

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, ...
- У спектралном смислу звезда класе G2V
 - G2 – температура око 5778 K
 - V – звезда главног низа јер енергију добија нуклеарном фузијом водоника у хелијум
- Жути патуљак
- Сваке секунде сагори 4 300 000 000 кг водоника



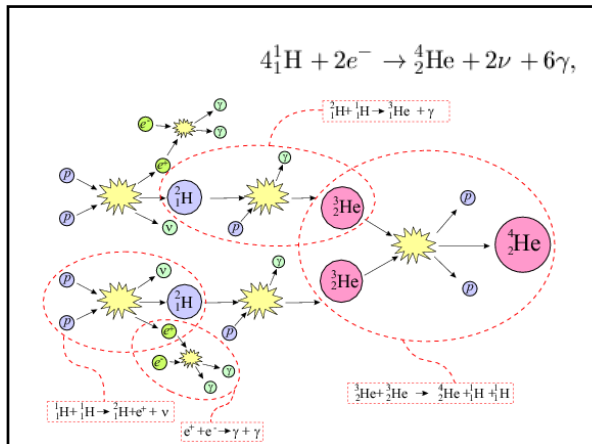
Slika 2.1: 1. Jezgro, 2. Zona radijacije, 3. Zona konvekcije, 4. Fotosfera, 5. Hromosfera, 6. Korona, 7. Sunčeve pегe, 8. Granule, 9. Prominencije.

Енергија 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**

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

$\overline{E_k} = \frac{3}{2} N k T \approx \frac{3}{2} \frac{M_\odot}{m_p} k T$

← Маса Сунца
← 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

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} N k T \approx \frac{3}{2} \frac{M_\odot}{m_p} k T$$

- “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.

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

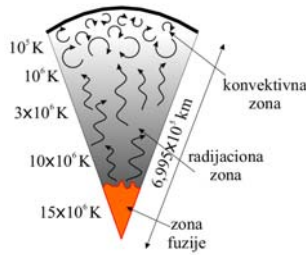
$$\overline{E_p} = -2\overline{E_k}$$

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

6

Енергија Сунца

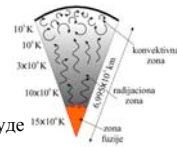
- Енергија настаје у зони фузије у језгру и иде кроз два слоја
- Имена им потичу од начина преношења енергије кроз њих
- У зони фузије настају фотони у зрачења.
- Крећу се неометано – немашта да их апсорбује (стање плазме)
- Расејавају се на слободним електронима – губе енергију док се пењу ка спољашности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



7

Енергија Сунца

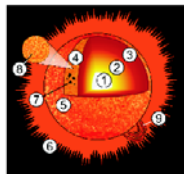
- Радијациона зона 0,25 до 0,85 полупречника Сунца
- Температура у њој опада па гас престаје да буде јонизован
- Ка површини се појављују прво неутрални атоми хелијума а затим и водоника
 - Енергија јонизације хелијума је $24,59 \text{ eV}$
 - Енергија јонизације водоника је $13,6 \text{ eV}$
- Затим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



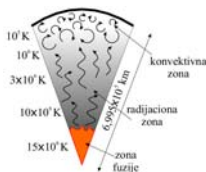
8

Енергија Сунца

- 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. Fotosfera, 5. Hromosfera, 6. Korona, 7. Sunčeve pege, 8. Granule, 9. Prominijencije.



9

Електромагнетно зрачење

- *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**

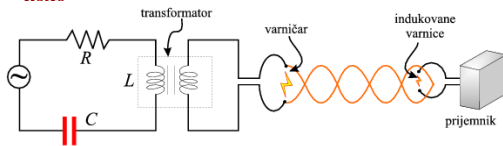
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

13

Максвелове једначине - последице

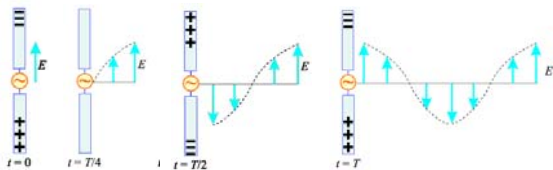
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

- 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

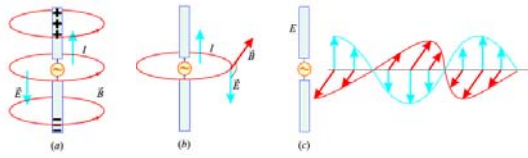
Генерисање електромагнетних таласа



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

15

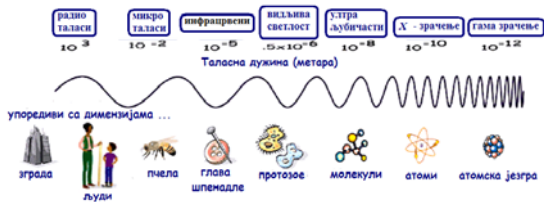
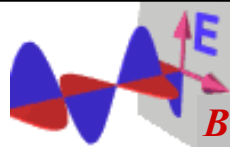
Магнетно поље ЕМ таласа



- 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



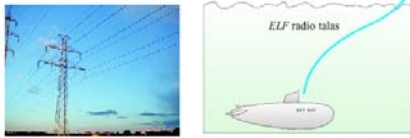
17

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 duzinu, odnosno ekstremno nisku frekvenciju (ELF).

- модулација – поступак за уметање информације (звучне или видео) у EM 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

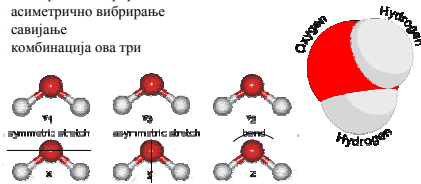
21

Инфрацрвено зрачење

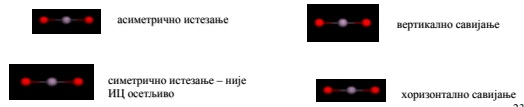
- настаје услед термалног кретања, осциловања и ротирања атома и молекула
- област иде до видљивог дела (црвене боје у спектру)
- молекул воде ротира и осцилује на фреквенцијама које спадају у ову област
- сунце зрачи у овој области око 50% свог зрачења, као тело температуре око 6000 K
- Земља такође 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



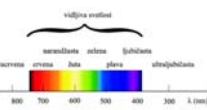
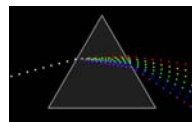
- Начини вибрирања веза у молекулу угљен диоксида у гасовитом стању



23

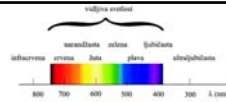
Видљива светлост

- 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 простира 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

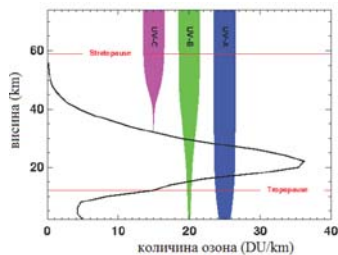
25

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(обson) U(nit)

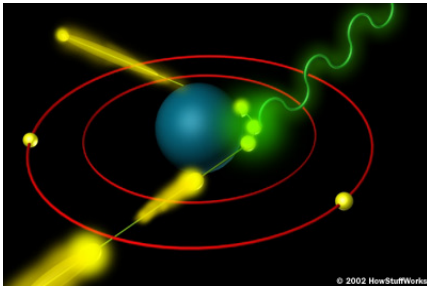
27

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

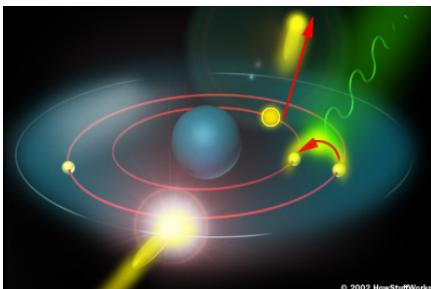
28

Настанак Х-зрака - континуално зрачење.



29

Настанак Х-зрака - карактеристично зрачење



30

Гама зрачење

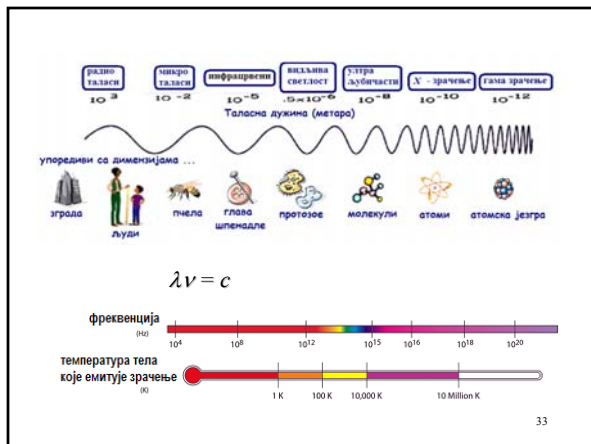
- нуклеарни распади откривени 1896. године
- убрзо је установљено да га прате три врсте “зрачења”
- најпродорније је добило назив γ -зрачење
- електромагнетни талас високе (највише) фреквенције
- емитују га језгра атома
- такође у реакторима, нуклеарном оружју, итд.
- употреба, за стерилизацију, зрачење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

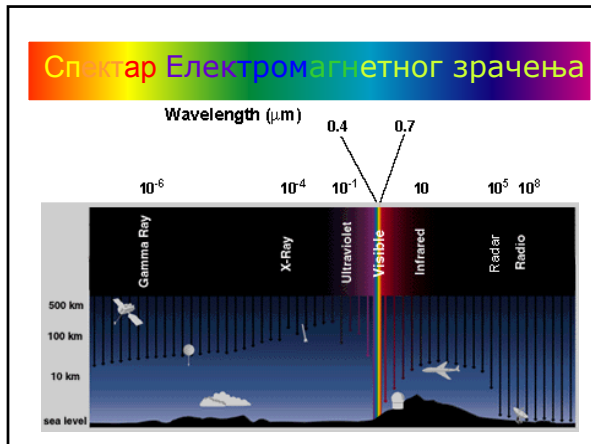
31

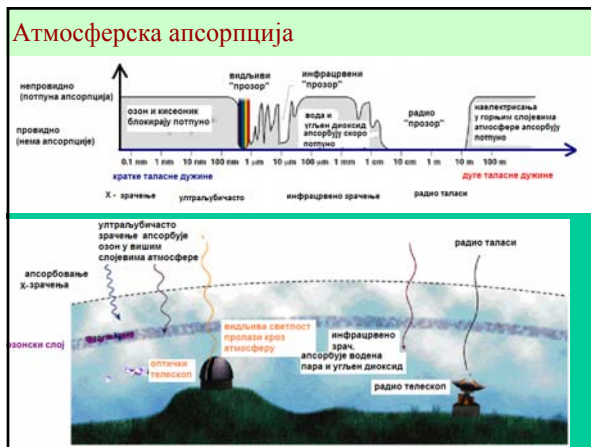
Спектар ЕМ таласа (Седам облика/типова)

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

32







Сунце као црно тело

- Сунце је на растојању $1,5 \times 10^{11}$ km
- Луминозност Сунца је $L = 3,9 \times 10^{26}$ W
- До Земље долази густина флукса (енергија по јединици времена и на јединицу површине) 1380 W/m^2
($F_s = L / (4\pi R^2)$)
- свако тело изнад 0 K зрачи – услед термалног кретања
- што је температура тела већа оно интензивније зрачи
- промена температуре изазива и промену карактера зрачења (мењај се таласне дужине нпр.)

Slika 2.18: Izračena energija prolazi kroz sve veće i veće površine.

36

Сунце као црно тело – Кирхофов закон

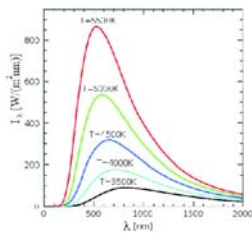
- Проучавао интеракцију зрачења са Сунца са атмосфером Земље
- a_λ -апсорптивност супстанце (коэффициент апсорпције-део енергије упадног зрачења дате таласне дужине који је апсорбован)
- I_λ -интензитет ЕМ зрачења дате таласне дужине исте супстанце (израчени флуks)
- Кирхоф:
 - Однос a_λ и I_λ не зависи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

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

37

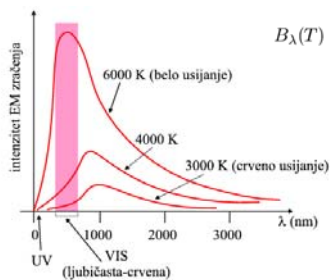
Сунце као црно тело – Кирхофов закон

- 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 $e_\lambda=1$



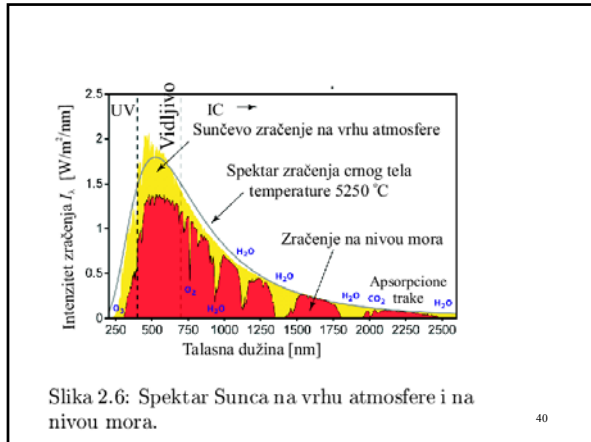
Slika 2.5: Zavisnost intenziteta zracenja crnog tela od talasne duzine za nekoliko temperatura.

Планков закон зрачења



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

Slika 7.23: Spektar elektromagnetnih talasa za razne temperature. VIS-vidljivi deo spektra (od ljubičaste do crvene), UV-ultraljubičasti (ultravioletni).



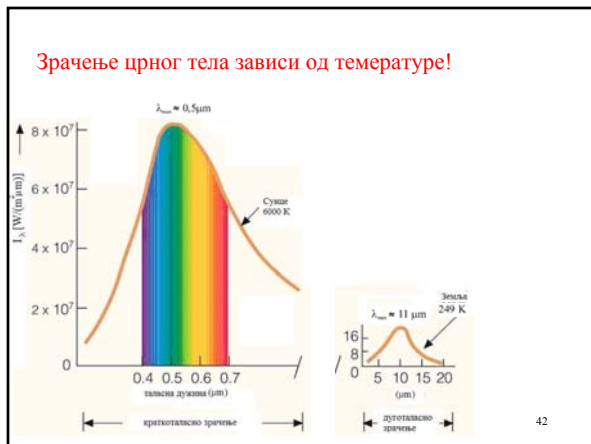
Винов закон (померања)

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

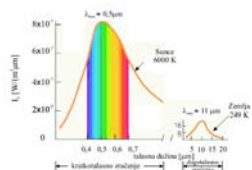
$$\lambda_{\max} T = b \quad \bullet \quad b - \text{Винова константа}$$

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

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



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



Slika 2.7: Planckove krive zračenja za Sunce i Zemlju.

43

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)

44

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

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

45



46

- 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 Т повећа 2 пута, израчена енергија се повећа 16 пута!

- 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.

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-UV зрачење) обухватају око 7-8% укупног зрачења

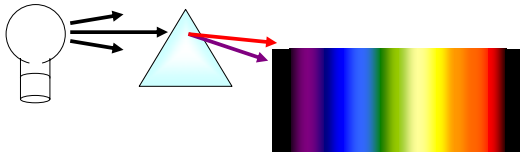
Емисиони и апсорпциони спектри

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

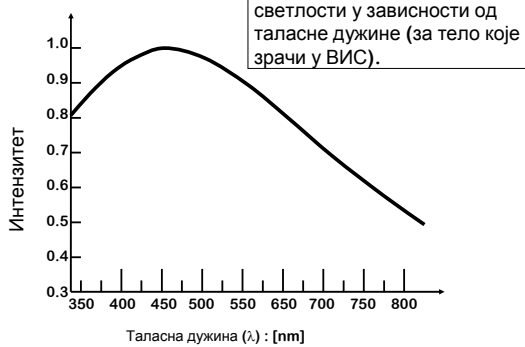
49

Непрекидни спектри

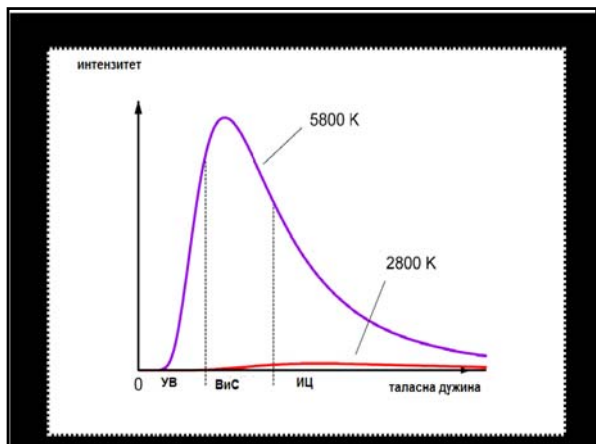
Непрекидан спектар се може добити нпр у **видљивом делу** користећи било које тело које може да зрачи као црно тело (нпр. сијалица са ужареном нити)



50

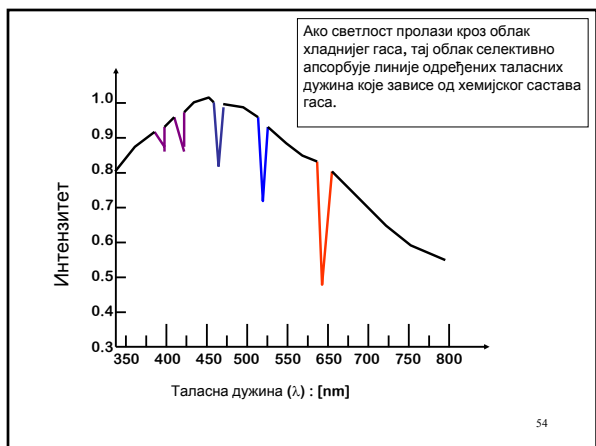


51

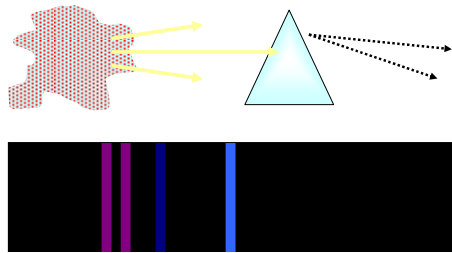


Апсорпциони спектар

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

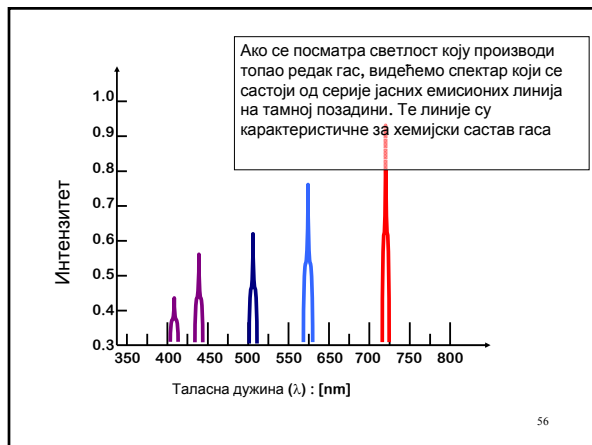


Емисиони спектар



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

55



56

Објашњење?

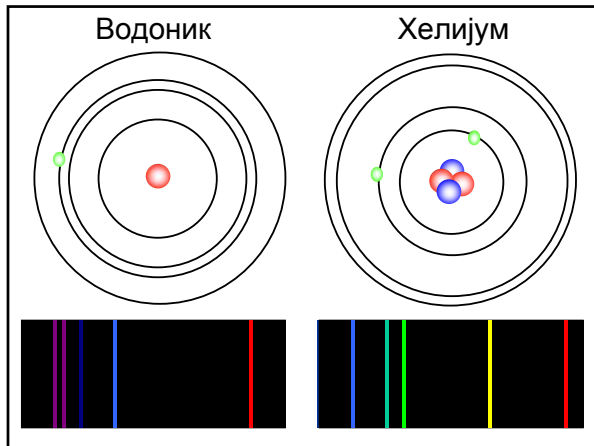
На почетку 20. века научници су били збуњени немогућношћу класичне физике да објасни стабилност атома и карактеристике њихових спектара.

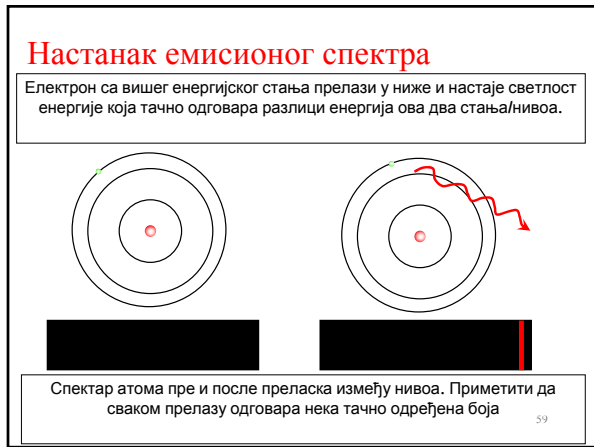
Зашто атоми неког елемента емитују (видљиву) светлост само одређених таласних дужина?

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 оротању
 - 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

57

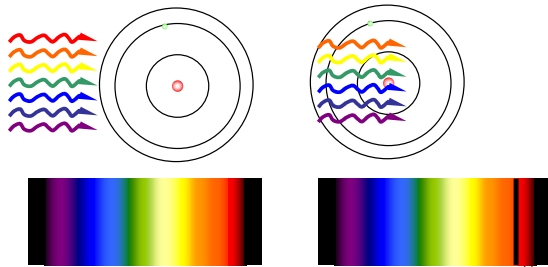


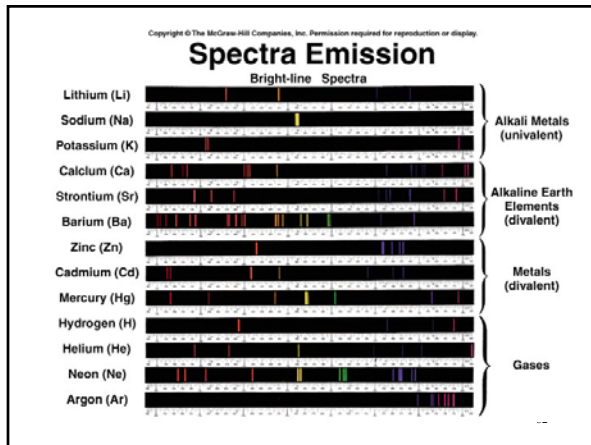




Апсорпциони спектар

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.





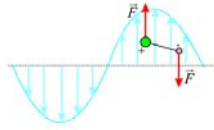
- Откуд оволика разлика атомских спектра?
- Електрони су на нивоима који су одређени вредношћу главног квантног броја n и орбиталног квантног броја l , различити полупречници, енергије, ...
- Не дешавају се прелази са сваког нивоа на баш сваки!
- Селекциона правила..., $\Delta l = \pm 1$

63

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!

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

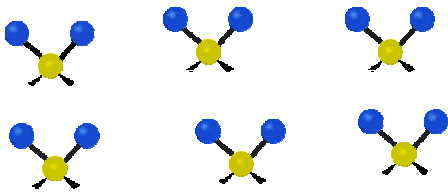


Slika 2.16: Električno polje EM talasa deluje spregom sila na električni dipol molekula.

70

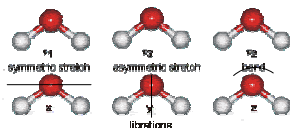
Молекулски спектри

- 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



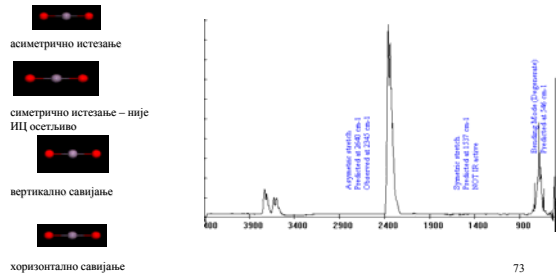
71

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

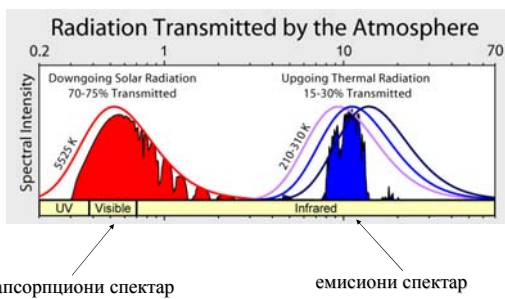


72

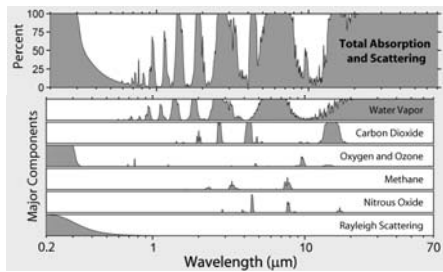
- Начини вибрирања веза у молекулу угљен диоксида у гасовитом стању
- емисиони спектар (део)

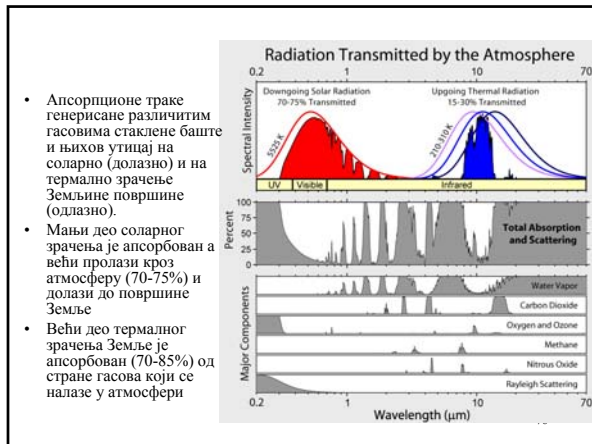


Зрачење које пролази кроз атмосферу



Апсорпционе траке генерисане различитим гасовима





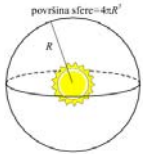
Температура планета

- 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

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

$$L = \frac{4\pi R^2}{d^2} = 3.9 \times 10^{26} \text{ W}$$

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




Slika 2.19: Snisao solarne konstante.

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

- **За Земљу је** $F_S = 1380 \text{ W/m}^2$.

79

- Зрачење са Сунца пада на планету коју “види” као круг површине πr^2
- Део ове енергије се рефлектује
- То се описује величином која се зове алbedo (“коэффициент рефлексије”)
- За Земљу је $a=0,37$
- Ма која планета, у јединици времена прими енергију у износу



$$(1 - a)F_s \pi r^2$$

80

“Радијациони баланс” (= const. Temp.)
Упадно зрачење = Инфрацрвено зрачење



- 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

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

Планкове температуре

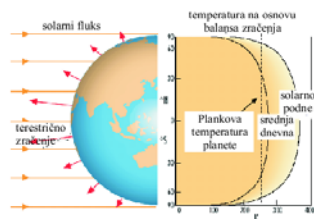
| Planeta | Udaljenost od Sunca | albedo | T_p [K] | T_{sr} [K] | period rotacije |
|---------|-----------------------|--------|-----------|--------------|-----------------|
| Merkur | $5,79 \times 10^7$ km | 0,06 | 443 | 363 | 59 dana |
| Venera | $1,08 \times 10^8$ km | 0,65 | 253 | 750 | 243 dana |
| Zemlja | $1,50 \times 10^8$ km | 0,37 | 249 | 288 | 1 dan |
| Mesec | $1,50 \times 10^8$ km | 0,07 | 275 | 248 | 27,3 dana |
| Mars | $2,28 \times 10^8$ km | 0,15 | 218 | 213 | 1,03 dana |

- Измерена температура Земље (T_{sr}) је 15°C!
- Планкова температура Земље је за око 40 К мања
- Приближно поклапање постоји једино код Марса

83

Утицај облика Земље на њену температуру

- Екватор добија више енергије од полова
- Свака област је у радијационој равнотежи
- Екватор би требао да има температуру око 373 К а полови око 0 К
- У реалности конвекцијом у океанима и атмосфери топлота се преноси



Slika 2.20: Oblik Zemlje i njena temperatura.

84
