

Zoran P. Perišić
(Matematički Institut SANU)

NAUČNO ZASNOVANO DATIRANJE U ARHEOLOGIJI

Prikazuju se najčešće metode savremene fizike koje se koriste za datiranje u arheologiji.

Ključne reči: datiranje, ugljenik, izotopi

Klasična arheologija nije nauka koja se bitno izmenila pod uticajem fizike i drugih egzaktnih nauka i njihovih metoda i tehnika. Zato su fizičari i drugi "prirodnjaci" koji su se bavili arheologijom nekako bili u senci i nije ih ni bilo mnogo. Arheometrija, koja označava jedan aspekt egzaktno fundiranu arheologiju, stoga i nema svojih Ajnštajna, Hajzenberga, OTR ili kvantnu mehaniku a jedino veliko dostignuće je Nobelova nagrada za fiziku 1960. godine Frenku Vilardu Libiju za razvoj metode određivanja starosti na osnovu radioaktivnog raspada Ugljenika ^{14}C . Moglo bi se, ipak, reći da šezdesete godine XX veka predstavljaju značajnu fazu u razvoju arheologije. Do tada, datiranje, sastav materijala i niz drugih parametara su zavisili od subjektivnih faktora, posebno u odnosu na način kako su izvođeni određeni zaključci. Ta prva i najznačajnija promena koja je osavremenila arheologiju, potiče od uvođenja tzv radiokarbonske metode (Ugljenik ^{14}C) za egzaktno određivanje starosti. Sledeća, kao posledica prvog, u žižu stavlja način na koji arheolozi i naučnici srodnih disciplina preciznije objašnjavaju raspoložive dokaze i činjenice-prostije rečeno-arheološki protokol. Jer, samô otkriće radiokarbonskog datiranja je omogućilo arheolozima izuzetno brzo i efikasno utvrđivanje datuma i na taj način-rasteretilo ih dosta kompleksnog ukrštanja raznih metoda i tehnika, čime su se pre toga služili kod određivanja starosti-datiranja. Istovremeno, došlo se i do toga da utvrđivanje starosti nalaza više ne bude jedan od ključnih krajnjih proizvoda arheoloških istraživanja.

Ugljenik (oznaka C, odakle i pomenuti, širom korišćen naziv karbon) koji se nalazi u osnovi sveg živog u prirodi, se, kao i niz drugih elemenata javlja u nekoliko izotopskih stanja, kao ^{12}C , ^{13}C i ^{14}C . S obzirom da je ugljenik na mestu broj 12 Mendeljejevljevog sistema, što znači da pored 6 protona u jezgru i protiv-naboja od 6 elektrona, ima 6, 7 i u poslednjem slučaju, čak 8 neutrona, što dovodi do nestabilnosti sistema. ^{12}C je najstabilniji i čini 98,9%, ^{13}C oko 1,1%, a učešće ^{14}C je izražen u piko vrednostima (jedan u hiljadu milijardi). Radioaktivni raspad, usled nestabilnosti izotopa je konstantan, logaritamske zavisnosti, a spoljni faktori, kao što su: klima, temperatura, geografski položaj, nemaju nikakav uticaj. Vreme poluraspada, $t_{1/2} = \Lambda \log N / N_0$, gde je Λ konstanta radioaktivnog raspada, a N broj nukleida, tako da se smatra da je metoda ^{14}C apsolutno sigurna u postupku datiranja. Vreme poluraspada, jeste vreme za koje se raspadne polovina atoma radioaktivnog izotopa i ono za ugljenikov izotop ^{14}C iznosi

5.730 godina. Treba reći da ima izotopa koji "žive" mnogo duže (milijarde godina) ali i onih koji "traju" svega nekoliko milionitih delova sekunde.

Za arheologiju u celini, vreme poluraspada ^{14}C je relativno kratko, jer ima mnogo nalazišta čija starost prevazilazi 50 hiljada godina, pa se pribeglo iznalaženju drugih metoda baziranih na različitim fizičko-hemijskim osnovama.

Taj problem znatno starijih ostataka je rešen kada se ispostavilo da se argon ^{40}Ar , kao produkt radioaktivnog raspada kalijuma ^{40}K , akumulira u vulkanskim mineralima. Kad vulkan izbacila lavu, argon unutar nje se oslobađa u vazduh, ali kalijum ostaje, a pošto je on smeša stabilnog K i nestabilnog izotopa ^{40}K , ovaj drugi kreće da se raspada i počinje da se akumulira gas ^{40}Ar , koji ima vreme poluraspada oko 4.1 milijarde godina, što je povoljno za određivanje starosti uzoraka iz daleke prošlosti. Međutim, između gornje granice primene ^{14}C i donje granice korišćenja ^{40}Ar postoji jedan procep od oko pola miliona godina, koji je do skora bio nedovoljno dostupan istraživačima.

Na sreću, u poslednjim decenijama je razvijen niz novih metoda koje premošćavaju ovaj problem. Ove nove metode, kojima se meri tzv. radioaktivno oštećenje ili efekat zračenja jesu termoluminiscencija (TL), optički stimulisana termoluminiscencija (OSL) i elektron-spin rezonancija (ESR). Termoluminiscenciju je primetio još u XXVII veku poznati hemičar Robert Bojl, a ona kao i OSL, meri količinu fotona (čitaj: svetlosti), koja se emituje kada se elektroni oslobode iz "trapa", gde su "zarobljeni" unutar kristalne rešetke feldspata ili kvarca. Kod TL se oslobađaju fotoni (uzorak zasvetli kada se materijal zagreva, a kod OSL ako se kristal izloži dejstvu infracrvene ili ultraljubičaste "svetlosti". Meri se ukupna oslobođena energija naspram temperature i dobija se tzv. svetleća kriva. Fizičko objašnjenje je pomalo komplikovano za običnog čitaoca ali je bitno da merenja pokazuju da je u intervalu od oko 500 hiljada godina, do saturacije, odnos radijacione doze i ukupne termoluminiscencije linearan, što je veoma pogodno za raznovrsna ispitivanja i poređenja. Tačnost metode je visoka, oko 10%. Zajedničko, za TL i OSL je da se sat nulira (resetuje) kada se uzorak zagreva, a startuje kada se hladi, jer tada počinje emisija. Keramika, koja je grejana prilikom spravljanja dobro se meri pomoću obe metode. Nevolja je jedino ako je uzorak duže vremena boravio na sunčevoj svetlosti jer se tada sat prirodno resetuje.

Elektron-spin rezonancija (ESR) meri tzv. zarobljene elektrone u šupljinama kristalne rešetke i što je duže kristal ozračen to se više šupljina popunjava. Kristalna rešetka u prirodi je često nepravilna, s manje ili više defekata, šupljina (na tom fenomenu je zasnovana poluprovodljivost n/p tipa). Razrada eksperimentalnih podataka uz odgovarajuću kalibraciju, ne samo da može da otkrije broj zarobljenih elektrona (broj popunjenih šupljina) već se može odrediti i o kojim se atomima radi.

Jedna od najnovijih metoda, atomska masena spektroskopija (AMS) je takođe bazirana na fizičkim fenomenima i razvijena je sedamdesetih godina prošlog veka. Kao i svaka druga masena spektroskopija koristi električno ili magnetno polje da bi izdvojila i identifikovala jone prema odnosu njihovog naboja prema masi. Za to najčešće služi Van de Grafov akcelerator čestica (energije od 2–10 MeV) a radi tako da izdvoji atome ugljenika od drugih atoma s kojima je ovaj vezan (najčešće s vodonikom). AMS je zadivljujuće osetljiva tehnika. Postojeći AMS uređaji mogu otkriti (detektovati) jedan ^{14}C nuklid među milion milijardi običnih, ^{12}C suseda. Ova izuzetna osetljivost omogućava rad s mikrogramskim uzorkom za precizno određivanje starosti – kao što je na primer vlas kose. Tako mali uzorak je inače nezamisliv kod klasičnih radiokarbonskih i drugih pobrojanih metoda i tehnika, jer se ove baziraju na detektovanju

dovoljno beta-čestica (čitaj: elektrona) da bi se sa zadovoljavajućom tačnošću odredio obim radiaktivnog raspada.

Navedena osobina AMS, da se datiranje može vršiti s veoma malim uzorkom, bila je odlučujuća kod provjere starosti tzv. Torinskog pokrova, za koji se smatralo da potiče s Hristovog groba. Ranije se, zbog važnosti i delikatnosti materijala nije mogao uzeti pogodan uzorak za klasičnu radiokarbonsku analizu. Zbog osobitog značaja za Katoličku crkvu, tek je 1989. godine Crkva odobrila uzimanje uzoraka, koji su poslani u sedam prestižnih svjetskih AMS laboratorija. Rezultati ispitivanja su pokazali da se radi o materijalu iz Srednjeg veka, negde oko 1300. godine. AMS je znatno pomogla kod datiranja predmeta, oruđa nađenih kod tzv. Ocija, ledenog čoveka s Alpa, za koga se prvobitno mislilo da je iz Bronzanog doba, a metodom AMS je utvrđeno da se radi o periodu ranog Neolita (3320–3200 godina p.n.e.), a ne oko 1800. p.n.e. kako se na početku verovalo. Uz to, za ispitivanje sečiva Ocijeve sekire je korišćena metoda fluorescencije X-zraka da bi se zaključilo da je napravljena od bakra, a ne od bronz.

U ovom tekstu je pomenut samo jedan deo doprinosa fizičkih nauka i metoda baziranih na njima koje se u poslednjim decenijama razvijaju, u cilju što preciznijeg datiranja. Najnovije su metode elektronske, optičke i infracrvene spektroskopije, nuklearne magnetne rezonancije (NMR) i scanning tunneling mikroskopije (STM). Korišćenje fizike i drugih srodnih egzotičnih nauka u arheologiji je čvrsto uspostavljeno i sve više se potvrđuje i proširuje, a fizika i srodne nauke daju sve više odgovora na brojna otvorena pitanja arheologije.

Literatura

1. Ezran G. Garrison, *Physics and Archaeology*, Physic today, Oct. 2001.
2. C. Reufrew, P. Baln, *Archaeology*, 3-rd edition, 2000, Thames and Hudson

SCIENCE BASED DATING IN ARCHAEOLOGY

A brief survey of mostly common used methods of dating in archaeology – based on physics and related sciences. Mainly, because of the influence they made on rapid development of archaeology during the last few decades of XX century, especially after Libby's discovery of radiocarbon ^{14}C dating technique (Nobel prize in 1960). In recent years, at many institutions around the world, archaeometrists are being trained at both the master's and doctoral levels, to trace some new ways of answering the questions of the past.

Key words: dating, carbon, isotops