

Sto let elektrona

Letos mineva sto let od odkritja elektrona. Prav toliko let je minilo, odkar je Karl Ferdinand Braun izdelal prvo katodno elektronko. Pred nekaj leti (1995) smo praznovali stoletnico rentgenskih žarkov. Vsa ta in še nekatera druga epohalna odkritja so bila rezultat raziskovanj t.i. "katodnih žarkov", ki so nastali med razelektritvijo plinov pri nizkih tlakih v električnem polju. Razelektritve plinov so bile predmet raziskav najeminentnejših raziskovalcev vse od sredine prejšnjega stoletja, ko je fizik in "steklopihač" Heinrich Geissler (1815-1879) iz Ingelscheiba na Saškem leta 1855 naredil črpalko, s katero je lahko znižal tlak zraka v steklenih ceveh na tisočinko navadne vrednosti. Izdeloval je tudi steklene cevi, v katerih so vgrajeni kristali svetili v lepih barvah, če je pognal po ceveh električni tok. Geissler je sodeloval s fizikom Juliusom Plückerjem (1801-1868) in Johanom Wilhelom Hittorfom (1824-1914), ki sta si prizadevala pojasniti pojave v takih ceveh. Leta 1858 je Plücker opazil, da izhaja v dovolj dobrem vakuumu iz katode raven svetleč pramen. Deset let pozneje je Hittorf zanj uvedel ime katodni "žarek". Raziskovanje narave teh "žarkov" je pritegnilo številne takrat živeče fizike. Poleg že omenjenih: Geisslerja, Plückerja in Hittorfa, so bili pionirji teh raziskav še: Heinrich Hertz (1857-1894), William Robert Grove (1811-1896), Michael Faraday (1791-1867), Philipp E.A. Lenard (1862-1947), William Crooks (1832-1919), Wilhem Conrad Röntgen (1845-1923), Jean B. Perrin (1870-1842) in Joseph. J. Thomson (1856-1940). Njihove raziskave so privedle do vrste epohalnih odkritij: Grove je odkril pojav razprševanja kovin, ki je pozneje postal osnova postopka za pripravo tankih plasti, Crooks, Plücker in Hittorf so prvi opisali luminiscenco v katodni elektroniki, Hertz je leta 1887 odkril fotoefekt, leta 1895 je Röntgen odkril po njem imenovane žarke, J.J. Thomson pa je leta 1897 ugotovil, da so katodni "žarki" elektroni. Istega leta je uspelo Braunu v svojem izumu združiti vse bistvene elemente sodobnih katodnih elektronk: katodo, ki oddaja elektrone, fokusiranje, pospeševanje elektronov v elektrodo, imenovano anoda, sistem za odklanjanje elektronov in luminiscenčni zaslon. Med naštetimi raziskovalci je kar pet Nobelovih nagrajencev (Röntgen, Lenard, Thomson, Braun, Perrin). Prvi trije so dobili nagrado za odkritja, ki so bila neposredno povezana s katodnimi "žarki".

Danes vemo, da je **elektron** negativno nabiti delec z maso $9,109 \cdot 10^{-31}$ kg (to je 1837-krat manj od mase najlažjega atoma, to je atoma vodika) in nabojem $1,602 \cdot 10^{-19}$ As (to je po velikosti najmanjši od nič različni prosti naboj v naravi). Prvotno je grška beseda elektron pomenila jantar. Elektroni so osnovni gradniki atomov in krožijo okoli atomskega jedra. Zunanji, slabše vezani elektroni sodelujejo v kemijskih vezeh molekul in kristalov. V kovinah ti elektroni pod vplivom električnega polja prosto potujejo, kar imenujemo električni tok. Prosti elektroni so osnova za delovanje številnih tehničnih naprav (televizije, računalnikov, radia, elektromotorja itd.) in merilnih instrumentov (ionizacijski merilniki, elektronske pomnoževalke itd.).

Povsem proste elektrone pripravimo z elektronskimi izviri, katerih delovanje temelji na termični emisiji. Prosti elektroni, ki jih z električnim poljem pospešimo do velikih energij, so osnova rentgenskih elektronk (značilna energija elektronov je 10-20 keV), katodnih elektronk v TV sprejemnikih, snemalnih kamerah, ra-

darjih, osciloskopih in računalniških monitorjih. Novejša uporaba prostih elektronov so sinhrotroni (značilna energija elektronov v sinhrotronu je 1 GeV), ki so izvir močne rentgenske in ultravijolične svetlobe.

JOSEPH JOHN THOMSON (1856-1940)

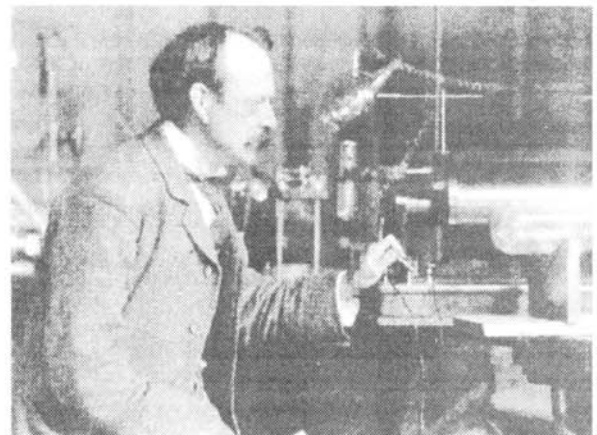
Danes velja za odkritelja elektrona J.J. Thomson, odkritje pa je postavljeno v leto 1897. Toda v resnici je sodelovalo pri končnem odkritju več fizikov, ki pa niso dovolj trdno verjeli svojemu odkritju, takrat najmanjših delcev, več kot tisočkrat lažjih od vodikovega atoma. Med njimi omenimo le Arthurja Schustra Jeana Perrina in Johanna Wieckerta. Vsi trije so merili odklon katodnih "žarkov" v prečnem magnetnem polju in izmerili razmerje med velikostjo naboja in maso delcev iz katerih so katodni "žarki". Mnogi so takrat mislili, da so katodni "žarki" valovanje.

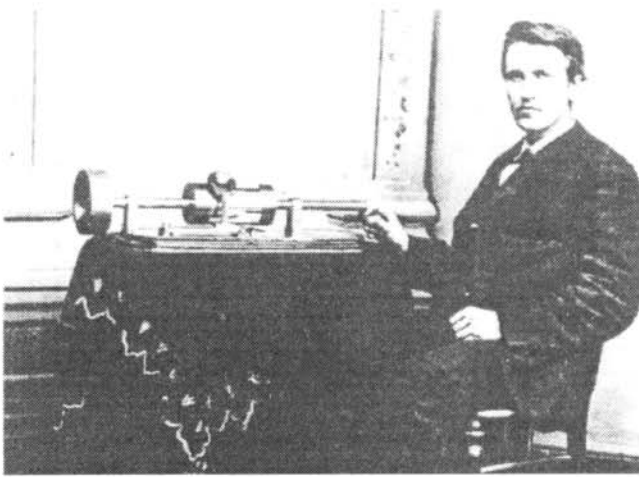
Pravilno je razložil naravo katodnih "žarkov" **Joseph John Thomson**. Rojen je bil blizu Manchestra, kjer je končal kolidž. Nato je studiral in poučeval v Cambridgeu, kjer je ostal profesor do smrti.

J.J.Thomson je podpiral Crookesove ideje iz leta 1874 o katodnih "žarkih" kot osnovnih delcih atoma. Njihov odklon v električnem in magnetnem polju je imel, podobno kot mladi Jean Batiste Perrin (1870-1942) leta 1895, za njihovo bistveno lastnost, prodiranje katodnih žarkov v snov pa za njihovo manj pomembno lastnost. Domneval je, da katodni "žarki" v snovi sprožajo sekundarne rentgenske žarke, ki potem prodirajo naprej.

Leta 1897 je ugotovil, da imajo katodni "žarki" osnovni naboj in da so to delci z maso, ki je veliko manjša od vodikove. Katodni žarki so bili tako proglašeni za dolgo iskane elektrone, ki pa jih je Thompson takrat poimenoval korpuskole. Šele pozneje se je udomačilo ime elektron, ki ga je že prej uporabil Georg J. Stoney za osnovni naboj. Pri odločilnem poskusu je najprej odklonil "žarke" s prečnim magnetnim poljem, nato pa je z dodatnim električnim poljem naelektrenega ploščatega kondenzatorja ta odklon izravnal. Rezultat teh meritev je bilo razmerje velikosti naboja in mase, ki je bilo nekaj več kot tisočkrat večje kot pri vodikovem ionu. Crookes je imel "odkrite" elektrone za potrditev svoje ideje o četrtem agregatnem stanju snovi.

Leta 1906 je dobil Thomson Nobelovo nagrado za raziskovanje elektrona, dve leti pozneje pa je postal vitez.





T. A. Edison

Prvi, ki se je ukvarjal s termično emisijo, je bil Thomas Alva Edison. Leta 1883 je **Thomas Alva Edison** (1847-1931) patentiral in v predavanju na razstavi v Philadelphiji opisal pojav ti. "eterične sile", zaradi katere se nabita plošča prazni v bližini razžarjene žarnice. Izolirano elektrodo iz platine je postavil na razdaljo 1,35 cm od loka med razžarjenima nitima iz oglja v žarnici. Z galvanometrom je meril tok med ploščo iz platine in eno od žic. Tok je spremenil smer, ko je zamenjal elektrodi v žarnici in je bil pogosteje (sic!) večji, ko je bila plošča iz platine povezana s pozitivnim polom. Intenziteta toka se je spreminjala sočasno z žarilnim tokom skozi nit žarnice. Edison je domneval, da nabiti delci zraka (ali ogljika) premočrtno zapustijo nit iz oglja. John Ambrose Fleming (1849-1945), Edisonov svetovalec iz Londona, je leta 1890 pojasnil Edisonovo odkritje s termoelektronsko emisijo. Kot tehnični svetovalec Marconija je leta 1904 uporabil termoelektronsko emisijo v diodi.

Termično emisijo je podrobneje raziskal **Owen Williams Richardson** (1879-1959). V Cavendishovem laboratoriju J.J. Thomsona med leti 1901 in 1903 raziskoval prevajanje plinov pri nizkih tlakih pod vplivom segretyh kovin. Raziskoval je temperaturno odvisnost toka med segreto kovino in kovinsko elektrodo v bližini in ugotovil, da je pri visokih temperaturah prevajanje plinov odvisno samo od negativnih delcev, izločenih iz kovine. Segrevanje kovine poveča povprečno hitrost elektronov v kovini; nekateri med njimi v procesu, po-



A. Wehnelt

dobnem izparevanju, uidejo iz kovine. Na ta način je Richardson pojasnil Edisonovo "eterično silo". Za delo na področju termoemisije je Richardson dobil Nobelovo nagrado za leto 1928.

Bistveno izboljšavo na področju elektronskih izvirov je pozneje naredil **Arthur Wehnelt**, ki je prvi uporabil vročo katodo, prevlečeno z barijevim oksidom. Nемец **Arthur Wehnelt** (1871-1944) je bil rojen v Braziliji. V Charlottenburgu in Berlinu je najprej študiral inženirstvo, nato pa fiziko. Leta 1898 je doktoriral v Erlangenu na Bavarskem. Tam je kot izredni profesor leta 1903 po naključju odkril večjo emisivnost delov katode, poškodovanih z mazilom, ki so ga uporabljali za pipe katodnih elektronk. Domneval je, da zamazana emisivna področja vsebujejo kovinske okside, zato je med njimi iskal najboljšega. Izbral je barijev oksid, ki ga uporabljamo še danes. V katodni elektronki z zelo tanko žarečo katodo iz platine, prekrito z nekaj mm širokim madežem iz kovinskega oksida, je dobil "curek" elektronov že pri pospeševalni napetosti nekaj sto voltov. Napetosti nad 1000 V ni uporabljal, saj je povzročala močno razprševanje platine. Počasne elektrone je zlahka usmerjal z električnim ali magnetnim poljem. Elektroni so močno ionizirali plin, zato je bil zaželen čim boljši vakuum. Tok elektronov je bil zvezen, njihovo hitrost pa je bilo mogoče spreminjati v širokih mejah.

Iz elektronov, ki izhajajo iz katode, je mogoče narediti usmerjen pramen z diodo ali triodo. Diodni princip je izveden tako, da je v anodi iztridna, ki prepusti, da del elektronov tvori vzporedni pramen, druge pa zadrži. Krmiljenje jakosti "žarka" je zahtevnejše kot pri triodnem principu. Pri triodi je napetost (prve) anode stalna, med njo in katodo pa je vgrajena mrežica z nekoliko negativno napetostjo, ki omogoča enostavno krmiljenje prepuščenega toka, pri čemer pa tok vanjo ne teče.

Oksidna katoda, kakršna je vgrajena npr. v današnje TV katodne elektronke, zmore brez opaznega poslabšanja emitirati pri temperaturi 800 - 850 °C z gostoto toka 1A/cm² celo nad deset tisoč ur. Osnova za dolgotrajno delovanje je izredno skrbno nadzorovana kemijska sestava in čistota nikljevega lončka in oksidov, ki tvorijo tanko emisijsko plast. Njena sestava je: BaO (57%), SrO (42%) in CaO(1%). Oksidi nastanejo po pretvorbi iz karbonatov med aktiviranjem v visokem vakuumu elektronke. Oksidno katodo kontaminirajo nekateri kemijsko aktivni plini, še bolj pa jo poškoduje bombardiranje s pozitivnimi ioni, ki nastajajo pri trku pospešenih elektronov z razredčenim plinom. Za pozitivne ione je elektroda z najvišjim potencialom ravno katoda.

Poleg oksidnih katod se pri izredno zahtevnih katodnih elektronkah uporabljajo danes t.i. impregnirane ali disperzijske katode. Sestava oksidov je enaka, le da so pripravljene v porozni kovinski nosilni mreži. Posebno barij in stroncij po daljšem času izparita iz oksida, zaradi česar se emisivnost zmanjša. V impregnirani katodi se to kljub nekoliko višji temperaturi ne zgodi, saj je zaloga obeh oksidov bistveno večja kot pri navadni oksidni katodi. Gostota emisijskega toka pri 1000°C je v območju 10 A/cm², čas stabilnega delovanja pa je nad 5000 ur.

Dr. Peter Panjan,
Institut Jožef Stefan,
Jamova 39, 1000 Ljubljana,
mag. Stanislav Južnič