

**Gimnazija "9. MAJ"**

**Maturski rad**

**Rendgensko zračenje**

Učeničnik: Dušica Cincarević  
 Profesor: Ljiljana Kostić

SADRŽAJ:

1. Elektromagnetni talasi
  - Uvod
  - Pretpostavka o postojanju elektromagnetnih talasa (otkrice)
  - Priroda i osobine elektromagnetnih talasa
  - Spektar i skala elektroma
2. Rendgensko zračenje
  - Otkriće rendgenskih zraka
  - Mehanizmi nastajanja i spektri X-zraka
  - Komptonov efekt
  - Praktična primena X-zraka
  - O Rendgenu

**ELEKTROMAGNETNI TALASI**

**Uvod**

Elektromagnetni talasi su nizovi vrtložnih električnih i magnetnih polja koja se šire kroz prostor potpuno se odvojivši od svoga izvora (na primer od naelektrisane čestice koja osciluje), tako što nastaju jedno od drugoga.

**Pretpostavka o postojanju elektromagnetnih talasa (otkrice)**

Postojanje elektromagnetnih talasa predvideo je engleski fizičar Makavel šezdesetih godina devinaestog veka. U svojoj **TEORIJI ELEKTROMAGNETNIH TALASA** izložio je shvatanja o nastajanju tih talasa, proštranju kroz razne sredine, njihovoj brzini u raznim sredinama.

Makavel je dosao do zaključka da brzina elektromagnetnih talasa (v) zavisi od električnih i magnetnih svojstava sredine kroz koju se proštruje:

$$v = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0 \cdot \epsilon_r \cdot \mu_r}$$

gde je:

- $\epsilon_0$  - dielektrična propustljivost vakuma
- $\mu_0$  - magnetna propustljivost vakuma
- $\epsilon_r$  - relativna dielektrična propustljivost sredine
- $\mu_r$  - magnetna propustljivost sredine.

Pošto su za vakum vrednosti konstanti  $\epsilon_r = 1$  i  $\mu_r = 1$ , sledi da je brzina (c) elektromagnetnih talasa u vakuumu:

$$c = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0} = 1 / \sqrt{8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot 4 \cdot 314 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

S obzirom na to, da su konstante  $\epsilon_r$  u supstancijama veće od 1, nailazi se da je brzina elektromagnetnog talasa u datoj supstanciji manja.

Ekperimenti Herca, Rendgena, Deboja, Serera, Radaforda ne samo da su potvrdili Makavelovu teoriju, već su i pokazali da se mogu dobiti elektromagnetni talasi pod uslovom da se nadju podesni izvori.

**Priroda i osobine elektromagnetnih talasa**

Svi elektromagnetni talasi imaju istu prirodu (elektromagnetnu), istu brzinu, prenošenje energije, nastanak iz procesa u molekulima, atomima, atomskim jezgama ili ubrzanog kretanja naelektrisanih čestica.

Specifične osobine elektromagnetnih talasa zavise od njihove frekvencije (talasne dužine).

**Spektar i skala elektromagnetnih talasa**

Vrednosti talasnih dužina svih do sada otkrivenih elektromagnetnih talasa kreću se od  $10^{-11}$  m do 10 m, a odgovarajuće frekvencije ( $10^{-11}$  Hz). Ti talasi cine spektar elektromagnetnih talasa.

Pojedine oblasti spektra imaju posebne nazive (radio talasi, svetlost, rendgensko zračenje itd.), zbog specifičnog načina nastajanja.

Ako se svi elektromagnetni talasi poredjaju duž brojne ose po vrednostima frekvencija ili talasnih dužina, dobija se skala elektromagnetnih talasa. U njoj, svakoj vrsti talasa pripada određena oblast. Granice između njih nisu oštre, one zalaze u druge oblasti. (sl. 1)

Najveću talasnu dužinu imaju talasi nizmofrenčnih struja, njihova energija je zanemarljiva. Radio talasi služe za telekomunikaciju. Dobijaju se metodama elektronike. Infracrveno zrače zagrijana tela, a nastaje procesima koji se odvijaju u molekulima. Svetlost koja se može detektovati očulom vida i ultraljubičasta svetlost nastaju u procesima koji se dešavaju u jonima i atomima  $\gamma$  - zraci poticu iz jezgara radioaktivnih elemenata.

**RENDGENSKI ZRACI**

**Otkriće rendgenskih zraka**

Rendgenske zrake je otkrio nemački fizičar Rendgen i za to je dobio Nobelovu nagradu. 1901. godine je primetio da katodni zraci koji se dobijaju u Krukovskoj cevi (lampi) iz koje je izvučen vazduh, koja ne svetli) uslovljavaju sjaj njenih unutrašnjih zidova. Rendgen je nastojao da ispita zašto sjaji zid Krukovske cevi. Uvio je lampu crnom hartijom pa je njene nevidljive zrake usmerio ka ekranu premazanom fluorescentnim materijalom: ekran je zasvetleo. To je značilo da su zraci prošli kroz hartiju, i da se inače nevidljivi, oginjaju na fluorescentnom ekranu.

Tada je Rendgen slikao ruku između cevi i ekrana: na ekranu su se ocrtale njegove kosti, tamne na svetloj pozadini. Zraci su prošli kroz kožu, delimično kroz mišice, ali ne i kroz čvrsto i gusto kivo koštiju. Zatim je uspeo da srmi šaku svoje supruge (sl. 2) i napravio prvi "rendgen aparat" (sl. 3).

**slika 3**



Do tada nepoznato zračenje koje je otkrio, Rørdgen je nazvao x-zračenje. Osobine x-zraka značavao je pomoću Hitorfove cevi (koje zrači katodne zrake) tako što je x-zrake usmeravao kroz razne metalne pločice i utvrdio da ih olovna pločica debljine 2 cm. ne propušta, kao ni od zlata, zive, urana...

Iako je već dovoljno poznao svojstva zraka, nije mogao da otkrije kako nastaju. Dosetio se. Pokrivajući Hitorfovu cev na raznim mestima ustanovio je da x-zraci polaze baš sa onog mesta na koje padaju katodni zraci (brzi elektroni). Osim toga, otkrio je da skreću u magnetnom polju, izazivaju fluorescenciju, deluju na fotografsku ploču, jonizuju sredinu.

**Mehanizmi nastajanja i spektri x-zraka**

X-zraci se proizvode u posebno urađenoj rendgenskim cevima sa visokim vakuumom. U cevi su zatopljene dve metalne elektrode. Sa zagrejane katode se emituju elektroni koji se ubrzavaju velikom razlikom potencijala (u) pema drugoj elektrodi (antikatodi). Pri udaru

elektrona oslobađa se deo energije u vidu kvanta x-zraka a izvestan deo prelazi u unutrašnju energiju antikatoe.

**Mehanizmi nastajanja su:**

- kočenjem elektrona (zakočno zračenje)
- izbijanjem elektrona iz K ili L sloja elektronskog omotača (iz dubljih slojeva elektronskog omotača atoma).

Zakočno zračenje se sastoji u tome što se electron pri ulasku u antikatuodu usporava dejstvom obojone sile i pri tome zrači elektromagnetne talase x-zrake. Ako se problem posmatra sa aspekta Ajnštajnovne teorije fotoeffekta nalazi se da kvant x-zraka ima maksimalnu energiju kad se sva kinetička energija elektrona emituje u vidu x-zraka.  $h \cdot \nu_{\text{max}} = E_k = h \cdot c / \lambda_{\text{min}} = e \cdot U$

imajući u vidu da je  $E_k = e \cdot U$ , nalazi se da je

$$\lambda_{\text{min}} = h \cdot c / e \cdot U,$$

gde je:


- $h$  - Plankova konstanta, iznosi  $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- $c$  - brzina svetlosti
- $e$  - elementarno naelektrisanje, iznosi  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- $U$  - napon elektrionog polja ostvarenog između elektroda i

$\lambda_{\text{min}}$  - kratkotalsana granica spektra x-zraka koji nastaju kočenjem elektrona.

Promenom napona  $U$  mogu se dobiti x-zraci čije vrednosti talasnih dužina imaju vrednosti u granicama od  $(0,001 - 80) \text{ nm}$ . Zato je njihov spektar kontinuiran.

Međutim, moguće je da x-zraci nastaju izbijanjem elektrona iz K ili L sloja elektronskog omotača atoma antikatoe. Nastala prazna mesta se popunjavaju elektronima iz viših (daljih) slojeva L, M, N... elektronskog omotača. Emitovani kvanti

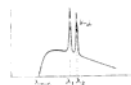
x-zraka obrazuju spektralne serije K, L, M... a pojedine linije (talasi) se obeležavaju Ka, Kb, ..., La, Lb, ...



**slika 4**

Dakle, talasne dužine x-zraka su određene prelazima atoma antikatoe sa viših na niže energetske nivoe. Pošto su svojstva x-zraka koji nastaju na ovaj način zavisa od atoma od kojih je građena antikatoe, nazivani su **karakteristični**, a njihov spektar **diskretan (linijski)**.

Ako se na x-os koordinatnog sistema nanosi talasna dužina  $\lambda$  x-zraka, a na y-os intenzitet zračenja, očigledno je da je dijagram superpozicija dva spektra različitih osobina koji nastaju na različite načine.



**slika 5**

Kontinuirani spektar pripada takozvanom zakočnom zračenju dok diskretni pikovi odgovaraju tzv. **karakterističnom zračenju**. Engleski fizičar Nlozi postavio je zakon prema kome mogu da se odrede brojne vrednosti talasnih dužina mogućih serija karakterističnog zračenja. Izrazio ga je relacijom:

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$m = n+1, n+2, n+3, \dots$$

gde je:

- $R$  - Ribergerova konstanta
- $z$  - redni broj elementa od kojeg je napravljena antikatoe
- $f$  - koeficijent ekranizacije i korekcija naelektrisanja koja ima određene vrednosti za atome metala).

Osigledno je da x-zraci dobijeni na ovaj način zavise od prirode materijala od kojeg je napravljena antikatoe rendgenske cevi. Tasi atomi emituju x-zrake manje talasne dužine, veće energije, a sa tim i prodromosti.

**Komptonov efekat**

Dok je izučavao svojstva elektromagnetnih talasa, Kompton je 1923. godine primetio da snop rendgenskih zraka usmeren ka čvrstim supstancijama pri prolasku kroz njih menja pravac prostiranja i talasnu dužinu - rasejavanje x-zraka.

Umetno je x-zrake na uzani otvor iza koga je postavio kristalnu ploču. Oko prvobitnog pravca prostiranja x-zraka postavio je detektore i pratio skretanje zraka. Merio je vrednosti talasnih dužina i utvrdio da zraci koji izlaze iz kristala imaju veću talasnu dužinu.

Gde je:

$$\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0$$

$\Delta \lambda$  - razlika talasnih dužina (krajnje i početne)

$\lambda_c$  - omptonova konstanta (Komptonova talasna dužina) koja se izračunava:

$$\lambda_c = h / m \cdot c$$

iznosi  $2,246 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Kvanti x-zraka pri prelasku kroz kristal interaguju sa elektronima u kristalu, pritom predaju deo energije elektronu, smanji se energija dolazećeg zračenja, pa preostali iznos ima veću talasnu dužinu (manju frekvenciju).

**Primer:**

1. Rendgensko zračenje talasne dužine  $70,8 \text{ pm}$  komptonovski se rasipa na parafinu. Naci talasnu dužinu zračenja rasejanog pod uglom od  $180^\circ$ .

$$\lambda_0 = 70,8 \text{ nm} = 708 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

$$\lambda = ?$$

$$\theta = 180^\circ$$

$$\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0 = 2 \lambda_0 \cdot \sin^2 \theta / 2$$


$$\lambda - 708 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 2 \cdot 2,246 \cdot 10^{-12} \text{ m} \cdot \sin^2 90^\circ = 4,492 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 4,492 \cdot 10^{-12} \text{ m} + 708 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 752,92 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 752,92 \text{ nm} \Rightarrow 752,92 \text{ nm} > 708 \text{ nm} \Rightarrow \lambda > \lambda_0$$

**Praktična primena x-zraka**

Talasna priroda x-zračenja potvrđena je njihovom difrakcijom na kristalima Laueovim eksperimentom (1912. godine), koga je usavršio BREGG. Zahvaljujući istovj prirodi razvijeni je metod rendgenske strukturne analize kojom se izučavaju osobine kristala.

Kristali su čvrsta tela čiji su atomi, joni pravilno raspoređeni po temenima pravilnih geometrijskih tela na međusobnim rastojanjima od oko  $10^{-10} \text{ m}$ .

Kad se na kristal usmeri snop x-zraka pod malim uglom  $\theta$  u odnosu na paralelne kristalne ravni koje prolaze kroz čvorove kristalne rešetke. (sl. 6)



**slika 6**

One se ponašaju kao polupropusna ogledala koja delimično odbijaju a delimično propuštaju x-zrake. Odbijeni zraci izlaze iz kristala pod istim uglom  $\theta$  u odnosu na atomske ravni. Pošto su zraci jednaki (koherentni) na fotografskoj ploči (filmu) ostvaruju difrakcione maksimume na mestima gde je ispunjen uslov da putna razlika dva susedna zraka sadrži ceo broj njihovih talasnih dužina

$$\Delta s = AB + BC = 2d \cdot \sin \theta$$

sadrži ceo broj njihovih talasnih dužina  $\lambda$

$$d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda$$

**Bregova formula**

gde je:

- $d$  - rastojanje između susednih kristalnih ravni
- $m = 1, 2, 3, \dots$

Kad se znaju talasna dužina x-zraka i ugao može se na osnovu Bregove formule odrediti  $d$ , koje karakteriše strukturu kristala.

U rendgenskoj spektroskopiji koristi se difrakcija rendgenskih zraka na kristalima radi određivanja njihovog spektralnog sastava.

Izuzetan značaj x-zračenje ima u medicini: za radioloskopsko ispitivanje, direktno ispitivanje ljudskog tela pomoću jednog fluorescentnog ekrana kojeg osvetljavaju x-zraci, ili radioloskopsko ispitivanje pri kome zraci dejstvuju kao svetlost na jednu osetljivu ploču (film).

Različita tkiva različito apsorbuju x-zračenje. Različite tamne tačke koje predstavljaju senke raznih organa na radiokopskom ekranu i radiografiji omogućuju lekaru da otkrije i obeleži organske poremećaje, kvarove na zubima, frakture kostiju ili da odredi mesto stranih telima. Unošenjem smeše bizmuta ili barijuma, neprovidne za x-zrake, omogućava se ispitivanje organa za varenje: isto tako, apsorbovanjem bromna ili joda otkrivaju se dijagnoza bolesti mokraćnih organa besike.

Pošto dugotrajno dejstvo x-zraka razara ćelije, oni se upotrebljavaju za lečenje kanceroznih tumora (x-radioterapija).

U znak zahvalnosti Rendenu za otkriće x-zraka i njihovu široku primenu na njegovom grobu je napisano:

**" PO NJEMU NAZIVANI ZRACI POKAZUJU LEKARU UNUTRAŠNOST TELA, INŽENJERU UNUTRAŠNOST NJEGOVIH TVOREVINA, ISTRŽIVAČU DONOSE VEST O UNUTRAŠNJOJ IZGRADNJI ATOM A "**

X-zračenje vrši jonizaciju srednje kroz koju prolazi, naročito ako ima malu talasnu dužinu, veliku frekvenciju, energiju, sa tim i prodornost. Mehanizam delovanja x-zraka još uvek nije dovoljno poznat, ali jonizacija molekula, atoma i ćelija dovodi do njihovih hemijskih, bioloških aktivnosti i funkcija. To narušava normalan rad i organizma u celini.

Na jonizujuće dejstvo x-zraka najosetljivije su aktivne ćelije i brzo se mlače, (tipi ćelije koštanog srca, što narušava proces obrazovanja krvi, organa za varenje) i u znatno većoj meri mlade poulasije. Iz tih razloga u cilju zaštite od x-zračenja moraju se preduzeti određene mere kako bi se izbegle eventualne nepoželjne posledice. Osoblje koje je izloženo x-zračenju u obavezni je da nosi zaštitni odelu, da nosi lični dozimetar i da redovno kontroliše zdravstveno stanje.

Knipping, Zender, Debaj, Serer, otac i sin Breg i drugi. Osim x-zrakovna, ispitivao je i objavljivao radove o specifičnim toplotama gasova, obojnim polarizacione ravni u pari sumpor-ugljenika, ispitivao je i piezo-elektricitet, elektromagneta dejstva dielektrine polarizacije itd.

**O Rendenu**

Vilhem Konrad Rendgen je rođen 27. marta 1845. godine u Lenepu u Pruskoj, Ose Fridrih i majka Sarota su ga zbog nemira 1848. godine poslali u Apelturm, gde je završio osnovnu školu. Srednju školu je pohađao u Utrehtu, ali je pred samu maturu bio isključen iz škole, zbog nestaškica.

Nije mogao na univerzitet, pa je otišao na Politehniku u Cihru, gde je položio doktorat 1869. godine. Zavoleo je fiziku, pristao da bude asistent profesora Kurta. Oženio se Bertom Ludvig. Sledeće godine Rendgen je zajedno sa profesorom Kurtom otišao na Univerzitet u Virzburgu. Tu je kao asistent stampao svoj prvi naučni rad " **O odnosu specijalnih toplota vazduha**". Medjutim, nasuprot sposobnostima koje je tako rano pokazao, Univerzitet u Virzburgu mu je osporavao pravo da dođe u katedru zato što nije imao položenbu maturu.

On odlazi u Stracbur, gde prvo postaje privatni docent 1874, a zatim 1876. vanredni profesor fizike. Posle tri godine postaje redovan profesor i upravnik Fizickog instituta u Gisenu, a od 1888. u Virzburgu. Vircburški univerzitet bio je ponosan sto je njihov profesor Rendgen 1895. godine pronalask x-zraka.

Prilikom svog predavanja 1896. godine u Fizicko- hemijskom društvu u Virzburgu, pokazao je prvi snimak načinjen pomoću konstruisanog " Rendgenovog aparata".

Medjutim, ubrzo su se u mnogim državama već fabrički proizvodili rendgenski aparati, pošto Rendgen svoj proizvod nije patentirao. Prilikom svečanosti održane u njegovu čast u njegovim dobnimk Nobelove nagrade, Rendgen je rekao: " Prema unutrašnjem zadovoljstvu zbog uspešno rešenog problema, svako spoljašnje priznanje je bez značaja." Za njega je najveće zadovoljstvo bila baljada koju su mu primrdili njegovi učenici u Virzburgu posle pronalaska x-zrakovna. Da nije Mario za pošasti i titule, vid se i po tome što je odbio da primi titulu plemića koja mu je dodeljena kao državnim savetniku.

Već za života imao je veliki broj sledbenika koji su se isticali naučnim radovima iz oblasti rendgenskog zračenja, kao što su: Laue, Fridrih,

**LITERATURA:**

1. S. Božin, M. Raspopovic, E. Danilovic - Fizika za III razred gimnazije Zavod za izdavanje udžbenika, Novi Sad, 1992.
2. M. Raspopovic, D. Kapar, M. Skrinjar Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd, 1995.
3. B. Djurić - Veliki fizicari Tehnicka knjiga, Beograd, 1964.
4. B. Djurić, Z. Čulum - Teorija relativnosti, Atomska i nuklearna fizika Naučna knjiga, Beograd, 1972.
5. I. Sulek - Nova fizika, Zagreb, 1966.
6. LIBRAIRIE HACHETE, PARIS, 1969. Naslov originala D1S, COMMENT. CA. MARCHE. Dejje sveznanje, Velika ilustrovana enciklopedija, Beograd 1976.
7. S. E. Fris, A. V. Timorjeva - Kurs opšte fizike Beograd, 1969.