

Mali akceleratori u primjeni

Milko Jakšić

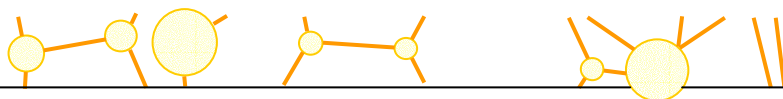
Institut Ruđer Bošković, Zavod za eksperimentalnu fiziku, Bijenička c. 54, Zagreb

Uvod

Akceleratori su uređji koji služe za ubrzavanje električki nabijenih čestica. Te čestice mogu biti elektroni, protoni ili drugi ioni koji ovisno o mehanizmu ubrzavanja mogu biti djelomično ili potpuno ogoljeni od svog elektronskog omotača. Ubrzavanje drugih vrsta elementarnih čestica (neutralne čestice kao neutron, antičestice, čestice kratkog života) moguće je izvesti tek posredno sa snopom primarno ubrzanih stabilnih nabijenih čestica kao što je proton, a nekom od reakcija u za to odgovarajućim uvjetima (energija snopa, vrsta mete, itd.).

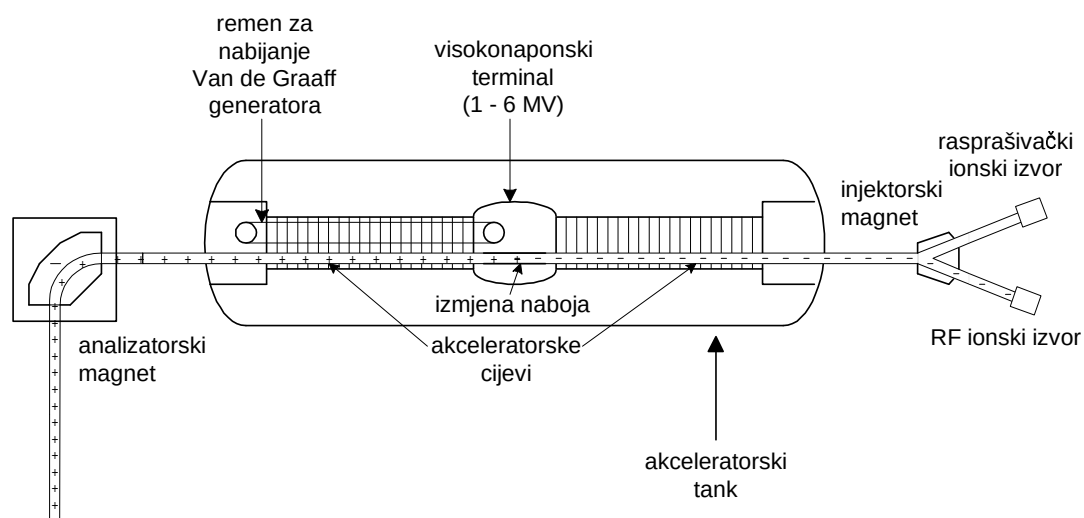
Od prvih akceleratora konstruiranih tridesetih godina prošlog stoljeća, koji su ubrzavali protone pa do danas, akceleratori su prestali biti samo instrumenti koji se koriste u svrhu znanstvenih istraživanja. Od 15000 postojećih akceleratora na svijetu, tek se 10% ne koriste u nekoj od komercijalnih primjena. Njihov najveći dio se koristi u industriji (poluvodiča i specijalnih materijala) kao «implanteri». U implanterima se ubrzavanjem iona potencijalima od nekoliko desetaka kV, ubacuju točno određene vrste elemenata u materijale gdje je kemijskim putevima to neizvedivo. Stvaraju se materijali posebnih karakteristika (npr. implantiranjem dušika u metal se stvaraju posebno otporni alati). Akceleratori sustavi koji se na različite načine koriste u medicini, u svrhu terapije (zračenje tumorskih stanica) ili dijagnostike (proizvodnja radioaktivnih izotopa) drugo je najznačajnije područje akceleratora u primjeni.

Akceleratori kao instrumenti u znanosti su danas u manjini. Uz desetak najvećih akceleratorskih sustava, kao što je onaj u CERN-u, Geneva, tek je stotinjak onih koji se još uvijek koriste u temeljnim istraživanjima nuklearne fizike. Ostali dio akceleratora u znanosti koriste se u drugim granama fizike ili ostalim prirodnim znanostima. O takvim akceleratorima je upravo riječ u ovom tekstu. U većini slučajeva to su elektrostatski akceleratori koji ubrzavaju ione pomoću visokih napona (stotinjak tisuća do nekoliko milijuna volti).



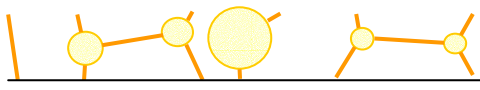
Elektrostatski akceleratori

Najpoznatiji princip dobivanja konstantnog visokog napona je svakako onaj koji je izumio fizičar Robert J. Van de Graaff prije 75 godina. Tu se izolirajućom elastičnom trakom sa uzemljene strane generatora transportira električni naboj. Sam naboj na traci stvoren je indukcijom preko šiljaka četkica spojenih na napon od nekoliko kV. Transportiranjem tog naboja trakom do unutrašnje strane izolirajuće kugle ili «terminala» (gdje je električno polje jednako nuli), naboj se preko drugih četkica nakuplja na kugli. Potencijal terminala polagano raste, te vrlo brzo može doseći i milijune volti. Zbog tako visokog napona, cijeli uređaj se smješta u zatvorenu posudu «tank» ispunjenu izolacijskim plinom (npr. smjesa dušika i ugljičnog dioksida), čime se sprječava iskrenje. Na Institutu Ruđer Bošković nalazi se Tandem Van de Graaff akcelerator maksimalnog napona od 6 MV. Kao što je vidljivo iz Slike 11-1. kod tandem akceleratora se ubrzavaju negativni ioni (proizvedeni u nekom od ionskih izvora) do pozitivnog visokonaponskog terminala. Prolaskom kroz «stripper» cijev dolazi do ogoljenja negativnih iona sudarima s rijetkim plinom, pri čemu negativni ioni postaju pozitivni. Tada, pozitivno nabijeni «terminal» odbija pozitivne ione prema drugom kraju akceleratora, što rezultira dvostrukim ili tandem principom ubrzanja.



Slika 11-1: Shematski prikaz Tandem Van de Graaff akceleratora na Institutu Ruđer Bošković

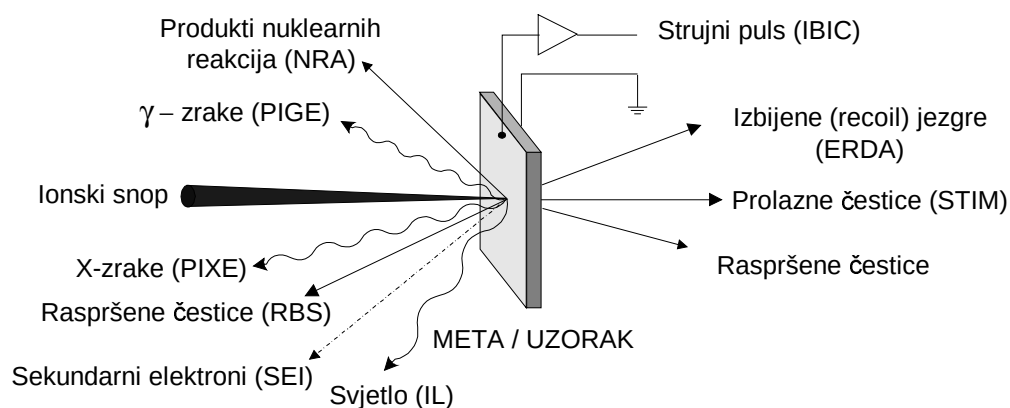
Ioni dobro definirane energije iona odabiru se u analizatorskom magnetu, te se usmjeravaju prema jednoj od eksperimentalnih linija.



Metode analize ionskim snopovima

Najčešća primjena ionskih snopova u drugim područjima fizike, a prije svega u istraživanjima materijala, jesu metode analize zasnovane na nekom od procesa interakcije ionskog snopa i materijala mete. Za razliku od interakcije elektronskog snopa sa atomima mete, koji se zasniva samo na ionizaciji atoma mete, sudari teških i brzih čestica kao što su protoni i drugi ioni sa atomima mete daleko je burnije. Uz ionizaciju dešavaju se i elastična raspršenja te nuklearne reakcije, čijom detekcijom se uzorak može daleko opsežnije karakterizirati.

Na Slici 11-2. prikazani su procesi koji se zbivaju prilikom prolaska iona kroz materijal mete, te pripadajuće metode analize.



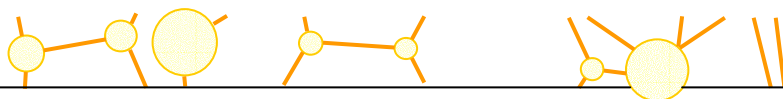
Slika 11- 2: Shematski prikaz vrsta procesa koji se dešavaju prilikom ulaska ionskog snopa u materijal mete, te kratice metoda za karakterizaciju materijala

PIXE – Particle Induced X-ray Emission spektroskopija – Ionizacija atoma mete vodi na emisiju karakterističnih x-zraka čijom detekcijom (spektroskopijom) određujemo elementni sastav materijala.

RBS – Rutherford Backscattering Spectrometry – Energija raspršenih čestica snopa na jezgrama atoma u meti ovisi o elementnom sastavu i dubinskoj raspodjeli elemenata.

PIGE – Particle Induced Gamma Emission – Pobuđivanjem atomskih jezgri u meti nuklearnim reakcijama, emitiraju se gama zrake čija je energija ovisna o izotopu elementa (nuklearne reakcije su najvjerojatnije kod lakih iona).

NRA – Nuclear Reaction Analysis – Neelastični sudari iona snopa i atomskih jezgri u meti vode na nuklearne reakcije, pri čemu se emitiraju čestice produkti, čija energija i vrsta opisuje izotope elementa (nuklearne reakcije su najvjerojatnije kod lakih iona).



SEI – Secondary electron imaging – ionizacija atoma na površini mete, vodi na emisiju sekundarnih elektrona, čijom detekcijom možemo kao u elektronskom mikroskopu 'vidjeti' morfologiju mete.

IL – Ionoluminescence – ionizacija vodi i na emisiju svjetla koja ponekad daje informaciju o kemijskoj formi ili kristalnoj strukturi mete.

ERDA – Elastic Recoil Detection Analysis – Energija izbijenih čestica iz mete snopom teških jezgri ovisi o elementnom sastavu i dubinskoj raspodjeli elemenata. Dubinska je osjetljivost izuzetno dobra te se ova metoda koristi za određivanje sastava i debljine nanometarski tankih slojeva .

STIM – Scanning Transmission Ion Microscopy - Ioni snopa prolaskom kroz materijal mete gube energiju, te se mjerenjem te promjene određuje debljina mete.

IBIC – Ion Beam Induced Charge - Prolaskom iona kroz poluvodički materijal sa internim električnim poljem, inducira se naboj čiji puls možemo izmjeriti i time odrediti električna svojstva analiziranog materijala.

Nuklearna mikroskopija

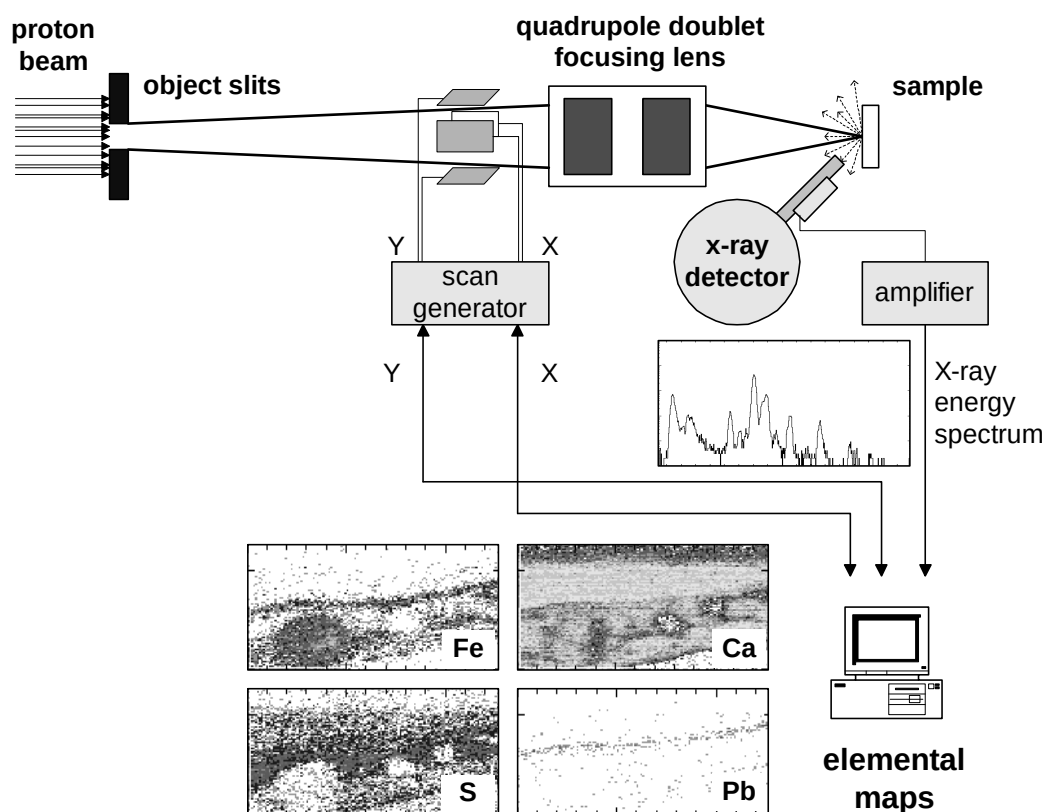
Da bi informacija koju navedene analitičke metode mogu pružiti bile još korisnije, konstruiran je uređaj za fokusiranje iona, takozvana nuklearna (jer koristi nuklearne čestice) mikroproba. Snop iona se pomoću magnetskih kvadrupola fokusira na dimenzije manje od 1 μm , uz mogućnost skeniranja preko površine mete koja se ispituje. Korištenjem neke od navedenih analitičkih metoda, možemo dobiti «elementne slike» odnosno prostorne distribucije svojstava koje korištena metoda mjeri. Na Slici 11-3. prikazan je način dobivanja elementnih slika PIXE spektroskopijom. Skup analitičkih metoda koje možemo koristiti pomoću nuklearne mikroprobe, često se zove «nuklearna mikroskopija».

Na Institutu Ruđer Bošković, metode nuklearne mikroskopije su primjenjivane na nizu interdisciplinarnih istraživanja:

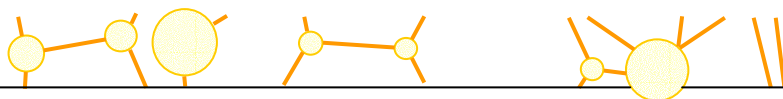
- Kulturna baština – zbog nedestruktivnosti ovih metoda izvedeno je niz analiza pigmenata umjetničkih slika, analiza legura u skulpturama nepoznatog porijekla, analiza sastava keramika i porculena, analiza metalnih niti u tkaninama, itd.
- Okoliš – analizom sastava lebdećih čestica u atmosferi prepoznaju se metodom 'otiska prsta' izvori zagađenja ili se monitoriraju vremenske promjene u zagađenju atmosfere.



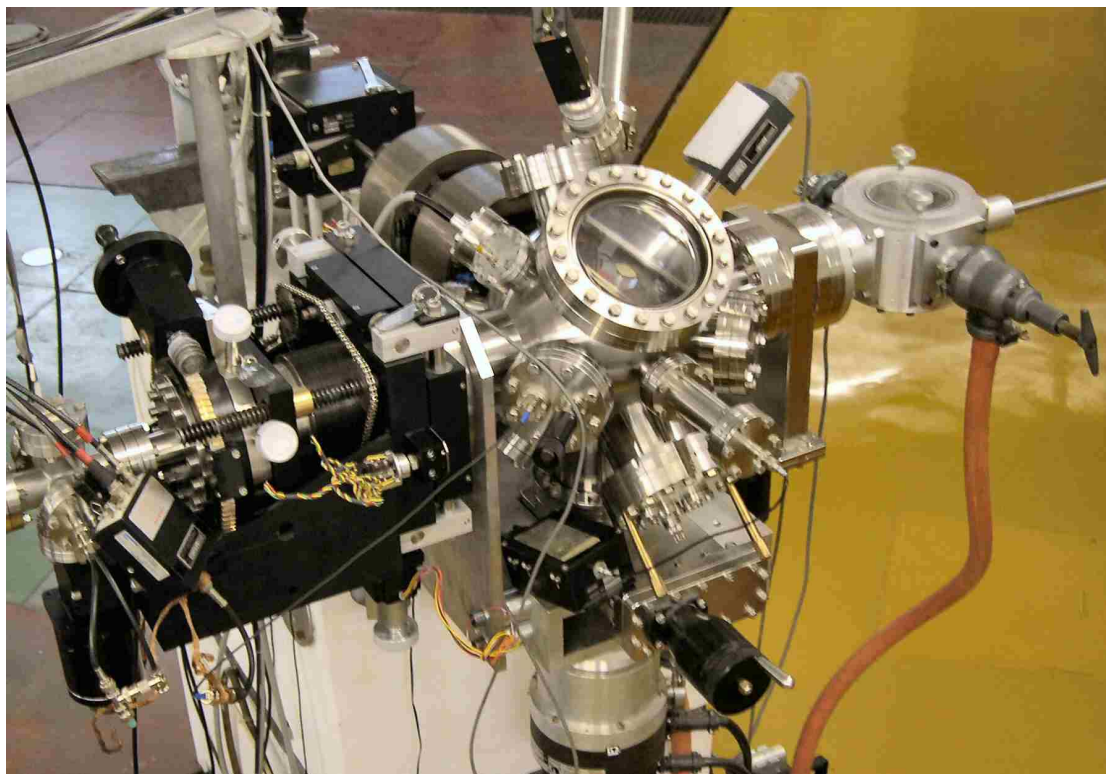
- Industrija – analiza sastava i debljina slojeva sunčevih ćelija od amornog silicija koristi se za poboljšanje efikasnosti; analiza sastava cementa koji određuje njegova svojstva
- Biomedicina – analizom elementnog sastava stanica tretiranih određenim lijekovima može se pratiti ulazak lijeka u stanice.



Slika 11-3: Shematski prikaz PIXE analize nuklearnom mikroprobom. Predstavljene elementne slike, rezultat su analize mikropresjeka boje s freske.



Na Slici 11-4. prikazan je i izgled komore za raspršenje na nuklearnoj mikroprobi Instituta Ruđer Bošković.



Slika 11- 4: Izgled komore za raspršenje nuklearne mikroprobe u Zagrebu. Lijevo je sustav za mikromanipulaciju uzraka, desno je komora za ubacivanje ozoraka bez narušavanja vakuuma u središnjoj komori za raspršenje. U pozadini je sustav kvadrupolnih magneta za fokusiranje. Na sfernoj su komori radijalno smješteni razni detektori koji prate procese na meti koja je smještena u središtu komore.