

Физика планетарних атмосфера

1

- Настанак планетарних атмосфера
 - Настанак Сунчевог система
 - Велико бомбардовање
 - Модификација примордијалних атмосфера терестричних планета
- Атмосфера Земље
 - Слојеви и сатав атмосфере
 - Атмосфера као идеални гас
 - Промена притиска са висином,...

2

2

Настанак планетарних атмосфера

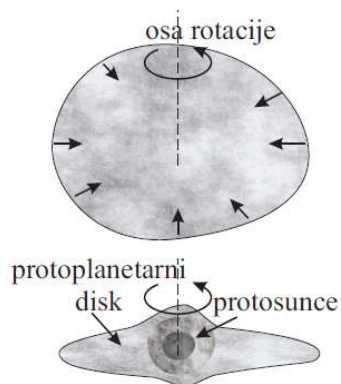
- Атмосфера (Земље)
 - Танак сферни омотач (“љуска”) који гравитација држи уз Земљу
 - Како је Земља добила атмосферу?
 - Да ли се и како се мењала атмосфера (у погледу физичких карактеристика)?

3

3

Настанак Сунчевог система

- Кант-Лаплас хипотеза маглине
- 1734. Сведенберт
- 1755. Кант
- 1796. Лаплас
- Пре око 4,5 Ггод. (Γ =гига= 10^9)
- Гравитациони колапс облака гаса који је споро ротирао
- Откуд **нехомогености** у њему?
- **Ударни талас** са супернове их креирао – од њих настају **звезде и планете**



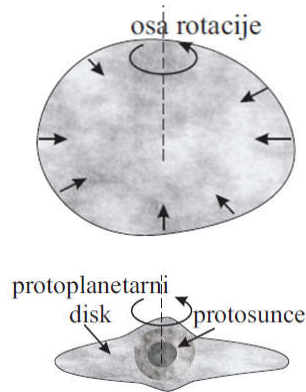
Slika 1.1: Kolaps облака гаса и праšине у звезду и protoplanetarni disk.

4

4

Настанак Сунчевог система

- Зашто је маглина пљосната?
- Изолован систем – важе 3О
- Силе?
 - Гравитациона – иста за све тачке
 - Центрифугална – није иста - зависи од удаљености од осе ротације
- Равнотежа центрифугалне и гравитационе силе постоји само у екваторијалној равни
- Изнад и испод не – лопта постаје пљосната



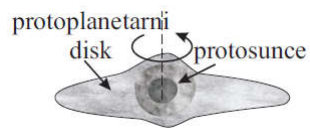
$$F = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r.$$

5

5

Настанак Сунчевог система

- **Сунце:**
- Згушњавање - у центру се формира **протосунце**
- Гравитациона потенцијална енергија прелази у кинетичку
- Повећава се брзина делића
- Учесталији су судари
- Расте температура



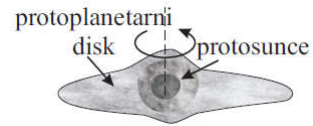
$$F = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r.$$

6

6

Настанак Сунчевог система

- **Планете:**
- Исти механизам – од **протопланетарних** дискова (прашина и гасови)
- Више температуре у близини унутрашњих протопланета
- Оне остају без испарљивих супстанци
 - Остаје стеновити део – **стеновите планете**
- Ниже температуре по ободу
 - **Јовијанске планете**



$$F = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r.$$

7

7

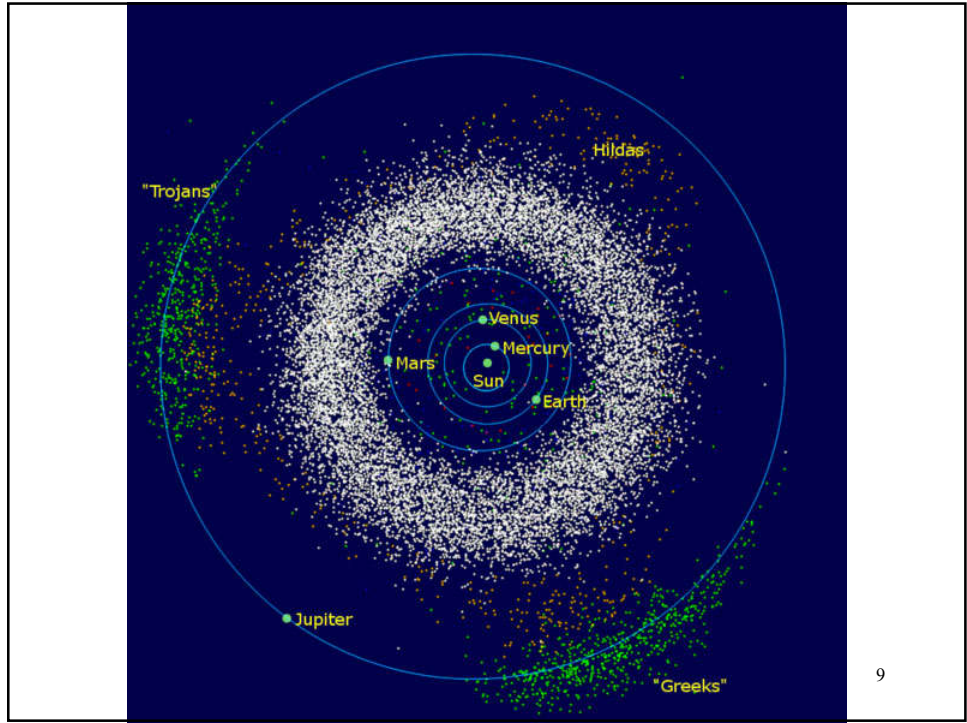
Велико бомбардовање (The Late Heavy Bombardment)

- Преостали чврсти материјал из протопланетарног диска ударају у планете (пре 3,8-4,1 Гг.)
- Планете Земљиног типа
 - Меркур, Венера, Земља, Марс
- Месец – последица удара у Земљу тела величине Марса
- Колико су били чести удари?
- Период бомбардовања – 1 објекат пречника 1 км на сваких 20 година

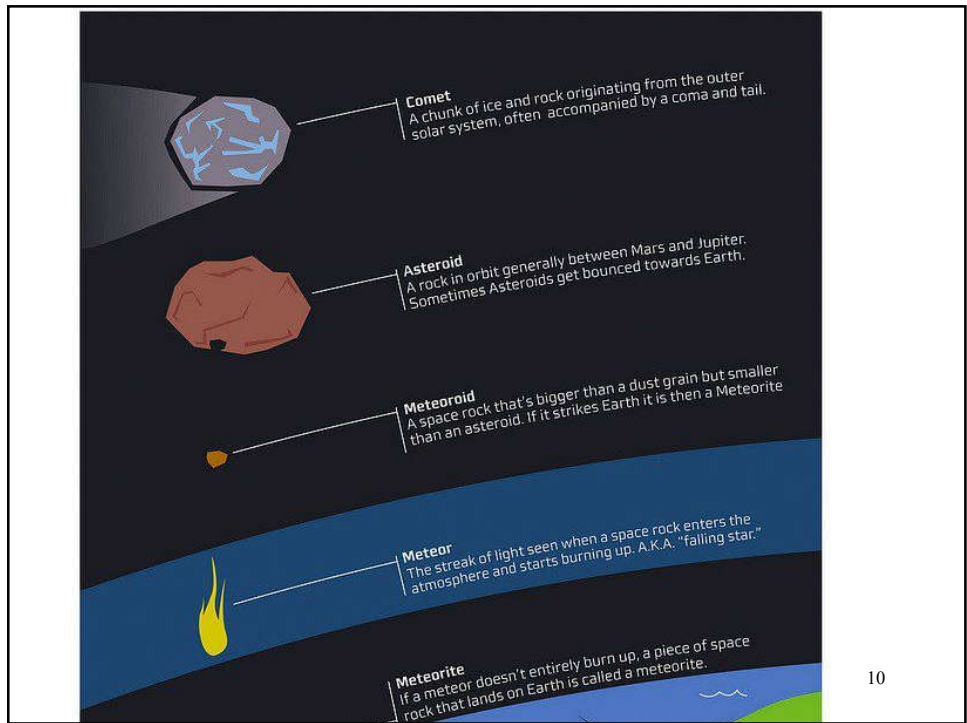


8

8



9



10

Велико бомбардовање

- Утицај на атмосфере
 - Негативан ефекат
 - Већи део воде и испарљивих супст. (угљеник азот, фосфор...) су испарили и отишли
 - 1. атмосфера Земље је имала Н и Не
 - Позитиван ефекат - пораст температуре и стварање нове атмосфере
 - Након периода бомбардовања –
 - Расте количина С, N, H₂O
 - Комете и астероиди су донели и биолошки материјал
 - Више од 10 000 тона годишње

11

11

- Рана атмосфера
 - Највише CO₂,
 - H₂O (океани, лед и пара)
 - Притисак већи 60х
- Луминозност Сунца око 70% данашње
- Свеједно температура планета је била виша
- Зашто?



$$L_{\odot} = 3,846 \times 10^{26} \text{ W.}$$

12

12

Модификација примордијалних атмосфера терестричних планета

- Три важна физичко-хемијска процеса
 - (на свим планетама) и
- један биолошки
 - (само на Земљи-ваљда?)

13

13

Модификација примордијалних атмосфера терестричних планета

- Физичко хемијски процеси:
 - Реакција која даје угљеничне $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Mg}^{+2}$ (или Ca^{+2}) стене
 - Дисоцијација воде под дејством $\text{H}_2\text{O} + \text{UV foton} \rightarrow$ УВ зрачења $\text{H}_2, \text{H}, \text{OH}, \text{и O}$
 - H_2 и H напуштају атмосферу јер су мале масе
 - O и OH стварају оксиде на површини
 - Одлазак делова атмосфере у космос

14

14

Модификација примордијалних атмосфера терестричних планета

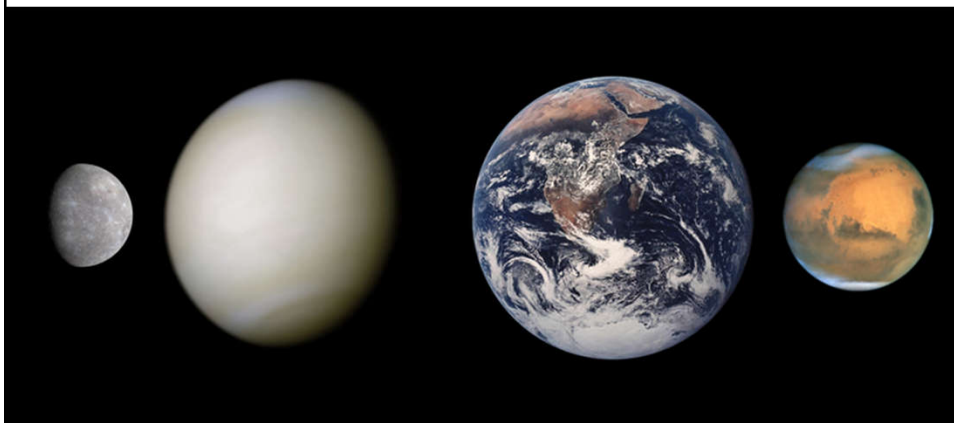
- Биолошки процес
 - фотосинтеза



15

15

Терестричне планете



16

16

Венера

- Примордијална атмосфера
 - $\text{CO}_2 \sim 90P_{atm}$ (gas),
 - $\text{H}_2\text{O} \sim 450P_{atm}$ (tečnost i gas) i
 - $\text{N}_2 \sim 3P_{atm}$ (gas).
- Имала је и мале океане
- Сунце је имало мању луминозност и мање је загревало планете
- Имала је облаке – задржавали су ИЦ зрачење и грејали додатно површину али су и рефлектовали зрачење па се није превише грејала
- Температура планете је била (само) око 100°C

17

17

Венера

- CO_2 из атмосфере се растварао у води, и у виду оборина падао на тло формирајући стене
- Смањила се количина CO_2 од 90 на $1P_{atm}$
- Такви услови су били нестабилни, УВ зрачење је дисоцирало воду у атмосфери
- Океани су се осушили а CO_2 из седиментних стена се “вратио” у атмосферу и притисак се вратио на $90P_{atm}$
- Ефекат стаклене баште подиже температуру на 750 K .

18

18

Марс

- Примордијална атмосфера
 - $\text{CO}_2 \sim 10P_{atm}$ (gas),
 - $\text{H}_2\text{O} \sim 50P_{atm}$ (tečnost i gas) i
 - $\text{N}_2 \sim 0,3P_{atm}$ (gas).
- Истраживања Марса
 - Летелица Viking
 - Ровери: Spirit, Opportunity, Curiosity
 - Указују да је поседовао течну воду некада
 - Последица: атмосфера је била гушћа и топлија
 - Данас: -60°C , 0,636 kPa

19

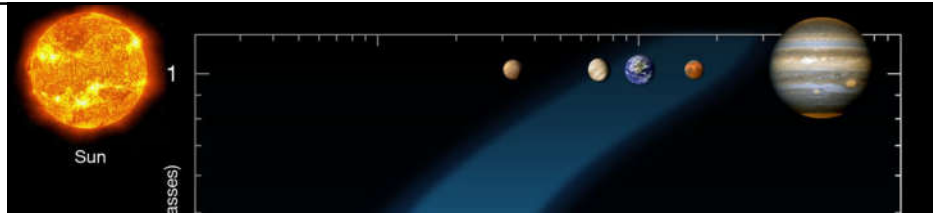
19

Марс

- Релативно је мали
 - Брже се хладио од Венере и Земље
 - Раније су вулкани престали да избацују гасове у атмосферу
 - Данас има суву, хладну и веома танку атмосферу

20

20



- Количина С, N, O као на Венери, али је С “заробљен”
 - Растворен у океанима
 - Стенама
 - У живим бићима
- Венера
 - С је у атмосфери
 - Преблизу је Сунца па нема течне воде па ни океана у којима би могао да се раствори

21

21

Три фазе атмосфере Земље

- Прва атмосфера
 - H_2 , He
- Данас их има мало из два разлога
 - Мале су масе па их гравитација слабије везује од других гасова
 - Језгро Земље није било диференцирано на чврсто унутрашње и течно спољашње које креира магнетно поље
 - није било магнетног поља па ни заштите од Сунчевог ветра – он је “одувао” лаке елементе

22

22

Три фазе атмосфере Земље

- Друга атмосфера
 - Последица вулканских активности
 - H_2O , CO_2 , SO_2 , CO , S_2 , Cl_2 , N_2 , H_2 , NH_3 , CH_4
 - Парцијални притисци
 - $\text{CO}_2 \sim 60P_{atm}$ (gas),
 - $\text{H}_2\text{O} \sim 300P_{atm}$ (tečnost i gas) i
 - $\text{N}_2 \sim 2P_{atm}$ (gas).
- Хлађење, кондензовање воде и формирање океана
- Кише доносе CO_2 из атмосфере, формирају се кречњачке стене, ниво CO_2 у атмосфери се смањује

23

23

Три фазе атмосфере Земље

- Трећа атмосфера
 - Око 21% O_2
- Настао је на два начина:
 - Фотохемијском дисоцијацијом
 - УВ зрачење раскида везе у молекулу воде (1-2% данашње количине кисеоника)
 - Фотосинтезом
 - Цијанобактерије у почетку, данас биљке
 - Пре око 3,2 Гг. Изазивају конверзију CO_2 у биомасу
 - Смањује се ефекат стаклене баште
 - Али је тада порасла луминозност Сунца па је Т Земље остала иста

24

24

Три фазе атмосфере Земље

- Више кисеоника је створило стратосферски озон
- Он штити од УВ зрачења
- То смањује дисоцијацију воде па она остаје
- “Испаравање” у космос је мање изражено него код Марса – 2. космичка брзина је већа за Земљу.

25

25

Атмосфера Земље

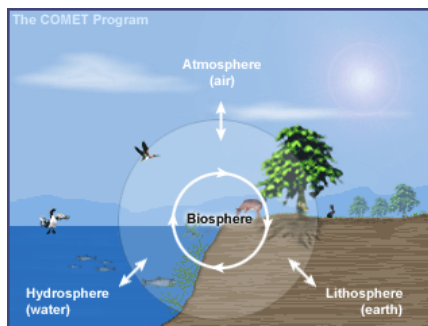
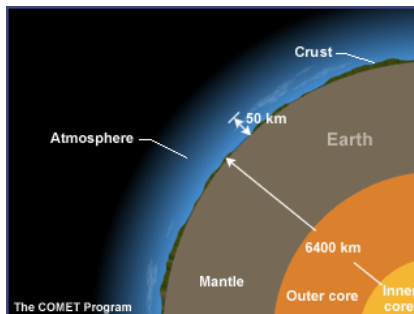
- Изнад површине имамо појаву *изоплета* – линије или површи на којим је вредност неке физичке величине иста – нпр. *изобаре* – на њима је једнак притисак, *изотерме*-на њима је иста температура
- изоплете су приближно хоризонталне па се атмосфера састоји из хоризонталних слојева унутар којих се разликује **температура** – **тренд** њене промене
- Сваки слој се зове *сфера* а границе између слојева се зову *паузе*. Границе носе називе по слоју који се налази са доње стране

26

26

Атмосфера

- Смеша гасова различитих физичких карактеристика
 - 90% масе у првих 20 км,
 - 99,9% у првих 50 км
 - изнад 1000 км је толико разређена да гасова практично нема – међу(звездани-планетарни) простор
- живи свет се налази у биосфери (слоју дебљине око **9 км**)
 - неколико км испод и изнад нивоа мора



27

Атмосфера

- Изнад површине имамо појаву *изоплета* – линије или површи на којим је вредност неке физичке величине иста – нпр. *изобаре* – на њима је једнак притисак, *изотерме*-на њима је иста температура
- изоплете су приближно хоризонталне па се атмосфера састоји из хоризонталних слојева унутар којих се разликује температура – тренд њене промене
- Сваки слој се зове *сфера* а границе између слојева се зову *паузе*. Границе носе називе по слоју који се налази са доње стране

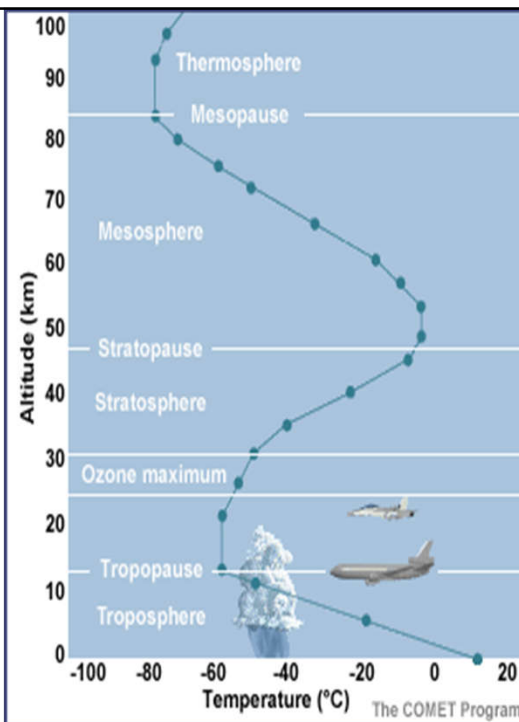
kosmos	1000 km	
egzosfera	500 km	međunarodna svemirska stanica
termosfera	200 km	aurora
jonosfera	100 km	
mezosfera	80 km	
stratosfera	50 km	ozon
troposfera	8-15 km	oblaci

Slika 1.3: Slojevi atmosfere

28

Слојеви атмосфере и њена температура

- магнетосфера
- екзосфера
- термосфера
(јоносфера)
- мезосфера
- стратосфера
- тропосфера



29

Тропосфера

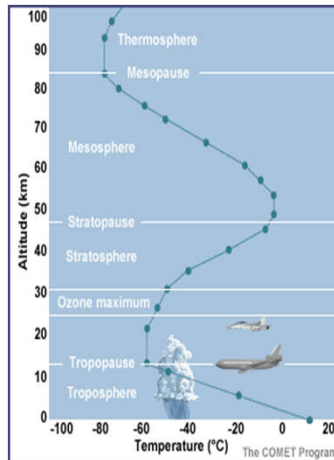


- висина горњег слоја је на 8 до 15 km
- На половима је тања него на екватору
- трепло–промена
- најнижи слој атмосфере
- најгушћа – 80% масе атмосфере у њој
- температура опада скоро линеарно од око 15 до -52 степена Целзијуса
- у њој се дешавају скоро све метеоролошке промене-облаци су у њој
- ваздушне масе се у њој мешају услед соларног загревања

30

Стратосфера

- Од око 10 до 50 км висине
- сува и мање густа
- температура расте постепено до +10 степена Целзијуса, услед апсорбовања УВ зрачења
- у њој је у горњим слојевима озон (озонски омотач) апсорбује и расејава соларно УВ зрачење
- 99 % “ваздуха” се налази у прва два слоја атмосфере
- на сваких 1000 m висине ваздушни притисак опада за око 11%



31

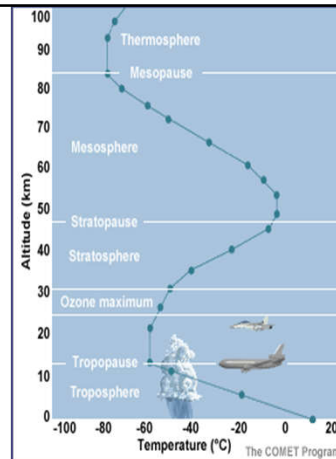


32

32

Мезосфера

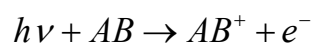
- Од око 50 до висине од 85 km
- температура опет пада али сада на -80 степена Целзијуса – најхладнија област у атмосфери
- често се зове средња атмосфера



33

Јоносфера – део термосфере

- од 100-200 км,
- када соларну енергију апсорбују директно молекули ваздуха, (неутрални) атоми губе електроне и постају наелектрисане честице -јони
- већина молекула гасова на висини од 80 - 400 km (мезосфера и термосфера) је наелектрисана
- температура расте рапидно
- УВ зрачење са Сунца јонизује молекуле у атмосфери



- AB – молекул кисеоника или азота



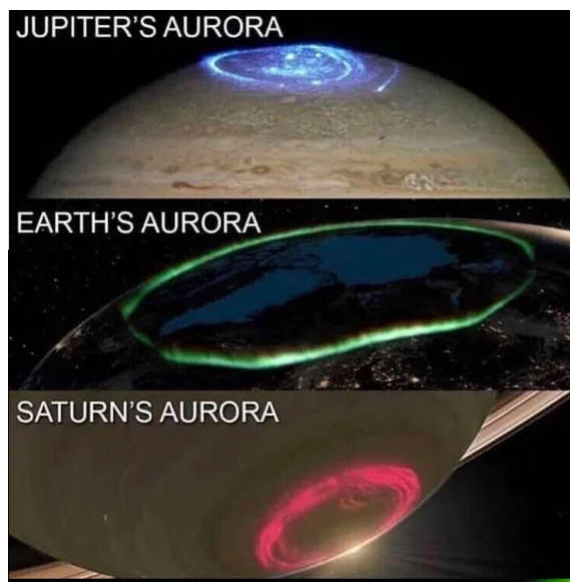
34

Јоносфера

- „рефлектује“ већину радио таласа и „враћа“ их назад ка Земљи – омогућује радио комуникацију
- у њој се ствара поларна светлост – аурога – види се у вишим географским ширинама
 - у северној - aurora borealis
 - и јужној хемисфери - aurora australis
- Интензивно видљиво и УВ зрачење је изазвано расејањем електрона (или протона) на молекуларном кисеонику или азоту
- e^- (енергије E_i) + АВ \rightarrow АВ* + e^- (енергије E_f)
- разлика $\Delta E = E_i - E_f$ у енергијама одлази на побуђење молекула
- он се након тога ослобађа вишка енергије емитујући фотон фреквенције $\nu = \Delta E/h$



35



36

36

- АМ (амплитудно модулисани) радио таласи се рефлектују од јоносфере-од јона (300 м~1 MHz)
- Ови јони могу да апсорбују радио таласе и да их реемитују.
- ФМ (фреквентно модулисани) сигнали (и ТВ сигнали) су на фреквенцијама (3 м~100 MHz) које су превисоке за јоне и електроне у јоносфери тако да не могу да их апсорбују. На тај начин ФМ антена мора да буде директно видљива од антене која врши пренос сигнала

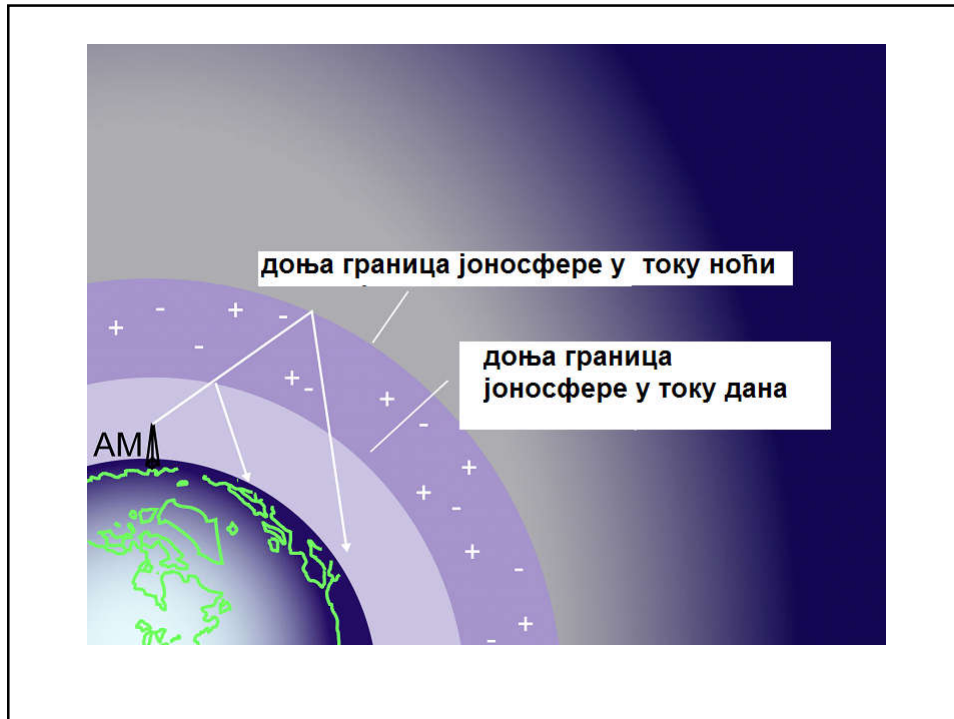
37

- модулација – поступак за уметање информације (звучне или видео) у ЕМ талас
- носећи талас има фреквенцију радио станице

Slika 11.32: Noseći, zvučni i amplitudno modulisani signal.

Slika 11.32: Noseći, zvučni i frekventno modulisani signal.

38



39

Термосфера

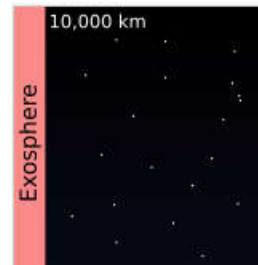
- 200 до 500 km
- температура расте рапидно са висином услед загревања од стране Сунца али и варира доста у зависности од доба дана, степена соларне активности и географске ширине
- варира од 400 до 2000 степени Целзијуса
 - минимална када Сунце излази, а максимална око 14.00
- P веома мали ($10^{-11} P_{atm}$ на 500 km) и веома слабо проводи топлоту – јер је ретка
- позната као горња атмосфера



40

Егзосфера

- од врха термосфере у космос (500 до 1.000 километара)
- атоми и молекули су веома ретки и могу да се ослободе земљине гравитације и оду у космос,
- водоник и хелијум су примарне компоненте али са веома малом густином



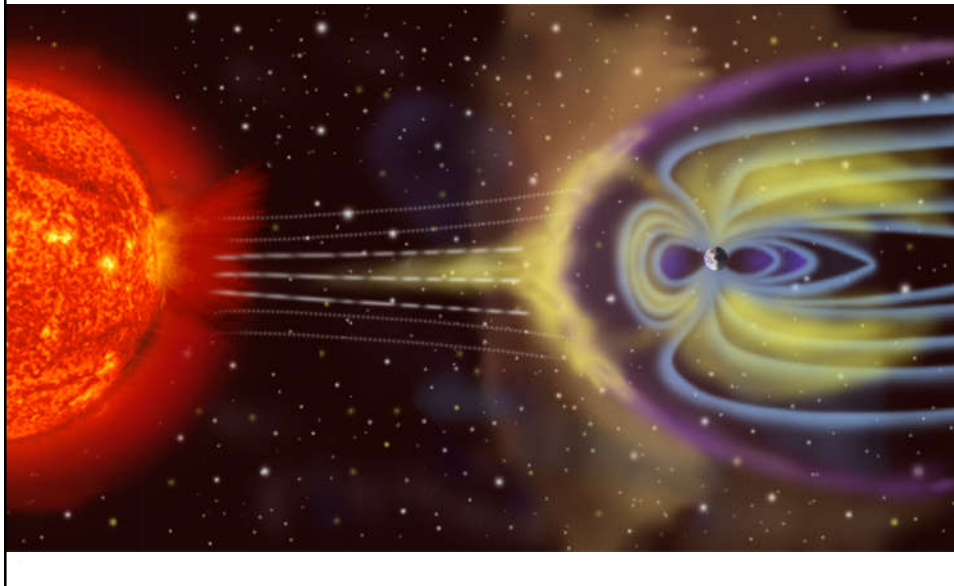
41

Магнетосфера, 21-2

- изнад 1000 км,
- област у којој магнетно поље доминантно утиче на кретање наелектрисаних честица
- у њој Земљино магнетно поље интерагује са соларним ветром и заробљава наелектрисане честице (електроне и протоне) у Ван Аленовим појасевима
- откривена 1958. Експлорер 1
- 1959. добила име
- полупречник око 10 полупречника Земље
- Имају је и (неке) друге планете
 - Меркур, Јупитер, Сатурн, Уран, Нептун
 - Марс има фрагментарно намагнетисану површину

42

Магнетосфера



43

Састав атмосфере

- Механичка смеша сталних гасова, хемијских једињења и разних гасовитих, течних и чврстих додатака.
- $N_2/O_2=4/1$
- Гравитација их држи уз тело.

44

Састав атмосфере

- **гасови** – који су постојани у одређеним међусобним размерама
- **аеросоли** – чврсте и течне честице настале природним или индустријским процесима (честице прашине, морске соли, дима, кондензована водена пара), чији удео у саставу атмосфере је променљив,
- **водена пара**

45

Састав атмосфере

- Сув ваздух?
 - ваздух без аеросола и водене паре
 - има сталан састав
 - како је концентрација аеросола мала, атмосферски ваздух се обично сматра смешом сувог вадуха и водене паре
- Основне компоненте сувог ваздуха (постојане су до висине од око 35 км) – у јединици запремине:
 - 78,1 % азота
 - 20,9 % кисеоника
 - 0,9 % аргона
 - 0,03 % угљен диоксида
 - 0,002 % неона
 - 0,0005 % хелијума
 - 0,0001 % метана
 - мање од тога има: криптона, водоника, азот диоксида, озона и ксенона

46

Састав атмосфере

sastojak	količina [%]	sastojak	količina [%]
azot (N_2)	78,1	neon (Ne)	0,002
kiseonik (O_2)	20,9	helijum (He)	0,0005
argon (Ar)	0,9	metan (CH_4)	0,0001
ugljen-dioksid (CO_2)	0,03		

Tabela 1.1: Procentualna zastupljenost sastojaka atmosfere.

47

Атмосфера као идеални гас

48

48

Атмосфера-идеални гас

- молекули немају димензије (тачкасти су) и интерагују само у еластичним сударима
- атмосфера је смеша гасова. претпоставка да су идеални,
- за сваки важи једначина стања – $PV=n_mRT$
– (P-притисак, V-запремина, n_m -број молова, R-универзална гасна константа, T-термодинамичка температура)
- $n_m=m/M$
- $\rho=m/V$
- $P=\rho RT/M$

49

49

Атмосфера-идеални гас

- атмосфера је смеша (идеалних) гасова важи Далтонов закон парцијалних притисака – разлог је што нема интеракције – гас је идеалан,
- $P=P_1+P_2+\dots=RTm_1/(M_1V)+RTm_2/(M_2V)+\dots=RT\rho_1/M_1+RT\rho_2/M_2+\dots$
- Сви гасови су у истом “суду” па је збир парцијалних густина једнак укупној густини атмосфере: $\rho_1+\rho_2+\dots=\rho$

$$P = RT\rho \sum_i \frac{\rho_i}{\rho M_i} = RT\rho \sum_i \frac{x_i}{M_i} \quad x_i = \frac{\rho_i}{\rho} = \frac{\frac{m_i}{V}}{\frac{m}{V}} = \frac{m_i}{m}$$

- x_i – специфична маса/масени удео (однос масе датог гаса према укупној маси атмосфере).

50

50

Атмосфера-идеални гас

- Згодно је увести средњу моларну масу атмосфере

$$\frac{1}{M_{sr}} = \sum_i \frac{x_i}{M_i}$$

- једначина стања је сада

$$P = \frac{\rho RT}{M_{sr}}$$

51

51

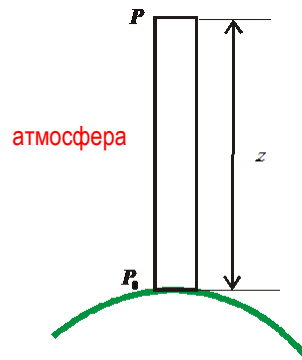
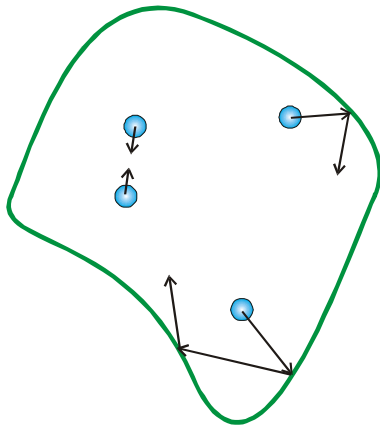
Промена притиска са висином

52

52

Притисак гаса

Притисак у гаса у **неком суду** потиче од удара молекула у његове зидове и зависи од броја тих удара у јединици времена. Притисак **атмосфере на Земљу** је пак **изазван тежином атмосфере**.



$$P(z) = P_0 e^{-const \cdot z}$$

53

53

Промена притиска са

ВИСИНОМ

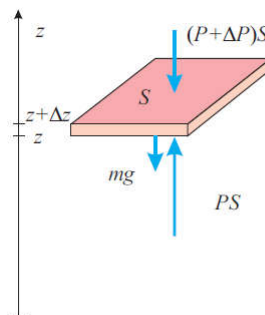
- Атмосферски притисак потиче од тежине атмосфере.
- Густина опада са висином, $\rho(z)$
- убрзање Земљине теже се не мења рапидно са висином
- слој ваздуха дебљине Δz , и површине попречног пресека S
- нема вертикалног кретања

$$(m = \rho V = \rho S \Delta z)$$

$$PS = mg + (P + \Delta P) S$$

$$PS = \rho g S \Delta z + (P + \Delta P) S$$

$$\text{Сређивање ове једначине даје } \Delta P = -\rho g \Delta z$$



Slika 1.4: На слој ваздуха делују силе атмосферског притиска и Земљине теже

54

54

$$\Delta P = -\rho g \Delta z$$

Како је за идеални гас

$$P = \frac{\rho RT}{M_{sr}} \quad \longrightarrow \quad \Delta P = -\frac{P}{RT} M_{sr} g \Delta z$$

За мале промене висине dz важи

$$dP = -\frac{PM_{sr}}{RT} g dz$$

односно

$$\frac{dP}{P} = -\frac{M_{sr}}{RT} g dz$$

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\frac{M_{sr} g}{RT} \int_0^z dz \quad \text{или} \quad \ln \frac{P}{P_0} = -\frac{M_{sr} g}{RT} z$$

Односно

$$P = P_0 e^{-\frac{M_{sr} g}{RT} z}$$

55

55

- Добијена формула важи егзактно уколико су испуњене две претпоставке

- T се не мења са висином
- M_{sr} је константно

$$P = P_0 e^{-\frac{M_{sr} g}{RT} z}$$

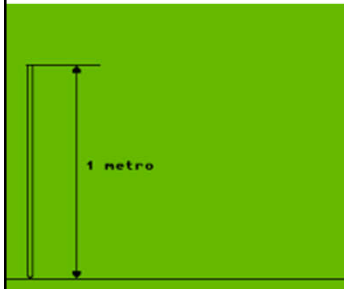
- Иако то није тачно резултати мерења показују да су те апроксимације оправдане
- Који је смисао величине P_0 ?
- То је притисак на нивоу мора

56

56

Атмосферски притисак

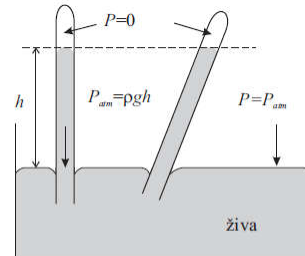
Атмосферски притисак на нивоу мора, измерен 1643. Торичели Евангелиста.



$$h = 0,76m$$

$$P_{atm} = \rho gh + P = \rho gh$$

$$\rho = 13,595 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$



Slika 1.5: Toričelijevo merenje atmosferskog pritiska

$$P_{atm} = 13,595 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,80665 \text{ m/s}^2 \cdot 0,76 \text{ m} = 101325 \text{ Pa}$$

Колика је сила којом атмосфера делује на јединицу површине Земље? (на нивоу мора) $F = P_{atm} S \approx 10^5 \text{ N}$

То је еквивалентно маси од 10 000 кг која се налази изнад сваког квадратног метра!!! Зашто не осећамо тај терет?

57

57

Притисак атмосфере



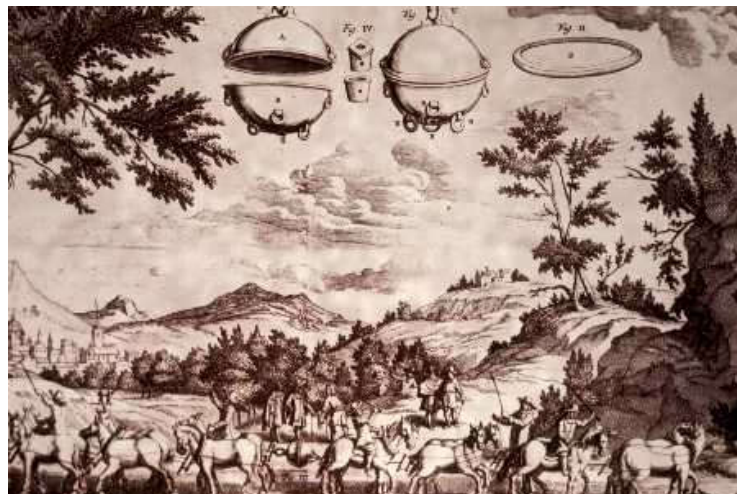
- Притисак је сила на јединицу нормалне површине ($P=F/S$).
- Гравитација на земљи изазива атмосферски притисак – последица тежине атмосфере.
- Из измереног притиска следи да је маса стуба ваздуха изнад сваког $\text{m}^2 \sim 10\ 000\text{kg}$.

58

58

Атмосферски притисак - Магдебург

- 1657. година, 40 цм



59

Јединице у којима се изражава притисак

- Паскал= N/m^2
- мм живиног стуба, тор, атмосфера, пси, бар, ...
- нормални атмосферски притисак
 - 1 atm = 101 325 kPa
 - 1 atm = 760 mmHg
 - 1 atm = 760 torr
 - 1 bar = 10^5 Pa (1 bar ~ 1 atm) , 1 mb је приближно 100 atm
 - =14,7 psi

60

60

$$P = P_0 e^{-\frac{M_{sr}g}{RT}z}$$

- Претпоставке:
 - Т смо сматрали да је константна (то није тачно али уз ту претпоставку се може доћи до неких, иако грубих, довољно тачних процена за вредности притиска)
 - M_{sr} је претпостављено да је константно – средња моларна маса – то подразумева да је састав атмосфере углавном константан – услед мешања делова
- P_0 - атмосферски притисак на нивоу мора, тј. за $z=0$,
- $h = RT/gM_{sr}$ – има димензије дужине – висинска скала

61

61

Висинска скала планете

- састав атмосфере:
 - азот око 80%, око 20% кисеоник.
 - Моларне масе азота и кисеоника су 28 и 32 g/mol
- специфичне масе / масени удели су: 0,755 и 0,231
- средња моларна маса атмосфере је 28,96
- Просечна температура тропосфере је око 288 К (15°C).
- На основу овога је $h = RT/gM_{sr} = 8,4$ km што је ред величине Монт Евереста.
- h је висина на којој притисак опада на $1/e (=0,37)$ његове почетне вредности.
- то значи да се око 2/3 атмосфере (гледано по маси јер она утиче на притисак) налази “испод врха” Монт Евереста.
- ова вредност зависи од температуре!
 - када је хладно – висинска скала је мања, тј. притисак опада рапидније-брже са висином

62

62

Висинска скала

Planeta	Glavni sastojci	M_{sr} [g/mol]	g [N/m ²]	T [K]	H [km]
Zemlja	N ₂ , O ₂	29	9,81	288	8,4
Mars	CO ₂	44	3,73	210	10,6
Venera	CO ₂	44	8,88	700	14,9
Jupiter	H ₂	2	26,20	160	25,3

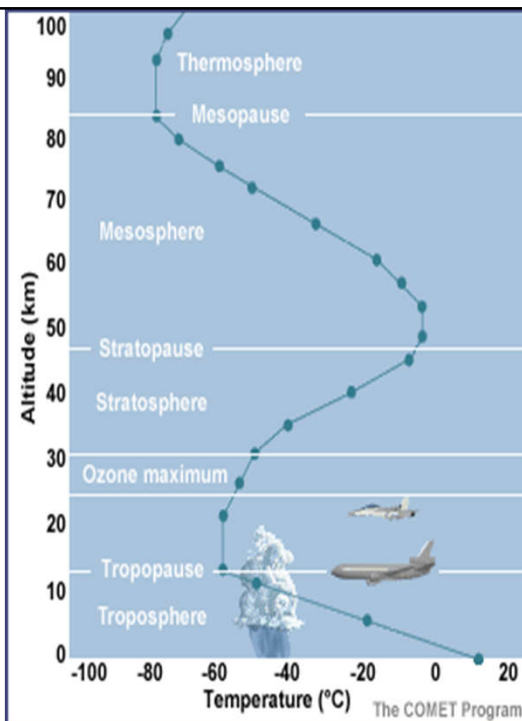
Tabela 1.2: Karakteristike atmosfere nekih planeta

63

63

Слојеви атмосфере и њена температура

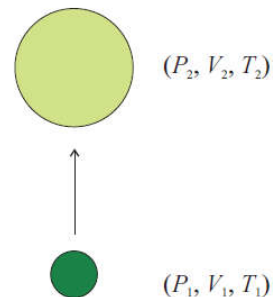
- магнетосфера
- егзосфера
- термосфера (јоносфера)
- мезосфера
- стратосфера
- тропосфера



64

Промена температуре са висином – у нижим слојевима атмосфере

- Опада на правилан начин
- Атмосфера се загрева одоздо-са површине Земље – зато температура опада са висином
- Уочимо малу запремину сувог гаса који се конвективно креће навише
- Шири се и хлади
- Процеси у тој запремини су адијабатски!
 - Због брзог кретања и слабог провођења топлоте у ваздуху



Slika 1.7: Konvektivno kretanje dela vazduha

65

65

Промена температуре са висином – у нижим слојевима атмосфере

- Први закон термодинамике:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A, \quad \Delta U = mc_V \Delta T, \quad \Delta A = P \Delta V \quad \Delta Q = 0,$$



$$mc_V \Delta T = -P \Delta V.$$

$$\gamma = c_P / c_V,$$

$$PV^\gamma = \text{const} \quad |$$

$$P \Delta V = -V \Delta P / \gamma$$

66

66

Промена температуре са висином – у нижим слојевима атмосфере

- Први закон термодинамике:

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



$$mc_V \Delta T = -P \Delta V.$$

$$mc_V \Delta T = \frac{1}{\gamma} V \Delta P,$$



$$mc_V \Delta T = -\frac{c_V}{c_P} V \rho g \Delta z.$$

67

67

Промена температуре са висином – у нижим слојевима атмосфере

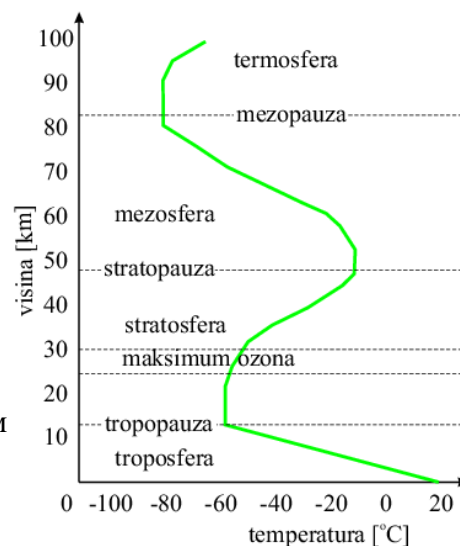
- Адијабатска промена температуре сувог ваздуха

$$\frac{\Delta T}{\Delta z} = \Gamma = -\frac{g}{c_P}$$

$$c_P = 1005 \text{ J/(kg K)}$$

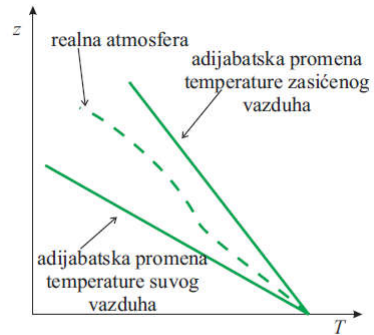
$$\Delta T / \Delta z = -0,01 \text{ K/m.}$$

- На 10 км висине, промена T износи 100К (10 К на 1 км)
- Мерења дају око 6,5 К на 1 км
- – разлог – занемарено је постојање водене паре!



68

- Влажан вазух је ређи од сувог
- (мол. маса воде 18)
- Када се хлади (приликом конвекције) кондензује се пара и ослобађа латентна топлота испаравања/кондензације



Slika 1.9: Promena temperature troposfere sa visinom

$$\Gamma_s = 6,5 \text{ K/km.}$$

69

69

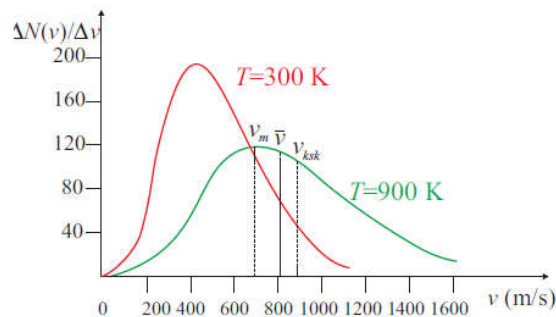
Расподела (Максвелова) молекула по брзинама и састав атмосфере

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

$$v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m}},$$

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

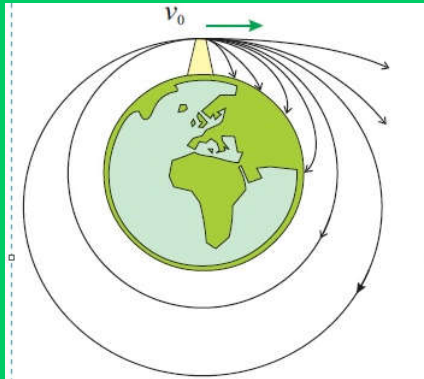
$$v_{ksk} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}.$$



Slika 1.10: Raspodela molekula po brzinama za 10^5 molekula azota na 300 K i 900 K

70

Брзина потребна за напуштања земљине атмосфере



Slika 1.11: Putanja tela izbačenog sa Zemlje zavisi od njegove početne brzine

- ако је почетна брзина довољно велика пројектил неће пасти на Земљу
- постаје њен сателит

71

Брзина потребна за напуштања Земљине атмосфере

- Земља задржава гасове делујући на њих гравитацијом
- Лансирање ракете масе m са површине планете – колика је најмања брзина потребна да ракета изађе из Земљиног гравитационог поља?
- услов
- Кинетичка и потенцијална енергија ван поља су нулте

$$\frac{mv_2^2}{2} + \frac{-\gamma mM}{R} = 0 + 0, \quad v_2 = \sqrt{\frac{2\gamma M}{R}}.$$

72

Брзина потребна за напуштања Земљине атмосфере

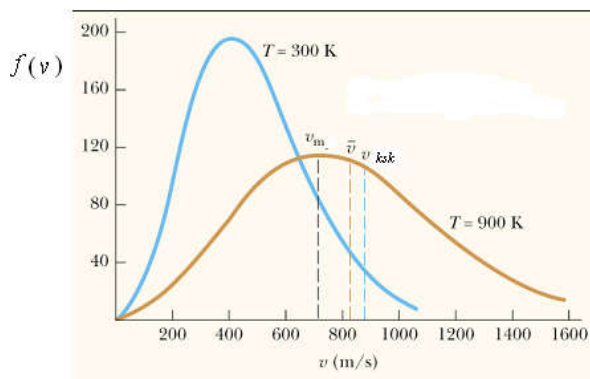
- почетна брзина је према томе
- како је убрзање Земљине теже

$$v = \sqrt{2\gamma \frac{M_z}{R_z}}$$

$$mg = \gamma \frac{mM_z}{R_z^2} \quad \Rightarrow \quad g = \gamma \frac{M_z}{R_z^2} \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{2gR_z}$$

- замена: $g=9,81\text{m/s}^2$, $R_z=6400\text{ km}$ $v = 11200\text{ m/s}$
- резултат (2. космичка брзина) не зависи од масе ракете – тела!
- Има ли таквих молекула који могу да напусте Земљу и колико их је ако их има?

73



74

$$v = 11200 \text{ m/s}$$

- Расподела молекула у атмосфери-Максвелова
- Највероватнија брзина – одговара максимуму расподеле

$$v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

- Ова брзина зависи од врсте гаса!
- На 288 К, за кисеоник и азот се добија
- за водоник и хелијум

$$v_m(O_2) = 387 \text{ m/s}$$

$$v_m(N_2) = 414 \text{ m/s}$$

$$v_m(He) = 1094 \text{ m/s} \quad v_m(H_2) = 1550 \text{ m/s}$$

- На 2 000 К

$$v_m(He) = 3000 \text{ m/s} \quad v_m(H_2) = 4000 \text{ m/s}$$

75

$$v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$$

- У горњим слојевима атмосфере температуре су веће па је више молекула који имају довољне брзине да напусте Земљу
- У току 10^9 година, водоник и хелијум су у великој мери напустили Земљу – зато их има толико мало у односу на остале молекуле

76

Време живота молекула у атмосфери

- Време живота, τ , је средње време трајања молекула гаса у атмосфери
- значајно је као и (тренутна) концентрација молекула – када разматрамо полутанте (загађиваче) – то је најзначајнији параметар
- дато је изразом

$$\tau = m_{sr} / F_{sr}$$

- m_{sr} - је средња маса гаса у атмосфери,
- F_{sr} - средњи улазни / или одлазни флукс гаса (у kg/s)

77

Време живота молекула у атмосфери

- Ако је τ мала вредност – молекул (атом) егзистира у атмосфери јако кратко
 - разлози
 - реактиван је па неће бити хомогено распоређен по атмосфери (киселе кише нпр.)
 - друга могућност-учествује у неком *циклусу* (нпр. хидролошки циклус-циркулација воде: море-облаци-киша-море – време боравка молекула у атмосфери је око 10 дана)
- на основу времена боравка молекула у атмосфери, њене конституенте делимо на три категорије
 - перманентни – τ је веома велико (ред величине чак и милион година) – азот, кисеоник, разређени гасови (угљен диоксид)
 - семиперманентни- τ је реда месеца до година (CH_4 , N_2O , CO , CFC)
 - варијабилни- τ је реда дана и недеља (O_3 -циклус у стратосфери, H_2O (циклус у тропосфери), SO_2 и H_2S (киселе кише) и NH_3 – издувни гасови аутомобила, али је такође и део нитрогеног циклуса

78

Циклуси и количина главних елемената у атмосфери

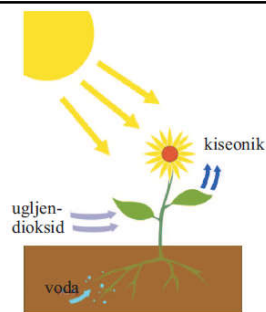
- Молекули – сумпор, угљеник, азот
- циклуси
- ИЗВОР→ ХЕМИЈСКЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ→ИЗДВАЈАЊЕ
- Азотни циклус(и)
 - амонијачни циклус
 - извор – биолошки распад материјала
 - издвајање – влажна депозиција – раствара се у киши и сува депозиција
 - NO_x - азот-оксидни циклус
 - извор – бактериолошка депозиција нитрата, уз значајан допринос индустрије
 - издвајање– влажна депозиција (киша), сува депозиција
- сумпорни циклус
 - главни извор – H_2S
 - од распада органске материје
 - вулкани
 - индустрија
 - ерозија
 - издвајање– сува депозиција и влажна депозиција (киселе кише)
- угљенични циклус
 - три циклуса –
 - метан, биолошки извори
 - угљен моноксид, биолошки извори
 - угљен диоксид- комбинација природних и вештачких извора

79

79

Фотосинтеза

- вегетација је есенцијални део биосфере
- 1772. Џозеф Присли – оглед: миш и нана у затвореним посудама – у првој обоје, у другој и трећој само миш и само нана



Slika 1.12: Proces fotosinteze

- преживели су једино када су заједно
- миш је у процесу дисања апсорбовао O_2 ослобађао CO_2
- биљка је у процесу фотосинтезе апсорбовала CO_2 а ослобађала O_2
 - у биљкама постоје хлоропласти у којима апсорбовани CO_2 и вода реагују и формирају угљене хидрате (највише глукозу) и кисеоник уз присуство хлорофила. Реакција је ендотермна (иде уз утршак енергије) – потребна је сунчева енергија да би се одвијала.

80

Фотосинтеза



- не може свако зрачење да изазове ове реакције – нека се рефлектују (отуда лишћу боја)
 - најефикаснија је црвена боја, али и плава, наранџаста и жута могу да учествују у процесу.
- Када молекул апсорбује квант зрачења (фотон) прелази у побуђено стање
 - Или се враћа у основно или пређе у неко друго једињење
- 100% ефикасност због брзине процеса! Нема топлотних губитака

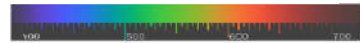
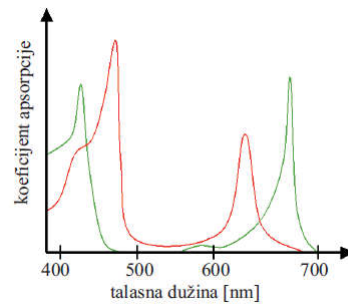
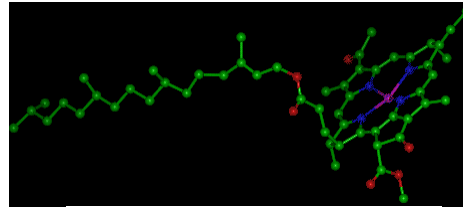
81

Фотосинтеза

- Енергија да један молекул CO_2 реагује износи $E=2,34 \times 10^{-18} \text{J}=14,6 \text{ eV}$.
- максимална апсорпција у зеленим листовима биљака је за
 - хлорофил “а”, $\lambda_a=680 \text{ nm}$
 - хлорофил “б”, $\lambda_b=644 \text{ nm}$
 - иначе оба спадају у црвени део спектра
- енергије које имају фотони тих таласних дужина
 - $E_a=hc/\lambda_a=(6,625 \times 10^{-34} \text{Js})(3 \times 10^8 \text{m/s})/(680 \times 10^{-9} \text{m})=2,92 \times 10^{-19} \text{J}$
 - $E_b=hc/\lambda_b=(6,625 \times 10^{-34} \text{Js})(3 \times 10^8 \text{m/s})/(644 \times 10^{-9} \text{m})=3,09 \times 10^{-19} \text{J}$
- Број фотона који се мора апсорбовати у хлорофилу (хлорофилима) износи (по једној реакцији)
 - $n_a=E_a/E=8$
 - $n_b=E_b/E=7,60$

82

- хлорофил “а” (главни пигмент фотосинтезе – садрже га све зелене биљке)
цијанобактерије, ...)
- хлорофил “б”, у вишим биљкама и зеленим алгама



83

Аеросоли

- чврсте или течне честице које лебде у ваздуху – честице прашине
- настанак
 - сагоревање-шуме или у индустрији
 - услед реаговања гасова (сулфати и нитрати)
 - растурање и расејавање чврстих тела (ветар и вода еродирају стене)
 - расејавање соли из мора (“морски спреј”)
 - вулкани
- типична концентрација-
 - 10^3 cm^{-3} изнад океана
 - 10^4 cm^{-3} изнад тла – ван градова
 - 10^5 cm^{-3} изнад градова

84

Аеросоли

- Подела аеросоли у погледу величине честица
 - Ситна (Аиткен) језгра , 0,1 μm , 20% укупне масе аеросоли
 - Велика језгра, 0,1-1 μm , чине 50% масе свих аеросоли
 - Циновска језгра, већа од 1 μm , 30% масе
- Велика и циновска су центри кондензовања у атмосфери

85

85

Киселе кише

- Киша загађена сумпор-диоксидом, азот-диоксидом... услед чега јој је киселост већа него што је уобичајено
- Киселост супстанце се одређује преко рН

86

Дефиниција рН

- рН (potential of hydrogen) мери концентрацију водоникових јона у воденим растворима

$$\text{pH} = -\log_{10} ([\text{H}^+ (\text{aq})])$$

- пример вода – неутрална је:

$$\left. \begin{array}{l} [\text{H}^+(\text{aq})][\text{OH}^-(\text{aq})]=10^{-14} \text{ mol}^2\text{dm}^{-6} \\ [\text{H}^+(\text{aq})] = [\text{OH}^-(\text{aq})] \end{array} \right\} \Rightarrow [\text{H}^+(\text{aq})] = 10^{-7} \text{ mol dm}^{-3}$$

- рН < 7 - кисео раствор – вишак H^+ јона
- рН > 7 – базни раствор – вишак OH^- јона

87

Незагађене кише

- незагађена киша је по природи кисела
- атмосфера садржи у себи кисели оксид угљен-диоксид (CO_2) који се раствара у води (капима кише) и даје као производат угљену киселину
- последица-киселост (рН) кишнице око 5,6.
- ова вредност је гранична вредност, све што је киселије од ове вредности (рН<5,6) сматра се киселом кишом.
- када се загађење комбинује са чистом кишницом рН кише се понекад драстично мења.

88

Киселе кише

- природни извори
 - вулканске ерупције
- вештачки извори
 - индустрија – сагоревање фосилних горива (ствара се сумпор диоксид и азотни оксиди – конвертују се у суппорну и азотну киселину)
- рН је од 4 до 4,5

