

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 30 (2002/2003)

Številka 5

Strani 283-287

Jože Pahor:

BINE DOBI PISMO

Ključne besede: fizika, zgradba snovi, radioaktivnost, delci alfa, delci beta, sevanje gama, detektorji.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/30/1524-Pahor.pdf>

© 2003 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

BINE DOBI PISMO

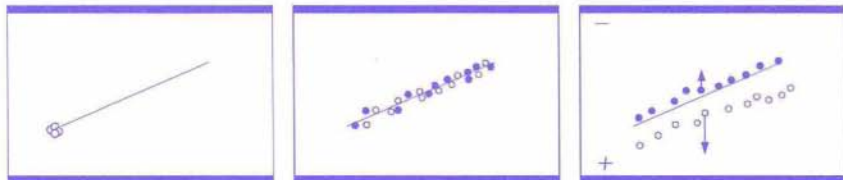
Bine Umnik je odprl pravkar prispelo pismo, ki mu ga je pisal dr. Nula, predstojnik patentnega urada:

Dragi Bine,

veseli me, da si napredoval v fiziki. Morda si zdaj že zrel za izume, ki temelje na klasični fiziki. Če pa hočeš kaj storiti v svetu atomov, ga moraš prej spoznati.

Pravilno si ugotovil, da si najbližje zaznavi delcev alfa prek njihovega električnega naboja. Z delcem alfa, ki leti skozi plin, pa lahko sprostimo še dosti več naboja. Ko leti delec, ki je nabit pozitivno, mimo plinskih molekul ali atomov, privlači njihove elektrone, saj nosijo negativni naboj. Marsikateri elektron se loči od svojega doma in skuša slediti delcu alfa, ki pa elektronu ubeži. Tako ostane vzdolž poti delca alfa množica osamljenih elektronov in prav tako atomov ali molekul, ki so izgubili po en elektron. Pravimo jim ioni in nosijo zaradi izgube elektrona presežek pozitivnega naboja. Seveda ustvarjanje množice elektronov in ionov ni zastoj. Delec alfa plačuje z izgubo energije. Vsak par ga v povprečju velja 30 eV. Ko je uporabil vseh svojih, recimo 6 MeV, naštejemo vzdolž poti 200 000 parov elektron – ion.

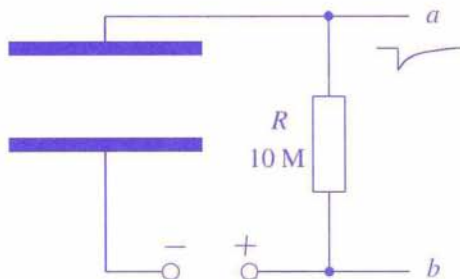
Delec alfa postopoma izgublja svojo energijo in se slednjic po nekaj centimetrih poti ustavi. Prisvoji si dva elektrona, ki mu manjkata do popolnega helijevega atoma, in se, nevtralen kot je, izgubi za vselej v zraku, ki že sam po sebi vsebuje posamezne atome helija. Vzdolž bolj ali manj ravne poti ostane množica pozitivnih ionov in elektronov, ki se naključno gibajo sem in tja. Prej ali slej se najdejo in se ponovno združijo v atome in molekule. O sevanju posledj ni več sledu.



Slika 1. Levo: Odletel je delec alfa. Sredina: Pri prehodu napravi množico elektronov in ionov. Desno: Z električnim poljem zberemo elektrone in ione vsake na svoji strani.

Z električnim poljem pa lahko ione in elektrone preusmerimo k dvema elektrodama. Slika 1 kaže tako polje med ploščama nabitega kondenzatorja in nabite delce, ki teko vsak proti svoji plošči. Z napetostjo nekaj sto voltov spravimo vitke elektrone na pozitivno ploščo v nekaj milijoninah

sekunde, medtem ko rabijo debelušasti ioni do svojega cilja tisočkrat daljši čas. Ko ioni dosežejo negativno nabito ploščo, si dopolnijo manjkajoči naboj z elektronom. Naboj negativne plošče se zmanjša. Enako zmanjšajo naboj pozitivne plošče elektroni potem, ko jo dosežejo. Če kondenzatorski plošči s kapaciteto C nista priključeni na vir napetosti, se zaradi zmanjšane naboja Δe zmanjša napetost za $\Delta U = \Delta e/C$. Ko ugotovimo tako spremembo napetosti, vemo, da jo je povzročil sprehod delca alfa med ploščama. Naših 200 000 parov, od katerih vsak nosi elementarni naboj $1,6 \cdot 10^{-19}$ As, zmanjša naboj kondenzatorja za $3,2 \cdot 10^{-14}$ As. Napetost na kondenzatorju s kapaciteto 10 pF se zmanjša za 3,2 mV. Malo, če bi merili celotno napetost, ki je bila prej 1000 V, zdaj pa je 999,998 V. Meritev napetosti na šest mest ni lahka. Meritev napetosti na šest mest, ne da bi izpraznili kondenzator, pa je sploh nemogoča. Življenje je polno trikov. Najpreprostejši je, da ne merimo celotne napetosti, ampak le spremembo. Pomagalo nam bo vezje, ki ga kaže slika 2. Pozitivna plošča je priključena na napetostni vir prek velikega upora R . Normalno prek upora ni napetosti. Pozitivna plošča je nabita na enako napetost, kot je napetost vira, zato prek upora ne teče tok. Po prehodu delca alfa sprejme pozitivna plošča množico elektronov in zgubi zato del naboja. Napetost na plošči se zmanjša. Takoj po skokoviti spremembi pa se začne vzpostavljanje prvotno stanje. Pozitivna plošča se spet nabije na prvotno napetost in prek upora ne zaznamo nobene napetosti več.



Slika 2. Kadar zgubi pozitivna plošča zaradi prihoda elektronov nekaj naboja, se zmanjša njena napetost za nekaj milivoltov. Potem se plošča spet nabije prek velikega upora R . Rezultat je majhen napetostni sunk.

Tako pridemo do majhnih napetostnih sunkov, ki jih ojačimo v velike. Pomagajo enote jedrske elektronike. Iz velikosti sunka lahko izračunamo tudi energijo delca. Sunk, velik 4,3 mV, bi pomenil, da je med ploščama kondenzatorja delec alfa zapravil energijo 8 MeV.

Z delci beta bo več težav. Imajo manjše energije kot delci α , tja do 2 MeV, torej bo množica elektronov in ionov manj številna. Delci beta se na poti skozi snov ne dajo tako zlahka oropati. Zato bo njihova sled dosti bolj na redko posejana z elektroni in ioni in bo tudi segala dosti dlje. Doseg delcev beta z energijo 2 MeV v zraku je okoli 10 metrov. Da bi z električnim poljem polovili vse novonastale elektrone in ione, bi potrebovali ogromni nabiti plošči. Zato bomo poskušali ustavljati elektrone v bolj gosti snovi. Električni prevodniki ne bodo dobri, saj bi predstavljali kratek stik med ploščama kondenzatorja. Iz električnih izolatorjev ne bi mogli poloviti elektronov. Poznamo pa še polprevodnike. Najbolj znana sta silicij in germanij. Zelo čisti polprevodniki ne prevajajo električnega toka, če pa sevanje iz radioaktivnih jeder sprosti v njih elektrone, jih je mogoče zbrati. Silicij in germanij sta več tisočkrat gostejša od zraka, zato bodo zadoščali več tisočkrat manjši detektorji.

Z dovolj veliko električno napetostjo, ki je za polprevodniške kristale z razsežnostjo nekaj centimetrov enaka nekaj tisoč voltov, spravimo pozitivni in negativni naboj vsaksebi v času, ki ponavadi ni daljši od mikrosekunde.

Dodatna prednost novih detektorjev je, da so elektroni, kupljeni v siliciju ali germaniju, cenejši. Za elektron plačamo le nekaj eV. Tu bi nam en sam delec alfa z energijo 6 MeV sprostil okoli dva milijona elektronov in tako dal 10-krat večji naboj kot v zraku. Zato bodo tudi spremembe električne napetosti večje in s tem lažje merljive. Seveda pa pot do dobrega polprevodniškega merilnika ni lahka. Le povsem čist in ohlajen silicij ali germanij ne prevaja električnega toka že brez obsevanja. Tehnično čista snov vsebuje manj kot odstotek primesi. Kemično čistost si snov zagotovi, če vsebuje manj kot 10^{-4} primesi. Do naslova spektralne čistosti pride, če naštejemo med milijonom pravih atomov le en tujerodni atom. Hiperčisti germanij se ponaša z manj kot atomom primesi na milijardo germanijevih atomov. Za primerjavo: naš planet šteje nekaj milijard prebivalcev. Da bi bili hiperčisti, bi morali biti pošteni vsi z izjemo nekaj barab. Za nove detektorje pa morata biti silicij in germanij hiperčista.

Tudi hlajenje bo zahtevno. Primerne temperature okoli -180°C zagotovi tekoči dušik, vendar ga je treba imeti.

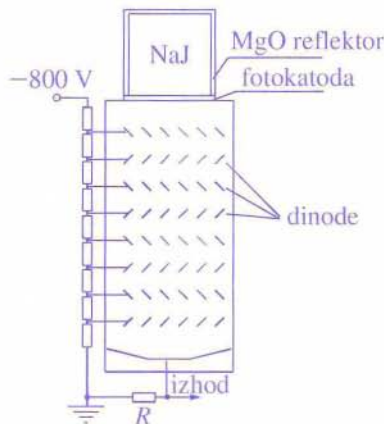
Povsem različni so scintilacijski detektorji. Že prvi raziskovalci radioaktivnosti so opazili, da se zaslon, prekrit s cinkovim sulfidom, pobliska na mestu, kjer ga je zadel delec alfa. Iskrica svetlobe je šibka in jo je mogoče opaziti le v popolni temi. Tudi preštevanje teh iskric ni lahko. Pri delcih beta tako štejte odpove. Delec beta prodira v globino in večina svetlobe se izgubi v neprozornem sulfidu, medtem ko je delec alfa zapravlil vso energijo že na površini.

Poleg cinkovega sulfida pa so našli še vrsto snovi, ki se pod vplivom sevanja vedejo podobno in so povrh še prozorne. Tako lahko opazujemo svetlobo, ki nastaja kjerkoli. Med najbolj prijazne scintilatorje – tako pravimo pobiliskavajočim se snovem – sodi kristaliziran natrijev jodid s primesjo talija.

Tudi večše oči raziskovalcev so zamenjala elektronska čutila. Razvoj elektronike je prinesel fotopomnoževalke. Cilindrični kristal natrijevega jodida, postavljen na fotopomnoževalko, imenujemo scintilacijski števec (slika 3). Delci svetlobe, fotoni, ki se rode znotraj kristala ob prehodu delca alfa ali beta, odletavajo v vse smeri. Kristal je obdan z magnezijevim oksidom, ki odbija fotone. Ti lahko izstopijo le v fotopomnoževalko. Fotopomnoževalka ima na vrhu fotokatodo, posebno plast, iz katere fotoni izbijejo elektrone, sami pa izginejo. Teh elektronov je precej manj, kot pa bi jih iztržili za enako sevanje v polprevodniškem detektorju. Vendar pa tu zgodbe še ni konec. Izbite

elektrone vabi naslednja elektroda, ki je priključena na pozitivno napetost. Znotraj fotopomnoževalke je vakuum, tako da imajo elektroni prosto pot. Proti prvi elektrodi lete vedno hitreje. Če prilete do te elektrode z dovolj veliko hitrostjo, v elektrodi ne obtiče, ampak se od nje odbijejo in hkrati izbijejo še nove elektrone, morda enega ali dva. Odbite in izbite elektrone pritegne naslednja elektroda, še bolj pozitivna od prve. Na tej elektrodi, kjer se igra ponovi, naštejemo lahko že štiri do devet elektronov. Takih elektrod, ki jim pravimo dinode, je do deset. Na zadnji dinodi polovimo pomnoženi plaz elektronov. Ko stečejo zbrani elektroni prek upora, se na njem pojavi napetostni sunek, ki traja nekaj deset milijonin sekunde. Velikost sunka je sorazmerna energiji, ki jo je v kristal natrijevega jodida prinesel delec, odvisna pa je tudi od napetosti med posameznimi pomnoževalnimi elektrodami. Z lahkoto dobimo sunke nekaj deset ali sto milivoltov, ki jih ni težko preštovati in sortirati po velikosti ter tako meriti tudi energije zaznanih delcev.

Preostali so nam delci gama, ki so fotoni s precej večjimi energijami, kot jih najdemo v vidni svetlobi. Foton nima električnega naboja in pri

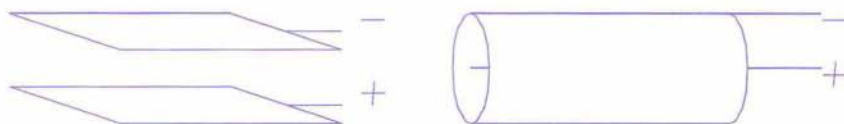


Slika 3. Scintilacijski detektor. Z uporno verigo porazdelimo visoko napetost po posameznih dinodah.

prehodu skozi snov vzdolž poti ne sprošča elektronov. Lahko pa se mu zgodi, da trešči naravnost v kakšen elektron, ga odbije in mu preda del svoje energije, včasih pa kar vso. Tak pojav omogoča posredno zaznavo sevanja gama. Veliki kristali natrijevega jodida s premerom 5 cm in z enako višino so prav primerni za zaznavo sevanja gama.

Sicer pa, dragi Bine, vse tole bo predrago za raziskovanje tvojih radioaktivnih kumaric. Priporočam ti geigerski števec, ki je sicer neumen in ne daje podatkov o energiji zaznanega delca, zato pa jih javlja glasno in jasno s sunki, ki so lahko veliki celo 10 V ali več. Za take sunke potrebujemo milijone in milijone elektronov. Kako do njih?

V geigerskem števcu pride do podobnega pomnoževanja kot v scintilacijskem števcu. Da bomo razumeli pomnoževanje, se vrnimo k prvotnemu ploščnemu kondenzatorju, kjer smo lovili elektrone in ione, rojene med ploščama. Plošči sta vlekli nabite delce vsaksebi ves čas z enako silo, molekule zraka so gibanje zavirale, zato so se delci gibal enakomerno proti cilju. Če pa uporabimo cilindrično ogrado, priključeno na negativno napetost, s tanko žico v sredini, priključeno na pozitivno napetost, dobimo nehomogeno električno polje (slika 4). Bliže smo žici, močnejše je polje. Zato bo na poti proti žici hitrost elektronov naraščala. Elektron, ki z dovolj veliko hitrostjo trči ob molekulo plina, jo lahko ionizira. Namesto enega elektrona imamo po trku dva. Zgodba se ponavlja, elektroni se množe, do žice pride cel plaz elektronov.



Slika 4. Električno polje med nabitima ploščama je povsod enako močno. Električno polje v nabiti valjasti cevi raste proti tanki žici, napeti po osi.

Tlak plina v geigerskem števcu je precej pod atmosferskim tlakom. Ob bolj redkih trkih ima elektron večjo možnost, da si nabere dovolj energije za ionizacijo. Geigerski števec potrebuje za normalno delovanje napetost le nekaj sto voltov.

Dragi Bine, toliko za tokrat o svetu atomov.

Pozdravlja te

Dr. Nula,
predstojnik patentnega urada

Jože Pahor