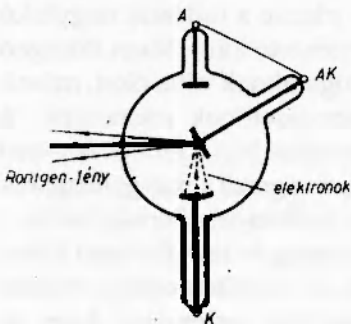


## Röntgensugárzás

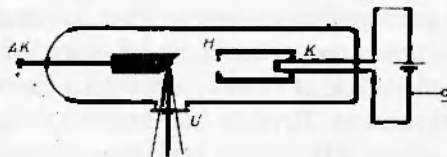
A röntgensugárzás, vagy X-sugárzás elektromágneses hullám jelenség, akár a látható fény. Hullámhossza azonban közel tízezerszer rövidebb a látható fénynél. Röntgensugarak keletkeznek gyors elektronok valamilyen anyagban való lefékeződésekor, de megfigyelhetők bizonyos rádióaktív folyamatok során is.

### Előállításuk

A röntgensugarak előállítására régebben gáztöltésű röntgensövet használtak (1. ábra). Ebben a nyomás kb.  $10^{-3}$  Hgmm nagyságrendű. Az anód (A) és homorú katód (K) közti nagy feszültség hatására, a gázkisülés folyamatában katódsugárzás, azaz gyors elektronnyaláb keletkezik, amely az antikatódra (AK) ütközik. Innen indulnak ki a röntgensugarak. Az anód és antikatód azonos potenciálon van, hogy az antikatód feltöltődését elkerüljék. A mai modern röntgensövekben a szabad elektronnyalábot izzókatóddal állítják elő (2. ábra), így a nyaláb intenzitása könnyen szabályozható, a gáznyomás jóval kisebb ( $10^{-6}$  Hgmm). Az elektronnyaláb gyorsítása  $10^4$ – $10^6$  V változtatható feszültséggel történik. Az elektronok energiájuk nagy részét (95–99%) az antikatódnak mechanikai energia formájában adják át, amitől az felmelegszik, csak a fennmaradó 1-5% jelentkezik a röntgensugárzás elektromágneses energiájaként. Ezért az antikatód nagy tömegű, a hőt jól vezető, nehezen olvadó fém (pl. W), esetleg vízhűtésű. A nagyobb rendszámú, nehezebb fémből készült antikatód esetén nő annak valószínűsége, hogy az elektronok energiája röntgensugárzássá alakuljon.



1. ábra



2. ábra

Nagyenergiájú elektronforrás lehet egy bétabomló rádióaktív preparátum is (pl.  $^{90}\text{Sr}$ ). Ha egy ilyen preparátumot nehézfém dobozba csomagolunk, a doboz anyagában lefékeződő bétareszecskek (elektronok) miatt az így csomagolt preparátum röntgensugárforrásként működik. Ezt elkerülendő, a bétabomló anyagokat kisrendszámú, könnyű anyagokba (plexiüveg, alumínium) csomagoljuk.

Röntgensugárzás által keltett hatások, tulajdonságok:

A szem számára láthatatlan röntgensugarak jól látható fluoreszcenciát idéznek elő néhány anyagon (cinkszulfid, báriumplatinocianid, stb). A fényhez hasonlóan megfeketítik a fényérzékeny lemezt, fémfelületen fényelektromos hatást keltenek, a gázokat ionizálják. Nagy az anyagon való áthaladó képességük, de áthatolás közben egy részük elnyelődik. Az elnyelődés mértéke nő az anyag rendszámával, valamint függ a sugárzás "keménységétől". Kemény vagy lágy sugárzásról beszélünk annak függvényében, hogy az elektronnalábot nagy, illetve kisebb feszültséggel gyorsítottuk. A sugárzás természetének megismerési folyamatában igen fontosak egyéb tulajdonságok is, mint pl. hogy külső elektromos és mágneses térrel irányuk nem változtatható meg, ellentétben az elektromosan töltött részecskenyalábok viselkedésével, vagy hogy tükörrel nem verődnek vissza, lencsével nem fókuszálhatók, mint a látható fény.

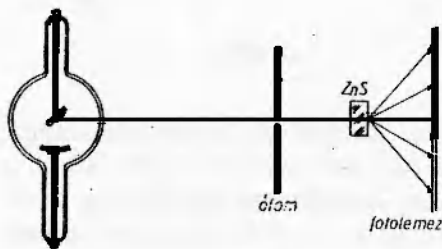
A röntgensugarak kísérleti tanulmányozásához szükséges azok érzékelése (detektálása), intenzitásának pontos mérése. Az intenzitást a felületegységen időegység alatt átszállított energiával mérjük. A környezetnek való energiaátadás különféle jelenségekhez (a fennebb említett hatásokhoz) vezet. Ezek teljes mérése gyakorlati nehézségbe ütközik. Mivel a sugárzás detektálására bármely általa kiváltott hatás felhasználható, ezek közül kiválasztva a legalkalmasabbat, azt az intenzitás mértékéül fogadjuk el. Erre felhasználható pl. a fényképezőlemez feketedése, a fényelektromos áram erőssége, vagy adott térfogatú gázban levő ionok száma.

Az elektromágneses hullámtulajdonság kimutatása:

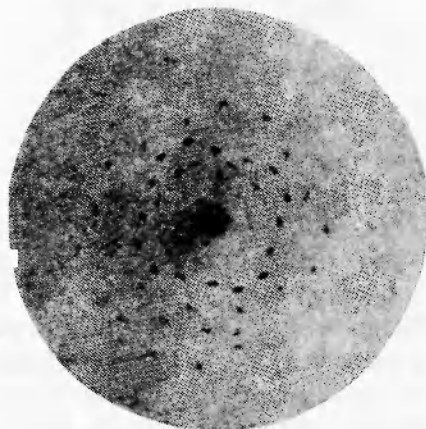
A röntgensugárzás felfedezése utáni évben ezernél is több tudományos közlemény jelent meg ebben a tárgykörben, jelezve a tudósok nagyfokú érdeklődését a titokzatos sugarak és azok természete iránt. Maga Röntgen nagyon rövid hullámhosszúságú ibolyántúli sugaraknak vélte őket, mások longitudinális hullámnak, vagy részecske-természetűnek tekintették. A tranzverzális hullámtervezet kimutatása egy évtizeddel a felfedezés után született meg. Barkla, angol tudósnak sikerült elvégezni a röntgensugarak polarizációját (1906), amellyel a tranzverzális hullám-tulajdonság bebizonyosodott. További bizonyíték az elhajlási jelenség és interferencia lehet, egyben lehetőség a hullámhossz mérésére is. A szokásos optikai ráccsal végzett kísérletek eredményeinek gyenge minősége azt mutatta, hogy ha a sugárzás hullámtervezetű, akkor a hullámhossz rendkívül kicsi a

látható fényhez képest, kb  $10^{-10}$  m ( $1\text{\AA}$ ) nagyságrendű. A jó minőségű elhajlási kép előállításának alapfeltétele, hogy az optikai rácsállandó és a hullámhossz azonos nagyságrendű legyen. A klasszikus optikai rácsok állandója pedig legfeljebb  $10^{-6}$  m (mikron) nagyságrendű. 1912-ben Lauenak támadt az a rendkívül termékenynek bizonyult gondolata, hogy a természetben található kristályok háromdimenziós kristályrácsnak tekinthetők. Szabályos mértani alakjuk annak köszönhető, hogy a kristályt alkotó atomok vagy ionok a térben periodikusan ismétlődő elrendezésűek, azaz térbeli pontrácsot alkotnak. Az atomtömeg, sűrűség, és Avogadro-szám ismeretében az atomok közti távolság, azaz rácsállandó kiszámítható. Pl. a kocka alakban kristályosodó kősó esetében ez  $2,81 \cdot 10^{-10}$  m, tehát nagyságrendje megfelelő.

A kísérletet ZnS kristályra végezték el (3. ábra), az eredmény (4. ábra), vagyis a szimmetrikusan elhelyezkedő fekete foltok (maximumok) a háromdimenziós rácson való elhajlást jelentik. A kísérlet eredménye igen fontos. Igazolja Laue feltevését a kristályok szerkezetére vonatkozóan, másrészt a röntgensugarak elektromágneses hullámtermészetét. Lehetőséget ad hullámhosszmérésre, másrészt kristályszerkezet kutatására. Egy ilyen kép (Laue diagram) mennyiségi kiértékelése azonban bonyolult, a hullámhossz kiszámítása nehézkes.



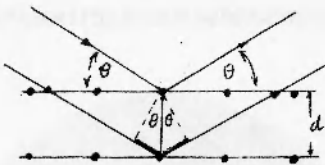
3. ábra



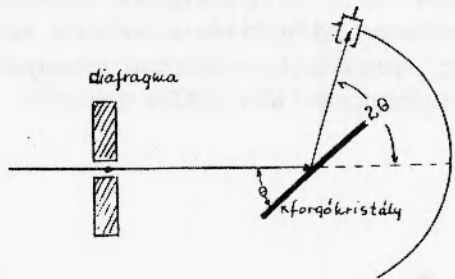
4. ábra

Áttekinthetőbb az ún. Bragg-féle (Lauével egyenértékű) módszer, amely a röntgensugaraknak a kristály hálózati síkjain való visszaverődésen alapszik. Bármely kristályban azonos távolságú párhuzamos síkcsoportokat lehet kiválasztani, amelyek a kristályban levő összes atomot tartalmaznak. Nagyon sok ilyen síkcsoport választható ki, ezek egymástól csak a rácsállandó értékében különböznek. Ezek a hálózati síkok. Ha kiválasztunk egy ilyen síkréteget, és beejtünk rá egy adott hullám-

hosszúságú ( $\lambda$ ) párhuzamos nyalábot, a síkon elhelyezkedő atomok új koherens elemei hullámok kiindulási pontjai lesznek (Huygens-elv). A visszaverődés egyetlen sík esetén bármely hullámhosszra azonos módon történik. Mivel a röntgensugár behatol a kristályba, a visszaverődés sok egyenlő távolságra levő párhuzamos síkról történik. A különböző síkokról visszavert koherens sugarak interferálnak egymással, tehát csak jól meghatározott hullámhosszoknál történik meg a visszaverődés. Ha két síkot tekintünk (5. ábra), az útkülönbség értéke  $2d \sin \theta$ , és az erősítés feltétele, hogy ez a hullámhossz egész számú többszöröse legyen, azaz  $2d \sin \theta = n\lambda$  ( $n = 1, 2, \dots$ ). Ez a Bragg-féle összefüggés, amely a röntgenspektroszkópia alapegyenlete. A  $\theta$ -szöget változtatva, vagyis a kristályt forgatva, maximumokat kapunk,  $d$  ismeretében kiszámítható a hullámhossz (6. ábra).



5. ábra



6. ábra

Ha a kristályra azonos  $\theta$ -szög alatt különböző hullámhosszúságú sugárzást ejtünk, az ugyancsak  $\theta$ -szöggel visszaverődő nyaláb csak a Bragg-feltételt teljesítő hullámhosszúságú komponenst tartalmazza, tehát a visszaverődés egyben monokromatizálás is. Az útkülönbség felírásánál a behatoló nyalábra 1-nek tekintettük a kristály törésmutatóját. Igen pontos kísérletezéseknél, főleg nagyobb hullámhossztartományban eltérést találtak a Bragg-összefüggéstől, amit a törésmutató egytől való eltéréseivel magyaráztak. Az eltérés jellege azt mutatja, hogy a törésmutató kisebb mint egy a röntgensugárnak levegőből kristályba való behatolásakor. Ennek értelmében a röntgensugarak teljes visszaverődést szenvedhetnek. A határszög igen kis érték, hullámhossztól és anyagi minőségtől függően  $10^\circ$  és  $3^\circ$  közt van.

**Farkas Anna**

Kolozsvár