

održavati strogu ličnu higijenu, često se prati i obavezno tuširati nakon završenog rada. Pri dolasku na radno mjesto i odlasku s njega radnici se u potpunosti preoblače i preobuvaju. Neki su ljudi naročito osjetljivi prema beriliju; oni ne mogu raditi u tvornicama koje prerađuju berilij i njegove spojeve.

LIT.: C. A. Hampel (ed.), Rare metals handbook, New York 1954. — D. W. White i J. E. Burke (eds), The metal beryllium, Cleveland 1955. — Extraction and refining of the rarer metals, London 1957. T. G.-F. i R. Py.

BETA-SPEKTROMETRI, aparati za merenje raspodele brzina elektrona koje ispušta neki izvor. Njihovo funkcionisanje se zasniva na dejstvu statičkog magnetnog polja na naelektrisane čestice u pokretu. Na elektron (sa naelektrisanjem e) koji se kreće brzinom v u nekom magnetnom polju jačine H deluje sila F određena jednačinom

$$\vec{F} = e \cdot \vec{v} \times \vec{H}. \quad (1)$$

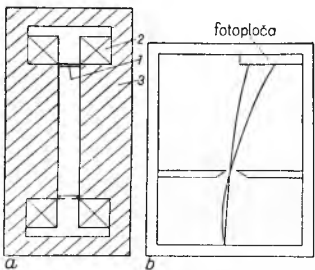
Najjednostavniji je slučaj kada je magnetno polje uniformno, a elektroni polaze u pravcu okomitom na pravac polja. Na elektron tada deluje sila $e v H$, kojoj se suprotstavlja centrifugalna sila $m v^2/r$, tako da je jednačina kretanja:

$$\frac{m v^2}{r} = e v H. \quad (2)$$

Putanja elektrona biće kružnica čiji se radijus dobiva iz gornje jednačine:

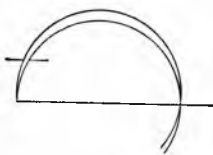
$$r = \frac{p}{e H}; \quad p = m v, \text{ impuls elektrona.} \quad (3)$$

U gornjoj jednačini e je konstanta, a ako se i H održava konstantnim, radijus kružnice srazmeran je impulsu elektrona: magnetno polje razdvaja elektrone po impulsima. Ta činjenica se iskorišćuje u spektrometrima da bi se tako razdvojenim elektronima izmerio impuls i odredilo koliko čestica ima sa kojim impulsom.



Sl. 1. Beta-spektrometar sa skretanjem. a presek elektromagneta: 1 jaram, 2 kalemovi, 3 zidovi komore; b presek komore

Pravcima. Iznad izvora nalazi se uska dijafragma, koja propušta samo veoma uzak snop elektrona. Na gornjem zidu komore pričvršćena je fotografska ploča, na koju padaju elektroni. Gde na ploču padne više elektrona, biće zacrnjenje jače. Magnetno polje je okomito na sl. 1b, beta-čestice će opisivati kružne lukove različitih radijusa. Impuls će se moći odrediti prema jedn. (2) ako se nade radijus, jer je jačina polja poznata. Za svako mesto na ploči može se dakle odrediti impuls elektrona koji tu padaju, a iz zacrnjenja na tom mestu se dobiva intenzitet; time su poznati podaci potrebni za određivanje spektra. Ovakav tip spektrometra upotrebljavan je do



Sl. 2. Princip fokalizacije sa 180°

tridesetih godina ovoga veka, a zatim je napušten. Njegov osnovni nedostatak je slaba efikasnost. Otvor na dijafragmi je uzak te se iskorišćuje veoma mali deo zračenja koje polazi od izvora. Ako bi se uzeo veći otvor, padali bi na isto mesto na ploči elektroni različitih energija i razdvajanje spektra bilo bi slabije.

Efikasnost se može poboljšati ako se iskoristi efekat fokalizacije elektrona u magnetnom polju, analogan delovanju optičkih sočiva koji divergentne zrake sakupljaju u fokus.

Fokalizacija se dobiva i u slučaju koji je razmatran gore ako se pusti da elektroni opišu pola kruga (sl. 2). Dva elektrona koja

su pošla u raznim pravcima, prešavši polovinu kruga, ponovo su se sastala u istoj tački. Na taj način intenzitet se povećava a razdvajanje ne pogoršava. Ovakav tip beta-spektrometra naziva se *ravnim*.

Sledeći tip je *magnetno sočivo*, koje još više podseća na optiku. Ako elektroni ne polaze pod pravim uglom prema magnetnom polju, njihova putanja nije krug već zavojnica (sl. 3). U spektrometrima se iskorišćuje samo jedan zavoje. Radioaktivni izvor se stavi u osu sočiva. Elektroni koji pođu od izvora pod nekim uglom u odnosu na osu sakupe se posle jednog zavoja ponovo na osi gde je smešten brojač. Za datu jačinu polja u brojač stižu samo elektroni određene energije. Oni koji imaju manju energiju stižu na osu pre brojača i promaše ga, a oni koji imaju veću energiju udaraju u zidove. Menjajući jačinu polja dovode se elektroni različitih energija do brojača i na taj način određuje spektar.

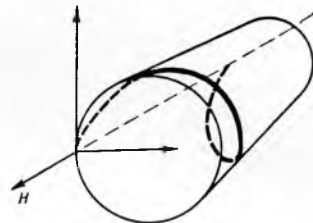
Kvalitet magnetnog spektrometra karakterisan je njegovom *transmisijom* i *moći razdvajanja*. Transmisija spektrometra pokazuje koji deo zračenja stigne iz izvora u brojač. Beta-čestice polaze iz izvora na sve strane. Dijafragma ispred izvora propušta samo manji deo da prođe kroz spektrometar do brojača, dok veći deo udara u zidove i ostaje neiskorišćen. Transmisija se izražava u procentima; do sada najveća postignuta vrednost je 18%, ali obično je oko 1% ili manje. Moć razdvajanja karakteriše sposobnost aparata da razdvoji dve grupe elektrona bliskih brzina, a definiše se kao

$$R = \frac{\Delta p}{p}.$$

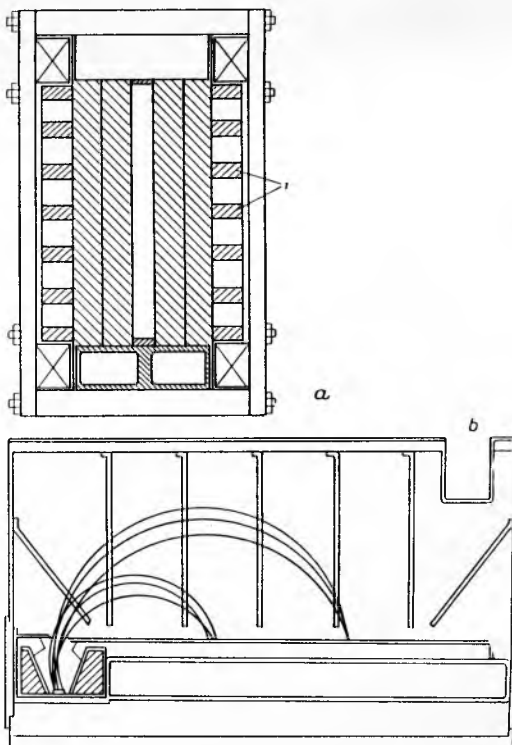
Moć razdvajanja se meri u procentima i može da iznosi od nekoliko procenata pa do $\sim 0,02\%$.

Transmisija i moć razdvajanja nekog aparata u međusobnoj su zavisnosti, i to tako da se jedna može poboljšati na račun druge. Razni aparati imaju dobru transmisiju ili dobru moć razdvajanja.

Iz jednačine (3) se vidi da je impuls proporcionalan umnošku polja i radijusa, pa se u nuklearnoj spektroskopiji impuls meri u jedinicama $[Hr]$, jer su mnogo pogodnije od jedinica $[mv]$.



Sl. 3. Putanja elektrona koji ne polazi pod pravim uglom prema magnetnom polju je zavojnica



Sl. 4. Beta-spektrometar sa permanentnim magnetom. a presek magneta: l permanentni magnet; b presek komore

Ravni spektrometri imaju magnet klasičnog oblika sa ravnim paralelnim polovima. Magnetno polje može se održavati bilo strujom kroz kaleme bilo pomoću permanentnih magneta. Ovaj drugi način omogućava održavanje veoma stabilnog polja bez specijalnih uređaja i ne iziskuje prisutnost operatora u toku merenja, pa se zbog toga daleko češće upotrebljava.

Presek permanentnog magneta dat je na sl. 4a. Između polova nalazi se spektrografska komora. Između polova i jarmova smešteni su permanentni magneti. Oni se lakše proizvode u manjim dimenzijama, pa se stavlja veći broj jedan pored drugoga. Njihove dimenzije i broj zavise od dimenzija aparata i jačine magnetnog polja koje se želi dobiti između polova. Budući da je impuls beta-čestica koje se najčešće mere između 1000 i 4000, dovoljna su magnetna polja jačine 50...100 gaussa.

Komora spektrografa prikazana je na sl. 4b. Otvor propušta uzan snop čestica koje se, u zavisnosti od energije, fokalizuju na raznim mestima fotografske ploče, koja služi kao detektor. Ovakav spektrometar služi isključivo za merenje linijskog spektra. Da bi se dobio impuls beta-čestica, dovoljno je izmeriti udaljenost između izvora i linije, podeliti tu udaljenost sa 2, pa tako dobiveni radijus r pomnožiti sa jačinom magnetnog polja H . Magnetno polje se može ili meriti ili kalibrisati linijama poznate energije. Intenzitet linija (zacrnljenje) određuje se mikrofotometrima, kao i pri merenju optičkih spektara.

Prednosti su ovog tipa spektrometra: 1. što je vrlo osetljiv jer se dugim eksponiranjem dobivaju i linije vrlo slabog intenziteta; 2. što se mogu meriti izotopi sa kratkim poluživotom, bez potrebe da se uvode korekcije za poluživot kao pri merenju brojačem; 3. što se postiže visoka moć razdvajanja; 4. što se dobije odjednom deo spektra na ploči.

Nedostaci su: 1. što zacrnjenje na ploči ne zavisi linearno od intenziteta, a menja se i sa energijom beta-čestica, te je zbog toga potrebno vršiti korekcije, a i merenja intenziteta nisu onako precizna kao merenja brojačem; 2. što je transmisija spektrometra malena i zavisi od radijusa putanje, pa se i zbog toga moraju vršiti korekcije; 3. što je spektrometar nepodesan za merenje kontinuelnog spektra, zbog korekcije za intenzitet.

Magnetna sočiva. Magnetno polje se postiže kalemovima koji mogu biti različitog oblika, od kratkog sočiva (sl. 5a) do dugog (sl. 5b), koje daje homogeno polje unutar spektrometra. Kalem može biti oklopljen železom, što daje bolju efikasnost. Obično se ne upotrebljava železo jer je bez njega magnetno polje srazmerno struji u kalemovima, a to je pogodno za merenje.

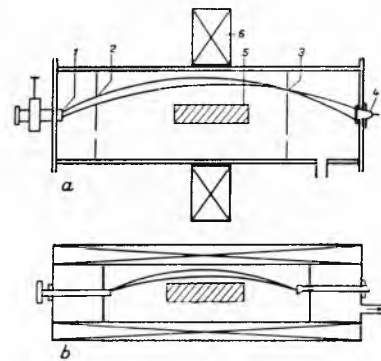
Unutar kalema smeštena je cilindrična vakuum-komora. Izvor i brojač nalaze se u osi na dva suprotna kraja komore. Otvor propušta deo zračenja koji stiže u brojač. Ako se posmatra uzdužni

presek snopa, videće se da se on polazeći od izvora širi a zatim sužava. Najuži presek se nalazi u drugoj polovini aparata, bliže ka brojaču. To najuže mesto predstavlja prstenasti fokus. U njega se stavlja druga dijafragma, čiji je presek jednak preseku snopa i na taj se način obezbeđuje maksimalna moć razdvajanja.

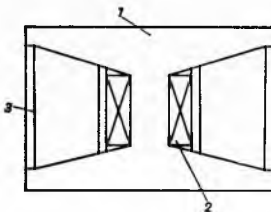
Prednosti su ovog tipa spektrografa: jednostavnost konstrukcije, dobra transmisija, verna reprodukcija intenziteta brojačem i proporcionalnost polja struji, što je pogodno za merenje kontinuelnog beta-spektra.

Nedostatak je slaba moć razdvajanja, koja iznosi nekoliko procenta.

Dvostruko fokusirajući spektrometar. Od specijalnih tipova vredno je spomenuti dvostruko fokusirajući spektrometar. Magnet ima isti oblik kao i magnet elektronskog akceleratora betatrona (sl. 6, v. *Akceleratori*). Polje je nehomogeno i opada sa povećanjem radijusa po specijalnom zakonu. Izvor se stavlja u srednju ravan. Divergentan snop čestica koji pođe duž kruga na kome se nalazi izvor ponovo se sakuplja u fokus posle ugla od 254° . Zahvaljujući specijalnom polju, fokalizacija se postiže i radialno i aksijalno, tj. čestice koje pođu u srednjoj ravni pod nekim uglom prema tangenti na ravnotežni krug dolaze u isti fokus u koji stižu i čestice koje su izašle iz ravni i pošle pod nekim uglom u aksijalnom pravcu. U ravnim spektrometrima ne postoji aksijalna fokalizacija, tako da dvostruko fokusirajući spektrometri imaju bolju transmisiju. Oni imaju i dobru moć razdvajanja, ali im je konstrukcija složenija nego ostalih spektrometara, jer su potrebni tačan proračun i precizna izvedba da bi se dobilo magnetno polje željenog oblika. M. Mla.



Sl. 5. Beta spektrometri sa magnetnim sočivima. a kratko sočivo: 1 radioaktivni izvor, 2 dijafragma, 3 prstenasto sočivo, 4 brojač, 5 olovni apsorber, 6 kalem; b sočivo sa dugim kalemom



Sl. 6. Presek magneta i komore za dvostrukofokusirajući spektrometar. 1 polovi, 2 kalem, 3 zidovi komore

KONAC I SVESKA

PRVO ŠTAMPANJE DOVRŠENO 15. VII 1963

DRUGO ŠTAMPANJE DOVRŠENO 30. IV 1965

TREĆE ŠTAMPANJE DOVRŠENO 20. XI 1971.

