

ФИЗИКА 2014

Понедељак, 1.12.2012.

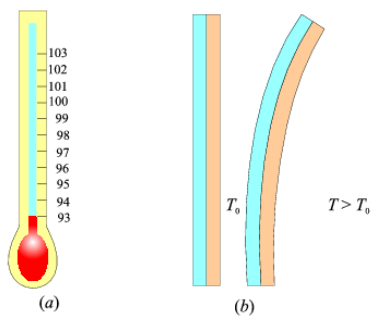
- Температура
- Топлотно ширење чврстих тела и течности
- Закони који важе за идеални гас
- Кинетичка теорија
- Фазне трансформације
- Влажност, испаравање, кључање
- Топлота
- Промена температуре и специфична топлота
- Преношење топлоте
- Елементи термодинамике

1

Температура

- везана за топло и хладно – ово није једнозначно у субјективном смислу
 - једна рука у хладну воду, друга у врућу а затим обе у исту посуду са млаком – шта осећамо на њима?
- Недвосмислена - објективна дефиниција температуре?
 - Оно што показује термометар.
- Зависност неке физичке величине од температуре

2



3

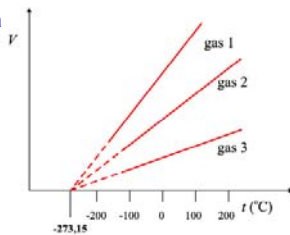
Температурске скале

- Пронађу се две лако репродуцибилне температуре (нпр. температуре мржњења и кључања воде на стандардном притску - атмосферском) и доделе им се одређене вредности температуре. Интервал између њих се подели на одређени број степени
- Нпр. Целзијусова скала, 0°C и 100°C степена су те температуре а између је 100 подеока
- Фаренхајтова скала, 32°F и 212°F степена, између је 180 па је однос $180/100=9/5$
- Келвинова (апсолутна) скала : $273,15\text{ K}$ и $373,15\text{ K}$, између је 100 као у Целзијусовој

4

Концепт апсолутне нуле

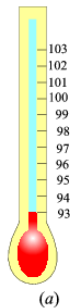
- иницијално – температура на којој је запремина гаса једнака нули
- Погрешна претпоставка – запремина супстанце неће никада бити једнака нули
- апсолутна нула је ипак најнижа могућа температура!
- на њој је од супстанце одузета сва енергија која јој се може одузети – атоми и молекули се **скоро** не крећу уопште.
- **шта се у ствари дешава приликом хлађења?**



5

Топлотна равнотежа и нулти закон термодинамике

- Како термометри мере температуру?
- Они показују заправо **своју** температуру
- А да би показали температуру неког другог тела **морају да буду у контакту са њим!**
- При томе долази до **топлотне (термичке) равнотеже**.
- **0. закон: Уколико су два система А и Б у термалној равнотежи и ако је осим тога систем Б у термалној равнотежи са системом Ц тада су и системи А и Ц у термалној равнотежи**



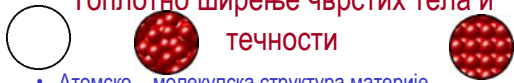
6

Топлотно ширење чврстих тела и течности

- Примери:
 - ширење живе у термометру
 - врућ ваздух је мање густине од хладног па се подиже увис
 - издуживање пруга и мостова – морају да имају места да се шире да се не би деформисали – дилатационе спојнице код мостова – између шина се оставља празан простор за издуживање
 - жице далековада су опуштеније лети него зими...
- ширење живе у термометру? А да ли се шири и стаклени суд у коме се она налази?
- Треба мало подробније проучити овај феномен
- Механизам топлотног ширења?



Топлотно ширење чврстих тела и течности

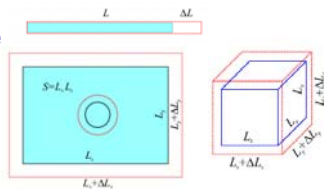


- Атомско – молекулска структура материје
- поседују кинетичку енергију
- када се загреју она се повећа – кретање је интензивније
- особине
 - већа тела се више прошире – више атома има а сваки од њих се креће интензивније
 - зависи и од пораста температуре – што је више порасла већи су и ефекти
 - зависи и од супстанце – није исто за живу и за стакло

8

Топлотно ширење чврстих тела и течности

- линијско ширење
- површинско
- запреминско



$$\Delta L = \alpha L \Delta T.$$

$$\Delta S = 2\alpha S \Delta T = \beta S \Delta T,$$

$$\Delta V = 3\alpha V \Delta T = \gamma V \Delta T,$$

Топотно ширење чврстих тела и течности

- Топлотни притисак – пуњење резервоара са бензином никада није до врха
- мрвљење ораница зими – тела се понекад шире и при хлађењу!

| Supstance | Koef. lin. šir. $\alpha(1/^\circ\text{C})$ | koef. zapr. šir. $\gamma(1/^\circ\text{C})$ |
|------------|--|---|
| aluminijum | 25×10^{-6} | 75×10^{-6} |
| bakar | 17×10^{-6} | 51×10^{-6} |
| zlato | 14×10^{-6} | 42×10^{-6} |
| čelik | 12×10^{-6} | 35×10^{-6} |
| srebro | 18×10^{-6} | 54×10^{-6} |
| staklo | 9×10^{-6} | 27×10^{-6} |
| benzin | | 950×10^{-6} |
| ziva | | 180×10^{-6} |
| voda | | 210×10^{-6} |
| vazduh | | 3400×10^{-6} |

Tabela 7.1: Koeficijenti linearnog i zapreminskog širenja (na 20°C)

10

Идеални гас

- Особине гасова
 - лако се компримују,
 - највише се шире при загревању, ...
- већина гасова има исти коефицијент запреминског ширења
- код чврстих тела и течности то није тако
- разлог – атоми и молекули су у гасовима **на довољно великом растојању** тако да веома слабо интерагују сем у сударима – **међумолекуларне силе скоро да не зависе од типа гаса** – отуда и слично понашање при ширењу
- износ ширења гасова – углавном зависи само од температуре и броја молекула у јединици запремине

11

Веза запремине, броја честица, притиска и температуре гаса

- пумпање гуме аутомобила – спољашња и унутрашња гума
- унутрашња повећава лагано запремину како убацујемо ваздух у њу – пропорционално количини убаченог ваздуха – притисак се веома мало мења ($V \sim N$)
- када испуни спољашњу која има чврсте зидове – запремина више не расте значајно али сада притисак расте док пумпамо ($P \sim N$), ($PV \sim N$)
- када престанемо да пумпамо даља промена притиска зависи од температуре на којој се налази гума – током вожње и на сунцу расте ($P \sim T$)

12

Идеални гас

- честице гасова слабо интерагују
- уколико интеракција у потпуности одсуствује осим у сударима који су идеално еластични
- и уколико се молекули могу сматрати тачкастим – без димензија
- каже се да се гас понаша као идеалан.
- емпиријска једначина која повезује P, V и T – једначина стања

$$PV = NkT, \quad k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K.}$$

13

Мол и Авогадров број

- број честица у 1 m^3 ваздуха на СТП (стандардни притисак и температура)

$$N = \frac{PV}{kT} = \frac{(1,01 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(1,00 \text{ m}^3)}{(1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(273 \text{ K})} = 2,68 \times 10^{25}.$$

- у 1 cm^3 при СТП има према томе $2,68 \times 10^{19}$.
- Лошмитов број
- реч је о великим бројевима – zgodније је увести као јединицу за количину број молова

14

Мол и Авогадров број

- Мол – количина супстанце у којој има онолико честица колико их има у $0,012 \text{ kg}$ угљеника ^{12}C .
- То је Авогадров број $N_A = 6,02 \times 10^{23} / \text{mol}$
- Авогадров закон – једнаке запремине гасова на истом притиску и истој температури садрже једнак број честица
- број молова

$$n_m = \frac{N}{N_A}$$

- једначина стања преко броја молова

$$PV = NkT \frac{N_A}{N_A} = \frac{N}{N_A} k N_A T = n_m RT.$$

- универзална константа за идеални гас

$$R = k N_A = (1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) = 8,31 \text{ J/(mol K)}. \quad 15$$

Једначина стања и енергија идеалног гаса

- када пумпамо гуму – вршимо рад над ручицом пумпе – два ефекта
 - повећавамо количину гаса у гуми – повећава се њен притисак
 - греје се пумпа услед трења и других ефеката
- веза једначине стања са енергијом?
- И PV и NkT имају димензије енергије
- На рачун енергије садржане у гасу може да се врши рад!!!

16

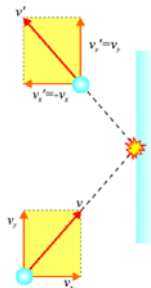
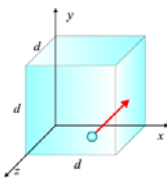
Кинетичка теорија

- Макроскопске дефиниције температуре и притиска
 - Температура – величина коју показује термометар и која показује колико је тело загрејано/охлађено
 - Притисак – однос силе и површине на коју она делује под правим углом
- Како се могу разумети ове величине са молекуларног становишта код гасова?
- теорија која је развијена за описивање понашања гасних система а полази од идеје да се они састоје од атома и молекула који се налазе у сталном хаотичном кретању се назива кинетичка теорија

17

Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

- N молекула гаса унутар коцке запремине $V=d^3$.
- ударају еластично у зидове



18

Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

$$\Delta p_x = -mv_x - (mv_x) = -2mv_x.$$

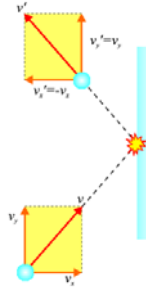
- Промена импулса – делује сила.
- На (један) молекул делује просечна сила F_{1x}

$$F_{1x}\Delta t = \Delta p_{1x} = -2mv_{1x},$$

- Интервал времена између два удара истог молекула у исти зид суда.
- Понавља се кад молекул прође растојање у x -правцу које износи $2d$ брзином v_x

$$\Delta t = 2d/v_{1x}$$

$$F_{1x} = \frac{-2mv_{1x}}{\Delta t} = \frac{-2mv_{1x}}{2d/v_{1x}} = -\frac{mv_{1x}^2}{d}.$$



19

Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

- Силом супротног смера делује молекул на зид

$$F_{1x, nazid} = -F_{1x} = \frac{mv_{1x}^2}{d}.$$

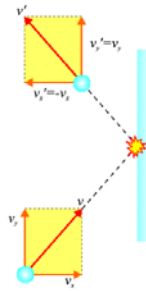
- Укупна која делује на зид се добија сумирањем по свих N молекула

$$F_x = \frac{m}{d}(v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \dots).$$

- Средња вредност квадрата брзине

$$\overline{v_x^2} = \frac{v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \dots + v_{Nx}^2}{N}.$$

$$F_x = \frac{Nm}{d}\overline{v_x^2}.$$



Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

$$F_x = \frac{Nm}{d}\overline{v_x^2}.$$

- Средња вредност брзине због равноправности кретања по свим правцима је

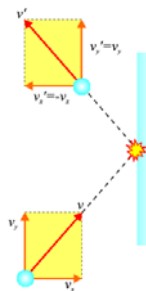
$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}. \quad \overline{v^2} = 3\overline{v_x^2} \Rightarrow \overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}.$$

$$F_x = \frac{N}{3} \left(\frac{m\overline{v^2}}{d} \right).$$

$$P = \frac{F_x}{S} = \frac{Nm\overline{v^2}}{3Sd} = \frac{1}{3} \frac{Nm\overline{v^2}}{V}.$$

- Одатле је

$$PV = \frac{1}{3}Nm\overline{v^2}.$$



Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

- Упоредивање теоријске једначине и емпијске

$$PV = \frac{1}{3}Nmv^2.$$

$$PV = NkT.$$

$$\frac{1}{3}Nmv^2 = NkT.$$

- Средња кинетичка енергија једног молекула – термална енергија

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT.$$

$$\overline{E_k} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT.$$

- Закључак – температура гасног система је величина која је пропорционална његовој средњој кинетичкој енергији**

Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

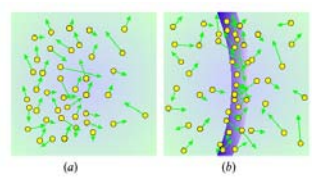
$$\overline{E_k} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT. \quad \longrightarrow \quad v_{kск} = \sqrt{\frac{3kT}{m}},$$

- За молекуларни азот, на 20°C, ова брзина износи 511 м/с**
- енергија пак овог гаса зависи само од температуре и износи**

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}(1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(293 \text{ K}) = 6,07 \times 10^{-21} \text{ J}.$$

- Енергија има малу вредност и није опсервабилна нашим чулима.
- Молекули се брзо крећу али и сударају - не прелазе велика растојања
- међутим последица велике вредности средње квадратне брзине је велика брзина простирања звука кроз гасове (око 340 м/с на собној температури)

Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре



Слика 7.7: (а) У типичном гасу има jako puno молекула који се крећу разним брзинама, и по интензитету и по оријентацији у простору. Број међусобних судара може да буде jako велик (милијарде у секунди)(б) Посматрани молекул се, услед сталних судара, неће далеко померити за kratak interval времена, али поремећај у гасном систему, као што је то на пример звучни талас, се преноси брзином која зависи од средње молекуларне брзине.

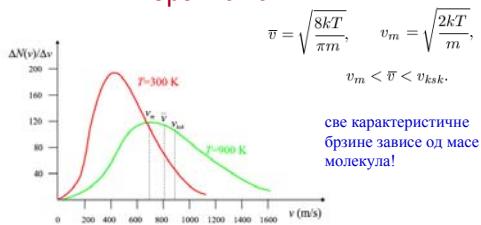
Максвелова расподела молекула по брзинама

- кретање молекула у гасу је потпуно хаотично
- брзине имају све могуће вредности и све могуће правце и смерове
- нема смисла питати се колика је брзина сваког молекула
- има смисла запитати се **колико молекула (ΔN) има брзину у одређеном интервалу брзина (Δv)**
- Максвел је теоријски решио овај проблем и извео израз за расподелу молекула по брзинама ($\Delta N/\Delta v$)

$$\frac{\Delta N(v)}{\Delta v} = 4\pi N \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$$

25

Максвелова расподела молекула по брзинама.

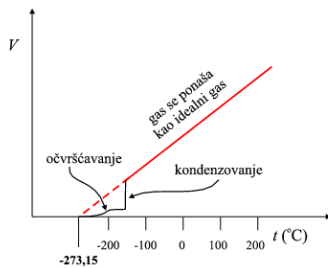


Slika 7.8: Raspodela molekula po brzinama za $N = 10^5$ molekula azota na 300 K i 900 K. Ukupna površina ispod svake krive je jednaka ukupnom broju molekula.

26

Фазне трансформације

- Да ли запремина гаса може да буде нула? реални гасови се понашају као идеални само уколико им температура није близ температуре фазне трансформације
 - кондензација
 - очвршћавање
- на слици је приказан график V од t , када је притисак константан

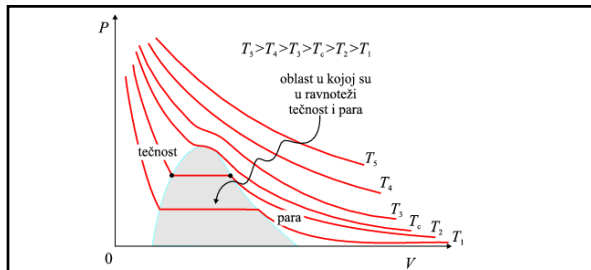


27

Фазне трансформације

- променом **притиска** гас такође може да пређе у течно агрегатно стање
 - нпр. угљен диоксид је гас на собној температури и при атмосферском притиску
 - на истој температури постаје течан ако се повећа притисак
- згодно је нацртати **PV дијаграм**
- из једначине стања, за **идеалан гас** за константну температуру се добија $PV = \text{const}$.
- када расте притисак запремина се смањује/и обрнуто (при константној температури) – Бојл-Мариотов закон
- крива се зове изотерма – математички је то хипербола
- снижавањем температуре криве престају да буду хиперболе – гас се не понаша као идеалан – у њему почиње кондензација

28



- постоји критична тачка – **одговара јој критична температура изнад које дата супстанца не може да постоји у течном стању!**
- ако је температура изнад ове, при довољно великим притисцима гас може да буде гушћи од течности али неће бити течан!? (нема остале особине течности – које?)

1.12.2014.

| Supstance | krit. temp. (K) | krit. temp. ($^{\circ}\text{C}$) | krit. prit. (N/m^2) | krit. prit. (atm) |
|----------------|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| voda | 647,4 | 374,3 | $22,12 \times 10^6$ | 219,0 |
| ugljen dioksid | 304,2 | 31,1 | $7,39 \times 10^6$ | 73,2 |
| kiseonik | 154,8 | -118,4 | $5,08 \times 10^6$ | 50,3 |
| azot | 126,2 | -146,9 | $3,39 \times 10^6$ | 33,6 |
| vodonik | 33,3 | -239,9 | $1,30 \times 10^6$ | 12,9 |
| helijum | 5,3 | -267,9 | $0,0229 \times 10^6$ | 2,27 |

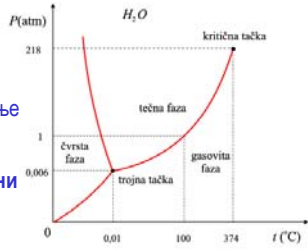
Tabela 7.2: Критичне температуре и притисци

- Критична температура за кисеоник је $-118,4^{\circ}\text{C}$ па га је немогуће превести у течно стање изнад те температуре.

30

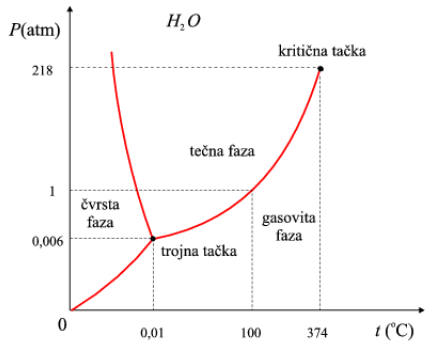
Фазни дијаграм

- пратили смо зависности V од t и P од V
- зависност P од $T(t)$ омогућује ново сагледавање процеса фазних трансформација
- P - T дијаграми се зову **фазни дијаграми** (постоје добро дефинисане области у којима је супстанца у различитим фазама)



31

Фазни дијаграм за воду

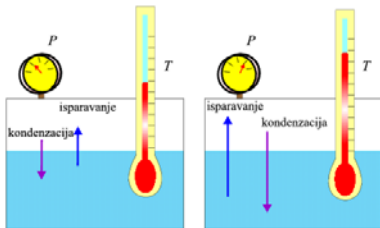
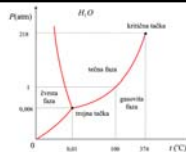


Поделе на осаму нису линеарне!!!

32

Равнотежа фаза

- комбинација притиска и температуре треба да је таква да се налази на кривим линијама које раздвајају фазе. – колико течности испари толико се кондензује
- требало би да обе фазе егзистирају заједно – али то је тако само ако је суд затворен
- ако кључа **отворен** суд са водом она ће пре или касније сва испарити – јер изнад ње није само водена пара већ ваздух



Притисак паре, парцијални притисак. Далтонов закон

- Притисак паре – притисак гаса који је формиран од стране течне или чврсте фазе дате супстанце.
- њега стварају најбржи молекули течности који имају довољно енергије да покидају везе и постану слободни
- **Парцијални притисак** – притисак гаса који би он стварао када би сам испуњавао запремину која му је на располагању
- **Укупни притисак гаса** – једнак је збиру парцијалних притисака свих компоненти које га чине – **Далтонов зако парцијалних притисака**

34

Влажност, испаравање и кључање

- **релативна влажност** – однос апсолутне количине влаге у ваздуху према максимално могућој на датој температури
- снижавањем температуре се достиже **тачка росе** – на њој је релативна влажност 100% па се пара кондензује
- у вези је са **парцијалним притиском** паре на датој температури – када је влажност 100% парцијални притисак водене паре је једнак притиску zasiћене паре па "нема места" за нове молекуле паре у ваздуху
- релативна влажност

$$W = \frac{\rho}{\rho_z} \times 100.$$

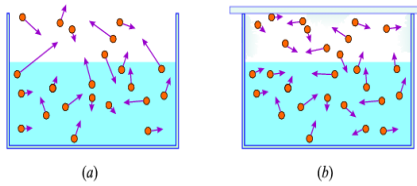
35

| $t(^{\circ}\text{C})$ | $P(\text{N}/\text{m}^2)$ | $\rho_z(\text{g}/\text{m}^3)$ | $t(^{\circ}\text{C})$ | $P(\text{N}/\text{m}^2)$ | $\rho_z(\text{g}/\text{m}^3)$ |
|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| -50 | 4,0 | 0,039 | 37 | $6,31 \times 10^3$ | 44,0 |
| -20 | $1,04 \times 10^2$ | 0,089 | 40 | $7,34 \times 10^3$ | 51,1 |
| -10 | $2,60 \times 10^2$ | 2,36 | 50 | $1,23 \times 10^4$ | 82,4 |
| 0 | $6,10 \times 10^2$ | 4,84 | 60 | $1,99 \times 10^4$ | 130 |
| 5 | $8,68 \times 10^2$ | 6,80 | 70 | $3,12 \times 10^4$ | 197 |
| 10 | $1,19 \times 10^3$ | 9,40 | 80 | $4,73 \times 10^4$ | 294 |
| 15 | $1,69 \times 10^3$ | 12,8 | 90 | $7,01 \times 10^4$ | 418 |
| 20 | $2,33 \times 10^3$ | 17,2 | 95 | $8,59 \times 10^4$ | 505 |
| 25 | $3,17 \times 10^3$ | 23,0 | 100 | $1,01 \times 10^5$ | 598 |
| 30 | $4,24 \times 10^3$ | 30,4 | 120 | $1,99 \times 10^5$ | 1095 |

Tabela 7.3: Pritisak i gustina zasićene vodene pare

36

Влажност, испаравање и кључање

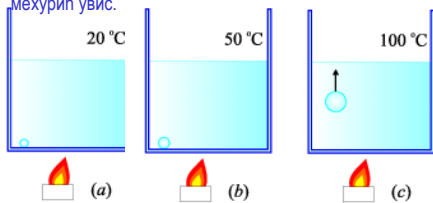


Slika 7.13: (a) U skladu sa raspodelom molekula po brzinama, neki će imati dovoljnu energiju da raskinu međumolekularne veze u tečnosti i predju u gas čak i na temperaturama ispod tačke ključanja (b) Ako je posuda zatvorena, isparavanje će se nastaviti sve dok količina kondenzovane tečnosti ne postane jednaka količini one koja ispari. Gustina pare i njen parcijalni pritisak su tada postigli zasićene vrednosti.

37

Влажност, испаравање и кључање

- Вода на свакој темп. садржи мехуриће ваздуха.
- На 20°C се у таквом мех. налази око 2,30% водене паре притиска 1 атм.
- На 100°C у мехур улази стално водена пара а мехурић покушава да одржи притисак на 1 атм. Гас веће влажности је ређи од сувог ваздуха – расте сила потиска и издиже мехурић увис.



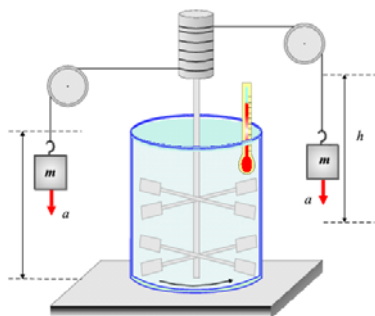
38

Топлота

- Топлота?
- Топлота и рад су једина два (различита) начина размене енергија међу телима
- рад – организован трансфер енергије – сила делује и помера тела или њихове делове
- топлиота – у вези са хаотичним кретањем молекула
- **топлиота је енергија која се преноси само услед разлике у температури.**
- Изражава се у џулима- раније у калоријама
- 1 калорија (cal) – топлиота потребна да се температура 1 г воде промени за 1°C. Мала вредност па се користи kcal=1000 cal
- 1,000 kcal = 4186 J

39

Топлота и њен механички еквивалент

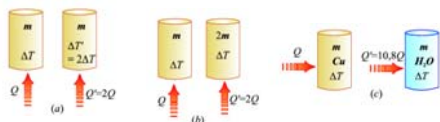


Slika 7.15: Skica jednog od Džulovih eksperimenata.

40

Промена температуре и специфична топлота

- веза промене температуре тела и размењене количине топлоте
- три фактора



$$Q = mc\Delta T.$$

41

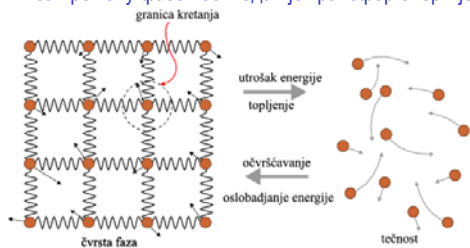
Специфична топлота = специфична топлотна капацитивност

| supstanca | c (J/(kgK)) | supstanca | c (J/(kgK)) |
|-------------------------|------------------|-------------------|------------------|
| aluminijum | 900 | benzen | 1740 |
| bakar | 387 | etanol | 2450 |
| staklo | 840 | glicerin | 2410 |
| zlato | 129 | živa | 139 |
| ljudsko telo (na 37 °C) | 3500 | voda (na 15,0 °C) | 4186 |
| led (od -50 do 0 °C) | 2090 | suvi vazduh | 721 |
| čelik | 452 | ugljen dioksid | 638 |
| olovo | 128 | azot | 739 |
| srebro | 235 | kiseonik | 651 |
| drvo | 1700 | para (na 100 °C) | 1520 |

Tabela 7.4: Specifična toplota za neke supstance

Фазне трансформације и латентна топлота топљења/очвршћавања

- за промену фазе неопходан је трансфер енергије

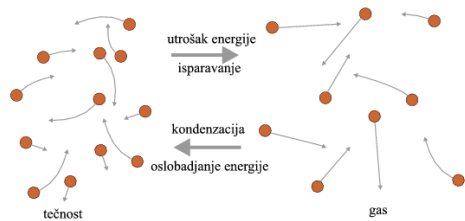


Slika 7.17: Topljenje i očvršćavanje.

$$Q = mL_t, \quad (\text{topljenje-očvršćavanje})$$

Фазне трансформације и латентна топлота испаравања/кондензације

- за промену фазе је неопходан трансфер енергије

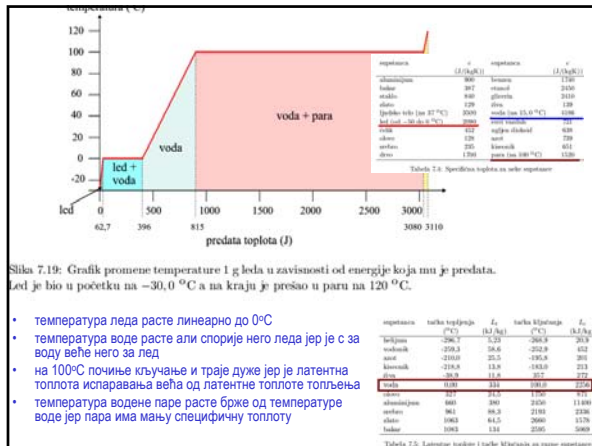


Slika 7.18: Isparavanje i kondenzacija.

$$Q = mL_i, \quad (\text{isparavanje-kondenzacija}), \quad 44$$

| supstanca | tačka topljenja (°C) | L_t (kJ/kg) | tačka ključanja (°C) | L_i (kJ/kg) |
|------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| helijum | -296,7 | 5,23 | -268,9 | 20,9 |
| vodonik | -259,3 | 58,6 | -252,9 | 452 |
| azot | -210,0 | 25,5 | -195,8 | 201 |
| kiseonik | -218,8 | 13,8 | -183,0 | 213 |
| živa | -38,9 | 11,8 | 357 | 272 |
| voda | 0,00 | 334 | 100,0 | 2256 |
| olovo | 327 | 24,5 | 1750 | 871 |
| aluminijum | 660 | 380 | 2450 | 11400 |
| srebro | 961 | 88,3 | 2193 | 2336 |
| zlato | 1063 | 64,5 | 2660 | 1578 |
| bakar | 1083 | 134 | 2595 | 5069 |

Tabela 7.5: Latentne toplote i tačke ključanja za razne supstance.



Преношење топлоте

- пренос енергије са тела на тело услед разлике у температурама
- три начина
 - кондукција – provoђење –
 - пренос физичким контактом између супстанци које су у стању мировања
 - конвекција – струјање –
 - преношење топлоте макроскопским померањем маса (флуида)
 - радијација – зрачење –
 - микроталаси, инфрацрвено зрачење, видљива светлост се апсорбује и емитује

47

Провођење

- ходеламо боси по телу на по плочицама у истој соби – осећај се разликује - зашто?!
- механизам provoђења – судар молекула тела различитих температура

viša temperatura niža energija pre sudara

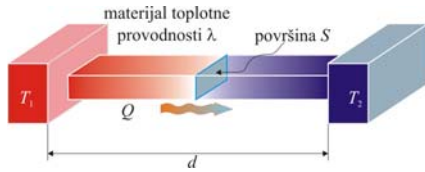
veća energija pre sudara niža temperatura

Q

provođenje toplote

48

Провођење – брзина преношења топлоте



$$\frac{Q}{t} = -\lambda S \frac{T_2 - T_1}{d},$$

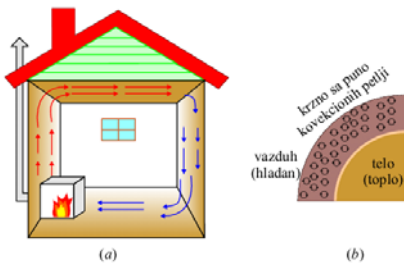
49

Провођење

| supstanca | λ (J/(smK)) | supstanca | λ (J/(smK)) |
|------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| srebro | 420 | voda | 0,6 |
| bakar | 390 | masno tkivo, bez krvi | 0,2 |
| zlato | 318 | azbest | 0,16 |
| aluminijum | 220 | malter | 0,16 |
| gvozdje | 80 | drvo | 0,08-0,16 |
| čelik | 14 | sneg (suv) | 0,10 |
| led | 2,2 | pluta | 0,042 |
| staklo | 0,84 | staklena vuna | 0,042 |
| beton | 0,84 | vuna | 0,04 |
| cigla | 0,84 | paperje | 0,025 |
| | | vazduh | 0,023 |
| | | stiropor | 0,010 |

Tabela 7.6: Koefficienti toplotne provodnosti (na temperaturama bliskim 0 °C)

- добри проводници струје су и добри проводници топлоте
- закључак – слободни електрони учествују у оба процеса



Slika 7.22: (a) Zagrejan vazduh se širi i podiže. Tavanica i zidovi hlade vazduh koji je u dodiru sa njima, on postaje gušći od vazduha u sobi i pada na dole. Ovi procesi formiraju konvektivnu petlju koja prenosi toplotu kroz prostoriju. (b) Krzno je ispunjeno vazduhom izdvojenim u male džepove. Konvekcija je stoga veoma slaba.

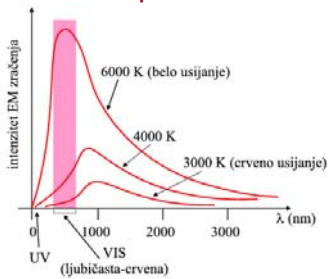
51

Зрачење

- три фазе –
 - претварање дела унутрашње енергије тела у зрачење
 - простирање EM таласа
 - апсорпција од стране другог тела
- свако тело изнад 0 K зрачи – услед термалног кретања
- што је температура тела већа оно интензивније зрачи
- промена температуре изазива и промену карактера зрачења – Планков закон зрачења

52

Зрачење



Slika 7.23: Spektar elektromagnetnih talasa za razne temperature. VIS-vidljivi deo spektra (od ljubičaste do crvene), UV-ultraljubičasti (ultravioletni).

Зрачење

- боја тела има везе са способношћу да се апсорбује и емитује зрачење
- црна тела најбоље и емитују и апсорбују зрачење – **апсолутно црно тело (нпр. асфалт)**
- **апсолутно бело тело** – у потпуности рефлектује све

54

Зрачење

- Штефан-Болцманов закон

$$\frac{Q}{t} = \sigma e S T^4.$$

- е-емисивност. За апсолутно црно тело је 1 а за бело 0. За нашу кожу је (у ИЦ области) 0,97

- Баланс зрачења

$$\frac{Q}{t} = \sigma e S (T_s^4 - T_t^4),$$

55

Елементи термодинамике

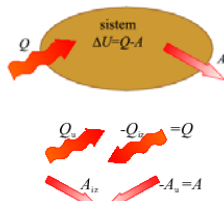
- топлота је облик енергије
- да ли може да се искористи за добијање рада?
- мотори аутомобила – сагоревају гориво, врше рад али се и загревају
- колика им је ефикасност?
- да ли постоје границе ефикасности?
- **област физике која се бави топлотом и њеним трансфером са тела на тело и конверзијом у рад - термодинамика**

56

Први закон термодинамике

- при добијању рада је природно ограничење закон одржања енергије

- **промена у унутрашњој енергији система је једнака резултујућем износу трансферисане количине топлоте у систем и из система и резултујућег извршеног рада**



$$\Delta U = Q - A.$$

57

Топлота и рад

- топлота и рад – сличност
 - два начина да се енергија унесе у систем или узме из њега
- топлота и рад – разлике
 - топлота је повезана са мање организованим процесима изазваним разликама у температури
 - рад – организован процес који укључује макроскопске силе које померају тела
- пораст температуре у систему може бити изазван на оба начина – пумпање гуме бицикла је загрева, као и Сунце својим зрачењем

58

Унутрашња енергија

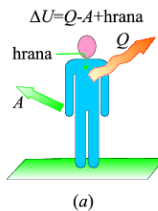
- Унутрашња енергија – збир кинетичких и потенцијалних енергија атома и молекула посматрано из система референце система
 - кинетичка енергија translације, ротације, вибрација (осцилација), потенцијална енергија поља у којима се налазе, као и потенцијална енергија међусобне интеракције
- у њу не улази енергија асоцирана уређеном кретању система као целине
- макроскопски – енергија је функција стања (A и Q нису) – њена промена зависи само од крајњег и почетног стања a и од еволуције система између њих.

$$\Delta U = Q - A$$

59

Људски метаболизам и Први закон термодинамике

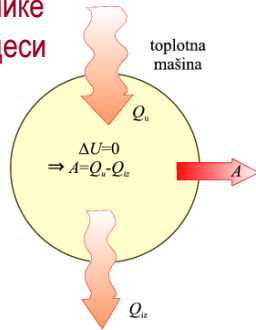
- телесна температура се одржава константном јер се тело ослобађа вишка топлоте => Q је негативна величина
- рад се врши на спољашњим објектима па је $A > 0$
- укупно гледано, промена унутрашње енергије ($U=Q-A$) је негативна
- потребно је уносити храну у систем
- добија се унутрашња енергија која се трансформише у топлоту, рад и масне наслаге



60

Први закон термодинамике и неки једноставни процеси

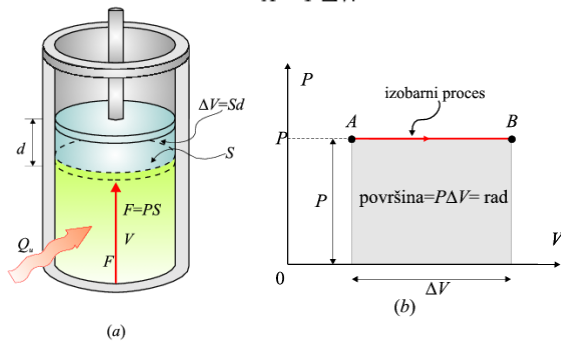
- Уређаји у којима се на рачун топлоте добија рад се називају **топлотне машине** (мотори, парне турбине)

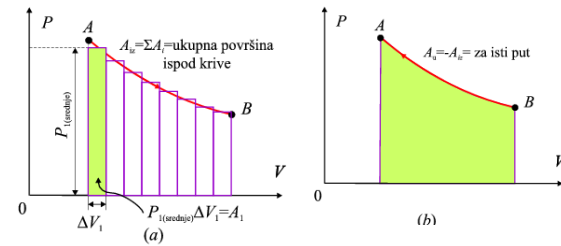


Slika 7.27: Šematski prikaz toplotne mašine

PV дијаграм и његова веза са радом

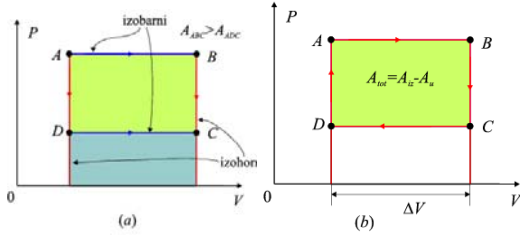
$$A = P \Delta V.$$

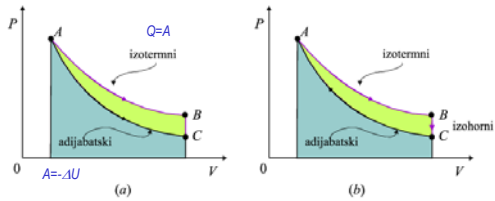




Slika 7.29: (a) PV diјаграм za proces u kome variraju i P i V . U svakom intervalu su procesi približno izobarni. (b) Da bi proces išao obrnutim smerom mora da se vrši rad nad sistemom.

- извршени рад зависи не само од почетног и крајњег стања система већ и од облика путање између њих: $A_{ABC} > A_{ADC}$





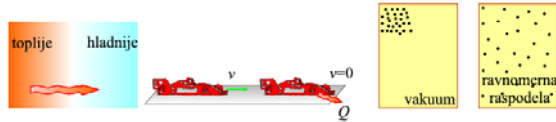
Slika 7.31: (a) Gornja kriva predstavlja izotermni proces ($\Delta T = 0$), a donja adijabatski ($Q = 0$). (b) Prikazani ciklus od izoterme, izohore i adijabate proizvodi rad.

Повратни процеси

- повратни процес – и систем и околина могу да се врате тачно у стање из кога су кренули али сада супротним процесом
- реални процеси су неповратни

Други закон термодинамике. Топлотне машине и њихова ефикасност

- 1. верзија: Топлота увек **спонтано** прелази са тела више температуре на тело ниже температуре док се супротан смер преласка никада не одвија **спонтано**. (немогућ је процес чији би једини резултат био прелазак топлоте са хладнијег тела на топлије)
- Механичка енергија тела које се креће кроз отпорну средину може се у потпуности конвертовати у топлоту – супротно се не дешава



Slika 7.32: Primeri jednosmernih procesa u prirodi.

Други закон термодинамике. Топлотне машине и њихова ефикасност

- Топлотне машине – претварају један део спонтаног протока топлоте у рад –
– мотори аутомобила, парне турбине, ...
- идеално би било да буде $A=Q_t$
- то значи да треба да буде $Q_h=0$
- то није могуће
- 2. Не постоји систем који би могао да апсорбује топлоту из резервоара топлоте и у потпуности је претвори у рад у кружном процесу у којем се систем враћа у почетно стање



Други закон термодинамике. Топлотне машине и њихова ефикасност

- Циклични процес, $\Delta U=0$
- $\Delta U=Q-A$
- $Q=Q_t-Q_h$
- $A=Q_t-Q_h$
- коефицијент корисног дејства (к.к.д.)

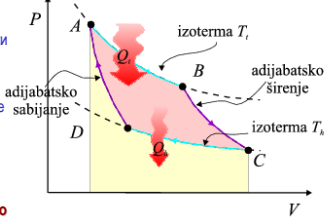
$$\eta = \frac{A}{Q_t}$$

$$\eta = \frac{Q_t - Q_h}{Q_t} = 1 - \frac{Q_h}{Q_t}$$

ефикасност би била 100% само ако не би било топлотних губитака

Карноова идеална топлотна машина, 8.12.2014

- колики су губици у топлоти код циклуса?
- Сади Карно 1824. решио теоријски за идеалну топлотну машину (највећи к.к.д.)
- Карноова машина – Карноов циклус – 2 изотерме и 2 адијабате
- сви процеси су повратни – нема губитака на трење
- **3. Карноова машина која ради између две температуре, има највећи могући к.к.д. Било која друга машина која користи само повратне процесе и ради између истих температура, не имати исти к.к.д. као Карноова**
- **показао је да је $Q_h/Q_c = T_h/T_c$**



Slika 7.34: Karnoov ciklus u PV dijagramu.

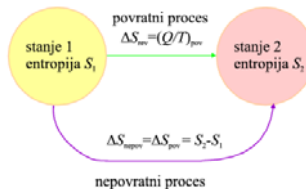
$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

Тек на $T=0\text{K}$ би к.к.д. био једнак јединици!

Ентропија и други закон термодинамике.

- Карноов циклус-повратни процеси за које важи $Q_h/Q_c = T_h/T_c$,
- односно $Q_h/T_h = Q_c/T_c$
- преко овог односа се може дефинисати нова физичка величина **ентропија** – такође је функција стања, и њена промена зависи само од почетног и крајњег стања а не и од начина како се ишло између њих
- тј. свеједно је да ли су били повратни или не!

$$\Delta S = \left(\frac{Q}{T}\right)_{\text{пов}}$$



Ентропија и други закон термодинамике.

- Ентропија повратних процеса
- Топлији резервоар – губи топлоту па му се смањује ентропија за $\Delta S_c = -Q_c/T_c$,
- хладнији резервоар – предаје му се топлота па му ентропија порасте за $\Delta S_h = +Q_h/T_h$,
- како за Карноову машину важи $Q_h/Q_c = T_h/T_c$
- укупна промена ентропије је једнака нули

$$\Delta S = \Delta S_c + \Delta S_h,$$

• промена ентропије при било ком повратном процесу је једнака нули

$$\Delta S = -\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_h}{T_h} = 0.$$

• ентропија делова система може да се промени али је укупна непроменљива

Ентропија и други закон термодинамике.

- Промена ентропије је $\Delta S=Q/T$,
- Што је нижа температура промена ентропије је већа
- Ентропија било ког система у коме се одигравају неповратни процеси расте
- 4. верзија Другог закона: **Укупна ентропија се никад не смањује у процесима већ може или да расте или да остане константна, тј.**

$$\Delta S \geq 0,$$

- Једнакост се односи на повратне процесе а неједнакост на неповратне
