

NUKLEARNA FIZIKA I EVOLUCIJA MATERIJE

Ivan V. Aničin

*Fizički Fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Jugoslavija
Institut za nuklearne nauke "Vinča", Beograd, Jugoslavija*

Apstrakt:

Sinteza znanja iz svih egzaktnih nauka je, između ostalog, rezultirala i u konzistentnoj slici o evoluciji materije, počev od stanja bezličnog eksplodirajućeg prostora pa do ove fantastične raznovrsnosti i kompleksnosti prirode koju danas opažamo oko nas i u nama samima (i ova slika, koja je deo te iste prirode, neminovno će dalje evoluirati). Ispostavlja se da materija granulira uvek na isti način i da ti elementarni konstituenti prirode (koje možemo zvati kvantima materije) i njihove interakcije, zaista poseduju osobine koje mogu da obezbede takvu evoluciju materije. Ovde je dat pregled samo onih epizoda u toj slici o evoluciji materije koje su posledica detaljnih osobina atomskih jezgara, odnosno onih epizoda koje se objašnjavaju znanjima koja potiču iz oblasti nuklearne fizike. Diskutovana je: 1. Evolucija hemijskih elemenata (primordijalna i zvezdana), 2. Evolucija Zemlje (radioaktivna toplota i geološka diferencijacija; egzaktno datiranje), 3. Evolucija života (brze statističke mutacije i prirodna selekcija; stereohemijska asimetrija života) i 4. Evolucija uma (kraj života na Zemlji; energetika u krupnoj skali).

Ne želimo samo da saznamo kako je ustrojena priroda
i kako se odvijaju prirodne pojave, već i da po
mogućstvu dostignemo cilj, koji može izgledati utopistički
i drzak, da saznamo zašto je priroda baš ovakva kakva je,
a ne nekakva drugačija.

A. Einstein

Uvod

Rekonstrukcija evolucije materije do ovog izvanrednog mnoštva kompleksnih stanja u kojima je danas nalazimo može izgledati kao pretenciozan cilj koji se pre može dostići u okvirima metafizike nego fizike. I zaista, na putu ka tom cilju opasnosti od podvodnih metafizičkih hridi su nesumnjive i mnogobrojne, ali verovatno i prebrodive; u ovome što sledi pokušaćemo da u najkraćim crtama opišemo ulogu znanja o bazičnim osobinama atomskih jezgara u formiranju fizičke slike o evoluciji materije kao i ulogu tih znanja u našem aktivnom učešću u toj evoluciji.

Budući da se ovom prilikom spominjemo rađanja kvantne fizike dužni smo da na početku kažemo da je u statistički determinisanim pojavama, kakve su sve makro-pojave u višečestičnim sistemima i, zahvaljujući svom kvantnom karakteru i sve mikro-pojave, za razliku od klasično (Laplasovski) determinisanih pojava, detaljna rekonstrukcija prošlosti principijelno nemoguća (osim na osnovu fiziološkog pamćenja!). Pod rekonstrukcijom evolucije materije stoga podrazumevamo rekonstrukciju vremenskog toka srednjih vrednosti relevantnih veličina koje opisuju stanja materije, za koje, do na fluktuacije koje su ovde zanemarljive, važi egzaktni determinizam, te se u tom smislu gornje ograničenje ne smatra i onemogućavajućim. Poznavanje opštih principa koje materija u svom ponašanju uvek poštuje omogućava nam da po svim relevantnim pitanjima zaključujemo o tome koje je stanje iz spektra mogućih stanja najverovatnije prethodilo onom stanju materije u kome je trenutno nalazimo.

Ima nekoliko razloga zbog kojih su nuklearne pojave bitne za pokušaj objektivne i jednoznačne rekonstrukcije evolucije materije. Kao prvo, u skladu sa opštom kanoničnošću prirodnih zakona, u okviru onoga što nazivamo fizikom elementarnih čestica, uverili smo se da, bez obzira kako je maltretirali, *materija na kraju uvek* (i to nestatistički!) *granulira na apsolutno isti način*. Ova kvantizacija granulacije, kombinovana sa pretpostavljenom, a sa značajnom sigurnošću i dokazanom nezavisnošću interakcija od vremena, praktično znači da je *evolucija materije nezavisna od početnih uslova* a time i da je, u suštini, njena kasnija evolucija jednoznačno (ovaj put u probabilističkom smislu) determinisana. Spektar tih granula, koje nazivamo elementarnim česticama, zavisi od gustine energije i mi smo njegov izgled dovoljno detaljno upoznali u ogromnom opsegu vrednosti. Jezgra budućih atoma su prve asocijacije elementarnih čestica i njihovo formiranje je u datim uslovima isto tako jednoznačno određeno. Velike energije veze jezgara čine ih "najkvantnijim" od svih sistema čestica a time i najpostojanijim složenim entitetima u prirodi, sposobnim da poseduju, i trajno memorišu, informaciju o uslovima u kojima su nastali. Takođe, kratkodometnost interakcija konstituenata ih čini i najizolovanijim sistemima; jednom formirano jezgro ostaje takvo dok ga samo dobro definisan, a mali broj situacija u prirodi, eventualno ne promeni (u koje spada i čovekova aktivnost koja je, kako nam se čini, za sada u tom pogledu zanemarljiva). Otud nuklearni (izotopski) sastav materije nosi trajno svedočanstvo o značajnom delu njene prošlosti. Da smo to svedočanstvo naučili da čitamo najbolje govori veština manipulisanja jezgrima kojom smo nedvojbeno ovladali (praksa je uvek najbolja potvrda teorije).

Iz istih razloga praktično nikakve spoljašnje okolnosti ne utiču ni na tempo spontanijih nuklearnih procesa, odnosno na tempo realizacije njihovih raznovrsnih unutrašnjih nestabilnosti. Zahvaljujući tome tempo tih procesa operaciono definiše apsolutnu skalu vremena nezavisno od skala vremena koje su definisane dinamikom drugih pojava u prirodi. Konzistentnost zaključaka iz različitih vremenskih skala glavna je potvrda ispravnosti slike o evoluciji materije, pri čemu je nuklearna skala vremena, ako fundamentalne konstante zaista ne zavise od vremena, najnekorumpiranija od svih (iako je zbog izrazito kvantnog karaktera definisana samo statistički).

Druga važna posledica kvantne teorije u ovom kontekstu je objašnjenje egzaktno reproducibilnosti strukture atoma koji se formira oko datog jezgra. To nam garantuje da i sledeći nivo izgradnje materije, atomski nivo, takođe praktično ne zavisi od početnih uslova. Sa molekulskim nivoom to više nije tako; kakve će se asocijacije atoma pa onda i molekula formirati zavisi od konkretnog atomskog i molekulskog okruženja, čime upravlja stohastičnost različita od kvantne. Ovo međutim, već izlazi van okvira naše teme.

Referišući se po pitanju opštih elemenata slike o evoluciji materije sa gledišta fizike na klasična kapitalna dela (v. recimo Ref.1), ovde ćemo se, kako rekosmo, ograničiti samo na kratak opis nekih presudnih a pritom intrigantnih delova te ultimativne detektivske priče koji potiču iz oblasti nuklearne fizike.

1. Poreklo hemijskih elementata i “slučaj nedostajućih neutrina”

Jednom dati, hemijski elementi (a zapravo izotopi) obezbeđuju dalje trasiranje evolucije materije, te je objašnjenje njihovog porekla prva karika u rekonstrukciji te evolucije. Kako se ispostavlja, za odgovor na pitanje o poreklu hemijskih elemenata bitna znanja dolaze iz oblasti nuklearne fizike. Opservacioni astrofizički podaci govore nam da je ukupna masa vasiona sastavljena od oko 75% vodonika (lakog), oko 25% helijuma i od samo oko nekoliko posto svih ostalih težih elemenata zajedno. Po danas empirijski i teorijski najfundiranijoj hipotezi "Velike Eksplozije", istorija vasiona može se trasirati do oko 10 do 15 milijardi godina unazad (tzv. Hablovo vreme), kada se sva materija koja je čini nalazila u stanju izuzetne gustine i temperature. U tim prvim trenucima materija predstavlja koktel svih elementarnih čestica sa zastupljenošću zavisnom od trenutne temperature. Tada se odigrava brza, takozvana primordijalna nukleosinteza, koja teče putem jakih interakcija, u kojoj se već praktično formira današnja zastupljenost vodonika i helijuma. Nestabilnost slobodnog neutrona i nepostojanje stabilnih jezgara sa pet nukleona ne dozvoljava formiranje težih jezgara tokom tog prvog sata od eksplozije, za vreme koga uopšte i postoje uslovi potrebni za nukleosintezu. Usled stalnog širenja iniciranog početnom eksplozijom prostora, materija takvog sastava sve se više hladi i otada se na nuklearnom planu globalno više nikad ništa i ne događa. Sledeći uslovi za nukleosintezu javljaju se znatno kasnije, lokalno, u gravitaciono kontrahovanim fluktuacijama gustine primordijalne materije, koje nazivamo zvezdama.

Teorija strukture i evolucije zvezda objašnjava sve faze u njenom životu; počev od gravitacionog sažimanja i odgovarajućeg zagrevanja mase hladnog gasa, preko stabilnog perioda u kome su gravitacioni pritisci kompenzovani generacijom energije u termonuklearnim reakcijama sinteze u njenom jezgri, pa do eventualne njene eksplozije kojom prilikom teži elementi sintetizovani u njenoj unutrašnjosti mogu da stignu u međuzvezdani prostor i posluže za formiranje takozvanih zvezda druge generacije obogaćenih težim elementima, kao i za izgradnju njihovih planetnih sistema. To što je izotopski sastav vasiona i danas blizak primordijalnom govori da je vasiona još uvek relativno mlada, i da proces zvezdane nukleosinteze nije stigao da taj sastav bitno promeni.

Pretpostavka da je naš Sunčev sistem nastao upravo od već ranije lokalno nuklearno procesirane materije pre oko četiri i po milijarde godina dovoljno je čvrsta (v. sledeći odeljak). Sunce je otada prošlo kroz brzu fazu gravitacione kontrakcije (oko 10 miliona godina) i stiglo do faze u kojoj u njegovoj unutrašnjosti spora fuzija vodonika u helijum, ovaj put preko slabih interakcija, obezbeđuje dovoljno energije da spreči dalje gravitaciono sažimanje i održi Sunce u stabilnom režimu koji bi, po vrlo dobro fundiranom tzv. Standardnom modelu Sunca (SSM), trebalo da potraje ukupno oko 10 milijardi godina.

Detalje takozvanog proton-proton ciklusa, koji čini osnovu stelarne nukleosinteze, u kome se 4 protona uz oslobađanje oko 27 MeV energije spajaju u jezgro helijuma-4, razradio je Hans Bete još 1939. godine. Pritom dva protona, uz emisiju po dva pozitrona i neutrina, preživljavaju β raspad i prelaze u neutrone. Direktna provera predloženog mehanizma, koja

indirektno predstavlja i jedinu raspoloživu proveru celokupne slike o nuklearnoj evoluciji materije, je međutim veoma teška. Fotoni koji se prilikom ovog procesa generišu (energije reda MeV) usled ogromnog broja elementarnih interakcija veoma sporo difunduju ka površini Sunca i tek kroz oko 10 miliona godina ga napuštaju kao fotoni vidljive svetlosti (energije reda eV) dajući ravnotežni spektar zračenja koji odgovara površinskoj temperaturi od oko 6000 K. Informacija o početnom spektralnom sastavu elektromagnetnog zračenja je na taj način potpuno izgubljena.

Za razliku od fotona, neutrina su slabo interagujuće čestice i centralnu oblast Sunca napuštaju za vreme reda sekunde, nepromenjenih karakteristika. Kada bismo Sunce posmatrali preko te vrste zračenja videli bismo ga znatno manjeg; neutrina se generišu samo u centralnom delu veličine desetog dela radijusa Sunca u kome je temperatura dovoljno visoka za održavanje fuzije; oko 10 miliona stepeni. Viša temperatura ubrzava fuziju pa neutrinski fluks služi i kao "Sunčev termometar". No, to što neutrino interaguje samo slabo, gotovo onemogućava njegovu registraciju (od 10 miliona neutrina sa celom Zemljom interaguju samo dva, što je sa druge strane srećna okolnost) pa i veliki, po SSM pretpostavljeni fluks neutrina na površini Zemlje od oko 10^{10} neutrina/cm²s, i u najvećim detektorima koji se uopšte mogu napraviti daje izuzetno mali broj interakcija.

Počev od šezdesetih godina pa do danas u svetu teče nekoliko grandioznih eksperimenata za detekciju solarnih neutrina, na čelu sa rodonačelnikom eksperimentalne neutrinske astrofizike, sada već legendarnim hlornim eksperimentom R. Dejvisa. Ogroman trud uložen u merenje ovog fluksa rezultirao je u poznatoj "zagonetki solarnih neutrina": činjenici da je mereni fluks nekoliko puta manji od onog predviđenog Standardnim modelom. Rezultati iz raznih eksperimenata nisu u potpunosti međusobno konzistentni ali svi statistički signifikantno podbacuju i najniža teorijska predviđanja (v. npr. Ref.2). Problem nedostajućih neutrina se alternativno može rešiti odgovarajućim modifikacijama standardnih znanja u sledećim oblastima:

a) Nuklearna fizika: Preseci za nuklearne reakcije ekstrapolirani ka niskim energijama su pogrešni. To bi bilo trivijalno i najbezbolnije rešenje, ali je kako se čini, malo verovatno.

b) Astrofizika: SSM zahteva modifikacije; izotopski sastav centra Sunca je drugačiji, centar brzo rotira, energije jezgara ne slede Maksvelovu raspodelu, centar Sunca pulsira, i.t.sl. Nijedna od ovih mogućnosti takođe ne izgleda verovatna.

v) Fizika elementarnih čestica: Nešto se ipak dešava sa neutrinima na putu do Zemlje. Ovo je po svemu sudeći najprimamljivija mogućnost i nju ćemo kasnije razmotriti malo detaljnije.

g) Najduhovitije je rešenje predložio korifej nuklearne astrofizike, V.Fauler. Moguće je naime, mada malo verovatno, da je Sunce već termonuklearno mrtvo - da mu život u stabilnoj fazi nije reda deset nego reda pet milijardi godina i da je baš sada, ili čak i nekoliko miliona godina unazad, fuzija u njegovom centru prestala da teče. Pošto bi se to na njegovu neutrinsku luminoznost odrazilo trenutno a na elektromagnetnu tek kroz nekoliko miliona godina, sada bismo imali situaciju koja bi ličila upravo na ovu koju i opserviramo.

Vratimo se sada razmatranju rešenja koga nudi fizika elementarnih čestica. Neutrino je lepton koji se javlja u tri stabilna oblika koja nazivamo elektronskim, mionskim i tauonskim (koji je detektovan tek ove godine). Standardni model elementarnih čestica pretpostavlja da su mase svih neutrina jednake nuli, što implicira da se oni ne mogu transformisati jedni u druga. Neutrino proizveden u centru Sunca krenuo je ka Zemlji kao elektronski, kao takav će na nju

stići, i u detektoru dati signal koji se od elektronskog neutrina i očekuje. Ako, međutim, mase neutrina nisu jednake nuli, o čemu danas posle izvanrednih eksperimenata sa detekcijom takozvanih atmosferskih neutrina ima ozbiljnih indicija³, tada prelaz jednog tipa neutrina u drugi postaje moguć - solarni neutrino tada na Zemlju može da stigne recimo kao mionski i da u detektoru ne proizvede očekivani signal. Promena jednog tipa neutrina u drugi mogla bi se desiti na putu od Sunca do Zemlje (tzv. vakuumske oscilacije) ali i na putu kroz samo Sunce (rezonantne oscilacije u materiji). Oba procesa bila bi tim verovatnija što bi razlika masa neutrina različitih tipova bila veća.

Usaglašeno rešenje svih ovih pitanja očekuje se od nekoliko velikih eksperimenata koji su u toku. Pored nekoliko fantastičnih eksperimenata za utvrđivanje postojanja neutrinjskih oscilacija sa snopovima veštački proizvedenih neutrina koji treba da budu detektovani posle puta od par stotina kilometara kroz Zemlju (v. npr. Ref.4), tu je i izvanredan neutrinjski detektor sa teškom vodom (Sudbury Neutrino Observatory), koji je jedini diferencijalno osetljiv na neutrina različitih tipova te potencijalno može da vidi čak i eventualno transformisana solarna neutrina⁵.

Na kraju je, kao detektor solarnih neutrina vrlo specifičnih karakteristika, zgodno pomenuti i izotop talijuma-205 (svojevremeno je veliki broj naučnika raznih profila iz naše zemlje uzeo učešća u ispitivanju mogućnosti ovog detektora kao i u pokušaju njegovog korišćenja⁶). Talijum-205 zahvatom neutrina prelazi u dugoživeći izotop olovo-205 po čijem se sadržaju u mineralima talijuma prema tome može odrediti srednji fluks neutrina kome su ovi bili izloženi tokom nekoliko zadnjih miliona godina. Stoga je to praktično jedini detektor koji može da testira gornju Faulerovu hipotezu. Ostaje da se vidi da li je to dovoljan motiv da se ovaj vrlo složeni eksperiment, čija je realizacija na rubu mogućnosti današnjih detekcionih tehnika, zaista i ostvari.

Bilo kako bilo sve ovo će imati sudbonosnih implikacija ne samo na fiziku elementarnih čestica nego i na našu sliku o poreklu energije zvezda a time i na sliku o poreklu hemijskih elemenata.

2. Nuklearni procesi i objektivno datiranje događaja iz prošlosti

Kao što smo već u uvodu napomenuli, praktična nezavisnost nuklearnih stanja od spoljašnjih uticaja omogućuje operacionu definiciju nuklearne skale vremena koja, zahvaljujući ogromnom rasponu poluživota stanja različitih jezgara, jednim ili drugim "nuklearnim satom" pokriva ceo interval vremena u kome materija postoji počev od trenutka velike eksplozije. Ovde je primereno podsetiti se da na jeziku kvantne teorije to znači da se na vremensku evoluciju funkcija stanja jezgara, odnosno na prirodne širine nuklearnih stanja, praktično ne može uticati i da je bez kvantne teorije ovu izvanrednu osobinu nuklearnih pojava nemoguće razumeti. Jedina mogućnost da se tokom vremena kalibracija nuklearne vremenske skale menja je spontana promena univerzalnih fizičkih konstanti. Tom važnom pitanju posvećeno je mnogo pažnje (v. npr. Ref.7) i mogući opsezi vremenskih varijacija konstanti toliko su suženi da se gotovo sa uverenošću može reći da su to zaista konstante u punom smislu reči. Ova nekorumpiranost nuklearnog datiranja je od prevashodnog značaja jer je većina vremenskih skala baziranih na drugim pojavama podložna i alternativnim, manje objektivnim interpretacijama.

Iako u konkretnoj realizaciji može biti jako složen, opšti princip korišćenja spontanog nuklearnog procesa u svojstvu nuklearnog sata je krajnje jednostavan: odnos količina radioaktivnog roditelja i potomka njegovog raspada je, po eksponencijalnom zakonu, do na statističke fluktuacije jednoznačna funkcija vremena proteklog od trenutka formiranja roditeljskog stanja, te služi kao mera tog vremena. Na taj se način, bar u principu, mogu datirati svi događaji u kojima su formirana nuklearna stanja čijem raspadu još uvek prisustvujemo. Takođe, odsustvo nuklearnog stanja datog života govori o donjoj granici intervala vremena koje je moralo proteći od vremena njegovog formiranja.

Već samo poznavanje izotopskog sastava materije na Zemlji⁸ mnogo govori ne samo o načinu na koji je ta materija nastala već i o vremenu kada je nastala. To što na Zemlji postoje samo stabilni i veoma dugoživeći izotopi, a što onih sa već malo kraćim životima, od desetak miliona godina i kraćim, nema (iako bi sledeći univerzalnu krivu izotopske obilnosti mnogi od njih trebalo da budu u trenutku stvaranja i znatno obilniji od onih dugoživećih kojih još uvek ima) definitivno smešta trenutak formiranja ovakvog izotopskog sastava u period od pre nekoliko milijardi godina.

Egzaktni metodi datiranja, zasnovani na postojanju kalijuma-40, rubidijuma-87, renijuma-187, torijuma-232, urana-235 i 238 i plutonijuma-244, doveli su do usaglašenog skupa podataka o vremenu nastajanja samih izotopa (nuklearna kosmohronologija) i o vremenu nastajanja njihovih agregacija u vaskolikoj, direktnom kontaktu nam dostupnoj materiji: za sada na Zemlji (nuklearna geohronologija), i u materijalima meteorita i Meseca. Svi ovi podaci konzistentno govore da je izotopski materijal nuklearno formiran pre više od 4.5 milijardi godina a da su njegove prve agregacije formirane ili već u to doba ili kasnije.

Nemajući prostora za detaljnije komentare osvrnućemo se u najkraćem na zanimljiv i još uvek živ problem renijuma-187. Ovaj izotop, koji se sa ogromnim poluživotom od 42 milijarde godina beta raspadom transformiše u stabilni osmijum-187, potencijalno predstavlja najpogodniji kosmohronološki časovnik. Rezon je, pojednostavljeno, sledeći. Renijum-187 formira se samo u takozvanim brzim procesima sinteze u eksplozivnim fazama vrlo masivnih zvezda i, ako se oduzmu drugi mogući načini nastanka potomka, njihov trenutni odnos zavisi samo od vremena u kome je roditelj nastao, te može da služi za njegovo određivanje. To vreme istovremeno predstavlja i minimalni vek vasioner jer ni renijum, kao ni išta drugo, nije mogao nastati pre svega ostalog. Realizacija ovog složenog postupka datiranja dovela je do zaključka da je renijum sa kojim imamo posla na našem lokalitetu formiran pre oko 11 milijardi godina. Taj se rezultat zadovoljavajuće slaže sa Hablovim vremenom za starost šireće vasioner a govori da je naš renijum zaista nastao u neko daleko pre-solarno vreme. Budući da se vreme prolaza zvezde kroz sve njene evolucione faze, od kontrakcije do eksplozije, jako skraćuje sa povećanjem mase zvezde, izlazi da je sasvim moguće da je renijum, pre nego što je stigao do lokaliteta našeg budućeg sunčevog sistema, prošao kroz niz "astralnih ciklusa".

No ni to ništa ne bi smetalo logici cele metodologije da slučaj raspada renijuma ne spada u mali broj izuzetaka od bitnog pravila da se na tempo spontanog nuklearnog procesa ne može uticati. Ispostavlja se, naime, da se uklanjanjem atomskih elektrona renijumu omogućava retka vrsta takozvanog beta raspada u vezana stanja, što mu, ako je potpuno jonizovan, skraćuje poluživot na neverovatne 33 godine⁹. Pošto se sinteza renijuma odigrava na ekstremnim temperaturama, na kojima je stepen jonizacije vrlo visok, to je detaljan uticaj ove pojave na odnos renijuma i osmijuma teško predvidiv. Problem ovog važnog kosmološkog časovnika na taj način još uvek nije zadovoljavajuće rešen.

Sledeći kuriozitet koga ćemo u ovom kontekstu pomenuti je fenomen takozvanog prirodnog nuklearnog reaktora. Pre tridesetak godina je po poremećenom izotopskom odnosu izotopa urana koji je dolazio iz rudnika u Gabonu zaključeno da je na tom mestu spontano tekla spora lančana reakcija fisije urana-235. Pošto nam je funkcionisanje takvih veštačkih uređaja izvanredno dobro poznato sledilo je da se slična stvar ovde mogla spontano da događa pre oko 2 milijarde godina, kada je izotopa urana-235 bilo oko 3% umesto sadašnjih 0.7% i kada je kao moderator neutrona zadovoljavajuće mogla da posluži obična voda (što danas u prirodnim ležištima urana nije slučaj). Ova pojava je dakle, potpuno nezavisno od ostalih nuklearnih satova, potvrdila da su mineralizacije na Zemlji stare bar dve milijarde godina. Ovim završavamo naš kratki pregled metoda i rezultata nuklearne hronologije.

3. Nuklearni procesi u istoriji Zemlje

Činjenica da je Zemlja geološki izdiferencirana na različite slojeve, kao i da je materija koja čini njen površinski sloj elementalno nehomogena, govori da je ona nekada cela morala biti u rastopljenom stanju, koje dozvoljava migraciju materijala. Na osnovu poznatih toplotnih provodljivosti materijala sledi da je vreme potrebno da se Zemljina kora od rastopljenog stanja ohladi do današnje temperature, ne duže od nekoliko desetina miliona godina. To je vreme za ogroman faktor reda sto kraće od egzaktno datiranih vremena mineralizacija pomenutih u prošlom odeljku, što sugerira da mora postojati neki stalni unutrašnji izvor toplote koji drastično usporava ovo hlađenje. To je, kako se ispostavlja, prirodna radioaktivnost materijala zemljine kore. Količina toplote koja je generisana u radioaktivnim raspadima izotopa urana, torijuma (i produkata njihovog raspada) kao i kalijuma, iznosi oko 5×10^{20} kalorija godišnje, dok gubitak toplote cele Zemlje za godinu dana iznosi oko 2×10^{20} kalorija i to, bar kvalitativno, predstavlja rešenje gornjeg problema. Da li je uloga ove radioaktivne toplote pre 4.5 milijardi godina (kada je ona uostalom bila za do deset puta veća no danas) bila presudna i za samo topljenje Zemlje, još nije sasvim jasno.

4. Nuklearni procesi i evolucija života

Nuklearni procesi, koji izmiču svim čulnim percepcijama, izgledaju slabo korelirani sa fenomenom života. Dva donja primera razuveravaju nas u tome.

4.1. Brze statističke mutacije i prirodna selekcija

Herman J. Miler 1926. godine po prvi put pokazuje da intenzivno X zračenje drastično pospešuje brzinu mutacija živih organizama (Nobelova nagrada 1946.), što se otada naveliko primenjuje u agronomiji (v. npr. Ref.10). Budući da je ovo posledica slučajnih interakcija sa hromozomima, rezultati tako indukovanih mutacija su nepredvidivi i najveći broj mutanata je iz nekog razloga neuspešan, odnosno neprilagođen trenutnim uslovima. Zbog toga se ovo ne izvodi na višim životinjama. Na osnovu ovih iskustava, međutim, shvatili smo da je prirodna radioaktivnost, naročito u vreme kada se život stvarao i kada je i ona bila znatno intenzivnija nego danas, morala igrati važnu ulogu kao akcelerator u inače veoma sporom procesu spontane i principijelno statističke evolucije života. Sve dileme koje nás ograničavaju u takvim pregnućima, u prirodi ne postoje - putem onoga što zovemo prirodnom selekcijom

priroda sama odbacuje rezultate svojih neuspelih eksperimenata, ne vodeći pritom računa o moralnoj strani problema.

4.2. Stereohemijska asimetrija života

Optički aktivne sredine su one koje ravan linearno polarisane svetlosti rotiraju za ugao proporcionalan dužini puta pređenog u sredini. Sredine koje ovu ravan rotiraju na levo, odnosno na desno, zovu se levim (L) odnosno desnim (D). Molekuli L sredina po prostornoj strukturi ogledalske su slike molekula D sredina. Podjednake smeše L i D jedinjenja optički su neaktivne i zovemo ih racematima. Ispostavlja se da je većina organskih jedinjenja ekstrahovanih iz živih organizama tog tipa. Izuzetak čine amino-kiseline koje grade proteine i koje su isključivo L tipa (jedno od mnogih otkrića Luja Pastera). Na osnovu svojih eksperimentalnih nalaza U. Boner 1974. godine¹¹ sugerira da je moguće da je ova do tada potpuno neobjašnjiva asimetrija u prirodi povezana sa drugom fundamentalnom asimetrijom, uzrokovanom neodržanjem parnosti u slabim interakcijama, zahvaljujući kojoj su elektroni emitovani u β^- raspadu, kao i njihovo zakočno zračenje, uvek isključivo levo polarisani. Kada se, naime, intenzivnim β zračenjem ozrači racematska smeša amino-kiselina (kakva su inače sva veštački sintetisana jedinjenja) ispostavlja se da se preferentno uništava D komponenta i da se javlja blaga prevaga L komponente. Po tome, asimetrija osnovnih elemenata života može biti uzrokovana detaljnim osobinama prirodne radioaktivnosti okoline u vreme kada se život stvarao; L jedinjenja bila su bolje prilagođena okolini i prevladala su u borbi za opstanak (važno je reći da u prirodnoj radioaktivnosti nema pozitronskih emitera, koji bi inače mogli da indukuju suprotan efekat). (Nedavno se pojavila sugestija da je sličan efekat mogla na materiju u epohi nastajanja života da izvrši i cirkularno polarisana svetlost koja se obilato emituje iz oblasti gde se formiraju zvezde, i u kojoj se, po pretpostavci, kupala i mlada Zemlja¹².)

Zanimljivo je napomenuti da po smrti jedinke počinje racematizacija njenih amino-kiselina, sa poluživotom tog procesa od oko 60 miliona godina, što predstavlja osnovu objektivnog metoda datiranja trenutka smrti nekada žive materije do u prošlost mnogo davniju no što to omogućava recimo metod ugljenika-14.

5. Evolucija uma i nuklearni procesi

Evolucija života na Zemlji danas primetno teče praktično samo kroz brzu evoluciju ljudskog uma i njegovog uticaja na prirodu, dok su svi ostali evolucionarni procesi daleko, daleko sporiji. Kakva je uloga, ovaj put ne samih nuklearnih procesa, već naših znanja o njima (koja su, uzgred, najvećim delom nužno zasnovana na kvantnoj teoriji), na buduću evoluciju materije?

5.1. Kraj života na Zemlji?

Ovom naslovu teško da je potreban veliki komentar. Očigledno je da se znanja o nuklearnim pojavama koriste u evoluciji principijelno isto kao i sva druga znanja. Ono što ih razlikuje je mogući intenzitet tog uticaja, što bi trebalo da izaziva i odgovarajuće jače povratne sprege u njegovoj kontroli. No, fiziološko pamćenje o dosadašnjoj evoluciji uči nas da to ne mora da bude tako. Jednostavno, jedan mogući evolucionarni pravac, indukovano našim poznavanjem nuklearnih pojava, može vrlo ubrzano da dovede do pojave uslova na Zemlji koji više ne bi

pogodovali postojanju i daljoj evoluciji materije u formi koju nazivamo živom. Drugi mogući evolucionarni pravac pokušaćemo da analiziramo u sledećem odeljku.

5.2. Energetika u krupnoj skali

Verovatno najopštija definicija goriva je da je to materija koja zbog okruženja u kome se nalazi nije uspela da stigne do stanja minimalne potencijalne energije te čovek, izborom i ponudom pogodnog okruženja, treba da joj to omogući. Kada su jezgra u pitanju, put ka konfiguraciji jezgra gvožđa sa strane lakih, u odnosu na put sa strane teških jezgara, globalno gledano, obećava neizmerno više. Vodonični sastav vasiona o tome najbolje govori. Dosadašnji efekti čovekovog delovanja na tom planu su, iako se po neprirodnom postojanju mnogih izotopa na Zemlji već nedvosmisleno nalaze dugotrajni dokazi o čovekovim intervencijama na nuklearnoj materiji, u krupnoj skali potpuno zanemarljivi. Može se međutim pretpostaviti da će dalja evolucija u tom smeru takvo stanje bitno da promeni i da će delovanje nekog budućeg čoveka biti čak i presudno za dalju promenu izotopskog sastava vasiona, i da će energija oslobođena na takav način poslužiti za odlaganje smrti materije u stanjima iz kojih ne može sama da nastavi evoluciju. U takvoj delatnosti žive materije možda leži i ultimativni "smisao" evolucije materije u takvu formu njene organizacije.

Zaključak

Pokušali smo da u najkraćim crtama prikažemo one elemente priče o evoluciji materije koje zavise od osobina atomskih jezgara, kao i od naših znanja o tim osobinama. Takođe smo pokušali da demonstriramo na čemu se krepki naša vera da će naši potomci kroz nekoliko miliona godina uspeti da sastave kompletnu fizičku sliku o evoluciji materije i da na osnovu nje aktivno i ciljano na nju i utiču, sa nadom da će na naše pionirske korake na ovom putu bogova gledati sa simpatijama, a možda i sa zahvalnošću.

Reference:

1. C.E.Rolfs and N.J.S.Rodney: "Cauldrons in the Cosmos", Univ. of Chicago Press, Chicago 1988
2. Eur.Phys.J. **C15**, 366 (2000) i <http://pdg.lbl.gov>
3. Eur.Phys.J. **C15**, 344 (2000)
4. "The CERN Neutrino Beam to Gran Sasso", CERN 98-02, Geneva 1998
5. Nuclear Physics News, No.2, 21 (2000).
6. Proc. Int. Conf. on Solar Neutrino Detection with 205-Tl, Nucl. Instr. and Meth. **A271**, 237 (1988), Eds. E.Nolte and M.K.Pavićević
7. F.Reines, Ed.: "Cosmology, Fusion & Other Matters", Hilger, London 1972
8. <http://njinj.dne.bnl.gov/CoN/index.html>
9. GSI-Nachrichten No.2, 10 (1997)
10. G.T.Seaborg and N.J.R.Corriss: "Man and Atom", Dutton, New York 1971
11. T.Ulbricht, New Scientist, 28.aug., 479 (1975)
12. K.Soai et.al., J.Am.Chem.Soc. **120**, 12157 (1998)