

**LIETUVOS FIZIKŲ DRAUGIJA  
ŠIAULIŲ UNIVERSITETO  
JAUNŲJŲ FIZIKŲ MOKYKLA „FOTONAS“**



**MOLEKULINĖ FIZIKA IR  
TERMODINAMIKA.**

**LIETUVOS FIZIKŲ DRAUGIJA  
ŠIAULIŲ UNIVERSITETO  
JAUNŲJŲ FIZIKŲ MOKYKLA „FOTONAS“**

**Adomas Neimontas**

**MOLEKULINĖ FIZIKA IR TERMODINAMIKA.**

**IV KURSO I TURO UŽDUOTYS IR METODINIAI NURODYMAI**

**Metodinė priemonė  
2013 - 2014 mokslo metai**

**Šiauliai 2013**

## SU NAUJAISIAIS MOKSLO METAIS, FOTONIEČIAI!

Šie mokslo metai jaunųjų fizikų mokykloje „Fotonas“ Jums paskutiniai.

Tikimės, kad sprenddami „Fotono“ uždavinius gerai pasirengsite valstybiniam fizikos baigiamajam egzaminui, suprasite, kokias darote klaidas, ką turėtumėte papildomai pasimokyti. Sėkmingas 4 metų mokymasis „Fotono“ mokykloje bus įvertintas mokyklos baigimo diplomu, kurį įteiksime 2013 metų pavasarį.

Kad būtų išvengta netikslumų, ant uždavinių sprendimo sąsiuvinio ir įskaitos lapo didžiosiomis spausdintinėmis raidėmis iš paso užrašykite savo vardą ir pavardę, mokyklą.

Už mokymąsi *Fotono* mokykloje fotoniečiai turės mokėti 60 Lt pusmečiui. Informaciją apie mokėjimą atsiųsime su Jūsų I turo sprendimų įvertinimu.

### **Uždavinių sprendimų išsiuntimo terminai:**

I turas – 2013-11-10,

II turas – 2014-01-25.

Sąsiuvinius su sprendimais siųskite adresu:

„Fotonui“  
Šiaulių universitetas  
P. Višinskio g. 19  
77156 Šiauliai

LINKIME SĖKMĖS!

„Fotono“ taryba

Tel./faks. (8 41) 59 57 24

El. pašto adresas [fotonas@fm.su.lt](mailto:fotonas@fm.su.lt)

Interneto puslapis: [www.fotonas.su.lt](http://www.fotonas.su.lt)

# I TURAS

## MOLEKULINĖ FIZIKA IR TERMODINAMIKA

### Metodiniai nurodymai

Molekulinėje fizikoje medžiagos kiekis  $\nu$  išreiškiamas:

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

arba

$$\nu = \frac{V}{V_0};$$

čia  $m$  – medžiagos masė,  $M$  – molio masė,  $V$  – medžiagos tūris,  $V_0$  – molio tūris.  $V_0 = 22,4 \text{ l}$  – dujų 1 molio tūris normaliomis sąlygomis.

Bet kurios medžiagos molekulių skaičius viename molyje yra vienodas ir vadinamas Avogadro skaičiumi  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ . Molekulių skaičių  $N$  galime rasti tokiu būdu:

$$N = \nu N_A = \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{V}{V_0} \cdot N_A.$$

Molio masę  $M$  ir santykinę molekulinę masę  $M_r$  sieja sąryšis:

$$M \approx 10^{-3} M_r \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

Oro molio masė:

$$M = 0,029 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}.$$

Molekulių vidutinis greitis randamas:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}};$$

čia  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$  – Bolcmano konstanta,  $R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$  – universalioji dujų konstanta,  $m_0$  – vienos molekulės masė.

***Pagrindinė dujų molekulių kinetinės teorijos lygtis***

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2 = \frac{2}{3} n \bar{E};$$

čia  $p$  – dujų slėgis,  $n = \frac{N}{V}$  – molekulių koncentracija, t. y. molekulių skaičius tūrio vienetu,  $m_0$  – vienos molekulės masė,  $\bar{v}^2$  – greičio kvadrato vidutinė vertė,  $\bar{E}$  – vienos judančios dujų molekulės vidutinė kinetinė energija:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT,$$

$$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}.$$

Dujų slėgio  $p$  priklausomybę nuo jų molekulių koncentracijos  $n$  ir dujų temperatūros  $T$  apibūdina lygtis

$$p = nkT.$$

Absoliutinės ir Celsijaus temperatūros skalės ryšys:

$$T = t + 273 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

**Idealiųjų dujų būsenos (Mendelejevo ir Klapeirono) lygtis:**

$$pV = \frac{m}{M} RT;$$

čia  $p$  – slėgis,  $V$  – tūris,  $T$  – absoliutinė temperatūra,  $m$  – dujų masė,  $M$  – dujų molio masė,

$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$  – universalioji dujų konstanta.

Dujų būsenos kitimą pastovioje temperatūroje nusako Boilio ir Marioto dėsnis:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1},$$

kai  $T = \text{const}$  ir masė  $m$  nekinta.

Procesas, kai  $T = \text{const}$ , vadinamas **izoterminiu**.

Dujų būsenos kitimą, kai pastovus slėgis, nusako Gei-Liusako dėsnis:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

kai  $p = \text{const}$  ir masė  $m$  nekinta.

Procesas, kai  $p = \text{const}$ , vadinamas **izobariniu**.

Dujų būsenos kitimą, kai pastovus tūris, nusako Šarlio dėsnis:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

kai  $V = \text{const}$  ir masė  $m$  nekinta.

Procesas, kai  $V = \text{const}$ , vadinamas **izochoriniu**.

Klapeirono lygtis:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

Dujų mišinio slėgis randamas pagal **Daltono dėsnį**:

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n;$$

čia  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – daliniai atskirų dujų mišinio dedamųjų slėgiai.

Kūnams mažai deformuojantis **įtempimas** (įtampa) yra tiesiog proporcingas santykiniam pailgėjimui:

$$\sigma = E|\varepsilon|;$$

čia  $\sigma$  – įtempimas,  $E$  – tamprumo (Jungo) modulis,  $\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}$  – santykinis pailgėjimas,

$\Delta \ell = \ell - \ell_0$  – absoliutinis pailgėjimas.

$$\sigma = \frac{F}{S};$$

čia  $F$  – tamprumo jėga,  $S$  – deformuojamo kūno skerspjūvio plotas.

Tamprumo jėga  $F$  proporcinga absoliutiniam pailgėjimui:

$$F = \frac{SE}{\ell_0} \Delta \ell,$$

$$F = k \Delta \ell ;$$

čia  $S$  – skerspjūvio plotas,  $E$  – tamprumo modulis,  $\ell_0$  – pradinis ilgis,  $\Delta \ell$  – absoliutinis pailgėjimas.

Skysčio pakilimo aukštis  $h$  kapiliare yra tiesiog proporcingas paviršiaus įtempimo koeficientui  $\sigma$  ir atvirkščiai proporcingas kapiliaro spinduliui  $r$  bei skysčio tankiui  $\rho$ :

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}.$$

Idealiųjų vienatomių dujų vidinė energija apskaičiuojama pagal formulę:

$$U = \frac{3m}{2M} RT.$$

Esant pastoviam tūriui vidinės energijos pokytis:

$$\Delta U = C_v \frac{m}{M} \Delta T;$$

čia  $C_v$  – molinė šiluma.

Vidinę kūnų energiją galima pakeisti dviem iš esmės skirtingais būdais: atliekant mechaninį darbą ir šilumos apykaitos būdu.

**I termodinamikos dėsnis:**

$$\Delta U = A' + Q$$

arba

$$Q = \Delta U + A;$$

čia  $A'$  – išorinių jėgų darbas,  $A$  – sistemos atliktas darbas,  $\Delta U$  – vidinės energijos pokytis,  $Q$  – sistemai suteiktas šilumos kiekis.

Jei sistema neatlieka darbo, tai jai suteiktas šilumos kiekis sunaudojamas jos vidinei energijai pakeisti:

$$Q = cm(t_2 - t_1) = \Delta U,$$

$$\Delta U = C \Delta T;$$

čia  $c$  – savitoji šiluma,  $m$  – kūno masė,  $t_2$  ir  $t_1$  – galinė ir pradinė temperatūros.

**Kūno šilumine talpa**  $C$  vadiname jo masės ir savitosios šilumos sandaugą:

$$C = c m.$$

Norint  $m$  masės skystį išgarinti jo virimo temperatūroje, reikia šilumos kiekio:

$$Q = r m;$$

čia  $r$  – savitoji garavimo šiluma.

Norint išlydyti  $m$  masės kristalinį kūną jo lydymosi temperatūroje, reikia šilumos kiekio:

$$Q = \lambda m;$$

čia  $\lambda$  – savitoji lydymosi šiluma.

Sudegant  $m$  masės kurui išsiskiria šilumos kiekis:

$$Q = qm;$$

čia  $q$  – kuro degimo šiluma.

**Šilumos balanso lygtis:** visas vienų kūnų atiduotas šilumos kiekis yra lygus visam kitų kūnų gautam šilumos kiekiui:

$$\sum Q_{atid} = \sum Q_{gaut}$$

arba

$$Q_1 + Q_2 + \dots = Q_3 + Q_4 + \dots$$

Įvairiems idealiųjų dujų procesams I termodinamikos dėsnis užrašomas šitaip:

izoterminiam  $Q = A$ ;

izobariniam  $Q = \Delta U + A$ ;

izochoriniam  $Q = \Delta U$ ;

adiabatiniam  $Q = 0, A = -\Delta U$ .

Darbas termodinamikoje apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A = p \Delta V,$$

čia  $p$  – dujų slėgis,  $\Delta V$  – tūrio pokytis.

Realaus šiluminio variklio naudingumo koeficientas randamas pagal formulę:

$$\eta = \frac{Q_n}{Q_v} \cdot 100\%,$$

$$Q_n = Q_1 - Q_2 = A,$$

$$Q_v = Q_1;$$

čia  $Q_n$  – naudingas šilumos kiekis,  $Q_1$  – iš šildytuvo gautas šilumos kiekis,  $Q_2$  – aušintuvui atiduotas šilumos kiekis,  $Q_v$  – visas šilumos kiekis, kuris išsiskiria degant kurui.

Idealaus šiluminio variklio naudingumo koeficientas randamas pagal formulę:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%;$$

čia  $T_1$  – šildytuvo temperatūra,  $T_2$  – aušintuvo temperatūra.

Santykinė oro drėgmė (drėgnis):

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% \text{ arba } \varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%;$$

čia  $p$  – ore esančių vandens garų dalinis slėgis,  $p_0$  – oro temperatūros sočiųjų vandens garų slėgis,  $\rho$  – ore esančių vandens garų dalinis tankis,  $\rho_0$  – oro temperatūros sočiųjų vandens garų tankis.

## ***Uždavinių sprendimų pavyzdžiai***

### **1 pavyzdys**

Kuriomis kryptimis uždaramame inde slėgia dujos?

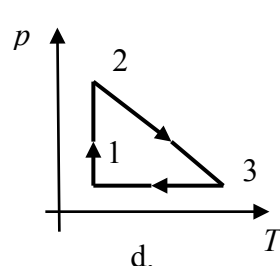
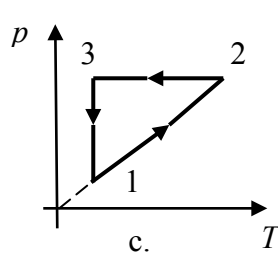
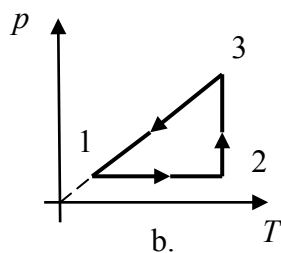
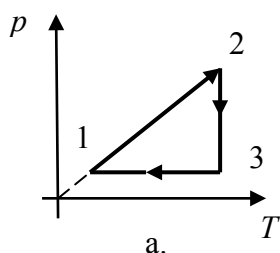
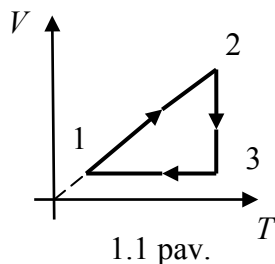
1. Į indo šonines sienes;
2. Į indo dugną;
3. Į indo šonus ir dugną;
4. Visomis kryptimis.

Prisiminkime Paskalio dėsnį, kad dujų ir skysčių slėgis visomis kryptimis perduodamas vienodai, todėl pasirenkame 4 variantą: visomis kryptimis.

**Atsakymas:** 4.

## 2 pavyzdys

Nubrėžtas idealiųjų dujų būsenos kitimo koordinatėse  $V - T$  grafikas (1.1 pav.). Kuris grafikas a, b, c, d atitinka šiuos procesus koordinatėse  $p - T$ ?



Remdamiesi Klapeirono lygtimi

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2},$$

pirmiausia išsiaiškiname, kokie procesai 1.1 pav. pavaizduoti ašyse  $V - T$ :

- 1 – 2 izobarinis procesas (grafikas izobarė).  $p = \text{const}$  (slėgis pastovus). Kintant tūriui kinta ir temperatūra.  $V/T = \text{const}$ . Temperatūrai didėjant didėja ir tūris.
- 2 – 3 izoterminis procesas (grafikas izotermė).  $T = \text{const}$  (temperatūra pastovi). Kintant slėgiui kinta tūris  $pV = \text{const}$ . Tūris mažėja, slėgis didėja.
- 3 – 1 izochorinis procesas (grafikas izochorė).  $V = \text{const}$  (pastovus tūris). Kintant temperatūrai kinta slėgis.  $p/T = \text{const}$ . Temperatūra mažėja, mažėja ir slėgis.

Randame tuos pačius kitimus pavaizduotuose grafikuose.

b grafike:

1 – 2 izobarinis procesas. Temperatūra didėja kaip ir grafike  $V - T$ .

2 – 3 izoterminis procesas. Temperatūra pastovi, slėgis didėja.

3 – 1 izochorinis procesas. Tūris pastovus. Temperatūra mažėja, mažėja ir slėgis. Pasirenkame variantą b.

**Atsakymas:** b.

## 3 pavyzdys

Remdamiesi 1-oje lentelėje pateiktais psichrometro termometrų rodmenimis nustatykite, kaip kito santykinė oro drėgmė daržovių saugykloje.



1 lentelė

Savaitės dienos	Termometrų rodmenys (°C)	
	Sauso	Drėgno
Pirmadienis	20	18
Antradienis	20	17
Trečiadienis	20	16

1. Mažėjo;
2. Nekito;
3. Didėjo;
4. Be psichrometrinės lentelės neįmanoma atsakyti!

Nemaža dalis mokinių nesupranta, kaip vandens garavimo intensyvumas priklauso nuo aplinkos sąlygų – kuo didesnė aplinkos drėgmė, tuo lėčiau garuoja vanduo, tuo mažiau reikia energijos, tuo mažesnis termometrų rodmenų skirtumas. Arba atsakinėjama neįsigilinus į esmę – didesnis rodmenų skirtumas reiškia, kad garuoja intensyviau, tai ir drėgmė turi didėti, bet neatsižvelgta, kad nuo drėgnojo termometro išgaruojantis į aplinką vanduo aplinkos drėgmės praktiškai nepakeičia!

**Atsakymas:** 1.

#### 4 pavyzdys

Oro burbuliuko, kuris yra prie ežero dugno, tūris padidėja 3 kartus, kai jis pakyla į vandens paviršių. Temperatūra prie dugno yra 7 °C, o vandens paviršiuje 17 °C. Atmosferos slėgis yra  $1 \cdot 10^5$  Pa, vandens tankis  $1000 \text{ kg/m}^3$ , laisvojo kritimo pagreitis  $10 \text{ m/s}^2$ .

- 4.1. Išreikškite kelvinais temperatūrą prie ežero dugno.
- 4.2. Kodėl oro burbuliukas kyla į paviršių?
- 4.3. Kiek kartų oro slėgis burbuliuke prie ežero dugno didesnis negu paviršiuje?
- 4.4. Kokio gylio ežeras?
- 4.5. Ar oro burbuliuke yra vandens garų? (!)
- 4.6. Ką vadiname sočiaisiais garais?

4.1. Čia pakanka prisiminti (ar egzamino metu žvilgtelėti į pateiktą formulyną) ryšį:

$$T = (273 + t).$$

Tad

$$T = (273 + 7) \text{ K} = 280 \text{ K}.$$

**Atsakymas:** 280 K.

4.2. **Atsakymas:** oro burbuliukas kyla dėl to, kad jį veikianti Archimedo jėga yra didesnė už jo sunkio jėgą (sunki).

4.3. Naudojame Klapeirono lygtį:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2},$$

iš kur išreiškiame ieškomą santykį:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2 T_1}{V_1 T_2}.$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{3 \cdot 280}{290} \approx 2,9.$$

**Atsakymas:** oro slėgis burbuliuke prie ežero dugno apie 2,9 karto didesnis nei paviršiuje.

**4.4.** Oro slėgis paviršiuje lygus atmosferos slėgiui:

$$p_2 = p_{\text{atm}}.$$

Oro slėgis burbuliuke prie dugno:

$$p_1 = p_2 + \rho g h = p_{\text{atm}} + \rho g h.$$

Jau įrodėme, kad

$$p_1 = 2,9 p_2,$$

tad, „susitvarkę“ su pateiktomis lygtimis, turime:

$$h = \frac{1,9 p_2}{\rho g},$$

$$h = 19 \text{ m}.$$

**Atsakymas:**  $h = 19 \text{ m}$ .

**4.5. Atsakymas:** oro burbuliuke tikrai yra vandens garų!

**4.6. Atsakymas:** garai, esantys dinaminėje pusiausvyroje su skysčiu, vadinami sočiaisiais garais.

## 5 pavyzdys

Uždaram inde yra 10 g ozono. Avogadro skaičius  $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , Bolcmano konstanta  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ .

- 5.1.** Apskaičiuokite ozono dujų molio masę.
- 5.2.** Kiek ozono molekulių yra inde?
- 5.3.** Koks ozono slėgis inde, jei temperatūra  $20^\circ \text{C}$ , jo molekulių koncentracija  $1,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ ?
- 5.4.** Kur daugiausia aptinkama ozono? Kas jį naikina?
- 5.5.** Apskaičiuokite ozono molekulės masę.
- 5.6.** Nustatykite indo, kuriame laikomas ozonas, tūrį.

**5.1.** Deguonies dujų molio masė lygi

$$M_0 = 16 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}.$$

Kadangi ozono molekulę sudaro trys deguonies atomai ( $\text{O}_3$ ), tai jo molio masė

$$M_{\text{O}_3} = 3 \cdot 16 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol} = 48 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}.$$

**Atsakymas:**  $M_{\text{O}_3} = 48 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$ .

**5.2.** Molekulių skaičių inde randame pagal formulę

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

$$N = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}}{48 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = \frac{60 \cdot 10^{23}}{48} = 1,25 \cdot 10^{23}.$$

**Atsakymas:**  $N = 1,25 \cdot 10^{23}$ .

### 5.3. Slėgis

$$p = nkT.$$

Absoliutinę ir Celsijaus temperatūras sieja ryšys

$$T = t + 273,$$

$$T = 293 \text{ K}.$$

$$p = 1,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 293 \text{ K} = 60651 \text{ Pa}.$$

**Atsakymas:**  $p \approx 60,65 \text{ kPa}$ .

**5.4.** Daugiausia ozono molekulių aptinkama viršutiniuose atmosferos sluoksniuose. Ozono labai daug sudeginama raketų paleidimo metu (kosminiai skrydžiai), daug sunaikina aerozoliai.

**5.5.** Molekulės masę galima rasti žinant formulę

$$M = m_0 N_A.$$

$$m_0 = \frac{M}{N_A},$$

$$m_0 = \frac{48 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 8 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

**Atsakymas:**  $m_0 = 8 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ .

**5.6.** Žinome, kad molekulių koncentracija – tai molekulių skaičius tūrio vienetu

$$n = \frac{N}{V}.$$

Iš čia

$$V = \frac{N}{n},$$

$$V = \frac{125 \cdot 10^{21}}{1,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}} = 8,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

**Atsakymas:**  $V = 8,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ .

## 6 pavyzdys

10 g masės anglirūgštės dujos įkaitinamos palaikant pastovų slėgį nuo 20 °C iki 30 °C. Raskite dujų plėtimosi darbą ir jų vidinės energijos pokytį. Šių dujų molio masė 0,044 kg/mol,  $R = 8,31 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ , savitoji šiluma  $c = 830 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ .

$A$	$m = 0,01 \text{ kg}$
$\Delta U$	$T_1 = 293 \text{ K}$
	$T_2 = 303 \text{ K}$
	$M = 0,044 \text{ kg/mol}$
	$R = 8,31 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$
	$c = 830 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
	$p = \text{const}$

Angliarūgštės dujų vidinės energijos pokytį, kol jos išyla nuo  $T_1$  iki  $T_2$ , randame:

$$\Delta U = cm(T_2 - T_1);$$

$$\Delta U = 830 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)} \cdot 0,01 \text{ kg} (303 \text{ K} - 293 \text{ K}) = 83 \text{ J}.$$

Pagal uždavinio sąlygą angliarūgštės dujų slėgis  $p = \text{const}$ . Todėl dujų plėtimosi darbas:

$$A = p(V_2 - V_1). \quad (1)$$

Iš Mendelejevo ir Klapeirono lygties

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

išreiškiame dujų tūrį:

$$V = \frac{mRT}{Mp}.$$

Taigi šių dujų tūris temperatūrose  $T_1$  ir  $T_2$  lygus:

$$V_1 = \frac{mRT_1}{Mp} \quad \text{ir} \quad V_2 = \frac{mRT_2}{Mp}.$$

(2)

(2) išraiškas įrašome į (1):

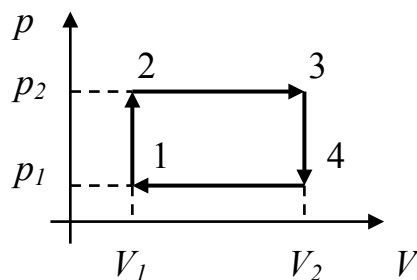
$$A = p \left( \frac{mRT_2}{Mp} - \frac{mRT_1}{Mp} \right) = \frac{mR}{M} (T_2 - T_1)$$

$$A = \frac{10^{-2} \text{ kg} \cdot 8,31 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}}{0,044 \text{ kg/mol}} \cdot (303 \text{ K} - 293 \text{ K}) \approx 18,9 \text{ J}.$$

**Atsakymas:**  $\Delta U = 83 \text{ J}$ ,  $A \approx 18,9 \text{ J}$ .

## 7 pavyzdys

Raskite šiluminės mašinos darbą per vieną ciklą, pavaizduotą 1.2 paveiksle.



1.2 pav.

Dujų plėtimosi darbas grafiškai vaizduojamas figūros, kurią riboja grafikas  $p = p(V)$  (pradinio ir galinio grafiko taškų koordinatės), plotu. Grafiko ruožuose 1 – 2 ir 3 – 4 darbas lygus nuliui, nes tuose ruožuose dujų tūris nekinta ( $A = p\Delta V$ ). Mašinos darbas per vieną ciklą grafiškai vaizduojamas stačiakampių  $V_123V_2$  ir  $V_14V_2$  plotų skirtumu, t. y. stačiakampio 1234 plotu. Kaip matome brėžinyje, tas plotas

$$A = p_2 (V_2 - V_1) - p_1 (V_2 - V_1) = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1).$$

**Atsakymas:**  $A = (p_2 - p_1)(V_2 - V_1)$ .

## 8 pavyzdys

Šiluminės mašinos šildymo temperatūra  $227\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o aušintuvo temperatūra  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Apskaičiuokite didžiausią šios mašinos naudingumo koeficientą. Kokia ir kodėl tai galėtų būti šiluminė mašina?

$\eta_{\max}$	$T_1 = 500\text{ K}$ $T_2 = 300\text{ K}$
---------------	--

Šiluminės mašinos didžiausias naudingumo koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1};$$

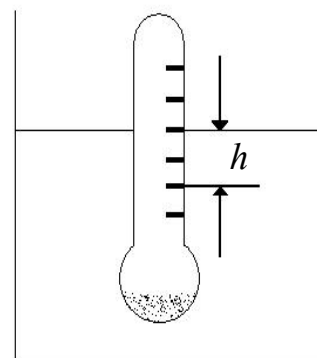
$$\eta_{\max} = \frac{500\text{ K} - 300\text{ K}}{500\text{ K}} = 0,4.$$

Veikiausiai, tai galėtų būti garo turbina, nes jų naudingumo koeficientai retai tesiekia 40 %, o kitų gali priartėti netgi prie 55 %.

**Atsakymas:**  $\eta_{\max} = 0,4$ . Garo turbina.

## I TURO UŽDUOTYS

1. Du vienodi kūnai, kurių šiluminės talpos po  $10 \text{ J/K}$ , o kinetinės energijos po  $100 \text{ J}$ , juda priešpriešiais ir plastiškai susiduria. Kiek laipsnių jie išyla, jei aplinkai atiduoda 20% šilumos?
2. Kalorimetre yra  $m_1 = 1 \text{ kg}$  ledo ir  $m_2 = 0,5 \text{ kg}$  kietosios medžiagos. Pradinė temperatūra  $t_0 = -40^\circ \text{C}$ . Kalorimetras pradėdamas šildyti pastovios  $P = 29 \text{ W}$  galios šildytuvu. Ledo savitoji šiluma  $c_1 = 2,1 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ \text{C)}$ , ledo savitoji lydymosi šiluma  $\lambda_1 = 3,3 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ , kietosios medžiagos lydymosi temperatūra  $t_1 = -20^\circ \text{C}$ , savitoji šiluma  $c_2 = 10^3 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ \text{C)}$ , savitoji lydymosi šiluma  $\lambda_2 = 1,7 \cdot 10^5 \text{ J/kg}$ , šios medžiagos skystame būvyje savitoji šiluma  $c_2^1 = 2,7 \cdot 10^3 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ \text{C)}$ . Nubraižykite temperatūros priklausomybės nuo laiko grafiką (nuo 0 iki 200 min). Šilumos nuostolių ir kalorimetro šiluminės talpos nepaisykite.
3. Iššauta stačiai į viršų švininė kulka pakilo į  $1200 \text{ m}$  aukštį. Nukritusi ir atsimušusi į žemę ji įkrito. Kiek laipsnių pakilo kulkos temperatūra, jeigu vidinė jos energija virto 50 procentų visos smūgio energijos? Švino savitoji šiluma lygi  $130 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ \text{C)}$ .
4.  $10 \text{ g}$  masės anglirūgštės dujos įkaitinamos palaikant pastovų slėgį nuo  $20^\circ \text{C}$  iki  $30^\circ \text{C}$ . Raskite dujų plėtimosi darbą ir jų vidinės energijos pokytį. Šių dujų molio masė  $0,044 \text{ kg/mol}$ ,  $R = 8,32 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$ .
5. Vanduo normaliomis sąlygomis verda  $100^\circ \text{C}$  temperatūroje. Tarkime, kad vandenį sumanėme užvirinti  $10 \text{ m}$  gylio (ne aukščiau!) puode. Ar jis pradės virti  $100^\circ \text{C}$  temperatūroje? Atsakymą pagrįskite.
6. Nereaguojančių dujų mišinys sudarytas iš  $m_1 = 20 \text{ g}$  azoto ir  $m_2 = 30 \text{ g}$  dar vienos rūšies dujų. Mišinio molio masė  $M = 0,036 \text{ kg/mol}$ . Nustatykite, kokios dar dujos yra mišinyje.
7. Apskaičiuokite oro molio masę remdamiesi prielaida, kad tam tikroje oro masėje esančio azoto masė yra tris kartus didesnė negu deguonies.
8. Vandens temperatūra padidėjo vienu kelvinu. Apskaičiuokite vandens vidinės energijos padidėjimą, tenkantį vienai molekulei.
9. Nubrėžkite dujų tankio kitimo grafikus:
  - a) izobarinio proceso atveju  $\rho = \rho(T)$ ;
  - b) izoterminio proceso atveju  $\rho = \rho(p)$ .
10. Areometras, plaukiojantis sieros rūgštyje, rodo, kad skysčio tankis  $\rho_1 = 1,27 \text{ g/cm}^3$ . Nežymiai pastumtas stačiai gilyn, areometras ima svyruoti periodu  $T_1 = 1 \text{ s}$ . Koks būtų jo svyravimų periodas žibale, kurio tankis  $\rho_2 = 0,8 \text{ g/cm}^3$ ?

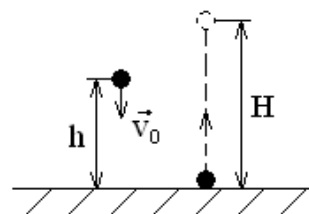


11.  $D = 2$  cm skersmens plieninis strypas spaudžiamas  $F = 314000$  N jėga. Jungo modulis  $2 \cdot 10^{11}$  Pa. Kokia santykinė strypo deformacija  $\varepsilon$ ?

12. Kokiu būdu efektyviau padidinamas idealiosios šiluminės mašinos naudingumo koeficientas – padidinant šildytuvo temperatūrą ar tiek pat pamažinant šaldytuvo temperatūrą?

13. Idealiosiomis dujomis užpildomi du uždari, sujungti trumpu vamzdeliu indai, kurių tūriai 6 l ir 8 l. Pradžioje sistemos temperatūra buvo  $20^\circ\text{C}$ , o dujų slėgis –  $140000$  Pa. Po to pirmasis indas, neatjungtas nuo antrojo, perkeliamas į terpę, kurios temperatūra  $27^\circ\text{C}$ , o antrasis į terpę, kurios temperatūra  $47^\circ\text{C}$ . Koks dujų slėgis nusistovės inde? Reliatyvistinio masės pokyčio dėl greičio pokyčio nepaisyti.

14. Kokiu pradiniu greičiu  $v_0$  reikia vertikaliai žemyn mesti kamuolį (išmetimo aukštis  $h = 1$  m), kad jis po idealiai tampraus smūgio į žemę pakiltų į  $H = 1,5$  m aukštį? Pasipriešinimo nepaisyti.



15.  $100^\circ\text{C}$  temperatūroje dujų molekulių vidutinis kvadratinis greitis  $540$  m/s. Kam lygi molekulės masė?

- A.  $5,3 \cdot 10^{-26}$  kg;
- B.  $2,6 \cdot 10^{-26}$  kg;
- C.  $10,6 \cdot 10^{-26}$  kg;
- D.  $5,7 \cdot 10^{-27}$  kg.

16. Uždarame inde yra  $10$  g ozono. Avogadro skaičius  $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , Bolemano konstanta  $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ .

1. Apskaičiuokite ozono molekulės molio masę.
2. Kiek ozono molekulių yra inde?
3. Koks ozono slėgis inde, jei temperatūra  $20^\circ\text{C}$ , o jų molekulių koncentracija  $1,5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$ ?
4. Kur daugiausia aptinkama ozono? Kas jį naikina?
5. Apskaičiuokite ozono molekulės masę.
6. Nustatykite indo, kuriame laikomas ozonas, tūrį.

17. Dviejuose induose, kurių tūriai  $V_1 = 2$  l ir  $V_2 = 4$  l, yra oro. Slėgis pirmame inde  $p_1 = 4 \cdot 10^5$  Pa, antrame  $p_2 = 2 \cdot 10^5$  Pa. Koks nusistovės slėgis sujungus indus, kai temperatūra abiejuose induose vienoda?

18. Balione yra dujų, kurių temperatūra  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ . Kiek kartų  $n$  sumažės dujų slėgis, jei  $40\%$  dujų išleisime iš baliono, o temperatūra sumažės iki  $t_2 = 7^\circ\text{C}$ ?

19. Izotermiškai išsiplėtusių dujų tūris padidėja  $\Delta V_1 = 1$  l, o slėgis sumažėja  $20\%$ . Kiek procentų sumažėtų slėgis, tūriui padidėjus  $\Delta V_2 = 2$  l?

20. Kodėl nenukrinta debesys?

---

**II turo metodinius nurodymus ir užduotis gausite su I turo sprendimų įvertinimu.**

Lietuvos fizikų draugija  
Šiaulių universiteto  
Jaunųjų fizikų mokykla „FOTONAS“

**Loreta Ragulienė**  
**II kurso I turo užduotys ir metodiniai nurodymai**  
**2013–2014 mokslo metai**

Rinko ir maketavo Diana Leskovienė