

STANJE FIZIKE NA KRAJU 19. STOLJEĆA

I) Elektromagnetizam i eter

Konzistentna i funkcionalna teorija elektromagnetizma (Maxwell)
i dokazani EM valovi (Hertz), ali ...

↳ nema konzistentne teorije ni eksperimentalne potvrde medija
tih valova, onoga što „tira“ - tzv. ETER

↳ Maxwellove jednačbe i eksperimenti nisu kompatibilni
s Galilejevom transformacijama tj. zakonima mehanike

→ RJEŠENJE: Einstein 1905. (3. & 4. članak Annus Mirabilis)

↳ začetak SPECIJALNE TEORIJE RELATIVNOSTI
i popravljanje zakona mehanike !

↳ odbacivanje ideje ETERA kao nepotrebne i
stoga neznanstvene !

→ vrlo brzo prihvaćeno (za razliku od nekih drugih)

II) Postojanje atoma

→ Povijest ideje atoma do početka 19. stoljeća:

→ DEMOKRIT (Grčki filozof 5. st. PNE), odbacio Aristotel i od onda dugo, dugo ništa...

→ (~17. st.) Descartes, Galilei, Newton, Leibniz, ... Oživljavanje ideje atoma kroz sliku mehaničkog svijeta (mehanizam sata kao analogija), na valu otkrića temeljnih postulata fizike.

→ RUĐER BOŠKOVIĆ (~1750) - prvo matematičko formaliziranje ideja i nagađanja o silama među atomima...

→ tek tijekom 19. st. dolazi do prvih pravih „znanstvenih“ i eksperimentalnih osnova za ideju i teorije atoma...

→ Atomizam iz KEMISE

→ John DALTON (1804) - kemijski spojevi (tvari) mogu se dobiti spajanjem drugih kemijskih spojeva (tvari) u točno određenim omjerima malih cijelih brojeva (npr. 1:2, 2:3, 1:4 itd.)

→ prva eksperimentalno poduprta teorija atomizma (ali ne i fizikalne prirode samih atoma)

→ nije opće prihvaćena sve do početka 20. stoljeća!

→ Dimitri MENDELJEJEV (1869) - prvi periodni sustav elemenata koji je pokazivao jasnu pravilnost po grupama (valentnosti, stupcima) i periodama (atomska masa, po redu)

→ predvidio je postojanje elemenata koji su „fali“ i doživio njihov pronalazak ... Kasnije još dodani plemeniti plinovi koji su se također uklapali!

→ tablica/sustav je podupirao Daltonovu teoriju i ukazivao na diskretnost koja bi bila karakteristična za atome.

→ Spoznaje iz SPEKTROSKOPIJE

→ Spektroskopija se bavi mjerenjem, proučavanjem i interpretacijom spektara EM zračenja (svjetlosti) svih mogućih izvora ...

podsjetnik: započelo s NEWTONOM (prizma) i FRAUNHOFEROM (optička rešetka)

→ Joseph von FRAUNHOFER (1815) - primijetio da u spektru Sunčeve svjetlosti "fali" zračenja na nekim valnim dužinama ...

⇒ APSORPCIJSKI SPEKTRI - kada svjetlost prolazi kroz neki plin, on "upije" svjetlost, ali samo nekih, za svaki plin specifičnih, valnih dužina, a sve ostalo "propusti"

⇒ EMISIJSKI SPEKTRI - kada se neki plin "pobudi" (npr. zagrije) on zrači svjetlost, ali opet samo nekih, za svaki plin specifičnih, valnih dužina, i to različitih intenziteta

→ Foucault & Angström (≈ 1850 , nezavisno) - utvrdili da se apsorpcijski i emisijski spektri za isti plin "poklapaju", tj. da zrače na istim valnim dužinama na kojima i upijaju!

plamenik ↘

→ Bunsen & KIRCHHOFF (1860) - utvrdili da se emisijski spektri plinova pojedinih ELEMENTA nakaze u emisijskim i apsorpcijskim spektrima raznih SPOJEVA!

→ Ova otkrića otvorila su put kemijskoj analizi putem spektroskopije (npr. otkriće sastava "zvijezda" na nebu!) i puno su se bolje uklapala u Daltonovu atomističku sliku materije i kemijskih procesa...

→ Balmer (1885) primijetio pravilnost u spektru vodika, dao formulu koja reproducira neke valne dužine...

→ RYDBERG (1890) dao točnu formulu za sve valne dužine koje vodik zrači (i vrlo približno alkalijski metali) kao sve moguće razlike nekih kao stanja ili nivoa određenih prirodnim brojevima ($n = 1, 2, 3, \dots$):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) !$$

→ Bilo koji teorijski model atoma bi morao reproducirati tu formulu...

Rydbergova konstanta

valna dužina zračenja (λ) za prijelaz iz "stanja" n_2 u "stanje" n_1 !

→ Osim diskretnih spektara rijetkih plinova, znalo se da "topla" tijela općenito (bilo koje agregatno stanje) imaju KONTINUIRANI spektar EM zračenja...

→ KIRCHHOFF (1860) - zakon termalnog zračenja & definicija CRNOG TIJELA → ono koje apsorbira SVO zračenje, svih valnih dužina i iz svih smjerova!

→ Josef STEFAN (1877) - ukupni intenzitet zračenja crnog tijela, na svim valnim dužinama: $I = \sigma \cdot T^4$

→ nije bilo teorijskog objašnjenja/ izvoda za ovaj zakon!

Stefan-Boltzmannova konstanta

→ kroz 19. stoljeće radena su mnoga mjerenja spektara termalnih zračenja (približno) idealnih crnih tijela i znalo se eksperimentalno kako izgledaju, ali se tražio teorijski izvod koji odgovara eksperimentalnim podacima... Jer to bi značilo razumijevanje.

→ Teorijski pritisci statističke fizike i UV katastrofa -----

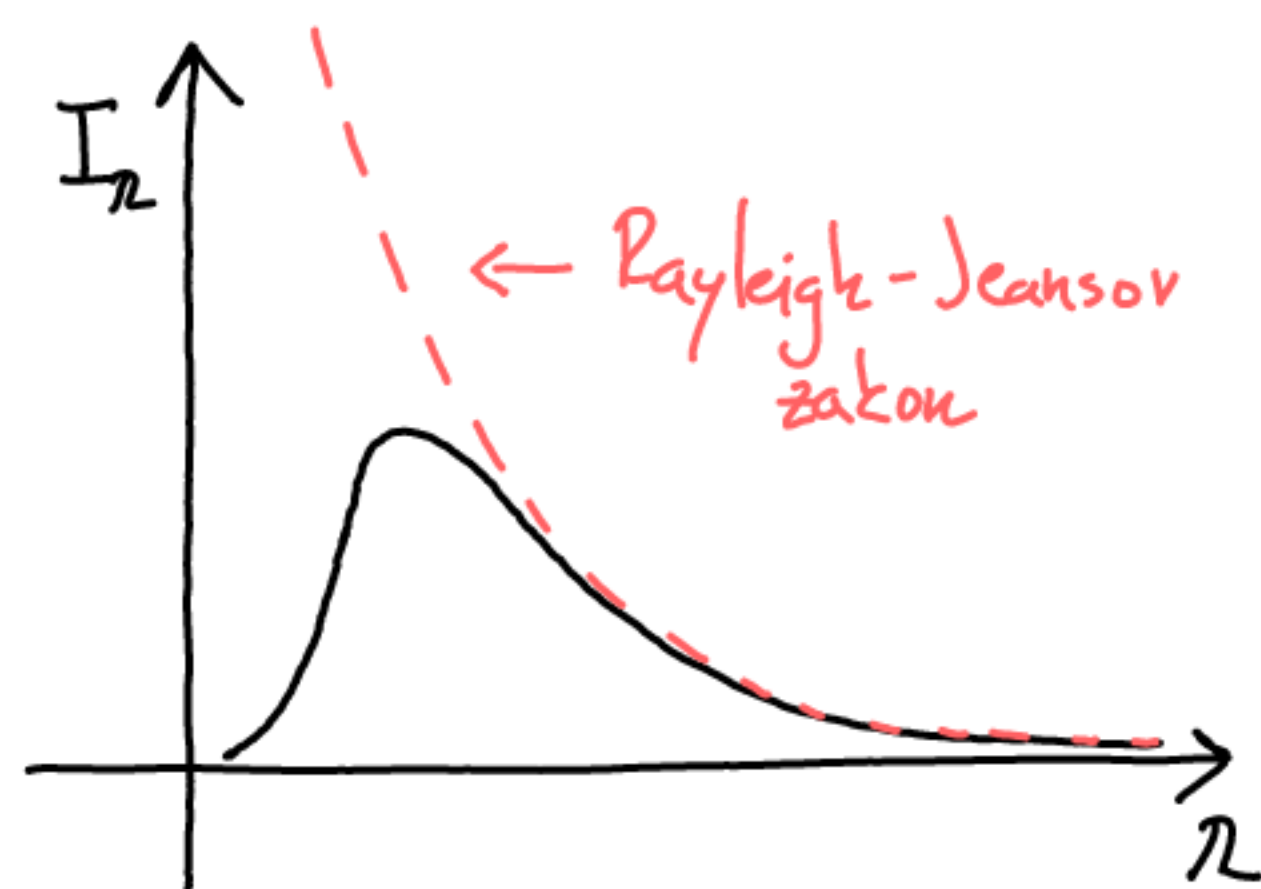
- STATISTIČKA FIZIKA - objašnjava sve termodinamičke veličine (tlak, temperatura, ...), procese i zakonitosti koristeći samo pretpostavku da se materija sastoji od puno malih "kuglica" i puno relativno napredne matematike ...
- začeo Daniel BERNOULLI (1738.) - ignorirano stotinjak godina
- MAXWELL (1859.) - izvod raspodjele brzina čestica idealnog plina $\Rightarrow$ JEDN. STANJA IDEALNOG PLINA ! ($pV = Nk_B T$)
- Josef LOSCHMIDT (1865.) - prva procjena Avogadrovog broja, omogućilo procjenu mase atoma ...
↑
tada se još nije tako zvao
- Ludwig BOLTZMANN (1864 → 1896) - razradio teoriju (EQUIPARTICIJSKI TEOREM, ENTROPIJA, ...) i pokazao da se praktički svi poznati rezultati termodinamike mogu IZVESTI pomoću nje !
 - mnogi u "mainstreamu" nisu to prihvaćali ...
- (→ J.W. GIBBS (1902.) - neovisno razradio i postavio moderne temelje)

- primjena statističke fizike na EM zračenje crnog tijela...
- BOLTZMANN (1884.) - izvod Stefan-Boltzmannovog zakona!
- Lord RAYLEIGH & Sir JEANS (1900. & 1905.) - izvod OBLIKA funkcije zračenja crnog tijela...

⇒ ULTRALJUBIČASTA KATASTROFA !

- „ultraljubičasta“ jer se teorija nije slagala s eksperimentom za male valne dužine (UV i niže) -

- predviđala je sve veće zračenje na sve većim frekvencijama → beskonačni ukupni intenzitet/energija !



- „katastrofa“ jer je katastrofalno loše slaganje s eksperimentalnim podacima i da je tako svijet i život ne bi postojali, a korištena je samo solidna teorija (u principu samo ekviparticijski teorem)

- VELIKI PROBLEM teorijske fizike tog vremena !
Jer je pokazivalo da nešto jako ne valja s teorijom, a nije se znalo gdje i kako ...

→ RJEŠENJE: Einstein 1905. (2. članak Annus Mirabilis - njegov doktorat)

↳ objašnjenje difuzije (Brownovo gibanje) koristeći statističku fiziku, povezivanje makroskopskog i mikroskopskog svijeta (Einsteinova relacija)

↳ omogućilo određivanje Avogadrovog broja, a time i „vaganje“ atoma, na još jedan, neobičan način
[napravio Perrin 1909., dao ime Avogadrovom broju]

⇒ konačno prihvaćanje atomističke slike svijeta !

(ali tzv. UV-KATASTROFA ostala !)

III) Dijelovi i struktura atoma

→ Otkriće elektrona

Kroz 19. stoljeće otkrivena su 2 zanimljiva i neobjašnjiva fenomena:

- 1) KATODNE ZRAKE (1860-ih) - nešto nevidljivo izlazi iz metala, biva pokrenuto razlikom potencijala (U) i putuje od katode (-) prema anodi (+) kroz vrlo rijedak plin ($\approx$ vakuum)

→ Geisslerove cijevi → Crookesove cijevi → Vakumske cijevi
(neonske lampe...) (katodne zrake...) (rentgen, elektronika...)

- 2) FOTOELEKTRIČNI EFEKT (1880-ih) - gubitak negativnog naboja s metala kada ga se obasja UV svjetlošću...

Postojanje atoma još nije bilo 100% eksperimentalno utvrđeno i opće prihvaćeno, a J.J. THOMSON je utvrdio:

1897.: katodne zrake su negativno nabijene čestice;
omjer mase i naboja tih čestica je ≈ 1000 puta manji nego za ione vodika (ako postoje, haha)

(1898.: naboj iona vodika (fukao za 40%) $\Rightarrow$ broj atoma u volumenu)

1899.: fotoelektrični efekt su iste čestice kao katodne zrake;
naboj tih čestica je isti kao iona vodika (po iznosu) $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ procjena mase $\approx 3 \cdot 10^{-29}$ kg (30x previše)

⇒ OTKRÍČE ELEKTRONA (Nobel 1906.) - otkriće prve subatomske čestice !

Thomsonov „puding s grožđicama“ MODEL ATOMA (1904.)

- negativni elektroni „raspoređeni“ u kugli uniformnog pozitivnog naboja (+ neka dinamika tih elektrona...)
- prvi „ozbiljan“, kvantitativan model atoma s elektronima...
- PROBLEM: Nije dobro reproducirao spektre zračenja (Rydbergovu formulu i intenzitete)
[ali to bi se možda s vremenom dalo srediti...]

PROBLEM FOTOELEKTRIČNOG EFEKTA !

- 1) Postojanje efekta za pojedini materijal ovisi o FREKVENCIJI svjetla, ne o intenzitetu (to bi se dalo objasniti rezonancijom)
- 2) Kinetička energija POJEDINIH ELEKTRONA ovisi o FREKVENCIJI svjetla, a ne o intenzitetu (neobjašnjivo jer energija VALOVA nema nikakve veze s frekvencijom) !

→ drugi VELIKI PROBLEM teorijske fizike tog vremena !
Jer je pokazivao da nešto jako ne valja s teorijom elektromagnetizma, a tek su ju prihvatili...

→ Otkriće jezgre

Iako otkriće jezgre atoma zalazi u 20. stoljeće, ono po svojim metodama i motivacijama i korištenim teorijama pripada fizici 19. stoljeća i bilo je jedna od bitnih motivatora i poticaja za revoluciju fizike koja je uslijedila...

Ernest RUTHERFORD (+ Geiger & Marsden; 1906-1913) - niz eksperimenata koji su pokazali da atomi imaju jako **MALENU** ($\approx 10 \text{ fm}$), pozitivnu **JEZGRU** koja sadrži većinu mase atoma!
↳ *fulao je, i to koristeći "staru" fiziku, za samo 3.5 puta!*

"Planetarni" MODEL ATOMA

- ↳ negativni (lagani) elektroni koji "kruže" (na ovaj ili onaj način) oko pozitivne (masivne) jezgre
- ↳ prvi nešto slično predložio R. Laming još oko 1850. *(totalno nagađanje)*
- ↳ ozbiljniji teorijski pokušaji: Perrin (1901), Nagaoaka (1904)
- ↳ PROBLEMI: 1) stabilnost orbita *(naboj $s \neq 0$ zrači!)*
2) nediskretnost spektra zračenja! *(jer odakle??)*
- ↳ Rutherfordovi eksperimenti dali težinu takvom modelu, ali nikakvu pomoć u vezi problema takvog modela atoma!

EUGEN ROŽIČ, prof.