

predavanje 12: Rendgensko zračenje, Laseri, Atomska jezgra

1. Što je rendgensko zračenje i kako nastaje, kakva je struktura spektra rendgenskog zračenja (obavezno)?

X-zračenje (rendgensko zračenje) tvore elektromagnetski valovi vrlo kratkih valnih duljina: (1 pm-10 nm), a energije fotona su u području $100\text{-}10^6$ eV.

X-zrake nastaju kad se brzi elektroni zaustave pri udaru u metu, anodu rendgenske cijevi.

Spektar rendgenskih zraka ovisi o energiji elektrona (naponu rendgenske cijevi (obično 10000 do 10^6 V) i o materijalu mete u koju udaraju elektroni.

Razlikuju se dvije vrste spektra:

- kontinuirani spektar, je odrezan na nižim valnim duljinama i ovisi samo o naponu rendgenske cijevi.
- linijski (karakteristični) ovisi o materijalu mete u koju udaraju elektroni (anodi rendgenske cijevi).

2. Što je laser i kako radi laser (obavezno)?

**malim slovima valjda ne treba znati za ovo pitanje, više je radi objašnjenja i boljeg razumjevanja*

Laserska svjetlost, kao i svjetlost npr. iz obične žarulje, je emitirana pri prijelazu atoma iz višeg u niže energijskog stanje. Za razliku od običnih izvora svjetlosti, u laserima atomi djeluju zajedno da bi proizveli svjetlost sa sljedećim karakteristikama:

- Laserska svjetlost je visoko monokromatska, tj. sastavljena od samo jedne frekvencije. (Svjetlost iz običnih (bijelih) žarulja je sastavljena od mnoštva različitih valnih duljina i stoga sigurno nije monokromatska.)
- Laserska svjetlost je vrlo koherentna, tj. fotoni su međusobno u fazi.
- Laserska svjetlost je jako usmjerena. (Npr. laserski puls korišten za mjerenje udaljenosti do mjeseca napravio je točku na mjesечеvoj površini radijusa od samonekoliko metara. Svjetlost iz obične žarulje može se usmjeriti pomoću leća, ali nikad tako dobro kao laserska svjetlost.)
- Laserska svjetlost može se oštro fokusirati. (Ako dva svjetlosna snopa imaju istu energiju, snop koji se fokusira u manju točku imat će veći intenzitet. Da bi dobili intenzitet svjetlosti koju daju jaki laseri tijelo bi trebalo zagrijati na temperaturu 10^{30} K (radi usporedbe, volframova nit u žarulji je ugrijana na 3000K, a temperatura u jezgri sunca je 10^8 K).)

Riječ **laser** je kratica engleskog izraza “light amplification by the stimulated emission of radiation”, što se prevodi kao “pojačanje svjetlosti stimuliranom emisijom radijacije”. Postoje različiti tipovi lasera: laseri s čvrstom tvari, plinski laseri, poluvodički laseri, kemijski laseri.

Razmotrimo izolirani atom koji može biti ili u svom osnovnom stanju (stanju s najnižom energijom) E_0 , ili u pobuđenom stanju (stanju s višom energijom) E_x .

Postoje tri različita fizikalna procesa kroz koje atom može prelaziti iz jednog u drugo stanje:

- apsorpcija

Atom se u početku nalazi u osnovnom stanju. Ako ga stavimo u elektromagnetsko polje frekvencije ν , atom može apsorbirati energiju $h\nu$ iz tog polja i preći u više energijsko stanje. Iz zakona sačuvanja energije imamo, $h\nu = E_x - E_0$.

- spontana emisija
- stimulirana emisija.

Pretpostavimo sada da komad materijala sadrži veliki broj atoma u termalnoj ravnoteži na temperaturi T . Prije nego usmjerimo zračenje na taj materijal, N_0 atoma je u osnovnom stanju s energijom E_0 ,

a N_x atoma je u pobuđenom stanju s energijom E_x .

Ludwig Boltzmann je pokazao da se N_x može izraziti preko N_0 pomoću relacije:

$$N_x = N_0 e^{-(E_x - E_0)/kT}$$

gdje kT je srednja kinetička energija atoma na temperaturi T .

Što je veća temperatura, više atoma će (u prosjeku) preko termalnih pobuđenja (sudari atoma) preći u pobuđeno stanje E_x . Isto tako, s obzirom da je $E_x > E_0$, iz gornje relacije se vidi da je $N_x < N_0$. Dakle, ako postoje samo termička pobuđenja uvijek je manje atoma u pobuđenom stanju nego u osnovnom stanju.

Ako sada atome "preplavimo" fotonima energije $E_x - E_0$, jedni fotoni će nestajati kroz apsorpciju na atomima u osnovnom stanju, dok će se drugi fotoni stvarati uglavnom kroz stimuliranu emisiju. S obzirom da ima više atoma u osnovnom stanju prevladavat će efekt apsorpcije.

Da bi proizveli lasersko svjetlo moramo imati više fotona emitiranih nego apsorbiranih, tj. moramo imati situaciju u kojoj stimulirana emisija dominira. Direktni način postizanja ovog efekta je započeti proces s više atoma u pobuđenom nego u osnovnom stanju što se zove **inverzija gustoće naseljenosti**.

3. Objasnite Mosleyev zakon, navedite njegovu primjenu?

1913., Moseley je generirao karakteristične x-zrake za sve elemente koje je mogao naći – njih 38, koristeći ih kao mete koje bombardiraju elektroni u evakuiranoj cijevi.

Uočio je da su frekvencije karakterističnih X-zraka proporcionalne kvadratu rednog broja.

Prikazavši kvadratni korijen izmjerenih karakterističnih frekvencija u ovisnosti o rednom broju Z anode rendgenske cijevi, dobio je linearnu ovisnost o Z . Moseleyev rad je pokazao da se karakteristično X- zračenje treba prihvatiti kao znakovitost postojanja danog elementa. Položaj pojedinog elementa u prvim periodnim tablicama određivala je njegova masa, a **Moseley je pokazao da redni broj tj. naboj jezgre treba biti veličina koja određuje položaj elementa u periodnoj tablici**.

Karakteristično X-zračenje je jednoznačan način da se identificira neki element i znatno je pouzdaniji od optičkog spektra.

Naime, karakteristično x-zračenje nastaje kad elektron popunjava šupljinu u unutrašnjim ljuskama (npr. K-ljusci), pa naboj jezgre koji jednoznačno određuje identitet elementa nije zasjenjen.

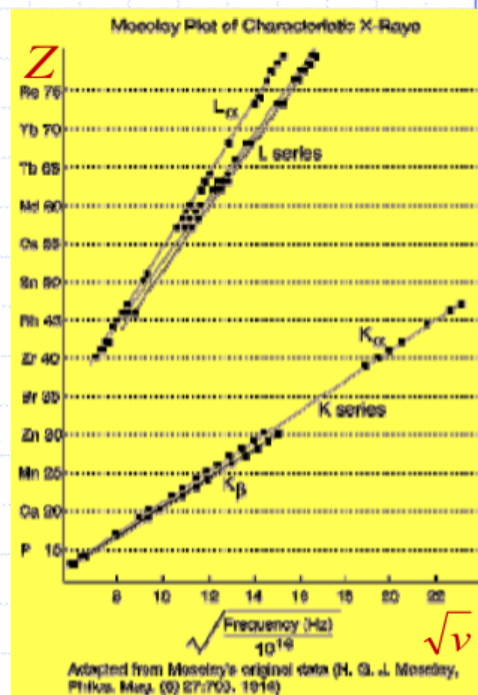
Optički spektar kod težih elemenata nastaje prijelazom elektrona između vanjskih ljusaka, te je naboj jezgre zasjenjen elektronima u unutrašnjim ljuskama.

Očito optički spektar nije toliko osjetljiva proba naboja jezgre, odnosno identiteta elementa.

Linijski spektar rendgenskog zračenja za dani element isti je bez obzira je li element u čvrstom, tekućem ili plinovitom stanju ili se nalazi u nekom kemijskom spoju.

X-spektrometrijska metoda je nedestruktivna metoda za određivanja sastava tvari, svaki element u ispitivanom uzorku zrači karakterističnu X-zraku, a iz intenzitet pojedine karakteristične X-zrake određuje zastupljenost pojedinog elementa u uzorku.

Široka primjena od biologije, kemije, industrije, povijesti umjetnosti, arheologije, ...



4. Objasnite stimuliranu i spontanu emisiju, te princip rada He-Ne lasera.

- **spontana emisija**

Atom se na početku nalazi u pobuđenom stanju i nema vanjskog zračenja. Nakon nekog vremena, atom će spontano ("sam od sebe") preći u osnovno stanje emitirajući foton energije $h\nu$.

- **stimulirana emisija**

Atom je na početku u pobuđenom stanju, ali je ovaj put prisutno vanjsko elektromagnetsko polje frekvencije $\nu = (E_x - E_0)/h$.

Foton energije $h\nu$ može stimulirati atom na prelazak u osnovno stanje, i tijekom tog procesa emitira dodatni foton čija energija je također $h\nu$. Ovaj proces se naziva **stimulirana emisija** jer je događaj pobuđen vanjskim fotonom. Emitirani foton je u potpunosti identičan vanjskom fotonu, tj. imaju istu energiju, fazu, polarizaciju i smjer kretanja.

Da bi proizveli lasersko svjetlo moramo imati više fotona emitiranih nego apsorbiranih, tj. moramo imati situaciju u kojoj stimulirana emisija dominira. Direktni način postizanja ovog efekta je započeti proces s više atoma u pobuđenom nego u osnovnom stanju što se zove **inverzija gustoće naseljenosti**.

Plinski He-Ne laseri daju svjetlost valne duljine 632,8 nm, a rade na slijedećem principu:

- Staklena cijev se napuni mješavinom He-Ne plinova u odnosu 20:80; neon je medij u kojemu se odvija fizikalni proces emisije laserskog svjetla.

- Na slici desno je prikazan energijski dijagram za atome He i Ne.

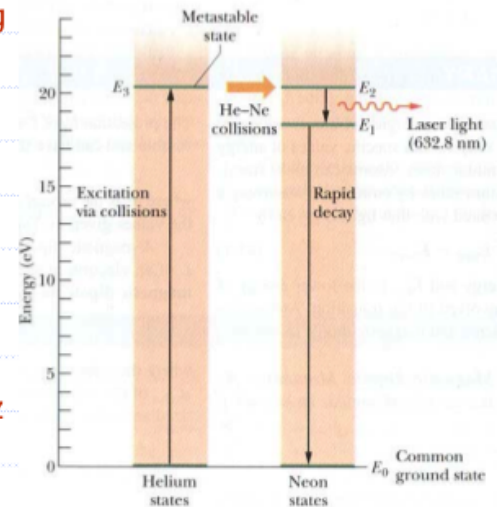
Struja koja prolazi kroz mješavinu plinova, kroz sudare atoma He i elektrona struje, uzrokuje pobudu atoma helija u stanje E_3 , koje je metastabilno.

- Energija stanja helija E_3 (20,61 eV) je vrlo blizu energiji neonskog stanja E_2 (20,66 eV).

Stoga, kada se atom helija u stanju E_3 sudari s atomom neona u osnovnom stanju E_0 , energija pobude atoma helija se vrlo često prenese na atom neona, koji se pobudi u stanje E_2 .

Na ovaj način neonska energijska razina E_2 postane naseljenija elektronima od razine E_1 – imamo inverziju gustoće naseljenosti.

- Ovu inverziju gustoće naseljenosti je relativno lako izvesti zbog:
 - (1) na početku je razina E_1 skoro potpuno prazna,
 - (2) metastabilnost helijske razine E_3 osigurava kontinuirani prelaz atoma neona na razinu E_2 i
 - (3) atomi iz razine E_1 vrlo brzo se vraćaju (preko međustanja koja nisu prikazana) u osnovno stanje E_0 .



17

- Pretpostavimo sada da se jedan foton spontano emitira pri prijelazu atoma neona iz E_2 u E_1 .

Takav foton može tada stimulirati emisiju istih takvih fotona, koji nadalje opet stimuliraju istu emisiju ...

Kroz takav proces stvara se koherentni snop crvene laserske svjetlosti koja putuje duž osi cijevi s plinom.

Ako još na krajevima cijevi postavimo zrcala (s jedne strane nepropusno, a s drugo djelomično propusno) fotoni će se reflektirati od zrcala povećavajući tako vjerojatnost stimulirane emisije.

Korisno lasersko svjetlo dobije se od dijela svjetlosti koja prođe kroz djelomično propusno zrcalo.