

# ФИЗИКА

## Час број 14

19. јануар 2015.

- Физика микросвета

1

---

---

---

---

---

---

---

---

## Квантовање енергије и фотони

- Енергија у макросвету у принципу има било које вредност
- Енергија у микросвету – нпр. у атому – је квантована (има само одређене вредности)
- Први пут уочено код зрачења црног тела  $E = nh\nu$  (13.1)
- Прва идеја о квантовању – Макс Планк 1900. (Нобелова награда 1918. године)
  - црно тело = систем осцилатора чије енергије нису било које већ квантоване ( $n=0,1,2, \dots$ )  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J·s
  - енергија може да им се промени само за тачно одређен износ енергије  $\Delta E = h\nu$ .
  - Зашто се то не примењује на нашој скали (макроскопској)?
  - Нпр. За ИЦ зрачење  $\Delta E = h\nu = 6,63 \times 10^{-20}$  J, или око 0,4 eV
  - А просечне макроскопске енергије су реда цула

2

---

---

---

---

---

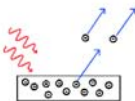
---

---

---

## Фотоелектрични ефекат

- Појава да неки метал када се осветли зрачи електроне – Херц 1887. године. Овај процес је (као и зрачење црног тела) био у супротности са класичном физиком
- Експериментално установљене особине:
  - Када ЕМ зрачење дође на метал електрони бивају одмах избачени
  - Мењање фреквенције упадног зрачења уочава се гранична фреквенција испод које се ефекат не испољава
  - Мењање интензитета зрачења не утиче на кинетичку енергију електрона
  - Број емитованих електрона је сразмеран интензитету ЕМ зрачења
- Особине које је предвиђала класична физике
  - Електрони не би требало да буду избачени одмах – док не накупе довољно енергије
  - промена фреквенције зрачења не би смело да утиче на процес
  - Повећањем интензитета би требало да расте кинетичка енергија електрона а не број емитованих електрона



Slika 13.1: Svetlost izbacuje elektrone iz metala.

3

---

---

---

---

---

---

---

---

## Фотоелектрични ефекат

- 1905. ga je objasnio Ajnštajn (dobiо Nobelovu nagradu за то 1921. године)
- Полазна претпоставка – EM зрачење је квантовано – састоји се из "честица" (као што се наизглед непрекидан млаз воде састоји из молекула)
- Квант EM зрачења – фотон
- Енергија се нити зрачи нити апсорбује у произвољним износима већ само у тачно одређеним
- Последица: кинетичка енергија фотоелектрона је једнака разлици енергије фотона и излазног рада
- Гранична фреквенција (испод које се он не дешава) фотоефекта се добија у граничном случају



Slika 13.2: EM talas se sastoji od fotona. Svaki od njih ima frekvenciju i energiju.

$$E = h\nu.$$

$$E_{ke} = h\nu - E_{vr} \quad (13.3)$$

$$h\nu_0 = E_{vr}$$

4

---

---

---

---

---

---

---

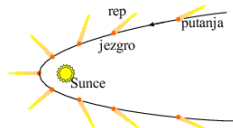
---

---

---

## Импулс фотона

- Ако постоји, фотон при интеракцији мора да се понаша као честица
- Мора сем енергије да има и импулс
- Различита оријентација репа комете је последица судара честица репа са фотонима са Сунца => фотони се испољавају као честице



Slika 13.3: Rep комете је последица судара честица репа са фотонима са Сунца => фотони се испољавају као честице

5

---

---

---

---

---

---

---

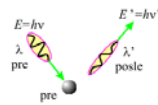
---

---

---

## Импулс фотона

- Важење ЗОИ доказано експериментално у Комптоновом ефекту (1923.)
- Комптон регистровао смањење енергије X-зрака при расејању на металу
- То је потврдило идеју да фотони имају импулс (Нобелова награда 1927. године)
- Импулс фотона има малу вредност јер је h мала величина па га ми не региструјемо
- X- зраци имају малу таласну дужину и интерагују са ситним честицама (електронима) па се зато региструје ефекат.



Slika 13.4: Komptonov efekat.

$$p = h/\lambda, \quad (13.4)$$

6

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Таласна природа материје

- Луј де Брољи, 1923. године (Нобелова награда 1929.)
  - Претпоставка о симетрији
    - Ако је фотон (квант ЕМ таласа) честица (има честичне особине) можда су и честице таласи (имају таласне особине)
- Експеримент?
  - Таласна природа=интерференција – испољава се кад таласи наиђу на објекте велике колико и њихова таласна дужина
- Девисон и Цермер 1925. и Џорџ Паџет Томсон 1926. године (Нобелова награда 1927.)
  - Дифракција електрона на кристалима

$$\lambda = h/p. \quad (13.5)$$

7

---

---

---

---

---

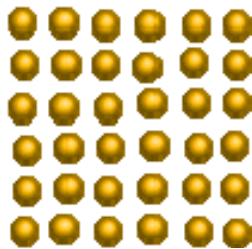
---

---

---

## Модел атома

- Леукип и Демокрит (5. век пре нове ере)
- Након 2000. година Далтон
  - Елементи се састоје од атома
    - Чврсте лопте
    - Разликују се од елемента до елемента
    - Једињења настају спајањем два атома
- Средина 19. века Менделјејев
- 19. век кинетичка теорија – претпоставка да се супстанца састоји од атома у непрекидном, хаотичном кретању



Demokritovi atomi Daltonov atom

Slika 13.5: Grčki i Daltonov model atoma.

---

---

---

---

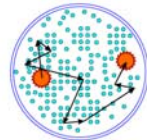
---

---

---

---

- Први директан доказ постојања атома – шкотски ботаничар Браун, 1827. година.
- Брауново кретање – последица кретања молекула и њихових хаотичних удара у зрца полена
- Ајнштајн указао да се на основу Брауновог кретања могу одредити величине атома и молекула.
- Жан Бапитист-Перен је 1926. године добио Нобелову награду за експериментално одређивање величине атома и молекула и прецизно одређивање Авогадровог броја.



Slika 13.6: Cik-cak putanja zrnca polena u vodi.

9

---

---

---

---

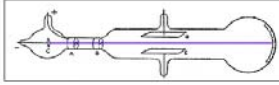
---

---

---

---

# Откриће делова атома



- Када се на цев напуњену гасом доведе напон оне почињу да светле – Гајслер 1860. године.
- Цев има катоду (-) и аноду (+) а зраци у цеви полази са катоде – катодни зрак
- Крукс је показао да имају импулс јер делују на предмете који су им на путу
- Показао и да на њих делује магнетно поље као да су негативно наелектрисани
- Џозеф Џон Томсон – деловао и електричним и магнетним пољем на "зраке" и показао да су негативни
- Како је **атом** неутралан – следи да у њему мора да има и + наелектрисања и **да није недељив**
- Наелектрисана честица из катодног зрака је названа корпускула – данас се зове **електрон**
- Томсонов закључак: атом јесте неутралан али има у себи и + и – наелектрисања – 1903. модел "пудинг са шљивама" у коме електрони "пливају"-осцилују око равнотежних положаја у "мору" позитивних наелектрисања.



Slika 13.8: Tomsonov model atoma.

10

---

---

---

---

---

---

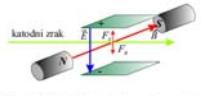
---

---

---

---

- Томсон је измерио и **однос наелектрисања и масе електрона** пропуштањем кроз Е и В поље ( $v = E/B$ ) – корак ка одређивању посебних вредности
- Томсон – мала вредност  $q_e/m_e$  је последица мале масе електрона
- Урадио је експеримент са + јонима водоника и добио резултат који је око 1 000 пута мањи!
- Закључак протон (језгро водоника) је око 1 000 пута масивније од електрона!
- Каснија мерења су дала тачнији резултат из кога следи
- Нобелова награда 1906.



Slika 13.9: Katodni zraci u električnom i magnetnom polju.

$$a = \frac{F}{m_e} \quad F = q_e E \quad a = \frac{q_e E}{m_e}$$

$$\frac{q_e}{m_e} = \frac{a}{E}$$

$$F_L = q_e v B = m_e a \quad \frac{q_e}{m_e} = \frac{a}{v B}$$

$$q_e/m_e = -1,76 \times 10^{11} \text{ C/kg.}$$

$$q_p/m_p = 9,57 \times 10^7 \text{ C/kg (13.7)}$$

$$m_p = 1836 m_e$$

11

---

---

---

---

---

---

---

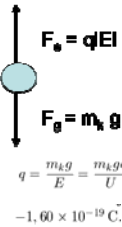
---

---

---

# Миликеново мерење наелектрисања електрона

- Распршене капи уља (наелектрисане трећем том приликом) убациване су између металних плоча под напоном ( $E = U/d$ )
- Тежина капи је уравнотежавана електричном силом
- Капи је посматрао микроскопом
- Масивније су падале брже од мање масивних (услед разлике у отпору ваздуха) – из тога им је одредио масу
- Наелектрисање им је онда
- А резултат је увек био умножак
- На основу познатог наелектрисања су масе електрона и протона



$$q = \frac{m_k g}{E} = \frac{m_k g d}{U}$$

$$-1,60 \times 10^{-19} \text{ C.}$$

$$m_e = \frac{q_e}{\left(\frac{q_e}{m_e}\right)} = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg.} \quad m_p = \frac{q_p}{\left(\frac{q_p}{m_p}\right)} = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg.} \quad (13.8)$$

---

---

---

---

---

---

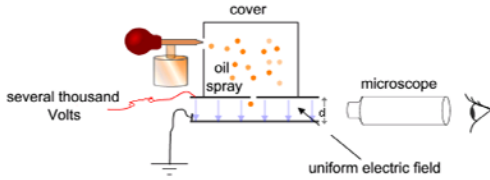
---

---

---

---

## Миликеново мерење наелектрисања електрона (Нобелова награда 1923.)



13

---

---

---

---

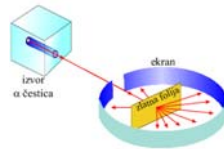
---

---

---

---

## Откриће делова језгра



Slika 13.10: Radefordov eksperiment.

- Природна радиоактивност, 1896.
- Радефорд користи у експерим.
- Знано се да су α честице језгра He
- $E_{\alpha} \approx 5 \text{ MeV}$  и интерагују са материјом Кулоновом силом
- **Очекивања:** Пошто је  $E_{\alpha} \gg$  енергије везе у атому (реда eV) очекивало се да оне пролете кроз фолију уз мало скретање са првобитног правца (као надзвучна кугла кроз низ чуњева)
- **Експеримент:** најчешће су пролазиле кроз фолију са малим или никаквим скретањем, мали број се расејавао под великим угловима а **приближно једна од 8000 честица се враћала назад!**
- **Закључак:** **Језгро злата је веома мало у поређењу са величином атома али се у њему налази скоро сва маса!**

14

---

---

---

---

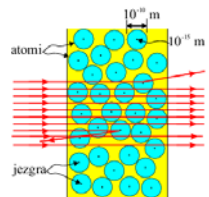
---

---

---

---

- Радефорд је 1909. године објавио резултате
- Тек 1911. је схватио суштину – тада је објавио анализу резултата са новим моделом атома
- Добио је да су димензије језгра око  $10^{-15} \text{ m}$  (100 000 x мање од атома)
- Последица је велика густина језгра  $10^{15} \text{ g/cm}^3$
- Указао на егзистенцију нуклеарних сила које држе протоне заједно
- Такође импликација да је атом "празан" (већина честица је прошла кроз фолију)
- **Планетарни модел атома**



Slika 13.11: Atomi zlatne folije u Radefordovom eksperimentu.

15

---

---

---

---

---

---

---

---

## Ернест Радефорд



- Закључци из 1911. године
  - Атом је углавном празан, тј. + наелектрисање се не налази свуда по атому!
  - “веома, веома мала, масивна, јако + наелектрисана честица ... окружена танком негативно наелектрисаном љуском
  - малу, масивну и веома наелектрисану честицу је назвао језгро – нуклеус (нуклеарни модел)

16

---

---

---

---

---

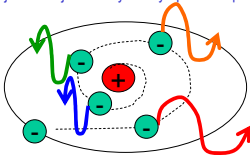
---

---

---

## Шта не ваља код Радефордовог модела?

- “Само то” што није стабилан: Привлачење негативних електрона и позитивног језгра – електрон на крају пада на њега.
- Има још: Зрачење које се при томе јавља мора да буде континуално.
- Проблем је што није континуално у пракси – зраче се одређене боје!!!!



17

---

---

---

---

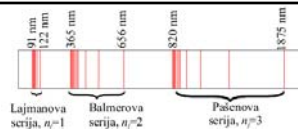
---

---

---

---

## Борова теорија атома водоника



- Бор је прихватио Радефордов модел и 1912. провео неко време у његовој лабораторији
- 1913. по повратку у Копенхаген је објавио свој модел најпростијег атома
- Тада се већ око 200 година знало да су спектри атома (и молекула) квантовани/дискретни
- Још је Максвел тврдио да између спектра и структуре атома мора да постоји веза
- Веза није била позната али се на основу резултата експеримената дошло до емпиријске формуле

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (13.9)$$

$$R = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

18

---

---

---

---

---

---

---

---

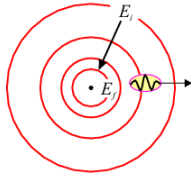
## Борова теорија атома водоника

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (13.9)$$

- Бор је први извео теоријски формулу за спектре
- Главна претпоставка

$$\Delta E = h\nu = |E_i - E_f| \quad (13.10)$$

- Орбите електрона у атомима су квантоване – само су неке дозвољене
- Свакој орбити одговара одређена енергија а електрони при преласцима апсорбују/емитују енергију
- Орбите су квантоване следи да су и енергије а тиме и зрачење које се емитује/апсорбује је тачно одређено



Slika 13.13: Borov model atoma.

---

---

---

---

---

---

---

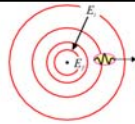
---

---

---

## Борова теорија атома водоника

- Основна претпоставка – момент импулса  $L$  (производ импулса и растојања до осе ротације) на орбити је квантован



$$\vec{p} = m\vec{v} \quad L = mvr$$

$$m_e v r_n = n \frac{h}{2\pi}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

$$k \frac{e^2}{r_n^2} = m_e \frac{v^2}{r_n}$$

- Полупречници орбита су квантовани – умношци Боровог радијуса  $a_B$

$$r_n = n^2 a_B, \quad a_B = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k e^2} = 0,529 \times 10^{-10} \text{ m}, \quad (13.12)$$

20

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Борова теорија атома водоника

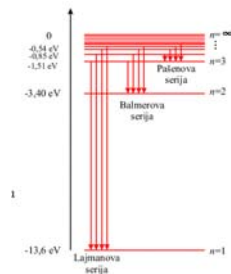
- Енергија електрона је збир кинетичке и потенцијалне – и она је квантована

$$E = m_e \frac{v^2}{2} - k \frac{e^2}{r_n}$$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} E_0, \quad (13.13)$$

$$E_0 = \frac{2\pi^2 e^4 m_e k^2}{h^2} = 13,6 \text{ eV}$$

- Енергија је негативна – енергија везе. Исти износ има и енергија јонизације



Slika 13.14: Energijski nivoi u Borovom modelu i spektralne serija vodonika.

21

---

---

---

---

---

---

---

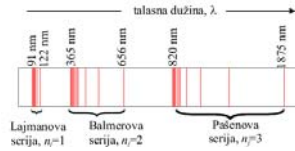
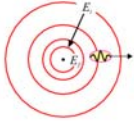
---

---

---

## Борово објашњење линијске структуре спектра

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (13.9)$$



$$\Delta E = h\nu = |E_i - E_f| \quad (13.10)$$

$$E_n = -\frac{1}{n^2} E_0 \quad (13.13)$$

$$h\nu = (13,6 \text{ eV}) \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

22

---

---

---

---

---

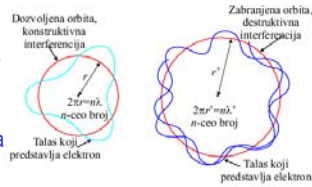
---

---

---

## Таласна природа материје и квантовање

- Од Боровог рада на водениковом атому до де Брољијеве хипотезе - деценија
- Према њој електрони могу да постоје само на местима где њихови таласи интерферирају конструктивно са самим собом



Slika 13.15: Dozvoljene i zabranjene orbite.

23

---

---

---

---

---

---

---

---

## Таласна природа материје и квантовање

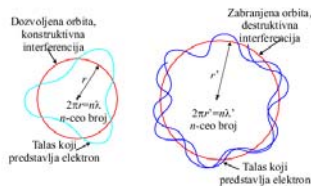
$$n\lambda_n = 2\pi r_n, \quad (n = 1, 2, 3, \dots), \quad (13.14)$$

- Замена де Брољијевог израза се добија управо Боров квантни услов за момент импулса!

$$\lambda_n = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e v}$$

$$\frac{n h}{m_e v} = 2\pi r_n$$

- Боров квантни услов за момент импулса који је био "вештачки" уведен је заправо последица таласних особина електрона!



Slika 13.15: Dozvoljene i zabranjene orbite.

24

---

---

---

---

---

---

---

---



## Радиоактивност

- Бекерел 1896. године случајно открио да оксид урана емитује невидљиве али продорне зраке на које реагује фото-плоча
- Уранов оксид их је стално емитовао (без уношења енергије у њега) па је изгледало да процес иде уз нарушење закона одржања енергије
- Данас знамо – у том процесу мали део масе прелази у енергију ( $E=mc^2$ )
- Зраци долазе из језгра – нуклеуса – појава је названа **нуклеарна радиоактивност/радиоактивност** а зраци нуклеарно зрачење. Супстанца се при томе распада па се назива **радиоактивном**.
- Зраци потичу из језгра – велика енергија зрачења (ред MeV)

25

---

---

---

---

---

---

---

---

## Радиоактивност

- Бекерел 1896. године
- Марија Кири 1898. године почиње рад на докторату на "Бекереловим" зрацима (заједно са мужем Пјером Киријем)
- Открили су још два радиоактивна елемента – полонијум и радијум
- За више од четири године рада су из око 3 тоне руде урана изолују тек 1 грам руде радијума
- 1903. Нобелова награда за обоје
- Марија умире 1934. године од леукемије
- 1935. њена ћерка Ирена са Фредом Жолио-Киријем добија Нобелову награду за откриће вештачке радиоактивности

26

---

---

---

---

---

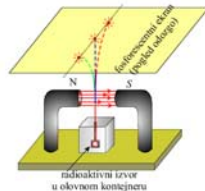
---

---

---

## Радиоактивност

- Убрзо након открића је установљено да постоје 3 врсте зрачења
- На основу скретања у магнетном пољу.
- Радефорд је тако показао да су  $\alpha$ -зраци
  - позитивни и да имају 2х више наелектрисања од електрона, измерио је и однос наелектрисања и масе
  - Да је спектар зрака истоветан спектру хелијума
  - Радефорд је 1908. за та открића добио Нобелову награду за хемију
- 1902. је постало јасно да је  $\beta$ -зрачење емисија електрона – како нису из омотача следило је да долазе из језгра.
- $\gamma$ -зрачење не скреће у пољу – ради се о фотонима јављају се због деексцитације језгра



Slika 13.16: Tri tipa zračenja u magnetnom polju.

27

---

---

---

---

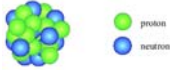
---

---

---

---

## Субструктура језгра



Slika 13.17: Model језгра.

$$m_p = 1,67262 \times 10^{-27} \text{ kg},$$

$$m_p = 1,67493 \times 10^{-27} \text{ kg},$$

$$m_e = 9,1094 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$m_p = 1836m_e \quad m_n = 1839m_e$$

$$1 \text{ u} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg. (13.15)}$$

$$m_p = 938,27 \quad m_n = 939,57$$

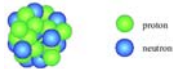
$$m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$$

- Испоставило се да сем протона у језгрима постоје и неутрони
- Протони и неутрони=нуклеони
- Атомска јединица масе=1/12 масе неутралног атома угљеника
- Маса се изражавају и у енергијским јединицама  $\text{MeV}/c^2$
- Нпр. уколико се сва маса мировања протона претвори у енергију, она износи

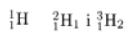
$$E = m_p c^2 = (938,27 \text{ MeV}/c^2)c^2 = 938,27 \text{ MeV}$$

28

## Субструктура језгра



Slika 13.17: Model језгра.



$$r = r_0 A^{1/3},$$

$$r_0 = 1,2 \text{ fm. (13.16)}$$

- Особине језгра су одређене бројем протона (Z) и неутрона (N) у њима
- Усвојена ознака где је
  - словом X означен симбол елемента
  - N је број неутрона,
  - Z број протона у језгру
  - A=Z+N је број нуклеона у језгру, тј. атомска маса
- Експерименти показују да су језгра чврсто паковане лопте нуклеона
- Нуклеони се крећу веома брзо, имају велике енергије и налазе се у веома блиском контакту
- Да би се одвојили потребне су веома велике силе – добијају се у сударима са другим језгрима
- Полупречник језгра је
- А густина је иста за сва језгра

29