

TANDEMSKI POSPEŠEVALNIK Informacija ob postavitvi TANDETRON-a

Miloš Budnar, Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana

Na Institutu "Jožef Stefan" v Ljubljani je bila 1.12.1997 slovesna otvoritev novega tandemskega pospeševalnika. Pospeševalnik je simbolično pognal dr. Sueo Machi, pomočnik generalnega direktorja Mednarodne agencije za atomsko energijo (IAEA), v imenu vlade Republike Slovenije pa je zbrane goste pozdravil dr. Boris Frlec, zunanji minister.

Ideja o postavitvi **sodobnega elektrostatskega pospeševalnika tandemskega tipa**, je obstajala na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij že vrsto let. Idealna prilika za nakup pospeševalnika se je ponudila, ko je bil leta 1994 sprejet IAEA-projekt tehnične pomoči Sloveniji, ki je omogočal realizacijo tako velike investicije. Sredstva v višini – 0,5 milijonov USD, ki jih je za postavitev pospeševalnika namenila Mednarodna agencija za atomsko energijo na Dunaju (IAEA), so bila obogatena s približno enakim zneskom od Ministrstva za znanost in tehnologijo (MZT). K vsemu temu sta nekaj prispevala še Institut "Jožef Stefan" (IJS) oziroma njegov Odsek za fiziko nizkih energij iz lastnih sredstev, in sicer za obnovo eksperimentalnih prostorov ter z obstoječo eksperimentalno opremo. Celotni vložek lahko ta trenutek ocenimo na okrog 1,5 milijon USD.

Tandemski pospeševalnik - TANDETRON - je izdelek nizozemske firme High Voltage Engineering Europe (HVEE) in je narejen po ameriški licenci (IONEX), seveda z mnogimi izboljšavami, ki jih dajejo moderne tehnologije. Največja pospeševalna napetost je 2 MV, kar omogoča, da se nabiti delci (ioni) pospešijo do energij 4 MeV in več, odvisno od njihovega naboja. Omenjena naprava sodi med tako imenovane **nizkoenergijske raziskovalne pospeševalnike**, za razliko od precej večjih, ki jih danes uporabljajo v jedrski fiziki ter fiziki osnovnih delcev. Na TANDETRONU gre pospeševanje v dveh delih, zato tudi pridevnik tandemski. Najprej se ioni pospešijo kot negativni delci, nato jim spremenimo naboj in se še enkrat pospešijo kot pozitivni. Z dvema ionskima izviroma, ki sta na vhodu pospeševalnika, izbiramo med različnimi ioni, od najlažjih, protonov, do najtežjih npr.: Au, Pb. Na izhodu iz pospeševalnika je preklopni magnet, ki omogoča, da curek ionov usmerimo v eno od petih žarkovnih cevi. Z magnetom torej poskrbimo, da pridejo izbrani ioni z znano energijo v vakuumsko merilno celico, kjer izvajamo meritve na vstavljenem vzorcu.

Nizkoenergijski pospeševalnik in merske metode z uporabo pospešenih ionov so dobra osnova za poglobljeno raziskovalno delo. Skupine, ki sodelujejo pri takih napravah, so relativno majhne, saj štejejo navadno do deset raziskovalcev. Zelo pomemben vidik pri njihovi usmeritvi je odprto mednarodno sodelovanje, ki omogoča izmenjavo znanj in izkušenj. Pogosto potekajo poleg temeljnih raziskav v eksperimentalni atomski fiziki (pa tudi v molekularni fiziki, fiziki površin itd.) ob takih pospeševalnikih vzoredne raziskave na izbranih interdisciplinarnih področjih. Marsikatero bazične metode so namreč z majhnimi dopolnitvami uporabne tudi tam.

Današnji razvoj eksperimentalne atomske fizike se odvija na več področjih, tako da je delo s pospešenimi ioni le eno izmed njih. Poleg fundamentalnih podatkov, ki jih daje moderna atomska fizika, je pomemben njen prispevek k razumevanju procesov, s katerimi se ukvarjajo druga področja, recimo astrofizika, fizika plazme in fizika površin. Skupna mnogim raziskavam v atomski fiziki je usmeritev v boljše razumevanje atoma kot celote. Pri atomu imamo namreč opravka s kompleksnim sistemom med seboj sodelujočih delcev, elektronov in atomskega jedra. Pri tem se izkaže, da prav vse sile med delci ne moremo vgraditi v model povprečnega polja, v katerem se gibljejo elektroni. S preostankom, ki ga ne moremo vključiti, pa lahko razložimo nekatere korelacijske pojave med elektroni v atomu. Velik del raziskav v atomski fiziki se danes poleg z ioni dogaja s sinhrotronsko svetlobo. Ta je namreč izjemno precizno orodje za pripravo izbranih atomskih stanj. Pri tovrstnih raziskavah sodelujejo tudi slovenski fiziki, s tem da s svojim znanjem in izkušnjami gostujejo v mednarodnih sinhrotronskih središčih, kot so ELLETRA v Trstu, HASYLAB v Hamburgu, če omenimo samo ta dva. Ni odveč, če se spomnimo, da se na IJS v sodelovanju z nekaterimi drugimi instituti pripravljamo na gradnjo žarkovne linije (BOSS) na tržaškem sinhrotronu, kar je prav gotovo odmevna mednarodna uveljavitev.

Če se ozremo na uporabo nizkoenergijskih ionov pri interdisciplinarnih raziskavah, lahko ugotovimo, da so metode, ki so pri tem na razpolago, zelo uspešne pri študijah onesnaženja okolja, pri raziskavah materialov in njihovih površin, v arheometriji in drugod. Če razpolagamo z jedrsko mikrosondo, pri kateri poskrbimo, da se ioni zberejo na tarči v pego, veliko okrog 1 μm ($\mu\text{m} = 10^{-6}$ m), pa se število raziskovalnih področij še poveča. Preselimo se lahko k biomedicinskim raziskavam ter v mikroelektroniko. Na čem torej temelje analitske metode z ioni (s tujko jim rečemo Ion Beam Analysis - IBA)? Curek projektilov, ki ga navadno sestavljajo protoni ali He ioni, po potrebi pa tudi težji ioni, se v snovi ustavlja. Pri tem se projektili na atomih snovi v vzorcu sipajo, atome vzbujajo, ali pa povzročajo jedrske reakcije. Pride do emisije različnih sevanj, kot so: rentgenski žarki, vidna svetloba, izbiti elektroni, sipani projektili, odrinjena jedra, produkti jedrskih reakcij. Vsa ta lahko merimo z detektorji, če jih namestimo okrog vzorca. Kaj nam izmerjeni podatki dajejo? Iz njih lahko ugotavljamo elementno sestavo vzorca, ugotavljamo globinsko porazdelitev posameznih elementov (globinski profil), v nekaterih primerih pa merimo tudi kemijska vezavna stanja elementov. Nekatero metode z ioni so dovolj občutljive, da zaznamo sledi elementov v vzorcu, ki nastopajo s koncentracijami daleč pod 1 ppm (ppm = part per million). Druge so primernejše za merjenje koncentracijskih profilov na površini vzorca do globin nekaj 10 μm z globinsko ločljivostjo pod 10 nm. Z metodami IBA lahko merimo vse kemijske elemente od vodika do urana. Navadno so analize večelementne, hitre (nekaj 10 min), ne zahtevajo veliko vzorca (nekaj mg) in so neporušne, kar

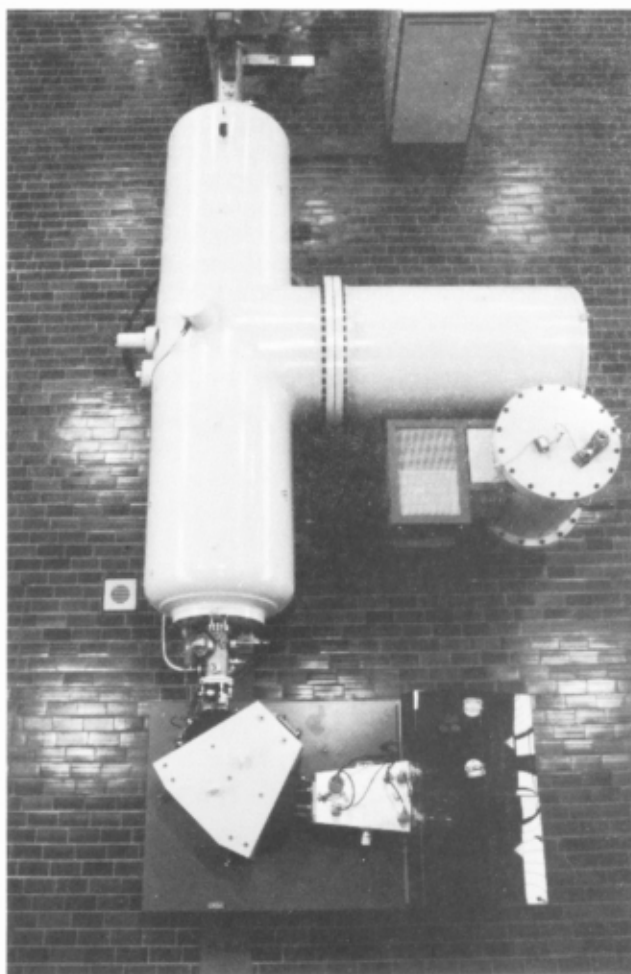
pomeni, da se vzorec pri analizi praktično ne poškoduje.

Novi tandemski pospeševalnik, s katerim razpolagamo, daje dobre možnosti za izobraževanje mladih raziskovalcev, tako v eksperimentalni atomski fiziki, kot tudi na interdisciplinarnih usmeritvah. Znanja, ki pri tem nastajajo, omogočajo in zahtevajo velik pretok izkušenj iz različnih področij, kot so vakuumaska tehnika, jedrske in atomske spektroskopije, obdelava analognih in digitalnih merskih podatkov, avtomatizacija procesov in še kje. Navsezadnje se je na Odseku za fiziko jedra in nizkih energij na IJS v zadnjih 20 letih, ki so bila poleg drugih dejavnosti Odseka v mnogočem povezana s pospeševalniki, usposobilo precejšnje število sodelavcev. Doktorsko delo je v tem času uspešno obranilo 20 raziskovalcev, magistririj okrog 30. Med temi je mnogo današnjih sodelavcev Odseka, ki šteje 44 ljudi. Nekateri raziskovalci sodelujejo pri pedagoškem delu na Fakulteti za matematiko in fiziko ter so hkrati raziskovalno povezani z odsekom. Mnogi, ki so se usposobili pri nas, med katere štejemo številne diplomante, pa so uspešni na drugih področjih zunaj IJS ter hkrati ohranjajo stik z bivšimi sodelavci. Nekatere dejavnosti odseka, ki so bile na začetku povezane s pospeševalniki in so kasneje prerasle v samostojen razvoj merilnih sistemov, so vodile do nastanka uspešnega podjetja AMES.

Znanja o nizkoenergijskih pospeševalnikih ter metodah s pospešenimi ioni so pomembna tudi širše, saj osvetljuje potrebe po **namenskih pospeševalnikih** za medicinske, industrijske in druge namene. Če z njimi pospešujejo elektrone do energij nekaj 10 MeV, lahko izkoriščajo zavorno sevanje, ki nastane pri ustavljanju elektronov. V medicini take pospeševalnike uporabljajo za obsevanje pacietov z malignimi obolenji. Z njimi razpolagajo tudi na ljubljanskem Onkološkem inštitutu. Za industrijske namene prirejeni elektronski pospeševalniki so izjemno koristni v predelovalni industriji (npr. proizvodnja plastičnih mas, tkanin, sintetičnih gum), saj s procesi v materialih (cross-linking) precej izboljšajo njihove lastnosti. Elektronski pospeševalniki so uspešni pri sterilizaciji hrane (sadje, začimbe), medicinske opreme ter farmacevtskih sestavin. Za medicinske potrebe gradijo izpopolnjene ciklotrone, kjer pospešujejo ione, s katerimi preko izbranih jedrskih reakcij proizvajajo izotope za diagnostične in terapevtske namene. Ionski pospeševalniki, kot na primer sinhrociklotron na PSI v Villingenu (Švica) s 70 MeV protoni, so v nekaj državah v rutinski uporabi za obsevanje očesnega melanoma. Tudi v elektronski industriji so ionski pospeševalniki nepogrešljivi, saj se uporabljajo za implantacijo in proizvodnjo novih materialov. V zadnjem času zelo resno razmišljajo celo o izrabi elektronskih pospeševalnikov za zmanjšanje vplivov na okolje. Povsem resno se Japonci (in v sodelovanju z njimi tudi Poljaki, in še nekateri drugi) ukvar-

jajo s tem, da jih vgrajujejo v čistilne naprave termoelektrarn za učinkovitejše odstranjevanje dimnih plinov. Uporaba pospeševalnikov je torej široka in je lep primer neškodljive rabe jedrskih tehnologij.

Navsezadnje je potrebno poudariti tudi **mednarodni vidik**, ki je povezan s postavitvijo pospeševalnika doma. Moderna oprema in kvalitetna znanja so lahko vabljiva za mednarodno sodelovanje tako v regiji kot tudi širše. Pomembna je pozornost, ki jo takemu instrumentalnemu centru namenljajo Združeni narodi (IAEA). Po eni strani je projekt postavitve pospeševalnika naravnano h končnim uporabnikom raziskovalnih rezultatov, po drugi pa lahko razpoložljive merske metode dajejo možnosti za usposabljanje raziskovalcev iz dežel v razvoju.



Slika 1 Pospeševalnik tandemskega tipa (Tandatron). Na levi sta dva ionska izvira. Ioni iz teh izvirov se v elektrostatskem pospeševalniku (nahaja se znotraj vakuumske posode v obliki črke T) pospešijo do energije 4 MeV.