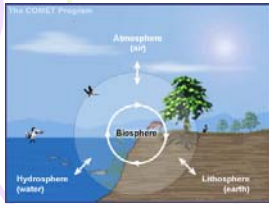


# Хидросфера



1

---

---

---

---

---

---

---

---

# Хидросфера

- Водени омотач (запремина воде  $1,284 \times 10^9 \text{ km}^3$ )
  - око 15 km навише у атмосферу
  - око 1 km наниже у литосферу
- 97% - океани
- 2.25% - поларне капе и глечери
- 0.75% - земљиште, језера, реке
- 0.035% - атмосфера

2

---

---

---

---

---

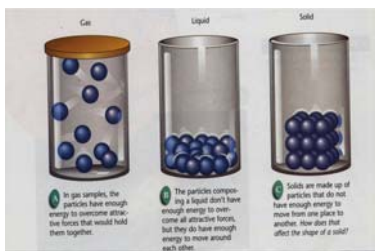
---

---

---

# Стања материје

- Чврсто
- течно
- гасовито



3

---

---

---

---

---

---

---

---

## Појам флуида

- ваздух, вода, крв, ... – гасови и течности
- три агрегатна стања материје



čvrsto stanje

- чврста тела – сталан облик и запремина



tečno stanje

- течна тела – (мање-више) стална запремина али не и облик



gasovito stanje

- гасовита тела – ни стална запремина ни облик

4

---

---

---

---

---

---

---

---

## Агрегатна стања

- стање супстанце зависи од услова под којима се налази (вода)

5

---

---

---

---

---

---

---

---

## Агрегатна стања - фазе

- чврста фаза - атоми се налазе релативно близу
- силе (привлачне и одбојне) дозвољавају атомима само да осцилују око равнотежних положаја али не и да мењају место на коме се налазе
- силе - сличне еластичним опругама које повезују атоме – истежу се и сабијају али не кидају
- зато се материја у чврстом агрегатном стању мало деформише, а након престанка дејства сила враћа у претходни облик
- не треба им суд да би имала облик




6

---

---

---

---

---

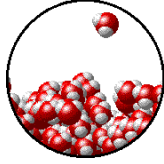
---

---

---

## Агрегатна стања - фазе

- течна фаза – атоми се, као и у чврстом стању, налазе релативно близу једни другима, али **могу** да се померају кроз течност – мењају суседе
- опире се сабијању, али могу лако да се деформишу – промене облик (идеална течност нема отпорност на деформације увртања/смицања) - **теку**
- међумолекуларне силе су само **привлачне**
- не дозвољавају атомима да лако напусте течност
- када се налазе у суду попримају његов облик и формира се слободна површина одозго



7

---

---

---

---

---

---

---

---

## Агрегатна стања - фазе

- у гасовима - атоми удаљени једни од других
- силе које делују између њих – слабе, осим у сударима
- услед тога неотпорни на деформације смицања – **могу да теку**, али и на остале
- из отвореног суда излазе



gasovito stanje

8

---

---

---

---

---

---

---

---

## Испаравање

- Течност мења агрегатно стање и испод тачке кључања – на свакој температури испарава
- Када изађемо из базена вода испарава са наше коже



---

---

---

---

---

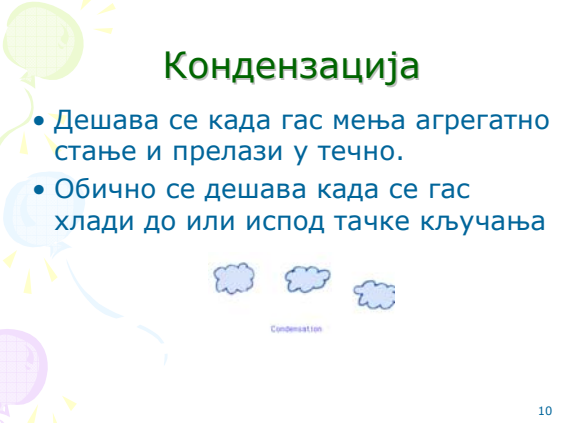
---

---

---

## Кондензација

- Дешава се када гас мења агрегатно стање и прелази у течност.
- Обично се дешава када се гас хлади до или испод тачке кључања



Condensation

10

---

---

---

---


---

---

---

---

## Поређење претходне две слике?



Condensation

- На обе је приказано вертикално кретање флуида
- Зашто се тако креће?

11

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

12

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

једињење	Молекулска маса (g/mol)	Тачка топљења (°C)	Тачка кључања (°C)	Интервал у којем је течно (°C)
H <sub>2</sub> O	18	0	100	100
H <sub>2</sub> S	34	-85	-60	25
H <sub>2</sub> Se	81	-66	-41	25
H <sub>2</sub> Te	129,6	-49	-2	47
H <sub>2</sub> Po	212	Распада се	Распада се	-

13

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

14

---

---

---

---

---

---

---

---

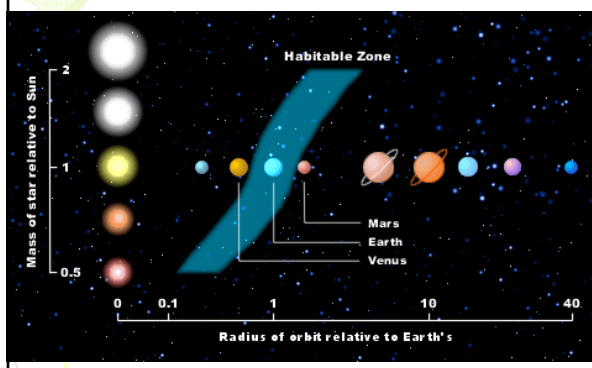
---

---

---

---

## Зона живота у нашем систему




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

16

---

---

---

---

---

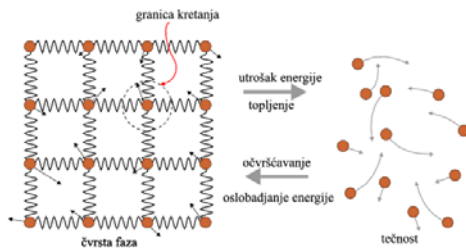
---

---

---

## Фазне трансформације и латентна топлота топљења/очвршћавања

- за промену фазе је неопходан трансфер енергије



Slika 7.17: Topljenje i očvršćavanje.

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

17

---

---

---

---

---

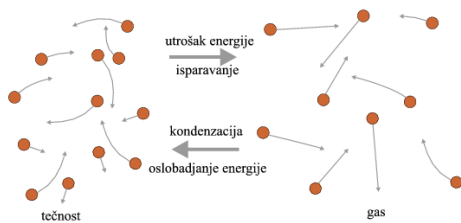
---

---

---

## Фазне трансформације и латентна топлота испаравања/кондензације

- за промену фазе је неопходан трансфер енергије



Slika 7.18: Isparavanje i kondenzacija.

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

18

---

---

---


---

---

---

---

---



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

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

19

---

---

---

---

---

---

---

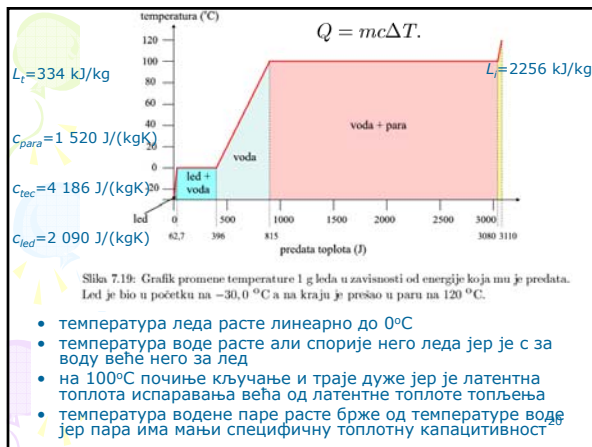
---

---

---

---

---



---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



- 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  $C_p = 1\text{ }005\text{ J} / (\text{K kg})$

21

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

supstanca	c (J/(kgK))	supstanca	c (J/(kgK))
aluminijum	900	benzen	1740
bakar	387	etanol	2450
staklo	840	glicerin	2410
zlato	129	ziva	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

22

---

---

---

---

---

---

---

---

---

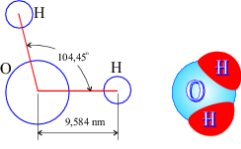
---

---

---

## Аномалија воде

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



Slika 3.3: Molekul vode.

23

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- 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.

24

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Joш 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

25

---

---

---

---

---

---

---

---

## Joш неке особине воде

- Има и велику диелектричну константну
  - 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

26

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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 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 годишње се на то "потроши"

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

- Око 30% Сунчеве енергије која стигне на Земљу

27

---

---

---

---

---

---

---

---

- Укупна запремина воде на земљи је око 1284 милиона км<sup>3</sup>.
- 97% тога је у океанима
- ако би сва вода била распоређена равномерно планета би била под водом високом 2,8 км
- 2,25% је заробљено у леденим капама полова и у глечерима
- око 0,75% је у тлу, рекама и језерима
- 0,035% у атмосфери

28

---

---

---

---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### 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**

30

---

---

---

---

---

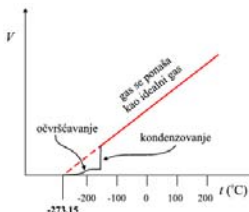
---

---

---

## 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**



3131

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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

3232

---

---

---

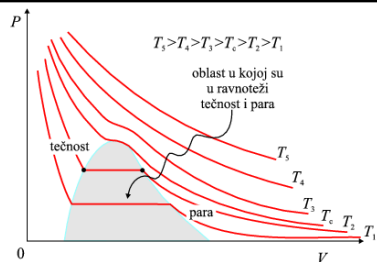
---

---

---

---

---



- 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 <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.

3434

---

---

---

---

---

---

---

---

---

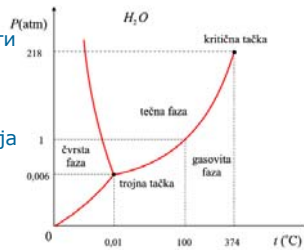
---

---

---

## Фазни дијаграм

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



3535

---

---

---

---

---

---

---

---

---

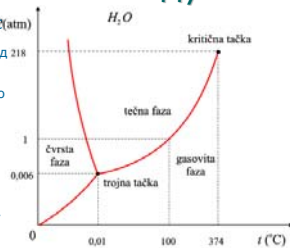
---

---

---

## 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**



Температурна оса није линеарна!!!

3636

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Равнотежа фаза

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

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

---

---

---

---

---

---

---

---

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

3838

---

---

---

---

---

---

---

---

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

3839

---

---

---

---

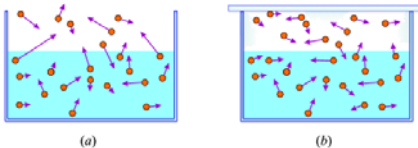
---

---

---

---

## 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.

4040

---

---

---

---

---

---

---

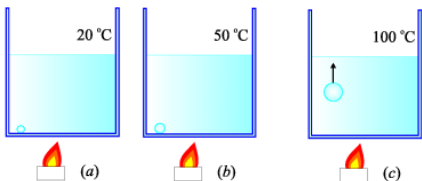
---

---

---

## Влажност, испаравање и кључање

- Вода на свакој темп. садржи мехуриће ваздуха.
- На 20°C се у таквом мех. налази око 2,30% водене паре притиска 1 атм.
- На 100°C у меху 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.**



41

41

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Процеси у атмосфери за које је вода значајна

- Вода много утиче на процесе у атмосфери
  - **термодинамички**
    - кондензација и испаравање - уз размену топлоте
      - кондензација –ослобађање
      - испаравање - утршак
  - **формирање облака**
    - утичу на алbedo планете као и на количину падавина
  - **пречишћавање атмосфере падавинама**
    - одстрањивање супстанци из атмосфере – нарочито хигроскопне аеросоле,
  - **хемијски процеси у атмосфери**
    - растварач или учесник у реакцијама
  - **апсорпција зрачења**
    - водена пара је значајан гас стаклене баште

42

---

---

---

---

---

---

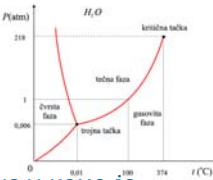
---

---

---

---

## Клаузијус-Клапејронова једначина



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

43

---

---

---

---

---

---

---

---

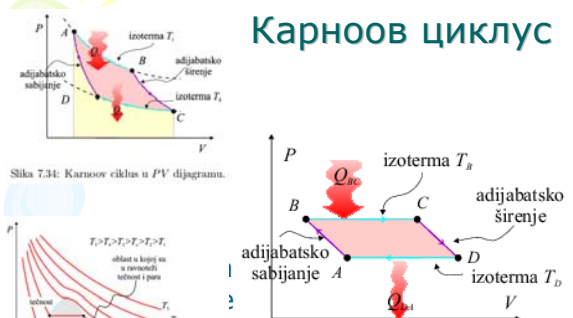
---

---

---

---

## Карноов циклус



Slika 7.34: Карноов циклус у  $PV$  дијаграму.

Slika 3.9: Карноов циклус у двофазном систему.

---

---

---

---

---

---

---

---

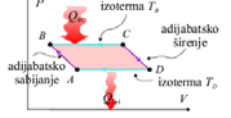
---

---

---

---

## Карноов циклус А-В-С



- Притисак на клип – адијабатско сабијање засићене смеше – запремина се смањи са  $V_A$  на  $V_B$
- Температура смеше порасте и пара више није засићена!
- Да би дошла у равнотежно стање долази до испаравања одређене количине течности
- Том приликом гушћа течност бива “замена” рејом паром
- Процес је изотермски (равнотежна фазна трансформација) и запремина система порасте са  $V_B$  на  $V_C$
- За овај процес систем апсорбује топлоту из околине  $Q_{BC}$

45

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Карноов циклус C-D-A

Слика 3.9: Карноов циклус у двофазном систему.

- Адијабатско ширење до запремине  $V_D$  у којој  $T$  (и  $P$ ) имају почетне вредности
- Систем опет није у равнотежи јер има више молекула паре од равнотежне вредности – долази до (изотермне) кондензације. У овом процесу се ослобађа топлота  $Q_{DA}$  која загрева околину.
- Процеси су реверзибилни. Нема промене укупне ентропије
- $Q_{BC}/T_B = Q_{DA}/T_D$

46

---

---

---

---

---

---

---

---

## Карноов циклус C-D-A

Слика 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  

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

47

---

---

---

---

---

---

---

---

## Карноов циклус C-D-A

Слика 3.9: Карноов циклус у двофазном систему.

- Изједначавање десних страна даје К-К једначину  

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

48

---

---

---

---

---

---

---

---



## Карноов циклус C-D-A

Слика 3.9: Карноов циклус у двофазном систему.

- Уколико је у цилиндру 1 кг воде у обе фазе
- Нека је у стању А сва вода у течной 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

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{L_i}{T_v}, \quad \frac{dP}{dT} = \frac{L_i}{T_v},$$

- Где је уведена специфична запремина (мало  $v$ ) – запремина јединице масе

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- Количина водене паре у атмосфери је одређена притиском засићене 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

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


---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

- Из претходне једначине се за притисак паре добија

$$L_i M = \lambda \quad R_{s_i} = R/M$$

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

- Одавде се види да притисак засићене 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 1,2<sub>51</sub> mb

---

---

---

---

---

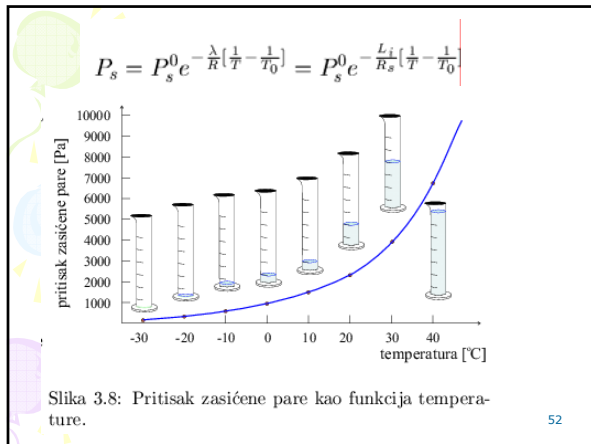
---

---

---

---

---




---

---

---

---

---

---

---

---

### Количина влаге у ваздуху

- Специфична влажност
- $m_v$ -маса водене паре у посматраној маси ваздуха
- $m$ - маса ваздуха

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

$$\rho_v = \frac{P_v}{R_{sv}} \quad \text{i} \quad \rho = \frac{P}{R_s T}$$

$$q = \frac{\rho_v}{\rho} = \frac{P_v M_v}{P M}$$


---

---

---

---

---

---

---

---

### Количина влаге у ваздуху

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

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

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


---

---

---

---

---


---

---

---

## Облаци

- **цируси**
  - садрже кристалиће леда – формирају се на већим висинама и влакнasti су
    - аспорбују дуготаласно зрачење са земље
- **Стратуси**
  - слојевити облаци
  - на средњој висини
- **кумулуси**
  - када постоји вертикална циркулација у облаку – паперјаста структура
    - горњи слој кумулуса рефлектује зрачење и прави хладовину
- **нимбуси**
  - продукују падавине (киша, снег, град)




---

---

---

---

---

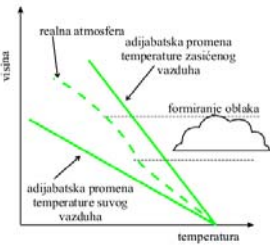
---

---

---

## Формирање облака

- Количина водене паре зависи од температуре
- Топлији ваздух прима више паре
- Влажнији ваздух је ређи па се успоставља вертикална конвекција
- Услед ширења се хлади и кондензује водена пара – настају облаци
- Брзина опадања температуре је  $6,5 \text{ K/km}$



Slika 4.10: Promena temperature atmosfere sa visinom i formiranje oblaka.

56

---

---

---

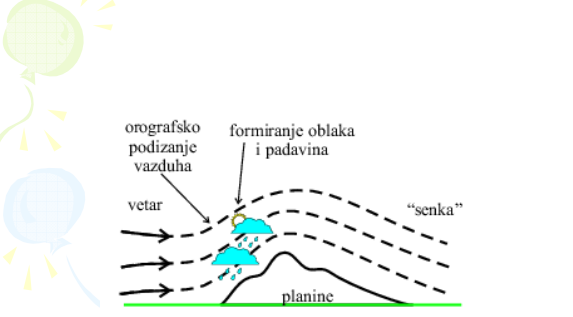
---

---

---

---

---



Slika 4.11: Orografsko podizanje vazduha.

57

---

---

---

---

---

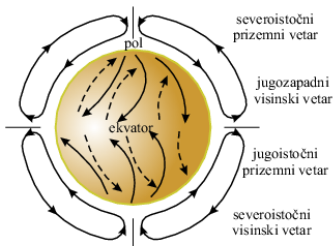
---

---

---

## Глобална циркулација у атмосфери

- Последица сферног облика Земље и неједнаког загревања



Slika 4.12: Hedlijeva cirkulaciona ćelija.

58

---

---

---

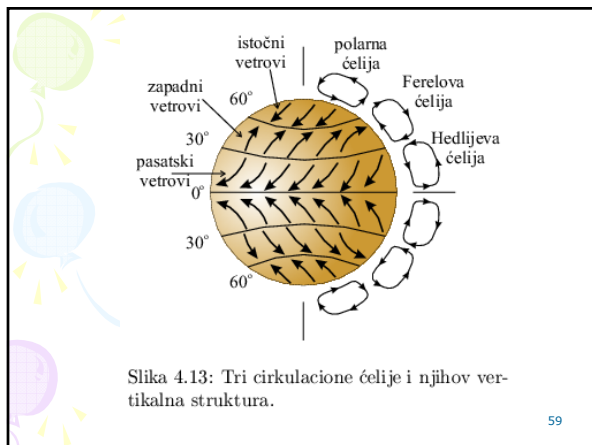
---

---

---

---

---



Slika 4.13: Tri cirkulacione ćelije i njihov vertikalna struktura.

59

---

---

---

---

---

---

---

---

## Формирање облака



- топао и влажан ваздух се издиже и хлади адијабатским ширењем,
- не размењује топлоту са околином
- услед тога му се температура смањује и
- вишак водене паре се онда кондезује

60

---

---

---

---

---

---

---

---

## Количина воде у облацима

- Просечан кумулус је ~ цилиндричног облика, висине  $H$  и пречника око  $d=2$  км
- Запремина му је  $\pi d^2 H/4=6,28 \times 10^9 \text{ m}^3$ .
- Облак садржи око 50 – 500 милиона капи воде по кубном метру. Полупречник капи је око 10  $\mu\text{m}$ .
- Запремина капи је  $4\pi r^3/3=4,2 \times 10^{-15} \text{ m}^3$ .
- Обзиром на густину, маса јој је  $4,2 \times 10^{-12} \text{ kg}$
- Маса целог облака (са најмањом концентрацијом капи) је према томе око  $1,3 \times 10^6 \text{ kg}$
- Изгледа много, али – ако би сва вода из њега пала одједном њена висина би била (изнад површине коју покрива облак)  $4,2 \times 10^{-4} \text{ m} = 0,42 \text{ mm}$

61

---

---

---

---

---

---

---

---

- Да би дошло до формирања падавина морају да буду испуњени следећи услови:

- Мора постојати довољан извор водене паре; и центри кондензације
- Ваздух са воденом паром се мора охладити до тачке кондензације
- Водена пара се мора кондензовати у капљице воде или честице леда
- Капљице воде или честице леда морају да нарасту до довољне величине да могу доспети до земље

62

---

---

---

---

---

---

---

---

## Извор водене паре и центри кондензације

- Сунце – загрева воду (океана и на копну) – испаравање – водена пара у атмосфери
- Центри кондензације – потребно  $100/\text{cm}^3$ 
  - Природни извори - ерозија ветра (еолска)  
- морска со...
- Постоји
  - $1\ 000/\text{cm}^3$  – изнад мора
  - $10\ 000/\text{cm}^3$  – изнад копна
  - $100\ 000/\text{cm}^3$  –изнад градова

63

---

---

---

---

---

---

---

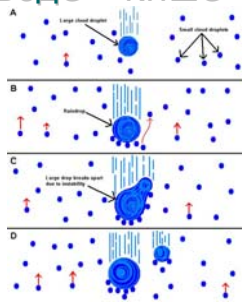
---

## Раст капљица воде - кише

- сложен процес
- водена пара се кондензује на њеној површини ослобађајући топлоту
- температура капи расте и мења парцијални притисак паре
- јавља се градијент (промена дуж правца) парцијалног притиска паре и изазива струјање водене паре ка капи
- промена полупречника капи са временом

$$r^2 = r_0^2 + 2Ct$$

- други механизам - слепљивање кишних капи приликом судара
- вероватноћа слепљивања зависи од
  - величине капи - њиховог попречног пресека
  - њихове релативне брзине



64

---

---

---

---

---

---

---

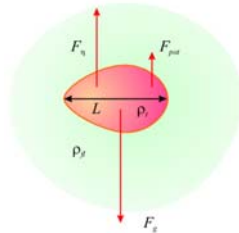
---

---

---

## Гранична брзина при кретању тела кроз флуид

- сила отпора зависи од брзине, вискозности и карактеристичних димензија тела
- постоји и сила потиска
- њих две уравнотежавају гравитациону силу
- кад постану једнаке нема убрзања
- ако је убрзање нула брзина је константна и зависи од баланса између наведених сила.



$$F_{\eta} = 6\pi\eta r v,$$

65

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Брзина кишних капи

- у складу са претходним гранична брзина зависи од величине капи

Пречник капи (mm)	Гранична брзина (m/s)
0,01	0,003
0,1	0,025
1,0	4,03
5,0	9,09

66

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Влажност (ваздуха)

(количина воде/водене  
паре у ваздуху)

Типичне вредности:

0.001 kg/m<sup>3</sup> (хладно, суво време)

до 0.03 kg/m<sup>3</sup> (вруће, влажан дан)

$$P_s = P_s^0 \exp\left(-\frac{L}{R}\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right]\right)$$

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, ...

67

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

68

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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.

69

---

---

---

---

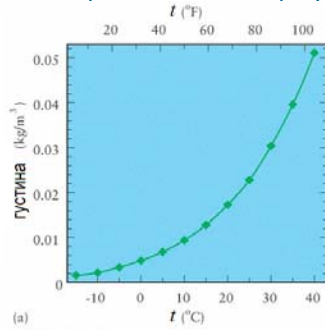
---

---

---

---

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



70

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Влажност

Количина водене паре коју садржи 1м<sup>3</sup> 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%).

71

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Шта значи када се каже да је влажност 80%?

Релативна влажност

$$= 100\% \times (m)/(M) = 100\%P(T)/P_s(T)$$

Нпр. ако је температура 20С, максимална количина водене паре ће бити око 0.02 kg/m<sup>3</sup>.

Тада је (апсолутна) влажност = (80%/100%)×0.02=0.016kg/m<sup>3</sup>

72

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



- 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

73

---

---

---

---

---

---

---

---

- 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

74

---

---

---

---

---

---

---

---

Шта се дешава када је релативна влажност 100% ?

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

75

---

---

---

---

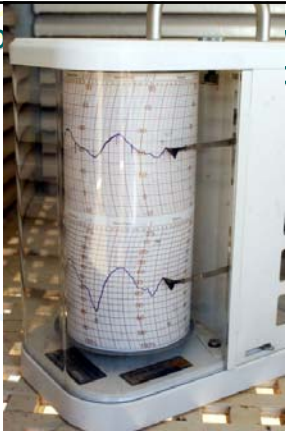
---

---

---

---

хигрометри за влажности



76

---

---

---

---

---

---

---

---

### Пражњења у атмосфери

- Једно од најдраматичнијих дешавања у атмосфери
- важно за настанак живота на Земљи
- догађа се када се влажан, топао ваздух подигне у вис и формира мале кумулусе
- они расту и формирају кумулониimbusе
- у њима постоји јако кретање маса горе-доле, брзином од десетина метара у секунди
- услед тога (трења) долази до раздвајања наелектрисања унутар облака
- позитивна наелектрисања се гомилају на врху облака а негативна на доњој страни (електрони, молекули, аеросоли, комадићи леда и снежне пахуљице)
- услед развојених наелектрисања јавља се електрично поље услед чега се и ваздух јонизује те од доброг изолатора постаје проводан.
- разелектрисавање се одвија преко високонапонских варница – муња
- просечна муња садржи струју наелектрисања од десетина кулона између тачака чија потенцијална разлика износи око 100 милиона волти. Енергија која одговара тој ситуацији износи око  $10^9$  Џула ( $E=qU=10 \text{ C} \cdot 100 \text{ 000 000 V}=10^9 \text{ J}$ )око 280 kWh=енергија потребна клима уређају да ради око две седмице).

77

---

---

---


---

---

---

---

---



78

---

---

---

---


---

---

---

---

## Главни типови пражњења у атмосфери

- пражњење између облака и тла
  - пражњење унутар облака
  - пражњење између облака
  - кугласте муње
- 
- Гром – звучни ефекат који прати електрично пражњење у ваздуху
  - Иако је муња најспектакуларнији ефекат пражњења у атмосфери, она носи мањи део укупне енергије која се при томе потроши
    - нагли пораст притиска у каналу дуж кога се врши пражњење произуђује интензиван звучни талас-експлозију
  - звук се креће брзином од око 310-340 м/с тако да грмљавина "прати" муњу. На основу трајања временског интервала између муње и грома може да се процени удаљеност на којој се дешава невреме (око 1 км за сваке 3 секунде)

79

---

---

---

---








---

---

---

---

## Формирање падавина

- 
- 
- Падавина – таложење воде из атмосфере на површини Земље
    - киша
    - снег
    - град
    - роса
    - магла
    - иње
- 
- 
- 
- 
- 
- падавине из облака
  - конд. у додиру са хладнијим предметима на земљи

---

---

---

---

---

---

---

---