

Физика планетарних атмосфера

- 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

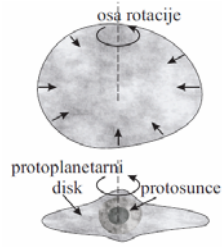
Настанак планетарних атмосфера

- 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

Настанак Сунчевог система

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

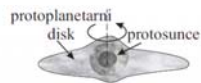


Slika 1.1: Kolaps oblaka gasa i prašine u zvezdu i protoplanetarni disk.

4

Настанак Сунчевог система

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



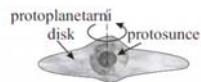
$$I\omega = const.$$

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

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



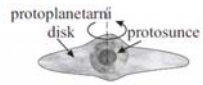
$$I\omega = const.$$

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

6

Настанак Сунчевог система

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



$$I\omega = const.$$

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

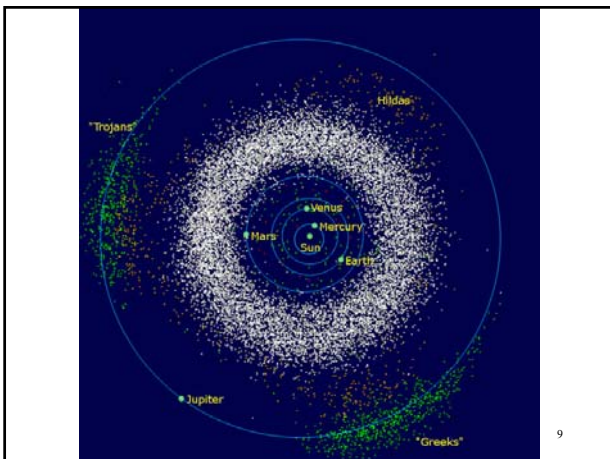
7

Велико бомбардовање (The Late Heavy Bombardment)

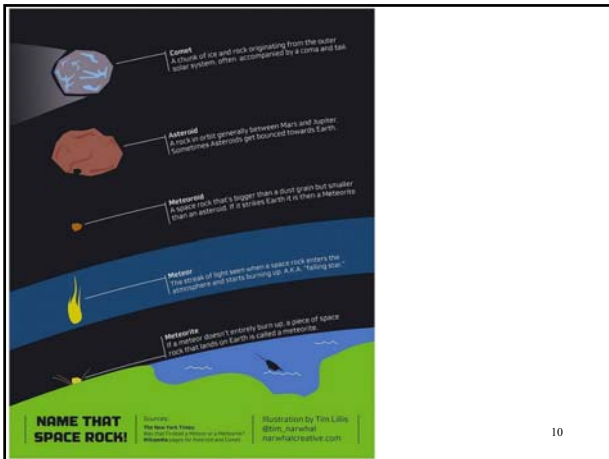
- Преостали чврсти материјал из протопланетарног диска ударају у планете (пре 3,8-4,1 Гг.)
- Планете Земљиног типа
 - Меркур, Венера, Земља, Марс
- Месец – последица удара у Земљу тела величине Марса
- Период бомбардовања – 1 објекат пречника 1 км на сваких 20 година



8



9




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 H и He
 - Позитиван ефекат - пораст температуре и стварање нове атмосфере
 - Након периода бомбардовања –
 - Расте количина C, N, H₂O
 - Комете и астеориди су донели и биолошки материјал
 - Више од 10 000 тона годишње

11

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



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

12

Модификација примордијалних атмосфера терестричних планета

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

13

Модификација примордијалних атмосфера терестричних планета

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

14

Модификација примордијалних атмосфера терестричних планета

- Биолошки процес
 - фотосинтеза



15

Терестричне планете



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

Венера

- CO_2 из атмосфере се растварао у води, и у виду обораина 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

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 , $0,636\text{ kPa}$

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

Земља

- 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

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 течнo спољашње које креира магнетно поље
 - није било магнетног поља па ни заштите од Сунчевог ветра – он је “одувао” лаке елементе

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
 - $CO_2 \sim 60P_{atm}$ (gas),
 - $H_2O \sim 300P_{atm}$ (tečnost i gas) i
 - $N_2 \sim 2P_{atm}$ (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

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 порасла луминозност Сунца па је Т Земље остала иста

24

Три фазе атмосфере Земље

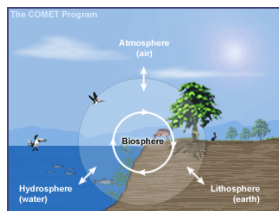
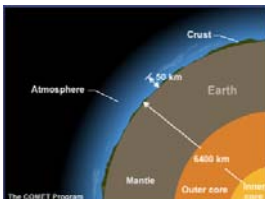
- Више кисеоника је створило стратосферски озон
- Он штити од УВ зрачења
- То смањује дисоцијацију воде па она остаје
- “Испаравање” у космос је мање изражено него код Марса – 2. космичка брзина је већа за Земљу.

25

Атмосфера Земље

26

- 99% атмосфере је у првих 50 км
- живи свет се налази у слоју дебљине око 9 км
 - неколико км испод и изнад нивоа мора
- биосфера је део Земље у којој егзистирају сва позната жива бића.
 - представља релативно танак слој који се налази у хидросфери, атмосфери и литосфери





Slika 1.2: Sav vazduh na Zemlji prikazan kao lopta poluprečnika oko 1000 km (pri standardnim uslovima).

28

Атмосфера

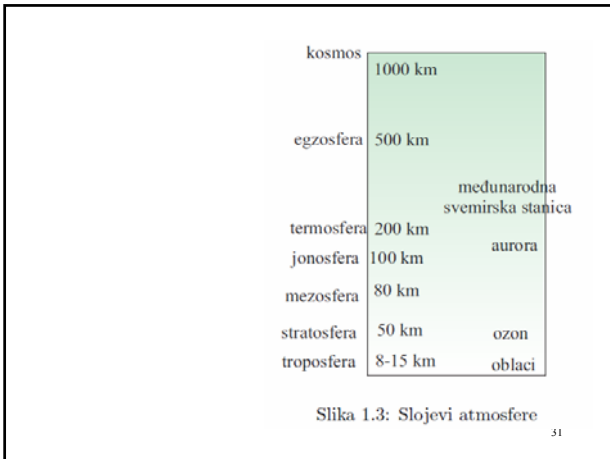
- Смеша гасова различитих физичких карактеристика чија густина опада са висином
 - 90% масе у првих 20 км, 99,9% у првих 50 км
 - изнад 1000 км је толико разређена да гасова практично нема – међу(звездани-планетарни) простор
- температура опада у почетку 6К/км (у првих 15-ак километара) – по висини.
- По хоризонтални највећа промена износи 0,05К/км (топли и хладни фронтови).



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





Тропосфера

Troposphere 6 – 20 km

- висина горњег слоја је на 8 до 15 km
- На половима је тања него на екватору
- трело–промена
- најнижи слој атмосфере
- најгушћа – 80% масе атмосфере у њој
- температура опада скоро линеарно од око 17 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

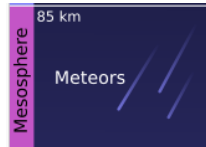
Стратосфера

Stratosphere 50 km

- 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%

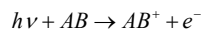
Мезосфера

- 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



Јоносфера – део термосфере

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



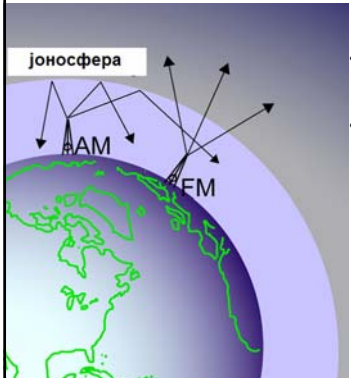
- AB – молекул кисеоника или азота



Јоносфера


- рефлектује већину радио таласа и враћа их назад ка земљи – омогућује радио комуникацију
- у њој се ствара поларна светлост – аугога – 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) + $AB \rightarrow AB^+ + e^-$ (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 $h\nu = \Delta E$






- AM (амплитудно модулисани) радио таласи се рефлектују од јоносфере-од јона (300 m-1 MHz)
- Ови јони могу да апсорбују радио таласе и да их реемитују.
- ФМ (фреквентно модулисани) сигнали (и ТВ сигнали) су на фреквенцијама (3 m-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

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

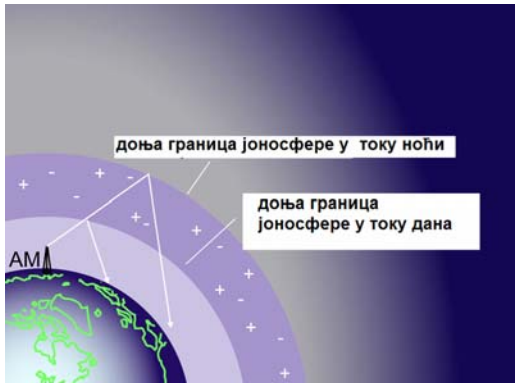


Slika 11.32: Noseći, zvučni i amplitudno modulisani signal.



Slika 11.32: Noseći, zvučni i frekventno modulisani signal.

38



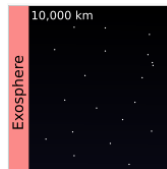
Термосфера

- 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
- притисак веома мали ($10^{-11} P_{atm}$ на 500km) и веома слабо проводи топлоту – јер је ретка
- позната као горња атмосфера



Егзосфера

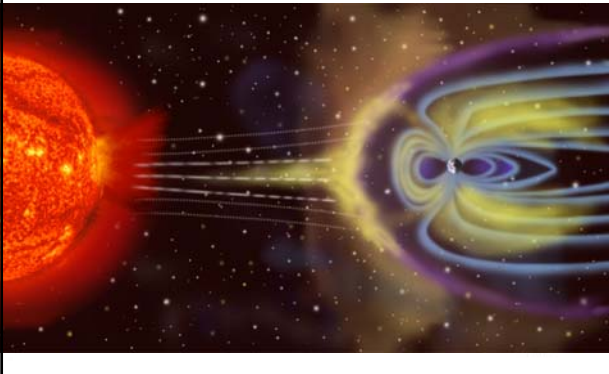
- од врха термосфере у космос (500 до 1.000 километара)
- атоми и молекули су веома ретки и могу да се ослободе земљине гравитације и оду у космос,
- водоник и хелијум су примарне компоненте али са веома малом густином



Магнетосфера

- изнад 1000 km,
- 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 Аленим 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

Магнетосфера



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.

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**

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 ваздуха 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

Састав атмосфере

sastojak	kolicina [%]	sastojak	kolicina [%]
azot (N ₂)	78,1	neon (Ne)	0,002
kisconik (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.

Атмосфера као идеални гас

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)
- $n_m=m/M$
 - m-маса гаса, M-моларна маса
- ако се уведе густина $\rho=m/V$
- $P=\rho RT/M$

49

Атмосфера-идеални гас

- атмосфера је смеша гасова важи Далтонов закон парцијалних притисака (притисак смеше гасова који се налазе у неком суду је једнака збиру њихових парцијалних притисака – тј. притисака које би стварао сваки гас за себе када би сам био у суду) – 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: $\rho_1+\rho_2+\dots=\rho$

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

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

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

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

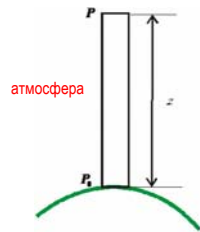
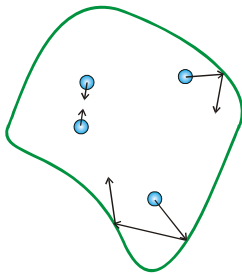
51

Промена притиска са висином

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

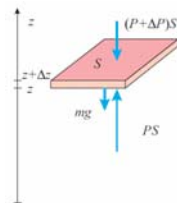
Промена притиска са висином

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

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

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

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



Slika 1.4: Na sloj vazduha deluju sile atmosferskog pritiska i Zemljine teže

54

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

Како је за идеални гас $P = \frac{\rho RT}{M_{sr}} \Rightarrow \Delta P = -\frac{P}{RT} M_{sr} g \Delta z$

За мале промене висине dz важи $dp = -\frac{PM_{sr}}{RT} g dz$

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

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

Односно $P = P_0 e^{-\frac{M_{sr} g}{RT} z}$ 55

- Добијена формула важи егзактно уколико су испуњене две претпоставке
 - T се не мења са висином
 - M_{sr} је константно
- Иако нису тачне резултати мерења показују да су апроксимације добро узете
- Који је смисао величине P_0 ?
- То је притисак на нивоу мора

$P = P_0 e^{-\frac{M_{sr} g}{RT} z}$ 56

Атмосферски притисак

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

$h = 0,76m$

$P_0 = \rho gh + P = \rho gh$

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

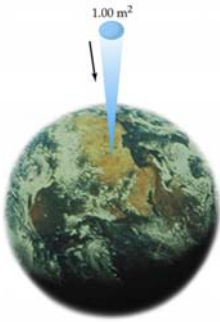
Slika 1.5: Toričelijevo merenje atmosferskog pritiska

$P_0 = 13,595 \cdot 10^3 kg/m^3 \cdot 9,80665m/s^2 \cdot 0,76m = 101325 Pa$

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

То је еквивалентно маси од 10 000 кг која се налази изнад сваког квадратног метра!!! Зашто не осећамо тај терет? 57

Притисак атмосфере

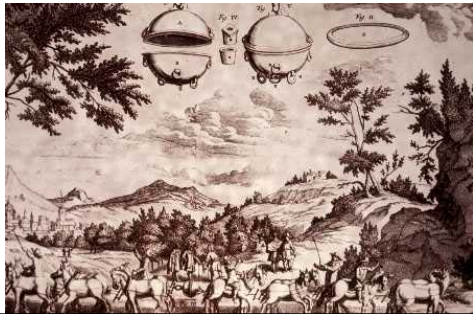


- Притисак је сила на јединицу нормалне површине ($P=F/S$).
- Гравитација на земљи изазива атмосферски притисак – последица тежине атмосфере.
- Из измереног притиска следи да је маса стуба ваздуха изнад сваког $m^2 \sim 10,000kg$.

58

Атмосферски притисак - Магдебург

- 1657. година, 40 цм



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 \sim 1 atm), 1 mb је приближно 100 atm
 - =14.7 psi

60

• 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

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 K (15°C).
- На основу овога је $h = RT/gM_{sr} = 8,4$ км 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

Висинска скала

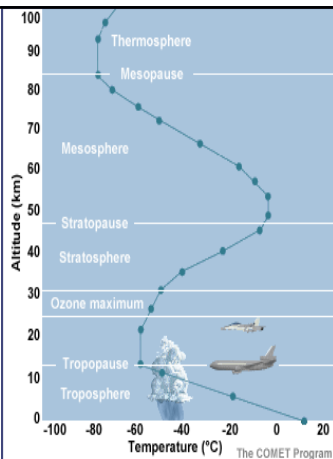
Planeta	Glavni sastojci	M_{sr} [g/mol]	g [N/m ²]	T [K]	H [km]
Zemlja	N ₂ , O ₂	29	9,81	288	8,4
Mars	CO ₂	44	3,73	210	10,6
Venera	CO ₂	44	8,88	700	14,9
Jupiter	H ₂	2	26,20	160	25,3

Tabela 1.2: Karakteristike atmosfere nekih planeta

63

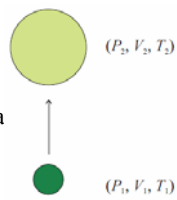
Слојеви атмосфере и њена температура

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



Промена температуре са висином – у нижим слојевима атмосфере, 4.3.2013.

- 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

Промена температуре са висином – у нижим слојевима атмосфере

- Први закон термодинамике:

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



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

$$\begin{aligned} \gamma &= c_P / c_V, \\ PV^\gamma &= \text{const} \} \\ P \Delta V &= -V \Delta P / \gamma \end{aligned}$$

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

Промена температуре са висином – у нижим слојевима атмосфере

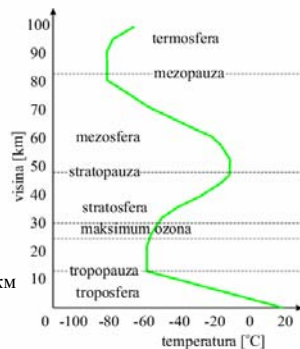
- Адијабатска промена температуре сувог ваздуха

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

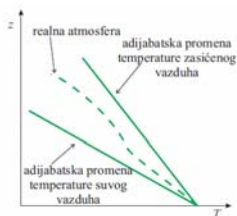
$$c_P = 1005 \text{ J/(kg K)}$$

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

- На 10 км висине, промена T износи 100K (10 K по сваком км)
- Мерења дају око 65 K ма 10 км
- – разлог – занемарено је постојање водене паре!



- 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

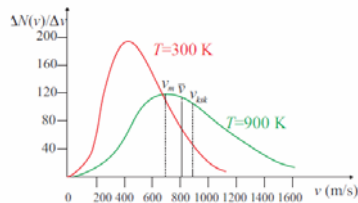
Расподела (Максвелова) молекула по брзинама и састав атмосфере

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

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

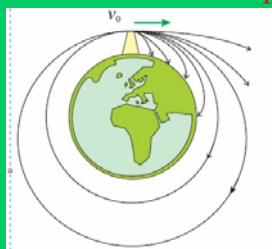
$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

$$v_{\text{esk}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$



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

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

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

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

Брзина потребна за напуштања Земљине атмосфере

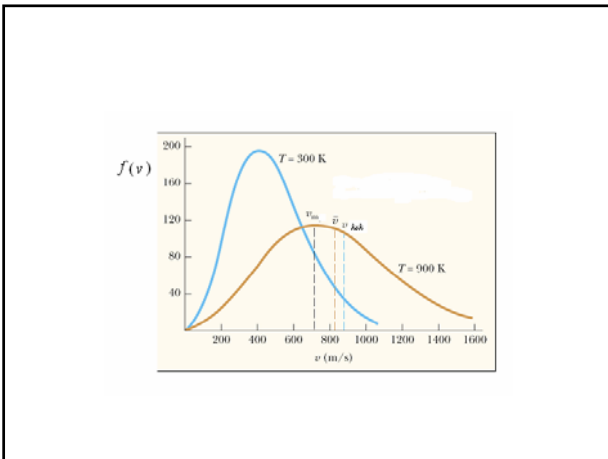
- почетна брзина је према томе
- како је убрзање Земљине теже

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

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

- 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!
- применљив и за молекуле!
- Има ли таквих молекула који могу да напусте Земљу и колико их је ако их има?



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

- 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 K, за кисеоник и азот се добија
- за водоник и хелијум

$$v_m(\text{He}) = 1094\text{ m/s} \quad v_m(\text{H}_2) = 1550\text{ m/s}$$

- На 2 000 K

$$v_m(\text{He}) = 3000\text{ m/s} \quad v_m(\text{H}_2) = 4000\text{ m/s}$$

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

- У горњим слојевима атмосфере температуре су веће па је више молекула који имају довољне брзине да напусте Земљу
- У току 10⁹ година, водоник и хелијум су у великој мери напустили Земљу – зато их има толико мало у односу на остале молекуле

Време живота молекула у атмосфери

- Време живота, τ , је средње време трајања молекула гаса у атмосфери
- значајна је као и (тренутна) концентрација молекула – када разматрамо полутанге (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 флуks гаса (у kg/s)

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 (CH₄, N₂O, CO, CFC)
 - варијабилни- τ је реда дана и недеља (O₃-циклус у стратосфери, H₂O (циклус у тропосфери), SO₂ и H₂S (киселе кише) и NH₃ – издувни гасови аутомобила, али је такође и део нитрогеног циклуса)

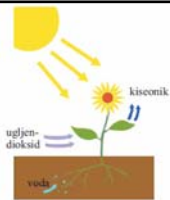
Циклуси и количина главних елемената у атмосфери

- 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 монооксид, биолошки извори
 - угљен диоксид – комбинација природних и вештачких извора

79

Фотосинтеза

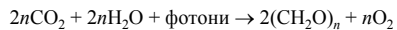
- вегетација је есенцијални део атмосфере
- 1772. Џозеф Присли – оглед: миш и нана у затвореним посудама – у првој обоје, у другој и трећој само миш и само нана.



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 глюкозу) и кисеоник уз присуство хлорофила. Реакција је ендотермна (иде уз утршак енергије) – потребна је сунчева енергија да би се одвијала.

Фотосинтеза

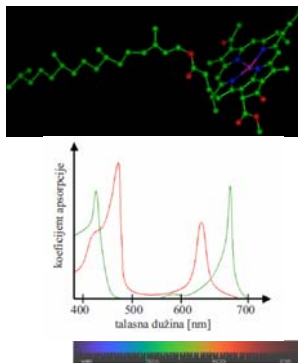


- не може свако зрачење да изазове ове реакције – нека се рефлектују па лишће има зелену боју
 - најефикаснија је црвена боја, али и плава, наранџаста и жута могу да учествују у процесу.
- Када молекула апсорбује квант зрачења (фотон) прелази у побуђено стање
 - Или се враћа у основно или пређе на неко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

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- зато листови изгледају зелени јер су зелена и црвена комплементарне боје!
- енергије које имају фотони тих таласних дужина
 - $E_a=h\nu_a=hc/\lambda_a=(6,625 \times 10^{-34} \text{Js})(3 \times 10^8 \text{m/s})/(680 \times 10^{-9} \text{m})=2,92 \times 10^{-19} \text{J}$
 - $E_b=hc/\lambda_b=(6,625 \times 10^{-34} \text{Js})(3 \times 10^8 \text{m/s})/(644 \times 10^{-9} \text{m})=3,09 \times 10^{-19} \text{J}$
- Број фотона који се мора апсорбовати у хлорофилу (хлорофилима) износи (по једној реакцији)
 - $n_a=E_p/E=8$
 - $n_b=E_p/E=7,60$

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



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-
 - 10^3cm^{-3} изнад океана
 - 10^6cm^{-3} изнад гла – ван градова
 - 10^5cm^{-3} изнад градова

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

Киселе кише

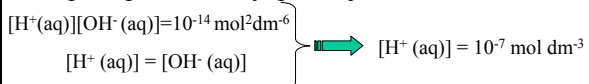
- Киша загађена сумпор-диоксидом, азот-оксидом... услед чега јој је киселост већа него што је уобичајено
- Киселост супстанце се одређује преко рН

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:



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 (pH) кишнице око 5,6.
- ова вредност је гранична вредност, све што је киселије од ове вредности ($\text{pH} < 5,6$) сматра се киселом кишом.
- када се загађење комбинује са чистом кишницом pH кише се понекад драстично мења.

Киселе кише

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