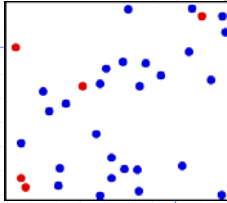


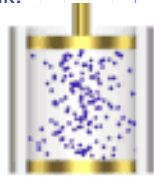
Molekularna fizika i termodinamika

Molekularna fizika proučava strukturu i svojstva supstanci polazeći od molekularno - kinetičke teorije:

supstance su sastavljene od vrlo malih čestica (molekula, atoma i jona) koji se nalaze u stalnom haotičnom kretanju.



Termodinamika proučava uslove transformacije energije u makroskopskim sistemima iz jednog u drugi oblik.



Molekularna fizika i termodinamika

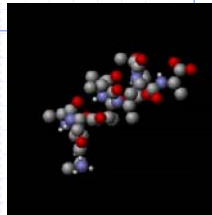
- ◆ Toplota i temperatura. Specifični toplotni kapacitet (AP149-157)
- ◆ Širenje čvrstih i tečnih tela pri zagrevanju (AP157-162)
- ◆ Gasni zakoni (AP165-169)
- ◆ Jednačina stanja idealnog gasa (AP169-171)
- ◆ Zakoni termodinamike (AP172-174)
- ◆ Adijabatski proces idealnog gasa (AP174-176)
- ◆ Rad gasa pri promeni stanja gasa (AP176-177)
- ◆ Rad kod gasnih izoprocesa (AP177-181)
- ◆ Karnoov kružni proces (AP181-186)

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Toplota i temperatura.

- Sva tela su sastavljena od čestica koja se neprekidno kreću.

- Kretanje se naziva toplotno kretanje.
- Čestice poseduju toplotnu energiju.
- Osećaj toplog i hladnog zavisi od kinetičke energije čestica tela sa kojim se dolazi u dodir.



- Dva tela, toplije i hladnije, u kontaktu:

- Čestice sa većom kinetičkom energijom pri sudaru predaju deo energije česticama sa manjom energijom.
- To telo koje predaje toplotu kaže se da je toplije, a telo koje prima toplotu kaže se da je hladnije.
- Prelaz traje dok se ne uspostavi termička ravnoteža - kinetička energija molekula oba tela je ista.

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Toplota i temperatura.

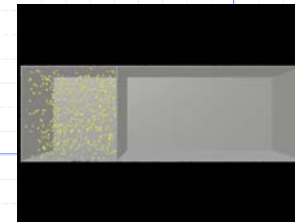
- Stepem zagrejanosti nekog tela određuje se temperaturom.
- Temperatura kao fizička veličina je mera srednje kinetičke energije čestica i predstavlja osobinu makroskopske materije sastavljene od većeg broja čestica.
- Temperatura je proporcionalna srednjoj kinetičkoj energiji čestica tela.

$$\overline{E_k} = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

- k - Bolcmanova konstanta,

$$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

- T - apsolutna temperatura.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Toplota i temperatura.

- Kinetička energija uvek pozitivna veličina:

- apsolutna temperatura uvek pozitivna veličina.

- Na apsolutnoj nuli nema toplotnog kretanja.

- Tri temperaturne skale:

- Kelvinova,
- Celzijusova,
- Farenhajtova.

373.15 K	100°C	212°F
Temperatura ključanja vode		
$T_K = T_C + 273.15$	$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32)$	$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$
Temperatura mžnjenja vode		
273.15 K	0°C	32°F

$$T [^{\circ}K] = t [^{\circ}C] + 273.15$$

$$T [^{\circ}F] = \frac{9}{5}t [^{\circ}C] + 32$$



$$\overline{E_k} = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Merenje temperature.

- Merenje temperature pomoću ljudskog čula dodira nije pouzdan metod.

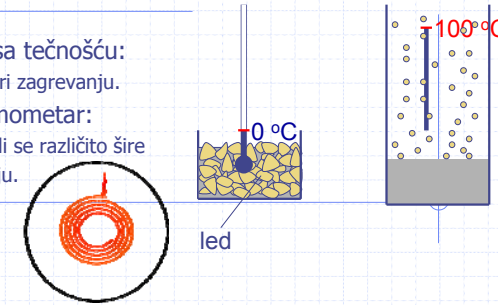
- Koriste se uređaji za merenje temperature tzv. termometri koji koriste zavisnost neke fizičke osobine tela od temperature.

- Termometar sa tečnošću:

- tela se šire pri zagrevanju.

- Bimetalni termometar:

- različiti metali se različito šire pri zagrevanju.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Merenje temperature.

- Gasni termometar:

- najprecizniji i najosetljiviji ali ne najpraktičniji merač temperature;
- obično se koristi za baždarenje drugih termometara;
- princip rada je zasnovan na osobinama širenja gasova pri zagrevanju uz održanje stalne zapremine.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Toplota i specifični toplotni kapacitet.

- Pri kontaktu dva tela različitih temperatura dolazi do razmene toplote do uspostavljanja termičke ravnoteže.
- U toplotnom kontaktu dolazi do promena temperatura tela odnosno do promena unutrašnje energije.
- Količina toplote predstavlja onaj deo unutrašnje energije tela koje ono razmeni u kontaktu sa drugim telom.
- Toplota je vid energije pa je jedinica za količinu toplote džul [J].



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Toplota i specifični toplotni kapacitet.

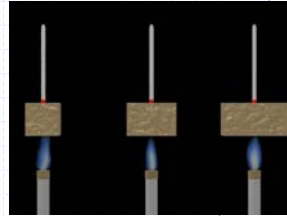
- Dodavanjem ili oduzimanjem toplote telu se menja temperatura a promena zavisi od:

- količine toplote predate telu,
- mase tela i
- prirode tela.

- Količina toplote:

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t$$

- c - specifični toplotni kapacitet ili specifična toplota:
- brojno je jednak količini toplote koju treba dovesti jedinici mase nekog tela, da bi se temperatura tela povisila za jedan stepen,



Molekularna fizika i termodinamika

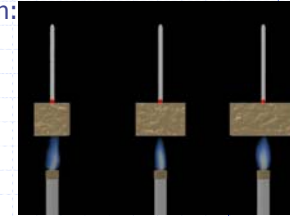
◆ Toplota i toplotni kapacitet.

- Toplotni kapacitet tela predstavlja količinu toplote potrebnu da se telo zagreje za jedan stepen:

$$C_k = \frac{dQ}{dt} = cm$$

- Zavisi od:

- vrste materijala tela,
- mase tela,
- temperature tela.

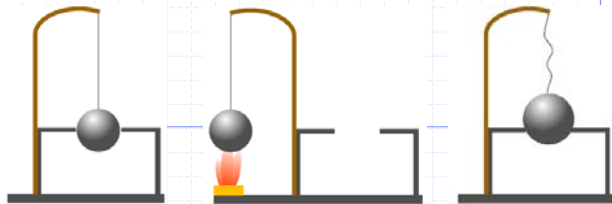


Molekularna fizika i termodinamika

◆ Širenje čvrstih tela pri zagrevanju.

- Povećanjem temperature većina tela se širi u svim pravcima, odnosno menja se zapremina tela.

- linearno,
- površinsko,
- zapreminsko.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Širenje čvrstih tela pri zagrevanju.

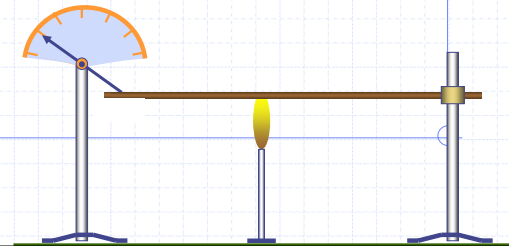
- Linearno širenje tela:

- l_0 - dužina štapa na temperaturi t_0 .
- l - dužina štapa na temperaturi t ,
- Δl - promena dužine štapa,
- Δt - promena temperature,
- α - termički koeficijent linearnog širenja.

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t$$

$$l = l_0 + \alpha l_0 \Delta t$$

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0} \Delta t$$



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Širenje čvrstih tela pri zagrevanju.

- Površinsko širenje tela se razmatra kod tela zanemarljive debljine u dva pravca.
- Pravougaona ploča ivica a_0 i b_0 zagrevanjem se širi u pravcu ivica:

$$a = a_0(1 + \alpha\Delta t) \quad b = b_0(1 + \alpha\Delta t)$$

- Površina ploče nakon širenja:

$$S = a \cdot b = a_0 b_0 (1 + \alpha\Delta t)^2 = S_0 (1 + 2\alpha\Delta t + \alpha^2 \Delta t^2)$$

- Koeficijent linearnog širenja je mali pa je:

$$S = S_0 (1 + \beta\Delta t) \quad \beta = 2\alpha$$

- β - koeficijent površinskog širenja, dvostruko veći od koeficijenta linearnog širenja.

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Širenje čvrstih tela pri zagrevanju.

- Slično, za zapreminsko širenje:

$$V = V_0(1 + \gamma\Delta t) \quad \gamma = 3\alpha$$

- γ - koeficijent zapreminskog širenja, trostruka vrednost linernog koeficijenta.

- Jednačine za površinsko i zapreminsko širenje važe za tela bilo kojeg oblika.
- Promena gustine sa temperaturom:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \gamma\Delta t} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Širenje tečnih tela pri zagrevanju.

- Tečnosti zauzimaju oblik suda u kome se nalaze.
- Zapremnsko širenje po zakonu:

$$V = V_0(1 + \gamma\Delta t)$$

- Tečnosti se nalaze u sudovima koji se pri zagrevanju takođe šire:

- važna je razlika koeficijenata zapreminskog širenja tečnosti i materijala suda:

- $\gamma_t > \gamma_s$ nivo tečnosti u kapilari se penje,
- $\gamma_t < \gamma_s$ nivo tečnosti u kapilari se spušta,
- $\gamma_t = \gamma_s$ nivo tečnosti u kapilari miruje.



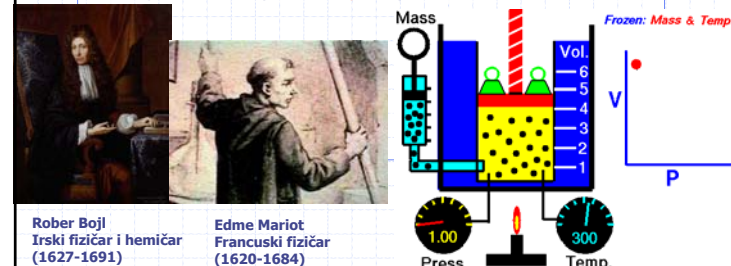
$$V_t - V_s = V_0(\gamma_t - \gamma_s)\Delta t$$

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Gasni zakoni.

- Izotermički proces. Bojl-Mariotov zakon.

- Gas mase m i konstantne temperature zatvoren u cilindru sa pokretnim klipom;
- Početno stanje određeno pritiskom p_0 i zapreminom V_0 ;
- Sabijanjem ili širenjem gasa (da se ne bi zagreao) prelazi u novo stanje određeno pritiskom p i zapreminom V ;



Robert Bojl
Irski fizičar i hemičar
(1627-1691)

Edme Mariot
Francuski fizičar
(1620-1684)

Molekularna fizika i termodinamika

Gasni zakoni.

Izotermički proces. Bojl-Mariotov zakon.

- Pri konstantnoj temperaturi zapremina date količine gasa obrnuto je proporcionalna pritisku.
- Proizvod pritiska i zapremine određene količine gasa pri stalnoj temperaturi je konstantan.
- Promena stanja gasa pri stalnoj temperaturi naziva se izotermički proces.
- Svakoj temperaturi odgovara određena hiperbola - izoterma.

$$p_0 V_0 = pV = \text{const}$$



Molekularna fizika i termodinamika

Gasni zakoni.

Izobarski proces. Gej-Lisakov zakon.

- Promena stanja gasa pri stalnom pritisku naziva se izobarski proces.
- Proces promene stanja određene mase idealnog gasa pri stalnom pritisku eksperimentalno je ustanovio Gej-Lisak 1802. godine.
- Zapremina određene mase gasa pri stalnom pritisku linearano se menja sa temperaturom.

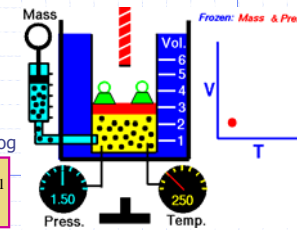
$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

- V_0 - zapremina na 0°C ,
- V - zapremina na $t^\circ\text{C}$,
- α - termički koeficijent zapreminskog širenja gasa:

$$\alpha = \frac{1}{273.15} \text{K}^{-1}$$



Gej Lisak
Francuski fizičar i hemičar
(1778-1850)

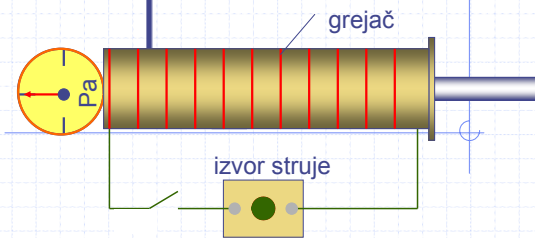
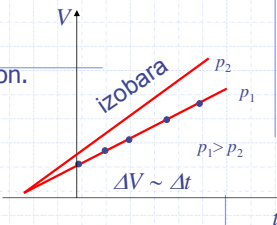


Molekularna fizika i termodinamika

Gasni zakoni.

Izobarski proces. Gej-Lisakov zakon.

- Zavisnost promene zapremine sa temperaturom određena je pravim linijama - izobarama.



Molekularna fizika i termodinamika

Gasni zakoni.

Izohorski proces. Šarlov zakon.

- Promena stanja gasa pri stalnoj zapremini naziva se izohorski proces.
- Proces promene stanja određene mase idealnog gasa pri stalnoj zapremini eksperimentalno je ustanovio Gej-Lisak 1802. godine na osnovu nepublikovanih radova Šarla iz 1780. godine.
- Pritisak određene mase gasa pri stalnoj zapremini linearano se menja sa temperaturom.

$$p = p_0(1 + \gamma t)$$

- p_0 - pritisak na 0°C ,
- p - pritisak na $t^\circ\text{C}$,
- γ - termički koeficijent pritiska pri stalnoj zapremini:

$$\gamma = \alpha = \frac{1}{273.15} \text{K}^{-1}$$



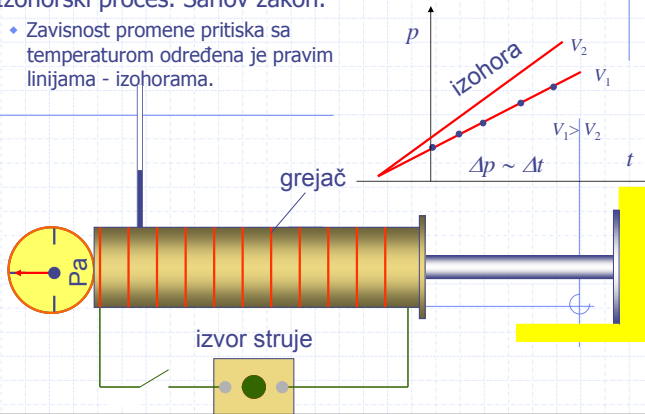
Žak Šarl
Francuski matematičar i naučnik
(1746-1823)

Molekularna fizika i termodinamika

Gasni zakoni.

Izohorski proces. Šarlov zakon.

- Zavisnost promene pritiska sa temperaturom određena je pravim linijama - izohorama.



Molekularna fizika i termodinamika

Gasni zakoni.

Gej-Lisakov i Šarlov zakon u funkciji apsolutne temperature.

$$1 + \alpha t = 1 + \frac{t}{273.15} = \frac{273.15 + t}{273.15} = \frac{T}{T_0} \quad \gamma = \alpha$$

$$V = V_0(1 + \alpha t) = V_0 \frac{T}{T_0}$$

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \text{const}$$

$$p = p_0(1 + \alpha t) = p_0 \frac{T}{T_0}$$

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} = \text{const}$$

Gej-Lisakov zakon:

- Za određenu masu gasa pri stalnom pritisku odnos zapremine i apsolutne temperature je stalan.

Šarlov zakon:

- Za određenu masu gasa pri stalnoj zapremini odnos pritiska i apsolutne temperature je stalan.

Molekularna fizika i termodinamika

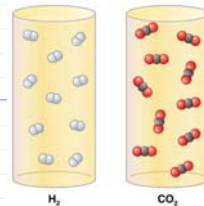
Gasni zakoni.

Avogadrov zakon.

- Jednake zapremine gasova na istoj temperaturi i pri istom pritisku sadrže jednak broj molekula.
- Broj čestica u jednom molu gasa naziva se Avogadrov broj:

$$N_A = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

- 1 mol gasa na standardnoj temperaturi (273 K) i pritisku (1 atm) zauzima 22.4 l zapremine.



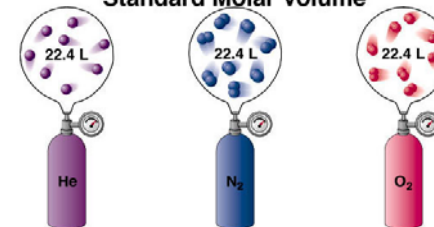
Amedeo Avogadro
Italijanski fizičar
(1776-1856)

Molekularna fizika i termodinamika

Gasni zakoni.

Avogardov zakon.

Standard Molar Volume



$n = 1 \text{ mol}$	$n = 1 \text{ mol}$	$n = 1 \text{ mol}$
$P = 1 \text{ atm (760 torr)}$	$P = 1 \text{ atm (760 torr)}$	$P = 1 \text{ atm (760 torr)}$
$T = 0^\circ\text{C (273 K)}$	$T = 0^\circ\text{C (273 K)}$	$T = 0^\circ\text{C (273 K)}$
$V = 22.4 \text{ L}$	$V = 22.4 \text{ L}$	$V = 22.4 \text{ L}$
Number of gas particles $= 6.022 \times 10^{23}$	Number of gas particles $= 6.022 \times 10^{23}$	Number of gas particles $= 6.022 \times 10^{23}$
Mass = 4.003 g	Mass = 28.02 g	Mass = 32.00 g
$d = 0.179 \text{ g/L}$	$d = 1.25 \text{ g/L}$	$d = 1.43 \text{ g/L}$

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Gasni zakoni.

- Daltonov zakon.
 - Ukupni pritisak smeše gasova jednak je zbiru parcijalnih pritisaka njenih komponenata koje zauzimaju istu zapreminu i nalaze se na istoj temperaturi kao i smeša.

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

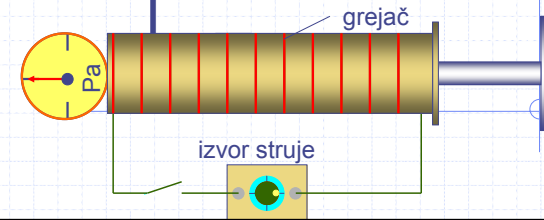


Džon Dalton
Engleski fizičar i hemičar
(1766-1844)

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Jednačina stanja idealnog gasa.

- Stanje nekog gasa određeno je sa četiri parametra:
 - pritisak gasa,
 - zapremina gasa,
 - temperatura gasa,
 - masa gasa.

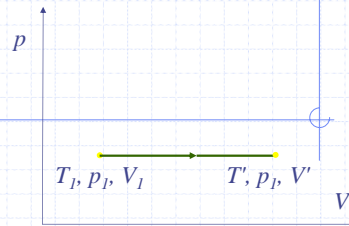


Molekularna fizika i termodinamika

◆ Jednačina stanja idealnog gasa.

- Gasni zakoni razmatraju zavisnost jednog parametra od drugog, kada su ostala dva parametra konstantna.
- Polazeći od gasnih zakona moguće je izvesti jednačinu stanja idealnog gasa koja povezuje sva četiri parametra.
 - Početno stanje: p_1, T_1, V_1 .
 - Izobarnim procesom prelazi u stanje: p_1, T', V' .
 - Gej-Lisakov zakon:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V'}{T'}$$



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Jednačina stanja idealnog gasa.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V'}{T'} \Rightarrow T' = T_1 \frac{V'}{V_1}$$

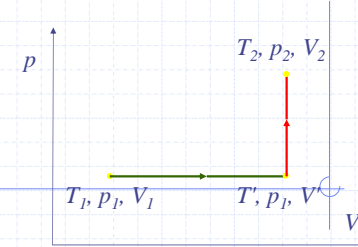
- Izohornim procesom prelazi u stanje: $p_2, T_2, V_2 = V'$.
- Šarlov zakon:

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

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

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

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



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Jednačina stanja idealnog gasa.

- Za 1 mol gasa pri normalnom pritisku i temperaturi konstanta ima vrednost:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{101325 \cdot 22.4 \cdot 10^{-3}}{273.15} = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

- Gornja konstanta se naziva univerzalna gasna konstanta R.

$$pV = RT$$

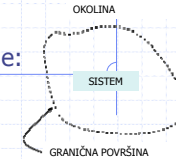
- Za proizvoljnu masu m od n molova proizvod pritiska i zapremine je proporcionalan apsolutnoj temperaturi:

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

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Osnovni pojmovi termodinamike.

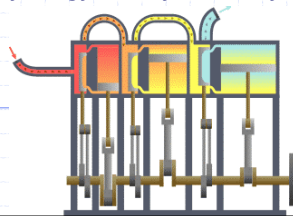
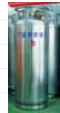
- Termodinamika je deo fizike koja proučava pojave vezane za pretvaranje toplote u druge oblike energije, i obrnuto.
- Pretvaranje energije je vezano za termodinamički sistem.
- Termodinamički sistem je određena količina materije ograničena zatvorenom površinom koja sistem odvađa od okoline.
- Okolinu sistema čine svi sistemi sa kojima termodinamički sistem razmenjuje energiju:
 - ♦ protokom toplote,
 - ♦ vršenjem rada.
- Stanje termodinamičkog sistema određeno je:
 - ♦ temperaturom,
 - ♦ pritiskom,
 - ♦ zapreminom,
 - ♦ gustinom ...



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Osnovni pojmovi termodinamike.

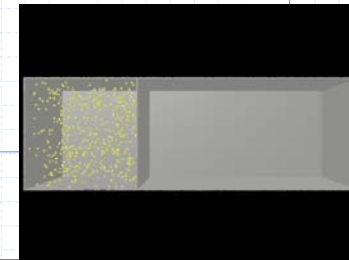
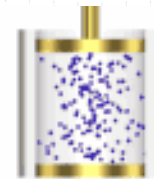
- Termodinamički sistem može biti:
 - ♦ izolovan, npr. izolovani gasni cilindar
 - nema interakcije sa okruženjem (nema razmene toplote i rada), ukupna energija i masa sistema ostaje konstantna;
 - ♦ zatvoren, npr. staklenici
 - razmenjuje energiju sa okruženjem ali ne i materiju;
 - ♦ otvoren, npr. okean
 - razmenjuje energiju i materiju sa okruženjem.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Osnovni pojmovi termodinamike.

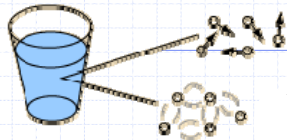
- Termodinamički sistem se nalazi u termodinamičkoj ravnoteži ako sve tačke sistema imaju istu temperaturu.
- Ako se parametri sistema menjaju sistem se nalazi u termodinamičkom procesu:
 - ♦ reverzibilan (povratni) - sistem se zajedno sa okolinom vraća u prvobitno stanje,
 - ♦ ireverzibilan (nepovratni).



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Osnovni pojmovi termodinamike.

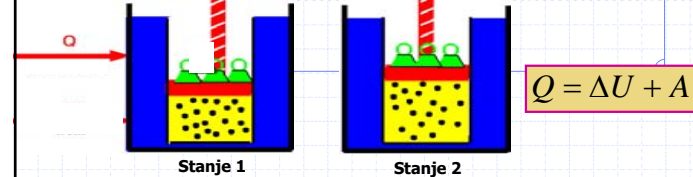
- Unutrašnja energija sistema je zbir:
 - kinetičke energije haotičnog kretanja mikročestica, i
 - potencijalne energije međučestičnog delovanja.
- Unutrašnja energija se može menjati:
 - prenošenjem (razmenom) toplote,
 - radom.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Prvi zakon termodinamike.

- Gas zatvoren u cilindru sa pokretnim klipom:
 - U stanju 1 poseduje unutrašnju energiju U_1 ;
 - Kada se gasu dovede količina toplote Q sistem prelazi u stanje 2 sa unutrašnjom energijom U_2 ;
 - Gas usled širenja vrši rad A protiv dejstva spoljašnjih sila;
- Eksperimentom je pokazano da je:
 - dovedena količina toplote sistemu jednaka je zbiru promene unutrašnje energije sistema i izvršenom radu sistema protiv spoljašnjih sila.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Prvi zakon termodinamike.

$$\Delta U = Q - A$$

- Odražava princip održanja energije:
 - energija može biti transformisana iz jednog u drugi oblik ali ne može biti stvorena niti uništena.
- Povećanje unutrašnje energije sistema jednako je količini energije koja se sistemu dovodi zagrevanjem umanjenoj zbog rada sistema kao reakcije na okolinu.
- Konvencije:
 - rad je pozitivan ako ga vrši sistem, a negativan ako se rad vrši nad sistemom,
 - promena unutrašnje energije je pozitivna ako se energija povećava a negativna ako se energija smanjuje.

Molekularna fizika i termodinamika

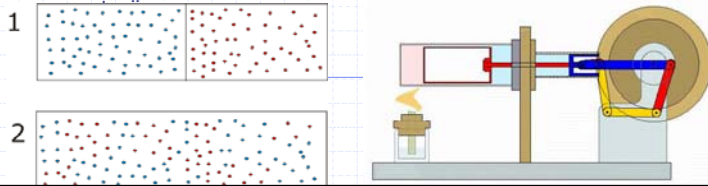
◆ Prvi zakon termodinamike.

- Pri izohornom procesu:
 - zapremina je konstantna,
 - sistem ne vrši rad,
 - sva dovedena toplota se pretvara u unutrašnju energiju.
- Pri izotermnom procesu:
 - temperatura je konstantna,
 - nema povećanja unutrašnje energije,
 - sva dovedena toplota se pretvara u mehanički rad.
- Pri kružnom procesu:
 - početno i krajnje stanje je isto, nema promene unutrašnje energije,
 - toplota koja se dovodi jednaka je radu koji se izvrši,
 - nemoguće je izvršiti rad bez primenjene toplote.
- **Perpetum mobile prve vrste:** ne može se stvoriti energija ni iz čega.

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Drugi zakon termodinamike.

- Definiše uslove pod kojima se iz toplote može dobiti mehanički rad:
 - Toplota nikada ne prelazi spontano sa tela koje ima nižu temperaturu na telo koje ima višu temperaturu, što ne bi bilo u suprotnosti sa I zakonom termodinamike.
 - Nemoguć je perpetum mobile druge vrste: Ne postoji mogućnost pretvaranja celokupne toplote u rad (što ne zabranjuje I zakon). Deo toplote se pretvara u rad a ostatak se predaje okolini.
 - Procesi se odvijaju u smeru od manje verovatnog ka verovatnijim

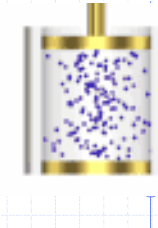


Molekularna fizika i termodinamika

◆ Adijabatski proces idealnog gasa.

- Promena stanja sistema bez razmene toplote naziva se adijabatski proces. Takav proces u prirodi ne postoji.
- Približan proces nastaje pri nagloj promeni zapremine gasa koji je termički izolovan od okoline:
 - menja se temperatura gasa:
 - pri ekspanziji temperatura se smanjuje,
 - pri kompresiji temperatura se povećava.
- Kod adijabatskog procesa:
 - rad se vrši na račun unutrašnje energije.

$$dQ = 0, dA = -\Delta U$$



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Adijabatski proces idealnog gasa.

- Jednačina gasnog stanja adijabatskog procesa (Puasonova jednačina):

$$pV^\gamma = const$$

- γ - Puasonov koeficijent:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

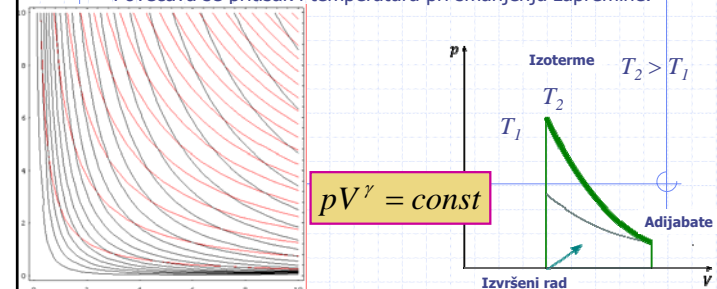
- c_p - specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku,
- c_v - specifični toplotni kapacitet pri stalnoj zapremini.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Adijabatski proces idealnog gasa.

- Adijabatski proces se u p-V dijagramu predstavlja adijabatama - linijama na kojima važi jednačina gasnog stanja adijabatskog procesa.
 - Smanjuje se pritisak i temperatura pri povećanju zapremine,
 - Povećava se pritisak i temperatura pri smanjenju zapremine.



Molekularna fizika i termodinamika

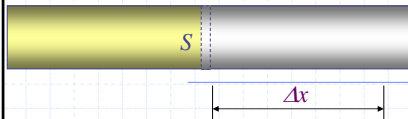
◆ Rad gasa pri promeni njegove zapremine.

- Pri prelasku termodinamičkog sistema iz jednog u drugo stanje sistem vrši rad:
 - Primer: Idealni gas u cilindru sa pokretnim klipom.
 - Dovođenjem toplote sistemu povećava mu se unutrašnja energija.
 - Gas se širi, klip se pomera i sistem vrši rad.
 - Ukoliko je klip fiksiran, dovedena količina toplote se troši na povećanje unutrašnje energije.

$$\Delta A = F\Delta x \quad F = pS$$

$$\Delta A = pS\Delta x \quad S\Delta x = \Delta V$$

$$\Delta A = p\Delta V$$



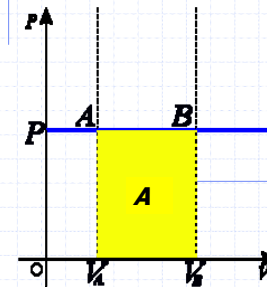
- ◆ Ukupan rad:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Rad kod gasnih procesa.

- Izobarni proces:
 - Konstanti pritisak.
 - Na p-V dijagramu proces predstavljen izobarama - pravama paralelnim V-osi.
 - Rad na p-V dijagramu određen je šrafiranom površinom:



$$A = \int_{V_A}^{V_B} p dV = p \int_{V_A}^{V_B} dV = p(V_B - V_A)$$

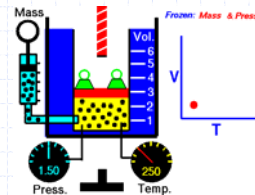
Molekularna fizika i termodinamika

◆ Rad kod gasnih procesa.

- Izobarni proces:
 - Uzimajući u obzir jednačinu stanja idealnog gasa:

$$pV = RT \Rightarrow p dV = R dT$$
 rad se može izračunati i kao:

$$A = \int_{V_A}^{V_B} p dV = \int_{T_A}^{T_B} R dT = R(T_B - T_A)$$



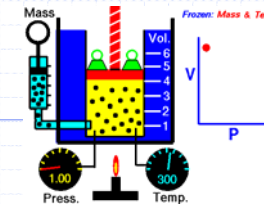
- Da bi pritisak ostao stalan:
 - pri povećanju zapremine neophodno mu je povećati temperaturu,
 - povećanje njegove temperature uslovljava povećanje unutrašnje energije,
 - toplota dovedena gasu veća je od rada koji gas izvrši protiv spoljašnjih sila.

$$\Delta U = Q - A$$

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Rad kod gasnih procesa.

- Izotermički proces:
 - Konstanta temperatura.
 - Na p-V dijagramu proces predstavljen izotermama - linijama u obliku hiperbole.
 - Nema povećanja unutrašnje energije gasa.
 - Toplota predata gasu troši se na rad koji gas vrši protiv spoljašnjih sila.



$$dQ = dA$$

Molekularna fizika i termodinamika

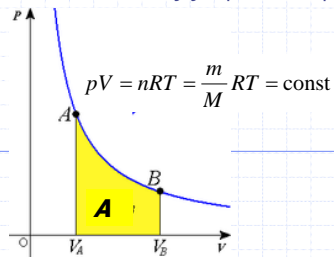
◆ Rad kod gasnih procesa.

■ Izotermički proces:

- Rad na p-V dijagramu određen je šrafiranom površinom:

$$A = \int_{V_A}^{V_B} p dV = \frac{m}{M} RT \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

- Rad zavisi samo od odnosa krajnje i početne zapremine.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Rad kod gasnih procesa.

■ Izohorski proces:

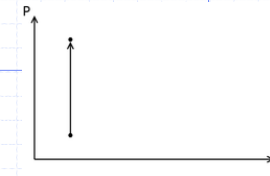
- Konstanta zapremina.
- Na p-V dijagramu proces predstavljen izohorama - linijama paralelnim p-osi.
- Nema promene zapremine pa je i rad gasa nula.
- Sva toplota koja se dovodi sistemi pretvara se u njegovu unutrašnju energiju:
- Jednačina definiše potrebnu količinu toplote potrebnu da se temperatura sistema poveća za dT .

$$A = \int_{V_A}^{V_B} p dV = 0$$

$$dQ = dU = C_V dT$$

Toplotni kapacitet

$$C_V = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{V=const}$$

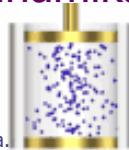


Molekularna fizika i termodinamika

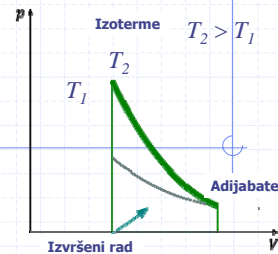
◆ Rad kod gasnih procesa.

■ Adijabatski proces:

- Nema razmene toplote sa okolinom. $dQ=0$
- Na p-V dijagramu proces predstavljen adijabatama.
 - hiperbole strmije od izoterme:
 - pritisak se povećava ne samo zbog smanjenja zapremine, već i zbog povećanja temperature.



$$dA = -dU = -C_V dT$$



Molekularna fizika i termodinamika

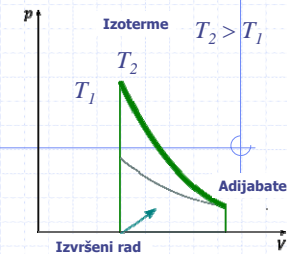
◆ Rad kod gasnih procesa

■ Adijabatski proces:

- Rad gasa pri adijabatskom procesu manji je od rada pri izotermičkom procesu:
 - pri adijabatskom širenju nastaje hlađenje gasa, dok se kod izotermičkog procesa temperatura održava konstantnom na račun dovedene toplote.

$$A = \frac{m}{M} \frac{R}{\gamma - 1} (T_2 - T_1)$$

$$A = \frac{m}{M} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right]$$



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Karnoov kružni proces.

- II zakon termodinamike kaže da se u kružnom procesu samo deo toplote može pretvoriti u rad ali se ne može na osnovu njega odrediti koliki je taj iznos.
- Karno je proučavao uslove kružnog procesa kod idealne mašine pri kome se postiže maksimalni koeficijent korisnog dejstva.
- Ovaj kružni proces se naziva Karnoov proces.

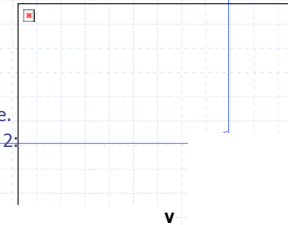


Nicholas Sadi Carnot
Francuski fizičar
1796-1832

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Karnoov kružni proces.

- Idealan gas zatvoren u cilindru u kontaktu sa dva toplotna rezervoara temperatura ($T_1=300\text{K}$, $T_2=200\text{K}$).
- Početno stanje - tačka 1: V_1, p_1, T_1 .
 - ◆ I proces - izotermički.
 - U kontaktu sa toplijim rezervoarom gas mu oduzima količinu toplote Q_1 .
 - Gas se pri stalnoj temperaturi širi, zapremina se povećava sa V_1 na V_2 .
 - Pritisak se smanjuje.
 - Toplota se pretvara u rad gasa na pomeranje klipa. $A_1 = Q_1$
 - Rad je pozitivan.
 - Nema povećanja unutrašnje energije.
 - Sistem prelazi u novo stanje - tačka 2:
 - V_2, p_2, T_1 .
 - Prelaz predstavljen izotermom 1-2.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Karnoov kružni proces.

- Cilindar se odvaja od toplog rezervoara i termički izoluje.
 - ◆ II proces - adijabatski.
 - Gas se adijabatski širi, zapremina se povećava sa V_2 na V_3 .
 - Pritisak se smanjuje.
 - Temperatura se smanjuje.
 - Rad vrši gas pomeranjem klipa na račun smanjenja unutrašnje energije.
 - Rad je pozitivan.
 - Sistem prelazi u novo stanje - tačka 3:
 - V_3, p_3, T_2 .
 - Prelaz predstavljen adijabatom 2-3.

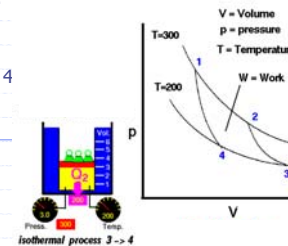
$$A_1 = \Delta U_1$$

Molekularna fizika i termodinamika

◆ Karnoov kružni proces.

- Cilindar se dovodi u toplotni kontakt sa rezervoarom temperature T_2 kao i gas u cilindru.
 - ◆ III proces - izotermički.
 - Gas se pri stalnoj temperaturi sabija, zapremina se smanjuje sa V_3 na V_4 .
 - Pritisak se povećava.
 - Rad se vrši nad gasom. Rad je negativan.
 - Nema promene unutrašnje energije.
 - Radom stvorena količina toplote Q_2 prelazi na rezervoar toplote.
 - Sistem prelazi u novo stanje - tačka 4
 - V_4, p_4, T_2 .
 - Prelaz predstavljen izotermom 3-4.

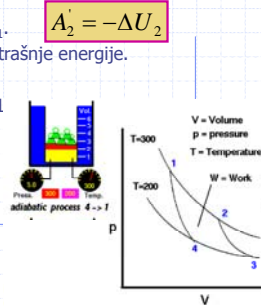
$$A_2 = -Q_2$$



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Karnoov kružni proces.

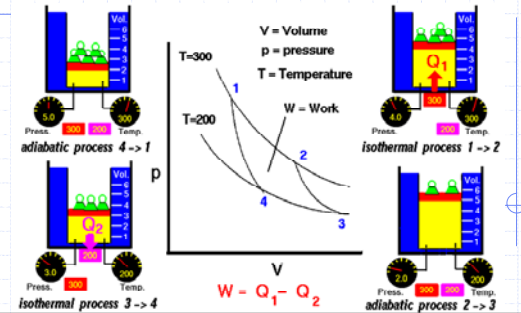
- Cilindar se odvoja od toplog rezervoara i termički izoluje.
 - ♦ IV proces - adijabatski.
 - Gas se adijabatski sabija, zapremina se smanjuje sa V_4 na V_1 .
 - Pritisak se smanjuje.
 - Temperatura se povećava do početne T_1 .
 - Rad se vrši nad gasom povećanjem unutrašnje energije.
 - Rad je negativan.
 - Sistem prelazi u početno stanje - tačka 1
 - V_1, p_1, T_1 .
 - Prelaz predstavljen adijabatom 4-1.



Molekularna fizika i termodinamika

◆ Karnoov kružni proces.

- Gas je izvršio kružni proces.
 - ♦ Oduzeta toplota od toplijeg rezervoara nije celokupno pretvorena u rad, već se deo ove toplote kao neiskorišćen predaje hladnom rezervoaru.



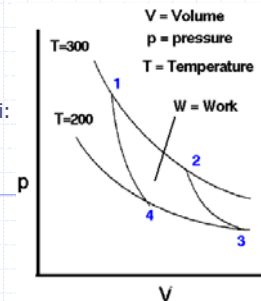
Molekularna fizika i termodinamika

◆ Karnoov kružni proces.

- Rad pri kružnom procesu:
 - ♦ Pozitivnom radu pri ekspanziji gasa odgovara površina ispod krive 1-2-3.
 - ♦ Negativnom radu pri sabijanju gasa odgovara površina ispod krive 1-4-3.
 - ♦ Ukupan rad:
 - $A = A_1 + A_1' - A_2 - A_2'$
 - ♦ Radovi pri adijabatskim procesima su isti:
 - ista promena temperature.

$$A = A_1 - A_2 = Q_1 - Q_2$$

$$\eta = \frac{A_1 - A_2}{A_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



Test pitanja - kolokvijum

1. Temperatura.

- ♦ Temperatura kao fizička veličina je mera srednje kinetičke energije čestica i predstavlja osobinu makroskopske materije sastavljene od većeg broja čestica.

$$\bar{E}_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

2. Temperaturne skale.

- Celzijusova; $T[^\circ K] = t[^\circ C] + 273.15$
- Kelvinova;
- Farenhajtova. $T[^\circ F] = \frac{9}{5}t[^\circ C] + 32$

3. Toplota i količina toplote.

- Toplota je vid energije pa je jedinica za količinu toplote džul [J].
- Količina toplote predstavlja onaj deo unutrašnje energije tela koje ono razmeni u kontaktu sa drugim telom.

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t$$

Test pitanja - kolokvijum

4. Širenje tela pri zagrevanju.

- Linearno;
- Površinsko;
- Zapreminsko.

$$l = l_0(1 + \alpha\Delta t)$$

$$S = S_0(1 + \beta\Delta t)$$

$$V = V_0(1 + \gamma\Delta t)$$

5. Izotermički proces. Bojl-Mariotov zakon.

- Promena stanja gasa pri stalnoj temperaturi naziva se izotermički proces.
- Pri konstantnoj temperaturi zapremina date količine gasa obrnuto je proporcionalna pritisku, odnosno proizvod pritiska i zapremine određene količine gasa pri stalnoj temperaturi je konstantan.

$$p_0V_0 = pV = \text{const}$$

Test pitanja - kolokvijum

6. Izobarski proces. Gej-Lisakov zakon.

- Promena stanja gasa pri stalnom pritisku naziva se izobarski proces.
- Zapremina određene mase gasa pri stalnom pritisku linarno se menja sa temperaturom, odnosno odnos zapremine i apsolutne temperature je stalan.

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} = \text{const}$$

7. Izohorni proces. Šarlov zakon.

- Promena stanja gasa pri stalnoj zapremini naziva se izohorski proces.
- Pritisak određene mase gasa pri stalnoj zapremini linarno se menja sa temperaturom, odnosno odnos pritiska i apsolutne temperature je stalan.

$$p = p_0(1 + \gamma t)$$

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} = \text{const}$$

Test pitanja - kolokvijum

8. Avogardov zakon.

- Jednake zapremine gasova na istoj temperaturi i pri istom pritisku sadrže jednak broj molekula.

9. Daltonov zakon.

- Ukupni pritisak smeše gasova jednak je zbiru parcijalnih pritisaka njenih komponenata koje zauzimaju istu zapreminu i nalaze se na istoj temperaturi kao i smeša.

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

10. Jednačina stanja idealnog gasa.

- Za proizvoljnu masu m od n molova proizvod pritiska i zapremine je proporcionalan aposolutnoj temperaturi:

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

Test pitanja - kolokvijum

11. Parametri koji određuju stanje gasa.

- pritisak gasa,
- zapremina gasa,
- temperatura gasa,
- masa gasa.

12. I zakon termodinamike.

- Povećanje unutrašnje energije sistema jednako je količini energije koja se sistemu dovodi zagrevanjem umanjenoj zbog rada sistema kao reakcije na okolinu.

$$\Delta U = Q - A$$

13. II zakon termodinamike.

- Ne postoji mogućnost pretvaranja celokupne toplote u rad. Deo toplote se pretvara u rad a a ostatak se predaje okolini.

Test pitanja - kolokvijum

14. Adijabatski proces.

- Promena stanja sistema bez razmene toplote naziva se adijabatski proces.
- Rad se vrši na račun unutrašnje energije

$$dQ = 0, dA = -\Delta U$$

15. Rad gasa pri promeni njegove zapremine,

- Ukupan rad koji se izvrši pri promeni zapremine V_1 na V_2 dobija se iz jednačine:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Test pitanja - kolokvijum

16. Karnoov kružni proces.

- Sastoji se od dva izotermička i dva adijabatska procesa.

