

Nuklearna fisija — izvor energije

Prof. Ivo Šlaus, Zagreb

Kada su glasovitog fizičara Hertza zapitali da li elektromagnetski valovi, čije je postojanje on pokusom utvrdio, imaju neku praktičnu vrijednost, on je skromno odgovorio, da momentalno nemaju i da je jedini njegov cilj bio potvrditi valjanost Maxwellove teorije.

Na vratima, koja su vodila iz XIX. u XX. Vijek stajala je signa — atom, točnije zakoni atomske fizike. Oni koji su pokušali prodrijeti u mali svijet atoma, nisu, kao ni Herz, imali pred očima nikakvu praktičnu mogućnost korištenja atoma ili pak korištenja njegove energije. Željeli su strgnuti veo sa lica prirode, a danas mi znamo da su učinili ne samo to, već da su poput Prometaja još jedamput darovali čovjeku vatru. Iako je atom naučenjake, čim su ušli u njegov labirint upoznao sa pojavom radioaktivnosti, dakle sa pojavom gdje sigurno dolazi do oslobođenja neke energije, ipak oni nisu vjerovali da će se ta energija uskoro moći koristiti.

Evo zašto! Istina je da svaka alfa čestica iz radiuma odnosi relativno veliku energiju od 4,9 miliona elektronskih volti. Energija, koju bi dobili kada bi tu kinetičku energiju posve iskoristili i kada bi se sve jezgre u jednom gramu radiuma raspale emitirajući alfa čestice, iznosila bi čak 6,2 kilovat-sata. Nažalost ovaj proces raspada ide vrlo sporo. Polu-život radia iznosi 1690. godina, t. j. da se količina radia smanji na polovicu potrebno je 1690. godina. Dakle, da bi se svake sekunde 1 gram radia posve raspao morali bi imati 80 000 tona radia. Još gore bi bilo kada bi upotrebili uran, čiji je polu-život još mnogo i mnogo dulji. Prirodna radioaktivnost ne može poslužiti kao prikladan izvor atomske energije. 30-tih godina našega stoljeća izvršene su prve umjetne nuklearne reakcije. Ubrzavši snop čestica pomoću raznih mašina, t. zv. akceleratora i usmjerivši ga na jezgre nekih elemenata, uspjeli su fizičari proizvesti razne radioaktivne izotope i izlazne snopove lakih čestica nekada jako velike energije. Iskrsala je nada: »možda su ovdje vrata za oslobađanje nuklearne energije«. I ovog puta su se očekivanja izjalovila. Razlog ćemo najbolje uočiti ako razmotrima jedan konkretni primjer i to ćemo promatrati baš takvu nuklearnu reakciju prilikom koje se oslobađa mnogo energije. Bombardiramo li litij sa deutronima (jezgre teškog vodika) — to će kao rezultat izaći dvije alfa čestice i ako je energija upadnih deutrona svega 20.000 elektronskih volti, bit će oslobođena energija od 22,5 miliona elektronskih volti, dakle 1000 puta veća energija. Nesreća je ova — da puta u tome što je samo jedan od 100 milijuna deuteronu sa kojima bombardiramo litij efikasan, t. j. što samo jedan može da izvrši reakciju. Znači da se u prosjeku mnogo više energije dovodi, nego što se kao rezultat reakcije dobija. Objasnili smo zašto fizičari nisu bili skloni vjero-

vanju da će se u dogledno vrijeme moći koristiti energija nukleusa (atomske jezgre).

Situacija se naglo izmijenila. Priča započinje 1943. godine, kada su E. Fermi i njegovi saradnici objavili svoja istraživanja jezgara obasjanih neutronima. Oni su utvrdili niz radioaktivnih raspadanja kada se uran obasjava sporim neutronima. Fermi je vjerovao da je otkrio transuranske elemente, t. j. elemente sa rednim brojem većim od 92. Tu hipotezu je odmah oštro napala kemičarka Ida Tacke Noddack, koja je prva ukazala na mogućnost da se uslijed bombardiranja sa neutronima uranova jezgra razbije na dva podjednaka dijela. Nažalost nitko nije smatrao tada takav proces vjerojatnim. Tek su u januaru 1939. g. Hahn i Strassmann zaključili da je barij jedan od produkata reakcije, koju je Fermi eksperimentalno utvrdio. Važnost ovog otkrića uočili su Lisa Meitner i Otto Frisch, koji su baš u to doba, kao i niz drugih istaknutih naučenjaka, prebjegli iz nacističke Njemačke u Dansku. U svom članku, koji je 16. I. 1939. g. objavljen u časopisu »Nature«, oni su uskrsnuli predpostavku Noddackove i utvrdili su da se uranova jezgra zaista cijepa na dva dijela, a ti fragmenti cijepanja (ili kako se to još zove nuklearne fisije) mogu biti nestabilni i mogu posjedovati cijeli lanac beta raspadanja. Eksperimentalnu potvrdu svoje hipoteze dao je Frisch uz pomoć instrumenta poznatog pod nazivom ionizaciona komora. On je ustanovio da je bombardiranje urana oslobađalo čestice ili nakupine čestica, koje su imale veliku moć ionizacije. Bilo je očito da to ne mogu biti lake jezgre, te da se radi o žestćim jezgrama, dakle da zaista dolazi do cijepanja.

Potpunu teoriju nuklearne fisije dali su Niels Bohr i Wheeler. Oni su uočili da se jezgra može dosta ispravno shvatiti kao kapljica tekućine. Kada neutron udari u jezgru — kapljicu, on joj preda toliko energije da ona počme titrati i uslijed toga može poprimiti izduženi oblik u sredini stanjen. Takav oblik je nestabilan, jer odbojne električne sile između pozitivnih protona uzrokuju cijepanje tanke veze i tako nastaju dvije razdvojene jezgre.

Na konferenciji teoretskih fizičara, koja je održana 26. I. 1939. g. u Washingtonu ukazao je Fermi da prilikom bombardiranja urana ne dolazi jedino do cijepanja, već da se oslobađaju i novi neutroni. Ti neutroni mogu proizvesti drugu fisiju i čak šta više jedna fisija oslobađa nekoliko neutrona.

Računi i pokusi pokazali su da se prilikom jedne fisije oslobađa energija od oko 200 milijuna elektronskih volti. Izgleda da je Fermi prvi jasno uočio da ovakav proces, koji daje ovako veliku energiju i koji sam može dati uzročnike nove fisije u njemu susjednim jezgrama — dakle

proces lančanog karaktera, može poslužiti kao izvor za korištenje energije atoma.

Potrebno je da se na ovom mjestu zaustavimo i da se vratimo malo natrag sve tamo do 1905. g., kada je Einstein na osnovu svoje specijalne teorije relativnosti izveo relaciju, koja povezuje masu i energiju. Ta jednadžba je onaj magičan štapić, koji nam omogućuje da masu preobrazimo u energiju. Svaki puta kada se u toku nekog procesa izvjesna količina mase »izgubi« dobija se na točni ekvivalent u oslobođenoj energiji. Takve pretvorbe mase u energiju svakodnevna su pojava u svijetu atoma. Kada se, n. pr. litij — 7 bombardira sa protonima, dobijaju se dvije alfa čestice. Ukupna masa litija i protona iznosi 8,0263 (izraženo u jedinicama gdje je masa kisika — 16 jednaka 16) a ukupna masa dviju alfa čestica iznosi 8,0078. Konstatiramo manjak mase, koji iznosi 0,0185. Taj iznos mase se prema Einsteinu morao pretvoriti u energiju. Zaista se to i dogodilo a eksperiment je to i odlično potvrdio.

Poznato je da je masa uranove jezgre veća od masa fragmenata nastalih uslijed njegove fisije. Znači da ovaj proces može poslužiti kao izvor energije, što smo već ranije spomenuli. Javlja se, međutim pitanje: kako to da jezgra urana ne podliježe spontanoj fisiji, već je potrebno da je bombardiramo neutronima. Evo u čemu je stvar! Da bi došlo do cijepanja fragmenti fisije morali bi proći kroz dosta debelu i visoku barijeru potencijala. Za taj prelaz postoji vrlo mala vjerojatnost. Premda je konačno energetska stanje povoljnije nego li početno, do fisije ne može doći, jer je prelaz vanredno nepovoljan. Zato je potrebno da dodate neutron i da preda nešto energije jezgri urana, pa za fragmente više ne postoji nepovoljna barijera. Prilike su ovdje slične onima što ih imamo u kemiji. Smjesa vodika i kisika na običnoj temperaturi i normalnom tlaku ima nešto veću energiju nego li obična voda. Ipak bi tu smjesu mogli jako dugo očuvati nepomućenu u toj labilnoj ravnoteži. Da bi došlo do reakcije potrebno je da prisutne tvari steknu izvjesnu kritičnu količinu energije. Analognu kritičnu količinu moraju steći i jezgre urana da bi se mogle raspasti.

Upravo gornja rasuđivanja omogućavaju nam da shvatimo da će neke jezgre moći i vrlo spori neutroni rascjepati, a da će kod drugih istu reakciju moći izvršiti tek brzi neutroni. Tako se uran — 235 i plutonij — 239 cijepanju već pod utjecajem bombardiranja sa sporim neutronima, dok se n. pr. uran — 238 može razbiti samo sa brzim neutronima. Zašto se uran — 235, kada dobije jedan neutron, može razbiti i onda kada je taj neutron bio vanredno spor, a uran — 238 tek onda kada je taj neutron jako brz? Razlog leži u tome što energija vezivanja pojedinih jezgri jako varira prema tome da li jezgra ima paran broj neutrona protona ili nema.

Ova činjenica, da se uran — 238 cijepa samo sa brzim neutronima bila je u prvi mah jako nepovoljna, kada se htjelo pristupiti dobijanju energije iz fisije. Naime, prirodni uran se sastoji uglavnom od urana — 238. Kasnije je ustanovljeno

da uran — 238 može ugrabiti neutrone i da tako nastaje uran — 239, koji se raspada na neplutonij, a ovaj opet na plutonij — 239. Kao što smo već spomenuli plutonij — 239 se može razbiti kada ga bombardiramo sporim neutronima. Na taj način bar teoretski prirodni uran u cjelosti može poslužiti kao izvor nuklearne energije.

Fisija pod djelovanjem sporih neutrona nije simetrična, t. j. dvije jezgre na koje se uran cijepa nisu podjednako teške. Zanimljivo je, kao što je dokazao ruski fizičar Frenkel, da se ova nesimetrija ne da objasniti na osnovu modela kapljice. Ni do danas nije pošlo za rukom da se ovaj fenomen potpuno objasni.

Jedna od najznačajnijih osobina nuklearne fisije je oslobađanje neutrona. Nijedan drugi proces u svijetu atoma nije do tada imao to divno svojstvo. Plamen se širi! Dovoljno je da zapalimo samo jedan kraj papira, pa da cio papir plane i konačno izgore. Tako je isto i sa fisijom. Čim se jedna jezgra razcijepa ona sama daje mogućnost svojim susjedima da i oni dožive taj isti proces. Ipak svi neutroni, koji su oslobođeni prilikom neke fisije neće uzrokovati nove fisije. Neki od njih će pobjeći, a neke će ugrabiti razne nečistoće.

Da bi se održala lančana reakcija nije doduše potrebno da svaki neutron koji se stvara u fisiji bude u mogućnosti da izazove novu fisiju, ali je minimalni uslov taj, da za svaku jezgru, koja pretrpi fisiju bude proizveden jedan takav neutron, koji će izazvati fisiju druge jezgre. Baš radi ovoga postoji neka kritična veličina komada urana, koja omogućava lančanu reakciju. Ta kritična veličina iznosi više od jednog kilograma. Kako kod atomske bombe, tako i kod uranskih peći (reaktora) ova kritična masa igra važnu ulogu.

Skoro svi neutroni stvoreni prilikom fisije izlaze trenutno. Jedan mali dio, manji od 1%, napušta fragmente jezgre tek nakon nekog vremena. Ti t. zv. naknadni neutroni, neobično su važni za mogućnost kontrole rada nuklearnog reaktora. Kada njih ne bi bilo, nikakva mehanička automatska kontrola ne bi mogla biti tako brza da izbacii šipke absorbenta i tako zaustavi naglo i nepoželjno oslobađanje ogromne energije.

Fisija nam je omogućila da na koristan način oslobodimo energiju atomske jezgre. Otkriven je novi izvor energije i to baš u onom trenutku, kada je trebalo da se zamislimo nad ipak ograničenim rezervama uglja i nafte. Energija, koju može dati jedan kilogram urana, kada se potpuno raspadne fisijom je ogromna i iznosi preko 20 miliona kilovatsati, dakle je ravna onoj energiji što ju može dati skoro 3000 tona ugljena. Nauka zaista može pružiti čovječanstvu mir i blagostanje.