

ФИЗИКА

Понедељак, 8. децембар 2008

- Термодинамика
- Ентропија
- Промена агрегатних стања
- Преношење топлоте

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

1

Термодинамика

- Део физике који проучава појаве везане за претварање топлотне у друге врсте енергије (механичку, електричну, хемијску, ...) и обрнуто.
- Од великог практичног значаја су процеси приликом којих се топлота претвара у рад.

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

2

Термодинамички систем

□ Термодинамички систем

Термодинамички систем је скуп објеката/тела који се могу разматрати као целина, и који имају способност да размењују енергију са околином. Околина – други системи са којима посматрани систем може да интерагује. Процеси у којима се мења стање (P, V, T, ρ) термодинамичког система се називају термодинамичким процесима (реверзибилни и иреверзибилни).

□ (Пред)знак топлоте и рада у термодинамици

- Q A
- Q је + ако се топлота предаје систему
 - Q је - ако систем губи топлоту
 - A је + ако систем врши рад.
 - A је - ако се рад врши над системом.

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

3

Температура

- Температура је физичка величина која одређује степен загрејаности тела (има везе са средњом кинетичком енергијом молекула)
- Такође одређује да ли је неко тело у термалној равнотежи са другим телима / околином
- Два тела су у термалној равнотежи ако су на истој температури
- Инструмент за мерење температуре система је термометар. Он користи температурну зависност неке физичке величине, нпр. запремине, дужине, притиска, електричног отпора, боје, ...

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

4

Типови термометара

Термометар	Физичка карактеристика коју мери
• Идеалан гас	Притисак и запремина гаса
• Живин стуб	Ширење и сакупљање флуида
• Биметална трака	Разлика у ширењу два материјала
• Платински резистор	Електрични отпор
• Термопар (лаб.вежба)	Напон између различитих метала
• Оптички пирометар	Боја емитоване светлости
• Силиконска диода	Електрични отпор

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

5

Температурске скале

- Целзијусова скала:
Узето је да је
 $0^{\circ}\text{C} \Rightarrow$ тачка мржњења воде на притиску од 1 atm

 $100^{\circ}\text{C} \Rightarrow$ тачка кључања воде на притиску од 1 atm

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

6

Температурске скале

- Најнижа могућа температура:

0° Келвина

15-Дец-08

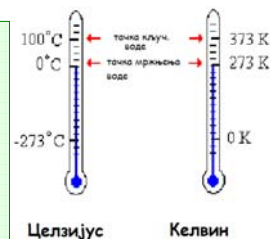


Физика, 2008
Љубиша Нешић

7

Келвинова температурска скала

- Има већи научни значај
- Минимална температура је дефинисана као 0 Келвина (-273,14 °C)
- Веза између Келвинове и Целзијусове скале
- $T_K = T_C + 273,14$



15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

8

Целзијусова и Фаренхајтова скала



15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

9

Рад идеалног гаса

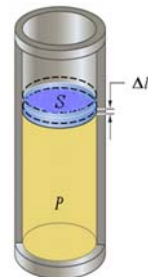
□ Рад (врши се приликом промене запремине)

Клип у цилиндру се помери за Δl услед ширења гаса на притиску P

Сила која делује на клип: $F = P \cdot S$

Елементарни извршени рад је:
 $\Delta A = F \cdot \Delta l = P \cdot S \cdot \Delta l = P \cdot \Delta V$

Укупан извршени рад $A = \sum \Delta A = \sum P \Delta V$



15-Дец-08

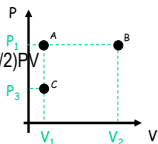


Физика, 2008
Љубиша Нешић

10

Термодинамички системи и P-V дијаграми

- Закон идеалног гасног стања: $PV = nRT$
- за n фиксирано (број молова), P и V одређују "стање" система
 - температура, $T = PV/nR$
 - (унутрашња) енергија, $U = (3/2)nRT = (3/2)PV$
- Примери:
 - која тачка има највишу T ?
 - која тачка има најнижу U ?
 - за прелазак из стања C у B , енергију треба (додати : одузети) систему?



15-Дец-08

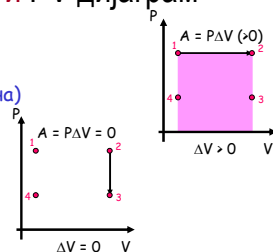


Физика, 2008
Љубиша Нешић

11

Рад гаса и PV дијаграм

- константан притисак
($A = \text{површина}$)
- константна запремина
- константна температура $\Delta U = 0$
- адијабатски процес $Q = 0$



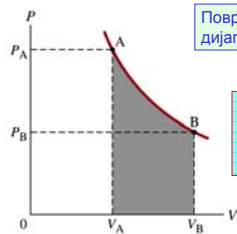
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

12

Рад и PV дијаграм



Површина испод криве у PV дијаграму. Како је одредити?

$$A = \sum P \Delta V = \int_{V_A}^{V_B} P dV$$

Рад се добија интеграцијом по запремини од почетне до крајње вредности запремине система

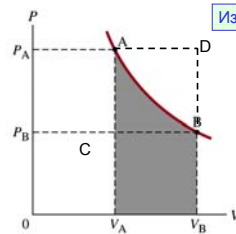
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

13

Рад и PV дијаграм



Извршени рад зависи од путање.

$$\begin{aligned} A \rightarrow C &: A = 0 \\ C \rightarrow B &: A = P_B(V_B - V_A) \\ A \rightarrow C \rightarrow B &: A = P_B(V_B - V_A) \\ A \rightarrow D &: A = P_A(V_B - V_A) \\ D \rightarrow B &: A = 0 \\ A \rightarrow D \rightarrow B &: A = P_A(V_B - V_A) \end{aligned}$$

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

14

Унутрашња енергија

- Енергија свих молекула
 - Хаотично кретање молекула
 - $\langle E_p \rangle = 3/2 k T$ (средња) за идеални гас
 - Ротациона и вибрациона енергија молекула и атома
 - Енергија интеракције молекула
- НЕ УКЉУЧУЈЕ
 - Макроскопско кретање објекта/тела
 - Потенцијалну енергију интеракције са другим објектима

Унутрашња енергија U система је једнака суми средње кинетичке енергије честица које чине систем и потенцијалне енергије интеракције свих честица.

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

15

Топлота

- Размењена енергија између тела услед разлике у температури
 - Note: Тела "не поседују" топлоту (већ енергију)
- Јединица: стара јединица је калорија (cal)
 - Количина топлоте потребна да се температура 1g воде промени за 1°C
 - 1 Калорија (Cal) = 1000 калорија = 4186 J
 - Јединица у СИ је Џул

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

16

Први закон термодинамике Очување енергије

Промена унутрашње енергије система (ΔU) једнака је разлици количине топлоте коју је систем разменио са околином (ΔQ) и рада који је извршио или је извршен над њим (ΔA).

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

Промена унутрашње енергије система Топлота коју је систем разменио Рад који је извршио систем

Еквивалентан начин записивања 1. закона :

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

Из експеримената следи да док Q и A зависе од путање процеса, ΔU не зависи.

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

17

Специфични топлотни капацитет

- Предата топлота повећава енергију система
- Ако систем не врши рад:
 - Топлота повећава унутрашњу енергију. $Q = \Delta U$
 - Топлота повећава температуру!
 - $Q \sim \Delta T$
 - Потребна топлота за повећање температуре зависи од количине материје у систему (m) и типа материје (c)
 - $Q = c m \Delta T$
- $Q = cm\Delta T$: "узрок" = "инерција" x "ефекат" (слично као $F=ma$)
 - узрок = Q
 - ефекат = ΔT
 - инерција = $c m$ (маса x специфични топлотни капацитет)

$$\Delta T = Q/cm \text{ (личи на } a = F/m)$$

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

18



Пример



- После напорних активности, попили сте литар веома хладне воде (0 °C). Колико Калорија ће потрошити ваше тело да загреје воду до температуре тела од 36 °C?
- 1) 36 2) 360 3) 3,600 4) 36,000

$$1 \text{ l} = 1000 \text{ g } H_2O$$

$$1000 \text{ g} \times 1 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)} \times (36 ^\circ\text{C}) = 36000 \text{ cal}$$

$$36000 \text{ cal} = 36 \text{ Cal}$$

15-Дец-08

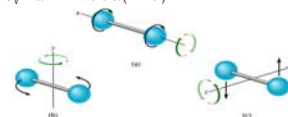


Физика, 2008
Љубиша Нешић

19

Специфични топлотни капацитети идеалног гаса

- Моноатомски гас (један атом)
 - Поседује само транслациону кинетичку енергију
 - При константној запремини, рад је = 0
 - $Q = \Delta E_{\text{tr}} = 3/2 nR\Delta T$
 - $C_V = 3/2 R = 12.5 \text{ J/(K mol)}$, (јер је $Q = c m \Delta T$)
- Двоатомни гас (два атома)
 - Може и да ротира
 - $C_V = 5/2 R = 20.8 \text{ J/(K mol)}$



Gas	C_V (J/K mol)
Моноатомски	
He	12.5
Ne	12.7
Ar	12.5
Двоатомски	
H ₂	20.4
N ₂	20.8
O ₂	21.0
Вишеатомски	
CO ₂	28.2
N ₂ O	28.4

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

20

Врсте термодинамичких процеса

□ Адијабатски процес

Нема трансфера топлоте између система и околине.

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

□ Изобарни процес

Процес који се одвија при константном притиску.

$$A = P(V_2 - V_1), P = \text{constant}$$

□ Изотермни процес

Одвија се на константној температури.

Размена топлоте мора бити довољно спора да би се у систему одржавала термална равнотежа.

$$T = \text{const}$$

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

21

Врсте термодинамичких процеса

□ Изохорни процес

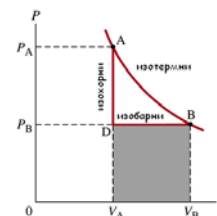
Процес који се одвија при константној запремини.

$$A = 0$$

$$A_{A \rightarrow D \rightarrow B} < A_{A \rightarrow B}$$

Мања је површина!!!

Рад гаса зависи од путање процеса у PV простору!



15-Дец-08

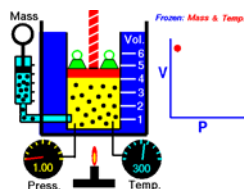


Физика, 2008
Љубиша Нешић

22

Бојл-Мариотов закон – изотермни процеси

- Гас у неком суду (дефинисана количина гаса)
- Температура константна
- Притисак је обрнуто пропорционалан запремини гаса (на константној температури)
- $PV = \text{const}$
- Ако се P дупло повећа, V смањи на половину уколико је температура константна
- $P_1 V_1 = P_2 V_2$



15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

23

Рад при изотермном и адијабатском процесу

$$PV = \text{const}$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$PV^\kappa = \text{const}, \quad \kappa = C_P / C_V$$

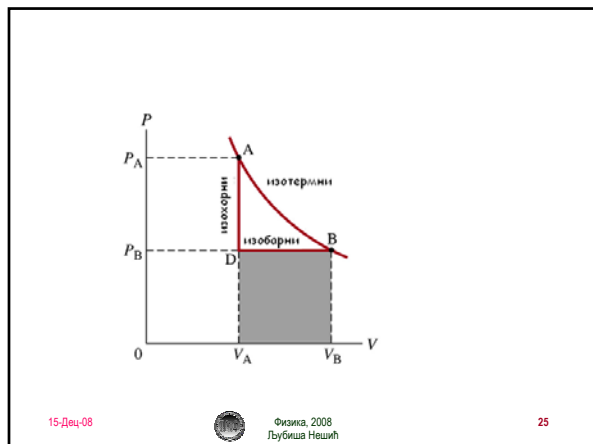
$$A = \frac{m}{M} \frac{RT}{\kappa - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa - 1} \right]$$

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

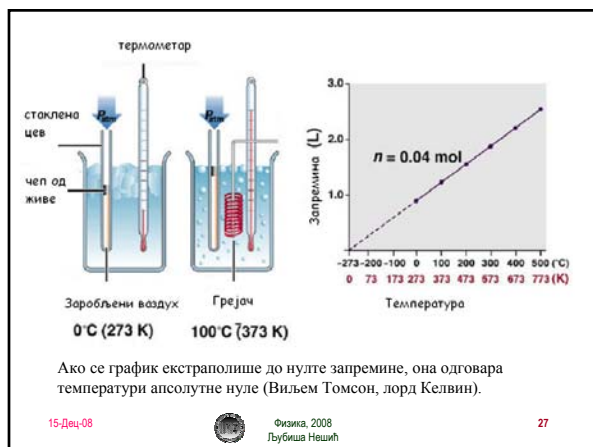
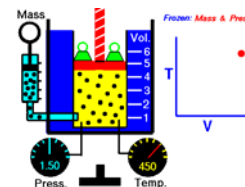
24



Шарлов закон – изобарни процеси

- Жак Шарл је открио да је запремина гаса, при константном притиску, пропорционална апсолутној температури.

$$V = \text{constant} \times T, \quad \frac{V}{T} = \text{constant}$$



Геј-Лисаков закон-изохорни процеси

- За дату количину гаса
- Запремина константна
- Притисак је директно пропорционалан температури
- $P/T = \text{constant}$
- $P_1/T_1 = P_2/T_2$

Сви се могу добити из једначине
идеалног гасног стања

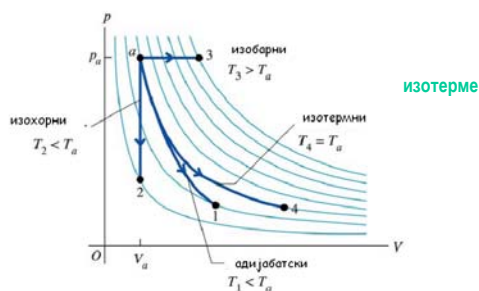
$$PV = NkT$$

15-Дец-08

Физика, 2008
Љубиша Нешић

28

Врсте термодинамичких процеса



Други закон термодинамике

- Други закон термодинамике
 - Дефинише смер процеса
 - Омогућује мерење "квалитета" енергије
 - Дефинише границу перформанси машина
 - ...
 - Дефинише услове за равнотежу
 - ...

15-Дец-08

Физика, 2008
Љубиша Нешић

30

Други закон термодинамике

- Смер процеса:



- 2. закон одређује вероватноћу процеса

15-Дец-08



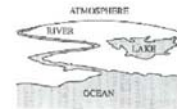
Физика, 2008
Љубиша Нешић

31

Резервоари топлоте - термостати

- Дефиниција:

“велика” тела која могу или да апсорбују топлоту или да служе као извор топлоте без да се на њима деси “приметна” промена температуре нпр. океани, језера, атмосфера, ваздух у соби, пећ за топљење, ...



15-Дец-08

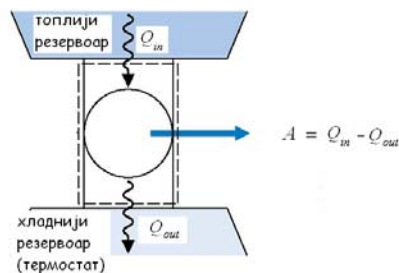


Физика, 2008
Љубиша Нешић

32

Топлотне машине

У раду апсорбују и емитију топлоту



15-Дец-08

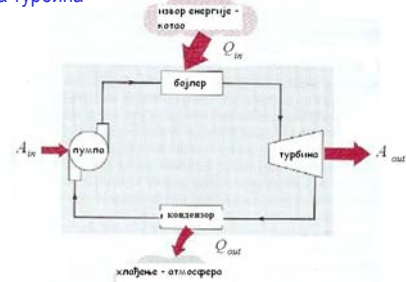


Физика, 2008
Љубиша Нешић

33

Пример топлотне машине

Парна турбина



15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

34

Термална ефикасност – коефицијент корисног дејства

Уопштено: однос жељене величине на излазу процеса и улазне величине

За топлотне машине: однос корисног рада и уложене количине топлоте

$$\eta = \frac{A}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

15-Дец-08



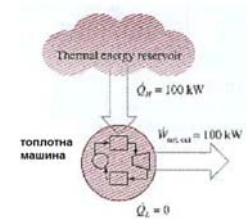
Физика, 2008
Љубиша Нешић

35

Други закон термодинамике

- Келвин-Планк:

Немогућ је термодинамички процес код којег би се целокупна уложена топлота претворила у рад (услед трансфера топлоте са само једног термостата – неопходно је да постоји и загревање и хлађење топлотне машине)



немогућа топлотна машина

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

36

Други закон термодинамике - тумачење

- Просечна кинетичка и потенцијална енергија (последича интеракције између молекула) су асоциране хаотичном кретању и чине унутрашњу енергију
- Када тело клизи по површини пре или касније долази у стање мировања услед трења између њега и подлоге. На тај начин је "уређено" кретање тела прешло у хаотично кретање молекула у телу и подлози по којој се тело кретало.
- Како је немогуће контролисати – уредити кретање појединачних молекула, немогуће је "вратити" хаотично кретање у уређено кретање тела по подлози

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

37

Други закон термодинамике - тумачење

- Прелазак рада у топлоту, (при трењу или протоку вискозног флуида) и проток топлоте са топлијих тела на хладнија су неповратни процеси
- 2. закон каже да такви процеси не могу у глобалу да промене смер – то је могуће само у делу система или за кратке временске интервале
- Пример: гасови се увек спонтано шире из области у којој је већи притисак (концентрација) у област у којој је нижи притисак (концентрација)

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

38

Неповратни/иреверз. процеси

- Сви реални процеси су неповратни
- разлици
 - а) трење:
 - * трење изазива загревање околине
 - * та изгубљена енергија се не може даље користити за обрнути смер процеса
 - б) преношење топлоте
 - * не може да иде обрнутим смером од спонтаног без "топлотне" пумпе
 - * она ради нпр на струју, што такође загрева околину

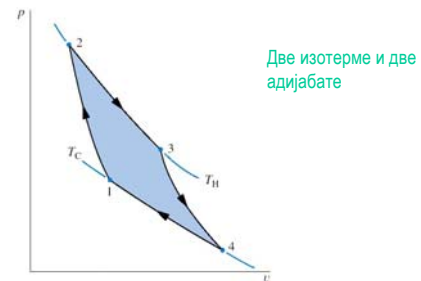
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

39

Карноов циклус



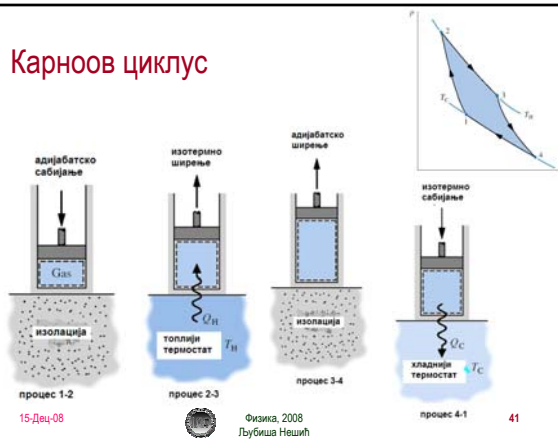
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

40

Карноов циклус



15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

41

Коефицијент корисног дејства

$$\eta_{rev} = 1 - \left(\frac{Q_{out}}{Q_{in}} \right)_{rev} \quad \eta_{rev} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

- Машина са максималним коефицијентом корисног дејства – идеална машина
- 2. Принцип – ако би ова машина имала ККД=1, то значи да би хладњак био на апсолутној нули!

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

42

Ентропија (S)

- Мера неуређености
- Карактеристика система (функција стања) (као P, V, T, U)
 - Повезана је са бројем различитих "стања" система
- Примери пораста ентропије:
 - Топљење леда
 - Гас који се шири у вакуум

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

43

Други закон и ентропија

- Промена ентропије "систем+околина" ≥ 0
 - промена ентропије никада није < 0 !
 - За реверзибилне процесе, промена је $= 0$
 - За иреверзибилне > 0
 - уређеност/ред прелази у неуређеност/неред.
- Последице
 - Сви реални процеси у природи су иреверзибилни $\rightarrow$ сви процеси у затвореном систему доводе до пораста ентропије а она је максимална у стању **термодинамичке равнотеже**.
 - "Неуређенија" стања не могу спонтанно да се трансформишу у "уређенија" стања.
- Тврђење да је $\Delta S \geq 0$ је еквивалентно другом закону термодинамике

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

44

Ентропија

□ Ентропија и "неред"

Ентропија је квантитативна мера неуређености система

1. Адитивна је величина $S_1 + S_2 = S(1+2)$
2. Не мења се код система који је подвргнут Карноовом циклусу. Инфинитезимална промена ентропије dS у току реверзибилног процеса на апсолутној температури T је:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad \left(\frac{J}{K} \right)$$

Ако је укупна количина топлоте која је додата систему у току реверзибилног **изотермног** процеса Q , укупна промена ентропије је:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q}{T}$$

- Већа температура означава већу хаотичност у кретању
- Додавање топлоте Q изазива пораст у хаотичности кретања

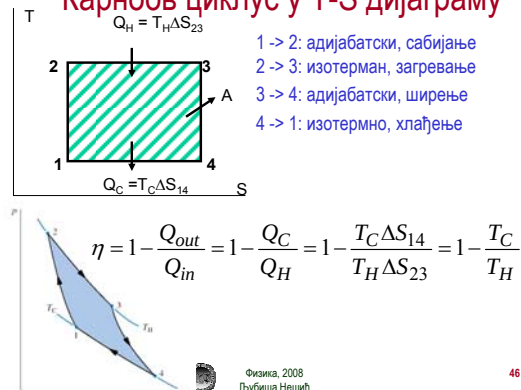
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

45

Карноов циклус у T-S дијаграму



Физика, 2008
Љубиша Нешић

46

Борба са термалном равнотежом

- Ако замислимо топлотно изолован суд са ваздухом који у једном делу суда има већу температуру. Јасно је да ће пре или касније у суду да се постигне термална равнотежа. Тај процес је иреверзибилан (иде са порастом ентропије)!!!
- Поставља се питање да ли можемо нашу планету, соларни систем или целу Васиону да разматрамо као изолован систем?
- Одговор је НЕ, јер гравитација (која управља глобалном еволуцијом, (описује се општом теоријом релативности) не дозвољава то – систем којим управља гравитација не може бити стационаран те је тако овај проблем отклоњен.

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

47

Термална смрт Вационе

- Сви (спонтани) термодинамички процеси у Вациони су усмерени ка термализацији на једну изотерму са максималном ентропијом.
 - 1) топлотна енергија није једини облик енергије у вациони
 - 2) ако је то чак и тачно – није битно, јер ће знатно пре тога у току своје еволуције Сунце прогутати Земљу...

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

48

Ентропија и статистика

- Ентропија је функција температуре и запремине система
- Њена веза са "неуређеношћу" може бити објашњена примером са судом који је подељен на два дела, при чему се у једном од њих налази N атома, а други је у почетку празан. Ако уклонимо препреку између делова суда, атоми гаса ће испунити оба дела.
- Не постоји ништа што спречава атоме да "пусте филм уназад" ($t = -t$) и врате се у део суда у коме су били на почетку, међутим вероватноћа да се такав догађај деси је изузетно мала (што је већа температура и запремина ова вероватноћа је мања).
- У том смислу се ентропија може дефинисати и као статистичка величина (L. Boltzmann) а вредност је иста као и када је дефинишемо термодинамички (R. Clausius).



15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

49

Статистички смисао ентропије

- Лудвиг Болцман $S = k_B \ln W$

макровеличина

Микровеличина-
термодинамичка
вероватноћа

за $W_2 > W_1$ је $S_2 > S_1$. У равнотежи је $W_{\max} \Rightarrow S_{\max}$ (највећа хаотичност молекула)



На апсолутној нули је систем најуређенији. Тада је $W_0 = 1$ ($T = 0K$) $\Rightarrow S_0 = 0$. Нернстова теорема (3. Закон термодинамике)

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

50

(a)

(b)

(c)

- један молекул се на само два начина може да распореди у два суда
- два молекула могу на 4 различита начина да се распореди у два суда (при томе је вероватније да буду одвојени)
- три молекула на 8 различитих начина могу да се распореди у три суда (већа је вероватноћа да буду одвојени него да буду сва три у једном суду)

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

51



15-Дец-08

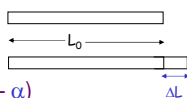


Физика, 2008
Љубиша Нешић

52

Ширење тела при загревању

- Када температура расте
 - Молекулима расте кинетичка енергија
 - крећу се брже, у просеку – више се удаљавају од равнотежних положаја у чвор решетке
 - Последица, тела се шире, издужују, ...
- Величина издужења зависи од ...
 - промене у температури, ΔT Темп: T
 - почетне дужине, L_0 Темп: $T + \Delta T$
 - Особина тела (коэффициента ширења- α)
 - $L_0 + \Delta L = L_0 + \alpha L_0 \Delta T$
 - $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ (линеарно ширење)
 - $\Delta V = \beta V_0 \Delta T$ (запреминско ширење)



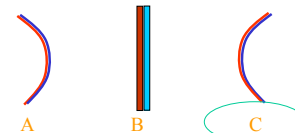
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

53

- Биметална трака је направљена од две врсте метала, нпр од алуминијума $\alpha = 16 \times 10^{-6} / K$ са леве стране, и од челика $\alpha = 12 \times 10^{-6} / K$ са десне. На собној температури дужине обе траке су једнаке. Ако се повећа температура како ће изгледати биметална трака?



Трака од Al је веће дужине јер јој је коэффициент ширења већи

15-Дец-08

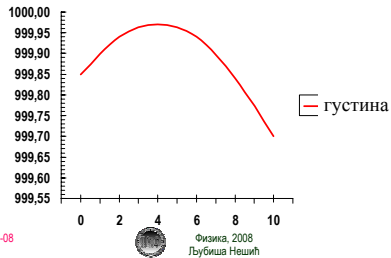


Физика, 2008
Љубиша Нешић

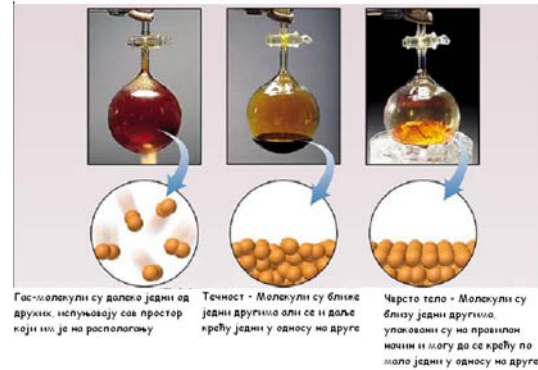
54

Ширење воде

- Вода има максималну густину на 4 степена $^{\circ}\text{C}$. Зато лед плива по води и не залеђује се сва вода у рекама, језерима, океанима!

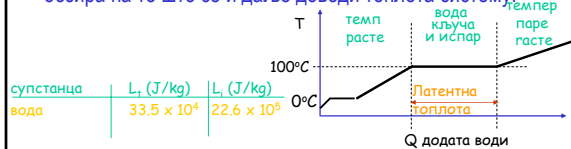


Три фазе материје и међутрансформације



Латентна топлота

- Ако стално доводимо топлоту води, њена температура расте а затим долази да ситуације када остаје константном без обзира на то што се и даље доводи топлота систему!



- Латентна топлота L [J/kg] је топлота која се мора додати (или одузети) од јединице масе система да би, на температури промене фазе дошло до њене промене (нпр течност у гас на температури кључања/кондензовања).



График промене фазе



- испаривање - прелазак молекула (или атома) са површине течности у гасну фазу. То могу да ураде само најбржи молекули.
- кључање - "запреминско" испаравање - стање у коме су сви молекули (или атоми) течности у стању да напусте течност.
- У току кључања, температура течности се не мења - сва енергија/топлота која се на тој температури преда течности се троши на напуштање течне фазе и одлазак у гасну.
- та топлота - по јединици масе - се назива латентна топлота испаравања.

Фазне трансформације

Материја мења своју фазу (гасна, течна, чврста) на одређеној температури.

Пример: Вода кључа на 100 °C при притиску од 1 atm:

Додавање топлоте се троши на кидање међумолекуларних веза и на формирање гасне фазе, али нема пораста температуре у току овог процеса.

Фазне трансформације:

Топљење: Чврсто у течну апсорб. топлоте

Очвршћавање: Течна у чврсту осл. топлоте

Испаравање: Течност у гас апсорб. топл.

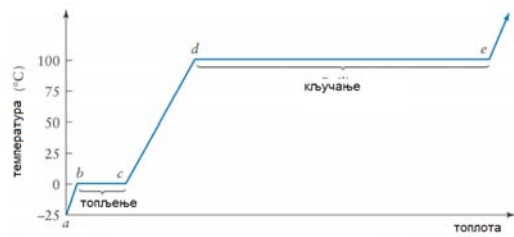
Кондензација: гас у течност осл. топлоте

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

61



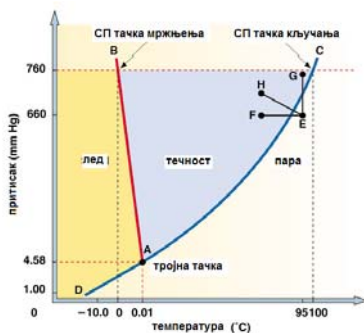
1. Прелазак течност-гас је драматичнији прелаз од преласка чврсто стање- течност, јер је латентна топлота испаравања већа од латентне топлоте топљења.
2. Латентне топлоте које се ослобађају су једнаке топлотама које се апсорбују у супротним процесима.
3. Сублимација - директно испаравање из чврсте фазе...

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

62



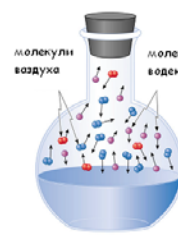
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

63

Притисак паре и тачка кључања



- Тачка кључања – температура на којој течност испарава по целој запремини.
- Молекули течности имају различите брзине (зависе од температуре). На свакој Т неки могу да имају довољно велику брзину да напусте течност и пређу у гасну фазу
- Течност испарава на свакој температури – молекули одлазе са **површине** течности у пару која се нагомилала у простору изнад течности и ствара притисак (паре).
- Један број тих молекула се враћа назад у течност. Са порастом притиска расте број таквих молекула. Када при загревању наступи равнотежа (исти број молекула течности одлази у пару и исти број молекула паре се враћа у течност, притисак паре остаје константан – напон засићене паре)
- Када напон паре достигне спољни притисак почиње кључање – испаравање по целој запремини.

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

64

Влажност (ваздуха) (количина воде/водене паре у ваздуху)

Типичне вредности:

0.001 kg/m³ (хладно, суво време)

до 0.03 kg/m³ (вруће, влажан дан)

Постоји засићење: на датој температури и притиску, влажност ваздуха не може да буде већа од **максималне**: вишак водених молекула, у зависности од конкретних услова се кондензује и формира маглу, росу, облаке, ...

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

65

Влажност

У отвореном простору вода испарава на свакој температури – атмосфера садржи увек мање или више водене паре.

Садржај влаге у ваздуху – битан за метеорологију, за живот организама, ...

Ваздух прима водену пару све док не постане засићен њоме, док се не успостави напон водене паре за дату температуру (табличне вредности).

Ако ваздух садржи неку количину водене паре и није засићен њоме, **снижавање температуре** доводи до услова када ће ваздух постати засићен истом количином водене пара.

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

66

Влажност

Даље расхлађивање доводи до кондензовања паре јер ваздух на нижој температури не може да прими толику количину водене паре. Ствара се магла, роса,... Та температура се зове **тачка росе**.

У атмосфери је ово чест случај, последица је појава кише, магле, росе, и сл.

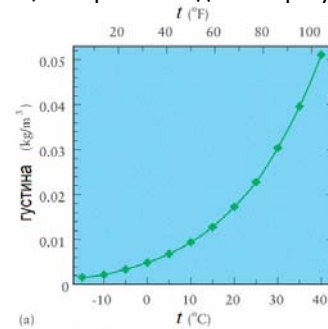
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

67

Зависност максималне количине водене паре у јединици запремине од температуре на 1 атм.



15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

68

Влажност

Количина водене паре коју садржи 1м³ ваздуха назива се **апсолутна влажност ваздуха**.

За појаве у атмосфери и за живот организама је битнија **релативна влажност** - однос између апсолутне влажности - m и максималне количине водене паре коју ваздух може да прими на датој температури - M (помножена са 100%).

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

69

Шта значи када се каже да је влажност 80%?

Релативна влажност

$$= 100\% \times (m)/(M)$$

Нпр. ако је температура 20°C, максимална количина водене паре ће бити око 0.02 kg/m³.

Тада је (апсолутна) влажност
 $= (80\%/100\%) \times 0.02 = 0.016 \text{ kg/m}^3$

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

70



- Брзина испаравања воде у отвореном простору зависи од релативне влажности ваздуха који се око ње налази.
- у потпуно сувом ваздуху (0%) брзина испаравања је највећа
- уколико је ваздух ближе свом засићењу, брзина испаравања опада и престаје када је ваздух засићен
- када је релат. вл. мала испаравање из биљака и животиња је интензивније а влажни предмети се брзо суше – ваздух је тада сув
- на влажном ваздуху испаравање је веома споро, рел. вл. је близу 100%, па мали пад температуре доводи до засићења и кондензације водене паре

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

71

- са неком апс. вл. вадух у хладним данима може бити влажан и имати велику рел. вл.
- при истој апс. вл. у топлим данима је сув
- рел. вл. је дакле има велики значај за појаве у атмосфери

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

72

Шта се дешава када је релативна влажност 100% ?



Тачка росе – температура на којој је ваздух потпуно засићен воденом паром.

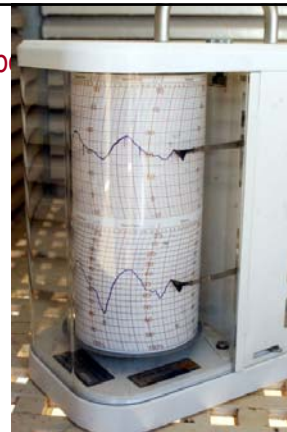
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

73

хигрометр за мерење



15-Дец-08

74

Преношење топлоте

- Провођење - контакт
- Конвекција/струјање - кретање флуида
- Зрачење/радијација – без контакта

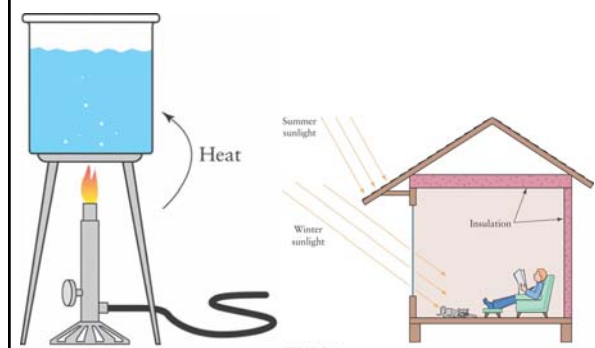
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

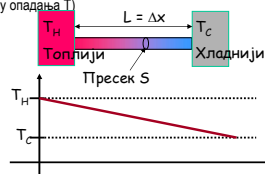
75

У пракси је најчешћа комбинација свих механизма преноса топлоте



Преношење топлоте - провођење

- "Топлији" молекули имају већу кинетичку енергију-брзину од "хладнијих" молекула
- Молекули веће брзине – са леве стране сударају се са спорим молекулима са десне стране (средина мирује)
 - енергија се преноси на спорје молекуле
 - топлота се преноси са топлијег дела на хладнији
- I = брзина преноса топлоте (снага) = Q/t [J/s]
 - $I = -\lambda \cdot S \cdot (T_H - T_C)/L$ (топлота се преноси у смеру опадања T)
 - $Q/t = -\lambda \cdot S \cdot \Delta T / \Delta x$
 - λ = "коэффициент топлотне проводности"
 - јединица: J/(smK)
 - Добри топлотни проводници... велика λ .
 - Добри топлотни изолатори ... мала λ .
 - $\Delta T / \Delta x$ – градијент температуре
 - $R = L/(S\lambda)$ = топлотни отпор



15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

77

Пренос топлоте, струјањем

- Струјање – конвекција (течности и гасови)
- Нпр. загревамо ваздух у нижим слојевима
- Шири се ... густина постаје мања
- На његово место долази (хладнији) гушћи ваздух а он се као ређи (топлији) издиже увис (Архимед).
- Процес се наставља што доводи до циркулације ваздуха
- Практични аспекти
 - Грејалице се постављају ближе поду
 - Грејачи (у бојлеру) греју воду одоздо



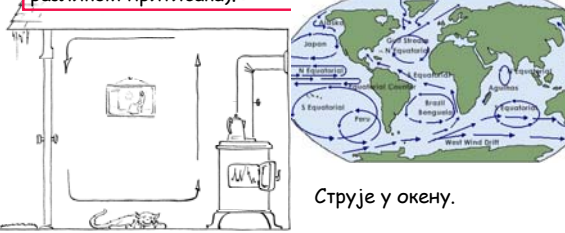
15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

78

Струјање - конвекција:
Трансфер топлоте услед мешања гасова или течности услед потиска (изазвана разликом притисака).



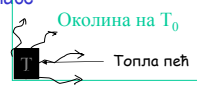
Струје у окну.

Грејање или хлађење собе.

15-Дец-08 Физика, 2008 Љубиша Нешић 79

Преношење топлоте: зрачење (радијација)

- Сва око нас зрачи електромагнетске таласе
 - $I_{emit} = Q/t = e\sigma T^4$
 - Емитована топлотна Е у јединици времена
 - e = емисивност (између 0 и 1)
 - Апсолутно црно тело има $e=1$
 - T је температура тела у Келвинима
 - σ = Штефан-Болцманова константа = $5.67 \times 10^{-8} \text{ J/(s m}^2\text{K}^4)$
 - Провођење и струјање – при непосредном додиру тела. Зрачењем нема потребе за додиром а чак није потребан ни медијум. Топлотно зрачење. $7,5 \cdot 10^{-4} \text{ mm} \leq \lambda \leq 3,4 \cdot 10^{-1} \text{ mm}$
- Све око нас апсорбује енергију из околине
 - $I_{absorb} = e\sigma T_0^4$
 - T_0 је температура околине у Келвинима
 - Добри емитери (e је близу 1) су такође и добри апсорбери



Околина на T_0
Топла пећ

15-Дец-08 Физика, 2008 Љубиша Нешић 80

Преношење топлоте: зрачење

- Све око нас зрачи и апсорбује енергију
 - $I_{emit} = e\sigma T^4$
 - $I_{absorb} = e\sigma T_0^4$
 - $I_{rez} = I_{emit} - I_{absorb} = e\sigma(T^4 - T_0^4)$
- Ако је $T > T_0$, објекат се хлади
- За $T < T_0$, објекат се греје



Околина на T_0
Извор топлоте

15-Дец-08 Физика, 2008 Љубиша Нешић 81

Преношење топлоте: зрачење

- Укупна енергија која наиђе зрачењем на неко тело се: апсорбује, рефлектује или трансмитује (прође кроз средину)
 - $E_u = E_a + E_r + E_t \quad ; E_u$
 - $1 = A + R + T$
 - $A = E_a / E_u$ – коефицијент апсорпције, $R = E_r / E_u$ – коефицијент рефлексије, $T = E_t / E_u$ – коефицијент трансмисије
 - $A=1, R=T=0$, апсолутно црно тело (у потпуности апсорбује зрачење)
 - $A=0, R=1, T=0$, апсолутно бело тело (потпуно рефлектује зрачење)

15-Дец-08 Физика, 2008 Љубиша Нешић 82

- За апсолутно црно тело
 - $I_{emit} = \sigma T^4$
 - Количина емитоване енергије расте са температуром
 - У зрачењу имамо смешу електромагнетних таласа разних таласних дужина
 - Постоји нека таласна дужина око које се емитује највећи део енергије – Винов закон $\lambda_{max} T = b, b = 2,898 \times 10^{-3} \text{ K}\cdot\text{m}$.

15-Дец-08 Физика, 2008 Љубиша Нешић 83

“Радијациони баланс” (= const. Temp.)

Упадно зрачење = Инфрацрвено зрачење



У просеку: примљено = емитовано = $\approx 235 \text{ Ват по квадратном метру}$

Термални биланс Земље – без ефекта стаклене баште

- упадно зрачење
- R - полупречник Земље
- S - соларна константа
- A - алbedo Земље (око 30%)
- Земља се загрева и емитује топлоту као црно тело ефективне температуре T_e

$$Q_{up} = \pi R^2 S (1 - A)$$

$$\sigma T^4$$

$$Q_{em} = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$T_e = \left(\frac{S(1-A)}{4\sigma} \right)^{1/4} = 255 K$$

• -18 Целзијуса!!!

15-Дец-08



Физика, 2008
Љубиша Нешић

85