



Зрачење Сунца и температура планета

Енергија Сунца – симбол ☉

- Састоји се од вреле плазме
- Полупречник $6,955 \times 10^5 \text{ km}$ (109 полупречника Земље)
- Маса $2 \times 10^{30} \text{ kg} = 330\,000$ маса Земље и чини 99,86% масе Сунчевог система
- $\frac{3}{4}$ масе је водоник, остало углавном хелијум, 1,69% кисеоник, угљеник, неон, гвожђе, ...
- Жути патуљак – најинтензивније зрачи у жуто-зеленом делу спектра
- На површини је $T=5778 \text{ K}$
- Звезда “главног низа” - енергију добија фузијом водоника у хелијум
- Сваке секунде сагори $4\,300\,000\,000 \text{ kg}$ водоника



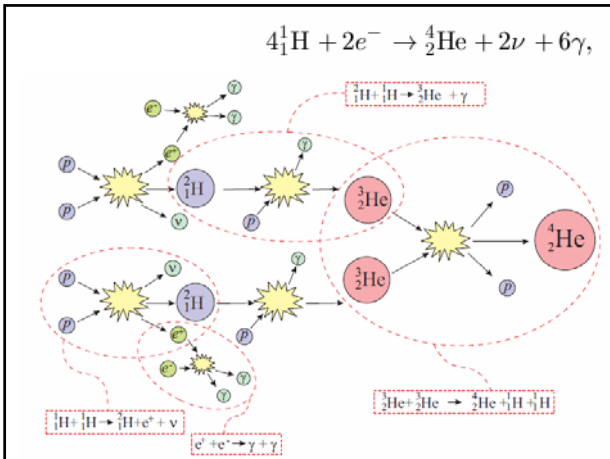
Slika 2.1: 1. Jezgro, 2. Zona radijacije, 3. Zona konvekcije, 4. Fotofera, 5. Hromosfera, 6. Korona, 7. Sunčeve pege, 8. Granule, 9. Prominencije.

Порекло енергије Сунца

- Енергија потиче од фузије водоника у хелијум
- Водоник је јонизован

$$4\text{}^1_1\text{H} + 2e^- \rightarrow \text{}^4_2\text{He} + 2\nu + 6\gamma,$$

- Маса продуката фузије је мања од маса почетних честица
- Ајнштајнова релација $E=mc^2$
- Разлика у маси се конвертује у енергију 26,7 MeV
- Да би се протони довољно приближили потребна је висока температура која влада у центру Сунца ($15 \times 10^6 \text{ K}$) – фузија = **термонуклеарна фузија**



Енергија Сунца

- Температура у Сунцу је последица **гравитације Сунца**
- Да ли може да се процени њена вредност некако?
- За **стабилне системе** у механици важи **теорема виријала**

$$\overline{E_p} = -2\overline{E_k}$$

Маса Сунца

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}NkT \approx \frac{3}{2} \frac{M_\odot}{m_p} kT.$$

Маса протона

- Колика је потенцијална енергија Сунца?
- Потенцијална енергија се везује увек за интеракцију
- Са чим/ким би Сунце могло да интерагује?

5

Енергија Сунца

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2}NkT \approx \frac{3}{2} \frac{M_\odot}{m_p} kT.$$

- “Сунца” интерагује са “Сунцем” на растојању једнаком полупречнику Сунца (сваком припада по $\frac{1}{2}$ масе).
- Из теореме виријала се добија процена температуре Сунца
- Заменом бројчаних вредности се добија $T \sim 20$ милиона Келвина.
- Тачан ред величине температуре потребне за фузију

$$E_p \sim -\gamma \frac{M_\odot^2}{R_\odot}$$

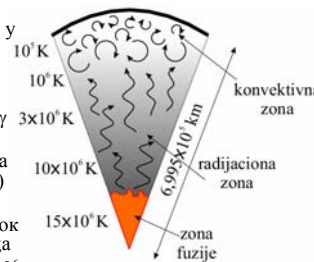
$$\overline{E_p} = -2\overline{E_k}$$

$$T \sim \frac{\gamma M_\odot m_p}{k R_\odot}$$

6

Пренос енергије Сунца из центра ка спољашности

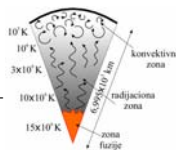
- Енергија настаје у зони фузије у језгру и иде кроз два слоја
- Имена им потичу од начина преношења енергије кроз њих
- У зони фузије настају фотони γ зрачења.
- Крећу се неометано – нема шта да их апсорбује (стање плазме)
- Расејавају се на слободним електронима – губе енергију док се пењу ка спољашности Сунца
- На површину дођу тек након 10^6 година



7

Пренос енергије Сунца из центра ка спољашности

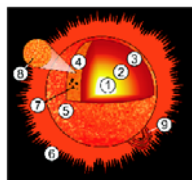
- Радијациона зона 0,25 до 0,85 полупречника Сунца
- Температура у њој опада па гас престаје да буде јонизован
- Ка површини се појављују прво неутрални атоми хелијума а затим и водоника
 - Енергија јонизације хелијума је 24,59 eV
 - Енергија јонизације водоника је 13,6 eV
- Затим се јављају и негативни јони водоника H^-
- H^- има два електрона на првом нивоу
 - Енергија везе/јонизације за H^- је 0,75 eV
 - Фотони који могу да их неутрализују су у ИЦ области (а могу да буду и у видљивој)
 - Стога су ови слојеви **непрозрачни**
- Када се H^- неутрализује зрачење се не креће даље па нагло опада температура – услови за конвекцију



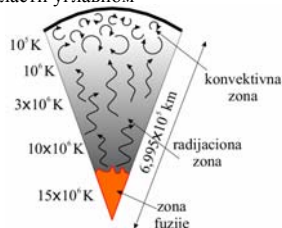
8

Пренос енергије Сунца из центра ка спољашности

- Конвективна зона – кретање великих маса супстанце – архимедов закон
- Када дођу до површине зраче ...
- Танак површински слој – фотосфера – са њега долази зрачење у ВИС и ИЦ области углавном



Slika 2.1: 1. Jezgro, 2. Zona radijacije, 3. Zona konvekcije, 4. Fotofosfera, 5. Hromosfera, 6. Korona, 7. Sunceve pege, 8. Granule, 9. Prominijencije.



9

Електромагнетно зрачење и његова природа

- *Isaac Newton* – честична природа светлости - зраци
- *Thomas Young* - таласна природа светлости
- *James Maxwell* - електромагнетна теорија – таласна природа
- *Albert Einstein* - фотони – честична природа

10

James Clerk Maxwell

- Електрицитет и магнетизам, из почетка нису били повезани
- 1865. James Clerk Maxwell конструисао математичку теорију која је показала да постоји тесна веза између електричних и магнетних феномена



11

Електромагнетни таласи

- Максвелове једначине (1831-1879) – сумирају сво тадашње знање о електромагнетизму
 1. Линије електричног поља имају свој почетак и крај. Оне почињу на позитивним а завршавају се на негативним наелектрисањима. Јачина електричног поља је дефинисана као сила по јединичном пробном наелектрисању, док је интензитет силе повезан са диелектричном пропустљивошћу вакуума ϵ_0
 2. Линије магнетног поља су затворене линије, немају ни почетак ни крај. Интензитет силе магнетног поља је повезан са магнетном пропустљивошћу вакуума μ_0
 3. Променљиво магнетно поље ствара (индукује) електромоторну силу, односно електрично поље. Смер индуковане електромоторне силе је такав да се супротставља промени у магнетном пољу која ју је изазвала.
 4. Магнетно поље стварају наелектрисања у кретању или променљиво електрично поље.

12

Максвелове једначине - последице

- оне нису само обједињени и другачији запис дотадашњег знања
- указују на симетрију између промене електричног поља и добијања магнетног на основу тога и обрнуто
- закључак, осциловање у колима са наизменичном струјом креирају променљива поља која се потом преносе кроз простор – формирају се **електромагнетни таласи**
- из Максвелових једначина је осим тога следило да је њихова брзина једнака брзини светлости у вакууму
- **закључак: светлост је електромагнетни талас**

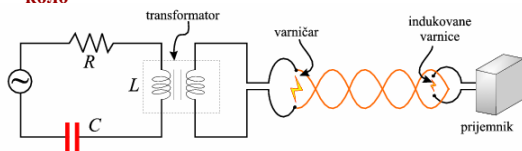
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

13

Максвелове једначине - последице

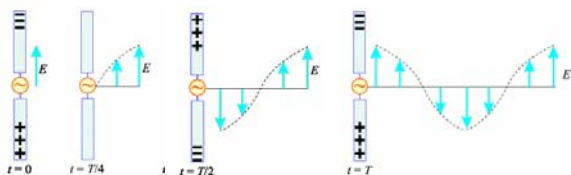
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

- то је била теорија – није било експерименталне потврде
- а онда је Хајнрих Херц, 1887. године почео да врши експерименте са RLC колима (кола са отпорницима, калемима и кондензаторима која су осциловала)
- **доказао егзистенцију ЕМ таласа које је емитовало коло**



14

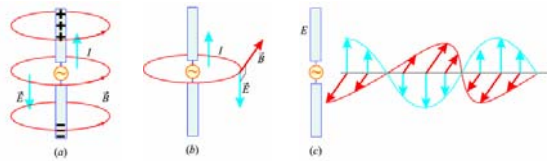
Генерисање електромагнетних таласа



- жица са извором наизменичне струје - **антена**
- шта је са магнетним пољем?
- да пробамо да га одредим правилном десне шаке?

15

Магнетно поље ЕМ таласа

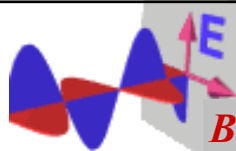


- жица са извором наизменичне струје – **антена**
- правило десне шаке
- закључак – ЕМ талас је **трансверзалан**
- осим тога важи

$$\frac{E}{B} = c.$$

16

Спектар ЕМ таласа



упоређени са димензијама ...



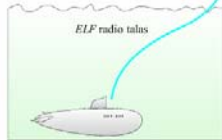
17

Радио таласи

- назив потиче од врсте таласа за преношење сигнала између радио апарата
- извор осцилаторна кола – као што је и описано
- разни опсези
 - AM, FM, TV
 - ELF (**E**xtrremely **L**ow **F**requency), ...

18

- најниже фреквенције 60 Hz у далеководима
- ELF 1 kHz за комуникацију са подморницама – слабо их апсорбује слана вода
- AM – амплитудна модулација, у области 540-1600 kHz
- FM – фреквентна модулација, у области 88-108 kHz



Slika 11.31: (a) Dalekovid. (b) Da bi talas mogao da dodje do podmornice mora da ima veoma veliku talasnu dužinu, odnosno ekstremno nisku frekvenciju (ELF).

- 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 11.33: Noseći, zvučni i frekventno modulisani signal.

20

Микроталаси

- таласи највише фреквенције коју могу да произведу осцилаторна кола
- област 10^9 - 10^{12} Hz
- због мале таласне дужине добили су име микро
- зраче их атоми и молекули при термалном кретању
- погодни за комуникацију јер као таласи више фреквенције носе више информација по јединици времена
- радар – уређај који ради користећи њих
- доплеров ефекат за одређивање брзине аутомобила
- микроталасна рерна – апсорбују их молекули воде
- космос зрачи као црно тело температуре 2,7 K у овој области

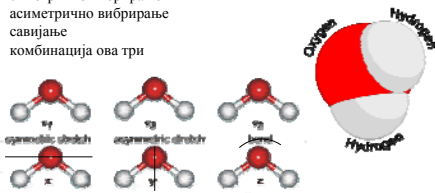
21

Инфрацрвено зрачење

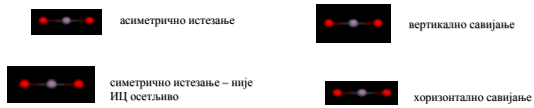
- настаје услед термалног кретања, осциловања и ротирања атома и молекула
- област иде до видљивог дела (црвене боје у спектру)
- молекул воде ротира и осцилује/вибрира на фреквенцијама које спадају у ову област
- сунце зрачи у овој области око 50% свог зрачења, као тело температуре око 6000 K
- Земља такође али много мање интензивно
- **заправо све (што није на апсолутној нули) зрачи у овој области!**

22

- Начини вибрирања веза у молекулу воде у гасовитом стању
 - симетрично вибрирање
 - асиметрично вибрирање
 - савијање
 - комбинација ова три



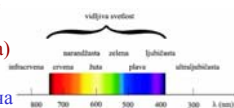
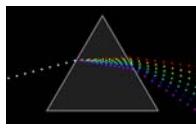
- Начини вибрирања веза у молекулу угљен диоксида у гасовитом стању



23

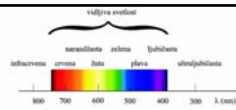
Видљива светлост

- узани део спектра на који је људско око осетљиво
- оптика се бави овом облашћу углавном
- када интерагује са телима већим од таласне дужине зрачења светлост се простире као зрак-честица праволинијски (геометријска оптика)
- ако су тела реда величине таласне дужине, понаша се као талас (таласна или физичка оптика)



24

Ультраљубичасто зрачење



- “изнад” љубичастог зрачења
- таласне дужине између 380 до 10 nm, преклапају се мало са х облашћу
- откривено 1801. године још као невидљива за око компонента Сунчевог зрачења
- део (опаснији) апсорбује озон
- опасно за жива бића
- користи се за стерилизацију
- ствара витамин Д у кожи
- и тамњење коже
- зауставља га стакло

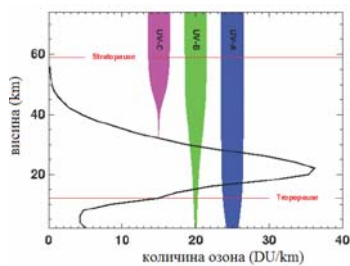
25

Типови UV зрачења

Тип	Таласна дужина	Карактеристике
UVA	315-400nm	- не зауставља га озон - изазива рак коже
UVB	280-315nm	- делимично га зауставља озонски слој - изазива опекотине, рак коже
UVC	100-280nm	- зауставља га озонски омотач - изазива опекотине и рак коже

26

Расподела озона са висином и степен продирања UV зрачења до Земље



- На површину Земље стиже (у природним условима)
 - 94% UVA
 - 6% UVB
 - 0% UVC

D(obson) U(nit)

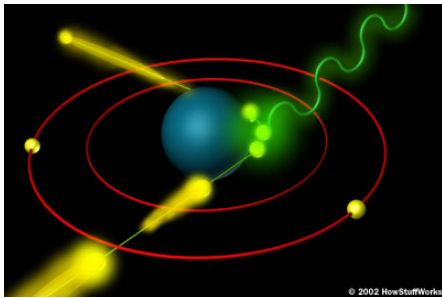
27

Рентгенско зрачење

- експерименти са електричним пражњењима у гасовима при високим напоним су били у моди 50-их година 19. века
- откривено је да постоји **непознато** ЕМ зрачење високе фреквенције и невидљиво за очи – названо је х зрачење
- у ствари настаје на два начина – кочењем брзих електрона и избијањем електрона са унутрашњих нивоа (близу језгра)
- на живе ћелије делује као УВ, оштећује их
- уништава брзоделеће ћелије рака
- употреба – за добијање слика тела непроводних за видљиву светлост – успешност у пролажењу зависи од густине делова тела
- Рентген 1901. године добио прву Нобелову награду за физику
- користе се и за испитивање кристалних структура

28

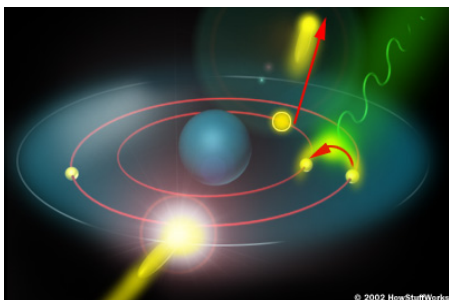
Настанак Х-зрака – континуално зрачење.



© 2002 HowStuffWorks

29

Настанак Х-зрака – карактеристично зрачење



© 2002 HowStuffWorks

30

Гама зрачење

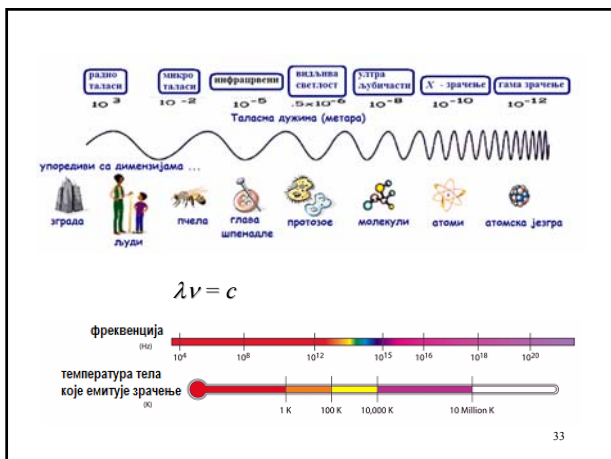
- нуклеарни распади откривени 1896. године
- убрзо је установљено да га прате три врсте “зрачења”
- најпродорније је добило назив γ -зрачење
- електромагнетни талас високе (највише) фреквенције
- емитују га језгра атома
- такође у реакторима, нуклеарном оружју, итд.
- употреба, за стерилизацију, зрачење оболелог ткива
- високоенергетски зраци овог типа долазе и из васионе као део космичког зрачења

31

Спектар ЕМ таласа (Седам облика/типова)

- Радио таласи • - комуникација
- Микроталаси • - кување и комуникација
- Инфрацрвени • - “таласи топлоте”
- Видљива светлост • - региструје је око
- Ултразвучна • - изазива опекотине на кожи
- X-зрачење • - пролази кроз ткива
- Гама зрачење • - има највећу енергију

32



33

Сунце као црно тело – Кирхофов закон

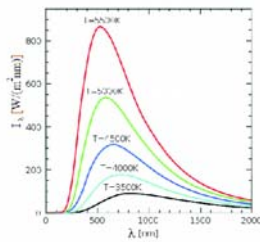
- Проучавао интеракцију зрачења са Сунца са атмосфером Земље
- a_λ -апсорптивност супстанце (коэффициент апсорпције-део енергије упадног зрачења дате таласне дужине који је апсорбован)
- I_λ -интензитет ЕМ зрачења дате таласне дужине исте супстанце
- Кирхоф:
 - Однос a_λ и I_λ не зависи од врсте супстанце већ само од њене температуре и таласне дужине зрачења

$$\frac{I_\lambda}{a_\lambda} = B_\lambda(T)$$

37

Сунце као црно тело – Кирхофов закон

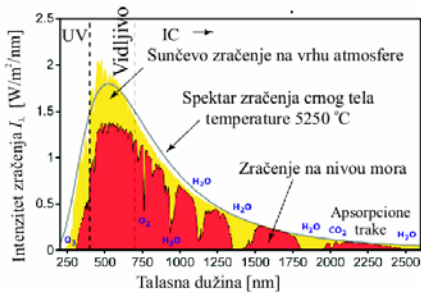
- Тела за која је $a_\lambda=1$ апсорбују потпуно – црна тела.
- Она и емитују идеално
- e_λ -емисивност супстанце (коэффициент емисије-однос интензитета емитованог зрачења тела и зрачења које би емитовало црно тело)
- За црно тело је и $e_\lambda=1$



Slika 2.5: Zavisnost intenziteta zracenja crnog tela od talasne duzine za nekoliko temperatura.

Планков закон зрачења

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}$$



Slika 2.6: Spektar Sunca na vrhu atmosfere i na nivou mora.

39

Винов закон (померања)

- “Топлија тела зраче интензивније на краћим таласним дужинама.”

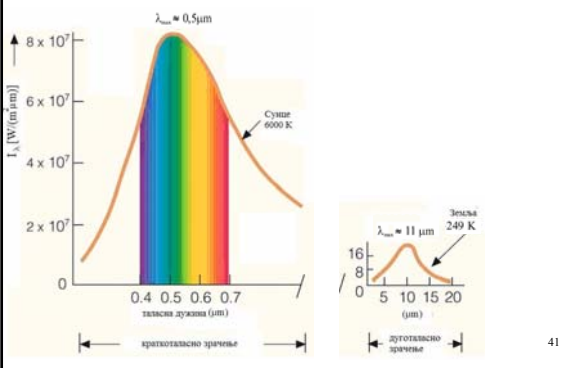
$$\lambda_{\max} T = b \quad \bullet \quad b - \text{Винова константа}$$

$$\lambda_{\max} T = 2.9 \times 10^{-3} \text{ mK}$$

- Температуре звезда су између 3000 К и 50,000К.

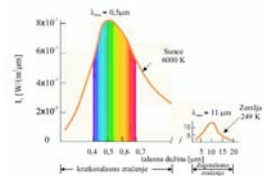
40

Зрачење црног тела зависи од температуре!



41

- Сунце зрачи највише у ВИС и ИЦ
- Зрачење Земље има максимум у ИЦ области



Slika 2.7: Planckove krive zračenja za Sunce i Zemlju.

42

Штефан-Болцманов закон

- шта утиче на брзину преноса топлоте зрачењем?
 - температура тела и то као T^4
 - површина S (када процарамо ватру она боље гори)

43

Баланс зрачења

- Штефан-Болцманов закон – снага зрачења – укупна луминозност (по свим таласним дужинама и са целе површине тела)

$$L = S\sigma T^4,$$

- Штефан-Болцманова константа

$$\sigma = 5,671 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$$

44



45

- Емисиони спектар црног тела на 5800 K (температура површине Сунца) и 2800 K (температура влакна сијалице).
- Сунце емитује већину зрачења у ВИС, док сијалица емитује углавном у ИЦ.
- Укупна израчена енергија (површина испод криве) је пропорционална четвртој степену апсолутне температуре (Штефан-Болцманов закон)
 - ако се T повећа 2 пута, израчена енергија се повећа 16 пута!

$\lambda_{\max} T = b$

Сунце 5800 K
сијалица са угаљеним влакном 2800 K

0 УВ област видљива област инфрацрвена λ (таласна дужина)

- Таласна дужина на којој крива спектра достиже максимум је дата Виновим законом и обрнуто је пропорционална температури
- мерењем те таласне дужине можемо да одредимо колика је температура површине објекта који зрачи.

46

Спектар зрачења са Сунца

- потиче од енергије фузије углавном водоника у хелијум
- највећи део зрачења са Сунца је у видљивом делу спектра.
- трака зрачења од 400 до 700 nm представља 43% укупног зрачења које са Сунца стиже до Земље (горњих слојева њене атмосфере!).
- таласне дужине краће од видљивог дела спектра (мање од 400 nm-УВ зрачење) обухватају око 7-8% укупног зрачења

47

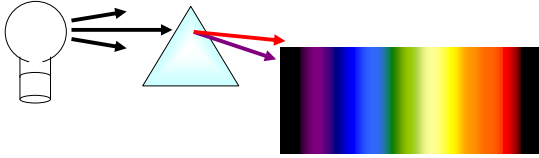
Емисиони и апсорпциони спектри

- Атомски спектри
- Чврста тела, течности и гасови могу да емитују ЕМ зрачење
 - Спектар
 - непрекидни – као црно тело
 - емисиони
 - апсорпциони

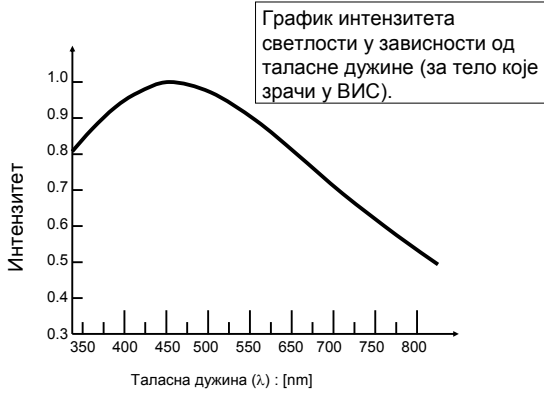
48

Непрекидни спектри

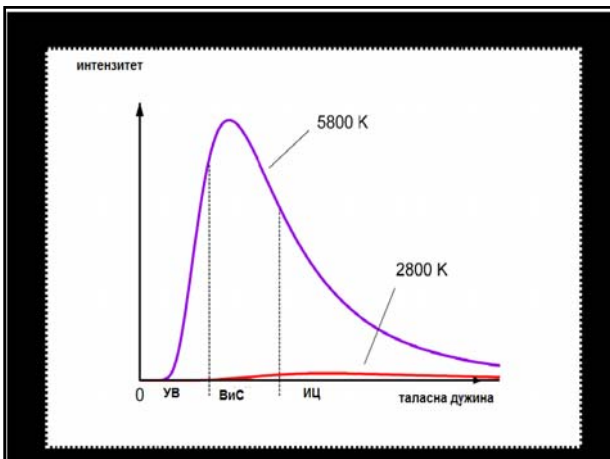
Непрекидан спектар се може добити нпр у **видљивом делу** користећи било које тело које може да зрачи као црно тело (нпр. сијалица са ужојеном нити)



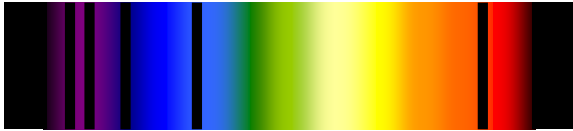
49



50



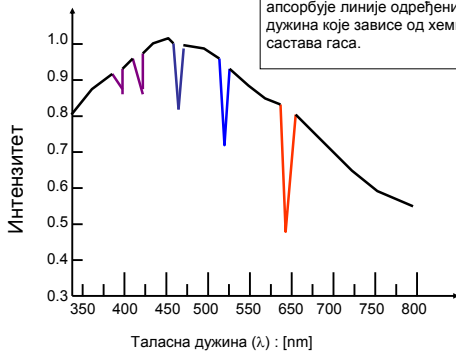
Апсорпциони спектар



Провидан (редак), релативно хладан гас испред извора непрекидног спектра производи **апсорпциони спектар** – серија црних (недостајућих) спектралних линија унутар боја непрекидног спектра

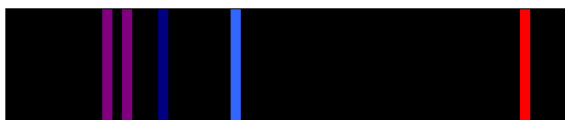
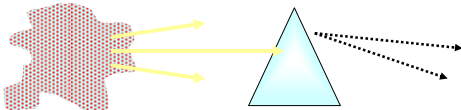
52

Ако светлост пролази кроз облак хладнијег гаса, тај облак селективно апсорбује линије одређених таласних дужина које зависе од хемијског састава гаса.



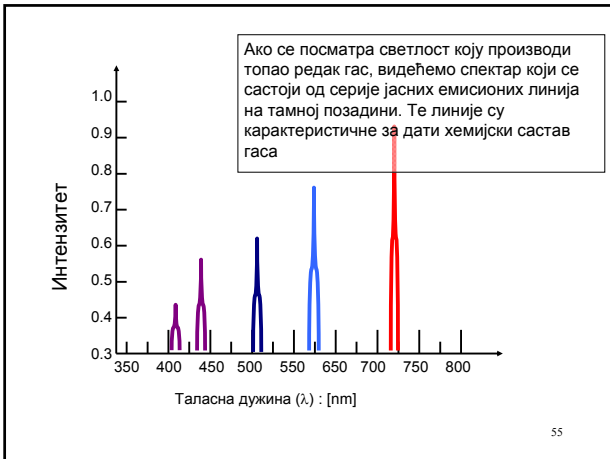
53

Емисиони спектар



Топло, провидан гас прозводи емисиони спектар, тј. линије - серија јасних линија одговарајућих боја на тамној позадини.

54



Објашњење?

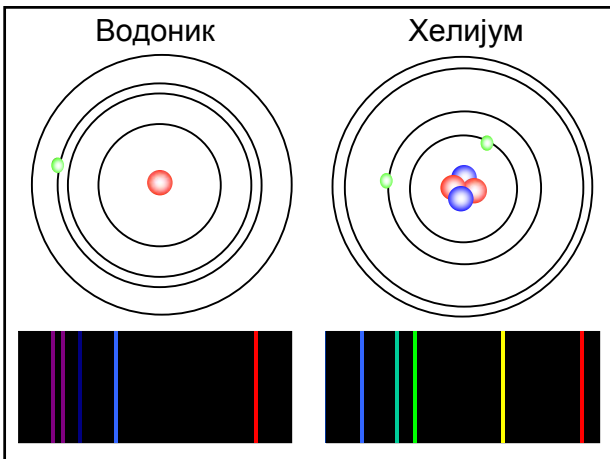
На почетку 20. века научници су били збуњени немогућношћу класичне физике да објасни стабилност атома и карактеристике њихових спектра.

Зашто атоми неког елемента емитују (видљиву) светлост само одређених таласних дужина?

Зашто атоми елемената апсорбују једино светлост тих истих таласних дужина које су и емитовали?

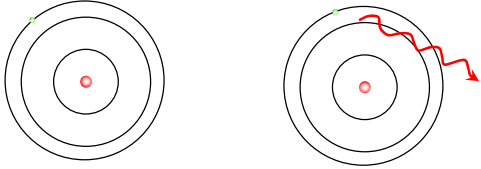
- Боров модел – 1913. Основне идеје
 - негативни електрони орбитирају око језгара по стабилним (енергјским) нивоима
 - тачан распоред нивоа зависи од броја протона и неутрона у језгру и броја електрона у омотачу
 - како је сваки атом има јединствен, дискретан и специфичан распоред енергјских нивоа – сваки има сопствени "отисак прста" – емисионе и апсорпционе линије које се добијају приликом преласка електрона са нивоа на ниво

56



Настанак емисионог спектра

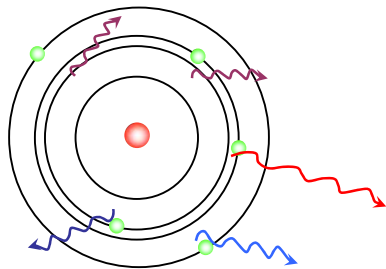
Електрон са вишег енергијског стања прелази у ниже и настаје светлост енергије која тачно одговара разлици енергија ова два стања/нивоа.



Спектар атома пре и после преласка између нивоа. Приметити да сваком прелазу одговара нека тачно одређена боја

58

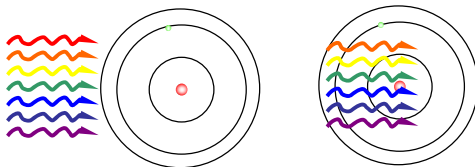
Водоник



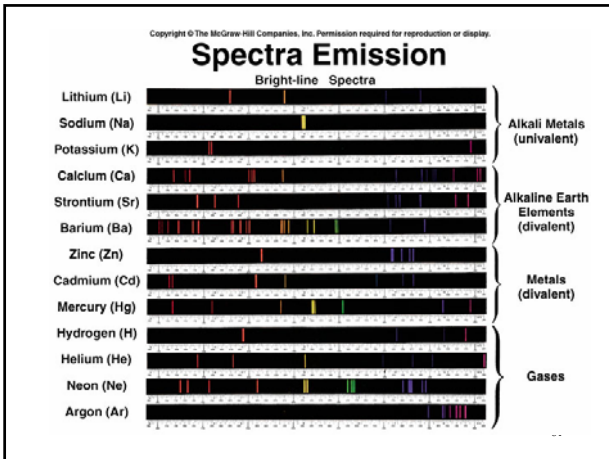
59

Апсорпциони спектар

Електрон са нижег енергијског стања се "попне" на више при чему мора да апсорбује светлост чија је енергија (а тиме и фреквенција и таласна дужина) одређена разликом енергијских нивоа између којих се врши прелаз.

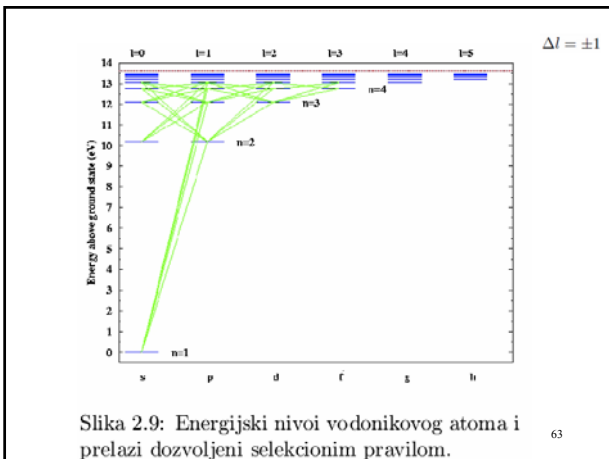


60



- Откуда оволика разлика атомских спектра?
- Електрони су на нивоима који су одређени вредношћу главног квантног броја n и орбиталног квантног броја l , различити полупречници, енергије, ...
- Не дешавају се прелази са сваког нивоа на баш сваки!
- Селекциона правила..., $\Delta l = \pm 1$

62

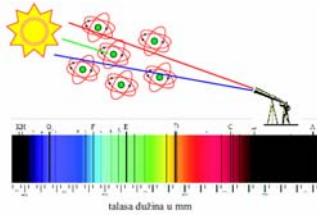


Slika 2.9: Energijski nivoi vodikovog atoma i prelazi dozvoljeni selekcionim pravilom.

63

Фраунhoferове апсорпционе линије

- Фраунхофер, 1814. г. Открио у спектру зрачења са Сунца низ црних линија (570, данас регистровано преко 3 000 линија)
- Кирхов и Бунзен су 45 година касније показали да се Фраунhoferове апсорпционе линије поклапају са емисионим линијама у спектрума загрејаних супстанци на Земљи (принцип идентичности)
- Следи – на Сунцу има: H, He, Mg, Ca, Fe, ...

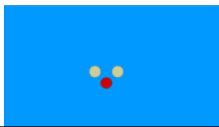
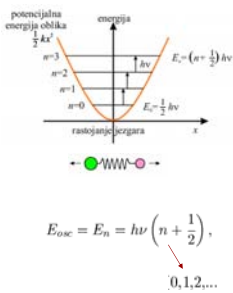


Slika 2.11: Fraunhoferove apsorpcione linije u spektru Sunca.

64

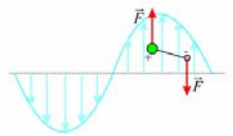
Молекулски спектри

- Зашто настају молекули?
- Тежња ка стабилним конфигурацијама у којима је спољашња “љуска” попуњена
- Водоник или гради H⁺ или H₂
- Растојање језгара у двоатомној молекули (електрони су између језгара) није фиксно – језгра се крећу - осцилују
- Енергија не може да има било коју вредност већ је *квантована*

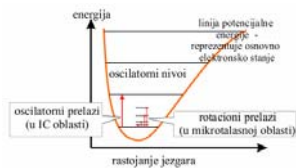


Молекулски спектри

- Молекул може и да ротира
- Енергија ротације не може бити било која – и она је *квантована*
- Постоји само код поларних молекула – имају перманентан диполни момент
- Укупна енергија је збир



Slika 2.16: Električno polje EM talasa deluje spregom sila na električni dipol molekula.



Slika 2.15: Oscilatorni i rotacioni energijski nivoi dvoatomnog molekula.

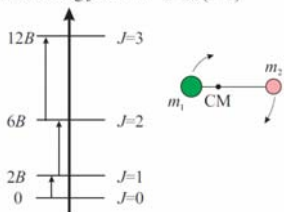
66

$$E_{rot} = E_J = \frac{h^2}{2I} J(J+1),$$

$$h = h/(2\pi) \quad 0,1,2,\dots$$

$$E = h\nu \left(n + \frac{1}{2} \right) + \frac{h^2}{2I} J(J+1).$$

rotacioni energijski nivoi $E=BJ(J+1)$



Slika 2.14: Energijski nivoi rotatora

67

Молекулски спектри – укупна енергија молекула

- Енергија молекула има три (независна) дела
- Њена промена такође
- Нису сви сабирци истог реда величине – ротациони су блиски па су спектри тракасти

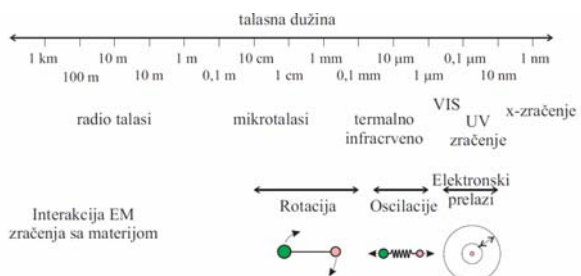
$$E = E_{el} + E_{osc} + E_{rot},$$

$$\Delta E = \Delta E_{el} + \Delta E_{osc} + \Delta E_{rot}.$$

$$\Delta E \approx 10^3 \Delta E_{osc} \approx 10^6 \Delta E_{rot},$$

68

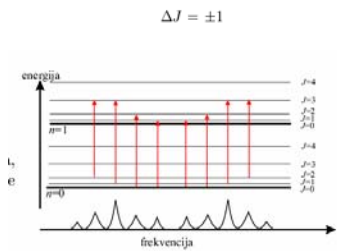
Укупна енергија молекула



69

Молекулски спектри

- Молекулски спектри су тракасти
- За дату промену осцилаторног броја ротациони има низ вредности
- Енергије су у области ИЦ зрачења



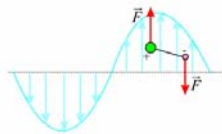
Slika 2.17: Rotaciono-osilatorni prelazi u dvoatomnom molekulu.

70

Молекулски спектри

- За климу на Земљи су битна три молекула у атмосфери
- H_2O , CO_2 , O_3
- Енергије ротационо-осцилаторних су у области ИЦ зрачења
- Последица апсорпције у ИЦ области – заробљавање енергије у нижим слојевима атмосфере - чини површину Земље топлијом – ефекат стаклене баште.
- Ротациони – само код поларних молекула!

$$\Delta E \approx 10^3 \Delta E_{osc} \approx 10^6 \Delta E_{rot},$$

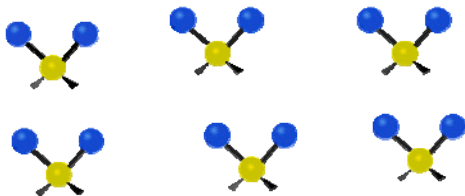


Slika 2.16: Električno polje EM talasa deluje spregom sila na električni dipol molekula.

71

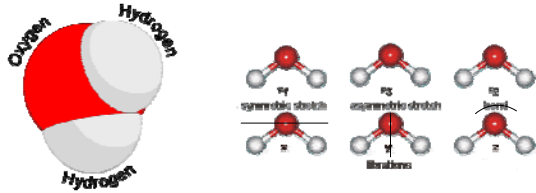
Молекулски спектри

- Прости 2-атомски молекули имају само једну хемијску везу која може да мења дужину
- Сложенији молекули имају више веза па могу на више начина да мењају њихов облик и величину
- Пример – CH_2 који може да вибрира на шест начина



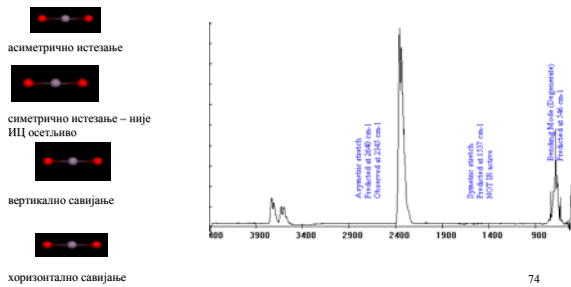
72

- Начини вибрирања веза у молекулу воде у гасовитом стању
 - симетрично вибрирање
 - асиметрично вибрирање
 - савијање
 - комбинација ова три



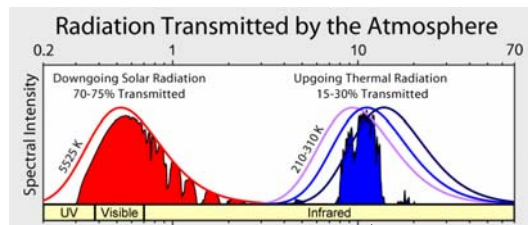
73

- Начини вибрирања веза у молекулу угљен диоксида у гасовитом стању
- емисиони спектар (део)



74

Зрачење које пролази кроз атмосферу

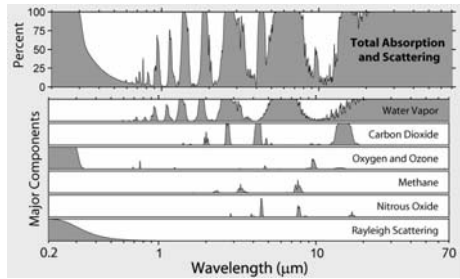


апсорпциони спектар

емисиони спектар

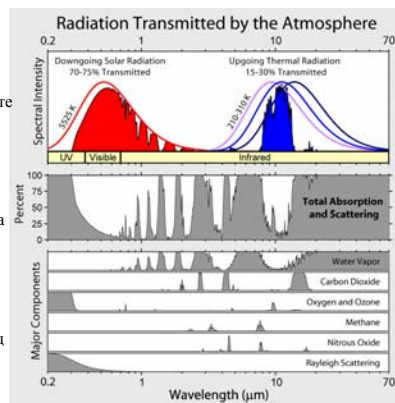
75

Апсорпционе траке генерисане различитим гасовима



76

- Апсорпционе траке генерисане различитим гасовима стаклене баште и њихов утицај на соларно (долазно) и на термално зрачење Земљине површине (одлазно).
- Мањи део соларног зрачења је апсорбован а већи пролази кроз атмосферу (70-75%) и долази до површине Земље
- Већи део термалног зрачења Земље је апсорбован (70-85%) од стране гасова који се налазе у атмосфери



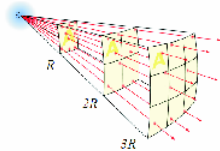
Температура планета

- Алbedo и Планкова температура
 - Размена енергије са васионом – зрачењем
 - Температура планета константна – постоји равнотежа емитоване и апсорбоване енергије
 - Колика су температуре планета Земљиног типа?
 - Зависи од количине топлоте која дође до планете и њене рефлективности
 - Претпоставимо за почетак да планете немају атмосфере

78

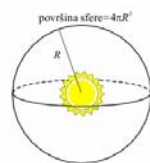
- Луминозност Сунца
- Енергија се емитује изотропно
- Енергија која (у 1 секунди) пролази кроз јединицу површине на неком растојању од Сунца је **флукс зрачења**

$$L = \frac{\Delta E}{\Delta t} = 3,9 \times 10^{26} \text{ W}$$



79

- **флукс зрачења** на месту дате планете је њена **соларна константа**



Slika 2.19: Smisao solarne konstante.

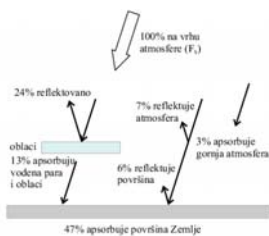
$$L = \frac{\Delta E}{\Delta t} = 3,9 \times 10^{26} \text{ W} \quad \boxed{F_S = \frac{L}{4\pi R^2}}$$

- За Земљу је

$$F_S = 1380 \text{ W/m}^2$$

80

Албедо

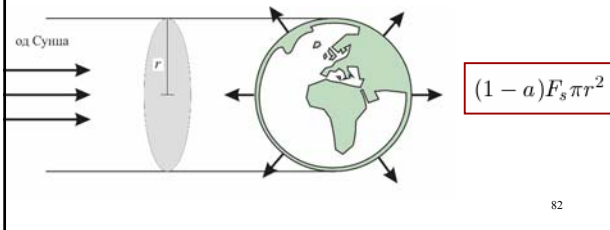


Slika 2.22: Prosečni energetski budžet sisteme Zemlja-atmosfera.

- Рефлектовано,
 - 24%
 - 7%
 - 6%
 - =37% или 0,37
- Апсорбовано
 - 13%
 - 3%
 - 47%
 - =63% или 0,63

81

- Зрачење са Сунца пада на планету коју “види” као круг површине πr^2
- Ма која планета, у јединици времена прими енергију у износу





- Планета се загрева до неке температуре и зрачи као црно тело
- Штефан-Болцманов закон – са целе површине у јединици времена се израчи енергија $4\pi r^2 \sigma T_p^4$.
- Она мора да буде једнака примљеној енергији у јединици времена $(1 - a)F_s \pi r^2 = 4\pi r^2 \sigma T_p^4$,
- Температуре планете (Планкова температура) је

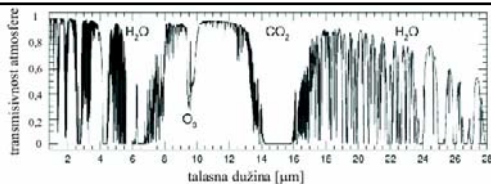
$$T_p = \left(\frac{F_s(1 - a)}{4\sigma} \right)^{1/4}$$

ИС зрачење и ефекат стаклене баште

- Планкова температура Земље 249 К
- Земља зрачи као црно тело те температуре
- Винов закон даје таласну дужину на којој она максимално зрачи (ИЦ област)

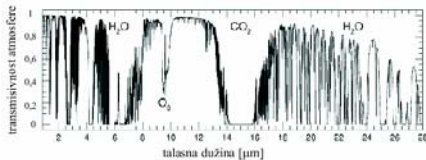
$$\lambda_{max} = \frac{0,0029}{249} = 11,6 \mu\text{m}.$$

85



- Гасови у атмосфери могу и да апсорбују и да пропусте зрачење
- Са слике се види на којим таласним дужинама је највећа апсорпција и код којих гасова је то случај.
- Трансмисивност атмосфере за терестрично зрачење = **однос интензитета зрачења које је прошло кроз атмосферу и интензитета зрачења које је емитовано са површине Земље**
- Таласне дужине на којима је интензивна апсорпција спадају у ИЦ област а Земља баш најинтензивније зрачи у тој области!

86

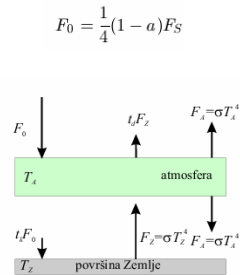


- CO₂ апсорбује највише на 15 μm (и 4,3 μm)
- H₂O такође добро апсорбује ИЦ зрачење
- Атмосфера генерално добро апсорбује у области 12-15 μm - близу таласне дужине на којој Земља максимално зрачи
- Задржавање ИЦ зрачења у атмосфери изазива додатно загревање Земље – **ефекат стаклене баште**
- **Повећава температуру Земље са Планкове температуре (249 К) на измерену (288 К)-**

87

Урачунавање утицаја атмосфере на температуру Земље

- Укупни флукс (краткоталасног) зрачења које стиже до Земље се дели на целу њену површину $= F_0$
- Не долази сво зрачење до тла – део се апсорбује. $t_k F_0$ долази до површине Земље
- Тло се загрева до температуре T_Z и зрачи у ИЦ области (дуготаласно)
- Зрачи по Штефан-Болцмановом закону $F_Z = \sigma T_Z^4$
- Део зрачења се апсорбује а део $t_d F_Z$ пролази кроз атмосферу
- Апсорбовано зрачење загрева атмосферу до температуре T_A и она такође зрачи као црно тело
- Зрачи по Штефан-Болцмановом закону $F_A = \sigma T_A^4$

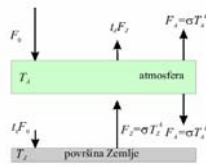


$$F_0 = \frac{1}{4}(1 - a)E_S$$

88

Урачунавање утицаја атмосфере на температуру Земље

- Земља је у термалној равнотежи па важи
- Елиминација флукса атмосфере даје флукс Земље
- Зрачи по Штефан-Болцмановом закону $F_Z = \sigma T_Z^4$
- Одавде се добија температура Земље



$$F_0 = F_A + t_d F_Z$$

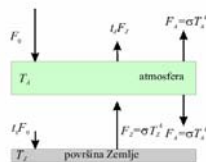
$$F_Z = F_A + t_k F_0$$

$$F_Z = F_0 \frac{1 + t_k}{1 + t_d}$$

$$T_Z = \left(\frac{F_0(1 + t_k)}{\sigma(1 + t_d)} \right)^{1/4}$$

Урачунавање утицаја атмосфере на температуру Земље

- Уколико нема апсорпције је $t_d = t_k = 1$
- Добија се резултат за планету без атмосфере (249 K) – сложенији модел обухвата претходни једноставнији!
- Атмосфера добро пропушта краткоталасно зрачење са Сунца ($t_k = 0,9$) а мало пропушта дуготаласно са Земље ($t_d = 0,1$)



$$T_Z = \left(\frac{F_0(1 + t_k)}{\sigma(1 + t_d)} \right)^{1/4}$$

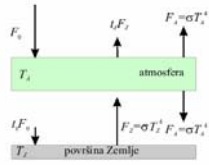
$$F_Z = 1,72 F_0$$

$$T_Z = (1,72)^{1/4} 255 \text{ K} \approx 285 \text{ K}$$

90

Урачунавање утицаја атмосфере на температуру Земље

- Може да се добије и температура атмосфере
- Недостаци модела
 - Не узима у обзир географску ширину
 - Атмосфера као једнослојна
 - Није динамички модел (нису узети у обзир: ветар, облаци, пренос топлоте од екватора ка половима, ефекти вегетације на албедо, ...)



$$F_0 = F_A + t_d F_Z.$$

$$F_Z = F_A + t_k F_0.$$

$$F_A = F_0 \frac{1 - t_k t_d}{1 + t_d}.$$

$$T_A \approx 238 \text{ K.}$$

91

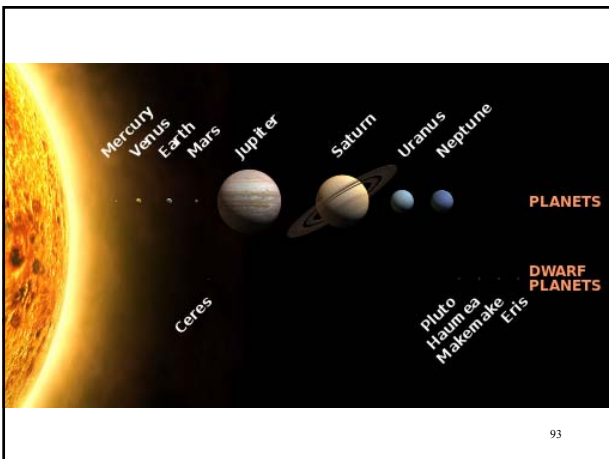
Ефекат стаклене баште на унутрашњим планетама Сунчевог система, 18.3.2013.

Planeta	Procenat gasova staklene baste u atmosferi	T_p [K]	T_{sr} [K] baste	iznos efekta
Merkur	nema atmosfere	443	363	0
Venera	90% CO ₂	253	750	497
Zemlja	0,03% CO ₂ , 1% H ₂ O	249	288	39
Mars	90% CO ₂	218	213	5

Tabela 2.2: Efekat staklene baste na terestričnim planetama.

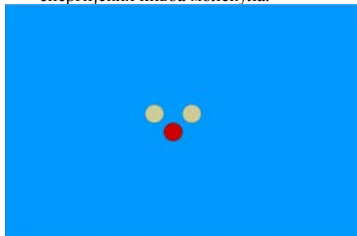
- Меркур практично нема атмосферу
- Венера је ближа Сунцу али јој је атмосфера веома рефлективна
- Планкова температура је тек мало већа од Земљине
- Измерена температура је пак 500 К виша!
- Услед специфичног сатава атмосфере ефекат стаклене баште је јако изражен

92



93

Поларни молекули апсорбују фотоне ИЦ зрачења јер њихова енергија одговара разлици осцилаторних (вибрационих) енергијских нивоа молекула.



Тако се повећава вибрациона енергија молекула и такође расте и температура као енергија која прелази на друге молекуле приликом судара

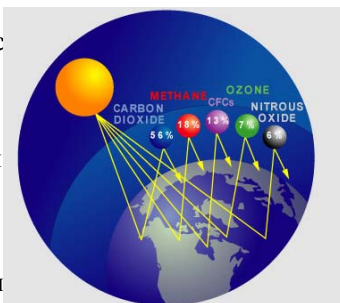
94

- водена пара
 - није добро “промешана”-процент јој варира од мање од 0,01% до више од 3%
- угљен диоксид
 - има дуго време боравка у атмосфери и добро је “промешан”-практично је једнако заступљен око Земље
- остали гасови стаклене баште
 - природни
 - метан, азотни оксиди, озон
 - вештачки
 - хлорфлуорокарбонати, хидрофлуорокарбонати

95

Допринос гасова ефекту стаклене баште

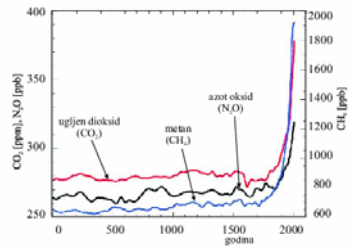
- Највише допринос CO_2 (апсорбује близу најфикасније таласне дужине) и H_2O (има га највише)
- Метан, CFC, оксиди азота, озон
- ...



96

Глобално загревање

- Повећање просечне температуре Земље изазвано повећањем концентрације гасова стаклене баште
- Последица вештачког ефекта стаклене баште
- Мерења концентрације CO₂ почела 1870.
- Како су добијени подаци за раније периоде?
- Из ваздуха екстрахованог из поларног леда са одређених дубина

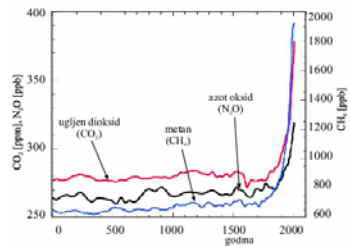


Slika 2.25: Koncentracija gasova staklene bašte od 0. do 2005. godine

97

Глобално загревање

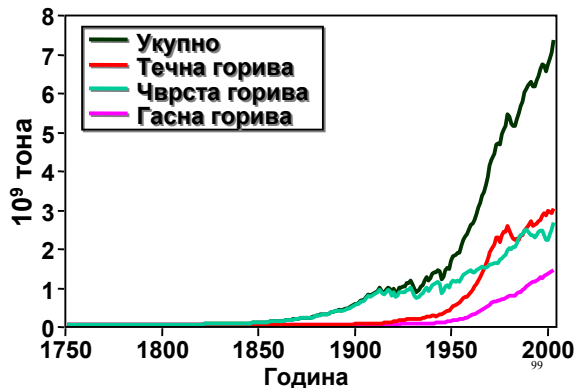
- % учешће гасова
 - CO₂, 55%
 - H₂O, 15%
 - CFC-12, 21%
 - N₂O 4%
 - Трпософерски озон 2%
 - Остали 3%
- Предвиђања свих модела су 1,5 К у наредних 70 година (уколико се настави тренд пораста концентрације гасова)
- Разне последице – подизање нивоа мора **услед термалног ширења** воде
 - На 5°C релативан пораст запремине 1×10^{-4}
 - а на 25°C је 3×10^{-4}
 - Последица пораста нивоа мора од 3 цм



Slika 2.25: Koncentracija gasova staklene bašte od 0. do 2005. godine

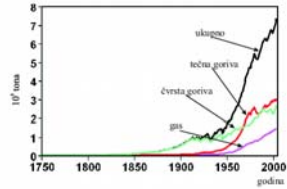
98

Светска емисија угљен диоксида



CO₂

- Раст концентрације почео пре око 200 година (инд. рев.)
- Промена тренда раста на мањој скали – последица промене годишњих доба
 - На северној хем. Пролеће – развијају се биљке и апсорбују CO₂ из атмосфере па му се концентрација смањује
 - Када је јесен, биљке умиру и концентрација CO₂ расте
 - На јужној хемисфери нема толиких осцилација – тамо је површина под тлом мања

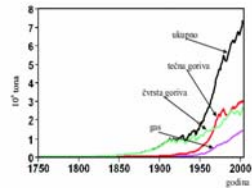


Slika 2.26: Porast količine CO₂ u atmosferi u poslednjih 200 godina.

100

CO₂

- Мерења
 - Јужни пол,
 - Аљаска,
 - Америчка Самоа,
 - Мауна Лоа, ...
- Сви извори повећања су антропогеног порекла
 - Сагоревање фосилних горива
 - Крчење шума
- Годишња производња из антропогених извора око 9,4 Gt
- Како знамо када меримо концентрацију CO₂ да је он потекао из антропогених извора?
 - Угљеник у CO₂ у атмосфери се јавља у облику два стабилна изотопа ¹²C (99%) и ¹³C (1%)
 - Из **вештачких** извора се емитује CO₂ код кога је процентуална заступљеност ¹²C и ¹³C другачија



Slika 2.26: Porast količine CO₂ u atmosferi u poslednjih 200 godina.

101

метан - CH₄

Концентрација порасла

- Са 700 ppb на 1775 ppb (2005.)
- Из непознатог разлога је данас стабилна

Извори:

- пиринчана поља
- мочваре
- уништавање шума
- стока

102

N₂O Азот субоксид

Концентрација порасла

- Са 275 ppb на 320 ppb (2005.)
- Данас расте линеарно док CFC опада – очекује се да оксиди азота постану трећи по важности гас стаклене баште

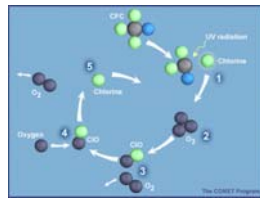
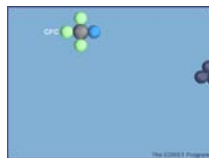
Извори:

- Ђубрење ораница вештачким ђубривима
- уништавање шума

103

CFC

- Вештачки молекули произведени средином двадесетих година (за прављење пластичних маса и у расхладним уређајима)
- Разграђују стратоферски озон
- У тропосфери су гас стаклене баште
- Међународним уговорима је смањена њихова производња па им концентрација у атмосфери опада



Процена ефекта

- Када концентрација гасова стаклене баште расте ($C_0 \rightarrow C$), температура атмосфере расте.
- Количина – концентрација гасова стаклене баште се мери у “еквивалентној концентрацији CO₂”
- Процењена варијација у температури зависи од модела

$$\Delta T_1 = \tau \ln \frac{C}{C_0}$$

← тачнија формула

$$\Delta C = C - C_0, \tau = 6,1K$$

$$\Delta T_2 = \tau \frac{\Delta C}{C_0}$$

← приближна формула
– важи за мале разлике у концентрацијама

105

Процена ефекта

- Нпр. 285 ppm (1850.) и 360 ppm (1990.)

$$\Delta T_1 = \tau \ln \frac{C}{C_0}$$

$$\Delta T_1 = 6,1 \text{ K} \ln \frac{360}{285} = 1,4 \text{ K},$$

$$\Delta T_2 = \tau \frac{\Delta C}{C_0}$$

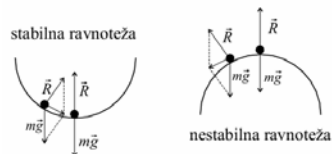
$$\Delta T_2 = 6,1 \text{ K} \frac{360 - 285}{285} = 1,6 \text{ K}.$$

Разлика око 13%

106

Поремећај радијационе равнотеже

- Систем у равнотежном стању
- Равнотежа:
 - Стабилна
 - Лабилна
 - Индиферентна



Slika 2.12: Stabilna i nestabilna (labilna) ravnoteža u gravitacionom polju.

107

Поремећај радијационе равнотеже

- Земља је у термалној равнотежи
 - Флукс соларног (краткоталасног) зрачења је једнак флуку терестричног (дуготаласног) зрачења
- F_0 је упадни – нерелефтовани соларни флукс
- T_r је равнотежна температура на којој Земља зрачи

$$F_0 = \sigma T_r^4,$$

108

Поремећај радијационе равнотеже

- Шта ако дође до пертурбовања овог стања?
 - Нпр. наглим ослобађањем неке количине топлоте у атмосферу (сагоревањем велике количине фосилних горива или термонуклеарном експлозијом)
 - При њеном ослобађању температура атмосфере порасте за $(\Delta T)_0$ (0 се односи на почетни временски тренутак)
- Терестрични флуks се повећа (бива већи од соларног – **поремећена равнотежа**) па се услед њега промена температуре Земље смањује са временом по формули

$$F_0 = \sigma T_r^4,$$



$$\sigma (T + (\Delta T)_0)^4$$

$$\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-\frac{t}{\tau_R}}$$

$$\tau_R = 2,9 \times 10^6 \text{ s} = 34 \text{ dana}$$

Поремећај радијационе равнотеже

- Шта ако дође до пертурбовања овог стања?
- Терестрични флуks се повећа па се услед њега промена температуре Земље смањује са $\tau_R = 2,9 \times 10^6 \text{ s} = 34 \text{ dana}$ временом по формули
- Уколико је почетна пертурбација 1 K
 - након 34 дана се смањује на 0,37 K
 - Након 68 дана на 0,13 K
 - А након 104 дана на 0,05 K
 - Након стотинак дана постаје занемарљива

$$\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-\frac{t}{\tau_R}}$$

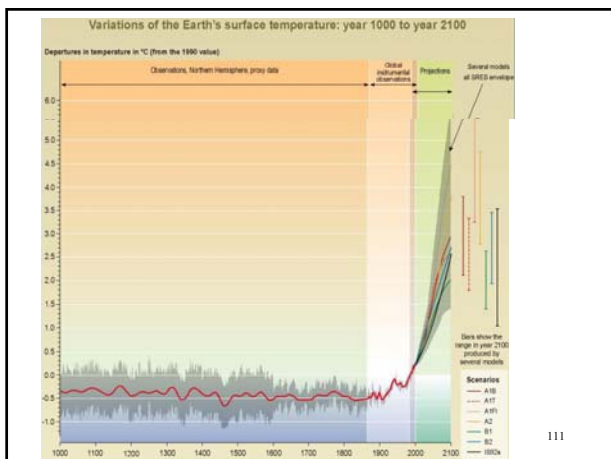
$$\tau_R = 2,9 \times 10^6 \text{ s} = 34 \text{ dana}$$

$$\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-1}, \quad t = \tau_R$$

$$\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-2}, \quad t = 2\tau_R,$$

$$\Delta T = (\Delta T)_0 e^{-3}, \quad t = 3\tau_R.$$

110



111

глобална захлађења?

- краткотрајна – вулкани
- дуготрајна – изазвана глобалним загревањем!?

112

Значај морских струја



- Голфска струја – носи топлу воду која по површини Атлантика иде на север, пролази крај Велике Британије, носи и топао ваздух и при томе загрева области кроз које пролази. Хладније вода, као гушћа пада доле и иде ка екватору – струјни прстен
- глобално загревање може довести до глобалног захлађења-залеђења (big freez)
- топлење леда на Гренланду (настао је залеђивањем слатке воде) доводи ту воду у океан, она је ређа од слане воде и не може да потоне на дно, тако да би то могло да доведе до заустављања струјног прстена
- нпр. лед на Гренланду је 60-их година био дебео око 3 метра а сада је око 2 метра
- предвиђање – за око 50 година неће бити више леда на Арктику

113

Значај морских струја

- према рез. истраживања овако нешто се десило пре око 13.000 година – струјни прстен је вероватно стао,
- у наредних 20-ак година се очекује да температура у Великој Британији опадне за око 10 степени
- утицај вулкана: они могу да доведу само до краткотрајних периода захлађења – вулкански пепео у коме има доста сумпор диоксида рефлектује сунчеве зраке па на земљу долази мање топлоте.
- има индиција да се овако нешто десило пре пар хиљада година.

114
