

# Hladna fuzija

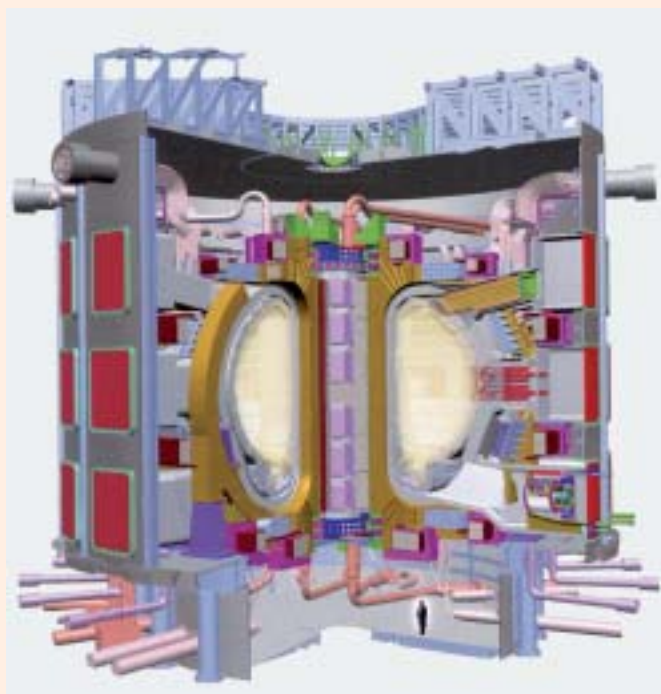
**Može li se elektrolizom vode postići ono što se ne može postići ni ioniziranim plinom (plazmom) ugrijanim na milijune stupnjeva? Za to ima mnogo dokaza, ali još više protudokaza. Riječ je o hladnoj fuziji, prirodnoj pojavi koju znanstvenici pokušavaju otkriti već devedeset godina.**

**dr. sc. Nenad RAOS, Zagreb**

**T**ehnički su problemi golemi, ali se valja sjetiti da još nije prošlo ni petnaest godina od prvog oslobađanja atomske energije u reaktoru što ga je načinio Fermi. Usudujem se predskazati da će se u iduća dva desetljeća naći

metode za oslobađanje energije fuzije na kontrolirani način. Kad se to postigne, energetske probleme bit će doista riješeni jer će gorivo biti neiscrpno kao što je to teški vodik iz oceana.« Doista, taj što je to rekao ima pravo, jer u nuklearnom reaktoru voda, obična, svakodnevna voda postaje stotinama puta jače gorivo od nafte!\*

Ima pravo kada kaže da su »tehnički problemi golemi«, ali, ali, ali... Da se njegovo predviđanje obistinilo, već bismo danas raspolagali neizmjenjnim količinama energije – jer to što sam naveo rekao je indijski fizičar Homi Bhabhe na Ženevskoj konferenciji o miroljubivoj upotrebi atomske energije još 1955. godine!

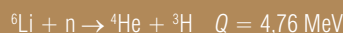


**Slika 1.** Iz ovog 24 metara visokog i 30 metara širokog uređaja trebala bi za dvadesetak godina poteći električna energija dobivena spajanjem jezgara vodika. Riječ je o reaktoru ITER u čijem prstenastom magnetskom polju ima mjesta za 850 m<sup>3</sup> plazme (ioniziranog plina).

## ENERGIJA IZ VODIKA – ZA ČETRDESET GODINA?

Znanstvenici se nadaju da ćemo za tri do četiri desetljeća konačno (!) dobiti energiju iz vodika. Naime, upravo se isprobava ITER, uređaj koji drži plazmu u toroidnom (prstenastom) magnetskom polju (tokamak). Izlazna snaga ITER-a trebala bi biti 500 MW. Istodobno se projektira veći uređaj, DEMO, sa snagom od 1 000 MW. On bi trebao biti prototip budućih fuzijskih elektrana.

ITER, kao i svi dosadašnji uređaji tipa tokamak, iskorištava reakciju spajanja deuterija s tricijem (D,T). Problem s tom reakcijom je što troši tricij, izotop vodika kojeg ima tako malo u vodi da ga se ne isplati iz nje izdvajati, a s druge strane oslobađa neutrone, u obliku neutronske zračenja. Oba se problema mogu riješiti ako se neutronske zračenje apsorbira u oblozi od litija, pri čemu u reakciji neutrona s litijem nastaje helij i tricij – gorivo za fuzijski reaktor:



Ipak, nije sve jednostavno. Treba riješiti još mnoge probleme, a samo da bi se pronašli materijali otporni na neutronske zračenje, trebalo bi – nadaju se znanstvenici – potrošiti dvadeset godina. Usto, izgradnja ITER-a stajati će 4,5 milijarde eura, što nije mala cijena za elektranu snage od samo 500 MW.

\*Evo proračuna! 1 mol (2 g) deuterija u reakciji D,T može dati 1,7·10<sup>12</sup> J ili 470 000 kWh energije. U kilogramu vode ima 55,55 molova vode (H<sub>2</sub>O), dakle 111 molova vodika, od toga 0,016 molova deuterija (jer ga u vodi ima 7 tisuća puta manje od običnog vodika). To znači da se iz litre vode može dobiti 2,7 · 10<sup>10</sup> J energije – pa je voda 500 puta jače gorivo od najboljeg benzina (52 MJ kg<sup>-1</sup>)!

Što sve nije pokušano da se dobije energija iz nuklearne reakcije koja se već više od pola stoljeća poznaje iz eksplozije vodikove bombe! Uz tokamak (sl. 1.), uređaj u kojem se plazma (ionizirani plin) drži snažnim prstenastim magnetskim poljem, ispituju se linearni (tandemski i zrcalni) uređaji s magnetski ograničenom plazmom, a mnogo se istražuje i mogućnost da se temperatura potrebna za pokretanje nuklearne fuzije postigne laserskim zrakama. Unatoč svemu tome, ako sve pođe po dobru, prve kilovate električne energije iz vodikove jezgre možemo očekivati tek za pola stoljeća (vidi okvirčić).

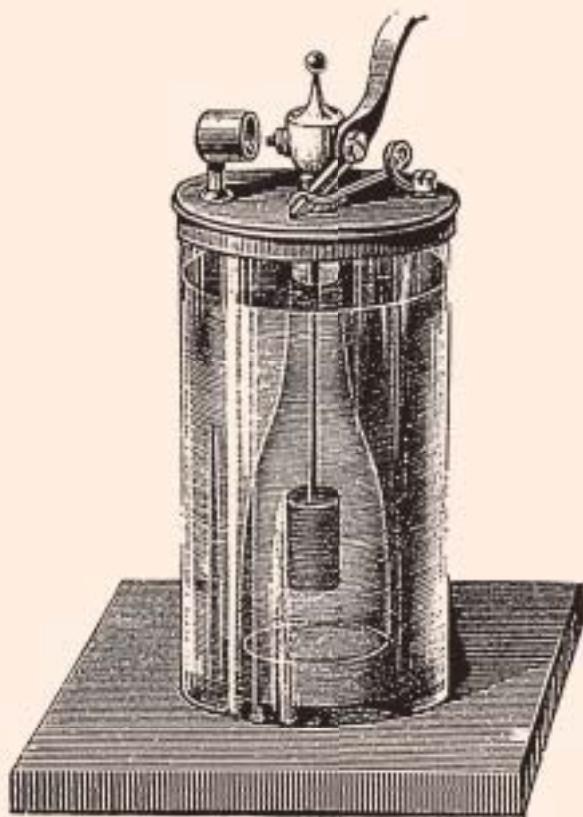
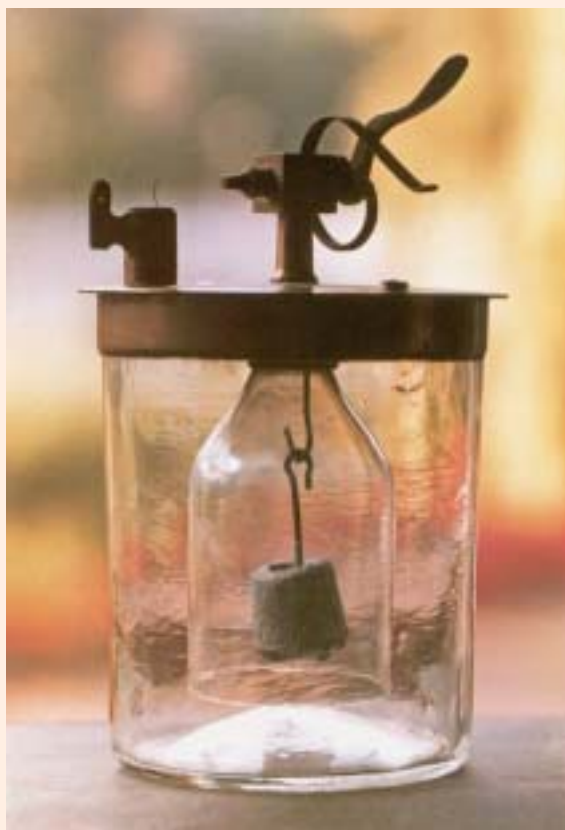
Zato nije čudo da se 23. ožujka 1989. vijest o otkriću dvojice američkih znanstvenika Martina Fleischmanna i Stanleya Ponsa proširila svijetom poput munje: uspjeli su dobiti energiju spajanjem (fuzijom) atomskih jezgara pri sobnoj temperaturi u uređaju za elektrolizu vode!

Zamisao je tako jednostavna da jednostavnija ne može biti. Još od 19. stoljeća kemičari znaju za neobična svojstva platine: taj plemeniti metal upija vodik i – što je najzanimljivije – on ga upija tako da ga pretvara u neku vrst kovine. Naime, u kristalnoj rešetki platine vodik ne postoji u obliku  $H_2$  (kakav se nalazi u plinu) nego u obliku slobodnih atoma (H) koji mogu

razmjenjivati elektrone sa svojom okolinom. Na tom se svojstvu platine temelji njezino djelovanje kao katalizatora. Smjesa vodika i kisika spontano se pali u dodiru s platinom (sl. 2.), a na vodikovoj se elektrodi (vodiku apsorbiranom u platini) temelji najprecizniji uređaj za mjerenje kiselosti otopina (pH-metar s vodikovom elektrodom), pa čak i vodikove gorivne ćelije, uređaji koji bi uskoro trebali davati energiju za naše automobile.

### Umjesto tokamaka – uređaj za elektrolizu vode

Uređaj Fleischmanna i Ponsa, već smo rekli, uređaj je za elektrolizu vode, no ne obične, nego teške ( $^2H_2O$  ili  $D_2O$ ). Na anodi se oslobađa kisik, a na katodi od paladija – kemijskog srodnika platine – teški vodik, deuterij (D). No dio elektrolizom oslobođenog deuterija ostaje zarobljen u paladiju – i što se s njime događa? Tko zna bi li Fleischmann i Pons išta otkrili da elektrolizu nisu radili u kalorimetru pa su – radeći pokus – otkrili da se temperatura vode u mjernom uređaju (toplinski izoliranoj posudi) ponekad podigne s 30 na čak 50 °C. Kako energija i toplina ne mogu nastati ni iz čega, u kalorimetru je moralo doći do procesa kojim se oslobađa energija.



**Slika 2.** Döbereinerov upaljač iz 19. stoljeća: vodik oslobođen reakcijom metala i kiseline palio se već na sobnoj temperaturi katalitičkim djelovanjem platine. Zatvaranjem dovoda vodika razina se kiseline u središnjoj cijevi spuštala, čime bi se prekinula reakcija. Takvi su uređaji bili vrlo popularni jer tko ih nije imao, morao je pustiti da mu (skupa!) svijeća gori čitavu noć.

## Platina i paladij

Ime	Simbol	Redni broj	Atomska masa	Gustoća/g cm <sup>-3</sup>	Talište/°C	Vrelište/°C
platina	Pt	78	195,08	21,45	1769	3838
paladij	Pd	46	106,42	11,97	1552	2930

Što se dogodilo u kalorimetru? Ako platina ima moć da atom vodika približi atomu kisika (i atomima drugih molekula) – na čemu se temelji njezino katalitičko djelovanje – nema li paladij (koji čini isto) još jaču moć, naime da dva iona D<sup>+</sup> (gole atomske jezgre) približi na tako malu udaljenost da se spoje u jezgru helija?

*Quod volumus, libenter credemus*, kažu Latini. Što želimo, rado vjerujemo. Fleischmann i Pons nisu bili prvi koji su tako mislili. Još su dvadesetih godina Friedrich Peneth i Kurt Peters objavili da su uspjeli paladijem pretvoriti vodik u helij, a isti pokus kao i dvojica američkih znanstvenika, samo s vodikom, napravio je još 1927. godine Švedanin Tandberg i, kako sam kaže, uspio.

Da bi se pokus prihvatio kao valjan, treba ga se uspješno ponoviti, kažu znanstvenici. No nitko ni uz najveći trud nije mogao ponoviti ono što su napravili Fleischmann i Pons. Štoviše, da

### FUZIJSKE REAKCIJE

Vodik ima tri izotopa: obični vodik ili procijski (<sup>1</sup>H), teški vodik ili deuterij (<sup>2</sup>H ili D) i superteški vodik ili tricij (<sup>3</sup>H ili T). Atomske jezgre tih triju izotopa mogu se, pri visokim temperaturama, spajati (fuzionirati) u jezgre težih elementa. Zato se to spajanje zove fuzija ili termonuklearna reakcija. Tri su reakcije najvažnije:



Gdje *n* označava neutrone, *a p* protone. MeV je megaelektronvolt, jedinica za energiju u atomskoj fizici (1 MeV = 1,602·10<sup>-13</sup>J).

Vidimo da spajanjem dviju jezgara deuterija može nastati helij i tricij. Obje su reakcije jednako vjerojatne pa spajanjem deuterija s deuterijem (D,D) nastaje jednaka množina helija i tricija.

Iako deuterija ima mnogo više od tricija, treća reakcija (D,T) daje najviše energije. Usto je vjerojatnost sudara jezgre deuterija s jezgrom tricija stotinjak puta veća od vjerojatnosti sudara dviju jezgara deuterija, što znači da se reakcija D,T može postići pri nižim temperaturama od reakcije D,D.

bi se potvrdili rezultati dvojice američkih znanstvenika nije dovoljno samo registrirati stvaranje topline, nego i detektirati produkte fuzije (vidi okvirčić), prije neutronske zračenje, tricij i helij. Iako neki znanstvenici tvrde da su uspjeli i u jednom i u drugom, prinosi i neutrona i helija bili su tako mali da su se mogli lako pripisati eksperimentalnoj pogrešci. Sve je to dovelo da je već u svibnju iste 1989. godine na sjednici Američkoga fizičkog društva zaključeno (s osam glasova za i jednim protiv) da nema dokaza za hladnu fuziju,\* barem ne u pokusu što su ga izveli Fleischmann i Pons.

Toplina je najniži oblik energije, zna svatko tko je učio termodinamiku. To znači da se svaki oblik energije može pretvoriti, i na kraju svih pretvorbi pretvara, u toplinu. Iako tijekom pokusa Fleischmann i Pons nisu uočili promjenu jakosti struje, do oslobađanje topline moglo je doći već zbog toga što su oslabili električni kontakti ili je pak došlo do katalitičkog spajanja vodika i kisika na paladijevoj katodi. Nijedan proces ne ide uz stopostotno iskorištenje, pa ni elektroliza. To znači da se sva električna energija ne pretvara u kemijsku energiju vodika i kisika, nego se nešto energije uvijek pretvori u toplinu. Za to što je u Fleischmann-Ponsovom pokusu ćelija odjednom počela raditi s manjim iskorištenjem, može biti tisuću uzroka.

No dok su njihove kolege objavljivali o neuspjehu pokušaja da se deuterij pretvori u helij elektrolizom teške vode, savezna država Utah (u kojoj je radio Pons) investirala je čak 4,5 milijuna dolara u osnivanje Državnog instituta za hladnu fuziju (National Cold Fusion Institute). Za njima su se povelili i drugi. Između 1992. i 1997. godine Japanci su dali 20 milijuna dolara za istraživanje hladne fuzije, a njihova tvrtka Toyota pomogla je Fleischmannu i Ponsu s 12 milijuna dolara u njihovim istraživanjima.

### Pseudoznanost – ili?

No protivnici hladne fuzije nisu stajali skrštenih ruku. Američki ured za patente donio je 2004. godine odluku da više ne prihvaća patente o hladnoj fuziji, kao što ne prihvaća ni patente o perpetuum mobilu. Julianu Schwingeru nije pomogla ni Nobelova nagrada da mu u znanstvenom časopisu

\*Termin »hladna fuzija« (*cold fusion*) pojavio se 1956. godine za fuziju kataliziranu mionima, dakle za jedan proces na mnogo čvršćem znanstvenom temelju. Danas se za Fleischmann-Ponsov i slične pokušaje rabi termin »niskoenergetska nuklearna reakcija« (*low energy nuclear reaction*, LENR).

prihvate članak o hladnoj fuziji. »Ti prijedlozi [istraživanja] ne dosižu prihvaćene znanstvene standarde niti mogu proći strogu recenziju«, piše u nekom izvještaju. »Nijedan recenzent nije preporučio da vlada financira projekte usredotočene na nisko-energijske nuklearne reakcije.« Dakle: tko se hoće baviti hladnom fuzijom, može to činiti za svoj novac i rezultate objavljivati gdje god hoće, samo ne u znanstvenim časopisima. Istraživanje hladne fuzije, rekoše znanstvenici, nije znanost, nego pseudo-znanost.

No tu nije kraj priče. Eto, u ožujku ove godine održala su se u Sjedinjenim Državama dva znanstvena skupa na kojima su se mogli čuti referati o hladnoj fuziji. Prvi je skup održan pod pokroviteljstvom Američkoga fizičkog društva, a drugi pod pokroviteljstvom Američkoga kemijskog društva. Sekcija broj 16 na prvom skupu čak je nosila naslov »Hladna fuzija«. Pa ipak, od dvadesetak znanstvenika koji su sjedili u publici na prvom sastanku samo su trojica vjerovala da su njihove kolege, koje su izlagale rezultate svojih istraživanja, doista nešto pronašli.

Sažimajući rezultate istraživanja svojih kolega, Pamela Mosier-Boss dala je dokaz, premda neizravan, da elektrolizom deuterija na katodi od paladija nastaje neutronska zračenje. Drugi su se znanstvenici posvetili boljem mjerenju topline koja se oslobađa pri elektrolizi, dok su treći nastojali objasniti što se zbiva pri elektrolizi vode na katodi od paladija. Najviše pozornosti pobudila su istraživanja Mitchella Swartza koji je, polazeći od teorijskih modela, pronašao najbolje uvjete elektrolize. Pronašao je da pri elektrolizi treba nastojati da se što manje vodika oslobodi na katodi (kako bi ga što više ostalo zarobljeno u paladiju). Pri tome je Swartz radio s čistom teškom vodom, bez otopljenog elektrolita (soli). Kako voda ima velik električni otpor, kroz njegovu je ćeliju za elektrolizu protjecala mala struja (nekoliko miliampera), no visokog napona (nekoliko stotina volta).

Što na kraju reći? Ako platina može katalizirati kemijske reakcije koje se bez nje odvijaju pri 1000 °C, može li paladij katalizirati nuklearne reakcije koje se zbivaju pri 10 000 000 °C? Ako se fićom možemo dovesti od Zagreba do Splita, možemo li se mercedesom popeti na Everest?

Ja ipak ne bih bio tako strog. Ako me iskreno pitate vjerujem li u hladnu fuziju, iskreno ću vam odgovoriti – ne vjerujem – ali vjera u znanosti ne znači ništa. No tako ne valja postavljati pitanja. Pri elektrolizi teške vode na elektrodi od paladija dolazi do procesa koje ne znamo objasniti. Njih treba rasvijetliti, njih

treba protumačiti, bez obzira hoće li se ili neće otkriti hladna fuzija. Ako objašnjenje tih procesa na kraju ne donese nikakvu novu znanstvenu spoznaju, ipak će traganje za hladnom fuzijom dovesti do razvoja metoda mjerenja, prije svega toplinske oslobođene kemijskom reakcijom (kalorimetrije). Mitchell Swartz je uveo nov pojam u kemiju – metamaterijal – misleći pri tome na smjesu, bolje reći slitinu paladija i deuterija koja nastaje pri elektrolizi. Tko zna kakvih sve »metamaterijala« ima i za što se sve mogu upotrijebiti!

Na kraju sumirajmo: znanost ne potkopavaju sumnjive teorije, nedovoljno obrazloženi i nikad ponovljeni eksperimenti – znanost potkopava nesposobnost postavljanja problema, postavljanja pitanja, bez obzira kakav odgovor na pitanje znanstvenici na kraju dobili.

## ČISTA FUZIJA

Reakcija deuterija s tricijem (D,T) nije čista: iako u njoj sudjeluje samo slabo radioaktivni tricij i njome ne nastaju radioaktivni izotopi, neutronska zračenja izaziva transmutaciju elemenata u oblozi reaktora, pri čemu nastaju i radioaktivni izotopi. Taj problem postaje još teži ako bi se, u budućnosti, fuzija htjela upotrijebiti za pogon svemirskih brodova. Kako je u svemiru svaki gram mase važan, nezamislivo je da bi svemirske letjelice morale nositi tone i tone olova i betona da bi se posada zaštitila od smrtonosnoga zračenja iz raketnog motora.

Još je 1986. L. J. Wittenberg došao na zamisao da bi se za svemirska putovanja mogla koristiti reakcija fuzije dviju jezgara helijeva izotopa  $^3\text{He}$ , koja daje samo 1,5 % energije u obliku neutronske zračenja (za razliku od 80 % za reakciju D,T). Tog helijeva izotopa nema na Zemlji, ali ga ima na Mjesecu, u njegovu tlu gdje nastaje djelovanjem Sunčeva zračenja (njegova se ukupna količina procjenjuje na milijun tona). Helij-3 nastaje i pri fuziji deuterija (D,D) pa bi termonuklearni reaktori budućnosti mogli biti i proizvođači goriva za svemirske brodove.

## Literatura

1. M. Fleischmann i S. Pons, Electrochemically induced fusion of deuterium, *J. Electroanal. Chem.* **261** (1989) 301–308.
2. J. P. Blaser et al., Experimental investigation of cold fusion phenomena in palladium, *Chimia* **43** (1989) 262–268.
3. V. Knapp, *Novi izvori energije. Nuklearna energija fisije i fuzije*, Školska knjiga, Zagreb, 1993, str. 270–272.
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Cold\\_fusion](http://en.wikipedia.org/wiki/Cold_fusion)