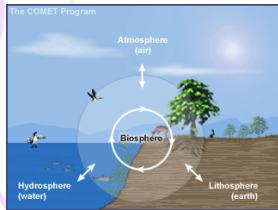


Хидросфера



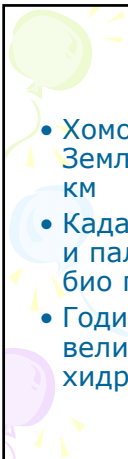
1

- Хидросфера – део Земље који садржи воду у било којој фази
 - Океани, мора, језера, баре, мочваре, влага у земљишту, подземне воде, пара у атмосфери, глечери, вода у живим организмима
 - Све где има молекула воде

2

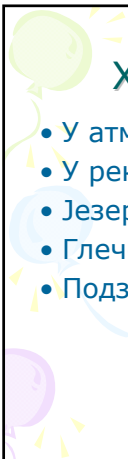
Elementi hidrosfere	zapremina vode [10 ³ km ³]	udeo u ukupnoj zapremini [%]
svetski okean	1 370 000	97,25
ledene kape i glečeri	29 000	2,05
podzemna voda	9 500	0,68
jezera	125	0,01
vлага u zemljištu	65	0,005
vodena para u atmosferi	13	0,001
reke	1,7	0,0001
voda u živim bićima	0,6	0,00004
ukupno	1 408 705,3	100

Tabela 3.1: Raspodela vode na Zemlji



- Хомогено распоређена сва вода на Земљи би била слој дебљине 2,8 км
- Када би се сва пара кондензовала и пала као киша водени талог би био пар цм
- Годишње падавине износе цео ред величине више!!! - > постоји хидролошки циклус

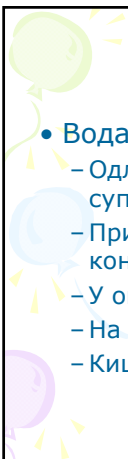
4



Хидролошки циклус

- У атмосфери, десетак дана
- У рекама, 16 дана
- Језера, 50-100 година
- Глечери, 20-100 година
- Подмене воде, 10^4 година

5



- Вода
 - Одличан растварач скоро свих супстанци
 - Приликом растварања мења се концентрација Н јона па и рН
 - У океанима рН=8,5
 - На копну рН=4-9
 - Кишница - кисела

6

Океани

- Покривају око 70,8% површине Земље
 - Пацифик, 30%
 - Атлантски, 20%
 - Индијски, 14%
 - Јужни (Антарктик), 4%
 - Северни ледени (Арктик), 3%
- Однос копно-океан
 - Север, 1:1,5
 - Југ, 1:4
 - Последица (због термалне инертности воде)
 - клима на јужној полулопти је умеренија

7

Океани

- Порекло воде у океанима?
 - Кондензовањем воде из атмосфере
 - Комете?
- Порекло растворених супстаници
 - Са копна
 - Разградња стена и земљишта
 - Концентрација расла са временом до неке равнотежне
 - Достигнута пре око 600 милиона година (на основу сличности фосила знамо да је тада)

8

Океани - салинитет

- Салинитете – концентрација растворених соли, око 3,5%
- само 6 елемената чини око 90% соли

Jon	udeo u ukupnom broju jona [%]	Jon	udeo u ukupnom broju jona [%]
hlor (Cl^-)	55	magnezijum (Mg^{+2})	3,7
azot (Na^+)	30,6	kalcijum (Ca^{+2})	1,18
sumpor (SO_4^{-2})	7,7	kalijum (K^+)	1,11

Tabela 3.2: Relativni odnos soli rastvorenih u morskoj vodi

9

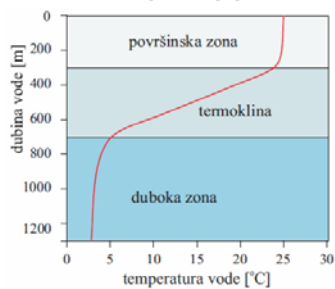
Океани

- Садрже и гасове
 - Азот, кисеони, угљен-диоксид, аргон, хелијум, неон
 - Највећи су извор угљен-диоксида

10

Океани - температура

- Највећа на екватору
- Са дужином опада али не све време на исти начин
- У површинској зони површинске струје мешају воду
- У дубокој зони температура је ок 2°C
- Између је термоклина где линеарно опада



Slika 3.2: Promena temperature morske vode sa dubinom

Океани - притисак

- Уколико је сматрамо нестишљивом, линеарно расте са дужином

$$P(z) = P_{atm} + \rho g z,$$

12

Морске струје



Slika 3.3: Najznačajnije morske struje

13

Морске струје

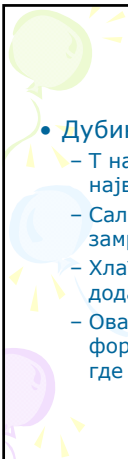
- Начини кретања воде у океанима
 - **Морске струје**
 - Таласи
 - Плима и осека
- Морске струје
 - Уређено, углавном хоризонтално, кретање морске воде

14

Морске струје

- Површинске
 - Деловањем ветра на површину воде
 - Допиру до 100 м дубине
 - Период "окретања" од неколико месеци до годину дана
- Дубинске
 - На дубинама већим од 100 м
 - Много су спорије од површинских
 - Узрок: мала разлика густине воде изазване разликама у температури и салинитету
 - Хладна вода понире а топлија се подиже
 - Сланија вода је гушћа од мање слане воде

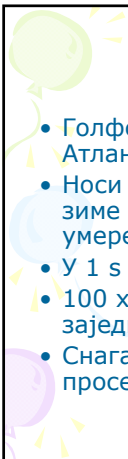
15



Морске струје

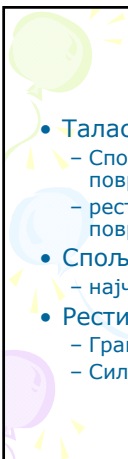
- Дубинске
 - Т најнижа близу полова – густина воде је највећа
 - Салинитет расте према половима – јер током замрзавања се те соли на "замрзавају"
 - Хлађење воде близу Гренланда и Исланда додатно повећава њену густину
 - Овако "густа" вода тоне и на већу добину и формира струју која се креће ка екватору где се греје

16



- Голфска струја – из Мексичког залива у Атлантик
- Носи велику количину топлоте па су зиме у западноевропским градова умереније
- У 1 с пренесе $1,5 \times 10^8 \text{ m}^3$
- 100 х више него све светске реке заједно
- Снага је 5 PW, премашује снагу 10^9 просечних нуклеарних електрана

17

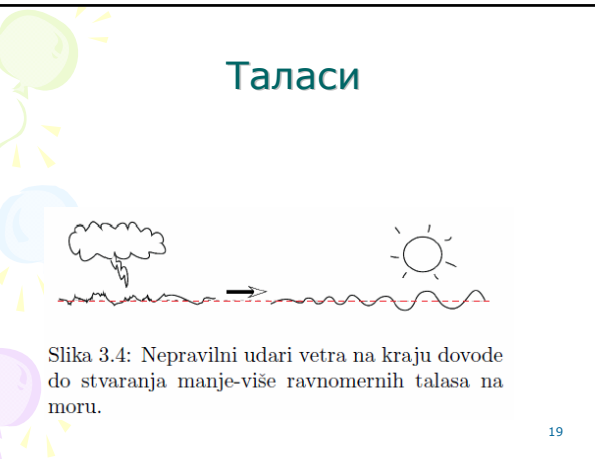


Таласи

- Таласи
 - Спољња сила изазове деформацију површине воде
 - реституциона сила враћа деформисану површину у претходно стање
- Спољња сила
 - најчешће ветар
- Реституциона
 - Гравитациона
 - Сила површинског напона

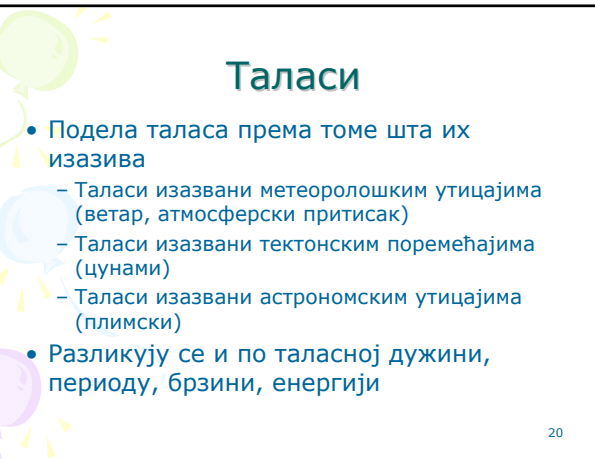
18

Таласи

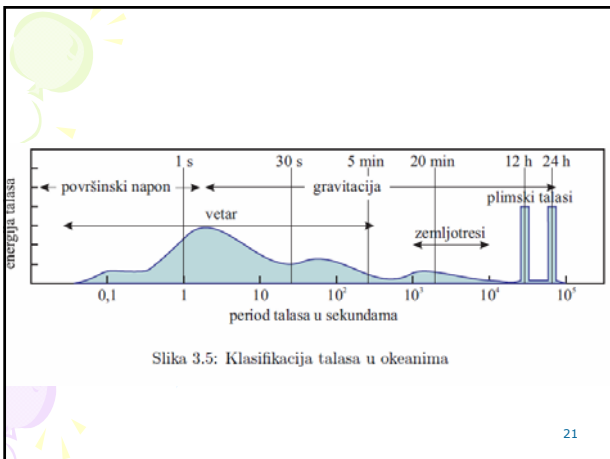


19

Таласи



20



21

Таласи

- Делићи воде врше у ствари кружно кретање

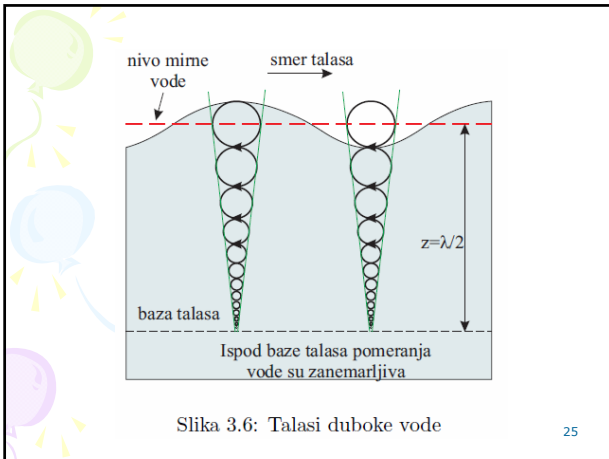
22

- Не преносе се честице већ енергија

23

Прогресивни таласи на ВОДИ

24



• Полупречник кружница опада са дубином

$$r = r_0 \exp\left(-\frac{2\pi z}{\lambda}\right),$$

26

Брзина таласа на води

- Гравитациони – релеституциона сила је гравитациона
 - g, ρ, λ
 - Димензиона анализа

$$u_g = A\rho^\alpha \lambda^\beta g^\gamma, \quad \frac{L}{T} = \frac{M^\alpha}{L^{3\alpha}} L^\beta \frac{L^\gamma}{T^{2\gamma}}$$

M: $0 = \alpha$, L: $1 = \beta + \gamma - 3\alpha$, T: $-1 = -2\gamma$.

$$u_g = A\sqrt{\lambda g}.$$

27

Брзина таласа на води, 25.3.2013.

- Капиларни – реституциона сила је сила површинског напона
– σ , ρ , λ

$$u_c = B\rho^\alpha\lambda^\beta\sigma^\gamma, \quad \alpha = \beta = -\gamma = -1/2$$

$$u_g = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}, \quad u_c = \sqrt{\frac{2\pi\sigma}{\lambda\rho}}$$

28

Карактеристике воде

- есенцијална за настанак живота на Земљи
- Живи свет је настао у океанима
- многа бића и данас могу да живе једино у води
- људско тело садржи око 70% воде
- битна је и за транспорт хемијских елемената у и из ћелија

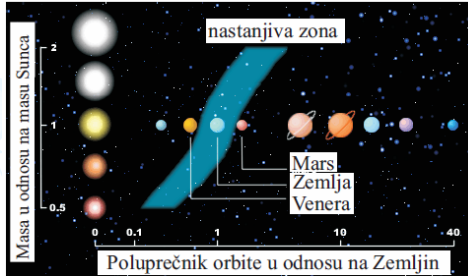
29

Карактеристике воде

- интервал у коме је течна – одређује “зону живота” (настањивости) у Сунчевом систему у коме може живот базиран на води да постоји
- Венера и Меркур су претопли, Јупитер и Сатурн су прехладни
- Густина воде је максимална на +4°C
- Лед је ређи од течне воде (има мању густину)
 - предност
 - вода у океанима се леди одозго на доле
 - недостатак
 - пуцање водоводних цеви на ниским температурама

30

Физичке карактеристике воде



Slika 3.7: Nastanjiva zona

31

Вода и нека друга једињења

jedinjenje	molekularna masa [g/mol]	tačka top- ljenja [°C]	tačka klju- čanja [°C]	opseg tempe- ratura [°C]
H ₂ O	18	0	100	100
H ₂ S	34	-85	-60	25
H ₂ Se	81	-66	-41	25
H ₂ Te	129,6	-49	-2	47
H ₂ Po	212	raspada se	raspada se	

Tabela 3.3: Neke karakteristike vode i drugih jedinjenja

32

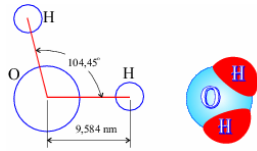
Карактеристике воде

- И тачка кључања и топљења воде се знатно разликују од одговарајућих тачака осталих супстанци
- **Обе су неочекивано високе**
- **распон температура у коме постоји течна вода је такође веома велики**
- то је последица одговарајућих веза водоника за кисеоник у води

33

Аномалија воде

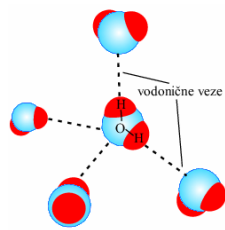
- Разлог што је густина леда мања од густине воде је у специфичним везама између молекула



Slika 3.3: Molekul vode.

34

- 4 водоничне везе одржавају молекуле у правилном геом. распореду – кристална решетка
- У течној води услед термалног кретања се везе раскидају и стварају
- Молекули се крећу па испуњавају и "шупљине" између молекула - зато је вода гушћа од леда



Slika 3.4: Vodonične veze u vodi.

35

Још неке особине воде

- Има највећу специфичну топлотну капацитивност међу течностима. Последице:
 - добар је резервоар топлоте
 - има велику топлотну инертност
 - океани у великој мери утичу на климу
- Има највећу латентну топлоту испаравања
 - Игра велику улогу у формирању облака и олуја
- Има највећи коефицијент топлотног провођења
 - Није добар топлотни изолатор – осећамо хладноћу док пливамо и хладно нам је у влажној одећи

36

Још неке особине воде

- Има и велику диелектричну константу – већу од скоро свих супстанци
 - Појављује се у Кулоновом закону. Велика константа – мања сила. Последица – соли које су дисоцирале у води теже да остану у том стању. Зато је вода добар и универзалан растварач.
- Коефицијент површинског напона је већи од свих течности сем живе.
 - Битно за задржавање воде у земљишту.
 - Зато су капи кише скоро сферног облика

37

Латентна топлота топљења

- Количина енергије која је потребна да јединица масе промени агрегатно стање од чврстог у течно – на температури топљења/очвршћавања.
- за воду износи 334 kJ/kg

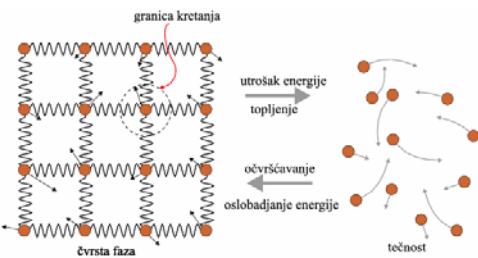
Латентна топлота испаравања

- Количина енергије потребна да јединица масе течности пређе у гасовито агрегатно стање – на температури кључања/кондензовања.
- За воду износи 2256 kJ/kg.

38

Фазне трансформације и латентна топлота топљења/очвршћавања

- за промену фазе је неопходан трансфер енергије



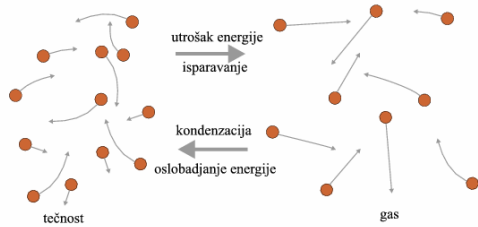
Slika 7.17: Topljenje i očvršćavanje.

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

39

Фазне трансформације и латентна топлота испаравања/кондензације

- за промену фазе је неопходан трансфер енергије



Slika 7.18: Isparavanje i kondenzacija.

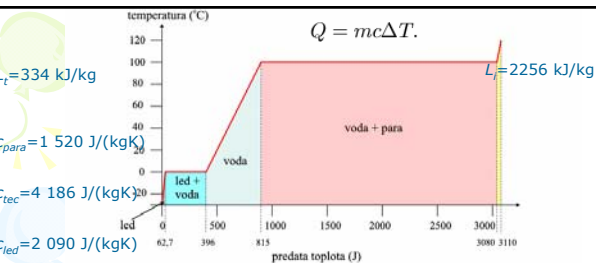
$$Q = mL_i, \quad (\text{isparavanje-kondenzacija}), \quad 40$$



supstanca	тачка топљења (°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
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 kључања za razne supstance.

41



Slika 7.19: Grafik promene temperature 1 g leda u zavisnosti od energije koja mu je predata. Led je bio u početku na $-30,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a na kraju je presao u paru na $120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- температура леда расте линеарно до 0°C
- температура воде расте али спорије него леда јер је c за воду веће него за лед
- на 100°C почиње кључање и траје дуже јер је латентна топлота испаравања већа од латентне топлоте топљења
- температура водене паре расте брже од температуре воде јер пара има мањи специфичну топлотну капацитивност

- Ако систем размени неку количину топлоте мења му се температура
 - $Q = C m \Delta T$
 - $\Delta T = Q/(C m) = (Q/m)/C$
 - ако се топлота апсорбује – расте температура
 - ако се топлота ослобађа – температура опада
- За сув ваздух је $C_p = 1\ 005\ J/(K\ kg)$

43

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

44



Хидролошки циклус

- Вода кружи између океана и атмосфере
- циклусом управља Сунце
- Већина водене паре у атмосфери (84%) потиче из океана – сунце је загрева и изазива испаравање
- **топао ваздух иде на више, шири се услед мањег притиска на већој висини и хлади**
- водена пара се кондензује и формира облаке
- ветар носи облаке док год се из њих вода у облику падавина не нађе поново на земљи (киша, снег, град, ...)
- Већина падавина се нађе у океанима (75% површине Земље је океан),
- брзина кружења воде је веома велика – време које молекули проведу у атмосфери износи око 11 дана.
- **како је укупна маса воде у атмосфери константна, испаравање је тачно уравнотежено падавинама**

46

Вода у атмосфери

- Има је око $1,24 \times 10^{16}$ кг
- Кад би пала одједном било би око 24 мм воде
- Годишње падне око $3,96 \times 10^{17}$ кг
- Слој дебљине око 780 мм
- То значи да се направи $780/24 \sim 32$ циклуса (хидролошки)
- На годишњем нивоу је то око 11 дана
- Обзиром на вредност латентне топлоте испаравања у једној секунди се на то "потроши"

$$\frac{3,96 \times 10^{17} \cdot 2,4 \times 10^6}{265 \cdot 24 \cdot 3600} \approx 3 \times 10^{13} \text{ kW,}$$

- 20-30% Сунчеве енергије која стигне на Земљу сваке секунде

47

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**

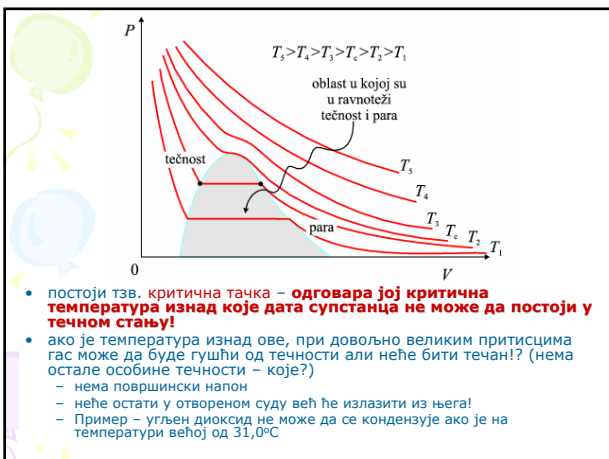


4848

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

4949



- постоји тзв. 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?)
 - 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

Supstance	krit. temp. (K)	krit. temp. (°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

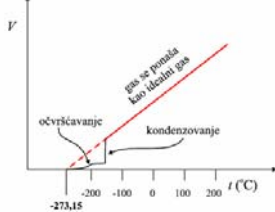
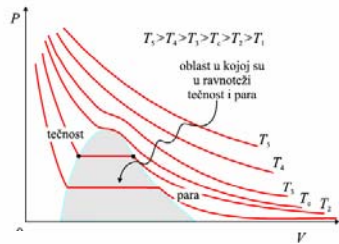
Tabela 7.2: Kritične temperature i pritisci

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

5151

8.4.2013.

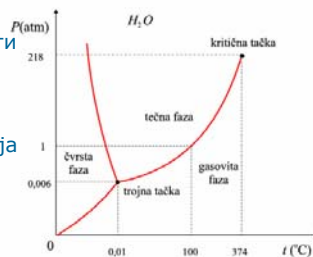
- P, V, T
- За цртање графика бирају се две променљиве



52

Фазни дијаграм, 8.4.2013.

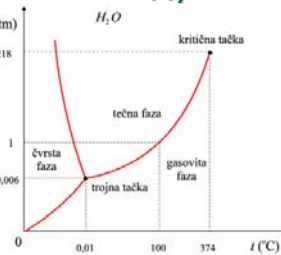
- пратили смо зависности V од t и P од V
- зависност P од $T(t)$ омогућује ново сагледавање процеса фазних трансформација
- $P-T$ дијаграми се зову **фазни дијаграми** (постоје добро дефинисане области у којима је супстанца у различитим фазама)



5353

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 (1 атм)
- 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 течност 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 $273,16\text{K}$**

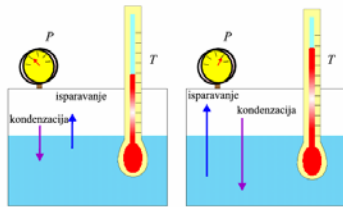
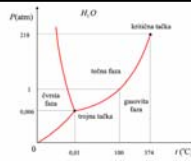


Температурна оса није линеарна!!!

5454

Равнотежа фаза и напон паре

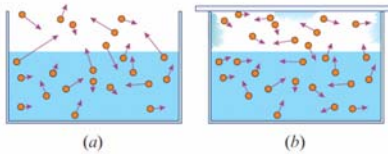
- комбинација притиска и температуре треба да је таква да се налази на кривим линијама које раздвајају фазе. – колико течности испари толико се кондензује
- требало би да обе фазе егзистирају заједно – али то је тако само ако је суд затворен



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

Напон паре

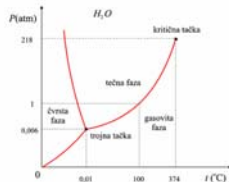
- ако кључа **отворен** суд са водом она ће пре или касније сва испарити – јер изнад ње није само водена пара већ ваздух

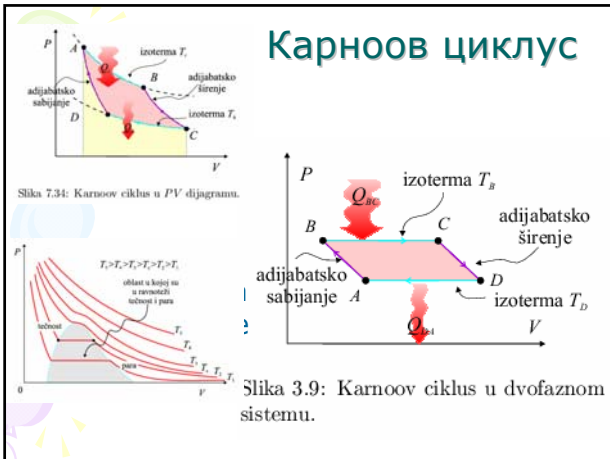


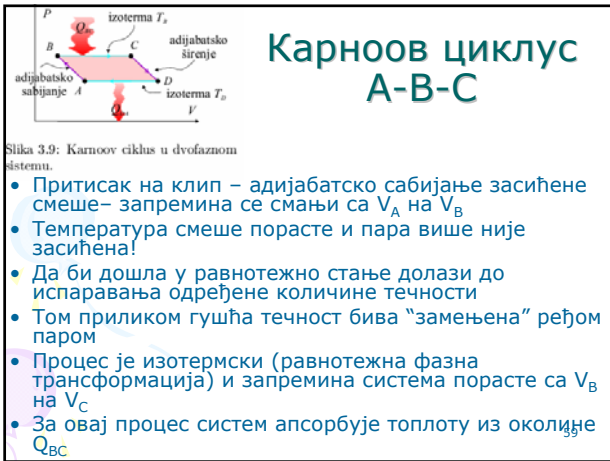
(a) U skladu sa raspodelom molekula po brzinama, neki će imati dovoljnu energiju da raskinu međumolekularne veze u tečnosti i predju u gas čak i na temperaturama ispod tačke ključanja (b) Ako je posuda zatvorena, isparavanje će se nastaviti sve dok količina kondenzovane tečnosti ne postane jednaka količini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

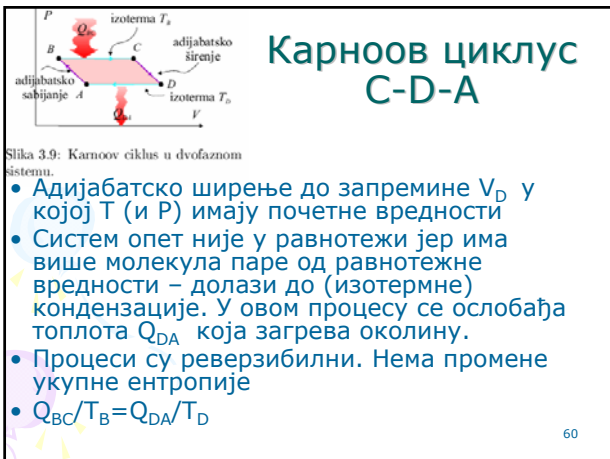
Клаузијус-Клапејронова једначина

- Посматрамо Карноов циклус у коме је радни флуид двофазни – течност и њена zasiћена пара у цилиндру са клипом
- Притисак паре је једнозначно одређен температуром – фазни дијаграм
- Ако је $T = \text{const.}$ онда је и $P = \text{const.}$
- Изотерме су истовремено и изобаре!!!









Карноов циклус C-D-A

Slika 3.9: Карноов циклус у двофазном систему.

- $Q_{BC}/T_B = Q_{DA}/T_D$
- Рад при Карноовом циклусу је једнак разлици топлота

$$A = Q_{BC} - Q_{DA} = Q_{BC} \frac{T_B - T_D}{T_B} = \frac{Q_{BC}}{T_B} \Delta T.$$
- Рад је једнак површини испод криве циклуса

$$A = (V_D - V_A)(P_B - P_A) = (V_D - V_A) \Delta P.$$

61

Карноов циклус C-D-A

Slika 3.9: Карноов циклус у двофазном систему.

$$A = Q_{BC} - Q_{DA} = Q_{BC} \frac{T_B - T_D}{T_B} = \frac{Q_{BC}}{T_B} \Delta T.$$

$$A = (V_D - V_A)(P_B - P_A) = (V_D - V_A) \Delta P.$$

- Изједначавање десних страна даје К-К једначину

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{Q_{BC}}{T_B(V_D - V_A)}, \quad \frac{dP}{dT} = \frac{Q_{BC}}{T_B(V_D - V_A)},$$

62

Карноов циклус C-D-A

Slika 3.9: Карноов циклус у двофазном систему.

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{Q_{BC}}{T_B(V_D - V_A)}, \quad \frac{dP}{dT} = \frac{Q_{BC}}{T_B(V_D - V_A)}$$

- уколико је у цилиндру 1 кг воде у обе фазе
- Нека је у стању А сва вода у течној фази а у стању D у гасовитој
- Размењене топлоте су тада једнаке латентној топлоти испаравања/кондензовања
- Сем тога је запремина воде занемарљива у односу на запремину паре па се добија

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\lambda_l}{T v}, \quad v = V/m, \quad P v = RT/M, \quad \frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{M \lambda_l}{RT^2} P,$$
- Где је уведена специфична запремина (мало v) – запремина јединице масе

63

- Количина водене паре у атмосфери је одређена притиском zasiћене паре. То је *парцијални* притисак водене паре у равнотежи са кондензованом водом (једнаке количине воде се кондензују и испаравају).
- Одређен Клаузијус-Клапејроновом једначином – даје притисак паре која је у равнотежи са течном фазом

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{\lambda}{RT^2}P, \quad \frac{dP}{dT} = \frac{\lambda}{RT^2}P, \quad (4.1) \quad 64$$

- Из претходне једначине се за притисак паре добија

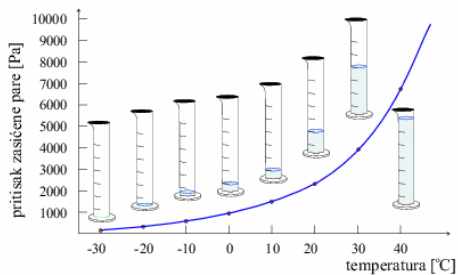
$$\Lambda_i M = \lambda$$

$$R_s = R/M \quad P_s = P_s^0 e^{-\frac{\lambda}{R}[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}]} = P_s^0 e^{-\frac{\Lambda_i}{R_s}[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}]}$$

P_s^0 - парцијални притисак zasiћене паре при стандардним условима (298,15 K и притисак ваздуха од 1 атмосфере)

- Одавде се види да притисак zasiћене паре зависи јако од температуре – топлији ваздух може да садржи много више паре од хладног.
- На пример: у тропима (25°C) парцијални притисак водене паре је 32 mb, а на полу (-20 °C) износи 1,2₆₅ mb

$$P_s = P_s^0 e^{-\frac{\lambda}{R}[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}]} = P_s^0 e^{-\frac{\Lambda_i}{R_s}[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}]}$$



Slika 3.8: Pritisak zasićene pare kao funkcija temperature.

66

Количина влаге у ваздуху

- Специфична влажност
- m_v -маса водене паре у посматраној маси ваздуха, m -маса ваздуха
- Преко броја молова водене паре и укупног броја молова (приближно једнак броју молова ваздуха без водене паре)

$$q = \frac{m_v}{m} = \frac{\rho_v}{\rho}$$

$$q_v = \frac{n_{mv}}{n_\Sigma} \approx \frac{n_{mv}}{n_m}$$

67

Количина влаге у ваздуху

- Релативна влажност
- Однос парцијалног притиска водене паре и притиска засићене пре на датој температури
- Експериментално одређивање преко тачке росе

$$W = \frac{\rho_v}{\rho_{sv}} = \frac{P_v}{P_{vs}}$$

$$W = P_s(T_d) / P_s(T)$$

68

Интеракција делића ваздуха у атмосфери

- делић ваздуха?
- Ваздух је флуид – непрекидна средина
- Делић непрекидне средине – део материје врло мале запремине у којој се промене свих релевантних величина (притисак, температура, густина, ...) могу занемарити.
 - Може се стога говорити температури делића, његовом притиску, ...
 - Да би то било тако он мора да буде и довољно велик тако да садржи велики број молекула који су непрекидно распоређени у делићу.

69

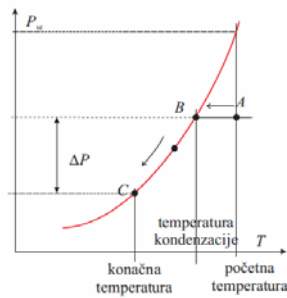
Интеракција делића ваздуха у атмосфери

- Величина и друге карактеристике делића?
 - У хор. правцу од неколико метара до неколико километара
 - Међусобно се сматрају изолованим (ваздух је лош проводник топлоте) па су процеси адијабатски, притисак им је једнак притиску околине и мале су кинетичке енергије (као целина, сва енергија има је приближно једнака унутрашњој)
- Интеракција делића са околним ваздухом:
 - Хлађење и загревање на константном притиску
 - Хоризонтално мешање
 - Адијабатско ширење

70

Хлађење и загревање при константном притиску

- Делић се из стања А хлади у стање В
- Расте му релативна влажност и постаје засићен у В
- Даљим хлађењем до С врши се кондензација (ослобађа топлота) па му температура опада спорије



Slika 3.15: Hlađenje vazduha pri konstantnom pritisku.

Хоризонтално мешање

- Два делића ваздуха различитих температура након мешања могу да се нађу у стању у коме постоје услови за кондензацију
- Уколико су приближно једнаких запремина температура смеше је приближно једнака аритметичкој средини почетних температура

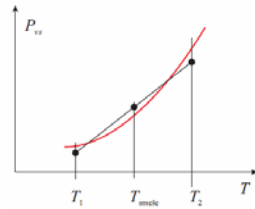


Slika 3.17: Primer horizontalnog mešanja

72

Хоризонтално мешање

- Ниједна од делића нема температуру на којој долази до кондензација али смеша има!

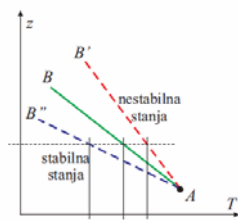


Slika 3.16: Horizontalno mešanje

73

Адијабатска конвекција и вертикална стабилност атмосфере

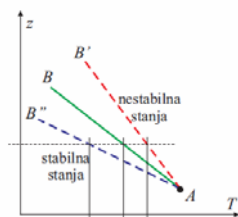
- стање ваздуха А
- Нека се делић у таквом стању подигао увис (струјањем или због рељефа)
- У зависности од количине водене паре он ће се при томе хладити брже или спорије
- Нека је у делићу више влаге него у околини, спорије хлађење од околине, линијом AB'
- Делић све време има мању густину од околине и иде увис услед потиска
- Закључак: **његово почетно стање је било нестабилно** (више влаге од околине)



Slika 3.19: Stabilnost stanja u atmosferi

Адијабатска конвекција и вертикална стабилност атмосфере

- стање ваздуха А
- Нека се делић у таквом стању подигао увис (струјањем или због рељефа)
- У зависности од количине водене паре он ће се при томе хладити брже или спорије
- Нека је делић сувљи од околине, мање влаге – брже хлађење, AB'
- Густина му је све време већа од околине па ће након почетног подизања кренути наниже
- Почетно **стање А је било стабилно**.
- Када се врати на почетну висину кренуће по инерцији наниже
- Густина ће му постати мања па ће услед потиска кренути навише, итд. – услови за осциловање



Slika 3.19: Stabilnost stanja u atmosferi

Орографско подизање ваздуха и формирање облака

- Ако је делић био незасићен а подиже се на већу висину са нижом T постаје засићен, долази до кондензације услед које се формирају облаци.
- Кретање увис не мора да буде конвективно
- Када је последица рељева назива се **орографско**.
- Падавине се формирају на ветровитој страни планине
- Друга је у кишној "сенци".
- Анди

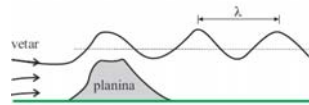


Slika 3.20: Orografsko podizanje vazduha

76

Вертикално осциловање делића ваздуха

- Подизање делића из стабилног стања изазива вертикално осциловање (када се T делића мења брже него T околине)
- Колика је фреквенција овог процеса?

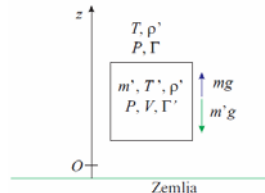


Slika 3.22: Talasasto kretanje vazдушnih masa izazvano vertikalnim oscilovanjem

77

Вертикално осциловање делића ваздуха

- Када делић масе m' дође на место делића исте запремине али масе m (разликују се густине)
- На њега сада делује сила гравитације наниже и сила потиска (једнака тежини истиснутог ваздуха навише)



Slika 3.21: Delić vazduha u položaju stabilne ravnoteže

$$m'a = -m'g + mg.$$

78

Вертикално осциловање делића ваздуха

- Делић има убрзање надоле само ако је гушћи (сувљи) од околине
- У супротном има убрзање навише и не враћа се у почетно стање

$$m'a = -m'g + mg.$$

$$m = \rho\check{V} \text{ i } m' = \rho'V;$$

$$a = g\frac{\rho - \rho'}{\rho'}.$$

79

Вертикално осциловање делића ваздуха

- Из једначине идеалног гасног стања (исти притисак делића и околине)
- Температура околине и делића (нека су биле исте у почетку) се мењају као

$$a = g\frac{\rho - \rho'}{\rho'}.$$

$$a = g\frac{T' - T}{T}.$$

$$T' = T_0 - \Gamma'z,$$

$$T = T_0 - \Gamma z,$$

80

Вертикално осциловање делића ваздуха - фреквенција

- Добија се једначина хармонијског осциловања
- Брунт-Вајсалова фреквенција

$$a = g\frac{T' - T}{T}.$$

$$T' = T_0 - \Gamma'z, \quad T = T_0 - \Gamma z,$$

$$a = -g\frac{\Gamma' - \Gamma}{T}z.$$

$$\omega^2 = g\frac{\Gamma' - \Gamma}{T}.$$

81

Вертикално осциловање делића ваздуха - период

- Период осциловања
- Време потребно делићу брзине v да пређе преко планине ширине L једнако је периоду осцилација

$$\omega^2 = g \frac{\Gamma' - \Gamma}{T}$$

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{g \frac{\Gamma' - \Gamma}{T}}}$$

$$t = \frac{L}{v}$$

82

Лијеви таласи

- $L=10$ km
- $T=250$ K
- $\Gamma=5$ K/km
- $\Gamma'=10$ K/km
- $\tau=300$ s
- $v=100$ km/h
- Таласи се зову гравитациони или Лијеви таласи

$$\tau = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{g \frac{\Gamma' - \Gamma}{T}}}$$

$$t = \frac{L}{v}$$

83
