

M.M.ZƏRBƏLİYEV

Ə.B.NAĞIYEV

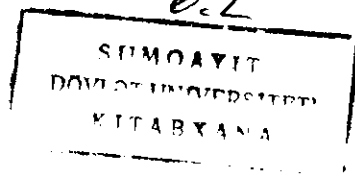
N.S.SƏRDAROVA

# FİZİKA MƏSƏLƏLƏRİ

(Mexanika və molekulyar fizika)

Dərs vəsaiti

Dərs vəsaitinin nəşrinə Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyinin 13.07.2011-ci il tarixli 1355 sayılı əmri ilə icazə verilmişdir.



Sumqayıt – 2011

530  
Z51

407

**Elmi redaktoru:** dos. E.H.Məmmədov  
**Rəy verənlər:** f.r.e.d. Y.Q.Nurullayev  
dos. M.M.Qurbanov  
dos. S.C.Məmmədov

**Zərbəliyev M.M., Nağıyev Ə.B., Sərdarova N.S.**  
**FİZİKA MƏSƏLƏLƏRİ. Dərs vəsaiti. Sumqayıt,**  
**2011, 168 səh.**

Dərs vəsaiti Ali məktəblərin TEMPUS proqramı əsasında bakalavr pilləsində, eləcə də digər mühəndis ixtisasları üzrə təhsil alan tələbələr üçün nəzərdə tutulmuşdur. Vəsaitdən magistrantlar, aspirantlar və uyğun ixtisas sahəsində müstəqil çalışanlar da istifadə edə bilərlər.

© Sumqayıt Dövlət Universiteti Nəşriyyatı, 2011

# MÜNDƏRİCAT

## Giriş

### Mexanikanın fiziki əsasları

§ 1. Kinematika.....	4
§ 2. Dinamika.....	21
§ 3. Mexaniki iş, güc. Mexaniki enerji.....	35
§ 4. Bərk cismin fırlanma hərəkəti.....	46
§ 5. Mexaniki rəqslər və dalğalar.....	58
§ 6. Maye və qazların mexanikası.....	71

### Molekulyar fizika və termodinamika

§ 7. Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin fiziki əsasları.....	92
§ 8. Termodinamikanın qanunları.....	108
§ 9. Real qazlar. Doymuş buxar və mayələr.....	122
§ 10. Bərk cisimlər.....	135

# I Fəsil. MEXANİKANIN FİZİKİ ƏSASLARI

## §1. Kinematika

• nöqtənin (bərk cismin kütlə mərkəzinin)  $x$  oxu boyunca kinematik hərəkət tənliyi  $x = f(t)$  şəklindədir.

• orta sürət:  $\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

• yola görə orta sürət  $\langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ , burada  $\Delta s$  - nöqtənin  $\Delta t$  zaman intervalında getdiyi yoldur.  $\Delta s$  - yolu  $\Delta x = x_2 - x_1$  koordinat fərqindən fərqli olaraq azalmır və mənfi qiymət almır, başqa sözlə  $\Delta s > 0$ .

• ani sürət  $v_x = \frac{dx}{dt}$

• orta təcil  $\bar{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$

• ani təcil  $a(x) = \frac{dv_x}{dt}$

• maddi nöqtənin çevrə üzrə kinematik tənliyi  
 $\varphi = f(t)$ ,  $r = R = const$

• bucaq sürəti  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$

• bucaq təcili  $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$

• nöqtənin çevrə üzrə hərəkətini xarakterizə edən xətti və bucaq kəmiyyətləri arasında əlaqə

$$v = \omega R, a_r = \varepsilon R, a_n = \omega^2 R$$

$v$  - xətti sürət;  $a_r$  və  $a_n$  - tangensial və normal təcillərdir;

$\omega$  - bucaq sürəti;  $\varepsilon$  - bucaq təcili;  $R$  - çevrənin radiusu

• tam təcil:  $a = \sqrt{a_n^2 + a_r^2}$  və ya  $a = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$

- $a$  - tam təcili və  $a_n$  - normal təcilləri arasındakı bucaq  $\alpha = \arccos(a_n / a)$ .

### Məsələ №1

Maddi nöqtənin  $OX$  boyunca hərəkət tənliyi  $x = A + Bt + Ct^3$  şəklindədir, harada,  $A=2m$ ,  $B=1m/s$ ,  $C=-0,5m/s^3$ ,  $t=2san$  anında nöqtənin koordinatı  $x$ , sürəti  $v$  və təcilini  $a$  tapmalı.

### Həlli

$A, B, C$  əmsallarının və zamanın qiymətlərini hərəkət tənliyində nəzərə alsaq

$$x = 2 + 1 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2^3 = 0$$

Ani sürət koordinatdan zamana görə birinci tərtib törəməsi olduğundan  $v = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2$  yazıla bilər.

Nöqtənin təcilini tapmaq üçün sürətdən birinci tərtib törəmə alaraq  $a = \frac{dv}{dt} = 6Ct$ .

$t = 2san$  olduğundan,  $v = (1 - 3 \cdot 0,5 \cdot 2^2)m/s = -5m/s$  ;  
 $a = 6(-0,5) \cdot 2m/s^2 = -6m/s^2$  olur.

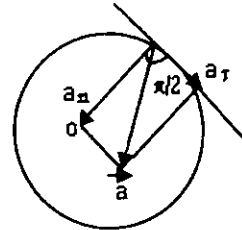
### Məsələ №2

Cisim tərپənməz ox ətrafında  $\varphi = A + Bt + Ct^2$  qanunu üzrə hərəkət edir,  $A=10rad$ ,  $B=20\frac{rad}{s}$ ,  $C=-2\frac{rad}{s^2}$ .  $t=4san$  anında fırlanma oxundan  $r=0,1m$  məsafədə olan nöqtənin tam təcilini tapmalı.

### Həlli

Əyri xətt üzrə hərəkət edən nöqtənin tam təcilini tapmaq üçün  $\vec{a}_r$  - tangensial təcili ilə  $\vec{a}_n$  - normal təcilini (şəkil 1) toplamaq lazımdır.

$$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_n$$



Şəkil 1

$\vec{a}_r$  və  $\vec{a}_n$  vektorları qarşılıqlı perpendikulyar olduğundan, tam təcilin modulu üçün  $a = \sqrt{a_r^2 + a_n^2}$  (1) ifadəsini yaza bilərik. Fırlanan cismin tangensial və normal təciləri uyğun olaraq  $a_r = \varepsilon r$ ,  $a_n = \omega^2 r$  (2) ifadələri ilə təyin etmək olar. Burada  $\omega$  - cismin bucaq sürəti,  $\varepsilon$  - isə bucaq təcildir.  $a_r$  və  $a_n$ -in ifadələrini (1) düsturunda nəzərə alsaq

$$a = \sqrt{\varepsilon^2 r^2 + \omega^4 r^2} = r \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4} \quad (2)$$

$\omega$  - bucaq sürətini tapmaq üçün dönmə bucağından zamana görə birinci tərtib törəmə ala

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2Ct$$

$$t = 4 \text{ san} \text{ anında bucaq sürəti } \omega = [20 + 2(-2)4] \text{ rad/san} = 4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Bucaq təcilini tapmaq üçün bucaq sürətindən zamana görə törəmə

$$\text{alaq: } \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = 2C = -4 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}. \quad \omega, \varepsilon \text{ və } r \text{ -i (2) ifadəsində nəzərə}$$

$$\text{alsaq } a = 0,1 \sqrt{(-4)^2 + 4^4} \text{ m/s}^2 \cong 1,65 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

### Məsələ №3

Daş 30 m/san başlanğıc sürətilə şaquli istiqamətdə yuxarı atılır. Neçə saniyədən sonra daş 25 və 60 m yüksəklikdə (havanın müqaviməti nəzərə alınmır) olar?

Verilir:

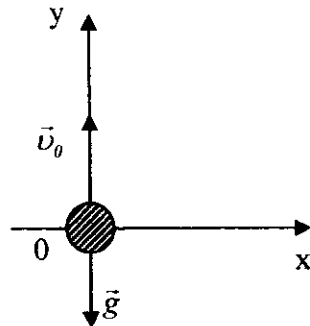
$$v_0 = 30 \text{ m/s}$$

$$h_1 = 25 \text{ m}$$

$$h_2 = 60 \text{ m}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$t_1, t_2, t_{\max}$  tapmalı



Şəkil 2

**Həlli:** Daşın ən yüksək hündürlüyə qalxma zamanını təyin edək. Trayektoriyanın son nöqtəsində daşın sürəti sıfıra bərabər olduğundan son sürət düsturundan

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t = 0 \quad (1)$$

alırıq.

$\vec{v}_0$  və  $\vec{g}$  vektorlarının hər ikisi  $y$  oxu boyunca, amma əks istiqamətlərə yönəldiyindən ən yüksək hündürlüyə qalxma zamanı (1) tənliyindən aşağıdakı kimi təyin oluna bilər (şəkil 1):

$$t = \frac{v_0}{g}$$

$h_1$  yüksəkliyə qalxma müddətini bərabəryavaşyan hərəkət tənliyindən tapmaq olar.

$$h_1 = v_0 t_1 - \frac{g t_1^2}{2} \Rightarrow g t_1^2 - 2 v_0 t_1 + 2 h_1 = 0 \quad (2)$$

Uyğun olaraq, daşın neçə saniyədən sonra  $h_2$  yüksəkliyə çatacağı

$$g t_2^2 - 2 v_0 t_2 + 2 h_2 = 0$$

tənliyindən tapıla bilər.

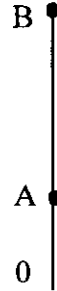
Ən yüksək qalxma hündürlüyü

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

düsturu ilə hesablanır.

Nəticədə ən yüksək hündürlüyə qalxma zamanı üçün  $t = 3$  s,  $h_{max} = 45$  m alınır.  $t_1$  üçün 1 san, 5 s,  $t_2$  üçün isə xəvali kök alınır.

$t_1$  zamanı üçün alınmış iki cavab daşın yuxarı qalxarkən və aşağı düşərkən trayektoriyanın eyni bir A aralıq nöqtəsindən iki dəfə keçməsi ilə əlaqədardır. Şəkil 3-də B nöqtəsi, trayektoriyanın ən yüksək nöqtəsi, A nöqtəsi isə 25 m-ə uyğun nöqtə olarsa, onda aldığımız nəticəyə görə daş yuxarı qalxarkən OA məsafəsini



Şəkil 3

1 saniyəyə keçərək  $t = 1 + 2 = 3$  saniyədə trayektoriyanın ən

yüksək  $B$  nöqtəsinə çatır. Sonra geri qayıdan daş daha 2 saniyə sonra yenidən əks istiqamətdə  $A$  nöqtəsindən keçir ki, buna da uyğun zaman  $t_1'' = t_1' + 2 + 2 = t + 2 = 3 + 2 = 5$  saniyədir.

$t_2$  üçün xəyali kökün alınması onunla izah olunur ki, verilən başlanğıc sürət ilə yuxarı atılmış daş ən yüksək  $h_{max} = 45$  m yüksəkliyə qalxa bilər. Deməli, baxılan şərtlər daxilində daş ümumiyyətlə 60 m yüksəkliyə heç cür qalxa bilməz.

#### Məsələ №4

Daş  $v_x = 15$  m/s başlanğıc sürətlə üfüqi istiqamətdə atılmışdır. Havanın müqavimətini nəzərə almadan, atıldıqdan  $2$  s sonra daşın normal və tangensial təcillərini, yerdəyişməsini və sürətini tapmalı.

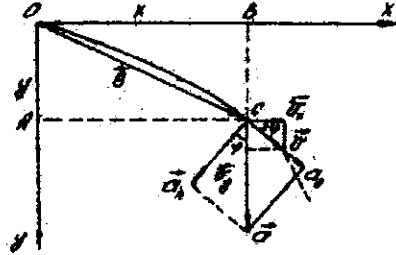
**Verilir:**

$$v_x = 15 \text{ m/s}$$

$$g = 10 \text{ m/s}$$

$$t = 2 \text{ s}$$

$a_n, a_t, s$  və  $v$ -ni tapmalı.



Şəkil 4

**Həlli:** Havanın müqaviməti nəzərə alınmadığından sürətin üfüqi istiqamətdəki toplananı sabitdir, ona görə də tam təcildə şaquli istiqamətdə aşağı yönəlib, ağırlıq qüvvəsi təcilinə bərabərdir.

Şəkildən görüldüyü kimi

$$a = g = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} \quad (1)$$

Uyğun üçbucaqlardan alırıq

$$\cos \varphi = \frac{v_x}{v} = \frac{a_n}{a} = \frac{a_n}{g} \quad (2)$$

$$\sin \varphi = \frac{v_y}{v} = \frac{a_t}{a} = \frac{a_t}{g} \quad (3)$$



(2) və (3) tənliklərindən

$$a_n = g \frac{v_x}{v} \quad (4)$$

$$a_t = g \frac{v_y}{v} \quad (5)$$

$y$  oxu istiqamətində hərəkət başlanğıc sürətsiz,  $g$  təcilli olduğundan

$$v_y = g t \quad (6)$$

və

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 \Rightarrow v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_x^2 + g^2 t^2} \quad (7)$$

kimi təyin olunduğundan

$$a_n = \frac{g v_x}{\sqrt{v_x^2 + g^2 t^2}}; \quad (8)$$

$$a_t = \frac{g^2 t}{\sqrt{v_x^2 + g^2 t^2}} \quad (9)$$

Daşın  $t$  zaman müddətində yerdəyişməsi şəkildə  $\vec{S}$  vektoru ilə göstərilmişdir və aşağıdakı ifadə ilə hesablanı bilər:

$$S = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(v_x t)^2 + \left(\frac{g t^2}{2}\right)^2}. \quad (10)$$

Nəticədə  $a_n = 6 \text{ m/s}$ ;  $a_t = 8 \text{ m/s}^2$ ;  $v = 25 \text{ m/s}$ ;  $S = 36 \text{ m}$  alırıq.

### Məsələ №5

Cisim 12 m hündürlükdən üfqlə  $30^\circ$  bucaq altında 12 m/s başlanğıc sürətilə yuxarı atılmışdır.  $A$  və  $B$  nöqtələrinə qədər daşın uçuş müddətini, ən yüksək qalxma hündürlüyünü, düşmə nöqtəsinə qədər olan məsafəni, həmçinin düşmə anında, sürətini və düşmə bucağını, tangensial və normal təcilləri, trayektoriyanın əyrilik radiusunu tapmalı (havanın müqavimətini nəzərə almamalı).

**Verilir:**

$$M = 12 \text{ m}$$

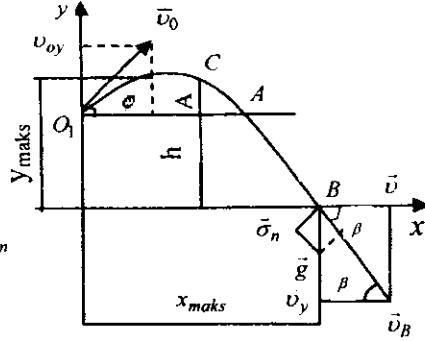
$$\varphi = 30^\circ$$

$$v_0 = 12 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$t_A, t_B, Y_{\max}, X_{\max}, v_B, \beta, a_\tau, a_n$$

və  $R$ -i tapmalı.



Şəkil 5

**Həlli:** Şəkil 5-ə əsasən başlanğıc sürətin koordinatları üçün

$$v_{0x} = v_0 \cos \varphi \quad (1)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \varphi - gt \quad (2)$$

$$y = H + v_0 t \sin \varphi - \frac{gt^2}{2} \quad (3)$$

$$x = v_0 t \cos \varphi \quad (4)$$

Ən yüksək qalxmə nöqtəsində  $v_{0y} = 0$  olduğundan

$$v_0 \sin \varphi - gt_n = 0 \Rightarrow t_n = \frac{v_0 \sin \varphi}{g} \quad (5)$$

Cisim trayektoriyanın  $O_1C$  və  $CA$  hissələrini bərabər zaman müddətində qət etdiyindən  $O_1$  nöqtəsindən  $A$  nöqtəsinə uçuş müddəti

$$t_A = 2t_n = \frac{2v_0 \sin \varphi}{g} \quad (6)$$

olar. (5) tənliyindən  $t_n$ -in ifadəsini (3) tənliyində nəzərə alsaq ən yüksək qalxmə hündürlüyü üçün

$$y_{\max} = H + \frac{v_0^2 \sin^2 \varphi}{2g} \quad (7)$$

alırıq. (3) tənliyində « $y$ » koordinatını sıfır bərabər götürsək ( $y=0$ )  $B$  nöqtəsinə qədər sərf olunan zamanı tapmaq olar.

$$\begin{aligned}
 H + v_0 t_B \sin \varphi - \frac{gt_B^2}{2} = 0 \Rightarrow t_B^2 - \frac{2v_0 \sin \varphi}{g} t_B - \frac{2H}{g} = \\
 = 0 \Rightarrow t_B = \frac{v_0 \sin \varphi}{g} + \sqrt{\left(\frac{v_0 \sin \varphi}{g}\right)^2 + \frac{2H}{g}} \quad (8)
 \end{aligned}$$

Uçuş məsafəsini (4) tənliyində  $t = t_B$  götürməklə tapmaq olar.

$$X_{max} = v_0 t_B \cos \varphi \quad (9)$$

$B$  nöqtəsində tam sürət

$$v_B = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \varphi + v_y^2}.$$

$B$  nöqtəsində  $v_y$  toplananını (2) düsturunda,  $t$  zamanını (8) tənliyindən  $t_B$  ilə əvəz etməklə tapmaq olar.

$$\begin{aligned}
 v_{yB} = v_0 \sin \varphi - gt_B = \sqrt{v_0^2 \sin^2 \varphi + 2gH}. \\
 v_B = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \varphi + v_0^2 \sin^2 \varphi + 2gH} = \sqrt{v_0^2 + 2gH}. \quad (10)
 \end{aligned}$$

$B$  nöqtəsindəki sürət diaqramından  $\beta$  bucağını tapırıq:

$$\sin \beta = \frac{v_{yB}}{v_B} = \frac{\sqrt{(v_0 \sin \varphi)^2 + 2gH}}{\sqrt{v_0^2 + 2gH}} \quad (11)$$

$$\beta = \arcsin \frac{\sqrt{(v_0 \sin \varphi)^2 + 2gH}}{v_0^2 + 2gH} \quad (12)$$

$B$  nöqtəsindəki təcil diaqramından isə  $a_t$  -tangensial,  $a_n$  - normal təcillərini və düşən anda  $R$  əyrilik radiusunu tapırıq:

$$a_t = g \sin \beta = \frac{g v_{yB}}{v_B} = \sqrt{\frac{g^2 (v_0^2 \sin^2 \varphi + 2gH)}{v_0^2 + 2gH}} \quad (13)$$

$$a_n = g \cos \beta = \frac{g v_{0x}}{v_B} = \frac{g v_0 \cos \varphi}{\sqrt{v_0^2 + 2gH}}. \quad (14)$$

$$a_n = \frac{v_0^2}{R} \Rightarrow R = \frac{v_B^2}{a_n}. \quad (15)$$

Nəticədə  $t_A = 1,22 \text{ s}$ ;  $t_B = 2,29 \text{ s}$ ;  $Y_{\max} = 13,64 \text{ m}$ ;

$X_{\max} = 23,8 \text{ m}$ ;  $v_B = 19,5 \text{ m/s}$ ;  $B = 5740$ ;

$a_r = 8,3 \text{ m/s}^2$ ;  $a_n = 5,25 \text{ m/s}^2$ ;  $R = 72,5 \text{ m}$

alırıq.

### Məsələ №6

Sabit  $n_0 = 10$  <sup>dövr/s</sup> ~~dövr/s~~ tezliyi ilə fırlanan nazimçarx tormozlanaraq bərabərazalan fırlanma hərəkəti etməyə başlayır. Tormozlayıcı qüvvənin təsiri kəsildikdən sonra nazimçarx  $n = 6$  <sup>dövr/s</sup> ~~dövr/s~~ tezliyi ilə yenidən bərabərsürətlə fırlanmaqda davam edir. Nazimçarxın  $N=50$  dövr etdiyini bilərək bərabəryavaşayan hərəkət vaxtı  $\varepsilon$  bucaq təcilini və  $t$  tormozlanma müddətini təyin edin.

**Verilir:**

$$n_0 = 10 \text{ dövr/s}$$

$$n = 6 \text{ dövr/s}$$

$$N = 50 \text{ dövr}$$

$\varepsilon, t$ -ni tapmalı

**Həlli:** Bildiyimiz kimi düzxətli dəyişən sürətli hərəkət tənlikləri ilə çevrə boyunca dəyişən sürətli hərəkət tənlikləri birbirinə oxşardır:

$$\bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \qquad \bar{\omega} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \qquad (1)$$

$$v = \frac{dS}{dt} \qquad \omega = \frac{d\varphi}{dt} \qquad (2)$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad \bar{\varepsilon} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \qquad (3)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2} \qquad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \qquad (4)$$

Bu oxşarlıq düzxətli bərabər dəyişən hərəkət tənlikləri ilə çevrə boyunca bərabər dəyişən hərəkət tənliklərində də mövcuddur:

$$S = v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \quad \varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad (5)$$

$$v = v_0 \pm at \quad \omega = \omega_0 \pm \varepsilon \quad (6)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2aS \quad \omega^2 - \omega_0^2 = 2\varepsilon\varphi \quad (7)$$

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2} \quad \bar{\omega} = \frac{\omega_0 + \omega}{2} \quad (8)$$

kimi oxşar tənliklər yazmaq olar.

(7) tənliyi vasitəsilə  $\varepsilon$  bucaq təcilini, (8) və (1) tənliklərindən isə tormozlanma müddətini aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

(7) tənliyindən  $\omega^2 - \omega_0^2 = 2\varepsilon\varphi$  olduğundan

$$\varepsilon = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varphi} \quad (9)$$

Digər tərəfdən  $\varphi = 2\pi N$ ,  $\omega = 2\pi n$  olduğundan onda bu ifadələri (9) tənliyində nəzərə alsaq,

$$\varepsilon = \frac{4\pi^2 n^2 - 4\pi^2 n_0^2}{2 \cdot 2\pi N} = \frac{\pi(n^2 - n_0^2)}{N}, \quad (10)$$

$$\varphi = \bar{\omega}t \quad \text{və ya} \quad \varphi = \frac{\omega_0 + \omega}{2} t = \pi(n_0 + n)t.$$

Buradan

$$t = \frac{\varphi}{\pi(n_0 + n)} = \frac{2N}{n_0 + n}. \quad (11)$$

Nəticədə  $\varepsilon = -4,02 \text{ rad/s}^2$ ;  $t = 6,25 \text{ s}$  (mənfi işarəsi hərəkətin yavaşayan olduğunu göstərir) olar.

#### Məsələ №7

Avtomobil hərəkət edərkən sərf etdiyi zamanın birinci yarısını 60 km/saat, ikinci yarısını isə 30 km/saat sürətlə getmişdir. Avtomobilin hərəkətinin orta sürəti nə qədərdir?

#### Məsələ №8

Avtomobil öz hərəkəti zamanı getdiyi yolun birinci yarısını 80 km/saat, ikinci yarısını 40 km/saat sürətlə getmişdir. Avtomobilin hərəkətinin orta sürətini təyin edin.

### Məsələ №9

Təyyarə A məntəqəsindən B məntəqəsinə şimala doğru 300 km uçuş müddətini təyin edin, əgər: 1) külək yoxdursa, 2) külək qərbdən şərqə doğru əsirsə, 3) külək cənubdan şimala doğru əsirsə. Küləyin sürəti  $v_1 = 20 \text{ m/s}$ , təyyarənin havadakı sürəti  $v_2 = 600 \text{ km/saat}$ .

### Məsələ №10

Qayıq sahilə perpendikulyar istiqamətdə 7,2 km/saat sürətilə hərəkət edir. Dalğa onu çayda 150 m aşağıya aparır. 1) çayın axma sürətini, 2) çayı keçmək üçün sərf olunan zamanı tapın: çayın eni 0,5 km.

### Məsələ №11

Cisim başlanğıc  $v_0=0$  sürətilə  $h=19,6$  m hündürlükdən şaquli istiqamətdə yerə düşür. Hərəkətinin ilk və son 0,1 san müddətində cisim hansı məsafəni qət edər? Havanın müqavimətini nəzərə almamalı.

### Məsələ №12

Qatar 36 km/saat sürətilə hərəkət edir. Əgər cərəyan kəsilə, onda qatar bərabəryavaşayan hərəkət edərək 20 s-dən sonra dayanır. Tapmalı: 1) qatarın əks istiqamətdə təcilini, 2) dayanacaqdan hansı məsafədə cərəyanı kəsmək lazımdır?

### Məsələ №13

Cismin getdiyi yolun zamandan asılılığı  $S=At-Bt^2+Ct^3$  şəklindədir. Burada,  $A=2 \text{ m/s}$ ,  $B=3 \text{ m/s}^2$ ,  $C=4 \text{ m/s}^3$ . 1) sürət və təcilin zamandan asılılığı; 2)  $t=2$  saniyədən sonra cismin getdiyi yolu, sürətini və təcilini tapmalı.

### Məsələ №14

Cismin getdiyi yolun zamandan asılılığı  $S=A+Bt+Ct^2+Dt^3$  şəklindədir. Burada  $C=0,14 \text{ m/s}^2$ ,  $D=0,01 \text{ m/s}^2$ . 1) hərəkətə başlayandan neçə san sonra cismin təcili  $1 \text{ m/s}^2$  olar? 2) bu müddət ərzində cismin orta təcilini tapın.

### Məsələ №15

Cisim  $v_0 = 10 \text{ m/s}$  başlanğıc sürətilə  $\alpha = 45^\circ$  bucaq altında üfüqi istiqamətdə atılmışdır. Hərəkətə başlayandan 1 san sonra cismin cızdığı trayektoriyanın radiusunu tapın.

### Məsələ №16

Çarx, hərəkətə başlayandan 10 dövr etdikdən sonra  $\omega = 20 \text{ rad/s}$  bucaq sürətinə malik olmuşdur. Çarxın bucaq təcilini tapın.

### Məsələ №17

Radiusu 10 sm olan çarx  $\varepsilon = 3,14 \text{ rad/s}^2$  sabit bucaq təcili ilə fırlanır. Hərəkətə başlayandan 1 san sonra: 1) bucaq sürətini; 2) xətti sürəti, 3) tangensial təcili, 4) normal təcili, 5) tam təcili, 6) tam təcillə radius arasındakı bucağı təyin edin.

### Məsələ №18

Nöqtənin hərəkət tənliyi  $S = A + Bt + Ct^2$  şəklindədir.  $A = 3 \text{ m}$ ,  $B = -2 \text{ m/s}$ ,  $C = 1 \text{ m/s}^2$ -dir hərəkətə başlayandan 3 saniyə sonra nöqtənin hərəkət sürətini və tangensial təcilini tapmalı.

### Məsələ №19

Çarx  $\varepsilon = 2 \text{ rad/s}^2$  bucaq təcili ilə fırlanır. Hərəkətə başlayandan  $t = 0,5 \text{ s}$  sonra tam təcil  $a = 13,6 \text{ m/s}^2$  olmuşdur. Çarxın radiusunu təyin edin.

### Məsələ №20

Radiusu  $R = 10 \text{ sm}$  olan təkərin xətti sürəti zamandan asılı olaraq  $v = At + Bt^2$  qanunu ilə dəyişir.  $A = 3 \text{ m/s}^2$ ,  $B = 1 \text{ m/s}^3$ . hərəkətə başlayandan  $t = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \text{ s}$  keçdikdən sonra, tam təcillə radius arasında qalan bucaqları təyin edin.

### Məsələ №21

Daş  $H = 25 \text{ m}$  hündürlükdən üfüqi istiqamətdə  $v_0 = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  sürətilə atılmışdır. Havanın müqavimətini nəzərə almadan daşın nə qədər müddətdə hərəkətdə olduğunu və üfüqlə hansı bucaq altında yerə düşdüyünü tapmalı.

### Məsələ №22

Daş  $v_x = 15 \text{ m/s}$  başlanğıc sürətilə üfüqi istiqamətdə atılmışdır. Havanın müqavimətini nəzərə almadan, atıldıqdan 1 san sonra daşın normal və tangensial təcillərini, yerdəyişməsini və sürətini tapmalı.

### Məsələ №23

Cisim 12 m hündürlükdən üfqlə  $30^\circ$  bucaq altında 12m/s başlanğıc sürətilə yuxarı atılmışdır. Qalxma və düşmə nöqtələrinə qədər daşın uçuş müddətini, ən yüksək qalxma hündürlüyünü, düşmə nöqtəsinə qədər olan məsafəni, həmçinin düşmə anında, sürətini və düşmə bucağını tapmalı.

### Məsələ №24

Cisimin kerosindəki çəkisi sudaki çəkisindən 190 N artıqdır. Cisimin həcmi təyin edin.

### Məsələ №25

Cisim  $R = 0,2m$  radiuslu çevrə üzrə sabit  $0,05m/s^2$  tangensial təcillə hərəkət edir. Hərəkətə başlayandan nə qədər müddət sonra  $a_n$  normal təcili tangensial təcilə bərabər olacaq?

### Məsələ №26

Şaquli istiqamətdə yuxarı atılmış cisim 5 s sonra yerə düşür. Daşın ən yüksək qalxma hündürlüyünü və başlanğıc sürətini tapmalı (havanın müqavimətini nəzərə almamalı və  $g = 10 \frac{m}{s^2}$  götürməli).

### Məsələ №27

Sirk artisti topu yuxarı tullayır və top 4,9 m hündürlüyə çatıb dayandıqda ikinci topu atır. İkinci top atıldıqdan neçə saniyə sonra və hansı yüksəklikdə bu toplar görüşürlər (havanın müqavimətini nəzərə almamalı və  $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$  götürməli).

### Məsələ №28

Hündürlüyü 25 m olan qüllədən üfqi istiqamətdə 15m/s sürətilə daş atılır. Qüllənin dibindən daşın yerə düşdüyü nöqtəyə qədər olan məsafəni, daşın yerə düşmə sürətini tapmalı (havanın müqavimətini nəzərə almamalı).

### Məsələ №29

Daş 10 m/s başlanğıc sürətilə üfqlə  $40^\circ$  bucaq altında atılır. Daşın ən yüksək qalxma hündürlüyünü, düşmə nöqtəsindək olan məsafəni və uçuş müddətini tapmalı (havanın müqavimətini nəzərə almamalı).



### Məsələ №30

Sərnişinlə birlikdə liftin kütləsi 800 kq-dır. Hərəkət zamanı trosun gərilməsi birinci halda  $12 \cdot 10^3$  N, ikinci halda isə  $6 \cdot 10^3$  N olarsa, liftin hər iki halda hərəkət istiqamətini və təcilini tapmalı. ( $g = 10 \text{ m/s}^2$  götürməli)

### Məsələ №31

Şaquli istiqamətdə yuxarı qalxan raketin hərəkət təcili nə qədər olmalıdır ki, əlavə yüklənmə kosmonavtın öz çəkisindən 5 dəfədən çox olmasın?

### Məsələ №32

Üfüqi ox ətrafında fırlana bilən silindr üzərinə sap dolanmışdır. Sapın ucuna yük asılmışdır. Bərabəryeyinləşən hərəkət edən yük  $t=3$  san ərzində  $h=1,5$  m aşağı düşürsə, silindirin radiusunun  $r=4$  sm olduğunu bilərək onun  $\varepsilon$  bucaq təcilini tapmalı.

### Məsələ №33

Üfüqi istiqamətdə atılmış daş 0,5 saniyədən sonra atıldığı yerdən 5 m məsafədə yerə düşmüşdür. Daş hansı  $h$  hündürlüyündən atılmışdır ( $g=10 \text{ m/s}^2$ )

### Məsələ №34

Üfüqi istiqamətdə atılmış daş 0,5 saniyədən sonra atıldığı yerdən 5 m məsafədə yerə düşmüşdür. Daş hansı  $v_0$  başlanğıc sürəti ilə atılmışdır.

### Məsələ №35

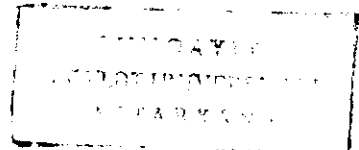
Üfüqi istiqamətdə atılmış daş 0,5 saniyədən sonra atıldığı yerdən 5 m məsafədə yerə düşmüşdür. Daş hansı sürətlə yerə düşmüşdür?

### Məsələ №36

Radiusu 10 sm olan təkər sabit  $\beta=3,14 \text{ rad/s}^2$  bucaq təcili ilə fırlanır. Hərəkətə başlayandan 1 saniyə sonra təkərin bucaq sürətini tapmalı.

### Məsələ №37

Radiusu  $R=10$  sm olan təkər  $\beta=3,14 \text{ rad/s}^2$  bucaq təcili ilə fırlanır. Hərəkətə başlayandan 1 saniyə sonra normal təcili tapmalı.



### Məsələ №38

Nöqtə çevrə boyunca elə hərəkət edir ki, yolun zamandan asılılığı  $S=A+BT+Ct^2$  tənliyi üzrə baş verir,  $B=-2$  m/s;  $C=1$  m/s<sup>2</sup> olarsa tangensial təcili tapmalı.

### Məsələ №39

Gedilən yolun zamandan asılılıq tənliyi  $S=At-Bt^2+Ct^3$  şəklindədir.  $A=2$  m/s;  $B=3$  m/s<sup>2</sup>;  $C=4$  m/s<sup>3</sup>. Sürətin zamandan asılılığını tapmalı.

### Məsələ №40

Gedilən yolun zamandan asılılıq tənliyi  $S=At-Bt^2+Ct^3$  şəklindədir.  $A=2$  m/s;  $B=3$  m/s<sup>2</sup>;  $C=4$  m/s<sup>3</sup>.  $a$  - təcilin zamandan asılılığını tapmalı.

### Məsələ №41

Gedilən yolun zamandan asılılıq tənliyi  $S=At-Bt^2-Ct^3$  şəklindədir.  $A=2\frac{m}{s}$ ;  $B=3\frac{m}{s^2}$ ;  $C=4\frac{m}{s^3}$ . Hərəkətə başlayandan 2 san sonra cismin əldə etdiyi sürəti tapmalı.

### Məsələ №42

Radiusu 20sm olan təkər sabit  $\epsilon=3,14$  rad/s<sup>2</sup> bucaq təcili ilə fırlanır. Hərəkətə başlayandan 2 saniyə sonra bucaq sürətini tapmalı. ( $\pi\approx 3$ )

### Məsələ №43

Radiusu 20sm olan təkər sabit  $\epsilon=3,14$  rad/s<sup>2</sup> bucaq təcili ilə fırlanır. Hərəkətə başlayandan 2 saniyə sonra xətti sürəti tapmalı. ( $\pi\approx 3$ )

### Məsələ №44

2 qatar  $v_1=36$  km/saat və  $v_2=54$  km/saat sürətlə qarşı-qarşıya hərəkət edir. 1-ci qatardakı sərnəşin 2-ci qatarın onun yanından  $t=6$  saniyəyə keçdiyini müşahidə etmişdir. 2-ci qatarın uzunluğu nə qədərdir?

### Məsələ №45

Uzunluğu  $\ell=300$  m olan teploxod, düz istiqamətdə durğun suda  $v_1$  sürətilə hərəkət edir. Sürəti  $v_2=90$  km/saat olan qayıq hərəkət edən teploxodun arxa tərəfindən burun hissəsinə və geriye  $t=37,5$  s müddətinə hərəkət edir. Teploxodun  $v_1$  sürətini tapmalı.

#### Məsələ №46

Birinci qatar S yolunun 1-ci yarısını  $v_1=80$  km/saat, 2-ci yarısını isə  $v_1^1=40$  km/saat sürətilə getmişdir. İkinci qatar hərəkət müddətinin 1-ci yarısını  $v_1=80$  km/saat, 2-ci yarısını isə  $v_2=40$  km/saat sürətlə getmişdir. Hər 1 qatarın orta sürətini tapın.

#### Məsələ №47

Başlanğıc sürəti  $v_0=1$ m/s olan cisim, bərabərtəcillə hər hansı məsafəni qət edərək  $v=7$ m/s sürətini əldə etmişdir. Bu məsafənin yarısında cismin sürəti nə qədər olmuşdur?

#### Məsələ №48

Paraşütçü  $v=5$  m/s sürətilə aşağı düşür. Yerdən  $h=10$  m hündürlükdə paraşütçüdən əşya ayrılır. Paraşütçü əşyaya nisbətən yerə nə qədər gec düşmüşdür? Yəşyanın düşməsi zamanı havanın müqavimətini nəzərə almamalı. Sərbəstdüşmə təcilini  $g=10$  m/s<sup>2</sup> götürməli.

#### Məsələ №49

Cisim üfüqi istiqamətdə  $v_x=15$ m/s sürətilə atılmışdır. Hərəkətə başlayandan  $t=1$ s sonra cismin  $a_n$  normal və  $a_t$  tangensial təcillərini təyin edin.

#### Məsələ №50

Cisim üfüqə nəzərən  $\alpha=30^\circ$  bucaq altında  $v_0=14,7$ m/s sürətilə atılmışdır. Hərəkətə başlayandan  $t=1,25$ s sonra cismin  $a_n$  normal və  $a_t$  tangensial təcillərini təyin edin.

#### Məsələ №51

Nöqtənin hərəkət tənliyi  $\begin{cases} x=7+4t, \\ y=2+3t \end{cases}$  şəklindədir. Onun sürətini təyin edin.

#### Məsələ №52

Bərk cismin fırlanma hərəkətinin tənliyi  $\varphi=4t^3+3t$  şəklindədir. Hərəkətə başlayandan 2 saniyə sonra bucaq sürəti və bucaq təcilini tapmalı.

### Məsələ №53

Bərk cismin hərəkət tənliyi  $\varphi = 3t^2 + t$  şəklindədir. Hərəkətə başlayandan 10 saniyə sonra dövrlərin sayını və fırlanma periodunu tapmalı.

### Məsələ №54

Üfüqlə bucaq altında atılmış cismin başlanğıc sürəti 20m/s, qalxdığı hündürlük isə 10 m olmuşdur. Cismin hansı bucaq altında atıldığını müəyyən edin.

## §2. Dinamika

- Nyutonun ikinci qanunu  $d\vec{p} = \vec{F}dt$

$F$  - cismə təsir edən qüvvə

- Qüvvələr (mexanikada)

a) elastiki qüvvə  $F = kx$

$k$  - elastiklik əmsalındır (yay üçün sərtlik)

$x$  - mütləq deformasiya

b) ağırlıq qüvvəsi  $\vec{P} = m\vec{g}$

c) Qravitasiya qarşılıqlı təsir qüvvəsi  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ .

$G$  - qravitasiya sabiti;  $m_1$  və  $m_2$  qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin kütlələri.  $r$  - cisimlər arasındakı məsafədir (cisimlərə maddi nöqtə kimi baxılır). Qravitasiya qarşılıqlı təsiri zamanı qüvvəni qravitasiya sahəsinin intensivliyi  $g$  ilə də ifadə etmək olar

$$F = mg$$

d) sürtünmə qüvvəsi (sürüşmə)  $F = fN$

$f$  - sürtünmə əmsalı,  $N$  - normal təzyiq qüvvəsidir.

- impulsun saxlanma qanunu  $\sum_{i=1}^N P_i = const$ . İki cisim üçün ( $i = 2$ )

$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2$ . Burada  $v_1$  və  $v_2$  - cisimlərin başlanğıc anına uyğun sürətləri;

$u_1$  və  $u_2$  isə uyğun olaraq I və II cismin toqquşmadan sonrakı sürətləridir.

- mərkəzi elastiki toqquşma nəticəsində cisimlər müxtəlif sürətlərlə hərəkət edirlər. Zərbədən sonra birinci cismin zərbədən

sonrakı sürəti  $u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ , ikinci cismin sürəti isə

$u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$  ifadəsi ilə müəyyən edilir.

Qeyri-elastiki mərkəzi zərbə nəticəsində hər iki cisim eyni bir  

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$
 - sürəti ilə hərəkət edirlər.

### Məsələ №55

Bütöv disk formasında olan blokdan nazik ip aşırılmışdır. İpin uclarından kütlələri  $m_1 = 100q$  və  $m_2 = 200q$  olan yüklər asılmışdır. Blokun kütləsinin  $m = 80q$  olduğunu qəbul edərək yüklərin hərəkət təcilini təyin etməli. İpin kütləsini və sürtünməni nəzərə almamaq olar.

### Həlli

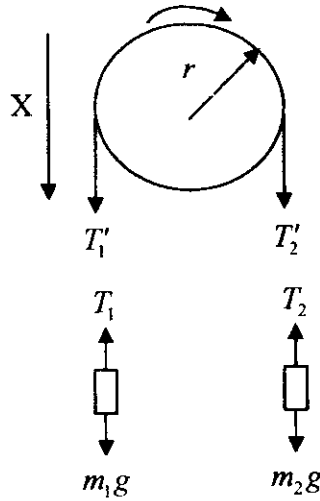
İrəliləmə və fırlanma hərəkəti dinamikasının əsas tənliklərindən istifadə edək. Bunun üçün hər bir yükə və blokə təsir edən ayrı-ayrı qüvvələri nəzərdən keçirək. Birinci cismə iki qüvvə təsir edir:  $m_1 g$  - ağırlıq qüvvəsi və ipin gərilmə qüvvəsi -  $T_1$ . Bu qüvvələrin  $x$  oxu boyunca proyeksiyalarını götürək və  $x$  oxunu şaquli aşağı yönəldək. Hərəkət tənliyini (Nyutonun ikinci qanununu) yazaq

$$m_1 g - T_1 = m_1 a \quad (1)$$

ikinci yükün hərəkət tənliyi isə  $m_2 g - T_2 = m_2 a$  (2)

(2) şəklində olar. İki qüvvə momentinin  $T_1 r$  və  $T_2 r$  - nin təsiri nəticəsində blok  $\varepsilon$  bucaq təcilini əldə etdiyi üçün fırlanma hərəkəti dinamikasının əsas tənliyinə əsasən yaza bilərik ki,  $T_2 r - T_1 r = J_z \varepsilon$  (3), burada  $\varepsilon = a / r$ ,

$$J_z = \frac{1}{2} m r^2$$
 - blokun ətələt momentidir. (  $z$  oxuna nəzərən).



Şəkil 6

Nyutonun III qanununa əsasən  $T_1' = T_1$ ,  $T_2' = T_2$  (3')

(3) ifadəsində (3')-i nəzərə alsaq

$(m_2g - m_2a)r - (m_1g + m_1a)r = \frac{mr^2a}{2r}$  ifadəsini alırıq. Bu ifadəni  $r$  -

ə ixtisar edib qruplaşdırsaq alırıq

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1 + m/2} g \quad (4)$$

ədədi qiymətləri (4)-də nəzərə alıb hesablamı aparsaq hərəkət təcili üçün

$$a = \frac{(200 - 100)q}{(200 + 100 + \frac{80}{2})q} \cdot 9,81 m/s^2 \cong 2,88 \frac{m}{s^2} \text{ alırıq.}$$

### Məsələ №56

Kəndirdən asılmış yükə 200 N qüvvə təsir etdikdə yük 2,2 m/san<sup>2</sup> təcillə qalxır. Həmin yükə 8,2 m/san<sup>2</sup> təcil verə bilən qüvvənin təsiri zamanı kəndir qırılır. Yükün kütləsini və qırılma anında kəndirin gərilməsini tapmalı.

**Verilir:**

$$F_1 = 200 \text{ N}$$

$$a_1 = 2,2 \text{ m/s}^2$$

$$a_2 = 8,2 \text{ m/s}^2$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$m$  və  $F_2$  -ni tapmalı.

**Həlli:** Şaquli istiqamətdə yuxarı hərəkət edən yükə iki qüvvə təsir edir (havanın <sup>mişəmə</sup> istiqamət nəzərə alınmır): şaquli istiqamətdə yuxarı yönəlmiş kəndirin gərilmə qüvvəsi və şaquli istiqamətdə aşağı yönəlmiş yükün çəkisi. Nyutonun ikinci qanunundan istifadə edərək hər iki qüvvənin daxil olduğu aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

$$\vec{F}_1 - P = m\vec{a}_1 \quad (1)$$

$$\vec{F}_2 - P = m\vec{a}_2 \quad (2)$$

Burada  $P$  – cismin çəkisi;  $\vec{F}_1$  – yük  $\vec{a}_1$  təcili ilə qaldırılan zaman kəndirin gərilməsi;  $\vec{F}_2$  isə qırılma anında kəndirin gərilməsidir.

Qüvvələr eyni bir düz xətt üzrə yönəldiklərindən onlar üzərindəki vektor işarəsini atmaq və  $P \cdot mg$ , yəni çəkini yükün kütləsi ilə sərbəstdüşmə təcilinin hasilini kimi ifadə edərək (1) və (2) tənliklərindən alırıq:

$$F_1 - mg = ma_1$$

$$F_2 - mg = ma_2$$

və nəhayət

$$F_1 = m(g + a_1) \quad (3)$$

$$F_2 = m(g + a_2) \quad (4)$$

(4) bərabərliyini (3) bərabərliyinə bölsək

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{g + a_2}{g + a_1} \quad (5)$$

olar və buradan qırılma anında kəndirin gərilməsi üçün

$$F_2 = F_1 \frac{g + a_2}{g + a_1} \quad (6)$$

alırıq. (3) tənliyindən isə yükün kütləsini tapırıq

$$m = \frac{F_1}{g + a_1} \quad (7)$$

Nəticədə  $m = 16,7 \text{ kq}$ ;  $F_2 = 300 \text{ N}$  alırıq.

### Məsələ №57

Stol üzərində (şəkil 7) kütlələri  $m_2 = 3 \text{ kq}$  və  $m_3 = 2 \text{ kq}$  olan iki yük onun səthinə paralel sapla bir-birinə bağlanmışlar.  $m_2$  yükünə bağlanmış və blokdan aşırılmış sapın digər ucundan  $m_1 = 2 \text{ kq}$  kütləli yük asılmışdır. Yüklərə sərbəstlik verilir. Hər iki aralıqda sapın gərilmə qüvvəsini, yüklər sisteminin hərəkət təcili ni tapın. Stol üzərindəki  $m_2$  və  $m_3$  yüklərinin stola sürtünmə əmsalları eyni olub  $k = 0,20$ -dir (blokun və sapın kütlələri, eləcə də blokdakı sürtünmə nəzərə alınmur).



**Verilir:**

$$m_1 = 2 \text{ kq}$$

$$m_2 = 3 \text{ kq}$$

$$m_3 = 2 \text{ kq}$$

$$k = 0,20$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$\vec{a}, \vec{T}_1$  və  $\vec{T}_2$  -ni tapmalı

**Həlli:**

Nyutonun ikinci qanunundan istifadə edərək hər bir yük üçün hərəkət tənliyini yazaq və onların birgə həllindən sistemin  $\vec{a}$  hərəkət təcilini və sapın gərilmə qüvvələrini  $\vec{T}_1$  və  $\vec{T}_2$  tapaq. Sadəlik üçün tənlikləri skalyar şəkildə yazaq.

Birinci yükə  $m_1 g$  ağırlıq qüvvəsi və sapın  $T_1$  gərilmə qüvvəsi təsir edir. Onların əvəzləyicisi  $m_1$  yükünə  $\vec{a}$  təcilini verir.

$$R_{1y} = m_1 g - T_1 = m_1 a \Rightarrow T_1 = m_1 g - m_1 a = m_1 (g - a).$$

İkinci yükə  $m_2 g$  ağırlıq qüvvəsi və stolun reaksiya qüvvəsi  $\vec{Q}_2$  təsir edir. Şaquli istiqamətdə təcil yoxdur, ona görə də onların əvəzləyicisi sıfır bərabərdir.

$$R_{2y} = Q_2 - m_2 g = 0 \Rightarrow Q_2 = m_2 g.$$

Nyutonun üçüncü qanununa görə dayaqın reaksiya qüvvəsi təzyiq qüvvəsinə ( $F_{T_2}$ ) bərabər olduğundan

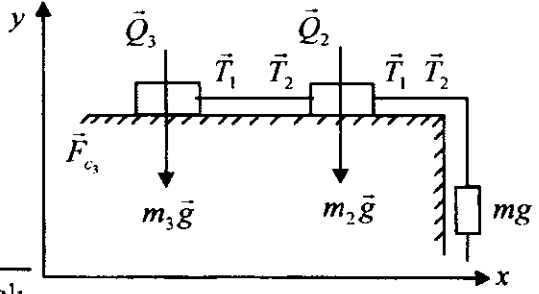
$$F_{T_2} = m_2 g$$

olar. Üfüqi səth üzrə  $m_2$  yükünə sağa doğru sapın  $\vec{T}_1$  gərilmə qüvvəsi və  $\vec{F}_{S_2}$  sürtünmə qüvvələri təsir edir. Onların əvəzləyiciləri

$$R_{2x} = T_1 - T_2 - F_{S_2}$$

olar.  $m_2$  yükü bütün sistem üçün eyni olan  $\vec{a}$  təcili ilə sağa doğru hərəkət edir. Ona görə də

$$R_{2x} = T_1 - T_2 - F_{S_2} = m_2 a; \quad F_{S_2} = k m_2 g$$



Səkil 7

olduğundan ( $k$  – sürtünmə əmsəlidir)

$$T_1 - T_2 - km_2g = m_2a$$

olar.

Analoji qaydada üçüncü yük üçün

$$T_2 + km_3g = m_3a \Rightarrow T_2 = m_3a + km_3g = m_3(a + kg)$$

alırıq.

Bu tənliklərin birgə həlli axtarılan kəmiyyətləri tapmağa imkan verir. Həmin tənlikləri bir sistemdə yazaq.

$$\begin{cases} m_1g - T_1 = m_1a \\ T_1 - T_2 - km_2g = m_2a \\ T_2 - km_3g = m_3a \end{cases}$$

Sistem tənlikləri tərəf-tərəfə toplayaq

$$m_1g - T_1 + T_2 - km_2g + T_2 - km_3g = m_1a + m_2a + m_3a \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_1g - km_2g - km_3g = (m_1 + m_2 + m_3)a$$

$$\begin{cases} a = \frac{m_1g - k(m_2 + m_3)g}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{[m_1 - k(m_2 + m_3)]g}{m_1 + m_2 + m_3} \\ T_1 = m_1g - m_1a = m_1(g - a) \\ T_2 = km_3g + m_3a = m_3(kg + a) \end{cases}$$

Nəticədə  $a = 1,4 \text{ m/s}^2$ ;  $T_1 = 16,8 \text{ N}$ ;  $T_2 = 6,72 \text{ N}$  alırıq.

### Məsələ №58

İdeal elastiki kürə bircins ağırlıq qüvvəsi sahəsində elastiki zərbə qanunlarına müvafiq olaraq döşəmədən əks edərək yuxarı və aşağı hərəkət edir. Kürənin zamana görə orta kinetik enerjisi  $\bar{k}$  və potensial enerjisi  $\bar{u}$  arasında əlaqəni müəyyən etməli.

#### Həlli

Döşəmə üzərində ixtiyari nöqtəni koordinat başlanğıc götürüb, bu nöqtədən başlayan  $X$  oxunu şaquli istiqamətdə yuxarı yönəltsək alırıq:

$$\frac{d}{dt}(m\dot{x}) = m\dot{x}^2 - mgx = 2k - u$$

$k$  - kürənin kinetik enerjisi,  $U = mgx$  isə potensial enerjisidir. Bu ifadəni  $t = 0$  olan  $t = T_{\text{q}}$  kimi inteqrallayıb  $T \rightarrow \infty$  yaxınlaşdırsa, nəticədə  $2\bar{k} = \bar{u}$  olduğunu alarıq.

### Məsələ №59

Kütlələri  $m_1 = 100q$  və  $m_2 = 300q$  olan yüklər bloklar sistemindən şəkil 8-də göstəriləyi kimi asılmışdır. İpin gərilmə qüvvəsi  $T$ -ni tapmalı.

### Həlli

Hesab etsək ki,  $m_1$  kütləli cisim qalxır, tərpnən blok isə  $m_2$  kütləli cisimlə aşağı düşür, onda yüklərin hərəkət tənliklərini aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$\begin{cases} m_1 a_1 = T - m_1 g \\ m_2 a_2 = m_2 g - 2T \end{cases}$$

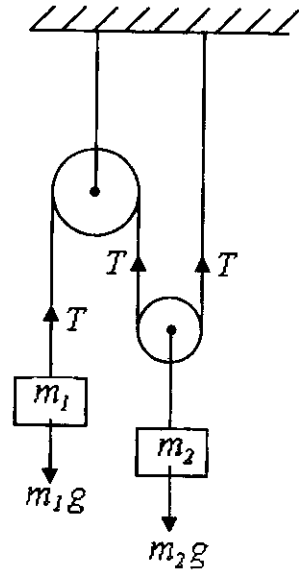
$a_1$  və  $a_2$  təcilləri arasındakı əlaqəni aşağıdakı mülahizədən tapa bilərik. Əgər birinci cisim  $h_1$  - hündürlüyünə qalxırsa, onda II cisim bu müddət

ərzində  $h_2 = \frac{h_1}{2}$  hündürlüyünə

enəcək. Gedilən yollar təcillərlə mütənəsb olduğundan alınır ki,

$$a_2 = \frac{a_1}{2} .$$

Aldığımız tənliklər sistemini həll edərək yaza bilərik ki,



Şəkil 8

$$T = \frac{3m_1 m_2 g}{4m_1 + m_2} = 1,26N$$

$$a_1 = \frac{2(m_2 - 2m_1)g}{4m_1 + m_2} = 5,6m/s^2$$

$$a_2 = \frac{(m_2 - 2m_1)g}{4m_1 + m_2} = 2,8m/s^2$$

### Məsələ №60

Hidrogendə elastiki saxlanma qanunlarına aid səpilmə nəticəsində  $\alpha$  - zərrəcik və deytronun səpilməsində yaranan maksimal səpilmə bucağı nə qədər olar. Verilir:  $m_1$  -  $\alpha$  zərrəciyin kütləsi;  $v$  - səpilməyə qədərki sürəti;  $m_2$  - səpən zərrəciyin kütləsi;  $v_1$  və  $v_2$  zərrəciklərin səpilmədən sonrakı sürətləridir.

#### Həlli

Deyək ki,  $m_1$  səpilənədək  $\alpha$  - zərrəciyin və ya deytronun kütləsidir.  $v$  - zərrəciyin səpilməyə qədərki sürətidir.  $m_2$  - səpən zərrəciyin (hidrogen atomu) kütləsidir.

$v_1$  və  $v_2$  isə həmin zərrəciklərin səpilmədən sonrakı sürətləridir. (şəkil 9)

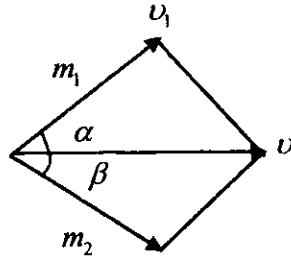
İmpuls və enerjinin saxlanması qanunlarından yazıla bilər:

$$m_1 v = m_1 v_1 \cos \alpha + m_2 v_2 \cos \beta$$

$$m_1 v \sin \alpha = m_2 v_2 \sin \beta$$

$$m_1 v^2 = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$$

$\beta$  bucağı və  $v_2$  - sürətini yox etməklə  $v_1$  - üçün kvadrat tənlik alırıq.



Şəkil 9

$$(m_1 + m_2)v_1^2 - 2m_1 v v_1 \cos \alpha + (m_1 - m_2)v^2 = 0.$$

$v_1$ -ə görə olan bu kvadrat tənliyin həllərinin həqiqi olması

üçün aydındır ki,  $\sin \alpha \leq \frac{m_2}{m_1}$  şərti ödənməlidir.

Bu şərti ödəyən maksimal  $\alpha$  bucağı tələb olunan  $\theta$  bucağına bərabər olacaq. Beləliklə  $\sin \theta = \frac{m_2}{m_1}$  və buradan da

$\theta = 14^\circ 30'$  olduğunu, deytron üçün isə  $\theta = 30^\circ$  olduğunu tapa bilərik.

### Məsələ №61

Suyun donması zamanı yaranan maksimal təziqi tapın.  
Buzun sıxlığı  $\rho_b = 0,917 \frac{q}{sm^3}$ ; yunq modulu  $E = 2,8 \cdot 10^{10} Pa$   
Puaason əmsalı  $\mu = 0,3$ .

#### Həlli

$$\text{Həcmnin nisbi dəyişməsi } \frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)p}{E}$$

$$\Delta V = \frac{m(\rho_{su} - \rho_{buz})}{\rho_{su}\rho_{buz}} (\rho_{su} - \text{suyun sıxlığı, } m - \text{kütlə})$$

$$\text{Deməli } \frac{\Delta V}{V} = \frac{\rho_{su} - \rho_{buz}}{\rho_{su}} \text{ və maksimal təziq}$$

$$p = \frac{E(\rho_{su} - \rho_{buz})}{[3(1-2\mu)\rho_{su}]} = 2 \cdot 10^9 Pa.$$

### Məsələ №62

Kəndirdən asılmış yükə 98 N qüvvə təsir etdikdə yük  $2m/sm^2$  təcillə qalxır. Həmin yükə  $8 m/san^2$  təcil verə bilən qüvvənin təsiri zamanı kəndir qırılır. Yükün kütləsini və qırılma anında kəndirin gərilməsini tapmalı.

### Məsələ №63

Uclarında iki kiçik  $m_1=0,05 kq$  və  $m_2=0,02 kq$  kürecikləri bərkidilmiş uzunluğu  $l=0,6 m$  olan çox yüngül çubuq, ona perpendikulyar istiqamətdə onun ortasından keçən üfüqi ox ətrafında sürtünməsiz fırlana bilər. Çubuğu üfüqi vəziyyətə gətirib buraxırlar.

1) Çubuq hərəkətə başlayan anda  $\varepsilon$  bucaq təcili və oxa təsir edən  $F_1$  təziq qüvvəsini:

2) Tarazlıq vəziyyətindən keçən anda  $\omega$  bucaq sürətini və oxa təsir edən  $F_2$  təziq qüvvəsini :

3) Sistemin kiçik rəqslərinin T periodunu tapmalı.

### Məsələ №64

Çəkisi 10,5N olan cisim buz üzərində 2,44m/s sürətlə sürüşür və sürtünmə qüvvəsinin təsiri ilə 10 saniyədən sonra dayanır. Sürtünmə qüvvəsini bütün hərəkət boyu sabit hesab edərək onun qiymətini tapmalı.

### Məsələ №65

10 N sabit qüvvənin təsiri ilə cisim düz xətti hərəkət edir. Onun getdiyi yolun zamandan asılılığı  $S=A-Bt+Ct^2$  qanunu üzrə baş verir.  $C=1 \text{ m/s}^2$ . Cisimin kütləsini tapmalı.

### Məsələ №66

Sabit 5N qüvvənin təsiri ilə cisim düz xətti hərəkət edir. Onun getdiyi yolun zamandan asılılığı  $S=A-Bt+Ct^2$  qanunu üzrə baş verir.  $C=1 \text{ m/s}^2$ . Cisimin kütləsini tapmalı.

### Məsələ №67

Kütləsi  $m=0,4 \text{ kq}$  olan cismin getdiyi yolun zamandan asılılığı  $S=Asin \pi t$  qanunu ilə baş verir.  $A=4 \text{ sm}$ ;  $\omega = \pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ . Hərəkətə başlayandan 2 s sonra cismə təsir edən  $F$  qüvvəsini tapmalı.

### Məsələ №68

Çəkisi 20 N olan cisim 3 m/s sürətlə hərəkət edərək çəkisi 30 N olan və həmin istiqamətdə 1m/s sürətlə hərəkət edən II cismə toqquşur. Zərbənin mərkəzi və elastiki olduğunu qəbul edərək cisimlərin zərbədən sonrakı sürətlərini tapmalı.

### Məsələ №69

Çəkisi 20 N olan cisim 3 m/s sürətlə hərəkət edərək çəkisi 30 N olan və həmin istiqamətdə 1m/s sürətlə hərəkət edən II cismə toqquşur. Zərbənin mərkəzi və qeyri elastiki olduğunu qəbul edərək cisimlərin zərbədən sonrakı sürətlərini tapmalı.

### Məsələ №70

Çəkisi 20 N olan cisim 3 m/s sürətlə hərəkət edərək çəkisi 30 N olan və həmin istiqamətdə 1m/s sürətlə hərəkət edən II cismə toqquşur. Zərbədən sonra birinci cisim dayanır. Cisimlərin kütlələri nisbətini tapmalı.

### Məsələ №71

Çəkisi 30 N olan cisim 4 m/s sürətlə hərəkət edərək öz çəkisinə bərabər olan sükunətdəki ikinci cismə qeyri elastik toqquşur. Toqquşma nəticəsində ayrılan istilik miqdarını tapmalı

### Məsələ №72

Kütləsi 5 kq olan diskə  $F=20 \text{ N}$  toxunan qüvvə təsir edir  $\Delta t=5 \text{ s}$  ərzində disk hansı kinetik enerjini əldə edəcək?

### Məsələ №73

Reislər üzərində duran vaqona hansı qüvvə ilə təsir etmək lazımdır ki, o,  $t = 30s$  müddətində  $s = 11m$  yol getsin? Vaqonun kütləsi  $m = 16$  tondur. Vaqon hərəkət edərkən ona ağırlıq qüvvəsinin  $0,05$  hissəsinə bərabər olan sürtünmə qüvvəsi təsir edir.

### Məsələ №74

Kütləsi  $m = 4,65 \cdot 10^{-26} kq$  olan molekul  $v = 600m/s$  sürətlə hərəkət edərək qabın divarına onun normalı ilə  $\alpha = 60^\circ$  bucaq altında zərbə vurur və elastiki olaraq enerji itirmədən geri sıçrayır. Zərbə zamanı divarın aldığı qüvvə impulsunu tapın.

### Məsələ №75

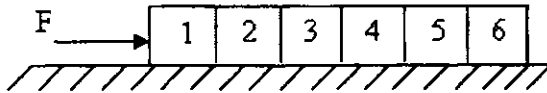
Kütləsi  $m = 1kq$  olan və nazik sapdan asılmış kürə tarazlıq vəziyyətindən  $\alpha = 30^\circ$  bucaq altında meyl etdirilərək buraxılır. Kürə tarazlıq vəziyyətindən keçərkən sapın gərilmə qüvvəsini tapın.

### Məsələ №76

Uzunluğu  $\ell = 50sm$  olan ipə bağlanmış  $m = 0,5kq$  kütləli cisim şaquli müstəvidə bərabər sürətlə fırlanır. Çevrənin aşağı nöqtəsində ipin gərilmə qüvvəsi  $F = 44N$ -dur. Sürət şaquli olaraq yuxarıya yönəldiyi anda ip qırılsa cisim hansı hündürlüyə qalxar.

### Məsələ №77

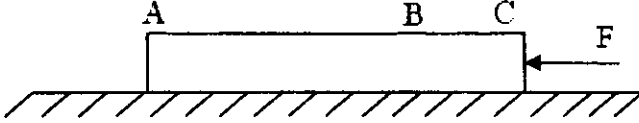
Hamar üfüqi müstəvi üzərində hər birinin kütləsi  $1 kq$  olan  $6$  ədəd eyni kub yerləşdirilmişdir.  $1$  kubuna sabit  $F = 12N$  qüvvə təsir edir (şəkil 10 bax). Hər bir kuba təsir edən əvəzləyici  $f$  qüvvəsini və  $4$  kubunun  $5$  kubuna hansı  $f_1$  qüvvəsi ilə təsir etdiyini tapmalı.



Şəkil 10

### Məsələ №78

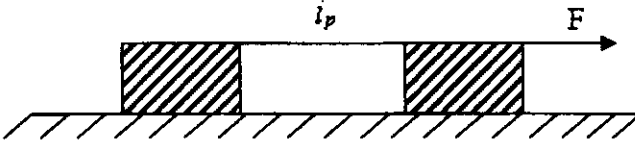
Hamar üfüqi müstəvi üzərinə kütləsi  $m$  və uzunluğu  $\ell$  olan bircins  $AC$  çubuğu qoyulmuşdur (şəkil 11). Sabit  $F$  qüvvəsi çubuğun sağ ucunu itələyir. Çubuğun xəyalən seçilmiş  $AB = \frac{4}{5}\ell$  hissəsi  $BC$  hissəsinə hansı  $F_1$  qüvvəsi ilə təsir göstərəcək.



Şəkil 11

### Məsələ №79

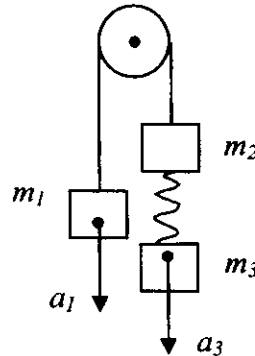
İki eyni cisim bir-biri ilə düz ip ilə bağlanıb hamar stol üzərində yerləşdirilmişdir (şəkil 12). Düz xətt kimi təsəvvür edilən ip 20N - dan böyük olmayan gərilməyə məruz qala bilər. Cisimlərdən birinə üfüqi istiqamətdə yönəlmiş hansı  $F$  qüvvəsi ilə təsir etmək lazımdır ki, ip qırılmasın.



Şəkil 12

### Məsələ №80

Yüklər sistemi Atvud maşınındadır (şəkil 13).  $m_2$  və  $m_3$  yükləri yayla birləşdirilmişdir.  $m_1$  yükündən tutaraq sistemi saxlayıb sonra buraxmışlar. Hərəkətə başlayan anda  $m_1$  və  $m_3$  yüklərinin təcilləri nə qədər olmuşdur?

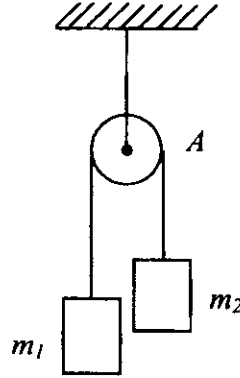


Şəkil 13



### Məsələ №81

Bərabərtəcilli hərəkət qanunlarını yoxlamaq üçün sxematik olaraq şəkil 5-də göstərilən Atvud maşınından istifadə olunur.  $A$  - blokundan aşırılmış ipin uclarına müxtəlif  $m_1$  və  $m_2$  kütləli cisimlər bağlanmışdır. Cisimlərin hərəkət təcilini, ipin gərilmə qüvvəsi  $T$ -ni və blokun oxuna təsir edən  $f$  qüvvəsini təyin etməli. Blok və ipi çəkisiz hesab edib, blokun oxuna sürtünməni nəzərə almamalı.



Şəkil 14

### Məsələ №82

Kütləsi  $0,5\text{kg}$  olan cisimin getdiyi yolun zamandan asılılığı  $S = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$  ifadəsi ilə verilmişdir.  $C = 5\text{m/s}^2$   $D = 1\frac{\text{m}}{\text{s}^3}$  hərəkətin birinci saniyəsinin sonunda cisimə təsir edən qüvvəni tapmalı.

### Məsələ №83

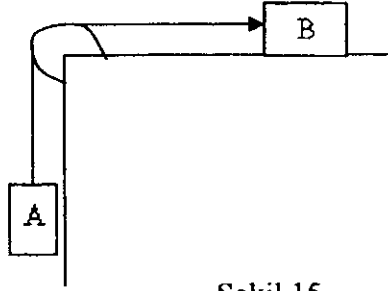
$F = 10\text{N}$  sabit qüvvənin təsiri ilə düzxətli hərəkət edən cismin getdiyi yolun zamandan asılılığı  $S = A - Bt + Ct^2$  ifadəsi ilə verilmişdir.  $C = 1\text{m/s}^2$  olduğunu bilərək cisimin kütləsini tapmalı.

### Məsələ №84

Kütləsi  $m = 0,5\text{kg}$  olan cisim elə hərəkət edir ki, onun getdiyi yolun zamandan asılılığı  $S = A \sin \omega t$  şəklində olur;  $A = 5\text{sm}$  və  $\omega = \pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  olduğunu bilərək hərəkətə başlayandan  $t = \frac{1}{6}\text{s}$  sonra cisimə təsir edən  $F$  qüvvəsini tapmalı.

### Məsələ №85

Çəkisiz blok stolun kənarına bərkidilmişdir. Çəkiliəri  $p_1 = p_2 = 10N$  olan  $A$  və  $B$  yükləri iplə birləşdirilib blokdan aşırılmışdır (şəkil 15).  $B$  yükünün stola sürtünmə əmsalı  $k = 0,1$  tapmalı:



Şəkil 15

1) Yüklərin hərəkət təcillərini 2) ipin gərilmə qüvvəsini tapmalı. Blokda sürtünməni nəzərə almamalı.

### Məsələ №86

Kütləsi  $m$  olan cisim  $v$  sürəti ilə hərəkət edərək qarşısına çıxan divara zərbə vurur və elastiki olaraq divardan əks olunur.  $\vec{v}$  sürət vektoru divara çəkilmiş normal ilə  $\alpha$  bucağı əmələ gətirir. Divarın aldığı  $p$  - hərəkət miqdarını təyin etməli.

### Məsələ №87

Üfüqi müstəvi üzərində yük (cisim) vardır. Cisimlə müstəvi arasında sürtünmə əmsalı  $0,1$ -dir. Taxtaya üfüqi istiqamətdə nə qədər təcil vermək lazımdır ki, onun üzərindəki cisim sürüşüb düşə bilsin.

### Məsələ №88

Kütləsi  $m = 10kq$  olan peykin en kəsiyinin sahəsi  $S = 0,5m^2$ -dir. Peyk  $H = 400km$  yüksəklikdə uçur. Bu hündürlükdə atmosferin sıxlığı  $\rho \approx 1,6 \cdot 10^{-11} kq/m^3$ -dur. Uçuş zamanı peykin məruz qaldığı  $F_{mq}$  - müqavimət qüvvəsini tapın. Peykin sürəti

$$v = 8 \frac{km}{s}$$

### Məsələ №89

Kosmonavt kütləsi  $M = 1,1 \cdot 10^{16} kq$  və radiusu  $R = 11,1km$  olan asteroiddən tullanaraq onu həmişəlik tərk edə bilərmi?

### §3. Mexaniki iş, güc və enerji

•  $s$  yerdəyişməsində  $F$  qüvvəsinin gördüyü iş  $A = \int_S F_s ds$  münasibəti ilə təyin edilir.  $F_s$  - qüvvənin yol üzrə proyeksiyası,  $ds$  - yolun müəyyən kiçik hissəsinin uzunluğudur. İntegrallama bütün yol üzrə aparılır. Xüsusi halda yerdəyişmə ilə dəyişməz bucaq altında təsir edən sabit qüvvənin gördüyü iş  $A = FS \cos \alpha$  ifadəsi ilə müəyyən edilir.  $\alpha = (\vec{F} \wedge \vec{S})$ , başqa sözlə  $\alpha$   $\vec{F}$  qüvvə vektoru ilə  $\vec{S}$  yerdəyişmə vektoru arasındakı bucaqdır.

Güc  $N = \frac{dA}{dt}$  düsturu ilə müəyyən edilir. Güc sabit olduqda

$N = \frac{A}{t}$  olur. Burada  $A, t$  müddətində görülən mexaniki işdir. Güc

həmçinin  $N = (\vec{F}\vec{v}) = Fv \cos \alpha$  ifadəsi ilə müəyyən edilir.

• İrəliləmə hərəkəti edən cismin kinetik enerjisi

$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{pv}{2}$ ,  $m$  - cismin kütləsi,  $v$  - hərəkət sürəti,  $p$  - impulsudur

• Tərpənməz  $z$  oxu ətrafında fırlanan cismin kinetik enerjisi

$T = \frac{1}{2} J_z \omega^2 = \frac{L_z^2}{2J_z}$ ,  $J_z$  - ətalət momentinin  $z$  oxu üzrə

proyeksiyası,  $L_z$  - hərəkət miqdarı momentinin  $z$  oxu üzrə proyeksiyası,  $\omega$  - bucaq sürətidir.

• Kinetik enerji ilə mexaniki iş arasında əlaqə  $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$

• potensial enerji

a) elastiki deformasiya olunmuş yay üçün  $P = \frac{1}{2} kx^2$

$k$  - yayın sərtliyi,  $x$  - mütləq deformasiyadır.

b) Qravitasiya qarşılıqlı təsirin potensial enerjisi

$$P = -Gm_1 m_2 / r$$

$G$  - qravitasiya sabiti;  $m_1$  və  $m_2$  qarşılıqlı təsirdə olan cisimlərin kütlələridir,  $r$  - cisimlər arasındakı məsafədir (cisimlərə maddi nöqtə kimi baxılır).

v) bircins ağırlıq qüvvəsi sahəsində yerləşən cismin potensial enerjisi  $P = mgh$

$g$  - sərbəst düşmə təcili;  $h$  - sıfır qəbul edilən səviyyədən olan hündürlüyüdür (bu ifadə  $h \ll R$  şərti daxilində doğrudur), ( $R$  - Yerin radiusudur).

- Mexaniki enerjinin saxlanması qanunu  $E = T + P = const$
- Xarici qüvvələrin gördüyü  $A$  işi sistemin enerjisinin dəyişməsi ölçüsü kimi təyin edilir

$$A = \Delta E = E_2 - E_1.$$

### Məsələ №90

Yaylı tapançadan şaquli istiqamətdə yuxarıya atəş açarkən kütləsi 20q olan güllə  $h = 5m$  hündürlüyə qalxmışdır. Yayın  $x = 10sm$  sıxıldığını bilərək onun sərtliyini müəyyən etməli. Yayın kütləsi nəzərə alınmır.

### Həlli

Güllə – yer sistemi (tapança ilə birlikdə) qapalı sistemdir. Bu sistemdə konservativ qüvvələr:

- elastiki və sürtünmə qüvvələri təsir göstərir. Ona görə də məsələni həll etmək üçün mexanikada enerjinin saxlanması qanunundan istifadə etmək olar. Bu qanuna görə başlanğıc halda sistemin tam mexaniki enerjisi  $E_1$  son haldakı (güllənin  $h$  - hündürlüyünə qalxdığı  $a_n$ ) tam mexaniki enerjiyə,  $E_2$  -yə bərabərdir, yəni

$$E_1 = E_2 \quad \text{və ya} \quad T_1 + P_1 = T_2 + P_2 \quad (1)$$

burada  $T_1, T_2, P_1$  və  $P_2$  - sistemin başlanğıc və son hallardakı kinetik və potensial enerjilərdir.

Güllənin kinetik enerjiləri başlanğıc və son hallarda sıfır olduğu üçün (1) münasibəti  $P_1 = P_2$  (2) şəklinə düşür.

Yerin cazibə sahəsində yer səthi üzərində potensial enerjinin sıfır olduğunu qəbul etsək, onda başlanğıc halda sistemin enerjisi

sıxılmış yayın potensial enerjisinə bərabər  $P_1 = \frac{1}{2}kx^2$ , son halda isə bu enerji güllənin  $h$ - hündürlükdəki potensial enerjisinə, başqa sözlə  $P_2 = mgh$  bərabər olar.  $P_1$  və  $P_2$ -nin ifadələrini (2)-də nəzərə alsaq  $\frac{1}{2}kx^2 = mgh$ ,  $K = \frac{2mgh}{x^2}$  (3) ifadəsini alarıq. (3)-ün doğruluğunu yoxlayaq. Bunun üçün (3)-ün sağ tərəfinə kəmiyyətlərin vahidlərini yazaq

$$\frac{[m][g][h]}{[x]} = \frac{1kg \cdot 1 \frac{m}{s^2} \cdot m}{1m^2} = 1 \frac{N}{m}$$

Kəmiyyətlərin qiymətlərini (3)-də nəzərə alaraq  $k$ -ni hesablaya bilərik

$$K = \frac{2 \cdot 0,02 \cdot 9,81 \cdot 5}{(0,1)^2} N/m = 196 \frac{N}{m}$$

#### Məsələ №91

Kütləsi  $m_1$  olan kürə üfüqi istiqamətdə  $v_1$  sürəti ilə hərəkət edərkən sükunətdə olan  $m_2$  kütləli kürə ilə toqquşur. Kürələr mütləq elastiki, zərbə isə düz və mərkəzidir. Zərbə zamanı birinci kürə öz kinetik enerjisinin hansı  $\varepsilon$  hissəsini ikinci kürəyə verir.

#### Həlli

Birinci kürənin ikinciyə verdiyi enerji

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1} = \frac{m_2 v_2^2}{m_1 v_1^2} = \frac{m_2}{m_1} \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \quad (1)$$

$T_1$  - birinci kürənin zərbəyə qədər kinetik enerjisi;  $v_2$  və  $T_2$  isə ikinci kürənin zərbədən sonrakı sürəti və kinetik enerjisidir.

(1) ifadəsindən görüldüyü kimi  $\varepsilon$ -nu tapmaq üçün  $v_2$ -ni tapmaq lazımdır.

Elastiki zərbə zamanı mexaniki enerjinin və impulsun saxlanma qanunları ödəndiyindən yaza bilərik ki,

$$m_1 v_1 = m_1 u_1 + m_2 u_2 \quad (2)$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \quad (3)$$

(2) və (3)-ü birlikdə həll edərək  $u_2 = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$  ifadəsini alırıq.

$u_2$ -ni (1)-də nəzərə alaraq  $v_1$  və  $m_1$ -ə ixtisar etdikdən sonra

$$\varepsilon = \frac{m_2}{m_1} \left[ \frac{2m_1 v_1}{v_1 (m_1 + m_2)} \right]^2 = \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}$$

alınan ifadədən görünür ki,  $\varepsilon$  (enerji payı) yalnız zərbəyə məruz qalan cisimlərin kütlələrindən asılıdır. Kürələrin yerlərini dəyişdikdə belə  $\varepsilon$ -nin qiyməti dəyişməz qalır.

### Məsələ №92

0,8 m uzunluqlu iki eyni qaytandan kütlələri 0,5 kq və 1 kq olan iki qurğusun kürə bir-birinə toxunan vəziyyətdə asılmışdır. Kiçik kütləli kürəni qaytan  $60^\circ$  meyl edənə qədər kənara itələyib buraxırlar. Toqquşmadan sonra kürələr hansı hündürlüyə qalxırlar? Zərbəni mərkəzi qeyri-elastiki qəbul etməli. Zərbə zamanı kürələrin deformasiyasına sərf olunmuş enerjini tapmalı.

**Verilir:**

$$m_1 = 0,5 \text{ kq}$$

$$m_2 = 1 \text{ kq}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$\ell = 0,8 \text{ m}$$

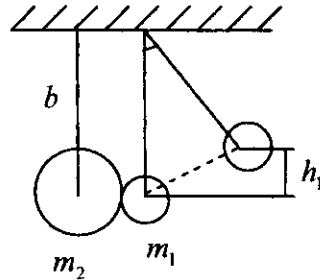
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$h$  və  $\Delta W$ -ni tapmalı.

**Həlli:** Zərbə qeyri-elastiki olduğundan kürələr toqquşmadan sonra eyni  $v$  sürətilə hərəkət edəcəklər. İmpulsun saxlanma qanunundan

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v, \quad (1)$$

burada  $v_1$  və  $v_2$  - kürələrin zərbə anına qədər olan sürətləridir.



Şəkil 16

Böyük kürə üçün  $v_2 = 0$ , kiçik kürənin potensial enerjisi  $m_1gh_1$  qədər artır və zərbə anında bu tamamilə kinetik enerjiyə çevrilir:

$$m_1gh_1 = \frac{m_1v_1^2}{2}.$$

Şəkildən göründüyü kimi,  $h_1 = \ell(1 - \cos \alpha) = 2\ell \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ .

Onda

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2g\ell} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (2)$$

(1) və (2) tənliklərindən zərbədən sonra kürələrin sürətini tapırıq.

$$v = \frac{m_1v_1}{m_1 + m_2} = \frac{2m_1\sqrt{g\ell} \sin \frac{\alpha}{2}}{m_1 + m_2}. \quad (3)$$

Zərbədən sonra  $h$  ən yüksək qalxma hündürlüyündə kürələrin kinetik enerjisi tamamilə potensial enerjiyə çevrilir.

$$\frac{(m_1 + m_2)v^2}{2} = (m_1 + m_2)gh \Rightarrow h = \frac{v^2}{2g}. \quad (4)$$

(3) və (4) tənliklərindən alırıq

$$h = \frac{2m_1^2\ell \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{(m_1 + m_2)^2}. \quad (5)$$

Deformasiyaya sərf olunmuş enerji zərbədən əvvəl və zərbədən sonrakı kinetik enerjilərin fərqi kimi təyin oluna bilər.

$$\Delta W_g = \frac{m_1v_1^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2}. \quad (6)$$

(2), (3) və (6) tənliklərindən alırıq:

$$\Delta W_g = \frac{m_1}{2} 4g\ell \sin^2 \frac{\alpha}{2} - \frac{m_1 + m_2}{2} \frac{4m_1^2 g\ell \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{(m_1 + m_2)^2} =$$

$$= 2glm_1 \left( 1 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right) \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{2glm_1 m_2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{m_1 + m_2}. \quad (7)$$

Nəticədə  $h = 0,044 \text{ m}$ ;  $\Delta W_g = 1,3$  alırıq.

### Məsələ №93

Kütləsi 1500 kq olan avtomobil üfüqi yolla sükunət halından  $1,0 \text{ m/s}^2$  təcillə hərəkətə başlayır. Hərəkətə qarşı müqavimət əmsalı 0,02-dir. Birinci 10 s ərzində işi və orta gücü, onuncu saniyənin sonunda ani gücü və bu an mühərrik söndürülsə, avtomobilin dayanana qədər getdiyi yolu tapın.

**Verilir:**

$$a_1 = 1,0 \text{ m/s}^2$$

$$v_0 = 0$$

$$m = 1500 \text{ kq}$$

$$k = 0,02$$

$$t = 10 \text{ s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$A, N, N_t$  və  $S_2$  -ni tapmalı

**Həlli:** Görülən iş  $A = FS \cos \alpha$  düsturu ilə hesablanır. Mühərrikin dartı qüvvəsi yerdəyişmə istiqamətində yönəldiyindən,  $\alpha = 0$ ,  $\cos \alpha = 1$  və  $A = FgS$  olar.

Digər tərəfdən avtomobilə şaquli istiqamətdə  $m\vec{g}$  ağırlıq qüvvəsi də dayağın reaksiya qüvvəsi təsir edir. Şaquli istiqamətdə hərəkət olmadığından onların əvəzləyicisi sifra bərabərdir.

$$m\vec{g} + \vec{Q} = 0.$$

Üfüqi istiqamətdə Nyutonun ikinci qanununa görə hərəkət tənliyini yazaq.

$$F_g - F_s = ma_1,$$

burada  $F_s$  - sürtünmə qüvvəsi olub

$$F_s = kmg$$



kimi təyin olunur.

$$\text{Beləliklə, } F_g = ma_1 + kmg = m(a_1 + kg).$$

Sürətlənmə zamanı gedilən yol

$$S_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2},$$

orta güc  $\langle N \rangle = A/t$ .

$t_1$  zaman intervalının sonunda ani güc

$$N_1 = F_T v_1$$

kimi təyin olunur, burada  $v_1 = a_1 t_1$ .

Mühərrik söndəndən sonra gedilən yol ( $F_g = 0$ )

$$v_1^2 - v_2^2 = 2a_2 S_2.$$

Avtomobil dayanan anda  $v_2 = 0$  olduğundan

$$v_1^2 = 2a_2 S_2$$

alırıq. Mühərrik söndükdən sonra avtomobil  $F_S$  sürtünmə qüvvəsinin təsiri ilə dayandığından

$$a_2 = \frac{F_S}{m} = \frac{kmg}{m} = kg$$

olur. Sürtünmə qüvvəsinə qarşı görülən iş avtomobilin kinetik enerjisi hesabına baş verdiyindən  $S_2$  yolu

$$F_S S_2 = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow kmg S_2 = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow S_2 = \frac{v_1^2}{2kg} = \frac{(a_1 t_1)^2}{2kg}$$

kimi tapılır.

$$\text{Nəticədə } A = 90 \cdot 10^3 \text{ C} = 90 \text{ kC}; \quad \bar{N} = 9 \cdot 10^3 \text{ Vt} = 9 \text{ kVt};$$

$$N_1 = 17940 \text{ Vt} = 18 \text{ kVt}; \quad S_2 = 760 \text{ M}$$

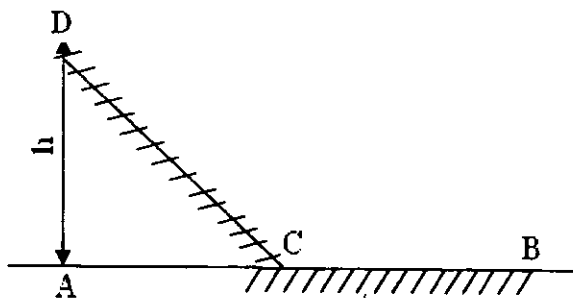
alırıq.

#### Məsələ №94

Hündürlüyü  $h$  olan buzlu dağdan sürüşərək enən xizək üfüqi müstəvidə CB yolunu gedərək dayanır. Məlumdur ki, AB məsafəsi  $S$ -ə bərabərdir, yəni  $AB = S$ .

Xizəyin buz səthinə sürtünmə əmsalı  $k$ -ni tapın.

Yolun  $DC$  və  $CB$  hissələrində xizəyin hərəkət təcillərini tapmalı.



Şəkil 17

### Həlli

Xizək dağın zirvəsində ( $D$ -də) olanda  $E = mgh$  potensial enerjisinə malik olmuşdur. Bu enerji hərəkət zamanı  $DC$  - yolunda sürtünmə qüvvələrinə qarşı görülən  $A_1$  - işinə, həmçinin  $CB$  yolunda sürtünmə qüvvələrinə qarşı görülən  $A_2$  - işinə sərf edilir, başqa sözlə

$$E = mgh = A_1 + A_2$$

$DC$  - yolunda təsir göstərən  $F_1$  sürtünmə qüvvəsi

$$F_1 = kmg \frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + h^2}} \text{ olar.}$$

$\ell = AC$  olduğundan  $A_1 = F_1 \cdot DC = k\ell mg$  olacaq  $CB$  hissəsində təsir göstərən sürtünmə qüvvəsi  $F_2 = kmg$  və görülən iş  $A_2 = F_2 CB = kmg(S - \ell)$ .

Buradan  $mgh = A_1 + A_2 = mgkS$  və  $k = \frac{h}{S}$  olur. Xizəyin yolun  $DC$  hissəsində hərəkəti üçün Nyutonun II qanunu

$$mg \frac{h}{\sqrt{\ell^2 + h^2}} - F_1 = ma_1 \quad \text{buradan isə} \quad a_1 = \frac{gh}{\sqrt{\ell^2 + m^2}} \left(1 - \frac{\ell}{S}\right) \quad \text{və}$$

$\frac{\ell}{S} < 1$  olduğundan  $a_1 > 0$  olur və bu hissədə xizək bərabərtəcilli hərəkət edir. CB – hissəsində təcil  $a_2 = -kg$  olduğundan xizək bərabər azalan hərəkət edəcək.

### Məsələ №95

Günəş ətrafında ellips üzrə hərəkət edən planetin tam və kinetik enerjilərinin zamana görə orta qiymətləri arasında  $\bar{K} = -\bar{E}$  münasibətinin ödəndiyini göstərməli.

#### Həlli

Planetin Günəşə görə radius vektoru  $\vec{r}$ , impulsu isə  $\vec{p}$  olsun, onda yazmaq olar ki,

$$\frac{d}{dt}(pr) = \vec{F} \cdot \vec{r} + \vec{p} \vec{v} = -G \frac{Mm}{r} + 2E_k = u + 2k = u + k + k = E + k.$$

Periodik hərəkət zamanı  $\frac{d}{dt}(pr)$  - kəmiyyətinin zamana görə orta qiyməti aydındır ki, sifıra bərabərdir. Deməli,  $\bar{E} + \bar{K} = 0$  və  $\bar{E} = -\bar{K}$ .

### Məsələ №96

Cisim  $v_0 = 14 \frac{m}{s}$  başlangıç sürəti ilə  $h = 240m$  hündürlükdən düşərək torpağa  $S = 0,2m$  qədər daxil olur. Cisimin çəkisi  $10N$  - dur. Torpaq tərəfindən göstərilən orta müqavimət qüvvəsini tapmalı. Havanın göstərdiyi müqaviməti nəzərə almamaq olar.

#### Həlli

Hərəkətin sonunda cisimin əldə etdiyi kinetik enerji  $E = \frac{mv_0^2}{2} + mgh$ ,  $m$  - cismin kütləsidir. Enerjinin saxlanma qanunundan istifadə etsək  $FS = E$  yaza bilərik. Buradan

$$F = \frac{E}{S} = \frac{mv_0^2}{2S} + \frac{mgh}{2S} = 12500N$$

Məsələni həmçinin birbaşa Nyutonun II qanununu tətbiq etməklə də həll edə bilərik. Belə ki, yerə dəyən anda cisimin sürəti

$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ , cismin torpağın içində hərəkət təcili

$a = \frac{v^2}{2S} = \frac{v_0^2 + 2gh}{2S}$ , torpağın yaratdığı müqavimət qüvvəsi isə

$$F = ma = \frac{m}{2S}(v_0^2 + 2gh) = 12500N.$$

### Məsələ №97

Radiusları  $r_1 = 2sm$  və  $r_2 = 3sm$  olan iki mis kürəcik birbirinə toxunur. Bu sistemin qravitasiya potensial enerjisini tapmalı.

### Məsələ №98

Diametri 6 sm olan kürə sürtünmədən üfiqi müstəvi üzərində diyirlənir və saniyədə 4 dövr edir. Kürənin kütləsi 0,25 kq olarsa, kinetik enerjisi nə qədər olar?

### Məsələ №99

Kütləsi 5 kq olan cisim sükunətdə olan 2,5 kq kütləli cismə mərkəzi elastiki zərbə vurur. Nəticədə II cisim 5 c kinetik enerji ilə hərəkətə başlayır. I cismin zərbədən əvvəlki kinetik enerjisini tapmalı.

### Məsələ №100

Çəkisi 9,8 N, diametri 60 sm disk mərkəzindən keçən ox ətrafında fırlanaraq saniyədə 20 dövr edir. Diski dayandırmaq üçün nə qədər iş görmək lazımdır?

### Məsələ №101

Saniyədə 5 dövr etməklə sabit sürətlə fırlanan valın kinetik enerjisi 60 C-dur. Bu valın hərəkət miqdarı momentini tapmalı.

### Məsələ №102

Radiusu  $R = 10sm$  olan mis kürə onun mərkəzindən keçən ox ətrafında  $n = 2 \frac{d\psi}{s}$  tezliyi ilə fırlanır. Kürənin bucaq sürətini iki dəfə artırmaq üçün nə qədər iş görmək lazımdır? (Mis üçün  $\rho = 8,6 \cdot 10^3 kq / m^3$ ).

### Məsələ №103

Oturacağıının uzunluğu  $L$ , hündürlüyü  $H$  olan mail müstəvi üzrə  $m$  - kütləli cismi axıra qədər qaldırmaq üçün görülən iş hansı ifadə ilə təyin ediləcək? Müstəvi səthi ilə cisim arasında sürtünmə əmsalı  $\mu$ -dür və  $\alpha$  meyl bucağı  $\alpha > 0$  şərti daxilində dəyişə bilər.

### Məsələ №104

$\rho$  - həcmi sıxlığına malik  $R$  radiuslu kürənin yaratdığı qravitasiya sahəsinin  $U$  - enerjisini hesablamaq üçün hansı ifadədən istifadə etmək olar.

### Məsələ №105

Çəkisi  $p = 20N$  olan yükü sabit  $F$  qüvvəsinin təsiri ilə  $h = 1m$  hündürlüyünə qaldırarkən  $A = 80C$  iş görülmüşdür. Yükü hansı təcillə qaldırırdılar?

#### §4. Bərk cismin fırlanma hərəkəti

- tərpənməz  $Z$  oxuna nəzərən fırlanma hərəkəti dinamikasının əsas tənliyi

$$M_z = J_z \varepsilon,$$

$M_z$  - xarici qüvvələrin  $z$  oxuna nəzərən əvəzləyici qüvvə momenti  
 $\varepsilon$  - bucaq təcili

$J_z$  - cismin fırlanma oxuna nəzərən ətalət momentidir.

- kütləsi  $m$  olan ixtiyarı cismin kütlə mərkəzindən keçən  $z$  oxuna nəzərən ətalət momentləri:

a)  $\ell$  uzunluqlu çubuğun, çubuğa perpendikulyar oxa görə

$$J_z = \frac{1}{12} m \ell^2$$

b) Nazik divarlı silindrin oxa görə ətalət momenti  $J_z = mR^2$

$R$  - silindrin radiusudur.

b)  $R$  radiuslu diskin, disk müstəvisinə perpendikulyar olan oxa nəzərən

$$J_z = \frac{1}{2} mR^2$$

- tərpənməz  $z$  oxuna nəzərən fırlanan cismin impuls momenti

$$L_z = J_z \omega$$

$\omega$  - cismin bucaq sürətidir.

- tərpənməz ox ətrafında fırlanan sistemin impuls momentinin saxlanması qanunu

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2$$

Burada  $J_1, \omega_1$  və  $J_2, \omega_2$  - sistemin ətalət momentləri və bucaq sürətləridir (başlangıç və son anlara uyğun)

- Tərpənməz  $z$  oxu ətrafında fırlanan cismin kinetik enerjisi

$$T = \frac{1}{2} J_z \omega^2 \quad \text{və ya} \quad T = \frac{L_z^2}{2J_z}$$

### Məsələ №106

Kütlesi 50 kq, radiusu  $R = 0,2m$  olan bütöv disk  $n = 480 \text{ daq}^{-1}$  tezliyinə qədər fırladılıb buraxılmışdır. Sürətinmə qüvvələrinin təsiri ilə disk  $t = 50$  saniyədən sonra dayanmışdır. Sürtünmə qüvvələrinin  $M$  - momentini tapmalı

#### Həlli

Fırlanma hərəkəti dinamikasının əsas tənliyindən istifadə edək

$$dL_z = M_z dt \quad (1)$$

$dL_z$  -  $z$  oxuna nəzərən  $dt$  müddətində fırlanan diskin impuls momentinin dəyişməsi.  $M_z$  - xarici qüvvələrin (baxılan halda sürtünmə qüvvələrinin) momentidir (diskin həndəsi oxu ilə üst-üstə düşən ixtiyari  $z$  oxuna nəzərən)

Sürtünmə qüvvələrinin momentlərinin zamandan asılı olaraq dəyişmədiyinə ( $M_z = \text{const}$ ) nəzərə alaraq (1)-i inteqrallasaq  $\Delta L = M_z \Delta t$  (2) ifadəsini alarıq.

Məlumdur ki, bərk cismin tərpənməz ox ətrafında fırlanması zamanı impuls momentinin dəyişməsi  $\Delta L_z = J_z \Delta \omega$  (3) ifadəsi ilə müəyyən edilir. Burada  $J_z$  - diskin  $z$  oxuna nəzərən ətalət momentidir.  $\Delta \omega$  - diskin bucaq sürətinin dəyişməsidir. (2) və (3) ifadələrinin sağ tərəflərini bərabərləşdirsək, alarıq

$$M_z \Delta t = J_z \Delta \omega$$

$$\text{Buradan } M_z = J_z \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \quad (4).$$

Bütöv diskin ətalət momenti  $J_z = \frac{1}{2} m R^2$  ifadəsi ilə təyin edildiyindən, bucaq sürətinin dəyişməsi isə  $\Delta \omega = \omega_2 - \omega_1 = 2\pi(n_2 - n_1)$  olduğundan

$$M_z = \frac{\pi m R^2 (n_2 - n_1)}{\Delta t} \quad (5) \text{ ifadəsi ilə təyin edilir. } M_z \text{ -in}$$

vahidini təyin edək:

$$\frac{[m][R^2][n]}{[t]} = \frac{1kq \cdot 1m^2 1san^{-1}}{1s} = 1kqm^2 s^{-2} = 1Nm \quad \text{alınan bu}$$

vahid (Nm) qüvvə momentinin vahidi olduğundan (5) – ifadəsinin doğruluğunu müəyyən etmiş oluruq. (5)-də

$$n_1 = 480 \text{ daq}^{-1} = \frac{480}{60} s^{-1} = 8s^{-1} \quad \text{və } n_2 = 0 \text{ olduğunu və digər ədədi}$$

qiymətlər nəzərə alsaq

$$M_z = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot (0,2)^2 (0 - 8)}{50} N \cdot m = -1Nm$$

(-) işarəsi göstərir ki, sürtünmə qüvvələri diskin fırlanmasına tormozlayıcı təsir göstərir.

### Məsələ №107

Radiusu  $R = 1,5m$ , kütləsi  $m_1 = 180kq$  olan bütöv disk formasında olan platforma şaquli ox ətrafında ətalət üzrə fırlanır. Fırlanma tezliyi  $n = 10 \text{ daq}^{-1}$  dir. Platformanın mərkəzində kütləsi  $m_2 = 60kq$  olan adam dayanmışdır. Platformanın kənarına yerini dəyişən adamın döşəməyə nəzərən hansı xətti sürətə malik olduğunu müəyyən etməli.

### Həlli

Platforma ətalət üzrə fırlanır. Deməli, xarici qüvvələrin platformanın həndəsi oxu ilə üst-üstə düşən  $z$  fırlanma oxuna görə qüvvə momentləri sıfıra bərabər olacaq. Bu şərt daxilində platforma – adam sisteminin  $L_z$  - impuls momenti saxlanacaq, yəni  $L_z = J_z \omega = const$  (1).

$J_z$  - adamla birlikdə platformanın  $z$  oxuna görə ətalət momenti,  $\omega$  - platformanın bucaq sürətidir. Sistemin ətalət momenti onu təşkil edən cisimlərin ətalət momentləri cəminə bərabər olduğundan yaza bilərik ki,  $J_z = J_1 + J_2$ , harada ki,  $J_1$  və  $J_2$  uyğun olaraq platforma və adamın ətalət momentləridir. Deyilənləri nəzərə alsaq (1) ifadəsini  $(J_1 + J_2)\omega = const$  və ya  $(J_1 + J_2)\omega = (J'_1 + J'_2)\omega'$  (2) şəklində yaza bilərik. Burada  $J_1$  və  $J_2$  sistemin başlanğıc halına,  $J'_1$  və  $J'_2$  isə son halına uyğun gələn ətalət momentləridir. Adam yerini dəyişəndə platformanın  $z$



oxuna görə ətalət momenti dəyişmir.  $J_1 = J'_1 = \frac{1}{2} m_1 R^2$  olur.

Adamın isə ətalət momenti həmin oxa görə dəyişəcək. Doğrudan da adama maddi nöqtə kimi baxsaq, başlanğıc halda onun ətalət momenti (yəni platformanın mərkəzində)  $J_2$ -ni sıfır hesab etmək olar. Son halda (yəni platformanın kənarında) adamın ətalət momentini  $J'_2 = m_2 R^2$  kimi təyin etmək olar. Ətalət momentlərinin ifadələrini alsaq bucaq sürətlərinin başlanğıc hala

$\omega = 2\pi n$  və  $\omega'$  hala uyğun qiymətlərini  $\omega' = \frac{v}{R}$  -i ( $v$  - adamın döşəməyə nəzərən sürətidir). (2)-də nəzərə alsaq

$$\left( \frac{1}{2} m_1 R^2 + 0 \right) 2\pi n = \left( \frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2 \right) \frac{v}{R} \quad \text{və } R \text{ -ə ixtisar etdikdən}$$

sonra isə  $v = \frac{2\pi n R m_1}{v}$  olduğunu alırıq. Hesablama aparsaq

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1}{6} \cdot 1,5 \cdot 180}{180 + 2 \cdot 60} \text{ m/s} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### Məsələ №108

Raket Yer in səthində şaquli istiqamətdə yuxarı uçuş üçün quraşdırılmışdır. Raketə hansı  $v_1$  minimal sürəti verilməlidir ki, o Yer in səthindən Yer radiusu qədər məsafəyə uzaqlaşa bilsin ( $R = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$ ). Yerlə raket arasındakı qarşılıqlı qravitasiya qüvvəsindən başqa qüvvələri nəzərə almamaq olar.

### Həlli

Raketin minimal sürətini təyin etmək üçün onun minimal kinetik enerjisini bilmək kifayətdir.  $T_1$  - minimal kinetik enerjisini təyin etmək üçün mexaniki enerjinin saxlanması qanunundan istifadə edək. Bu qanun qapalı sistemlər – yalnız konservativ qüvvələr təsir edən sistemlər üçün ödəndiyindən raket – Yer sistemini qapalı sistem hesab edə bilərik. Baxılan halda təsir edən yeganə qüvvə qravitasiya qüvvəsini konservativ hesab etmək olar.

Hesablama sistemi olaraq inersial hesablama sistemi götürək, çünki dinamika qanunları, o cümlədən saxlanma

qanunları yalnız bu sistemlərdə ödənilir, Məlumdur ki, qapalı sistemin kütlə mərkəzi ilə bağlı sistem inersial sistem hesab olunur. Baxdığımız halda raket – Yer sisteminin kütlə mərkəzi Yerin mərkəzi ilə üst-üstə düşür, çünki  $M \gg m$ . Deməli Yerin mərkəzi ilə bağlı olan sistemi inersial hesab edə bilərik. Mexaniki enerjinin saxlanması qanuna əsasən  $T_1 + P_1 = T_2 + P_2$  (1) yazıla bilər. Burada  $T_1, P_1$  və  $T_2, P_2$  uyğun olaraq raket – Yer sisteminin başlanğıc və son hallarına uyğun kinetik və potensial enerjilərdir. Başlanğıc hal dedikdə Yerin səthi, son hal isə Yerin radiusuna bərabər məsafə başa düşülür.

Baxılan hesablama sistemində Yerin kinetik enerjisi sıfıra bərabərdir. Ona görə də  $T_1 = \frac{1}{2} m v_1^2$  yalnız raketin başlanğıc kinetik enerjisidir.

Başlanğıc halda sistemin potensial enerjisi  $P_1 = -GmM/R$ . Yer səthindən uzaqlaşdıqca raketin potensial enerjisi artır, kinetik enerjisi isə azalır. Son halda kinetik enerji sıfıra bərabər olur, potensial enerji isə özünün maksimal qiymətinə çatır.

$$P_2 = -\frac{GmM}{2R}$$

$T_1, P_1, T_2$  və  $P_2$ -nin qiymətlərini (1)-də nəzərə alsaq

$$\frac{mv_1^2}{2} - \frac{GmM}{R} = -\frac{GmM}{2R}. \text{ Burada isə } v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

Nəzərə alsaq ki,  $\frac{GM}{R^2} = g$  (Yer səthində sərbəst düşmə təcildir)

$v_1 = \sqrt{gR}$  olar ki, bu da ədədi qiymətcə birinci kosmik sürətlə

üst-üstə düşür  $v_1 = \sqrt{9,8 \cdot 6,37 \cdot 10^6 \frac{m}{s}} = 7,9 \text{ km/s}$ .

### Məsələ №109

Uclarında iki kiçik  $m_1 = 0,05 \text{ kq}$  və  $m_2 = 0,02 \text{ kq}$  kürecikləri bərkidilmiş uzunluğu  $\ell = 0,6 \text{ m}$  olan çox yüngül çubuq, ona perpendikulyar istiqamətdə onun ortasından keçən üfüqi ox

ətrafında sürtünməsiz fırlana bilər. Çubuğu üfüqi vəziyyətə gətirib buraxılır.

1) Çubuq hərəkətə başlayan anda bucaq təcili  $\varepsilon$  və ona təsir edən  $F_1$  təzyiq qüvvəsini;

2) Tarazlıq vəziyyətindən keçən anda bucaq sürəti  $\omega$  və oxa təsir edən  $F_2$  təzyiq qüvvəsini;

3) Sistemin kiçik rəqslərinin  $T$  periodunu tapmalı.

**Verilir:**

$$\ell = 0,6 \text{ m}$$

$$m_1 = 0,05 \text{ kq}$$

$$m_2 = 0,02 \text{ kq}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$\varepsilon, F_1, F_2, \omega$  və  $T$ -ni tapmalı.

**Həlli:** 1. Sistemə aşağıdakı xarici qüvvələr təsir edir:

a) birinci kürəciyin ağırlıq qüvvəsi  $P_1 = m_1 g$ ;

b) ikinci kürəciyin ağırlıq qüvvəsi  $P_2 = m_2 g$ ;

v) çubuğun ortasına tətbiq olunan dayağın reaksiya qüvvəsi.

1. Hərəkətə başlayan anda çubuğun ortasından keçən oxa nəzərən xarici qüvvələrin momenti

$$M = m_1 g \frac{\ell}{2} - m_2 g \frac{\ell}{2} = \frac{(m_1 - m_2) g \ell}{2}$$

kimi təyin olunur.

Dayağın reaksiya qüvvəsi moment yaratmır. Həmin oxa nəzərən bütün sistemin ətalət momenti

$$J = m_1 \left( \frac{\ell}{2} \right)^2 + m_2 \left( \frac{\ell}{2} \right)^2 = \frac{(m_1 + m_2) \ell^2}{4}$$

olar.

Sistemin çubuğun ortasından keçən ox ətrafında hərəkət tənliyi aşağıdakı kimidir:

$$M = J \frac{d\omega}{dt} = J\beta \quad \text{və ya} \quad \frac{(m_1 - m_2) g \ell}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \ell^2}{4} \frac{d\omega}{dt}$$

Buradan bucaq təcili üçün

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{2g(m_1 - m_2)}{\ell(m_1 + m_2)}$$

alırıq.

Sistemin kütlə mərkəzi elə maddi nöqtə kimi hərəkət edir ki, onun kütləsi sistemin kütləsinə, ona təsir edən qüvvə isə sistemə təsir edən bütün qüvvələrin vektorial cəminə bərabər olsun. Baxılan halda sistemin kütlə mərkəzi fırlanma oxundan nisbətən ağır  $m_1$  kürəciyinə doğru

$$r = \frac{\ell(m_1 - m_2)}{2(m_1 + m_2)}$$

məsafədə yerləşir. Kütlə mərkəzi aşağıya doğru

$$a = r \frac{d\omega}{dt} = \frac{2(m_1 - m_2)^2}{(m_1 + m_2)^2} g$$

təcili ilə hərəkət edir.

Kütlə mərkəzinin hərəkət qanununa görə

$$m_1 g + m_2 g - F = (m_1 + m_2) a$$

olar ki, buradan da başlanğıc halda reaksiya qüvvəsi

$$F = (m_1 + m_2)g - (m_1 + m_2)a = \left[ 1 - \frac{2(m_1 - m_2)^2}{(m_1 + m_2)^2} \right] \cdot (m_1 + m_2)g$$

kimidir.

Nyutonun üçüncü qanununa görə fırlanma oxuna qiymətce bu qüvvəyə bərabər, istiqamətce onun əksinə yönəlmiş  $F_1$  qüvvəsi təsir edir.

$$F_1 = F = \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2} g.$$

2. Tarazlıq vəziyyətindən keçən anda sistemin potensial enerjisi başlanğıc halından

$$\Delta W_n = (m_2 - m_1)g \frac{\ell}{2}$$

qədər kiçikdir.

Sürtünmə olmadığından və dayaqın reaksiya qüvvəsinin işi

sıfıra bərabər olduğundan sistemin enerjisi saxlanılır.

$$\Delta W_n + \Delta W_k = (m_2 - m_1)g \frac{\ell}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = 0,$$

Buradan bucaq sürəti

$$\omega = \sqrt{\frac{(m_1 - m_2)g\ell}{J}} = 2\sqrt{\frac{(m_1 - m_2)g}{(m_1 + m_2)\ell}}$$

olar.

Tarazlıq vəziyyətindən keçən anda sistemə əvvəlki kimi  $m_1g$ ,  $m_2g$  qüvvələri və dayaqın  $F_2$  reaksiya qüvvəsi təsir edir. Bu zaman kütlə mərkəzinin təcili fırlanma oxuna doğru yönəlib.

$$a_1 = \omega^2 r.$$

Kütlə mərkəzinin hərəkət qanununa görə

$$F_3 - m_1g - m_2g = (m_1 + m_2)a_1,$$

buradan

$$F_3 = (m_1 + m_2)g + (m_1 + m_2)a_1 = \left[1 + 2\frac{(m_1 - m_2)^2}{(m_1 + m_2)^2}\right](m_1 + m_2)g$$

alıriq.

Nyutonun üçüncü qanununa görə oxa sistem tərəfindən ədədi qiymətcə  $F_3$  qüvvəsi təsir edir.

$$F_2 = F_3 = \frac{3(m_1^2 + m_2^2) - 2m_1m_2}{m_1 + m_2} g.$$

3. Sistemin kiçik rəqslərinin periodunu fiziki rəqqas üçün

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mg\ell}}$$

düsturundan təyin etmək olar.

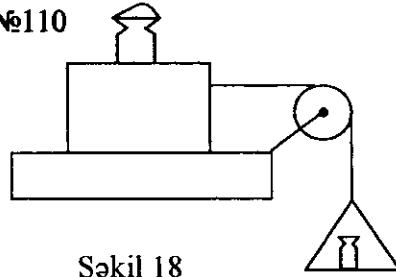
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell(m_1 + m_2)}{2g(m_1 - m_2)}}.$$

Nəticədə

$\varepsilon = 14 \text{ s}^{-2}$ ;  $F_1 = 0,56 \text{ N}$ ;  $F_2 = 0,938 \text{ N}$ ;  $\omega = 5,3 \text{ s}^{-1}$ ;  $T = 1,68 \text{ s}$   
alıriq.

### Məsələ №110

Şəkildən görüldüyü kimi taxta üzərində tircik və tirciyn üzərində çəki daşı vardır. Bloktan aşırılmış ipdən içərisində çəki daşı olan qab aşırılmışdır. Çəki daşı ilə tircik birlikdə taxta üzərində sabit sürətlə sürüşür. Tirciyn



Şəkil 18

kütləsi  $m_1 = 0,18kq$  , tirciyn üzərindəki çəki daşının kütləsi  $m_2 = 2kq$  , qabın kütləsi  $m_3 = 0,18kq$  , qabın içindəki daşının kütləsi  $m_4 = 0,5kq$  olduğunu bilərək tircik və taxta arasında yaranan sürtünmə əmsali  $k$  -ni tapmalı.

### Həlli

Məsələnin şərtinə müvafiq olaraq şəkildəki cisimlərə təsir edən qüvvələri göstərək (şəkil 19)

$N$  - taxtanın reaksiya qüvvəsi

$T$  - ipin gərilmə qüvvəsi

$f$  - sürtünmə qüvvəsi.

Şaquli istiqamətdə

hərəkət mövcud

olmadığından

$$N - (m_1 + m_2)g = 0$$

Bərabərsürətli hərəkətdə

$$T - f = 0 \text{ və}$$

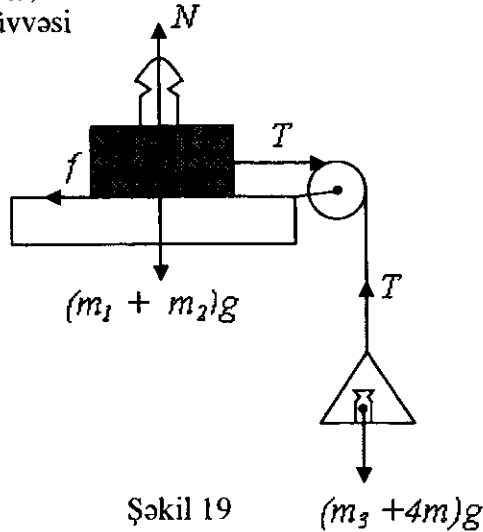
$$(m_3 + m_4)g - T = 0$$

olduğundan sürtünmə

qüvvə  $f = kN = k(m_1 + m_2)g$

. Alınan tənliklərdən  $T$  -ni

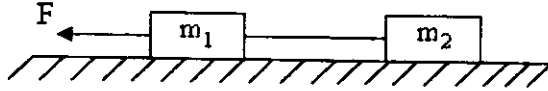
yox edərək  $k$  -ni tapa bilirik.



Şəkil 19

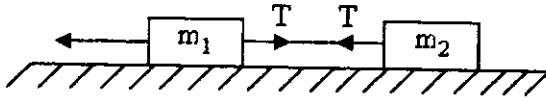
$$k = \frac{(m_3 + m_4)}{m_1 + m_2} \approx 0,3.$$

## Məsələ №111



Şəkil 20

Kütlələri  $m_1 = 50q$  və  $m_2 = 100q$  olan iki cisim şəkildə göstəriləyi kimi üfüqi hamar müstəvi üzərində yerləşdirilmişdir və bir-biri ilə ip vasitəsi ilə bağlanmışlar. Birinci cisim hansı  $F$  qüvvəsi ilə dartmaq lazımdır ki,  $T_{\max} = 5N$  gərilmə qüvvəsinə tab gətirən ip qırılmasın? Əgər qüvvə birinci cisimə deyil, ikinci cismə tətbiq edilərsə, nəticə dəyişərmə?



Şəkil 21

### Həlli

Gərilməş, ip hər iki cismə eyni  $T$  gərilmə qüvvəsi ilə təsir göstərir (şəkil 21). I cismə, həmçinin üfüqi istiqamətdə  $F$  qüvvəsi də təsir edir. Şaquli istiqamətdə cisimlərə təsir edən qüvvələr (yuxarı və aşağı) qarşılıqlı surətdə bir-birlərini yox etdiklərindən  $F$  istiqamətdə cisimlərin hərəkətinə heç bir xələl gətirmirlər. Deyilənləri nəzərə alaraq cisimlərin hərəkət tənliklərini

$$\begin{cases} m_1 a = F - T \\ m_2 a = T \end{cases} \text{ şəkildə yazmaq olar. Burada nəzərə alınmışdır ki,}$$

hər iki cisim eyni  $a$  təcili ilə hərəkət edir. Məsələnin şərtinə görə

$$T \leq T_{\max}, \text{ deməli } a \leq \frac{T_{\max}}{m_2} \text{ və}$$

$$F \leq T_{\max} + m_1 a \equiv \frac{(m_1 + m_2)T_{\max}}{m_2} = 7,5N.$$

Əgər qüvvə ikinci cismə tətbiq edilərsə, onda yuxarıdakı mühakimələr öz qüvvəsində qalacaq, ancaq  $m_1$  və  $m_2$  kütlələri yerlərini dəyişəcəklər, onda  $F \leq \frac{(m_2 + m_1)T_{\max}}{m_1} = 15N$ .

### Məsələ №112

Dinamometrden asılmış blokdan aşırılmış ipin uclarından kütlələri  $m_1 = 2kq$  və  $m_2 = 8kq$  olan yüklər asılmışdır. Yüklərin hərəkəti zamanı dinamometr nə göstərəcək.

#### Həlli

Blok tərpənməz olduğu üçün ona dinamometr tərəfindən təsir edən qüvvə  $F = 2T$  olar. (Şəkil 22) Yüklərin hərəkət tənlikləri işə 
$$\left. \begin{aligned} m_2 a &= m_2 g - T \\ m_1 a &= T - m_1 g \end{aligned} \right\} \text{şəklində}$$

olacaq. Burada nəzərə alınmışdır ki, yüklərin təcilləri eynidir (qiymətə), lakin II yükün təcili aşağıya, I-ci yükün təcili isə yuxarıya doğru yönəlir. Tənliklərdən  $a$ -nı yox edərək göstərə bilərik ki,

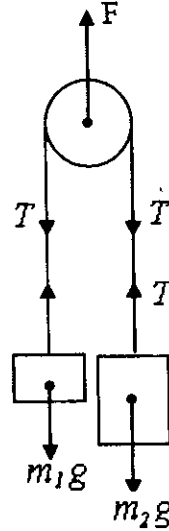
$$T = \frac{2m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}. \text{ Nyutonun III}$$

qanuna əsasən isə dinamometrın göstərişi olan  $F$  qüvvəsi üçün

$$F = 2T = \frac{4m_1 m_2 g}{m_1 + m_2} \approx 62,7N \text{ qiymətini alırıq.}$$

### Məsələ №113

Kütləsi 40 kq olan bircins tiri bir ucundan tutub qaldırmaq üçün ona nə qədər qüvvə ilə təsir etmək lazımdır?



Şəkil 22



#### Məsələ №114

Sabit qüvvənin qolunu 20 sm artırıqda qüvvə momenti 3 dəfə artmışdır. Qüvvənin qolu əvvəlcə nə qədər olmuşdur?

#### Məsələ №115

Cismə təsir edən qüvvənin qolunu dəyişdirmədən qüvvənin modulunu 15 N artırıqda qüvvə momenti 4 dəfə artmışdır. Əvvəlcə cismə təsir edən qüvvə nə qədər olmuşdur?

#### Məsələ №116

Radiusu  $R=0,2$  m olan bircins disk mərkəzindən keçən ox ətrafında  $\omega = A+Bt$ ,  $B=8$  rad/s<sup>2</sup> bucaq sürətilə fırlanır, toxunan qüvvənin qiymətini tapmalı. Sürtünmə nəzərə alınmır.

#### Məsələ №117

Tərpənən blok vasitəsilə 40 kq kütləli yükü qaldırmaq üçün nə qədər qüvvə tətbiq etmək lazımdır?

#### Məsələ №118

Təkərin bərabər yavaşayan hərəkəti nəticəsində 1 dəqiqə ərzində fırlanma sürəti 300 dövr/dəq-dən 180 dövr/dəq kimi azalmışdır. Təkərin ətalət momenti 2 kq·m<sup>2</sup>-dir. Bucaq təcilini tapmalı.

## §5. Mexaniki rəqslər və dalğalar

- maddi nöqtənin harmonik rəqslərinin kinematik tənliyi:  
 $x = A \cos(\omega t + \varphi)$

$x$  - yerdəyişmə;  $A$  - rəqsin amplitudu;  $\omega$  - dairəvi tezlik;  $\varphi$  - başlanğıc faza.

- harmonik rəqs edən maddi nöqtənin sürət və təcili:

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi)$$

$$a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi)$$

- Eyni istiqamətdə və eyni tezliklə baş verən harmonik rəqslərin toplanması

a) yekun rəqsin amplitudu

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\omega(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

b) yekun rəqsin başlanğıc fazası

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$

- Qarşılıqlı perpendikulyar istiqamətdə baş verən iki rəqsdə iştirak edən maddi nöqtənin trayektoriyası  $x = A_1 \cos \omega t$ ,  
 $y = A_2 \cos(\omega t + \varphi)$

a)  $y = \frac{A_2}{A_1} x$  (fazalar fərqi  $\varphi = 0$ )

b)  $y = -\frac{A_2}{A_1} x$  (fazalar fərqi  $\varphi = \pm \pi$ )

v)  $\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$  (fazalar fərqi  $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ )

- Müstəvi qaçan dalğanın tənliyi

$$y = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

$y$  - koordinatı  $x$  olan mühitin ixtiyarı zərrəciyinin  $t$  anındakı yerdəyişməsidir;

$v$  - mühitdə rəqsin yayılma sürətidir.

- $\Delta\varphi$  fazalar fərqi ilə  $\Delta x$  yerdəyişməsi arasında əlaqə

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$$

$\lambda$  - dalğa uzunluğudur.

- $v$  sürəti ilə irəliləmə hərəkəti edən  $m$  kütləli maddi nöqtənin impulsu  $\vec{p} = m\vec{v}$ .

### Məsələ №119

Hər yerdə nöqtə  $10 \text{ s}^{-1}$  tezliklə harmonik rəqs edir. Başlanğıc anda nöqtə maksimal yerdəyişməyə malik olmuşdur  $X_{\max} = 1 \text{ mm}$ . Nöqtənin rəqs tənliklərini yazıb qrafiklərini qurmali.

#### Həlli

Nöqtənin rəqs tənliyini

$$X = A \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (1)$$

və ya

$$X = A \cos(\omega t + \varphi_2) \quad (2)$$

şəklində yaza bilərik.

$A$  - rəqsin amplitudu,  $\omega$  - rəqsin dairəvi tezliyi,  $t$  - zaman.

$\varphi_1$  və  $\varphi_2$  isə (1) və (2) -yə uyğun başlanğıc fazalardır. Tərifə görə rəqsin amplitudu  $A = X_{\max}$ .

Dairəvi tezlik  $\nu$  - tezliyi ilə  $\omega = 2\pi\nu$  münasibəti ilə bağlıdır. Rəqsin başlanğıc fazası yazılış formasından asılıdır.  $t = 0$  anda  $X_{\max} = A \sin \varphi_1$  şəklinə düşür, buradan da

$$\varphi_1 = \arcsin \frac{X_{\max}}{A} = \arcsin 1 \quad (3)$$

və ya

$$\varphi_1 = \frac{2k+1}{\pi/2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (4)$$

fazanın  $2\pi$  qədər dəyişməsi rəqsi hərəkətin halını dəyişmir, ona görə də

$$\varphi_1 = \pi/2 \quad (5)$$

yaza bilərik.

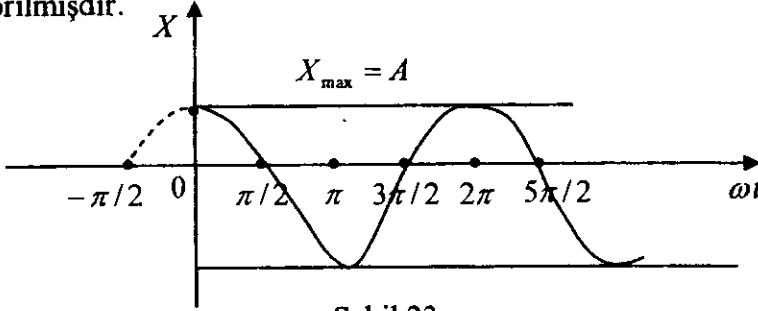
(2)-dən istifadə etdikdə  $\varphi_2 = \arccos \frac{X_{\max}}{A} = \arccos 1$  və ya  $\varphi_2 = 2\pi k$  ( $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ ). Analoji olaraq  $\varphi_2 = 0$  (6).

(3) və (6)-dan istifadə etdikdə rəqs tənlikləri  $x = A \sin(2\pi\nu + \varphi)$  və ya

$$X = A \cos 2\pi\nu z$$

şəklinə düşür, burada  $A = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ ;  $\nu = 10 \text{ Hz}$   $\varphi = \pi/2$ .

Baxılan harmonik rəqsə uyğun qrafik şəkil 23-də göstərilmişdir.



Şəkil 23

### Məsələ №120

Kütləsi  $m = 0,01 \text{ kg}$  olan zərrəcik  $T = 2 \text{ san}$  periodu ilə harmonik rəqs edir. Rəqs edən zərrəciyin tam enerjisi  $E = 0,1 \text{ mC} = 10^{-4} \text{ C}$  -dur.

Rəqsin  $A$  - amplitudunu və zərrəciyə təsir edən qüvvənin ən böyük qiymətini  $F_{\max}$  -u tapmalı.

### Həlli

Rəqs amplitudunu təyin etmək üçün zərrəciyin tam enerjisinin ifadəsindən istifadə edək

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2, \text{ burada } \omega = \frac{2\pi}{T} \text{ olduğunu nəzərə alsaq}$$

$$A = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2E}{m}} \quad (1). \text{ Zərrəcik harmonik rəqs etdiyindən, ona təsir}$$

edən qüvvə kvazielastiki qüvvə olub  $F = -kx$  ifadəsi ilə təyin ediləcək.  $k$  - kvazielastiki qüvvə əmsəlidir.  $x$  - rəqs edən nöqtənin

yerdəyişməsidir. Maksimal qüvvə  $F_{\max} = kA$  (2) ifadəsi ilə təyin ediləcək.  $k$  - əmsalını rəqs periodu ilə ifadə edək

$$K = m\omega^2 = m \cdot 4\pi^2 / T^2 \quad (3)$$

$k$  və  $A$  -nın ifadələrini (2)-də nəzərə alıb sadələşdirmə aparsaq

$$F_{\max} = \frac{2\pi\sqrt{2mE}}{T} \text{ alarıq.}$$

Hesablama aparaq:

$$A = \frac{2}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}}} m = 0,045 m = 45 mm$$

$$F_{\max} = \frac{2 \cdot 3,14}{2} \sqrt{2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4}} N = 4,44 \cdot 10^{-3} N = 4,44 mN.$$

### Məsələ №121

Eyni istiqamətdə baş verən iki  $x_1 = A_1 \cos \frac{2\pi}{T}(t + \tau_1)$  və

$x_2 = A_2 \cos \frac{2\pi}{T}(t + \tau_2)$  rəqsləri toplanır.

$A_1 = 3 sm$ ;  $A_2 = 2 sm$ ;  $\tau_1 = \frac{1}{6} s$ ;  $\tau_2 = \frac{1}{3} s$ ;  $T = 2 s$ . Bu rəqslərin

toplanmasının vektor diaqramını qurub yekun rəqsin tənliyini yazmalı.

### Həlli

Eyni istiqamətdə baş verən iki rəqsin toplanmasının vektor diaqramını qurmaq üçün ixtiyari zaman anını qeyd etmək lazımdır. Adətən vektor diaqramını  $t = 0$  üçün qururlar. Hər iki rəqsi  $x = A \cos(\omega t + \varphi)$  kanonik şəklinə gətirsək alarıq

$$x_1 = A_1 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \frac{2\pi}{T}\tau_1\right)$$

$$x_2 = A_2 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \frac{2\pi}{T}\tau_2\right).$$

Göründüyü kimi toplanan hər iki harmonik rəqsin dairəvi tezliyi  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  eynidir, rəqslərin başlanğıc fazaları uyğun olaraq

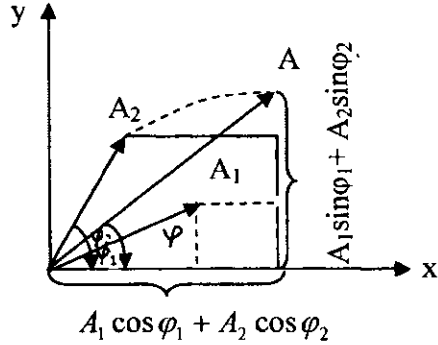
$$\varphi_1 = \frac{2\pi}{T} \tau_1 \text{ və } \varphi_2 = \frac{2\pi}{T} \tau_2 \text{ -dir. Hesablama aparsaq,}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{2} s^{-1} = 3,14 s^{-1};$$

$$\varphi_1 = \frac{2\pi}{2} \frac{1}{t} rad = 30^\circ$$

$$\varphi_2 = \frac{2\pi}{2} \frac{1}{3} rad = 60^\circ.$$

$\vec{A}_1$  və  $\vec{A}_2$  vektorlarını quraq bunun üçün  $A_1 = 3sm$  və  $A_2 = 2sm$  parçalarını OX oxu ilə  $\varphi_1 = 30^\circ$  və  $\varphi_2 = 60^\circ$  bucaq altında ayıraq. Yekun rəqs də eyni  $\omega$  tezliyi və  $\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2$  amplitudu ilə baş verəcək. Kosinuslar teoreminə əsasən



Şəkil 24

$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$ . Şəkil 24-də göstərilmiş vektor diaqramından yekun rəqsin başlanğıc fazasını

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$

ifadəsi ilə müəyyən etmək olar.

Hesablama apararaq:

$$A = \sqrt{3^2 + 2^2 + 2 \cdot 3 \cdot 2 \cos(60^\circ - 30^\circ)} = 4,84 sm$$

$$\varphi = \arctg \frac{3 \sin 30 + 2 \sin 60}{3 \cos 30 + 2 \cos 60} = \arctg 0,898 = 42^\circ$$

və ya  $\varphi = 0,735 rad$ .

Yekun rəqs də toplanan rəqslər kimi eyni tezlikli harmonik rəqs olduğundan, onu  $x = A \cos(\omega t + \varphi)$  şəklində yaza bilərik,  $A = 4,84 \text{ sm}$ ,  $\omega = 3,14 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\varphi = 0,735 \text{ rad}$ .

### Məsələ №122

Maddi nöqtə eyni zamanda qarşılıqlı perpendikulyar istiqamətdə baş verən iki harmonik rəqsdə iştirak edir. Rəqs tənlikləri

$$x = A_1 \cos \omega_1 t \quad (1) \quad \text{və} \quad y = A_2 \cos \omega_2 t \quad (2)$$

şəklindədir.  $A_1 = 1 \text{ sm}$ ;  $\omega_1 = \pi \text{ s}^{-1}$ ;  $A_2 = 2 \text{ sm}$ ;  $\omega_2 = \pi/2 \text{ s}^{-1}$ .

Nöqtənin hərəkət trayektoriyasını müəyyən etməli. Miqyasa riayət etməklə trayektoriyanı qurmalı və nöqtənin hərəkət istiqamətini müəyyənləşdirməli.

### Həlli

Nöqtənin hərəkət trayektoriyasını müəyyən etmək üçün (1) və (2)-dən zamanı yox edək.  $y = A_2 \cos \frac{\omega_1}{2} t$  olduğunu nəzərə alıb yarım arqumentin kosinusu düsturundan istifadə edək  $\cos \frac{\alpha}{2} = \pm \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}}$ . Bu münasibətdən istifadə edib  $x$  və  $y$ -in

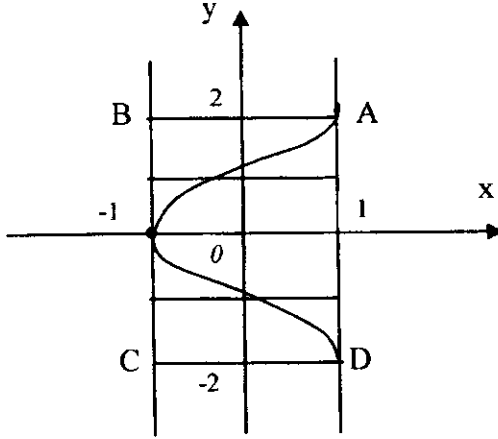
ölçülərini yox edərək  $y = \cos \frac{\omega_1 t}{2} = 2 \sqrt{\frac{1 + \cos \omega_1 t}{2}}$ ,  $x = \cos \omega_1 t$ .

Buradan isə  $y = \pm 2 \sqrt{\frac{1+x}{2}}$  və ya  $y = \pm \sqrt{2x+2}$ . Alınan bu tənlik

oxu OX kimi oxu ilə üst-üstə düşən parabola tənliyidir. (1) və (2) tənliklərindən görüldüyü kimi nöqtənin OX oxu üzrə amplitudu 1-ə, OY oxu üzrə isə  $-2$ -yə bərabərdir. Nəticədə alınır ki, trayektoriyanın bütün nöqtələrinin absisləri  $-1$ -dən,  $+1$ -ə kimi, ordinatları isə  $-2$ -dən  $+2$ -yə kimi qiymətlər alır. Trayektoriyayı qurmaq üçün  $|x| \leq 1$  şərtini ödəyən  $x$ -lər üçün  $y$ -i tapaq

$x$	$y = \sqrt{2x+2}$	$x$	$y = \sqrt{2x+2}$
-1	0	0	$\pm 1,41$
-0,75	$\pm 0,71$	0,5	$\pm 1,73$
-0,5	$\pm 1$	1	$\pm 2$

Koordinat oxlarını çəkib, ölçü vahidi olaraq uzunluq üçün 1 sm götürək və nöqtələri qeyd edək. Bu nöqtələri səliqəli ayri ilə birləşdirib nöqtənin yekun rəqsinin trayektoriyasını qurmuş olarıq. Şəkil (25) –dən görüldüyü kimi bu trayektoriya ABCD amplitud düzbucaqlısının daxilində yerləşən parabola əyrisinin müəyyən bir hissəsindən ibarətdir.



Şəkil 25

(1) və (2)-dən alırıq ki, üfüqi ox üzrə nöqtənin rəqs periodu  $T_x = 2s$ , şaquli ox üzrə isə  $T_y = 4s$ -dir. Görüldüyü kimi nöqtə OX üzrə bir rəqs edərkən, OY oxu üzrə yalnız yarım rəqs etmiş olur.  $t = 0$  başlanğıc anında  $x = 1, y = 2$  (nöqtə A vəziyyətindədir)  $t = 1s$  olduqda  $x = -1$  və  $y = 0$  nöqtəsi parabolunun təpəsində yerləşir.

$t = 2s$  olduqda  $x = 1$  və  $y = -2$  (nöqtə D vəziyyətindədir). Bundan sonra nöqtə əks istiqamətdə hərəkət etməyə başlayacaq.

### Məsələ №123

Rəqs mənbəyindən 6 və 8,7 m məsafədə yerləşən şüalar üzərində rəqs edən iki nöqtə arasında yaranan fazalar fərqi  $\frac{3\pi}{4}$  və mənbələrin rəqs periodu  $10^{-2}$  saniyədir. Verilən mühitdə rəqslərin yayılma sürəti və dalğa uzunluğu nə qədər olar? Nöqtələrin rəqs



amplitudlarının 0,52 m olduğunu bilərək I və II nöqtə üçün dalğa tənliyini yazmalı.

**Verilir:**

$$\ell_1 = 6m; \ell_2 = 8,7m;$$

$$\Delta\varphi = \frac{3\pi}{4}; T = 10^{-2}s;$$

$$A_1 = A_2 = 0,5m.$$

**Tapmalı:**  $\lambda$  və  $\nu$ .

**Həlli:** Dalğa tənliyindən  $\Delta\varphi$  fazalar fərqi və nöqtələr arasındakı  $\ell$  - məsafəsi arasındakı münasibətdən istifadə edərək  $\lambda$  - dalğa uzunluğunu tapa bilərik.

$$x = A \sin \omega \left( t - \frac{\ell}{\omega} \right) \quad (1)$$

və ya

$$x = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{\ell}{\lambda} \right) \quad (2)$$

Burada  $x$  - rəqs edən nöqtənin yerdəyişməsi;  $t$  - rəqs müddəti;  $\omega$  - dairəvi tezlik;  $\ell$  - rəqs edən nöqtənin vibratordan olan məsafəsidir. (2) tənliyində  $2\pi(t/T - \ell/\lambda)$  kəmiyyəti rəqsin fazasıdır. Hər bir nöqtə üçün fazaları yazaq:

$$\varphi_1 = 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{\ell_1}{\lambda} \right),$$

$$\varphi_2 = 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{\ell_2}{\lambda} \right).$$

Fazalar fərqi

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi \left( \frac{\ell_2 - \ell_1}{\lambda} \right)$$

ifadəsindən

$$\lambda = \frac{2\pi(\ell_2 - \ell_1)}{\Delta\varphi} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (8,7m - 6m)}{\frac{3}{4} \cdot 3,14} = 7,2m.$$

Dalğanın yayılma sürəti  $v = \frac{\lambda}{T}$  ifadəsindən tapa bilərik.

$$v = \frac{7,2m}{10^{-2}s} = 720 \frac{m}{s}.$$

Dairəvi tezlik

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{10^{-2}s} 200\pi s^{-1}.$$

Tapdığımız ədədi qiymətləri (1) ifadəsində yazıb birinci və ikinci nöqtəyə uyğun dalğa tənliklərini aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$x_1 = 0,5 \sin 200\pi \left( t - \frac{6}{720} \right);$$

$$x_2 = 0,5 \sin 200\pi \left( t - \frac{8,7}{720} \right).$$

#### Məsələ №124

Nöqtə eyni zamanda qarşılıqlı perpendikulyar istiqamətdə baş verən iki rəqsdə iştirak edir. Bu rəqslərin tənlikləri  $x = \cos \pi t$

və  $y = \cos \frac{\pi t}{2}$  şəklindədir. Nöqtənin yekun hərəkətinin trayektoriyasını müəyyən etməli.

**Həlli:** Məsələnin şərtinə görə

$$x = \cos \omega t \quad (1)$$

$$y = \cos \frac{\pi t}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \pi t}{2}} \quad (2)$$

(2) ifadəsini

$$2y^2 - 1 = \cos \pi t \quad (3)$$

şəklində yazaraq (3)-ü (1)-ə bölək

$$\frac{2y^2 - 1}{x} = 1 \text{ və ya } 2y^2 - x = 1 \quad (4)$$

tənliyini alarıq. Məlumdur ki, (4) ifadəsi  $x = 2y^2 - 1$  parabolasının tənliyidir.

### Məsələ №125

Harmonik rəqsi hərəkətdə yerdəyişmə hansı ifadə ilə müəyyən edilir?

### Məsələ №126

Harmonik rəqsin başlanğıc fazası sıfıra bərabərdir. Rəqs periodunun hansı hissəsində rəqsi hərəkətin sürəti maksimal sürətin yarısına bərabər olacaq?

### Məsələ №127

Harmonik rəqsin amplitudu 5 sm, periodu 4 saniyədir. Rəqs edən nöqtənin maksimal təcilini tapmalı.

### Məsələ №128

Kütləsi  $m = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$  olan maddi nöqtənin rəqs tənliyi  $x = 0,1 \sin\left(\frac{\pi}{8}t + \frac{\pi}{4}\right)$  şəklindədir. Təsir edən qüvvənin maksimal qiymətini tapmalı.

### Məsələ №129

Rəqs edən nöqtənin kinetik enerjisi hansı ifadə ilə müəyyən edilir?

### Məsələ №130

Rəqs edən nöqtənin potensial enerjisi hansı ifadə ilə müəyyən edilir?

### Məsələ №131

Nöqtənin rəqsi hərəkətində tam enerji hansı ifadə ilə müəyyən edilir?

### Məsələ №132

Hansı fiziki kəmiyyət  $\left(\frac{KXm^2}{2} - \frac{Fx}{2}\right)$  ifadəsi ilə müəyyən edilir?

### Məsələ №133

$\frac{KXm^2}{2} - \frac{Fx}{2}$  ifadəsi ilə hansı fiziki kəmiyyət müəyyən edilir?

### Məsələ №134

$\frac{Fm^2}{2K} - \frac{Kx^2}{2}$  ifadəsi ilə hansı fiziki kəmiyyət müəyyən edilir?

### Məsələ №135

Yaylı rəqqas 3 dəqiqədə 180 rəqs edirsə, onun rəqs tezliyini hesablayın.

### Məsələ №136

Uzunluğu 10 m olan riyazi rəqqasın rəqs periodunu təyin edin. ( $g=10 \text{ m/s}^2$ ).

### Məsələ №137

Rəqs tezliyi 2 Hz olan yaylı rəqqasın 1 dəqiqədə neçə rəqs etdiyini hesablayın.

### Məsələ №138

Dalğanın uzunluğu 2m, tezliyi 10 Hz olarsa, onun yayılma sürətini hesablayın.

### Məsələ №139

Bir-birindən 2 m məsafədə yerləşən və harmonik rəqs edən iki nöqtənin yaratdığı dalğa uzunluğu 1 metrə bərabərdir. Fazalar fərqi müəyyən etməli.

### Məsələ №140

Periodu  $10^{-14} \text{ s}$ , yayılma sürəti  $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  olan rəqsın yaratdığı dalğa uzunluğu nə qədər olar?

### Məsələ №141

Nöqtənin rəqsi hərəkəti  $x = 2 \sin\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}\right)$  qanunu ilə baş verir. Bu rəqsın periodunu müəyyən etməli.

### Məsələ №142

Rəqsi hərəkət  $x = 3 \cos\left(\frac{\pi}{3}t + \frac{\pi}{4}\right)$  qanunu ilə baş verir. Bu rəqsın başlanğıc fazasını müəyyən etməli.

### Məsələ №143

Uzunluğu 2 m olan dalğa 30 m məsafəyə yayıldıqda mənbə neçə dəfə rəqs etmiş olur?

### Məsələ №144

$X=4\sin 50 \pi t(\text{m})$  qanunu ilə harmonik rəqs edən maddi nöqtənin rəqs tezliyini hesablayın.

### Məsələ №145

Riyazi rəqqası Yerdən Aya apardıqda periodu necə dəyişər?

### Məsələ №146

Zamanın verilmiş anında rəqs edən nöqtənin yerdəyişməsi  $x = 5\text{sm}$ , sürəti  $v = 20\text{sm/s}$  və təcili  $a = -80\text{sm/s}^2$  olmuşdur. Bu rəqsin dairəvi tezliyini, periodunu, fazasını və amplitudunu təyin etməli.

### Məsələ №147

Nöqtə  $X = A \sin \omega t$  qanunu üzrə harmonik rəqs edir.  $A = 5\text{sm}$ ;  $\omega = 2\text{s}^{-1}$ . Rəqsin potensial enerjisinin  $E_p = 10^{-4}\text{C}$  və qaytarıcı qüvvənin  $F = 5 \cdot 10^{-3}\text{N}$  olduğu zaman anını və bu ana uyğun rəqsin fazasını təyin etməli.

### Məsələ №148

Bir düz xətt üzrə baş verən iki harmonik rəqs eyni amplituda və perioda malikdirlər. Bu rəqslərin toplanmasından alınan yekun rəqsin amplitudu da toplanan rəqslərin amplitudları ilə eynidir. Toplanan rəqslər arasında yaranan fazalar fərqi təyin etməli.

### Məsələ №149

Cisim eyni zamanda bir-birinə perpendikulyar olan iki harmonik rəqsdə iştirak edir. Bu rəqslərin tənlikləri  $x = A_1 \cos \omega_1 t$  və  $y = A_2 \cos \omega_2 (t + \tau)$  şəklindədir. Burada  $A_1 = 4\text{sm}$ ;  $\omega_1 = \pi \text{s}^{-1}$ ;  $A_2 = 8 \text{sm}$ ;  $\omega_2 = \pi \text{s}^{-1}$ ;  $\tau = 1 \text{s}$ . Trayektoriya tənliyini müəyyən etməli.

### Məsələ №150

Eninə dalğa elastiki ip boyunca  $T = 1,2 \text{s}$  periodla və  $v = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  sürətlə yayılır. Dalğa mənbəyindən  $x_1 = 20 \text{m}$  və  $x_2 = 30 \text{m}$  məsafədə yerləşən şüa üzərində rəqs edən iki nöqtə arasında yaranan fazalar fərqi müəyyən etməli.

### Məsələ №151

Kütləsi 20 q olan maddi nöqtə  $T = 9 \text{s}$  periodu ilə harmonik rəqs edir. Rəqsin başlanğıc fazası  $10^0$ -dir. Hərəkətə başlayandan nə qədər müddət sonra nöqtənin yerdəyişməsi rəqs amplitudunun yarısına bərabər olacaq. Rəqs edən nöqtənin tam enerjisinin 0,01 Coul olduğunu bilərək rəqsin amplitudunu, maksimal sürətini və təcilin müəyyən etməli.

### Məsələ №152

Riyazi rəqslərin sönməsinin loqarifmik dekrementi 0,2-yə bərabərdir. Tam bir rəqsə sərf edilən müddətdə rəqsin amplitudunun neçə dəfə azaldığını müəyyən etməli.

### Məsələ 153

Nöqtə eyni period və başlanğıc faza ilə iki rəqsdə iştirak edir. Rəqs amplitudları uyğun olaraq  $A_1 = 8 \text{ sm}$  və  $A_2 = 4 \text{ sm}$  -dir. Rəqslərin eyni istiqamətdə baş verdiyini nəzərə alaraq yekun rəqsin amplitudunu təyin etməli.

### Məsələ №154

Nöqtənin hərəkət tənliyi  $x = 3 \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{6}\right)$  şəklindədir.

Rəqsin periodunu tapmalı və başlanğıc fazasını təyin etməli.

### Məsələ №155

Kütləsi 10 q olan cisim  $x = 5 \cos\left(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{6}\right)$  qanunu ilə rəqs edir. Bu cisimə təsir edən maksimal qüvvəni və rəqsin tam enerjisini tapmalı.

## §6. Maye və qazların mexanikası

• ideal sıxılmayan mayenin qərarlaşmış axını  $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const}$  Bernulli tənliyi ilə verilir. Burada  $\rho$  - mayenin sıxlığı,  $v$  - borunun verilən en kəsiyində mayenin axın sürəti,  $h$  - borunun müəyyən səviyyədə olan hündürlüyü və  $p$  - təzyiqdır. Bernulli tənliyindən alınır ki, kiçik deşikdən mayenin axma sürəti  $v = \sqrt{2gh}$  ifadəsi ilə təyin edilir, burada  $h$  - maye səthinin deşikdən olan hündürlüyüdür. Borunun istənilən en kəsiyindən vahid zamanda axan mayenin həcmi eyni olduğu üçün (axının kəsilməzliyi qanununa əsasən)  $S_1 v_1 = S_2 v_2$  münasibəti ödənilir. Burada  $v_1$  və  $v_2$  mayenin borunun en kəşik sahələri  $S_1$  və  $S_2$  olan hissələrindəki sürətləridir.

Özülü maye (və ya qaz) daxilində düşən kürəciyə təsir edən müqavimət qüvvəsi  $F = 6\pi\eta r v$  Stoks düsturu ilə təyin edilir.  $\eta$  - maye və ya qazın daxili sürtünmə əmsalı olub dinamik özülülük adlanır.  $r$  - kürəciyin radiusu,  $v$  - isə sürətidir. Stoks qanunu yalnız laminar maye axını üçün ödənilir.

Maye və ya qazın laminar axınında  $t$  müddəti ərzində radiusu  $r$ , uzunluğu  $\ell$  olan kapilyar borudan axan mayenin (qazın) həcmi Puazeyel düsturu ilə müəyyən edilir.

$V = \frac{\pi r^4 t \Delta p}{8\eta \ell}$ . Burada  $\eta$  - maye (və ya qazın) dinamik özülülüğü.  $\Delta p$  - cərəyan borusun uclarında yaranan təzyiqlər fərqi.

Maye və ya qazın hərəkət xarakteri Reynolds ədədi ilə müəyyən edilir.

$$\text{Re} = \frac{Dv\rho}{\eta} = \frac{Dv}{\nu}$$

$D$  - maye və ya qazın əhatə etdiyi cismin xətti ölçülərini xarakterizə edən kəmiyyətdir.  $\rho$  - sıxlıq,  $\eta$  - dinamik özülükdür.

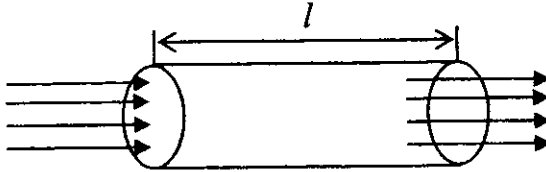
$\nu = \frac{\eta}{\rho}$  nisbəti kinematik özlülük adlanır. Reynols ədədi

ölçüsüdür, onun kritik qiymətləri laminar axından trubulent axına keçidi müəyyən edir və müxtəlif formalı cisimlər üçün müxtəlif qiymətlər alır.

### Məsələ №156

Məlumdur ki, borunun en kəsiyindən yarım saat ərzində  $0,5 \text{ kq } CO_2$  qazı axır. Qazın sıxlığı  $7,5 \text{ kq} / \text{m}^3$ , borunun diametri isə  $D = 50 \text{ sm}$ -dir. Bu qazın boru daxilində hərəkət sürəti nə qədərdir?

Məsələni həll etmək üçün qaz axını borusunu silindrik formada olduğunu qəbul edək. Borunun en kəsik sahəsi  $S$ , diametri  $d$  uzunluğu isə  $\ell$  olsun.  $t$  müddəti ərzində borudan axan qazın, kütləsini  $m$  götürsək, yaza bilərik ki,  $m = \rho V$  (1),  $V = S\ell$  (2) (2)-ni (1)-də nəzərə alsaq  $m = \rho S\ell$  (3). Qaz axını stasionar hesab etsək  $v = \text{const}$  (axın sürəti) olar.



Şəkil 26

Onda yaza bilərik ki,  $\ell = vt$  (4) və  $v = \frac{\ell}{t}$  (5) (3)-ü (5)-də

nəzərə alsaq  $v = \frac{m}{\rho St}$  (6)  $S = \frac{\pi D^2}{4}$  (7) olduğundan (7)-ni (6)-da

nəzərə alaraq  $v = \frac{4m}{\pi D^2 \rho t}$  (8). Qazın axın sürəti üçün aldığımız (8)

ifadəsinin doğruluğunu yoxlamaq üçün (8)-də vahidləri nəzərə alaq

$$[v] = \frac{[4][m]}{[\pi][D^2][\rho][t]}$$



BS -də  $[v] = 1 \frac{m}{s}$ ;  $[\pi] = \text{adsız}$ ;  $[\pi] - \text{adsız}$ ,  $[\rho] = 1 \frac{kq}{m^3}$ ,  $[t] = 1 \text{san}$ .

$[m] = 1kq$  olduğundan alırıq ki,  $[D^2] = 1m^2$ .

$$1 \frac{m}{s} = \frac{1kq}{1m^2 \cdot 1 \frac{kq}{m^3} \cdot 1s} = 1 \frac{kq}{\frac{kq}{m} s} = 1 \frac{m}{s}.$$

Deməli (8) ifadəsi doğrudur. Onda hesablamaya apara bilərik.  $t = 0,5 \text{ saat} = 1800s$  olduğunu və  $m, \pi, D$  və  $\rho$  -nün qiymətlərini nəzərə alsaq

$$v = \frac{4m}{\pi D^2 \rho t} = \frac{4 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 7,5 \cdot 1800} = \frac{2 \cdot 4}{3,14 \cdot 75 \cdot 1800} \approx 0,2 \frac{mm}{s}.$$

### Məsələ №157

Silindrik formada olan qabın dibində diametri  $d = 0,8sm$  olan deşik vardır (dairə şəkilli). Qabın diametri  $D = 0,4m$  -dir. Maye səviyyəsinin aşağı düşmə sürəti  $v$  -nin səviyyədən olan hündürlükdən asılı olaraq dəyişmə qanununu müəyyən etməli və  $h = 0,15m$  hündürlüyü üçün bu sürəti hesablamalı.

### Həlli

Qabın en kəsiyi sahəsini  $S_1$  və bu kəsikdən mayenin axına sürətini  $v_1$  ilə işarə edək (bu sürət elə qabda maye səviyyəsinin aşağı düşmə sürətidir);  $S_2$  - deşiyin en kəsik sahəsi,  $v_2$  isə bu deşikdən mayenin axma sürəti olsun. Bernulli tənliyinə görə yaza

bilərik ki,  $\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh = \frac{\rho v_2^2}{2}$  (1) və ya  $v_1^2 + 2gh = v_2^2$  (1') yaza

bilərik maye axınının kəsilməzliyi qanununa əsasən  $v_1 S_1 = v_2 S_2$

(2) yaza bilərik. (2)-dən  $v_2 = \frac{v_1 S_1}{S_2}$  (3). (3)-ü (1')-də nəzərə alsaq

$$v_1^2 + 2gh = v_1^2 \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^2 \quad v_1^2 \left( \frac{S_1^2}{S_2^2} - 1 \right) = 2gh \quad (4). \quad S_1 = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{və} \quad S_2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

ifadələrini (4)-də nəzərə alsaq

$$v_1^2 = \frac{2gh}{\frac{D^4}{d^4} - 1} = \frac{2ghd^4}{D^4 - d^4} \text{ və ya}$$

$$v_1 = \frac{d^2 \sqrt{2gh}}{\sqrt{D^4 - d^4}} \quad (5)$$

(5)-də  $d^4 \ll D^4$  olduğunu nəzərə alsaq,

$$v_1 = \frac{d^2}{D^2} \sqrt{2gh} \quad (6)$$

(6)-dan görünür ki,  $d = D$  olanda  $v = \sqrt{2gh}$  məlum ifadəsi alınır.

$[v] = 1 \frac{m}{san}$ . (6)-da kəmiyyətlərin qiymətlərini nəzərə alıb hesablamaya aparaq

$$v = \left( \frac{0,8 \cdot 10^{-2}}{0,4} \right)^2 \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,15} \cong 4 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{3} = 4 \cdot 1,72 \cdot 10^{-4} =$$

$$= 6,88 \cdot 10^{-4} \frac{m}{san} \approx 0,7 \frac{mm}{san}$$

### Məsələ №158

Diametri 0,3 mm olan yağış damcısı havada düşərkən hansı maksimal sürəti əldə edə bilər. Havanın dinamik özülülüyü  $1,2 \cdot 10^{-4} \frac{g}{sm \cdot san}$ -dir.

Havada düşən yağış damcısına Stoks qanununa görə  $F_1 = 6\pi\eta r v$  (1) müqavimət qüvvəsi və  $F_2 = \rho g V$  (2) Arximed qüvvəsi təsir edir.  $\vec{F}_1$  və  $\vec{F}_2$  qüvvələrinin hər ikisi şaquli istiqamətdə yuxarı yönəlir, yağış damcısına təsir edən ağırlıq qüvvəsi isə şaquli olaraq aşağı (yerə doğru) yönəlir. Damcının hərəkəti  $y$  oxunun əksi istiqamətində, yəni yerə doğru olduğununun hərəkət tənliyi  $mg - F_1 - F_2 = ma_y$  (3) şəklində olacaq. Düşən damcı öz maksimal sürətini aldıqdan sonra bərabərsürətlə düşməyə başlayır. Ona görə (3) ifadəsində  $a_y = 0$  olduğunu nəzərə alsaq

$$mg - F_1 - F_2 = 0 \text{ və ya } mg = F_1 + F_2 \quad (4)$$

(4)-də  $m = \rho_0 V = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_0$  ( $\rho_0 = 10^3 \text{ kq/m}^3$  yağış damcısının sıxlığıdır).

$$F_1 = 6\pi r \eta v \text{ və } F_2 = \rho g V = \rho g \frac{4}{3} \pi r^3 \text{ ifadələrini (4)-də nəzərə alsaq}$$

$$\frac{4}{3} \pi r^3 g \rho_0 = 6\pi r \eta v + \frac{4}{3} \pi r^3 \rho g \quad (5) \quad \text{və ya}$$

$$\frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_0 - \rho) = 6\pi r \eta v. \text{ Buradan:}$$

$$v = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho_0 - \rho)}{6\pi r \eta} = \frac{2r^2 g (\rho_0 - \rho)}{9\eta}. \text{ Aldığımız bu ifadədə}$$

$r = 0,15 \text{ mm}$  ,  $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  .  $\rho_0 = 10^3 \text{ kq/m}^3$  və  $\rho = 1,29 \frac{\text{kq}}{\text{m}^3}$  ,  
 $\eta = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ kq/m} \cdot \text{s}$  qiymətlərini nəzərə alıb hesablama aparsaq  
 $v = 4,1 \text{ m/s}$  qiymətini alarıq.

### Məsələ №159

Radiusu 4 sm olan silindr formalı qaba yan səthindən daxili diametri 1,5 mm uzunluğu 2,5 sm olan üfüqi kapilyar boru daxil edilmişdir. Qabda dinamik özlülüyü  $\eta = 1,2 \frac{\text{kq}}{\text{m} \cdot \text{s}}$  olan yağ vardır; yağın səviyyəsi kapilyar borudan  $h$  məsafəsindədir. Qabda yağın səviyyəsinin  $h$ -dan asılı olaraq aşağı düşmə sürətini müəyyən etməli və  $h = 25 \text{ sm}$  üçün sürətin qiymətini hesablamalı.

### Həlli

Qabda yağ səviyyəsinin aşağı düşmə sürəti, kapilyar borudan keçmə sürətindən asılıdır. Kapilyar borudan  $t$  - müddətində keçən mayenin həcmi Puazeyl düsturuna görə tapa bilirik

$$V = \frac{\pi^4 t \Delta p}{8\eta l} \quad (1)$$

Kapilyarın uclarında yaranan təzyiqlər fərqi baxılan halda qabdakı maye təbəqəsinin yaratdığı hidrostatik təzyiqlər bərabər olduğunu nəzərə alsaq  $\Delta p = \rho gh$  (2) ifadəsini alırıq.

Digər tərəfdən kapilyar boruda mayenin həcmi  $V = S_1 v_1 t = \pi r^2 v_1 t$  (3)  $v_1$  - mayenin kapilyardan keçmə sürətidir. (1) və (3)-ün müqayisəsindən alırıq ki,  $v_1 = \frac{\rho g h r^2}{8 \ell \eta}$  (4). Axının kəsilməzlik qanununa görə  $v_1 S_1 = v S$  (5). (5)-i (4)-də nəzərə alsaq maye səviyyəsinin aşağı enmə sürəti üçün  $v = \frac{r^4 \rho g h}{8 \ell \eta R^2}$  ifadəsini alırıq.

$h = 25 \text{ sm}$  üçün isə

$$v = \frac{(0,75 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 900 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-2}}{8 \cdot 1,2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \cdot (4 \cdot 10^{-2})^2} \cong 0,5 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

#### Məsələ №160

Yer atmosferinin hansı hündürlüyündə havanın sıxlığı iki dəfə azalar? (atmosferin bütün hündürlüklərində temperaturun dəyişmədiyi fərz edilir). Yer səthində təzyiğin  $p_0 = 103300 \text{ N/m}^2$  və havanın sıxlığının  $\rho_0 = 1,283 \text{ kg/m}^3$  olduğunu qəbul etməli.

#### Həlli

Atmosferdə hündürlüyün  $dh$  qədər dəyişməsinə uyğun olaraq təzyiğin azalması -  $dp$  olsun. Onda  $dp = -\rho g dh$  (1) yazıla bilər.

$\rho$  - havanın sıxlığı  $g_0 = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{san}^2}$  sərbəstdüşmə təcildir.

$$T = \text{const} \text{ (sabit temperaturda)} \quad \frac{p}{\rho g} = \frac{p_0}{\rho_0 g_0} \quad (2) \quad \rho g p_0 = p \rho_0 g_0 \quad (3)$$

$$\rho g = \frac{p \rho_0 g_0}{p_0} \quad (4). \quad (4)\text{-ü (1)-də nəzərə alsaq } dp = -\frac{p \rho_0 g_0 dh}{p_0} \quad (5).$$

(5) ifadəsini  $\frac{dp}{p} = -\frac{\rho g_0 dh}{p_0}$  (6) şəklində yazıb inteqrallasaq

alırıq. Alsaq  $\ln \frac{p}{p_0} = -\frac{\rho g_0 h}{p_0}$  və ya  $p = p_0 e^{-\frac{\rho g_0 h}{p_0}}$  (8)

$$2^{-1} = e^{-\frac{\rho g_0 h}{p_0}} \quad (9) \quad -\ln 2 = -\frac{\rho g_0 h}{p_0}$$

$$h = \frac{p_0 \ln 2}{\rho g_0} = \frac{103300 \cdot 0,89}{1,283 \cdot 9,8} = 5,4 \text{ km.}$$

### Məsələ №161

$R$  radiuslu silindrik qab ideal sıxılmayan maye ilə doldurulmuşdur və özünün şaquli yönəlməmiş hündəsi oxu ətrafında  $\omega$  bucaq sürəti ilə fırladılır. Mayenin qaba nəzərən qərarlaşmış axınında divarından açılmış kiçik yarıqdan axma sürətini müəyyən etməli.

### Həlli

Elə hesablama sistemi seçək ki, ona görə maye sükunətdə qalsın, yəni axmasın. Bu sistemdə iki ətalət qüvvəsi yaranacaq.

1. Mərkəzəqaçma. 2. Koriolis qüvvəsi. Koriolis qüvvəsi iş görmür. Bu qüvvə yalnız cərəyan xəttini müəyyən qədər əyir, lakin ümumi Bernulli tənliyinin formasını dəyişdirmir. Mərkəzəqaçma qüvvəsi isə potensial enerjiyə yeni hədd əlavə edir. Belə ki, mayenin vahid

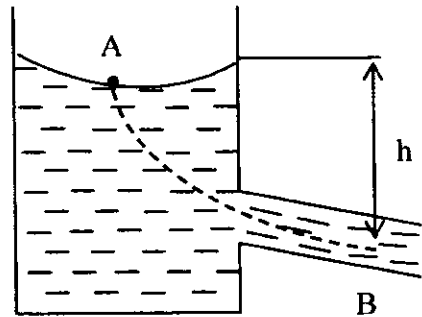
kütləsinin ümumi potensial enerjisi  $u = gz - \frac{1}{2} \omega^2 r^2$  (1) olacaq.

Onda Bernulli tənliyini

$$\frac{v^2}{2} + gz - \frac{1}{2} \omega^2 r^2 + \frac{p}{\rho} = B = \text{const}$$

(2) şəklində yazmaq olar.  $v$  - mayenin nisbi sürətidir (başqa sözlə  $v$  - mayenin fırlanan hesablama sisteminə nəzərən sürətidir).

$B$  - Bernulli sabiti bütün



Şəkil 27

cərəyan xətləri üçün eynidir, çünki bu xətlərin hamısı maye səthinin yaxınlığından başlayır və bu nöqtələrdə  $v$  - sürəti kifayət qədər kiçikdir. (2) tənliyini şəkildə göstərilən AB cərəyan xəttinə tətbiq edək. Bu xətt maye səthinin A nöqtəsindən başlayır (şəkil 27-ə bax). Seçdiyimiz koordinat sisteminin başlanğıcını A-da götürsək  $z_A = r_A = v_A = 0$ ,  $P_A = P_B = P_0$ ,  $v_B = v$ ,  $z_B = -h$ ,  $r_B = R$  olar və bu zaman alırıq ki,  $v = \sqrt{2(gh + \omega^2 R^2)}$ . Bu ifadədə  $h$  - maye səviyyəsinin kifayət qədər aşağıda yerləşmiş mərkəzi A - nöqtəsindən yarığa qədər olan məsafədir.

### Məsələ №162

Silindrik qaba bərabər miqdarda su və civə tökülmüşdür. İki maye təbəqənin ümumi hündürlüyü  $h_0 = 29,2 \text{ sm}$ -dir. Mayələrin qabın dibinə göstərdiyi təzyiqi müəyyən etməli.  $\rho_{su} = 103 \frac{\text{kq}}{\text{m}^3}$  və

$$\rho_{\text{civə}} = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{kq}}{\text{m}^3} \text{ götürülür.}$$

**Həlli:** Su və civə səviyyələrinin müvafiq  $h_1$  və  $h_2$  uyğun hündürlüklərini

$$h_1 + h_2 = h_0 \quad (1)$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (2)$$

ifadələrindən tapmaq olar. Burada  $\rho_1$  və  $\rho_2$  uyğun olaraq suyun və civənin sıxlıqlarıdır. mm.c.sütunu ilə ifadə olunmuş təzyiqi

$$P = \frac{h_1 \rho_1}{\rho_2} + h_2 = 2h_2 \quad (3)$$

ifadəsindən tapmaq olar.

### Məsələ №163

İdeal sıxılmayan maye üçün Berulli tənliyinin riyazi ifadəsi hansı şəkildədir? 1)  $pv = \text{const}$ ; 2)  $p = p_0 e^{-mgh/kT}$ ; 3)  $v = \sqrt{2gh}$ ;

$$4) v = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}; 5) v = \sqrt{v_0^2 + 2aS}.$$

### Məsələ №164

- Puazeyl qanununun riyazi ifadəsi neçədir? 1)  $v = v_0 \alpha T$  ;  
2)  $v = \frac{\pi^4 t \Delta p}{8 \ell \eta}$  ; 3)  $v = v_0 (1 + \alpha t)$  ; 4)  $Sv = const$  ; 5)  
 $p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const.$

### Məsələ №165

- Maye axınının kəsilməzlik qanunu aşağıdakı düsturlardan hansıdır? 1)  $S_1 v_1 = S_2 v_2$  ; 2)  $p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const$  ;  
3)  $V = \frac{\pi^2 t \Delta p}{8 \ell \eta}$  ; 4)  $v = \sqrt{2gh}$  ; 5)  $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ .

### Məsələ №166

Yarım saat ərzində borunun en kəsiyindən 0.51 kq qaz axır. Qazın sıxlığını  $7.5 \text{ kq/m}^3$ , borunun diametri 2 sm-dir.  $\text{CO}_2$  qazının borudan axma sürətini tapmalı.

### Məsələ №167

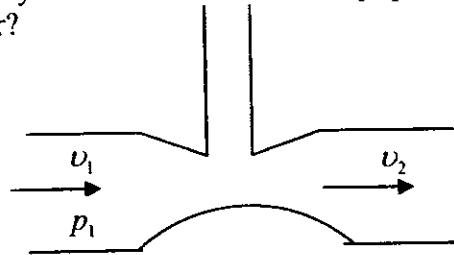
Rəng püskürdüçüsündən çıxan maye axının sürəti 25m/san, mayenin sıxlığı isə  $0.8 \text{ q/sm}^3$ -dir. Kompresorun püskürücüdə yaratdığı təzyiqi tapmalı?

### Məsələ №168

Təyyarənin kabinəsindəki barometr 70 kpa təzyiqli göstərir. Təyyarə hansı hündürlükdə uçur.

### Məsələ №169

Şəkilə göstərilən maye axınında sürət və təzyiqli arasında düzgün münasibət hansıdır?



Şəkil 28

**Məsələ №170**

Maye axınında maye hissəciklərinin hərəkət sürəti hansı istiqamətdə yönəlir?

**Məsələ №171**

Qaba 1 saniyə ərzində 0.2 litr su tökülür. Qabın dibində olan deşiyin diametri nə qədər olmalıdır ki, maye eyni  $h=8.3$  sm səviyyədə qalsın?

**Məsələ №172**

Barometr havada 750 mm.c.st. təzyiqini göstərir. Suyun səthindən 10 m dərinlikdə təzyiq nə qədər olar?

**Məsələ №173**

Cismin sudakı çəkisi havadakı çəkisindən üç dəfə kiçikdir. Suyun sıxlığı  $\rho = 10^3 \text{ kq/m}^3$ -dur. Cismin sıxlığını təyin etməli.

**Məsələ №174**

Dəmir parçasının sudakı çəkisi 400 q, sıxlığı isə  $7800 \text{ kq/m}^3$ -dur. Dəmir parçasının həcmi təyin etməli.

**Məsələ №175**

Kütləsi 20 kq olan cisim gölün dibinə hansı qüvvə ilə təzyiq edər? Cismin sıxlığı  $2500 \text{ kq/m}^3$  olur.



Mexanikanın fiziki əsasları  
Əsas qanun və düsturlar

Kəmiyyət və ya fizika qanunu	Düstur
ani sürət	$v = \frac{dx}{dt}$ və ya $v = \frac{ds}{dt}$
orta sürət	$\bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$
ani təcil	$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$
orta təcil	$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
tangensial və normal təcillər	$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$ ; $a_n = \frac{v^2}{r}$
tam təcil	$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$
bucaq sürəti	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
həmçinin bərabərsürətli fırlanma hərəkəti üçün	$\omega = const$ ; $\omega = \frac{\varphi}{t}$ ; $\frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ ; $T = \frac{1}{\nu}$
bucaq təcili	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$
bərabərdəyişən fırlanma hərəkətinin tənlikləri	$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$ ; $\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$
xətti və bucaq kəmiyyətləri arasında əlaqə	$s = \varphi r$ ; $v = \omega r$ ; $a = \varepsilon r$ ; $a_n = \omega^2 r$
irəliləmə hərəkəti üçün Nyutonun II qanunu	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m\vec{a}$

həmçinin $m = const$ üçün	$\vec{F}dt = m d\vec{v} = m\vec{v}_1 - m\vec{v}_2$
radiusu $r$ olan əyri üzrə hərəkət edən cismə təsir edən qüvvə (mərkəzə qaçma qüvvəsi)	$F_n = ma_n = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r$
dəyişən qüvvənin $s$ yolunda gördüyü iş	$A = \int_S F_n ds = \int_S F \cos \alpha ds$
güc	$N = \frac{dA}{dt}; N = \frac{d(F_n S)}{dt} = F \cos \alpha \frac{ds}{dt} = Fv \cos \alpha$
kütlələri $m_1$ və $m_2$ olan kürəciklərin mütləq elastiki zərbədən sonra əldə etdikləri sürət	$u_1 = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$ $u_2 = \frac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$
kürəciklərin mütləq qeyri-elastiki zərbədən sonra əldə etdikləri sürət	$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$
sürüşmə sürtünmə qüvvəsi	$F_{sbr} = kF_n$
elastiki deformasiya olunmuş cismin potensial enerjisi (elastiki qüvvənin gördüyü iş)	$U = A = \frac{k\Delta\ell^2}{2}$
maddi nöqtənin ətalət momenti	$I = mr^2$
fırlanma oxuna görə $R$ radiusuna malik içi boş və bütöv silindrin (və ya disk) üçün ətalət momentləri	$I_{\text{ici boş}} = mR^2; I = \frac{mR^2}{2}$
$R$ radiuslu kürənin kütlə mərkəzindən keçən fırlanma oxuna görə ətalət momenti	$I_0 = \frac{2}{5}mR^2$

$\ell$ uzunluqlu nazik çubuğun kütlə mərkəzindən keçən və çubuğa perpendikulyar olan oxə nəzərən ətalət momenti	$I = \frac{1}{12} m\ell^2$
həmin çubuğun uclarından birindən perpendikulyar keçən oxə nəzərən	$I = \frac{1}{3} m\ell^2$
ixtiyari oxə nəzərən cismin ətalət momenti (Şteyner teoremi)	$I = I_0 + md^2$
fırlanma oxuna nəzərən qüvvə momenti	$M = Fr$
fırlanma hərəkəti dinamikasının əsas tənliyi	$M = \frac{dL}{dt} = \frac{d(I\omega)}{dt}$
həmçinin $I = const$ olanda	$M = I \frac{d\omega}{dt} = I\varepsilon$
izolə olunmuş sistem üçün hərəkət miqdarı momentinin saxlanması qanunu	$\sum_{i=1}^n I_i \omega_i = const$
fırlanan cismin kinetik enerjisi	$T = \frac{I\omega^2}{2}$
fırlanma hərəkəti zamanı görülən iş	$A = M\varphi$
qravitasiya sahəsinin intensivliyi	$G = \frac{F}{m}$
harmonik rəqsin tənliyi	$S = A \sin(\omega t + \varphi_0); \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$
harmonik rəqsin tam enerjisi	$E = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$
dalğa tənliyi	$S = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{\ell}{\lambda} \right)$

fiziki rəqqasın rəqs periodu	$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}$
sönmənin loqarifmik dekrementi	$\delta = \ln \frac{A_i}{A_i + 1} = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_n}$

### Məsələlərin cavabları

Məsələ №7	45 km/saat
Məsələ №8	53,3 km/saat
Məsələ №9	30 dəq; 30,2 dəq., 26,8 dəq.
Məsələ №10	$v = 0,60m/s, t = 250s$
Məsələ №11	$h_1 = 0,049m; h_2 = 1,9m$
Məsələ №12	$a = -0,5m/s^2, s = 100m$
Məsələ №13	1) $v = (2 - 6t + 12t^2)m/s,$ $a = (-6 + 24t)m/s^2;$ 2) $s = 24m, v = 38m/s, a = 42m/s^2$
Məsələ №14	1) 12 san sonra; 2) $\bar{a} = 0,64m/s^2$
Məsələ №15	$R = 6,3m$
Məsələ №16	$\varepsilon = \frac{\omega^2}{4\pi N} = 3,2rad/s^2$
Məsələ №17	1) $\omega = 3,14rad/s,$ 2) $v = \omega R = 0,314m/s,$ 3) $a_t = \varepsilon R = 0,314m/s^2,$ 4) $a_n = \varepsilon^2 t^2 R = 0,986m/s^2$ $t = 1s$ -də; 5) $a = 1,03m/s^2; t = 1s$ -də; 6) $tg\alpha = \frac{a_r}{a} = \frac{a_r}{a_n} = 0,305;$ $\alpha = 17^{\circ}46'$
Məsələ №18	$v = 4m/s, a_t = 2m/s^2$
Məsələ №19	$R = \frac{a}{\varepsilon\sqrt{1 + \varepsilon^2 t^4}} = 6,1m$
Məsələ №20	$tg\alpha = \frac{(3 + 2t) \cdot R}{(3t + t^2)^2}$
Məsələ №21	1) $t = \sqrt{2S_y/g} = 2,26s$ , 2) $\sin\varphi = v_y/v = 0,827$

Məsələ №22	$a_n = 6m/s^2; a_1 = 8m/s^2; v = 25m/s;$ $S = 36m$
Məsələ №23	$t_A = 1,22s; t_B = 2,29s; y_{maks} = 13,84m;$ $x_{maks} = 23,8m; v_B = 19,5/s; tg\varphi_B = 0,574$
Məsələ №24	$h = 0,044m$
Məsələ №25	$t = 2s$
Məsələ №26	$31,25m$ və $25m/s$
Məsələ №27	$0,5s; 3,675m$
Məsələ №28	$33,9m; 26,7m/s$
Məsələ №29	$2,1m; 10m, 13s$
Məsələ №30	$a_1 = 5m/s^2$ yuxarı $a_2 = 2,5m/s^2$ aşağı
Məsələ №31	$a \leq 48g/s^2$
Məsələ №32	$\varepsilon = \frac{2h}{rt^2}$ $\varepsilon = 8,33rad/s^2$
Məsələ №33	$1,25m$
Məsələ №34	$10m/s$
Məsələ №35	$11m/s$
Məsələ №36	$3,14 \frac{rad}{s^2}$
Məsələ №37	$0,98596 \frac{sm}{s^2}$
Məsələ №38	$2,0 \frac{m}{s^2}$
Məsələ №39	$v = A - 2Bt + 3Ct^2 = 2 - 6t + 12t^2$
Məsələ №40	$-2B + 6Ct = -6 + 24t$
Məsələ №41	$38 \frac{m}{s}$
Məsələ №42	$6 \frac{rad}{s}$

Məsələ №43	$1,2 \frac{m}{s}$
Məsələ №44	$\ell = (v_1 + v_2)t = 150m$
Məsələ №45	$v_1 = \sqrt{v_2^2 - \frac{2\ell}{t}v_2} = 15 \frac{m}{s}$
Məsələ №46	$v_1 = 53,3km/saat; v_{2on} = 60km/saat$
Məsələ №47	$v \approx 5m/s$
Məsələ №48	$T = h/v + (v - \sqrt{v^2 + 2h})/g = 1/s$
Məsələ №49	$a_n = 8,2m/s^2; a_t = 5,4m/s^2$
Məsələ №50	$a_n = 9,15m/s^2; a_t = 3,52m/s^2$
Məsələ №51	$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{9 + 16} = 5 \frac{m}{s}$
Məsələ №52	$51 \frac{rad}{s^2}$ və $48 \frac{rad}{s^2}$
Məsələ №53	$N \approx 97$ və $T \approx 0,103s$
Məsələ №54	$\alpha = 45^\circ$
Məsələ №62	$m = 16,7kq; F_2 = 300N$
Məsələ №63	$\varepsilon = 14s^{-2}; F_1 = 0,56N; F_2 = 0,938N;$ $\omega = 5,3s^{-1}; T = 1,68s$
Məsələ №64	$-0,256N$
Məsələ №65	$5 kq$
Məsələ №66	$2,5 kq$
Məsələ №67	$0$
Məsələ №68	$v_1 = 0,6 \frac{m}{s}$ və $v_2 = 2,6 \frac{m}{s}$
Məsələ №69	$u_1 = u_2 = 1,8 \frac{m}{s}$
Məsələ №70	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{3}$
Məsələ №71	$Q=12C$

Məsələ №72	1,92 kç
Məsələ №73	8,2 KN
Məsələ №74	$2,8 \cdot 10^{-23} N \cdot s$
Məsələ №75	12,4N
Məsələ №76	2m
Məsələ №77	$f = \frac{1}{6} F = 2N; f = \frac{1}{3} F = 4N$
Məsələ №78	$f_1 = -\frac{4}{5} F$
Məsələ №79	$F \leq 40N$
Məsələ №80	Hərəkətə başlayan anda yayın gərilməsi $T_3 = m_3 g$ , ona görə də $a_3 = 0$ , $a_2 = a_1 = \frac{1}{m_1 + m_2} (m_1 g - m_2 g)$ və ya $a_1 = a_2 = \frac{m_1 - m_2 - m_3}{m_1 + m_2} g$
Məsələ №81	$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g; T = 2 \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2},$ $f = 2T = \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2} g$
Məsələ №82	2N
Məsələ №83	4,9kç
Məsələ №84	$F = -0,123N$
Məsələ №85	1) $a = \frac{g(m_1 - km_2)}{m_1 + m_2} = 4,4 \frac{m}{s^2}$ 2) $T_1 = T_2 = \frac{m_1 m_2 g(1+k)}{m_1 + m_2} = 5,4N$
Məsələ №86	$p = 2m v \cos \alpha$
Məsələ №87	$a \geq 0,98 \frac{m}{s^2}$



Məsələ №88	$F_{mbq} = Spv^2 = 0,5mN = 5 \cdot 10^{-4} N$
Məsələ №89	Tərk edə bilməz, çünki $v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = 11,5 \frac{m}{s} > v_{tullanma} =$ $= \sqrt{2g_{yer} h_{yer}} = 7 \frac{m}{s};$ burada $g_{yer}$ və $h_{yer}$ - yer səthində sərbəstdüşmə təcili və tullanma hündürlüyüdür.
Məsələ №96	$F = \frac{m}{2S}(v_0^2 + 2gh) = 12500N$
Məsələ №97	$-3,8 \cdot 10^{-10} C$
Məsələ №99	5,62 c
Məsələ №100	355c
Məsələ №101	$3,8kq m^2 / s$
Məsələ №102	34,1C
Məsələ №103	$A = mf(H + \mu L)$
Məsələ №104	$U = -\frac{3}{5} \frac{GM^2}{R}$
Məsələ №105	$a = 29,4 \frac{m}{s^2}$
Məsələ №113	200 N
Məsələ №114	10 sm
Məsələ №115	5N
Məsələ №116	4N
Məsələ №117	200N
Məsələ №118	$-0,21rad / s^2$
Məsələ №125	$x = A \sin(\omega t + \varphi)$
Məsələ №126	$t = \frac{1}{6} T$
Məsələ №127	$a_{max} = 12,3 \cdot 10^{-2} m / s^2$
Məsələ №128	$F_{max} = 250mkN$

Məsələ №129	$W_k = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \cos^2\left(\frac{2\pi}{T} + \varphi\right)$
Məsələ №130	$W_p = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2} \sin^2\left(\frac{2\pi}{T} + \varphi\right)$
Məsələ №131	$W = \frac{2\pi^2 A^2 m}{T^2}$
Məsələ №132	Kinetik enerjinin ani qiyməti
Məsələ №133	Kinetik enerjinin ani qiyməti
Məsələ №134	Kinetik enerjinin ani qiyməti
Məsələ №135	1Hs
Məsələ №136	9 s
Məsələ №137	120
Məsələ №138	20
Məsələ №139	$4\pi$
Məsələ №140	$\lambda = 3 \cdot 10^{-6} m$
Məsələ №141	$T = 4s$
Məsələ №142	$\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$
Məsələ №143	15
Məsələ №144	$25s^{-1}$
Məsələ №145	2,46 dəfə artar
Məsələ №146	$[4s^{-1}; 1,57s; \pi/4; 7,07s]$
Məsələ №147	$[2,04s; 4,07radian]$
Məsələ №148	$[120^0 \text{ və ya } 240^0]$
Məsələ №149	$2x+y=0$
Məsələ №150	$[200^0]$
Məsələ №151	$t = 0,5s; A = 1,43m; v_{\max} = 1 \frac{m}{s};$ $a_{\max} = 0,696 \frac{m}{s^2}$
Məsələ №152	1,22
Məsələ №153	12 sm
Məsələ №154	4 s, $30^0$

Məsələ №155	$19,7 \cdot 10^{-5} N; 4,93 \cdot 10^{-6} C$
Məsələ №156	$v \approx 0,2 \frac{mm}{s}$ olar.
Məsələ №157	$v = 0,7 \frac{mm}{s}$
Məsələ №159	$5 \cdot 10^{-4} \frac{m}{s}$
Məsələ №160	5,4 km
Məsələ №163	$v = \sqrt{2gh}$
Məsələ №164	$V = \frac{\pi r^4 t + \Delta p}{8l\eta}$
Məsələ №165	$s_1 v_1 = s_2 v_2$
Məsələ №166	$12 \frac{Sm}{s}$
Məsələ №167	$2,5 \times 10^5 N/m^2$
Məsələ №168	3 km
Məsələ №169	$v_1 < v_2; p_1 > p_2$
Məsələ №170	Cərəyan xəttinə toxunan boyunca
Məsələ №171	1,4 sm
Məsələ №172	1485 mm.c.st.
Məsələ №173	$1,5 \frac{q}{sm^3}$
Məsələ №174	$V \approx 59 sm^3$
Məsələ №175	120N

## FƏSİL II. MOLEKULYAR FİZİKA VƏ TERMODİNAMİKA

### §7. Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin fiziki əsasları

#### Əsas düsturlar

- Bircinsli qazın maddə miqdarı (mollarla)

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad \text{və ya} \quad \nu = \frac{m}{M}$$

$N$  – qaz molekullarının sayı;  $N_A$  – Avaqadro sabiti;  $m$  – qazın kütləsi;  $M$  – qazın molyar kütləsidir.

Əgər sistem bir neçə qazdan (qaz qarışığından) ibarətdirsə, onda bu sistemin maddə miqdarı

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n = \frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A} + \dots + \frac{N_n}{N_A}$$

və ya

$$\nu = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots + \frac{m_n}{M_n}$$

Burada  $\nu_i, N_i, m_i$  və  $M_i$  uyğun olaraq sistemin  $i$ -ci komponentinin maddə miqdarı, molekulların sayı, kütləsi və molyar kütləsidir.

- İdeal qazın hal tənliyi (Mendeleyev-Klapeyron tənliyi)

$$PV = \frac{m}{M} RT = \nu RT$$

$R$  – universal qaz sabiti;  $T$  – termodinamik temperaturdur.

• İzoproseslər üçün Mendeleyev-Klapeyron tənliyinin xüsusi halı olan qaz qanunları.

a) Boyl-Mariot qanunu (izotermik proses:  $T = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ )

$$PV = \text{const}$$

və ya qazın iki halı üçün  $P_1V_1 = P_2V_2$ .

b) Gey-Lüssak qanunu (izobarik proses:  $P = \text{const}$ ,  $m = \text{const}$ )

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$

və ya iki hal üçün

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

c) Şarl qanunu (izoxorik proses:  $V=\text{const}$ ,  $m=\text{const}$ )

$$P/T = \text{const}$$

və ya iki hal üçün

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

d) birləşmiş qaz qanunu ( $m=\text{const}$ )

$$\frac{PV}{T} = \text{const} \quad \text{və ya} \quad \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$P_1, V_1, T_1$  – başlanğıc halda qazın təzyiqi, həcmi və temperaturudur;

$P_2, V_2, T_2$  – qazın son halına uyğun termodinamik parametrlərdir.

• qaz qarışığının təzyiqi üçün Dalton qanunu

$$P = \sum_i P_i = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

$P_i$  – qaz qarışığı komponentlərinin parsial təzyiqləridir;  $n$  – qaz qarışığı komponentlərinin sayıdır.

• Qaz qarışığının molyar kütləsi

$$M = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n}.$$

Burada  $m_i$  qarışığın  $i$ -ci komponentinin kütləsi;  $\nu_i = \frac{m_i}{M}$ ,

qarışığın  $i$ -ci komponentinin maddə miqdarı;  $n$  – isə qarışıqdakı komponentlərin sayıdır.

• Qaz qarışığının  $i$ -ci komponentinin kütlə payı (%-lə)

$$\omega_i = \frac{m_i}{m}$$

$m$  – qazın kütləsidir.

• Molekulların konsentrasiyası

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A \rho}{M}.$$

$N$  – sistemdə olan molekulların sayıdır;  $\rho$  – maddənin sıxlığı;  $V$  – sistemin həcmidir.

Yazılmış ifadə təkcə qazlara deyil, həmçinin maddənin digər aqreqat hallarına da aiddir.

- Qazların kinetik nəzəriyyəsinin əsas tənliyi

$$P = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon}_n.$$

Burada  $\bar{\epsilon}_n$  – molekulanın irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisidir.

- Molekulun irəliləmə hərəkətinin orta kinetik enerjisi

$$\bar{\epsilon}_n = \frac{3}{2} kT,$$

burada  $k$  – Bolsman sabitidir.

- Molekulun orta tam kinetik enerjisi

$$\bar{\epsilon}_n = \frac{i}{2} kT,$$

burada  $i$  – molekulun sərbəstlik dərəcələrinin sayıdır.

- Qazın təzyiqinin molekulaların konsentrasiyası və temperaturundan asılılığı

$$P = nkT.$$

- Molekulların sürətləri

$$\bar{v}_{kv} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad (\text{orta kvadratik sürət})$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (\text{orta ədədi sürət})$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \quad (\text{ən ehtimallı sürət})$$

$m_1$  – bir molekulun kütləsidir.

- Molekulun nisbi sürəti

$$u = \frac{v}{v_e},$$

burada  $v$  – molekulun sürətidir.

## MƏSƏLƏ HƏLLİ NÜMUNƏLƏRİ

**Məsələ 1.**  $V = 1 \text{ mm}^3$  suda olan molekulların  $N$  – sayını və bir su molekulunun  $m_1$  – kütləsini təyin etməli. Şərti olaraq maye molekullarının bir-birinə toxunan kürəciklərdən ibarət olduğunu qəbul edib molekulun  $d$  – diametrini təyin etməli.

**Həlli:** Kütləsi  $m$  olan ixtiyari sistemdəki molekulların sayını  $N = \nu N_A$  münasibəti ilə təyin etmək olar. burada  $N_A$  – Avaqadro sabiti;  $\nu$  – isə maddə miqdarıdır.  $\nu = \frac{m}{M}$  olduğunu nəzərə alsaq ( $M$  – molyar kütlədir) və kütləni sıxlıq və həcmə ifadə etsək ( $m = \rho V$ ), onda alırıq

$$N = \frac{\rho V N_A}{M} \quad (1)$$

$M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol}$ ;  $\rho = 10^3 \text{ kq/m}^3$ ;  $V = 1 \text{ mm}^3 = 10^{-9} \text{ m}^3$  və

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  olduğunu nəzərə alıb, hesablama aparsaq

$$N = \frac{10^3 \cdot 10^{-9}}{18 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 3,34 \cdot 10^{19} \text{ molekul.}$$

Bir molekulun kütləsini isə

$$m_1 = \frac{M}{N_A} \quad (2)$$

ifadəsi ilə təyin edə bilərik.  $m_1 = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ kq}$ .

Qəbul etdiyimiz şərtə əsasən molekullar bir-birinə sıx toxunan kürələrdən ibarətdir. Bu şərt daxilində hər bir molekula  $V_1 = d^3$  həcmi düşür,  $d$  – molekulun diametridir:

$$d = \sqrt[3]{V_1} \quad (3)$$

$V_1$  – həcmi  $V_m$  – molyar həcmi molda olan molekulların sayına bölməklə müəyyən etmək olar. Başqa sözlə,

$$V_1 = \frac{V_m}{N_A} \quad (4)$$

$$(4)\text{-ü (3)-də nəzərə alsaq} \quad d = \sqrt[3]{\frac{V_m}{N_A}} \quad \text{və} \quad V_m = \frac{M}{\rho}$$

olduğundan

$$d = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}} \quad (5)$$

ifadəsini alarıq. (5)-in uzunluq vahidini verdiyini yoxlayaq

$$\left( \frac{[M]}{[\rho][N_A]} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{1 \text{ kq/mol}}{1 \text{ kq/m}^3 \cdot 1 \text{ mol}^{-1}} \right)^{\frac{1}{3}} = 1 \text{ m}.$$

Hesablama aparsaq:

$$d = \sqrt[3]{\frac{18 \cdot 10^{-3}}{10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}} = 3,11 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 311 \text{ pM}.$$

**Məsələ 2.** Həcmi  $V = 10 \text{ l}$  olan qabda  $P_1 = 1 \text{ MPa}$  təzyiq və  $T_1 = 300 \text{ K}$  temperatura malik helium qazı vardır. Qabdan  $m = 10 \text{ q}$  helium çıxarıldıqdan sonra qazın temperaturu aşağı düşərək  $T_2 = 290 \text{ K}$  oldu. Qabda qalan helium qazının təzyiqini tapın.

**Həlli:** Mendeleyev-Klapeyron tənliyini qazın son halına tətbiq edək

$$P_2 V = \frac{m_2}{M} RT_2 \quad (1)$$

Burada  $m_2$  – qabdakı helium qazının son halında malik olduğu kütlə;  $M$  – qazın molyar kütləsi;  $R$  – universal qaz sabitidir. Axtarılan təzyiqi (1)-dən

$$P_2 = \frac{m_2 RT_2}{MV} \quad (2)$$

vasitəsi ilə tapa bilərik.

He-un  $m_2$  – kütləsini başlanğıc hala uyğun  $m_1$  kütləsi və qabdan çıxarılan qazın  $m$  kütləsi ilə ifadə edək:

$$m_2 = m_1 - m \quad (3)$$

$m_1$  – kütləsini də Mendeleyev-Klapeyron tənliyindən (başlanğıc hal üçün yazılmış) tapa bilərik:



$$m_1 = \frac{MP_1V}{RT_1} \quad (4)$$

$m_1$  -i (3)-də sonra isə  $m_2$ -ni (2)-də nəzərə almaqla  $P_2$  üçün

$$P_2 = \left( \frac{MP_1V}{RT_1} - m \right) \frac{RT_2}{MV} \quad \text{və ya}$$

$$P_2 = \frac{T_2}{T_1} P_1 - \frac{m}{M} \frac{RT_2}{V} \quad (5)$$

ifadəsini alırıq. (5)-in doğruluğunu yoxlamaq üçün həmin ifadədə müvafiq kəmiyyətlərin vahidlərini yazaraq:

$$[P_2] = \left[ \frac{T_2}{T_1} \right] \cdot [P_1] - \left[ \frac{m}{M} \frac{RT_2}{V} \right];$$

(5)-in I həddi  $\left[ \frac{T_2}{T_1} \right] [P_1] = \frac{K}{K} Pa = Pa$

II həddi

$$\left[ \frac{m}{M} \frac{RT_2}{V} \right] = \frac{kq}{\frac{mol}{mol}} \cdot \frac{C}{m^3} \cdot \frac{K}{m^3} = \frac{C}{m^3} = \frac{Nm}{m^3} = \frac{N}{m^2} = Pa.$$

Deməli,  $[p_2] = Pa$ .

Paskal təzyiq vahidi olduğundan (5) ifadəsi doğrudur.  $M = 4 \cdot 10^{-3} kq/mol$  olduğunu nəzərə alıb, (5)-ə əsasən hesablama aparaq

$$P_2 = \left( \frac{290}{300} \cdot 10^6 - \frac{10^{-2}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{8,31}{10^{-2}} \cdot 290 \right) Pa =$$

$$= 3,64 \cdot 10^5 Pa = 0,364 MPa$$

**Məsələ 3.** Qabda  $m_1 = 80q$  oksigen və  $m_2 = 320q$  arqon qazı vardır. Qarışığın temperaturu  $T=300 K$ ; təzyiqi isə  $P=1 MPa$ -dır. Qazların hər ikisinin ideal olduğunu nəzərə alıb, qabın həcmi müəyyən etməli.

**Həlli:** Dalton qanununa görə qaz qarışığının təzyiqi qazların ayrılmaqda yaratdıqları parsial təzyiqlərin cəminə

bərabərdir. Mendeleyev-Klapeyron tənliyinə əsasən oksigen və arqonun parsial təzyiqləri uyğun olaraq

$$P_1 = \frac{m_1 RT}{M_1 V} \quad \text{və} \quad P_2 = \frac{m_2 RT}{M_2 V}$$

ifadələri ilə müəyyən ediləcək. Dalton qanununu nəzərə alsaq

$$P = P_1 + P_2 \quad \text{və ya} \quad P = \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \frac{RT}{V}.$$

Buradan isə qabın həcmi

$$V = \left( \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \frac{RT}{P} \quad (1)$$

münasibəti ilə təyin edə bilərik.  $M_1 = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol}$ ,  $M_2 = 40 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol}$  olduğunu nəzərə alıb, hesablama aparaq

$$V = \left( \frac{0,08}{32 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,32}{40 \cdot 10^{-3}} \right) \frac{8,31 \cdot 300}{10^6} \text{ m}^3 = 0,0262 \text{ m}^3 = 26,2 \ell.$$

**Məsələ 4.**  $T = 350 \text{ K}$  temperaturda oksigen ( $\text{O}_2$ ) qazının bir molekulunun fırlanma hərəkətinin orta kinetik enerjisini, həmçinin kütləsi 4 qram olan  $\text{O}_2$  – qazının bütün molekullarının fırlanma hərəkətinin kinetik enerjisini ( $E_k$ ) təyin etməli.

**Həlli:** Qaz molekulunun hər bir sərbəstlik dərəcəsinə  $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} kT$

enerji düşdüyünü nəzərə alaraq.  $k$  – Bolsman sabiti,  $T$  – isə qazın termodinamik temperaturudur.  $\text{O}_2$  qazı molekulu ikiatomlu olduğundan və ikiatomlu molekulun fırlanma hərəkətinə iki sərbəstlik dərəcəsi düşdüyündən, oksigen molekulunun fırlanma hərəkətinin orta enerjisi

$$\bar{\varepsilon}_f = 2 \cdot \frac{1}{2} kT = kT \quad (1)$$

olur. Qaz molekullarının hamısının fırlanma hərəkətinin orta kinetik enerjisi

$$E_k = \bar{\varepsilon}_f \cdot N \quad (2)$$

$N$  – qazın bütün molekullarının sayıdır.

$$N = N_A \nu \quad (3)$$

$N_A$  – Avaqadro sabiti;  $\nu$  – maddə miqdarıdır.

$$\nu = \frac{m}{M} \text{ olduğunu nəzərə alsaq (3) ifadəsini}$$

$$N = \frac{N_A m}{M} \quad (3')$$

şəklinə gətirərik. (3')-i (2)-də nəzərə alsaq

$$E_k = \frac{N_A m \cdot \bar{\varepsilon}_f}{M} \quad (4)$$

ifadəsini alarıq.

$$(4)\text{-də } M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol və}$$

$\bar{\varepsilon}_f = kT = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 380 \text{ C} = 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ C}$  olduğunu nəzərə alsaq, axtarılan kəmiyyət üçün

$$E_k = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ C} = 364 \text{ C} \text{ olar.}$$

**Məsələ 5.** Azot ( $N_2$ ) molekulu 1 san ərzində  $2,05 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$  sayda toqquşmaya məruz qalır. 280 K temperaturda azot qazının sıxlığını və azot molekulunun sərbəst yolunun orta uzunluğunu təyin etməli.

**Verilir:**

$$\bar{Z} = 2,05 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$$

$$T = 280 \text{ K}$$

$$M = 28 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol}$$

$$d = 3,1 \cdot 10^{-10} \text{ m}; N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

**Tapmalı:**  $\rho$  –?,  $d$  –?

**Həlli:** Qazın sıxlığı

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

düsturu ilə təyin edilir.  $m$  – azot qazının kütləsi;  $V$  – həcm.

$$m = m_1 N \quad (2)$$

ifadəsi ilə də tapmaq olar. Burada  $m_1$  – bir molekulun kütləsi;  $N$  – isə bütün həcmdəki molekulların sayıdır.

$$m_1 = \frac{M}{N_A} \quad (3)$$

və

$$N = n_0 V \quad (4)$$

olduğunu nəzərə alsaq

$$m = \frac{M n_0 V}{N_A} \quad (5)$$

alarıq. (5)  $\rightarrow$  (1)-də yazsaq

$$\rho = \frac{M n_0}{N_A} \quad (6)$$

(6)-da  $M$  – molyar kütlə;  $n_0$  – qaz molekullarının konsentrasiyası;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$  isə Avaqadro ədədidir.  $n_0$  – molekulların toqquşmalarının sayı üçün olan ifadədən tapa bilərik.

$$\bar{Z} = \sqrt{2} \pi d^2 n_0 \bar{v} \quad (7)$$

$$(7)\text{-dən} \quad n_0 = \frac{\bar{Z}}{\sqrt{2} \pi d^2 \bar{v}}$$

$d = 3,1 \cdot 10^{-10} m$  - molekulun effektiv diametridir.

$\bar{v}$  – molekulların ədədi orta sürətidir və

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad (8)$$

ifadəsi ilə təyin edilir.

$R = 8,31 \frac{C}{molK}$  – universal qaz sabiti,  $T$  – termodinamik temperaturdur. (8)  $\rightarrow$  (7)-də nəzərə alsaq

$$n_0 = \frac{\bar{Z}}{4d^2 \sqrt{\frac{\pi RT}{M}}} \quad (9)$$

(9)-u (6)-da nəzərə alsaq

$$\rho = \frac{M\bar{Z}}{N_A 4d^2 \sqrt{\pi RT / M}} \quad (10)$$

Molekulun sərbəst yolunun orta uzunluğu

$$\bar{\lambda} = \frac{l}{\sqrt{2} \pi d^2 n_0}$$

və ya

$$\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{8RT / \pi M}}{\bar{Z}} \quad (11)$$

verilənləri (10) və (11)-də nəzərə alıb hesablamaya aparaq.

$$\rho = \frac{28 \cdot 10^{-3} \frac{kq}{mol}}{6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}} \cdot \frac{2,05 \cdot 10^8 \text{ san}^{-1}}{4 \cdot 3,1^2 \cdot 10^{-20} m^2 \sqrt{\frac{3,14 \cdot 8,31 \frac{C}{molK} \cdot 280K}{28 \cdot 10^{-3} \frac{kq}{mol}}}} =$$

$$= 4,85 \cdot 10^{-2} \frac{kq}{m^3}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{\frac{8 \cdot 8,31 \frac{C}{molK} \cdot 280}{3,14 \cdot 28 \cdot 10^{-3} kq / mol}}}{2,05 \cdot 10^8 \frac{1}{san}} = 2,5 \text{ mkm}.$$

**Məsələ 6.** Oksigen ( $O_2$ ) qazı 280 K temperatúra və 0,2 MPa təzyiqə malikdir. Daxili sürtünmə və diffuziya əmsallarını təyin etməli.

**Verilir:**

$$p = 2 \cdot 10^5 Pa$$

$$d = 2,9 \cdot 10^{-10} m$$

$$M = 32 \cdot 10^{-3} kq / mol$$

$$T = 280 K$$

**Tapmalı:**  $\eta$  – ?  $D$  – ?

**Həlli:** Molekulyar-kinetik nəzəriyyəyə görə ideal qazın daxili sürtünmə əmsalı və diffuziya əmsalları üçün

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{v} \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{v} \quad (2)$$

(1) və (2)-nin müqayisəsindən

$$\eta = \rho D \quad (3)$$

ifadəsini yazı bilərik.

Ədədi orta sürət  $\bar{v}$  və molekulların sərbəst yolunun orta uzunluğu üçün ifadələri, yəni

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (4)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n_0}} \quad (5)$$

düsturlarını yazı bilərik.

$R = 8,31 \frac{C}{molK}$  – universal qaz sabiti;  $T$  – termodinamik

temperatur;  $d = 2,9 \cdot 10^{-10} m$   $O_2$  molekulunun effektiv diametridir.

$n_0$  –  $1 m^3$ -də olan molekulların sayıdır (konsentrasiyadır).

MKN-nin əsas tənliyindən

$$n_0 = \frac{P}{kT} \quad (6)$$

Burada  $P$  – təzyiq;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{C}{K}$  – Bolsman sabiti.

(6)-nı (5)-də yazsaq

$$\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} \quad (7)$$

(4) və (7)-ni (2)-də nəzərə alsaq

$$D = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \frac{kT}{\sqrt{2\pi d^2 P}} \sqrt{\frac{RT}{\pi M}} \quad (8)$$

O<sub>2</sub>-nin sıxlığı əvvəlki məsələdə (6) ifadəsi ilə verilmişdir, yəni  $\rho = \frac{M n_0}{N_A}$  olduğunu nəzərə alsaq

$$\rho = \frac{MP}{N_A kT} \quad (9)$$

(9) və (8)-i (3)-də nəzərə alsaq  $\eta$  üçün hesablama düsturunu alarıq.

$$\eta = \frac{2}{3\pi\sqrt{\pi}d^2N_A}\sqrt{MRT}$$

Hesablama aparsaq

$$D = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{C}{K} \cdot 280K}{3,14 \cdot 2,9^2 \cdot 10^{-20} m^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}} \cdot \sqrt{\frac{8,31 \frac{C}{molK} \cdot 280K}{3,14 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \frac{kq}{mol}}}$$

$$= 7,4 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{san},$$

$$\eta = \frac{2\sqrt{32 \cdot 10^{-3} \frac{kq}{mol}} \cdot 0,31 \frac{C}{molK} \cdot 280K}{3 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{3,14} \cdot 6,03 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol} \cdot 2,9^2 \cdot 10^{-20} m^2} =$$

$$= 2 \cdot 10^{-5} \frac{kq}{m \cdot san}.$$

#### Məsələ №7

Dissosiasiya dərəcəsi  $\alpha = 0,5$  olan yod buxarının vahid kütləsindəki zərrəciklərin sayını təyin edin. Molekulyar yodun molyar kütləsi  $M = 0,254 kq/mol$  -dur.

#### Məsələ №8

$t = 0^\circ C$  temperaturda olan oksigen molekullarının hansı hissəsinin sürətləri  $100 m/s$  ilə  $110 m/s$  intervalında qiymətlər alır?

### Məsələ №9

$t = 150^{\circ}C$  temperaturda azot molekullarının hansı hissəsinin sürətləri  $300m/s$  ilə  $325m/s$  intervalında qiymətlər alar?

### Məsələ №10

$t = 15^{\circ}C$  temperaturda və  $p = 97,3kPa$  təzyiqdə hidrogen qazının sıxlığını təyin edin.

### Məsələ №11

Həcmi  $V = 80m^3$  olan otaqda  $t = 17^{\circ}C$  və  $p = 100kPa$  təzyiqə malik hava vardır. Otaqda olan hava molekullarının sayını tapmalı.

### Məsələ №12

Qapalı qabda onun həcmnin yarısına bərabər miqdarda su vardır.  $400^{\circ}C$  temperaturda suyun tamamilə buxara çevrildiyini nəzərə alaraq su buxarının təzyiq və sıxlığını təyin edin.

### Məsələ №13

$T = const = 390K$  temperaturda  $0 \leq p \leq 400kPa$  təzyiq intervalında oksigen qazının sıxlığının təzyiqdən asılılıq qrafikini qurmalı (təzyiqin qiymətini hər dəfə  $50kPa$  dəyişməklə).

### Məsələ №14

$P = const = 400kPa$  təzyiqdə  $200K \leq T \leq 300K$  temperatur intervalında oksigen qazının sıxlığının temperaturdan asılılıq qrafikini qurmalı (temperaturun qiymətini hər dəfə  $20K$  dəyişməklə).

### Məsələ №15

Həcmi  $1m^3$  olan qapalı qabda  $m_1 = 1,6kq$  oksigen qazı və  $0,9kq$  su vardır.  $500^{\circ}C$  temperaturda suyun tamamilə buxara çevrildiyini nəzərə alaraq qarışığın təzyiqini hesablayın.

### Məsələ №16

Qabda  $10^{\circ}C$  temperaturda və  $1MPa$  təzyiq altında  $9q$  hidrogen qazı və  $14q$  azot qazı vardır. Qarışığın molyar kütləsini və qabın həcmi tapın.

### Məsələ №17

Həcmi  $2l$  olan qabda normal şəraitdə hava vardır.



Qaba əlavə olaraq dietil efiri ( $C_2H_5OC_2H_5$ ) daxil edilmişdir. Qaba daxil edilən efir tam buxarlandıqdan sonra qabdakı təzyiq 0,14MPa olmuşdur. Qaba daxil edilən efinin kütləsini tapmalı.

#### Məsələ №18

Həcmi 2ℓ olan qabda 90,6kPa təzyiqdə 10q oksigen qazı var. Qaz molekulların orta kvadratik sürətini, qabda olan molekulların sayını və sıxlığını tapmalı.

#### Məsələ №19

Uçan təyyarənin kabinasında barometr  $P=90$  kPa təzyiq göstərir. Uçuş zonasında yer səthində atmosfer təzyiqinin  $P_0=100$  kPa olduğunu bilərək təyyarənin hansı hündürlükdə uçduğunu təyin etməli.

#### Məsələ №20

Yer səthində atmosfer təzyiqi 100 kPa-dir. Yerdən  $h=100$  m yuxarı qalxdıqda təzyiq nə qədər azalar? Havanın temperaturu  $T=290$ K olub, hündürlükdən asılı olaraq dəyişmir.

#### Məsələ №21

Həcmi  $V=12$  ℓ olan balonda karbon qazı vardır. Qazın təzyiqi 1MPa temperaturu  $T=300$  K –dir. Balonda olan qazın kütləsini təyin etməli.

#### Məsələ №22

Həcmi  $V=25$ ℓ olan balonda  $T=290$  K temperaturunda hidrogen qazı vardır. Qazın müəyyən hissəsi sərf edildikdən sonra qazın təzyiqi  $\Delta p = 0,4$  M Pa qədər azalmışdır. Sərf olunan hidrogenin kütləsini təyin etməli.

#### Məsələ №23

Sabit təzyiqdə ideal qazı  $\Delta T=1$  K qızdırdıqda onun həcmi ilkin həcmnin  $1/350$  hissəsi qədər artmışdır. Qazın ilkin temperaturunu təyin etməli.

#### Məsələ №24

$P=96$ kPa təzyiq və  $t=0^{\circ}C$  temperaturda qazın sıxlığı  $\rho = 1,35 \frac{q}{\ell}$ . Qazın molyar kütləsini tapmalı.

### Məsələ №25

Kütləsi  $m_1 = 1\text{kg}$  olan azot və  $m_2 = 1\text{kg}$  olan heliumdan ibarət qaz qarışığının normal şəraitdə tutduğu həcmi müəyyən etməli.

### Məsələ №26

$t = 27^\circ\text{C}$  temperaturda  $\text{NH}_3$  (ammonyak) molekulunun tam kinetik enerjisini və fırlanma hərəkətinin kinetik enerjisini təyin etməli.

### Məsələ №27

$\text{CO}$  qazının sabit həcmdə və sabit təzyiqdə xüsusi istilik tutumlarını təyin etməli.

### Məsələ №28

$P = 133\text{mPa}$  təzyiq və  $t = -173^\circ\text{C}$  temperaturda hidrogen molekulunun sərbəst yolunun orta uzunluğunu tapmalı.

### Məsələ №29

10 q  $\text{O}_2$  qazı 750 mm civə sütunu təzyiqində və  $20^\circ\text{C}$  temperaturda hansı həcmi tutar?

### Məsələ №30

Həcmi  $10\text{m}^3$  olan qabda 720 mm civə sütunu təzyiqinə malik olan qazın temperaturu  $17^\circ\text{C}$ -dir. Bu qaz neçə kilomoldur?

### Məsələ №31

10 q oksigen qazı ( $\text{O}_2$ )  $10^\circ\text{C}$  temperaturda 3 atm təzyiqə malikdir. Sabit təzyiqdə genişləndikdən sonra qaz  $10\ell$  həcm tutmuşdur. 1) qazın ilkin həcmi; 2) qazın genişləndikdən sonra temperaturunu; 3) qazın genişlənməyə qədər sıxlığını tapmalı.

### Məsələ №32

Həcmi  $0,02\text{m}^3$  olan qabdakı azot ( $\text{N}_2$ ) molekullarının irəliləmə hərəkətinin kinetik enerjisi  $5 \cdot 10^3\text{C}$ , molekulların orta kvadratik sürəti isə  $2 \cdot 10^3\text{m/s}$ -dir. Qabda olan azotun miqdarını və təzyiqini tapmalı.

### Məsələ №33

Qapalı qabda  $27^{\circ}\text{C}$  temperaturda  $10^5 \text{ Pa}$  təzyiq altında 14 q azot ( $\text{N}_2$ ) qazı vardır. Qızdırıldıqdan sonra qabda qazın təzyiqi 5 dəfə artmışdır.

- 1) qaz hansı temperatura qədər qızdırılmışdır?
- 2) qabın həcmi nə qədərdir?
- 3) qaza nə qədər istilik miqdarı verilmişdir?

### Məsələ №34

Tutumu  $12\ell$  olan balon  $8,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$  təzyiq altında və  $17^{\circ}\text{C}$  temperaturda azot ( $\text{N}_2$ ) qazı ilə doldurulmuşdur. Qazın kütləsini tapmalı.

### Məsələ №35

Həcmi  $4\ell$  olan qapalı qabda  $20^{\circ}\text{C}$  temperaturda 5 q azot vardır. Qaz  $40^{\circ}\text{C}$  temperatura qədər qızdırılmışdır. Qızdırılmadan əvvəl və sonra qazın təzyiqi nə qədər olmuşdur?

### Məsələ №36

Qazın sıxlığı  $\rho = 0,06 \text{ kg/m}^3$ . Molekullarının orta kvadratik sürəti isə  $\sqrt{\bar{v}^2} = 500 \text{ m/s}$ -dir. Qazın qabın divarlarına göstərdiyi təzyiqi müəyyən etməli.

### Məsələ №37

Qabda 10 q karbon ( $\text{CO}_2$ ) və 15 q azot ( $\text{N}_2$ ) qazlarından ibarət qaz qarışığı vardır. Bu qaz qarışığının  $27^{\circ}\text{C}$  temperatur və  $1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  təzyiqdə sıxlığını tapmalı.

### Məsələ №38

300 mm civə sütunu təzyiqi altında sıxlığı  $0,3 \text{ q/l}$  olan qaz molekullarının ədədi orta, orta kvadratik və ən ehtimallı sürətlərini hesablamalı.

## § 8. Termodinamikanın qanunları

- Qazın sabit həcm ( $c_v$ ) və sabit təzyiqdə ( $c_p$ ) xüsusi istilik tutumları

$$c_v = \frac{i}{2} \frac{R}{M}; \quad c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M}.$$

- Xüsusi ( $c$ ) və molyar ( $C$ ) istilik tutumları arasında əlaqə

$$c = \frac{C}{M}; \quad C = cM.$$

- Mayer düsturu  $C_p - C_v = R$ .

- İdeal qazın daxili enerjisi:

$$U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} C_v T.$$

- Termodinamikanın birinci qanunu

$$Q = \Delta U + A$$

$Q$  – sistemə (qaza) verilən istilik miqdarı;

$\Delta U$  – sistemin daxili enerjisinin dəyişməsi;

$A$  – sistemin xarici qüvvələrə qarşı gördüyü iş.

- Qazın genişlənməsi zamanı görülən iş:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dv \quad (\text{ümumi halda})$$

$$A = P(V_2 - V_1) \quad (\text{izobarik prosesdə})$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{izotermik prosesdə})$$

$$A = -\Delta u = -\frac{m}{M} C_v \Delta T \quad \text{və ya} \quad A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \frac{m}{M} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right]$$

(adiabatik prosesdə)

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad - \text{adiabatiklik dərəcəsidir.}$$

- Adiabatik prosesdə ideal qaz parametrlərini bir-biri ilə əlaqələndirən Poasson tənliyi:

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

- Tsiklin termik faydalı iş əmsalı

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

$Q_1$  – işçi cismin qızdırıcıdan aldığı istilik miqdarı;  $Q_2$  – soyuducuya verilən istilik miqdarıdır.

- Karno tsiklinin faydalı iş əmsalı

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

burada  $T_1$  və  $T_2$  – uyğun olaraq qızdırıcı və soyuducunun termodinamik temperaturlarıdır.

**Məsələ 39.** Neon və hidrogen qazını ideal qaz qəbul edərək, sabit həcm və sabit təzyiqdə xüsusi istilik tutumlarını hesablamalı.

**Həlli:** İdeal qazın xüsusi istilik tutumları uyğun olaraq

$$c_v = \frac{i R}{2 M} \quad (1)$$

$$c_p = \frac{i+2 R}{2 M} \quad (2)$$

ifadəsi ilə müəyyən edilir.  $i$  – molekulun sərbəstlik dərəcəsinin sayı,  $M$  – molyar kütlədi. Biratomlu neon qazı üçün  $i=3$  və  $M = 20 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol}$  olduğunu bilərək, hesablama aparsaq:

$$c_v = \frac{3}{2} \frac{8,31}{20 \cdot 10^{-3}} \frac{C}{\text{kq} \cdot K} = 6,24 \cdot 10^2 \frac{C}{\text{kq} \cdot K}$$

$$c_p = \frac{3+2}{2} \frac{8,31}{20 \cdot 10^{-3}} \frac{C}{\text{kq} \cdot K} = 1,04 \cdot 10^3 \frac{C}{\text{kq} \cdot K}.$$

İkiatomlu  $H_2$  (hidrogen üçün) isə  $i = 5$  və  $M = 2 \cdot 10^{-3} \frac{kq}{mol}$  olduğundan

$$c_v = \frac{5}{2} \frac{8,31}{2 \cdot 10^{-3}} \frac{C}{kq \cdot K} = 1,04 \cdot 10^4 \frac{C}{kq \cdot K}$$

$$c_p = \frac{7}{2} \frac{8,31}{20 \cdot 10^{-4}} \frac{C}{kq \cdot K} = 1,46 \cdot 10^4 \frac{C}{kq \cdot K}$$

**Məsələ 40.** Qaz qarışığında neon və hidrogenin kütlə payları uyğun olaraq  $\omega_1 = 80\%$  və  $\omega_2 = 20\%$ -dir. Qaz qarışığının xüsusi istilik tutumları  $c_v$  və  $c_p$ -ni təyin etməli. Neon və hidrogenin ayrı-ayrılıqda malik olduqları xüsusi istilik tutumlarının qiymətlərini bundan əvvəlki 39 saylı məsələdən götürməli.

**Həlli:** Qarışığın sabit həcmdəki xüsusi istilik tutumu  $c_v$ -ni tapaq. Bunun üçün qarışığın temperaturunun  $\Delta T$  qədər artmasına sərf edilən istilik miqdarını iki üsulla ifadə edək:

$$Q = c_v (m_1 + m_2) \Delta T \quad (1)$$

$$Q = (c_{v_1} m_1 + c_{v_2} m_2) \Delta T \quad (2)$$

$c_{v_1}$  – neonun xüsusi istilik tutumu;  $c_{v_2}$  – hidrogenin xüsusi istilik tutumudur.

(1) və (2) ifadələrinin sağ tərəflərini bərabərləşdirib, alınan ifadənin hər iki tərəfini  $\Delta T$ -yə bölsək alarıq:

$$c_v = c_{v_1} \frac{m_1}{m_1 + m_2} + c_{v_2} \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad (3)$$

$$\text{və ya} \quad c_v = c_{v_1} \omega_1 + c_{v_2} \omega_2 \quad (4)$$

Burada  $\omega_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2}$  və  $\omega_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$  olduğunu nəzərə alsaq

$$c_p = c_{p_1} \omega_1 + c_{p_2} \omega_2 \quad (5)$$

(4) və (5) üzrə hesablama aparsaq

$$c_v = (6,24 \cdot 10^2 \cdot 0,8 + 1,04 \cdot 10^4 \cdot 0,2) = 2,58 \frac{kC}{kqK}$$

$$c_p = (1,04 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 1,46 \cdot 10^4 \cdot 0,2) = 3,75 \frac{kC}{kqK}.$$

**Məsələ 41.** Kütləsi  $m = 2kq$  olan oksigen qazı  $V_1 = 1m^3$  həcmə malik olub  $P_1 = 0,2MPa$  təzyiqi altındadır. Qaz əvvəlcə sabit təzyiqdə  $V_2 = 3m^3$  həcmə qədər, sonra isə sabit həcmdə  $P_2 = 0,5MPa$  təzyiqə qədər qızdırılmışdır. Qazın daxili enerjisinin dəyişməsinin ( $\Delta U$ ), qazın gördüyü işi ( $A$ ) və qaza verilən istilik miqdarını ( $Q$ ) təyin etməli. Prosesin qrafikini çəkməli.

**Həlli:** Qazın daxili enerjisinin dəyişməsi

$$\Delta U = c_v m \Delta T = \frac{i}{2} \frac{R}{M} m \Delta T \quad (1)$$

$i$  – qaz molekullarının sərbəstlik dərəcəsinin sayı (ikiatomlu  $O_2$  molekulu üçün  $i = 5$ ):  $\Delta T = T_2 - T_1$  son və başlanğıc hallara uyğun temperaturun dəyişməsidir. Qazın başlanğıc və son hallarına uyğun temperaturları Mendeleyev-Klapeyron tənliyindən tapa bilərik:

$$PV = \frac{m}{M} RT, \text{ buradan } T = \frac{PVM}{mR}$$

Sabit təzyiqdə qazın genişlənməsi zamanı görülən iş

$$A_1 = \frac{m_1}{M} R \Delta T.$$

Sabit həcmdə qazın qızdırılması zamanı iş görülmədiyindən, yəni  $A_2 = 0$  olduğundan qazın gördüyü tam iş

$$A = A_1 + A_2 = A_1$$

Termodinamikanın birinci qanuna əsasən qaza verilən  $Q$  istilik miqdarı daxili enerjinin dəyişməsi və görülən işin cəminə bərabərdir:

$$Q = \Delta U + A$$

Hesablama apararaq.  $O_2$  üçün  $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol}$  olduğunu nəzərə alaraq.

$$T_1 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} \text{ K} = 385 \text{ K}$$

$$T_2 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} \text{ K} = 1155 \text{ K}$$

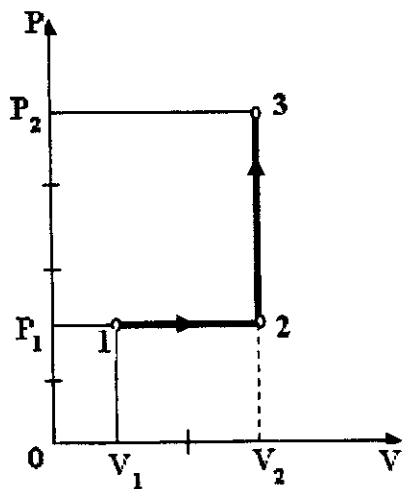
$$T_3 = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} \text{ K} = 2887 \text{ K}$$

$$A_1 = \frac{8,31 \cdot 2 \cdot (1155 - 385)}{32 \cdot 10^{-3}} \text{ C} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ C} = 0,4 \text{ MC}$$

$$A = A_1 = 0,4 \text{ MC}$$

$$\Delta U = \frac{5 \cdot 8,31 \cdot 2 \cdot (2887 - 385)}{2 \cdot 32 \cdot 10^{-3}} = 3,24 \cdot 10^6 \text{ C} = 3,24 \text{ MC}$$

$$Q = (3,24 + 0,4) \text{ MC} = 3,64 \text{ MC} .$$



Şəkil 1.

Prosesin qrafiki şəkil 1-də verilmişdir.



**Məsələ 42.** Silindirdə, porşenin altında kütləsi  $= 0,02 \text{ kq}$  olan  $T_1 = 300 \text{ K}$  temperaturla malik hidrogen qazı vardır. Hidrogen əvvəlcə adiabatik olaraq genişləndirilmiş və həcmi  $n_1 = 5$  dəfə artırılmışdır. Bundan sonra qaz izotermik sıxılaraq 5 dəfə kiçik həcm tutmuşdur. Genişlənmənin sonunda qazın temperaturunu və bu proseslərdə qazın gördüyü işi təyin etməli. Prosesi qrafiki olaraq təsvir etməli.

**Həlli:** Adiabatik proses icra edən qazın temperatur və həcmi arasında əlaqə

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \quad \text{və ya} \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{n_1^{\gamma-1}}$$

burada  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  və  $n_1 = \frac{V_2}{V_1}$ .

Bu ifadələrdən son temperatur üçün

$$T_2 = \frac{T_1}{n_1^{\gamma-1}}.$$

Qazın gördüyü  $A_1$  işi üçün

$$A_1 = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2) = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R (T_1 - T_2)$$

$C_v$  – sabit həcmdə molyar istilik tutumudur.

Qazın izotermik prosesdə gördüyü iş isə

$$A_2 = \frac{m}{M} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_2} \quad \text{və ya} \quad A_2 = \frac{m}{M} RT_2 \ln \frac{1}{V_2}$$

burada  $n_2 = \frac{V_2}{V_3}$ .

$H_2$  üçün  $\gamma = 1,4$ ;  $i = 5$  və  $M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol}$  olduğunu nəzərə alıb hesablamaya aparaq:

$$T_2 = \frac{300}{5^{1,4-1}} \text{ K} = \frac{300}{5^{0,4}} \text{ K}$$

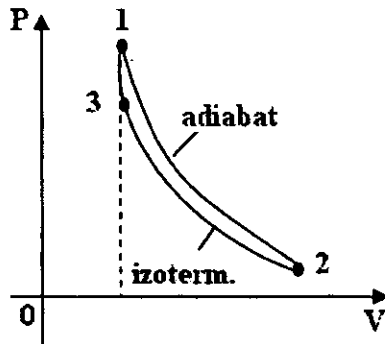
$5^{0,4} = 1,91$  – loqarifmləmə yolu ilə tapılır.

$$T_2 = \frac{300}{1,91} K = 157 K$$

$$A_1 = \frac{0,025 \cdot 8,31}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 2} (300 - 157) C = 29,8 kC$$

$$A_2 = \frac{0,002}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 157 \ln \frac{1}{5} C = -21 kC.$$

Mənfi işarəsi onu göstərir ki, sıxılma zamanı xarici qüvvələr qaz üzərində iş görür. Prosesin qrafiki şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.

**Məsələ 43.** İstilik maşını tərs Karno tsikli üzrə işləyir. Qızdırıcının temperaturu  $T_1 = 500 K$ -dir. Qızdırıcıdan alınan hər bir kilocoul istilik miqdarı hesabına maşın  $A = 350 C$  iş görür. Tsiklin f.i.ə-nı və soyuducunun temperaturunu təyin etməli.

**Həlli:** Tsiklin f.i.ə. qızdırıcıdan alınan istilik miqdarının hansı hissəsinin mexaniki işə çevrildiyini müəyyən edir və

$\eta = \frac{A}{Q_1}$  münasibəti ilə təyin edilir. Tsiklin f.i.ə-nın

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \text{-dən } T_2 = \frac{T_1}{1 - \eta}$$

olduğunu bilərək hesablama apararaq:

$$\eta = \frac{350}{1000} = 0,35, \quad T_2 = 500(1 - 0,35)K = 325K .$$

**Məsələ 44.** Temperaturu -  $20^\circ C$  olan 10 q buzu  $100^\circ C$  temperaturu buxara çevirdikdə entropiya nə qədər dəyişər.

**Həlli:** Entropiyanın dəyişməsi  $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$  (1) ifadəsi ilə müəyyən edilir.  $S_1$  və  $S_2$  birinci və ikinci hallara uyğun entropiyanın qiymətləridir.

Baxılan halda entropiyanın dəyişməsi aşağıdakı proseslərdə baş verən entropiya dəyişmələrinin cəmindən ibarət olur.

1. buzun  $m$  - kütləsinin  $T_1$  temperaturundan  $T_2$  - temperaturuna kimi qızması zamanı entropiyanın  $\Delta S_1$  - dəyişməsi  $dQ = mc_1 dT$  (2) ( $c_1$  - buzun xüsusi istilik tutumudur) olduğunu (1)-də nəzərə alsaq  $\Delta S_1 = mc_1 \ln \frac{T_2}{T_1}$  (3) ifadəsini yaza bilərik.

2.  $m$  - kütləli buzun  $T_2$  - temperaturunda əriməsi zamanı entropiyanın dəyişməsi  $\Delta S_2 = \frac{m\lambda}{T_2}$  (4) kimi yazmaq mümkündür.

Buna  $\int dQ = m\lambda$  (5) münasibətini (1)-də nəzərə almaqla əldə etmək mümkün olur.

3.  $m$  - kütləli suyun  $T_1$  temperaturundan  $T_2$  - temperaturuna qədər qızması zamanı entropiyanın dəyişməsi  $\Delta S_3 = ml_2 \ln \frac{T_3}{T_2}$  (6),  $c_2$  - suyun xüsusi istilik tutumudur.

4.  $T_3$  temperaturunda  $m$  - kütləli suyun buxarlanması zaman entropiyanın dəyişməsi  $\Delta S_4 = \frac{mr}{T_3}$  (7),  $r$  - xüsusi buxarlanma istiliyidir. 1-n hallarını nəzərə aldıqda entropiyanın dəyişməsi

$$\Delta S = m \left( c_1 \ell n \frac{T_2}{T_1} + \frac{\lambda}{T_2} + c_2 \ell n \frac{T_2}{T_1} + \frac{r}{T_2} \right) \quad (8)$$

$$m = 0,01 \text{ kq}, \quad c_1 = 0,5 \frac{\text{kal}}{\text{q dяр}} = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{c}}{\text{kq dяръя}}$$

$$T_1 = 253 \text{ K} \quad \text{və} \quad T_2 = 273 \text{ K}, \quad T_3 = 373 \text{ K}, \quad \lambda = 3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{c}}{\text{kq}}$$

$$c_2 = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{c}}{\text{kq, k}} \quad \text{və} \quad r = 2,26 \cdot 10^6 \frac{\text{c}}{\text{kq}} \quad \text{verilənlərini (8)-də nəzərə}$$

alsaq  $\Delta S = 88 \frac{\text{c}}{\text{k}}$  olar.

**Məsələ 45.**  $10^{-2} \text{ m}^3$  havanı  $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  həcmə qədər sıxmaq lazımdır. Adiabatik sıxmaq, yoxsa izotermik sıxmaq daha əlverişlidir?

**Həlli:** Adiabatik sıxılma zamanı görülən iş

$$A_{ad} = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{(\gamma-1)} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] \quad (1)$$

izotermik sıxılma zamanı görülən iş isə

$$A_{iz} = \frac{m}{\mu} RT \ell n \frac{v_2}{v_1} \quad (2)$$

(1) və (2)-dən alınır ki,

$$\frac{A_{ad}}{A_{iz}} = \frac{\left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]}{(\gamma-1) \ell n \frac{V_2}{V_1}} \quad (3)$$

$V_1 = 10^{-2} \text{ m}^3$ ,  $V_2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ,  $\gamma - 1 = 0,4$  olduğunu nəzərə aldıqda

$\frac{A_{ad}}{A_{iz}} = 1,4$  olur. Deməli izotermik sıxmaq daha əlverişlidir.

#### Məsələ №46

Kütləsi 10 q olan oksigen ( $\text{O}_2$ ) 0,3 MPa təzyiqə 10 °C temperatura malikdir. Sabit təzyiqdə qaz qızdırıldıqdan sonra

$V_2 = 10\ell$  həcmi tutmuşdur. 1) qazın aldığı istilik miqdarını ( $Q$ ), 2) qazın daxili enerjisinin dəyişməsinə ( $\Delta W$ ), 3) qazın genişlənməsi zamanı görülən işi ( $A$ ) tapmalı.

#### Məsələ №47

Kütləsi 6, 5 q olan hidrogen 27 °C temperatürə malik olub sabit təzyiqli ( $p=\text{const}$ ) altındadır. Tapmalı: 1) genişlənmə zamanı görülən işi, 2) daxili enerjinin dəyişməsinə ( $\Delta W$ ), 3) istilik miqdarını .

#### Məsələ №48

17°C temperatürdə, 0,2 MPa təzyiqdə, 5ℓ həcmi tutan qaz qızdırılaraq, izobarik olaraq genişlənilir və 20C iş görür. Qazın neçə dərəcə qızdığını müəyyən etməli.

#### Məsələ №49

Kütləsi 10,5 q olan azot ( $N_2$ ) – 23°C temperatürdə izotermik olaraq genişlənərək təzyiqlərini  $P_1=250$  kPa-dan  $P_2=100$  kPa-a qədər dəyişmişdir. Qazın genişlənməsi zamanı görülən işi tapın.

#### Məsələ №50

Kütləsi 10 q olan qaz qarışığı izotermik olaraq genişlənərək həcmi  $V_1$ -dən  $V_2 = 4V_1$ -ə qədərə dəyişmişdir. Bu zaman görülən işin 590C olduğunu bilərək qaz molekulunun orta kvadratik sürətini təyin etməli.

#### Məsələ №51

Həcmi 7,5ℓ olan oksigen ( $O_2$ ) adiabatik sıxılaraq həcmi 1ℓ-ə qədər azaltmışdır. Sıxılmanın sonunda onun təzyiqləri 1,6 MPa olmuşdur. Sıxılmadan əvvəl qazın təzyiqləri nə qədər idi?

#### Məsələ №52

Silindr daxilindəki hava daxili yanma nəticəsində adiabatik olaraq sıxılaraq təzyiqlərini  $P_1 = 0,1\text{MPa}$ -dan  $P_2 = 3,5\text{MPa}$ -a qədər dəyişmişdir. Havanın ilkin temperatürü 40°C-dir. Sıxılmadan sonra havanın temperatürü nə qədər olmalıdır?

#### Məsələ №53

27°C temperatürdə, 2 MPa təzyiqdə yerləşdirilmiş 2 atomlu qaz adiabatik olaraq sıxılaraq həcmi  $V_1$ -dən  $V_2 = 0,5V_1$ -ə qədər dəyişmişdir. Sıxılmadan sonra qazın temperatürünü və təzyiqlərini tapın.

### Məsələ №54

1 kmol azot ( $N_2$ ) normal şəraitdə adiabatik olaraq genişlənərək həcmi  $V_1$ -dən  $V_2 = 5V_1$ -ə qədər artırmışdır. Qazın daxili enerjisinin dəyişməsinə və qazın genişlənməsi zamanı görülən işi təyin etməli.

### Məsələ №55

İdeal istilik maşını Karno tsikli üzrə işləyir. Hər tsikl qızdırıcıdan 600 kal istilik alır. Qızdırıcının temperaturu 400K, soyuducunun temperaturu 300K-dır. İstilik maşınının tam bir tsikl üzrə gördüyü işi və soyuducuya verdiyi istilik miqdarını təyin edin.

### Məsələ №56

İdeal istilik maşını Karno tsikli üzrə işləyir. Tam bir tsikl üzrə görülən işin 400C və soyuducuya verilən istilik miqdarının 420 kal olduğunu bilərək, tsiklin f.i.ə.-ni təyin edin.

### Məsələ №57

İdeal istilik maşını Karno tsikli üzrə işləyərək 74 kC iş görür. Qızdırıcının temperaturu 100°C, soyuducunun temperaturu isə 0°C-dir. Tsiklin f.i.ə.-ni, maşının qızdırıcıdan alınan istilik miqdarını və soyuducuya verilən istilik miqdarını tapmalı

### Məsələ №58

İdeal istilik maşını Karno tsikli üzrə işləyir. Soyuducuya verilən istilik miqdarı, qızdırıcının aldığı istilik miqdarının 70%-ni təşkil edir. Qızdırıcının aldığı istilik miqdarı 1,6 kkal-dır. Tsiklin f.i.ə.-ni və tam bir tsikl üzrə görülən işi tapmalı.

### Məsələ №59

Kütləsi 8 q olan oksigen həcmi  $V_1 = 10\ell$ -dən  $t_1 = 80^\circ C$  temperaturda  $V_2 = 40\ell$ -ə qədər dəyişmişdir. Son temperatur 300°C olmuşdur. Bu zaman entropiyanın dəyişməsinə tapın.

### Məsələ №60

Kütləsi 6 q olan hidrogen 150 k Pa təzyiqdə həcmi  $V_1 = 20\ell$ -dən  $V_2 = 60\ell$ -dək 100kPa təzyiq altında dəyişmişdir. Bu zaman entropiyanın dəyişməsinə təyin edin.

### Məsələ №61

Həcmi  $V = 10\ell$  olan qabda  $p = 0,1PVa$  təzyiqli hava vardır. Qabdakı təzyiği 5 dəfə artırmaq üçün qaza nə qədər istilik miqdarı vermək lazımdır?

### Məsələ №62

Sabit təzyiqdə  $Q = 222C$  istilik verməklə nə qədər kütləli karbon qazının temperaturunu  $t_1 = 20^\circ C$  -dən  $t_2 = 100^\circ C$  -yə qədər artırmaq olar? Bu zaman bir molekulun kinetik enerjisi nə qədər dəyişək?

### Məsələ №63

Oksigen qazının xüsusi istilik tutumunun  $c_p = 1,05kC / kq \cdot K$  olduğunu bilərək onun  $\alpha$  dissosiasiya əmsalını tapın.

### Məsələ №64

$v_1 = 3kmol$  arqon və  $v_2 = 2kmol$  azotdan ibarət qaz qarışığının sabit təzyiqdə xüsusi istilik tutumunu ( $c_p$ ) təyin edin.

### Məsələ №65

Normal şəraitdə ikiatomlu qazın sıxlığı  $\rho = 1,43kq / m^3$  -dur. Bu qazın sabit həcmdə və sabit təzyiqdə xüsusi istilik tutumlarını təyin edin.

### Məsələ №66

Kütləsi  $m = 5kq$  olan hidrogen qazı  $T = 290 K$  temperaturda izotermik genişlənərkən həcmi 3 dəfə artmışdır. Proses zamanı görülən işi tapın.

### Məsələ №67

Kütləsi  $m = 1 kq$  olan oksigen qazının adiabatik sıxılma zaman  $A = 100 kC$  iş görülür. Sıxılmadan əvvəl qazın temperaturu  $T_1 = 300 K$  olmuşdur. Qazın sıxılmadan sonrakı temperaturunu təyin etməli.

### Məsələ №68

Azot qazı sabit təzyiqdə qızdırılır. Bu halda ona  $Q = 21 kC$  enerji verilmişdir. Qazın gördüyü işi və daxili enerjinin dəyişməsini təyin etməli.

### Məsələ №69

Kütləsi  $m_1=8$  q olan hebiyum və kütləsi  $m_2 =16$  q olan oksigendən ibarət olan qarışıq üçün adiabat dərəcəsinə müəyyən etməli.

### Məsələ №70

İdeal qaz üzərində Karno dairəvi prosesi aparılır. Soyuducunun temperaturu  $T_2=290\text{K}$  -dir. Qızdırıcının temperaturu  $T_1^I =400\text{K}$ -dən  $T_1^{II} =600\text{K}$ -ə qədər dəyişdikdə mühərrikin f.i.ə. neçə dəfə dəyişər?

### Məsələ №71

Kütləsi  $m=1$  kq olan buz  $0^\circ\text{C}$  temperaturda əriyir. Entropiyanın dəyişməsinə tapmalı.

### Məsələ №72

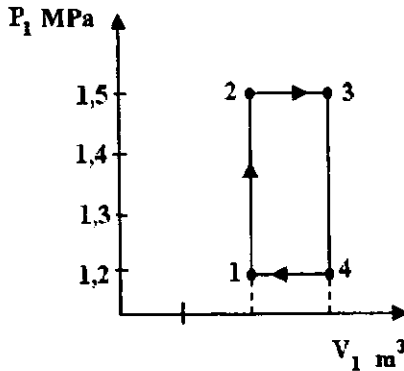
2 kq azotu sabit təzyiqdə  $400\text{K}$ -dən  $300\text{K}$ -ə, qədər soyudurlar. Daxili enerjinin dəyişməsinə və ayrılan istilik miqdarını hesablamalı.

### Məsələ №73

1 kmol qaz üzərində qrafiki 3-cü şəkildə göstərilən qapalı tsikl icra edilir.

Təyin etməli:

- 1) qızdırıcıdan alınan  $Q_1$  istiliyini;
- 2) soyuducuya verilən  $Q_2$  istiliyini;
- 3) bir tsikl ərzində qazın gördüyü işi;
- 4) tsiklin faydalı iş əmsalını tapmalı.



Şəkil 3



#### Məsələ №74

Hidrogen qazı  $P_1 = 0,1MPa$  təzyiq altında  $V = 10m^3$  həcm tutur. Sabit həcmdə qazı  $P_2 = 0,3MPa$  – təzyiqinə kimi qızdırırlar. Daxili enerjinin dəyişməsinə, qazın gördüyü işi və qaza verilən  $Q$  – istilik miqdarını təyin etməli.

#### Məsələ №75

Oksigen qazı  $P = 80kPa$  təzyiqdə qızdırılır. Bu zaman onun həcmi  $\Delta V = 3m^3$  artmışdır. Qazın daxili enerjisinin, dəyişməsinə, gördüyü işi və qaza verilən istilik miqdarını təyin etməli.

#### Məsələ №76

Qaz Karno tsikli icra edir. Qızdırıcının temperaturu soyuducunun temperaturundan 3 dəfə çoxdur. Qızdırıcıdan qaza  $Q_1 = 41,9kJ$  istilik verilmişdirsə qazın gördüyü iş nə qədər olar?

#### Məsələ №77

Diametri  $d = 12sm$  olan sabun köpüyü qabarcığı almaq üçün nə qədər enerji sərf edilməlidir? Bu qabarcığın daxilində yaranan əlavə təzyiq nə qədər olar?

#### Məsələ №78

Həcmi  $V = 15l$  olan qabda  $m_1 = 10q$  hidrogen,  $m_2 = 54q$  su buxarı və  $m_3 = 60q$  karbon oksidindən ibarət qaz qarışığı vardır. Qaz qarışığının temperaturu  $27^{\circ}C$ -dir. Qaz qarışığının yaratdığı təzyiqi tapmalı.

#### Məsələ №79

$t = 35^{\circ}C$  temperatur və  $p = 708kPa$  təzyiqə malik qazın sıxlığı  $\rho = 12,2kg/m^3$  olur. Bu qazın nisbi molyar kütləsi  $M_r$ -i tapmalı.

### §9. Real qazlar. Doymuş buxar və mayələr

1 mol real qaz üçün hal tənliyi  $\left(p + \frac{a}{V_0^2}\right)(V_0 - b) = RT$

şəklindədir.  $p$  - qazın təzyiqi;  $V_0$  - 1 mol qazın həcmi,  $a$  və  $b$  Van-der-Vaals sabitləri adlanır və müxtəlif qazlar üçün müxtəlif qiymətlərə malikdir.  $T$  - mütləq temperatur,  $R$  - universal qaz

sabitidir  $\left(R = 8,31 \frac{C}{mol, K}\right)$ .  $\nu = \frac{m}{M}$  - mol real qaz üçün hal tənliyi

$\left(p + \frac{m^2}{M^2} \frac{a}{V^2}\right)\left(V - \frac{m}{M}b\right) = \frac{m}{M}RT$  şəklindədir.  $V$  - bütövlükdə

qazın həcmi,  $M$  - bir mol qazın kütləsidir. Tənlikdəki  $p_i = \frac{m^2 a}{M^2 V^2}$

- kəmiyyəti molekulların qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan əlavə təzyiqdır.

$\frac{m}{M}b = V_i$  molekulların məxsusi həcmələri ilə əlaqədar

yaranan həcmdir. Verilən 1 mol real qaz üçün  $a$  və  $b$  sabitlərinin aldığı qiymətlər qazın böhran temperaturu  $T_k$ , böhran təzyiqi  $P_k$  və böhran həcmi  $V_{ok}$  - ilə uyğun olaraq aşağıdakı düsturlarla bağlıdır:

$$T_k = \frac{8a}{27Rb}; V_{ok} = 3b, P_k = \frac{a}{27b^2}.$$

Bu ifadələrdən  $a$  və  $b$  sabitləri üçün

$$a = \frac{27T_k^2 R^2}{64P_k}; \quad b = \frac{RT_k}{8P_k} \text{ ifadələri alınır. } \tau = \frac{T}{T_k}, \pi = \frac{P}{P_k},$$

$\omega = \frac{V_0}{V_{ok}}$  - gətirilmiş parametrlər daxil etməklə Van-der-Vaals

tənliyini  $\left(\pi + \frac{3}{\omega^2}\right)(3\omega - 1) = 8\tau$  şəklində yazmaq mümkündür.

• havada olan su buxarının yaratdığı parsial təzyiq mütləq rütubət adlanır

• mütləq rütubətin həmin temperaturda doymuş su buxarının parsial təzyiqinə olan nisbətinə nisbi rütubət deyilir.

$$\varphi = \frac{P}{p_0} \cdot 100\%. \quad \varphi - \text{nisbi rütubəti, } p - \text{mütləq rütubət, } p_0 - \text{doymuş}$$

su buxarının verilmiş temperaturdakı parsial təzyiqdir.

• Sabit temperaturda vahid kütləli mayeni tamamilə buxara çevirmək üçün lazım olan istilik miqdarına xüsusi buxarlanma istiliyi deyilir.

$$r = \frac{Q}{m} \left( \frac{C}{kq} \right). \quad Q - \text{istilik miqdarı, } m - \text{mayenin}$$

kütləsi.

• molyar buxarlanma istiliyi  $r_0 = Mr$ ,  $M$  - bir molekulun kütləsidir.

• doymuş su buxarının  $p_0$  - təzyiqinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi Klauzius – Klapeyron tənliyi ilə verilir.

$$\frac{dp_0}{dT} = \frac{r_0}{T(V_b - V_m)}$$

burada  $V_b$  bir mol buxarın həcmi,  $V_m$  isə bir mol mayenin həcmidir.

• Qızma nəticəsində mayenin həcmnin dəyişməsi  $\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta t$  ifadəsi ilə müəyyən edilir,  $\beta$  - həcmi genişlənmə əmsalındır.

• təzyiqin dəyişməsi ilə maye həcmnin nisbi dəyişməsi  $\frac{\Delta V}{V} = -k \Delta p$  münasibəti ilə müəyyən edilir.  $k$  - sıxılma əmsalındır.

• Səthi gərilmə əmsalı:

$$\alpha = \frac{F}{\ell} \quad \text{və ya} \quad \alpha = \frac{\Delta E}{\Delta S},$$

burada  $F$  – maye səthinin xəyali sərhəd xəttinin  $\ell$  uzunluğuna təsir edən səthi gərilmə qüvvəsidir;

$\Delta E$  – maye səth təbəqəsinin sərbəst enerjisinin dəyişməsidir və bu səthin  $\Delta S$  sahəsinin dəyişməsi ilə əlaqədardır.

• Sferik maye səthinin yaratdığı təzyiqlə Laplas düsturu ilə müəyyən edilir:

$$P = \frac{2\alpha}{R}$$

$R$  – sferik səthin radiusudur.

• Kapilyar boruda mayenin qalxma hündürlüyü:

$$h = \frac{2\alpha \cos \theta}{\rho g R},$$

burada  $\theta$  – sərhəd bucağıdır (maye borusunun tam islanması zamanı  $\theta = 0$ , tam islanmama halında  $\theta = \pi$  olur);  $R$  kapilyar borunun radiusu;  $\rho$  – mayenin sıxlığı;  $g$  – sərbəst düşmə təcildir.

• Bir-birinə yaxın olan iki paralel müstəvi arasında mayenin qalxdığı hündürlük

$$h = 2\alpha \cos \theta / \rho g d,$$

burada  $d$  – müstəvilər arasındakı məsafədir.

**Məsələ 80.** Van-der-Vaals tip qaz və mayelər üçün gətirilmiş Van-der-Vaals tənliyinin

$$\left( \pi + \frac{3}{\omega^2} \right) (3\omega - 1) = 8\tau$$

şəklində olduğunu göstərməli. Bu tənlikdə  $\tau = \frac{T}{T_b}$ ,  $\omega = \frac{V}{V_b}$  və

$\pi = \frac{P}{P_b}$  uyğun olaraq gətirilmiş temperatur, həcm və təzyiqlə göstərir.  $T_b, V_b$  və  $P_b$  - isə böhran temperaturu, böhran həcmi və böhran təzyiqidir.

### Həlli

Bir mol qaz üçün Van-der-Vaals tənliyi məlumdur ki,

$$\left( p + \frac{a}{V_0^2} \right) (V_0 - b) = RT \quad (1) \quad \text{şəklindədir. Bu tənlikdən böhran}$$

nöqtələrini təyin etmək üçün  $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0$  (2) və  $\frac{\partial^2 P}{\partial V^2} = 0$  (3)

tənliklərini birlikdə həll etmək lazımdır. (1)-dən yazsa bilərik ki,

$$P + \frac{a}{V^2} = \frac{RT}{V-b} \text{ və } p = -aV^{-2} + RT(V-b)^{-1} \quad (4).$$

$T = \text{const}$  şərti daxilində (4)-dən alırıq;

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = \frac{2a}{V^3} - \frac{RT}{(V-b)^2} = 0 \text{ və ya } \frac{2a}{V^3} - \frac{RT}{(V-b)^2} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial V^2} = 0 \quad (3) \text{ dən də alırıq ki, } -\frac{6a}{V^4} + \frac{2RT}{(V-b)^3} = 0 \quad (6).$$

$$(5) \text{ və } (6)\text{-ni } \frac{2a}{V^3} = \frac{RT}{(V-b)^2} \quad (5') \text{ və } \frac{6a}{V^4} = \frac{2RT}{(V-b)^3} \quad (6')$$

$$(5')\text{-i } (6')\text{-ə bölsək alırıq; } \frac{V}{3} = \frac{V-b}{2} \quad (7) \text{ və ya}$$

$$2V = 3V - 3b \Rightarrow V = 3b \quad (8).$$

$V = V_b$  olduğundan, (8) ifadəsindən  $V_b = 3b$  (9) alırıq.

$V_b$ - böhran nöqtəsində real qazın həcmi,  $b$ - isə Van-der-Vaals sabitidir.

(8)-i (5)-də nəzərə alsaq böhran temperaturunu tapa bilərik:

$$\frac{2a}{V^3} - \frac{RT}{(V-b)^2} = 0 \Rightarrow \frac{2a}{(3b)^3} = \frac{RT}{4b^2} \text{ və ya } \frac{2a}{27b^3} = \frac{RT}{4b^2}.$$

$$\text{Burada } 8ab^2 = 27b^3 RT \quad T = \frac{8ab^2}{27b^3 R} \text{ və ya}$$

$$T_b = \frac{8a}{27bR} \quad (10).$$

(9) və (10) ifadələrini (1)-də nəzərə alaraq  $P_b$ -ni tapaq.

$$\left(P + \frac{a}{(3b)^2}\right)(3b-b) = R \frac{8a}{27bR}$$

$$P + \frac{a}{9b^2} = \frac{8a}{27b} : 2b \text{ və ya}$$

$$P_b = \frac{4a}{27b^2} - \frac{a}{9b^2} = \frac{4a - 3a}{27b^2} = \frac{a}{27b^2}.$$

$$\text{Deməli } P = \frac{a}{27b^2} \quad (11).$$

$$\tau = \frac{T}{T_b}; \quad \omega = \frac{V}{V_b} \quad \text{və} \quad \pi = \frac{P}{P_b} \Rightarrow T = \tau \cdot T_b = \frac{8a\tau}{27bR}$$

$$V = \omega V_b = 3\omega b. \quad P = \pi P_b = \frac{\pi a}{27b^2} \quad (12).$$

(12) ifadələrini (1)-də nəzərə alıb sadələşdirmə aparsaq (13) ifadəsini alarıq.

$$\left( \frac{\pi a}{27b^2} + \frac{a}{10^2 \cdot 9b^2} \right) (3\omega b - b) = R \frac{8a\tau}{27bR}$$

$$\left( \frac{\pi a}{27b^2} + \frac{a}{9b^2} \right) (3\omega - 1) = \frac{8a\tau}{27b}$$

$$\left( \frac{\pi a}{27} + \frac{a}{9\omega^2} \right) (3\omega - 1) = \frac{8a\tau}{27}$$

27-yə vursaq və  $a$ -ya bölsək alarıq

$$\left( \pi + \frac{3}{\omega^2} \right) (3\omega - 1) = 8\tau. \quad (13)$$

(13) ifadəsi gətirilmiş  $\pi, \omega, \tau$  parametrləri ilə yazılmış, Van-der-Vaals tənliyidir.

### Məsələ №81

920 atm təzyiqdə  $10^3 \text{ mol}$  oksigen qazı  $0,056 \text{ m}^3$  həcm tutur. Gətirilmiş parametrlə yazılmış Van-der-Vaals tənliyindən istifadə edərək qazın temperaturunu təyin edin.

### Həlli

$$\left( \pi + \frac{3}{\omega^2} \right) (3\omega - 1) = 8\tau \text{ tənliyindən } \tau = \frac{\left( \pi + \frac{3}{\omega^2} \right) (3\omega - 1)}{8} \quad (1)$$

$$\pi = \frac{P}{P_b} = \frac{920}{50} = 18,4 \quad \text{O}_2 \text{ üçün } V_b = 3b = \frac{3T_b R}{8P_b} = 95 \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}},$$

$$\omega = \frac{V}{V_b} = \frac{0,056}{0,095} = 0,59 \text{ bu qiymətləri (1)-də nəzərə alsaq } \tau = 2,6 \text{ və}$$

$$T = \tau T_b = 2,6 \cdot 154K = 400K \text{ və } t = 127^{\circ}C.$$

### Məsələ №82

Hər hansı qazın 500 molu  $V_1 = 1m^3$  həcm tutur. Bu qazı  $V_2 = 1,5m^3$  həcmə qədər genişləndirərkən molekulaların qarşılıqlı təsir qüvvələrinə qarşı 6 kC iş görülmüşdür. Bu qaz üçün Van-der-Vaals tənliyinə daxil olan  $a$  - sabitini müəyyən etməli.

**Həlli**

Molekulaların qarşılıqlı təsir qüvvələrinə qarşı görülən iş

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P_i dV \quad (1) \text{ ifadəsi ilə tapıla bilər.}$$

Burada  $P_i = \frac{m^2 a}{M^2 V^2}$  (2) (2)→(1)-də nəzərə alsaq

$$A = \frac{m^2 a}{M^2} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^2} = \frac{m^2 a}{M^2} \left( \frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) = \frac{m^2 a (V_2 - V_1)}{M^2 V_1 V_2} \quad (3)$$

$$(3)\text{-dən alırıq ki, } a = \frac{AM^2 V_1 V_2}{m^2 (V_2 - V_1)} = \frac{AV_1 V_2}{v^2 (V_2 - V_1)} \quad (4)$$

$v = \frac{m}{M}$  - qazdakı molların sayıdır. Verilən qiymətləri (4)-də nəzərə alıb hesablama aparsaq

$$a = \frac{6 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5 \cdot N \cdot m \cdot m^6}{500^2 \text{ mol}^2 \cdot (1,5 - 1)m^3} = 0,072 \frac{N \cdot m^4}{\text{mol}^2}.$$

**Məsələ 83.** Diametri  $d = 10sm$  olan sabun köpüyü qabarcığının daxilində yaranan əlavə təzyiqi tapmalı. Bu sabun köpüyü qabarcığını partlatmaq üçün nə qədər iş görülməlidir?

**Həlli:** Sabun köpüyü qabarcığı iki sferik səthə – daxili və xarici səthə malikdir. Hər iki səth qabarcığın daxilində olan havaya təsir göstərir. Sabun köpüyü təbəqəsinin qalınlığı

olduqca kiçik olduğu üçün praktiki olaraq hər iki səthin diametrini eyni götürmək olar. Ona görə də əlavə təzyiq

$$P = 2 \frac{2\alpha}{r}$$

münasibəti ilə təyin edilə bilər. Burada  $r$  – qabarcığın radiusudur:

$$r = \frac{d}{2} \text{ olduğu üçün } P = \frac{8\alpha}{d}$$

yaza bilərik. Sabun köpüyü təbəqəsini dartaraq səthinin sahəsini  $\Delta S$  qədər artırmaq üçün görülən iş

$$A = \alpha \Delta S \text{ və ya } A = \alpha(S - S_0)$$

münasibəti ilə təyin edilir. Baxılan halda  $S$  sabun köpüyü təbəqəsinin iki sferik səthinin ümumi sahəsidir;  $S_0$  – müstəvi şəkilli iki səthin ümumi sahəsidir.

$$S_0 \text{ nəzərə almasaq } A = \alpha S = 2\pi d^2 \alpha.$$

Hesablama aparsaq

$$P = \frac{8 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{0,1} \text{ Pa} = 3,2 \text{ Pa}$$

$$A = 2 \cdot 3,14 \cdot (0,1)^2 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ C} = 2,5 \text{ mC}.$$

#### Məsələ №84

Diametri  $d = 0,2 \text{ sm}$  olan borunun aşağı ucunda kürəyəbənzər su damcısı yaranmışdır. Bu damcının diametrini təyin edin.

#### Məsələ №85

0,4 MPa təzyiqdə  $340 \text{ sm}^3$  həcmi tutan, kütləsi 4 q olan azot hansı temperatura malikdir? 1) qazı ideal qaz kimi, 2) real qaz kimi qəbul etməli.

#### Məsələ №86

Kütləsi 4,5 q olan oksigen, 3 MPa təzyiqdə  $110 \text{ sm}^3$  həcm tutur Qazı: 1) ideal qaz kimi, 2) real qaz kimi qəbul etməli.

#### Məsələ №87

1 kmol azot  $t = 27^\circ \text{C}$  temperaturda 6 MPa təzyiqdə qapalı qabda yerləşdirilmişdir. Azotun özünü real qaz kimi apardığını qəbul edərək, onun tutduğu həcmi tapın.



### Məsələ №88

Azot molekulunun effektiv diametrini 2 üsulla təyin edin. 1) molekulun sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu  $\bar{\lambda} = 95nm$  olduğunu bilərək, 2) Van-der Vaals tənliyindən istifadə edərək.

### Məsələ №89

1 kmol oksigen  $P=93 \text{ Mpa}$  təzyiqdə  $0,056 \text{ m}^3$  həcm tutur. Van-der-Vaals tənliyindən istifadə edərək qazın temperaturunu təyin edin.

### Məsələ №90

0,5 kmol üçatomlu qaz vakuumda adiabatik olaraq genişlənərək həcmi  $V_1=0,5\text{m}^3$ -dan  $V_2=3\text{m}^3$ -a qədər dəyişir. Bu zaman qazın temperaturu  $12,2^\circ\text{C}$ -dək düşür. Van-der-Vaals tənliyindən istifadə edərək  $a$  sabitini təyin edin.

### Məsələ №91

Həcmi  $10\ell$  olan qabda  $27^\circ\text{C}$  temperaturda  $0,25 \text{ kq}$  azot yerləşdirilmişdir. 1) Molekulların qarşılıqlı təsiri ilə yaranan təzyiq qabın ümumi təzyiqinin hansı hissəsini təşkil edir ( $P_i/P=?$ ), 2) molekulların məxsusi həcmi qabın tutduğu həcmə hansı hissəsini təşkil edir? ( $V_i/V=?$ ).

### Məsələ №92

Həcmi  $V=0,5 \text{ m}^3$  olan qapalı qabda  $4 \text{ MPa}$  təzyiqdə  $0,6 \text{ kmol}$  ( $\text{CO}_2$ ) karbon qazı vardır. Van-der-Vaals tənliyindən istifadə edərək göstərin ki, temperaturu neçə dəfə dəyişmək lazımdır ki, təzyiq 2 dəfə artsın?

### Məsələ №93

$T=17^\circ\text{C}$  temperaturda,  $P=150 \text{ kPa}$  təzyiqdə heliumun diffuziya əmsalını ( $D$ ) təyin edin.  $T_b$  və  $P_b$  qiymətlərini bilərək, heliumun effektiv diametrini təyin edin.

### Məsələ №94

1 kmol çoxatomlu qaz sərbəst olaraq genişlənərək temperaturunu  $100^\circ\text{C}$ -ə çatdırmışdır. Tapmalı: 1) istilik

miqdarını, 2) qazın daxili enerjisinin dəyişməsinə, 3) qazın genişlənməsi zamanı görülən işi.

#### Məsələ №95

Kütləsi 28 q olan azot, 40°C temperaturda, 750 mm. c.s. təzyiqində sıxılaraq 13ℓ həcmi tutur. Sıxılmadan sonra qazın temperaturu və təzyiqini təyin edin. 2 hala baxmalı: 1) izotermik sıxılma halı, 2) adiabatik sıxılma halı.

#### Məsələ №96

Bir neçə qaz qarışığının daxili sürtünmə əmsalının diffuziya əmsalına nisbəti  $\eta / D = 0,3kq / m^3$ -dir.

Molekulların orta kvadratik sürəti  $\sqrt{v^2} = 632m / s$  olarsa, qazın təzyiqini hesablayın.

#### Məsələ №97

0°C temperaturda, 760 mm c.s. təzyiqində heliumun daxili sürtünmə əmsalı  $\eta = 1,3 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s$  olarsa, onun molekullarının sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğunu tapmalı.

#### Məsələ №98

Normal şəraitdə azotun diffuziya əmsalını  $D=0,142m^2/s$  olduğunu bilərək, onun daxili sürtünmə əmsalını təyin edin.

#### Məsələ №99

0°C temperaturda oksigenin daxili sürtünmə əmsalı  $\eta = 18,8mkPa \cdot s$  olduğunu bilərək, oksigen molekulunun radiusunu tapın.

#### Məsələ №100

10°C temperaturda 760 mm c.s. təzyiqində havanın diffuziya və daxili sürtünmə əmsalını təyin edin. Hava molekulunun diametri  $\sigma = 0,3nm$ -dir.

#### Məsələ №101

Oksigenin diffuziya əmsalı  $D = 1,22 \cdot 10^5 m^2 / s$  və daxili sürtünmə əmsalı  $\eta = 19,5mkPa \cdot s$ -dir. Bunları nəzərə alaraq aşağıdakıları təyin edin: 1) oksigenin sıxlığını, 2) molekulun sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğunu, 3) molekulun orta sürətini.

### Məsələ №102

Hidrogenin daxili sürtünmə əmsalının  $\eta = 8,6 \text{ mkPa} \cdot \text{s}$  olduğunu bilərək, onun istilikkeçirmə əmsalını ( $\chi$ ) təyin edin.

### Məsələ №103

$10^{\circ}\text{C}$  temperaturda  $0,1 \text{ MPa}$  təzyiqində havanın istilikkeçirmə əmsalını təyin edin. Hava molekulunun diametrini  $3 \cdot 10^{-8} \text{ sm}$  qəbul etməli.

### Məsələ №104

Hidrogenin diffuziya əmsalı  $D=1,42 \text{ sm}^2/\text{s}$  və daxili sürtünmə əmsalı  $\eta = 8,5 \text{ mkPa} \cdot \text{s}$ -dir. Bu şərtlər daxilində  $1 \text{ m}^3$ -də olan hidrogen molekullarının sayını təyin edin.

### Məsələ №105

Həcmi  $V=100 \text{ sm}^3$  olan kolbada  $0,5 \text{ q}$  azot yerləşdirilmişdir. Azot molekulunun sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğunu təyin edin.

### Məsələ №106

Balonda sıxlığı  $\rho = 17 \text{ kq/m}^3$  olan karbon qazı ( $\text{CO}_2$ ) yerləşdirilmişdir. Molekulun sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu  $\bar{\lambda} = 79 \text{ nm}$ -dir.  $\text{CO}_2$  qazının molekulunun diametrini ( $d$ ) təyin edin.

### Məsələ №107

$17^{\circ}\text{C}$  temperaturda  $10 \text{ kPa}$  təzyiqdə azot molekulunun sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğunu təyin edin.

### Məsələ №108

$0^{\circ}\text{C}$  temperaturda oksigen qazının özüllüyü  $\eta = 18,8 \text{ mkPa} \cdot \text{s}$ . Oksigen molekulunun diametrini təyin etməli.

### Məsələ №109

Silindrik qabda sahəsi  $10 \text{ sm}^2$  olan porşenin altında  $20^{\circ}\text{C}$  temperaturda su var, həm də porşen suyun səthinə toxunur. Porşen yerini  $15 \text{ sm}$  dəyişəndə nə qədər su buxarlanır?

### Məsələ № 110

Tutumu 2 l olan bağlı qabda 20°C-də doymuş su buxarı var. Temperatur 5°C –yə qədər düşsə, qabda nə qədər su əmələ gələr?

### Məsələ №111

Civənin doymuş buxarının sıxlığı 20°C-də 0, 2q/ m<sup>3</sup> –a bərabərdir. Buxarın bu temperaturda təzyiqini tapmalı.

### Məsələ №112

Efirin doymuş buxarının təzyiqi 0°C-də 24,7 kPa-a, 40°C-də isə 123 kPa-a bərabərdir. Bu temperaturlarda buxarın sıxlıqlarının qiymətlərini müqayisə etməli.

### Məsələ №113

Tez bişirən qazanda su təxminən 120°C-də qaynayır. Qazan 90-110 kPa təzyiqdə (atmosfer təzyiqindən yuxarı ) buxar buraxan klapanı olan qapaqla hermetik (kip) bağlanmışdır. Qazanın işini izah edin.

### Məsələ №114

Su buxarının parsial təzyiqi havada 19°C-də 1,1 kPa idi. Nisbi rütubəti tapmalı.

### Məsələ №115

4 m<sup>3</sup> havada 16°C temperaturda 40 q su buxarı var. Nisbi rütubəti tapmalı.

### Məsələ №116

10°C –də şəh əmələ gəlsə, otaqdakı havanın 18°C –də nisbi rütubəti tapmalı.

### Məsələ №117

Otaqda 16°C –də nisbi rütubət 65 % təşkil edir. Su buxarının parsial təzyiqi əvvəlki kimi qalırsa, havanın temperaturu 4 K aşağı düşəndə nisbi rütubət necə dəyişər?

### Məsələ №118

Tutumu 10 l olan balondakı havanı qurutmaq üçün oraya bir parça kalsium xlorid qoydular, o da 0,13 q su uddu. Balonda havanın temperaturu 20°C-yə bərabərdirsə, onun nisbi rütubəti nə qədər imiş?

### Məsələ №119

Gündüz 20°C-də havanın nisbi rütubəti 60 % idi. Gecə temperatur 8°C-yə qədər düşsə, havanın hər kub metrindən şəh şəklində nə qədər su ayrılır?

### Məsələ №120

Psixrometrin yaş termometri  $10^{\circ}\text{C}$ , quru termometri isə  $14^{\circ}\text{C}$  göstərir. Su buxarının nisbi rütubətini, parsial təzyiqini və sıxlığını tapmalı.

### Məsələ №121

$4^{\circ}\text{C}$ -də psixrometrin quru və yaş termometrlərinin göstərişləri eyni idi. Temperatur  $10^{\circ}\text{C}$ ;  $16^{\circ}\text{C}$  qədər yüksəlmişsə, yaş termometr nə göstərir? Su buxarının parsial təzyiqinin dəyişməz qaldığını hesab etməli.

### Məsələ №122

Diametri 0,5 mm olan kapilyar boruda qalxmış suyun kütləsini tapmalı.

### Məsələ №123

Bir-birindən 0,2 mm məsafədə yerləşən paralel lövhələr arasında su nə qədər hündürlüyə qalxar?

### Məsələ №124

Eyni radiuslu kapilyarlarda suyun və ağ neftin qalxma hündürlüklərin müqayisə edin.

### Məsələ №125

Spirit kapilyar boruda 1,2 sm qalxdı. Borunun radiusunu tapmalı.

### Məsələ №126

Radiusu 0,5 mm olan kapilyar boruda maye 11 m qalxdı. Verilmiş mayenin səthi gərilmə əmsalı  $22 \text{ mN/m}$  olarsa, sıxlığını tapmalı.

### Məsələ №127

Suya salınmış iki müxtəlif diametrli kapilyar boruda 2,6 sm səviyyələr fərqi alındı. Bu boruları spirtə salanda səviyyələr fərqi 1 sm oldu. Suyun səthi gərilmə əmsalını bilərək, spirtin səthi gərilmə əmsalını tapmalı.

### Məsələ №128

Civə barometrinin borusunun diametri 3 mm- dir. Civənin kapilyar enməsinə nəzərə alsaq, barometrin göstəricisinə nə qədər düzəliş vermək lazımdır?

### Məsələ №129

Həcmi  $820 \text{ sm}^3$  olan 2q azot 2 atmosfer təzyiqi altında hansı temperatura malik olar?

### Məsələ №130

10 q oksigen qazı 750 mm civə st. təzyiqində və 20°C temperaturda hansı həcmi tutar.

### Məsələ №131

Tutumu 12 l olan azot qazı 8.1 MPa təzyiqi altında 17°C temperatura malikdir. Balonda olan azotun miqdarını tapın.

### Məsələ №132

Eyni temperaturda götürülmüş helium və azot molekullarının orta kvadratik sürətlərinin nisbətini təyin edin.

### Məsələ №133

Qaz molekullarının orta kvadratik sürəti 450 m/s. Qazın təzyiqi isə  $5 \times 10^4$  Pa-dır. Qazın sıxlığını təyin edin.

### Məsələ №134

8 q helium və 16 q oksigendən ibarət qaz qarışığında  $c_p / c_v$  nisbətini təyin edin.

### Məsələ №135

Sabit təzyiq altında 12q oksigeni 50°C qızdırmaq üçün ona nə qədər istilik miqdarı verilməlidir.

### Məsələ №136

10,5 q azot qazı  $-23^\circ\text{C}$  temperaturda  $P_1 = 2,5 \cdot 10^5$  Pa təzyiqindən  $P_2 = 10^5$  Pa təzyiqə qədər izotermik olaraq genişlənməmişdir. Bu zaman qazın gördüyü işi hesablayın.

### Məsələ №137

5 litr qazda  $2 \cdot 10^{20}$  molekul vardır? Qaz molekullarının konsentrasiyasını hesablayın.

### Məsələ №138

20 litr havada 500 mq su buxarı vardır. Su buxarının sıxlığını təyin edin.

### Məsələ №139

Sabit temperaturda 2 q spirti buxarlandırmaq üçün nə qədər istilik miqdarı lazımdır? ( $L = 9 \cdot 10^5$  C/kq)

### Məsələ №140

Doymuş su buxarının  $t = 50^\circ\text{C}$  temperaturda təzyiqi  $P = 12,3 \text{ kPa}$  -dir. Su buxarının sıxlığını təyin edin.

a)  $d = a / \sqrt{2}$  (üzə mərkəzləşmiş), b)  $d = \sqrt{3}a / 2$  (həcmə mərkəzləşmiş).

## §10. Bərk cisimlər

### Kristalın fəza qəfəsi

- Kristalın molyar həcmi:

$$V_m = \frac{M}{\rho}$$
 ifadəsi ilə müəyyən edilir.  $M$  - molyar kütlə;  $\rho$  -

kristalın sıxlığıdır.

- Kubik sinqoniyaya malik qəfəsin elementar özəyinin həcmi

$$V_{el} = a^3, \quad a - \text{qəfəs parametridir.}$$

- Kristalın bir molunda olan elementar özəklərin sayı

$$z_m = \frac{V_m}{V_{el}}.$$

Əgər kristal eyni atomlardan ibarətdirsə onda,  $z_m = \frac{N_A}{n}$ .

Burada  $n$  - elementar özəkdəki eyni atomların sayı,  $N_A$  - Avoqadro sabitidir.

- Elementar özəklərin sayının kristalın həcminə olan nisbəti

$$z = \frac{z_m}{V_m}$$
 kimi təyin edilir.

Əgər kristal eyni atomlardan ibarət olarsa, onda  $z = \frac{\rho N_A}{nM}$

kimi təyin edilər.

- Eyni atomlardan ibarət kubik qəfəs parametri  $a = \sqrt[3]{\frac{nM}{\rho N_A}}$

münasibəti ilə təyin edilir.

- Kubik qəfəsdə qonşu atomlar arasındakı məsafə

a)  $d = \frac{a}{\sqrt{2}}$  (üzə mərkəzləşdirilmiş)

b)  $d = \frac{\sqrt{3}}{2} a$  (həcmə mərkəzləşdirilmiş).

### Kristalın istilik tutumu

- Biratomlu kvant ossilyatorun orta enerjisi

$\langle \varepsilon \rangle = \varepsilon_0 + \frac{\hbar\omega}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$ ,  $\varepsilon_0$  - sıfırıncı enerji olub  $\varepsilon_0 = \frac{1}{2}\hbar\omega$  kimi təyin edilir.  $\omega$  - ossilyatorun rəqslərinin dairəvi tezliyidir;  $k$  - Bolsman sabiti;  $T$  - termodinamik temperaturdur.

- qarşılıqlı təsirdə olmayan kvant ossilyatorlardan ibarət sistemin molyar daxili enerjisi:

$$U_m = \frac{U_{om} + \frac{3R}{\theta_E}}{e^{\theta_E/T} - 1}$$
 ifadəsi ilə müəyyən edilir.

$R$  - molyar qaz sabiti;  $\theta_E = \frac{\hbar\omega}{k}$  - xarakteristik Eynşteyn temperaturu;  $U_{om} = \frac{2}{3}R\theta_E$  - sıfırıncı molyar enerji (Eynşteynə görə).

- Debaya görə kristal bərk cismin molyar istilik tutumu

$$C_m = 3R \left[ 12 \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{3(\theta_D(T))}{e^{\theta_D/T} - 1} \right].$$

Burada,  $\theta_D$  - xarakteristik Debay temperaturu olub  $\theta_D = \frac{\hbar\omega_{\max}}{k}$  kimi təyin edilir.

- Kiçik temperatur oblastunda bərk kristal cismin molyar istilik tutumu

$$C_m = \frac{12\pi^4}{5} R \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3 = 234R \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^2 \quad (T \gg \theta_D)$$

- Cismi qızdırmaq üçün lazım olan istilik miqdarı

$Q = \frac{m}{M} \int_{T_1}^{T_2} C_m dT$  kimi təyin edilir.  $m$  - cisimin kütləsi;  $M$  - molyar

kütlə,  $T_1$  və  $T_2$  - işə cismin başlangıç və son temperaturlarıdır.



• kristalın  $\rho$  - sıxlığı,  $\mu$  - molyar kütləsi və molyar həcmi arasında əlaqə

$$\rho = \frac{M}{V_m} \quad (2)$$

ifadəsi ilə verilir. Molyar həcmi

$$V_m = a^3 z_m \quad (3)$$

ifadəsindən tapmaq olar,  $z_m$  - kristalın bir molekulunda olan elementar özləklərin sayı,  $a^3$  - isə elementar özəyin həcmidir.

• maddənin xüsusi istilik tutumu  $c$  və molyar istilik tutumu  $C_m$  arasındakı əlaqə

$$c = C_m / M \quad (4)$$

ifadəsi ilə verilir,  $M$  - molyar kütlədir.

• sabit həcmdə molyar istilik tutumu Eynşteyn nəzəriyyəsinə görə

$$C_m = 3R \left( \frac{\theta_E}{T} \right)^2 \frac{\ell^{\theta_E/T}}{(\ell^{\theta_E/T} - 1)^2} \quad (5)$$

ifadəsi ilə müəyyən edilir.

• cismi  $T_1$  temperaturundan  $T_2$  - temperaturuna kimi qızdırmaq üçün lazım olan istilik miqdarı

$$\Delta Q = \int_{T_1}^{T_2} C_T dT \quad (6)$$

ifadəsi ilə verilir.  $C_T$  - cisimin istilik tutumudur.

•  $C_T$  - istilik tutumu ilə  $C_m$  - molyar istilik tutumu arasında əlaqə  $C_T = \frac{mC_m}{M}$  (7) kimidir.  $m$  - cismin kütləsi,  $M$  - molyar kütlədir.

•  $T = 0K$  temperaturda metaldakı elektronların əldə etdikləri maksimal  $\varepsilon_F$  - enerjisi  $\varepsilon_F = \frac{\hbar^2 (3\pi n)^{2/3}}{2m}$  (8) ilə təyin edilir.

$\hbar$  - Plank sabiti;  $m$  - elektronun kütləsidir.

• elektronların konsentrasiyası  $n = \frac{\rho N_A}{M}$  (9) ifadəsi ilə təyin edilir.  $\rho$  - sıxlıq,  $N_A$  - Avoqadro sabiti,  $M$  - molyar kütlədir. (9)-u (8)-də nəzərə aldıqda  $\varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 \rho \frac{N_A}{M})^{2/3}$  (10) ifadəsini almaq olar.

• Almaz tipli qəfəsə malik  $p$ -tip yarımkəçiricilər üçün dəşiklərin konsentrasiyası  $R_H = \frac{3\pi}{8en_p}$  ifadəsindən  $n_p = \frac{3\pi}{8eR_H}$  (11)

kimi təyin edilir.  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ K}\ell$  - elektronun yükü,  $R_H$  - Hall sabitidir.

• yarımkəçiricilərin xüsusi elektrik keçiriciliyi  $\tau = e(n_n b_n + n_p b_p)$  (12) ifadəsi ilə müəyyən edilir.  $n_n$  və  $n_p$  - elektron və deşiklərin konsentrasiyası  $b_n$  və  $b_p$  isə onların yürüklükləridir.

• paramaqnit maddələrin maqnit qavrayıcılığı  $p_m B \ll kT$  şərti daxilində

$$\chi = \frac{\mu_0 n p_m^2}{3kT} \quad (13)$$

ifadəsi ilə tapılır.  $\mu_0$  - maqnit sabiti,  $n$  - molekulların konsentrasiyası,  $p_m$  - molekulların maqnit momenti,  $T$  - termodinamik temperatur,  $k$  - Bolsman sabitidir. (13)-dən alınır

ki,  $p_m = \sqrt{\frac{3kT\chi}{\mu_0 n}}$  (14). (14)-ə daxil olan  $\chi$  - maqnit qavrayıcılığı

$\chi_0$  - xüsusi maqnit qavrayıcılığı ilə  $\chi = \rho \chi_0$  (15) münasibəti ilə əlaqədardır.  $\rho$  - maddənin sıxlığıdır.

• ərimə temperaturunun təzyiqdən asılı olaraq dəyişməsi Klauzius-Klapeyron tənliyi ilə verilir.

$$dT = T \frac{V_m - V_b}{q_0} dp \quad (15)$$

$q_0$  - molyar ərimə istiliyi,  $V_m$  - 1 mol mayenin həcmi,  $V_b$  - 1 mol bərk cisimin həcmi və  $T$  - ərimə temperaturudur.

• çox kiçik olmayan temperaturlarda bərk cisimin molyar istilik tutumu Dülonq-Pti qanununa

$$C_m = 3R = 25 \cdot 10^3 \frac{C}{\text{mol} \cdot K} = 6 \frac{\text{kal}}{\text{qmol} \cdot K} \text{ bərabər olur.}$$

• istilik keçirmə zamanı  $\Delta t$  müddəti ərzində daşınan istilik miqdarı  $Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t$  (16) ifadəsi ilə tapıla bilər.  $\frac{\Delta T}{\Delta x} - \Delta S$  səthinə perpendikulyar istiqamətdə temperatur qradientidir.  $\lambda$  - istilik keçirmə əmsəlidir.

• bərk cismin temperaturunu artırıdınca onun uzunluğu birinci yaxınlaşmada  $\ell_t = \ell_0(1 + \alpha t)$  (17) xətti qanunu üzrə artır (17) ifadəsində  $\ell_t$  cisimin  $t$  temperaturdakı uzunluğu,  $\ell_0 - 0^\circ C$  temperaturda cisimin uzunluğu;  $\alpha$  - isə istidən xətti genişlənmə əmsəlidir. İzotrop bərk cisimlər üçün  $\alpha = \frac{1}{3} \beta$  münasibəti ödənilir.  $\beta$  - istidən həcmi genişlənmə əmsəlidir.

• uzununa dartılma və ya birtərəfli sıxılma deformasiyası zamanı çubuğun nisbi uzanması Huk qanuna əsasən (18) ifadəsi

$$\frac{\Delta \ell}{\ell} = \alpha P_n = \frac{1}{E} P_n \quad (18)$$

ilə müəyyən edilir.  $P_n = \frac{F}{S}$  mexaniki gərginlik,  $\alpha$  - elastiklik

əmsəli;  $E = \frac{1}{\alpha}$  isə elastiklik modulu və ya Yunq modulu adlanır.

• Dartılma zamanı çubuğun qalınlığının nisbi dəyişməsi  $\frac{\Delta d}{d} = \beta P_n$  (19) ifadəsi ilə təyin edilir. Burada  $\beta$  - eninə sıxılma əmsəli,  $\sigma = \frac{\beta}{\alpha}$  isə Puasson əmsəli adlanır.

• Çubuğu (və ya məftili) müəyyən  $\varphi$  bucağı qədər burmaq üçün cüt qüvvə momenti tətbiq olunmalıdır. Bu qüvvə momenti  $M = \frac{\pi N r^4 \varphi}{2\ell}$  (20) ifadəsi ilə təyin edilir.  $\ell$ -çubuğun (və ya məftilin) uzunluğu,  $r$  - onun radiusu,  $N$  - məftil materialının sürüşmə modulu adlanır.

## MƏSƏLƏ HƏLLİ NÜMUNƏLƏRİ

### Məsələ №141

Kalsium kristalının (üzə mərkəzləşdirilmiş kubik kristal) qonşu atomları arasındakı  $d$  - məsafəsi 0,393nm-dir. Tapmalı:

1)  $a$  qəfəs parametrlərini 2) kristalın  $\rho$  sıxlığını

#### Həlli

$a$ -qəfəs parametri ilə yaxın qonşu atomlar arasındakı  $d$ -məsafəsi arasında  $a = d\sqrt{2}$  sadə münasibəti mövcuddur.

Hesablama aparaq:  $a = 0,393\sqrt{2}nm = 0,556nm = 5,56 \cdot 10^{-10}m$ . Kristalın sıxlığı molyar kütlə  $M$  və molyar həcm ( $V_m$ ) ilə  $\rho = \frac{M}{V_m}$  (1) münasibəti ilə bağlıdır.  $V_m$  - molyar

həcmi tapmaq üçün elementar özəyin  $a^3$  - həcmi kristalın bir molda olan elementar özəklərin  $z_m$  sayına vurmaq lazımdır

$$V_m = a^3 z_m \quad (2)$$

Eyni atomlardan ibarət kristal üçün elementar özəklərin sayı  $z_m = \frac{N_A}{n}$  (3) ifadəsi ilə təyin edildiyini nəzərə alsaq ( $N_A$  - Avoqadro sabiti,  $n$  - isə elementar özəkdəki eyni atomların sayıdır)  $V_m = \frac{a^3 N_A}{n}$  (4) alarıq. (4) ifadəsini (1)-də nəzərə alsaq

$N_0 a^3$  (5) olar. Üzəmərkəzləşmiş kubik kristal olduğunu nəzərə alıb hesablamalıdır.

$$\rho = \frac{4,40 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot (5,56 \cdot 10^{-10})^3} \text{ kq/m}^3 = 1,55 \cdot 10^3 \text{ kq/m}^3,$$

alırıq.

### Məsələ №142

İstilik tutumuna aid Eynşteynin kvant nəzəriyyəsi istifadə etməklə  $T = 200\text{K}$  temperaturda alüminiumun həcmdə xüsusi istilik tutumunu hesablamalıdır. Alüminiumun xarakteristik Eynşteyn temperaturu  $\theta_E = 300\text{K}$  qəbul edilsin.

### Həlli

Maddənin  $C_m$  - xüsusi istilik tutumu molyar istilik tutumuna bərabərdir.

$C_m$  - ilə  $c = \frac{C_m}{M}$  (1) şəklində ifadə olunur, burada  $M$  - maddənin molyar kütləsidir.

Eynşteyn nəzəriyyəsinə əsasən sabit həcmdə molyar istilik tutumu (2) ifadəsi ilə təyin edilir.

$$C_m = 3R \left( \frac{\theta_E}{T} \right)^2 \frac{e^{\frac{\theta_E}{T}}}{(\ell^{\theta_E/T} - 1)^2}$$

(2)-ni (1)-də nəzərə alsaq

$$c = \frac{3R}{M} \left( \frac{\theta_E}{T} \right)^2 \frac{\ell^{\theta_E/T}}{(\ell^{\theta_E/T} - 1)^2}$$

hesablama aparsaq

$$c = \frac{3 \cdot 8,31}{27 \cdot 10^{-3}} \left( \frac{300}{200} \right)^2 \frac{\ell^{300/200}}{(\ell^{300/200} - 1)^2} \frac{c}{\text{kq} \cdot \text{K}} = 770 \frac{c}{\text{kq} \cdot \text{K}}$$

### Məsələ №143

Kütləsi 20q olan  $\text{NaCl}$  kristalını  $T_1 = 2\text{K}$  temperaturunda  $T_2 = 4\text{K}$  temperaturuna kimi qızdırmaq üçün lazım olan istilik miqdarını hesablayın.

istilik miqdarını tapmalı. Nəticədə, temperaturunu 320 K götürməli və  $T \ll \theta_D$  şərtini qəbul etməli.

Həlli  
Cismi  $T_1$  temperaturundan  $T_2$  temperaturuna kimi qızdırmaq üçün tələb olunan  $\Delta Q$  istilik miqdarı  $\Delta Q = \int_{T_1}^{T_2} C_T dt$  (1)

ifadəsi ilə müəyyən edilə bilər.  $C_T$  - cismin istilik tutumudur. Cismnin istilik tutumu molyar istilik tutumu ilə  $C_T = mC_m / M$  (2) ifadəsi ilə bağlıdır. Burada  $m$  - cismin kütləsi  $M$  - molyar kütlədir.

(2)-ni (1)-də nəzərə alsaq,  $\Delta Q = \frac{m}{M} \int_{T_1}^{T_2} C_m dT$  (3) alırıq.

Ümumi halda  $C_m$  - molyar istilik tutumu temperaturun mürəkkəb funksiyasıdır. Ona görə də onu inteqral işarəsindən xaricə çıxarmaq olmaz. Lakin  $T \ll \theta_D$  şərti ödəndiyi üçün  $\Delta Q$ -nün tapılması asanlaşır, çünki Debay qanununa görə molyar istilik tutumu termodinamik temperaturun kubu ilə mütənəsbdir, yəni

$$C_m = \frac{12\pi^4}{5} R \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3 \quad (4). \quad (4)\text{-ü (3)-də nəzərə alsaq,}$$

$$\Delta Q = \frac{12\pi^4}{5} \frac{m}{M} \frac{R}{\theta_D^3} \int_{T_1}^{T_2} T^3 dt \quad \text{inteqrallama aparsaq,}$$

$$\Delta Q = \frac{12\pi^4}{5} \frac{m}{M} \frac{R}{\theta_D^3} \left( \frac{T_2^4}{4} - \frac{T_1^4}{4} \right).$$

Bu ifadənin şəklini dəyişsək alırıq

$$\Delta Q = \frac{3\pi^4}{5} \frac{m}{M} \frac{R}{\theta_D^3} (T_2^4 - T_1^4)$$

hesablama aparsaq

$$\Delta Q = \frac{3(3,14)^4}{5} \frac{2 \cdot 10^{-2}}{58,5 \cdot 10^{-3}} \frac{8,31}{320^2} (4^4 - 2^4) = 1,22 \cdot 10^{-3} C =$$

$$= 1,22 mC.$$

### Məsələ №144

Metalda (məsələn  $Cu$ ) sərbəst elektronların  $T = 0, K$  temperaturda əldə edə biləcəkləri maksimal Fermi enerjisini hesablamalı. Hər bir  $Cu$  atomuna bir elektron düşdüyünü qəbul etməli.

### Həlli

Maksimal  $\varepsilon_F$  - Fermi enerjisi sərbəst elektronların  $n$ -konsentrasiyasından

$$\varepsilon_F = \frac{\hbar^2 (3\pi n)^{2/3}}{2m} \quad (1) \text{ kimi asılıdır.}$$

$\hbar$  - Plank sabiti,  $m$  - elektronun kütləsidir. Şərtə görə elektronların konsentrasiyası atomların konsentrasiyasına bərabər olub  $n = \frac{\rho N_A}{M}$  (2) ifadəsi ilə təyin edilir.  $\rho$  - metalın sıxlığı,  $N_A$  - Avoqadro sabiti,  $M$  - molyar kütlədir. (2)-ni (1)-də

nəzərə alsaq  $\varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} \left( 3\pi^2 \rho \frac{N_A}{M} \right)^{2/3}$ . Hesablama aparsaq

$$\varepsilon_F = \frac{(1,05 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} \left[ 3 \cdot (3,14)^2 \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{6,02 \cdot 10^{23}}{64 \cdot 10^{-3}} \right]^{2/3} C = 1,18 \cdot 10^{-13} C =$$

$$= 7,4 eV.$$

### Məsələ №145

Almaz tipli qəfəsə malik aşqar yarımkeçiricinin xüsusi elektrik keçiriciliyi  $\sigma = 110 Sm \cdot m^{-2}$ -dir. Yarımkeçiricinin yalnızdeşik keçiriciliyinə malik olduğunu qəbul edərək:

1) Deşiklərin  $n_p$  konsentrasiyasını

2) Deşiklərin  $b_p$  - yürlüklüyünü təyin etməli

Holl sabiti  $R_H = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / Kl$  qəbul etməli.

### Həlli

Deşiklərin  $n_p$  konsentrasiyası almaz tipli qəfəsə malik

yarımkeçiricilər üçün  $R_n = \frac{3\pi}{8en_p}$  (1) ifadəsindən tapıla bilər.

Buradan  $n_p = \frac{3\pi}{8eR_H}$  (2). Hesablama aparsaq

$$n_p = \frac{9 \cdot 3,14}{8} \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3,8 \cdot 10^{-4}} \text{ m}^3 = 1,9 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3} \text{ alarıq.}$$

Yarımkəçiricilərin xüsusi elektrik keçiriciliyi

$$\sigma_2 = e(n_n b_n + n_p b_p) \quad (3)$$

burada  $n_n$  və  $n_p$  - elektron və deşiklərin konsentrasiyaları,  $b_n$  və  $b_p$  isə yürlüklüklərdir.

Elektron keçiriciliyi olmadığından (3) ifadəsi  $\sigma = en_p b_p$  şəklinə düşür, buradan

$$b_p = \sigma / en_p \quad (4)$$

(1) ifadəsini (3)-də nəzərə alsaq

$$b_p = \frac{8\sigma R}{3\pi} \quad (5) \text{ ifadəsini alarıq. Hesablama aparsaq}$$

$$b_p = \frac{8 \cdot 110 \cdot 3,8 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 3,14} \text{ m}^2 / (V \cdot s) = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 (V \cdot s).$$

### Məsələ №146

(NO) qaz şəkilli azot oksidin  $\chi_0$  xüsusi maqnit qavrayıcılığı normal şəraitdə  $5,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 / kq$ -dir. NO qaz molekulunun  $p_m$ -maqnit momentini təyin etməli (Bor maqnetonları ilə).



## Həlli

Paramaqnit materialların maqnit qavrayıcılığı Lanjven nəzəriyyəsinə əsasən  $P_m B \ll kT$  şərti daxilində

$$\chi = \mu_0 n P_m^2 / (3kT) \quad (1) \text{ ifadəsi ilə müəyyən edilir.}$$

Burada  $\mu_0$  - maqnit sabiti;

$n$  - molekulların konsentrasiyası;

$P_m$  - molekulun maqnit momenti;

$T$  - termodinamik temperatur;

$k$  - Bolsman sabiti.

$$(1) \text{ ifadəsindən } P_m = \sqrt{3kT\chi / (\mu_0 n)} \quad (2)$$

(2)-yə daxil olan  $\chi$  - maqnit qavrayıcılığı xüsusi maqnit qavrayıcılığı ilə

$$\chi = \rho \chi_0 \quad (3) \text{ kimi əlaqədardır.}$$

$\rho$  - maddənin sıxlığıdır. Qazın sıxlığı Mendeleyev-

Klapeyron tənliyinə əsasən  $\rho = \frac{\mu \rho}{RT}$  (4) kimi ifadə olunur. (2)-ni

(3) və (4) vasitəsilə

$$P_m = \sqrt{3kT\mu\rho\chi_0 / (c\mu_0 nRT)} \quad (5)$$

şəklində yazı bilərik. Bu ifadədə  $R$ -i Avoqadro sabiti ilə ifadə edərək  $P_m = \sqrt{3\mu\rho\alpha_0 / \mu_0 n N_A}$  (6) ifadəsini alırıq. Hesablama aparsaq

$$\begin{aligned} P_m &= \frac{3,30 \cdot 10^{-3} \cdot 1,013 \cdot 10^5}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,69 \cdot 10^{25} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \cdot 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ Am}^2 = \\ &= 1,58 \cdot 10^{-23} \text{ A} \cdot \text{m}^2. \end{aligned}$$

Məsələnin şərtinə görə maqnit momentini Bor maqnetonu ilə ifadə etməliyik.

$$P_m = \frac{1,58 \cdot 10^{-23}}{0,927 \cdot 10^{-23}} \mu_B = 1,7 \mu_B.$$

### Məsələ №147

Məlumdur ki, gümüş monokristalı üzəmərkəzləş-dirilmiş kubik qəfəsdə ibarətdir (şəkil 4).

- 1) qəfəs sabitin təyin etməli;
- 2) zərrəciklər arasındakı ən qısa məsafəni tapmalı.

**Verilir**

$\mu = 107,88 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol}$  - gümüşün molyar kütləsi,

$\rho = 1,05 \cdot 10^4 \text{ kq/m}^3$  - gümüşün sıxlığı,

$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  - Avogadro sabiti.

**Tapmalı**

- 1)  $a$  - qəfəs sabitini
- 2) zərrəciklər arasından ən qısa

### Həlli

Atomu kubun təpələrindən birində götürsək, onda qarşılıqlı perpendikulyar müstəvilərin hər birində bu atomun dörd yaxın qonşu atomu olacaqdır ki, bunlar da üzlərin mərkəzlərində yerləşəcək. Onda bu atomların sayı 12-yə bərabər olacaq.

Elementar özəkdə isə kubun təpələrində yerləşən atomlardan biri və kubun üzlərinin mərkəzində yerləşən 3- atom, deməli cəmi

4-atom olacaqdır. Kubik qəfəsi parametrləri isə  $a = \sqrt[3]{\frac{\mu k}{\rho N_A q}}$ ,

$d = \frac{\sqrt{2}}{2} a$  düsturları vasitəsi ilə hesablanır. Burada  $k$  - elementar özəkdə olan atomların sayı,  $q = 1$  molekulda olan atomların (ionların) sayıdır. Məsələn,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{ZnS}$  ion qəfəsləri üçün  $q = 2$  götürülür. Verilənləri nəzərə alaraq hesablama aparsaq

$$a = \sqrt[3]{\frac{107,88 \cdot 10^{-3} \text{ kq/mol} \cdot 4}{1,05 \cdot 10^4 \frac{\text{kq}}{\text{m}^3} \cdot 6 \cdot 0,023 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \cdot 1}} \approx 4,09 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$d = 4,09 \cdot 0,707 \cdot 10^{-10} \text{ m} \approx 2,89 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

### Məsələ №148

Soyuducunun f.i.ə.-li 80%-dir. Hansı miqdarda soyuducu agentı (freon) buxarlanmalıdır ki, başlanğıc temperaturu 289 K olan 150 q su buza çevrilə bilsin.

#### Verilir

$$\eta = 0,8 - \text{soyuducunun f.i.ə.},$$

$$m_{su} = 0,15 \text{ kq} - \text{soyudulan mayenin kütləsi},$$

$$T_1 = 289 \text{ K} - \text{suyun ilk temperaturu},$$

$$T_2 = 273 \text{ K} - \text{suyun donma temperaturu},$$

$$\lambda = 3,32 \cdot 10^5 \frac{\text{C}}{\text{kq}} - \text{buzun xüsusi ərimə istiliyi},$$

$$r_\phi = 1,68 \cdot 10^6 \frac{\text{C}}{\text{kq}} - \text{freonun xüsusi buxarlanma istiliyi}.$$

#### Tapmaq

Buxarlanan freonun kütləsi.

#### Həlli

Məsələni istilik balansı tənliyini qurmaqla həll etmək daha məqsəduyğundur. Suyun soyuyarkən və donarkən özündən verdiyi istilik miqdarı

$$Q_1 = c_{su} m_{su} (T_1 - T_2) + \lambda m_{su},$$

freonun buxarlanmasına sərf olunan istilik miqdarı

$$Q_2 = r_\phi m_\phi.$$

$Q_1$  və  $Q_2$  - istilik miqdarlar arasında  $\eta = \frac{Q_1}{Q_2}$  ifadəsini yazma bilərik.

Enerjinin saxlanması qanununa əsasən istilik balansı tənliyini yazsaq:  $c_{su} m_{su} (T_1 - T_2) + \lambda m_{su} = r_\phi m_\phi \eta$ , bu tənlikdən

$$m_\phi = \frac{c_{su} m_{su} (T_1 - T_2 + \lambda m_{su})}{r_\phi \eta}.$$

Bu ifadədə verilənləri nəzərə alsaq

$$m_{\phi} = \frac{0,15kq[4187 \frac{C}{kq \cdot K} \cdot 16K + 3,32 \cdot 10^5 \frac{C}{kq}]}{1,68 \cdot 10^6 \frac{C}{kq} \cdot 0,8} \approx 0,044kq = 44q$$

Cavab: buxarlanan freonun kütləsi 44 q-dır.

### Məsələ №149

En kəsiyinin sahəsi  $29m^2$ , uzunluğu 0,5 m olan polad çubuğundan 5 t kütləli yük asılmışdır. Poladın möhkəmlik həddinin  $1,25QPa$  olduğunu bilərək çubuğun nə qədər möhkəmlik ehtiyatına malik olduğunu müəyyən etməli. Çubuğun nisbi uzanması nə qədərdir? Elastiki deformasiya enerjisi nə qədərdir? Çubuğun kütləsi nəzərə alınmır.

**Verilir:**

$$m = 5 \cdot 10^3 kq - \text{yükün kütləsi}$$

$$l = 0,5m - \text{çubuğun uzunluğu}$$

$$S = 2 \cdot 10^{-4} m^2 - \text{en kəsiyinin sahəsi}$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2} - \text{sərbəst düşmə təcili}$$

$$\sigma = 1,25 \cdot 10^9 Pa - \text{poladın möhkəmlik həddi}$$

$$E = 2,2 \cdot 10^{11} Pa - \text{Yunq modulu.}$$

**Tapmalı**

$n$  - möhkəmlik ehtiyatını

$\varepsilon$  - nisbi uzanmanı

$\Pi$  - elastiki deformasiya enerjisini

**Həlli**

Möhkəmlik ehtiyatını  $n = \frac{\sigma_i}{\sigma}$  (1) ifadəsi ilə təyin edək,

harada ki,  $\sigma = \frac{F}{S}$  (2) və  $F = mg$  (3), deməli

$$n = \frac{\sigma_i S}{mg} \quad (4)$$

nisbi uzanmanı  $\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma = \frac{mg}{ES}$  (5) ifadəsi vasitəsilə müəyyən edək.

Deformasiyaedici qüvvə  $F = mg$ , mütləq deformasiya  $\Delta \ell$ - olduğundan elastiki deformasiya enerjisi  $\Pi = \frac{F \Delta \ell}{2}$  (6)

ifadəsi ilə müəyyən edilər, burada  $\Delta \ell = \varepsilon \ell = \frac{mg \ell}{ES}$  (7)

olduğundan  $\Pi = \frac{(mg)^2 \ell}{2ES}$  (8) olar.

Fiziki kəmiyyətlərin qiymətlərini 4,5,6 ifadələrində nəzərə alıb, hesablama aparaq

$$n = \frac{1,25 \cdot 10^9 \text{ Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{5 \cdot 10^3 \text{ kq} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} \approx 5,1$$

$$\varepsilon = \frac{5 \cdot 10^3 \text{ kq} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{2,2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \approx 1,1 \cdot 10^{-3}$$

$$\Pi = \frac{(5 \cdot 10^3 \text{ kq} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2)^2 \cdot 0,5 \text{ m}}{2 \cdot 2,2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} \approx 14 \text{ C}.$$

### Məsələ №150

En kəsik sahəsi  $10 \text{ mm}^2$  olan mis naqili  $20 \text{ K}$  qızdırdıqda müəyyən qədər uzanır. Bu uzanmanı yaratmaq üçün həmin naqili hansı qüvvə ilə dartmaq lazımdır?

Verilir:

$S = 10^{-5} \text{ m}^2$  məftilin en kəsik sahəsi;  $\Delta T = 20 \text{ K}$  - temperaturun dəyişməsi,  $E = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$  - mis üçün Yunq modulu,  $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  misin istidən xətti genişlənmə əmsalı.

**Tapmalı:**

$$F = ?$$

**Həlli**

Məftilin  $\frac{\Delta l}{l_0}$  nisbi uzanması  $\sigma = \frac{F}{S}$  - mexaniki gərginliyi ilə düz, elastiklik modulu ilə tərs mütənasib olduğundan yazıla bilər ki,

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{F}{S} \frac{1}{E} \quad (1)$$

(1)-dən  $\Delta l = \frac{F l_0}{ES}$  (2). Məsələnin şərtinə görə  $\Delta l$  - mütləq uzanması məftil  $\Delta T$  qədər qızdırıldıqda onun uzanmasına bərabərdir, yəni  $\Delta l = l_0 \alpha \Delta T$  (3).

(2) və (3) ifadələrindən alırıq ki,  $\frac{F l_0}{ES} = l_0 \alpha \Delta T$  (4).

Buradan isə  $F = ES \alpha \Delta T$  (5). Qiymətləri yerinə yazıb hesablasaq  $F \approx 410 N$  olar.

### Məsələ №151

Kub formasında olan bütöv dəmirə 296,4 kC istilik verməklə həcmi nə qədər artırmaq olar.

**Verilir:**

$$\Delta Q = 296400 C - \text{dəmirə verilən istilik miqdarı}$$

$$c = 460 \frac{C}{kqK} - \text{dəmirin xüsusi istilik tutumu}$$

$$\rho = 7800 \frac{kq}{m^3} - \text{dəmirin sıxlığı}$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} K^{-1} - \text{dəmirin xətti genişlənmə əmsalı}$$

**Tapmalı:**

$\Delta V$  - dəmir kubun həcmi dəyişməsi.

**Həlli**

Dəmir kubun həcmi dəyişməsi  $\Delta V = V_0 \beta \Delta T$  (1) ifadəsi ilə təyin etmək olar.  $\Delta T$  - temperatur dəyişməsi cismə verilən

istilik miqdarının  $\Delta Q = a_n \Delta T = c\rho V_0 \Delta T$  (2) ifadəsindən tapmaq olar

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{c\rho V_0} \quad (3)$$

(3)-ü (1)-də nəzərə alsaq

$$\Delta V = \frac{\beta}{c\rho} \Delta Q = \frac{3\alpha}{c\rho} \Delta Q \quad (4)$$

ədədi qiymətləri (4)-də nəzərə alıb hesablama aparsaq, alırıq

$$\Delta V = \frac{3 \cdot 12 \cdot 10^{-6} K^{-1} \cdot 2,96 \cdot 10^5 C}{460 \frac{C}{kqK} \cdot 7800 kq / m^3} \approx 3 \cdot 10^{-6} m^3 = 3 sm^3$$

**Cavab:** Kubun həcmi təxminən  $3 sm^3$  artar.

### Məsələ №152

$0^\circ C$  temperaturda şüşə kolba 680 q civə,  $100^\circ C$  temperaturda isə 670 q civə tutur. Şüşənin istidən xətti genişlənmə əmsalını tapmalı.

**Verilir**

$m_0 = 680 q = 0,68 kq$ .  $T = 273 K$  temperaturda kolbadakı civənin kütləsi.  $T = 273 K$  - kolba və onda olan civənin son temperaturu.  $m = 670 q = 0,67 kq$  -  $373 K$  temperaturda kolbada qalan civənin kütləsi.

$B_{ng} = 1,8 \cdot 10^{-4} K^{-1}$  - civənin istidən həcmi genişlənmə əmsalı.

**Tapmalı**

$\alpha$  - şüşənin istidən xətti genişlənmə əmsalı

### Həlli

Şüşənin istidən xətti genişlənmə əmsalı

$$\alpha_c = \frac{1}{3} \beta_c \quad (1)$$

$\beta$  -ni  $V = V_0(1 + \beta \Delta T)$  (2) münasibətindən tapmaq olar.  $V$  və  $V_0$  uyğun olaraq kolbanın və kolbanı dolduran civənin temperaturun

müvafiq qiymətlərindəki ( $T = 100^{\circ}C$  və  $T_0 = 0^{\circ}C$ ) həcməlidir.  $V$  - həmini tutan civənin kütləsi  $m = \rho V$  (3). Digər tərəfdən

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta_c \Delta T} \quad (4)$$

$V_0$  həmini tutan civənin kütləsi  $m_0 = \rho_0 V_0$  (5)  $\frac{m}{m_0}$  nisbətini

yazaraq  $\alpha$  -ni tapa bilərik.

$$\frac{m}{m_0} = \frac{\rho V}{\rho_0 V_0} = \frac{\rho_0 V_0 (1 + \beta_c \Delta T)}{\rho_0 V_0 (1 + \beta_c \Delta T)} = \frac{1 + \beta_c \Delta T}{1 + \beta_c \Delta T} \quad (6)$$

Bu ifadədən  $\alpha_c$  -ni tapaq:

$$\alpha_c = \frac{1}{3} \beta_c = \frac{m(1 + \beta_c \Delta T) - m_0}{3m_0 \Delta T} \quad (7)$$

(7)-də kəmiyyətlərin qiymətlərini yerinə yazıb hesablama aparsaq

$$\alpha_c = \frac{1}{3} \frac{0,67k1q(1 + 1,8 \cdot 10^{-4} K \cdot 100K) - 0,68kq}{0,68kq \cdot 100K} \approx 10^{-5} K^{-1}$$

Cavab:  $\alpha_s = 10^{-5} K^{-1}$  (şüşənin istidən xətti genişlənmə əmsalı).

### Məsələ №153

Kubik qəfəsin bir elementar özəyinə neçə atom düşür?

- 1) Primitiv (sadə) kubik qəfəs üçün
- 2) həcmə mərkəzləşdirilmiş kubik qəfəs üçün
- 3) üzə mərkəzləşmiş kubik qəfəs üçün

### Məsələ №154

Məlumdur ki, neon kristallı üzəmərkəzləşdirilmiş kubik qəfəsə malikdir və qəfəs sabiti  $a = 0,452$  nm-dir. Bu kristalın sıxlığını tapmalı.

### Məsələ №155

Eynşteynin istilik tutumu nəzəriyyəsinə əsasən gümüş atomlarının rəqs tezliyini tapmalı. Xarakteristik Eynşteyn temperaturu gümüş üçün  $\theta_E = 165K$  -dir.



### Məsələ №156

$T = \theta_E = 200K$  temperaturda biröçülü xətti harmonik ossilyatorun orta enerjisini  $\langle \varepsilon \rangle$  tapmalı.

### Məsələ №157

Kütləsi  $m = 100q$  olan mis kristalını  $T_1 = 10K$ -də  $T_2 = 20K$  temperatura kimi qızdırmaq üçün lazım olan  $Q$  istilik miqdarını tapmalı.  $Cu$  üçün xarakteristik Debay temperaturu  $\theta_D = 320K$  -dir və  $T_2 \ll \theta_D$  şərti ödənilir.

### Məsələ №158

$T = 0 K$  temperaturda metaldakı elektronların orta kvadratik sürətlərini  $\langle v_{kv} \rangle$  maksimal sürətlə ifadə etməli.

### Məsələ №159

$n$ -tip germanium yarımkəçiricisində elektronların yürüklüyünün  $b_4 = 3,7 \times 10^3 \frac{sm^2}{V \cdot s}$ , yarımkəçiricinin xüsusi müqavimətinin isə  $\rho = 1,6 \cdot 10^{-2} Om \cdot m$  olduğunu bilərək Holl sabitini təyin etməli.

### Məsələ №160

Marqansın molyar maqnit qavrayıcılığı  $\chi_m = 4,9 \times 10^{-4} sm^3 / mol$  -dur.  $\chi$  - maqnit qavrayıcılığını hesablamalı.

### Məsələ №161

Oksigen molekulunun maqnit momentini (Bor maqnitonu ilə) tapmalı. Normal şəraitdə paramaqnit qavrayıcılığı  $\chi = 2,0 \cdot 10^{-6}$  -dir.

### Məsələ 162

Kütləsi  $10 q$  olan buzun  $-20^{\circ}C$ -dən  $100^{\circ}C$ -dək qızaraq qaynadığı zaman entropiyanın dəyişməsinə tapın.

**Molekulyar fizika və termodinamika.**  
**Əsas düsturlar və qanunlar**

**Cədvəl 2.**

Kəmiyyət və ya fizika qanunu	Düstur
Klapeyron-Mendeleyev tənliyi	$PV = mRT / M$
Molekulyar-kinetik nəzəriyyənin əsas tənliyi	$P = \frac{1}{3} n_0 m \bar{v}^2 = \frac{2}{3} n_0 \bar{E} =$ $= n_0 kT$
Molekulun orta kinetik enerjisi	$\bar{E}_k = ikT / 2$
Molekulların istilik hərəkətinin kinetik enerjisi (ideal qazın daxili enerjisi)	$E_k = U = \frac{imRT}{2M}$
Molekulun orta kvadratik sürəti	$\bar{v}_{kv} = \sqrt{\frac{3KT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$
Molekulun orta ədədi sürəti	$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$
Molekulların ən ehtimallı sürəti	$v_t = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$
Molekulların sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu	$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n_0}$
1 saniyə ərzində baş verən toqquşmalarının orta sayı	$\bar{z} = \sqrt{2} \pi d^2 n_0 \cdot \bar{v}$
Ağırlıq qüvvəsi sahəsində molekulların paylanması (Bolsman paylanması)	$n = n_0 e^{-\frac{E_n}{kT}}$
Barometrik düstur	$P = P_0 e^{-\frac{mg(k-k_0)}{kT}}$

Diffuziya tənliyi (Fik qanunu)	$dm = -D \frac{dc}{dx} S dt$
Maye və ya qazda daxili sürtünmə qüvvəsi	$F = -\eta \frac{dv}{dt} S$
İstilikkeçirmə tənliyi	$dQ = -\lambda \frac{dT}{dx} S dt$
Diffuziya əmsalı	$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$
Daxili sürtünmə əmsalı	$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{v} = D \rho$
İstilikkeçirmə əmsalı	$\lambda = \frac{1}{3} C_v \rho \bar{\lambda} \bar{v} = \eta C_v$
Termodinamikanın birinci qanunu	$dQ = dU + dA; dU = \frac{mc_v dT}{M};$ $dA = p dV$
İdeal qazın daxili enerjisi	$U = \frac{miRT}{2M}$
İzobarik prosesdə görülən iş	$A = p(V_2 - V_1) =$ $= mR(T_2 - T_1) / M$
İzotermik prosesdə görülən iş	$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} =$ $= \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$
Adiabatik prosesdə görülən iş	$A = \frac{m}{M} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] =$ $= \frac{m}{M} c_v (T_1 - T_2)$
Adiabatik prosesin tənliyi (Puasson tənliyi)	$PV^\gamma = const; TV^{\gamma - 1} = const$

Karno tsiklinin faydalı iş əmsalı	$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
Entropiyanın dəyişməsi	$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$
Mayer düsturu	$C_p - C_v = R$
İzoxorik molyar istilik tutumu	$c_v = iR/2; C_v = c_v M$
İzobarik molyar istilik tutumu	$c_p = \frac{i+2}{2} R; C_p = c_p M$
Van-der-Vaals tənliyi	$\left( p + \frac{m^2 a}{M^2 V^2} \right) \left( V - \frac{m}{M} b \right) = \frac{m}{M}$
Böhran parametrlər	$P_{kr} = \frac{a}{27b^2}; T_{kr} = \frac{8a}{27bR}$
Molekulların məxsusi həcmi	$V_1 = \frac{b}{4N_A} = \frac{\pi d^3}{6}$
Səsin qazda yayılma sürəti	$v = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

### Əsas fiziki sabitlər

Cədvəl 1

Qravitasiya sabiti	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} m^3 / kq \cdot s^2$
Yer səthində sərbəstdüşmə təcili	$g = 9,807 m/s^2$
Vakuumda işıq sürəti	$c = 2,998 \cdot 10^8 m/s$
Loşmit ədədi	$n_0 = 2,69 \cdot 10^{25} m^{-3}$
Bolsman sabiti	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} C / K$
Atom kütlə vahidi	$m_0 = 1,66 \cdot 10^{-27} kq$
Normal şəraitdə 1 kmol qazın	$V_0 = 22,4 m^3$

həcmi	
Avoqadro ədədi	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}$
Universal qaz sabiti	$R = 8,314 \text{ C / mol} \cdot \text{K}$

### Bəzi astronomik kəmiyyətlər

### Cədvəl 2

Günəşin kütləsi	$m = 1,97 \cdot 10^{30} \text{ kq}$
Yerin kütləsi	$m = 5,96 \cdot 10^{24} \text{ kq}$
Ayın kütləsi	$m = 7,3 \cdot 10^{22} \text{ kq}$
Günəşin orta radiusu	$r = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
Yerin orta radiusu	$r = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
Yerdən Aya qədər olan məsafə	$R = 3,884 \cdot 10^8 \text{ m}$
Merkuridən Günəşə qədər olan məsafə	$R = 5,787 \cdot 10^{10} \text{ m}$
Veneradan Günəşə qədər olan məsafə	$R = 1,08 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Yerdən Günəşə qədər olan məsafə	$R = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Marsdan Günəşə qədər orta məsafə	$R = 2,278 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Yupiterdən Günəşə qədər orta məsafə	$R = 7,778 \cdot 10^{11} \text{ m}$
Saturundan Günəşə qədər orta məsafə	$R = 1,426 \cdot 10^{12} \text{ m}$
Urandan Günəşə qədər orta məsafə	$R = 2,87 \cdot 10^{12} \text{ m}$
Neptundan Günəşə qədər orta məsafə	$R = 4,496 \cdot 10^{12} \text{ m}$
Plutondan Günəşə qədər orta məsafə	$R = 5,229 \cdot 10^{12} \text{ m}$
Merkurinin Günəş ətrafında dövr periodu	$T = 0,24 \text{ Yer ili}$
Veneranın fırlanma periodu	$T = 0,62 \text{ Yer ili}$
Yerin fırlanma periodu	$T = 1 \text{ il}$
Marsın fırlanma periodu	$T = 1,88 \text{ Yer ili}$
Yupiterin fırlanma periodu	$T = 1,86 \text{ Yer ili}$
Saturunun fırlanma periodu	$T = 29,46 \text{ Yer ili}$
Uranın fırlanma periodu	$T = 84,02 \text{ Yer ili}$
Neptunun fırlanma periodu	$T = 164,8 \text{ Yer ili}$
Plutonun fırlanma periodu	$T = 249,7 \text{ Yer ili}$

Bəzi bərk cisimlərin sıxlıqları

Cədvəl 3

Sıra №	Maddələrin adları	Sıxlıq, kq/m <sup>3</sup>	Sıra №	Maddələrin adları	Sıxlıq, kq/m <sup>3</sup>
1	Alüminium	2600	14	Volfram	19300
2	Dəmir	7900	15	Beton	2200
3	Latun	8400	16	Mərmər	2700
4	Mis	8600	17	Kərpic	1800
5	Qalay	7800	18	Parafin	900
6	Qurğuşun	11300	19	Palıd ağacı	800
7	Gümüş	10500	20	Toz ağacı	700
8	Polad	7700	21	Şam ağacı	500
9	Platin	21400	22	Mantar	200
10	Sink	7000	23	Şüşə	2500
11	Qızıl	19300	24	Üzvü şüşə	1200
12	Bürünc	8500	25	Penoplast	100
13	Çuqun	7500			

Sürüşmə sürtünmə əmsalları

Cədvəl 4

Sıra №	Maddələrin adları	Sürtünmə əmsalları	Sıra №	Maddələrin adları	Sürtünmə əmsalları
1	Tunc tunc üzrə	0,20	6	Gönqayış çuqun üzrə	0,56
2	Tunc çuqun üzrə	0,19	7	Polad buz üzrə	0,02
3	Ağac ağac üzrə	0,50	8	Polad polad üzrə	0,13
4	Ağac torpaq üzrə	0,71	9	çuqun çuqun üzrə	0,15
5	Kərpic kərpic üzrə	0,65	10	Kömür mis üzrə	0,25

Bəzi metalların mexaniki xassələri

Cədvəl 5

Sıra №	Maddələrin adları	Elastiklik modulu, MPa	Elastiklik həddi, MPa	Möhkəmlik həddi, MPa
1	Alüminium	70.000	54	90
2	Bürünc	11.500	–	400
3	Mis	100.000	25	200
4	Qurğuşun	17.000	25	18
5	Polad	210.000	700	300

Bir sıra bucaqların triqonometrik funksiyalarının qiymətləri

Cədvəl 6

$\alpha$ -bucağı (dərəcələrlə)	Triqonometrik funksiyalar			
	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$	$\operatorname{tg}\alpha$	$\operatorname{ctg}\alpha$
0	0,0000	1,0000	0,0000	–
30	0,5000	0,8660	0,5774	1,7321
45	0,7071	0,7071	1,0000	1,0000
60	0,8660	0,5000	1,7321	0,5774
90	1,0000	0,0000	–	0,0000

Bəzi mayələrin fiziki xassələri

Cədvəl 7

Mayələr	Sıxlıq, $\text{kq/m}^3$	Xüsusi istilik tutumu, $\text{C/kq}\cdot\text{K}$	$20^\circ\text{C}$ -də səthi gərilmə əmsalı, $\text{N/m}$	Xüsusi buxarlanma istiliyi $\lambda$ , $10^3 \text{C/kq}$
Benzol	880	1720	0,03	–
Su	1000	4190	0,073	2250
Qliserin	1200	2430	0,064	–

Gənəgərçək yağı	900	1800	0,035	—
Ağ neft	800	2140	0,03	—
Civə	13600	138	0,5	284
Spirt	790	2510	0,02	853

### Normal şəraitdə bir sıra qazların əsas sabitləri

Cədvəl 8

Qazların adları	$\lambda = \frac{C_1}{C_2}$	İstilik keçirmə əmsali, $\chi$ , $10^{-2}$ Vt/m.k	Özlülük $\eta$ , $10^{-5}$ kq/m.s	Molekulun diametri, d, A	Van-der-Vaals sabitləri		Tk, °K	Pk·10 <sup>6</sup> , N/m <sup>2</sup>
					a, 1,014·10 <sup>5</sup> XNm/k mol	b, 10 <sup>-2</sup> m <sup>3</sup> /k mol		
Helium	1,63	14,15	1,89	2,0	—	—	5,2	0,23
Arqon	1,67	1,62	2,21	3,5	1,30	3,2	151	4,87
Hidrogen	1,41	16,84	0,84	2,7	0,24	2,7	33	1,3
Azot	1,40	2,43	1,67	3,7	1,35	3,9	126	3,4
Oksigen	1,40	2,44	1,92	3,5	1,35	3,2	154	5,07
Karbon	1,30	2,32	1,40	4,0	3,62	4,3	304	7,4
Su buxarı	1,32	1,58	0,90	3,0	5,47	3,0	647	22

### Müxtəlif temperaturalarda doymuş su buxarının təzyiqi

Cədvəl 9

t, °C	P <sub>0</sub> , mm c.st.	t, °C	P <sub>0</sub> , mm c.st.
-5	3,01	16	13,6
0	4,58	18	15,5
1	4,98	20	17,5
2	5,29	25	23,8
3	5,69	30	31,8



4	6,10	40	55,3
5	6,54	50	92,5
63	7,01	60	149
7	7,71	70	234
8	8,05	80	355
96	8,61	90	526
10	9,21	100	760

### Məsələlərin cavabları

Məsələ №7	$3,56 \cdot 10^{24} \text{ kq}^{-1}$
Məsələ №8	0,4%
Məsələ №9	2,8%
Məsələ №10	$0,081 \text{ kq} / \text{ m}^3$
Məsələ №11	$N = 2 \cdot 10^{27}$
Məsələ №12	$p = 155 \text{ MPa};$ $\rho = 0,5 \cdot 10^3 \text{ kq} / \text{ m}^3$
Məsələ №13	$\rho = Ap$ düz mütənasib
Məsələ №14	$\rho = B/T$ tərs mütənasib
Məsələ №15	640 kPa
Məsələ №16	11,7 l ; 4,6 kq / kmol
Məsələ №17	2,5 q
Məsələ №18	$\sqrt{v^2} = 230 \text{ m} / \text{ s}; N = 1,9 \cdot 10^{23};$ $\rho = 5,0 \text{ kq} / \text{ m}^3$
Məsələ №19	885 m
Məsələ №20	1,2 kPa
Məsələ №21	0,21 kq
Məsələ №22	8,3 q
Məsələ №23	350 K
Məsələ №24	$32 \cdot 10^{-3} \text{ kq} / \text{ mol} .$
Məsələ №25	[6,4 m <sup>3</sup> ].

Məsələ №26	$[1,24 \cdot 10^{-20} \text{ C}; 6,2 \cdot 10^{-21} \text{ C}]$
Məsələ №27	$\left[ 743 \frac{\text{C}}{\text{kqK}}; 1,04 \frac{\text{kC}}{\text{kqK}} \right]$
Məsələ №28	$[4,4 \text{ sm}]$
Məsələ №29	$7,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
Məsələ №30	$0,4 \text{ kmol}$
Məsələ №31	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>V_1 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3</math></li> <li>2) <math>T_2 = 1170 \text{ K}</math></li> <li>3) <math>\rho_1 = 4,14 \frac{\text{kq}}{\text{m}^3}</math></li> </ol>
Məsələ №32	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kq}</math></li> <li>2) <math>1,67 \cdot 10^5 \text{ Pa}</math></li> </ol>
Məsələ №33	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>T = 1500 \text{ K}</math></li> <li>2) <math>V = 12,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3</math></li> <li>3) <math>Q = 12,4 \text{ kCoul}</math></li> </ol>
Məsələ №34	$m = 1,13 \text{ kq}$
Məsələ №35	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>1,08 \cdot 10^5 \text{ Pa}</math></li> <li>2) <math>1,16 \cdot 10^5 \text{ Pa}</math></li> </ol>
Məsələ №36	$p = 5 \text{ kPa}$
Məsələ №37	$1.98 \text{ kq/m}^3$
Məsələ №38	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>\bar{v} = 579 \text{ m/s}</math></li> <li>2) <math>\sqrt{\bar{v}^2} = 628 \text{ m/s}</math></li> <li>3) <math>v_t = 513 \text{ m/s}</math></li> </ol>
Məsələ №46	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>Q = \frac{m}{M} c_p \Delta T = 7,92 \cdot 10^3 \text{ C}</math></li> <li>2) <math>\Delta u = \frac{i}{2} p \Delta V = 5660 \text{ C}</math></li> <li>3) <math>A = p \Delta V = 2,26 \cdot 10^3 \text{ C}</math></li> </ol>

Məsələ №47	1) $A = 8,1 \cdot 10^3 C$ 2) $\Delta U = 20,2 \cdot 10^3 C$ 3) $Q = 28,3 \cdot 10^3 C$
Məsələ №48	5,8 dərəcə
Məsələ №49	$A = 720C$
Məsələ №50	$v_{k\delta} \approx 360 \frac{m}{s}$
Məsələ №51	$p_1 = 9,5 \cdot 10^4 \frac{N}{m^2}$
Məsələ №52	$T = 865^0 K = 592^0 C$
Məsələ №53	$t = 123^0 C$ ; $p = 52,8 \cdot 10^5 Pa$
Məsələ №54	1) $\Delta U = -2,69 \cdot 10^6 C$ 2) $A = -\Delta u = 2,69 \cdot 10^6 C$
Məsələ №55	1) $A = 630C$ ; 2) $Q_2 = 1880C$
Məsələ №56	$\eta = 18,5\%$
Məsələ №57	1) $\eta = 26,8\%$ ; 2) $Q_1 = 274kC$ ; 3) $Q_2 = 200kC$
Məsələ №58	1) $\eta = 30\%$ ; 2) $A = 480kal$
Məsələ №59	$S_2 - S_1 = 5,4 \frac{C}{K}$
Məsələ №60	$\Delta S = 71 \frac{C}{K}$
Məsələ №61	$Q = 10^4 C$
Məsələ №62	$m = 3,7q$ ; $\Delta w_0 = 3,3 \cdot 10^{-21} C$
Məsələ №63	$\alpha = 0,36$
Məsələ №64	$c_p = 685C / kq \cdot K$
Məsələ №65	$c_v = 650C / kq \cdot K$ ; $c_p = 910C / kq \cdot K$

Məsələ №66	6,6 kC
Məsələ №67	146K
Məsələ №68	6 kC, 15kC
Məsələ №69	$c_p / c_v = 1,59$
Məsələ №70	1,88
Məsələ №71	1230 c/k
Məsələ №72	-148kC; -207kC
Məsələ №73	[7,61MC; 7,19MC; 0,4MC] və 5,3%
Məsələ №74	[5MC; 0; 5MC]
Məsələ №75	0,6 MC; 0,24 MC; 0,84 MC
Məsələ №76	$\Delta A = 28kC$
Məsələ №77	3,62MC; 2,66Pa
Məsələ №78	1,69Mpa
Məsələ №79	44,1
Məsələ №84	[4,42mm]
Məsələ №85	280K
Məsələ №86	a) 281K; b) 289K
Məsələ №87	231ℓ
Məsələ №88	$4,5 \cdot 10^7 s^{-1}$
Məsələ №89	$t = 127^0 C$
Məsələ №90	$a = 3,64 \cdot 10^5 Nm^4 /$
Məsələ №91	1) $\frac{p_i}{p} = 4,95\%$ ; 2) $\frac{V_i}{V} = 0,86\%$
Məsələ №92	$\frac{T_2}{T_1} = \frac{2p + p_i}{p + p_i} = 1,85$
Məsələ №93	$D = 3,5 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$
Məsələ №96	$p = 300mm c.s.t$
Məsələ №97	$\bar{\lambda} = 1,84 \cdot 10^{-7} m$
Məsələ №98	$\eta = 1,78 \cdot 10^{-5} Pa \cdot s$

Məsələ №99	$r = 1,5 \cdot 10^{-10} m$
Məsələ №100	$D = 1,48 \cdot 10^{-5} m^2 / s ; \eta = 1,85 \frac{kq}{ms}$
Məsələ №101	1) $\rho = 1,6kq / m^3 ;$ 2) $\bar{\lambda} = 8,35 \cdot 10^{-8} m ;$ 3) $\bar{v} = 440 \frac{m}{s}$
Məsələ №102	$\chi = 0,09 \frac{Vt}{m \cdot K}$
Məsələ №103	$\chi = 13,2 \cdot 10^{-3} \frac{Vt}{m \cdot K}$
Məsələ №104	$n = 1,8 \cdot 10^{25} m^{-3}$
Məsələ №105	$\bar{\lambda} = 2,3 \cdot 10^{-8} m$
Məsələ №106	$\sigma = \sqrt{\frac{M}{\sqrt{2N_A \pi \bar{\lambda} \rho}}} = 3 \cdot 10^{-10} m$
Məsələ №107	$\bar{\lambda} = 10^{-6} m$
Məsələ №108	$\sigma = 0,3nm = 3 \cdot 10^{-10} m$
Məsələ №109	2,6 mq
Məsələ № 110	21 mq
Məsələ №111	0,24 Pa
Məsələ №112	40°C -də 4,34 dəfə çox
Məsələ №113	Suyun qaynama temperaturu yüksəlir, çünki suyun səthində təxminən 2 qat artıq təzyiq saxlanılır
Məsələ №114	50%
Məsələ №115	74 %
Məsələ №116	59 %
Məsələ №117	19 % artıb
Məsələ №118	75%
Məsələ №119	2,1 q
Məsələ №120	60% ; 0,96 kPa; 7,3 q/ m <sup>3</sup>
Məsələ №121	7° C ; 10° C

Məsələ №122	11,7 mq
Məsələ №123	7,3 sm
Məsələ №124	Suda 2,4 dəfə çoxdur
Məsələ №125	0,47 mm
Məsələ №126	$820 \frac{kq}{m^3}$
Məsələ №127	22mN/ m
Məsələ №128	5,1 mm
Məsələ №129	$T = 280K = 7^{\circ}C$
Məsələ №130	$7,6 \cdot 10^{-3} m^3$
Məsələ №131	1,13 kq
Məsələ №132	2,65
Məsələ №133	$0,74 kq/m^3$
Məsələ №134	$c_p / c_v = 1,59$
Məsələ №135	545 C
Məsələ №136	$A=720 C$
Məsələ №137	$4,0 \times 10^{22}m^{-3}$
Məsələ №138	$25 q/m^3$
Məsələ №139	1800 C
Məsələ №140	$0,083kq / m^3$
Məsələ №153	[1;2;4]
Məsələ №154	$[1,46 \cdot 10^3 kq/m^3]$ .
Məsələ №155	$[3,44 \cdot 10^{-12} hs]$ .
Məsələ №156	$[1,61 \cdot 10^{-21} c]$ .
Məsələ №157	[3,38 coul].
Məsələ №158	$[\sqrt{315}v_{\max}]$ .
Məsələ №159	$[7 \cdot 10^{-3} m^3/ K\ell]$ .
Məsələ №160	$[8,3 \cdot 10^{-4}]$ .
Məsələ №161	$[2,8\mu_B]$ .
Məsələ №162	$88 \frac{C}{K}$

**prof. M.M.Zərbəliyev**  
**dos. Ə.B.Nağıyev**  
**dos. N.S.Sərdarova**

# **FİZİKA MƏSƏLƏLƏRİ**

**(Mexanika və molekulyar fizika)**

**D ə r s v ə s a i t i**

Tiraj: 200. Həcmi 10,5 ç.v. Sifariş №172.

---

“MBM” MMC mətbəəsində çap edilmişdir.