və etraf mühit .....	188
• VII fəslə aid məsələlər .....	189
Terminlər lügəti .....	191
Mənbələr .....	208

## DƏRSLİYİNİZLƏ TANIŞ OLUN!

**Anlayışlar xəritəsi.** Fəsilde öyrəniləcək anlayışların əlaqəlilik ardıcılılığı sistematikası.



**Maraqoyatma.** Müxtəlif situasiya və hadisələr təsvir edilir, əvvəller qazanılmış biliklərə əsaslanan suallarla yekunlaşır.

**Araşdırma.** Təcrübə və laboratoriya işləri. Fərdi və qrup şəklində yerine yetirilə bilər. Bildiyiniz və öyrənəcəyiniz məlumatlar arasında əlaqə yaradır.

**Dərinləşdirmə.** Əsas anlayışlar, mövzü ilə bağlı izahlar, təriflər və qaydaları daha dərinlənmiş öyrənənlər üçün.

### 3.1 QAPALI SİSTEM. İMPULSUN SAXLANMASI QANUNU



Baron Münchhausen iddia edirdi ki, guya o, bataqlıqda battığı zaman saçından tutub onu var quvvəsi ilə yüksək dərəcədən atı ile birlikdə bataqlıqdan çıxarılmışdır.

- Sizə Münchhausen doğru söyləyirmi, bu, mümkün mü? Nə üçün?
- Münchhausen bəzən nəzəriyyə ilə bataqlıqdan çıxış ola bilərmiş?

**1 Kürcüklerin qırıcı töküşməsi**

**Təchizat:** Qalılıq novu, cini ölçülü polad kürcükler (8–10 ədəd), taxta dayaq (və ya müstəsi) və tutucu olan ştatın.

**İşin gedisi:**

1. Novu tiflili dayaq bərkidin və türzindən kürcükleri bir-birinə toxunmaqla zəncir şəklində ardıcıl düzün (a). Kürcüçün birinci nov boyunca itəlib, onun kimiciklər çərçivəsindən sonra baş verən hadisəni izleyin.

(a)

**Dalğa tamiri.**  
Fizikdə ki, dalğa mənşəyi  $x = Acos\omega t$  harmonik qanunla rəqs edir. Rəqsin hərəkəti həm həndə D-sübutlu mənşəyi şəhəd etməlidən yaxırınlıq olmalıdır. Natiqəcə, dalğa rəqs mənşəyindən  $l$  məsafəsindəki nöqtəyə imtiyazlı  $t = (l/v)t$  zaman fasiləsindən sonra çatacaq:  
$$t = \frac{l}{v}$$

Bu o deməkdir ki, mənşəyin rəqs ilə eyni qanunla yayılan dalğa  $l$  məsafəsindəki nöqtəyə təsdiyə getəcəkdir. Ona görə də rəqs mənşəyindən itxiyari  $l$  məsafəsindəki nöqtəyə tətbiq olunan dalğanın rəqsü yoxdur.  
$$x = Acos\omega(t - \tau) = Acos\omega\left(t - \frac{l}{v}\right) = Acos\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{l}{v}\right). \quad (4.38)$$

Dalğa qrafiki formada harmonik rəqsin qrafikinə oxşardır, lakin eyni deyildir. Belə ki, harmonik rəqsin qrafikində rəqs edən bir nöqtənin xarakteristikasını, məsələn, yerdəyişməsinin zamanına görə harmonik qanunu dayışdıryı göstərir (f), dalğanın qrafiki isə bu dalğanın mühitdəki harmoniklığını – mühitin bəzək nöqtələrinin yerdəyişməsinin verilən anda şəkildir (g).

(f) – zamana görə periodiklik  
(g) – mühitdə periodiklik

**Praktik iş.** Mövzu üzre eksperiment karakterli fəaliyyət.

#### PRAKTİK İŞ

##### BƏRABƏRCİLLİ HƏRƏKƏT ÜÇÜN "YOLLAR QANUNU"

Məqsədi: maddi vəzifəliliklərə vəla konstruktivliliklərə hərəkəti yollar qanununu (yol-ları) məsləhətinə nəzərdə tutmaq və tətbiq etməyi bacarması.  
Təsvirat: Qılıç, nov, kəmək, metal silindr (səssiz istilik tutumundan), metronom (və ya səmərəkən), ölçü lezgi, müfləs və tətbiq olunan stant.



**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin.** Eksperiment karakterlidir və onları yerinə yetirmek üçün müxtəlif mənbələrdən istifadə edilə bilər.

**Özünüüzü qiymətləndirin.** Öyrəndiklərinizi, zəif cəhət-lərinizi müeyyən etmek üçün nəzərdə tutulur. Yaradıcılıq bacarığınızı inkişaf etdirmək və onlara münasibət bildirmək məqsədi daşıyır.

**Nə öyrəndiniz?** Mövzu üzre öyrənilənləri möhkəmləndirmək üçün istifadə olunur.

**Layihə.** Evdə yerinə yetirilməsi nəzərdə tutulur. Eksperiment karakterlidir və onları yerinə yetirmek üçün müxtəlif mənbələrdən istifadə edilə bilər.

**Fəsle aid məsələlər.** Bölümənin sonunda öyrəndiklərinizin tətbiqinə dair sual və təpşiriqlər verilir.  
Cavablar 206-207-ci səh.-də

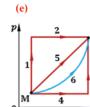
**Tətbiqetmə.** Mövzu üzre öyrənilənləri möhkəmləndirmək, tətbiq etmək və onlara münasibət bildirmək məqsədilə verilən təcrübə və təpşiriqlərdir.

#### Tətbiqetmə

Hansı prosesdə daxili enerji daha çox dayışır?  
Məsələ: Termodynamik sistemdə  $P - V$  diaqramında hansı prosesdə potensial artmışdır (c). M nöqtəsindən N nöqtəsinə gedən prosesdə sistemnin enerjisinin dayışmalarını və görünüş iştirakını müayyən edin.

Nəticənin müzakirəsi:

- Termodynamik sistemdə daxili enerjisinin dayışması nədan asıldır?
- Baxıdan prosesdən hansında sistemnin daxili enerjisi dəha çox davamlaşdırır? Nə təqin?



#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

- Qol saatının saniyə əqrəbinin uzunluğu 2 sm, dəqiqə əqrəbinin uzunluğu isə 1,5 sm-dir. Hansı əqrəbin ucunun mərkəzəqəcəmə tacilinin modulu daha böyükdür və bu fərq nə qədərdir?
- Həyatınızda çevrə üzrə bərabərsürlü hərəkətə harada rast golmısınız? Onların dövreməti periodu və tezliyi haqqında nə deyə bilərsiniz?

#### Özünüüzü qiymətləndirin:

- Dörsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi dəha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Nə üçün çevrə üzrə bərabərsürlü hərəkətdə tacil mərkəzəqəcəmə və ya normal tacil adlanır?
- Güneş ətrafında dövr edən Yerin mərkəzəqəcəmə tacilinin modulunu hesablayın (Yer orbitinin radiusu  $R = 1,5 \cdot 10^8$  km olan çevrə qəbul edin).
4. Yer kürəsi Güneş ətrafında hansı xətti sərətlə dövr edir (Yer orbitinin radiusu  $R = 1,5 \cdot 10^8$  km olan çevrə qəbul edin)?

#### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Vəriliş anlayışlara torif yazın: "dönmə bucağı", "bucagı sürəti", "xətti sürət", "mərkəzəqəcəmə tacil", "dövremə periodu", "dövremə tezliyi".

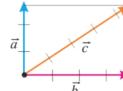
#### • LAYİHƏ • Çevrə üzrə bərabərsürlü hərəkətin "ANLAYIŞLAR XƏRİTƏSİNİ" qurun.

#### I FƏSLE AİD MƏSƏLƏLƏR

1.1. N maddi nöqtəsinin XOY məstəvisində koordinatlarını təyin edin. nöqtənin radius-vektoru OX oxisi ilə  $30^\circ$  bucaq təşkil edir, onun modulu isə 5 m-dir.

1.2. M maddi nöqtəsinin koordinatları  $x_M = 1\text{ m}$  və  $y_M = 1,5\text{ m}$ , N nöqtəsinin koordinatları isə  $x_N = 3\text{ m}$  və  $y_N = -2\text{ m}$ -dir. Bu nöqtələrin oxunu koordinat sistemində qurun və təyin edin: a) M və N nöqtələrini birləşdirən vektorun modulunu; b) bu vektorun OX və OY oxisi üzərindəki proyeksiyasını; c) onun OX oxisi ilə əmələ gətirdiyi bucağı.

1.3.  $\vec{a}$  və  $\vec{b}$  vektorları qarşılıqlı perpendikulyardır (§.1). Təyin edin: a) əvəzlayıcı vektoru; b) əvəzlayıcı vektorun modulunu.



# KİNEMATİKANIN ƏSASLARI

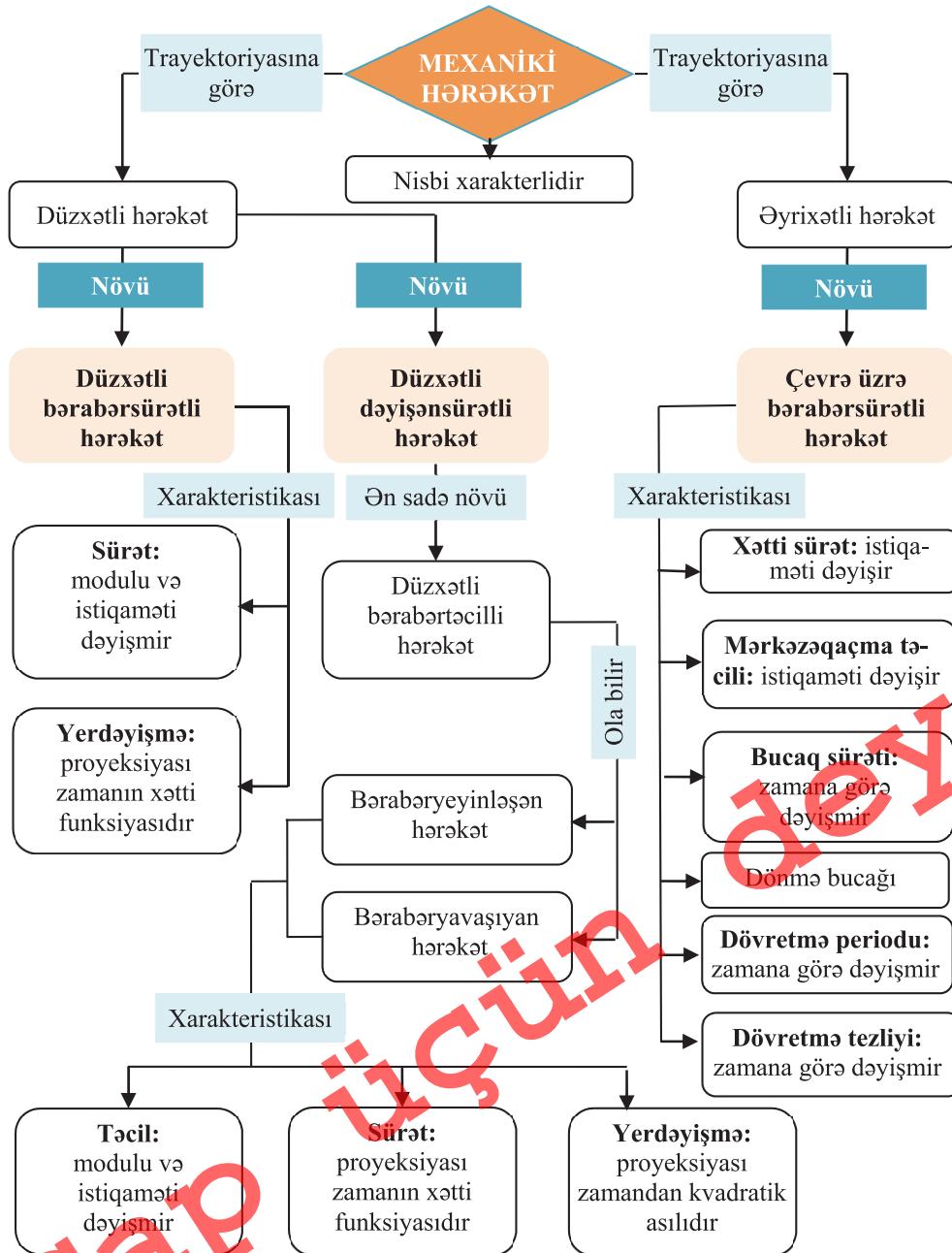
Siz bu fəslin materiallarını mənimsəməklə  
**BACARACAQSINIZ:**

- maddi nöqtə ilə cisim, yol ilə yerdəyişmə, düzxətli bərabərsürətli və bərabərtəcilli hərəkətlərin fərqini izah etməyi;
- düzxətli bərabərsürətli və bərabərtəcilli hərəkətlərin qrafiklərini qurmağı və şərh etməyi;
- cismin sərbəstdüşməsini və şaquli yuxarı hərəkətlərini izah etməyi;
- maddi nöqtənin düzxətli bərabərsürətli, düzxətli bərabərtəcilli və çevre üzrə bərabərsürətli hərəkətinə aid keyfiyyət və kəmiyyət xarakterli məsələlər qurmağı və həll etməyi;
- maddi nöqtənin düzxətli bərabərsürətli, düzxətli bərabərtəcilli və çevre üzrə bərabərsürətli hərəkətini xarakterize edən fiziki kəmiyyətlər arasındaki asılılıqları qrafiklərini qurmağı;
- maddi nöqtənin düzxətli bərabərsürətli, düzxətli bərabərtəcilli və çevre üzrə bərabərsürətli hərəkətini xarakterize edən fiziki kəmiyyətlər arasındaki asılılıqları təcrübi olaraq müəyyən etməyi;
- mexaniki hərəkət və onun növlərini gündəlik həyatla əlaqələndirməyi, rast gəldiyiniz mexanizmlərin quruluş və iş prinsiplərindəki tətbiqlərinə misallar söyləməyi.

Çap  
Xüsusilə

# I

## Fəsilin "Anlayışlar xəritəsi"



## 1.1

# MEXANİKİ HƏRƏKƏT VƏ ONUN TƏSVİRİ

Yəqin ki, qədim yunan filosofu efesli Heraklitin (e.ə. 554–483 - cü illər) məşhur kəlamlarını eйтmisiniz:



“Hər şey axır, hər şey dəyişir”.

“İki dəfə bir axara girmək olmaz”.

- Bu kəlamlardan hansı məna çıxır?

Görüş təyin etdiyiniz dostunuzu vədələşdiyiniz yerdə tapa bilmədikdə, dərhal ona telefonla zəng edib “Haradasan?” soruşursunuz. O, olduğu yeri təsvir etdikdə isə “Yerini dəyişmə, orda dur, gəlirəm” göstərişini verirsınız.

- “Haradasan?” və “Yerini dəyişmə, orda dur” ifadələrinin müəyyən fiziki məna daşıya bilməsi barədə nə düşünürsünüz?

## Araşdırma

### 1 Dəfinələr adası

**Məsələ 1:** R.Stivensonun “Dəfinələr adası” romanından bilirsiniz ki, əfsənovi dəniz qulduru kapitan Flint adada basdırıldığı dəfinənin yerini xəritədə belə bir şərhə işarə etmişdir:

“... Durbinəoxşar dağın sağ çiyində hündür ağac. Günorta vaxtı ağacın kölgəsi boyunca yüz fut irəliləmək, qərbə dönərək on sajin daha addimlamaq. Doxsan düym qazımaq” (a).

Dəfinənin yerini təyin edə bilərsinizmi?

(1fut = 30,48 sm, 1sajin = 213,36 sm, 1düym = 2,5sm)

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Adaya getməzdən əvvəl xəritəyə əsasən dəfinənin yerini müəyyənləşdirə bilərsinizmi? Bunun üçün nə etmək lazımdır?



Ətraf aləmdə fasiləsiz baş verən dəyişiklik materiyanın əsas xassələrindən biri olan *hərəkət*dir. Hərəkətin isə ən sadə forması *mexaniki hərəkət*dir.

- *Mexaniki hərəkət* – cismin zaman keçdiyə fəzada başqa cisimlərə nəzərən yerinin (yaxud koordinatlarının) *dəyişməsidi*dir.
- *Mexaniki hərəkətin qanuna uyğunluqlarını*, 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 keçdiyə necə dəyişdiyini dəqiqliyən müəyyən etmək lazımdır. Başqa sözə desək, mexaniki hərəkəti xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlər arasında əlaqələri təyin etmək lazımdır.

Mexanikanın mexaniki hərəkəti təsvir edən bölməsi *kinematikadır*.

- *Kinematika* (yun. “kinematos” – hərəkət) – mexaniki hərəkəti dəyişdirən səbəbləri araşdırmadan, onu öyrənən *mexanika* bölməsidir.

Mexaniki hərəkətin ən sadə növlərindən biri *irəliləmə hərəkətidir*.

- *İrəliləmə hərəkəti – bütün nöqtələri eyni hərəkət edən cismin hərəkətinə deyilir.*

İrəliləmə hərəkətində cismin xəyalən iki ixtiyari nöqtəsin-dən keçən düz xətt əvvəlki vəziyyətinə paralel qalır. Mə-sələn, çamadanı döşəmədən stulun üzərinə qoyduqda ona irəliləmə hərəkəti verilir (b). İrəliləmə hərəkətində cismin bütün nöqtələri eyni hərəket etdiyindən, onun hərəkəti cis-min 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 müəy-yən etmək üçün *hesablama cismi* seçilməlidir:

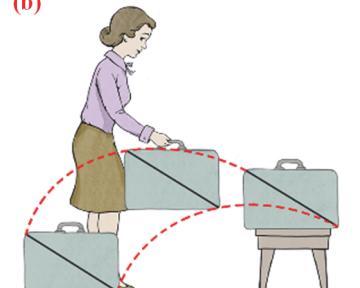
- *Maddi nöqtənin hərəkəti hansı cismə nəzərən öyrənilirsə, həmin cisim hesablama cismi adlanır.*

Hesablama cismi ixtiyari seçilir və o, şərti olaraq tər-pənməz qəbul olunur. Məsələn, Günəş, Yer, görünən ul-duz, məktəb binası, getdiyimiz qatar və qonu, ağaç, abidə və s. hesablama cismi ola bilər.

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

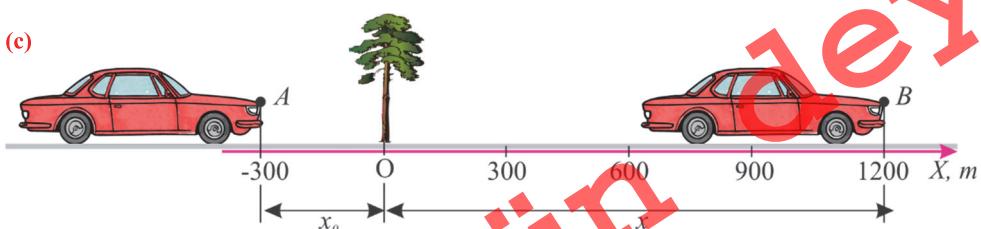
**Maddi nöqtənin vəziyyətinin koordinat üsulu ilə verilməsi.** Bu üsula əsasən hesablama cismi seçilir və onun hər hansı nöqtəsindən koordinat oxları keçirilir və cismin istənilən nöqtəsinin vəziyyəti həmin koordinatlarla təyin olunur. Bunun necə edildiyini riyaziyyat fənnindən öyrənmişiniz (bax: *Riyaziyyat-5*). Məsələn, düz yolda hərəkət edən avtomobilin vəziyyətini təyin edək (c).

(b)



**Diqqət!** Burada “verilmiş hal-da” sözləri o deməkdir ki, eyni bir cismi bir halda maddi nöqtə kimi qəbul etmək mümkündürsə, digər halda onu maddi nöqtə kimi qəbul etmək olmaz. Məsələn, Yer kürəsinin radiusu, onun Günəşə qədərki məsafəsindən 24000 dəfə kiçik olduğuna görə, Yeri Günəş ətrafında hərəkət edən maddi nöqtə qəbul etmək olar. Lakin Yer səthinə nəzərən təyyarənin, avtomobilin, kosmik gəminin və s.-nin hərəkətini öyrənərkən Yer kürəsini maddi nöqtə hesab etmək olmaz.

(c)



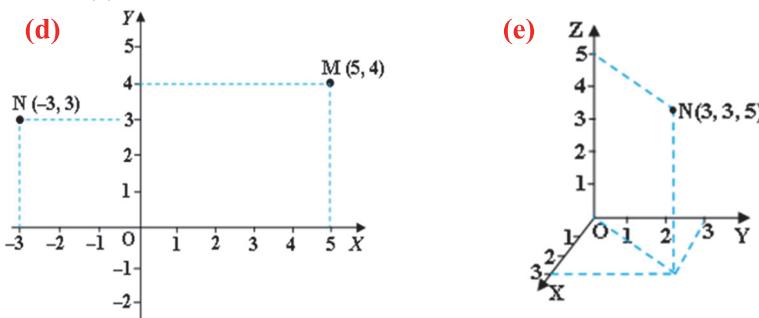
Bunun üçün yolboyu yönəlmış OX koordinat oxu çəkilir. Koordinat oxunun başlangıç nöqtəsini (**O** nöqtəsi) yol kənarında bitən ağacı qəbul edək. Belə halda avtomobilin vəziyyəti onun x koordinatı ilə təyin edilir. Koordinat başlangıcından sağ tərəfə hesablanmış koordinatlar müsbət, sol tərəfə hesablanmış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

Cisim müstəvi üzrə hərəkət edirəsə (məs., qələmin ucu kağız üzərində, qayıq göldə və s.), bu halda hesablama cismində seçilən nöqtədən iki  $OX$  və  $OY$  koordinat oxları keçirilir. Nöqtənin müstəvi üzərində vəziyyəti  $x$  və  $y$  koordinatları ilə təyin edilir. Məsələn,  $M$  nöqtəsinin koordinatları  $x = 5$ ,  $y = 4$ ;  $N$  nöqtəsinin koordinatları isə  $x = -3$ ,  $y = 3$  (d). Beləliklə, müstəvi üzrə hərəkət edən cismin koordinatlarının zamandan  $x = x(t)$  və  $y = y(t)$  asılılığı maddi nöqtənin hərəkətini təsvir edir.

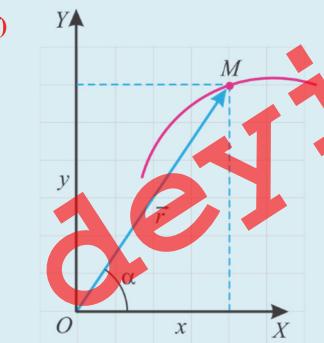
Cismin fəzadakı vəziyyətini (məs., balığın suda, təyyarənin səmada və s.) müəyyən etmək üçün hesablama cismi ilə bağlı üçölçülü koordinat sistemindən istifadə edilir. Bu sistemə uyğun olaraq cismin fəzada vəziyyəti  $x$ ,  $y$  və  $z$  koordinatları ilə təyin edilir (e).



#### Maddi nöqtənin vəziyyətinin radius-vektor üsulu ilə (f) verilməsi.

- Koordinat başlanğıcını maddi nöqtə ilə birləşdirən vektor **radius-vektor** adlanır.

Radius-vektor  $\vec{r}$  hərfi ilə işarə edilir. Onun uzunluğu (və ya modulu) koordinat başlanğıcından  $M$  nöqtəsinə qədərki məsafədir (f). Radius-vektordan o zaman istifadə edilir ki, onun modulu və fəzada istiqaməti məlum olsun. Radius-vektorun zamandan asılılığı  $\vec{r}(t)$  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) isifadə edilir. Məhz zamanı ölçən cihaz vətəsilə nöqtənin hərəkətə başladığı  $t_0$  zamanındaki koordinatlarının zamanın  $t_1, t_2, t_3$  və s. anlarında necə dəyişdiyi təyin olunur.

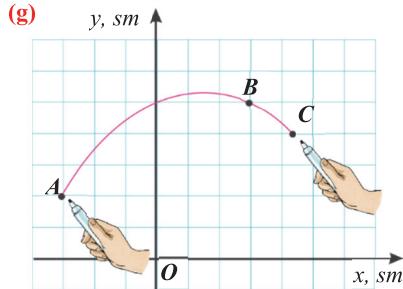
Beləliklə, maddi nöqtənin hərəkəti seçilən hesablama sisteminə görə öyrənilir.

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

**Tətbiqetmə**

**Maddi nöqtənin koordinatlarını təyin edin.**

**Məsələ 2:** Şəkildə markerin lövhədə hərəkəti təsvir edilmişdir (g). Markerin hərəkətə gətirdiyi  $t_0 = 0$  anında olduğu A nöqtəsinin,  $t_1 = 2$  san anında olduğu B nöqtəsinin və  $t_3 = 4$  san anında olduğu C nöqtəsinin koordinatlarını təyin edin.



**Nəticənin müzakirəsi:**

- Markerin lövhədə mexaniki hərəkətini təsvir etmək üçün nəyi bilmək lazımdır?
- Markerin zamanın üç müxtəlif anında hansı koordinatlarını təyin etdiniz?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

- Traktorun tarlada vəziyyətinin dəyişməsini təyin etmək üçün neçə koordinat oxundan istifadə etmək əlverişlidir? Cavabınızı əsaslandırın.
- Gündəlik həyatda rast gəldiyiniz irəliləmə hərəkətinə nümunələr götirə bilərsinizmi?

**Özünüüz qiymətləndirin:**

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Eyni cismi onun hərəkətinin hansı halında maddi nöqtə qəbul etmək olar, hansı halında isə olmaz? Nə üçün?
- Hesablama sisteminin tətbiqi hansı zərurətdən irəli gəlir?
- Cığın fəzada, məsələn, səmada uçan quşun vəziyyəti neçə ölçülü koordinat sistemində nəzərən öyrənilməlidir?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan anlayışların təriflərini iş vərəqinə yazın: “mexaniki hərəkət”, “mexanika”, “mexanikanın əsas məsələsi”, “kinematika”, “irəliləmə hərəkəti”, “maddi nöqtə”, “hesablama cismi”, “hesablama sistemi”.

**1.2 YOL VƏ YERDƏYİŞMƏ**

Məktəbliləri aparan avtobus saat  $8^{\text{00}}$ -da Bakının Azadlıq meydanından yola düşdü.

- Avtobus iki saata 135 km məsafə gedibse, onun saat  $10^{\text{00}}$ -da hara çatdığını dəqiq müəyyən etmək olarmı? Nə üçün?
  - Avtobus saat  $10^{\text{00}}$ -da yenidən Azadlıq meydanına qayıda bilərmi?
  - Cığın son vəziyyətini təyin etmək üçün onun hərəkətə başladığı nöqtəni və gedilən yolu bilmək kifayətdirmi?
- Cavabınızı əsaslandırın.



### 1 İki məntəqə arasındaki yollar eynidirmi?

**Resurs:** Bakı-Zaqatala şəhərlərarası nəqliyyat yollarının xəritəsi (a), sap, xətkəş, yaxud kurvimetr.

- Avtomobil yolu
- - - Dəmir yolu
- Hava yolu



#### İşin gedişi:

1. Bakı-Zaqatala şəhərləri arasındaki avtomobil, dəmir və hava yollarının uzunluqlarını sap və xətkəşdən istifadə etməklə ölçün.
2. Alınan qiymətləri xəritənin miqyasına əsasən kilometrlə ifadə edib 1.1 cədvəlinin uyğun xanalarında yazın (cədvəl iş vərəqinə köçürün).

Cədvəl 1.1.

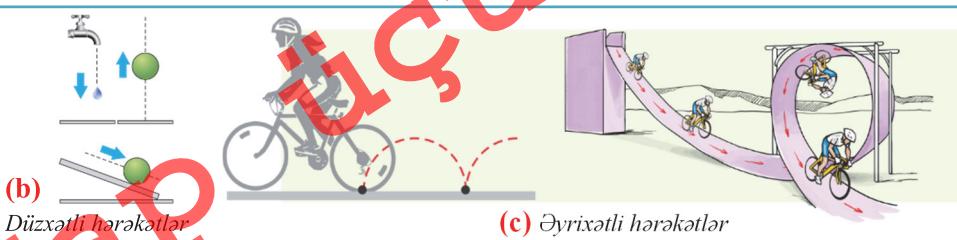
Nəqliyyat yolu	Avtomobil yolu	Dəmir yolu	Hava yolu
Bakı-Zaqatala şəhərləri arasındakıl məsafə (km)			

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Bakidan Zaqatalaya uyğun olaraq avtobus, qatar və təyyarə ilə səyahət edən üç turistdən hansı daha az məsafə qət etmişdir? Hansı daha böyük məsafə qət etmişdir? Nə üçün?

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

- *Hərəkət trayektoriyası maddi nöqtənin verilmiş hesablama sisteminə nəzərən 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 sisteminə nəzərən trayektoriyası düz xətt olan hərəkət düzxətli hərəkət (b), əyri xətt olan hərəkət isə əyrixətli hərəkət adlanır (c).*
- *Maddi nöqtənin hərəkət trayektoriyasının uzunluğuna bərabər olan fiziki kəmiyyət gedilən yol adlanır.* Gedilən yol skalyar müsbat kəmiyyət olub *I* 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 fərqiə bərabərdir və həmin kəmiyyətin işarəsinin əvvəlində  $\Delta$  yazılır.

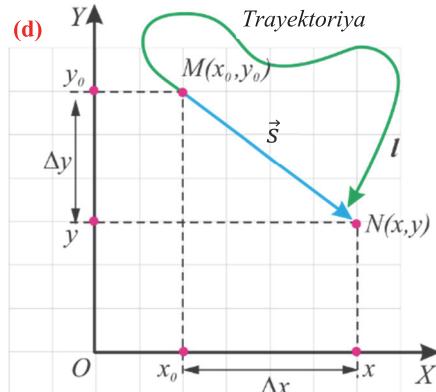
**Maddi nöqtənin hərəkəti zamanı koordinatların dəyişməsi.** Maddi nöqtənin hərəkəti zamanı onun koordinatlarının dəyişməsi həm müsbət, həm də mənfi ola bilər. Məsələn, fərz edək ki, əyrixətli trayektoriya üzrə hərəkət edən qarışqa **M** nöqtəsindən **N** nöqtəsinə gəlmüşdir (d).

Qarışqanın **X** oxu üzrə koordinatları artdıqdan ( $x > x_0$ ) onun bu ox üzrə koordinatının dəyişməsi müsbət olur:

$$\Delta x = x - x_0 > 0.$$

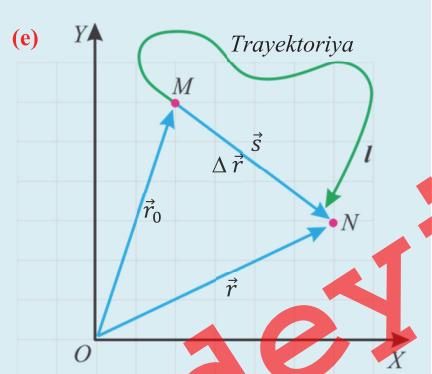
Qarışqanın **Y** oxu üzrə koordinatları isə azaldıqdan ( $y < y_0$ ) onun həmin ox üzrə koordinatının dəyişməsi mənfi olur:

$$\Delta y = y - y_0 < 0.$$



#### Maddi nöqtənin hərəkəti zamanı radius-vektorun dəyişməsi.

Maddi nöqtənin (sərçənin) başlanğıc və son vəziyyətləri uyğun olaraq  $\vec{r}_0$  və  $\vec{r}$  radius vektorları ilə də təsvir etmək olar (e). Radius-vektorların sonlarını birləşdirən  $\Delta \vec{r}$  vektoru isə maddi nöqtənin verilən  $t$  zaman fasıləsində *yerdəyişmə vektoru* adlanır. Vektorların toplanması qaydasına görə (bax: Riyaziyyat-8):  $\vec{r}_0 + \Delta \vec{r} = \vec{r}$ . Sonuncu ifadədən alınır ki,  $\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$  və ya  $\vec{s} = \Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$ . Burada  $\vec{s}$  maddi nöqtənin yerdəyişmə vektorudur.

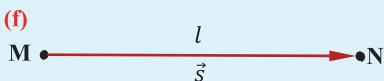


- *Yerdəyişmə – hərəkətdə olan maddi nöqtənin başlanğıc və son vəziyyətini birləşdirən istiqamətlənmış düz xətt parçasıdır. Yerdəyişmə vektorial kəmiyyətdir.*
- *Vektorial kəmiyyət – ədədi qiymətindən (modulundan) başqa, istiqaməti ilə də verilən kəmiyyətdir.*

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

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

**Diqqət!** Yalnız bir istiqamətdə baş verən düzxətti hərəkətdə yerdəyişmənin modulu gedilən yola bərabərdir (**f**), qalan bütün hallarda (düzxətti hərəkətin istiqaməti dəyişikdə, əyri xətti hərəkətdə) gedilən yol yerdəyişmənin modulundan böyük olur (**g**).



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

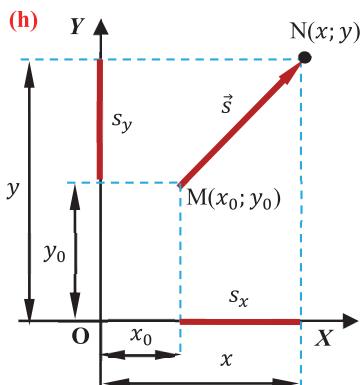


Maddi nöqtə aralarındaki məsafə  $l$  olan  $M$  nöqtəsindən  $N$  nöqtəsinə gəlmışdır, sonra isə həmin xətt üzrə geriyə,  $M$  nöqtəsinə qayıtmışdır. Bu halda nöqtənin getdiyi yol  $2l$  olduğu halda, onun yerdəyişməsinin modulu sıfıra bərabərdir:

$$\vec{s} = \vec{MN} + \vec{NM} = 0, \quad s = MN + NM = 2l.$$

Müstəvi üzərində hərəkətdə olan maddi nöqtənin başlangıç halının koordinatları və yerdəyişmə vektoru məlumudursa, onun son koordinatlarını təyin etmək ələr. Məsələn, fərz edək ki, maddi nöqtə  $\vec{s} = \vec{MN}$  yerdəyişməsi icra etmişdir (**h**). Bu vektorun başlangıç və sonundan  $OX$  və  $OY$  oxuna perpendikulyar çəkməklə,  $s_x$  və  $s_y$  proyeksiyalarını alırıq. Şəkildən göründüyü kimi, həmin proyeksiyalar maddi nöqtənin başlangıç və sonunun koordinatları fərqiనə bərabərdir:

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



### Tətbiqetmə

2

#### Yol və yerdəyişmə eyni kəmiyyətlərdirmi?

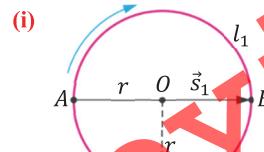
**Məsələ.** Velosipedçi radiusu 80 m olan dairəvi velotrek üzrə hərəkat edir.  $O$ ,  $A$  nöqtəsindən start götürür. Velosipedçinin  $B$  nöqtəsində ilk olduğu hala uyğun gedilən yolu və yerdəyişməni təyin edin (**i**).

Araşdırma

Verilir:	Həlli	Hesablanması
$r = 80 \text{ m}$	Gedilən yol $l_1$ qövsünün uzunluğuna bərabərdir: $l_1 = \pi r$ .	$l_1 = 3,14 \cdot 80 \text{ m} = 251,2 \text{ m},$
$l_1 - ?$	Yerdəyişmənin modulu isə çevrənin diametri bərabərdir: $s_1 = D = 2r$ .	$s_1 = 2 \cdot 80 \text{ m} = 160 \text{ m}.$

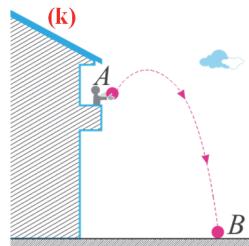
#### Nəticənin müzakirəsi:

- Yol və yerdəyişmənin fərqi nədir?
- Velosipedçi  $A$  nöqtəsindən  $C$  nöqtəsinə gəldikdə gedilən yolu və yerdəyişmənin modulu nəyə bərabərdir?
- Velosipedçi bir tam dövr etdikdən sonra yenə  $A$  nöqtəsinə gələrsə, onun getdiyi yol və yerdəyişmənin modulu nəyə bərabər olar?



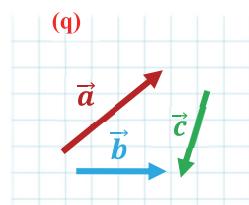
### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

- Araşdırma 1-də göstərilmiş hansı sxem üzrə Bakı-Zaqatala məşrutu üzrə səyahət edən turist yerdəyişmə icra etmişdir? Nə üçün?
- Balkondan atılan top (A nöqtəsi) B nöqtəsində yerə düşür. Onun getdiyi yol və yerdəyişməni sxematik göstərə bilərsinizmi (k)?



### Özünüüzü qiymətləndirin:

- Dərədə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Gedilən yol yerdəyişmənin moduluna hansı haldə bərabər ola bilər? Misal göstərin.
- Gedilən yol sıfırda bərabər ola bilərmi? Nə üçün?
- Hərəkətdə olan cismin yerdəyişməsinin modulu sıfırda bərabər ola bilərmi? Nə üçün? Misal göstərin.
- Vektorların ( $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$  vektorları) cəmini üçbucaq qaydası ilə necə təyin edilir (q)? Bu vektorların cəmini paraleloqram qaydası ilə necə təyin edilir? Uvəqün ovdaları sxematik təsvir edin.



**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?** Qeyd olunan fiziki anlayış və kəmiyyətlərə tərif verin: "tra-yektoriya", "gedilən yol", "yerdəyişmə", "skalyar kəmiyyət", "vektorial kəmiyyət".

## 1.3 DÜZXƏTLİ BƏRABƏRSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT. SÜRƏT

Avtomobil Bakı-Qazax avtobanının düzxətti Hacıqabul-Gəncə hissəsində elə hərəkət edir ki, o: hər 1 saatda 90 km, hər 30 dəqiqədə 45 km, hər 15 dəqiqədə 22,5 km, hər 10 dəqiqədə 15 km, hər 5 dəqiqədə 7,5 km, her 1 dəqiqədə 1,5 km və s. yol gedir.

- Avtomobilin sürəti və sürət dəyişməsi haqqında nə söyləmək olar?**
- Avtomobilin istənilən zaman ayında vəziyyətini təyin etmək üçün nəyi bilmək vacibdir?**

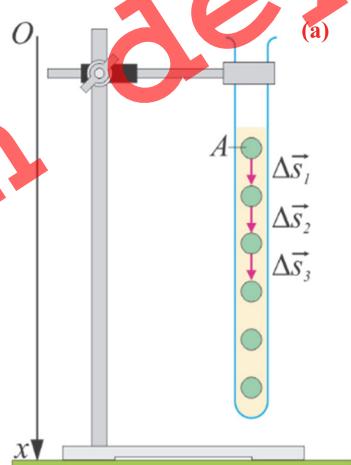
### Araşdırma

#### 1 Kürəciyin düzxətti hərəkətinin tədqiqi.

**Təchizat:** bir ucu bağlı qalın divarlı silindirik şüşə boru, şəkər tozu ilə kifayət dərəcədə qatlaşdırılmış su (yüksek özlülü su – 1 litr), marker, saniyəölçən, metal kürəcik (2–3 əd.), xətkəş, ştativ.

#### İşin gedisi:

- Borunu qatlaşdırılmış su ilə doldurun, şaquli olaraq ştativə bərkidin (a).
- Kürəciyi suya buraxın. O, mayedə müəyyən A nöqtəsindən keçdikdə saniyəölçəni işə salın. Bərabər  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \dots = 5\text{san}$  zaman əfslələrində şaquli hərəkət edən kürəciyin vəziyyətini markerlə borunun divarında işarələməklə  $\Delta s_1$ ,  $\Delta s_2$ ,  $\Delta s_3$  ... yerdəyişmələrini təyin edin (xətkəşlə).
- Alınan nüticələri 1.2-cədvəlinin uyğun xanalarına yazıb kürəciyin sürətini hesablayın (cədvəli iş vərəqinə köçürün).



Cədvəl 1.2.

Zaman fasılələri	$\Delta t_1 = 5 \text{ san}$	$\Delta t_2 = 5 \text{ san}$	$\Delta t_3 = 5 \text{ san}$	$\Delta t_4 = 5 \text{ san}$
Yerdəyişmələrin modulu	$\Delta s_1 = \dots$	$\Delta s_2 = \dots$	$\Delta s_3 = \dots$	$\Delta s_4 = \dots$
Sürətin modulu	$v_1 = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} = ..$	$v_2 = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} = ..$	$v_3 = \frac{\Delta s_3}{\Delta t_3} = ..$	$v_4 = \frac{\Delta s_4}{\Delta t_4} = ..$

4. Bərabər zaman fasılələrini azaltmaqla təcrübəni ikinci eyni kürəciklə təkrarlayın və uyğun yerdəyişmələri təyin edin.

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Kürəcik bərabər zaman fasılələrində hansı yerdəyişmələri icra etdi?
- Apardığınız hesablamalardan kürəciyin düzxətli bərabərsürətli hərəkət etdiyini söyləmək olarmı? Cavabınızı əsaslandırın.

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

- Düzxətli bərabərsürətli hərəkət – düz xətt boyunca istənilən bərabər zaman fasılələrində eyni yerdəyişmə icra edən maddi nöqtənin hərəkətidir.
- Zaman keçdikcə düzxətli bərabərsürətli hərəkətin sürətinin modulu və istiqaməti dəyişmir:

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

- Düzxətli bərabərsürətli hərəkətin sürəti maddi nöqtənin yerdəyişməsinin həmin yerdəyişmə sərf olunan zaman fasıləsinə nisbətinə bərabər olan sabit kəmiyyətə deyilir:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}. \quad (1.1)$$

Düsturdakı  $\frac{1}{t}$  nisbəti müsbət skalar kəmiyyət olduğundan sürət vektoru  $\vec{v}$ -nin istiqaməti yerdəyişmə vektoru  $\vec{s}$ -in istiqaməti ilə eyni olur. BS-də sürətin vahidi saniyədə-metrdür:

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ san}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{san}}.$$

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

$$\vec{s} = \vec{v} \cdot t. \quad (1.2)$$

- 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 b ir x koordinatı ilə təyin edilir. Maddi nöqtənin həm sürət, həm də yerdəyişmə vektorlarının bu oxa proyeksiyaları təyin olunur və tənlik proyeksiyalarla yazılıraq 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 hesablanması dəsturunu almaq olar (bax: 1.2 mövzusu):

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

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

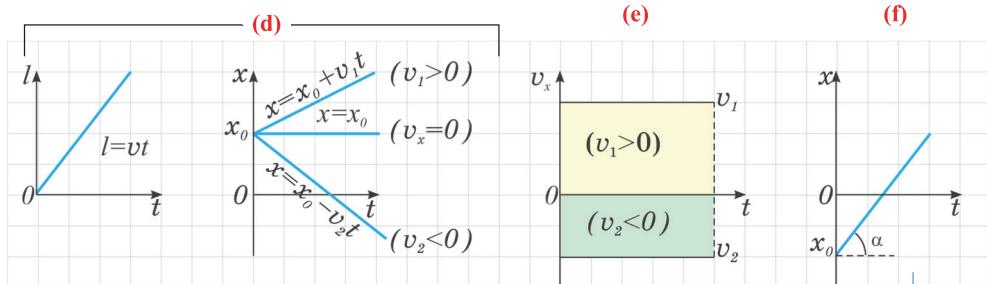
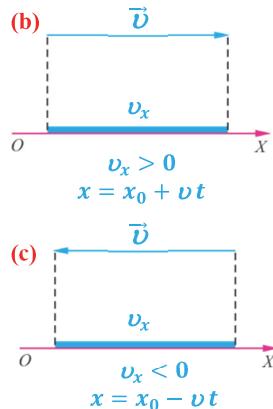
(b), koordinat oxunun əksinə hərəkət edirsə, sürətin proyeksiyası mənfi qəbul edilir (c).

(1.5) tənliyindən sürətin proyeksiyası təyin olunur:

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

(1.6) tənliyindən sürətin hansı fiziki məna daşıdığı 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 zamanından asılı deyildir (e):



Bərabərsürətli hərəkətin koordinat – zaman qrafiki zaman oxu ilə müəyyən bucaq təşkil edir. Bu bucağın tangensini sürətin ox üzərində proyeksiyasına bərabərdir (f):  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v_x$ .

### Tətbiqetmə. Öyrəndiklərinizi məsələ həllinə tətbiq edin

**Məsələ.** Aralarındaki məsafə 90 km olan A və B məntəqələrinində eyni zamanda qarşı-qarşıya düz xətt boyunca iki velosipedçi hərəkətə başladı. Birinci velosipedçinin sürəti  $3 \frac{m}{san}$ , ikinci velosipedçinin sürəti isə  $1,5 \frac{m}{san}$ -dir (g).

Təyin edin:

- velosipedçilərin  $t_1$  görüşmə müddətini və görüşmə koordinatlarını;
- onlar görüşən an getdiyi yolları və icra etdiyi yerdəyişmələri;
- velosipedçilər hərəkətə başlayandan sonra aralarında 10 km qaldığı məsafəyə sərf edilən  $t_2$  müddətini.

Verilir:

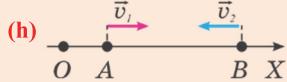
$$l = 90 \text{ km} = 90 \text{ 000 m}; \quad v_1 = 3 \frac{\text{m}}{\text{san}}; \quad v_2 = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{san}}$$

$$\text{a) } t_1 - ? \quad x_1, x_2 - ? \quad \text{b) } l_1, l_2 - ? \quad s_{x1}, s_{x2} - ? \quad \text{c) } t_2 - ?$$

### Həlli

a) Məsələnin bu bəndi aşağıdakı ardıcıl addımlarla həll olunur:

**I addım.** Koordinat başlangıcı A nöqtəsinə düşən **OX** koordinat sistemi seçilir və sxem çəkilir (h).



**II addım.** Hərəkət tənliyi ümumi şəkildə yazılır:  $x = x_0 + v_x t$ .

**III addım.** Şərtə əsasən hərəkət tənlikləri də ümumi şəkildə yazılırlar:

$$x_1 = v_{1x} t = 3t; \quad x_2 = x_0 - v_{2x} t = 90 - 1,5t.$$

**IV addım.** Velosipedçilər görüşmədə onların koordinatları bərabərələşir:  $x_1 = x_2$ . Bu bərabərlikdə uyğun tənliklər  $t_1$  görüşmə müddətinə əsasən yazılır və həmin müddət hesablanır:

$$3t_1 = 90000 - 1,5t_1,$$

$$4,5t_1 = 90000 \rightarrow t_1 = \frac{90000}{4,5} \text{ san} = 20000 \text{ san} \approx 5,6 \text{ saat.}$$

**V addım.** Velosipedçilərin  $x_1$  və  $x_2$  görüşmə koordinatlarını təyin etmək üçün onların hərəkət tənlikləri  $t_1$  müddətinə əsasən həll olunur:

$$x_1 = v_{1x} t_1 = 3 \frac{m}{\text{san}} \cdot 20000 \text{ san} = 60000 \text{ m} = 60 \text{ km};$$

$$x_2 = x_1 \text{ olduğundan } x_2 = 60 \text{ km.}$$

b) Şərtə əsasən velosipedçilər düzxətli hərəkət etdiklərindən və hərəkət istiqamətlərini dəyişmədiklərindən, gedilən yol yerdəyişmənin proyeksiyasına (moduluna) bərabərdir:

$$l_1 = s_{1x} = x_1 - x_0; \quad l_2 = s_{2x} = x_2 - x_0.$$

c) Velosipedçilərin aralarında 10 km qaldığı məsafəyə sərf olunan  $t_2$  müddətini təyin etmək üçün aşağıdakı bərabərlik yazılaraq həll edilir:

$$x_1 - x_2 = 10000 \text{ m} \text{ və ya } v_{1x} t_2 - x_0 - v_{2x} t_2 = 10000 \text{ m.}$$

Məsələnin b) və c) bəndlərinin həllini tamamlayın.

### Nəticənin müzakirəsi:

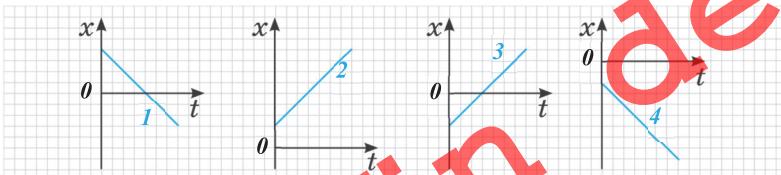
- Velosipedçilər görüşən an uyğun olaraq hansı məsafələr qət etmişlər?
- Velosipedçilər hərəkətə başlayandan hansı müddətdən sonra aralarında 10 km məsafə qalmışdır?

### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

- Avtobus  $\frac{\text{km}}{\text{saat}}$  sürətlə hərəkət etməklə minik avtomobilinin 10 saniyəyə qət etdiyi yerdəyişməni 20 san müddətinə gedir. Minik avtomobilinin sürətini təyin edin.

### Özünüüz qıymətləndirin:

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Maddi nöqtənin hərəkət tənliyi  $x = x_0 + v_x t$  şəklində verilmişdir. Onun istənilən zaman aranında vəziyyətini təyin etmək üçün nəyi bilmək lazımdır?
- Şəkildə x oxu boyunca hərəkət edən maddi nöqtənin koordinat-zaman qrafikləri təsvir edilmişdir.



- Hansi qrafik hərəkətin koordinat başlangıcından keçdiyini göstərir?
  - Hansi qrafik hərəkətin x oxunun əksi istiqamətində olduğunu göstərir?
  - Hansi qrafikdə  $x_0$  və  $v_x$  əks işarəli, hansında eyni işarəlidir?
- Piyada və velosipedçi qarşı-qarşıya hərəkət edir. Piyada üçün koordinatın zamandan asılılığı  $x_1 = 13 + 2t$ , velosipedçi üçün isə  $x_2 = 27 - 5t$ -dir. Bu asılılıqları bir qrafikdə təsvir edin və onların görüşmə anını müəyyənləşdirin.

### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan fiziki anlayış və kəmiyyətlərə tərif verin: "sürət", "düzxətli bərabərsürətli hərəkət", "sürətin ox üzərində proyeksiyası", "düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə gedilən yol".

## 1.4

## DÜZXƏTLİ DƏYİŞƏNSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT. TƏCİL

Praktikada düzxətli bərabərsürətli hərəkətə çox az təsadüf edilir. Hərəkətdə olan avtomobil, qatar, təyyarə, mexanizmin hissəsi və s.-nın sürətinin ya qiyməti, ya istiqaməti, ya da hər ikisi dəyişə bilir.

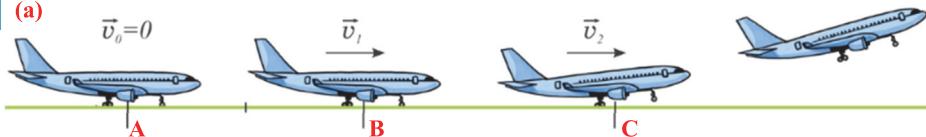
- Dəyişənsürətli düzxətli hərəkəti də düzxətli bərabərsürətli hərəkət tənlikləri ilə ifadə etmək olarmı? Bunun üçün nəyi bilmək lazımdır?

## Araşdırma

## 1 Sürət dəyişməsinin yeyinliyi nə deməkdir?

**Məsələ 1:** Uçuşa hazırlaşan təyyarə uçuş zolağında A nöqtəsində durub. Onun hərəkətə başlayandan 5 san sonra sürəti  $v_1 = 18 \frac{m}{san}$  (B nöqtəsində), 10 san sonra isə  $v_2 = 30 \frac{m}{san}$  (C nöqtəsində) oldu (a). Təyyarənin uçuş zolağının uyğun olaraq AB və BC hissələrində sürət dəyişmələri ( $\Delta v_1$  və  $\Delta v_2$ ) nəyə bərabərdir? Hansı zaman intervalında sürət dəyişməsi daha yeyin baş vermişdir?

(a)



Verilir	Həlli	Hesablanması
$t_0 = 0 \rightarrow v_0 = 0$	$\Delta v_1 = v_1 - v_0$	....
$t_1 = 5 \text{ san} \rightarrow v_1 = 18 \text{ m/san}$	$\Delta v_2 = v_2 - v_1$	....
$t_2 = 10 \text{ san} \rightarrow v_2 = 30 \text{ m/san}$	$\Delta t_1 = t_1 - t_0$	....
$\Delta v_1 - ? \quad \Delta v_2 - ? \quad \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} - ? \quad \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} - ?$	$\Delta t_2 = t_2 - t_1$	....

## Nəticənin müzakirəsi:

- Uçuş zolağının hansı hissəsində təyyarənin sürət dəyişməsi daha yeyindir?
- Sürətin dəyişmə yeyinliyinin fiziki mahiyyəti nədir və onu bilmək nə dərəcədə vacibdir?

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

## Orta sürət.

- Dəyişənsürətli hərəkət edən maddi nöqtənin trayektoriyanın verilən hissəsindəki orta sürəti, onun bu hissəsindəki yerdəyişməsinin həmin yerdəyişməyə sərf etdiyi zamana nisbətinə bərabərdir:

$$\vec{v}_{or} = \frac{\vec{s}}{t} \quad (1.7)$$

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

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

Maddi nöqtə  $t_1, t_2, \dots, t_n$  zaman fasılələrində  $l_1, l_2, \dots, l_n$  yollarını  $v_1, v_2, \dots, v_n$  sabit sürətləri ilə gediblə, onun orta sürəti uyğun olaraq belə hesablanır:

$$v_{or} = \frac{l_{\text{üm}}}{t_{\text{üm}}} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}, \quad (1.9)$$

$$v_{or} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2 + \dots + v_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}. \quad (1.10)$$

Əgər  $t_1 = t_2 = \dots = t_n = t$  olarsa, (1.10) ifadəsindən alınar ki:

$$v_{or} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}. \quad (1.11)$$

### Ani sürət.

- Maddi nöqtənin verilmiş zaman anında və ya hərəkət trayektoriyasının verilən nöqtəsindəki sürəti onun ani sürəti və ya verilən nöqtədəki sürəti adlanır.

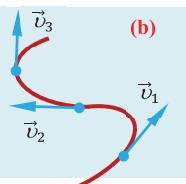
Ani sürət hərəkət trayektoriyası üzərində götürülən nöqtə ətrafında olduqca kiçik yerdəyişmənin ( $\Delta \vec{s}$ ) həmin yerdəyişmənin icrasına sərf olunan kiçik zaman fasıləsinə ( $\Delta t$ ) nisbatinə bərabərdir ( $\Delta t \rightarrow 0$  şərti daxilində):

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

Burada  $\vec{v}$  maddi nöqtənin ani sürətidir.

Zaman keçdikcə ani sürət artıb-azala və ya istiqamətini dəyişə bilər. Ani sürət vektorial kəmiyyət olub istiqamətcə trayektoriyanın ixtiyarı nöqtəsində ona toxunan istiqamətdə yönəlir (b). Ani sürət vektorunun düzbucaqlı dekart koordinat sistemində proyeksiyası koordinatın zamana görə birinci təribət törəməsinə bərabərdir:

$$v_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\frac{\Delta x}{\Delta t}}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = x'(t). \quad (1.13)$$



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

- Təcil – sürət dəyişməsinin bu dəyişmənin baş verdiyi zaman fasıləsinə nisbatinə bərabər olan fiziki kəmiyyətdir:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.14)$$

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

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t}. \quad (1.15)$$

Təcil vektorial kəmiyyət olub istiqaməti  $\Delta \vec{v}$ -nin istiqaməti ilə üst-ü stə düşür.

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

- Bərabərtəcilli hərəkət – istənilən bərabər zaman fasılələrində sürət dəyişməsi sabit qalan hərəkətdir. Bərabərtəcilli hərəkətdə təcilin qiymət və istiqaməti dəyişmir:

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

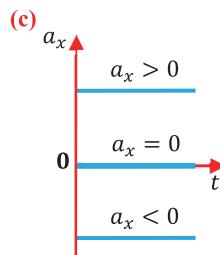
Bərabərtəcilli hərəkətdə təcilin ixtiyarı ox üzrə, məsələn,  $x$  oxu üzrə proyeksiyası da sabittir:

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

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:

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



**Bilirsinizmi?** Təcil fizika və texnikada istifadə olunan müüm kəmiyyətlərdən biridir. Məlumudur ki, avtomobil, avtobus və qatar ehmal tormozlandıqda sərnişinlər bir narahatlıq hiss etmir, lakin kəskin tormozlandıqda isə ciddi təhlükə yaranır. Deməli, bu hadisədə sürət dəyişməsi deyil, bu dəyişmənin hansı yeyinliklə baş verdiyi vacibdir. Maşın və mexanizmlərdə sürət dəyişməsinin yeyinliyini nəzarətdə saxlamaq üçün təcilölçən cihazdan – akselerometrindən (lat. accelerō – təcilləndirirəm + yun. metroē – ölçürəm) istifadə edilir (d).



2

## Tətbiqetmə

### Orta sürət nəyə bərabərdir?

**Məsələ 2.** Velosipedçi düzxətli yoluñ birinci yarısını modulu  $4 \frac{m}{san}$  olan sabit sürətlə, digər yarısını isə modulu  $6 \frac{m}{san}$  olan sabit sürətlə hərəkət etdi. Velosipedçinin bütün yolda orta sürətini təyin edin.

Verilir	Həlli
$v_1 = 4 \text{ m/san}$	$v_{or} = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2}$ .
$v_2 = 6 \text{ m/san}$	$l_1 = \frac{l}{2} = v_1 t_1$ olduğundan, $t_1 = \frac{l}{2v_1}$ .
$v_{or}?$	Eyni qayda ilə: $t_2 = \frac{l}{2v_2}$ .
	Beləliklə: $v_{or} = \frac{l}{t} = \frac{l}{\frac{l}{2v_1} + \frac{l}{2v_2}} = \frac{1}{\frac{v_1 + v_2}{2v_1 v_2}} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2}$ .
	Hesablanması
	...

### Nəticənin müzakirəsi:

- Yolun iki bərabər hissəsi üçün orta sürət hansı düsturla təyin olunur?
- Velosipedçinin iki ardıcıl bərabər zaman fasılısında ( $t_1 = t_2$ ) sürəti uyğun olaraq  $v_1$  və  $v_2$  olubsa, onun orta sürəti hansı düsturla təyin olunur?

### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

- Spidometr avtomobilin hansı sürətini ölçür: orta, yoxsa ani? Cəvabınızı əsaslandırın.

**Özünüzü qiymətləndirin:** 1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nöyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı? 2. Yerdəyişməyə və yola görə orta sürət bir-birindən nə ilə fərqlənir? 3. Təcil fiziki mənəsi nadir? 4. Düzxətli bərabərsüzlü və dəyişənsürətli hərəkətlərdə uyğun olaraq təcil nəyə bərabərdir? Nə üçün? 5. Avtomobil yerdən tərəfənərək artan sürətlə düzxətli hərəkətə başlayarsa, onun təcil vektoru hansı istiqamətə yönələr? Nə üçün? 6. Avtomobil tormozlanmağa başlıdıqda onun təcil vektoru hansı istiqamətə yönələr? Nə üçün?

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan fiziki anlayış və kəmiyyətlərə tərif verin: “düzxətli dəyişənsürətli hərəkət”, “orta sürət”, “ani sürət”, “təcil”, “bərabərtəcilli hərəkət”.

## 1.5

## DÜZXƏTLİ BƏRABƏRTƏCİLLİ HƏRƏKƏTDƏ SÜRƏT VƏ YERDƏYİŞMƏ

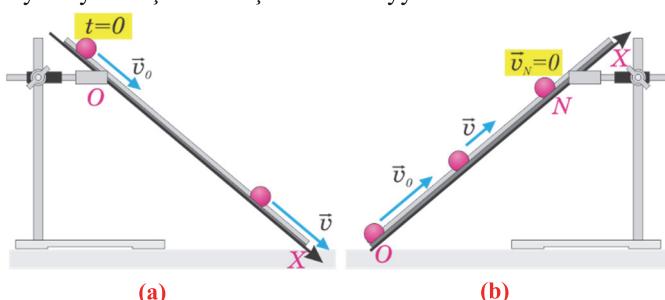
Təyyarə uçuş zolağında hərəkət istiqamətinə yönəlmüş  $x$  koordinat oxu boyunca sabit  $a_x = 6 \frac{m}{san^2}$  təcilli hərəkət edir.

- Təyyarənin hər saniyədə sürət dəyişməsi nəyə bərabərdir?
- Bu hərəkət üçün təciliin proyeksiyası – zaman qrafiki nədir?
- Düzxətlə bərabərtəcilli hərəkətdə sürət və yerdəyişmənin proyeksiyası nədən asılıdır? Bunu necə müəyyənləşdirmək olar?

1

Bərabərtəcilli hərəkətdə sürət nədən asılıdır?

**Məsələ 1.** Şəkildə mail novda  $\vec{v}_0$  başlangıç sürəti ilə aşağı və yuxarı bərabərtəcilli diyirlənən kürəcik təsvir edilmişdir (a) və (b). Bu hərəkətlərə uyğun təciliin OX oxu üzərində proyeksiyasını çəkin və işarəsini müəyyən edin.



Nəticənin müzakirəsi:

- Bərabərtəcilli hərəkət edən kürəcikin sürət düsturunu vektor şəklində necə yazmaq olar?
- Mail nov boyunca yuxarı və aşağı bərabərtəcilli diyirlənən kürəcikin sürətinin proyeksiyasının düsturunu ümumi şəkildə yaza bilərsinizmi?
- Mail nov boyunca  $\vec{v}_0$  başlangıç sürəti ilə yuxarı bərabərtəcilli hərəkət edən kürəcikin N nöqtəsində təciliinin proyeksiyası ümumi şəkildə nəyə bərabərdir?

**Düzxətlə bərabərtəcilli hərəkətdə sürət.** (1.14) düsturundan görünür ki,  $\vec{v}$  təcili məlumdursa, istənilən andakı sürəti təyin etmək olar:

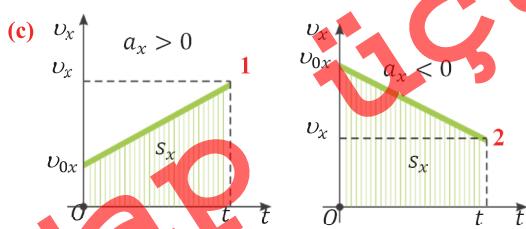
$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad (1.18)$$

və ya  $x$  oxu üzrə proyeksiyada:

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

Əgər başlanğıç sürət sıfır 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 qiymətinin bərabərdir. Verilən qrafikdə ştrixlənmiş bu fiqur trapesiyadır (bax: c):

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

və ya vektor şəklində:

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

Sonuncu düsturda  $\vec{v}$ -nin əvəzinə onun (1.18)-dəki ifadəsi yazılsara, bərabərtəcilli hərəkət üçün yerdəyişmənin ümumi tənliyi alınar:

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

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

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

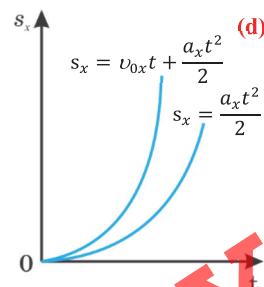
koordinatının tənliyi isə:

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

(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 başlangıcından keçən paraboladır (d).



Bəzi hallarda başlangıç andan keçən  $t$  zamanını bilmədən maddi nöqtənin yerdəyişməsini təyin etmək lazımlı gəlir. Belə məsələni o zaman həll etmək olur ki, tacil, başlangıç 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:

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

Sadə çevirmədən sonra alınır ki:

$$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}. \quad (1.27)$$

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 alınar:

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

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

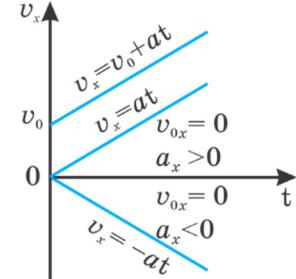
**Bərabəryeyinləşən və bərabəryavaşıyan hərəkətlər.** Bərabərcili hərəkət xarakterinə görə ya *bərabəryeyinləşən*, yaxud da *bərabəryavaşıyan* olur.

• *Bərabəryeyinləşən hərəkətdə*  $\vec{v}_0$  və  $\vec{a}$  vektorları eyni istiqamətə yönəlir. Bu halda  $v_{0x}$  və  $a_x$  proyeksiyalarının hər ikisinin işarəsi ya müsbət, yaxud da mənfi olur. Maddi nöqtə süküntə halindən ( $v_{0x} = 0$ ) hərəkətə başlayırsa, istiqamətindən asılı olmayaraq hərəkət bütün hallarda bərabəryeyinləşəndir.

• *Bərabəryavaşıyan hərəkətdə*  $\vec{v}_0$  və  $\vec{a}$  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 bərabəryavaşıyan hərəkətlərin düz-turları və uyğun qrafikləri verilmişdir.

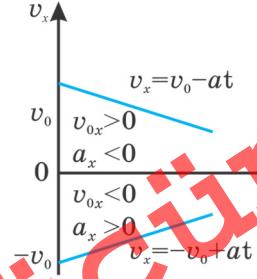
Cədvəl 1.3.

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

**Qeyd.**  $s_x \sim t^2$  olduğundan ( $v_0 = 0$ ) yerdəyişmə proyeksiyalarının nisbəti uyğun zaman müddətlərinin kvadratları nisbətinə 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 bərabəryavaşıyan hərəkət	
$v_x = v_0 - at,$ $v_x = -v_0 + at,$ $s_x = v_0 t - \frac{at^2}{2},$ $s_x = -v_0 t + \frac{at^2}{2}.$	

2

**Tətbiqetmə****Qrafikləri uyğunlaşdırıra bilərsinizmi?**

**Məsələ 2.** Şəkildə düzxətli bərabərtəcilli hərəkət edən maddi nöqtənin sürət proyeksiyasının zaman-dan asılılıq qrafiki verilmişdir. Buna uyğun olaraq maddi nöqtənin yerdəyişmə və təcilinin proyeksiyasının zamandan asılılıq qrafiklərini qurun.

**Nəticənin müzakirəsi:**

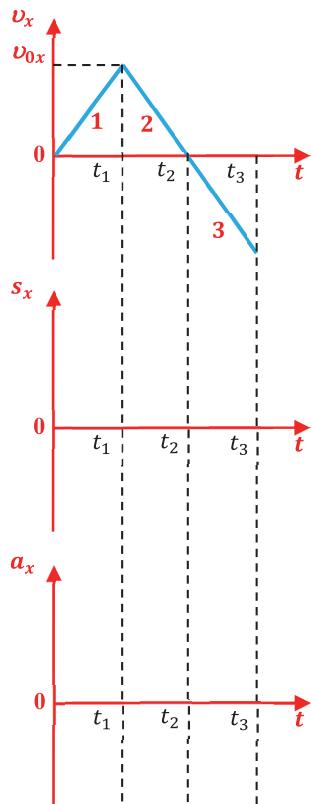
- Sürət proyeksiyasının zamandan asılılıq qrafikinə əsasən yerdəyişmə və təcilin proyeksiyalarının zamandan asılılıqları necə müəyyən olunur?
- Sürət proyeksiyasının zamandan asılılıq qrafikinə əsasən hərəkətin bərabəryeyinləşən, yaxud bərabərvayaşışan olduğunu necə təyin etmək olar?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

- Düzxətli hərəkət edən avtomobilin başlangıç sürəti  $v_{0x} = 15 \frac{m}{san}$  və təcili  $a_x = 2 \frac{m}{san^2}$  olarsa,  $t = 20 \text{ san}$  anında onun sürətinin proyeksiyası nəyə bərabər olar?

**Özünüzü qiymətləndirin:**

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Düzxətli bərabərtəcilli hərəkət edən avtomobilin sürətinin proyeksiyası  $v_x = 21 - 7t$  qanunu ilə dəyişir. Buna görə:
  - sürət proyeksiyasının zamandan asılılıq qrafikini qurun;
  - avtomobilin başlangıç sürətinin və təcilinin proyeksiyاسını təyin edin;
  - bərabərtəcilli hərəkətin xarakterini müəyyən edin;
  - $t$ -nin hansı qiymətində avtomobilin dayandığını təyin edin;
  - avtomobilin hərəkət tənliyini yazın.

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Öyrəndiyiniz fiziki anlayışlara tərif verin və uyğun tənliliklərə əsasən sürət proyeksiyası – zaman, yerdəyişmə proyeksiyası – zaman və təcil proyeksiyası – zaman qrafiklərini qurun. “Bərabəryeyinləşən hərəkət” və “bərabərvayaşışan hərəkət”in tənliliklərini yazın.

- LAYİHƏ • “DÜZXƏTLİ BƏRBƏRTƏCİLLİ HƏRƏKƏT” müddəasının anlayışlar xəritəsini qurun (nümunə üçün bax: fəslin “Anlayışlar xəritəsi”).**

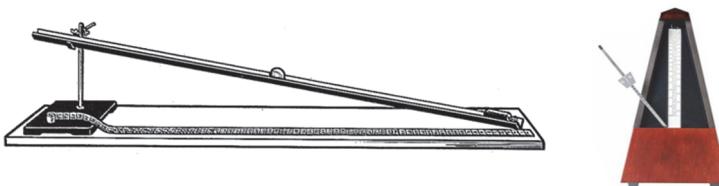
Çap

## PRAKTİK İŞ

### BƏRABƏRTƏCİLLİ HƏRƏKƏT ÜÇÜN “YOLLAR QANUNU”

**Məqsəd:** mail yerləşdirilən novla bərabərtəcilli diyirlənən kürəciyin yollar qanununu (yolların nisbətinin nəyə bərabər olduğu) müəyyənləşdirməyi bacarmaq.

**Təchizat:** Qaliley novu, kürəcik, metal silindr (xüsusi istilik tutumu dəstindən), metronom (və ya saniyəölçən), ölçü lenti, mufta və tutqacı olan şativ.



**İşin gedişi:**

**I mərhələ. Kürəciyin hərəkət təcilinin təyini.**

- Novu şativə maili olaraq elə bərkidin ki, o, üfüqlə kiçik bucaq təşkil etsin. Diyirlənən kürəciyi tormozlamaq üçün novun aşağı hissəsində metal silindr yerləşdirin. Metronom elə tənzimlənir ki o, dəqiqədə 120 zərbə vursun.
- Novun yuxarı hissəsindən kürəcik buraxılan an metronom işə salınır. Novun mailliyi elə tənzimlənir ki, metronomun 4-cü zərbəsində kürəcik silindrə toqquşsun. Bu hal üçün kürəciyin hərəkət müddəti  $t = 2 \text{ san}$ , kürəciyin getdiyi məsafə isə  $s = 132 \text{ sm} \pm 1\text{sm}$  olur.
- Sükunət halından ( $v_0 = 0$ ) hərəkətə başlayan kürəciyin təcilinin modulu  $a = \frac{2s}{t^2}$  düsturun- dan hesablanır.

**II mərhələ. Yollar qanununun müəyyənləşdirilməsi.**

- Təcrübə şəraiti dəyişdirilmədən o, ardıcıl zaman fasılələri üçün təkrarlanır: kürəciyin ardıcıl  $t_1 = 1 \text{ san}$ ,  $t_2 = 2 \text{ san}$ ,  $t_3 = 3 \text{ san}$ ,  $t_4 = 4 \text{ san}$  müddətlərində getdiyi uyğun yollar  $l = \frac{at^2}{2}$  düsturuna əsasən hesablanır.
- Alınan ifadələri verilən cədvəldə qeyd edin, yolların nisbətinin nəyə bərabər olduğunu – “yollar qanununu” müəyyənləşdirin:

$$l_1: l_2: l_3: l_4 = \dots ?$$

Təcrübənin sayı	Metronomun zərbələr sayı	$a, \frac{m}{san^2}$	$l, m$	$t, san$	$l_1: l_2: l_3: l_4 = \dots ?$
1		$\approx 0,66$		1	
2				2	
3				3	
4				4	

- Təcrübədən gəldiyiniz nəticəni ümumiləşdirin.

## 1.6

## CİSMİN SƏRBƏSTDÜŞMƏSİ



XVI əsrin sonlarında italyan alimi Galileo Galilei böyük bir kəşfə yol açan sadə eksperiment aparır. O, İtaliyanın Piza şəhərindəki əyri qüllədən iki cismi, kütləsi 80 kq olan top mərmisini ve 200 q kütləli tufəng güləsini eyni anda sərbəst buraxdıqda onların yerə eyni təcillə düşdüyünü müəyyən edir.

- Hündürlükdən düşən cisimlərin hərəkəti hansı xarakterlidir? Nə üçün?
- Galileyin apardığı bu eksperimentdən çıxan mühüm nəticə nədir?

## Araşdırma

1

## Cisimlərin eyni vaxtda düşməsinə səbəb nədir?

**Təchizat:** Nyuton borusu, Kamovski nasosu, rezin şlanq.

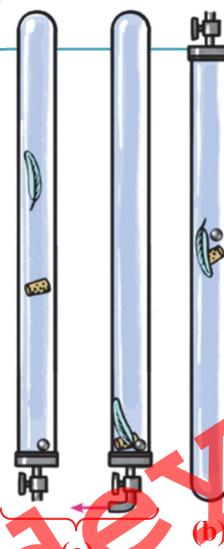
**Cihazın təsviri:** Nyuton borusu – qalındıvarlı, bir tərəfi bağlı, digər tərəfində kran olan uzunluğu 1 m-dən azca böyük şüşə borudur. Borunun içərisində ölçüsü və çəkisi müxtəlif olan üç cism – qurma dənəsi, mantar və quş lələyi salılmışdır (a).

## İşin gedisi:

1. Borunu şaquli vəziyyətdə saxlayın, sonra onu cəld 180° çevirib içərisindəki cisimlərin borunun dibinə düşmə ardıcılılığını müşahidə edin (bax: a).
2. Borunu nasosa birləşdirib içərisindəki havanı çıxarın. Kranı bağlayın, təcrübəni təkrarlayın, sərbəst düşən cisimlərin borunun dibinə çatma prosesini izleyin (b).

## Nəticənin müzakirəsi:

- Havası çıxarıldıqdan sonra cisimlərin borunun dibinə düşməsində qeyri-adi nə müşahidə etdiniz?
- Araşdırmlardan cisimlərin sərbəstdüşmə hərəkətinin xarakteri haqqında hansı nəticəyə gəldiniz?

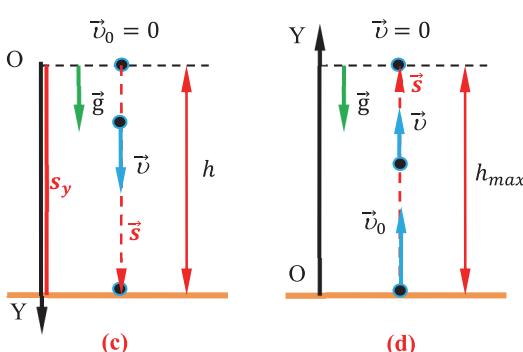


Yerdə ən rast gəlinən bərabərtəcilli hərəkət cisimlərin sərbəstdüşməsidir. Yer səthindən qaldırılan, dayağı və asqısı olmayan cisimlərin düşməsi sərbəstdüşmədir.

• *Sərbəstdüşmə – cismin yalnız ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında düşən ( $v_0=0$ ) hərəkətidir. Belə hərəkət gəcili ilə bərabər yeyinləşəndir.*

Cisimlərin sərbəstdüşməsin ilk dəfə XVI əsrin sonlarında italyan alimi Galileo Galilei araşdırmışdır. O, eyni diametrlü 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 təciliq qiymətinin hər üç cism üçün sabit qaldığı aşkar olur. Galileyin gəldiyi nəticə: *Yer kürəsi səthinin verilən hissəsində bütün cisimlərə*

eyni təcıl verir. Aparılan ölçmələr göstərmışdır ki, sərbəstdüşmə təcili adlandırılan bu təcıl Yer səthinin yaxınlığında  $\approx 9,8 \frac{m}{san^2}$ -ə bərabərdir. Sonralar aparılan çoxsaylı araşdırmlardan müəyyən edilir ki, bu qiymət Yerin qütb'lərində  $\approx 9,83 \frac{m}{san^2}$ , ekvatorunda isə  $\approx 9,78 \frac{m}{san^2}$ -dir.



edir. Belə ki, cisim yuxarı atıldıqda o, bərabəryavaşıyan hərəkət edir. Seçilən koordinat oxu hərəkət istiqaməti üzrə yönəldilərsə, sərbəstdüşmə təcili vektorunun istiqaməti koordinat oxunun eksinə 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 tama-milə ödənilir (bax: cədvəl 1.4).

Cədvəl 1.4.

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

## 2 Tətbiqetmə

İsbat edə bilərsinizmi?

**İsbat edin ki:** 1) şaquli yuxarı atılan cismin maksimum hündürlüyü qalxma müddəti aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$t_q = \frac{v_0}{g}.$$

**İpucu:** nəzərə alın ki, maksimum hündürlüyü çatdığı an cismin son sürəti sıfır bərabərdir;

2) cismin qalxdığı maksimum hündürlük aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$h_{max} = \frac{v_0^2}{2g};$$

3) cismin düşmə müddəti aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$t_d = \sqrt{\frac{2h}{g}};$$

4) sərbəst düşən cismin yerə çatma anındakı son sürəti aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$v_{son} = \sqrt{2gh}.$$

*İpucu:  $v_0 = 0$  olduğunu nəzərə alın;*

5) cismin Yer səthinə düşmə müddəti, onun maksimum hündürlüyü qalxma müddətinə bərabərdir:

$$t_d = t_q.$$

#### Nəticənin müzakirəsi:

- $h$  hündürlüyündən sərbəst düşən cismin sürət-zaman və yerdəyişmə-zaman qrafikini qurun.
- Şəquli yuxarı atılan cismin sürət-zaman və hündürlük-zaman qrafikini qurun.

#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

- Hər dəfə yağış yağdıqda bir möcüzəylə rastlaşırıq. Belə ki, 2 km hündürlükdəki buludlardan yağan yağış damcıları üstümüzə  $7 - 8 \frac{m}{san}$  sürətlə düşür. Əgər havanın müqaviməti olmasa idi, bu damcılar üstümüzə hansı sürətlə düşərdi və həmin sürət bizim həyatımız üçün təhlükəli ola bilərdimi? Nə üçün?

#### Özünüyü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Cisim 45 m hündürlükdən sərbəst düşür ( $v_0 = 0, g = 10 \frac{m}{san^2}$ , havanın müqavimətini nəzərə almayın).
  - Düşmə müddəti nə qədərdir?
  - Cismin son sürəti nəyə bərabərdir?
  - Cisim  $t = 2,5 \text{ san}$  anda hansı hündürlükdə olar?
3. Sərbəst düşən cismin uyğun olaraq 1 san, 2 san, 3 san və 4 san müddəində getdiyi yolları hesablayın ( $v_0 = 0, g = 10 \frac{m}{san^2}$ , havanın müqavimətini nəzərə almayın). Alınan rəqəmləri yadınızda saxlayın, onlar gələcəkdə qarşılaşa biləcəyiniz bu tip məsələləri şifahi həll etməkdə gərəyiniz olacaq.

#### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

1. Verilən fiziki anlayışlar haqqında qısa izah yazın: "sərbəstdüşmə", "sərbəstdüşmə təcili".
2. Müəyyən hündürlükdən sərbəst düşən və şəquli yuxarı atılan cisimlərin hərəkət tənliklərini yazın.

## 1.7

# MEXANİKİ HƏRƏKƏTİN NİSBİLİYİ

İki avtomobil şosedə uyğun olaraq,

$$v_1 = 60 \frac{\text{km}}{\text{saat}}$$

və

$$v_2 = 90 \frac{\text{km}}{\text{saat}}$$

sürətləri ilə hərəkət edir.

(a)



(b)



- Bu avtomobillər qəza törətdikdə hansı halda daha böyük fəlakət baş verər: qarşı-qarşıya hərəkət edərkən toqquşduqda (a), yoxsa eyni istiqamətdə hərəkət edərkən ikinci avtomobil birincini arxadan vurduqda (b)? Nə üçün?

1

Eyni sürətin modulunun “müxtəlif” olmasına səbəb nədir?

**Məsələ 1:** Metro eskalatoru pilləkəndə süküntədə duran sərnişinləri  $3 \text{ m/san}$  sürətlə qaldırır. Sərnişinlərdən biri eskalatorun hərəkəti istiqamətində ona nəzərən  $2,5 \text{ m/san}$  sürətlə yuxarı qalxır. Sərnişinin Yerə nəzərən sürətinin modulu nəyə bərabər olar? Əgər bu sərnişin eskalatorun hərəkət istiqamətinin əksinə həmin sürətlə aşağı düşərsə, onun yerə nəzərən sürətinin modulu nəyə bərabər olar (*yadınız salın: Fizika- 7 – “Hərəkətin nisbiliyi”*)?

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Nə üçün eskalatorun hərəkəti və hərəkətin əksinə istiqamətlərində sərnişinin Yerə nəzərən sürətinin modulu üçün fərqli qiymətlər alındı?
- Sürətin mütləq olub-olmadığı haqqında hansı nəticəyə gəlmək olar?

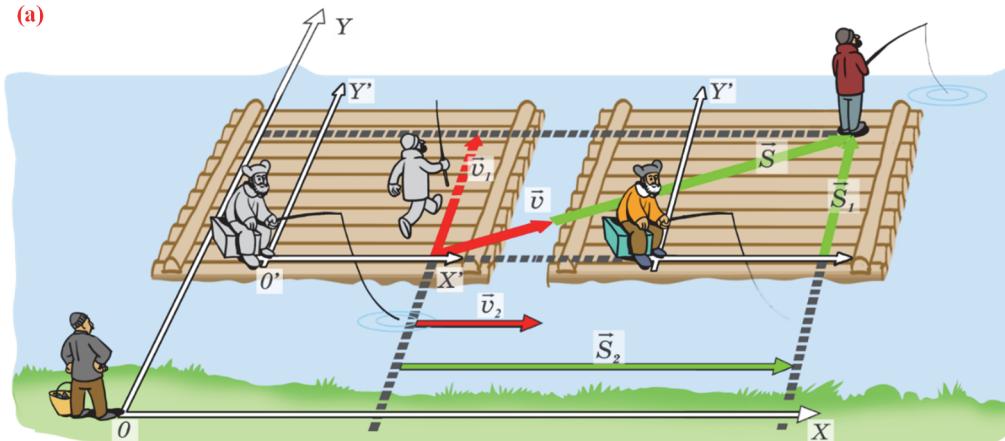
Bilirsiniz ki, maddi nöqtənin (və ya cismin) fəzada vəziyyəti hesablama sisteminin seçilməsindən asılıdır – müxtəlif hesablama sisteminə nəzərən maddi nöqtənin vəziyyəti müxtəlif ola bilər. Deməli, cismin fəzada vəziyyəti nisbidir. Bu nisbilik cismin yalnız vəziyyətinə deyil, onun hərəkatına də aiddir:

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

Hərəkətin nisbiliyini növbəti məsələnin həlli ilə araşdırıq.

**Məsələ 2.** İki balıqçı çay axını ilə hərəkət edən salın səthindədir. Birinci balıqçı yesik üzərində oturub balıq tutur, ikinci isə salın hərəkət istiqamətinə perpendikulyar istiqamətdə onun bir kənarından digər kənarına keçir. İkinci balıqçının sahildə duran müşahidəçiə nəzərən yerdəyişməsini və sürətini təyin edin (a).

(a)



**Həlli.** İkinci balıqçının hərəkəti müxtəlif yanaşmadan araşdırılır. Bu məqsədlə iki hesablama sistemindən istifadə edilə bilər:

**Sükunətdə olan hesablama sistemi ( $XOY$ )** – sahildəki müşahidəçi ilə əlaqəlidir.  $O$ , yerə nəzərən sükunətdədir.

**Hərəkətdə olan hesablama sistemi ( $X'CY$ )** – oturan balıqçı ilə əlaqəlidir.  $O$ , çayın axın sürəti ilə hərəkət edən salla birlikdə hərəkətdədir (bax: **a**).

Oturulan balıqçı hərəkətdə olan sistemdə hesablama cismidir. Ona elə gəlir ki, yoldaşı salın bir kənarından digərinə  $\vec{v}_1$  sürəti ilə keçir və o,  $\vec{s}_1$  yerdəyişməsi icra edir. Bu zaman sal, oturan balıqçıyla birlilikdə sükunətdə olan hesablama sistemindən nəzərən  $\vec{v}_2$  sürəti ilə  $\vec{s}_2$  yerdəyişməsi icra edir. Beləliklə, iki vektorun paraleloqram üsulu ilə toplanması qaydasından məlum olur ki, ikinci balıqçının sükunətdə olan hesablama sisteminə nəzərən ümumi  $\vec{s}$  yerdəyişməsi  $\vec{s}_1$  və  $\vec{s}_2$  yerdəyişmələri cəminə bərabərdir.

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2. \quad (1.31)$$

(1.31) ifadəsinin hər iki tərəfini hərəkət edən və sükunətdə olan sistemlər üçün eyni olan  $t$  zamanına bölsək, alarıq:

$$\frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}_1}{t} + \frac{\vec{s}_2}{t}.$$

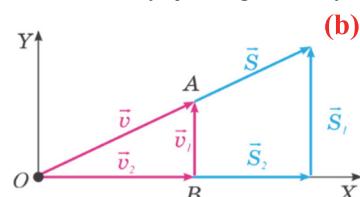
Buradan sürətlərin toplanmasının ümumi qanunu alınır:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2. \quad (1.32)$$

• Sükunətdə olan hesablama sisteminə nəzərən cismin sürəti ( $\vec{v}$ ) onun hərəkətdə olan sistemə nəzərən sürəti ilə ( $\vec{v}_1$ ) hərəkətdə olan sistemin sükunətdə olan sistemə nəzərən sürətinin ( $\vec{v}_2$ ) həndəsi cəminə bərabərdir.

Sürətlərin toplanması qanunundan istifadə edərək salın səthində addımlayan balıqçının sahilda duran müşahidəciyə nəzərən sürəti hesablanır. Çertyojdan göründüyü kimi,  $\vec{v}_1$  və  $\vec{v}_2$  sürətləri bir-birinə perpendikulyar yönəlməklə düzbucaqlı  $\triangle OAB$  üçbucağının katetlərini, yekun  $\vec{v}$  sürəti isə onun hipotenuzunu əmələ gətirir (b). Sürətin ədədi qiyməti Pifaqor teoreminə görə:

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



**Tətbiqetmə**

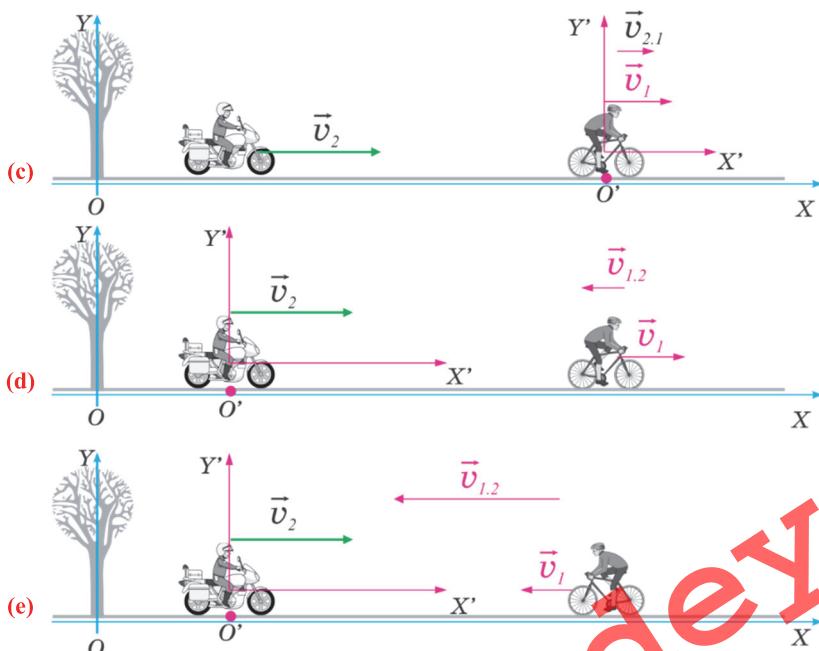
**“Sürətlərin toplanması” qanununun yoxlanması.**

**Məsələ 3.** Velosipedçi yoluñ düzxətli hissəsində  $10 \text{ m/san}$  sürətlə, onun arxasında isə həmin istiqamətdə  $25 \text{ m/san}$  sürətlə motosikletçi hərəkət edir (**c**). Təyin edin:  
a) motosikletçinin velosipedçiyə nəzərən  $\vec{v}_{21}$  sürətinin modulunu;  
b) velosipedçinin motosikletçiyə nəzərən  $\vec{v}_{12}$  sürətinin modulunu.

*İpucu:* sürət vektorlarının toplanması düsturunu yazın. Düsturu sürətlərin uyğun koordinat oxu üzrə proyeksiyasına görə həll edin (bax: **c** və **d**).

**Məsələ 4.** Velosipedçi və motosikletçi verilən sürətlərlə (bax: *məs.2*) qarşı-qarşıya hərəkət edir. Velosipedçinin motosikletçiyə nəzərən  $\vec{v}_{12}$  sürətinin modulunu təyin edin (**e**).

*İpucu:* sürət vektorlarının toplanması düsturunu yazın. Düsturu sürətlərin uyğun koordinat oxu üzrə proyeksiyalarına görə həll edin.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Eyni istiqamətə hərəkət edən motosikletçi və velosipedçinin Yerə nəzərən sürətlərini bilməklə motosikletçinin velosipedçiyə nəzərən  $\vec{v}_{21}$  sürətinin modulunu necə təyin etmək olar?
- Qarşı-qarşıya hərəkət edən velosipedçinin motosikletçiyə nəzərən  $\vec{v}_{12}$  sürətinin modulunu necə təyin etmək olar? Cavabınızı əsaslandırın.

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

- Qatarda hərəkət edən sərnişinin qatara nəzərən sürətini, qatarın isə Yerə nəzərən sürətini bilməklə sərnişinin yerə nəzərən sürətini necə təyin etmək olar?

**Özünüzü qiymətləndirin:**

- Dərsdə hənsi anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qararlı qaldı?

2. "Mexaniki hərəkət nisbidir" müddəası nə deməkdir?
3. "Sükunətdə olan hesablama sistemi" və "hərəkətdə olan hesablama sistemi" dedikdə, nə başa düşür?
4. Sürətlərin toplanmasının ümumi qanunu necə ifadə olunur?
5. Dünyanın geosentrik və heliosentrik təsəvvürlərinə əsasən cisimlərin vəziyyəti uyğun olaraq hansı göy cisimində nəzərən müəyyən olunurdu? Cavabınızı əsaslandırın. Bu təsəvvürlərin baniləri kimlərdir?
6. Motorlu qayıq sahilboyu bir məntəqədən digərinə qədərki yola çayın axını istiqamətində 40 dəq, axının əksinə isə 1 saat 10 dəq vaxt sərf etdi. Çay axınının sürətinin modulu 8 km/saat olarsa, qayığın suya nəzərən sürətinin modulu nəyə bərabərdir?

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Verilən müddəaları izah edin: "sükunətdə olan hesablama sistemi", "hərəkətdə olan hesablama sistemi", "hərəkətin nisbiliyi", "sürətlərin toplanması qanunu".

### 1.8

## ÇEVƏ ÜZRƏ BƏRABƏRSÜRƏTLİ HƏRƏKƏT

Siz əvvəlki dərslərdə düzxətli bərabərsürətli və bərabərtəcilli hərəkətlər, onların xarakteristikaları ilə tanış oldunuz, bu xarakteristikaların zamana görə necə dəyişdiyini müəyyənləşdirdiniz.

- **Düzxətli bərabərsürətli, düzxətli yeyinləşən və düzxətli bərabəryavaşışyan hərəkət: bunların hansı təcilli hərəkətdir? Nə üçün?**
- **Düzxətli irəliləmə hərəkətində təcil nəyi xarakterizə edir: sürətin modulunun, istiqamətinin, yoxsa hər ikisinin dəyişmə yeyinliyini?**
- **Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətə təcil nəyi xarakterizə edir? Fərziyyənizi söyləyin.**

Bilirsiniz ki, əyrixətli hərəkətin ən sadə növü təbiətdə geniş yayılan çevrə üzrə hərəkətdir (bax: Fizika-7, mövzular: 1.6 və 1.7). Öz oxu ətrafında fırlanan Yer səthinin nöqtələri, saat əqrəbindəkəi nöqtələr və s. çevrə üzrə hərəkət edir. Çevrə üzrə hərəkətin öyrənilməsinin mühüm nəzəri-praktik əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, ixtiyari əyrixətli trayektoriya müxtəlif radiuslu çevrələrin qövsələrinin cəmi kimi təsəvvür edilə bilər (a).

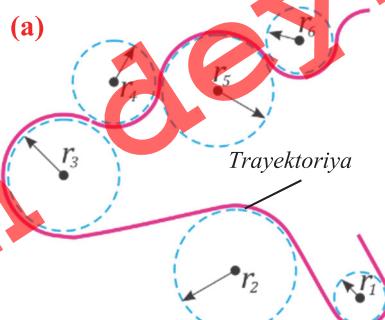
Çevrə üzrə hərəkətin ən sadə növü bərabərsürətli hərəkətdir.

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

**Dövretmə periodu.** Dövretmə periodu – maddi nöqtənin çevrə üzrə tam bir dövrünə sərf etdiyi zamanıdır:

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

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:

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

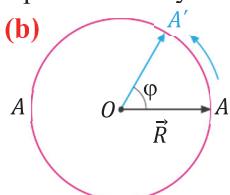
Burada  $v$  – dövretmə tezliyidir (bəzən  $\omega$ ,  $n$  hərfi ilə ifadə olunur). Dövretmə tezliyinin BS-də vahidi saniyədə birdir:

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

Dövretmə periodu ilə dövretmə tezliyi qarşılıqlı tərs kəmiyyətlərdür:

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

Bu o deməkdir ki, dövretmə tezliyi nə qədər kiçikdirse, dövretmə periodu bir o qədər dəfə böyükdür və ya əksinə.



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

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

Burada  $\varphi$  – dönmə bucağı,  $l$  – dönmə bucağına uyğun qövsün uzunluğu,  $R$  – çevrənin radiusudur. Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən nöqtənin radius-vektorunun bərabər zaman fasıllarında 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 çizdiyi qövsün uzunluğu çevrənin radiusuna bərabər olsun ( $l=R$ ).

**Bucaq sürəti.** Bucaq sürəti – dönmə bucağının bu dönməyə sərf olunan zamana nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir:

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

Burada  $\omega$  – 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 bərabər sürətli 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:

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

**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 traiyektoriyanın istənilən nöqtəsində çəvrəyə toxunan istiqamətdə yönəlir (c).

Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə xətti sürət ədədi qiymətcə gedilən yolun bu yolu getməyə sərf olunan zamana nisbətinə bərabərdir:

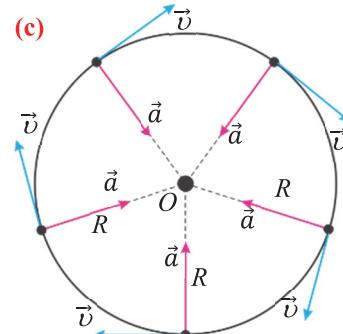
$$v = \frac{l}{t}.$$

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

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

**Mərkəzəqaçma təcili.** Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə xətti sürətin istiqamətinin dəyişmə yeyinliyi *mərkəzəqaçma təcili* və ya *normal təcil* adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə olunur. *Mərkəzəqaçma təcili* və ya *normal təcil* vektoru traiyektoriyanın *hər bir nöqtəsində radius boyunca çəvrənin mərkəzinə doğru yönəlir* (bax: c). Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən maddi nöqtənin *mərkəzəqaçma təcili*nin modulu xətti sürət kvadratının çəvrənin radiusuna nisbətinə bərabərdir:

$$a = \frac{v^2}{R}.$$



### Tətbiqetmə

**İsbat edə bilərsinizmi?**

*İsbat edin ki:*

1) Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə xətti sürətlə tezlik aşağıdakı düsturla əlaqəlidir:

$$v = 2\pi r V.$$

2) Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə mərkəzəqaçma təcili dövretmə periodu, tezliyi və dövrlərin sayı ilə aşağıdakı düsturlarla əlaqəlidir:

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}; \quad a = 4\pi^2 r^2 V, \quad a = \frac{4\pi^2 N^2}{t^2} R.$$

3) Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə mərkəzəqaçma təcili bucaq sürəti və xətti sürətlə aşağıdakı düsturlarla əlaqəlidir:

$$a = \omega v.$$

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən maddi nöqtənin xətti sürətinin çəvrənin radiusundan, dövretmə periodu və tezliyindən asılılıq qrafiklərini qurun.
- Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət edən maddi nöqtənin mərkəzəqaçma təcili modulu çəvrənin radiusundan, dövretmə periodu və tezliyindən asılılıq qrafiklərini qurun.

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

- Qol saatının saniyə əqrəbinin uzunluğu 2 sm, dəqiqliq əqrəbinin uzunluğu isə 1,5 sm-dir. Hansı əqrəbin ucunun mərkəzəqaçma təcilinin modulu daha böyükdür və bu fərqli nə qədərdir?
- Həyatınızda çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətə harada rast gəlmisiniz? Onların dövretmə periodu və tezliyi haqqında nə deyə bilərsiniz?

**Özünüzü qiymətləndirin:**

- Dərsdə hansı anlayış və kəmiyyətləri təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Nə üçün çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətdə təcil mərkəzəqaçma və ya normal təcil adlanır?
- Günəş ətrafında dövr edən Yerin mərkəzəqaçma təcilinin modulunu hesablayın (Yer orbitini radiusu  $R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$  olan çevrə qəbul edin).
- Yer kürəsi Günəş ətrafında hansı xətti sürətlə dövr edir (Yer orbitini radiusu  $R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$  olan çevrə qəbul edin)?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Verilən anlayış və kəmiyyətlərə tərif yazın: “dönmə bucağı”, “bucaq sürəti”, “xətti sürət”, “mərkəzəqaçma təcili”, “dövretmə periodu”, “dövretmə tezliyi”.

- LAYİHƏ •** Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkətin “ANLAYIŞLAR XƏRİTƏSİ” Nİ qurun.

**1.1.** N maddi nöqtəsinin XOY məstəvisində koordinatlarını təyin edin: nöqtənin radius-vektorunu OX oxu ilə  $30^\circ$  bucaq təşkil edir, onun modulu isə 5 m-dir.

**1.2.** M maddi nöqtəsinin koordinatları  $x_M = 1 \text{ m}$  və  $y_M = 1,5 \text{ m}$ , N nöqtəsinin koordinatları isə  $x_N = 3 \text{ m}$  və  $y_N = -2 \text{ m}$ -dir.

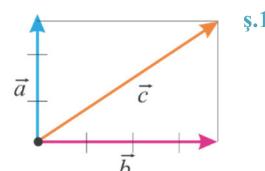
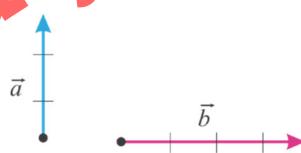
*Təyin edin:*

- M və N nöqtələrini birləşdirən vektorun modulunu;
- bu vektorun OX və OY oxları üzərindəki proyeksiyasını;
- onun OX oxu ilə əmələ gətirdiyi bucağı.

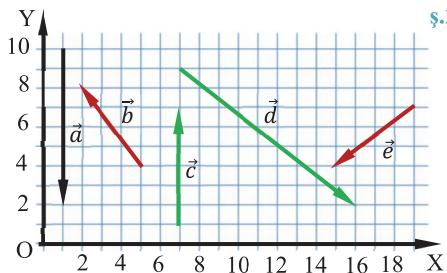
**1.3.**  $\vec{a}$  və  $\vec{b}$  vektorları qarşılıqlı perpendikulyardır ([§.1](#)).

*Təyin edin:*

- əvəzləyici vektoru;
- vektorların cəmi.

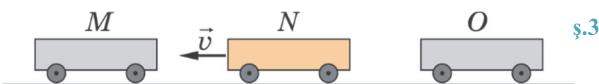


- 1.4.** Şekildə təsvir edilən vektorların OX və OY koordinat oxları üzərində proyeksiyalarını müəyyən edin ([§.2](#)).

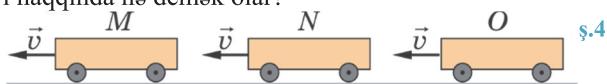


- 1.5.** İdmançı qaçaraq radiusu 60 m olan dairəvi trayektoriya üzrə 10 dövr etdi. İdmançının getdiyi yolu təyin edin. Onun yerdəyişməsinin modulu nəyə bərabərdir ( $\pi = 3$ )?

- 1.6.** Uzunluğu 8 sm olan saatın saat əqrabının üç nöqtəsinin  $t_1 = 3$  saat,  $t_2 = 6$  saat,  $t_3 = 9$  saat,  $t_4 = 12$  saat zaman fasılələrinə uyğun getdiyi yolu və yerdəyişməsinin modulunu təyin edin ( $\pi = 3$ ).
- 1.7.** N arabacığı yerə nəzərən hərəkətdə, M və O arabacıqları isə süküntədərdir ([§.3](#)). Hesablama sistemi N arabacığı ilə əlaqədar olarsa, bu sistemə görə M və O arabacıqlarının vəziyyətləri haqqında nə demək olar?



- 1.8.** M, N və O arabacıqlarının hər üçü eyni istiqamətdə və eyni sürətlə hərəkət edir ([§.4](#)). Hesablama sistemi N arabacığı ilə əlaqədar olarsa, bu sistemə görə M və O arabacıqlarının vəziyyətləri haqqında nə demək olar?



- 1.9.** Velosipedçi 10 m/san sabit sürətlə əvvəlcə 3 km şimala, sonra isə 4 km şərqə hərəkət etdi. Təyin edin: a) velosipedçinin bütün yola sərf etdiyi vaxtı; b) onun yerdəyişməsinin modulunu.

- 1.10.** Sürət modulunun verilən qiymətlərini  $\frac{m}{san}$ -yə çeviririn:

$$v_1 = 180 \frac{\text{km}}{\text{saat}}; v_2 = 2,4 \frac{\text{km}}{\text{dəq}}; v_3 = 16 \frac{\text{km}}{\text{san}}; v_4 = 120 \frac{\text{sm}}{\text{san}}.$$

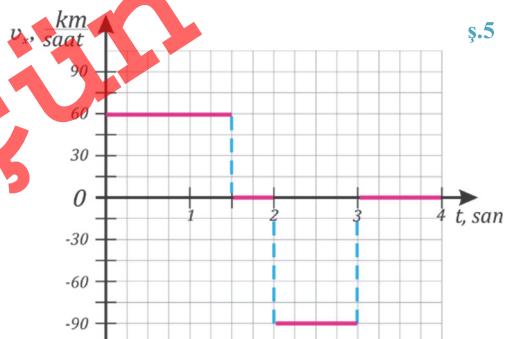
- 1.11.** Futbolçu meydanda sabit  $v = 5 \frac{m}{san}$  sürəti ilə əvvəlcə cənuba  $l_1 = 20$  m, sonra qərbdə  $l_2 = 40$  m, daha sonra isə şimala  $l_3 = 30$  m qəcdi.

Təyin edin: a) futbolçunun qaçlığı ümumi yolu; b) onun yerdəyişməsinin modulunu; c) başlanğıc vəziyyətinə həmin sürətlə düz xətt boyunca qayitmasına sərf etdiyi müddəti.

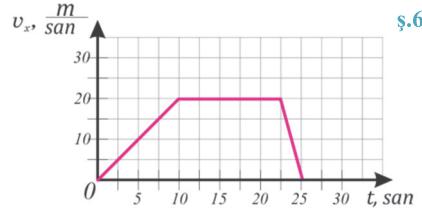
- 1.12.** Şəkildə sürət proyeksiyasının zaman- dan asılılıq qrafiki verilmişdir ([§.5](#)). Qrafikə uyğun gələn hərəkəti təsvir edin.

Təyin edin:

- a) yerdəyişmənin modulunu;  
b) 0 – 4 saat zaman fasıləsində gedilən yolu;  
c) təcəlin modulunu.



- 1.13.** Helikopter Bakıdan “Neft daşları”na uçur. Onun havaya nəzərən hərəkət sürətinin modulu  $v_1 = 108 \text{ km/saat}$ -dir. Heliokopterin hərəkətinin əksi istiqamətində əsən küləyin sürətinin modulu  $v_2 = 10 \text{ m/san}$ -dir.
- Təyin edin:*
- helikopterin Yerə nəzərən sürətinin modulunu;
  - 30 dəq müddətindəki Yerə nəzərən yerdəyişməsini. Hərəkətin sxemini çəkin.
- 1.14.** Əvvəlki məsələni küləyin əsmə istiqamətinin helikopterin hərəkət istiqamətinə perpendikulyar olduğu hal üçün həll edin. Hərəkətin sxemini çəkin.
- 1.15.** Stansiyaya yaxınlaşan qatar 2 dəq ərzində sürətinin modulunu  $v_1 = 72 \text{ km/saat}$ -dan sıfır qədər dəyişdi. Qatarın təcilinin istiqamətini və modulunu təyin edin.
- 1.16.** Avtomobilin düzxətti hərəkətini sürətin proyeksiyası – zaman qrafikinə əsasən təyin edin (§.6), onun:
- $t_1 = 5 \text{ san}$ ,  $t_2 = 18 \text{ san}$   
və  $t_3 = 22,5 \text{ san}$  anlarına uyğun sürətini;
  - bütün yolda orta sürətini;
  - 15-ci saniyənin sonunda təcilinin proyeksiyasını.
- 1.17.** Daş 10 m hündürlükdən şaqli yuxarı  $30 \frac{\text{m}}{\text{san}}$  başlangıç sürətlə atılır. Daşın 4 san müddətində yol və yerdəyişməsini təyin edin (havanın müqaviməti nəzərə alınmır;  $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{san}^2}$ ).
- 1.18.** Quyuya buraxılan daş onun dibinə 4 san-yə çatır.
- Təyin edin:*
- quyunun dərinliyini;
  - quyunun dibinə çatan andaki sürətini (havanın müqaviməti nəzərə alınmır;  $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{san}^2}$ ).
- 1.19.** Motosikletçi sirkdə radiusu 4 m olan silindrik formalı divar boyunca fırlanma hərəkəti edir (§.7. yuxarıdan görünüşü). Motosikletçinin mərkəzəqaçma təcilinin  $25 \frac{\text{m}}{\text{san}^2}$  olduğunu bilərək onun xətti və bucaq sürətlərini təyin edin.
- 1.20.** Velosipedin təkərinin diametri 0,5 m-dir. Təkərin fırlanma tezliyi nə qədər olmalıdır ki, velosipedçinin sürəti  $10 \frac{\text{m}}{\text{san}}$  olsun ( $\pi = 3$ )?



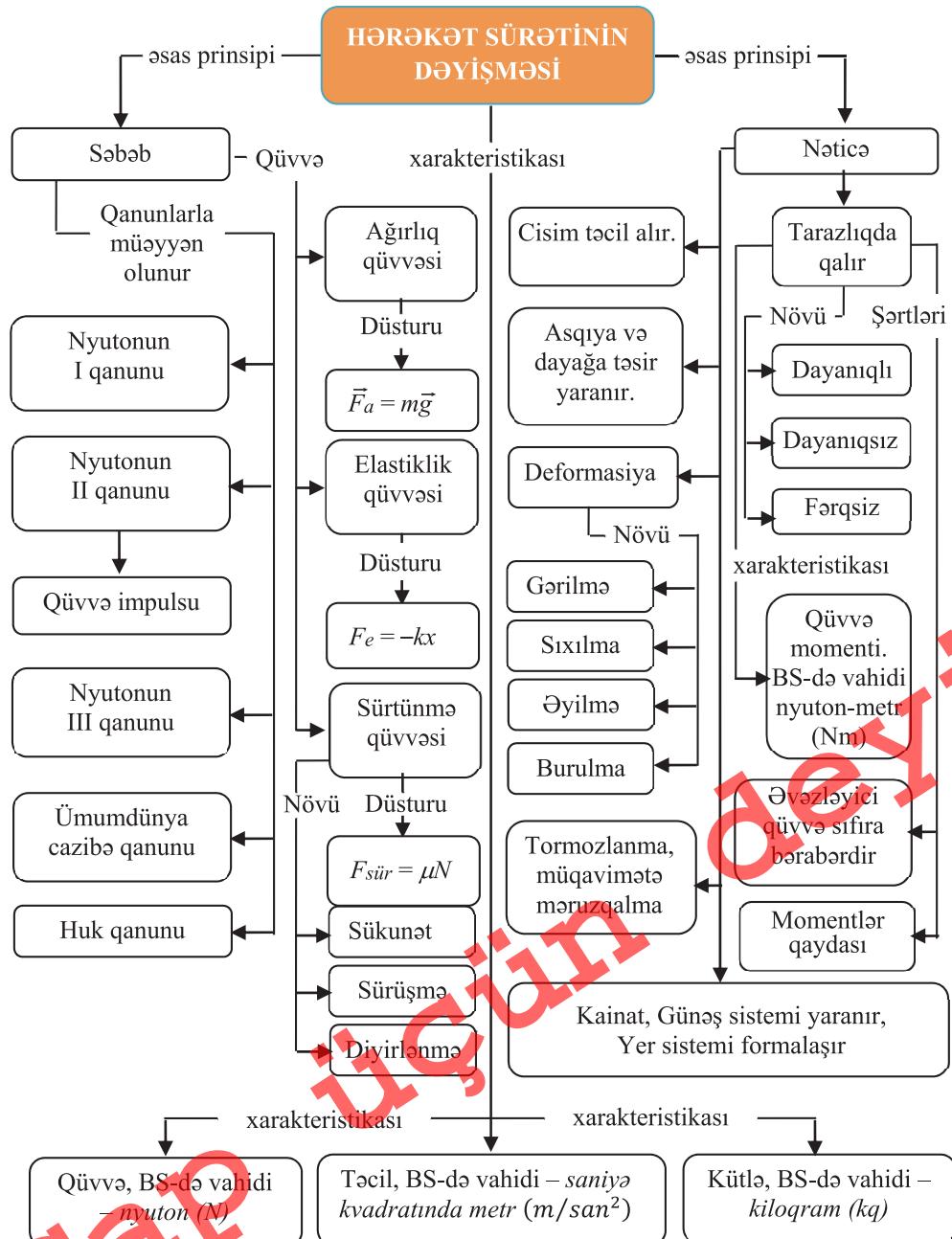
# DİNAMİKANIN ƏSASLARI

Siz bu fəslin materiallarını mənimsəməklə  
**BACARACAQSINIZ:**

- cismin sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olma halının səbəbini izah etməyi, bu hadisələrə aid sadə təcrübələr nümayış etməyi;
- cismin sürətinin dəyişməsinin səbəbini şərh etməyi və onu təcrübələrlə əsaslandırmağı;
- dinamikanın əsas qanunlarını sözlə ifade etməyi, düsturlarını yazmağı və bu qanunlardan çıxan nəticələri ümumiləşdirməyi;
- hərəkətin dinamik tənliklərini kinematik tənliklərdən fərqləndirməyi;
- Nyuton qanunlarının tətbiqinə aid kəmiyyət və keyfiyyət xarakterli məsələlər qurmağı və həll etməyi;
- Günəş sisteminin yaranması, Yer kürəsinin səthində cisimlərin mövcudluğunu səbəbini izah etməyi;
- cismin tarazlıq şərtlərini sözlə ifade etməyi, təcrübələrlə əsaslandırmağı, həyatda tətbiq etməyi;
- qüvvələri fərqləndirməyi: tətbiq nöqtəsi, istiqaməti, asılı olduğu kəmiyyətləri düsturda və sxemdə göstərməyi;
- mexaniki hərəkəti dəyişən səbəbləri, onun növlərini gündəlik həyatla əlaqələndirməyi, rast gəldiyiniz hadisələrin səbəbini anlayıb uyğun cihaz və mexanizmlərin quruluş və iş prinsiplərindəki tətbiqlərinə misallar söyləməyi.

## II

### Feslin "Anlayışlar xəritəsi"



**2.1**

## DİNAMİKANIN ƏSAS MƏSƏLƏSİ. QÜVVƏ. ƏVƏZLƏYİCİ QÜVVƏ. KÜTLƏ

Bilirsiniz ki, ixtiyari cismin hərəkət süretinin dəyişməsinə səbəb onun başqa cisimlərlə qarşılıqlı təsirdə olmalıdır (bax: *Fizika-7*).

- Cismin sükunətdə olması və ya bərabərsürətli hərəkət etməsi üçün ona başqa cisimlər müəyyən qüvvə ilə təsir etməlidirmi?
- Cismin bərabərtəcilli hərəkət etməsi üçün o, başqa cisimlərlə qarşılıqlı təsirdə olmalıdır mı?
- Cismin vəziyyətinin dəyişməsində onun hansı xassəsi mühüm rol oynaya bilər?
- Əgər cisim eyni zamanda bir neçə qüvvənin təsiri altındadırsa, onun vəziyyətinin dəyişib-dəyişmədiyini necə müəyyən etmək olar?

## Araşdırma

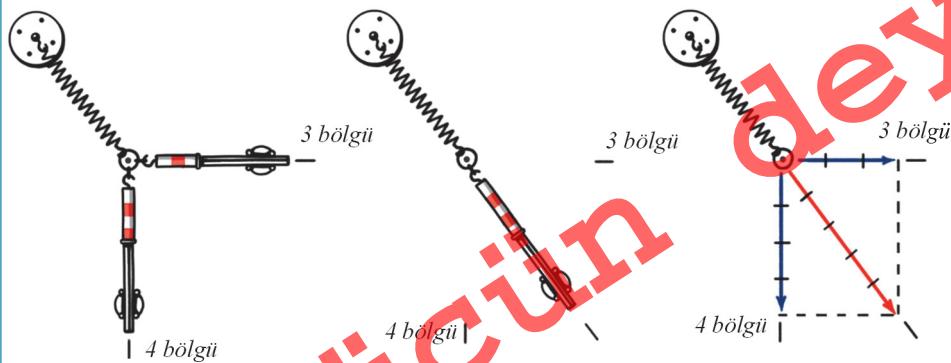
**1** Qüvvələrin əvəzlənməsi nə deməkdir?

Təchizat: "Statikaya aid cihazlar" dəsti, marker, xətkəş.

**İşin gedisi.**

1. "Statikaya aid cihazlar" dəstindən götürülən yayın bir ucu maqnit tutqacla metal lovhəyə bərkidilir. Yayın sərbəst ucundakı halqa iki dinamometrlə elə dərtlər ki, onlar bir-biri ilə düzbucaq təşkil etməklə uyğun olaraq 3 və 4 bölgülərini göstərsin (a).
2. Halqanın son vəziyyətini nöqtə, dinamometrlərin vəziyyətlərini isə ştrixlərlə işaretləyin.
3. Dinamometrin birini uzaqlaşdırın, digərini isə elə dərtin ki, halqa işaretlədiyiniz nöqtə ilə üst-üstə düşsün. Lövhədə dinamometrin yeni vəziyyətini ştrixlə qeyd edin.
4. Dinamometri uzaqlaşdırın və halqanın vəziyyətini işaretlədiyiniz nöqtədən üç ştrixdən keçən düz xətlər çəkin. Bu xətlər üzərində dinamometrlərin göstəricilərinə uyğun bərabərbölgülü üç vektor qurun.
5. Vektorlar üzərində əməllərdən istifadə edərək əvəzləyici vektoru, onun istiqamət və modulunu düzgün müəyyənləşdiriyinizi yoxlayın.

(a)



**Nəticənin müzakirəsi:**

- Əvəzləyici qüvvə hansı qüvvələrin toplanmasından alındı və onun modulu neçə bölgüyü bərabərdir?
- Əvəzləyici qüvvənin modulunu riyazi olaraq hansı düsturla təyin etmək olar? Bu düsturdan aldığınız qiymət eksperimentdəki nəticə ilə nə dərəcədə uyğundur?

Siz “Kinematika” fəslinin dərs materiallarını öyrənməklə bərabərsürətli hərəkəti bərabərcili 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 miqdara ifadə edir. *Müəyyən bir qüvvədən danışıldığda aydın təsəvvür olunmalıdır ki:*

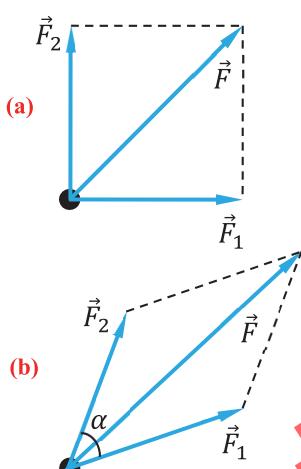
- *bu qüvvə hansı cismə təsir edir, yaxud hansı cismə tətbiq olunur?*
- *əgər cisim müəyyən ölçüyə malikdirsə, qüvvə onun hansı nöqtəsinə tətbiq olunur?*
- *o hansı cismin təsirini xarakterizə edir?*
- *bu qüvvə hansı xətt boyunca və necə yönəlmüşdür?*
- *onun modulu nəyə bərabərdir?*

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  $\vec{F}$  qüvvə vektoru ilə əvəzlənə bilər (a). Bu qüvvənin modulu:  $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ .



Əgər cismə təsir edən  $\vec{F}_1$  və  $\vec{F}_2$  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 nisbətinə bərabərdir* (bax: *Fizika-7*, s.38):

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

Cismən təcili ilə kütləsi arasındakı bu münasibət kütlənin təyini üsullarından biridir. Belə ki, ixtiyari cismin kütləsini təyin etmək üçün əvvəlcə kütlə yahidi – 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. Bu halda həmin cisimlərin təcilləri ilə kütlələri arasındakı münasibətdən naməlum kütlə təyin edilir:

$$\frac{a_{et}}{a_c} = \frac{m_c}{m_{et}} \rightarrow m_c = m_{et} \cdot \frac{a_{et}}{a_c}.$$

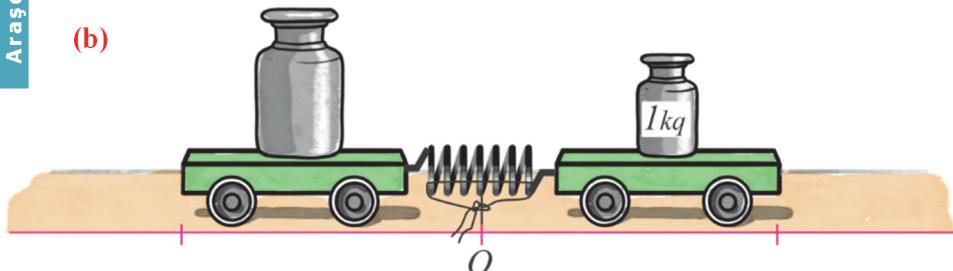
## Araşdırma 2

### Tətbiqetmə

#### Kütlənin təyini

**Təchizat:** arabacıq (2 ad.), etalon kütlə (1 kq-lıq çəki daşı), tədqiq olunan cisim (2 və ya 3 kq-lıq çəki daşı), nümayiş xətkeşi (1 m), saniyəölçən, yay, sap, alışqan, marker.

(b)



**İşin gedisi:**

- Üzərlərində 1 kq (şərti olaraq etalon qəbul edilən kütlə) və 2 kq çəki daşı qoyulmuş iki arabacıq müstəvi hamar səthdə qarşı-qarşıya yerləşdirin. Arabacıqlar arasında sıxlıq sapla bağlanmış yay yerləşdirin və "0" nöqtəsini qeyd edin.
- Sapı yandırın və eyni anda saniyəölçəni işə salın. Arabacıqların müəyyən  $t$  zaman fasiləsindəki yerdəyişmələrinin proyeksiyalarını (gedilən yolu) xətkeşlə ölçün və təcilləri hərəkətin kinematik tənliyindən hesablayın:

$$s = \frac{at^2}{2} \rightarrow a = \frac{2s}{t^2}.$$

- Qarşılıqlı təsirdə olan iki cisim təcilləri ilə kütlələri arasındakı ifadədən axtarılan kütləni müəyyən edin (kütlə üçün alınan qiymətin 2 kq və ya 3 kq olub-olmadığını yoxlayın).
- Bütün nəticələri 2.1 cədvəlində yazın.

*Cədvəl 2.1*

Nº	$m_{et}, \text{kq}$	$s_c, \text{m}$	$s_{et}, \text{m}$	$a_c, \frac{\text{m}}{\text{san}^2}$	$a_{et}, \frac{\text{m}}{\text{san}^2}$	$t, \text{san}$	$m_c, \text{kq}$
1	1 kq						(2 kq)
2	1 kq						(3 kq)

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Arabacıqların aldıqları təcillər onlara hansı əvəzloyıcı qüvvənin təsirinin nəticəsidir? Bu qüvvələrin tətbiq nöqtələrini istiqamətlərini sxematik göstərə bilərsinizmi?
- Arabacıqlara daha hansı qüvvələr təsir edir, onlardan hansılar bir-birinin təsirini tarazlaşdırır, bu qüvvələri sxematik göstərə bilərsinizmi?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin böyük (və ya kiçik) təcil almalarında kütlənin mühüm rol oynadığına aid müşahidə etdiyiniz hansı hadisəni misal göstərə bilərsiniz?

### Özünüzü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Dinamika kinematikadan nə ilə fərqlənir?
3. Cisimlər arasında qarşılıqlı təsir hansı fiziki kəmiyyətlə xarakterizə olunur?
4. Cismə təsir edən qüvvəni müəyyənləşdirmək onun haqqında nəyi bilmək deməkdir? Cavabınızı əsaslandırın.
5. Cismə təsir edən bütün qüvvələrin əvəzləyici nə deməkdir?
6. Cisinin təcili almasında kütlə nə kimi rola malikdir?

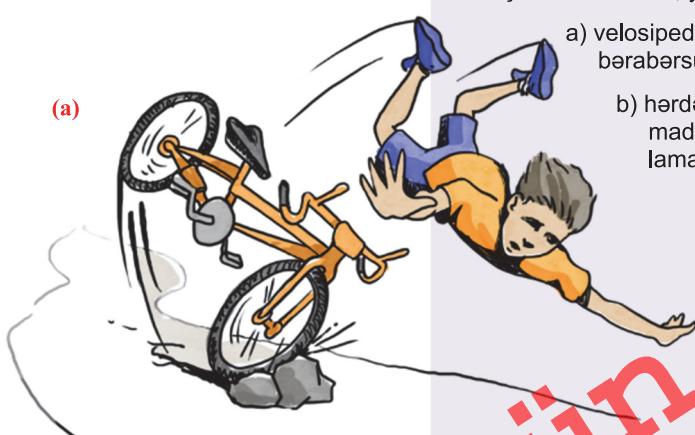
### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “dinamika”, “dinamikanın əsas məsələsi”, “qüvvə”, “əvəzləyici qüvvə”, “dinamikada təcili”, “kütlə”.

## 2.2

### ƏTALƏTLƏ HƏRƏKƏT: NYUTONUN I QANUNU

Yay tətilində aşağıdakı hadisələri, yəqin ki, ya müşahidə etmişiniz, yaxud da özünüz yaşamışınız:



(a)

a) velosipedçi düzxətli yolda velosipedi bərabərsürətlə sürür;

b) hərdən o, ayaqlarını yerə qoymadan velosipedi sükunətdə saxlamağa çalışır;

c) velosipedçi dikkətsizlik səbabından təkinin daşa dəydini görür və o, qəfil dayanan velosipedin üzərindən aşaraq yerə yığılır (a).

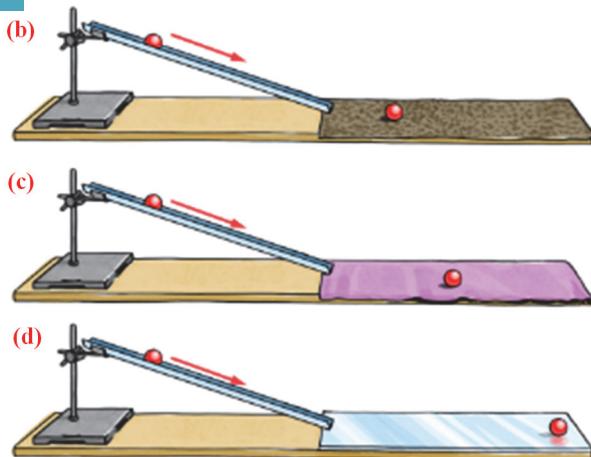
- Velosipedçinin düzxətli yolda bərabərsürətlə hərəkət etməsinə səbəb nədir?
- Velosipedçinin ayaqlarını yerə qoymadan velosipedin üzərində öz tarazlığını saxlaya bilməsinə səbəb nədir?
- Velosipedçi nə üçün qəfil dayanan velosipedin üzərindən onun hərəkəti istiqamətində aşır?

## Araşdırma

**1 Nə üçün fərqli yerdəyişmələr icra olundu?**

**Təchizat:** Qaliley novu, metal kürəcik, üzvi şüşə lövhə, kobud sumbata kağızı (12–16 sayılı), çit parça, mufta və tutqacılı ştativ.

**İşin gedisi:** Novu mailliyi  $30^\circ$  olmaqla ştativ bərkidin. Kürəciyi yuxarıdan buraxıb onun üfüqi səth üzrə sonrakı hərəkətini üç halda müşahidə edin və hadisələrin səbəbi üzərində düşünün:



**I hal:** sumbata kağız döşənən üfüqi səthdə hərəkətini (**b**);

**II hal:** çit parça döşənən üfüqi səthdə hərəkətini (**c**);

**III hal:** şüşə lövhənin üfüqi səthində hərəkətini (**d**).

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Kürəcik hansı səthdə sürətini, demək olar, saxladı, hansında itirdi? Nə üçün?

Dinamikanın əsasını İ.Nyutonun üç qanunu təşkil edir. Bu qanunlar çoxsaylı müşahidə və eksperimentlərin ümumiləşdirilməsinin nəticəsidir. İlk təcrubi ümumiləşməni XVII əsrə yaşmış Q.Qaliley etmişdir. O sizin apardığınız araşdırımaya bənzər eksperimentlər nəticəsində *ətalət prinsipini* formalasdırılmışdır:

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

## Araşdırma

**2 Hansı qüvvələr bir-birinin təsirini tarazlaşdırır?**

**Məsələ.** Şəkildə üç cisim təsvir edilmişdir: sapdan asılıraq süküntədə olan kürəcik (**e**), bərabərsürətlə uçan helikopter (**f**) və üfüqi yolda düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən velosipedçi (**g**). Onların hər biri ayrılıqda hansı cisimlərlə qarşılaşlı təsirdədir? Bu təsir qüvvələrini sxematik göstərə bilərsinizmi (sadəlik üçün bütün qüvvələrin tətbiq nöqtəsini cismin mərkəzinə sürüşdürüñ)?

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Cisin süküntədə olmasının və ya bərabərsürətli hərəkət etməsinin səbəbi nədir?
- Cismə təsir edən hansı qüvvələr bir-birinin təsirini kompensasiya edir?

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

- *Elə hesablama 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 ödənildiyi bu hesablama sistemi *ətalət hesablama sistemi* (və ya *inersial hesablama sistemi*) adlanır. Yerə nəzərən sükunətdə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olan sistemlərə təqribən ətalət hesablama sistemləri kimi baxıla bilər. Məsələn, düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən lokomotivlə bağlı hesablama sistemi ətalət hesablama sistemi qəbul oluna bilər.

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

3

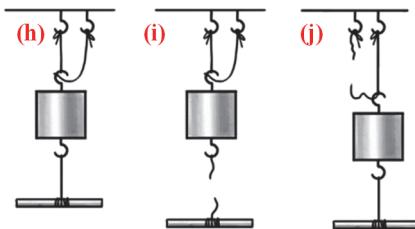
### Tətbiqetmə

#### Sap na üçün müxtalif yerlərdən qırıldı?

**Təchizat:** iki tərəfindən qarmağı olan 1 kq-lıq metal silindr, sap, ştativ, dəstək.

**İşin gedisi:**

1. Silindri şəkildəki kimi ştativdən asın (h). Eyni şərait yaratmaq məqsədilə silindrin aşağı və yuxarı qarmağına bağlanan sapların eyni uzunluqda olmasına diqqət yetirin. Sap qırılan zaman ağır silindrin düşməsinin qarşısını almaq üçün o, möhkəm qaytanla dayağa bağlanır.



2. Aşağıdakı sapın ilgəyinə keçirilən dəstəkdən tutaraq azca yuxarı qaldırın və birdən aşağı dartın. Bu zaman hansı sapın qırıldığına diqqət yetirin (i).
3. Qırılan sapı yenisi ilə əvəz edin və dəstəyə tətbiq olunan dərti qüvvəsini birdən deyil, tədricən artırmaqla onu yavaş-yavaş aşağı dartın. Bu zaman hansı sapın qırıldığına diqqət yetirin və müşahidə etdiyiniz hadisələrin səbəbi üzərində müzakirələr aparın (j).

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Nə üçün dəstəyi birdən aşağı dardlıqda aşağıdakı sap qırıldı?
- Dəstəyi tədricən, yavaş-yavaş dardlıqda isə silindrin asıldığı yuxarı sap qırılır. Nə üçün?
- Bu eksperimentin Nyutonun I qanunu ilə nə əlaqəsi var?

**İpucu.** Cisin ətalətliliyinin necə meydana çıxdığı, cisimlərin bir-birinə təsiretmə müddətlərinin rolunu nəzərə alın.

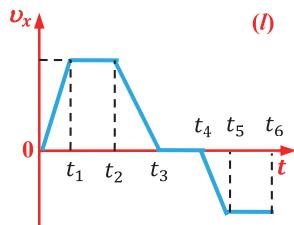
**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Yəqin ki, sirkdə belə bir nömrəni müşahidə etmisiniz: üfüqi uzanan pəhləvanın sinəsi üzərinə ağır zindan (50–60 kq) qoyulur, assistent isə gürzü zərbə zindana vurur (k). Pəhləvan üçün bu zərbələr heç bir təhlükə yaratmır, lakin o, döş qəfəsi üçün ciddi təhlükə yarada bilən bir hadisənin baş verməsindən her zaman qorxub ehtiyat edir. Bu hansı hadisədir?



### Özünüzü qiymətləndirin:

- Dərsdə hansı anlayışları tekrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Nyutonun I qanunu bəzən ətalət qanunu da adlanır, nə üçün?
- Şəkildə cismin sürət proyeksiyası-zaman qrafiki verilmişdir (*I*). Hansı zaman fasiləsində cismə təsir edən qüvvələr bir-birini tarazlaşdırır?



### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan müddəalar haqqında qısa esse yazın: “ətalət prinsipi”, “ətalət hesablama sistemi”, “Nyutonun I qanunu”.

## 2.3

## DİNAMİKANIN ƏSAS QANUNU: NYUTONUN II QANUNU

Yəqin ki, uşaq vaxtı tez-tez yixilmisiniz.

- Hansı səthə yixılmaq daha təhlükəlidir: donmuş torpağın, yoxsa dağınıq qar topasının? Nə üçün?**

Televizorda yanğınsöndürənlərin insanları necə xilas etdiklərini, yəqin ki, dəfələrlə müşahidə etmişiniz.

- Nə üçün tarım çəkilən tentin səthinə bir neçə mərtəbə hündürlükdən atıldıqda insanlar heç bir xəsərə almır?**

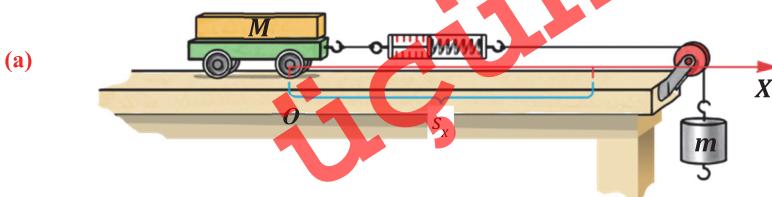
### Araşdırma

#### 1 Təcili və qüvvə arasında hansı asılılıq var?

**Təchizat:** tribometr, blok, sap, tircik, dinamometr, arabacıq, yükler dəsti (1 N-luq), saniyəölçən, tərəzi və çeki daşları.

#### İşin gedisi:

- Tribometri masada üfüqi yerləşdirin. Onun səthinə arabaciğı qoyub içərisində tirciyi yerləşdirin. Dinamometrin bir ucunu arabaciğa birləşdirin, digər ucuna isə sap bağlayıb blokdan aşırın. Sapın açıq ucundan yüksək saniyəölçəni işə salın, aşağıdakı kəmiyyətləri təyin edin və nəticələri 2.2 cədvəlinə yazın (a):
  - arabaciğin müəyyən  $s_x$  yerdəyişməsinə sərf olunan  $t_1$  zaman fasiləsini;
  - dinamometrin göstəricisində əsasən arabaciğa təsir edən  $F_{1x}$  əvəzləyici qüvvəsini.
- Sapın ucundakı yükün qarmağından ikinci yüksək saniyəölçəni işə salın. Arabaciğin eyni  $s_x$  yerdəyişməsinə sərf olunan  $t_2$  zaman fasiləsini və arabaciğa təsir edən  $F_{2x}$  əvəzləyici qüvvənin qiymətini cədvəldə qeyd edin.



- Uyğun ifadələrə əsasən  $a = \frac{s}{t^2}$  düsturundan arabaciğin  $a_{1x}$  və  $a_{2x}$  təcillərini hesablayın.

Cədvəl 2.2

Nö	$s_x, m$	$M, kq$	$m, kq$	$t, san$	$a_x, \frac{m}{san^2}$	$F_x, N$
1	$s_x =$	$M =$	$m_1 =$	$t_1 =$	$a_{1x} =$	$F_{1x} =$
2	$s_x =$	$M =$	$m_2 =$	$t_2 =$	$a_{2x} =$	$F_{2x} =$

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Araşdırmadan arabaciğa təsir edən əvəzləyici qüvvə ilə onun aldığı təcil arasında hansı asılılığı müəyyən etdiniz?

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:

- Ətalat hesablama sistemində cismin aldığı təcil ona təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisi ilə düz, bu cismin kütləsi ilə tərs mütənasibdir:

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

və ya

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

Qanunu belə də ifadə etmək olar: *cismə təsir edən əvəzləyici qüvvə cismin kütləsi ilə təciliinin 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 alsin:  $[F] = [m][a] = 1 \frac{kq \cdot m}{san^2} = 1N$ .

**Qüvvə hərəkət sürətini dəyişən səbəbdür!** 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, alarıq:

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

Burada  $m\vec{v}$  – impuls (və ya hərəkət miqdari) adlanır.

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

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

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

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

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

- Qüvvə ilə onun təsir müddətinin hasilinə qüvvə impulsu deyilir.

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

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

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

Bələliklə, Nyutonun II qanunu dinamikanın mühüm bir faktını ümumiləşdirdi:

- Qüvvənin təsiri hərəkət sürətinin özünü deyil, onun dəyişməsini – təcili doğurur.

### Araşdırma Tətbiqetmə

#### 2 Nyutonun II qanununu yoxlayaq

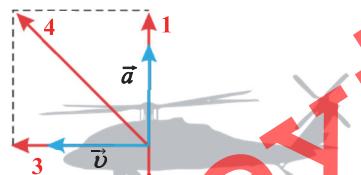
**Məsələ.** Bərabərtəcilli hərəkət edən 5 kq kütləli cisim 3 san müddətində sürətini  $2 \frac{\text{m}}{\text{san}}$ -dən  $4 \frac{\text{m}}{\text{san}}$ -yə dəyişdi. Təyin edin: a) cismin təcili; b) cismə təsir edən əvəzləyici qüvvənin modulunu; c) cismə təsir edən qüvvə impulsunu; d) cismin sürət dəyişməsinin baş verdiyi müddədəki yerdəyişməsini.

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Cismin təcili hansı düsturla təyin etdiniz?
- Cismə təsir edən əvəzləyici qüvvə ona təsir edən qüvvə impulsundan nə ilə fərqlənir?
- Cismin yerdəyişməsini necə təyin etdiniz?

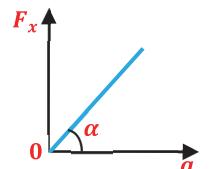
#### Gündəlik həyatınızla əlaqqələndirin:

Şəkildə hərəkətdə olan helikopterin müəyyən andakı təcil və sürətinin istiqamətləri təsvir edilmişdir. Helikopterə təsir edən əvəzləyici qüvvə və qüvvə impulsunun istiqamətini təyin edin.



#### Özünüzü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Nyutonun II qanununun  $m\vec{a} = \vec{F}$  dəstərinə istinad etməklə cismə təsir edən əvəzləyici qüvvənin onun kütləsindən və təcildən asılı olduğunu söyləmək olarmı? Nə üçün?
3. Əgər cismə eyni zamanda dörd qüvvə  $-\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  və  $\vec{F}_4$  qüvvələri təsir edərsə, Nyutonun II qanunu necə yazılar?
4. Cismin sürətinin istiqaməti ona təsir edən əvəzləyici qüvvənin təsir istiqamətinin əksinə ola bilərmə? Cavabınızı misallarla əsaslandırın.
5. Şəkildə verilən əvəzləyici qüvvə proyeksiyası-təcil proyeksiyası qrafikində  $\alpha$  bucağının tangensini nəyi ifadə edir?



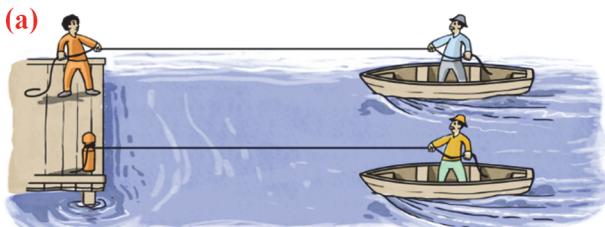
### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “cismin təcillərinin nisbəti ...”, “Nyutonun II qanunu”, “impuls”, “qüvvə impulsu”, “1 nyuton”, “cismə təsir edən əvəzləyici qüvvə”.

## 2.4

## TƏSİR VƏ ƏKS TƏSİR: NYUTONUN III QANUNU

Sahilə iki eyni qayıq yan alır: bu-na qayıççılar kəndirin dərtmaqla nail olurlar. Belə ki, birinci qayıq bir ucu sahildəki dirəyə bağlanmış kəndirin digər ucundan qayıqdakı qayıççı tərəfindən dərtlər. İkinci qayığı kəndirin bir ucundan qayıqdakı qayıççı, digər ucundan isə sahildə duran adam dərtir (a). Hər üç adam eyni qüvvə tətbiq edir.



- Hansı qayıq sahilə daha tez yan alar? Nə üçün?

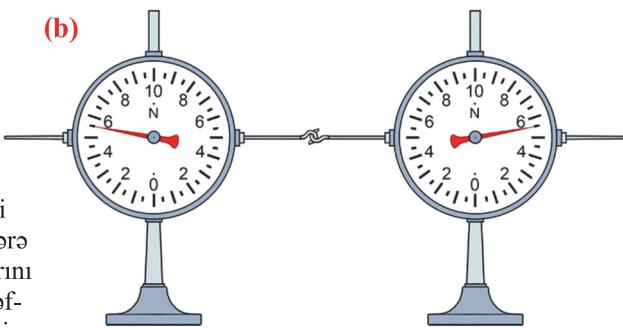
## Araşdırma

**1 Cismin digər cisimlə qarşılıqlı təsirdində ikinci cisimdə nə baş verir?**

Təchizat: nümayiş dinamometri (2 ad.), muftası olan şativ (2 ad.).

**İşin gedisi:** Dinamometrləri oxları üfüqi olmaqla şativlərə bərkidin. Oxların qarmaqlarını birləşdirib şativləri əks tərəflərə dərtin (b). Bu zaman iki hadisəni diqqətlə izleyin:

## (b)



- a) dinamometrlərin göstəricilərini; b) dinamometrlərin əqrəblərinin meyil istiqamətlərini.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Dinamometrlərin bir-birinə təsir etdikləri qüvvələrin modulları haqqında nə deyə bilərsiniz?
- Dinamometrlərin əqrəblərinin meyil istiqamətlərinə əsasən təsir və əks təsir qüvvələrinin istiqamətləri haqqında hansı nəticəyə gəlmək olar?

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 yönəlmüş 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:

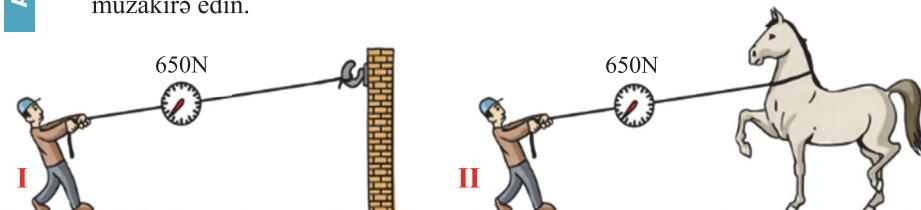
- Cisimlərin qarşılıqlı təsiri zamanı eyni anda yaranan qüvvələr eyni təbiətlidir. Məsələn, iki kürə elastiki toqquşduğda onlar bir-birinə eyni təbiətli (elektromaqnit təbiətli) qüvvə ilə təsir edir.*
- Qarşılıqlı təsir nəticəsində meydana çıxan qüvvələr müxtəlif cisimlərə tətbiq olunur. Ona görə də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

2

### Tətbiqetmə. Hansı müddəə doğrudur?

Məsələ. Şəkildə iki hadisə təsvir edilmişdir:

- Oğlan divara bağlanmış kəndiri dartır. Bu zaman kəndirin üzərindəki dinamometr 650 N qüvvə tətbiq olunduğunu göstərir (I);
- Oğlan atın boynuna bağlanmış kəndiri dartır. Bu zaman həmin kəndirin üzərindəki dinamometr də 650 N qüvvəni göstərir (II). Təsvirləri araşdırıb aşağıdakılari müzakirə edin.



#### Nəticənin müzakirəsi:

- Hansı halda oğlan daha böyük qüvvə tətbiq edir: divara, yoxsa atın boynuna bağlanan kəndiri dardıqdə? Nə üçün?
- Bu hadisələrdə oğlanla divar və oğlanla at arasında yaranan qarşılıqlı təsir qüvvələrinin tətbiq nöqtələrini və istiqamətlərini təsvirdə göstərə bilərsinizmi?

#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

- Yəqin ki, suda üzən balıqları müşahidə etmisiniz: balıq üzgəclərinin köməyi ilə suyu arxaya itələyir və istədiyi istiqamətdə üzür. Balıqla bağlı hesablama sistemindən görə onun üzərindən təmin edən təsir və əks təsir qüvvələri necə yaranır? Bu qüvvələrin hərəkət tətbiq olunduğu, hansı istiqamət yönəldiyi və modulları arasındaki münasibət haqqında nə deyə bilərsiniz?
- Nyutonun III qanununun tətbiqinə aid gündəlik həyatda rast gəldiyiniz hadisələrdən misal göstərə bilərsinizmi?

#### Özünüüzü qiymətləndirin:

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- İki cisimin qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan qüvvələr arasında ümumi və fərqli cəhət nədir?
- Qarşılıqlı təsir nəticəsində yaranan qüvvələr bir-birinin təsirini kompensasiya edə bilərlərmi? Niye?
- Nyutonun III qanunu əvvəlki iki qanunun müəyyən edə bilmədiyi hansı problemi həll etdi?

### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan müddəələr haqqında qısa esse yazın: "Təsir-əks təsir", "Nyutonun III qanunu".

## 2.5

## ÜMUMDÜNYA CAZİBƏ QANUNU

Cədvəldə Güneş sisteminin planet və cırdan (çox kiçik) planetlərinin orbital sürətləri verilmişdir. Bu məlumatları araşdırıldığda asanlıqla görmək olur ki, sistemin Güneşə yaxın göy cisimləri daha böyük orbital sürətlərə malikdir.

- Bele böyük sürətlə hərəkət edən göy cisimləri niyə Güneş sistemini tərk etmir?**

Ay peykinin Yer etrafında orbital sürəti də gündəlik həyatımızda rastlaşıdığımızda sürətlər müqayisədə çox böyündür:  $\approx 3682,8$  km/saat. Lakin bu sürət Yerin Güneş etrafındaki orbital sürətindən dəfələrlə kiçikdir.

- Niyə Ay Yer etrafı orbitdən çıxıb ayrıca cırdan planet kimi Güneş etrafında dövr etmir?**
- Nə üçün biz etrafımızdakı cisimlərin qarşılıqlı cazibəsini hiss etmirik?**

Planet və cırdan planetlər	Orbital sürəti	
	km/san	km/saat
Merkuri	47,87	172 332
Venera	35,02	126 072
Yer	29,78	107 208
Mars	24,13	86 868
Serera	17,88	64 368
Yupiter	13,07	47 052
Saturn	9,69	34 884
Uran	6,81	24 516
Neptun	5,43	19 548
Pluton	4,67	16 812
Haumeaya	4,48	16 128
Makemake	4,41	15 876
Erida	3,44	12 384

Bilirsiniz ki, Kainatdakı kütləyə malik bütün cisim və zərrəciklər – qalaktika ulduzları, Güneş və planetlər, Yer sistemi cisimləri, moleküllər, atomlar və s. bir-birini *cazibə qüvvəsi* (və ya *gravitasiya qüvvəsi*) adlanan qüvvə ilə cəzb edir. İ. Nyuton bu qüvvənin asılı olduğu kəmiyyətləri araşdırıldıqdan sonra onun dünyəvi karakter daşıdığını müəyyən edən qanun – *Ümumdünya cazibə qanunu* formalaşdırdı.

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

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

Burada  $F$  – cazibə (gravitasiya) qüvvəsinin modulu,  $m_1$  və  $m_2$  – maddi nöqtələrin kütlələri,  $r$  – maddi nöqtələr arasındaki məsafə,  $G$  – mütənasiblik əmsali olub, *Ümumdünya cazibə sabiti* və ya sadəcə *gravitasiya sabiti* adlanır.

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

- Gravitasiya sabiti – qiymətcə kütlələri 1 kg, aralarındaki məsafə 1 m olan iki maddi nöqtə arasındaki qarşılıqlı cazibə qüvvəsinə bərabərdir.*

Gravitasiya sabitinin ədədi qiymətini təcrübə 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:

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

Göründüyü kimi, gravitasiya 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.

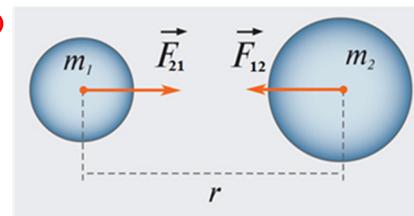
Verilən şəraitdə maddi nöqtə kimi baxıla bilməyən iki ixtiyari cisim arasındaki cazibə qüvvəsi də Ümumdünya cazibə qanununun düsturundan təyin oluna bilər. Bu halda həmin cisimlər maddi nöqtələrin toplusu kimi təsəvvür edilir, iki ixtiyari maddi nöqtə arasındaki qüvvə hesablanır, alınan nəticələr toplanaraq ixtiyari iki cisim arasındaki cazibə qüvvəsi hesablanır. Belə hesablama mürəkkəb riyazi əməliyyatdır, lakin kürə formalı cisimlər arasındaki qarşılıqlı cazibə qüvvəsini hesablamaq üçün cazibə qanunundan istifadə edilir. Burada kürələr arasındaki məsafə olaraq onların mərkəzləri arasındaki məsafə götürülür (a). Odur ki cazibə düsturunu ixtiyari cisimlər Yer arasındaki cazibə qüvvəsinin hesablanması üçün də tətbiq etmək olar. Bu halda cisimlər arasındaki məsafə Yerin mərkəzindən götürülür:  $r = R + h$ . Yer ilə cisim arasındaki 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 cisim mərkəzinə qədərki məsafədir. Yer səthindəki ( $h = 0$ ) cisimlər üçün cazibə qanunu belə yazılır:

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



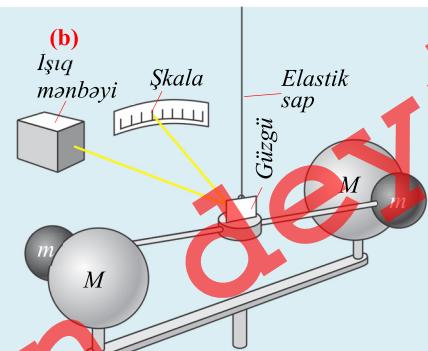
### Qravitasiya sabitinin ölçüməsi.

H.Kavendiş bu məqsədlə *burulma tərəzisindən* istifadə etmişdir. Tərəzinin quruluşu belədir: hər birinin kütləsi  $m = 729 \text{ q}$ , diametri  $5 \text{ sm}$  olan iki qurğuşun kürə  $2 \text{ m}$  uzunluqlu çubuğun uclarına bərkidilir. Çubuq elastik sapdan asılır. Kiçik kürələrin hər birinin yaxınlığında kütləsi  $M = 158 \text{ kg}$  olan böyük qurğuşun kürə yerləşdirilir.

Böyük kürələrin kiçik kürələri cəzb etməsi nəticəsində sap çox kiçik bucaq qədər döñür. Dönmə bucağı işıq mənbəyindən çıxan və sapa bərkidilən müstəvi güzgündən eks olunan işıq şüasının şkalada yerdəyişməsinə görə təyin edilir (b).

Dönmə bucağını bilməklə sapın burulmasından yaranan  $F_{el}$  elastik qüvvəsi təyin edilir. Bu qüvvə kürələr arasındaki cazibə qüvvəsini tarazlaşdırıldığından onun modulu cazibə qüvvəsinin moduluna bərabər olur:  $F_{el} = F_c$ . Beləliklə, alım məlumat ifadələri cazibə qanununun düsturunda yerinə yazımaqla qravitasiya sabiti üçün müasir qiymətə yaxın ifadə almışdır:

$$[G] = \frac{F_c \cdot r^2}{m \cdot M} = 6,754 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}.$$



**Tətbiqetmə**

**Ümumdünya cazibə qanununu tətbiq edə bilirikmi?**

**Məsələ.** Aşağıdakı cədvəllərdə verilən məlumatlar əsasında hansı iki göy cismi arasında cazibə qüvvəsinin modulunun ən böyük və ən kiçik olduğunu təyin edin.

Göy cismi	Göy cisminin kütləsi
A	m
B	4 m
C	2 m
D	3 m

Göy cisimləri arasındaki məsafə		
A cismi	B cismi	C cismi
B	15 R	
C	20 R	5 R
D	10 R	10 R
		25 R

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Cisimlər arasındakı cazibə qüvvəsi nədən asılıdır?
- Hesablamalardan hansı nəticəyə gəldiniz?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Gündəlik həyatda rast gəldiyiniz, televizorda gördüyüünüz və ya eşitdiyiniz hansı hadisələr ümumdünya cazibə qanunu ilə izah olunur?

**Özünüyü qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Yer səthində yaxın məsafələr üçün ( $h \ll R$ ) Ümumdünya cazibə qanunu necə yazılar?
3. Aralarındaki məsafə  $r$  olan  $m_1$  və  $m_2$  kütləli iki göy cismi bir-birinə modulu  $F$  olan qüvvə ilə qarşılıqlı təsir edir. Bu iki göy cismi arasındaki məsafə iki dəfə artarsa, onlar arasındaki cazibə qüvvəsinin modulu neçə  $F$  olar?
4. Kütlələri  $m_1 = 16 kq$  və  $m_2 = 4 kq$  olan iki maddi nöqtənin qarşılıqlı cazibə qüvvələrinin modulları nisbəti  $\frac{F_1}{F_2}$  nəyə bərabərdir? Nə üçün?
5. Yer və Ay bir-birini hansı qüvvə ilə cəzb edir (Yerin kütləsi  $6 \cdot 10^{24} kq$ , Ayın kütləsi isə  $7 \cdot 10^{22} kq$ , onlar arasındaki məsafə 384 000 km-dir)?

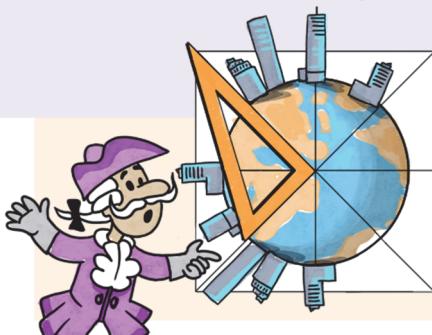
**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan müddəalar haqqında qısa esse yazın: “Ümumdünya cazibə qanunu”, “Ümumdünya qravitasiya sabiti”, “Ümumdünya qravitasiya sabitinin ölçüləməsi”.

## 2.6

## AĞIRLIQ QÜVVƏSİ. QRAVİTASIYA SAHƏSİNİN İNTENSİVLİYİ

Baron Münhauzen özünün "möh-təşəm" kəşfi haqqında elmi məlumat verir: "... apardığım araşdırmalarından müyyən etdim ki, sən demə, bütün binalar Yer səthində Piza qülləsi kimi əyri durur. Bunu adı üçbucaq xətkəşə asanlıqla yoxlamaq olar. Yalnız qütb-lərdə və ekvatoradakı binalar nisbətən düz durub." **Bu "kəşfi" diniyən...**



**Biznesmen –**  
Ola bilməz! Axı Yer bütün binalara cazibe qüvvəsi ilə təsir edir və bu təsir Yerin mərkəzinə yönəlir.



**Mühəndis –**  
Inanılmazdır! Binaların şaqulliliyi taraz aləti ilə yoxlanılır, onlar əyri olsa idi, aşardılar.



**Arif (10-cu sinif şagirdi) –** Mən 100% bilmirəm ki, Yer səthindəki bütün cisimlər, o cümlədən binalara ağırlıq qüvvəsi təsir edir. Bu qüvvə də onlara sərbəstdüsmə təcili verir.

- Sizcə, kimin mülahizəsi doğrudur: baronun, biznesmenin, mühəndisin, yoxsa Arifin?

## Araşdırma

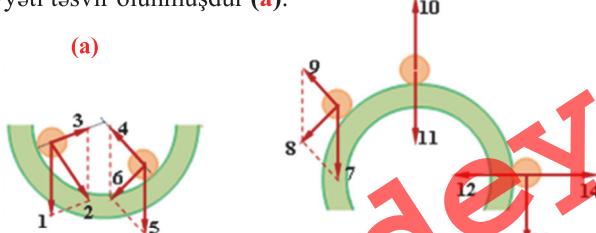
## Ağırlıq qüvvəsi və onun cismə verdiyi təcil hansı istiqamətə yönəlmüşdür?

**Məsələ:** Şəkildə şəhəri yerləşdirilmiş çökük və qabarıq səthlərdə hərəkət edən kürciyin müxtəlif anlardakı vəziyyəti təsvir olunmuşdur (a).

Kürciyə təsir edən ağırlıq qüvvəsi və bu qüvvənin kürciyə verdiyi sərbəstdüsmə təcilinin düzgün istiqaməti hansı rəqəmlərlə işarə edilmişdir?

## Nəticənin müzakirəsi:

- Necə düşünürsünüz, kürciklərin hansı cisimlə cazibə qarşılıqlı təsiri daha böyükdür: Yerlə, Günəşlə, yaxınlıqdakı əşya ilə? Nə üçün?
- Ağırlıq qüvvəsinin meydana gəlməsinə səbəb nədir?
- Ağırlıq qüvvəsi hara tətbiq olunur, hansı istiqamətə yönəlir və modulu nəyə bərabərdir?



Bilirsiniz ki, fizikadan müasir təsəvvürlərə görə, cisimlərarası qarşılıqlı cazibə təsiri materiyanın xüsusi növü olan qravitasiya sahəsi vasitəsilə baş verir (bax: Fizika-6, s.77; Fizika-7, s.40). İstonilonun 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 (cismənin) 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 hesablayaqlı:

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

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

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 mütənasib asılıdır. O, sahəyə gətirilən cismənin kütləsindən asılı deyildir. Qravitasiya sahəsinin intensivliyi sahənin istənilən nöqtəsində radius boyunca sahə mənbəyinin mərkəzinə doğru yönəlir (b).

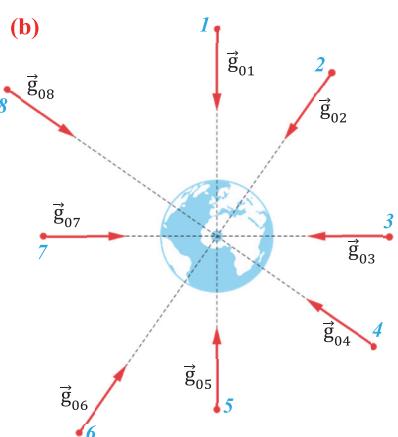
**Qravitasiya sahəsinin verilmiş nöqtəsində sahə intensivliyinin modulu həmin nöqtədə sərbəstdüşmə təcilinin modulu bərabərdir, verilmiş nöqtədə onların istiqamətləri də üst-üstə düşür.**

### Qravitasiya sahəsinin intensivliyi ilə sərbəstdüşmə təcili eyni kəmiyyətlərdirdimi?

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

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

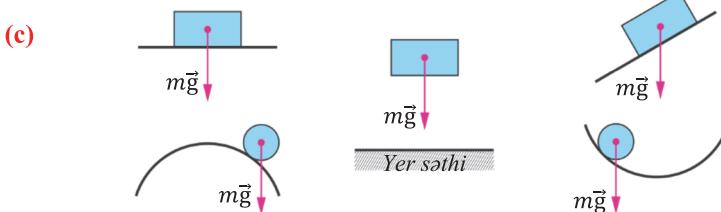
$$\vec{F}_a = m\vec{g}. \quad (2.15)$$



Qravitasiya sahəsinin intensivliyi radius boyunca sahə mənbəyinin mərkəzinə doğru yönəlir.

tirilmiş cismənin kütləsi ilə Yerin bu cismə verdiyi sərbəstdüşmə təcili hasilinə bərabərdir:

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



Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, “gravitasiya sahəsinin intensivliyi” və “sərbəstdüşmə təcili” anlayışları fərqli fiziki məhiyyət kəsb edir. Belə ki, gravitasiya sahəsinin intensivliyi sahənin yaranması ilə yarandığı halda, sərbəstdüşmə təcili yalnız bu sahəyə ixtiyari bir cism (sınaq cismi) götürildikdə ona ağırlıq qüvvəsinin təsiri nəticəsində yaranır.

2

Araşdırma

### Tətbiqetmə

Qravitasiya sahəsinin intensivliyi nədən asılıdır?

**Təchizat:** xətkəş, pərgar.

**İşin gedisi:** Mətndə verilən təsviri araşdırın və Yer kürəsinin qravitasiya sahəsinin intensivliklərinin modulları arasında hansı münasibət olduğunu təyin edin (bax: b).

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Qravitasiya sahəsinin intensivliyi nədən asılıdır?
- “Qravitasiya sahəsinin intensivliyi” və “sərbəstdüşmə təcili” anlayışları arasında ümumi cəhət nədir? Onları fərqləndirən nədir?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Yerdə dəniz və okeanların qabarma və çökilmə hadisələrinin başvermə səbəbini necə izah edərdiniz?

**Özünüzü qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Verilən şəraitdə cismin kütləsini 4 dəfə artırıqda ağırlıq qüvvəsinin bu cismə verdiyi sərbəstdüşmə təciliinin modulu necə dəyişər?
3. Qravitasiya sahəsinin verilən nöqtəsinə götürülen cismin sərbəstdüşmə təcili  $7 \frac{m}{san^2}$ -dir. Həmin nöqtədə sahənin intensivliyinin modulu nəyə bərabərdir?
4. Qravitasiya sahəsinin intensivliyinin məsafədən asılılığı qrafiki nədir? Bu qrafiki təsvir edə bilərsinizmi?

### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “Qravitasiya sahəsinin intensivliyi”, “Qravitasiya sahəsinin intensivliyinin modulu...”, “Ağırlıq qüvvəsi”, “Ağırlıq qüvvəsi bərabərdir...”, “qravitasiya sahəsinin intensivliyi” və “sərbəstdüşmə təcili” anlayışlarının fiziki məhiyyətləri arasında fərq ...

## 2.7

## Çeki və çekisizlik

**Baron Münhauzen**  
tikəcəyi çoxmərtəbəli binanın qeyri-adiliyi haqqında elmi məruzə edir: "...mənim tikəcəyim tərsinə çevrilmiş göydələndə Yerin mərkəzinə yaxınlaşdırıqca çeki azalır. Yerin mərkəzində isə – binanın sakinləri təmamilə çekisizlik halında olacaqlar".  
Bu məlumatı dinləyən...

**Biznesmen** – Düşünürəm ki, Yerin mərkəzində heç bir çekisizlikdən söhbət gedə bilməz.

Əksinə, insanlar orada sonsuz böyük çekiye malik olacaqlar.



**Mühəndis** – Yerin mərkəzinə liftlə düşməyə, yəqin ki, bir neçə gün vaxt sərf olunur.



**Arif**

(10-cu sinif şagirdi) – 100% əminəm ki, cisim Yerin mərkəzinə yaxınlaşdırıqca o, sonsuz böyük qüvvə ilə cəzb olunacaq və insanlar orada əbədi qalacaqlar.



- Sizcə, kimin mülahizəsi doğrudur: baronun, bisnesmenin, mühəndisin, yoxsa Arifin? Cavabınızı əsaslandırın.

1

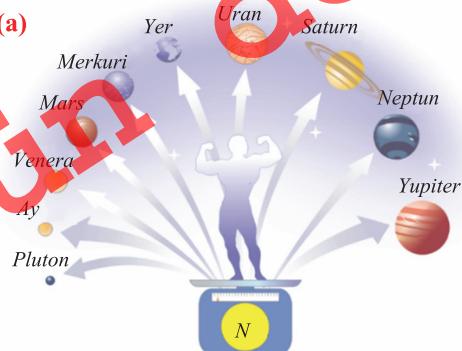
Astronavtin Günəş sistemi cisimlərində çəkisi eynidirmi?

**Məsələ 1.** Kütləsi 70 kq olan astronavtin Yerdə çəkisi 686 N-dur. O, Günəş sistemi cisimlərinin səthindəki tərəziyə çıxarsa, onun çəkisi dəyişəcəkmi (a)? Problemin araşdırılmasında Günəş sistemi cisimlərinin xarakteristikaları cədvəlindeki uyğun məlumatlardan istifadə etmək olar (bax: cədvəl 2.3).

**İpucu.** Bilirsiniz ki, üfüqi səthdə süküntədə olan cismin çəkisi adədi qiymətə bu cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsinə bərabərdir:

$$P = mg \text{ (bax: Fizika-7, s. 49.)}$$

(a)



Araşdırma

Cədvəl 2.3. Günəş sistemi cisimlərinin bəzi xarakteristikası

Günəş sistemi cisimləri	Səthində sərbəst-düşmə təcili ( $m/s^2$ )	Günəşdən olan orta məsafəsi ( $\times 10^6$ km)	Kütləsi ( $\times 10^{24}$ kq)	Ekvatorial diametri (km-lə)
Merkuri	3,7	58	0,33	4 880
Venera	8,8	108	4,8	121
Yer	9,8	150	6	12 756
Mars	3,8	228	0,6	6 800
Yupiter	23,5	778	1 877	142 800
Saturn	11,5	1 426	562	120 660
Uran	9,8	2 869	86	50 800
Neptun	11,6	4 496	102	49 600
Günəş	27,4	—	$\approx 1\ 989\ 000$	$\approx 1\ 392\ 000$
Ay	1,6	—	0,074	3 476

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Astronavtin Günəş sistemi cisimlərinin səthində kütləsi necə dəyişir?
- Hansı göy cisminin səthində astronavtin çəkisi daha böyükdür və ya daha kiçikdir? Nə üçün?

**Çəki.**

• Çəki – Yerin cazibəsi nəticəsində cismin üfüqi dayağı 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 dayaq üzərində sükünatda və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdədirse, 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).

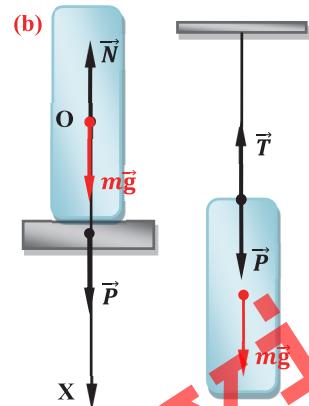
Əgər asqdan asilan cisim sükünatda və ya asqı ilə birləşə düzxətli bərabərsürətli hərəkətdədirse, Nyutonun III qanununa əsasən bu cismin çəkisi onun asıldıği ipə göstərdiyi əks təsir qüvvəsinə  $-\vec{T}$  gərilmə qüvvəsinə modulca bərabər olub, istiqamətcə onun əksinə yönəlir. Gərilmə qüvvəsi də cismin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

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

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

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

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 təciliñin sıfır bərabər olduğunu ( $\vec{a} = 0$ ) nəzərə alsaq, cismin hərəkət tənliyi üçün alarıq:

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

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

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

**Çökünün dəyişdiyi hal.** *Əgər cisim üfüqi dayaqla (və ya asqıyla) birlikdə ə təcili ilə şaquli istiqamətdə hərəkət edirsə, hərəkət istiqamətindən asılı olaraq cismin çökisi ya artar, yaxud da azalar.*

Fərəz edək ki, cisim dayaqla birlikdə ə təcili ilə şaquli yuxarı, ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətinin əksinə hərəkət edir. Cismin hərəkət tənliyinin vektoru şəkildə ifadəsi dəyişmir:

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

Əlverişli olsun deyə koordinat oxunu hərəkət istiqamətində seçib tənliyi həll etək (**c**), alarıq:

$$ma = N - mg. \quad (2.19)$$

Buradan da görünür ki, dayaqla birlikdə ə təcili ilə şaquli yuxarı hərəkət edən cismin çökisi artır. Cismin bu hali əlavə yüksəlmə adlanır:

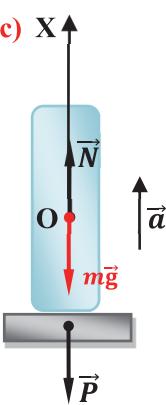
$$N = P = ma + mg = m(a + g). \quad (2.20)$$

Aydındır ki, əgər cisim üfüqi dayaqla birlikdə ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətində ə təcili ilə hərəkət edərsə, onun çökisi azalar:

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

**Çökünün sıfır bərabər olduğu hal – çökisizlik.** *Cisim yalnız gravitasiya qüvvəsinin təsiri ilə hərəkət edərsə, yəni onun təcili sərbəstdüsmə təciliñə bərabər olarsa ( $a = g$ ), cismin çökisi sıfır bərabər olar. Cismin bu hali çökisizlik adlanır:*

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



## 2 Tətbiqetmə

Hansı halda cisim asqıya daha böyük qüvvə ilə təsir edir?

**Məsələ 2.** Sapdan asilan  $m$  kütləli cisim asqıyla birlikdə ə təcili ilə hərəkət edir. Bu cismin çökisini təyin edin: əgər cisim-asqı sistemi:

- ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətində hərəkət edirsə,
- ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətinin əksinə hərəkət edirsə. Hərəkətləri sxemdə təsvir edin, həyanın müqavimətini nəzərə almayıñ.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Cisim-asqı sistemi ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətində hərəkət edirsə, sapın gərilmə qüvvəsinin modulu nəyə bərabərdir?
- Cisim-asqı sistemi ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətinin əksinə hərəkət edirsə, cismin hərəkət tənliyi necə yazılır?

### Gündəlik həyatımızla əlaqələndirin:

Bəzən həyatda belə hadisə ilə üzləşə bilərsiniz: avtomobilə dostonuzun yaşadığı kəndə qonaq gedirsiz. Kənd yolunu kəsən dərin çayın üzərində salınmış üfiqi taxta körpüdən keçmək lazımdır. Yol kənarındaki lövhədə körpünün ən çox 1,3 t kütləyə davam gətirə bildiyi qeyd olunmuşdur. Avtomobilinizin sizinlə və yüksək birlikdə ümumi kütləsi 1300 kq-dır. Avtomobili yüksək qurğusundan körpüdən keçirməyə risk edərsinizmi? Avtomobili hansı sürətlə surmək lazımdır ki, körpü sınmassın? Cavabınızı əsaslandırın.

### Özünüzü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Hansı hallarda çəki və ağırlıq qüvvələri arasında münasibət:
  - a)  $P = mg$ ;
  - b)  $P > mg$ ;
  - c)  $P < mg$ ?
3. İsbat edin ki, cisim üfüqi dayaqla birlikdə ətəcili ilə ağırlıq qüvvəsinin təsiri istiqamətində hərəkət edir, onun çəkisi  $N = P = m(g - a)$  bərabərdir.
4. Hansı hadisədə cisim çəkisizlik halındadır: trampilindən atılıb suya düşməkdə olan idmançı, yerə enməkdə olan paraşütçü, liftlə yuxarı qalxan sərnişin, bal-kondan düşən dibçək, yuxarı atılan top.

### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

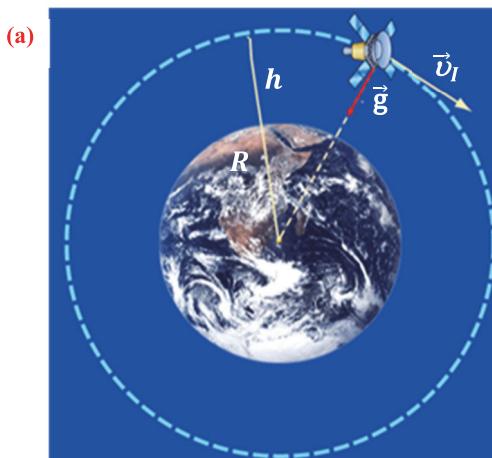
Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “çəki”, “reaksiya qüvvəsi”, “gərilmə qüvvəsi”, “əlavə yüklənmə”, “çəkisizlik”.

Çap üçün deyil

• LAYİHƏ • Süni peyk kosmosa hansı sürətlə çıxarılır?

**Məsələ.** Cismə hansı sürət vermək lazımdır ki, o, kütləsi  $M$ , radiusu  $R$  olan planetin süni peykinə çevirilərək  $h$  hündürlüyündə dairəvi orbit üzrə dövr etsin? Bu sürət verilən planet üçün birinci kosmik sürətdir.

- *Planet səthindənən cismi dairəvi orbit üzrə onun ətrafında hərəkət edən süni peykə çevirmək üçün ona verilən sürət **birinci kosmik sürət** adlanır.*



Verilir	Həlli
Planetin kütləsi – $M$ , planetin radiusu – $R$ , planetin səthindən $h$ hündürlüyündə dairəvi orbitdə hərəkət. $v - ?$	<p><b>İpucu:</b> Məsələni araşdırıldığda hərəkətin xarakteri məlum olur; a) hərəkət trayektoriyası dairəvidir; b) xətti sürət sabitdir. Planetlə süni peykinə arasındaki qarşılıqlı cazibə qüvvəsi peykə mərkəzəqəçmə təcili verir (a). Bu səbəbdən peykin hərəkət tanlıyi belə yazılır:</p> $ma = G \frac{mM}{(R + h)^2} \rightarrow a = G \frac{M}{(R + h)^2},$ <p><math>h</math> hündürlüyündə dairəvi orbit üzrə bərabərsürətli hərəkət edən cismən mərkəzəqəçmə təcili <math>a = \frac{v^2}{R+h}</math> olduğundan, aşağıdakı sistem tənlik alınırlar:</p> $\begin{cases} a = G \frac{M}{(R + h)^2} \\ a = \frac{v^2}{R + h} \end{cases}$ <p>Sistem tənlik <math>v - e</math> görə həll edilərək planet üçün birinci kosmik sürətin düsturu alınır. Bu düsturu ala bilərsinizmi?</p>

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Cismi planetin süni peykinə çevirmək üçün ona verilən birinci kosmik sürət nəyə bərabərdir?
- Birinci kosmik sürət süni peykin kütləsindən necə asılıdır?
- Yer yaxınlığında ( $h \ll R$ ) və Yerdən  $h = 300 \text{ m}$  hündürlüyü üçün birinci kosmik sürətləri hesablayın. Nəzərə alın: Yerin kütləsi  $M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ , radiusu  $R = 6400 \text{ km}$ -dir.

## 2.8 ELASTİKLİK QÜVVƏSİ



Eramızdan əvvəl III əsr də qədim yunanlar müharibələrdə Arximedin hazırladığı *mühəsirə* və *müdafiə* “texnikasından” uğurla istifadə edirdilər.



Arximed texnikasının iş principinə əsaslanaraq XIX əsrin 80-ci illərində Parisin “Frankoni” sirkində ilk dəfə “canlı mərməri” ilə atış açan top nümayiş etdirilməyə başlandı.

Attraksionda heç bir barit və qazdan istifadə olunmurdur, tüstü və səs isə yalnız süni yaradılan effektdən başqa bir şey deyildi.

- Qədim yunan hərbi texnikası və XIX əsr “canlı mərməri” topunun iş principində ümumi cəhət nədir?
- Bu silahlarda “mərmərlərin” daha uzağa atılmasına nəyin hesabına nail oluna bilər?

1

### Qüvvənin yayın uzanmasına nisbəti ilə nəyi təyin etdiniz?

**Təchizat:** dinamometr, yüksək dəstə, xətkeş, tutqac və muftası olan şativ.

**İşin gedisi:**

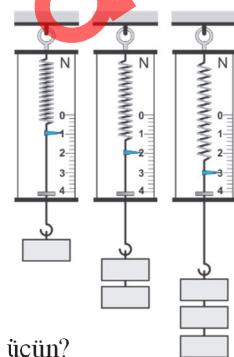
1. Dinamometri şativin tutqacına bərkidib onun əqrəbinin sıfır bölgüsünün üzərində durmasına nail olun.
2. Yayın qarmağından  $m$  kütłeli yük asın. Dinamometrin göstəricisində əsasən  $F_1$  qüvvəsini və xətkeşlə yayın  $x_1$  uzanmasını təyin edin (a). Nəticələri 2.4 cədvəlinin uyğun xanalarında qeyd edin.
3. Dinamometrdəki yüksək ardıcıl olaraq ikinci, üçüncü və dördüncü eyni kütłeli yük asmaqla təcrübəni təkrarlayın:  $F_2, F_3, F_4$  qüvvələrini və onlara uyğun olaraq yayın  $x_2, x_3, x_4$  uzanmalarını təyin edib cədvələ yazın.
4. Təyin etdiyiniz uyğun qiymətlərə əsasən  $\frac{F_1}{x_1}, \frac{F_2}{x_2}, \frac{F_3}{x_3}$  və  $\frac{F_4}{x_4}$  münasibətlərini hesablayın.

Cədvəl 2.4

Nö	Yükə təsir edən qüvvə: $F$ ( $N$ )	Yayın uzanması: $x$ ( $m$ )	$\frac{F}{x}$
1	$F_1 =$	$x_1 =$	
2	$F_2 =$	$x_2 =$	
3	$F_3 =$	$x_3 =$	
4	$F_4 =$	$x_4 =$	

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Siz  $\frac{F}{x}$  nisbəti ilə hansı fiziki kəmiyyəti təyin etdiniz?
- Dinamometrdəki yüksəkləri artırıqca bu nisbət necə dəyişdi? Nə üçün?



**Elektromaqnit təbiətli qüvvələr.** Məlumdur ki, elektrik yükü ilə elektriklənən 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 rabitədə olan bu qüvvələri ayırmak qeyri-mümkündür, çünki onların təsiri eyni zamanda baş verir. Ona görə də deyilir ki, elektriklənmiş cisimlər arasındaki qarşılıqlı təsir *elektromaqnit təbiətli qüvvələrin* təsiri nəticəsində baş verir. Cisimlərin mexaniki hərəkət sürətlərinin dəyişdirilməsinə səbəb olan qüvvələrdən ikisi – elastiklik və sürtünmə qüvvələri də elektromaqnit təbiətli qüvvələrdir.

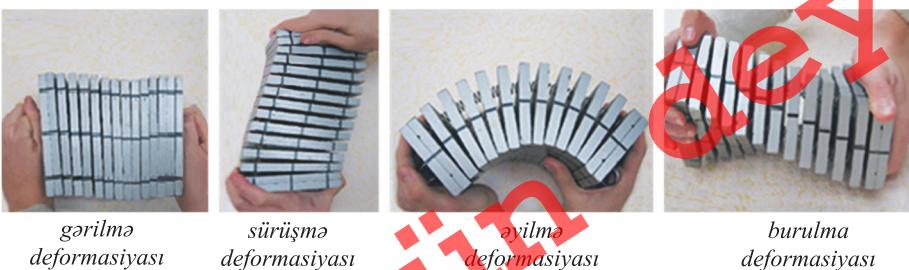
**Elastiklik qüvvəsi elektromaqnit təbiətli qüvvədir.** Bilirsiniz ki, istənilən bərk cisim xarici qüvvənin təsiri altında *deformasiyaya* məruz qalır (bax: Fizika-7, s.45).

- *Deformasiya – xarici qüvvənin təsiri altında cismin öz forma və ölçülərini dəyişməsidir.* Deformasiya nəticəsində cismin atom və molekullarının bir-birinə nəzərən yerdəyişməsi baş verir: atomlar arasındaki məsafə ya artır, yaxud da azalır. Belə yerdəyişmə cismin atomlarının müsbət yüklü nüvələri və mənfi yüklü elektronları arasındaki elektrostatik qarşılıqlı təsirləri də artıb-azalar. Nəticədə, cismin deformasiya olunan hissəsini əvvəlki vəziyyətinə qaytarmağa “çalışan” elektromaqnit 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-sixılma, sürüşmə, burulma və əyilmə* növlərinə görə fərqləndirilir. Cismin *gərilmə-sixılma* deformasiyasında onun hissələri arasındaki məsafə dəyişir, *sürüşmə deformasiyasında* isə bu hissələr bir-birinə nəzərən sürüsür. *Əyilmə deformasiyası* bərk cismin hissələrinin gərilmə və sixılma deformasiyalarının, *burulma isə sürüşmə deformasiyasının* kombinasiyasından ibarətdir (**b**).

(b)



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

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

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

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

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

- *Mexaniki gərginlik – deformasiya zamanı yaranan elastiklik qüvvəsinin modulu* ( $F_e$ ) *cisinin en kəsiyinin sahəsinə* ( $S$ ) *nisbətinə bərabər olan fiziki kəmiyyətdir:*

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

Burada  $\sigma$  – mexaniki gərginlidir. 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 hazırlanlığı materialdan asılıdır və onun da BS-də vahidi paskaldır:  $[E] = \frac{[\sigma]}{[\varepsilon]} = 1 Pa$ .

(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 hazırlanlığı materialdan və onun həndəsi ölçüsündən asılıdır.*

(2.28)-i (2.27)-də nəzərə alsaq, *Huk qanunu* 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 uzanmanın ifadə edir, mənfi işarəsi isə elastiklik qüvvəsinin zərrəciklərin yerdəyişməsinin əksinə yönəldiyini bildirir.

Onun BS-də vahidi:

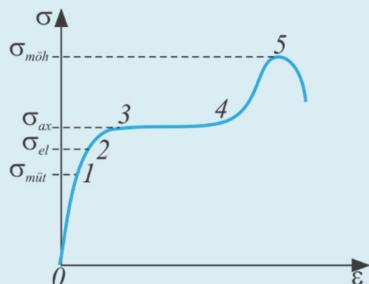
$$[k] = \frac{[F_e]}{[\Delta l]} = 1 \frac{N}{m}.$$

### Gərilmə diaqramı

- Gərilmə diaqramı – mexaniki gərginliyin nümunənin nisbi uzanmasından asılılıq qrafikidir.

Diaqramın (c):

- a) **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-nöqtəsindən sonra Huk qanunu pozulur, deformasiya qeyri-xətti olur;

b) **1–2 hissəsi** – xarici təsirlər kəsildikdən sonra nümunənin öz əvvəlki ölçülərini almasına – elastik deformasiyanın davam etdiyi hala uyğundur.

• Elastik deformatsiya yaradan maksimal gərginlik elastiliklik həddi ( $\sigma_{el}$ ) adlanır. Mexaniki gərginliyin elastiliklik həddindən böyük qiymətlərində deformatsiya plastik olur;

c) **2–3 hissəsi** – plastik deformasiyaya uyğun mexaniki gərginlikdir;

d) **3–4 hissəsi** – nümunənin “axdiği” hissədir. Mexaniki gərginlik sabit ( $\sigma_{ax}$ ) həddinə malikdir və nisbi uzanma artır;

e) **4–5 hissəsi** – mexaniki gərginliyin sürətlə artlığı, nümunənin dağıldığı hala uyğundur.

• Nümunənin dağılmamasına səbəb olan maksimum mexaniki gərginlik möhkəmlik həddi ( $\sigma_{möh}$ ) adlanır.

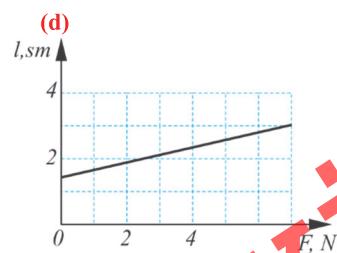
2

### Tətbiqetmə. Huk qanununun yoxlanılması

**Məsələ.** Şəkildə elastik yayın uzunluğunun ona tətbiq olunan qüvvədən asılılıq qrafiki verilmişdir (d). Yayın sərtliyini təyin edin.

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Huk qanunu necə ifadə olunur?
- Yayın sərtliyini hansı düsturla təyin etmək olar?
- Sərtlik nədən asılıdır?



#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Yəqin ki, səhərlər məktəbə gedəndə gecə əsən güclü küləyin yaratdığı bəzi fəsədlərə diqqət yetirmisiniz: uca, qollu-budaqlı şamağacı şaqulı qamətinə olduğu kimi saxlamış, lakin həmin ərazidə bitən nisbətən alçaqboylu çinar ağacı isə gövdəsinin ortasından sıxmışdır.

• Bu hadisənin elastilik qüvvəsi ilə bir əlaqəsi varmı? Cavabınızı əsaslandırın.

**Özünüzü qiymətləndirin:** 1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı? 2. Nə üçün elastilik qüvvəsi elektromaqnit təbiətli qüvvədir? 3. Elastilik qüvvəsi nədən asılıdır? 4. Mexaniki gərginlik və Yung modulu arasında ümumi və fərqli xüsusiyyət nədir? 5. Sərtliyi 200 N/m olan yayın elastilik qüvvəsinin modulunun mütləq uzanmadan asılılıq qrafikini qurun.

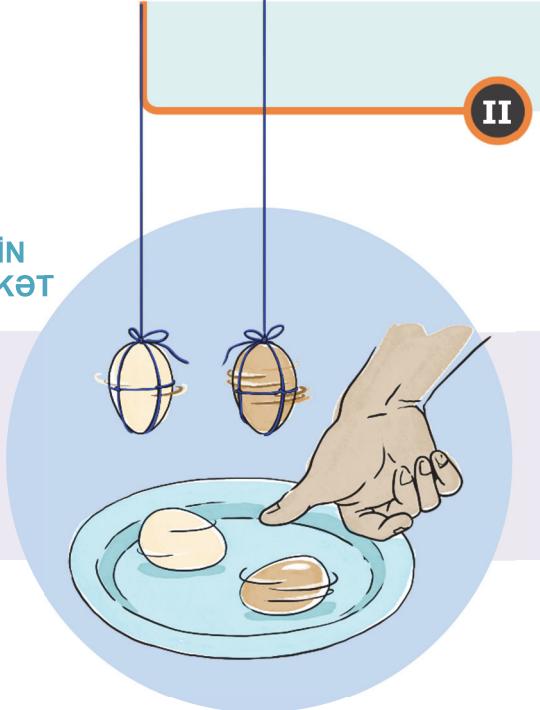
### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “deformatsiya”, “elastiliklik qüvvəsi”, “mexaniki gərginlik”, “Huk qanunu”, “Yung modulu”, “sərtlik”.

## 2.9 SÜRTÜNMƏ QÜVVƏSİ. SÜRTÜNMƏ QÜVVƏSİNİN TƏSİRİ ALTINDA HƏRƏKƏT

İlk baxışdan sade görünən belə bir eksperiment aparın. İki ədəd eyni ölçülü yumurta götürün: biri soyutma bişirilmiş, digəri çiy. Onlara eyni zamanda boşqabda fırlanması hərəkəti verin (eksperimenti yumurtaları idən asmaqla da aparmaq olar).

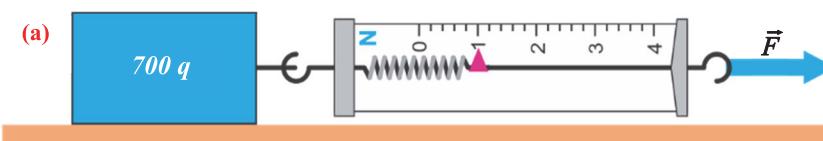
- Hansı yumurta fırlanması hərəkətini daha tez dayandırır: çiy, yoxsa bişmiş? Nə üçün?



### Araşdırma 1

#### Sürtünmə qüvvəsi haqqında öyrəndikləriniz yadınızdadır mı?

Məsələ 1. Sürtünmə qüvvəsi haqqında biliklərinizə istinad edərək təsvirdəki məlumatlara əsasən (a) taxta tirciyin taxta lövhə üzərində sürüşmə sürtünmə əmsalını təyin edin (bax: Fizika-7: s.50 və ikinci forzas, cədvəl 2; Nəzərə alın. Taxta-taxta üçün sürüşmə sürtünmə əmsalını  $\mu = 0,5$  qəbul edin;  $g = 10 \frac{m}{s^2}$ ).

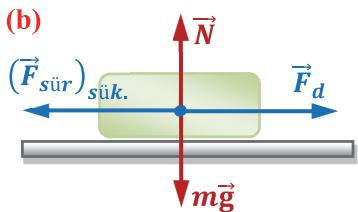


#### Nəticənin müzakirəsi:

- Sürüşmə sürtünmə əmsali nədən asılıdır?
- Sürtünmə qüvvəsinin modulu nəyə bərabərdir?
- Sürtünmə qüvvəsi olmasa idi, nə baş verirdi?

**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 kölə-kötür olması və bu səthlərin molekulları arasında “ilişmə qüvvələrinin” (cəzibə xarakterli qüvvələrin) yaranmasıdır. Molekullar arasında belə qüvvələrin yaranması sürtünmə qüvvəsinin elektromaqnit təbiətli olduğunu müəyyənləşdirir.

- Sürtünmə qüvvəsinin üç növü var: *sürüşmə, diyirlənmə və sükünat sürtünmə qüvvələri*.
- *Sürüşmə sürtünmə qüvvəsi – bir cismin səthində digər cisim sürüyüdükdə 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 parallel yönələn dərti qüvvəsinə bərabər olub onun əksinə yönəlir (b).

Dərti 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:

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

Burada  $\mu$  – mütənasiblik əmsali olub sürüşmə sürtünmə əmsali adlanır;  $\mu$ , toxunan cisimlərin hazırlanğı materialdan və toxunan səthlərin hamarlığından asılıdır.  $\mu$  – 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 araşdırıq:

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

$$0 = \vec{F}_d + \vec{F}_{\text{sür}} + \vec{N} + \vec{mg}.$$

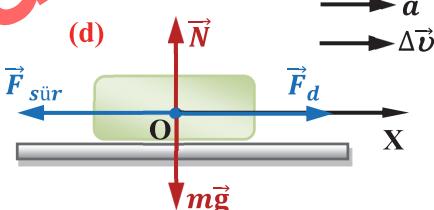
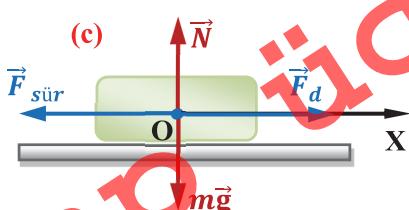
Koordinat oxunu dərti qüvvəsi istiqamətində (hərəkət istiqamətində) seçib qüvvələri onun üzərinə proyeksiyalasaq, tənlik asanlıqla həll edilər (bax: c):

$$0 = F_d - F_{\text{sür}} + 0 + 0.$$

Burada nəzərə alınmışdır ki, reaksiya qüvvəsi ilə ağırlıq qüvvələrinin OX oxu üzərində proyeksiyaları sıfıra 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:

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



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

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

Qüvvələri koordinat oxu üzərinə proyeksiyalayıb skalyar şəkildə yazsaq, alarıq:

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

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 təcili sürətin əksinə yönəlir. Ona görə də hərəkətdə olan cismə yalnız sürtünmə qüvvəsi təsir edərsə, o, tormozlanır. Bu halda cismin hərəkət tənliyi belə yazılır:

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

$$ma = F_{\text{sür}}. \quad (2.36)$$

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

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

$$l_{\text{tor}} = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{mv_0^2}{2F_{\text{sür}}} = \frac{v_0^2}{2\mu g} \quad (2.37)$$

$$t_{\text{tor}} = \frac{v_0}{a} = \frac{mv_0}{F_{\text{sür}}} = \frac{v_0}{\mu g}. \quad (2.38)$$

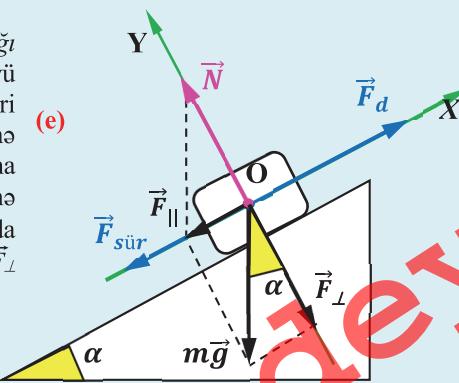
### Cisim mail müstəvidə hərəkət edir.

- Mail müstəvi – üfüqlə müəyyən α bucağı əmələ gətirən səthdir. Şəkildən görünüşü kimi, mail müstəvidə dartı qüvvəsinin təsiri altında bərabərəlli hərəkət edən cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsi iki toplanana ayrılır: səthə parallel  $\vec{F}_{||}$  toplananı və səthə perpendikulyar  $\vec{F}_{\perp}$  toplanan (**e**). Bu halda səthin reaksiya qüvvəsinin modulu  $\vec{F}_{\perp}$  toplananının moduluna bərabərdir:

$$N = F_{\perp} = mg \cos \alpha, \quad (2.39)$$

$$F_{\text{sür}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha, \quad (2.40)$$

$$F_{||} = mg \sin \alpha. \quad (2.41)$$



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

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

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

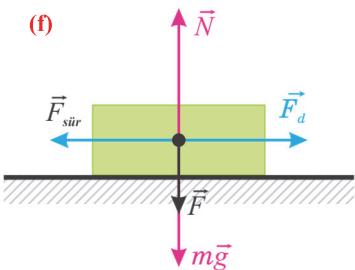
$$\begin{cases} ma_x = F_d - F_{\text{sür}} - F_{||} \\ ma_y = N - F_{\perp} \end{cases} \quad (2.42)$$

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

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

**Tətbiqetmə****Cisinin hərəkət tənliyini yaza bilərsinizmi?****Məsələ 2.** Aşağıdakı hallara uyğun hərəkət tənliklərini yazın:

- düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən  $m$  kütləli cismə ağırlıq qüvvəsi istiqamətində  $\vec{F}$  qüvvəsi təsir edir (**f**);
- düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən  $m$  kütləli cismə ağırlıq qüvvəsinin əksi istiqamətində  $\vec{F}$  qüvvəsi təsir edir;
- $m$  kütləli cisim bərabəryavaşıyan düzxətli hərəkət edir.

**(f)****Nəticənin müzakirəsi:**

- Düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən  $m$  kütləli cismə ağırlıq qüvvəsi istiqamətində  $\vec{F}$  qüvvəsi təsir etdiğdə uyğun olaraq reaksiya və dəri qüvvələrinin modulu nəyə bərabərdir?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Yaşayış məntəqəsində 72 km/saat sürətlə hərəkət edən avtomobilin qarşısına qəfildən 5 m irəlidə sahibsiz bir it çıxdı. Sürücü dərhal avtomobili tormozladı. Tormozlanan avtomobil iti vuracaqmı? Burada avtomobil şini – quru asfalt üçün sürüşmə sürtünmə əmsalını və  $\mu = 0,5g = 10 \text{ m/san}^2$  qəbul etməli.

**Özünüzü qiymətləndirin:**

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Kütlələri uyğun olaraq 10 t və 1 t olan iki avtomobil yaş asfalt örtüklü yolda eyni sürətlə hərəkət edir. Avtomobilər eyni anda tormozlanarsa, hansının tormoz yolu daha uzun olar?
- Sürtünmə olmasa idi, şəhərdə nə baş verərdi?
- Sürüşmə sürtünmə əmsalı sürtünmə qüvvəsindən və cismin kütləsindən necə asılıdır? Cavabınızı əsaslandırın.
- Sürüşmə sürtünmə qüvvəsi nədən asılıdır?
- Sapdan asılan cisim asqıyla birlidə ağırlıq qüvvəsinin əksinə bərabəryavaşıyan hərəkət edərsə, ona təsir edən havanın müqavimət qüvvəsi nəyə bərabər olar?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: "sürtünmə qüvvəsi", "sükunət sürtünmə qüvvəsi", "sürüşmə sürtünmə qüvvəsi", "diyirlənmə sürtünmə qüvvəsi", "tormoz yolu....", "müqavimət qüvvəsi".

## 2.10 CİSMİN TARAZLIQ ŞƏRTLƏRİ

Yəqin ki, rus şairi İ.Krillovun "Qu quşu, durna balığı və xərçəng" adlı məşhur təmsilini oxumuşsunuz. Orada personajlar yüngül bir arabanı aparmaq qərarına gəlirlər: "... qu quşu bo-yundurugu səmaya, balıq gölə, xərçəng isə geriyə doğru dərtir. ... Lakin araba indi də yerində durur".

- Personajların arabanı nə üçün yerindən tərpədə bilmədiklərini fizika "dilində" necə izah edərdiniz?



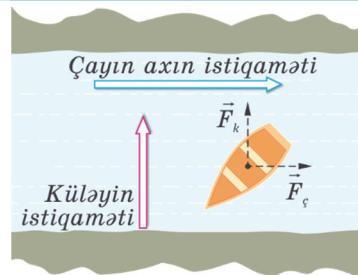
### Araşdırma

#### 1 Cismen tarazlıqda qalması nə deməkdir? (a)

**Məsələ 1:** Çayın axınına və əsən cənub küləyinin təsirinə məruz qalan qayığı suda tarazlıqda saxlamaq olarmı (a)? Cavabınızı sxemlə əsaslandırin.

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Cismen tarazlıqda qalması nə deməkdir?



Nyutonun I qanununa görə, cismen tarazlıqda olması – onun inersial hesablaması sistimdə süküntədə və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkətdə olması deməkdir. Cism halından asılı olaraq müəyyən şərtlər ödənilidikdə tarazlıqda qalır; onlarla tanış olaq.

**Irəliləmə hərəkəti edə bilən cismen tarazlığı.** Cismen irəliləmə hərəkətinə onun bir nöqtəsinin – kütlə mərkəzinin hərəkəti kimi baxıla bilər. Belə halda sadəlik üçün cismen bütün kütləsinin onun kütlə mərkəzinə toplandığı və cismə təsir edən əvəzləyici qüvvənin həmin nöqtəyə tətbiq olunduğu qəbul oluna bilər. Nyutonun II qanunundan göründüyü kimi, həmin nöqtənin təcili o zaman sıfıra bərabər olur ki, ona tətbiq olunan əvəzləyici qüvvə (tesir edən bütün qüvvələrin həndəsi cəmi) sıfıra bərabər olsun. Bu, *irəliləmə hərəkətində olan cismen tarazlıq şərtlidir*.

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

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

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

$$F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = 0$$

$$F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = 0$$

$$F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} = 0.$$

**Tərpənməz fırlanma oxu olan cismen 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 firlanır. Deməli, tərpənməz firlanma oxu olan cismin tarazlıqda olması üçün əvəzləyici qüvvənin sıfıra bərabər olması kifayət deyil. Bu məqsədə tarazlığın ikinci şərti – *momentlər qaydası* ödənilməlidir.

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

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

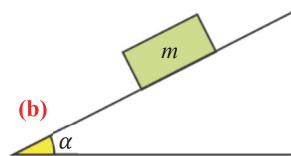
2

### Tətbiqetmə

Mail müstəvidəki cisim üçün tarazlığın hansı şərti ödənilir?

Məsələ 2. Mail müstəvidəki cisim üçün təyin edin (b):

- tarazlıq şərtini ifadə edən dəstə;
- sürtünmə qüvvəsinin hansı qüvvə ilə tarazlaşdığını;
- reaksiya qüvvəsinin hansı qüvvə ilə tarazlaşdığını.



Nəticənin müzakirəsi:

- Mail müstəvidəki cismin tarazlıqda qalması üçün tarazlığın hansı şərti ödənilməlidir?
- Cisim mail müstəvidə tarazlıqdadırsa, ona neçə qüvvə təsir edir, bu qüvvələri sxemdə göstərə bilərsinizmi?

Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

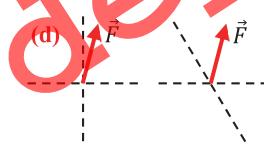
Yəqin ki, nə vaxtsa dostlarınızla bu maraqlı fiziki eksperimenti icra etmisiniz: ling üzərinə qoyulmuş çay daşını qu tükü tarazlaşdırır (c).



- Bu hadisədə tarazlığın hansı şərti ödənilir?  
Cavabınızı sxemdə əsaslandırma bilərsinizmi?
- Demək olarmı ki, qu tükü ilə daşın kütləsi eynidir? Nə üçün?

Özünüüz qiymətləndirin:

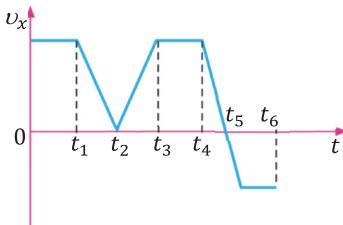
- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Maddi nöqtə modulları  $60\text{ N}$  və  $80\text{ N}$  olan iki qüvvənin təsiri altında hərəkətdədir. Qüvvələr aralarındakı bucaq  $90^\circ$ -dir. Təyin edin:
  - maddi nöqtənin təciliinin istiqamətini (sxemdə təsvir edin);
  - maddi nöqtəni tarazlıqda saxlamaq üçün ona tətbiq olunan qüvvənin modulunu və istiqamətini (sxemdə təsvir edin).
- Şəkildə təsvir edilən  $\vec{F}$  əvəzləyici qüvvəsinin qırıq xətlər boyunca yönələn toplananlarını təyin edin (d).



### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

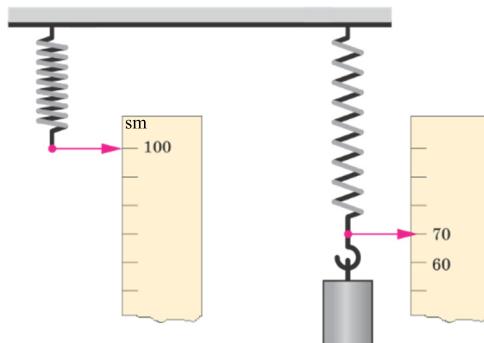
Qeyd olunan müddəalara aid qısa esse yazın: “İrlələmə hərəkətində olan cismin tarazlıq şərti”, “Tərpənməz firlanma oxu olan cismin tarazlıq şərti”.

- 2.1.** Cismə modulları  $F_1 = 8N$  və  $F_2 = 6N$  olan iki qüvvə tətbiq olunmuşdur. Əvəzləyici qüvvənin maksimum və minimum qiymətlərini təyin edin.
- 2.2.** Əvvəlki məsələdə cismə təsir edən  $F_1$  və  $F_2$  qüvvələri arasındaki bucaq  $60^\circ$ ;  $90^\circ$  təşkil edərsə, əvəzləyici qüvvənin modulu uyğun olaraq neçə nyuton olar?
- 2.3.** Cismənin sürət proyeksiyası-zaman qrafikinə əsasən hansı zaman intervalında əvəzləyici qüvvənin sıfır bərabər olduğunu təyin edin.



- 2.4.** Avtobus dayanacaqdandan kəskin tərpəndikdə və dayanacağaya yaxınlaşdığı zaman qəfil tormozlandıqda sərnişinlər hansı istiqamətə meyil edir? Bu hadisə Nyutonun I qanunu ziddirmi, axı sərnişinlərə əlavə heç bir qüvvə təsir etmir?
- 2.5.**  $F$  qüvvəsinin təsiri altında  $m_1$  kütləli cisim  $3 \text{ m/san}^2$  tacılı,  $m_2$  kütləli cisim isə  $5 \text{ m/san}^2$  tacılı ilə hərəkət edir. Bu iki cisim birləşdirilərsə, onlar birlikdə həmin qüvvənin təsiri altında hansı tacillə hərəkət edər?
- 2.6.** Qaldırıcı kran kütləsi 20 ton olan yükü  $0,8 \text{ m/san}^2$  tacillə qaldırır. Burazın gərilmə qüvvəsini təyin edin ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ ; burazın çəkisini nəzərə almayıñ).
- 2.7.** Kütləsi 1,2 ton olan avtomobil 5 san müddətində sürətini  $60 \text{ m/san}$  qədər artırdı. Avtomobilə təsir edən əvəzləyici qüvvənin modulu nəyə bərabərdir?
- 2.8.** Əvəzləyici  $F$  qüvvəsi  $m$  kütləli cismi  $t$  müddətində  $s$  məsafəsinə yerini dəyişdirir. Həmin qüvvə  $2m$  kütləli cismi  $3t$  müddətində hansı məsafəyə hərəkət etdirir (hər iki halda cisimin başlanğıc sürəti sıfırdır)?
- 2.9.** Liftin döşəməsinə 100 kq kütləli cisim qoyulmuşdur. Yük döşəməyə  $1300 \text{ N}$  qüvvə ilə təsir edirsə, liftin hansı tacillə və hansı istiqamətə hərəkət etdiyini təyin edin ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ ).
- 2.10.** Düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən 1 ton kütləli avtomobil 9 san müddətində sürətini  $20 \text{ m/san-dən}$   $38 \text{ m/san-dək}$  dəyişdi. Təyin edin: a) avtomobilin tacilini; b) avtomobilə hərəkəti istiqamətində təsir edən qüvvənin modulunu; c) avtomobilə təsir edən qüvvə impulsunu; d) sürət dəyişməsi baş verən müddətdə avtomobilin yerdəyişməsini.
- 2.11.** İki maddi nöqtə arasındakı məsafə 3 dəfə kiçildilərsə, onlar arasındakı cazibə qüvvəsi necə dəyişir?
- 2.12.** Yer səthindən  $h = 3R_{Yer}$  məsafəsindəki nöqtədə qravitasiya sahəsinin intensivliyi nəyə bərabərdir (Yer səthində  $g = 9,81 \text{ m/san}^2$ -dir)?
- 2.13.** Məftildən 10 kq kütləli yük asıldıqda onun uzunluğu  $0,5 \text{ mm}$  artı. Məftilin sərtliyini təyin edin ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ ).
- 2.14.** Yayı  $0,15 \text{ m}$  gərdikdə  $0,006 \text{ kN}$  elastiklik qüvvəsi yarandı. Yayı nə qədər gərmək lazımdır ki,  $16 \text{ N}$  elastiklik qüvvəsi yaransın?

- 2.15.** Bir metrlik xətkeşin yaxınlığında asılan yaydan 2 kq kütləli yük asıldığda onun uzanması şəkildə təsvir edildiyi qədər oldu. Təyin edin: a) yüksə iкinci eyni yüksə əlavə olunarsa, yaya bərkidilən əqrəbin xətkeşin hansı bölgüsünün üzərində dayandığını; b) yüksə sərtliyini ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ ).



- 2.16.** Kütləsi 18 kq olan taxta tır üfüqi taxta döşəmənin üzərində hansı qüvvəylə itələmək lazımdır ki, o, sabit sürətlə sürüşsün (taxta-taxta üçün  $\mu = 0,5$ ;  $g = 10 \text{ m/san}^2$ )?
- 2.17.** Kütləsi 2 t olan avtomobil şosədə  $126 \text{ km/saat}$  sürətlə hərəkət edərkən sürücü 100 m irəlidə yolu qoyun sürüsünün keçdiyini görür və dərhal avtomobili tormozlayır. Tormozlanan avtomobil dayanana qədər sürünü vuracaqmı (rezin şin – quru asfalt üçün  $\mu = 0,7$  və  $g = 10 \text{ m/san}^2$  qəbul edin)?
- 2.18.** Yupiterin səthi üçün birinci kosmik sürət nə qədərdir? ( $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kq}^2}$ ; bax: cədvəl 2.3)
- 2.19.** Cisim sabit  $50 \text{ N}$  qüvvənin təsiri altında elə düzxətli hərəkət edir ki, onun koordinatının zamandan asılılığı  $x = 4 + 3t - t^2$  qanunu ilə dəyişir. Təyin edin: a) cisimin hərəkət təcili; b) cismin kütləsini.
- 2.20.** Çekisi  $1600 \text{ N}$  olan tir iki burazdan asılmışdır. Tirin kütlə mərkəzindən asılma nöqtələrinə qədər məsafə  $3 \text{ m}$  və  $1 \text{ m}$ -dir, burazların gərilmə qüvvələri nə qədərdir (burazların çekisi nəzərə alınır)?

# SAXLANMA QANUNLARI

Siz bu fəslin materiallarını mənimseməklə  
**BACARACAQSINIZ:**

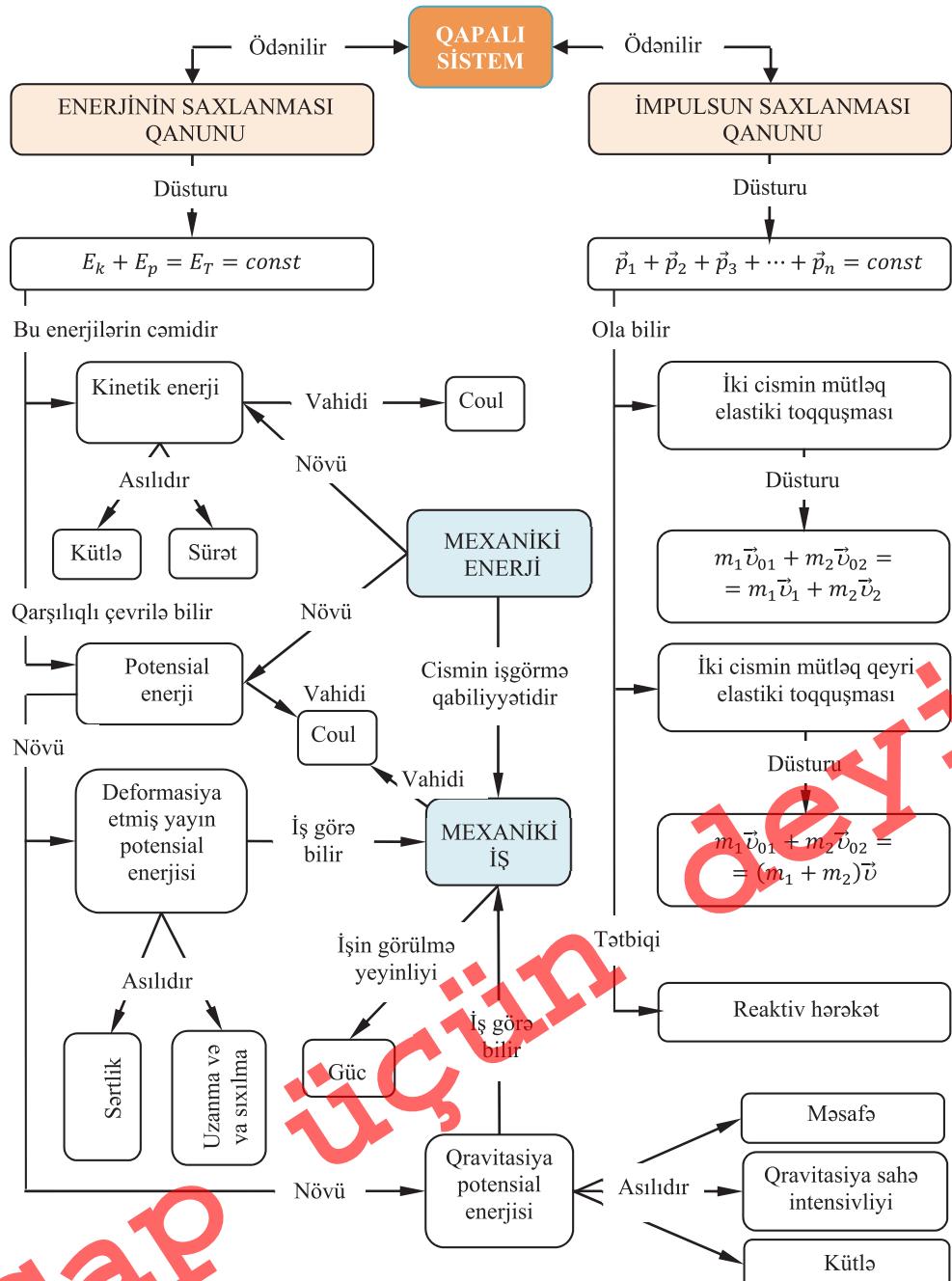
- “qapalı sistem” anlayışının fiziki mahiyyətini şərh etməyi, alimlərin nə üçün bu sistemdən istifadə etdiklərini əsaslandırmağı;
- impulsun saxlanması qanunuunu izah edib onu sadə təcrübələrlə nümayiş etməyi;
- impulsun saxlanması qanununun tətbiqinə aid kəmiyyət və keyfiyyət xarakterli məsələlər qurmağı və həll etməyi;
- kinetik və potensial enerjinin yaranma mexanizmini izah etməyi, bu enerjilərin asılı olduğu kəmiyyətləri təcrübələrlə əsaslaşdırmağı;
- enerjinin saxlanması qanunuunu izah edib onu sadə təcrübələrlə nümayiş etməyi;
- enerjinin saxlanması qanununun tətbiqinə aid kəmiyyət və keyfiyyət xarakterli məsələlər qurmağı və həll etməyi;
- enerjinin cismin işgörmə qabiliyyətini xarakterizə etdiyini, mexaniki işin görülmə şəraitini izah etməyi;
- mexaniki iş və gücə aid kəmiyyət və keyfiyyət xarakterli məsələlər qurmağı və həll etməyi.

Çap  
Üçüncü

neyi1

### III

### Fəslin “Anlayışlar xəritəsi”



**3.1****QAPALI SİSTEM. İMPULSUN SAXLANMASI QANUNU**

Baron Münchhausen iddia edirdi ki, guya o, bataqlıqda batdığı zaman saçından tutub onu var qüvəsi ile yuxarı dartmaqla özünü atı ilə birlikdə bataqlıqdan çıxarmışdır.

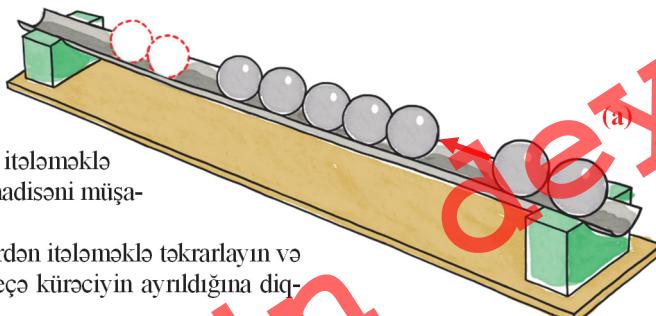
- Sizcə, Münchhausen doğru söyləyirmi, bu, mümkündürmü? Nə üçün?
- Münchhausen belə nəzəriyyə ilə bataqlıqdan xilas ola bilərmi?

**1****Kürəciklərin qəribə toqquşması**

**Təchizat:** Qaliley novu, eyni ölçülü polad kürəciklər (8–10 ədəd), taxta dayaq (və ya muftası və tutqacı olan ştativ).

**İşin gedisi:**

1. Novu üfüqi dayağın bərkidin və üzərində kürəcikləri bir-birinə toxunmaqla zəncir şəklində ardıcıl düzün (a). Kürəciyi nov boyunca itələyib onun kürəciklər zəncirinə zərbəsindən sonra baş verən hadisəni izləyin.



2. İki kürəciyi nov boyunca itələməklə təcrübəni təkrarlayın və hadisəni müşahidə edin.

3. Təcrübəni üç kürəciyi birdən itələməklə təkrarlayın və kürəciklər zəncirindən neçə kürəciyi ayrıldığını diqqət yetirin.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Kürəciklər zəncirinə bir kürəciklə zərbə vurduqda nə müşahidə etdiniz?
- Təcrübəni iki və üç kürəciyi zərbələri ilə təkrarladığda kürəciklər zəncirindən uyğun olaraq neçə kürəcik ayrıldı?
- Baş verən hadisələrin səbəbi haqqında fərziyyəniz nədir?

**Qapalı sistem nədir?** Siz artıq bilirsiniz ki, təbiətdə baş verən bütün dəyişikliklər cisimlər arasında qarşılıqlı təsirlərin nəticəsidir. Qarşılıqlı təsirlər isə xarakterinə görə müxtəlif növə malikdir – *gravitasiya, elektromaqnit, güclü və zəif qarşılıqlı təsirlər*.

Bu karşılıqlı təsirlərin xarakteri cisimlər arasındaki məsafədən və onların xassələrindən asılıdır. Müəyyən hadisənin baş verməsində karşılıqlı təsirin bir növü digərləri ilə müqayisədə daha həllədici olur. Məsələn, böyük məsafələrdə qravitasiya karşılıqlı təsiri həllədici olduğu halda, atom nüvəsi ölçüləri ilə müqayisə olunan məsafələrdə yalnız nüvə qüvvələrinin təsirində danışla bilər. Ona görə də hər hansı fiziki hadisəni öyrənərkən eyni zamanda bütün karşılıqlı təsirləri nəzərə almaq, uyğun hesablamalar aparmaq tamamilə mürəkkəb və gərəksiz bir iş olardı. Odur ki müəyyən fiziki hadisə araşdırılan zaman ikincidərəcəli (hadisənin baş verməsində həllədici olmayan) karşılıqlı təsirlər nəzərə alınmir. Məsələn, helikopterin qaldırıcı qüvvəsini hesablaşdıraqda əhəmiyyətli olan – Yerin cazibə qüvvəsini nəzərə almaqdır. Bu zaman Ayın cazibə təsiri, buludla helikopterin gövdəsi arasındaki 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 karşılıqlı təsirdə olub başqa cisimlərlə karşılıqlı 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 karşılıqlı 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 karşılıqlı təsirləri nəticəsində onların impulsları dəyişir. Nümunə üçün iki cismin karşılıqlı təsirini araşdırıq.

Birinci cismin karşılıqlı təsirdən əvvəlki impulsunu  $\vec{p}_{01}$ , karşılıqlı təsirdən sonrağı impulsunu  $\vec{p}_1$ , ikinci cismə aid olan uyğun impulsları isə  $\vec{p}_{02}$  və  $\vec{p}_2$  ilə işarə edək. Bu cisimlərin karşılıqlı 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 karşılıqlı təsir müddətinə ( $\Delta t$ ) 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 karşılıqlı təsiri nəticəsində onların impulslarının dəyişməsi qiymətcə bərabər, istiqamətcə bir-birinin əksinədir.*

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

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \text{const.} \quad (3.3)$$

Sonuncu ifadəni  $n$  sayda cisimdən təşkil olunan qapalı sistem üçün də ümumiləşdirikdə qapalı sistemi təşkil edən cisimlər üçün *impulsun saxlanması qanunu* alınırlar:

- *Qapalı sistem təşkil edən cisimlərin impulsun vektorial cəmi sabit qalır:*

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

**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 enerjisindən çevrilər – sistemin tam mexaniki enerjisi dəyişmir: kürələrin kinetik enerjisi tamamilə və ya qismən elastiki deformasiyanın potensial enerjisindən çevrilir və bu enerji isə, öz növbəsində, yenidən kürələrin kinetik enerjisindən 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.

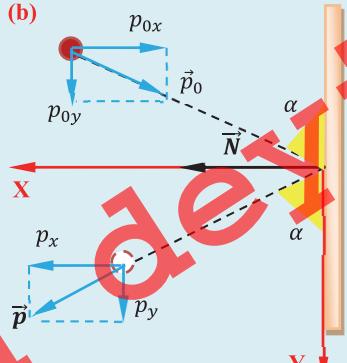
*Xüsusi hal: kürəcisin divarla mütləq elastiki toqquşması.* Fərz edək ki, kürəcik divarla  $\alpha$  bucağı altında toqquşur (b). Zərbə zamanı yaranan reaksiya qüvvəsi divar müstəvisinə perpendikulyardır.  $\vec{N}$  – reaksiya qüvvəsinin  $Y$  oxu üzrə proyeksiyası sıfıra bərabər olduğundan – bu  $ox$  istiqamətində kürəcisin qüvvə təsir etmir (ağırlıq qüvvəsinin təsiri nəzərə alınmadıqda), impulsun  $p_y$  proyeksiyası saxlanılır. Dəyişən isə  $p_x$  proyeksiyasıdır:

$$p_{0y} = p_y;$$

$$\Delta p_x = p_x - p_{0x} = p_x - (-p_x) = 2p_x = 2p_0 \sin \alpha.$$

Burada  $\alpha$  – toqquşma anında impulsun (sürətin) istiqaməti ilə divar (müstəvi) arasında yaranan bucaqdır.  $\Delta p_y = 0$  olduğundan bu toqquşmada impulsun dəyişməsinin modulu:

$$\Delta p = \sqrt{(\Delta p_x)^2 + (\Delta p_y)^2} = \Delta p_x \text{ və ya } \Delta p = 2p_0 \sin \alpha.$$



**Plastiki toqquşma.** *Plastiki toqquşmada yaranan deformasiya tamamilə saxlanılır.* Bu zaman tam mexaniki enerji saxlanılır, onun bir hissəsi sistemin daxili enerjisindən çevrilir. İki cismin plastiki toqquşmasından sonra hər iki cisim bir-birinə "yapışaraq" ya eyni sürətlə hərəkət edir, yaxud da sükünətdə qalır. Beləliklə, qapalı sistem təşkil edən iki cismin plastiki toqquşmasını impulsun saxlanması qanununa əsasən belə yazmaq olar:

$$m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = (m_1 + m_2) \vec{v}. \quad (3.6)$$

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

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

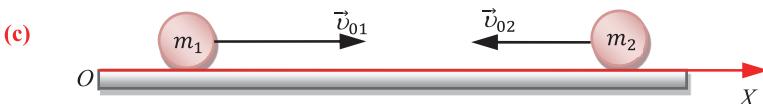
2

### Tətbiqetmə

#### İki kürəcisin plastiki toqquşmasının tədqiqi

**Məsələ.** İsbat edin ki, üfüqi müstəvidə uyğun olaraq  $\vec{v}_{01}$  və  $\vec{v}_{02}$  ( $v_{01} > v_{02}$ ) başlangıç sürətlə qarşı-qarşıya hərəkət edən  $m_1$  və  $m_2$  ( $m_1 > m_2$ ) kütləli iki cisim mərkəzi plastiki toqquşmaya məruz qaldıqdan sonra sistemin hərəkət sürətinin modulu aşağıdakı ifadəyə bərabərdir (c):

$$v = \frac{m_1 v_{01} - m_2 v_{02}}{m_1 + m_2}.$$



#### Nəticənin müzakirəsi:

- Lazımı düsturu almaq üçün hansı ardıcıl addımlardan istifadə etdiniz?
- Bu iki kürəcik eyni istiqamətə, məsələn, birinci kürəcik ikincinin arxasında hərəkət etdiyi halda mərkəzi mütləq elastiki toqquşmaya məruz qaldıqdan sonra ikinci kürənin aldığı sürətin modulu nəyə bərabərdir?

#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Bilyard kürəcisi sükunətdə olan ikinci kürəciklə mərkəzi mütləq elastiki toqquşmaya məruz qalır. İmpulsun saxlanması qanununa əsasən birinci və ikinci kürəcisinin zərbədən sonrakı sürətləri necə dəyişər?

#### Özünüüzü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Qapalı sistem nədir, nə üçün alımlar elmi araşdırma larda bu sistemdən istifadə edirlər?
3. Hansı halda qapalı sistemə impulsun saxlanması qanununu tətbiq etmək olar?
4. Qapalı sistem təşkil edən iki cisinin mütləq və plastiki toqquşmalarında onlar arasında hansı enerji çevrilmələri baş verir?
5. Kütləsi 50 kq olan şagird 8 m/san sürətlə qaçaraq 2 m/san sürəti ilə hərəkət edən 30 kq kütləli arabaya çatır və onun üzərinə tullanır. Araba hansı sürətlə hərəkət edər?

#### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: "qapalı sistem", "sistemin tam impulsu", "impulsun saxlanması qanunu", "mütləq elastiki toqquşma", "qeyri-mütləq elastiki toqquşma".

• LAYİHƏ • Reaktiv hərəkətin tədqiqi

**Nəzəri məlumat.** İmpulsun saxlanması qanununun maraqlı praktik tətbiqi *reaktiv hərəkət*dir. 6 və 8-ci sinif fizika fənnindən reaktiv hərəkətin nə olduğunu bilirsiniz:

- Reaktiv hərəkət – cisimdən bir hissəsi ayrılaraq hərəkət etdiyi zaman cisim özünlən əks istiqamətdə hərəkət almasıdır. Məsələn, raketlərin hərəkəti reaktiv hərəkət prinsipinə əsaslanır.

**Raketin iş prinsipi.** Raket örtük və yanacaqdan ibarət qapalı sistemdir. Örtük boru formasında olub bir tərəfi qapalı, digər tərəfi açıqdır. Örtüyün açıq tərəfinə yanan yanacaq qazının çıxmazı üçün səpolo geydirilmişdir. Raket işə salındıqda yanacaq yanaraq yüksək təzyiqli qaza çevirilir. Qazın təzyiqi yüksək olduğundan raketin səpəsindən böyük sürətlə atmosferə atılır, nəticədə raket əks tərəfə itələnir (§.1).

*İsbat edin ki, raketin örtüyünün sürəti impulsun saxlanması qanununa görə aşağıdakı düsturla təyin olunur (hesab edin ki, qazın hamısı raketin eyni zamanda tərk edir):*

$$\vec{v}_{\text{ör}} = - \frac{m_{\text{qaz}}}{m_{\text{ör}}} \vec{v}_{\text{qaz}}.$$

**“Su mühərrikli raketin” startı**

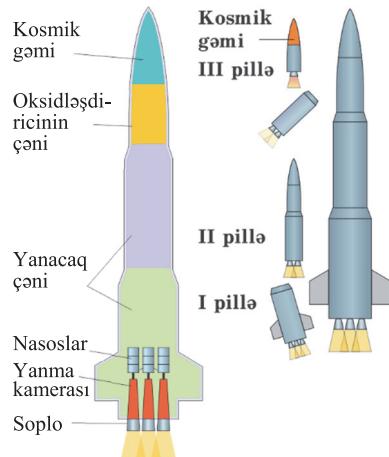
**Təchizat:** plastik butulka (1 l-lük), su (0,5 l), mantar tixac, futbol topuna hava vuran iynəli və şlanqlı nasos, dayaq.

**İşin gedisi.**

1. Butulkaya 1/3 hissəsi qədər su töküñ, ağızını tixacla qapayıñ, butulkani oturacağı yuxarı olmaqla da yaq üzərində elə yerləşdirin ki, o, üfüqlə 40–50° bucaq təşkil etsin.

2. Tixaci nasosun iynəsi ilə deşib butulkaya sürətlə hava vurun. Bir neçə dəqiqədən sonra butulkada “maraqlı” hadisələr baş verir və “raket” böyük sürətlə “səmaya” qalxır (§.2).

- “Raketin” sürət almasına səbəb nədir? Bu sürət hansı düsturla hesablanıbilər?



§.1. Kosmik gəmi daşıyıcısı. Raket və onun pillələrinin sxemi

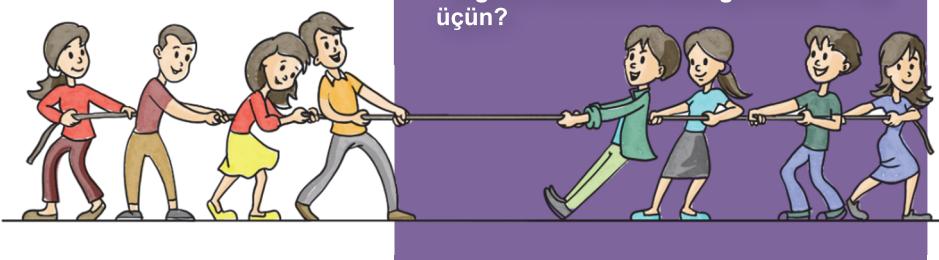


§.2. “Raket” böyük sürətlə “səmaya” qalxır

## 3.2 MEXANİKİ İŞ VƏ GÜC

Şagirdlərdən ibarət iki komanda kəndirdartmada yarışır. Sağdakı komanda çox çalışdıqdan sonra qalib gelir.

- Qalib gələn komanda haqqında hansı müddəəanı söyləmək doğru olar: "sağdakı komanda daha qüvvəlidir", yoxsa "sağdakı komanda daha güclüdür"? Nə üçün?



**Mexaniki iş.** Mexaniki iş cismin halının dəyişməsini 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 skalar fiziki kəmiyyətdir, lakin digər skalar fiziki kəmiyyətlərdən (məsələn, yol, kütlə, sahə və s.) fərqli olaraq o həm sıfır, həm müsbət, həm də mənfi işarəli ola bilir. 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 görüyü 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 görüyü 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:  $A = 0$ .

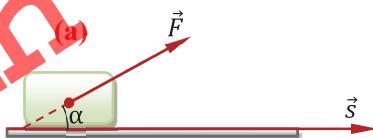
İşin BS-də vahidi couldur (C):

### 1 Eyni iş görürlərmi?

**Məsələ 1.** Bakıdan Gəncəyə qədər olan 298 km hava yolu qət etməyə təyyarə 45 dəq, helikopter isə 90 dəq vaxt sərf edir. Bu nəqliyyat vasitələrinin eyni iş gördüyü söyləmək olar mı? Onların gördüklləri işin yeyinliyini necə müəyyən etmək olar?

### Nəticənin müzakirəsi:

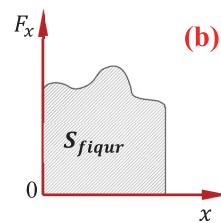
- Görülən iş nədən asılıdır?
- Müxtəlif maşınların görüyü eyni bir işin yeyinliyini hansı fiziki kəmiyyətlə müəyyən etmək olar?



- Coul (1C) – hərəkət istiqamətində təsir edən 1N qüvvənin 1m yerdəyişmədə görüyü işdir:

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

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



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

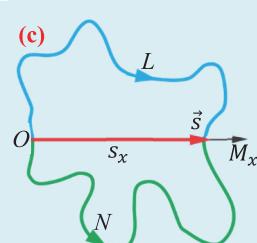
- İstənilən qapalı trayektoriya üzrə sabit əvəzləyici qüvvənin işi sıfır bərabərdir. Çünkü, qapalı trayektoriya çizan cismin yerdəyişməsinin modulu sıfır bərabərdir:

$$s = o \rightarrow A = F_s \cos \alpha = 0,$$

- Verilmiş iki nöqtə arasında cismin hərəkəti zamanı sabit əvəzləyici qüvvənin görüyü 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):

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



**Güç.** Görülən işin yeyinliyi **güç** adlanan fiziki kəmiyyətlə xarakterizə olunur.

- Güç – görürlən işin bu işi görməyə sərf edilən zamana nisbətinə deyilir:**

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

Güçün BS-də vahidi **vatt** (Vt):

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

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

$$1 \text{ a.q.} = 736 \text{ Vt.}$$

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

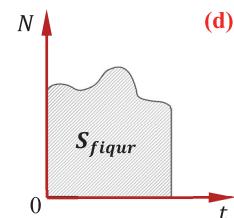
Bu düstur əsasında iş vahidi olaraq kilovatt-saatdan da istifadə olunur:

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

Güç zamana görə dəyişərsə, iş ədədi qiymətcə güc-zaman qrafikinin  $t$  oxu ilə əmələ gətirdiyi figurun sahəsinə bərabər olur (d):  $A = S_{figur}$ .

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

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



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

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

2

## Tətbiqetmə

### Atletin əzələləri nə qədər iş gördü?

**Məsələ 2.** Atlet 250 kq kütləli şanqı 5 san müddətinə yerdən 2 m hündürlüyü qaldırdı. Təyin edin:

- atletin əzələlərinin gördüyü işi ( $g = 10 \frac{m}{san^2}$ );
- atletin bu işi görməyə sərf etdiyi gücün neçə at qüvvəsinə bərabər olduğunu.

### Nəticənin müzakirəsi:

- Atletin əzələlərinin gördüyü işi hansı düsturla təyin etdiniz və o neçə coul oldu?
- Atlet bu işi hansı yeyinliklə gördü?
- Atletin gücü neçə a.q. qədərdir?

### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

İdman bolidinin ("Formula-1" idman maşını) və yer şumlayan traktorun mühərriklerinin gücü eynidir (e). Onların hansında bu güc qüvvənin, hansında sürətin artırılmasına sərf edilir? Cavabınızı əsaslandırın.



### Özünüzü qiymətləndirin:

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Ağırlıq qüvvəsi hansı halda müsbət iş görür: top şaquli yuxarı atıldıqda, yoxsa müəyyən hündürlükdən düşdükdə? Cavabınızı əsaslandırın.
- Su səthində üzən topu əlimizlə tutub suya batırdıq, əlimizi çəkdikdə isə o yenidən suyun səthinə qalxdı. Bu halların hansında topa təsir edən Arximed qüvvəsi müsbət, hansı halda isə mənfi iş gördü? Nə üçün?
- Verilən gücdə eyni zamanda həm qüvvədə, həm də sürətdə qazanc əldə etmək olarmı? Nə üçün?

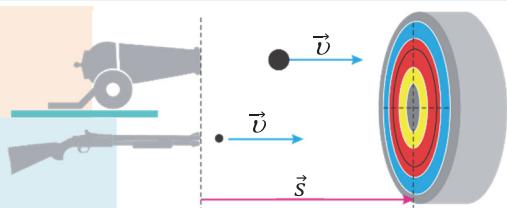
### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: "məxaniki iş", "coul", "güç", "vatt".

### 3.3 SİSTEMİN İŞGÖRMƏ QABİLİYYƏTİ – ENERJİDİR. KINETİK ENERJİ

Tüfəng güllesi və top mərmisi eyni üfüqi sürelə, eyni yerdəyişmə edərək eyni hədəfə dəyib orada qaldılar.

- Gülle və mərminin gördüklləri mexaniki işin də eyni olduğunu söyləmək olarmı? Nə üçün?



**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 danışqlarda da ən çox işlənən və müzakirə olunan anlayış “enerji”dir. Enerjinin müxtəlif növləri, onun bir növdən digərinə çevriləsinə dair kifayət qədər məlumatınız vardır. Ən maraqlısı isə odur ki, fizika alımları sistemin enerjisinin hər bir növü üçün ayrıca düstur müəyyənləşdirə bilmişlər. Bu düsturların köməyi ilə aparılan hesablamlar 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 arasındaki 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 görüdüyü iş və kinetik enerji.** Cisim əvəzləyici qüvvənin təsiri ilə iş görürsa, onun süratinin 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 bərabərəyinləşən 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:**

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (3.13)$$

#### Araşdırma 1

İşgörmə hansı fiziki kəmiyyətin dəyişməsi hesabına baş verdi?

**Məsələ 1.** Avtobus üfüqi yolda mühərriki söndürülmüş halda bir müddət hərəkət edib dayandı.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Avtobus hansı qüvvələrə qarşı iş gördü?
- Avtobusun iş görməsi hansı fiziki kəmiyyətin dəyişməsi hesabına baş verdi?

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

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

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

Burada  $E_{k1}$  – cismin kinetik enerjisinin başlangıç,  $E_{k2}$  – isə son qiymətidir. Kinetik enerji skalar fiziki kəmiyyətdir və 0, 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 mənqidirsə ( $A < 0$ ), 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):  $[E_k] = 1C$ .

Sürət impulsla əlaqəli olduğundan kinetik enerji də impulsla əlaqələndirilə bilər:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{pv}{2} = \frac{p^2}{2m} . (3.15)$$

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

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

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

### Qeyd.

1. Kinetik enerji haqqında teoremi cismə təsir edən əvəzləyici qüvvənin işinə əsasən isbat etdi, bu zaman qüvvənin hansı təbiəti olduğu vurgulanmadı. Bu isə o deməkdir ki, kinetik enerji haqqında teorem cismə təsir edən qüvvələrin növündən (ağırlıq qüvvəsi, sürtünmə qüvvəsi, elastiklik qüvvəsi və s. asılı olma yaraq bütün qüvvələrin əvəzləyicisi üçün doğrudur.

2. Kinetik enerji də hərəkət sürəti kimi hesablama sisteminin seçilməsindən asılıdır. Məsələn, hərəkət edən vəqonda oturan şornışının sürəti və qonla bağlı hesablama sisteminə nəzərən sıfıra bərabər olduğundan onun həmin hesablama sisteminiə nəzərən kinetik enerjisi də sıfıra bərabərdir. Lakin şornışının Yerlə bağlı hesablama sisteminə nəzərən kinetik enerjisi sıfırdan böyükdür.

## 2 Tətbiqetmə

**Məsələ 2.** Kütləsi  $m$  olan raket  $v$  sürəti ilə uçur. Yanacağının yanması nəticəsində kütləsini iki dəfə itirən raketin sürəti iki dəfə artı, bu zaman raketin kinetik enerjisi necə dəyişdi?

**Məsələ 3.** 108 km/saat sürətlə hərəkət edən 1000 t kütləli qatarı dayandırmaq üçün nə qədər iş görülməlidir?

**Nəticələrin müzakirəsi:**

- Raketin kinetik enerjisinin dəyişməsi nəyə bərabərdir? Bu dəyişməni necə təyin etdiniz?
- Qatarı dayandırmaq üçün tələb olunan işi hansı düstura əsasən təyin etdiniz? Niyə?

### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

İki şagird qış tətilində Bakıdan İstanbula təyyarə ilə səyahətə çıxmışdır. Təyyarə Yerdən 8000 m yüksəklikdə uçur. Bu zaman şagirdlərdən biri digərinə deyir: Təyyarə uçur, biz isə sükunətdəyik – deməli, təyyarənin kinetik enerjisi var, bizim isə kinetik enerjimiz sıfırdır. İkinci şagird dərhal etiraz edir: Xeyr, sən düz demirsən, biz də kinetik enerjiyə malikik.

- Hansı şagird doğru söyləir: uçan təyyarədə sükunətdə olan sərnişin kinetik enerjiyə malikdirmi? Cavabınızı əsaslandırın.

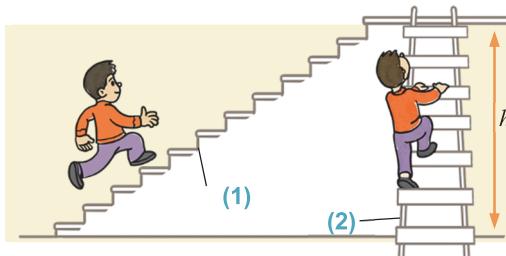
### Özünüüzü qiymətləndirin:

1. Dörsədə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Kinetik enerji haqqında teoremdən hansı fiziki məna çıxır?
3. Kinetik enerji nədən asılıdır?
4. Cisinin kinetik enerjisi hansı halda sıfıra bərabərdir, hansı halda artır, hansı halda azalır, hansı halda isə dəyişmir?
5. Kinetik enerji hesablama sisteminin seçilməsindən asılıdır mı? Cavabınızı əsaslandırın.

### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların tərif və izahatlarını iş vərəqinə yazın: “enerji”, “kinetik enerji”, “kinetik enerji haqqında teorem”, “kinetik enerjinin dəyişməsi arta, azala və sıfıra bərabər ola bilir...”, “vatt”.

## 3.4 POTENSİAL ENERJİ

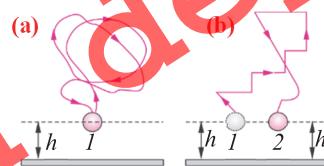


- Hansı üsulla  $h$  hündürlüğünə qalxdıqda oğlana təsir edən ağırlıq qüvvəsi az iş görər: pilləkənlə (1), yoxsa nərdivanla (2)? Nə üçün?

Araşdırma

### 1 Ağırlıq qüvvəsinin işi nəyə bərabərdir?

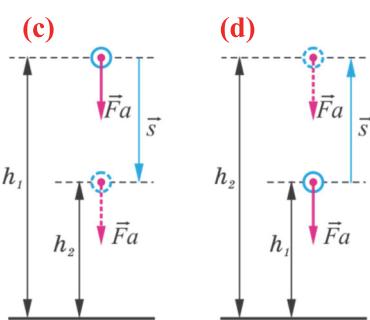
**Məsələ 1.** Cisim üfüqi səthdən  $h$  hündürlüyündə yerləşən 1 nöqtəsindən hərəkətə başlayır. O, mürəkkəb trayektoriya cizdiqdan sonra yenidən 1 nöqtəsinə qayıdır (a). İkinci eyni cisim isə hərəkətini 1 nöqtəsindən başlayıb 2 nöqtəsində bitirir (b). Bu cisimlərə təsir edən ağırlıq qüvvələrinin işi necə dəyişər?



### Nəticənin müzakirəsi:

- Ağırlıq qüvvəsinin işi nədən asılıdır?
- Ağırlıq qüvvəsinin işi sıfıra bərabər ola bilərmi? Nə üçün?

**Ağırlıq qüvvəsinin işi və potensial enerji.** Fərz edək ki, qapalı sistem Yer və onun səthindən müəyyən  $h_1$  hündürlüğünə qaldırılan cisimdən ibarətdir. Əgər cisim həmin hündürlükdən sərbəst buraxılsarsa, o, ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında Yer



səthində doğru hərəkətə başlayar. Cismin səthdən müəyyən  $h_2$  hündürlüyüünə qədər icra etdiyi səyerdəyişməsində ağırlıq qüvvəsi müsbət iş görər (qüvvə ilə yerdəyişmənin istiqaməti eyni olduğundan:  $\alpha = 0$ ) (c):

$$A = F_a \cdot s = mg(h_1 - h_2). \quad (3.18)$$

Burada  $s = h_1 - h_2$  olub  $h_1$  hündürlüyüündən  $h_2$  hündürlüyüünə sərbəst düşən cismin yerdəyişməsinin moduludur.

Əgər cisim  $h_1$  hündürlüyüündən şaquli yuxarı atılarşa, onun  $h_2$  hündürlüyüünə çatdığı an yerdəyişməsinin modulu  $s = h_2 - h_1$  olar (d). Bu halda ağırlıq qüvvəsi ilə yerdəyişmə vektorları arasındaki 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 başlangıç və son hündürlüklerinin fərqindən 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 eks işarə ilə  $mgh$  kəmiyyətinin dəyişməsinə bərabərdir. Bu kəmiyyət Yer səthindən  $h$  hündürlükdə yerləşən cisimlə Yerin qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisidir.

- Potensial enerji – qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin (və ya zərrəciklərin) malik olduğu enerjidir:

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

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

- Ağırlıq qüvvəsinin gördüyü iş eks 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):  $[E_p] = 1C$ .

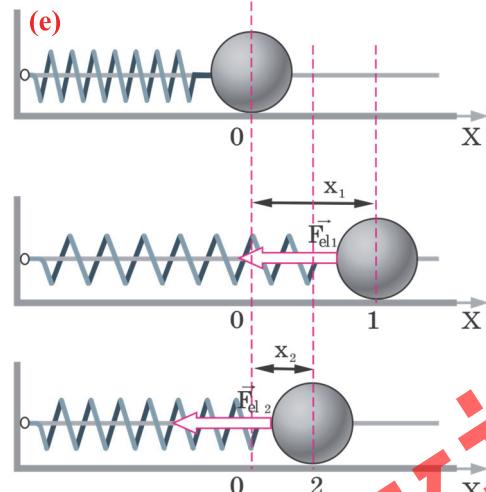
Ağırlıq qüvvəsi təsir eden cismin potensial enerjisi sıfırıncı hündürlüyün – sıfırıncı səviyyənin seçilməsindən asılıdır. Sıfırıncı səviyyə olaraq dəniz səviyyəsi, mananın səthi, otağın döşəməsi və s. götürülə bilər. Bu səviyyələrə görə hər hansı hündürlüyə qaldırılan cismin potensial enerjisi üçün müxtəlif qiymətlər alınacaq. La-

kin cismin iki müxtəlif vəziyyətinə uyğun potensial enerjilərinin fərqi sıfırıncı səviyənin 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 düşdürüyü 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 araşdırıq: yayın bir ucunu dayağ, digər ucunu isə hamar çubuq üzrə hərəkət edə bilən cismə (kürəciyə) bağlayaq. Kürəciyi sağa sürüşdürməklə 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 gərimlərinin fərqi nə 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 başlangıç  $kx_1$  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:

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

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 başlangıç və son deformasiyalarından asılıdır – deməli, elastiklik qüvvəsi konservativ qüvvədir.

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

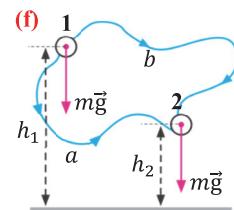
- *Elastiki deformasiya olunmuş cismin potensial enerjisi – onun sərtliyi və gərilməsinin (və ya sıxlımasının) kvadrati hasilinin yarısına bərabərdir:*

$$E_p = \frac{kx^2}{2}. \quad (3.24)$$

**2**

### Yaradıcı tətbiqetmə

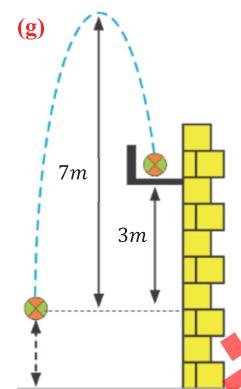
**Məsələ 2.** İsbat edin ki, cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsinin görüyü iş bu cismin 1 nöqtəsindən 2 nöqtəsinə gəldiyi **a** və **b** trayektoriyalarının formasından asılı deyildir (**f**).



**İpucu.** Trayektoriyani çoxsaylı kiçik düzxətli hissələrə bölün və bu hissələrdə görünlən işləri toplayın.

**Məsələ 3.** Sərtliyi  $300 \frac{N}{m}$  olan yay xarici qüvvənin təsiri altında 2 sm sıxlıdı. Yayı daha 2 sm sıxmaq üçün xarici qüvvə nə qədər iş görməlidir?

**İpucu.** Xarici qüvvənin yayı  $x_1$  vəziyyətindən  $x_2$  vəziyyətinə sıxması üçün gördüyü iş:  $A = \frac{k}{2}(x_2^2 - x_1^2)$ .



### Nəticənin müzakirəsi:

- Ağırlıq qüvvəsinin görüyü iş nə üçün cismin hərəkət trayektoriyasının formasından asılı deyildir?
- Əgər cisim 1 nöqtəsindən hərəkətə başlayıb *ab* trayektoriyası cizdiqdan sonra yenidən 1 nöqtəsinə gələrsə:
  - ona təsir edən ağırlıq qüvvəsinin işi nəyə bərabər olar?
  - cisinin potensial enerjisini dəyişməsi nəyə bərabər olar?
  - cisinin potensial enerjisi necə dəyişər?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin.** Şagird 100 q kütləli topu, onu atdığı nöqtədən 3 m hündürlükdəki eyvana atmaq istədi.

Lakin o, qüvvəsini düzgün tənzimləyə bilmədi: top 7 m hündürlüyə qalxdıqdan sonra eyvana düşdü (**g**).

- Bütün trayektoriya boyunca ağırlıq qüvvəsinin görüyü iş nəyə bərabər olar ( $g=10 \text{ m/san}^2$ )?

### Özünüzi qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Ağırlıq qüvvəsinin görüyü iş nəyə bərabərdir?
3. Nə üçün ağırlıq qüvvəsi konservativ qüvvədir?
4. Hansı halda deyilir ki, cisim potensial enerjiye malikdir?
5. Potensial enerjinin sıfırıncı səviyyəsi nə deməkdir?
6. Elastiki deformasiya olunmuş cismin potensial enerjisi nədən asıldır?

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların tərif və izahatlarını iş vərəqinə yazın: “ağırlıq qüvvəsinin işi”, “potensial enerji”, “potensial enerji haqqında teorem”, “potensial enerji mənfi qiymət alır...”, “potensial enerji müsbət qiymət alır...” “konservativ qüvvə”, “elastiki deformasiya olunmuş cismin potensial enerjisini”.

### 3.5 TAM MEXANİKİ ENERJİ. ENERJİNİN SAXLANMASI QANUNU



Azərbaycanın ilk süni kosmik peyki "Azerspace/Africasat-1a" Yer ətrafında müəyyən sürətlə dövr etməklə, demək olar ki, bütün qitələrin radio stansiyaları ilə məlumat mübadiləsi yaradır (a).

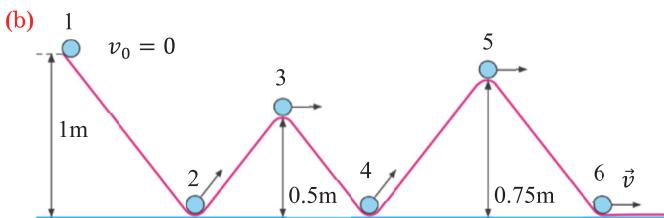
- Bu stansiya hansı mexaniki enerjiyə malikdir: kinetik, yoxsa potensial? Nə üçün?

#### 1 Tam mexaniki enerji necə dəyişir?

Məsələ 1. 1 nöqtəsindən sərbəst buraxılan m kütləli kürəcik şəkildə təsvir olunan trayektoriya üzrə sürtünməsiz hərəkət edir (b). Trayektoriyanın hansı nöqtəsində kürəciyin tam mexaniki enerjisi: a) ən böyükdür? b) ən kiçikdir? c) bərabərdir?

*İpucu.* Enerjinin saxlanması qanununa aid biliklərinizdən istifadə edə bilərsiniz (bax: Fizika-7, s.71-72).

Araşdırma



Nəticənin müzakirəsi:

- Trayektoriyanın 1 nöqtəsində kürəciyin tam mexaniki enerjisi nəyə bərabərdir?
- Trayektoriyanın 2, 4 və 6 nöqtələrində kürəciyin tam mexaniki enerjisi nəyə bərabərdir?
- Trayektoriyanın 3 və 5 nöqtələrində kürəciyin tam mexaniki enerjisi nəyə bərabərdir?
- Kürəciyin tam mexaniki enerjisi haqqında hansı nəticəyə gəlmək olar?

**Tam mexaniki enerji.** Cisimlər sistemi eyni zamanda həm kinetik, həm də potensial enerjiyə malik ola bilir. 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.** Bilitsiniz 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, alınıcak:

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

Uyğun kəmiyyətləri qruplaşdırısaq, tam mexaniki enerjinin saxlanması qanunun ifadəsi belə yazılırlar:

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

- 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 başlangıç 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  $v_0$  başlangıç sürəti ilə atılmışdır, onun tam mexaniki enerjisi:

$$E_T = \frac{mv_0^2}{2}$$

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:

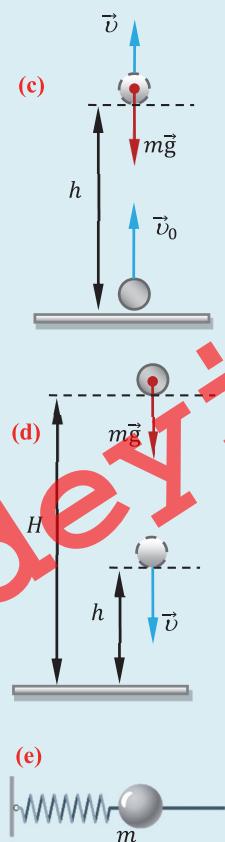
$$E_T = mgH$$

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

$$mgH = mgh + \frac{mv^2}{2}.$$

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

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



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

- Cisim Yer səthinə düşüb dayandıqda nə baş verir?
- Bu halda söyləmək olar ki, “cisin həm kinetik, həm də potensial enerjisi sıfır 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 enerjisində çevrilir: Yer səthinə zərbələ dəyən cismin Yerlə qarşılıqlı təsirindən sistem qızır və onun daxili enerjisi artır.

Digər qapalı sistemdə də enerji çevrilmələri baş verə bilir, məsələn, avtomobil-şosse sistemində hərəkətdə olan avtomobil tormozlandıqda onun kinetik enerjisi sürtünmə nəticəsində təkərlərin qızaraq daxili enerjisindən çevrilərək artır.

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.

## 2 Tətbiqetmə

**Məsələ 2.** Cisim  $10 \text{ m/san}$  başlangıç sürəti ilə şaqli yuxarı atıldı. Bu cismin  $3,2 \text{ m}$  hündürlükdə sürəti nə qədər olar (havanın müqaviməti nəzərə alınmır;  $g = 10 \text{ m/san}^2$ )?

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Şaqli yuxarı atılan cisim  $h$  hündürlüyündə hansı enerjiyə malikdir?
- Bu cisim üçün mexaniki enerjinin saxlanması qanunu hansı düsturla ifadə olunar?
- Cismin  $3,2 \text{ m}$  hündürlükdəki sürətini necə müəyyənləşdirdiniz?

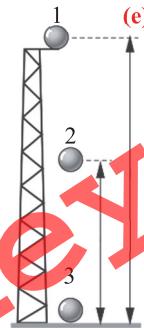
**Gündəlik hayatınızla əlaqələndirin:**

Şəkildə müəyyən hündürlükdən düşən cismin hərəkət trayektoriyasının üç müxtəlif nöqtəsindəki hali təsvir edilmişdir (e).

- Cismin bu nöqtələrinin hər birində tam enerjisi nəyə bərabərdir (havanın sürtünməsi nəzərə alınmır)?

**Özünüüzü qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Hansı şərt daxilində tam mexaniki enerji saxlanılır?
3. Hansı şərt daxilində tam enerji saxlanılır?
4. Sürtünmə nəticəsində cismin tam mexaniki enerjisinin bir hissəsi hansı növ enerjilərə çevrilə bilər?
5. Verilən hadisələrdə hansı enerji çevrilmələri baş verir?
  - a) şəlalədə su kütləsinin düşməsi;
  - b) kürəciyin mail qoyulmuş “Qaliley novunda” diyirlənməsi.
6. Cisim  $6,4 \text{ m/san}$  sürətlə şaqli yuxarı atıldı. Hansı hündürlükdə cismin kinetik və potensial enerjiləri bərabər olacaqdır?



## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müdдəaların tərif və izahatlarını iş vərəqinə yazın: “tam mexaniki enerji”, “tam mexaniki enerjinin saxlanması qanunu”, “zamanın bircənsiliyi”, “tam enerjinin saxlanması qanunu”.

### 3.6

## AZƏRBAYCANDA ALTERNATİV ENERJİ MƏNBƏLƏRİNĐƏN İSTİFADƏ (TƏQDİMAT DƏRS)

Respublikamızda alternativ enerji mənbələrindən istifadəyə dair elektron təqdimat hazırlayın. Təqdimat hazırlayarkən aşağıdakı elektron resurslarından istifadə edə bilərsiniz:

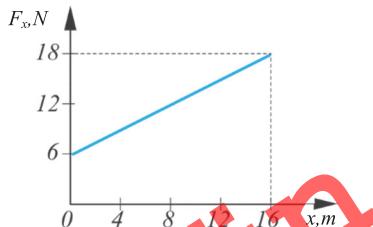
### Elektron resurslar:

1. [https://az.wikipedia.org/wiki/Kateqoriya:Azərbaycan\\_su\\_elektrik\\_stansiyaları](https://az.wikipedia.org/wiki/Kateqoriya:Azərbaycan_su_elektrik_stansiyaları).
2. [https://az.wikipedia.org/wiki/Mingəçevir\\_SES](https://az.wikipedia.org/wiki/Mingəçevir_SES).
3. [www.azerenerji.gov.az/index.php?option=com\\_content&view=article...](http://www.azerenerji.gov.az/index.php?option=com_content&view=article...)
4. [www.azerbaijans.com](http://www.azerbaijans.com) > Baş səhifə > İQTİSADIYYAT.
5. [www.president.az/articles/8577](http://www.president.az/articles/8577).
6. [www.president.az/articles/3184](http://www.president.az/articles/3184).
7. [www.minenergy.gov.az/?e=526](http://www.minenergy.gov.az/?e=526).
8. <http://www.azerbaijan-news.az/index.php?Lng=aze&year=2009&Pid=183>.
9. [www.osce.org/az/baku/40023?download=true](http://www.osce.org/az/baku/40023?download=true).
10. [lib.aliyevheritage.org/az/3316976.html](http://lib.aliyevheritage.org/az/3316976.html).
11. [eco.gov.az/.../405-azerbaycan-respublikasında-alternativ-ve-berpa-olunan-enerji-men...](http://eco.gov.az/.../405-azerbaycan-respublikasında-alternativ-ve-berpa-olunan-enerji-men...)
12. [www.carecprogram.org/uploads/docs/AZE-Renewable-Energy-Strategy-az.pdf](http://carecprogram.org/uploads/docs/AZE-Renewable-Energy-Strategy-az.pdf).
13. [www.bizimyol.info/news/61753.html](http://www.bizimyol.info/news/61753.html).
14. [axar.az/n/view.php?id=64300](http://axar.az/n/view.php?id=64300).
15. [www.qlobalenerji.az/page.php?sh=dHVRZW5tel9lbnJq](http://www.qlobalenerji.az/page.php?sh=dHVRZW5tel9lbnJq).
16. [https://az.wikipedia.org/wiki/Külək\\_enerjisi](https://az.wikipedia.org/wiki/Külək_enerjisi).
17. [www.qlobalenerji.az/page.php?sh=YXpfa2xrX2Vu](http://www.qlobalenerji.az/page.php?sh=YXpfa2xrX2Vu).
18. [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/.../TYqdimat\\_Strategiya.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/.../TYqdimat_Strategiya.pdf).
19. [referat.ilkkaddimlar.com/d\\_word\\_refe\\_hidro\\_5030.docx](http://referat.ilkkaddimlar.com/d_word_refe_hidro_5030.docx).
20. [azertag.az/.../Azerbaycanda\\_kulek\\_ve\\_gunes\\_enerjisinden\\_istifade\\_uchun\\_21](http://azertag.az/.../Azerbaycanda_kulek_ve_gunes_enerjisinden_istifade_uchun_21)
21. [www.xalqqazeti.com/az/news/economy/40986](http://www.xalqqazeti.com/az/news/economy/40986).
22. [www.anspress.com/iqtiadiyyat/07.../kulek-enerjisi-azerbaycana-baha-basa-gelmeyecce...](http://www.anspress.com/iqtiadiyyat/07.../kulek-enerjisi-azerbaycana-baha-basa-gelmeyecce...)
23. [apa.az/.../azerbaycanda-gunes-ve-kulek-enerjisinden-genis-istifade-olunmasi-meqsedil...](http://apa.az/.../azerbaycanda-gunes-ve-kulek-enerjisinden-genis-istifade-olunmasi-meqsedil...)
24. [www.anl.az/down/meqale/azerbaycan/2010/aprel/114197.htm](http://www.anl.az/down/meqale/azerbaycan/2010/aprel/114197.htm).
25. [www.feedly.today/.../azerbaycanda-kulek-ve-gunes-enerjisinden-istifade-ucun-elveris...](http://www.feedly.today/.../azerbaycanda-kulek-ve-gunes-enerjisinden-istifade-ucun-elveris...)
26. [regionplus.az/az/articles/view/5036](http://regionplus.az/az/articles/view/5036).
27. [news.atv.az/news/tech/14925-alternativ-energetika-kulek-enerjisinin-gucu](http://news.atv.az/news/tech/14925-alternativ-energetika-kulek-enerjisinin-gucu).
28. [deyerler.org/100916-alternativ-enerji-mjnbljr-kgljk-enerjisi-ii-yazd.html](http://deyerler.org/100916-alternativ-enerji-mjnbljr-kgljk-enerjisi-ii-yazd.html)
29. [e-book.az/book/1834...azerbaycanda...enerjisinden...ve...](http://e-book.az/book/1834...azerbaycanda...enerjisinden...ve...)
30. [az.wikipedia.org/Günəş\\_enerjisi](http://az.wikipedia.org/Günəş_enerjisi).
31. [ebooks.az/book\\_YqyCx9Ul.html](http://ebooks.az/book_YqyCx9Ul.html).
32. [carecprogram.org/uploads/docs/AZE-Renewable-...](http://carecprogram.org/uploads/docs/AZE-Renewable-...)
33. [news.lent.az/news/134868](http://news.lent.az/news/134868).
34. [yeniazerbaycan.com>SonXeber\\_e13759\\_az.html](http://yeniazerbaycan.com>SonXeber_e13759_az.html).
35. [physics.gov.az>PowerEng/2004/v1/article/art01.pdf](http://physics.gov.az>PowerEng/2004/v1/article/art01.pdf).
36. [qlobalenerji.az>page.php...](http://qlobalenerji.az>page.php...)
37. [webcityhost.net/vergiler/upload/File/art-293.pdf](http://webcityhost.net/vergiler/upload/File/art-293.pdf).
38. [minenergy.gov.az/db/462.pdf..](http://minenergy.gov.az/db/462.pdf..)
39. [news.day.az/Azərbaycanca/797906.html](http://news.day.az/Azərbaycanca/797906.html).
40. [arxiv.az/.../azertag...2841297/AVROPADA\\_ATOM...DINC...ILE...](http://arxiv.az/.../azertag...2841297/AVROPADA_ATOM...DINC...ILE...)
41. [az.wikipedia.org/Nüvə\\_energetikası](http://az.wikipedia.org/Nüvə_energetikası).
42. [azrefs.org>xulase-tedqiqtin-meqsedini-v2.html...](http://azrefs.org>xulase-tedqiqtin-meqsedini-v2.html...)

### Təqdimatın hazırlanmasının nümunəvi planı

<b>I slayd:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Təqdimatin adı</li> <li>• Hazırladı</li> </ul>
<b>II slayd:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azərbaycanda alternativ təbii enerji mənbələrindən istifadənin vəziyyəti</li> </ul>
<b>III slayd:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azərbaycanda axar suyun enerjisindən istifadənin tarixi</li> <li>• Azərbaycanda axar suyun enerjisindən istifadənin müasir vəziyyəti</li> </ul>
<b>IV slayd:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Külək enerjisindən istifadənin tarixi</li> <li>• Azərbaycanda külək enerjisindən istifadənin müasir vəziyyəti</li> </ul>
<b>V slayd:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azərbaycanda axar suyun və küləyin enerjisindən istifadənin perspektivləri</li> </ul>
<b>VI slayd</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azərbaycanda Günəş enerjisindən istifadənin hazırlı vəziyyəti</li> <li>• Azərbaycanda Günəş enerjisindən istifadənin perspektivləri</li> </ul>
<b>VII slayd</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azərbaycanda atom enerjisindən istifadənin perspektivləri</li> <li>• Azərbaycanda geotermal su mənbələrinin enerjisindən istifadənin perspektivləri</li> </ul>

- 3.1.** Buz üstündə konkidə duran 50 kq kütləli oğlan kütləsi 1 kq olan qar topasını üfüqə 5 m/san sürətlə atdı. Bu zaman oğlan hansı sürət alar?
- 3.2.** Kütləsi 150 t olan lokomotiv sükunətdə duran 1250 t kütləli qatara 7 m/san sürətlə yaxınlaşır. Qatar lokomotivə birləşəndən sonra hansı sürət alar?
- 3.3.** 500 m/san sürətlə uçan mərmi partlayaraq kütlələri 5 kq və 15 kq olan iki qəlpəyə ayrıldı. Böyük qəlpə 800 m/san sürət alaraq uçuş istiqamətində hərəkətini davam etdirdi. Kiçik qəlpənin sürətini təyin edin.
- 3.4.** 2 m/san sürətlə qaçan 60 kq kütləli oğlan 1 m/san sürətlə hərəkət edən 40 kq kütləli arabaya çataraq onun üzərinə tullandı. Araba oğlanla birlikdə hansı sürətlə hərəkətini davam etdirər?
- 3.5.** OX oxu boyunca hərəkət edən cismə təsir edən qüvvənin proyeksiyasının  $x$ -dan asılılıq qrafikli verilmişdir. Bu qüvvənin 12 m yolda gördüyü işi təyin edin.



- 3.6.** Oğlan üfüqi yolda duran arabaya yerdəyişmə ilə  $60^\circ$  bucaq təşkil edən sabit qüvvə tətbiq etməklə onun yerini 40 m dəyişdi. Qüvvənin gördüyü iş 2 kC olarsa, oğlan arabaya nə qədər qüvvə tətbiq etmişdir?
- 3.7.** Oğlan 100 q kütləli topu saqılı yuxarı atdı və sərbəst düşən topu atdığı nöqtədə də tutdu. Yuxarı hərəkət edən topun 5m yüksəkliyə qalxdığını nəzərə almaqla, topa təsir edən ağırlıq qüvvəsinin gördüyü işi hesablayın ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ ): a) topun yuxarı hərəkət etdiyi hal üçün; b) topun aşağı hərəkət etdiyi hal üçün; c) topun hərəkətdə olduğu bütün yol üçün.

- 3.8.** Gücü  $0,9 \text{ kVt}$  olan elektrik mühərriki ilə  $30 \text{ kq}$  kütləli yükü  $4 \text{ m/san}$  sürətlə qaldırmaq olarmı ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ )?

- 3.9.** Kütləsi  $500 \text{ q}$  olan daş  $20 \text{ m/san}$  sürətlə şaquli yuxarı atılır. Daş  $1 \text{ san}$  və  $2 \text{ san}$  zaman anlarında hansı kinetik enerjiyə malik olar (havanın müqaviməti nəzərə alınmır;  $g = 10 \text{ m/san}^2$ )?

- 3.10.** Avtobus sürətini  $2 \text{ dəfə}$  artırarsa, onun kinetik enerjisi necə dəyişər?

- 3.11.** Kütləsi  $25 \text{ q}$  olan kürəcik  $5 \text{ m/san}$  sürətlə hərəkət edərək sərtliyi  $10^3 \text{ N/m}$  olan yaya dəyir. Yayın deformasiyasını təyin edin.



- 3.12.** Tüfəngdən  $600 \text{ m/san}$  sürətlə atılan  $5 \text{ q}$  kütləli güllə taxta hədəfi dəlib keçir. Hədəfdən çıxan anda güllənin sürəti  $200 \text{ m/san}$  oldu. Hədəfin müqavimət qüvvələrinin gördüyü işi təyin edin.

- 3.13.** Sərtliyi  $100 \text{ N/m}$  olan dinamometrin yayı  $2 \text{ sm}$  deformasiya edir. Deformasiya etmiş yayın potensial enerjisini təyin edin.

- 3.14.** Cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsi mənfi iş görürsə, onun kinetik və potensial enerjisi necə dəyişər?

- 3.15.** Cismə təsir edən ağırlıq qüvvəsi müsbət iş görürsə, onun kinetik və potensial enerjisi necə dəyişər?

- 3.16.** Daşı  $4 \text{ m dərinlikli}$  quyudan bərabər sürətlə səthə qaldırıldıqda  $150 \text{ C}$  iş görüldü. Daşın kütləsini təyin edin ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ , havanın müqaviməti nəzərə alınmır).

- 3.17.**  $75 \text{ m}$  hündürlükdən  $10 \text{ m/san}$  sürətlə şaquli aşağı atılan cismin yərə dəymə anında kinetik enerjisi  $1600 \text{ C}$  olmuşdur. Cismin kütləsini və yərə dəymə anındaki sürətini təyin edin ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ , havanın müqaviməti nəzərə alınmır).

- 3.18.** Kütləsi  $250 \text{ q}$  olan cisim  $15 \text{ m/san}$  sürətlə şaquli yuxarı atıldı. Cismin qalxdığı maksimum hündürlüyü və bu hündürlükdəki potensial enerjisini təyin edin ( $g = 10 \text{ m/san}^2$ , havanın müqaviməti nəzərə alınmır).

- 3.19.** Tapançanın  $10 \text{ sm}$  sıxlımlı yayı açıldıqda  $3 \text{ q}$  kütləli gülleyə hansı sürət verər? Yayan sərtliyi  $100 \text{ N/m}$ -dir.

- 3.20.** Polad kürəcik  $20 \text{ m/san}$  sürətlə şaquli yuxarı atıldı. Kürəcikin kinetik və potensial enerjilərinin bərabər olduğu hündürlüyü təyin edin ( $g=10\text{m/san}^2$ ; havanın müqavimətini nəzərə almayıñ).

Çap üçün  
98

# MEXANİKİ RƏQSLƏR VƏ DALĞALAR

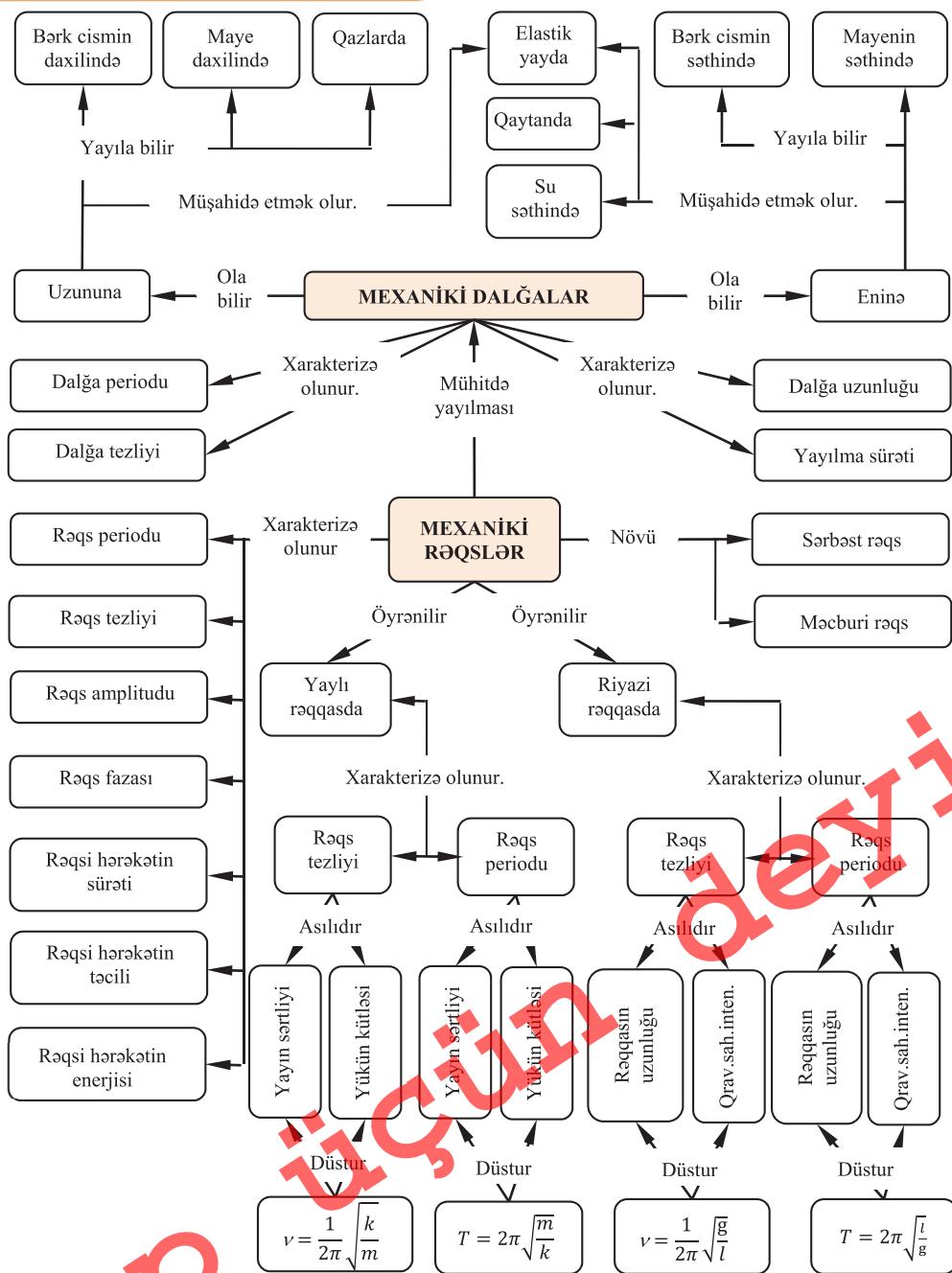
Siz bu fəslin materiallarını mənimsəməklə  
**BACARACAQSINIZ:**

- harmonik rəqslerin əlamətlərini sadalamağı;
- mexaniki rəqs və dalğaların növlərini fərqləndirməyi;
- mexaniki rəqs və dalğaların əsas xarakteristikalarını müəyyən etməyi;
- mexaniki rəqs və dalğaların xarakteristikaları arasındaki asılılıqlara aid kəmiyyət və keyfiyyət xarakterli məsələlər qurmağı və həll etməyi;
- yaylı və riyazi rəqqasda mexaniki rəqslerin yaranma səbəblərini izah etməyi;
- yaylı və riyazi rəqqasın rəqs tənliyini yazmağı, bu rəqqasların rəqs periodu və tezliklərinin asılı olduğu kəmiyyətləri təcrübə və nəzəri yolla müəyyən etməyi;
- harmonik rəqsin qrafikinə əsasən rəqs periodu, tezliyi, dövri tezliyi, rəqsin amplitudu, sürət və təciliinin amplitud qiymətlərini təyin etməyi;
- rəqslerin elastik mühitdə eninə və uzununa yayılmasını eksperimental və nəzəri müəyyənləşdirməyi;
- mexaniki dalğanın xarakteristikalarının zamandan asılılıq qrafiklərini təsvir etməyi və “oxumağı”.

Çap  
üçün  
dəvəti

# IV

## Fəsilin “Anlayışlar xəritəsi”



## 4.1 Rəqsİ HƏRƏKƏT. SƏRBƏST RƏQSLƏR

Tədbirli meşəbeyilər bal arılarının ağacın gövdəsində qurduları pətəkləri ayıdan qorumaq üçün möhkəm qaytandan ağır kötük asırlar.

Kötük pətəkdən bir qədər aşağıda, ayının yolunun üstündə yerləşdirilir. Ağaca dırmanın ayı kötüyü kənara itələmək məcburiyyətində qalır.

- Sonra nə baş verir? Aylı pətəyə qalxa bilirmi? Nə üçün?
- Kötüyün belə hərəkəti bir sözlə necə adlandırılara bilər? Bu hərəkət sərbəstdir, yoxsa məcburi?

**1** **Məsələ 1.** Verilən sıralamadakı söz birləşmələrini diqqətlə nəzərdən keçirib onlar üçün ümumi və fərqli nə olduğunu müəyyən edin:

“Su səthində üzgəcin hərəkəti”, “Ayın Yer ətrafında hərəkəti”, “Yelləncəyin hərəkəti”, “Ağacı kəsən mişarın hərəkəti”, “Yükün yaylı dinamometrdə hərəkəti”, “Mühərrikdə porşenin silindirdə hərəkəti”, “Fırıldaqın masa səthində hərəkəti”.

### Nəticənin müzakirəsi:

- Söz birləşmələrində hansı sistemlərin hərəkətləri təsvir olunur?
- Bu hərəkət sistemlərində ümumi və fərqli cəhət nədir?

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

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

Rəqsİ hərəkət periodik və qeyri-periodik ola bilir:

• *Periodik rəqsİ hərəkət – cismin və ya cisimlər sisteminin bərabər zaman fasılələrindən sonra təkrarlanan rəqsidir.*

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

Rəqsİ 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.*

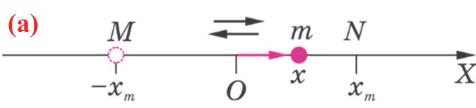
**Sərbəst rəqslər.** Rəqsİ hərəkətləri öyrənərkən aparılan ölçmə və hesablamaların sadəliyi üçün qapalı sistemdən istifadə etmək əlverişlidir. Qapalı sistemdə cisimlər daxili qüvvələrin qarşılıqlı təsiri nəticəsində rəqsİ hərəkət edir.

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, fərəz edək ki,  $m$  kütləli cisim  $X$  oxu boyunca  $O$  tarazlıq nöqtəsi ətrafında gah



sağa, gah da sola təkrarlanan periodik hərəkət edir. Cisinin verilən  $t$  anındaki  $x$  koordinatı həmin cisim tarazlıq vəziyyətindən yerdəyişməsini göstərir (a).

- *Amplitud – rəqs edən cismin tarazlıq vəziyyətindən maksimum yerdəyişməsinin modulu*dur. 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:

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

Burada  $\nu$  (önü) – *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 *hertz* (*Hs*) adlandırılmışdır:

- *(1Hs) – 1 saniyədə 1 rəqs edən rəqsin tezliyidir:  $[\nu] = 1 \text{ Hs} = 1 \text{san}^{-1}$ .*

- *Rəqs periodu – bir tam rəqsə sərf olunan zamandır:*

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

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

*Rəqsin tezliyi ilə periodu qarşılıqlı təsər kəmiyyətlərdür:*

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

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

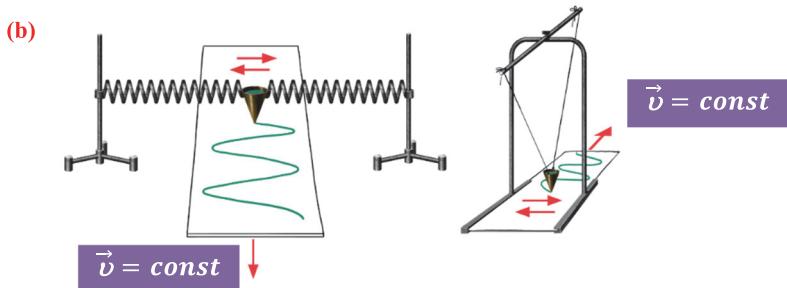
$$\omega = 2\pi\nu. \quad (4.5)$$

Burada  $\omega$  (*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 zamanın 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 sürtinmə 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 doldurulan nazik deşikli qıfla aparılan təcrübədə asanlıqla müşahidə etmək mümkündür (b).



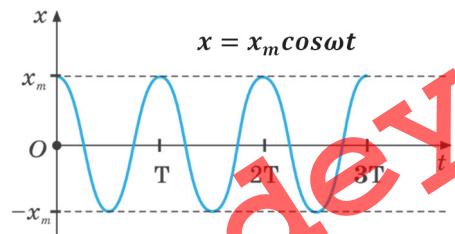
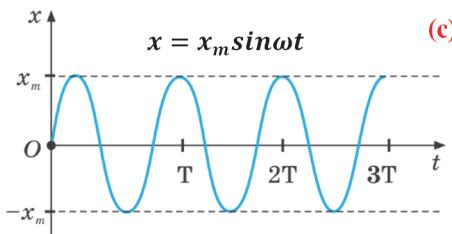
Bu əyri rəqqasın  $x$  yerdəyişməsinin  $t$  zamanına görə sinus və ya kosinus qanunu ilə dəyişmə qrafikinə uyğundur (c):

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

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 – sürtinmə qüvvələrinin təsiri altında sistemin tam mexaniki enerjisi zaman keçdikcə azalır, rəqsin amplitudu kiçilir və rəqs sönürlər (d).

- **Sönən rəqslər** – qapalı rəqs sistemində sürtinmə qüvvələrinin təsiri nəticəsində sistemin tam mexaniki enerjisinin tədricən azalması və amplitudun kiçilməsi ilə müşayiət olunan rəqslərə deyilir.

2

### Tətbiqetmə. Rəqsin xarakteristikalarını təyin edin

**Məsələ 2.** Maddi nöqtə düz xətt üzrə 2 Hz tezliyi ilə rəqs edərək 2 saniyədə 4 sm yol gedir. Bu rəqsin amplitudu nəyə bərabərdir?

#### Nəticənin müzakirəsi:

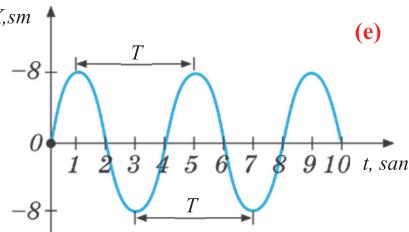
- Rəqsin amplitudu və yerdəyişməsi arasında ümumi və fərqli xüsusiyyət nədir?
- Sistemin müəyyən tezliklə düz xətt üzrə rəqsini zamanı t müddətində getdiyi yol nəyə bərabərdir?

#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Canlı və cansız təbiətdə rast gəldiyiniz rəqs sistemlərinə nümunələr göstərə bilərsinizmi?

**Özünüzü qiymətləndirin:** 1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı? 2. Hansı proses mexaniki rəqsini hərəkət adlanır?

3. Sərbəst rəqs nədir? O sənəndir, yoxsa sənməyən? Cavabınızı əsaslandırin. 4. Rəqs tezliyi və rəqs amplitudu, uyğun olaraq nəyi ifadə edir? 5. Harmonik rəqs edən sistemin yerdəyişmə-zaman qrafiki verilmişdir (e). Sistemin rəqs periodunu, tezliyini və amplitudunu təyin edin.



### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: "mexaniki rəqsini hərəkət", "periodik rəqsini hərəkət", "sərbəst rəqslər", "rəqsini hərəkətdə yerdəyişmə", "amplitud", "rəqs tezliyi", "rəqs periodu", "dövri tezlik", "sənən rəqs", "harmonik rəqs".

## 4.2

## YAYLI RƏQQASDA HARMONİK RƏQSLƏR

1985-ci ildə Mexiko şəhərində böyük faciəyə səbəb olan zəlzələ baş verdi: 5526 nəfər həlak oldu, 40 000 insan şikət qaldı, 31000 nəfər isə evini itirdi. Alımların sonralar apardığı əraşdırımlardan məlum oldu ki, zəlzələ zamanı baş verən dağıntıların başlıca səbəbi binaların sərbəst rəqs tezlikleri ilə torpağın məcburi rəqs tezliyinin üst-üstə düşməsidir. Ona görə də seysmik aktiv sahələrdə yeni binalar tikərkən elə etmək lazımdır ki, bu tezliklər üst-üstə düşməsin. Belə olan halda zəlzələnin dağıdıcı təsirini xeyli zəiflətmək mümkündür. Bu məqsədə rəqs tezliyi və periodun nədən asılı olduğunu bilmək vacibdir.

- Rəqs sisteminin rəqs periodu və tezliyi nədən asılı ola bilər?

1

#### Yaylı rəqqasın rəqslərinin tədqiqi

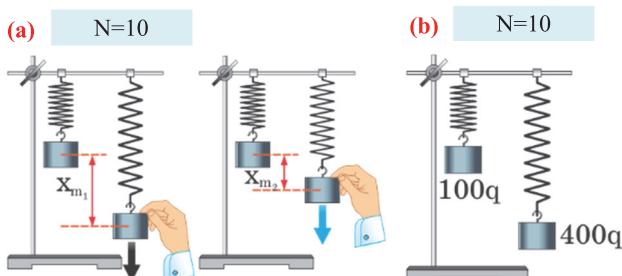
**Təchizat:** müxtəlif sərtlikli iki yay, yüksək dəst, sənayeölçən, mufta və tutqacı olan ştativ. İşin gedisi.

#### I. Yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin amplituddan asılılığıının tədqiqi.

1. Yayın bir ucunu ştativin tutqacına borkidin, digər ucundan isə 100 q-lıq yüksək asıl kicik  $x_{m1}$  amplitudunda rəqsini hərəkətə gətirin.
2. Sənayeölçəni işə salıb  $N = 10$  tam rəqsə sərf olunan  $t_1$  zamanını ölçün (a).
3. Yaylı rəqqasın rəqs periodunu  $T_1 = t_1/N$ , tezliyini isə  $v_1 = N/t_1$  düsturundan təyin edin.
4. Yaylı rəqqasın rəqs amplitudunu nisbətən azaldın ( $x_{m2}$ ) və təcrübəni təkrarlamaqla rəqs periodunu ( $T_2$ ) və tezliyini ( $v_2$ ) hesablayın.

5. Yaylı rəqqasın rəqs periodlarının  $T_1$  və  $T_2$  rəqs tezliklərinin  $v_1$  və  $v_2$  qiymətlərini müqayisə edin.

## II. Yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin yüksün kütləsindən asılılığının tədqiqi.



- Yaylı rəqqasdan 100 q-lıq yük asıb kiçik  $x_{m1}$  amplitudunda rəqs hərəkətə gətirin və saniyədən işə salıb  $N = 10$  tam rəqsə sərf olunan zamanı ölçün.
- $T_1$  – rəqs periodu və  $v_1$  rəqs tezliyini təyin edin.
- Təcrübəni 400 q yükə təkrarlamaqla  $T_2$  və  $v_2$ -ni hesablayın (b).
- Alınan nəticələri 4.1 cədvəlinə yazın və aşağıdakı nisbətləri müqayisə edin:

$$\frac{T_2}{T_1} \nu \varpropto \frac{m_2}{m_1}; \quad \frac{v_2}{v_1} \nu \varpropto \frac{m_2}{m_1}.$$

## III. Yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin yayın sərtliyindən asılılığının tədqiqi.

- Müxtəlif sərtlikli yayların hər birindən 100 q-lıq yükər asın.
- Hər iki yayı rəqs hərəkətə gətirin, 10 rəqsə sərf olunan zamanı ölçüb  $T_1$  və  $v_1$  hesablayın (c).
- Təcrübəni 400 q yükə təkrarlayın,  $T_2$  və  $v_2$ -ni hesablayın (c).
- Ölçmə və hesablamalardan alınan ifadələri 4.1 cədvəlinə yazın və aşağıdakı nisbətləri müqayisə edin:

$$\frac{T_2}{T_1} \nu \varpropto \frac{k_2}{k_1}; \quad \frac{v_2}{v_1} \nu \varpropto \frac{k_2}{k_1}.$$

Cədvəl 4.1

Nö	$m, \text{ kq}$	N	$t, \text{ san}$	$T, \text{ san}$	$v, \text{ Hs}$	$\frac{T_2}{T_1}$	$\frac{v_2}{v_1}$	$\frac{m_2}{m_1}$	$\frac{k_2}{k_1}$
1	0,1	10							
2	0,4								

### Nəticənin müzakirəsi:

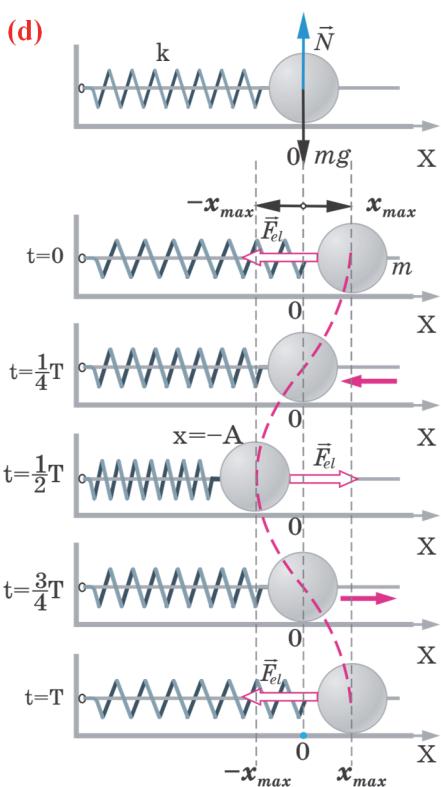
- Yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyi amplituddan necə asılıdır?
- Yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyi yaydan asılan yükün kütləsindən necə asılıdır?
- Yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyi yayın sərtliyindən necə asılıdır?

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 məhiyyətinə tam uyğundur:
- Harmonik rəqs dedikdə, yerdəyişmə ilə düz mütənasib olub, yerdəyişmənin əksinə yönələn qüvvənin təsiriylə yaranan rəqs başa düşür*.

Yaylı rəqs sistemin rəqslərinin araşdırılmasının böyük praktik əhəmiyyəti vardır; məsələn, gövdəsi rəssorla və yaya bərkidilən avtomobilərin titrəməsinin hesablanmasıda,

(d)



(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  $\frac{k}{m}$  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 mərkəzəqəçmə təcilinin məlum ifadəsi ilə müqayisə etdikdə (bax: *Fizika-10*, mövzu 1.8),  $\frac{k}{m}$  nisbətinin dövri tezliyin kvadratına ( $\omega^2$ ) 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:

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

binaların və ağır dəzgahların titrəyişlərinin özüllərə təsirinin nəzərə alınması, lər xəstəliklərinin diaqnozunda qulaq pərdəsinin elastiqliyinin 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 məqsədə uyğundur (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 yaya təsir edən elastiklik qüvvəsi kürəciyə təcili 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

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

(4.12) tənliyi o deməkdir ki, yaylı rəqqasın rəqsleri dövri tezliyi  $\omega$  olan sərbəst harmonik rəqslerdir. Riyaziyyatdan məlumdur ki, bu tənliyin həlli aşağıdakı funksiyadır:

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

Trigonometrik funksiya harmonik olduğuna görə riyazi rəqqasın da rəqsleri harmonik rəqslerdir.

Burada  $\omega t + \varphi_0 = \varphi$  kəmiyyəti rəqsin fazası,  $\varphi_0$  isə başlangıç fazasıdır. Fazanın BS-də vahidi *radiandır* (1 rad). Fazanı bucaq dərəcəsi ilə də ölçmək olur:  $\pi$  (rad) = 180°.

Başlangıç fazanın qiyməti zamanın başlangıç anının seçilməsindən asılıdır. Belə ki, zamanın başlangıcını elə seçmək olar ki,  $\varphi_0 = 0$  olsun. Bu halda yaylı rəqqasın harmonik rəqsinin düsturu belə yazılır:

$$x = x_m \cos \omega t \quad \text{və ya} \quad x = A \cos \omega t. \quad (4.13)$$

(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.

2

### Tətbiqetmə. Rəqs tezliyi və periodu necə dəyişir?

**Məsələ.** Yaylı rəqqasın rəqs amplitudu 2 dəfə artırılıb, yadan asılan yükün kütləsi 4 dəfə azaldılsa, rəqqasın rəqs tezliyi və periodu necə dəyişir?

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Yaylı rəqqasın rəqs periodu və tezliyi rəqs amplitudundan və yükün kütləsindən necə asılıdır?

#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Avtomobil, vagon və təyyarələrin təkərlərini gövdələri ilə əlaqələndirən elastik rəsorlarda hansı fiziki parametrlər nəzəre alınmalıdır?

#### Özünüüz qıymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Yaylı rəqqasın rəqs periodu nədən asılıdır? Asılılıq qrafikini təsvir edin.
3. Yaylı rəqqasın rəqs tezliyi nədən asılıdır? Asılılığı qrafik təsvir edin.
4. Yaylı rəqqasın dövri tezliyi nədən asılıdır? Asılılığı qrafik təsvir edin.

### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan müddəaların qısa izahını yazın. “yaylı rəqqas”, “yaylı rəqqasın rəqs periodu”, “yaylı rəqqasın rəqs tezliyi”.

## 4.3 RİYAZİ RƏQQASDA HARMONİK RƏQSLƏR

Günümüzə belə bir tarixi məlumat gelib çatmışdır: bir dəfə 1583-cü ildə italiyalı alim Q.Qaliley Piza məbədində olarkən uzun burazdan asılan cilçirağın rəqsini hərəkəti onun diqqətini çəkir. O, cilçiragın rəqsini nebzinin vurması ilə müqayise etdikdə məlum olur ki, rəqqasın amplitudunun azalmasına baxmayaraq, onun bir rəqsə sərf etdiyi zaman (rəqs periodu) dəyişmir. Qaliley sonralar apardığı çoxsaylı araşdırılarda ipli rəqqasın uzunluğunu, ondan asılan yükün kütłesini, rəqqasın yerləşdiyi yüksəkliyi (dəniz səviyyəsi ilə müqayisədə) dəyişməklə rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin nədən asılı olduğunu təyin etdi.

- Fərziyyənizi söyləyin: Qaliley ipli rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin nədən asılılığını müəyyənənləşdirdi?**



1

### Ipli rəqqasın rəqslerinin tədqiqi

Təchizat: uzun sapa bağlanmış kiçik kürəcik, xətkəş, saniyəölçəm, mufta və tutqacı olan ştativ.

İşin gedisi:

#### I. Ipli rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin amplituddan asılılığının tədqiqi.

- Ştativi masa kənarında yerləşdirin. Ucundan kürəcik asılan sapın sərbəst ucunu ştativin tutqacından elə asın ki, kürəcik döşəmədən 1–2 sm hündürlükdə yerləşsin (a).
- Sapın ştativə bağlanan nöqtəsindən kürəciyin mərkəzinə qədərki məsafəni – rəqqasın uzunluğunu ölçün, o, 160 sm olmalıdır.
- Rəqqası kiçik  $x_{m1}$  amplitudunda rəqsli hərəkətə gətirin, saniyəölçəni işə salıb  $N = 5$  tam rəqsə sərf olunan  $t_1$  zamanını ölçün.
- Ipli rəqqasın rəqs periodunu  $T_1 = t_1/N$ , tezliyini isə  $v_1 = N/t_1$  düsturundan təyin edin.
- Rəqqasın rəqs amplitudunu nisbətən artırın ( $x_{m2}$ ) və təcrübəni təkrar-lamaqla rəqs periodunu ( $T_2$ ) və tezliyini ( $v_2$ ) hesablayın.
- Ipli rəqqasın rəqs periodlarının  $T_1$  və  $T_2$ , rəqs tezliklərinin  $v_1$  və  $v_2$  qiymətlərini müqayisə edin.

(a)



#### II. Ipli rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin rəqqasdan asilan yükün kütlesindən asılılığının tədqiqi.

- Sapın ucundakı kürəciyi bir qədər böyük kürəciklə əvəz edin. Rəqqası yenə kiçik  $x_{m1}$  amplitudunda rəqsli hərəkətə gətirib  $N = 5$  tam rəqsə sərf olunan zamanı ölçün.
- $T_2'$  – rəqs periodunu və  $v_2'$  – rəqs tezliyini təyin edin.
- Rəqqasın rəqs periodlarının  $T_1$  və  $T_2'$ , rəqs tezliklərinin  $v_1$  və  $v_2'$  qiymətlərini müqayisə edin.

#### III. Ipli rəqqasın rəqs periodu və tezliyinin rəqqasın uzunluğundan asılılığının tədqiqi.

- Sapi ştativin tutqacına dolamaqla rəqqasın uzunluğunu 4 dəfə qısalın və onu yenə kiçik  $x_{m1}$  amplitudunda rəqsli hərəkətə gətirin. Saniyəölçəni işə salıb  $N=5$  tam rəqsə sərf olunan zamanı ölçün.
- $T_2''$  – rəqs periodunu və  $v_2''$  – rəqs tezliyini təyin edin.
- Ölçmə və hesablamalardan alınan ifadələri 4.2 cədvəlinə yazın və aşağıdakı nisbətləri müqayisə edin:

$$\frac{T_2''}{T_1} \approx \frac{l_2}{l_1}; \quad \frac{v_2''}{v_1} \approx \frac{l_2}{l_1}.$$

Cədvəl 4.2

Nö	$l$ , m	N	$t$ , san	$T$ , san	$v$ , Hs	$\frac{T''}{T_1}$	$\frac{v''}{v_1}$	$\frac{l_2}{l_1}$
1	1,60							
2	0,4	5						

**Nəticənin müzakirəsi:**

- İpli rəqqasın rəqs periodu və tezliyi amplitud və yükün kütləsindən necə asılıdır?
- İpli rəqqasın rəqs periodu və tezliyi rəqqasın uzunluğundan necə asılıdır?
- Araşdırmadan hansı nəticəyə gəlmək olar?

Harmonik rəqsler 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 asilan maddi nöqtədən ibarət ideallaşdırılmış rəqs sistemidir.*

Riyazi rəqqası tədqiq etmək üçün nazik uzun sap-kürəcik sistemindən istifadə edilə bilər (b). Rəqqasın tarazlıq vəziyyətində kürəciyə təsir edən ağırlıq qüvvəsi ( $m\vec{g}$ ) sapın gərilmə qüvvəsi ilə ( $\vec{T}$ ) tarazlaşır. Lakin rəqqası kiçik  $\alpha$  bucağı qədər yana meyil etdirib tarazlıqdan çıxarsaq, ağırlıq qüvvəsi vektorunun iki toplananı yaranır – sap boyunca yönələn  $\vec{F}_{||}$  və sapın uzantısına perpendikulyar olan  $\vec{F}_{\perp}$  toplananı. Bu zaman  $\vec{F}_{||}$  və  $\vec{T}$  qüvvələri bir-birinin təsirini kompensasiya etdiyindən  $\vec{F}_{\perp}$  qüvvəsi kürəciyi tarazlıq vəziyyətinə qaytarmağa “çalışan” əvəzləyici qüvvə olacaq (bax: a). Bunu nəzərəalsaq, Nyutonun II qanununa əsasən  $m$  kütləli kürəciyin rəqsini hərəkət tənliyini proyeksiyada belə yazmaq olar:  $ma_x = -F_{\perp}$ .

Nəzərə alsaq ki:

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

Riyazi rəqqasın rəqs tənliyi üçün alarıq:

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

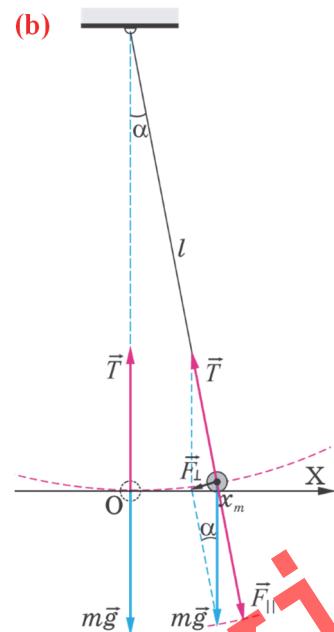
Burada  $l$  – riyazi rəqqasın (sapın) uzunluğu,  $g$  – sərbəstdüsmə tacili,  $x_m$  – rəqsin amplitududur.

Tənlikdəki  $\frac{g}{l}$  nisbəti verilən rəqs sistemi üçün sabit müsbət kəmiyyətlərdir, çünkü sərbəstdüsmə tacili və uzunluq mənfi ola bilməz. (4.16) və (4.10) tənliklərini müqayisə etsək, asanlıqla görmək olar ki,  $\frac{g}{l}$  nisbəti də dövri tezliyin kvadratına ( $\omega^2$ ) bərabərdir:

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

və ya

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (4.18)$$



Beləliklə, riyazi rəqqasın hərəkət tənliyini belə də yazmaq olar:

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

(4.19) tənliyi o deməkdir ki, riyazi rəqqasın rəqsləri – dövri tezliyi  $\omega$  olan sərbəst harmonik rəqslərdir. Riyaziyyatdan bilirsiniz ki, bu tənliyin həlli aşağıdakı funksiyadır:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Bu funksiya harmonik olduğuna görə riyazi rəqqasın da rəqsləri harmonik rəqslərdir.

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

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

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

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

## 2 Araşdırma

### Tətbiqetmə

#### Rəqs periodu nə qədər idi?

**Məsələ.** Uzunluğu 225 sm olan riyazi rəqqasın rəqs periodu və tezliyini təyin edin. Bu rəqqas 20 rəqsə nə qədər vaxt sərf edər (havanın müqaviməti nəzərə alınmir;

$$g = 9 \frac{m}{san^2}; \pi = 3?$$

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Riyazi rəqqasın əvvəlki rəqs periodu neçə saniyədir, onu necə təyin etdiniz?

#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Kəfkirli divar saatı geri qalanda, yaxud “qabağa qaçanda” onu kəfkirin uzunluğunu dəyişməklə tənzimləyirlər.

- Kəfkirli saat “qabağa qaçanda” onun kəfkirinin uzunluğunu necə dəyişmək lazımdır? Nə üçün?

#### Özünüüzü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Riyazi rəqqasın rəqs periodu nədən asılıdır? Asılılığı qrafiki təsvir edin.
3. Riyazi rəqqasın rəqs tezliyi nədən asılıdır? Asılılığı qrafiki təsvir edin.
4. Riyazi rəqqasın dövri tezliyi nədən asılıdır? Asılılığı qrafiki təsvir edin.



### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan müddəaların qısa izahını yazın: “riyazi rəqqas”, “riyazi rəqqasın rəqs periodu”, “riyazi rəqqasın rəqs tezliyi”.

## PRAKTİK İŞ

### RİYAZİ RƏQQAS VASİTƏSİLƏ SƏRBƏSTDÜŞMƏ TƏCİLİNİN TƏYİNİ

**Məqsəd:** Riyazi rəqqasın rəqs periodunun  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  düsturuna əsasən sərbəstdüşmə təciliini təyin edə bilmək bacarığına yiyələnmək.

**Təchizat:** uzun sapdan ( $\approx 160$  sm) asılmış kiçik kürəcik, ölçü lenti (və ya ölçü ruleti), saniyəölçən, mufta və tutqacı olan ştativ.

**İşin gedisi:**

- Ştativi masanın kənarında yerləşdirib rəqqası ondan elə asın ki, kürəcik döşəmədən 1–2 sm hündürlükdə olsun.
- Rəqqasın ştativə bağlılığı nöqtədən ucundakı kürəciyin mərkəzinə qədərki məsafəni – rəqqasın uzunluğunu ölçün. Bu məsafə  $\approx 160$  sm olacaq.
- Rəqqası tarazlıq vəziyyətindən 5 sm məsafəyə qədər meyil etdirib buraxın və saniyəölçəni işə salın,  $N=10$  tam rəqsə sərf olunan zamanı ölçün. Nəticələri 4.3 cədvəlində qeyd edin.
- Təcrübəni eyni şərtlərlə daha iki dəfə təkrarlayın, zamanın orta qiymətini təyin edin. Bu qiymətə əsasən rəqs periodunun orta qiymətini hesablayın.

$$t_{or} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3};$$

$$T_{or} = \frac{t_{or}}{N}.$$

- Uyğun ifadələri yerinə yazmaqla sərbəstdüşmə təciliinin orta qiymətini hesablayın ( $\pi = 3,14$ ):

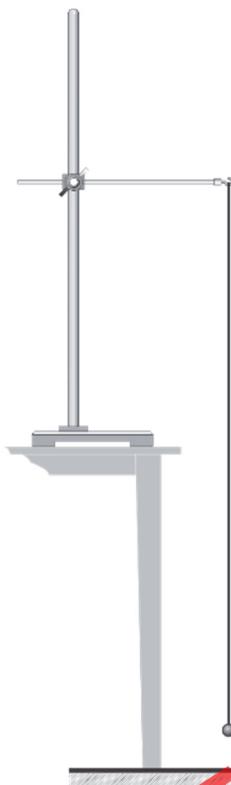
$$g_{or} = \frac{4\pi^2 l}{T_{or}^2}.$$

Cədvəl 4.3

Nö	$l, sm$	$N$	$t, san$	$t_{or}, san$	$T_{or}, san$	$g_{or}, m/san^2$
1	160	10				
2	160	10				
3	160	10				

- Bütün nəticələri cədvəldə qeyd edib nisbi xətanı hesablayın ( $g = 9,81 \frac{m}{san^2}$ ):

$$\varepsilon = \frac{|g_{or} - g|}{g} \cdot 100\%.$$



## 4.4

## HARMONİK RƏQSLƏRDƏ SÜRƏT VƏ TƏCİL

Siz artıq əsas trigonometrik funksiyaları tanıyır, harmonik rəqsini təsvir edən trigonometrik tənliklərin qrafiklərini qurmağı bacarırsınız (bax: *Riyaziyyat-10*).

- Kəmiyyətin harmonik qanunla dəyişməsi nə deməkdir?
- Trigonometrik funksiyaların qrafiklərinin qurulmasının hansı üsullarını bilirsiniz?
- Trigonometrik funksiyaların qrafiklərinin qurulması praktik olaraq hansı fiziki proseslərə tətbiq edilə bilər?

1

Riyaziyyat fizikanın sağ əlididir!

Məsələ -1. Uyğunluğu müəyyən edin: hansı trigonometrik tənliyin qrafikidir?

Arasıdırma



- a)  $x = x_m \cos \omega t$   
 b)  $f(t) = -\cos 2t$   
 c)  $f(t) = -3 \sin \omega t$   
 d)  $x = 10 \sin \omega t$   
 e)  $f(t) = 3 \cos \omega t$

Nəticənin müzakirəsi:

- Hansı qrafik sinus, hansı kosinus qanunu ilə dəyişir? Nə üçün?

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 sıfır bərabərdir ( $\varphi_0 = 0$ ):  $x = A \cos \omega t$ .

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

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

və ya

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

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

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

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

Təcil sürətin zamana görə birinci tərtib tərəməsinə bərabər olduğundan alıq:

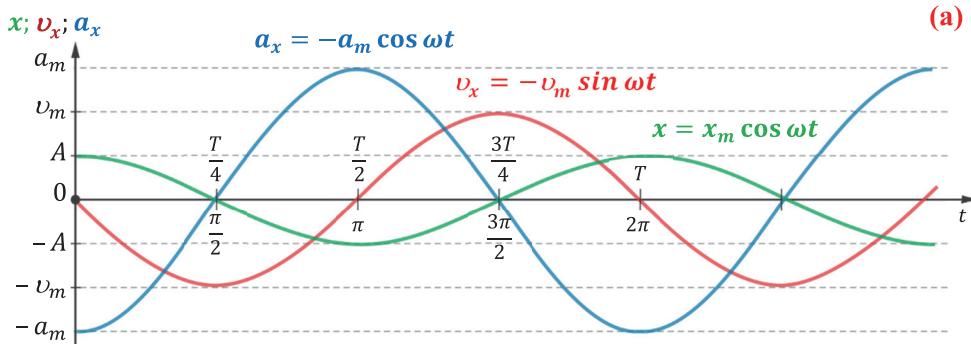
$$a_x = v_x' = (-A\omega \cdot \sin \omega t)' = -A\omega^2 \cdot \cos \omega t = A\omega^2 \cdot \cos(\omega t + \pi) \quad (4.25)$$

və ya

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

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

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

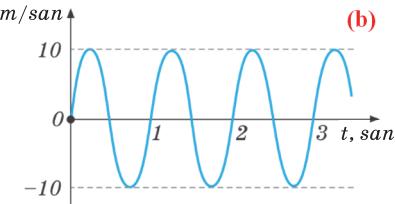


2

### Tətbiqetmə. Qrafiki araşdırın

**Məsələ 2.** Şəkildə rəqs sürətinin harmonik qanunla dəyişmə qrafiki təsvir edilmişdir (b).

Təyin edin: a) sürətin amplitud qiymətini;  
b) rəqs tezliyini;  
c) rəqs periodunu.



### Nəticənin müzakirəsi:

- Rəqsin sürətinin harmonik qanunla dəyişməsi nə deməkdir?
- Rəqsin sürətinin amplitud qiymətini, tezliyini və periodunu necə təyin etdiniz?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:** Harmonik rəqslərin qrafiklərindən praktikada ən çox tibbi diaqnostikada, radioelektronikada, dəqiqli cihazlar istehsal olunan müəssisələrdə və s. sahələrdə tətbiq edilir.

- Bu sahələrdə harmonik rəqslərin qrafikləri hansı vasitə və məqsədlər üçün istifadə olunur? Elektron resurslardan istifadə edə bilərsiniz.

### Özünüüz qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Harmonik rəqslərin sürətinin amplitud qiyməti nədən asılıdır?
3. Harmonik rəqslərin təciliinin amplitud qiyməti zamanından necə asılıdır?
4. Harmonik rəqsi hərəkətin  $t = \frac{T}{2}$  anında və  $\varphi_0 = 0$  hələndə, uyğun olaraq  $x, v_x, a_x$  – nə yə bərabərdir (bax: a)?

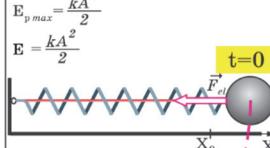
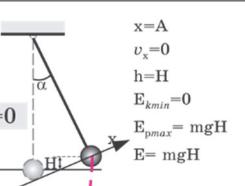
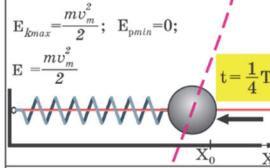
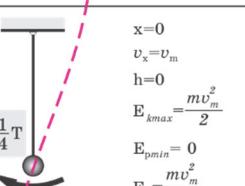
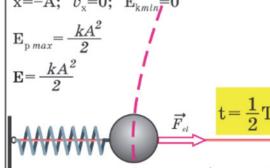
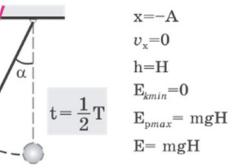
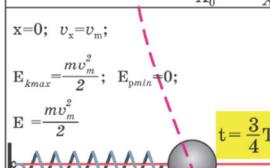
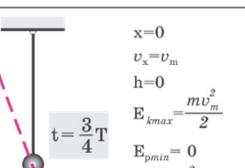
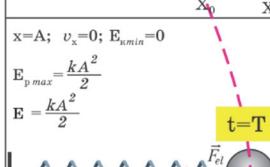
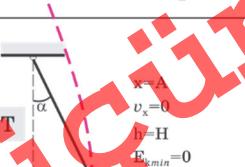
### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan müddəaların qısa izahını yazın: “riyazi rəqqas”, “riyazi rəqqasın rəqs periodu”, “riyazi rəqqasın rəqs tezliyi”.

## 4.5 HARMONİK RƏQSLƏRDƏ ENERJİ ÇEVİRİLMƏLƏRİ (TƏQDİMAT DƏRS)

Harmonik rəqslerdə 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

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

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

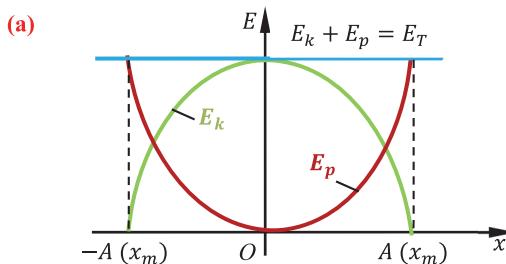
çevrilmələrinin müqayisəsi verilmişdir. Cədvəldən görünür ki, rəqs sisteminin potensial enerjisi qayıtma nöqtələrində ( $x = A$ ) maksimum qiymət alır:

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

Rəqəs 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:

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

Şəkildə harmonik rəqsli 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:  $E_T = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}$ ;

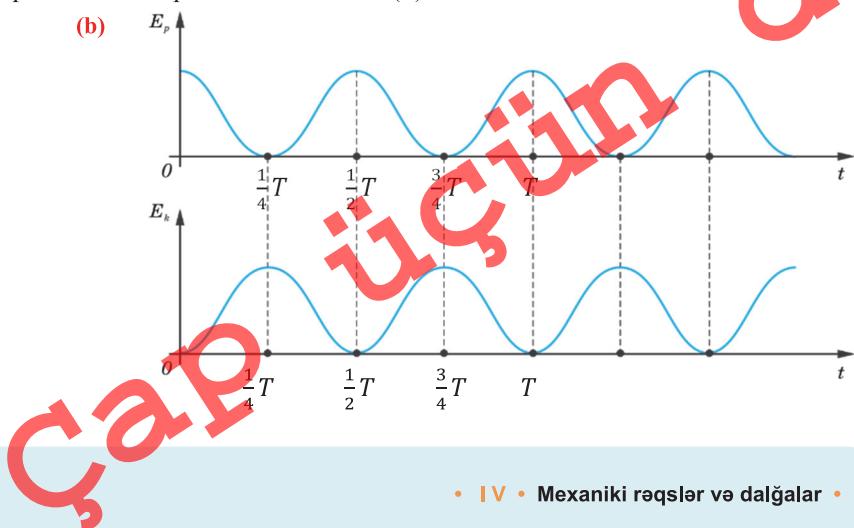
b) riyazi rəqqas üçün:  $E_T = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + mgh$ .

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

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

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

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 dəyişmir:

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

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

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 sönürlər:

$$\Delta E_T = A_{\text{sür}}.$$

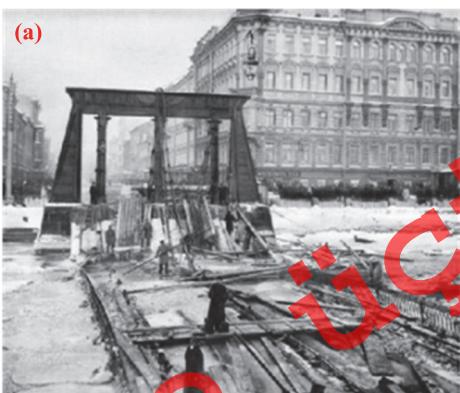
### Təqdimatın hazırlanmasının nümunəvi planı

I slayd	<ul style="list-style-type: none"><li>• Təqdimatın adı</li><li>• Hazırlayan</li></ul>
II–IV slaydlar	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yaylı rəqqasda enerji çevrilməsi</li></ul>
V–VII slaydlar	<ul style="list-style-type: none"><li>• Riyazi rəqqasda enerji çevrilməsi</li></ul>
VIII slayd	<ul style="list-style-type: none"><li>• Harmonik rəqslərdə potensial enerjinin harmonik qanunla dəyişməsinin düsturla və qrafiki təsviri</li></ul>
IX slayd	<ul style="list-style-type: none"><li>• Harmonik rəqslərdə kinetik enerjinin harmonik qanunla dəyişməsinin düsturla və qrafiki təsviri</li></ul>
X slayd	<ul style="list-style-type: none"><li>• Harmonik rəqs edən qapalı sistemdə tam mexaniki enerjinin saxlanması</li></ul>

## 4.6 MƏCBURİ RƏQSLƏR. REZONANS

Tarixdə baş verən iki qeyri-adi hadisə haqqında, yəqin ki, eşitmisiniz:

- 1905-ci ildə Sankt-Peterburq şəhərindəki Fontanka çayı (Rusiya) üzərində salınmış 55 m-lik "Misis" zəncirli körpüsündən süvari alayı keçərkən körpü dağılmışdır (a).
- 1940-ci ildə isə Takoma-Herrouz boğazı (ABŞ) üzərində salınan 1810 m uzunluqlu "Takoma" asma körpüsü küləkli bir gündə dağılmışdır (b).



- Bu hadisələrin baş verməsində oxşar cəhət nədir və onların rəqsi hərəkətlə müəyyən əlaqəsi ola bilərmi?

**1 Hansı rəqqas daha böyük amplitudla rəqs edər?**

**Təchizat:** muftası olan ştativ (2 əd) və ya bir altlığa bərkidilən iki dayaq, qalın ip, müxtəlif uzunluqlu ipli rəqqaslar (rəqqasın birindəki kürəciyin kütləsi digərlərindən böyükdür).

**İşin gedisi:**

- Qalın ipi tarım çəkib dayaqlara bağlayın, rəqqasları isə şəkildə təsvir edildiyi qaydada ipdən asın (c).
- Kənardakı rəqqası (1-ci və ya 7-ci rəqqas) sərbəst rəqsi hərəkətə gətirin. Bu zaman hansı rəqqasın böyük kütləli 4 rəqqasının amplituduna bərabər amplitudda və eyni tezlikdə rəqs etdiyini müəyyənləşdirin.

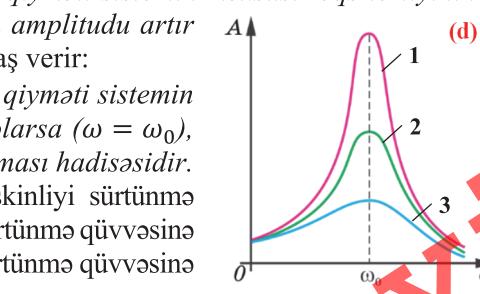
**Nəticənin müzakirəsi:**

- Hansi rəqqas sərbəst, hansi isə məcburi rəqs icra edir? Nə üçün?
- Hansi rəqqas 4 rəqqasını ilə eyni tezlikdə rəqs edir? Nə üçün?
- Hansi rəqqas daha böyük amplitudla rəqs edər? Nə üçün?

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

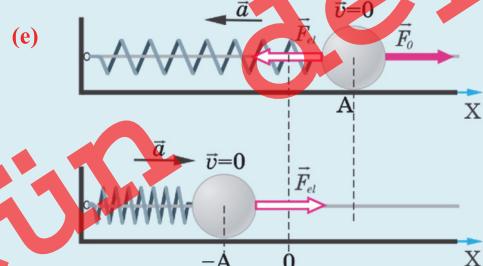
- Məcburi rəqslərin tezliyi həmişə məcburedici qüvvənin dəyişmə tezliyinə bərabər olur – xarici qüvvə hansi tezlikdə dəyişirsa, sistem də həmin tezlikdə rəqs edir.*
- Rezonans – məcburi rəqslərin amplitudu məcburedici qüvvənin tezliyindən asılıdır – məcburedici qüvvənin dəyişmə tezliyinin qiyməti sistemin maksusi rəqs tezliyinin qiymətinə yaxınlaşdırıqca məcburi rəqslərin amplitudu artır* (d). Nəticədə sistemdə rezonans hadisəsi baş verir:
- Məcburedici qüvvənin dəyişmə tezliyinin qiyməti sistemin sərbəst rəqs tezliyinin qiymətinə bərabər olarsa ( $\omega = \omega_0$ ), məcburi rəqslərin amplitudunun kəskin artması hadisəsidir.*

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



Bunu nəzəri olaraq üfüqi yaylı rəqqasda araşdırıraq: fərz edək ki,  $m$  kütləli kürəcik  $F = F_m \cos \omega t$  qanunu ilə dəyişən xarici qüvvənin təsiri ilə məcburi rəqs edir (e). Rəqqasın məcburi rəqslərinin tənliyi Newtonun II qanununa əsasən belə yazılır:

$$ma_x = -kx + F_m \cos \omega t.$$



Məcburi rəqslərin hərəkət tənliyində yerdəyişmənin və tacilin periodik qanunla dəyişmə düsturlarını  $x = A \cos \omega t$  və  $a_x = -\omega^2 A \cos \omega t$  nəzərə alsaq:

$$-m\omega^2 A \cos \omega t = -kA \cos \omega t + F_m \cos \omega t$$

və ya

$$-m\omega^2 A = -kA + F_m.$$

Sonuncu ifadədə  $k = m\omega_0^2$  olduğu nəzərə alınarsa:

$$-m\omega^2 A = -m\omega_0^2 A + F_m$$

və ya

$$A = \left| \frac{F_m}{m(\omega^2 - \omega_0^2)} \right|. \quad (4.33)$$

Burada  $\omega_0$  — rəqs sisteminin sərbəst rəqslərinin dövri tezliyi,  $\omega$  — məcburedici qüvvənin dövri tezliyi,  $A$  — məcburi rəqslərin amplitududur.

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

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

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

## 2 Araşdırma

### Tətbiqetmə

#### Rezonans əyrisinə araşdırın

**Məsələ.** Verilən rezonans əyrisinə əsasən sistemin sərbəst rəqslərinin periodunu təyin edin (f).

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Sistemin sərbəst rəqslərinin tezliyi neçə Hz-dir?
- Sistemin sərbəst rəqslərinin periodunu necə təyin etdiniz?
- Sistemin məcburi rəqslərinin rezonans amplitudu nəyə bərabərdir?

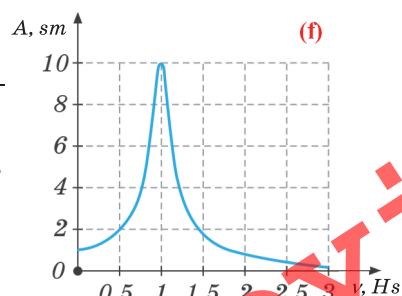
#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Bilirsiniz ki, avtomobil mühərrikindəki silindrədə porşenin hərəkəti rəqsli hərəkətdir.

- Porşenin silindrədə rəqsli hərəkəti hansı növ rəqsdır: sərbəst, yoxsa məcburi? Nə üçün?

#### Özünüzü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Sankt-Peterburqdakı "Misir" körpüsünün dağılmamasına nə səbəb olmuşdur?
3. ABŞ-dakı "Takoma" körpüsü hansı səbəbdən dağılmışdır?
4. Məcburi rəqslərin amplitudu nədən asılıdır?
5. Hansı şəraitdə məcburi rəqslərdə rezonans baş verir?
6. Rezonans əyrisinin yüksəkləyini hansı faktor müəyyənləşdirir?



## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan müddəaların qısa izahını yazın: "məcburi rəqs", "məcburi rəqslərin amplitudu", "rezonans".

## 4.7 RƏQSLƏRİN ELASTİK MÜHİTDƏ YAYILMASI: MEXANİKİ DALĞA

Bilirsiniz ki, zəlzələ zamanı Yer daxilində yaranan P-tip uzununa dalğanın yayılma sürəti, Yer səthində yaranan L-tip eninə dalğanın yayılma sürətindən böyükdür. Seismoloq alimlər sürətlər arasındakı bu fərqə əsasən seismoqrafin yerləşdiyi nöqtədən zəlzələnin episentrinə qədərki məsafəni asanlıqla təyin edirlər (bax: *Fizika-7*, s.143).

- Dalğa nədir, o yalnız bərk cisimdə yayılır mı?
- Dalğada nə daşınır: maddə, yoxsa enerji?
- Dalğanın yayılma sürəti nədən asılıdır?

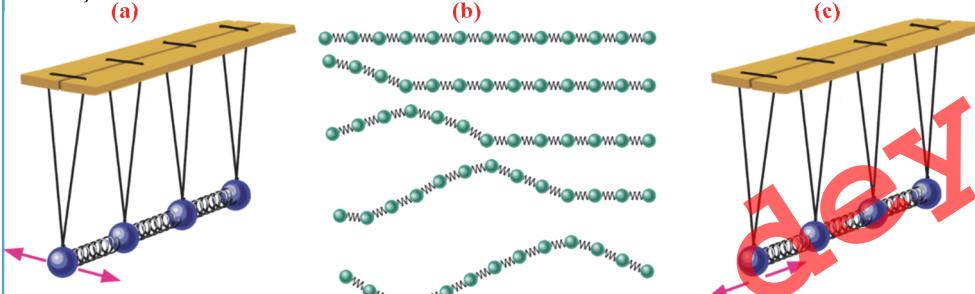
### Araşdırma

#### Əlaqəli rəqqaslar sistemində nə baş verir?

**Təchizat:** əlaqəli rəqqaslar sistemindən ibarət model, mobil telefon.

#### Işin gedisi:

1. Modeli masa üzərində yerləşdirin. Sol kənar kürəciyi üfüqi müstəvi üzrə tarazlıq vəziyyətindən meyil etdirib rəqsi hərəkətə gətirin (a).
2. Əlaqəli rəqqasların üfüqi müstəvidə rəqslerinin yaratdığı mənzərənin fotosəklini çəkin (b).
3. Sistemin rəqsi hərəkətini dayandırın və sol kənar kürəciyi kürəciklər zənciri boyunca rəqsə gətirin (c). Lakin bu dəfə əlaqəli sistemin yaratdığı mənzərənin fotosəklini yandan çəkin.
4. Fotosəkilləri printerdə çap edib iş vərəqinə yapışdırın və əlaqəli kürəciklər sisteminin rəqsi hərəkətlərinin yaratdığı mənzərələr arasında oxşar və fərqli xüsusiyyətlərini aşadır.



#### Nəticənin müzakirəsi:

- Əlaqəli rəqqaslar sistemində bir rəqqasın (kənar rəqqasın) iki müxtəlif rəqsi hərəkətinin yaratdığı mənzərələrdə oxşar və fərqli nə müşahidə etdiniz?
- Bu mənzərələri nəyə bənzətmək olar?

**Dalğa.** Biz mexaniki rəqsleri ayrı-ayrı qapalı rəqs sistemlərində – yaylı rəqqas və riyazi rəqqasda öyrəndik. Lakin təbiətdə ən çox rast gəldiyimiz rəqsler *əlaqəli rəqs sistemlərinin rəqsidir*. Əlaqəli rəqs sistemlərində rəqs bir sistemdən digərinə ötürülür. Məsələn, durğun suya daş atıldıqda onun düşdürüyü nöqtədən konsentrik su halqalarının yayıldığı görünür. Bizi elə gəlir ki, ətrafa qabarıqlar və çöküklər formasında yayılan

sudur. Lakin daşın düşdürü nöqtə yaxınlığına üzgəc və ya tennis topu qoyularsa, onun yayılan su halqaları ilə deyil, yerindəcə yalnız yuxarı-aşağı rəqsisi hərəkət etdiyi müşahidə olunur. Beləliklə, su zərrəciklərinin müəyyən nöqtədə yaranan rəqsisi hərəkəti sudakı qonşu zərrəciklərə verilməklə rəqsisi hərəkətə yeni-yeni zərrəciklər cəlb olunur. Nəticədə, hər tərəfə yayılan əlaqəli zərrəciklər sisteminin rəqsisi hərəkəti yaranır. *Dalğa* adlanan belə yayılmada su axını baş vermir, onun forması daşınır.

- *Dalğa – rəqslərin zaman keçidkə fəzada yayılma prosesidir.*

Bu zaman mühitdə aşağıdakı hadisələr baş verir: a) *dalğanın yayıldığı mühitin zərrəciklərinin rəqsisi hərəkəti* – mühitin zərrəcikləri yalnız öz tarazlıq vəziyyətləri ətrafında rəqsisi hərəkət edir və *dalğada maddə daşınması* baş vermir; b) mühitin zərrəciklərinin qonşu zərrəciklərlə qarşılıqlı təsiri – zərrəciklər arasındaki 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.*

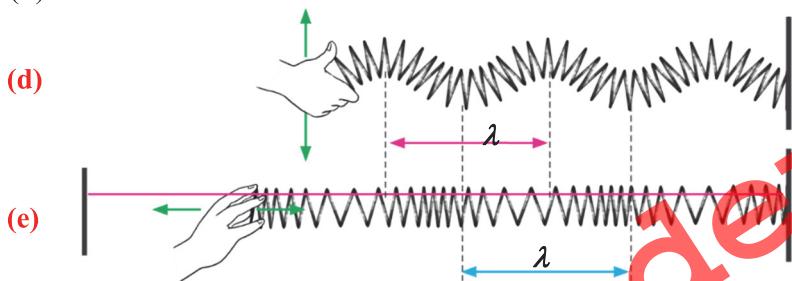
Elastik mühitdə yayılan mexaniki dalğalar *elastik dalğalardır*.

- *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 rəqsisi hərəkət istiqamətinə perpendikulyar* yayılan dalğadır. *Eninə dalğalar yalnız bərk cisimlərdə və mayelərin səthində yayılabilir. Eninə dalğalar mühitdə bir-birini əvəz edən qabarıqlar və çöküklər formasında yayılır (d).*



- *Uzununa dalğa – mühitin zərrəciklərinin rəqsisi hərəkət istiqamətində boyunca* yayılan dalğadır. Uzununa dalğalar bütün mühitlərdə (bərk cisim, maye və qazlarda) yayılabilir. Uzununa dalğalar mühitdə bir-birini əvəz edən sıxlasmalar və seyrəkləşmələr formasında yayılır. Məsələn, uzun yaydan plastmas ip keçirib ipin hər iki icunu, yayın işə bir ucunu tərənnüməz dayağaya üfüqi bərkidib yayın sərbəst ucunu sağa-sola periodik itələsək, halqaların sıxlama və seyrəkləşməsinin növbələşməsini 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 uzunluğu*dur.

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

Bu tərifi (4.34) də nəzərə alsaq, dalğanın yayılma sürəti üçün alarıq:

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

və ya

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

Burada  $\lambda$  (*lambda*) – dalğa uzunluğu, onun BS-də vahidi metrdir.

Dalğa uzunluğunu son iki düsturdan müəyyənləşdirmək olar:

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

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

*Bir mühitdən digərinə keçikdə 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 dalgalarda iki qonşu təpə (və ya çökük) nöqtəsi arasındaki məsafədir (bax: **d**), uzununa dalğada isə iki qonşu sıxlışma (və ya seyrəkləşmə) nöqtəsi arasındaki məsafəyə bərabərdir (bax: **e**).

### Dalğa tənliyi

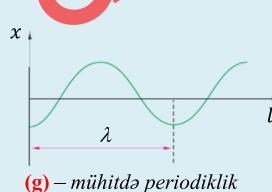
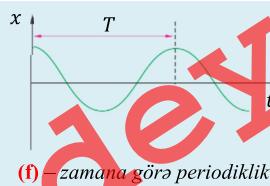
Fərzi edək ki, dalğa mənbəyi  $x = A \cos \omega t$  harmonik qanunla rəqs edir. Rəqsini hərkət hər hansı  $\tilde{v}$  sabit sürəti ilə mənbəyi əhatə edən mühitdə yayılır – dalğa əmələ gəlir. Nəticədə dalğa rəqs mənbəyindən  $l$  məsafəsindəki nöqtəyə müəyyən  $\tau$  (*tau*) zaman fasiləsindən sonra çatacaq:

$$\tau = \frac{l}{\tilde{v}}.$$

Bu o deməkdir ki, mənbəyin rəqsini ilə eyni qanunla baş verən rəqs  $l$  məsafəsindəki nöqtəyə  $\tau$  saniyə gec çatacaq. Ona görə də rəqs mənbəyindən istiqəri  $l$  məsafəsindəki nöqtəyə çatan *dalğa tənliyi* belə yazılır:

$$x = A \cos \omega(t - \tau) = A \cos \omega \left( t - \frac{l}{\tilde{v}} \right) = A \cos \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{l}{\tilde{v}} \right). \quad (4.38)$$

Dalğa qrafiki formaca harmonik rəqsin qrafikinə oxşardır, lakin eyni deyildir. Belə ki, harmonik rəqsin qrafikində rəqs edən bir nöqtənin xarakteristikasının, məsolən, yerdəyişməsinin zamana görə harmonik qanunla dəyişdiyi göstərilirsa (**f**), *dalğanın qrafiki* isə bu dalğanın *mühitdəki harmonikliyini* – mühitin əlaqəli hissəciklərinin yerdəyişməsinin verilən andaki şəklidir (**g**).



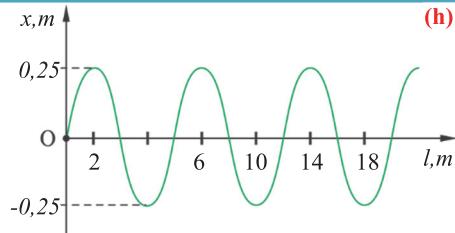
2

**Tətbiqetmə****Qrafik məsələni həll edin**

**Məsələ.** Dalğa qrafikinə əsasən onun periodunu və tezliyini təyin edin (h). Dalğanın yayılma sürəti  $12 \text{ m/san}$ -dir.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Dalğa uzunluğu nə qədərdir?
- Dalğanın tezliyini (və ya periodunu) hansı düsturla təyin etdiniz?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Aparılan araşdırmalardan müəyyən olunmuşdur ki, Fransanın qərb sahillərini yuyan Atlantik okeanının bir dalğasının çırpılması nəticəsində yaranan enerji  $75 \text{ mln kilovatt}$  güce ekvivalent zərbə yaradır.

- Okean dalğasının daşıdığı bu enerjidən faydalanaq olarmı? Əgər olarsa, hansı üsulla?

**Özünüzü qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Rəqsli hərəkətin harmonikiyyi dalğanın harmonikiyyindən nə ilə fərqlənir?
3. Mexaniki dalğalar nə üçün mühitdə yayılır, vakuumda isə yayılmır?
4. Eninə və uzununa dalğaların ümumi və fərqli xüsusiyyəti nədir?
5. Nə üçün mexaniki dalğaların ayrı-ayrı hissəciklərinin rəqsli hərəkətində fazalar fərqi yaranır?
6. Qayıq  $4 \text{ m/san}$  sürətlə yayılan dalğa üzərində ləngər vurur. Dalğanın rəqs periodu  $3,2 \text{ san}$ -dir. Qayıq hansı uzunluqlu dalğada ləngər vurur?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: "dalğa", "mexaniki dalğa", "elastik mühit", "elastik dalğa", "eninə dalğa", "uzununa dalğa", "dalğa sürəti", "dalğa tezliyi", "dalğa periodu", "dalğa uzunluğu", "dalğa qrafiki".

- 4.1. Rəqqas 10 san müddətində  $80\text{A}$  qədər yol gedir. Rəqqasın rəqs periodunu təyin edin (A – rəqsin amplitududur).
- 4.2. Rəqs tezliyi  $0,5\text{Hs}$  olan rəqqas 10 san müddətində rəqsin amplitudunun neçə mislinə bərabər yol gedər?
- 4.3. Rəqs sistemi 1 dəq -də  $90 \text{ rəqs}$  edir. Bu sistemin rəqs periodu, tezliyi və dövri tezliyi nə qədərdir ( $\pi = 3$ )?
- 4.4. Rəqs periodu  $0,2 \text{ san}$  olan rəqqas  $20 \text{ san}$  -də neçə rəqs edər? Bu rəqqasın rəqs tezliyi və dövri tezliyi nəyə bərabərdir ( $\pi = 3$ )?
- 4.5. Yaylı rəqqas  $0,2 \text{ m}$  amplitudunda  $2 \text{ Hs}$  tezliklə harmonik rəqs edir. Rəqqasın harmonik rəqsinin tənliyini yazın.
- 4.6. Yaylı rəqqas  $0,2 \text{ m}$  amplitudunda  $2 \text{ Hs}$  tezliklə sinus qanunu ilə harmonik rəqs edir. Harmonik rəqsin tənliyini yazın ( $\pi = 3$ ;  $\varphi_0 = 0$ ).
- 4.7. Yaya bərkidilən  $100 \text{ q}$  kütləli yük üfiqi müstəvidə sürünməsiz  $2\text{Hs}$  tezliklə rəqs edir. Yayan sərtliyini təyin edin ( $\pi = 3$ ).

- 4.8.** Yaya bərkidilən 250 q kütləli yüksüq müstəvidə sürtünməsiz rəqs edir. Yayın sərtliliyi  $16 \text{ N/m}$  olarsa, rəqs periodunu təyin edin ( $\pi = 3$ ).

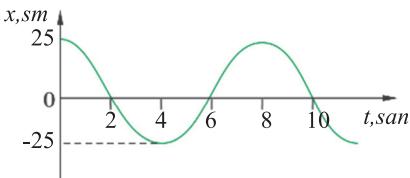
- 4.9.** Rəqs periodu 1 san olan riyazi rəqqasın uzunluğunu təyin edin ( $g = 9,8 \text{ m/san}^2$ ).

- 4.10.** Riyazi rəqqas 5 sm amplitudu ilə 1 dəq-də 150 harmonik rəqs edir. Başlangıç faza  $45^\circ$  olarsa, rəqqasın koordinatı hansı qanunla dəyişir ( $\pi = 3$ ).

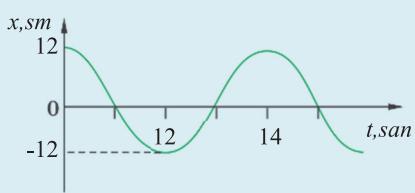
- 4.11.** Rəqs sisteminin koordinatı  $x = 4,5 \cos 4\pi t$  qanunu ilə dəyişir. Rəqsin amplitudu və tezliyini təyin edin.

- 4.12.** Periodu 4 san olan rəqsin 1,5 san anında fazası nəyə bərabər olar ( $\varphi_0 = 0$ )?

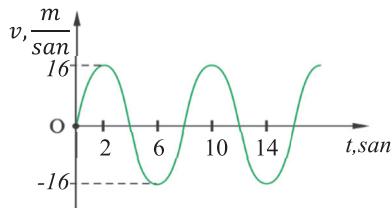
- 4.13.** Şəkildə harmonik rəqs edən nöqtənin yerdəyişmə-zaman qrafiki verilmişdir. Rəqsin sürətinin amplitud qiymətini təyin edin ( $\pi = 3$ ).



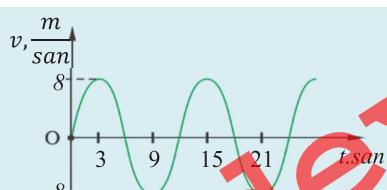
- 4.14.** Şəkildə harmonik rəqs edən nöqtənin yerdəyişmə-zaman qrafiki verilmişdir. Rəqsin təcilinin amplitud qiymətini təyin edin ( $\pi = 3$ ).



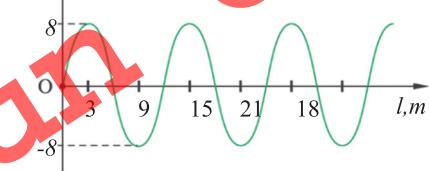
- 4.15.** Şəkildə harmonik rəqs edən nöqtənin sürət-zaman qrafiki verilmişdir. Rəqsin təcilinin amplitud qiymətini təyin edin ( $\pi = 3$ ).



- 4.16.** Şəkildə harmonik rəqs edən nöqtənin sürət-zaman qrafiki verilmişdir. Rəqsin yerdəyişməsinin amplitud qiymətini təyin edin ( $\pi = 3$ ).



- 4.17.** Dalğa qrafikinə əsasən onun dalğa uzunluğunu, periodunu və tezliyini təyin edin. Dalğanın yayılma sürəti  $240 \text{ m/san}$ -dir.



- 4.18.** Dalğanın yayılma sürəti  $550 \text{ m/san}$ , rəqslerinin periodu 0,02 san olarsa, dalğa uzunluğunu hesablayın.

- 4.19.** Dəniz dalğası 30 san-də 15 dəfə sahilə çırpılır. Dalğanın yayılma sürəti  $4 \text{ m/san}$ -dir. Dalğa uzunluğunu təyin edin.

- 4.20.** Rəqs sistemi  $x = 7 \cos 4\pi t$  qanunu ilə rəqs edir. Sistemdə rezonans baş verməsi üçün ona hansı tezlikli məcburedici qüvvə təsir etməlidir?

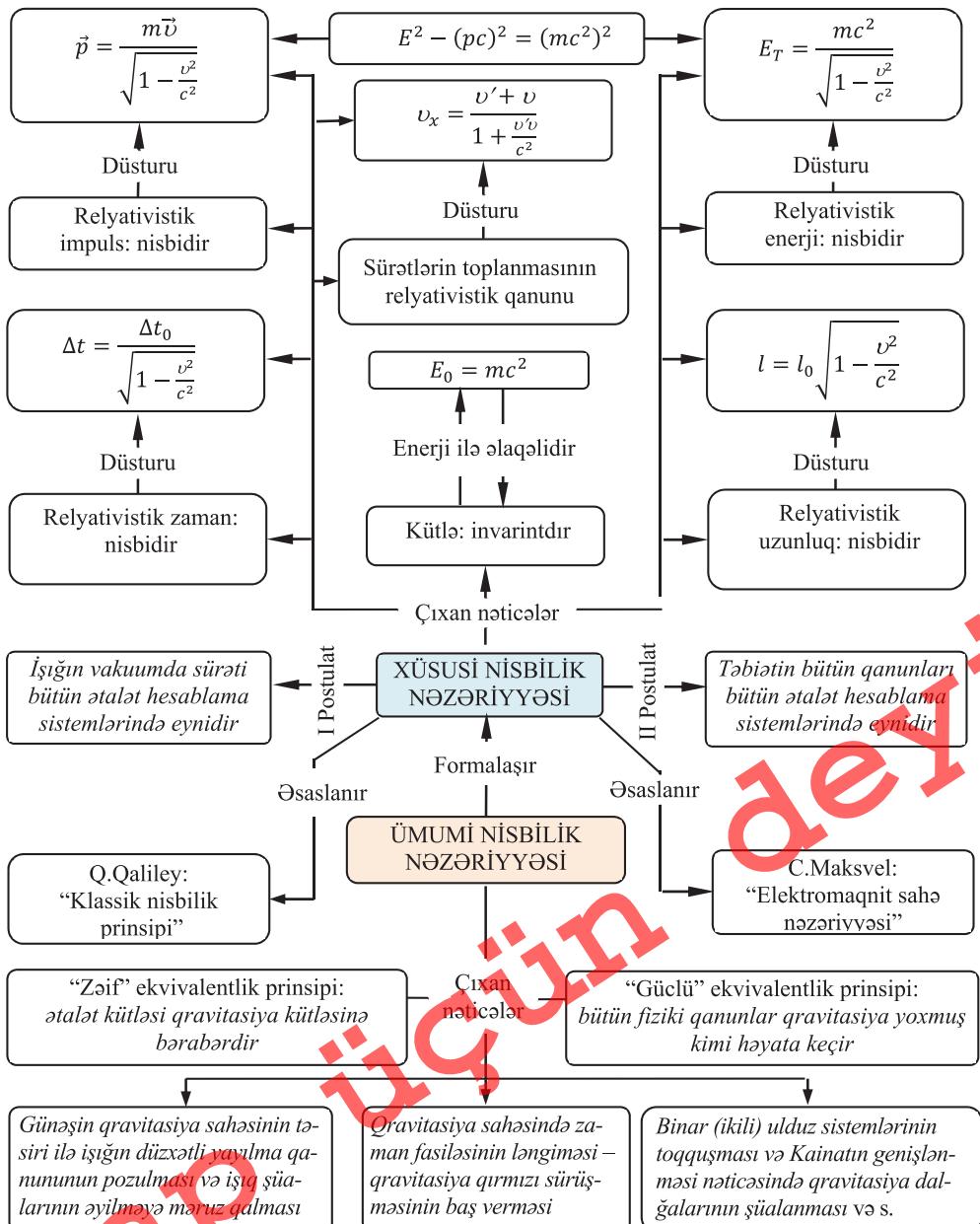
# RELYATİVİSTİK MEXANİKA

Siz bu fəslin materiallarını mənimsəməklə  
**BACARACAQSINIZ:**

- “fəza”, “zaman” və “hərəkət” anlayışlarını klassik və relativistik mexanika nöqtəyi-nəzərindən fərqləndirməyi;
- xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin elmi mahiyyətini izah etməyi;
- kütlə ilə enerji arasında fundamental əlaqənin mövcudluğunu izah etməyi;
- zamanın, uzunluğun, enerji və impulsun nisbiliyini, kütlənin invariantlığını, işığın vakuumdakı sürətinin bütün hesablama sistemlərində eyni və sonlu olduğunu izah etməyi;
- xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin elementlərinə aid məsələ həll etməyi.

Çap üçün dəyil

## Fəslin “Anlayışlar xəritəsi”



## 5.1 NİSBİLİK NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSASLARI

Təqvimdə 2035-ci il 29 dekabrdır. İki gündən sonra Beynəlxalq astronavtlar komandasının planetlərarası kosmik uçuşu baş tutacaq. Komandanın kapitanı 44 yaşlı azərbaycanlı astronavtdır.

O, onuncu sinifdə oxuyan 16 yaşlı qızı Nəzrinlə vidalaşaraq söyləyir: "Qızım, biz kosmosda işıq sürətinin  $0,95$  mislinə bərabər sürətlə hərəket edib araşdırılmalar aparacaq və Yerə 20 ildən sonra qayıdacağıq. Sağlıq olsa görüşərik, o vaxt sənin  $80$ , mənim isə  $64$  yaşım olacaq".

Nəzrin təəccüblə etiraz etdi: "Ata, sən fantastik hadisələrdən danışırsan, 20 ildən sonra mənim  $36$  yaşım olmalıdır".

- Nəzrin doğru söyləyirmi?  
Nə üçün?

Araşdırma

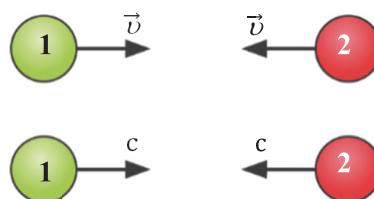
### Sürət nisbidir?

**Məsələ-1.** İki zərrəcik  $v = 10 \text{ m/san}$  sürətlə qarşı-qarşıya gəlir. 1 zərrəciyinin 2 zərrəciyinə nəzərən sürəti nəyə bərabərdir (**a**)? Bu zərrəciklər işığın vakuumdakı sürətinə bərabər sürətlə ( $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/san}$ ) qarşı-qarşıya gələrlərsə, 1 zərrəciyinin 2 zərrəciyinə nəzərən sürəti nəyə bərabər olar?

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Zərrəciklərin bir-birinə nəzərən sürətləri nəyə bərabər oldu?
- Zərrəciyin sürəti işıq sürətindən böyük ola bilərmi?

(a)



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

- *Mexanika qanunları bütün ətalət hesablama sistemlərində eynidir.*

Bu prinsip mexaniki hərəkət tənliklərinin quruluşuna müəyyən sərhəd qoyma: *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, işıq 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 nəzərİyyəsi.** XVII əsrin sonlarında işıqın sürətinin təyininə dair Olaf Ryomerin astronomik üsulla və XIX əsrin ortalarında Lui Fizonun laboratoriya üsulu ilə aparılan praktik araşdırılmaları (bax: *Fizika-9*, s.116 – 117), XIX əsrin sonlarında isə C.Maksvellin elektromaqnit sahəsinə dair apardığı nəzəri

araşdırımları 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.Eynsteyn bu sahədə aparılan bütün araşdırımları ümumiləşdirərək 1905-ci ildə yeni nəzəriyyə – “Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi”ni (XNN) formalasdırmaqla *relyativistik mexanikanın nəzəri* əsasını qoyma.

- *Relyativistik mexanika – işıq sürəti ilə müqayisə olunan sistemlərdə mexanika qanunlarını öyrənən fizika bölməsidir.* Eynsteyn riyazi hesablamalarla sübut etdi ki, klassik mexanikanın mütləq qəbul etdiyi fundamental anlayışlar nisbidir və bu nisbilik hərəkət edən sistemdən, tərəfənməz sistemə keçdikdə Lorensin müəyyənləşdirəndiyi  $1/\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$  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 vakuumda yayılma sürəti bütün ətalət hesablama sistemlərində eynidir və o, işıq mənbəyinin və işıq qəbuledicisinin sürətindən asılı deyildir. İşıq sürəti təbiətdə mövcud olan maksimal sürətdir.*

Cədvəl 5.1

Burada:			
a) ştrixsiz kəmiyyətlər verilən hadisənin tərəfənməz $K$ hesablama sisteminde baş verməsini xarakterizə edir;			
b) ştrixli kəmiyyətlər isə həmin hadisənin $K$ sistemində nəzərən $\vec{u}$ sürəti ilə hərəkət edən $K'$ hesablama sisteminde baş verməsini xarakterizə edir;			
c) $c$ – işıq sürətidir, o, klassik təsəvvürlərə görə sonsuz, relyativistik mexanikada sonlu qiymətə malikdir.			
Qaliley çevrilməsi		Lorens çevrilməsi	
Düz çevrilmə	Əks çevrilmə	Düz çevrilmə	Əks çevrilmə
$x' = x - u t$	$x = x' + u t$	$x' = \frac{x - u t}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$	$x = \frac{x' + u t}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$
$y' = y$	$y = y'$	$y = y$	$y' = y$
$z' = z$	$z = z'$	$z' = z$	$z' = z$
$t' = t$	$t = t'$	$t' = \frac{t - \frac{u x}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$	$t = \frac{t' + \frac{u x'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$

Cədvəl 5.1 (davamu)

Qaliley çevrilmələrindən çıxan nəticələr	Eynşteynin postulatlarına görə Lorens çevrilmələrindən çıxan nəticələr
Zaman fasiləsi mütləqdir: $\Delta t' = \Delta t$	Zaman fasiləsi nisbidir: <i>sükunətdəki koordinat sisteminə nəzərən hərəkət edən koordinat sistemində zaman fasiləsi longiyir:</i> $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$ <i>Burada <math>\Delta t</math> – tərpənməz sistemlə bağlı zaman fasiləsi, <math>\Delta t_0</math> – hərəkətdə olan sistemlə bağlı məxsusi zaman fasiləsidir.</i>
Fəza ölçüsü mütləqdir: $\Delta l' = \Delta l$	Fəza ölçüsü nisbidir: <i>sükunətdəki koordinat sistemindən nəzərən hərəkətdə olan koordinat sistemində cismin uzununa ölçüsü qısalır:</i> $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}$ <i>Burada <math>l</math> – tərpənməz sistemlə bağlı hərəkət istiqamətindəki uzunluq, <math>l_0</math> – hərəkətdə olan sistemlə bağlı məxsusi uzunluqdur.</i>
Kütlə invariantdır: <i>bütün hesablama sistemlərində ödənilir:</i> $m' = m$	Kütlə invariantdır: <i>bütün hesablama sistemlərində ödənilir:</i> $m' = m$ .
Qalileyin sürətlərin toplanması qaydası: $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}.$ Qarşılıqlı təsir sonlu c sürəti ilə deyil, ani olaraq sonsuz böyük sürətlə ötürülür. Bir koordinat sistemindən digərinə keçidikdə sürət sonsuz böyük qiymət ala bilər: $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}, c = v' = \infty,$ $v = \infty + u = \infty.$	Sürətlərin relyativistik toplama qaydası: <i>İşığın vakuumdakı sürəti bütün ətalət hesablama sistemlərində bütün istiqamətlərdə eynidir:</i> $v = \frac{v'+u}{1+\frac{v'u}{c^2}} = c,$ burada: $v' = c - dir.$

**Ümumi nisbilik nəzəriyyəsi (ÜNN).** Ümumi nisbilik nəzəriyyəsi 1911–1916-ci illərdə xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin çatışmayan cəhətlərini tamamlamaq və qravitasiya nəzəriyyəsini relyativistik baxımdan izah etmək məqsədilə A. Eynşteyn tərəfindən formalasdırılmışdır. XNN-nin çatışmayan cəhətləri bunlardır: a) bu nəzəriyyə yalnız ətalət hesablama sistemlərində ödənilir. Bir-birinə nəzərən təcilli hərəkət edən sistemlərdə XNN ödənmir; b) bu nəzəriyyə yalnız düzxətli müstəvi koordinatlarda işlədilə bilir, digər koordinat sistemlərində 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-bi inə bərabərdir.*

Klassik mexanikada iki “kütlə” anlayışından istifadə olunur: Nyutonun II qanununa əsasən təcilli 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, sərbəstdüsmə təciliñə bərabər təcilli düzən sistemdə bütün fiziki qanunlar qravitasiya yoxmuş kimi təzahür edir.*

Bu prinsiplərdən çıxan başlıca nəticələr:

- Günəşin gravitasiya sahəsinin təsiri ilə işığın düzəltli yayılma qanununun pozulması və işığın şüalarının əyilməsi; fəza-zaman koordinatlarının əyilməyə məruz qalması.* Bu effekt 1919-cu ildə Günəş tutulması zamanı aparılan müşahidələr nəticəsində təsdiqini tapmışdır.
- Gravitasiya sahəsində zaman fasiləsinin longımı - gravitasiya qırmızı sürüşməsinin baş verməsi.* Bu effekt 1960-cı ildə Harvard Universitetinin laboratoriya qülləsində ABŞ fizikləri R.Paund və Q.Rebki tərəfindən təcrübə olaraq təsdiq edilmişdir.
- Binar (ikili) ulduz sistemlərinin toqquşması və Kainatın genişlənməsi nəticəsində gravitasiya dalğalarının şüalanması və s.* Gravitasiya dalğalarının mövcud olmasını 100 ildən sonra – 2016-cı ildə ABŞ alımları iki “Qara deşiyin (sönmüş ulduzlar)” toqquşması nəticəsində aşkar etmişlər.

## Tətbiqetmə

### Kosmik gəmi Yerə neçə ildən sonra qayıdır?

Məsələ 2. 2036-cı ildən başlayaraq  $0,95c$  sürəti ilə planetlərarası səyahət etdikdən sonra kosmik gəmi Yerə qayıtdı. Səyahət kosmik gəmidəki saatda görə 20 il davam etmişdir. Kosmik səyahət Yerdəki saatlara görə neçə il davam etmişdir?

Verilir	Həlli
$u = 0,95c$ , $\Delta t_0 = 20 \text{ il}$ $\Delta t - ?$	$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$

### Nəticənin müzakirəsi:

- XNN -ə əsasən kosmik səyahət Yerə nəzərən neçə il davam etmişdir?
- Klassik nisbilik nəzəriyyəsinə görə kosmik səyahət Yerə nəzərən neçə il davam etmişdir?

### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Yol polisi işıqforun qırmızı işığında keçən avtomobilin sürücüsünə cərimə yazmaq istəyir. Buna etiraz edən sürücü: “*Yol hərəkəti qaydaları*”nda göstərilir ki, işıqfor ərazisinə sürətlə daxil olduqda avtomobili ani saxlamaq olmaz. *Mən də elə sürətlə keçmişəm ki, işıqforda hansı işığın – qırmızı, yoxsa yaşıl işıq olduğunu ayırd edə bilməzdim*”.

- Sürücü haqlıdır, avtomobil hansı sürətlə getməlidir ki, o, işıqfordakı işığın rəngini ayırd edə bilməsin?

### Özünüüzü qiymətləndirin:

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Eynişteynin xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi Qalileyin nisbilik prinsipindən nə ilə fərqlənir?
- XNN-nin əsasını hansı postulatlar təşkil edir?
- XNN-nin postulatlarından çıxan nəticələr nədir?
- Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin meydana gəlməsinin səbəbləri nədir?
- Ümumi nisbilik nəzəriyyəsindən çıxan başlıca nəticələr hansılardır?

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların tərif və izahlarını iş vərəqinə yazın: “klassik təsəvvürlərdə fəza, zaman və hərəkət ...”, “Qalileyin nisbilik prinsipi”, “XNN birinci postulatı....”, “XNN ikinci postulatı...”, “relyativistik mexanika”, “ümumi nisbilik nəzəriyyəsi”, “ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin başlıca prinsipləri....”.

## 5.2

# ENERJİ İLƏ KÜTLƏ ARASINDA QARŞILIQLI ƏLAQƏ QANUNU

Kütləsi 30 kq olan daş 2 m hündürlüyə qaldırıldı.

- Bu zaman daşın kütləsi və enerjisi necə dəyişdi?

Eynşteynin nisbilik nəzəriyyəsinə görə 30 kq kütləli daşda çox nəhəng miqdarda –  $27 \cdot 10^{17} C$  enerji lokallaşmışdır (toplanoğlu).

- Bu necə mümkün ola bilər?

### Araşdırma

#### 1 Təkrar biliyin anasıdır!

**Məsələ 1.** Zərrəciklər sisteminin kütləsi 1a.k.v. ( $\Delta m = 1a.k.v. = 1,6605 \cdot 10^{-27} kq$ ) qədər dəyişdikdə bu sistemin enerjisi 931,5 MeV dəyişir. Sistemin kütləsi 4a.k.v. dəyişərsə, enerjisi necə dəyişər?

#### Nöticənin müzakirəsi:

- Zərrəciklər sisteminin enerjisinin dəyişməsi bu sistemin kütləsinin dəyişməsinə əsasən necə təyin edilir (bax: Fizika-9, s.191-192)? Kütlə ilə enerji arasında hansı əlaqə vardır?

**Kütlə ilə enerji arasında qarşılıqlı əlaqə.** Klassik mexanika materiyani 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 mövcudur – maddənin kütləsi varsa, o, enerjiyə də malikdir. 1905-ci ildə A.Eynşteyn *kütlə ilə enerji arasında qarşılıqlı əlaqə qanunu* formalaşdırıldı:

- Mövcud olan ixtiyari cisim *sükunət enerjisini* malikdir, həmin enerji bu cisinin kütləsi ilə işığın vakuumdakı sürətinin kvadratı hasilinə bərabərdir:

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

- *Sükunət enerjisi* ( $E_0$ ) – seçilmiş hesablama sisteminə nəzərən sükunətdə olan cisinin enerjisidir. (5.1) ifadəsindən görünür ki, makroskopik kütlə enerjinin mühüm xarakteristikasıdır. Məsələn, (5.1) münasibətinə əsasən asanlıqla hesablaşmaq olar ki, cisinin 1q kütləsinə  $9 \cdot 10^{13} C$  sükunət enerjisi ekvivalentdir:

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

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, məsalən, işıq şüalandırma prosesi, bu sistemin daxili enerjisinin şüalanma enerjisine çevrilmə prosesidir. 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:

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

Günəş və digər ulduzların fasılısız şüalanması – onların fasılısız 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 cəmində 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 hesablama sistemindən digərinə keçdiğdə 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 enerjisini malikdir.

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

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

Burada tam enerjinin əvəzinə (5.4) ifadəsini yazaq, 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 hesablama sistemindən digərinə keçdiğdə 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:

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

və ya

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

Bu münasibət bütün ətalət hesablama sistemlərində ödənilir. Bir ətalət hesablama sistemindən digərinə keçəndə tam enerji və impuls dəyişir, lakin  $E^2 - p^2 c^2$  fərqi dəyişmir. Əgər kütlə sıfıra bərabər olarsa ( $m = 0$ ), (5.9)-dan alınır:

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

(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 alıqda məlum olur ki,  $m = 0$  olduqda zərrəcik (məsələn, foton) işıq sürəti ilə hərəkət edir:  $v = c$ .

## Araşdırma 2

### Tətbiqetmə

“Hansı enerji daha böyükdür?”

Məsələ 2. Kütləsi 300 q olan *Fizika* dörsliyində “toplunan” sükunət enerjisini təyin edin və onu Mingçevir SES-in bir ildə istehsal etdiyi  $14 \cdot 10^8 kVt \cdot saat$  enerji ilə müqayisə edin.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Hansı enerji daha böyükdür: *Fizika* dörsliyinin sükunətdəki enerjisi, yoxsa Mingəçevir SES-in bir ildə istehsal etdiyi enerji?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

- Kütłə ilə enerji arasındaki  $E_0 = mc^2$  əlaqəsi elm və istehsalatın hansı sahələrində mühüm rol oynayır?

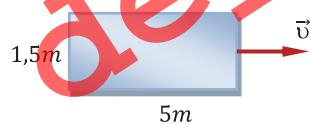
**Özünüzü qiymətləndirin:**

- Dərədə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Klassik təsəvvürlərə görə “kütłə” anlayışı nəyi xarakterizə edir?
- Relyativistik mexanikaya görə “kütłə” anlayışı hansı mənə daşıyır?
- Sükunət enerjisi nədir?
- Nə üçün Günəşin şüalanması onun kütłesinin külli miqdarda itkisi ilə müşayiət olunur? Bunu Eynsteynin hansı düsturuna əsasən isbat etmək olar?
- Relyativistik enerji klassik mexanikadakı tam enerjidən nə ilə fərqlənir?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan anlayış və müddəaların tərif və izahlarını iş vərəqinə yazın: “nisbilik nəzəriyyəsində kütłə anlayışı ...”, “sükunət enerjisi”, “kütłənin enerji ilə ekvivalentliyi...”, “relyativistik tam enerji...”, “relyativistik kinetik enerji...”, “relyativistik impuls...”.

- 5.1.** Yerdə keçən 50 il Yerə nəzərən  $v = 0,81 \cdot c$  sürətilə hərəkət edən kosmik gəmidə hansı zamana bərabərdir?
- 5.2.** Kosmik gəmi Yerə nəzərən hansı sürətlə hərəkət etməlidir ki, oradakı saatlar Yerdəki saatlara nisbətən 2,5 dəfə ləng işləsin?
- 5.3.** Beynəlxalq Astronavtlar İttifaqı *Fizika* fənn olimpiadasının qalibi olan 16 yaşlı Nəzrin Astronavtlar komandasına daxil edir. Komanda  $0,98 \cdot c$  sürəti ilə hərəkət edən kosmik gəmidə oradakı saatə görə 5 il planetlərərəsi səyahət etdikdən sonra Yerə qayıdır. Nəzrin qayıdanda onun 21 yaşı var idi. Bəs onun Yerdə qoyub getdiyi həmyəşid sinif yoldaşları neçə yaşındadır?
- 5.4.** Yerlə bağlı hesablama sisteminə görə  $0,9 \cdot c$  sürəti ilə hərəkət edən 3 m uzunluqlu xətkəşin Yerə nəzərən uzunluğu nəyə bərabərdir?
- 5.5.** Tərpənməz müşahidəçiye nəzərən  $0,8 \cdot c$  sürəti ilə hərəkət edən düzbucaqlının ölçüləri neçə deyişəcək?
- 5.6.** Elektronum sükunət enerjisi  $8,1 \cdot 10^{-16} C$ -dur. Onun kütłesi nəyə bərabərdir?
- 5.7.** Kütłesi  $1,7 \cdot 10^{-27} kq$  olan proton  $0,8 \cdot c$  sürətlə hərəkət edir. Onun relyativistik kinetik enerjisi nəyə bərabərdir?
- 5.8.** Kütłesi  $1,7 \cdot 10^{-27} kq$  olan proton (Rusiya) sürətlə hərəkət edir. Onun tam enerjisi nəyə bərabərdir?
- 5.9.** Qütb ulduzu ətraf fəzaya saniyədə  $5,4 \cdot 10^{28} C$  enerji şüalandırır. Buna görə ulduzun kütłesi saniyədə nə qədər azalır?
- 5.10.** Yerə nəzərən sürəti  $0,4 \cdot c$  olan elektron  $c$  sürətli fotona qarşı hərəkət edir. Fotonun elektrona nisbətən sürəti nəyə bərabərdir?



# MOLEKÜLYAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏ

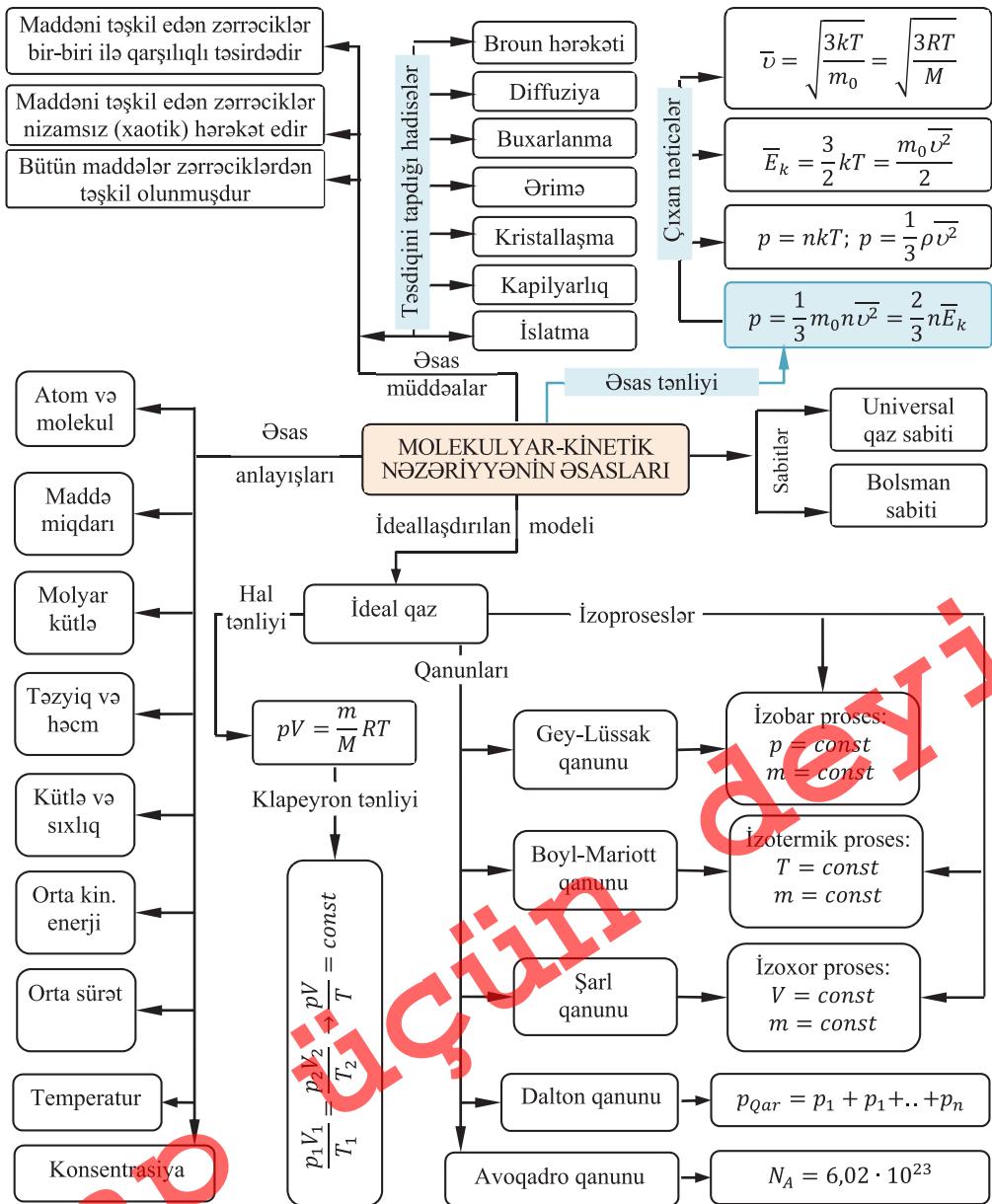
Siz bu fəslin materiallarını mənimsəməklə  
**BACARACAQSINIZ:**

- molekulyar-kinetik nəzəriyyənin əsas müddəalarını və onlardan çıxan nəticələri şərh etməyi;
- MKN-nin əsas tənliyini və ondan çıxan nəticələri düstur şəklində yazmağı;
- ideal qaz, onun hal tənliyi və qanunlarını izah etməyi;
- izoprosesləri tədqiq etməyi və onların qrafiklərini qurmağı;
- bərk cisimdə xassənin formallaşmasında kimyəvi rabitənin rolunu şərh etməyi, kristal və amorf cisimləri fərqləndirməyi;
- buxarların xassələrini MKN nöqtəyi-nəzərindən izah etməyi, doyan və doymayan buxarıları fərqləndirməyi;
- mayelərin xassələrini MKN nöqtəyi-nəzərindən izah etməyi, mayelərin səthi gərilməsi, islatma və kapılıyarlıq hadisələrinə aid təcrübələr aparmağı;
- MKN-nin əsas tənliyi, ideal qazın hal tənliyi və ideal qaz qanunlarının tətbiqlərinə aid müxtəlif xarakterli məsələlər qurmağı və həll etməyi.

Çap üçün deyil

# VI

## Fəsilin “Anlayışlar xəritəsi”



## 6.1 MOLEKÜLYAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏ VƏ ONUN ƏSAS MÜDDƏALARI

Yəqin ki, evinizdə, sinif otağında bəzən pəncərədən düşən Gənəş şüasında toz dənəciklərinin havada asılmış mənzərəsini müşahidə etmişiniz.

- Nə üçün toz dənəcikləri Yerə düşməyərək uzun müddət havada asılmış vəziyyətdə qalır?

Məlumdur ki, nəfəs aldığımız hava müxtəlif sıxlıqlı qazlardan – azotdan ( $N_2$ ), oksigendən ( $O_2$ ), karbon qazından ( $CO_2$ ) və digər qarışqlardan ibarətdir. Bu qazlar sıxlıqlarına və onlara təsir edən ağırılıq qüvvəsinə görə bir-birinin üzərində ardıcıl təbəqələrlə yerləşməli idi: ən ağırı – karbon qazı Yer səthinə yaxın, onun üzərində –  $O_2$ , daha yuxarıda isə:  $N_2$ . Lakin bu baş vermir – bizi bircins qaz qarışığı əhatə edir.

- Yer atmosferində müxtəlif qazların möcüzəli şəkildə bircins qarışığa çevrilməsinin səbəbi nədir?



1

### Cisimlər nə üçün bir-birinə “ilişdi”?

#### I təcrübə

**Təchizat:** qarmaqla təchiz edilmiş qurğuşun silindrlər (2 əd.), yüksək dəsti, mufta və çubuğu olan ştativ.

#### İşin gedisi.

1. İki qurğuşun silindrin yenicə yonqarlanan səthlərini bir-birinə sıxmaqla yapışmalarına nail olun. Silindrləri ştatividən asın.
2. Silindrin aşağı qarmağından onlar qopana qədər yüksək olun. Onlar bir neçə kiloqrama qədər ağırlığa davam gətirir (a).

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Araşdırmadan hansı nəticəyə gəlmək olar?

#### II təcrübə

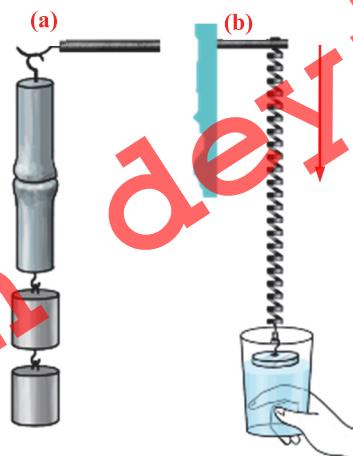
**Təchizat:** səthinə qarmaq bərkidilmiş şüşə lövhə, yay, içərisində su olan stəkan, mufta və çubuğu olan ştativ.

#### İşin gedisi.

1. Bir ucuna şüşə lövhə bərkidilən yayı ştatividən asın.
2. İçərisində su olan stəkanı lövhəyə elə yaxınlaşdırın ki, lövhənin alt səthi suya toxunsun. Stəkanı aşağı dartmaqla lövhəni sudan qopartmağa çalışın (b).

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Təcrübədə maraqlı nə müşahidə olundu?
- Lövhənin suyun səthinə yapışmasının səbəbini necə izah etmək olar?



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

- *Makroskopik cisim* – böyük miqdardır atom və molekullardan təşkil olunan cisimdir.

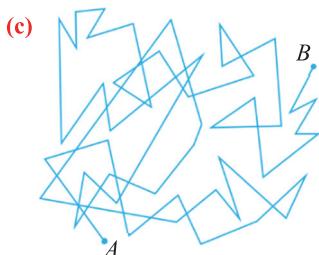
Qum dənəsi, qabda su, balonda qaz, dəmir çubuq, Ay, Günəş və s. – makroskopik cismə misal ola bilər. Mexanikada makroskopik cismə müəyyən kütlə, fəza ölçüsü, enerji xassələrinə malik (çox vaxt isə o, maddi nöqtə kimi qəbul edilir) obyekt kimi baxılır, bu cisimlərin fəzada vəziyyətləri və onların digər cisimlərlə qarşılıqlı təsirləri öyrənilir. Lakin mexanika makroskopik cisimlərin daxili quruluşunu, onları təşkil edən atom və molekullar arasındaki 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 öyrənən *molekulyar fizika* bölməsi yarandı.

- *Molekulyar fizika – makroskopik cisimlərin daxili quruluşunu, onun xassəsini və materiyanın istilik hərəkətinin əsas qanuna uyğunluqlarını öyrənən fizika* bölməsidir.
- *Makroskopik cisimlərin atom və molekullardan təşkil edildiyini, bu zərrəciklərin daim xaotik hərəkətdə və qarşılıqlı təsirdə olma təsəvvürləri əsasında maddələrin xassələrini və onlarda gedən istilik proseslərini izah edən nəzəriyyə* ***molekulyar-kinetik nəzəriyyə*** (MKN) adlanır.

**Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin əsas müddəaları.** MKN-nin əsasını 3 müddəə təşkil edir:

I müddəə: bütün maddələr zərrəciklərdən – atom və molekullardan təşkil olunmuşdur. Atom və molekulların varlığını ilk dəfə ingilis kimyaçı alimi Con Dalton (1766–1844) aşkar etmişdir. O, bir sıra kimyəvi elementin atom çekisini hesablamaqla maddələrin atom qurulus nəzəriyyəsini vermişdir. Sonralar obyekti 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 fasıləsiz və nizamsız (xaotik) hərəkətdədir. Bu müddəənin doğruluğu 1827-ci ildə ingilis botaniki Robert Brounun (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*” adlandırılaraq belə nizamsız hərəkəti MKN əsasında nəzəri olaraq 1905-ci ildə Albert Eynsteyn tərəfindən əsaslandırıldı. Nəzəriyyə təcrübə olaraq 1909–1911-ci illərdə fransız fiziki Jan Batist Perrin (1870–1942) tərəfindən təsdiqləndi. O, müəyyənləşdirdi ki, boyaq hissəciklərinin suda xaotik hərəkət etməsinə səbəb su molekullarının istilik hərəkətinin nəticəsidir. Perrin müəyyənləşdirdi ki, zərrəciklərin broun hərəkətinin intensivliyi onun kimyəvi təbiətindən deyil, temperaturundan asılıdır: temperatur yüksəldikcə broun hərəkətinin intensivliyi də artır.

Beləliklə:

- *Broun hərəkəti – mayelərdə (və ya qazlarda) asılı halda olan “yad” hissəciklərin nizamsız hərəkətidir.*

MKN-nin ikinci müddəəsini 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 “Diffuziyanın Fik qanununu” müəyyənləşdirmişdir.

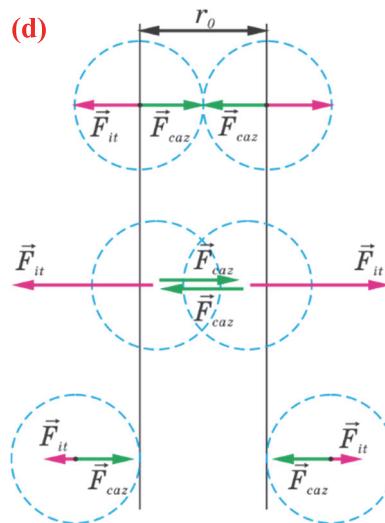
*III müddəə: maddə zərrəcikləri bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdədir – onlar arasında cazibə və itələmə xarakterli qüvvələr mövcuddur.*

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

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

Cədvəl 6.1

Zərrəciyin xarakteristikası	İfadə olunur
Atom kütlə vahidi (a.k.v.)	Atom kütlə vahidi (a.k.v.) – ${}^{12}_6C$ izotopunun kütləsinin $1/12$ hissəsinə deyilir: $1\text{a.k.v.} = \frac{1}{12}m_{0,C} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{kq}$ $m_{0,C}$ – karbon atomunun kütləsidir.
Maddənin nisbi molekul kütləsi	Maddənin nisbi molekul (və ya atom) kütləsi – həmin maddənin molekulunun $m_0$ kütləsinin karbon atomu kütləsinin $1/12$ -nə olan nisbətinə deyilir: $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{0,C}}$ $M_r$ – nisbi molekul kütləsi, $m_0$ – maddə molekulunun kütləsidir. Nisbi molekul kütləsinin vahidi yoxdur.
Maddə miqdarı	Cisimdəki maddə miqdarı ( $v$ ) – ondakı molekulların və ya atomların nisbi sayının avoqadro ədədiniən nisbətinə deyilir: $v = \frac{N}{N_A}$ . $N$ – 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 miqdardır.
Avoqadro ədədi	Avoqadro ədədi (sabit) – istənilən maddənin bir molunda olan molekulların (və ya atomların) sayıdır: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$ .



Molar kütlə	<p>Molar kütlə – maddənin bir molunun kütləsinə deyilir: <math>M = m_0 \cdot N_A</math>.</p> <p>Molar kütlənin BS-də vahidi molda kilogramdır <math>(1 \frac{\text{kq}}{\text{mol}})</math>: <math>[M] = 1 \frac{\text{kq}}{\text{mol}}</math>.</p> $\left\{ \begin{array}{l} \text{Maddənin bir molekulunun kütləsi: } m_0 = \frac{M}{N_A} \rightarrow N_A = \frac{M}{m_0} \\ \text{İstənilən maddənin } m \text{ kütləsi: } m = m_0 \cdot N \rightarrow N = \frac{m}{m_0} \end{array} \right.$ <p>Buradan alınır ki, maddə miqdəri maddənin kütləsinin onun molar kütləsinə nisbətinə bərabərdir:</p> $v = \frac{m}{M}$
Maddədəki molekulların sayı	<p>Kütləsi <math>m</math>, molar kütləsi <math>M</math> olan istənilən maddədəki molekulların sayı:</p> $N = v \cdot N_A = \frac{m}{M} \cdot N_A$

2

### Tətbiqetmə

#### Broun hərəkətinin modelləşdirilməsi

**Təchizat:** söküldə bilən kondensator lövhəsi, hava-vakuum boş qabının şüşə balonu, nazik dəmir halqa, gücləndirici, alüminium folqadan hazırlanmış içərisi boş kürəciklər (diametri 8 mm olmaqla 10-12 əd.), sapdan asılan stolüstü tennis şarı, yapışqanlı lent, şativ oturacağı.

#### İşin gedisi:

1. Broun hərəkətini modelləşdirən qurğunu hazırlayın.

#### Qurğunun hazırlanmasının ardıcıl addımları:

**I addım.** Kondensator lövhəsinin dielektrik dəstəyini şativin oturacağına bərkitməklə üfüqi alüminium masa yaradın. Nazik dəmir halqanı şüşə balonun divarına daxildən lentlə yapışdırın.

**II addım.** Alüminium masa və dəmir halqanı gücləndiricinin sixaclarına birləşdirin.

**III addım.** Tennis şarının asıldığı sapın ucunu şüşə balonun qülləsinə lentlə yapışdıraraq ipli rəqqas yaradın (rəqqas alüminium lövhədən 5-6 sm yüksəklikdə olmalıdır).

**IV addım.** Alüminium kürəcikləri lövhənin üzərinə səpələyib üzərini şüşə balonla qapayın – qurğu hazırlır (**e**)!

2. Gücləndiricini işə salıb dövrədə 25 kV gərginlik yaradın. Bu zaman kürəciklər “idman lototronu”nda olduğu kimi dəmir halqa ilə alüminium masa arasında sıçrayışlarla qarma-qarışq hərəkətə başlayır. Onlar həm bir-birinə, həm də sapdan asılan tennis şarına müxtəlif istiqamətlərdə zərbələr endirir. Tennis şarının hərəkət trayektoriyasını diq-qətlə izleyin və onu iş vərəqində sxematik təsvir etməyə çalışın.

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Broun hərəkəti nədir? Hazırlığınızın qurğuda molekul və broun hissəciyini hansı cisimlər vasitəsilə modelləşdirdiniz? Cavabınızı əsaslandırın.

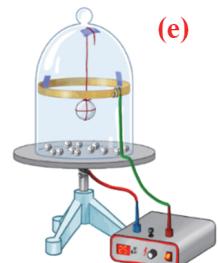
#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

- Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin əsas müddəalarını bilmək nə üçün lazımdır?
- Suali cavablandırmaq üçün verilən açar sözlərdən istifadə edə bilərsiniz.

**Açar sözlər:** təbiətdə maddənin aqreqat halları; təbiətdə suyun dövrəni; təbiət və məişətdə buxarlanma, rütubət; təbiət və məişətdə diffuziya.

#### Özünüzi qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qarşılıqlı qaldı?



2. Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin mahiyyəti nədir?

3. Kütləsi 12 q olan metanda ( $CH_4$ ) neçə hidrogen atomu var

$$(N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}; M=0,016 \text{ kg/mol})$$

Verilir	Həlli
$m = 12 \text{ q} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	I addim: $N_{(CH_4)} = \frac{m}{M} \cdot N_A$ .
$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	II addim: $N_H = 4 \cdot N_{(CH_4)}$ .
$M = 0,016 \text{ kg/mol}$	
$N_H - ?$	

4. Avoqadro sabitinin fiziki mənası nədir?

5. Molekulun “xarakteristikalar xəritəsi”ni qurun.

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “Makroskopik cisim”, “Molekulyar fizika”, “Molekulyar-kinetik nəzəriyyə”, “MKN-nin I müddəası”, “MKN-nin II müddəası”, “MKN-nin III müddəası”, “Atom kütlə vahidi”, “Nisbi molekul kütləsi”, “Maddə miqdari”, “Molyar kütlə”.

### 6.2

## İDEAL QAZ. İDEAL QAZIN MOLEKULYAR-KİNETİK NƏZƏRİYYƏSİNİN ƏSAS TƏNLİYİ

Molekulyar fizikada xassəsi öyrənilən maddələrdən biri qazdır. Təbiətdə ayrıca götürülmüş qaz, demək olar, yoxdur – atmosferdəki real qaz müxtəlif qaz qarışığından ibarət mürəkkəb tərkibli əlaqəli sistemdir.

Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin əsas məsəlesi bu mürəkkəb sistemin xassəsini xarakterizə edən makroskopik və mikroskopik parametrlər arasında əlaqə yaratmaqdır. Bu məqsədə mürəkkəb tərkibli real qaz sadələşdirilmiş fikri modelə (ideallaşdırılan modelə) əvəz olunmalıdır.

- Real qazın modeli qazın hansı xassələrini özündə daşıya bilər?
- Qazın makroskopik və mikroskopik parametrləri onun hansı xassəsini xarakterizə edə bilər?

### Araşdırma

#### 1 Qaz molekullarının təzyiqinin modelləşdirilməsi

**Təchizat:** quru dəniz qumu (0,5 q), karton kağız vərəq (2 ad.), dərslik (2 ad.), mobil telefon.

**İşin gedisi:** 1. Karton vərəqini iki dərslik arasında şəkildəki kimi üfüqi yerləşdirin. 2. Qum dənələrini bərabər sürətlə üfüqi vərəqin üzərinə səpin və müşahidə etdiyiniz hadisənən mobil telefonla fotosəklini çəkün (a). 3. Qum dənələrini qaz molekulları, karton vərəqi isə qazın yerləşdiyi qabın divarı olduğunu təsəvvür edin və qazın təzyiqinin fiziki mahiyyəti üzrində düşünün. 4. Qum dənələrinin düşmə hündürlüyüünü və deməli, onların sürətini artırmaqla təcrübəni təkrarlayın. Baş verən hadisəni izleyin.



#### Nəticənin müzakirəsi:

- Araşdırmanın qazın təzyiqinin fiziki mahiyyəti haqqında hansı nəticəyə gəldiniz: qazın təzyiqi nədən ibarətdir?
- “Qaz molekulları”nın sürəti artdıqda onun təzyiqi necə dəyişdi?

**İdeal qaz.** İxtiyari fiziki nəzəriyyənin qurulmasının ilk addımı – real obyektin ideallaşdırılan fikri modelinin qurulmasından ibarətdir. Belə model həmişə gerçəklilikin sadələşdirilmiş şəkli olur, onun vasitəsilə real obyektin xassələrinin qanuna uyğunluqları keyfiyyət və kəmiyyət baxımından müəyyən sərhədlər çərçivəsində öyrənilir.

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

- *Ideal qaz – aşağıdakı şərtləri ödəyən qazdır:*

– molekullarının xətti ölçüləri onlar arasında 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 sıfır bərabərdir:

$$E_p = 0.$$

*Odur ki ideal qaz istənilən qədər sixila bilir;*

– molekulları arasında 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.

Ideal qazın xassələri mikroskopik və makroskopik parametrlər və onlar arasındaki 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.

**Ideal qazın molekulyar-kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyi.** Bilirsiniz ki, qapalı qabda yerləşən qazın molekullarının qabın divarına fasilsiz 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 tənliyi* müəyyənləşdirir.

- *Ideal 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,  $n$  – molekulların 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:

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

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

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}, \quad (6.3)$$

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k. \quad (6.4)$$

- Ideal 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 alınarsa, ideal qazın təzyiqinin onun sıxlığından asılılıq düsturu alınar:

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

## Tətbiqetmə

### Qaz atomlarının orta kinetik enerjisini təyin edin

**Məsələ.** Günəşin görünən atmosferi – fotosferi, demək olar, hidrogen qazından ibarətdir. Fotosferdəki hidrogen qazı atomlarının konsentrasiyası təqribən  $n = 1,6 \cdot 10^{21} m^{-3}$ , təzyiqi isə  $p = 1,25 \cdot 10^2 Pa$ -dır. Fotosferdəki hidrogen qazını ideal qaz qəbul etsək, onun atomlarının irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi nəyə bərabər olar?

### Nəticənin müzakirəsi:

- Ideal qaz molekullarının (atomlarının) irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi ilə onların təzyiqi arasında hansı əlaqə vardır?

### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Fərz edək ki, bizi əhatə edən hava eyni molekullardan ibarətdir. Bu molekullar normal şəraitdə hansı orta kvadratik sürətlə bizi zərbələr endirir? Normal şəraitdə havanın təzyiqi  $10^5 Pa$ , sıxlığı  $1,29 \text{ kg/m}^3$ -dir.

### Özünüzü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Qaz təzyiqinin mövcudluğunu MKN necə izah edir?
3. Qaz hansı şərtlər daxilində ideal qaz adlandırılara bilər?

4. Qazın mikroskopik və makroskopik parametrləri nəyi xarakterizə edir?
5. Nə üçün ideal qazın təzyiq düsturu MKN-in əsas tənliyi adlanır?
6. “Ideal qaz” anlayışının xəritəsini qurun.

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “ideal qaz”, “Qazın mikroskopik parametrləri”, “Qazın makroskopik parametrləri”, “Ideal qazın MKN-nin əsas tənliyi”, “Molekulların konsentrasiyası”, “Molekulların orta kvadratik sürəti”, “Ideal qazın təzyiqi”.

### 6.3

## İSTİLİK TARAZLIĞI – TEMPERATUR

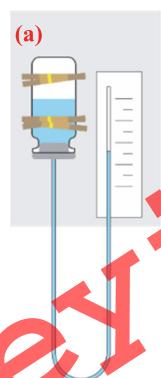
Gündəlik həyatımızda *temperatur* anlayışı çox mühüm yer tutur. Belə ki, temperatur dedikdə, biz, adətən, cisimlərin qızma dərəcəsini (isti, ılıq, soyuq) nəzərdə tuturuz. Belə yanaşma kifayət dərəcədə subyektivdir, çünkü temperatur baxılan cismin yalnız halından deyil, həm də bizim hissiyyatımızdan asılıdır.

- Temperaturun müəyyən edilməsində subyektivlikdən necə qaçmaq olar?
- Nə üçün bədənimizin temperaturunu təyin etmək üçün civalı (və ya spirt) termometrini qolumuzun altında 5–10 dəq saxlayırıq?

### Araşdırma

#### Su termometrinin hazırlanması

**1 Təchizat:** şüşə ampula (flakon), nazik şəffaf borucuq (diyircəkli qələmin boş borucuğu ola bilər), rənglənmiş su ( $4\text{--}5\text{ ml}$ ), plastilin, yapışqanlı lent, aq kağız vərəq, karton lövhə ( $6 \times 6\text{ sm}$ ), ip, biz, spirt termometri, stəkan, elektrik su qızdırıcısı, su ( $0,5\text{ l}$ ), karandaş.



**İşin gedisi:** 1. Ampulaya yarıya qədər rənglənmiş su yığın və tixacla qapayın. 2. Tixacla dəlik açıb borucuğun bir ucunu oradan keçirməklə. Tixacla borucuq arasında qala bilən boşluğu plastilinlə qapayın. 3. Borucuq U şəklində əyib ağızı açıq hissəsini lentlə vərəqə yapışdırın: o, termometrin “şkalası” olacaq. Vərəqi iplə karton lövhəyə bərkidin. Su termometri hazırlanır (a). 4. Termometri dərəcələyin. Bunun üçün suyu bir qədər, məsələn,  $50^{\circ}\text{C}$  qızdırıb stəkana töküñ. Spirt və su termometrini suya batririb bir neçə dəqiqə gözləyin. Su termometrində borucuqdakı suyun səviyyəsini ştrixlə qeyd edin və spirt termometrinin göstəricisinə uyğun rəqəmi, məsələn,  $45^{\circ}\text{C}$ -i ştrixin qarşısında yazın. 5. Stəkandaki su soyuduqca termometrin şkalasının dərəcələnməsini davam etdirin.

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Termometrin uzun müddət eyni temperaturu göstərməsinə səbəb nədir?
- Su termometri ilə hansı temperatur intervallarını ölçmək mümkündür? Nə üçün?
- MKN baxımından izah edin: nə üçün maddəni qızdırıldıqda onun temperaturu artır, soyutduqda isə, əksinə, azalır?

**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 fasılısından sonra qeyd olunur. Bu müddətdə cisimlə termometr arasında *istilik tarazlığı* və ya *termodinamik tarazlıq* yaranır. Termodinamik tarazlıqda sistemin makroskopik parametrləri sabit qalır – maddənin aqreqat hallarının dəyişməsi baş vermir.

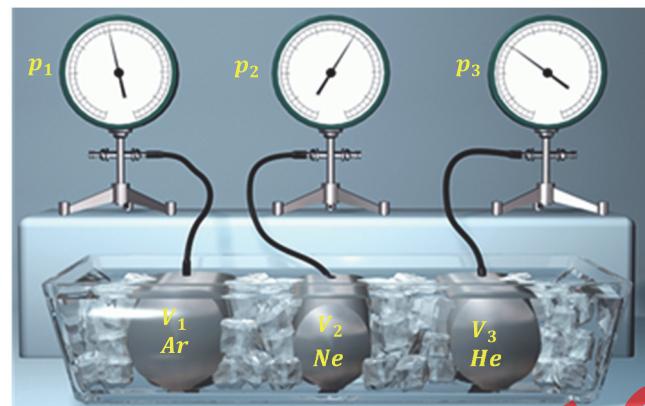
- *İstilik tarazlığı* və ya *termodinamik tarazlıq* – sistemin makroskopik parametrlərinin uzun müddət dəyişməz qaldığı halıdır.

Sistemin istilik tarazlığı *temperaturla* xarakterizə olunur.

- *Temperatur – makroskopik sistemin istilik tarazlığını xarakterizə edən kəmiyyətdir*: istilik tarazlığında sistemin bütün hissələrinin temperaturu eynidir.

Temperaturun keyfiyyət və kəmiyyətcə 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 irəli-ləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisidir. Həmin enerjini xəotik hərəkətdə 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  $0^\circ\text{C}$ , həm də  $100^\circ\text{C}$  temperaturunda) təzyiq və zərrəciklərin konsentrasiyasının müxtəlif olmasına baxmayaraq,  $\frac{pV}{N}$ -ə nisbəti bütün balonlarda, demək olar ki, sabit qalır:

$$t = 0^\circ\text{C} - d\vartheta \rightarrow \frac{p_1 V_1}{N_1} = \frac{p_2 V_2}{N_2} = \frac{p_3 V_3}{N_3} = 3,76 \cdot 10^{-21} N \cdot m = 3,76 \cdot 10^{-21} C,$$

$$t = 100^\circ\text{C} - d\vartheta \rightarrow \frac{p_1 V_1}{N_1} = \frac{p_2 V_2}{N_2} = \frac{p_3 V_3}{N_3} = 5,14 \cdot 10^{-21} N \cdot m = 5,14 \cdot 10^{-21} C.$$

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 alınar:

$$\frac{p}{n} = \theta. \quad (6.6)$$

Burada  $\theta$  (*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). Təcrübə olaraq müəyyən edilmişdir ki, *Bolsman sabiti*:

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

*Bolsman sabiti* enerji vahidi ilə ölçülən  $\theta$  temperaturunu Kelvinlə ölçülən  $T$  mütləq temperaturu ilə əlaqələndirir.

(6.6) və (6.7) ifadələrinən 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. *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 təklifi 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  $T_0 = 273,15\text{K}$ dir.

Temperaturların Selsi şkalası ilə Kelvin şkalaları arasında münasibət:

$$T = t + 273,15.$$

Hesablamalarda bu əlaqə sadə şəkildə belə yazılır:

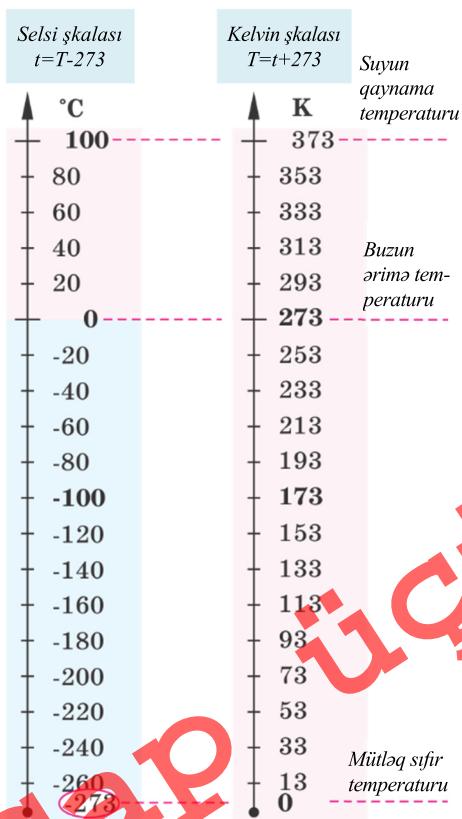
$$T = t + 273. \quad (6.11)$$

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

$$\Delta T = \Delta t \quad (\text{c}).$$

**Temperatur – molekulların orta kinetik enerjisinin ölçüsüdür.** Həqiqətən, (6.4) və (6.9) ifadələrinin müqayisəsindən

(c)



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 xootik hərəkətinin orta kinetik enerjisi mütləq temperaturdan düz mütənasib asılıdır:*

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

(6.12) düsturundan temperaturun fiziki mənəsi aydın olur:

*Temperatur – cismin molekullarının xootik irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerji-sinin ölçüsüdür.*

(6.12) ifadəsi mayelər və bərk cisimlər üçün də ödənilir. Düsturda 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:

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

## 2 Tətbiqetmə

**Temperatur nə qədər artar?**

**Məsələ.** İdeal qazın temperaturu 373K-dır. Onu qızdırıldıqda molekulların orta kinetik enerjisi 3 dəfə artarsa, qazın temperaturu nə qədər artar?

**Nəticənin müzakirəsi:**

- İdeal qazın temperaturu ilə onun molekullarının orta kinetik enerjisi arasında hansı münasibət var?
- Orta kinetik enerjisi 3 dəfə artan qazın temperaturu nə qədər artdı?

**Gündəlik həyatınızda əlaqələndirin:**

- Qarışqanın temperaturunu adı termometrlə necə ölçmək olar?

**Özünüyü qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Temperatur nəyi xarakterizə edir?
3. İstilik tarazlığı nədir? İstilik tarazlığında olan cisimlərin temperaturları haqqında nə demək olar?
4. Mütləq sıfır temperaturunun fiziki mənəsi nədir?
5. Kelvin şkalasında hansı temperatur  $-73^{\circ}\text{C}$ -yə uyğundur?
6. "Temperatur" anlayışının xəritəsini qurun.

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: "İstilik tarazlığı", "Temperatur", "Mütləq temperatur", "Temperaturun Kelvin və Selsi şkalaları arasında əlaqə", "Temperaturun fiziki mahiyəti".

## 6.4

## QAZ MOLEKULLARININ HƏRƏKƏT SÜRƏTİNİN MÜƏYYƏNLƏŞDİRİLMƏSİ (TƏQDİMAT DƏRS)

“Molekulların hərəkət sürətlərinin və qarşılıqlı təsirlərinin təcrübi tədqiqi” mövzusunda təqdimat hazırlamazdan əvvəl keçən dərsdə öyrəndiyiniz bilik və bacarıqlardan və nəzəri məlumatdan istifadə edə bilərsiniz.

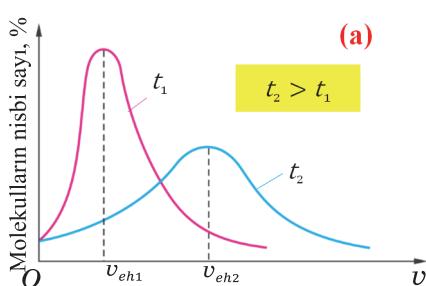
**Qaz molekullarının hərəkət sürətinin müəyyənləşdirilməsi.** Qaz molekulları fasiləsiz xaotik hərəkətdədir. Maraqlıdır ki, nizamsız hərəkət edən külli miqdarda qaz molekullarının sürətlərə görə müəyyən paylanma qanuna uyğunluğu mövcuddur. Cədvəl 6.2-də azot molekullarının sürətlərə görə paylanması verilmişdir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

Cədvəl 6.2.

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

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

İngilis fiziki Ceyms Maksvell (1831–1879) riyazi ehtimal nəzəriyyəsindən istifadə edərək 1860-cı ildə molekulların sürətlərə görə paylanma qanuna uyğunluğunu müəyyənləşdirdi və onu qrafikdə öks etdi (a).



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

Nəticədə  $v_{eh}$  sürətinə yaxın sürətlə hərəkət edən molekulların sayı da artır və bu zaman “paylanması” əyrisinin maksimumunun yeri böyük sürətlər tərəfə sürüsür (bax: a).

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

Təqdimatın hazırlanmasının nümunəvi planı

I slayd	<ul style="list-style-type: none"> <li>Təqdimatın adı</li> <li>Hazırlayan</li> </ul>
II slayd	<ul style="list-style-type: none"> <li>İdeal qaz molekullarının hərəkət sürətinin asılı olduğu makro- və mikroparametrlər</li> </ul>
III slayd	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qaz molekullarının hərəkət sürətinə görə paylanma qanuna uyğunluğunun müəyyənləşdirilməsi – cədvəl 6.2-nin təhlili</li> </ul>
IV slayd	<ul style="list-style-type: none"> <li>Molekulların nisbi sayının sürətdən asılılıq qrafikinin təhlili</li> </ul>
V slayd	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ştern təcrübəsindən çıxan nəticə</li> </ul>

## 6.5 IDEAL QAZIN HAL TƏNLİYİ

Siz ideal qazı MKN nöqtəyi-nəzərindən araşdırınız, onun makroskopik və mikroskopik parametrləri arasındaki əlaqələri müəyyən etdiniz.

- **İdeal qazın MKN-nin əsas tənlisi hansı makroskopik parametrləri mikroskopik parametrlərlə əlaqələndirir? Tənlilik necə yazılır?**
- **İdeal qazın halını xarakterizə edən üç makroskopik parametr – təzyiq, həcm və temperatur arasında əlaqə yaratmaq mümkündürmü? Bunu necə etmək olar?**

1

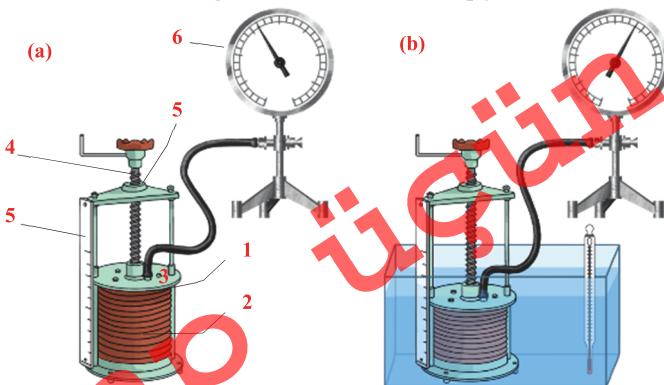
Verilən kütləli qazın makroskopik parametrləri arasında hansı qanuna uyğunluq var?

**Təchizat:** silfon, manometr, akvarium, termometr, su qızdırıcısı, su (2l).

**Silfonun quruluşu.** Cihaz metal qapağı (1) olan qırçılıq (həcmi dəyişdirilə bilən) hermetik silindrik qabdan (2) ibarətdir. Qapağa qısa metal boru (3) lehimlənmışdır – ora manometrin şlanğı birləşdirilir. Vintin (4) köməyi ilə silindrik qabin həcmi dəyişdirilir – həcm dəyişdikdə onun daxilindəki havanın həcmi və təzyiqi də dəyişir. Havanın həcmi cihaza kənardan bərkidilən şkalaya (5) əsasən şərti vahidlərlə, təzyiqi isə manometrlə (6) ölçülür (a).

**İşin gedisi:**

1. Silfonu manometrə birləşdirib otaq temperaturunda ( $T_1$ ) havanın  $V_1$  həcmini və  $p_1$  təzyiqini qeyd edin. Alınan qiymətlərə əsasən  $\frac{p_1V_1}{T_1}$  nisbətini hesablayın.
2. Silfonun həcmini dəyişdirin, onu isti suda yerləşdirib havanın yeni hal parametrlərini –  $T_2$ ,  $V_2$ ,  $p_2$  qeyd edin (b). Alınan qiymətlərə əsasən  $\frac{p_2V_2}{T_2}$  nisbətini hesablayın.
3. Təcrübədən alıdığınız hər iki nisbəti müqayisə edin və nəticə çıxarın.



**Nəticənin müzakirəsi:**

- Verilən kütləli qazın (havanın) müxtəlif hallarına uyğun makroskopik parametrlərinin nisbətində hansı qanuna uyğunluğu müəyyən etdiniz?
- Araşdırmadan hansı nəticəyə gəlmək olar?

**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 – kütłəsi və molyar kütłəsi dəyişmirsə, (6.2) və (6.9) düsturlarından alınır ki:

$$\begin{cases} p_1 V_1 = NkT_1 \\ p_2 V_2 = NkT_2 \end{cases} \quad (6.14)$$

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 kütłəli

( $m = \text{const}$ ) ideal qaz üçün alarıq:

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

(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 kütłəli ideal qazın təzyiqinin həcmə hasilinin mütləq temperatura nisbəti sabit kəmiyyətdir.*

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

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

düsturunu (6.14)-də nəzərə alsaq, onu:

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

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

$$R = kN_A = 8,31 \frac{C}{\text{mol} \cdot K}. \quad (6.17)$$

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

$$pV = \frac{m}{M} RT = vRT \quad \text{və ya} \quad \frac{pV}{T} = vR. \quad (6.18)$$

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.

**Tətbiqetmə****2 İdeal qazın hal tənliyini tətbiq etməyi bacarıraqmı?**

**Məsələ 1.**  $0^{\circ}\text{C}$  temperaturunda  $0,1\text{m}^3$  həcmli balona  $10^5\text{ Pa}$  təzyiqində  $8,9 \cdot 10^{-3}\text{ kq}$  kütləli qaz doldurulmuşdur. Qazın molyar kütləsini təyin edin. Bu hansı qazdır?

**Məsələ 2.** Hidrogen qazı doldurulan ağızbağlı meteoroloji şar temperaturu  $0^{\circ}\text{C}$  olan hündürlüyü qalxdı. Bu zaman şarin daxilində təzyiq  $1,5 \cdot 10^5\text{ Pa}$  olarsa, hidrogenin sıxlığını təyin edin.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Qazın molyar kütləsini hansı düsturdan təyin etdiniz?
- Verilən şərtlərə əsasən meteoroloji balondakı qazın sıxlığını necə təyin etmək olar?
- Balonda hansı qazdır?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

- İdeal qazın hal tənliyini nə üçün bilmək lazımdır?

Aşağıdakı cavablardan hansını seçərdiniz?

1. Hal tənliyi imkan verir ki, qazın halını xarakterizə edən məlum iki parametrə görə üçüncü parametr təyin edilsin.
2. Hal tənliyi müəyyən xarici şəraitdə sistemdə müxtəlif proseslərin gedisatını müəyyən etməyə imkan verir.
3. Hal tənliyi bizi əhatə edən sistemin halının dəyişmə qanunauyğunluğunu müəyyən etməyə imkan verir.

**Özünüyü qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. İdeal qazın hal tənliyi nəyi müəyyən edir?
3. Hansı hadisələrin araşdırılmasında hal tənliyindən istifadə olunur?
4. Klapeyron tənliyi nəyi xarakterizə edir?
5. Qazın hansı parametrləri arasındaki asılılıq Mendeleyev-Klapeyron tənliyi adlanır?
6. Verilmiş kütlü qaz bir haldan digərinə keçdikdə onun təzyiqi azaldı, temperaturu isə artdı. Qazın həcmi necə dəyişdi?
7. Universal qaz sabitinin fiziki mənası nədir?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan anlayış və müddəaların izahını və uyğun tənliklərini iş vərəqinə yazın: “ideal qazın hal tənliyi”, “Klapeyron tənliyi”, “Mendeleyev-Klapeyron tənliyi”.

Çap üçün

## 6.6 QAZ QANUNLARI

Fərz edin ki, içərisində hava olan ağız kip bağlanmış şüşə balonu soyuq küçədən isti otağa gətirdiniz. Bir qədərdən sonra:

- Balondakı havanın halını xarakterizə edən hansı parametrlərində dəyişikliklər baş verəcəkdir?
- Balondakı havanın halını xarakterizə edən hansı parametrlərində dəyişiklik baş verməyəcəkdir?
- Balondakı havanın halını hansı düsturla müəyyən etmək olar?

**1**

**Verilən kütləli qazın temperaturu sabit qaldıqda onun digər makroskopik parametrləri arasında hansı qanuna uyğunluq var?**

Təchizat: manometrlə təchiz edilmiş silfon (a).

**İşin gedisi:**

1. Otaq temperaturunda silfondakı havanın başlanğıc parametrlərini cədvəl 6.3-də qeyd edin:  
 $p_1 = 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ şərti təzyiq vahidi}; V_1 = 8 \text{ şərti həcm vahidi}.$
2. Vinti fırlatmaqla silfondakı havanın həcmini tədricən azaldın. Hər dəfə həcmiñ yeni qiymətini və ona uyğun təzyiqi qeyd edin.
3. Ölçmələrin nəticələrini cədvələ köçürün, həcm və təzyiqin uyğun qiymətlərinə əsasən  $p_1V_1; p_2V_2; \dots$  hasillərini hesablayın və p-V qrafikini qurun.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Verilən kütləli qazın (havanın) sabit temperaturda (otaq temperaturunda) təzyiqi onun həcmində görə necə dəyişdi?
- Təcrübənin ayrı-ayrı mərhələlərində havanın uyğun təzyiqi ilə həcmiñ  $p_1V_1; p_2V_2; \dots$  hasilləri arasında hansı qanuna uyğunluğu müəyyən etdiniz?
- Araşdırmadan hansı nəticəyə gəlmək olar?

Cədvəl 6.3

V, şərt. vah.	8	7	6	5	4	3	2
p, şərt. vah.	1	1,1	...	...	...	...	...

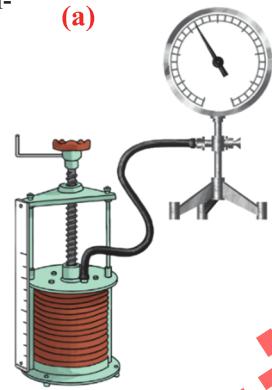
İdeal qazın hal tənliyinin köməyi ilə qazın kütləsi və makroskopik parametrlərindən birinin sabit qaldığı prosesləri araşdırmaq olar.

- *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 proseslər izoproseslər (yun.: izos – bərabər) deyilir.*

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

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

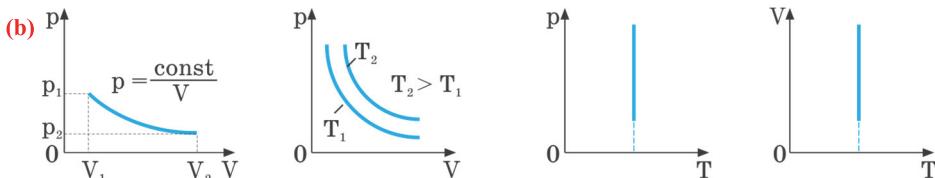
$$pV = \frac{m}{M} RT = \text{const.} \quad (6.20)$$



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

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

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



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

- Sabit təzyiqdə verilmiş kütləli ideal qazın həcmiň 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 halindəki  $V_1$  həcmiň  $T_1$  temperaturuna olan nisbəti bu parametrlərin qazın ixtiyari halindəki  $V_2$  və  $T_2$  qiymətləri nisbətinə bərabərdir:

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

Gey-Lüssak qanunu belə də ifadə olunur:

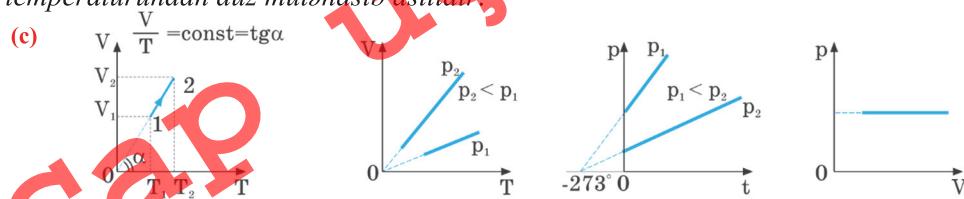
- Sabit təzyiqdə verilmiş kütləli ideal qazın həcmiň nisbi dəyişməsi temperaturun dəyişməsi ilə düz mütənasibdir ( $p = \text{const}, m = \text{const}$ ):

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

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

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

- Sabit təzyiqdə ( $p = \text{const}$ ) verilmiş ideal qazın halının dəyişmə prosesi **izobarik proses** adlanır (c). Izobarik prosesdə verilmiş kütləli ideal qazın həcmi onun temperaturundan düz mütənasib aslidir.



**Şarl qanunu.** Bu qanunu 1787-ci ildə fransız fiziki Şarl Jak Aleksandr Sezar (1746-1823) təcrübü 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 halindəki  $p_1$  təzyiqinin  $T_1$  temperaturuna olan nisbəti bu parametrlərin qazın ixtiyari halindəki  $p_2$  və  $T_2$  qiymətləri nisbətinə bərabərdir:

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

Şarl qanunu belə də ifadə olunur:

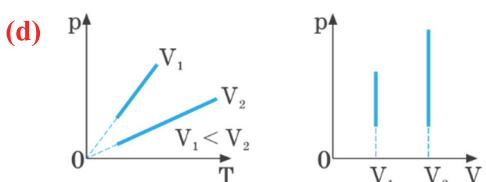
- *Sabit həcmdə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin nisbi dəyişməsi temperaturun dəyişməsi ilə düz mütənasibdir ( $p = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ ):*

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

Burada  $p_0$  – verilən ideal qazın sabit həcmdə başlanğıc haldakı ( $t_0$  – temperaturunda) təzyiqi,  $p$  – son haldakı ( $t$  – temperaturunda) təzyiqi,  $\beta$  – təzyiqin dəyişmə əmsalıdır. Hesablamalardan müəyyən edilmişdir ki, başlanğıc temperaturu  $0^\circ\text{C}$  olan bütün seyrəldilmiş qazları  $1K$  ( $1^\circ\text{C}$ ) qızdırıldıqda onlar öz təzyiqlərini başlanğıc haldakı təzyiqlərinin  $\frac{1}{273}$  hissəsi qədər dəyişir:

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

- *Sabit həcmdə ( $V=\text{const}$ ) ideal qazın halının dəyişmə prosesi izoxorik proses adlanır (d). Izoxorik 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 qarışığında 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.

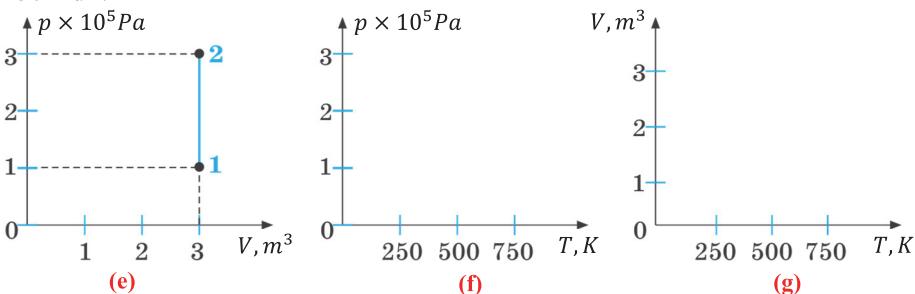
- *Eyni temperatur və təzyiqdə həcmi bərabər olan qazların molekullarının sayı eynidir, məsələn, istənilən qazın 1 molundakı molekulların sayı  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  qədərdir.*

Bir mol qaz sabit təzyiq və temperaturda  $22,4 \text{ l} / \text{mol}$  həcmə malikdir. Bu həcm ideal qazın molyar həcmi adlanır.

## Araşdırma

### Tətbiqetmə. Hansı izoprosesdir?

**2 Məsələ.** İdeal qaz üzərində şəkildə təsvir edilən proses getmişdir (e). Bu prosesin qrafikini  $p - T$  (f) və  $V - T$  (g) asılılıqlarında qurun. Qazın başlangıç halında temperaturu  $250\text{K}$ -dir.



### Nəticənin müzakirəsi:

- Məsələdə ideal qazın hansı izoprosesinin qrafiki verilmişdir?
- Bu prosesin qrafiki  $p - T$  (f) və  $V - T$  (g) asılılıqlarında nədir?

### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Həyatımızın vacib amili olan nəfəsalma fiziki prosesdir. Belə ki, nəfəs alıqda qabırğalarası əzələlər və diafragma döş qəfəsinin həcmini periodik olaraq dəyişir. Döş qəfəsi genişləndikdə ciyərlərdəki havanın təzyiqi atmosfer təzyiqindən aşağı düşür və nəticədə nəfəsalma prosesi baş verir. Başqa sözlə desək, ətraf mühitdəki havanın təzyiqi ciyərlərdəki havanın təzyiqinə bərabər olana qədər xaricdən ciyərlərə öz-özünə hava axması davam edir. Nəfəsvermədə isə əks proses baş verir: ciyərlərin həcminin azalması nəticəsində onlardakı havanın təzyiqi atmosfer təzyiqindən böyük olur. Təzyiqlərin dəyişməsinin tərs prosesi baş verir və hava atmosferə ötürülür.

- Nəfəsalma və nəfəsvermə prosesi hansı izoprosesdə baş verir?

### Özünüyü qiymətləndirin:

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Qaz qanunu nəyi müəyyənləşdirir?
- İzoproses nədir?
- Boyl-Mariott qanununun mahiyyəti nədən ibarətdir?
- Gey-Lüssak qanunu nəyi müəyyənləşdirdi?
- Həcmi genişlənmə əmsalının fiziki mahiyyəti nədir?
- Şarl qanunu qazın hansı parametrləri arasında əlaqə yaradır?

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəələrin tariflərini iş vərəqinə yazın: "qaz qanunu", "izoproses", "Boyl Mariott qanunu", "Gey-Lüssak qanunu", "Şarl qanunu", "Dalton qanunu", "Avogadro qanunu", "izotermik proses", "izoxorik proses", "izobarik proses".

## 6.7

# BUXARLARIN XASSƏLƏRİ: DOYAN VƏ DOYMAYAN BUXAR

Kənd yerində və şəhərlərdə tez-tez müşahidə etdiyimiz təbiət hadisələrindən biri dumandır.

- Fikrinizcə, “duman” anlayışı haqqında böyük şəhərlərin əhalisinin təsəvvürleri kənd yerlərin adamlarının təsəvvürlərindən nə ilə fərqlənir?
- Duman fizika “dilində” nə deməkdir: o nə vaxt və harada yaranır?
- Evdə duman müşahidə etmişinizmi? Cavabınızı əsaslandırın.

### Araşdırma - 1

#### Damcının ölçüsü nə üçün kiçilir?

Təchizat: əşya şüşəsi (2 ad.), spirt, su, bitki yağı, pipetka, spirt lampası (və ya şam), yelpik. İşin gedisi:

1. Əşya şüşəsinin üzərinə verilən hər mayedən (spirt, su və bitki yağı) eyni miqdarda damcılادın. Damcıların ölçülərinin necə dəyişməsi üzərində müşahidə aparın və nəticə çıxarın.
  2. İki əşya şüşəsinin hər birinin üzərinə pipetka ilə eyni miqdarda su damcılادın. Şüşələrdən birini altdan qızdırın, damcılar üzərində müşahidə aparın və nəticə çıxarın.
  3. İki əşya şüşəsinin hər birinin üzərinə eyni miqdarda spirt damcılادın. Şüşələrdən birini kanara qoyun, digərini isə yelpikləyin. Damcılar üzərində müşahidə aparın.
- Nəticənin müzakirəsi:
- Birinci təcrübədə üç müxtəlif damcı üzərində apardığınız müşahidələrdən hansı nəticəyə gəldiniz: hansı damcının ölçüsü daha sürətlə kiçildi? Nə üçün?
  - İkinci və üçüncü təcrübədə nəyi araşdırınız və hansı nəticəyə gəldiniz?

**Buxarlanması.** Mayedə (və ya bərk cisimlərdə) ixtiyari temperaturda müəyyən miqdar molekullar (atomlar) mövcuddur ki, onların kinetik enerjisi qonşu molekul-larla qarşılıqlı təsir potensial enerjisindən böyükdür. Belə molekullar cismiñ səthini yaxın hissədədirse, onlar səthi asanlıqla tərk edərək onun üzərində buxar emələ gətirir. *Buxarəmələgəlmə* iki üsulla baş verir: *buxarlanması və qaynama*.

- *Buxarəmələgəlmə – maddənin maye halından qaz halına keçmə prosesidir.*
- *Buxarlanması – mayenin səthində baş verən buxarəmələgəlmə hadisəsidir.*
- *Qaynama – mayenin bütün həcmində baş verən buxarlanması 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 buxarlanması prosesi mayenin soyuması ilə müşayiət olunur (əgər mayeyə kənardan istilik verilmirsə).

Buxarlanmasıın sürəti asılıdır. *mayenin növündən, mayenin temperaturundan, mayenin sərbəst səthinin sahəsindən, maye səthini əhatə edən hava cərəyanının sürətindən, mayenin səthinə göstərilən təzyiqdən (təzyiq artlığda buxarlanmasıın sürəti azalır), mayenin xüsusi buxarlanması istiliyindən*.

- Xüsusi buxarlanma istiliyi – ədədi qiymətcə sabit temperaturda kütləsi  $1\text{kg}$  olan mayenin tamamilə buxara çevirmək üçün lazımlı istilik miqdarına bərabərdir.

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

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

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

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

- Buxarlanma istiliyi – sabit temperaturda  $m$  kütləli mayenin buxara çevirmək üçün lazımlı istilik miqdarıdır:

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

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

- Kondensasiya – buxarin 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 bilir.

- 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.

Qabin ağızı 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.

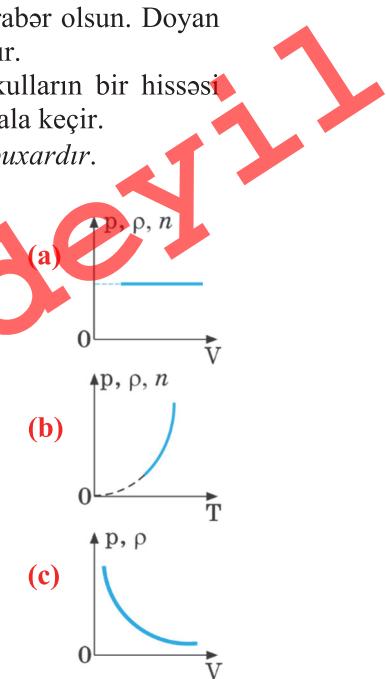
#### Doyan buxarın xassələri:

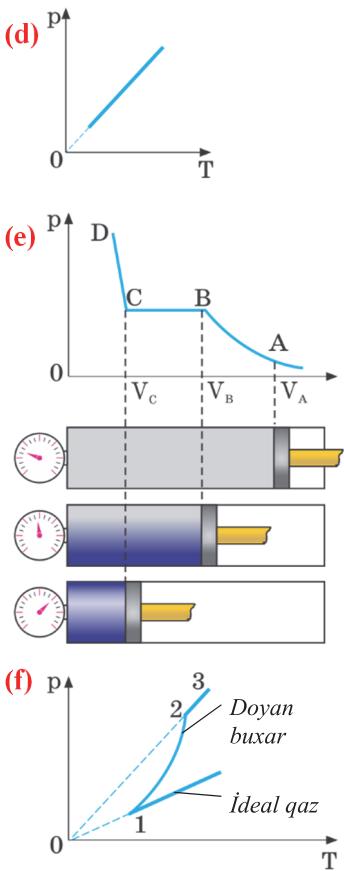
– sabit temperaturda doyan buxarın təzyiqi, sıxlığı və konsentrasiyası həcmindən asılı deyil – doyan buxar Boyl-Mariott qanununa tabe deyil (a);

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

#### Doymayan buxarın xassələri:

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





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

**Doyan və doymayan buxarların biri digərinə çevrilə bilir.**

- Doyan buxar izotermik genişləndikdə o, doymayan buxara çevrilir.

- Doymayan buxar izotermik sıxıldıqda o, doyan buxara çevrilir.

Bu belə baş verir: fərəz edək ki, manometrə qoşulan porşenli silindr də  $T$  temperaturlu doymayan buxar var və o,  $V_A$  həcmini tutur (e). Porşeni izotermik sıxıldıqda buxarın həcmi kiçildikcə onun təzyiqi (sılıqlı və molekullarının konsentrasiyası) artır (qrafikin AB hissəsi).

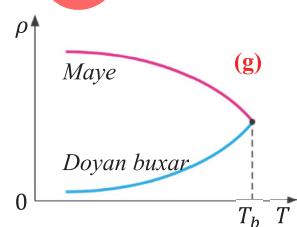
Həcmi  $V_B$  qiymətində buxar kondensasiya etməyə başlayır, silindr də maye damcıları yaranır və buxar doyan hala gəlir. Buxarın təzyiqi, sılıqlı və molekullarının konsentrasiyası verilən temperatur üçün maksimal qiymət alır. Həmin hissədə buxarın təzyiqi sabit qalır (qrafikin BC hissəsi), çünki həcmi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

• Doyan buxar izoxor qızdırıldığda 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.** Izotermik sıxılmada doyan buxarın mayeyə çevriləməsi yalnız böhran temperaturundan aşağı temperaturlarda mümkündür.

• Böhran temperaturu – maye ilə onun doyan buxarı arasında fiziki fərqi yox olduğu temperaturdur. Böhran temperaturunda doyan buxarın sılıqlı mayenin sılığına bərabər olur (g).

Böhran temperaturundan yuxarı temperaturlarda maddə yalnız bir aqreqat 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.



## 2 Tətbiqetmə. Buxarın kütlələrini müqayisə edin.

**Məsələ.** Sabit həcmində su buxarının təzyiqinin temperaturdan asılılıq qrafikində 1, 2 və 3 nöqtələrində buxarın kütlələrini müqayisə edin (bax: f).

### Nəticənin müzakirəsi:

- Sabit həcmində su buxarının təzyiqinin temperaturdan asılılıq qrafikinin 1-2 və 2-3 hissələrində buxarın kütləsi necə dəyişir? Nə üçün?

### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Təzəcə qaynayan samovarın qapağındakı kiçik dəlikdən çıxan buxar şırnağını təsəvvür edin.

- Buxar şırnağı yalnız çıxdığı dəlikdən müəyyən məsafədə görünməyə başlayır. Nə üçün?

### Özünüüz qiymətləndirin:

- Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
- Mayenin qaz halına və əksinə çevrilməsini hansı proses xarakterizə edir?
- Yelpiyin “vəzifəsi” nədir?
- Hansı buxar doyandır? Nə üçün?
- Doyan buxar xassəcə doymayan buxardan nə ilə fərqlənir?
- Doymayan buxarı doyan buxara hansı üsullarla çəvirmək olar?
- Doyan buxarı doymayan buxara hansı üsullarla çəvirmək olar?

### NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “buxarəmələgəlmə”, “buxarlanma”, “doyan buxar”, “doymayan buxar”, “xüsusi buxarlanma istiliyi”, “buxarlanma istiliyi”, “kondensasiya”, “böhran temperaturu”.

## 6.8 HAVANIN RÜTUBƏTLİLİYİ. ŞEH NÖQTƏSİ

Bəzən hava quru, bəzən isə rütubətli olur.

- Havanın quru və rütubətli olması buxarın doyma dərəcasından necə asılıdır?
- Verilən temperatur və təzyiqdə hansı hava daha ağırdır: 1 kubmetr quru hava, yoxsa rütubətli? Nə üçün?
- Hansı havada bədənimizin soyuması sürətli, hansı havada isə ləng baş verir: quru, yoxsa rütubətli? Nə üçün?

### 1 Rütubətli havada təzyiq nə üçün düşür?

**Məsələ 1.** Quru havaya nisbətən rütubətli havanın tərkibində böyük miqdard su molekulları var. Lakin yağışdan əvvəl havanın rütubətlilik dərəcesi artdığı halda Barometr-aneroidin göstəricisi aşağı düşür – atmosfer təzyiqi azalır. Nə üçün?

### Nəticənin müzakirəsi:

- Havanın təzyiqinin aşağı düşməsi onun sıxlığına necə təsir edir?
- Nə üçün havada rütubətlilik artıqda atmosfer təzyiqi aşağı düşür?



*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:

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

Burada  $M = 18 \frac{q}{mal}$  – suyun molyar kütləsi,  $T$  – havanın temperaturu,  $p_p$  – buxarın parsial təzyiqi,  $R$  – universal qaz sabiti,  $\rho_b$  – 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 nisbətinə bərabər olan fiziki kəmiyyətdir.* Nisbi rütubət faizlərlə ifadə olunur:

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

Burada  $\rho_0$  – havadakı doyan su buxarının sıxlığı,  $\varphi$  – 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 nisbətinə bərabər olan fiziki kəmiyyətdir:*

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

Beləliklə, nisbi rütubət nəinki mütləq rütubətlə, həm də havanın temperaturu ilə təyin edilir. Havanın nisbi rütubəti psixrometr və hiqrometr lə ölçülür (bax: *Fizika-8*, s. 83-86).

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 böyükdürə, bu halda deyilir ki, havadakı su buxarı *ifrat doyan* halındadır. Belə hal qeyri tarazlıq hali 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 dumdan və buludun yaranmasına yağışın yağışası səbəb olur.

2

**Tətbiqetmə****Havadakı su buxarının parsial təzyiqi nə qədərdir?**

**Məsələ 2.** Bakıda havanın  $16^{\circ}\text{C}$  temperaturunda nisbi rütubəti  $80\%$ -dir. Havadakı su buxarının parsial təzyiqini hesablayın (doyan su buxarının  $16^{\circ}\text{C}$  temperaturunda təzyiqi  $0,8\text{kPa}$  -dır).

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Verilən temperaturda havanın nisbi rütubəti ilə parsial təzyiqi arasında hansı əlaqə var?
- Məsələnin şərtinə əsasən havadakı su buxarının parsial təzyiqi nəyə bərabərdir?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

- Havanın rütubətliliyi Yerdə həyat üçün nə kimi rol oynayır?
- Hansı hava daha çox rütubətli olur: isti, yoxsa soyuq? Nə üçün?

**Özünüüz qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. “Hava rütubətlidir!” nə deməkdir?
3. “Mütləq rütubət” və “nisbi rütubət” anlayışları fiziki mənaca bir-birindən nə ilə fərqlənir?
4. Şəh nöqtəsi nədir?
5. Temperatur yüksəldikcə sinif otağında rütubət necə dəyişir?
6. Temperatur artıraqa havanın mütləq və nisbi rütubəti necə dəyişir?
7. Psixrometr vasitəsilə havanın nisbi rütubəti necə təyin edilir (bax: *Fizika-8*, s.85-86)?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan anlayış və müddəaların tərif və düsturlarını iş vərəqinə yazın: “rütubətli hava”, “mütləq rütubət”, “nisbi rütubət (sixliga görə)”, “nisbi rütubət (təzyiqə görə)” “ifrat doyan buxar”, “şəh nöqtəsi”.

## 6.9

# MAYELƏRİN SƏTHİ GƏRİLƏMƏSİ, KAPİLYAR HADİSƏLƏR

Yəqin ki, uşaqlıqda nəm qumdan dəfələrlə "qəsrər" qurmuş, onların "açarlarıni" düzəltmisiniz.

- Nə üçün belə "tikinti" işlərini quru qumdan deyil, nəm qumdan hazırlamaq mümkündür?



Rəsm dəslərində fırçaları suda saxladıqda onların qurulan "tükəri"nin necə açıldığını defələrlə müşahidə etmisiniz.

- Nə üçün fırçanın yapışmış tükəri suda açılır, lakin onu sudan çıxardıqda həmin tükər dərhal yenidən yapışır?
- Bu hadisələrin başvermə səbəbi üzərində heç düşünmüşünüz mü?



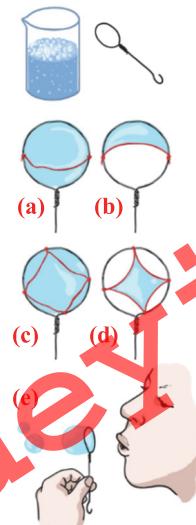
## Araşdırma

### 1 Sabunlu su məhlulu ilə eksperiment

**Təchizat:** məftildən hazırlanmış tutqaclı halqa, qovrulmuş şəkər tozu (5–10 q), sabun yonqarı (5–10 q), su (0,5 l), sınaq qabları (3 ədəd 250 ml-lik), sap, su qızdırıcısı, iynə, kibrit.

#### İşin gedisi:

1. Sabunlu su məhlulu hazırlayın: bunun üçün qovrulmuş şəkər tozu 100 ml suda həll edilir. Sabun yonqarı başqa qabda 100 ml isti suda əridilir. Hər iki məhlul bir qabda qarışdırılır – sabunlu su məhlulu hazırlanır!
2. Halqaya diametri boyunca çox da tarım olmayan sap bağlayın və onu sabunlu su məhluluna batırıb yavaşça çıxarin. Baş verən hadisəni müşahidə edin (a).
3. İynənin bir ucunu qızdırın və qızdırılan hissə ilə halqadakı sapın bir tərəfindəki sabun pərdəsini deşin. Baş verən hadisəni müşahidə edin (b).
4. Halqaya kvadrat formasında dörd sap parçası bağlayıb sabunlu su məhluluna batırıb yavaşça çıxarin. Baş verən hadisəni müşahidə edin (c).
5. Qızdırılan iynə ilə halqadakı kvadrat sapın kənar hissələrindəki sabun pərdələrini deşin və baş verən mənzərəni müşahidə edin (d).
6. Boş halqanı sabunlu su məhluluna batırıb yavaşça çıxarin və halqadakı sabun pərdəsini ehmalca üfürərək onu halqadan qoparmaga çalışın. Təcrübəni bir-neçə dəfə təkrarlayın və halqadan qopan sabun pərdəsinin havada hansı forma aldığıni müşahidə edin (e).



#### Nəticənin müzakirəsi:

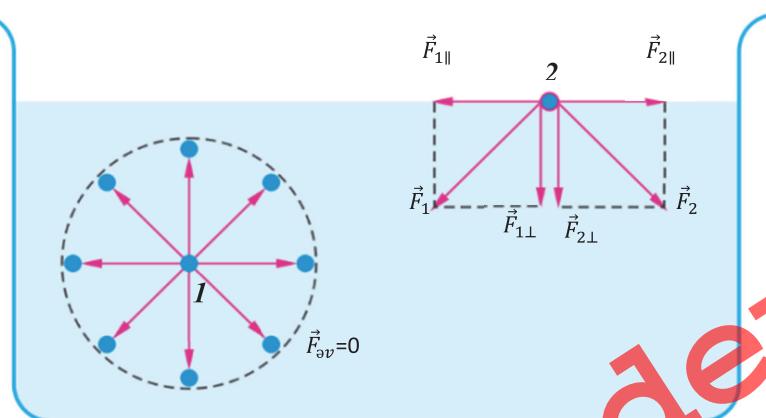
- Təcrübələr prosesində sabunlu su məhlulunun sapla təchiz olunmuş halqada əmələ gətirdiyi sabun pərdəsinin forma dəyişikliklərində qeyri-adi nə müşahidə etdiniz?
- Sabun pərdəsinin halqada əmələ gətirdiyi sahənin kiçilmə səbəbini MKN baxımından necə izah etmək olar?
- Nə üçün halqadan qopan sabun pərdəsi dərhal sferik forma alır?

**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 arasındaki cazibə xarakterli qarşılıqlı təsirlər bir-birini tarazlaşdırır (**f; 1 molekulu**);

b) maye səthindəki molekulların isə qarşılıqlı təsir sferasının bir hissəsi maye daxilindəki molekulları əhatə edirsə, digər hissəsi maye səthindəki qaz molekullarının (maye buxarı və ya hava molekullarının) “payına” düşür (bax: **f; 2 molekulu**). Lakin qaz molekullarının 2 molekulunu cəzbetmə qüvvəsi maye molekulları arasındakı cazibə xarakterli qüvvədən çox kiçik olduğundan nəzərə alınmır. Nəticədə 2 molekulunun maye daxilindəki qonşu molekullar tərəfindən cazibə xarakterli əvəzləyici  $\vec{F}_1$  və  $\vec{F}_2$  qüvvəsinin hər biri iki toplanan qüvvəyə ayrırlar: 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 molekullarını daxilə doğru çəkir və mayenin açıq səthi altında mayedaxili təzyiq yaradır. Səthə paralel olan toplanan qüvvələrin təsiri ilə isə mayenin səthi boyunca yönələn, səthi hüdüllandıran xəttə perpendikulyar olan və səthi gərilmis vəziyyətdə saxlayan qüvvə – *səthi gərilmə qüvvəsi*  $\vec{F}_{s,g}$ , yaranır:

(f)



- *Səthi gərilmə qüvvəsi* – mayenin səthinin hüdüllandıran xəttə perpendikulyar olub səth boyunca yönələn və mayenin səthinin sahəsinin kiçiltilməyə çalışan qüvvədir. Səthi gərilmə qüvvəsi maye ilə bərk cismin toxunma sərhədinin uzunluğu ilə düz mütənasibdir:

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

Burada  $F_{s,g}$  – mayenin səthi gərilmə qüvvəsi,  $l$  – mayenin sərbəst səthinin bərk cismə toxunma sərhədinin uzunluğu,  $\sigma$  (siqma) – *səthi gərilmə əmsalı*dir:

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

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

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

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

- Menisk – mayenin bərk cismin (və ya digər mayenin) səthini 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)]-nın qiyməti iti və ya kor olur:

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

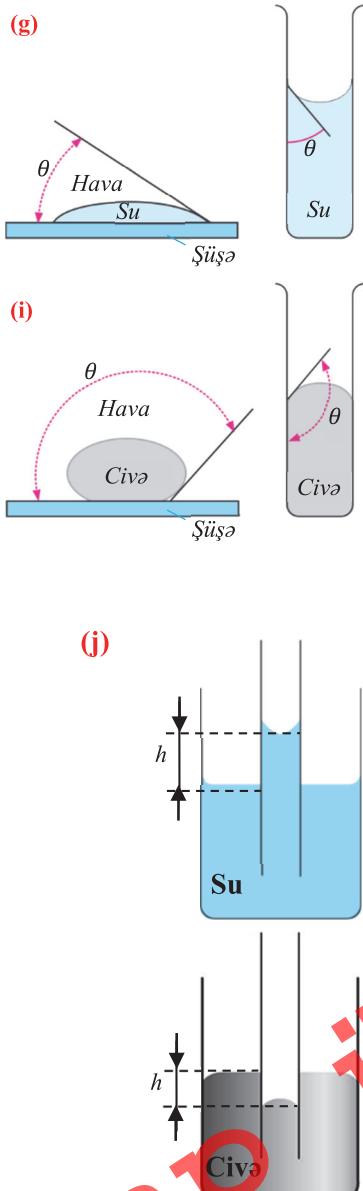
- *İslatmayan maye* – kənar bucağı korbucaq olan mayedir. İslatmayan maye ilə bərk cismin molekulları arasındaki cazibə xarakterli qüvvələr mayenin öz molekulları arasındaki cazibə qüvvələrindən kiçik olur. Nəticədə qabdakı mayenin sərbəst səthi qabarlıq olur, məsələn, şüşə qabdakı civə islatmayan mayedir (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 (borudır).

Verilən mayeyə batırılan kapilyara daxil olan həmin mayenin səviyyəsi onun xassəsindən (isladan və ya islatmayan) asılı olaraq ya boru boyunca qalxır, yaxud enir:

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



Cədvəl 6.4

Kapilyarda qalxan mayenin xarakteristikası	Düsturu
Kapilyarda mayeni qaldıran qüvvə ədədi qiymətcə 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	$h = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{\rho gr} = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho gd}.$ (6.39) Maye tam isləndirdi, $\theta = 0^\circ \rightarrow \cos\theta = \cos 0^\circ = 1$ olur: $h = \frac{2\sigma}{\rho gr} = \frac{4\sigma}{\rho gd}.$ (6.40) Burada $\rho$ — kapilyarda qalxan mayenin sıxlığıdır. <i>Kapilyarda mayenin qalxma hündürlüyü mayenin növündən asılı olub, kapilyarın daxili radiusu ilə tərs mütonasibdir.</i>
Kapilyarda qalxan mayenin təzyiqi	$p = \rho gh = \rho g \cdot \frac{2\sigma}{\rho gr} = \frac{2\sigma}{r} = \frac{4\sigma}{d}.$ (6.41)

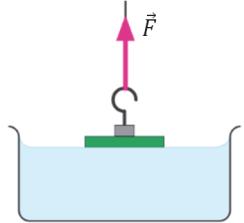
2

Araşdırma

**Tətbiqetmə. Səthi gərilmə əmsali nəyə bərabərdir?**

**Məsələ.** Diametri 5 sm olan halqanı mayenin səthindən qoparmaq üçün 0,016 N qüvvə tətbiq edilirsə, bu mayenin səthi gərilmə əmsali nəyə bərabərdir?

**Nöticənin müzakirəsi:**

- Mayenin səthi gərilmə əmsali hansı düsturla təyin olunur və o nədən asıldır?
- 
- Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**  
Metal məmulatların (gəmilərin gövdəsi, çən, boru və s.) istismar müddətinin artırılması üçün – mayelərin kimyəvi korroziyasından qorumaq məqsədilə onların səthi yağlı boyaq təbəqəsi ilə örtülür.  
• “Yağlı boyaq təbəqəsi metal mayelərin kimyəvi korroziyasından qoruyur” nə deməkdir?  
Bunun mayelərin səthinin xassəsi ilə nə əlaqəsi ola bilər?

**Özünüyü qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. “Mayenin sərbəst səthi xüsusi xassəyə malikdir” nə deməkdir?
3. Mayenin səthi gərilməsi nə deməkdir? Onun fiziki mahiyyəti nədən ibarətdir?
4. Maye və bərk cisimlərin molekullararası qarşılıqlı təsirləri hansı hadisələr yaradır?
5. Mayenin islədan və ya islatmayan olduğunu necə müəyyən etmək olar?
6. Kapilyar hadisələrin fiziki mahiyyəti nədən ibarətdir?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan anlayış və müddəələrin təriflərini və düsturlarını iş vərəqinə yazın: “səthi gərilmə qüvvəsi”, “səthi gərilmə əmsali”, “menisk”, “islədan maye”, “islatmayan maye”, “kapilyalar”, “kapilyar hadisələr”.

## 6.10 BƏRK CISİMLƏR VƏ ONLARIN BƏZİ XASSƏLƏRİ

Məsəl var, deyərlər: "Şaxta cirildayır". Bu da ondan irəli gəlir ki, şaxtalı havada meşədəki irigövdəli ağaclar və kötükər, habelə köhnə evlərin taxta divarları cirildayır – sanki parçalanır. Yəqin ki, kənd yerlərində yaşayışın sağırdılar belə hadisələri dəfələrlə müşahidə etmişlər.



- Niyə "şaxta cirildayır" – meşədəki irigövdəli ağaclar və kötükər, evlərin taxta divarları cirildayır – sanki parçalanır?

Bilirsiniz ki, buz suyun bərk halıdır.

- Niyə buz suda batmır?



### Araşdırma

#### 1 Bərk cisimləri fərqləndirə bilərsinizmi?

Məsələ. Biz bərk cisim olan Yer kürəsinin səthində, bərk cisimlərdən tikilmiş evlərdə yaşayır, sinifdə bərk cisimlərdən hazırlanmış partalarda otururuq. Karandaş, şəkər tozu, qənd, sorma şəkər, duz, şüşə, qatran, bəzək daşları, kauçuk, qar dənəcikləri, plastmas məmulatlar da bərk cisimdir. Baxmayaraq ki bədənimizin 70% sudur, o da bərk cisimdir.



#### Nəticənin müzakirəsi:

- Bu cisimləri hansı xüsusiyyətinə görə fərqləndirmək olar?
- Bütün bərk cisimlər üçün ümumi xassə nədən ibarətdir?

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 cisimlər*ə bərk halda olan metallar, müxtəlif minerallar, məsələn, xörək duzu, kvars, dağ büllürü aiddir. *Amorf cisimlər*ə isə opal, obsidian, ebonit, şüşə, plastmaslar, qatran, kanifol, kəhrəba və s. aiddir. Kristal və amorf cisimlər arasında fərqli 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 düyüün nöqtələri* adlanır.

Ideal kristal cisim ixtiyari uzaqlıqda olan atom üçün kristal özəklərin fəzada periodik təkrarlanma çoxluğundan ibarətdir. Bu səbəbdən deyilir ki, kristal cisimlərdə onun zərrəciklərinin yerləşməsinin *uzaq düzülüşü* müşahidə olunur.

Kristal cisimlər *monokristal* ("mono" – vahid) və *polikristal* ("poli" – çoxlu) formasında olur.

- *Monokristallar* – vahid kristal mərkəzin böyüməsi nəticəsində yaranan kristallardır.

Zərrəciklərinin nizamlı düzülüşü nəticəsində monokristallar təbii müstəvi səthlərlə hüdudlaşmış simmetrikdir. Həndəsi formaya malik olur (**a**).

Monokristalların əsas xüsusiyyəti onların *anizotrop* olmalarıdır:

<b>(a)</b>	<i>Monoklinal simmetriya</i>	<i>Gips</i>	<i>Kub simmetriyası</i>	<i>Qurğun filizi</i>
	<i>Heksoqonal simmetriya</i>	<i>Zümrüd</i>	<i>Tetragonal simmetriya</i>	<i>İdokraz</i>
	<i>Trigonal simmetriya</i>	<i>Kvars</i>	<i>Ortorombik simmetriya</i>	<i>Topaz</i>
	<i>Trikinal simmetriya</i>	<i>Aksinit</i>	<b>(b)</b>	

- *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:

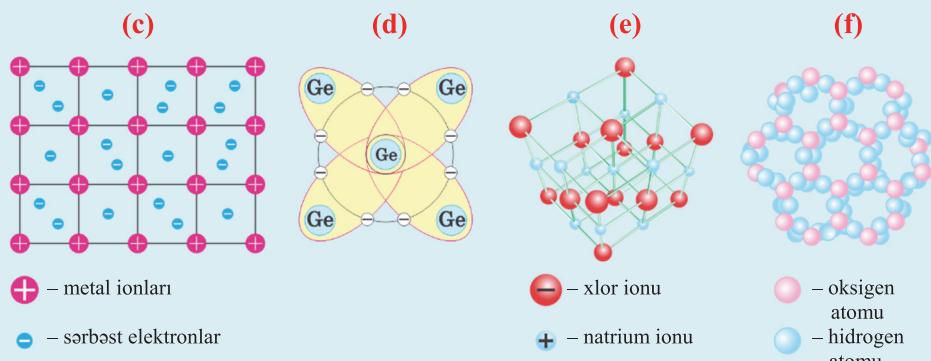
- *Polikristallar* – müxtəlif istiqamətlərə yönələn çoxlu sayıda kristal mərkəzlərin böyüməsi və birləşməsi nəticəsində yaranan kristallardır.

Bütün metallar, demək olar, polikristaldır. Məsələn, təzə sinmiş çuquna diqqətlə baxdıqda onun müxtəlif istiqamətlərə yönələn və düzgün formaya malik olmayan çoxlu sayıda kristal dənələrindən ibarət olduğu görünür (**b**). Polikristalların hər bir kristal dənəciyi ayrılıqda anizotropdur, lakin bu dənəciklər nizamsız düzüldüyündən polikristallar bütövlükdə *izotrop*dur:

- *İzotropluq* – fiziki xassələrin istiqamətdən asılı olmamasıdır. Məsələn, polikristalların istidən genişlənməsi, demək olar, bütün istiqamətlərdə eynidir.

**Kristal qəfəsin növləri.** Kristal qəfəsin düyünlərində yerləşən zərrəciklər arasındaki kim-yəvi 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 qışlaşması 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 yaratdıından hər bir atom dörd kovalent rabitədə iştirak edir. Beləliklə, atom özünə dörd elektron birləşdirməklə energetik davamlı səkkiz  $s^2 p^6$  təsirsiz qaz elektron konfiqurasiyası əldə edir. Kovalent rabitədə elektronların hərəkəti istiqamətlənmış 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. Əksiaralı ionlar arasında yaranan cəzibə xarakterli Kulon qüvvələri onları kristal qəfəsin düyünlərində saxlayır. Bu növ maddələrə qələvi metalların hidrojen birləşmələrini, məsələn, NaCl kristal qəfəsin 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 hidrojen, xlor, karbon dörd oksid bərk halda molekulyar qəfəs əmələ gətirirlər. Bu növ kristalların molekulları arasındaki rabitə çox zəif olduğundan onlar aşağı temperaturlarda qırılır – maddə əriyir. Bunu buz kristalinin modelində aydın görmək olur (f). Modeldən görünür ki, hər bir oksigen atomu dörd hidrojen atomu ilə əhatə olunmuşdur. Hidrojen atomları oksigen atomları arasında əlaqələndirici rol oynayır. Buzu qızdırıldıqda onun ərimə prosesində onun kristal qəfəsi sürətlə dağılır.

**Amorf cisimlər.** Amorf cisimlər zərrəciklərinin uzaq düzülüşünün olmadığı ilə xarakterizə edilir. Bu düzülüş yalnız qonşu zərrəciklərdə gözləniləndən 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 qızdırıldıqda tədricən yumşalır və mayeyə çevrilir.*

Maddələr amorf halından kristal hala və əksinə çevrilə bilər. Məsələn, şəkər kris-talını 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.*

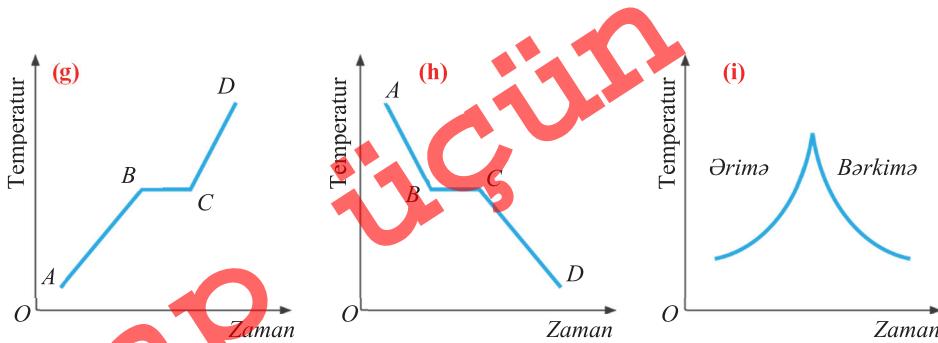
Kristal cisimlərin əriməsi müəyyən ərimə temperaturunda baş verir, məsələn, volframin ərimə temperaturu  $3410^{\circ}\text{C}$ , buzun  $0^{\circ}\text{C}$ , civənin  $-39^{\circ}\text{C}$ -dir.

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

Təcrübə göstərir ki, cismi ərimək 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).

- *Cismin ərimə temperaturunda bərk haldan maye halına keçməsi üçün lazımlı istilik miqdarına ərimə istiliyi deyilir.*



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

- Xüsusi ərimə istiliyi – ədədi qiymətcə kütləsi 1 kg olan kristal maddəni ərimə temperaturunda mayeyə çevirmək üçün sərf edilən istilik miqdarıdır.

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

$\lambda$  – verilən maddənin xüsusi ərimə istiliyidir. Onun BS-də vahidi  $[\lambda] = 1 \frac{\text{C}}{\text{kg}}$  – dir.

Enerjinin saxlanması qanununa müvafiq olaraq, ərimə zamanı cismin 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 çevriləmə prosesi baş verə bilir:

- Bərk cismin maye halına keçmədən qaz halına keçmə prosesi sublimasiya (bərk cismin buxarlanması), əksinə, maddənin qaz halından maye halına keçmədən bərk cismə çevriləmə prosesi isə desublimasiya adlanır.

## 2 Tətbiqetmə. Sublimasiya və desublimasiya

Təchizat: içərisində yod kristalları olan hermetik kolba, spirt lampası.

**İşin gedisi:**

1. Kolbanı spirt lampasında qızdırın və baş verən hadisəni müşahidə edin (j).
2. Lampanı söndürün, kolbanı soyudun və onun daxilində nə baş verdiyini izləyin.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- Kolbanı qızdırıldıqda və sonra soyutduqda nə müşahidə etdiniz?
- Siz hansı hadisəni müşahidə etdiniz?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Qişda ağac budaqlarında qirovların zaman keçdikcə azalması, domuş paltarın quruması hadisələrini, yəqin ki, müşahidə etmişiniz.

- Bu hadisələrdə hansı fiziki proseslər baş verir?

**Özünüzü qiymətləndirin:**

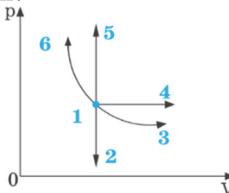
1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Kristal və amorf cisimləri Venn diaqramında müqayisə edin.
3. Zərrəciklərin uzaq və yaxın düzülüşü nə deməkdir?
4. Mono və polikristallar bir-birindən hansı xüsusiyyətinə görə fərqlənir?
5. Ərimə və bərkimə proseslərində ümumi olan nədir?
6. Xüsusi ərimə istiliyi nəyə deyilir?
7. Sublimasiya və desublimasiya hadisələrinə misallar göstərin.



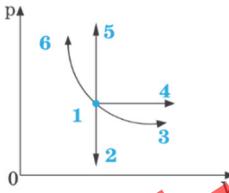
## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların tərif və düsturlarını iş vərəqinə yazın: "kristal cisim", "amorf cisim", "monokristal", "polikristal", "izotropluq", "anizatrop luq", "ərimə", "bərkimə", "ərimə temperaturu", "xüsusi ərimə istiliyi", "sublimasiya", "desublimasiya".

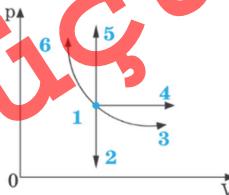
- 6.1.** Hava şarı 4 q hidrogen qazı ilə doldurulmuşdur. Şardakı hidrogen molekullarının sayını təyin edin.
- 6.2.** Kütlesi 220 q olan “quru buzda” ( $CO_2$ ) nə qədər maddə miqdarı vardır?
- 6.3.** Hidrogen və oksigenin molyar kütfləri, uyğun olaraq  $M_{H_2} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$  və  $M_{O_2} = 3,2 \cdot \frac{10^{-2} \text{ kg}}{\text{mol}}$  -dur. Hidrogen və oksigen molekulunun kütlsini təyin edin.
- 6.4.** Mis sulfatın ( $CuSO_4$ ) molyar kütlsini və bir molekulunun kütlsini təyin edin.
- 6.5.** Oksigen qazının  $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  təzyiqində molekullarının konsentrasiyasını təyin edin. Molekulların orta kvadratik sürəti  $v_{or,kv} = 700 \frac{\text{m}}{\text{san}}$  -dir.
- 6.6.** Oksigen molekullarının normal şəraitdə irəliləmə hərəkətlərinin orta kinetik enerjisini təyin edin. Oksigen molekullarının həmin şəraitdə konsentrasiyası  $2,7 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ .
- 6.7.** Qaza sistem kimi baxılır. O, birinci halda istilik keçirməyən qapalı qabda, ikinci halda isə - qapalı metal qabdadir. Bu sistemlər qapalı və izolədilmiş hesab oluna bilərmi?
- 6.8.** Müxtəlif metaldan hazırlanan iki eyniölkülü çay qaşığı soyuducuda istilik tarazlığındadır. Qaşıqları soyuducudan çıxardıqda onların otaqda dərhal istilik tarazlığına gəldiyini iddia etmək olarmı? Otaqda bu cisimlər arasında istilik tarazlığı yaranı bilərmi?
- 6.9.** Su-buz sisteminə baxılır: temperaturu  $15^\circ\text{C}$  olan suya buz parçası atılır. Buzun əriməsi zamanı suya batırılan termometr  $10^\circ\text{C}$  göstərir. “Sistemin temperaturu  $10^\circ\text{C}$ -dir” müd-dəasını təsdiq etmək olarmı?
- 6.10.** Yerin səthindən 100 km dərinlikdə maddənin temperaturu  $1200 \text{ K}$ -dir. Bu temperatur Selsi şkalasına görə nəyə bərabərdir?
- 6.11.** Su buxarının böhran temperaturu  $647 \text{ K}$ -dir. Hansı temperaturda su yalnız qaz halında olur?
- 6.12.** Oksigen  $150 \text{ K}$  və  $190 \text{ K}$  temperaturlarında hansı aqreqat hallarında olur? Oksigenin böhran temperaturu  $154 \text{ K}$ -dir.



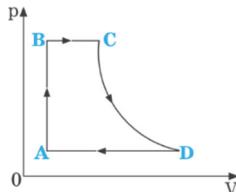
- 6.13.** Diaqramın hansı hissələri verilmiş kütłeli ideal qazın izotermik sıxılmasına və izotermik genişlənməsinə uyğundur?



- 6.14.** Diaqramın hansı hissələri verilmiş kütłeli ideal qazın izoxorik soyumasına və izoxorik qızmasına uyğundur?



- 6.15.** Diaqramın hansı hissəsi verilmiş kütləli ideal qazın temperaturunun azalması halına uyğundur (CD izotermdir)?



- 6.16.** Qabda  $10^5 Pa$  təzyiqi və  $300K$  temperaturunda  $8q$  oksigen qazı var. Qazın həcmini hesablayın ( $M = 32 \cdot 10^{-3} \frac{kq}{mol}$ ,  $R = 8 \frac{c}{mol \cdot K}$ ).
- 6.17.** Sabit təzyiqdə qazın mütləq temperaturu  $6$  dəfə artıqda onun həcmi  $18 \cdot 10^{-3} m^3$  olmuşdur. Qazın əvvəlki həcmini hesablayın.
- 6.18.** Verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqi  $2,8$  dəfə artmış, həcmi isə  $4$  dəfə azalmışdır. Qazın mütləq temperaturu necə dəyişmişdir?
- 6.19.** Temperaturu  $17^\circ C$ , təzyiqi  $4 \cdot 10^5 Pa$  olan havanın sıxlığını təyin edin ( $M_{hava} = 29 \cdot 10^{-3} \frac{kq}{mol}$ ,  $R = 8 \frac{c}{mol \cdot K}$ ).
- 6.20.** Temperaturu  $27^\circ C$  olan havada su buxarının konsentrasiyası  $2 \cdot 10^{23} m^{-3}$ -dür. Su buxarının bu temperaturda təzyiqi nə qədərdir ( $k = 1,4 \cdot 10^{-23} \frac{c}{K}$ )?
- 6.21.** Temperaturu  $15^\circ C$  olan havada su buxarının sıxlığı  $9,1 \frac{q}{m^3}$ , havanın nisbi rütubəti isə  $70\%$ -dir. Həmin temperaturda doyan su buxarının sıxlığı nə qədərdir?
- 6.22.** Sabit temperaturda  $200q$  spirt buxarı kondensasiya edərkən nə qədər istilik miqdarı ayırlar ( $L = 9 \cdot 10^5 \frac{c}{kq}$ )?
- 6.23.** Civə hansı radiuslu kapılıyar boruda  $30$  sm düşər ( $\sigma = 510 \frac{mN}{m}$ ,  $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \frac{kq}{m^3}$ ,  $g = 10 \frac{m}{san^2}$ )?
- 6.24.** Radiusu  $0,25$  mm olan kapılıyar boruda qalxan suyun həcmini təyin edin ( $\sigma = 72 \frac{mN}{m}$ ,  $\rho = 10^3 \frac{kq}{m^3}$ ,  $g = 10 \frac{m}{san^2}$ ,  $\pi = 3$ ).
- 6.25.** Su damcısı diametri  $2$  mm olan şaquli borudan düşür. Su damcısının kütləsini təyin edin ( $\sigma_{su} = 73 \frac{mN}{m}$ ).
- 6.26.** Pipetka ilə damcılanan  $76$  damcı mineral yağıñ kütləsi  $910$  mq oldu. Pipetkanın daxili divarının radiusu  $1,2$  mm-dir. Yağıñ səthi gərilmə əmsalını təyin edin.
- 6.27.** Monokristalların anizotropiyası nə ilə müəyyən edilir?
- 6.28.** Monokristalları hansı xarici əlamətlərinə görə fərqləndirmək olar?

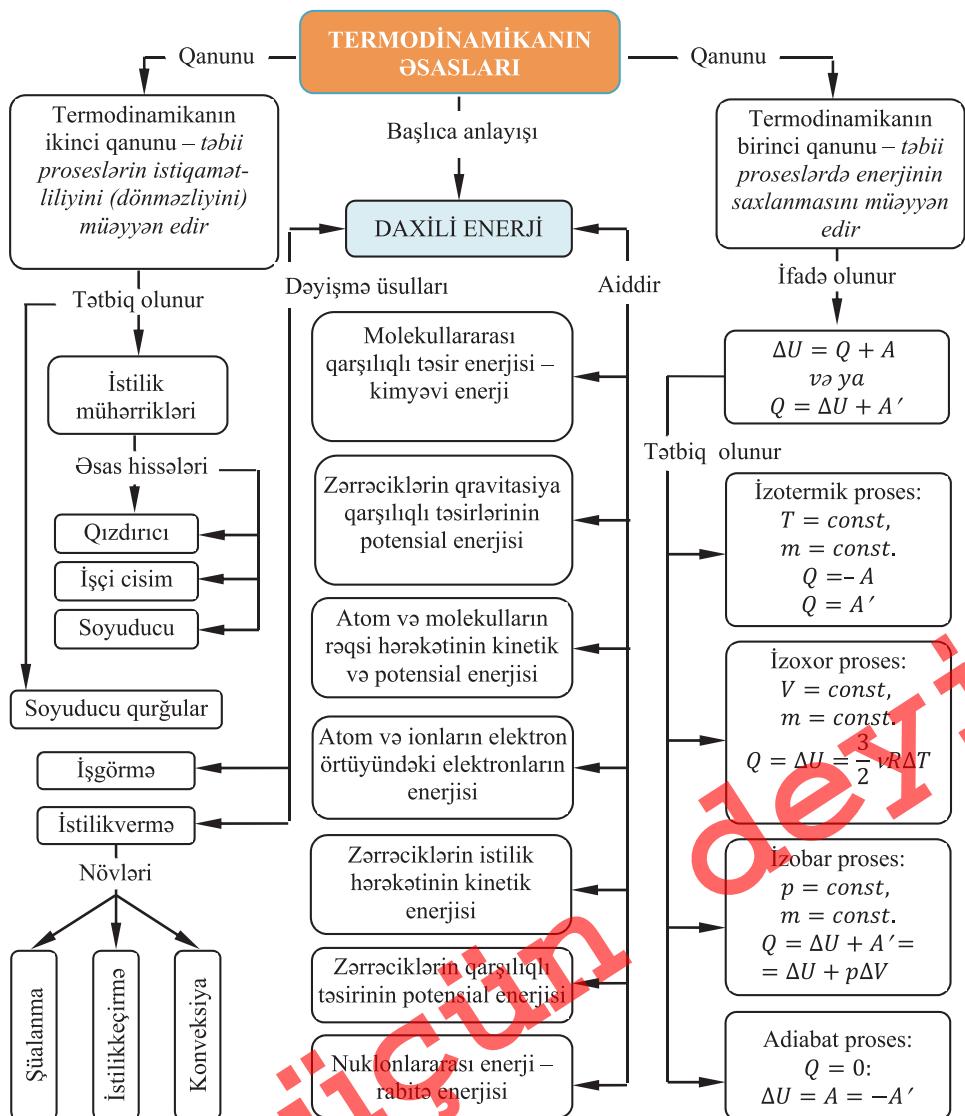
# TERMODİNAMİKANIN ƏSASLARI

Siz bu fəslin materiallarını mənimsəməklə  
**BACARACAQSINIZ:**

- “termodinamik sistem” anlayışını digər fiziki sistemlərdən fərqləndirici xüsusiyyətləri;
- daxili enerjinin termodinamik sistemin hal funksiyası olduğunu şərh etməyi;
- sistemin daxili enerjisinin dəyişmə üsullarını təcrübədə nümayiş etməyi;
- termodinamikanın birinci qanununu şərh edib ondan çıxan nəticələri izah etməyi;
- istilik proseslərinin dönməzliyini izah etməyi, termodinamikanın ikinci qanununun fiziki mahiyyətini şərh etməyi;
- istilik mühərrikləri və soyuducu qurğuların iş prinsipini izah etməyi;
- istilik fizikasının yaradılması və inkişafında xidmətləri olan alımların gördüyü işləri şərh etməyi;
- termodinamik prosesləri xarakterizə edən fiziki kəmiyyətlər arasında əlaqələri müəyyən etməyi;
- istilik hadisələrinin tətbiqlərinə aid müxtəlif xarakterli məsələlər qurmağı və həll etməyi.

Çap  
Üçüncü deyil

## Fəsilin “Anlayışlar xəritəsi”



## 7.1 TERMODİNAMİK SİSTEM. DAXİLİ ENERJİ

Məlum biliklərinizə əsaslanaraq (bax: Fizika 8, s. 20-26) verilən açar sözlərdən istifadə etməklə cümlələri tamamlayın (açar sözlərdən bir neçə dəfə istifadə etmək olar; cümlələrin sonunu uyğun şəkilçilərlə tamamlayıñ).

... yüksəldikdə cismin ... artır, çünki onu təşkil edən ... və ... orta ... artır. Bu, o deməkdir ki, həmin cismin molekullarının ... ... ... də artır. Cismin ... azaldıqda isə, əksinə, onun ... ... azalır. Cismin üzrərində ... ... ... gördükdə və ya onu ... cismin ... ... dəyişir – artır.

Açar sözlər:

- sürət
- mexaniki iş
- temperatur
- şüalanma
- daxili enerji
- atom və molekul
- orta kinetik enerji

- Cismin daxili enerjisi dedikdə nə nəzərdə tutulur?
- Cismin daxili enerjisini hansı üsullarla dəyişmək olar?
- Cisim üzərində, məsələn, qaz üzərində xarici qüvvələr mexaniki iş gördükdə – qazı sıxdıqda və ya qaz genişləndikdə onun daxili enerjisi necə dəyişər?

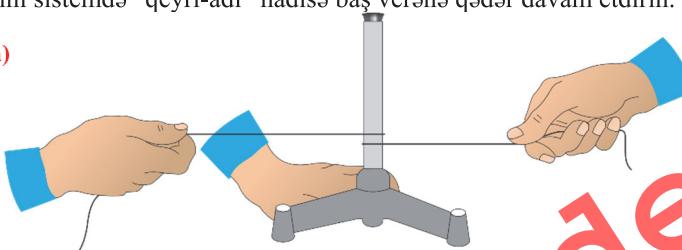
### 1 Sistemin daxili enerjisi nöyin hesabına dəyişdi?

**Təchizat:** bir tərəfi lehimlənmış nazikdivarlı bürunc boru və tixac, efir spirti, qaytan, universal şativin dayağı.

**İşin gedisi:**

1. Borunu dayaşa bərkidib içərisinə  $3 - 4 \text{ sm}^3$  spirt töküñ. 1-2 dəqiqə gözlədikdən sonra borunun ağızını tixacla kip qapayın.
2. Qaytanı borunun ətrafına bir dəfə dolayın və onun uclarından tutaraq gah bir, gah da digər tərəfə dartmaqla borunun səthində sürüşdürüñ (a). Qaytanın sürüş-dürülməsini sistemdə “qeyri-adi” hadisə baş verənə qədər davam etdirin.

(a)



**Nəticənin müzakirəsi:**

- Qaytanı borunun səthində fasılısız sürüşdürdükdə sistemdə hansı “qeyri-adi” hadisə müşahidə etdiniz? Onun başvermə səbəbini necə izah etmək olar?
- Bu hadisənin sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi ilə nə kimi əlaqəsi var?

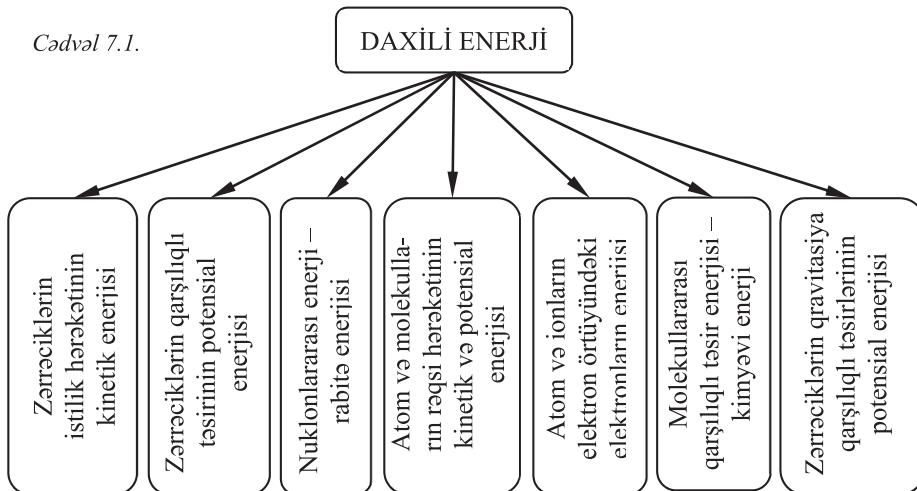
**Termodinamik sistem.** Fizikanın istilik hadisələrini makroskopik nöqteyi-nəzərindən öyrənən bölməsi *termodinamika* adlanır. Termodinamikanın əsasında böyük miqdardı faktlara söykənən termodinamik qanunlar durur. Bu qanunlar “necə?” sualını izah edir, məsələn, cismə (bərk cisim, maye və ya qaza) istilik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

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

**Daxili enerji.** Termodinamik sistemin verilmiş andakı həl və ya həmin ana uyğun sistemin makroskopik parametrləri ilə təyin olunan kəmiyyətlər onun *hal funksiyası* adlanır. Belə kəmiyyətlərdən ən başlıcası *daxili enerjidi*dir.

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

Cədvəl 7.1.



Termodinamik sistemin daxili enerjisi onun halını müəyyən edən temperatur və həcmi 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 cəmində bərabərdir:  $U = N \cdot \bar{E}_k + E_p$  ( $N$  – zərrəciklərin sayıdır). Lakin verilmiş kütləli ideal qazın daxili enerjisi yalnız onun zərrəciklərinin xaotik hərəkətinin orta kinetik enerjisiniñ 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 enerjisiniñ yalnız temperaturdan asılı olduğu görünür:

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

• Ideal qazın daxili enerjisi onun kütləsindən, növündən (molyar kütlədən) və temperaturundan aslidir. Sabit temperaturda qazın təzyiq və həcmi dəyişsə də, onun daxili enerjisi dəyişmir.

Bu, Coul qanunudur.

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

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

**Daxili enerjinin dəyişmə üsulları.** Termodinamik sistemin daxili enerjisini dəyişmək üçün ya sistemin molekullarının istilik hərəkətinin orta kinetik enerjisini, ya onların qarşılıqlı təsir potesial 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:*

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

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:

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

Burada  $\lambda$  – xüsusi ərimə istiliyiidir.

Buxarlanması 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 buxarlanması istiliyiidir.

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

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

Burada  $U_1$  və  $U_2$  – uyğun olaraq biratomlu qazın başlangıç və son hallarındaki daxili enerjisidir.

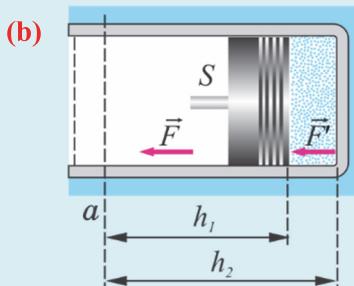
**Diqqət!** *Termodinamik sistemdə daxili enerjinin dəyişməsi prosesin formasından deyil, onun başlangıç və son halından asılıdır.*

**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 miqdardır ölçüsüdür.*

**Qaz həcminin dəyişməsi zamanı görülən iş.** Fərzi 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).



Bələdiyələ, verilən kütləli qazın sabit təzyiqdə genişlənməsi nəticəsində xarici qüvvələr üzərində görüyü iş:

$$A' = F \cdot \Delta h = pS \cdot (h_2 - h_1) = p(Sh_2 - Sh_1)$$

və ya

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

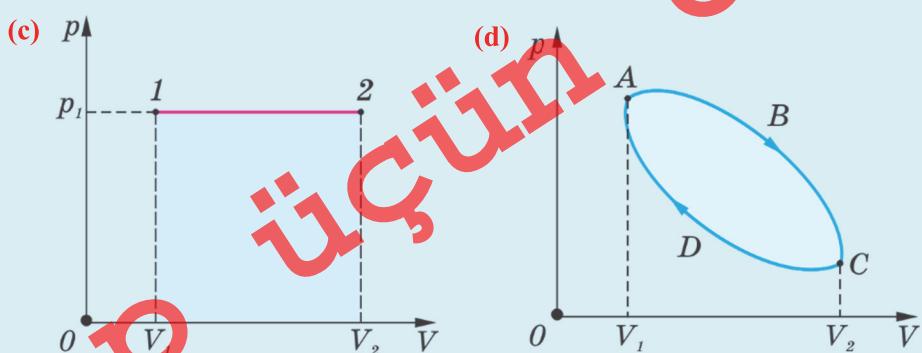
Xarici qüvvələrin qaz üzərində görüyü iş isə:

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

Burada  $F = pS$  – qazın porşenə təsir etdiyi qüvvə,  $\Delta h$  – porşenin yerdəyişməsi,  $p$  – qazın təzyiqi,  $S$  – silindrin en kəsiyinin sahəsi,  $\Delta V$  – qazın həcminin dəyişməsidir. Görülən iş  $p - V$  koordinat sistemində ədədi qiymətcə qrafikin əmələ gətirdiyi fiqurun sahəsinin ədədi qiymətinə bərabərdir: *qaz genişlənəndə (qazın həcmi artanda)  $A' > 0$  və  $A < 0$ ; qaz sıxılanda (onun həcmi kiçiləndə) isə  $A' < 0$  və  $A > 0$  olur* (c).

İşgörəmə prosesində qazın hələ dəyişən zaman o, əvvəlki vəziyyətinə qayıdarsa, belə proses *gapalı* və ya *dövri proses* adlanır.

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



Tətbiqetmə

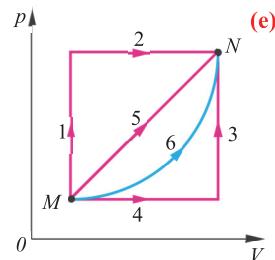
1

Hansi prosesdə daxili enerji daha çox davşır?

**Məsələ.** Termodynamik sistemdə  $p - V$  diaqramında təsvir edilən proseslər getmişdir (e). M nöqtəsindən N nöqtəsinə gedən proseslərdə sistemin enerjilərinin dəyişmələrini və görülən işləri müqayisə edin.

#### **Nəticənin müzakirəsi:**

- Termodinamik sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi nədən asılıdır?
  - Baxılan prosesin hansında sistemin daxili enerjisi daha çox dəyişmişdir? Nə üçün?
  - Baxılan prosesin hansında sistemdə daha çox iş görülmüşdür? Nə üçün?



**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Sınıf otağının eni 5 m, uzunluğu 10 m, hündürlüyü ise 4 m-dir. Otaqda normal atmosfer təzyiqində havaının temperaturu  $20^{\circ}\text{C}$  -dir.

- Əgər otaqdakı hava yalnız biratomlu ideal qazdan ibarətdirsə, onun daxili enerjisi nəyə bərabər olar?
  - Bu enerjiyə bərabər enerji ilə 2 ton kütləli avtomobili hansı hündürlüyü qaldırmaq olar ( $g=10\text{m/san}^2$ )?

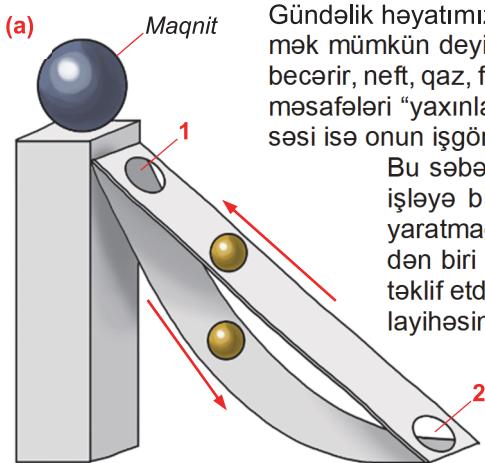
**Özünüzü qiymətləndirin:**

1. Dörsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
  2. Cisinin daxili enerjisini hansı makroparametrlər müəyyən edir?
  3. Biratomlu ideal qazın daxili enerjisi hansı makroparametrən asılıdır?
  4. Termodynamik sistemdə yalnız istilik mübadiləsi baş verirsə, onun daxili enerjisinin dəyişməsi nəyə bərabər olur?
  5. Nə üçün görülən mexaniki iş sistemin daxili enerjisini dəyişdirə bilir?
  6. İşin görülməsi prosesində termodynamik sistemin hansı makroparametrləri dəyişir?
  7. Nə üçün qazın gördüyü iş və xarici qüvvələrin qaz üzərində gördüyü iş işaretə fərqlərin?

NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: "termənətikamika", "termənətikamik sistem", "daxili enerji", "verilmiş kütləli ideal qazın daxili enerjisi", "daxili enerjisinin dəyişmə üsulları", "temənətikamikada iş".

## 7.2 TERMODİNAMİKANIN BİRİNCİ QANUNU



Gündəlik həyatımızı müxtəlif məqsədli texnikasız təsəvvür etmək mümkün deyildir. Texnikanın köməyi ilə insanlar torpağı becərir, neft, qaz, filiz və digər faydalı qazıntıları əldə edir, uzaq məsafələri "yaxınlaşdırır" və s. Bütün texnikanın başlıca xassəsi isə onun işgörmə qabiliyyətinə malik olmasıdır.

Bu səbəbdən insanlar hələ çox qədimlərdən daim işləyə bilən "perpetuum mobile" – *daimi mühərrik* yaratmağa çalışmışlar. Bu istiqamətdə maraqlı işlərdən biri kimi XVII əsrдə ingilis keşifi Con Vilkensin təklif etdiyi maqnit sahəsinin təsiri ilə işləyən orijinal layihəsini göstərmək olar.

Layihənin ideyasına görə, daimi mühərrik belə işləməlidir: hündür dayaqda yerləşən kürevi maqnitə doğru iki mail nov bərkidilir – üstdəki nov düzətli, aşağıdakı isə əyilmiş (a).

Düz novun üzerinde yerləşdirilən metal kürəciyi maqnit cəzb etdiyindən o, yuxarı diyrilənməyə başlayır. Kürəcik yolunun üzərindəki 1 dəliyindən altdakı nova düşür, aşağı diyrilənərək 2 dəliyindən yenidən üstdəki nova çıxır. Yenə də maqnit onu yuxarı diyriləndirir – beləcə "mühərrik" daim işləyir.

- Bu "mühərrik" daim işləyəcəkmi? Nə üçün?
- Mühərrikin işləməsi üçün hansı fundamental qanun ödənilməlidir?

1

Kənardan enerji alınmadan fasıləsiz iş görülə bilərmi?

**Fikri eksperiment.** Fransız ixtiraçısı Denni Papen (1647–1712) daim işləyə bilən sadə hidravlik maşının layihəsini verir. Layihəyə əsasən qabın alt hissəsi elə əyri boru formasında daraldılır ki, borunun kiçik diametrlı açıq ucu qabın geniş hissəsindən yuxarıda yerləssin (b).

Araşdırma

1

Nəticənin müzakirəsi:

- İxtiraçının səhvi nədədir? Bu mühərrikdə hansı qanun nəzərə alınmayıb?
- Mexaniki işin fasıləsiz görülməsini necə təmin etmək olar?

(b)



**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 görüyü işin cəminə bərabərdir:*

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

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

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

Sistemin xarici qüvvələr üzərində görüyü işə əks işaret ilə xarici qüvvələrin sistem üzərində görüyü 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 görüyü işə sərf olunur:*

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

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

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

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

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

əks halda, yəni  $Q = 0$  və  $\Delta U = 0$  olarsa,  $A' = 0$  olur və “daimi mühərrrik” 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 işə sıfıra bərabər olur:  $U = \text{const} \rightarrow \Delta U = 0$ .

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

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

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

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

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

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

Biratomlu ideal qaz üçün:

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

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

**Biratomlu ideal qazın sabit həcmidə xüsusi istilik tutumu.** (7.17) də biratomlu ideal qazın daxili enerjisinin dəyişməsinin (7.7) və istilik miqdarının (7.4) ifadələrini nəzərə alıqda sabit həcmidə xüsusi istilik tutumunun ifadəsini almaq olur:

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

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

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

- Izobar prosesdə (genişlənmədə) sistemə verilən istilik miqdarı onun daxili enerjisinin artmasına və xarici qüvvələrə qarşı görüldən 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta U = -A'$$

və ya

$$\Delta U = A. \quad (7.26)$$

Qaz adiabat genişlendikdə onun temperaturu və daxili enerjisi azalır – qaz soyuyur; qaz adiabat sıxılıqda isə, əksinə, onun temperaturu və daxili enerjisi yüksəlir – qaz qızır.

- *Adiabat proses – xarici mühitlə istilik mübadiləsi olmayan sistemlərdə gedən prosesdir.*

## Araşdırma

### Tətbiqetmə

#### 2 Qazın daxili enerjisi nə qədər dəyişdi?

**Məsələ:** Təzyiqi  $2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  olan verilən kütləli biratomlu ideal qaz izobar genişlənərək həcmini  $\Delta V = 0,5 \text{ m}^3$  artırdı. Qazın bu prosesdə daxili enerjisinin dəyişməsini və aldığı istilik miqdalarını müəyyən edin.

#### Nəticənin müzakirəsi:

- Biratomlu ideal qaz izobar genişlendikdə onun daxili enerjisinin dəyişməsi nəyə bərabərdir?
- Bu prosesdə ideal qazın aldığı istilik miqdarı necə təyin edilir?

#### Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:

Yayda leysan yağış yağdığınıñə dolu düşdüğünü yəqin ki, müşahidə etmisiniz. Bu necə baş verir?

Yer səthi yaxınlığında qızan hava atmosferin yuxarı qatlarına sürətlə qalxaraq genişlənir və nəticədə kəskin soyuyur. Ondakı su buxarı kiçik su damcıları və buz kristallarına kondensasiya edərək “ağır” buludlar yaradır – Yer səthinin bəzi bölgələrinə leysan yağışlar yağır, dolu düşür.

- Belə atmosfer hadisəsi havanın (qazın) üzərində gedən hansı prosesin nəticəsində baş verir?

#### Özünüyü qiymətləndirin:

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə sizə qaranlıq qaldı?
2. Termodynamikanın birinci qanunu hansı fundamental təbiət qanununun nəticəsidir?
3. Termodynamikanın birinci qanunundan hansı mühüm nəticə çıxarmaq olar?
4. Nə üçün izoxor prosesdə qaza verilən istilik miqdarı tamamilə qazın daxili enerjisinin dəyişməsinə sərf olunur?
5. Nə üçün izotermik prosesdə qaza verilən istilik miqdarı görülən işə bərabərdir?
6. Qazın adiabat genişlənməsi prosesində mexaniki iş nəyin hesabına görülür?
7. Adiabat sıxılmada mexaniki iş nəyin hesabına görülür?

## NƏ ÖYRƏNDİNİZ?

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “termodynamikanın birinci qanunu”, “termodynamikanın birinci qanunu izotermik proses üçün”, “termodynamikanın birinci qanunu izobar proses üçün”, “termodynamikanın birinci qanunu izoxor proses üçün”, “adiabat proses”, “birinci növ daimi mühərrik”.

### 7.3 TERMODİNAMİKANIN İKİNCİ QANUNU. İSTİLİK MÜHƏRRİKLƏRİNİN İŞ PRİNSİPI

Bəzən elə mexaniki hadisələrə rast gəlmək olur ki, onlarda proses həm düz, həm də əks istiqamətlərdə eyni cür baş verir; məsələn, riyazi və ya yaylı rəqqasda kiçik zaman fasılınsıdə baş verən təkrarlanan rəqsi hərəkəti videoya çəkib onu və baş verdiyi zamanı əksinə – hadisənin sonundan əvvəlinə doğru nümayiş etdirsek, rəqqasın əks istiqamətdə öz-özünə eyni rəqs etdiyini görmək olar.

- Belə eyni formada təkrarlanan hadisəleri necə adlandırmaq olar? Həmin hadisələr üçün prosesin istiqaməti nə dərəcədə önemlidir?
- Bu hadisələr üçün enerjinin saxlanması qanunu ödənilirmi? Cavabınızı əsaslandırın.

Lakin təbiətdə baş verən bütün təbii hadisələr, demək olar ki, biristiqamətlidir; məsələn, yağışın yağması, küləyin əsməsi, şəlalədə su kütləsinin düşməsi, insanın qocalması və s. Gündəlik həyatda iştirakçıı olduğumuz hadisələrdə də müəyyən istiqamət vardır; məsələn, futbolçunun zərbə vurduğu topun meydançada sürətləndikdən sonra yavaşıyaraq dayanması və ya yüksəklilikdən düşən daşın torpağa batıb sükunətdə qalması, mətbəxdə nəzarətsiz qalan çaydandakı suyun qaynayaraq tamamilə buxara çevrilməsi və s.

- Bütün bu hadisələrdə proseslərin öz-özünə əks istiqamətdə axarı mümkündürmü? Məsələn, yağışın Yer səthindən “göye yağması”, daşın yerdən yüksəye qalxması, sükunətdə olan topun futbolçuya doğru qəfil sürətlənməsi, şəlalənin aşağıdan yuxarı “tökülməsi”, qoca insanın cavallaması və s. proseslər öz-özünə baş verə bilərmi?
- Təbiətdə baş verən prosesləri biristiqamətliliyinə görə necə adlandırmaq olar, onlar üçün termodynamikanın birinci qanunu ödənilirmi?

1

Müşahidə olunan hadisələrdən hansı nəticəyə gəlmək olar?

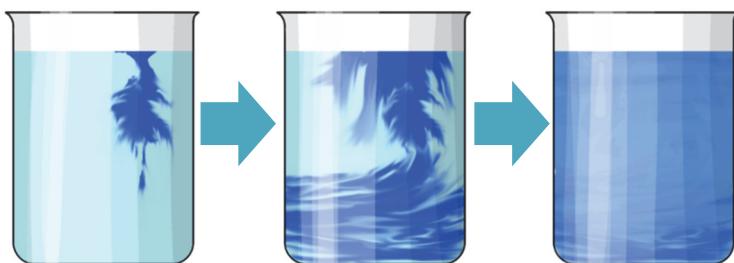
Təchizat: su qızdırıcısı, laboratoriya stekani (2 əd.), boyaq kristalları, metal qaşıq, termometr.

İşin gedisi:

**Təcrübə 1.** Stekanı ılıq su ilə doldurun. Boyaq kristallarını suya atıb diffuziya hadisəsinin gedisi – suyun bütün həcmi boyu rəngləndiyini izleyin (a).

**Təcrübə 2.** İkinci stekana isti su töküñ və termometrlə suyun temperaturunu ölçün. Bir qədərdən sonra suya otaq temperaturunda olan metal qaşığı da daxil edin (b). Sistem arasında yaranan istilik tarazlığını təyin edin.

(a)



(b)



#### Nəticənin müzakirəsi:

- Maddələrin diffuziyası nəticəsində alınan qarışığın (rənglənmiş suyun) öz-özünə yenidən təmiz su və boyaq kristallarına ayrılmama prosesi mümkündürmü? Nə üçün?
- İsti suya daxil edilən termometr və qaşiq arasında istilikvermə prosesi öz-özünə hansı cisimdən hansına doğru baş verdi? Bu proses öz-özüne tərsinə baş verə bilərmi?
- Termodinamikanın birinci qanununa görə istilikvermə prosesinin istiqamətini müəyyənəşdirmək olarmı? Cavabınızı əsaslandırın.

**Termodinamikanın ikinci qanunu.** Termodinamikanın birinci qanunu istilik prosesləri üçün enerjinin saxlanması qanunudur. Bu qanun birinci növ daimi mühərik yaratmağın qeyri mümkünlüyünü təsdiqləyir. Lakin o, istilik proseslərinin hansı istiqamətdə getdiyini müəyyən etmir. Məsələn, temperaturları müxtalif olan iki cismi bir-birinə toxunduraq. Bir müddətdən sonra onlar arasında istilik tarazlığı yaranır. Termodinamikanın birinci qanunu ödəndi – isti cism  $\rightarrow$  qədər istilik miqdarı verdisə, soyuq cism  $\rightarrow$  bir o qədər istilik miqdarı aldı.  $\Rightarrow$  bu proses eksinə 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 eksinə baş verdiyini müəyyən etmədi. Başqa sözlə desək, sonlu temperatur fərqinə malik termodinamik sistemlərdə istilikvermə prosesi *dönməz* prosesidir. Bu müddəə alman alimi R.Y.Klauziusun (1822–1888) 1850-ci ildə formalasdırıldığı *termodinamikanın ikinci qanununun* əsasını təşkil edir:

- Yeganə nəticəsi yalnız bir mənbədən alınan istilik hesabına periodik işləyən maşın düzəltmək mümkün deyildir. İstilik enerjisi öz-özünəsə soyuq 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 araşdırmlardan 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 miqdari alaraq dövri proses icra edən (mexaniki iş görən) termodinamik sistemdir.*

*İstilik maşınları iki növ olur: istilik mühərrikləri və soyuducu qurğular.*

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

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

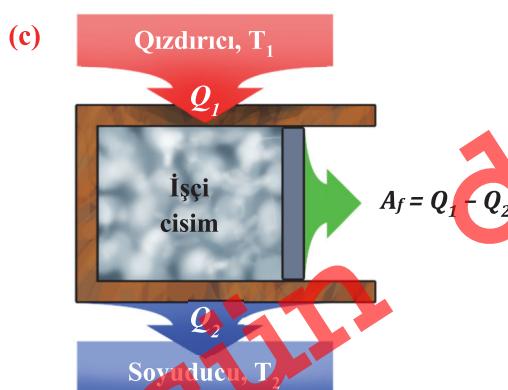
1. *Qızdırıcı – müxtəlif növ yanacağın yanması və ya nüvə reaksiyası nəticəsində ayrılan enerji hesabına yaranan yüksək  $T_1$  temperaturunu sabit saxlayan hissə.*

2. *İşçi cisim – genişlənib, sıxılması nəticəsində mexaniki iş görə bilən qaz və ya buخار.*

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):

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



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

Dövri proses icra eden istilik mühərrik 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 əmsali* ( $FİƏ$ ) adlanan xarakteristikası müəyyən edir.

- *İstilik mühərrikinin faydalı iş əmsali* ( $\eta$ ) – onun gördüyü faydalı işin qızdırıcıdan aldığı istilik miqdarına nisbətinə deyilir.

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

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

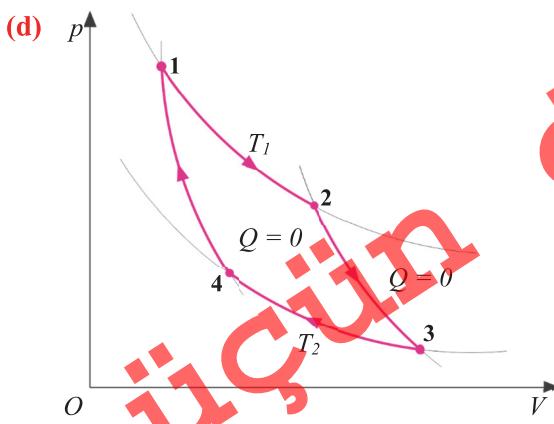
- *İkinci növ daimi mühərrik* (*perpetuum mobile II*) – yalnız bir mənbədən alınan istilik hesabına daim işləyən mühərrikdir.

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

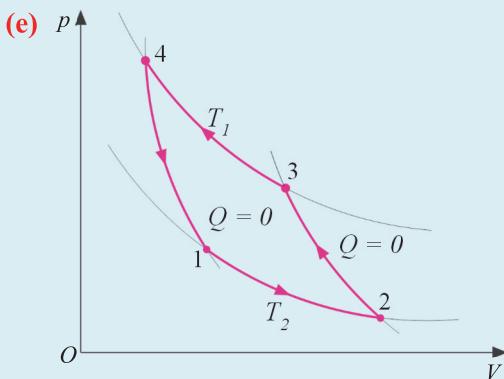
$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (7.29)$$

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

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



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



Soyuducu qurğuda enerjinin çevrilmə sxemindən görünür ki, işçi cisim genişlənərək soyuducu kamerasdan 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.

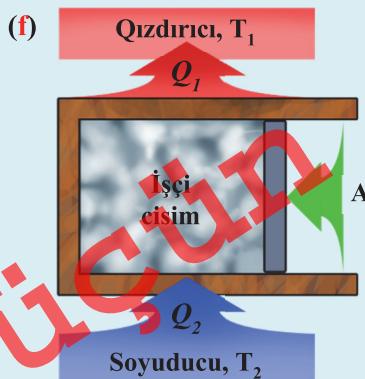
Soyuducu qurğunun mühüm xarakteristikası *soyuducu əmsalı*dır.

- *Soyuducu qurğunun soyuducu əmsali* ( $\xi$  – psi) – soyuducudan alınan istilik miqdərinin xarici qüvvələrin (məsələn, elektrik mühərrikinin) gördüyü işə nisbətinə deyilir:

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

İdeal soyuducu qurğunun *soyuducu əmsali*:

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



**Tətbiqetmə****İstilik mühərrikinin gördüyü faydalı işi təyin edin**

**Məsələ.** Qızdırıcıdan 800 kC istilik miqdarı alan istilik mühərrikinin gördüyü faydalı iş soyuducuya verilən istilik miqdarının 40%-ə bərabərdir. İstilik mühərrikinin gördüyü faydalı işi təyin edin.

**Nəticənin müzakirəsi:**

- İstilik mühərrikinin gördüyü faydalı iş hansı düsturla təyin olunur?
- Apardığınız hesablamalardan istilik mühərrikinin faydalı işi nəyə bərabər oldu?

**Gündəlik həyatınızla əlaqələndirin:**

Bakıda qış və yay aylarında avtomobilin mühərrikinin  $F\ddot{\Theta}$ -sinin maksimum qiymətini müqayisə edin. Mühərrikin qızdırıcısının temperaturu  $1000^{\circ}\text{C}$ , atmosferin temperaturu qışda  $3^{\circ}\text{C}$ , yayda isə  $37^{\circ}\text{C}$ -dir.

- İstilik mühərrikinin  $F\ddot{\Theta}$ -sinin maksimal qiyməti nədən asılıdır?
- Hansı fəsildə istilik mühərrikinin  $F\ddot{\Theta}$ -sinin maksimal qiyməti daha böyükdür?

**Özünüzü qiymətləndirin:**

1. Dərsdə hansı anlayışları təkrarladınız? Bu zaman nəyi daha yaxşı başa düşdünüz, nə qaranlıq qaldı?
2. Təbiət hadisələrində dönməməzliyin başlıca xüsusiyyəti nədir?
3. Termodinamikanın ikinci qanunu necə ifadə olunur?
4. İkinci növ daimi mühərrrik nədir?
5. İstilik mühərrikinin  $F\ddot{\Theta}$ -si nəyə bərabərdir?
6. İdeal istilik mühərrikinin  $F\ddot{\Theta}$ -si nəyə bərabərdir?
7. Termodinamikanın ikinci qanunu canlı sistemlər üçün hansı məna kəsb edir?

**NƏ ÖYRƏNDİNİZ?**

Qeyd olunan anlayış və müddəaların təriflərini iş vərəqinə yazın: “termodinamikanın ikinci qanununun Klauzius tərifi”, “termodinamikanın ikinci qanununun Tomson tərifi”, “dönməz proses”, “istilik mühərriki”, “istilik mühərrikinin əsas hissələri”, “istilik mühərrikinin  $F\ddot{\Theta}$ -si”, “ikinci növ daimi mühərrrik”, “Karno dövrü”.

Çap

• **LAYİHƏ • “İSTİLİK MÜHƏRRİKLƏRİ VƏ ƏTRAF MÜHİT”**

mövzusunda  
ELEKTRON TƏQDİMAT-LAYİHƏ  
hazırlayın.

**Layihənin planı:**

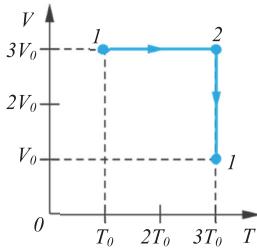
1. İstilik mühərriklərinin ətraf mühitin çirkənməsində rolü
2. Quru yanacaqdan istifadənin müsbət və mənfi cəhətləri
3. Atmosferdə “isti şitilik” effektinin yaranması və onun ətraf mühitə zərərli təsiri
4. Mühərriklərin FİƏ-sinin artırılma problemləri

Resurslar:

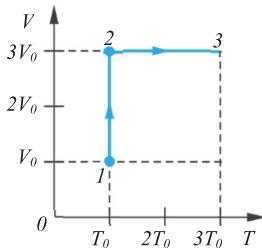
- az.wikipedia.org>Ətraf mühitin çirkənməsi
- eco.gov.az>uploads/hesabat/Jurnal-1.pdf
- library.adau.edu.az>upload/book/324\_mühazirə 9.doc
- ardda.gov.az>NewSite/wp-content/uploads/2012/07/...
- unece.org>fileadmin/DAM/env/eia/meetings/...
- wikimapia.org>29881298...Ətraf-mühitin-çirkənməsi
- video.yandex.ru>istilik mühərrikləri və ətraf mühitin çirkənməsi
- statistika.nmr.az>source/environment/index.php
- aliyasalimova.com>index/fizika...ekologiya\_elementl...
- stat.gov.az>menu/4/e-reports/az/07/007.php
- addy.gov.az>index/pdf/BGW\_TK2\_Official EIA.pdf
- book.ilkaddimlar.com>d\_pdf\_book\_diger\_23485.do
- toyotabaku.az
- bakuexpocenter.az>az/exhibitions.php
- ncp.ge>files/ESG...azerbaijanulad/sabunebismetyvelo...

Çap üçün dəyişil

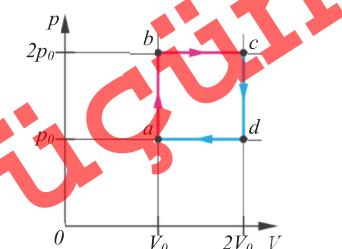
- 7.1.** Maddə miqdarı 2 mol olan arqon qazını qızdırıqda onun daxili enerjisi  $\Delta U = 480C$  artdı. Arqonun temperaturu nə qədər artdı ( $R = 8 \frac{C}{mol \cdot K}$ )?
- 7.2.** Havanın sabit  $2 \cdot 10^5 Pa$  təzyiqdə həcminin  $0,05 m^3$ -dən  $0,1 m^3$  genişlənməsi prosesində görülən işi hesablayın.
- 7.3.** Havanın həcmi  $2l$ -dən  $10l$ -ə qədər izobar genişlənərək  $4 kC$  iş gördü. Havanın təzyiqini təyin edin.
- 7.4.** Müəyyən prosesdə qaz üzərində  $40 kC$  iş görülmüşdür, nəticədə qaz kənar cisimlərə  $60 kC$  istilik miqdarı vermişdir. Qazın daxili enerjisi necə dəyişmişdir?
- 7.5.** Verilən kütləli biratomlu ideal qaz üzərində 1-2-3 prosesi getmişdir. Prosesin 1-2 və 2-3 hissələrində qazın daxili enerjisi necə dəyişmişdir?



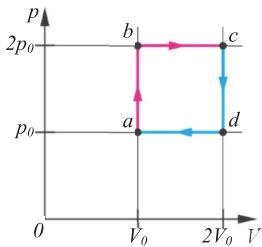
- 7.6.** Verilən kütləli biratomlu ideal qaz üzərində 1-2-3 prosesi getmişdir. Prosesin 1-2 və 2-3 hissələrində qazın daxili enerjisi necə dəyişmişdir?



- 7.7.** İdeal istilik mühərrikində  $a - b - c - d - a$  dövri proses gedir. Prosesin  $a-b-c$  hissələrində qazın gördüyü işi təyin edin.



- 7.8.** İdeal istilik mühərrikində  $a - b - c - d - a$  dövri proses gedir. Prosesin  $a - b - c$  hissələrində qazın daxili enerjisinin dəyişməsini təyin edin.



- 7.9.** Qapalı qabda yerləşən verilən kütləli biratomlu ideal qaza  $5\text{ kC}$  istilik miqdarı verilməsi nəticəsində onun temperaturu  $0^{\circ}\text{C}$ -dən  $100^{\circ}\text{C}$  qədər artdı. Təyin edin:

a) qazın daxili enerjisinin nə qədər artdığını; b) qabdkı qazın maddə miqdarını.

- 7.10.** İstilik mühərrikinin faydalı iş əmsali  $20\%$ -dir. Bir dövrdə soyuducuya verilən istilik miqdarı  $1,2\text{ kC}$  olarsa, mühərrikin gördüyü faydalı işi təyin edin.

Çap üçün dəyişil

**A**

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

**Ağırlıq qüvvəsi** – cismin Yer tərəfindən cəzb olunduğu qüvvədir. Ağırlıq qüvvəsi cismin kütləsi ilə Yerin bu cismə verdiyi sərbəstdüsmə təcili hasilinə bərabərdir:

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

**Akselerometr** (lat. *accelero* – təcilləndirirəm + yun. *metreo* – ölçürəm) – təcili-ölçən cihazdır.

**Amorf cisimlər** – zərrəciklərinin fəzadakı düzülüşündə nizamsızlıq olan və fiziki xassələri daxilində götürürlən istiqamətdən asılı olmayan, yəni izotrop olan bərk cisimdir. Amorf cisimlərin dəqiq ərimə temperaturu yoxdur – onları qızdırıldıqda tədricən yumşalır və mayeyə çevrilir.

**Amplitud** – rəqs edən cismin tarazlıq vəziyyətindən ən böyük yerdəyişməsidir.

**Anizotropluq** – fiziki xassələrin (mekaniki, istilik, elektrik, optik və s. xassələrin) istiqamətdən asılı olmasıdır.

**Atom kütlə vahidi (a.k.v)** –  ${}^{12}\text{C}$  izotopunun kütləsinin  $1/12$  hissəsinə deyilir:

$$1\text{a.k.v.} = \frac{1}{12}m_{0,C} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{kq}$$

**Avoqadro ədədi (sabiti)** – istənilən maddənin bir molunda olan molekulların (və ya atomların) sayıdır:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}.$$

**Avoqadro qanunu** – eyni temperatur və təzyiqdə həcmələri bərabər olan qazların molekullarının sayı eynidir.

**B**

**Bərabərtəcilli hərəkət** – istənilən bərabər zaman fasılalarında sürət dəyişməsi sabit qalan hərəkətdir. Bərabərtəcilli hərəkətdə təcili qıymət və istiqaməti dəyişmir:

$$\bar{a} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{t} = \frac{\Delta \bar{v}}{t} = \text{const.}$$

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

**Boyl-Mariott qanunu** – sabit temperaturda verilmiş ideal qazın təzyiqinin həcmində hasili sabitdir ( $T = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ ):

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

Sabit temperaturda verilmiş ideal qazın başlanğıc halindəki  $p_1$  təzyiqi ilə  $V_1$  həcmindən hasili bu parametrlərin qazın ixtiyarı halindəki  $p_2$  və  $V_2$  qiymətləri hasilinə bərabərdir:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}.$$

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

**Böhran temperaturu** – maye ilə onun doyan buxarı arasındaki fərqliyin yox olduğu temperaturdur.

**Broun hərəkəti** – mayelərdə (və ya qazlarda) asılı halda olan “yad” hissəciklərin nizamsız hərəkətidir.

**Bucaq sürəti** (və ya dairəvi tezlik) – dönəmə bucağının bu dönəməyə sərf olunan zamana nisbəti ilə ölçülən fiziki kəmiyyətdir:

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

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

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

**Buxarəmələgəlmə** – maddənin maye halından qaz halına keçmə prosesidir.

**Buxarlanma** – mayenin səthində baş verən buxarəmələgəlmə hadisəsidir.

**Buxarlanma istiliyi** – sabit temperaturda m kütləli mayeni buxara çevirmək üçün lazımlı istilik miqdardır:

$$Q = Lm.$$

C

**Coul (1C)** – hərəkət istiqamətində təsir edən 1N qüvvənin 1m yerdəyişmədə gördiyyü işdir:  $[A] = 1N \cdot m = 1 \frac{kq \cdot m^2}{san^2} = 1C$ .

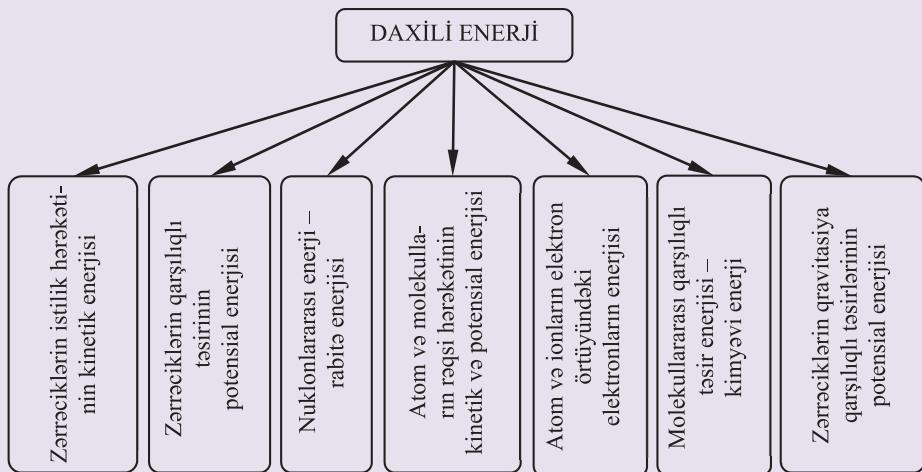
C

**Çevrə üzrə bərabərsürətli hərəkət** – maddi nöqtənin sürətinin modulu çəvrənin bütün nöqtələrində eyni olan hərəkətdir.

**Çəki** – Yerin cazibəsi nəticəsində cismin üfüqi dayağı və ya asqıya göstərdiyi təsir qüvvəsidir.

**D**

**Daxili enerji** – sistemi təşkil edən zərrəciklərin müxtəlif növ hərəkətləri və qarşılıqlı təsirləri ilə xarakterizə olunan enerjilərin cəmidir.



**Dalğa** – rəqslerin zaman keçidkə fəzada yayılma prosesidir.

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

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

**Dalğa tezliyi (periodu)** – dalğa yaranan mənbəyin rəqs tezliyidir (periodudur).

**Dalğa uzunluğu** – bir rəqs perioduna bərabər müddətdə ( $t = T$ ) dalğanın yayıldığı məsafədir.

**Dalton qanunu** – kimyevi qarşılıqlı təsirdə olmayan ideal qazların təzyiqi parsial təzyiqlərin cəminə bərabərdir:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n .$$

**Deformasiya** – xarici qüvvənin təsiri altında cisim öz forma və ölçülərini dəyişməsidir.

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

**Dinamikanın əsas məsələsi** – qüvvənin təsirinə görə cisim hərəkətinin xarakterini, yaxud əksinə, cisim hərəkətinin xarakterinə görə ona hansı qüvvənin təsir etdiyini müəyyənləşdirməkdir.

**Diyirlənmə sürtünmə qüvvəsi** – bir cismin səthində digər cisim diyirləndikdə yaranan sürtünmə qüvvəsidir.

**Doyan buxar** – öz mayesi ilə dinamik tarazlıqda olan buvardır.

**Doymayan buxar** – öz mayesi ilə dinamik tarazlıqda olmayan buvardır.

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

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

Burada  $\varphi$  – dönmə bucağı,  $l$  – dönmə bucağına uyğun qövsün uzunluğu,  $R$  – çevrənin radiusudur.

**Dönmə proses** – real hadisələrin öz-özünə əksinə baş verməsinin qeyri-mümkin olduğu prosesdir.

**Dövretmə periodu** – maddi nöqtənin çevrə üzrə tam bir dövrünə sərf etdiyi zamanıdır:

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

Burada  $T$  – dövretmə periodu,  $N$  – maddi nöqtənin  $t$  müddətindəki tam dövrlərinin sayıdır.

Dövretmə periodunun BS-də vahidi *saniyə*dir:

$$[T] = 1 \text{ san.}$$

**Dövretmə tezliyi** – çevrə üzrə hərəkət edən maddi nöqtənin vahid zamanda etdiyi dövrlərin sayıdır:

$$\nu = \frac{N}{t}.$$

Burada  $\nu$  – dövretmə tezliyidir. Dövretmə tezliyinin BS-də vahidi saniyədə bir və ya *hers*dir:

$$[\nu] = \frac{1}{\text{san}} = \text{san}^{-1} = 1 \text{ Hs.}$$

Dövretmə periodu ilə dövretmə tezliyi qarşılıqlı tərs kəmiyyətlərdirdir:

$$\nu = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{\nu}.$$

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

**Düzxətli bərabərsürətli hərəkət** – düzxətli hərəkətdə istənilən bərabər zaman fasilələrində eyni yerdəyişmə icra edən maddi nöqtənin hərəkətidir. Zaman keçdikcə düzxətli bərabərsürətli hərəkətin sürətinin modulu və istiqaməti dəyişmir:

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

**Düzxətli dəyişənsürətli hərəkət** – düzxətli hərəkətdə bərabər zaman fasilələrində müxtəlif yerdəyişmələr icra edən maddi nöqtənin hərəkətidir.

## E

**Elastik dalğalar** – elastik mühitlərdə mexaniki dalğaların ötürülmə prosesidir.

**Elastiklik qüvvəsi** – bərk cismin ixtiyari kiçik deformasiyası zamanı yaranan və cismin əvvəlki vəziyyətini bərpa etmək istiqamətində yönələn qüvvədir.

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

$$E_p = \frac{kx^2}{2}.$$

**Eninə dalğa** – mühitin zərrəciklərinin rəqsi hərəkət istiqamətinə perpendikulyar yayılan dalğadır. Eninə dalğalar yalnız bərk cisimlərdə və maye lərin səthində yayılabilir. Eninə dalğalar mühitdə bir-birini əvəz edən qabarıqlar və çöküklər formasında yayılır.

## G

**Gey-Lüssak qanunu** – sabit təzyiqdə verilmiş kütləli ideal qazın həcmimin onun mütləq temperaturuna nisbəti sabitdir ( $p = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ ):

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

Qazın başlanğıc halindəki  $V_1$  həcmimin  $T_1$  temperaturuna olan nisbəti bu parametrlərin qazın ixtiyari halindəki  $V_2$  və  $T_2$  qiymətləri nisbətinə bərabərdir:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

Sabit təzyiqdə ( $p = \text{const}$ ) verilmiş ideal qazın halının dəyişmə prosesi **izobar proses** adlanır. Izobar prosesdə qazın həcmi onun temperaturundan düz mütənasib usulidir.

**Gərilmə diaqramı** – mexaniki gərginliyin nümunənin nisbi uzanmasından asılılıq qrafikidir.

**Güç** – görülən işin bu işi görməyə sərf edilən zamana nisbətinə deyilir:

$$N = \frac{A}{t}.$$

Güçün BS də vahidi vattır ( $Vt$ ):

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

## H

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

**Hesablama sistemi** – hesablama cismi, onunla bağlı koordinat sistemi və zamanı hesablamaq üçün cihazın təşkil etdiyi sistemdir.

## X

**Xətti sürət** – maddi nöqtənin çevrə üzrə hərəkət sürətinin moduluna deyilir.

**Xüsusi buxarlanma istiliyi** – ədədi qiymətcə sabit temperaturda kütləsi 1kg olan mayeni tamamilə buxara çevirmək üçün lazımlı istilik miqdarına bərabərdir.

$$L = \frac{Q}{m}.$$

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

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

**Xüsusi ərimə istiliyi** – ədədi qiymətcə kütləsi 1 kg olan kristal maddəni ərimə temperaturunda mayeyə çevirmək üçün sərf edilən istilik miqdarıdır.

$$\lambda = \frac{Q}{m}.$$

$\lambda$  – verilən maddənin xüsusi ərimə istiliyidir.

**Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin I postulatı** – təbiətin bütün qanunları bütün ətalət hesablama sistemlərində eynidir və heç bir fiziki təcrübə ilə inersial sistemləri bir-birindən fərqləndirmək olmaz.

**Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin II postulatı** – işığın vakuumda yayılma sürəti bütün ətalət hesablama sistemlərində eynidir və o, işıq mənbəyinin və qəbuledicisinin sürətindən asılı deyildir. İşıq sürəti təbiətdə mövcud olan maksimal sürətdir.

## i

**İdeal qaz** – aşağıdakı şərtləri ödəyən qazdır:

– molekullarının həcmi onlar arasındakı məsafədən çox-çox kiçikdir və nəzərə alınır. Ona görə də ideal qaz molekulları, demək olar, bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olmur – ideal qaz molekullarının qarşılıqlı təsir potensial enerjisi sıfır bərabərdir:  $E_p = 0$ . Odur ki ideal qaz istənilən qədər sıxlıq bilir;

– molekulları arasındaki qarşılıqlı cəzibə xarakterli qüvvələr nəzərə alınmaya-qadər cəzibə zəifdir;

– molekulları arasında itələmə xarakterli qüvvələr yalnız bir-biri ilə və ya yerləşdikləri qəbin divarı ilə toqquşduqda meydana çıxır; molekulların toqquşmaları mütləq elastikdir;

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

**Ideal qazın molekulyar-kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyi** – qazı xarakterizə edən makroskopik parametr olan təzyiqin, onun molekullarını xarakterizə edən mikroskopik parametrlərlə əlaqələndirən tənlikdir:

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

**Ideal qazın hal tənliyi** – qazın halini təsvir edən, onun başlangıç və son halının parametrləri arasında əlaqəni müəyyən edən tənlikdir.

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

**İkinci növ daimi mühərrrik (perpetuum mobile II)** – yalnız bir mənbədən alınan istilik hesabına daim işləyən mühərrrikdir.

**İmpuls** – mexaniki hərəkətin miqdarı olub, cismin kütləsi ilə onun sürəti hasilinə bərabər vektorial fiziki kəmiyyətdir:

$$\vec{p} = m \vec{v}.$$

**İmpulsun saxlanması qanunu** – qapalı sistem təşkil edən cisimlərin impulsunun vektorial cəmi sabit qalır:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \cdots + \vec{p}_n = \text{const.}$$

**İsladan maye** – kənar bucağı iti olan mayedir. İsladan maye ilə bərk cismin molekulları arasındaki cazibə xarakterli qüvvələr mayenin öz molekulları arasındaki cazibə qüvvələrindən böyük olur. Nəticədə qabdakı mayenin sərbəst səthi çökük olur, məsələn, şüxə borudakı su isladan mayedir.

**İslatmayan maye** – kənar bucağı kor olan mayedir. İslatmayan maye ilə bərk cismin molekulları arasındaki cazibə xarakterli qüvvələr mayenin öz molekulları arasındaki cazibə qüvvələrindən kiçik olur. Nəticədə qabdakı mayenin sərbəst səthi qabarlıq olur, məsələn, şüxə borudakı civə islatmayan mayedir.

**İstilik təraflığı və ya termodynamik təraflıq** – sistemin makroskopik parametrlərinin uzun müddət dəyişməz qaldığı haldır.

**İstilik maşını** – bir cisimdən istilik miqdarı alaraq dövri proses icra edən (mexaniki iş görən) termodynamik sistemdir.

**İstilik mühərriki** – müxtəlif növ yanacağın daxili enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən qurğudur. İstilik mühərrikləri quruluş xüsusiyyətlərində asılı olmayaraq üç əsas hissədən ibarətdir:

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

2. İşçi cisim – genişlənib sıxlaması nəticəsində mexaniki iş görə bilən qaz və ya buخار.

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

İstilik mühərriki işçi cisim qızdırıcıdan  $Q_1$  qədər istilik miqdarı alır,  $Q_2$  qədər istilik miqdarı soyuducuya verir və nəticədə o, bir dövrdə  $A_f$  qədər faydalı iş görür:

$$A_f = Q_1 - Q_2.$$

**İstilik mühərrikinin faydalı iş əmsali ( $\eta$ )** – onun gördüyü faydalı işin qızdırıcıdan aldığı istilik miqdarına nisbətinə deyilir.

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

**İrəliləmə hərəkəti** – bütün nöqtələri eyni hərəkət edən cismin hərəkətinə deyilir.  
**İzotropluq** – fiziki xassələrin istiqamətdən asılı olmamasıdır.

## K

**Kapilyar** – diametri  $10^{-3} \text{ m}$  və daha kiçik tərtibdə olan kanaldır (borudır).

**Kinetik enerji** – cismin öz hərəkəti nəticəsində malik olduğu enerjidir:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

**Kinetik enerji haqqında teorem** – sabit əvəzləyici qüvvənin cisim üzərində gördüyü iş cismin kinetik enerjisinin dəyişməsinə bərabərdir:

$$A = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k.$$

Burada  $E_{k1}$  – cismin kinetik enerjisinin başlangıç,  $E_{k2}$  – isə son qiymətidir. Kinetik enerji skalar fiziki kəmiyyətdir və o, işdən fərqli olaraq, yalnız müsbət qiymətlər alır və ya sıfıra bərabər olur (başqa növ enerjiyə çevrilir). Kinetik enerjinin dəyimə teoremindən aşağıdakılardan müəyyən olunur:

a) əgər sabit əvəzləyici qüvvənin gördüyü iş müsbətdirsə ( $A > 0$ ), kinetik enerjinin dəyişməsi də sıfırdan böyük olur:  $E_{k2} - E_{k1} > 0$  – kinetik enerji artır;

b) əgər sabit əvəzləyici qüvvənin gördüyü iş mənfiydirsə ( $A < 0$ ), kinetik enerjinin dəyişməsi də sıfırdan kiçik olur:  $E_{k2} - E_{k1} < 0$  – kinetik enerji azalır;

c) əgər sabit 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 ( $E_{k2} = E_{k1} = \text{const}$ ).

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

**Qapalı sistem** – başqa cisimlərlə qarşılıqlı təsirdə olmayan (xarici qüvvələrin əvəzləyicisi sıfıra bərabər olan) cisimlərdən ibarət sistemdir. Saxlanma qanunları qapalı sistemlərdə ödənilir

**Gravitasiya sabiti** – qiymətcə kütlələri  $1 \text{ kg}$ , aralarındaki məsafə  $1 \text{ m}$  olan iki maddi nöqtə arasındakı qarşılıqlı cazibə qüvvəsinə bərabərdir.

Qravitasiya sabitinin ədədi qiyməti 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:

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

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

$$\vec{g}_0 = \frac{\vec{F}}{m}.$$

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

*Qravitasiya sahəsinin intensivliyinin modulu bu sahə mənbəyinin kütləsindən düz, sahənin verilmiş nöqtəsinə qədərki məsafənin kvadratından tərs mütənasib asılıdır. O, sahəyə gətirilən cismin kütləsindən asılı deyildir. Qravitasiya sahəsinin intensivliyi sahənin istənilən nöqtəsində radius boyunca sahə mənbəyinin mərkəzinə doğru yönəlir. Qravitasiya sahəsinin verilmiş nöqtəsində sahə intensivliyinin modulu həmin nöqtədə sərbəstdüsmə təciliinin moduluna bərabərdir, verilmiş nöqtədə onların istiqamətləri də üst-üstə düşür.*

## M

**Maddə miqdari ( $v$ )** – ondaki molekulların və ya atomların nisbi sayının avo-qadro ədədinə olan nisbətinə deyilir:

$$v = \frac{N}{N_A}.$$

$N$  – verilən maddədəki molekulların sayıdır.

Maddə miqdarının BS -də vahidi moldur (1mol):  $[v] = 1\text{mol}$ .

**Mol (1mol)** – kütləsi  $0,012\text{ kg}$  olan karbon atomlarının sayı qədər molekullardan və ya atomlardan təşkil olunmuş maddə miqdarıdır.

**Maddənin nisbi molekul (və ya atom) kütləsi** – həmin maddənin molekulunun  $m_0$  kütləsinin, karbon atomu kütləsinin  $1/12$ -nə olan nisbətinə deyilir:

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{0,C}}$$

$M_r$  – nisbi molekul kütləsi,  $m_0$  – maddə molekulunun kütləsidir.

**Maddi nöqtə** – hərəkətin verilmiş halında ölçüləri nəzərə alınmayan cisimdir.

**Makroskopik cisim** – böyük miqdar atom və molekullardan təşkil olunan cisimdir.

**Mexanika** (yun. mekhane – maşın, mexanizm) – mexaniki hərəkətin başvermə qanuna uyğunluqlarını, onun səbəbini öyrənən elmdir.

**Mexaniki dalğa** – mexaniki rəqslerin mühitdə yayılma prosesidir. O, vakuumda yayılmır. Mexaniki dalğalar elastik mühitdə (bərk cisim, maye və qazlar) yayılır.

**Mexaniki hərəkət** – cismin zaman keçidikcə fəzada başqa cisimlərə nəzərən vəziyyətinin dəyişməsidir.

**Mexaniki iş** – əvəzləyici qüvvənin modulu, yerdəyişmənin modulu və bu qüvvə ilə yerdəyişmə vektorları arasında qalan bucağın kosinusu hasilinə bərabərdir:

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

**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.

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

**Məcburi rəqs** – periodik dəyişən xarici qüvvələrin təsiri hesabına baş verən rəqslərdir.

**Molekulyar fizika** – makroskopik cisimlərin daxili quruluşunu, onun xassəsini və materiyanın istilik hərəkətinin əsas qanuna uyğunluqlarını öyrənən fizika bölməsidir.

### Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin müddəaları:

I müddəə: bütün maddələr zərrəciklərdən – atom və molekullardan təşkil olunmuşdur.

II müddəə: maddəni təşkil edən zərrəciklər fasıləsiz və nizamsız (xaotik) hərəkətdədir.

III müddəə: maddə zərrəcikləri bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdədir – onlar arasında cazipə və itələmə xarakterli qüvvələr mövcuddur.

**Molar kütlə** – maddənin bir molunun kütləsinə deyilir:  $M = m_0 \cdot N_A$ .

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

$$n = \frac{N}{V}.$$

**Molekulların orta kvadratik sürəti** – molekulların sürətinin kvadratinin orta qiymətinin kvadrat köküdür:

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

Molekulların orta kvadratik sürəti MKN baxımından aşağıdakı düsturlarla da hesablanıbilər:

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

Burada  $T$  – mütləq temperatur,  $k$  – *Bolsman sabiti*,  $m_0$  – bir molekulun kütləsi,  $n$  – molekulların konsentrasiyası,  $\bar{E}_k$  – molekulların irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi,  $\rho$  – sıxlıq,  $p$  – təzyiqdir.

**Monokristallar** – vahid kristal mərkəzin böyüməsi nəticəsində yaranan kristallardır.

**Mütləq rütubət** – verilən şəraitdə havada olan su buxarinin sıxlığına bərabər olan fiziki kəmiyyətdir.

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

$$\rho_b = \frac{p_p M}{RT}.$$

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

**Müqavimət qüvvəsi** – bərk cismin mayedə və qazda hərəkəti zamanı meydana çıxan və hərəkətin əksinə yönələn qüvvədir.

## N

**Nisbilik prinsipi** – mexanika qanunları bütün ətalət hesablama sistemlərində eynidir.

**Nisbi rütubət** – verilən temperaturda havanın mütləq rütubətinin həmin temperaturda doyan su buxarının sıxlığına nisbətinə bərabər olan fiziki kəmiyyətdir.

Nisbi rütubət faizlərlə ifadə olunur:  $\varphi = \frac{\rho_p}{\rho_0} \cdot 100\%$ .

Burada  $\rho_0$  – havadakı doyan su buxarının sıxlığı,  $\varphi$  – havannın nisbi rütubətidir.

**Nyutonun I qanunu** – elə hesablama sistemləri vardır ki, həmin sistemlərə nəzərən sükunətdə olan və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət edən cismə heç bir xarici təsir olmadıqda (və ya ona edilən təsirlər bir-birini tarazlaşdırıldıqda) o, sükunət və ya düzxətli bərabərsürətli hərəkət halını saxlayır.

**Nyutonun II qanunu** – ətalət hesablama sistemində cismin aldığı təcil ona təsir edən qüvvələrin əvəzləyicisi ilə düz, bu cismin kütləsi ilə tərs mütənasibdir:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \text{və ya} \quad m\vec{a} = \vec{F}.$$

**Nyutonun III qanunu** – ətalət hesablama sistemində iki cisim bir-birinə modulca bərabər, eyni bir düz xətt üzrə əks istiqamətlərə yönələn qüvvələrlə qarşılıqlı təsir edir:  $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ .

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

## P

**Parsial təzyiq** – qaz qarışığında ayrıca görülmüş qazın təzyiqidir.

**Polikristallar** – müxtəlif istiqamətlərə yönələn çoxlu sayıda kristal mərkəzlərin böyüməsi və birləşməsi nəticəsində yaranan kristallardır.

**Potensial enerji** – qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin (və ya zərrəciklərin) malik olduğu enerjidir:

$$E_p = mgh.$$

**Potensial enerji haqqında teorem** – ağırlıq qüvvəsinin gördüyü iş əks işarə ilə cismin potensial enerjisinin dəyişməsini bərabərdir:

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

## R

**Radius-vektor** – koordinat başlangıcını maddi nöqtə ilə birləşdirən vektordur.

**Relyativistik mexanika** – mexanika qanunlarının işiq sürəti ilə müqayisə olunan sistemlərdə baxılan fizika bölməsidir.

**Rezonans** – məcburedici qüvvənin dəyişmə tezliyi sistemin sərbəst rəqs tezliyi ilə eyni olduqda məcburi rəqslərin amplitudunun kəskin artması hadisəsidir.

**Rəqs periodu** – bir tam rəqsə sərf olunan zamandır.

**Rəqs tezliyi** – ədədi qiymətcə bir saniyədəki rəqslərin sayına bərabər olan fiziki kəmiyyətdir.

**Riyazi rəqqas** – uzanmayan və çəkisi nəzərə alınmayacaq qədər kiçik olan sapdan asılan maddi nöqtədən ibarət ideallaşdırılmış rəqs sistemidir.

## S

**Səthi gərilmə qüvvəsi** – mayenin səthini hüdüllandıran xəttə perpendikulyar olub səth boyunca yönələn və mayenin səthinin sahəsini kiçitməyə çalışın qüvvədir. Səthi gərilmə qüvvəsi maye ilə bərk cismin toxunma sərhədinin uzunluğu (mayenin sərbəst səthinin uzunluğu) ilə düz mütənasibdir:

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

Burada  $F_{s,g}$  – mayenin səthi gərilmə qüvvəsi,  $l$  – mayenin sərbəst səthinin bərk cismə toxunma sərhədinin uzunluğu,  $\sigma$  (siqma) – səthi gərilmə əmsalıdır.

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

$$\sigma = \frac{F_{s,g}}{l}.$$

**Sərbəstdüşmə** – yalnız ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında düşən ( $v_0=0$ ) cismin hərəkətidir. Belə hərəkət  $g$  təcili ilə bərabəryeyinləşəndir.

**Sərbəst rəqslər** – qapalı sistemdə daxili konservativ qüvvələrin təsiri nəticəsində baş verən rəqslərdir.

**Soyuducu qurğunun soyuducu əmsali ( $\xi$  – psi)** – soyuducudan alınan istilik miqdarının xarici qüvvələrin (məsələn, elektrik mühərrikinin) gördüyü işə nisbətinə deyilir.

$$\xi = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}.$$

İdeal soyuducu qurğunun soyuducu əmsali:

$$\xi_{\max} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

**Sükunət enerjisi** – seçilmiş hesablamə sisteminə nəzərən sükunətdə olan cismin enerjisidir.

**Sürüşmə sürtünmə qüvvəsi** – bir cisim səthində digər cisim sürüsdükdə yaranan sürtünmə qüvvəsidir. Sürusmə sürtünmə qüvvəsi ədədi qiymətcə səthin reaksiya qüvvəsi ilə (təzyiq qüvvəsi ilə) mütənasib olub sükunət sürtünmə qüvvəsinin maksimal qiymətinə bərabərdir:

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

Burada  $\mu$  – mütənasiblik əmsalı olub sürüşmə sürtünmə əmsalı adlanır:  $o$ , toxunan cisimlərin hazırlanıldığı materialdan və toxunan səthlərin hamarlığından asılıdır.  $\mu$  – adsız kəmiyyətdir; vahidi yoxdur.

**Sükunət sürtünmə qüvvəsi** – birinə nəzərən sükunətdə olan cisimlər arasında yaranan sürtünmə qüvvəsidir. Sükunət sürtünmə qüvvəsi ədədi qiymətcə sükunətdə olan cismə toxunan səthlərə paralel yönələn dərti qüvvəsinə bərabər olub, onun əksinə yönəlir.

## §

**Şərl qanunu** – sabit həcmidə verilmiş kütləli ideal qazın təzyiqinin onun mütləq temperaturuna nisbəti sabitdir ( $V = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ ):

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

Qazın başlangıç halindəki  $p_1$  təzyiqinin  $T_1$  temperaturuna olan nisbəti bu parametrlərin qazın ixtiyari halindəki  $p_2$  və  $T_2$  qiymətləri nisbətinə bərabərdir:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

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

## T

**Tam mexaniki enerjinin saxlanması qanunu** – qapalı sistemi təşkil edən cisimlər bir-birinə konservativ qüvvələrlə təsir etdikdə sistemin tam mexaniki enerjisi sabit qalır:

$$E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1},$$

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

**Tarazlığın şərtləri** –  $o$ , ikidir:

1. İrəliləmə hərəkətində olan cismin tarazlıq şərti: irəliləmə hərəkətində olan cismin tarazlıqda olması üçün ona tətbiq edilən əvəzləyici qüvvə (cismə təsir edən bütün qüvvələrin həndəsi cəmi) sıfır bərabər olmalıdır:

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

2. Momentlər qaydası və ya tərpənməz fırlanma oxu olan cismin tarazlıqda olması üçün ona təsir edən qüvvələrin fırlanma oxuna nəzərən momentlərinin cəbri cəmi sıfır bərabər olmalıdır:

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

**Temperatur** – makroskopik sistemin istilik tarazlığını xarakterizə edən kəmiyyətdir: istilik tarazlığında sistemin bütün hissələrinin temperaturu eynidir. Temperatur – cismin molekullarının xaotik irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisinin ölçüyüdür.

**Termodinamika** – fizikanın istilik hadisələrini makroskopik nöqtəyi-nəzərindən öyrənən bölməsidir.

**Termodinamikanın birinci qanunu** – termodinamik sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi bu sistemə verilən istilik miqdarı ilə xarici qüvvələrin sistem üzərində görüyüү işin cəminə bərabərdir:

$$\Delta U = Q + A.$$

Termodinamikanın birinci qanunu belə də ifadə edilə bilər: *termodinamik sistemə verilən istilik miqdarı onun daxili enerjisinin dəyişməsinə və sistemin xarici qüvvələr üzərində görüyüү işə sərf olunur:*

$$Q = \Delta U + A'.$$

**Termodinamikanın ikinci qanunu** – yeganə nəticəsi yalnız bir mənbədən alınan istilik hesabına periodik işləyən maşın düzəltmək mümkün deyildir. İstilik enerjisi öz-özünə soyuq 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, müəyyən mexaniki iş görmək nəticəsində həyata keçirmək olar.

**Termodinamik sistem** – istənilən makroskopik cisim və ya cisimlər sistemidir. Termodinamik sistemin halı makroskopik və ya termodinamik parametrlərlə (kütlə, sıxlıq, həcm, təzyiq, temperatur) xarakterizə olunur.

**Təcil** – sürət dəyişməsinin bu dəyişmənin baş verdiyi zaman fasıləsinə nisbətinə bərabər olan fiziki kəmiyyətdir:

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

Təcil – vektor kəmiyyət olub istiqaməti  $\Delta \vec{v}$ -nin istiqaməti ilə üst-üstə düşür.

**Trayektoriya** – maddi nöqtənin verilmiş hesablama sisteminə nəzərən üzəri ilə hərəkət etdiyi xətdir.

**Uzununa dalğa** – mühitin zərrəciklərinin rəqsi hərəkət istiqaməti boyunca yayılan dalğadır. Uzununa dalğalar bütün mühitlərdə (bərk cisim, maye və qazlarda) yayılma bilir. Uzununa dalğalar mühitdə bir-birini əvəz edən sıxlasmalar və seyrəkləşmələr formasında yayılır.

## Ü

*Ümumdünya cazibə qanununu* – iki maddi nöqtə arasındaki qarşılıqlı cazibə qüvvəsi onların kütlələrinin hasilindən düz, aralarındaki məsafənin kvadratından tərs mütənasib asılıdır:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Burada  $F$  – cazibə (qravitasiya) qüvvəsinin modulu,  $m_1$  və  $m_2$  – maddi nöqtələrin kütlələri,  $r$  – maddi nöqtələr arasındaki məsafə,  $G$  – mütənasiblik əmsalı olub ümumdünya cazibə (qravitasiya) sabiti və ya sadəcə qravitasiya sabiti adlanır.

*Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin I prinsipi* – ekvivalentlik prinsipi və ya zəif ekvivalentlik prinsipi: bu prinsipə əsasən, ətalət kütləsi ilə qravitasiya kütləsi ekvivalentdir – bir-birinə bərabərdir.

*Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin II prinsipi* – güclü ekvivalentlik prinsipi: bu prinsipə görə, sərbəstdüşmə təciliñə bərabər təcillə düşən sistemdə bütün fiziki qanunlar qravitasiya yoxmuş kimi təzahür edir.

## V

*Vatt (1Vt)* – 1 saniyədə 1C iş görən mexanizmin gücünə deyilir.

*Vektorial kəmiyyət* – ədədi qiymətindən (modulundan) başqa, istiqaməti ilə də verilən kəmiyyətdir.

## Y

*Yaylı rəqqas* – yay və ona bağlanmış cisimdən ibarət rəqs sistemidir.

*Yerdəyişmə* – hərəkətdə olan maddi nöqtənin başlangıç vəziyyəti ilə son vəziyyətini birləşdirən istiqamətlənmiş düz xətt parçasıdır.

*Yunq modulu* – nazik çubuğu iki dəfə dərtib uzatmaq üçün lazım olan gərginliyə bərabər fiziki kəmiyyətdir. O, cismin hazırlanlığı materialdan asılıdır və onun da BS-də vahidi paskaldır:

$$[E] = \frac{[\sigma]}{[\varepsilon]} = 1 Pa.$$

## Z

*Zamanın bircinsliliyi* – zamanın parallel köçürülməsinə nəzərən simmetriyasıdır: qapalı sistemin fiziki xassələri zamanın başlangıç anının seçilməsindən asılı deyildir, zamanın bütün anları ekvivalentdir.

Çap üçün

## MƏSƏLƏLƏRİN CAVABLARI

### I fəsil

- 1.1. N( $\approx 4,25$  m;  $2,5$  m).  
1.2.  $\approx 4,03$  m;  $2m$  və  $-3,5$  m;  $29^\circ$ .  
1.3.  $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$ ;  $c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$ .  
1.4.  $a_x = 0$ ,  $a_y = -8$ ;  $b_x = -3$ ,  $b_y = 4$ ;  $c_x = 0$ ,  
 $c_y = 6$ ;  $d_x = 9$ ,  $d_y = -7$ ;  $e_x = -4$ ,  $e_y = -3$ .  
1.5.  $3600$  m;  $0$ .  
1.6.  $12$  sm və  $\approx 11,06$  sm;  $24$  sm və  $16$  sm;  $36$  sm və  
 $\approx 11,06$  sm;  $48$  sm və  $0$  sm.  
1.7. M və O arabacıqları N arabacığına nəzərən sağ  
tərəfə hərəkət edir.  
1.8. M və O arabacıqları N arabacığına nəzərən  
sükunətdədir.  
1.9.  $\approx 11,7$  dəq;  $5$  km.  
1.11.  $90$  m;  $\approx 41,23$  m;  $8,246$  san.  
1.12.  $0$  m;  $180000$  m;  $0\text{ m/san}^2$ .  
1.13.  $20\text{ m/san}$ ;  $36$  km.  
1.15. hərəkətin eksinə;  $\approx 0,17\text{ m/san}^2$ .  
1.16.  $v_1 = 10\frac{\text{m}}{\text{san}}$ ,  $v_2 = 20\frac{\text{m}}{\text{san}}$ ,  $v_3 = 20\frac{\text{m}}{\text{san}}$ ;  
 $v_{or} = 14\frac{\text{m}}{\text{san}}$ ;  $0\frac{\text{m}}{\text{san}^2}$ .  
1.17.  $50$  m;  $40$  m.  
1.19.  $10\frac{\text{m}}{\text{san}}$ ;  $2,5\frac{\text{rad}}{\text{san}}$ .  
1.20.  $\approx 6,7\frac{1}{\text{san}}$ .

### II fəsil

- 2.1.  $14$  N;  $2$  N.  
2.2.  $\approx 12$ ,  $16$  N;  $10$  N.  
2.3.  $0 - t_1$ ;  $t_3 - t_4$ ;  $t_5 - t_6$ .  
2.4. Zidd deyildir, baş verən hadisə ətalət  
hadisəsidir.  
2.5.  $1,875\text{ m/san}^2$ .  
2.6.  $216$  kN.  
2.7.  $14,4$  kN.  
2.8.  $4,5$  s.  
2.9.  $3\text{ m/san}^2$ ; yuxarı.  
2.10.  $2\text{ m/san}^2$ ;  $2$  kN;  $18\text{ kN}\cdot\text{san}$ ;  $261$  m.  
2.11.  $9$  dəfə artar.  
2.12.  $g_h = \frac{gR_{yer}^2}{(h+R_{yer})^2} = 0,61\frac{\text{m}}{\text{san}^2}$ .  
2.13.  $200\text{ kN/m}$ .  
2.14.  $40$  sm.  
2.15.  $\approx 60$  sm;  $\approx 66,7\text{ N/m}$ .  
2.16.  $90$  N.  
2.17.  $l_t = 87,5$  m – avtomobil sürüünü vurmayaçaq.  
2.18.  $\approx 13 \cdot 10^5\text{ m/san}$ .  
2.19.  $2\text{ m/san}^2$ ;  $25$  kq.  
2.20.  $400$  N;  $1200$  N.

### III fəsil

- 3.1.  $0,1$  m/san.  
3.2.  $0,75$  m/san.  
3.3.  $400$  m/san.  
3.4.  $1,6$  m/san.  
3.5.  $144$ C.  
3.6.  $100$  N.  
3.7.  $-5$ C;  $5$ C;  $0$ .  
3.8. Xeyr.  
3.9.  $E_{k1} = 25$ C;  $E_{k2} = 0$  C.  
3.10.  $4$  dəfə artar.  
3.11.  $2,5$  sm.  
3.12.  $A = \frac{m}{2} (v_2^2 - v_1^2) = -80$ C.  
3.13.  $0,02$ C.  
3.14. Kinetik enerji azalar, potensial enerji  
artar.  
3.15. Kinetik enerji artar, potensial enerji  
azalar.  
3.16.  $3,75$  kq.  
3.17.  $2$  kq,  $40$  m/san.  
3.18.  $11,25$  m;  $28,125$  C.  
3.19.  $18\text{ m/san}$ .  
3.20.  $10$  m.

### IV fəsil

- 4.1.  $0,5$  san.  
4.2.  $20$  A.  
4.3.  $1,5$  Hs;  $\approx 0,67$  san;  $9$  Hs.  
4.4.  $100$  rəqs;  $5$  Hs;  $30$  Hs.  
4.5.  $a = -3,2\pi^2$ .  
4.6.  $x = 0,2 \sin 12t$ .  
4.7.  $14,4$  N/m.  
4.8.  $0,75$  san.  
4.9.  $2,45$  mm.  
4.10.  $x = 0,05 \cos(15t + 0,75)$ m.  
4.11.  $4,5$  m;  $2$  Hs.  
4.12.  $\frac{3}{4}\pi$ .  
4.13.  $0,1875$  m/san.  
4.14.  $0,0075\text{ m/san}^2$ .  
4.15.  $12\text{ m/san}^2$ .  
4.16.  $16$  m.  
4.17.  $12$  m;  $0,05$  san;  $20$  Hs.  
4.18.  $11$  m.  
4.19.  $8$  m.  
4.20.  $2$  Hs.

**V fəsil**

- 5.1.  $\approx 29$  il.  
 5.2.  $\approx 0,92 \cdot c.$   
 5.3.  $\approx 41$  yaşında.  
 5.4.  $\approx 1,3$  m.  
 5.5. Eninə ölçüsü dəyişmir, uzunluğu  $2m$  qısalır.  
 5.6.  $9 \cdot 10^{-31} kq.$   
 5.7.  $10,251 \cdot 10^{-11} C.$   
 5.8.  $25,5 \cdot 10^{-11} C.$   
 5.9.  $0,6 \cdot 10^9 ton.$   
 5.10.  $c.$

**VI fəsil**

- 6.1.  $1,2 \cdot 10^{24}$ .  
 6.2.  $5 mol.$   
 6.3.  $3,3 \cdot 10^{-27} kq; 5,3 \cdot 10^{-26} kq.$   
 6.4.  $M = 0,16 \frac{kq}{mol}; m_0 = 2,7 \cdot 10^{-25} kq.$   
 6.5.  $2,3 \cdot 10^{25} m^{-3}$ .  
 6.6.  $5,6 \cdot 10^{-21} C.$   
 6.7. Birinci halda, bəli. İkinci halda – qapalıdır, lakin izolədilmiş deyil.  
 6.8. Xeyr, əvvəlcə cisimlər ilə otaq arasında istilik mübadiləsi baş verir. Bəli, qasıqların temperaturu otağın temperaturuna bərabər olduqda deyilir ki, onlar arasında istilik tarazlığı yaranmışdır.  
 6.9. Xeyr, sitem istilik tarazlığında deyildir.  
 6.10.  $927^\circ C$ .  
 6.11. 647 K-dan yüksək temperaturlarda.  
 6.12. 150K temperaturunda – maye, 190K-da – qaz.  
 6.13.  $1 \rightarrow 6$  hissəsi izotermik sıxılmaya,  $1 \rightarrow 3$  hissəsi izotermik genişlənməyə uyğundur.  
 6.14.  $1 \rightarrow 2$  hissəsi izoxorik soyumaya,  $1 \rightarrow 5$  hissəsi izoxorik qızızmaya uyğundur.  
 6.15. DA hissəsi.  
 6.16.  $6 \cdot 10^{-3} m^3$ .  
 6.17.  $3 \cdot 10^{-3} m^3$ .  
 6.18. 0,7 dəfə artmışdır.  
 6.19.  $5 \frac{kq}{m^3}$ .  
 6.20. 840 Pa.  
 6.21.  $13 \frac{q}{m^3}$ .  
 6.22. 180kC.  
 6.23. 0,25 mm.  
 6.24.  $10,8 mm^3$ .  
 6.25. 0,0438 q.  
 6.26.  $\sigma_{yag} = 15,57 \frac{mN}{m}$ .  
 6.27. Fiziki xassəsinin müxtəlif istiqamətlərdə müxtəlifliyi ilə.  
 6.28. Tərəfləri arasındaki bucaqların sayına və formasına görə.

**VII fəsil**

- 7.1. 20K.  
 7.2. 10kC.  
 7.3.  $5 \cdot 10^5 Pa$ .  
 7.4.  $20kC$  azalmışdır.  
 7.5. 1 – 2 hissəsində 3 dəfə artmışdır  
       2 – 3 hissəsində dəyişməyib.  
 7.6. 1 – 2 hissəsində dəyişməyib;  
       2 – 3 hissəsində 3 dəfə artmışdır.  
 7.7.  $2p_0V_0$ .  
 7.8.  $U = \frac{3}{2} pV; \Delta U = U_c - U_a =$   
        $= \frac{3}{2} (4p_0V_0 - p_0V_0) = \frac{9}{2} p_0V_0$ .  
 7.9. a)  $3kC$  artdı; b)  $2,4 mol$ .  
 7.10.  $0,3kC$ .

Çap  
üçün  
deyil

*Mənbələr*

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. Ümimi fizika kursu, 2 cilddə. 1-ci cild, Mexanika, Bakı, Qafqaz Universiteti, 2007, 408 s.
5. Qocayev N.M. Ümimi fizika kursu, 2 cilddə. 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.