

# ФИЗИКА 2012

Понедеља, 26.11, 3.12. 2012.

- Температура
- Топотно 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

---

---

---

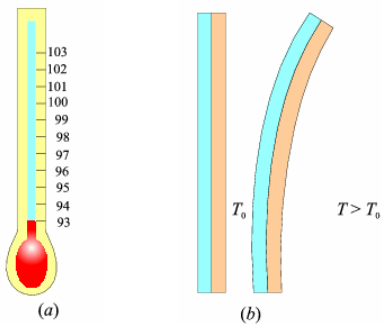
---

---

---

---

---



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,  $0^{\circ}\text{C}$  и  $100^{\circ}\text{C}$  степена су те температуре а између је 100 подеока
- Фаренхајтова скала,  $32^{\circ}\text{F}$  и  $212^{\circ}\text{F}$  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

---

---

---

---

---

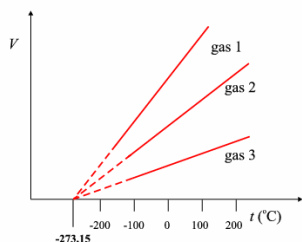
---

---

---

## Концепт апсолутне нуле

- иницијално – температура на којој је запремина гаса једнака нули
- данас знамо да се то неће десити јер ће гас на некој температури постати течан а након тога и чврст – запремина му 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

---

---

---

---

---

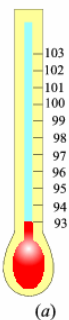
---

---

---

## 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 се топлота преноси са тела на тело и долази до **топлотне (термичке) равнотеже**.
- **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** – нулти закон термодинамике



6

---

---

---

---

---

---

---

---

## Топлотно ширење чврстих тела и течности

- Примери:
  - ширење живе у термометру
  - врљ 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 далековаода 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

---

---

---

---

---

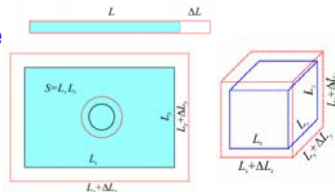
---

---

---

## Топлотно ширење чврстих тела и течности

- линијско ширење
- површинско
- запреминско



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

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

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

9

---

---

---

---

---

---

---

---

## Топлотно 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	$25 \times 10^{-6}$	$75 \times 10^{-6}$
bakar	$17 \times 10^{-6}$	$51 \times 10^{-6}$
zlato	$14 \times 10^{-6}$	$42 \times 10^{-6}$
čelik	$12 \times 10^{-6}$	$35 \times 10^{-6}$
srebro	$18 \times 10^{-6}$	$54 \times 10^{-6}$
staklo	$9 \times 10^{-6}$	$27 \times 10^{-6}$
benzin		$950 \times 10^{-6}$
ziva		$180 \times 10^{-6}$
voda		$210 \times 10^{-6}$
vazduh		$3400 \times 10^{-6}$

Tabela 7.1: Koefficienti linearnog i zapreminskog širenja (na  $20^\circ\text{C}$ )

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 ( $V-N$ )
- када испуни спољашњу која има чврсте зидове – запремина више не расте значајно али сада притисак расте док пумпамо ( $P-N$ ), ( $PV-N$ )
- када престанемо да пумпамо даља промена притиска зависи од температуре на којој се налази гума – током вожње и на сунцу расте ( $P-T$ )

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  $1 \text{ m}^3$  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  $1 \text{ cm}^3$  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  $^{12}\text{C}$ .
- То је Авогадров број  $N_A$   $N_A = 6,02 \times 10^{23} / \text{mol}$
- 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

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

- универзална константа за идеални гас

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

---

---

---

---

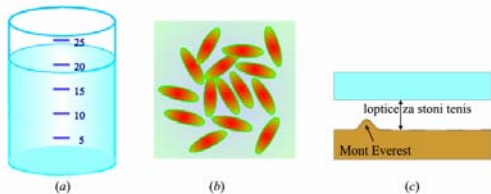
---

---

---

---

## Мол и Авогадров број



Slika 7.5: (a) Jedan mol vode ima zapreminu 18 ml. (b) Čak i mali uzorak bakterija sadrži oko  $10^{11}$  do  $10^{12}$  molekula ali to je samo deo jednog mola. (c) Jedan mole nečega što je makroskopsko može da bude veoma veliki. Tako bi 1 mol loptica za stoni tenis prekrilo Zemlju do visine od oko 35 km.

16

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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!!!

17

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

18

---

---

---

---

---

---

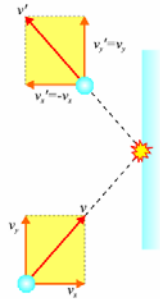
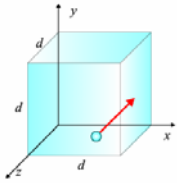
---

---



## Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

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



19

---

---

---

---

---

---

---

---



## Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

- Промена једне компоненте импулса молекула

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

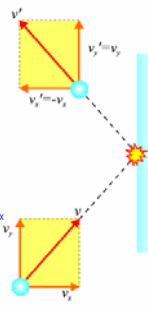
- Промена импулса настаје због деловања силе од стране зида на молекул. На (један) молекул делује просечна сила  $F_{1x}$
- Та сила је изазвала промену импулса.

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

- Интервал времена је интервал између два удара истог молекула у исти зид суда. Да би поново дошао до зида он треба да прође растојање у  $x$ -правцу које износи  $2d$  брзином  $v_x$

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

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




---

---

---

---

---

---

---

---



## Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

- Према 3. Њутновом закону истом силом али супротног смера делује молекул на зид

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

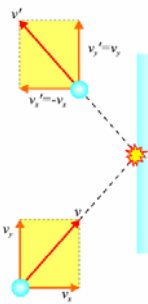
- То је средња сила којом један молекул делује на зид. Укупна која делује на зид се добија сумирањем по свих  $N$  молекула

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

- 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

$$F_x = \frac{Nm\bar{v}_x^2}{d}$$

- Средња вредност брзине због равноправности кретања по свим правцима је

$$\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2, \quad \bar{v}^2 = 3\bar{v}_x^2 \Rightarrow \bar{v}_x^2 = \frac{1}{3}\bar{v}^2.$$

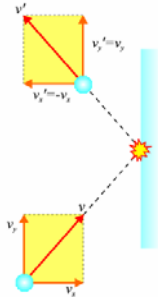
- Сила и притисак су

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

$$P = \frac{F_x}{S} = \frac{N}{3} \frac{m\bar{v}^2}{Sd} = \frac{1}{3} \frac{Nm\bar{v}^2}{V},$$

- Одатле је

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




---

---

---

---

---

---

---

---



## Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

- Упоредба теоријске једначине и емпијске

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

$$PV = NkT$$

$$\frac{1}{3} Nm\bar{v}^2 = NkT.$$

- Средња кинетичка енергија једног молекула – термална енергија

$$\frac{1}{2} m\bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT.$$

$$\bar{E}_k = \frac{1}{2} m\bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT.$$

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

23

---

---

---

---

---

---

---

---



## Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре

- Из средње термалне енергије се може добити корен средње квадратне брзине

$$\bar{E}_k = \frac{1}{2} m\bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT. \quad \longrightarrow \quad v_{k,sk} = \sqrt{\frac{3kT}{m}},$$

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

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

- Енергија има малу вредност и није опсервабилна нашим чулима.
- Молекули се брзо крећу али и сударају често тако да 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)

24

---

---

---

---

---

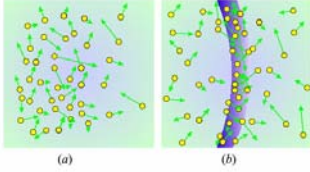
---

---

---



## Кинетичка теорија – молекуларно објашњење притиска и температуре



Slika 7.7: (a) U tipičnom gasu ima jako puno molekula koji se kreću raznim brzinama, i po intenzitetu i po orijentaciji u prostoru. Broj međusobnih sudara može da bude jako velik (milijarde u sekundi)(b) Posmatrani molekul se, usled stalnih sudara, neće daleko pomeriti za kratak interval vremena, ali poremećaj u gasnom sistemu, kao što je to na primer zvučni talas, se prenosi brzinom koja zavisi od srednje molekularne brzine.

25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 ( $\Delta N$ ) има брзину у одређеном интервалу брзина ( $\Delta v$ )
- Максвел је теоријски решио овај проблем и извео израз за расподелу молекула по брзинама ( $\Delta N/\Delta v$ )

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

26

---

---

---

---

---

---

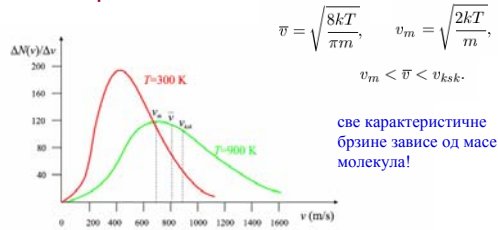
---

---

---

---

## Максвелова расподела молекула по брзинама, 26.11.2012.



$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}, \quad v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m}},$$

$$v_m < \bar{v} < v_{ksk}$$

све карактеристичне брзине зависе од масе молекула!

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.

27

---

---

---

---

---

---

---

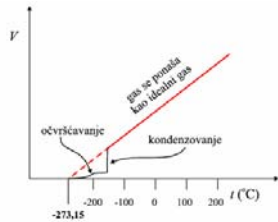
---

---

---

## Фазне трансформације

- реални гасови се понашају као идеални само уколико им температура није близу температуре фазне трансформације
  - кондензација
  - очвршћавање
- када гас пређе у течност молекули су ближе једни другима па запремина постаје мања
- даљим хлађењем запремина се спорије смањује а након очвршћавања, она постаје још мања
- на слици је приказан график  $V$  од  $t$ , када је притисак константан



28

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

29

---

---

---

---

---

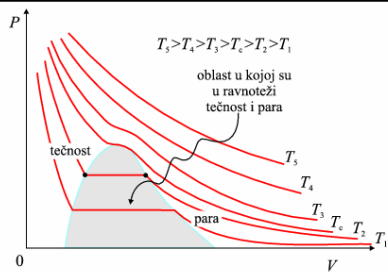
---

---

---

---

---



- постоји тзв. критична тачка – одговара јој критична температура изнад које дата супстанца не може да постоји у течно 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?)
  - нема површински напон
  - неће остати у отвореном суду већ ће излазити из њега!
  - Пример – угљен диоксид не може да се кондензује ако је на температури већој од 31,0°C
  - Критични притисак – минималан притисак потребан да течност постоји на критичној температури

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Supstance	krit. temp. (K)	krit. temp. (°C)	krit. prit. (N/m <sup>2</sup> )	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

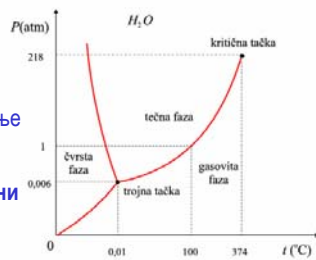
Tabela 7.2: Kritične temperature i pritisci

- Критична температура за кисеоник је -118,4°C па га је немогуће превести у течно стање изнад те температуре.

31

## Фазни дијаграм

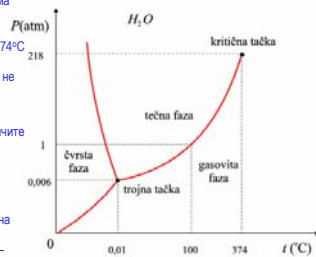
- пратили смо зависности  $V$  од  $t$  и  $P$  од  $V$
- зависност  $P$  од  $T(t)$  омогућује ново сагледавање процеса фазних трансформација
- РТ дијаграми се зову **фазни дијаграми** (постоје добро дефинисане области у којима је супстанца у различитим фазама)



32

## Фазни дијаграм за воду

- ако знамо  $P$  и  $T$ , знаћемо у којој фази је вода
- пуне линије између фаза – у таквим стањима су две фазе у равнотежи и одговарају ситуацијама када се врше фазне трансформације
- на 1 атм тачка кључања је на 100°C
- температура кључања расте равномерно до 374°C на притиску од 218 атм
- крива има завршетак у критичној тачки – вода не може да постоји као течност на вишим температурама без обзира на притисак
- крива између области течно/чврсто даје температуре топљења/очвршћавања за различите притиске
- на 1 атм је тачка топљења 0°C
- за дату температуру можемо да променом притиска преводимо воду из течног у чврсто стање (топљење снега под притиском)
- на нижим притисцима вода не постоји као течна (испод 0,006 атм)
- директан прелаз из чврстог стања у гасовито – **сублимација**
- све криве се срећу у тројној тачки. Она је за воду на 273,16K

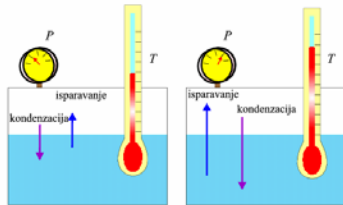
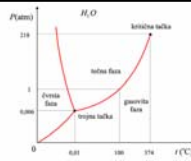


Поделе на осаму нису линеарне!!!

33

## 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 egzистирају 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



Slika 7.12: Ravnoteža između tečnosti i gasa na dve različite temperature klučanja. Veće strelice pokazuju da je isparavanje i kondenzovanje intenzivnije.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 закон парцијалних притисака**

35

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 засићене паре па "нема места" за нове молекуле паре у ваздуху
- релативна влажност

$$W = \frac{p}{p_s} \times 100.$$

36

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

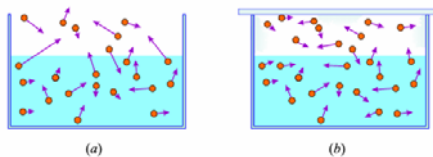
---

$t(^{\circ}\text{C})$	$P(\text{N/m}^2)$	$\rho_z(\text{g/m}^3)$	$t(^{\circ}\text{C})$	$P(\text{N/m}^2)$	$\rho_z(\text{g/m}^3)$
-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

37

## Влажност, испаравање и кључање

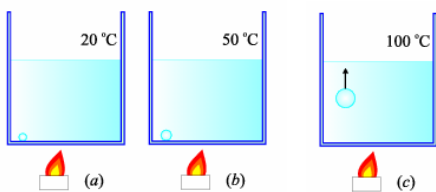


Slika 7.13: (a) U skladu sa raspodelom molekula po brzinama, neki će imati dovoljnu energiju da raskinu međumolekularne veze u tečnosti i predju u gas čak i na temperaturama ispod tačke ključanja (b) Ako je posuda zatvorena, isparavanje će se nastaviti sve dok količina kondenzovane tečnosti ne postane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

38

## Влажност, испаравање и кључање

- Вода на свакој темп. садржи мехуриће ваздуха.
- На  $20^{\circ}\text{C}$  се у таквом мех. налази око 2,30% водене паре притиска 1 атм.
- На  $100^{\circ}\text{C}$  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.



39

## 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
- топлота – у вези са хаотичним кретањем молекула
- **топлота је енергија која се преноси само услед разлике у температури.**
- Изражава се у џулима- раније у калоријама
- 1 калорија (cal) – топлота потребна да се температура 1 г воде промени за 1°C. Мала вредност па се користи kcal=1000 cal
- 1,000 kcal = 4186 J

40

---

---

---

---

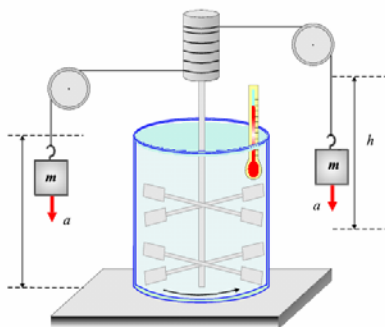
---

---

---

---

## Топлота и њен механички еквивалент



Slika 7.15: Skica jednog od Džulovih eksperimenata.

41

---

---

---

---

---

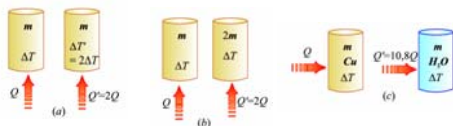
---

---

---

## Промена температуре и специфична топлота

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



$$Q = mc\Delta T.$$

42

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

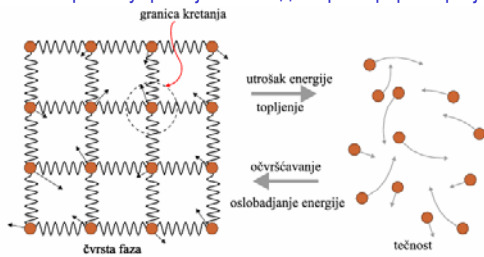
---

---

---

## Фазне трансформације и латентна топлота топљења/очвршћавања

- за промену фазе је неопходан трансфер енергије



Slika 7.17: Topljenje i očvršćavanje.

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

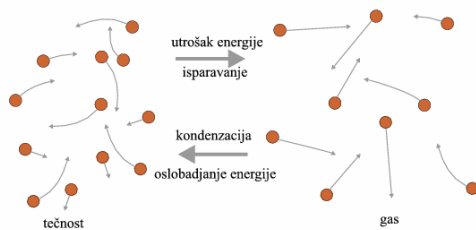
---

---

---

## Фазне трансформације и латентна топлота испаравања/кондензације

- за промену фазе је неопходан трансфер енергије



Slika 7.18: Isparavanje i kondenzacija.

$$Q = mL_i, \quad (\text{isparavanje-kondenzacija}), \quad 45$$

---

---

---

---

---

---

---

---

---

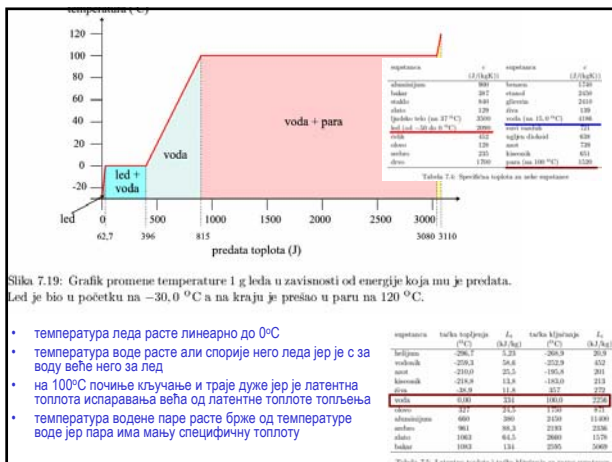
---

---

---

supstanca	тачка топљенја (°C)	$L_t$ (kJ/kg)	тачка кључања (°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
<b>voda</b>	<b>0,00</b>	<b>334</b>	<b>100,0</b>	<b>2256</b>
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 klučanja za razne supstance.



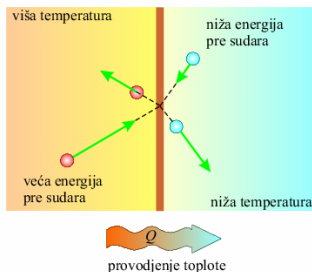
## Преношење топлоте

- пренос енергије са тела на тело услед разлике у температурама
- три начина
  - кондукција – провођење –
    - 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



## Провођење

- хоџамо боси по тепиху па по плочицама у истој соби – осећај се разликује - зашто?!
- механизам провођења – судар молекула тела различитих температура



49

---

---

---

---

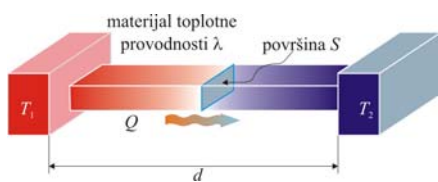
---

---

---

---

## Провођење – брзина преношења топлоте



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

50

---

---

---

---

---

---

---

---

## Провођење

supstanca	$\lambda$ (J/(smK))	supstanca	$\lambda$ (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

---

---

---

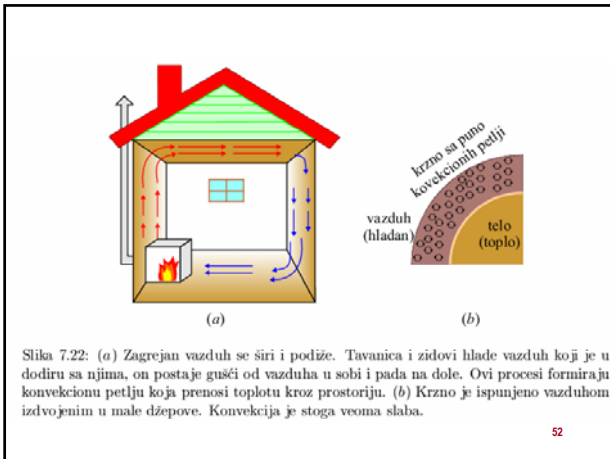
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Зрачење

- три фазе –
  - претварање дела унутрашње енергије тела у зрачење
  - простирање ЕМ 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

53

---

---

---

---

---

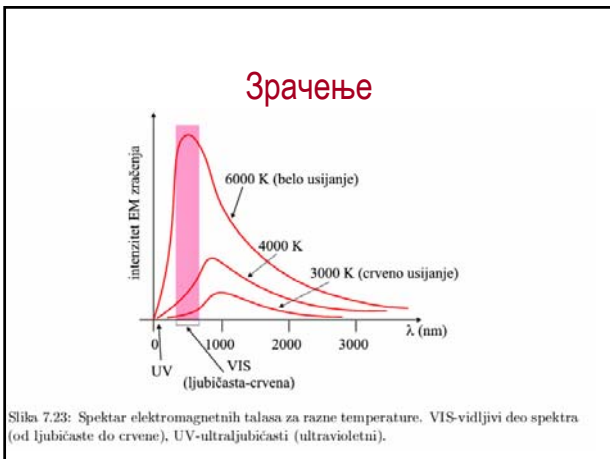
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

55

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

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

56

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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**

57

---

---

---

---

---

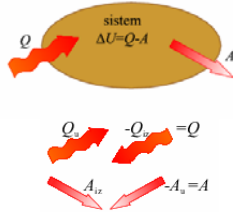
---

---

---

## 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



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

58

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

59

---

---

---

---

---

---

---

---

## Унутрашња енергија

- Унутрашња енергије – 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 а не и од еволуције система између њих.

$$\Delta U = Q - A$$

60

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 насlage



61

---

---

---

---

---

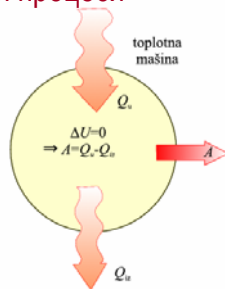
---

---

---

## 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.

---

---

---

---

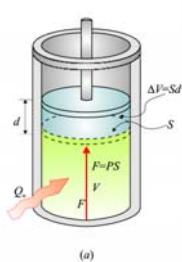
---

---

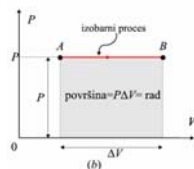
---

---

## PV дијаграм и његова веза са радом



$$A = P \Delta V.$$



63

---

---

---

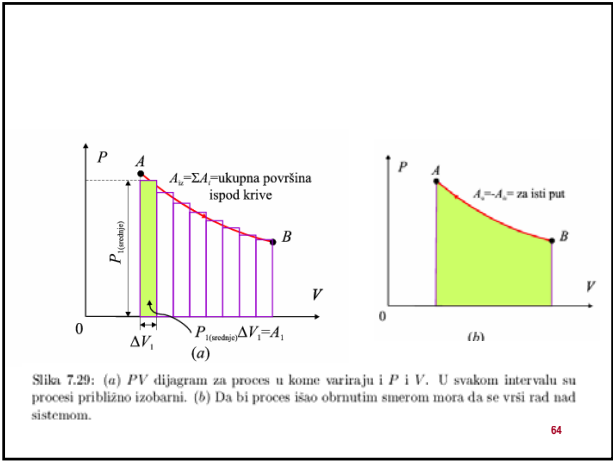
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

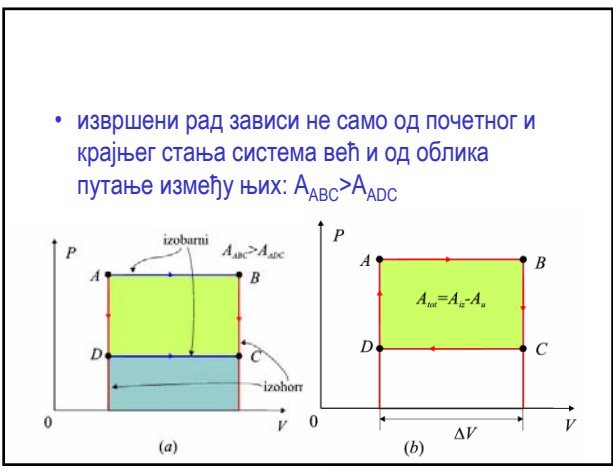
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

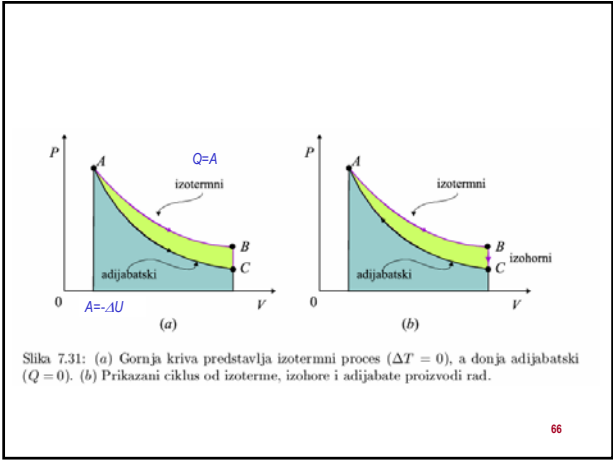
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

67

---

---

---

---

---

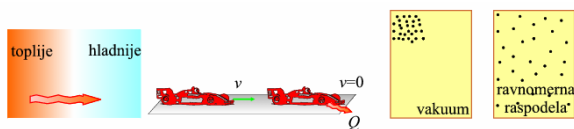
---

---

---

## 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.

---

---

---

---

---

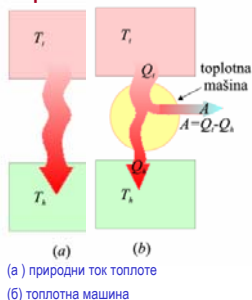
---

---

---

## 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  $A=Q_1$
- то значи да треба да буде  $Q_2=0$
- то није могуће
- 2. Не постоји систем који би могао да апсорбује топлоту из резервара топлоте и у потпуности је претвори у рад у кружном процесу у којем се систем враћа у почетно стање



69

---

---

---

---

---

---

---

---

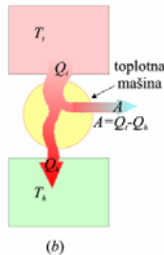
## Други закон термодинамике. Топлотне машине и њихова ефикасност

- 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



70

---

---

---

---

---

---

---

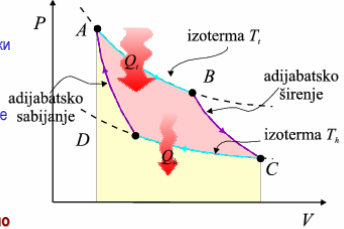
---

---

---

## Карноова идеална топлотна машина

- 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, ће имати исти к.к.д. као Карноова
- показао је да је  $Q_h/Q_t = T_h/T_t$



Slika 7.34: Карноов циклус у  $PV$  дијаграму.

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

Тек на  $T=0K$  би к.к.д. био једнак јединици!

---

---

---

---

---

---

---

---

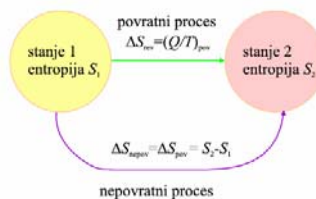
---

---

## Ентропија и други закон термодинамике.

- Карноов циклус-повратни процеси за које важи  $Q_h/Q_t = T_h/T_t$ ,
- односно  $Q_h/T_h = Q_t/T_t$
- 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  $\Delta S_t = -Q_t/T_t$ ,
- хладнији резервоар – предаје му се топлота па му ентропија порасте за  $\Delta S_h = +Q_h/T_h$ ,
- како за Карноову машину важи  $Q_h/Q_t = T_h/T_t$
- укупна промена ентропије је једнака нули

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

$$\Delta S = -\frac{Q_t}{T_t} + \frac{Q_h}{T_h} = 0.$$

- промена ентропије при било ком повратном процесу је једнака нули
- 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

---

---

---

---

---

---

---

---