

CONRAD WILHELM RÖNTGEN

Ob stopetdesetletnici rojstva in stoletnici žarkov X

Od vseh obletnic v letu 1995 bo največ pozornosti pritegnila dvojna Röntgenova. Röntgen, ki je bil rojen pred poldrugim stoletjem, je pred stoletjem odkril žarke X.

V zadnjem desetletju prejšnjega stoletja so si sledila odkritja, ki so veliko prispevala k znanju o zgradbi snovi. Leto po Röntgenovem odkritju je Henri Becquerel odkril radioaktivnost in dve leti pozneje so John Joseph Thomson in drugi odkrili elektron.

Conrad Wilhelm Röntgen (slika 1) je bil rojen leta 1845 v Lennepu ob Reni. Kmalu se je družina preselila v nizozemski Apeldoorn. Po študiju na Nizozemskem se je Röntgen odpravil študirat strojništvo na državno tehniško visoko šolo v Zürichu. Tu je bil njegov učitelj najprej Rudolf Clausius in nato August Kundt. Diplomiral je leta 1868 in naslednje leto doktoriral na univerzi v Zürichu. Postal je asistent pri Kundtu, z njim je prešel na univerzo v Würzburgu in nato na univerzo v Strassburgu. Leta 1875 je Röntgen postal profesor na univerzi v Giesnu. Nato je predaval na drugih nemških univerzah in se leta 1888 vrnil na univerzo v Würzburgu, kjer je bil prej Kundtov asistent.



Slika 1. Conrad Wilhelm Röntgen (1845 do 1927)

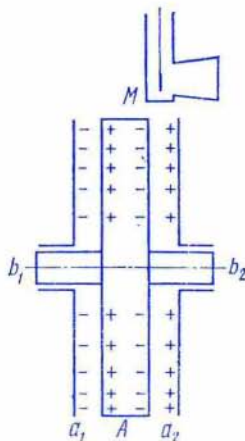
Tam mu je proti koncu leta 1895 uspelo odkritje, zaradi katerega je postal v kratkem času znan po vsem svetu. Röntgen je bil spreten amaterski fotograf in je naredil z novimi žarki več fotografij. Priložil jih je kopijam svojega članka, ki ga je poslal znanim fizikom. V kratkem so delali poskuse z žarki po vsem svetu. Takoj so uvideli njihovo uporabnost v medicini. Marsikatera kronana glava se je zanimala zanje in želela videti poskuse z žarki. Tudi Röntgena,

ki je odklanjal vsa povabila na predavanja, da bi lahko nemoteno nadaljeval delo v laboratoriju, je cesar Wilhelm II povabil na dvor. Kot vse druge je tudi Röntgena skrbelo, da bo šlo pri poskusih kaj narobe. Tedanje cevi so bile zelo občutljive in vsako novo cev je bilo treba evakuirati več dni. Toda poskusi pred cesarjem so lepo uspeli. Noben fizik se ni pritožil, da bi mu šlo kaj narobe, ko je moral v podobnih okoliščinah delati poskuse z Röntgenovimi žarki. Po tem je imel Röntgen o žarkih samo še javno predavanje, na katerem ga je spremljalo viharno odobravanje.

Leta 1896 so objavili več kot tisoč člankov o žarkih. Röntgen sam je napisal o njih le še dva, nato se je vrnil k drugim poskusom. Leta 1900 je postal direktor inštituta za eksperimentalno fiziko v Münchnu. Naslednje leto so mu podelili prvo Nobelovo nagrado za fiziko. Leta 1914 je podpisal deklaracijo, s katero su nekateri nemški raziskovalci podprli vojne cilje oblasti, a je pozneje ta korak obžaloval. Precej sta ga prizadeli prva svetovna vojna in inflacija, ki ji je v Nemčiji sledila. Umril je leta 1923 v Münchnu.

Röntgen je naredil še druge poskuse. Poleg merjenja specifičnih toplot je znan predvsem poskus iz leta 1888. Z njim je pokazal, da ima gibajoč se naelektrjen izolator enak učinek kot električni tok po vodniku (slika 2). To se zdi danes razumljivo samo po sebi, a tedaj ni bilo tako. Ne gre pozabiti, da je prej Michaela Faradaya stalo precej truda, preden se je prepričal, da je električni tok, ki ga požene Voltov člen, v osnovi enak električnemu toku v stroju za elektrenje.

Do odkritja Röntgenovih žarkov je pripeljalo raziskovanje električnega toka v plinih. Michael Faraday je že leta 1838 opazoval raz-elektrenje teles v razredčenih plinih. Sredi šestdesetih let so naredili prve razredčevalke, s katerimi so zmanjšali zračni tlak v steklenih ceveh na milibar. Nemca Julius Plücker in Johann Wilhelm Hittorf sta začela



Slika 2. Poenostavljena risba naprave, s katero je Röntgen leta 1888 ugotovil magnetno polje gibajočega se naboja na izolatorju. Steklen ali ebonitni valj (A) se je vrtil med ploščama (a_1 in a_2) kondenzatorja. Magnetnica (M) je z odklonom pokazala magnetno polje. Natančnost pa je bila preslaba, da bi bilo mogoče določiti, kako je gostota magnetnega polja odvisna od frekvence valja in drugih podatkov.

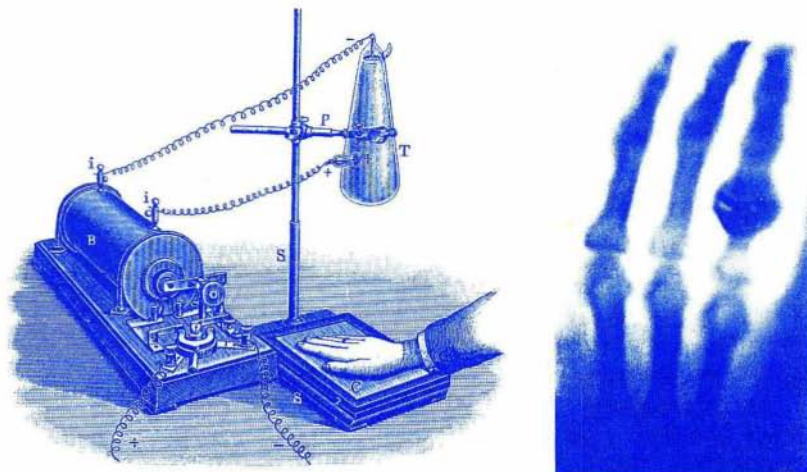
opazovati tok po takih ceveh, v katere sta vtalila dve elektrodi: katodo in anodo. Prvi je ugotovil, da se steklena cev v bližini katode svetlika, drugi pa, da se s katode premo širijo "žarki". Eugen Goldstein jih je imenoval *katodne žarke*. O naravi teh žarkov je tekla razgrčena razprava. Anglež William Crookes jih je imel za molekule, večina pa je tej zamisli nasprotovala. John Joseph Thomson je leta 1897 z odklanjanjem katodnih žarkov v električnem in magnetnem polju pokazal, da jih sestavljajo negativno naelektreni delci, ki jih zdaj imenujemo elektrone.

Katodne žarke so raziskovali v vseh fizikalnih laboratorijih, ki so kaj dali nase. Preden se je Röntgen lotil raziskovanja, je poiskal nasvet pri najbolj izkušenem raziskovalcu katodnih žarkov Philippu Lenardu. Leta 1894 mu ni bilo treba več izdelati lastne cevi, kakor so si jo izdelali dotlej vsi raziskovalci, ker so tedaj prišle na tržišče prve Lenardove cevi. S kupljeno cevjo je najprej ponovil Lenardove poskuse. Lenard je cev pregradil s tankim aluminijevim lističem in ločil del cevi, v katerem so žarki nastali, od dela, v katerem je delal z njimi poskuse. Ugotovil je tudi, da žarki lahko izstopijo skozi aluminijevo okenca na prosto.

Potem je Röntgen postal rektor univerze v Würzburgu in mu za raziskovanje ni preostalo nič časa. Proti koncu leta 1895 pa se je znova lotil poskusov s Hittorfovo cevjo. Nekega novembrskega večera je cev pokril s črno lepenko in delal poskuse v zatemnjenem laboratoriju. Nedaleč od cevi je na mizi ležal z raztopino barijevega platincianida namazan list. Na Röntgenovo presečenje se je list zasvetil, ko je priključil cev na napetost. Sklepal je, da je nekaj zadelo papir in povzročilo njegovo sevanje. Zaradi črne lepenke to niso mogli biti ne katodni žarki ne vidna svetloba. Röntgen je pojav podrobneje raziskal. Papir se je svetil tudi, ko ga je Röntgen oddaljil od cevi. Svetil se je tudi še, ko je dal med njega in cev razne predmete. Na njem se je pokazala slika kosti, ko je premaknil predenj roko (slika 3). Tako je odkril "novo vrsto žarkov".

Röntgen je delal sam in je nadaljeval delo še nekaj dni, ne da bi komu omenil kaj o svojem odkritju. Tudi ženi ni povedal, za kaj gre, čeprav je opazila njegovo vnemo. Šele potem, ko je podprl ugotovitve s fotografijami, je proti koncu leta 1895 izročil rokopis članka *O novi vrsti žarkov* Fizikalno-medicinski družbi v Würzburgu, ki ga je objavila še istega leta:

Če priključimo velik Ruhmkorffov induktor na Hittorfovo ali dovolj evakuirano Lenardovo, Crookesovo ali podobno napravo in pokrijemo cev s prilegajočim plaščem iz tenke črne lepenke, opazimo v popolnoma zatemnjenem prostoru, da se papir, namazan z barijevim platinocianidom, močno zasveti in se sveti enako, ne glede na to, ali je obrnjen proti cevi z namazano ali drugo stranjo.



Slika 3. Röntgenov poskus (levo) in fotografija kosti v roki (desno). Fotografijo je Röntgen priložil kopijam svojega članka.

Fotografske plošče so bile občutljive za žarke. Nekateri predmeti so jih prepuščali, drugi ne. Žarki so izvirali iz dela cevi, v katerem so katodni žarki zadeli steklo. Ni jih bilo mogoče odkloniti z magnetnim poljem in ni bilo mogoče opaziti, da bi se odbijali ali lomili. Na koncu je Röntgen domneval, da utegnejo biti žarki longitudinalno elektromagnetno valovanje. Svetloba in druge vrste elektromagnetnega valovanja so transverzalne, to pomeni, da sta električno in magnetno polje pravokotni na smer potovanja. V novih žarkih pa naj bi imeli polji smer potovanja. Na tedaj običajno vprašanje "Ali delci ali valovanje?" so odgovorili šele leta 1911 Max von Laue in njegova sodelavca. Interferenčni poskusi so pokazali, da gre za navadno elektromagnetno valovanje, le da je valovna dolžina še manjša kot pri ultravijolični svetlobi, denimo, manjša kot nekaj milijardin metra. Zato danes govorimo o *rentgenski svetlobi*. Röntgen sam je uporabljal ime *žarki X*, ki se je obdržalo v angleščini. Glede longitudinalnega elektromagnetnega valovanja se je Röntgen motil. Vendar se mu je vprašanje o naravi žarkov zdelo manj pomembno.

O plazu odobravanja se je v pismu potožil prijatelju.

Prvega januarja sem poslal kopije in potem je bilo treba plačati vragu. Dunajski časopis je prvi zatrobil na reklamno trobento in drugi so mu sledili. V nekaj dneh se mi je vsa zadeva uprla. V poročilih nisem mogel nič več prepoznati svojega lastnega dela. Fotografija je bila zame samo sredstvo, da sem dosegel svoj namen, toda iz nje so naredili najpomembnejšo zadevo. Postopno sem se na pretrese navadil, toda vihar me je stal veliko časa. Natanko štiri tedne nisem mogel narediti niti enega samega poskusa. Drugi so lahko delali poskuse, a sam jih nisem mogel. Nimaš pojma, kako napete so bile stvari tukaj.

Röntgenovo odkritje spodbuja razpravo o vlogi naključja. Večinoma ga imajo namreč za naključnega. Vendar stvari niso tako preproste.

Zakaj drugi fiziki niso odkrili rentgenske svetlobe? Pri poskusih s katodnimi žarki, se pravi s curki elektronov v vakuumu, se je namreč izdatno pojavila. Crookes je leta 1879 s curkom elektronov talil platino in iridij. Sicer je

opazil, da so bile osvetljene v črn papir zavite fotografske plošče, ki so ležale v bližini, a se je menda samo pritožil pri izdelovalcu. Goldstein je leta 1880 na javnem predavanju pokazal, da se v katodni cevi svetijo drobni predmeti, čeprav jih ne zadenejo ne elektroni ne kako drugo znano sevanje. Thomson je opazil svetlikanje stekla precej daleč od cevi, čeprav se je prepričal, da ga ne zadene ultravijolična svetloba. Zapisal je, da je v okolici cevi obilo žarkov, ki povzročajo svetelne. To je bilo torej prvo ime za neprepoznano rentgensko svetlobo. Neki Američan je leta 1890 nehote in nevede naredil prvo fotografijo z rentgensko svetlobo (slika 4). Leonard je rentgensko svetlobo leta 1893 celo meril, ne da bi se tega zavedal. Zdelo se mu je, da gre za postranski pojav, do katerega je prišlo zaradi velike občutljivosti merilnikov. Röntgenovo odkritje ga najprej ni sploh vznemirilo. Mislil je, da gre za učinke katodnih žarkov, in je ponovil Röntgenove poskuse. Z Röntgenom je celo skupaj prejel nekaj priznanj. Toda pozneje je zaman



Slika 4. Prva fotografija z rentgensko svetlobo, ki jo je Američan Goodspeed naredil nevede in nehote leta 1890. Na fotografiji je videti senci dveh kovancev, ki sta ležala na fotografski plošči, zaviti v črn papir.

poskušal uveljaviti svoje prvenstvo. Za raziskovanje katodnih žarkov je vseeno dobil Nobelovo nagrado leta 1905.

Čeprav je Röntgen rentgensko svetlobo morda odkril po "naključju", se je moral vendar po nečem razlikovati od drugih fizikov. Vse kaže, da je bilo to zanimanje za prostor zunaj cevi. Domneval je, da je pri dovolj visoki napetosti morda zunaj cevi poleg katodnih žarkov opaziti še druge pojave. Iskal je "dejavnik, ki lahko zapusti cev". Zakaj bi sicer pokril cev s črno lepenko? Pred odločilnim poskusom je v laboratorijski dnevnik zapisal, da je v zatemnjeni sobi poleg lesenih vrat, za katerimi je bila nameščena Hittorfova cev, zaznal šibko svetlobo po vsem vidnem polju, ko je vključil tok po cevi. Kako je do tega prišlo, ne vemo. Prav tako ne vemo, zakaj je namesto Lenardove cevi z aluminijevim okencem kupil "absolutno evakuirano cev" z običajno debelo stekleno steno in zakaj je namesto snovi, ki mu jo je priporočil Lenard, papir obdelal z barijevim platinocianidom. Vse to kaže, da je treba besedo naključen v zvezi z odkritji uporabljati previdno.

Današnje rentgenske cevi priključimo na visoko izmenično napetost, ki jo dobimo s transformatorjem. Ni nujno, da napetost prej usmerimo. V Röntgenovih časih seveda niso imeli izmeničnega toka. Visoko napetost so dobili z *induktorjem*. (Röntgen je uporabljal Ruhmkorffov induktor z dolžino 50 cm in s premerom 20 cm.) Na prvo tuljavo, navito okoli železnega jedra, so priključili baterijo. Na drugi tuljavi, naviti okoli prve, konstantni tok po prvi ne bi povzročil nobene napetosti. Zato so tok po prvi tuljavi prekinjali s pripravnim, dostikrat z mehničnim prekinjalom. Sprememba magnetnega polja zaradi spremembe toka po prvi tuljavi je v drugi inducirala sunke inducirane napetosti. Če je bilo število ovojev druge tuljave veliko večje od števila ovojev prve tuljave, so lahko na drugi tuljavi dosegli visoko inducirano napetost. Na to tuljavo so priključili vakuumsko cev.

Janez Strnad

NEZNANA OSNOVA

Ali obstaja tako naravno število $b \geq 2$, da bi pri zapisu v osnovi b veljala enakost

$$x + xx + xxx = 1000,$$

kjer je x ena od števk $0, 1, \dots, b-1$?

Martin Juvan