

UDK: 070(497.5)''1911/1945''
539.16:070

Izvorni znanstveni rad

Primljeno: 21. 8. 2023.

Prihvaćeno: 27. 11. 2023.

DOI: <https://doi.org/10.22586/csp.v55i3.27384>

Ostvarenje sna alkemičara kao neizmjereno blago i prijetnja cijelom planetu: Radioaktivnost i nuklearna energija u časopisu *Priroda* 1911. – 1945.

TIHOMIR VUKELJA

Zavod za teorijsku fiziku kondenzirane tvari, Prirodoslovno-matematički

fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zagreb, Hrvatska

tvukelja@phy.hr

TINO DVORŽAK

Zagreb, Hrvatska

dtino137@gmail.com

Tijekom prve polovine XX. stoljeća, kad su radioaktivni elementi razbuknuli maštu javnosti, časopis *Priroda* bio je u Hrvatskoj jedini stalno otvoreni kanal komunikacije prirodoslovaca i šire zajednice. U članku se analiziraju poruke o radioaktivnim elementima i njihovu potencijalu koje su prirodoslovci preko toga kanala upućivali javnosti. Analiza pokazuje da je *Priroda* ponudila cjelovitu i uravnoteženu sliku, u glavnini korektnu te onoliko aktualnu i potpunu koliko se može zahtijevati od popularnoga časopisa.

Ključne riječi: radij; radioaktivnost; ionizirajuće zračenje; nuklearna energija; časopis *Priroda*

Uvod

Istraživanje djelovanja zračenja radioaktivnih elemenata na živa bića počelo je 1900.,¹ četiri godine nakon što je A. H. Becquerel u pokusima s uranijem otkrio radioaktivnost i dvije godine nakon što su Pierre i Maria Curie otkrili radij, element tri milijuna puta radioaktivniji od uranija.² U hrvatskoj medicinskoj periodici prvi izvještaj o rezultatima toga istraživanja nalazimo

¹ PAIS, *Inward Bound*, 99-100.

² FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 1-13.

1903.,³ a iste je godine objavljena knjiga O. Kučere *Valovi i zrake*, u kojoj autor izlaže dotadašnje znanje o radioaktivnosti.⁴ Zapažanje da zračenje koje odašilju radioaktivni materijali razara tkiva potaknulo je istraživanje njegova utjecaja na maligne stanice, pa je već 1903. počelo eksperimentalno liječenje karcinoma izlaganjem radiju,⁵ a tisak je brzo pronio glas o prvim uspjesima.⁶ U zagrebačkom listu *Dom i svijet*, primjerice, 1904. objavljen je sljedeći tekst: „Rak-rana izlječiva. U posljednjoj sjednici bečkog liečničkog društva predstavio je dr. A. Exner jedan slučaj, u kom je uspjelo rak-ranu izliečiti pomoću trakova radija. Radilo se o slučaju bolesti sluznice lica. Jer se na operaciju nije pristalo, pokušalo se liječenje trakovi radija. Pošto se uplivom postupka oteklina smanjila, nastavila se energična uporaba trakova, i to takvim uspjehom, da je za sada rak-rana posve iščezla.”⁷ Vijesti da se radij pokazuje djelotvornim u borbi protiv te opake bolesti razbuktale su maštu javnosti, u kojoj se novotkriveni element brzo prometao od možebitnoga lijeka za rak u panaceju i predmet opće pomame.⁸ Za dojam o glasovima koji su tada kolali svijetom dodajmo da je *Dom i svijet* prenio vijesti o uspješnom liječenju sljepila i bjesnoće pomoću radija.⁹ No razaranje tkiva tek je jedno očitovanje energije zračenja radija. Od otkrića radija bilo je jasno da su radioaktivni elementi obilan izvor energije, izvor mnogo izdašniji od bilo koje poznate kemijske reakcije, pa se počelo maštati o širem korištenju te energije, danas općepoznate kao „nuklearna energija”. Tako se u američkim novinama moglo pročitati da bi „nekoliko zrnaca [radija, op. a.] moglo osigurati energiju za pokretanje naših lokomotiva, automobila te mehaničkih strojeva i kola svake vrste”, kuće bi se grijale „neznatnom količinom toga elementa”, a „kuhalo bi se na radij-štednjacima”.¹⁰ Nije, naravno, bilo teško protegnuti maštu na drugi kraj spektra: „Moguće je čak da se izumi naprava koja bi na pritisak puceta digla u zrak cijelu Zemlju i izazvala kraj svijeta.”¹¹

Nade koje su pobudila medicinska istraživanja, a krijepili oglasi poduzetnih proizvođača lijekova i kozmetike, usmjerile su pozornost javnosti na radij te se zanimanje za novi element proširilo društvom daleko onkraj znanstvenih krugova. Bjelodano je da pozornost javnosti nije privukla znanstvena vrijednost radioaktivnosti – posljedice koje objašnjenje te pojave ima za razumijevanje tjelesne stvarnosti – nego mogućnosti praktične primjene. Isto je tako bjelodano da put kojim je radioaktivnost dospjela u vidokrug javnosti

³ „16. veljače 1903. Danysz. Pathogeno djelovanje od radija proizlazećih zraka”, 312.

⁴ KUČERA, *Valovi i zrake*, 359-373. Za neke epizode iz rane povijesti upoznavanja radioaktivnosti u Hrvatskoj vidi: HANŽEK, FRANIĆ, BRANICA, „Znameniti radiofizičari i radiokemičari u Hrvatskoj do 1945.”, 279-290.

⁵ PRESTON, *Before the Fall-Out*, 45.

⁶ KERSTEN, „These Rays May Be Helpful or Harmful”, 84.

⁷ „Rak-rana izlječiva”, *Dom i svijet* (Zagreb), 15. 6. 1904., 239.

⁸ MALLEY, *Radioactivity*, 151-152.

⁹ „Sljepoća izliečiva”, *Dom i svijet*, 1. 9. 1903., 339; „Radium i bjesnilo”, *Dom i svijet*, 1. 7. 1905., 259.

¹⁰ KERSTEN, „These Rays May Be Helpful or Harmful”, 84.

¹¹ PAIS, *Inward Bound*, 35.

nije utabalo samo prirodoslovlje nego i čimbenici poput medicine, industrije i politike. No upravo zato što su različiti čimbenici oblikovali stav javnosti o radioaktivnim elementima, o čijoj su znanstvenoj vrijednosti mjerodavan sud mogli dati jedino prirodoslovci, zanimljivo je razmotriti kakve je poruke u tim okolnostima javnosti upućivala prirodoslovna zajednica. U ovom ćemo radu u tu svrhu analizirati poruke o radioaktivnim elementima sadržane u tekstovima objavljenim u *Prirodi* – časopisu za popularizaciju prirodoslovlja koji je objavljivalo Hrvatsko prirodoslovno društvo – u razdoblju od početka izlaženja časopisa do kraja 1945., godine u kojoj je javnost postala svjesna nuklearnoga oružja.

Hrvatsko prirodoslovno društvo počelo je objavljivati *Prirodu* 1911. kao „popularno naučni prilog” svojem znanstvenom časopisu *Glasnik HPD. Priroda* je kao prilog *Glasniku* tiskana četiri puta godišnje, a od 1915. izlazila je kao samostalni „popularni časopis Hrvatskoga prirodoslovnoga društva” u deset brojeva godišnje. U tom je obliku, s promjenjivim formatom i brojem stranica, izlazila neprekidno više od jednoga stoljeća. Prvih je godina naklada bila skromnih 300 primjeraka,¹² a od 1915. brzo je rasla te je u međuratnom razdoblju dosegula 8000 primjeraka.¹³ U prvoj polovini XX. stoljeća *Priroda* je bila jedini časopis za populariziranje prirodoslovlja u Hrvatskoj, štoviše, uz iznimku povremenih javnih predavanja i objavljivanja znanstveno-popularnih knjiga, jedino sredstvo populariziranja prirodoslovlja, jedini neprekidno otvoren kanal komunikacije domaće prirodoslovne zajednice i zainteresirane javnosti. U nastavku ćemo razmotriti kakvi su se stavovi prirodoslovaca o praktičnoj i znanstvenoj vrijednosti radioaktivnih elemenata zrcalili u tekstovima objavljenim u *Prirodi* tijekom tih 35 godina.

„Neizmjereno blago, koje će usrećiti svijet”

Prvi članak o radioaktivnosti u *Prirodi* je objavio Milutin Urbani 1912.¹⁴ Urbani u duhu vremena ushićeno prikazuje radij kao neupitnu blagodat za čovječanstvo: to je „čudotvorni element”, „kamen mudraca”, „pravi ‘elixir vitae’”, za kojim „čovjek posize [...] da mu povрати zdravlje i produlji život”; radiju su posvećeni „moderni hramovi znanosti”, koji „nose natpis ‘Radium Institut’”: „Najučeniji ljudi posvećuju radiju [...] cijeli svoj život.” Radij je, ukratko, „neizmjereno blago, koje će usrećiti svijet”. Urbani metaforično rabi alkemijsko nazivlje da čitatelju uputi nedvosmislenu poruku o velikoj znanstvenoj i praktičnoj vrijednosti radija, a kao znak općega prepoznavanja tih vrijednosti navodi osnivanje posebnih istraživačkih ustanova.

¹² FINK, „Urednik ‘Prirode’”, 259.

¹³ „Deset godina rada Hrvatskog prirodoslovnog društva”, 165.

¹⁴ URBANI, „O radiju”, 109. Milutin Urbani (Varaždin, 1876. – Zagreb, 1955.), studirao kemiju u Zagrebu i Beču, profesor na Gospodarskom učilištu u Križevcima te Trgovačkoj akademiji i u III. realnoj gimnaziji u Zagrebu.

U Urbanijevim riječima prepleću se dvije blisko povezane, ali različite teme. Jedna je znanstveni i praktični potencijal radioaktivnih elemenata, a u poglavlju koja slijede razmotrit ćemo kakav su konkretan lik te vrijednosti dobile kroz tekstove objavljene u *Prirodi*. No za razumijevanje poruka o znanstvenoj i praktičnoj vrijednosti radioaktivnosti valja poznavati zajednički izvor tih vrijednosti, a to je narav zračenja koje odašilju radioaktivni elementi. Stoga ćemo u nastavku ovoga poglavlja ocrtati predodžbu toga zračenja ponuđenu onodobnim čitateljima *Prirode*. Druga od tih tema je pak okolnost koja je početkom XX. stoljeća usporavala aktualiziranje znanstvenoga i praktičnoga potencijala radioaktivnih elemenata: osnivanje specijaliziranih ustanova, „Radium Instituta”, nije bilo potaknuto tek praktičnom i znanstvenom vrijednošću radija nego i njegovom trgovačkom vrijednošću.

„Najskuplja stvar na svijetu”

Početak 1914. autor potpisan s „Dr. Č.” piše u *Prirodi* da „na svem svijetu ne imade nego 12 grama radija i [...] gram stoji 500.000 franaka”.¹⁵ Do 1914. cijena radija dosegla je 120.000 USD za gram,¹⁶ što po današnjoj vrijednosti premašuje 3.000.000 USD.¹⁷ Stoga se 1917. u *Prirodi* s pravom kaže da je radij „najskuplja stvar na svijetu”: „Preparat, koji sadržava miligram radijeve soli [...] stajao je prije rata oko 400 K, dok 1 mg zlata ne stoji ni pol filira.”¹⁸ Potražnja za radijem vrtoglavo je rasla, a proizvodnja je bila mukotrpan industrijski pothvat jer je za dobivanje 1 grama radija trebalo preraditi do 400 tona rudače.¹⁹ Stoga je cijena radija dosegla nebeske visine. Ta skupoća bila je glavni razlog osnivanja „Radium Instituta”: vlade i bogati pojedinci donacijama za utemeljenje specijaliziranih ustanova potpomagali su znanstveno istraživanje radioaktivnosti.²⁰

Cijena radija nipošto nije bila tek bizarna činjenica, bolna za znanstvenike, ali nebitna za opću populaciju. Naime, glavnina potražnje nije dolazila od znanstvenih ustanova, već od bolnica. Prema procjeni koju 1933. nalazimo u *Prirodi*, od ukupne količine radija „služi po prilici 85% u medicinske svrhe”, a „5% za fizikalno-kemijska istraživanja”.²¹ Radij se počeo rabiti za liječenje, čitava svjetska medicina tražila je radij, a radija je bilo malo. Posljedica je bila visoka cijena, koja je većini bolnica onemogućila njegovo korištenje. Radij se možda pokazao kao čudotvoran lijek, ali lijek malo kome dostupan. Na takvo se stanje stvari u *Prirodi* upućuje 1933.: „Poznato je da je radij (radium) skupocjen i da služi u medicini kao sredstvo za ozračivanje i liječenje [...] naročito

¹⁵ DR. Č., „Radiokultura”, 35.

¹⁶ MALLEY, *Radioactivity*, 164.

¹⁷ LUBENAU, LANDA, *Radium City*, 76.

¹⁸ „Munjovod s radijem”, 124.

¹⁹ LANDA, „The First Nuclear Industry”, 180.

²⁰ MALLEY, *Radioactivity*, 164-166.

²¹ „Dragocjena pošiljka radija”, 25.

raka. Zbog njegove skupoće malo koja bolnica na svijetu posjeduje znatnije količine radija.²² U *Prirodi* do 1945. nalazimo petnaestak tekstova u kojima se izvješćuje o kretanjima na tržištu radija, a u tim se tekstovima dostupnost radija u svrhe liječenja često izravno veže uz njegovu cijenu. Primjerice, u Belgiji se od 1922. prerađivala bogata afrička rudača, pa je cijena radija pala na 70.000 USD po gramu,²³ o čemu se u *Prirodi* piše već 1924.: „Tako [...] je na svjetskom tržištu cijena radiju pala od 1914 godine do danas za polovicu, a vjerojatno je, da će povećanjem produkcije cijene i dalje padati. [...] Nema nikakve sumnje, da će pad cijena radija povoljno uplivati na znanstvena istraživanja i medicinu.”²⁴ Istu poruku nalazimo u tekstu iz 1929., u kojem se izražava nada da će nova nalazišta „iznova utjecati na pad cijene radija pa će radij moći nabavljati za svoje svrhe i manje bolnice, a ne samo najglasovitije, kako je to danas slučaj”.²⁵ U Kanadi je pak 1932. započela prerada tamošnje rudače.²⁶ Vijest o tome objavljena je u *Prirodi* 1933., u tekstu koji završava zaključkom da se „očekuju nove velike zalihe radija i daljnje padanje njegove cijene”.²⁷ Uistinu, 1938. cijena radija pala je na 25.000 USD po gramu.²⁸ O nalazištima, količini i cijeni radija u *Prirodi* je 1939. opširno pisao Juraj Körbler.²⁹

Dobava radija za hrvatske bolnice u *Prirodi* se prvi put spominje u članku J. Körblera iz 1930.: „Pitanje liječenja radijem poprimilo je konkretan oblik i kod nas, otkad su zagrebačke medicinske institucije dobile [...] 450 miligrama radija.”³⁰ Povodom te nabavke u Zagrebu je početkom svibnja 1931. otvoren *Zavod za radijum terapiju*,³¹ a s obzirom na temu ovoga poglavlja, spomenimo da u Pravilniku Zavoda nalazimo odredbu o pristojbi „koja se naplaćuje za liječenje bolesnika radioaktivnim tijelima po osnovu obračunavanja međunarodne jedinice utrošenog Milikiri (Milli-Curie-Detroit-MCD)”: od 1 do 10 MCD 20 dinara po jedinici, od 11 do 30 MCD 15 dinara po jedinici, a preko 30 MCD 10 dinara po jedinici.³² U nastavku se dodaje da bolesnici „I. razreda plaćaju 100% više od ove pristojbe”, dok se od siromašnih bolesnika pristojba ne naplaćuje. Za usporedbu recimo da je prema Pravilniku za opskrbu bolesnika I. razreda bilo predviđeno 30 dinara dnevno, a za opskrbu bolesnika III. razreda 15 dinara dnevno.

²² Isto.

²³ MALLEY, *Radioactivity*, 166-167.

²⁴ „Platina i radij”, 181.

²⁵ „Nova nalazišta radija”, 255.

²⁶ MALLEY, *Radioactivity*, 166-167.

²⁷ „Radij”, 134.

²⁸ LUBENAU, LANDA, *Radium City*, 126.

²⁹ KÖRBLER, „Nalazišta radija”, 43-49. Juraj Körbler (Zagreb, 1900. – Zagreb, 1987.), studirao medicinu, usavršavao se u Institutu Zaklade Curie, onkolog, radiolog i sveučilišni profesor, prvi u nas liječio radijem.

³⁰ KÖRBLER, „Liječenje radijem”, 263.

³¹ RAŽEM, „Odjeci otkrića radioaktivnosti u Hrvatskoj”, 29-30.

³² „Pravilnik zavoda za radijum terapiju u Zagrebu”, 504-505.

„Tri vrste nevidljivih zraka”

Naziv „radij” izveden je iz latinske riječi *radius*, tj. zraka. Radij je ime i slavu stekao zahvaljujući tome što je izdašan izvor stanovitih zraka, tj. veoma „radioaktivan”. U XIX. stoljeću fizika je suočavala svijet s nevidljivom i neopipljivom zbiljom, zbiljom tajnovitih „zraka” koje se ne pokazuju u neposrednom iskustvu, ali izazivaju opazive učinke: infracrvene, ultraljubičaste, Hertzove, katodne, Röntgenove i ine zrake opčinjavale su javnost. Radioaktivnost je na scenu stupila u tom nadrealnom ozračju kao odašiljanje „uranijevih” ili „Becquerelovih” zraka.

Sastav toga zračenja rasvijetljen je do 1914. godine. E. Rutherford razlučio je 1899. u zračenju uranija dvije sastavnice, α - i β -zračenje, dok je 1900. P. Villard uočio treću sastavnicu, γ -zračenje. Do 1902. β -zrake prepoznate su kao elektroni koji se gibaju velikom brzinom.³³ Za γ -zračenje od početka se slutilo da pripada spektru elektromagnetnoga zračenja, tj. da je iste naravi kao svjetlost ili rendgensko zračenje, ali više energije, što je potvrđeno do 1914.³⁴ Što se tiče α -zraka, Rutherford je 1902. ustanovio da ih čine pozitivno nabijene čestice mnogo masivnije od elektrona, a do 1908. u okviru tadašnje predodžbe atoma zaključio je da su α -čestice atomi helija nabijeni pozitivnim nabojem po iznosu dvostruko većim od naboja elektrona. Godine 1911. pokazao je pak da se rezultati pokusa koje je izveo u suradnji s H. Geigerom i E. Marsdenom mogu razumjeti na temelju pretpostavke o postojanju atomne jezgre, objekta smještenog u središtu atoma, koji sadržava gotovo svu masu atoma, malen je u odnosu na atom i pozitivno nabijen, čime je postavio temelj suvremene slike atoma.³⁵ Budući da je tijekom sljedećih godina hipoteza jezgre stjecala potkrepu, Rutherford je 1914. preoblikovao sliku α -čestice: α -čestica je jezgra atoma helija.³⁶

Urbani 1912. ne kaže mnogo o zračenju radija: „Najenergičnije djeluju α -zrake [...], a sastoje od čestica nabijenih pozitivnim elektricitetom. β -zrake, koje imaju najveću brzinu i koje prolaze kroz najrazličitije tvari [...] sastoje [...] iz negativnim elektricitetom nabijenih elektrona.”³⁷ Doznajemo da su α -zrake čestične naravi, ali ništa poblje, dok se γ -zračenje uopće ne spominje. U *Prirodi* je α -čestica jasniji lik dobila 1918. u članku Josipa Lončara, gdje se opisuje kao „atom plina helija nabijen pozitivnom elektricitetom”,³⁸ a 1921. Franjo Brössler prvi put u *Prirodi* α -čestice izrijekom određuje kao

³³ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 18-19, 24.

³⁴ PAIS, *Inward Bound*, 62.

³⁵ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 29, 69-75.

³⁶ PAIS, *Inward Bound*, 231.

³⁷ URBANI, „O radiju”, 110.

³⁸ LONČAR, „Vaganje u nauci”, 41. Josip Lončar (Đakovo, 1891. – Zagreb, 1973.), studirao fiziku u Zagrebu i Parizu, srednjoškolski profesor te docent i profesor na Tehničkom fakultetu u Zagrebu.

„jezgre helijevih atoma”.³⁹ Prvi se put γ -zračenje u *Prirodi* spominje 1919., ali bez objašnjenja: „Radioaktivnim zovemo grupu elemenata, koji [...] izbijaju tri vrste nevidljivih zraka (alfa-, beta- i gama-zrake).”⁴⁰ Narav γ -zračenja prvi opisuje J. Lončar 1921. riječima da su γ -zrake „po svojem karakteru potpuno identične s Röntgenovim zrakama, samo su znatno ‘tvrđe’, t. j. imaju veću prodornu snagu”.⁴¹ Dakle, *Priroda* je skicu „Becquerelovih” zraka, zgotovljenu do 1914., prenijela čitateljima do 1921. i poslije nalazimo u osnovi isti prikaz. Treba naglasiti fundamentalnu važnost ove poruke: bez poznavanja osnovnoga prirodoslovnog objašnjenja učinaka radioaktivnosti, koje se oslanja na narav zračenja, nije moguće valjano procijeniti snagu argumenata kojom su prirodoslovci potkrepljivali svoje poruke o praktičnoj i znanstvenoj vrijednosti radioaktivnosti. No iz *Prirode* se moglo naučiti više o ovom zračenju i metodama njegova istraživanja.⁴² Izdvojimo tekst Marina Katalinića iz 1940., u kojem autor metodu bilježenja putanje α -čestice u fotografskoj emulziji ilustrira domaćom fotografijom: „Takve su snimke učinjene pred nekoliko godina u fizikalnom zavodu sveučilišta u Zagrebu.”⁴³

„Veliki razarač”

Razmotrimo li poruke o praktičnoj vrijednosti radioaktivnosti koje su do kraja 1945. upućivane čitateljima sa stranica *Prirode*, nalazimo uvijek isti stav: radioaktivnost je proces odašiljanja zračenja relativno visoke energije i zbog toga je radij jednostavno „veliki razarač”,⁴⁴ a njegova praktična vrijednost ovisi o našem umijeću da izazovemo poželjne učinke izbjegavajući one štetne. Poruku o dvostranosti učinaka radioaktivnosti nalazimo već u Urbanijevu članku iz 1912.: „Čudnovato djelovanje radijoaktivnih tvari i voda potiče od velike količine energije što ih odaje radijum.” Stoga „svako prejako djelovanje radijoaktivnih tvari” može biti štetno. Tako se s jedne strane kaže da radioaktivne vode „osvježuju i oživljuju čovjeka”, dok se s druge strane upozorava na učinak radioaktivnih elemenata: „Na koži čovjeka uzrokuju upale i nastaju

³⁹ BRÖSSLER, „Novi radioaktivni element”, 98. Franjo Brössler (Mostar, 1893. – Zagreb, 1953.), studirao fiziku u Beču i 1919. doktorirao s temom iz radioaktivnosti, angažiran na istraživanju radioaktivnosti tla i voda.

⁴⁰ „Boje, koje svijetle”, 26.

⁴¹ LONČAR, „O sastavu materije”, 30.

⁴² GOLDBERG, „Kozmičke zrake”, 68-69, 70-71; KATALINIĆ, „Kako atomi pišu svoju povijest”, 33-34; KÖRBLER, „Liječenje radijem”, 255; LONČAR, „O sastavu materije”, 30-31; PEJNOVIĆ, „Osnovi nove atomistike”, 259-261; SUPEK, „Elementarne čestice materije”, 7; URBANI, „Elementi elemenata”, 311; „Zaronimo u dubinu elemenata”, 13-14.

⁴³ KATALINIĆ, „Kako atomi pišu svoju povijest”, 35. Marin Katalinić (Trogir, 1887. – Skoplje, 1959.), studirao fiziku u Zagrebu i Beču, asistent u Fizikalnom zavodu u Zagrebu i sveučilišni profesor u Zagrebu i Skoplju.

⁴⁴ „Liječenje radijem”, 101.

rane, zaprečuju rast i razvoj bilina, a veće količine radijskih zraka promijene staničja tako, da biline pogibaju.”⁴⁵

„Podaje snagu ili smrt bićima oko njega”

Pišući u *Prirodi* desetak godina nakon Urbanija, Josip Goldberg suzdržaniji je glede domašaja praktične primjene radioaktivnosti: „Što se tiče praktične upotrebe radija, nismo danas ono postigli, što se u prvom ushićenju sanjalo.”⁴⁶ Jedno područje u kojem se nije postiglo ono „što se u prvom ushićenju sanjalo” bila je poljoprivreda, a trag tih ranih očekivanja vidimo u prvim tekstovima o radioaktivnosti tiskanim u *Prirodi*. Urbani je predavao kemiju i botaniku u agronomskoj školi te njegov tekst nije slučajno prikaz predavanja kemičara J. Stoklase, koji je istraživao „djelovanje slabih radioaktivnih doza” na gljive, bakterije i bilje s rezultatom: „Povoljno na vegetaciju djeluju radioaktivne vode [...] Sjemenje žitarica prokljalo je u radioaktivnoj vodi [...] za 24 do 36 sati, a u običnoj vodi tek za 3 do 4 dana. [...] biline kultivirane u aktivnoj vodi stvaraju mnogo više organskih tvari nego obično.”⁴⁷ U bilješci iz 1913. potpisanoj s „J. H.” izlažu se rezultati pokusa botaničara H. Molischa, koji je istraživao utjecaj „radijeve emanacije” (radioaktivni plin radon) na biljke, pri čemu su se pokazala dva lica radioaktivnosti. Molisch je ustanovio „da ta emanacija od stanovite koncentracije dalje štetno djeluje na klice kao već i na samo sjemenje” te da dulje djelovanje emanacije „donosi štete i odrasloj biljci”, ali: „Kao što se kod nekih drugih otrova opazalo, da djeluju ča i povoljno, ako ih se u maloj količini primijeni, tako je to u nekim slučajima i kod radijeve emanacije opažano.”⁴⁸ Iz takvih se rezultata rodila ideja o radioaktivnim gnojivima, koju razmatra autor teksta iz 1914. potpisanog s „Dr. Č.”, a koji počinje porukom o dvostranosti učinaka radija: „Kano kakav sredovječni eliksir najmanji prašak radija podaje snagu ili smrt bićima oko njega.”⁴⁹ Autor nastavlja opisujući pokuse Molischa i Stoklase, na temelju kojih se „svakako može očekivati, da će radium igrati neku korisnu ulogu u agrikulturni [...] I već su nastale neke kombinacije radioaktivnog gnojiva.” Premda je u pokusima „na polju”, za razliku od onih laboratorijskih, „hiperprodukcija bila odveć nepravilna, a da bi se moglo stvoriti definitivne zaključke”, ocjenjuje se: „Nu svakako ovi pokusi zavređuju, da se nastave, te je moguće, da će se jednoga dana radiokulturom postići veliki uspjesi.” Iako su istraživanja nastavljena, u

⁴⁵ URBANI, „O radiju”, 109-110.

⁴⁶ GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 44. Josip Goldberg (Sarajevo, 1885. – Zagreb, 1960.), studirao fiziku u Beču, srednjoškolski profesor te opservator u Geofizičkom zavodu u Zagrebu i sveučilišni profesor u Zagrebu.

⁴⁷ URBANI, „O radiju”, 110-111.

⁴⁸ J. H. [vjerojatno Jovan Hadži], „Djelovanje radijeve emanacije na biljke”, 95. Jovan Hadži (Temišvar, 1884. – Ljubljana, 1972.), studirao prirodopis u Beču, asistent na Mudroslovnom fakultetu u Zagrebu te profesor na Sveučilištu u Ljubljani.

⁴⁹ DR. Č., „Radiokultura”, 35.

Prirodi se do kraja 1945. više nije pisalo o primjeni radioaktivnosti u poljoprivredi.⁵⁰

„Djelotvorna sila mikroskopične hirurgije”

Poruku o praktičnoj vrijednosti radioaktivnosti Goldberg 1924. nastavlja riječima: „Najvažnija je postala praktična upotreba radija u medicini pri liječenju nekih kožnih bolesti, reumatizma, a naročito raka.”⁵¹ Ta najvažnija upotreba u *Prirodi* se prvi put spominje 1917., kad se kaže tek da radij „ima važnu uporabu u medicini”.⁵² Medicinska primjena radioaktivnosti prvi je put u *Prirodi* opisana 1921.⁵³ Anonimni autor otvara tekst opažanjem da je otkriće radija „razbudilo [...] u ljudima silnu nadu, da će tim sredstvom ublažiti i izliječiti mnoge boli, protiv kojih nije bilo nikakvoga lijeka”, te nastavlja upozoravajući na ishodište praktične primjene radioaktivnosti: „Premda se još danas ne zna, čemu sve će biti lijek nove zrake, izlazi današnje liječenje od činjenice, da je radij prije svega veliki razarač.” U tekstu se objašnjava na koji se način liječi zračenjem, što je iznimno važna poruka u doba doživljavanja radija kao čudotvornoga lijeka za sve: pokazalo se „da zrake radija razaraju u prvom redu stanovite ćelije, i to one, koje su u punoj aktivnosti, koje se dijele”. Osnovna značajka karcinoma je pak „bujanje novih ćelija, što se stvaraju bez prestanka i razvijaju bez reda”. No takve stanice „tako su osjetljive na slabu mjeru radijevih zraka, da od njih pogibaju. U tome je ključ liječenja!” Ističe se da se prije rak nije moglo liječiti „drugim do hirurškim nožem” te se zaključuje: „Radij je u biti svojoj djelotvorna sila mikroskopične hirurgije, ali kud i kamo tačnija. Njegova razorna snaga djeluje samo na bolesne ćelije, pa tako obavlja probir, kakoga ne mogu da načine ni oko ni prst čovjeka.” Glede percepcije radija kao panaceje važno je naglasiti da tekst prenosi jasnu poruku o domašaju takva liječenja: „Danas već nema sumnje, da se radijem mogu liječiti neki slučajevi raka, ali dakako da se ne mogu svi.”

Korištenje radioaktivnosti za liječenje 1930. opširno opisuje J. Körbler. Autor ističe da za medicinsku primjenu „služe gotovo uvijek samo gama zrake” jer „imaju sposobnost da prodiru kroz deblje slojeve tvrdih ili tekućih supstancija”, dok se „samo u rijetkim slučajevima mogu [...] upotrebiti i beta zrake”.⁵⁴ Od metoda primjene zračenja na čitav organizam autor navodi injekcije ili udisanje radioaktivnih tvari, upozoravajući da takvoj primjeni valja pristupiti oprezno jer su „svi radioaktivni elementi vrlo [...] otrovni”,⁵⁵ te korištenje radioaktivnih voda iz prirodnih izvora. Spomenimo da je Körbler

⁵⁰ O ranim istraživanjima vidi u: MARPLE, *Radium-226 in Vegetation*, 57-63. O suvremenoj primjeni radioaktivnosti u poljoprivredi vidi u: LANNUNZIATA, *Radioactivity*, 23-37.

⁵¹ GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 44.

⁵² „Munjovod s radijem”, 124.

⁵³ „Liječenje radijem”, 101-102.

⁵⁴ KÖRBLER, „Liječenje radijem”, 255.

⁵⁵ *Isto*, 257.

o radioaktivnim vodama poslije u *Prirodi* objavio posebni članak.⁵⁶ U svezi s tim autor upućuje poruku dobrodošlu u vrijeme pomame za ljekovitim radioaktivnim vodama:⁵⁷ „Stajanjem u bocama gubi se radioaktivnost, a time i umanjuje djelovanje vode.” Takva voda „ne djeluje jednako, ako se pije na vrelu ili ako se pije iz boce u Zagrebu”.⁵⁸ Što se tiče liječenja djelovanjem na bolesno mjesto, autor objašnjava da „radijeve zrake uništavaju u prvom redu one stanice, koje se upravo nalaze u stadiju diobe”. Budući da „oboljenje od raka” znači upravo „abnormalno množenje stanica”, može se „pronaći doza radijevih zraka, koja će istodobno uništavati ove osjetljive stanice raka, a ne će nanositi štete zdravom tkivu u okolini”.⁵⁹ U nastavku se opisuju tadašnje metode ozračivanja tkiva. Očekivano, i u ovom tekstu nalazimo poruku o dvostranosti učinaka radija: „Kod čovjeka i drugih viših organizama opazilo se, da radijeve zrake izazivaju potkožna krvarenja, [...] osobito porazno djeluju na koštanu moždinu, slezenu i limfne žlijezde. I na spolne žlijezde djeluju te zrake štetno.”⁶⁰ Stoga autor upozorava da je u bolnicama „potrebna velika opreznost kod poslovanja s radijem”: „Kako je pak radij u nešto većim količinama otrov za organizam, jasno je, da će tom otrovanju biti izloženi svi oni, koji dulje vremena dolaze u kontakt sa radijem [...]. U prvom redu dolaze u obzir liječnici i bolnički personal, koji rukovode radijem ili provode njegu bolesnika, koji se radijem liječe. Kod njih se često opažaju promjene na koži, koja postaje opora, nokti se lome i otpadaju, javljaju se glavobolje, a često dolazi i do teških promjena u krvi, pa i do smrti.”⁶¹ Poruke o medicinskoj vrijednosti radioaktivnosti nalazimo u *Prirodi* i poslije, primjerice 1934. kaže se da radij „čini prava čuda, liječi najstrašnju bolest na svijetu – rak, spašava živote nebrojenih ljudi”,⁶² a 1939.: „Od najveće je važnosti radij u medicini, gdje on pretstavlja dragocjeno i dosad nenadmašeno sredstvo za liječenje raka.”⁶³

Po svršetku Prvoga svjetskog rata fizičari su počeli istraživati ponašanje atomnih jezgara izvrgnutih udarima α -čestica, a kao izvor tih projektila služili su radioaktivni elementi. Budući da je energija tako dobivenih projektila prirodno ograničena, pokušavalo se konstruirati naprave – ubrzivače čestica – pomoću kojih bi se mogle dosegnuti više energije. Premda ti pokušaji nisu bili motivirani medicinskim potrebama, njihovi su rezultati bili zanimljivi liječnicima jer su obećavali alternativne izvore zračenja. U *Prirodi* je bilo opisano nekoliko takvih uređaja, a ti tekstovi sadržavaju poruku važnu za

⁵⁶ KÖRBLER, „Radioaktivna vrela”, 28-30.

⁵⁷ MALLEY, *Radioactivity*, 152-155.

⁵⁸ KÖRBLER, „Liječenje radijem”, 259.

⁵⁹ *Isto*, 260-261.

⁶⁰ *Isto*, 260.

⁶¹ *Isto*, 263.

⁶² „Smrt Marije Curie”, 221.

⁶³ KÖRBLER, „Nalazišta radija”, 43.

procjenu praktične vrijednosti radioaktivnosti, poruku o mogućoj zamjenjivosti skupoga radija kao izvora zračenja.⁶⁴

Vladimir Glumac 1933. opisuje „Marxov generator” za ubrzavanje elektrona pomoću visokoga električnog napona⁶⁵ te upozorava na prednosti korištenja takvih „umjetnih β -zraka” za liječenje karcinoma: „Prema svojem intenzitetu na umjetnim β -zrakama nadomještava spomenuti uređaj količinu od nekoliko tona radija.” Te β -zrake „prodiru znatno dublje u živo tkivo, nego dosad upotrebljene elektronske zrake [...] tako da se istraživači nadaju, da će [...] biti moguće dosegnuti svaku točku u unutrašnjosti čovječjega tijela. [...] Biološko medicinski rad pokazao je, da je terapija raka moguća, dakako uz uvjet da karcinozno tkivo leži u području dosega ovih zraka.”⁶⁶ Autor zaključuje da nas „uređaji opisane vrsti rješavaju zavisnosti o skupom radiju, dajući nam mogućnost, da dalje radimo na liječenju bolesti, koja se kroz stoljeća opirala liječničkom umjeću”.⁶⁷

U članku iz 1938. potpisanom s „K.” autor razmatra alternative terapijskom korištenju radija te navodi da građenje uređaja za visoki napon osobito potiču „liječnički krugovi”: „Tu dolazi najprije nastojanje, da bi se postigle röntgenske zrake [...] veće prodornosti od dosadašnjih. One bi imale da zamijene u terapiji gama zrake skupog radija.”⁶⁸ Potom izlaže prednosti terapijske primjene „umjetno” radioaktivnih elemenata (vidi ovdje poglavlje „Umjetna radioaktivnost”): „umjetno radioaktivni natrij ima to dobro svojstvo, da njegova radioaktivnost posve iščezava u par dana, a on se pri tom pretvara u posve neškodljivi magnezij. Uvede li se malena količina radioaktivnog natrija neposredno na bolesno mjesto u organizmu, očekivat je mnogo izdašnije djelovanje nego djelovanje prirodnim radioaktivnim preparatima izvana. Takva primjena radija bila bi nemoguća, jer su produkti njegova raspadanja opet radioaktivni, a pokazalo se, da već količina od 0,001 miligrama radija [...] teško i neizlječivo oštećuje organizam.”⁶⁹ Konačno, autor spominje da se „velike nade polažu u medicinsku primjenu struje brzih neutrona” jer su pokusi „koje je izveo Dr. John S. Lawrence” pokazali „da su neutroni zaista biološki aktivniji od röntgenskih zraka, kao i tu okolnost, da oni jače djeluju na bolesno nego na zdravo staničje”. U svrhu dobivanja takvih mlazova neutrona dr. Lawrence „radi s jednim aparatom, koji je izumio njegov brat Ernest O. Lawrence [...] Taj je aparat poznat pod imenom ciklotron.”⁷⁰ U nastavku se

⁶⁴ O suvremenim metodama radijacijske onkologije vidi u: PODGORSK, *Radiation Oncology Physics*.

⁶⁵ Opširnije vidi u: FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 290-291.

⁶⁶ GLUMAC, „Umjetno razbijanje atoma”, 284. Vladimir Glumac (Beč, 1904. – Rijeka, 1960.), studirao fiziku u Zagrebu, radio na projektima zaštite od rendgenskoga zračenja te kao nastavnik fizike.

⁶⁷ *Isto*, 285.

⁶⁸ K., „Pokušaji primjene transmutacije atoma. Ciklotron”, 220.

⁶⁹ *Isto*.

⁷⁰ *Isto*, 220-221. E. Lawrence izgradio je prvi ciklotron 1931. godine. Opširnije vidi u: PAIS, *Inward Bound*, 407-409.

ciklotron detaljno opisuje te se dodaje: „Najnoviji ciklotron, koji se sada izgrađuje u Berkeley-u, određen je poglavito za medicinska istraživanja, kojima rukovodi spomenuti liječnik Dr. John S. Lawrence.”

„Boje, koje svijetle”

Radioaktivnost je brzo našla primjenu u tehnici, pa se u *Prirodi* pisalo o radioaktivnom gromobranu i o ispitivanju materijala γ -zračenjem.⁷¹ No najraširenija i najprofitabilnija tehnička primjena radioaktivnosti bile su svjetleće boje. Fosforescentne boje, boje koje odašilju svjetlost, korištene su već u XIX. stoljeću, ali su imale manu: svijetlile bi samo ako su prethodno bile izložene svjetlosti iz drugoga izvora, a i tada bi njihova svjetlost s vremenom slabjela. Stoga se učinilo zgodnim dodati takvoj boji malu količinu radija, koji bi ju svojim zračenjem neprestano pobuđivao na svijetljenje. Proizvodnja takvih boja procvala je tijekom Prvoga svjetskog rata u vojne svrhe, a ubrzo su „radium-satovi”, satovi s kazaljka i brojčanicima premazanim takvim bojama, postali pomodni hit.⁷² Tako se u *Prirodi* od ožujka i svibnja 1917. odgovara na pitanje čitatelja o „radium-satovima” te se objašnjava da se u fosforescentnu boju „stavljaju neznatne količine radijeve soli” jer predmete premazane takvom bojom „ne treba izvrći svijetlu – oni će pod utjecajem onih zraka, što izlaze iz radija, u tami svijetliti”.⁷³ O radioaktivnim bojama opširno se pisalo u članku „Boje, koje svijetle” iz 1919., u kojem se objašnjava uloga radioaktivnih tvari u njima te upućuje važna poruka potencijalnim kupcima: proizvođači često jamče da takva boja „nepromijenjeno svijetli 20 god.”, no to je „posve nemoguće”.⁷⁴ Naime, „alfa-čestice, bombardirajući neprestano atome cinkova sulfida, kemijski ga promijene, te ova [...] sol prijeđe u [...] modifikaciju, koja se ne da uzbuditi da svijetli. [...] iza 5 do 10 godina [...] boje postanu neuporabive.”⁷⁵ Spomenimo još da se u istom duhu upozorava kako je vrlo teško „odrediti, ima li u nekoj svjetlećoj boji radija”, ali je ipak moguće zaštititi se od „grubih prevara” te se u tu svrhu daju neki savjeti.⁷⁶

„Strašna opasnost, koja leži u tom zaposlenju”

Poruke o opasnostima koje vrebaju pri radu s radioaktivnim tvarima ilustrirane su u *Prirodi* tragičnim slučajem američkih tvorničkih radnica zaposlenih na bojenju „radium-satova” radioaktivnom bojom. Radnice su bile

⁷¹ „Munjovod s radijem”, 124-125; „Ispitivanje materijala Röntgenovim i gama-zrakama”, 24-25.

⁷² MALLEY, *Radioactivity*, 168-169.

⁷³ „Gosp. V. T. – Rijeka”, 127 (dodatak tekstu „G. V. T., Rijeka”, 78).

⁷⁴ „Boje, koje svijetle”, 27.

⁷⁵ *Isto*, 26.

⁷⁶ *Isto*, 27.

upućene da kist zašilje usnama, čime su boju unosile u tijelo. Nakon što su počele obolijevati i kad su njihove tegobe dovedene u vezu s poslom koji su obavljale, podigle su tužbu protiv poslodavaca. Spor je nakon dugoga parničenja završio isplatom odštete i naposljetku strožim zakonima o zaštiti radnika.⁷⁷

O tom se slučaju u *Prirodi* pisalo u više navrata, a prvi put u tekstu iz 1926.: „U radionama tvornice United States Radium Corporation [...] zaposlene su djevojke premazivanjem brojka na žepnim urama radijevom bojom [...] Ali da kistove za ovaj fini posao učine što šiljastijim, one utanjuju vršak kista medju usnama. Neki liječnik zubar, koji je jednu djevojku liječio od zubne boli, ustanovio je kod nje zagonetnu atrofiju kostiju u donjoj vilici. Napokon je bolesnica preminula, te je obavljena sekcija u prisuću zubara. Ovaj je na svoje veliko čudo opazio, da iz nekih fragmenata viličnih kostiju izbija svjetlo u tami. Odmah mu je bilo jasno, da uzrok oboljenja treba svesti na zaposlenje djevojke u tvornici, ali je podjedno spoznao i strašnu opasnost, koja leži u tom zaposlenju. Ovim nenadanim otkrićem bio je objašnjen uzrok smrti od sedam drugih djevojaka, koje su prije toga iznenada umrle [...] Za sada je liječnička znanost nemoćna protiv otrovanja radijem.”⁷⁸

Isti se događaji opisuju u tekstu iz 1929., koji počinje riječima: „Kad radio-aktivne tvari prodru u čovječje tijelo, uzrokuju promjene u tkivima, kostima i krvi, koje djeluju štetno. Ovo iskustvo dovelo je do toga, da se danas svagdje, gdje se radi s takvim tvarima, postupa nada sve oprežno.” U nastavku se kao primjer navode radnice u tvornicama „radium-satova” te se zaključuje: „Sad se stalno znade, da čovječje tijelo vrlo dugo zadržava radijeve soli, u prvom redu vrijedi to za kosti. Radij teško oštećuje koštana tkiva, a kadšto ih i razara.”⁷⁹

Slučaj spominje i J. Körbler u članku iz 1938.: „U industriji boja, koje svijetle u tami, često dolazi do kroničnog otrovanja radijem. [...] Martland je našao u tvornici u New-Jersey među 800 radnica 18, koje su pokazivale znakove kroničnog otrovanja radijem. Od otrovanih umrlo je 5, dakle 27%, od naročite vrste raka, sarkoma kosti. Inače je ova vrsta raka velika rijetkost, te od nje umire samo 0,07% ljudi. Kod jedne od umrlih uspjelo je 3 godine nakon smrti u kostima čeljusti ustanoviti zrake radija.”⁸⁰ U istom se članku upozorava da zračenje uzrokuje još neke karcinome: „Već godine 1500 upozorio je geolog Agricola na plućno oboljenje radnika u rudnicima Schneeberga, [...] U novije vrijeme sve više prevladava mišljenje, da rak pluća kod ovih rudara dolazi poradi stalnoga udisanja zraka u rudniku, koji sadržava radioaktivne plinove.”⁸¹ Također: „Jednako mogu rak na koži izazvati i radijeve zrake.”⁸²

⁷⁷ MALLEY, *Radioactivity*, 169-172. Ovaj slučaj potanko je opisan u: MOORE, *The Radium Girls*.

⁷⁸ „Otrovanja radijem”, 171-172.

⁷⁹ „Opasnost radio-aktivnih tvari za čovječje tijelo”, 254.

⁸⁰ KÖRBLER, „Rak i zvanje”, 177.

⁸¹ *Isto*, 174.

⁸² *Isto*, 177.

No to nije prekinulo uporabu radioaktivnih boja, koja se 1939. u *Prirodi* navodi kao primjena radija „od velike važnosti”.⁸³

„Alkemija je pobijedila sve svoje neprijatelje!”

Godine 1912. M. Urbani sudionike 6. Međunarodnoga kongresa opće i medicinske radiologije u *Prirodi* zove „moderni alkemisti”.⁸⁴ Četvrt stoljeća poslije tako naziva E. Rutherforda,⁸⁵ čija je knjiga *The Newer Alchemy* tiskana iste godine.⁸⁶ Kemijski aspekt alkemije, dugo na zlu glasu kod znanstvenika, nametnuo se u prvoj polovini XX. stoljeća kao metafora prikladna za izražavanje poruke o znanstvenoj vrijednosti radioaktivnosti, a napose za prenošenje te poruke javnosti. No smisao te metafore tijekom vremena se bitno promijenio.

„Nauka o transmutaciji elemenata”

Postignuće „modernih alkemista” Urbani opisuje ističući da se „iz katedara učilo [...] da imade kojih osamdeset nepromjenljivih elemenata”, dok se „nauka o transmutaciji elemenata” smatrala „ludom pohlepom lakomaca”. Međutim, istraživanja „radioaktivnih tvari” potvrdila su „mnijenje, da se atomi mogu cijepati”. Napose, „radij nastaje rastvorbom urana”.⁸⁷ Poruka je jasna: glavna znanstvena vrijednost radioaktivnosti jest u tome što nam je pokazala, nasuprot stoljetnoj dogmi, da kemijski elementi nisu postojani, da, primjerice, atomi elementa radija nastaju „rastvorbom” atoma elementa uranija. Stav prirodoslovne zajednice o tome kolika je ta vrijednost izražava J. Goldberg u tekstu iz 1924.: „U objektivnom pogledu pokazalo se otkriće radija sudbonosnim u razvoju prirodnih nauka, kao rijetko koje naučno djelo.”⁸⁸ Pišući u *Prirodi* 1917., Fran Bubanović upućuje istu poruku kao Urbani, riječima da je „oživotvorena [...] davna težnja onih pretečâ moderne kemijske nauke, koji su [...] tražili ‘kamen mudracâ’”, dodajući da nas „pojav transmutacije elemenata napunja ponosom, da čovjek u znoju svoga lica skida polako, ali sigurno velo s tajni, koje su stoljeća živjele tek kao nedohvatna tajna”.⁸⁹

Objašnjenje radioaktivnosti kao očitovanja transmutacije elemenata teorija je koju su razradili E. Rutherford i F. Soddy 1902. i 1903., a njezine

⁸³ KÖRBLER, „Nalazišta radija”, 43.

⁸⁴ URBANI, „O radiju”, 109.

⁸⁵ URBANI, „Lord E. Rutherford”, 316.

⁸⁶ LORD RUTHERFORD, *The Newer Alchemy*.

⁸⁷ URBANI, „O radiju”, 108-110.

⁸⁸ GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 42.

⁸⁹ BUBANOVIĆ, „Helij”, 241-242. Fran Bubanović (Sisak, 1883. – Zagreb, 1956.), studirao kemiju i prirodopis u Zagrebu, srednjoškolski profesor te profesor kemije na Medicinskom fakultetu u Zagrebu.

glavne ideje su: radioaktivnost je proces u kojem dolazi do transmutacije radioaktivnoga elementa u drugi element, koji je često i sam radioaktivan, a ta transmutacija događa se tako da se stanoviti broj atoma radioaktivnoga elementa spontano preobražava u atome drugoga elementa odašiljanjem α - ili β -čestica.⁹⁰ Ta teorija, dakle, i nije drugo do moderna „nauka o transmutaciji elemenata”. Do 1945. ovo objašnjenje radioaktivnosti nalazimo u *Prirodi* u dvadesetak tekstova, u kojima je „rastvorba” atoma dobivala jasniji lik, prateći sve istančaniju sliku strukture atoma, koja je 1903. bila posve nepoznata.⁹¹ Prekretnica u tim prikazima članak je J. Lončara iz 1921. Autor teoriju Rutherforda i Soddyja komentira riječima: „Pogledamo li izbližega karakter radioaktivnih promjena, morat ćemo priznati, da one znače potpunu revoluciju prijašnjega shvaćanja atoma. Po njima atom gubi karakter nedjeljivoga individua i izlazi pred nas [...] kao konglomerat sastavljen od pozitivno i negativno elektriziranih čestica”,⁹² a potom prvi put u *Prirodi* radioaktivnost opisuje kao proces koji se zbiva u atomnoj jezgri: „samo iz jezgre mogu potjecati pozitivne α -čestice, a valjani razlozi sile nas, da uzmemo, da i elektroni β -zraka dolaze iz jezgre atoma.”⁹³ No za našu je temu najvažnije to što se u Lončarevu članku prvi put u *Prirodi* upozorava da je transmutacija elemenata iz sfere spontanih procesa ušla u područje ljudskoga djelovanja, što metafori alkemije očigledno daje doslovniji smisao: „Tkogod je ovo, što je dosad izneseno, slijedio, lako će spoznati epohalno značenje vijesti, koja je došla pred nešto više od godinu dana i prema kojoj je Rutherfordu uspjele umjetnim načinom razbiti jezgru dušikova atoma.”⁹⁴

„Postizavamo ono što su želeli alhemičari”

Godine 1919. Rutherford je puštajući struju α -čestica kroz dušik opazio da ozračeni plin odašilje protone, tj. jezgre vodikova atoma. Tako je prvi postigao umjetnu transmutaciju elemenata: kad se α -čestica, jezgra atoma helija, sudari s jezgrom atoma dušika, nastaje jezgra atoma vodika.⁹⁵ Lončar nakon opisa pokusa zaključuje: „No ako je tomu tako, onda je Rutherfordovim pokusima

⁹⁰ WHITTAKER, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, 5-6.

⁹¹ Vidi primjerice: BUBANOVIĆ, „Helij”, 241-242; LONČAR, „Vaganje u nauci”, 41; „Boje, koje svijetle”, 26; LONČAR, „O sastavu materije”, 31-32; LONČAR, „O sastavu materije (Svršetak)”, 53; BRÖSSLER, „Novi radioaktivni element”, 98-99; „Zaronimo u dubinu elemenata”, 12-14; GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 43; ŠPICER, „Zlato iz žive”, 15; „Radioaktivno raspadanje”, 147; URBANI, „Nešto o prošlosti i budućnosti kovina”, 118; KÖRBLER, „Liječenje radijem”, 256-257; URBANI, „Manija za zlatom”, 198; KRLEŽA, „Prirodna i umjetna radioaktivnost”, 168; PEJNOVIĆ, „Osnovi nove atomistike”, 257; KATALINIĆ, „Kako atomi pišu svoju povijest”, 33; VRGOČ, „Alkemija i moderni nazor o atomima”, 293; SUPEK, „Elementarne čestice materije”, 12-13; SAVIĆ, „Cepanje atomskih jezgra”, 106-107.

⁹² LONČAR, „O sastavu materije”, 32.

⁹³ LONČAR, „O sastavu materije (Svršetak)”, 53.

⁹⁴ *Isto*.

⁹⁵ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 200-202.

uspjelo izvesti prvu umjetnu pretvorbu kemičkoga elementa, koja se može dostojno uz bok staviti spontanim radioaktivnim pretvorbama. Tako bi bar u jednom slučaju bio postignut davni cilj sredovječne alkemije: umjetna pretvorba elemenata.⁹⁶ Rutherfordov pokus poslije u *Prirodi* opisuju J. Goldberg 1924.⁹⁷ i Alfred Kurelec 1932.⁹⁸ a Urbani ga 1936. komentira riječima: „Moderna kemija vratila se staroj nekad zabačenoj nauci o transmutaciji elemenata.”⁹⁹

Godine 1925. P. Blackett pokazao je da u Rutherfordovu pokusu jezgra atoma dušika apsorbira α -česticu te se potom odašilje proton, što znači da je ostatak jezgra atoma kisika, dušik se pretvara u kisik.¹⁰⁰ Nastanak kisika prvi u *Prirodi* spominje Urbani 1937.: „Rutherford je [...] izvrnuo element dušik (azot) djelovanju radijevih alfa-zraka. [...] razbio se dušikov atom i raspao u manje atome vodika i neku vrstu kisika. Rutherford je prvi naučenjak [...] kojemu je uspjela pretvorba jednog elementa u drugi. To je moderni alkemista, koji je nakon hiljadugodišnjeg uzaludnog traženja mnogih adepta alkemije ipak našao ‘kamen mudraca.’”¹⁰¹ Franjo Krleža pak 1938. upozorava na stvarni praktični doseg toga otkrića: „Nema sumnje, da ćemo analognim postupcima dobiti i ispuniti san alkemista, ali samo djelomice, jer ono za čim su oni težili – dobivati zlato u većim količinama, još je uvijek nemoguća stvar...”¹⁰² Dušan Pejnović u članku iz 1939. piše: „Staro je načelo prirodnih nauka, da su atomi sviju elemenata nepromjenljive, nedjeljive, nerazorive čestice. Ovo načelo isticalo se s naročitom svrhom, da se suzbije shvaćanje srednjovječnih alkemista, koji su nastojali da pretvore jedan kemijski element u drugi. [...] Velika je zasluga [...] E. Rutherforda, da je uspjelo umjetno razaranje atoma onih elemenata, koji nisu radioaktivni.”¹⁰³

Metaforu alkemije posebno naglašava Antun Vrgoč 1940. Autor tekst počinje riječima: „Sve do pred kojih tridesetak godina pobijali su i osuđivali alkemiju kao izrod znanosti, kao produkt praznovjerja, kao nosioca laži i prevare.”¹⁰⁴ No teorijom Rutherforda i Soddyja je „dokazano, da se jedan element

⁹⁶ LONČAR, „O sastavu materije (Svršetak)”, 54.

⁹⁷ GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 43.

⁹⁸ KURELEC, „Svijetlo – čestica, materija – val”, 136. Alfred Kurelec (Petrinja, 1907. – Zagreb, 1970.), studirao fiziku u Zagrebu, profesor u gimnazijama i na Pedagoškoj akademiji, autor srednjoškolskih udžbenika fizike.

⁹⁹ URBANI, „Elementi elemenata”, 312.

¹⁰⁰ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 225-226.

¹⁰¹ URBANI, „Lord E. Rutherford”, 316.

¹⁰² KRLEŽA, „Prirodna i umjetna radioaktivnost”, 172. Franjo Krleža (Krapina, 1908. – Krapinske Toplice, 1988.), studirao kemiju u Innsbrucku i Zagrebu, srednjoškolski profesor te sveučilišni profesor kemije u Sarajevu.

¹⁰³ PEJNOVIĆ, „Osnovi nove atomistike”, 257. Dušan Pejnović (Sisak, 1883. – Zagreb, 1958.), fiziku studirao u Zagrebu, asistent i profesor fizike na Filozofskom te Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu.

¹⁰⁴ VRGOČ, „Alkemija i moderni nazor o atomima”, 289-290. Antun Vrgoč (Gunja, 1881. – Zagreb, 1949.), studirao kemiju u Zagrebu, asistent te profesor farmakognozije na Filozofskom fakultetu u Zagrebu.

pretvara u drugi i da su atomi djeljivi¹⁰⁵. Autor nastavlja prikazom Rutherfordova pokusa te zaključuje: „San je dakle alkemista ostvaren! Jedne elemente možemo pretvoriti u druge. [...] Svi oni, koji su ismijavali alkemiju, nemaju pravo, [...]. Alkemija je pobijedila sve svoje neprijatelje!...”¹⁰⁶ Konačno, 1945., na kraju razmatranoga razdoblja, Pavle Savić nakon prikaza atomne jezgre kaže: „Ako nasilnim putem delujemo na jezgro jednog atoma i poremetimo odnos koji postoji između protona i neutrona, onda postizavamo promenu prirode samog elementa. Postizavamo ono što su želeli alhemičari kroz toliko vekova: pretvorbu jednog elementa u drugi.”¹⁰⁷

„Protoni i neutroni su sastavne čestice atomnih jezgara”

Teorijom Rutherforda i Soddyja radioaktivnost je protumačena kao očitovanje transmucije atoma, pa je za dublje razumijevanje bilo nužno rasvijetliti ustroj atoma. Otkrićem atomne jezgre postalo je očigledno da je radioaktivnost nuklearni proces, a činilo se jednako tako očiglednim da jezgra sadržava elektrone – kako bi ih inače mogla odašiljati? Tako je nastala protonsko-elektronska teorija jezgre, prema kojoj je jezgra sastavljena od jezgara atoma vodika – nazvanih protonima – i elektrona. Ta je teorija, premda opterećena problemima, bila općenito prihvaćena sljedećih dvadesetak godina,¹⁰⁸ a u *Prirodi* se prvi put izlaže 1921. u tekstovima J. Lončara i F. Brösslera.¹⁰⁹ Brössler, primjerice, piše: „jezgra atoma sastavljena je iz pozitivnih i negativnih elementarnih naboja. Elementarni pozitivni naboji (jezgra vodikovih atoma) nalaze se u jezgri većinom u skupovima po 4 sa dva elementarna negativna naboja (elektrona), te tvore α -čestice, jezgre helijevih atoma”,¹¹⁰ a u nastavku potanje opisuje tadašnje shvaćanje ustroja jezgre te α - i β -raspada.

Naziv „proton” prvi se put u *Prirodi* javlja u tekstu A. Kurelca iz 1932.: „Pozitivnu jezgru vodikova atoma prozvali su *protonom*”,¹¹¹ a iste je godine otkriven neutron, što je omogućilo oblikovanje alternativne, protonsko-neutronske teorije jezgre, koja je s vremenom stjecala prevagu, osobito nakon što je E. Fermi 1934. objasnio na koji način jezgra sastavljena samo od protona i neutrona odašilje elektrone (β -raspad).¹¹² Neutron i protonsko-neutronska teorija u *Prirodi* se prvi put spominju 1935., ali šturo i nejasno: „Neutron [...] je zapravo praelemenat, od kojeg su svi ostali elementi sastavljeni. Atomi

¹⁰⁵ Isto, 293.

¹⁰⁶ Isto, 294.

¹⁰⁷ SAVIĆ, „Cepanje atomskih jezgra”, 107. O Saviću vidi ovdje u poglavlju „Uranov stroj”.

¹⁰⁸ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 163-164, 171-176, 208-209, 228-229.

¹⁰⁹ LONČAR, „O sastavu materije (Svršetak)”, 53-54; BRÖSSLER, „Kakova je razlika između Ra-G i olova?”, 80; BRÖSSLER, „Novi radioaktivni elemenat”, 98.

¹¹⁰ BRÖSSLER, „Novi radioaktivni elemenat”, 98.

¹¹¹ KURELEC, „Svijetlo – čestica, materija – val”, 136.

¹¹² PAIS, *Inward Bound*, 401, 409-426; FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 253-258, 263-277.

svih elemenata građeni su od protona i neutrona.¹¹³ Nakon 1921. o sastavu jezgre u *Prirodi* je ponovno pisao tek F. Krleža 1938., no premda spominje neutrone, jezgru opisuje u okviru stare protonsko-elektronske teorije,¹¹⁴ kao i A. Sonabend 1939.,¹¹⁵ a u tekstu iz 1941. izlaže kombiniranu sliku jezgre: „Atomska jezgra složena je od protona (to su vodikove jezgre), neutrona (najmanje čestice materije bez električnog naboja), elektrona i pozitrona (najmanje čestice pozitivne elektricitete).¹¹⁶ Jasnu tvrdnju da je atomna jezgra sastavljena samo od protona i neutrona nalazimo u *Prirodi* tek u nepotpisanom tekstu iz 1945.: „Moderna je fizika utvrdila, da su atomne jezgre osim vodikove sastavljene tvorevine. Kao sastavne čestice dolaze pored protona i neutroni. [...] Tako se helijeva jezgra sastoji iz dva protona i dva neutrona.¹¹⁷ U istom se tekstu izlaže temeljna ideja Fermijeve teorije β -raspada: „Po osnovnim predstavama moderne kvantne teorije neutroni i protoni nijesu nepromjenljive čestice, nego se u atomnim jezgrama mogu međusobno pretvarati. Tako neutron može prijeći u proton i pri tome proizvesti elektron. Te procese opažamo kod radioaktivnih procesa, kad atomna jezgra izbaci elektron, a poveća svoj pozitivni električki naboj.¹¹⁸ O tim je temama nešto poslije iste godine opširnije pisao I. Supek, naglašavajući temeljnu ideju: „Protoni i neutroni su sastavne čestice atomnih jezgara. Drugih čestica u jezgri nema.¹¹⁹

„Umjetna radioaktivnost”

Izotopi su različite varijante istoga elementa, a otkriveni su istraživanjem produkata radioaktivnih raspada.¹²⁰ Atomi svih izotopa nekoga elementa sastavljeni su od istoga broja protona i elektrona, što znači da imaju ista kemijska svojstva, ali se razlikuju po broju neutrona u jezgri. Izotopi se u *Prirodi* prvi put objašnjavaju u odgovoru F. Brösslera na pitanje čitatelja iz 1921.¹²¹ te potom do 1945. u nekoliko članaka.¹²² Do 1934. smatralo se da pri sudarima atomnih jezgara mogu nastati samo izotopi opaženi u prirodi te da jedino izotopi

¹¹³ „Ultra-uran”, 284.

¹¹⁴ KRLEŽA, „Prirodna i umjetna radioaktivnost”, 168-169.

¹¹⁵ SONNABEND, „Izotopi vodika i teška voda”, 235. Aleksandar Sonabend (Zdolbukov, Rusija, 1895. – Jasenovac, 1945. (?)), studirao fiziku u Petrogradu, od 1921. gimnazijski profesor u Hrvatskoj.

¹¹⁶ KRLEŽA, „Alotropske modifikacije i izotopi”, 9.

¹¹⁷ „Pavle Savić i Irene Curie dolaze na trag cijepanja atoma”, 28.

¹¹⁸ *Isto*.

¹¹⁹ SUPEK, „Elementarne čestice materije”, 11. Ivan Supek (Zagreb, 1915. – Zagreb, 2007.), studirao fiziku na više europskih sveučilišta, prvi ravnatelj Instituta „Ruđer Bošković” i profesor fizike na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu.

¹²⁰ MALLEY, *Radioactivity*, 93-105.

¹²¹ BRÖSSLER, „Kakova je razlika između Ra-G i olova?”, 80.

¹²² GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 43; KRLEŽA, „Prirodna i umjetna radioaktivnost”, 169; SONNABEND, „Izotopi vodika i teška voda”, 234-236; KRLEŽA, „Alotropske modifikacije i izotopi”, 9-10; SUPEK, „Elementarne čestice materije”, 11-12; SAVIĆ, „Cjepanje atomskih jezgra”, 109.

teških elemenata, poput uranija, mogu biti radioaktivni. Međutim, 1934. Irène i Frédéric Joliot-Curie pokazali su da u nuklearnoj reakciji do koje dolazi kad se α -česticom pogodi jezgra atoma aluminija nastaje dotad nepoznati izotop fosfora, koji je radioaktivan. Ubrzo se pokazalo da se radioaktivnost može izazvati kod mnogih lakih elemenata te je uočen praktični potencijal te pojave (vidi ovdje poglavlje „Djelotvorna sila mikroskopične hirurgije”).¹²³

Otkriće izazvane radioaktivnosti u *Prirodi* se prvi put spominje već u rujnu 1934., ali bez objašnjenja: „Irena Curie [...] je prije nekoliko mjeseci u zajednici sa svojim mužem Frédéric-om Joliot-om došla do velikoga otkrića umjetne radio-aktivnosti.”¹²⁴ Ovo je otkriće u *Prirodi* prvi potanje opisao F. Krleža 1938.: „1934 godine supruzi Curie izveli su analogan pokus s aluminijem [‘bombardovanje alfa-zrakama’, op. a.], pa su dobili neutrone i izotop fosfora. Taj se fosfori izotop dalje sam raspao na izotop silicija i pozitivni elektron ili pozitron. Oni su time prvi puta umjetnim putem izazvali radioaktivnost. Tu radioaktivnost možemo za razliku od prirodne radioaktivnosti nazvati umjetnom radioaktivnosti.”¹²⁵ O izazvanoj radioaktivnosti u *Prirodi* je pisao i P. Savić u tekstu iz 1945.¹²⁶

„Uranov stroj”

Istraživanje transmutacije elemenata otvorilo je tridesetih godina XX. stoljeća mogućnost korištenja nuklearne energije za učinke širokoga domaćaja. Radioaktivni elementi zarana su prepoznati kao izdašan izvor energije, pa se u *Prirodi* već 1912. moglo pročitati: „Čudnovato djelovanje radijoaktivnih tvari i voda potiče od velike količine energije što ih odaje radijum.”¹²⁷ Ta je činjenica suočila fizičare s problemom podrijetla te energije, o čem je pisao J. Goldberg 1924.¹²⁸ Rasprava je potrajala dvadesetak godina, no prekretnicu je već 1902. označila teorija Rutherforda i Soddyja. Tako je do 1910. uglavnom prihvaćeno mišljenje da se kroz radioaktivnost očituje energija sadržana u atomu, „atomna energija”,¹²⁹ te u tom duhu Goldberg piše: „Po ovoj se teoriji tumače radioaktivne pojave time, što se atomi radioaktivnog elementa [...] kao nekom eksplozijom raspadaju. Pri tom se raspadanju oslobađa jedan dio unutrašnje energije atoma i postane raspoloživ za izvanje učinke.”¹³⁰ Nakon otkrića atomne jezgre radioaktivnost je protumačena kao nuklearni proces, proces u kojem se oslobađa energija sadržana u atomnoj jezgri, tj. nuklearna energija.

¹²³ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 305-314.

¹²⁴ „Smrt Marije Curie”, 221.

¹²⁵ KRLEŽA, „Prirodna i umjetna radioaktivnost”, 170-171.

¹²⁶ SAVIĆ, „Cepanje atomskih jezgra”, 107.

¹²⁷ URBANI, „O radiju”, 110.

¹²⁸ GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 42-43.

¹²⁹ PAIS, *Inward Bound*, 103-117.

¹³⁰ GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 43.

Otkriće tako obilna izvora energije potaknulo je razmišljanja o znanstvenim posljedicama i praktičnim primjenama. Primjerice, 1903. Rutherford i Soddy iznijeli su hipotezu da su atomi izvor energije Sunca.¹³¹ Ta se zamisao u *Prirodi* spominje 1919.: „No otkrićem radija nađen je nov, silan izvor energije, koji, ako ga Sunce dovoljno ima, mrsi sve račune ljudske”,¹³² te ponovno 1941.: „Moderni proučavatelji Svemira drže vrlo vjerojatnim, da je raspadanje atoma ono vrelo energije, koje uzdržava temperaturu Sunca i zvijezda.”¹³³ Što se tiče mogućnosti praktičnoga iskorištavanja nuklearne energije, mišljenja prirodoslovaca su se razilazila,¹³⁴ ali poruke koje su upućivali autori tekstova u *Prirodi* nisu odisale optimizmom. Tako J. Lončar 1921. kaže da raspadanjima atoma radioaktivnih elemenata, „što se događaju uz silno razvijanje energije”, mi „možemo prisustvovati tek kao neaktivni svjedoci i ne znamo ga ni zaustaviti ni pospješiti”.¹³⁵ U istom duhu J. Goldberg 1924. piše: „Mislilo se, da bi se oslobađanjem energije iz unutrašnjosti atoma s pomoću radioaktivnih procesa, moglo doći do ogromnih količina energije. Ali ovo bar danas nije moguće.”¹³⁶ Isti stav iznosi V. Glumac 1933.: „Mnogo i često citirani dobitak energije iz atoma nije barem zasad moguć i pripada prethodno potpuno u područje mašte.”¹³⁷ No za manje od šest godina „dobitak energije iz atoma” prešao je iz „područja mašte” u područje zbilje.

Godine 1934. E. Fermi počeo je istraživati posljedice sudara neutrona s jezgrama atoma uranija, tada zadnjeg, 92. po redu, elementa u periodnom sustavu, te je uočio da sudari rezultiraju različitim radioaktivnim produktima. Na temelju analize tih produkata pretpostavio je da bi neki od njih mogli biti dotad nepoznati „transuranijski” elementi, tj. elementi koji bi u periodnom sustavu došli iza uranija,¹³⁸ a istraživanja L. Meitner i O. Hahna u Berlinu 1935. potkrijepila su tu pretpostavku.¹³⁹ Iste je godine vijest o otkriću tih elemenata objavljena u *Prirodi*: „Poznato je, da je prošle godine kemičar [*sic!*] Fermi dobio neki novi element bombardovanjem urana sa neutronima. [...] Ispitivanjem u Kaiser-Wilhelm Institutu (Berlin-Dahlem) potvrđeno je postojanje toga Fermi-evog elementa; a istodobno je dokazano, da ga ide u tablici elemenata mjesto br. 93. iza urana.”¹⁴⁰ Transuranijske elemente potom u *Prirodi* spominje M. Urbani 1936. i 1937. te F. Krleža 1938.,¹⁴¹ no u međuvremenu je istraživanje otvorilo nove probleme. U Berlinu se Meitner i Hahnu pridružio F. Strassmann te su 1937. razradili shemu transuranijskih elemenata-

¹³¹ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 33.

¹³² „Nešto o Suncu”, 248.

¹³³ „Zašto je toplina Sunca uvijek ista?”, 90.

¹³⁴ MALLEY, *Radioactivity*, 67-68.

¹³⁵ LONČAR, „O sastavu materije”, 31-32.

¹³⁶ GOLDBERG, „25 godina radiuma”, 44.

¹³⁷ GLUMAC, „Umjetno razbijanje atoma”, 285.

¹³⁸ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 318-321.

¹³⁹ *Isto*, 349-351.

¹⁴⁰ „Ultra-uran”, 284.

¹⁴¹ URBANI, „Elementi elemenata”, 312; URBANI, „Lord E. Rutherford”, 317; KRLEŽA, „Prirodna i umjetna radioaktivnost”, 172.

ta uklopivši ih u periodni sustav. U Parizu su se pak tih istraživanja prihvatili I. Joliot-Curie i P. Savić. Koristeći dopunjeni eksperimentalni postav, otkrili su dotad neuočeni radioaktivni produkt, koji je po njihovu mišljenju mogao biti jedino transuranijski element, ali kemijskih svojstava znatno drukčijih od očekivanih za transuranijske elemente, koji se stoga nije uklapao u shemu berlinske grupe. U Berlinu su bili uvjereni da se radi o grešci. No nastojeći to dokazati, krajem 1938. Hahn i Strassmann nedvojbeno su pokazali da je jedan od produkata ozračivanja uranija neutronima element barij, 56. element u periodnom sustavu, element čija je jezgra gotovo upola manja od jezgre atoma uranija. Početkom 1939. L. Meitner i O. Frisch protumačili su nastanak barija u tim okolnostima kao rezultat dotad nepoznatog i nezamislivog procesa, procesa raspadanja jezgre atoma uranija na dva podjednaka dijela uzrokovanog apsorpcijom neutrona, procesa koji su nazvali „nuklearna fisija”.¹⁴² Fizičari širom svijeta smjesta su se prihvatili istraživanja nove pojave i ubrzo su stigle eksperimentalne potvrde. Istodobno je glede transuranijskih elemenata došlo do zaokreta: jesu li svi dotad navodno identificirani transuranijski elementi zapravo poznati elementi, lakši od uranija? No u rujnu 1939. Njemačka je napala Poljsku, nakon čega su joj Ujedinjeno Kraljevstvo i Francuska objavili rat, a istraživanja su nastavljena u tajnosti i pod nadzorom vlada.

Nuklearnu fisiju u *Prirodi* prvi spominje A. Vrgoč krajem 1940., ali gotovo nezamjetno: „Bombardiramo li neutronima jezgru, to se ona *ili razbije* [kurziv a.] ili jezgra uhvati u se neutron i poradi toga nastaje drugi, teži elemenat, nego što je bio pogođeni. Tako je iz urana (92) postao transuran (93).”¹⁴³ Spomenimo da su te godine E. McMillan i P. Abelson konačno opazili prvi pravi transuranijski element, neptunij,¹⁴⁴ ali u ovom se članku ti elementi i dalje vežu uz Fermija i berlinsku grupu. O pravim transuranijskim elementima neptuniju i plutoniju u *Prirodi* se prvi put pisalo krajem 1945.¹⁴⁵ Transuranijski elementi u *Prirodi* se ponovno spominju u ožujku 1941.: „O. Hahn, Liese Meitner, F. R. Strassman pronašli su [...] dosad posve nepoznate temeljne tvari [...] Ove čudnovate elemente prozvali su istraživači transuranima.”¹⁴⁶ No već u travanjskom broju *Prirode* nalazimo opasku na taj tekst, u kojoj se eksplicitno upućuje na „cijepanje atomske jezgre urana”: „**Transurani**. U bilješci pod ovim naslovom u prošlom broju ‘Prirode’ (str. 90) izmaklo je ovo razjašnjenje: Prema današnjem stanju nauke čitav niz dosad nađenih tkzv. transurana nisu drugo nego produkti cijepanja atomske jezgre urana.”¹⁴⁷ Bez obzira na stano vitu zbrku glede transuranijskih elemenata, možemo zaključiti da je do 1941. čitateljima *Prirode* prenesena poruka o „cijepanju atomske jezgre urana”, tj. o nuklearnoj fisiji, ali potihom, gotovo nezamjetljivo, bez ikakvih potankosti i komentara o važnosti toga procesa. Tekst iz travnja 1941. napose ne spominje

¹⁴² FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 352-368.

¹⁴³ VRGOČ, „Alkemija i moderni nazor o atomima”, 294.

¹⁴⁴ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 425-427.

¹⁴⁵ RAL., „Novi element plutonij kao atomski eksploziv”, 172.

¹⁴⁶ „Transurani”, br. 3, 90.

¹⁴⁷ „Transurani”, br. 4, 126.

da se jezgre nastale u tom „cijepanju” razlete s vrlo visokom energijom, da do toga „cijepanja” dovodi sudar neutrona s jezgrom uranija te da pritom osim dviju lakših jezgara nastaje i nekoliko slobodnih neutrona. To znači da fisija koju uzrokuje jedan neutron oslobađa nekoliko neutrona, od kojih svaki može uzrokovati fisiju druge jezgre, što u stanovitim okolnostima može dovesti do lančane reakcije pri kojoj se u vrlo kratkom vremenu oslobađa golema energija.¹⁴⁸ No s tom je mogućnošću *Priroda* svoje čitatelje upoznala ubrzo, već ujesen 1942.

Nobelovac M. Planck održao je 15. rujna 1942. u Zagrebu predavanje,¹⁴⁹ u prikazu kojega u *Prirodi* među ostalim piše: „Otto Hahn i suradnici su otkrili, da se iz uranovog atoma, koji je bombardiran neutronima, oslobađaju 2 do 3 neutrona. Svaki od ovih, udarajući u druge uranove atome, oslobađa nove neutrone. Radi toga se broj oslobođenih neutrona, koji imaju velike brzine, naglo uvećava, a njihova energija raste poput lavine. Račun daje, da se iz 1 m³ uranova oksida u vremenu kraćem od 1/100 sek. razvije tolika energija, kolika bi trebala, da se milijarda tona digne 27 km visoko. Planck ne smatra ‘uranov stroj’ utopijom i drži, da bi trebalo ovakve eksplozijske procese utištati. Inače prijeti opasnost ne samo mjestu eksperimentiranja već i cijelom našem planetu.”¹⁵⁰ Premda ovdje dan opis lančane nuklearne fisije nije posve korektan, poruka o mogućim posljedicama vrlo je jasna. O nuklearnoj fisiji u *Prirodi* se ponovno pisalo tek 1945. Tijekom rata je *Priroda* redovito izlazila, pa je u proljeće 1945. objavljen trobroj 35. godišta časopisa. No istodobno je u Splitu Inicijativni odbor Prirodoslovnoga društva objavio dva paralelna sveska. Tako je u veljači 1945. objavljen dvobroj za siječanj i veljaču 32. godišta časopisa, čime se implicira nastavak niza prekinutog 1941. U tom je dvobroju objavljen tekst izlaganja I. Supeka iz lipnja 1944.,¹⁵¹ koje završava upozorenjem sličnim Planckovu: „Fizičari danas otkrivaju u dubinama atoma neizmjerne izvore energije. Njihova primjena dat će čovječanstvu goleme tehničke snage. Te divovske snage mogu biti upotrebene na najveću sreću i blagostanje, ali u društvu rastrovanom ratnim suprotnostima mogu dovesti do potpunog uništenja ljudi.”¹⁵²

U *Prirodi* je lančana nuklearna reakcija prvi put cjelovito opisana u tekstu predavanja P. Savića održanog u Zagrebu u rujnu 1945.: „Da vam shematski predočim kako izgleda ta eksplozija urana koja je osnov atomske bombe. Kad je jezgro pogođeno neutronom, nastaje uran atomske težine 236 [...] Taj se uran eksplozivno cepa, oslobađa neutrone [...] i ogromnu elektromagnetsku energiju [...] Ovi neutroni [...] su sposobni da izvrše cepanje. Ako u jednoj masi urana počne eksplozija, ona oslobađa neutrone i oni aktiviraju sledeće

¹⁴⁸ FERNANDEZ, RIPKA, *Unravelling the Mystery*, 370-380.

¹⁴⁹ Opširno o ovom predavanju vidi u: KOŽNJAK, „O predavanju Maxa Plancka”, 183-223.

¹⁵⁰ D. P-ć. [Dušan Pejnović], „Predavanje Maxa Plancka u Zagrebu”, 185.

¹⁵¹ SUPEK, *Posljednja revolucija*, 7-8.

¹⁵² SUPEK, „Nauka i društvo”, 7.

atome urana tako da se cela masa urana lančano raspada.”¹⁵³ No Savić po svršetku rata s više optimizma gleda na budućnost: „i ako se taj proces dešava eksplozivno i iskorištava u svrhu razaranja, nema razloga da taj proces ne bude iskorišten, već postoji mnogo razloga da će biti iskorišten za promenu celokupnog svladavanja prirodnih sila za ljudsko društvo. [...] Novim generacijama bit će život mnogo ugodniji imajući ovako ogromne snage u svojoj vlasti.”

Ovaj i dva s njim povezana teksta zaslužuju još pozornosti jer se u njima otkriće nuklearne fisije neopravdano pripisuje I. Joliot-Curie i P. Saviću u svrhu upućivanja čitateljstvu političko-propagandne poruke. Pavle Savić (Solun, 1909. – Beograd, 1994.) u Beogradu je studirao fizikalnu kemiju, a od 1935. je kao stipendist francuske vlade bio suradnik I. Joliot-Curie. U Parizu je surađivao s članovima Komunističke partije Jugoslavije te je 1939. postao član Partije, pa je početkom rata kao komunist protjeran iz Francuske. Po povratku u Beograd nastavio je ilegalnu partijsku aktivnost, a u ljeto 1941. prebjegao je u Užice, gdje je postavljen za šifranta Vrhovnoga štaba Narodnooslobodilačke vojske (NOV) Jugoslavije te je postao bliski suradnik Josipa Broza. Na 1. zasjedanju Antifašističkoga vijeća narodnog oslobođenja Jugoslavije (AVNOJ) izabran je za potpredsjednika Izvršnoga odbora i postavljen na čelo Prosvjetnoga odsjeka, a 1944. poslan je s misijom NOV Jugoslavije u Moskvu, gdje se upoznao s Pjotrom Kapicom i radio u fizici niskih temperatura (sovjetske vlasti nisu dopustile da se uključi u rad na nuklearnoj fisiji). Godine 1945. postavljen je za redovitoga profesora fizikalne kemije i prorektora beogradskoga sveučilišta, postao je član Centralnoga komiteta Komunističke partije Srbije, a na 3. zasjedanju AVNOJ-a izabran je za člana Ustavotvorne skupštine i Zakonodavnoga odbora. Istodobno je u više navrata boravio u Moskvi sa zadatkom da uz podršku Kapice osigura pomoć Sovjetskoga Saveza za osnivanje instituta za fiziku u Jugoslaviji, na izgradnji kojega je u Vinči radio od 1947. Bio je ravnatelj Instituta „Vinča” te redoviti član (od 1948.) i predsjednik (1971. – 1981.) Srpske akademije nauka i umetnosti (SANU).¹⁵⁴ Godine 1987. pojavio se kao lik u tekstu *Vojko i Savle* („Savle Pavić”), mutnoj epizodi sukoba u vrhu srbijanske politike nakon objavljivanja nacrtu Memoranduma SANU.¹⁵⁵

U dvobroju *Prirode* za siječanj i veljaču 1945. objavljen je nepotpisani tekst „Pavle Savić i Irene Curie dolaze na trag cijepanja atoma”.¹⁵⁶ Dok naslov teksta podrazumijeva da su Savić i Curie došli nadomak otkriću nuklearne fisije, u nastavku nalazimo dvosmislenu tvrdnju da su oni „pokazali, da poslije bombardiranja s neutronima nastaju iz urana atomi, koji se podudaraju s poznatim nižim kemijskim elementima”, te se zaključuje da atomi „mogu doživjeti

¹⁵³ SAVIĆ, „Cepanje atomskih jezgra”, 111-112.

¹⁵⁴ Vidi opširnije u: BONDŽIĆ, „Pavle Savić – naučnik u ratu”; BONDŽIĆ, „Rad Pavla Savića u Moskvi”; BONDŽIĆ, *Između ambicija i iluzija*.

¹⁵⁵ Vidi npr. KRIŽE, „Velikosrpska politička propaganda”; MAROVIĆ, *POLITIKA i politika*; MILOSAVLJEVIĆ, „Upotreba autoriteta nauke”.

¹⁵⁶ „Pavle Savić i Irene Curie dolaze na trag cijepanja atoma”, 28.

i mnogo radikalnije preobrazbe, kako to dokazuju atomna cijepanja Savića i Curijeve”,¹⁵⁷ čime se Joliot-Curie i Savić izravno povezuju s otkrićem nuklearne fisije. U dvobroju za srpanj i kolovoz nalazimo pak nepotpisanu vijest u kojoj se kaže: „Irena Joliot-Curie i Pavle Savić prvi su otkrili i eksperimentom utvrdili cijepanje jezgre uranovih atoma.”¹⁵⁸ U nastavku se prenose riječi F. Tučana da je „slavenski um [...] otkrio napomenuto vještačko cijepanje atomske jezgre, vještačko oslobađanje atomske energije. Otkrivači toga bili su [...] Irena Joliot i Pavle Savić.”¹⁵⁹ Te su tvrdnje potkrijepljene opaskom da je Savić „ispričao na koji je način uspjele gđi. Joliot i njemu kemijskim putem *dokazati lantan* [kurziv a.] koji je nastao iz urana bombardiranog neutronima”.¹⁶⁰ Isto tvrdi Savić u predavanju: „Ispitujući hemijske osobine toga elementa utvrdili smo da se ne može hemijskim putem odvojiti od elementa lantana (La) [...] To naše otkriće izazvalo je kod Hana i Štrasmana jednu promenu u radu. Oni [...] nalaze barij (Ba), element prvi do lantana.”¹⁶¹ Valja naglasiti da se Hahn i Strassmann spominju samo u ovom tekstu, a i tu se njihov doprinos minorizira. Poruka ovih triju tekstova jest da su nuklearnu fisiju otkrili Joliot-Curie i Savić, s argumentom da su među produktima ozračivanja uranija neutronima našli lantan, 56. element u periodnom sustavu, što dokazuje cijepanje jezgre uranija na dva podjednaka fragmenta. No u svojim člancima iz proljeća i ljeta 1938. Joliot-Curie i Savić kažu nešto posve drugo. Članak iz svibnja 1938. završavaju sljedećim zaključkom o produktu koji su istraživali, a koji su prema prethodnim tekstovima prepoznali kao lantan: „Stoga se čini da ta tvar može biti jedino *transuranijski element* [kurziv a.] svojstava znatno drukčijih od drugih poznatih transuranijskih elemenata, što je pretpostavka koja postavlja teškoće za tumačenje.”¹⁶² U članku predanom u tisak sredinom srpnja pak pišu: „Općenito, svojstva [produkta koji su istraživali, op. a.] su svojstva lantana, od kojeg se dosad *mogao odvojiti samo frakcijskom kristalizacijom* [kurziv a.]”¹⁶³ Joliot-Curie i Savić uistinu su došli nadomak otkriću nuklearne fisije – da su uspjeli produkt koji su istraživali identificirati kao lantan, došli bi do toga otkrića.

Zaključak

Čovjek oduvijek živi u radioaktivnom svijetu, ali tek posljednjih stotinjak godina uči živjeti sa sviješću o radioaktivnim elementima i njihovu potencijalu. *Priroda* je za današnjega povjesničara najpotpunija hrvatska kronika rane faze toga globalnoga društvenog procesa i recepcije naučenoga u lokalnoj

¹⁵⁷ *Isto*, 29.

¹⁵⁸ „Prof. Pavle Savić u Zagrebu”, 131.

¹⁵⁹ *Isto*, 133.

¹⁶⁰ *Isto*, 132.

¹⁶¹ SAVIĆ, „Cepanje atomskih jezgra”, 109-110.

¹⁶² CURIE, SAVITCH, „Sur la nature du radioélément de période 3,5 heures”, 1644.

¹⁶³ CURIE, SAVITCH, „Sur les radioéléments”, 356.

prirodoslovnoj zajednici, ali prije jednoga stoljeća ona je za ondašnju javnost bila učiteljica koja je pružala sliku radioaktivnih elemenata. Na temelju prikazanih tekstova možemo konstruirati kumulativnu retrospektivnu sliku radioaktivnih elemenata u *Prirodi* u razdoblju 1911. – 1945., sliku koja je više-dimenzionalna i koja se s vremenom širi po svim dimenzijama dodavanjem potankosti i novih uvida. No pri razmatranju te slike valja imati na umu da je ona satkana od poruka sadržanih u tekstovima objavljenim tijekom 35 godina te da je slika oblikovana s motrišta onodobnoga čitatelja u najvećem broju slučajeva mogla biti tek parcijalna.

Očekivano, najistaknutija dimenzija slike je prirodoslovna, prikaz rezultata eksperimentalnih i teorijskih istraživanja transmutacije elemenata. Naravno, od popularnoga časopisa ne možemo očekivati ni aktualnost znanstvenoga časopisa ni potpunost i sustavnost udžbenika, nego prije svega osnovni opis i osnovno objašnjenje pojave, a *Priroda* je valjano izvršila tu temeljnu zadaću. Ipak, možemo primijetiti da dok su ključni eksperimentalni rezultati preneseni uglavnom korektno (premda se znala potkrasti poneka greška ili nejasnoća) i ponekad iznenađujuće brzo, dotle je razvoj teorije bio slabije popraćen. Glavni teorijski alat nuklearne fizike postala je kvantna mehanika, ali, premda se o toj teoriji pisalo u *Prirodi*,¹⁶⁴ o uspješnoj primjeni na probleme atomne jezgre doznajemo tek 1945.

Druga dimenzija slike je praktična, prikaz praktičnih primjena radioaktivnih elemenata. Premda je *Priroda* bila časopis za popularizaciju prirodoslovja, ova dimenzija nije zanemarena i vidljiva je u tekstovima tijekom cijeloga razmatranog razdoblja. Glavna značajka ove dimenzije jest isticanje medicinske uporabe radioaktivnih elemenata kao najvažnije, a na tu dominantnu temu dodane su neke tehničke primjene te, četrdesetih godina, korištenje radioaktivnih elemenata kao raspoloživog izvora energije. Valja spomenuti da se narav časopisa zrcali i u ovoj dimenziji slike jer se učincima praktičnih primjena u tekstovima u pravilu daje prirodoslovno objašnjenje.

Treća dimenzija slike je perikulozna, prikaz opasnosti vezanih uz praktične primjene radioaktivnih elemenata i samo baratanje njima. Upozorenja o šteti koju mogu uzrokovati radioaktivni elementi nalazimo već u ranim tekstovima, objavljenim tijekom prvoga desetljeća izlazenja časopisa. Dva-desetih i tridesetih godina ta upozorenja postaju ozbiljnija na temelju teških posljedica za zdravlje opaženih u nekim zanimanjima (primjerice među industrijskim radnicama i medicinskim osobljem), a tijekom četrdesetih godina, osvješćivanjem potencijala nuklearne fisije, upravo dramatična.

Sve u svemu, analiza tekstova pokazuje da je u razmatranom razdoblju *Priroda* ponudila cjelovit i uravnotežen prikaz radioaktivnih elemenata i njihova potencijala, u glavnini korektan te onoliko aktualan i potpun koliko se može zahtijevati od popularnoga časopisa.

¹⁶⁴ Vidi primjerice: VRKLJAN, „Teorija kvanta”, 7-15.

Objavljeni izvori i tisak

„16. veljače 1903. Danysz. Pathogeno djelovanje od radija proizlazećih zraka i emanacija na razna tkiva i mikroorganizme”. *Liečnički viestnik* 25 (1903), br. 9: 312.

„Boje, koje svijetle”. *Priroda* 9 (1919), br. 1: 26-27.

BRÖSSLER, Franjo. „Kakova je razlika između Ra-G i olova?”. *Priroda* 11 (1921), br. 4: 80.

BRÖSSLER, Franjo. „Novi radioaktivni elemenat”. *Priroda* 11 (1921), br. 5: 98-99.

BUBANOVIĆ, Fran. „Helij”. *Priroda* 7 (1917), br. 10: 237-242.

CRNOJEVIĆ, Vladimir. „U svijetu patuljaka”. *Priroda* 8 (1918), br. 1: 10-14.

CURIE, Irène; SAVITCH, Paul. „Sur la nature du radioélément de période 3,5 heures formé dans l'uranium irradié par les neutrons”. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 206 (1938): 1643-1644.

CURIE, Irène; SAVITCH, Paul. „Sur les radioéléments formés dans l'uranium irradié par les neutrons. II”. *Journal de Physique et Le Radium* 9 (1938): 355-359.

D. P-ć. [Dušan Pejnović]. „Predavanje Maxa Plancka u Zagrebu”. *Priroda* 32 (1942), br. 7-8: 184-185.

„Deset godina rada Hrvatskog prirodoslovnog društva”. *Priroda* 45 (1955), br. 5: 161-170.

Dom i svijet (Zagreb), 1903-1905.

DR. Č. „Radiokultura”. *Priroda* 4 (1914), br. 1: 35.

„Dragocjena pošiljka radija”. *Priroda* 23 (1933), br. 1: 25.

FINK, Nikola. „Urednik 'Priode'”. *Priroda* 44 (1954), br. 7: 255-269.

G. „Koje dejstvo razara radioaktivne atome na alfa-zrake, beta-zrake i gama-zrake?”. *Priroda* 38 (1948), br. 10: 367-368.

„G. V. T., Rijeka”. *Priroda* 7 (1917), br. 3: 78.

GLUMAC, Vladimir. „Umjetno razbijanje atoma”. *Priroda* 23 (1933), br. 9: 280-285.

GOLDBERG, Josip. „25 godina radiuma”. *Priroda* 14 (1924), br. 2-3: 42-44.

GOLDBERG, Josip. „Kozmičke zrake”. *Priroda* 25 (1935), br. 3: 65-73.

„Gosp. V. T. – Rijeka”. *Priroda* 7 (1917), br. 5: 127.

„Ispitivanje materijala Röntgenovim i gama-zrakama”. *Priroda* 23 (1933), br. 1: 24-25.

J. H. [Jovan Hadži]. „Djelovanje radijeve emanacije na biljke”. *Priroda* 3 (1913), br. 3: 95.

K. „Pokušaji primjene transmutacije atoma. Ciklotron”. *Priroda* 28 (1938), br. 7: 220-223.

KATALINIĆ, Marin. „Kako atomi pišu svoju povijest”. *Priroda* 30 (1940), br. 2: 33-40.

- KÖRBLER, Juraj. „Liječenje radijem”. *Priroda* 20 (1930), br. 9-10: 254-263.
- KÖRBLER, Juraj. „Nalazišta radija”. *Priroda* 29 (1939), br. 2: 43-49.
- KÖRBLER, Juraj. „Radioaktivna vrela”. *Priroda* 33 (1943), br. 1-3: 28-30.
- KÖRBLER, Juraj. „Rak i zvanje”. *Priroda* 28 (1938), br. 6: 172-178.
- KRLEŽA, Franjo. „Alotropne modifikacije i izotopi”. *Priroda* 31 (1941), br. 1: 7-10.
- KRLEŽA, Franjo. „Prirodna i umjetna radioaktivnost”. *Priroda* 28 (1938), br. 6: 167-172.
- KUČERA, Oton. *Valovi i zrake*. Zagreb: Matica hrvatska, 1903.
- KURELEC, Alfred. „Svijetlo – čestica, materija – val”. *Priroda* 22 (1932), br. 4-5: 135-143.
- „Liječenje radijem”. *Priroda* 11 (1921), br. 5: 101-102.
- LONČAR, Josip. „O sastavu materije”. *Priroda* 11 (1921), br. 2: 28-32.
- LONČAR, Josip. „O sastavu materije (Svršetak)”. *Priroda* 11 (1921), br. 3: 52-55.
- LONČAR, Josip. „Vaganje u nauci”. *Priroda* 8 (1918), br. 2: 40-42.
- LORD RUTHERFORD. *The Newer Alchemy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1937.
- „Munjovod s radijem”. *Priroda* 7 (1917), br. 5: 124-125.
- „Nešto o Suncu”. *Priroda* 9 (1919), br. 10: 247-249.
- „Nova nalazišta radija”. *Priroda* 19 (1929), br. 8-9: 255.
- „Opasnost radio-aktivnih tvari za čovječje tijelo”. *Priroda* 19 (1929), br. 8-9: 254.
- „Otrovanja radijem”. *Priroda* 16 (1926), br. 8: 171-172.
- „Pavle Savić i Irene Curie dolaze na trag cijepanja atoma”. *Priroda* 35 (1945), br. 1-2: 28-29.
- PEJNOVIĆ, Dušan. „Osnovi nove atomistike”. *Priroda* 29 (1939), br. 9: 257-263.
- „Platina i radij”. *Priroda* 14 (1924), br. 9-10: 181.
- „Pravilnik zavoda za radijum terapiju u Zagrebu”. *Liječnički vjesnik* 53 (1931), prilog: *Glasnik za staleška i zdravstvena pitanja*, br. 12: 504-505.
- „Prof. Pavle Savić u Zagrebu”. *Priroda* 35 (1945), br. 7-8: 131-133.
- „Radij”. *Priroda* 23 (1933), br. 4: 134.
- „Radioaktivno raspadanje”. *Priroda* 16 (1926), br. 7: 147.
- RAL. „Novi element plutonij kao atomski eksploziv”. *Priroda* 35 (1945), br. 9-10: 172.
- SAVIĆ, Pavle. „Cepanje atomskih jezgra”. *Priroda* 35 (1945), br. 7-8: 105-112.
- „Smrt Marije Curie”. *Priroda* 24 (1934), br. 7: 219-221.
- SONNABEND, Aleksandar. „Izotopi vodika i teška voda”. *Priroda* 29 (1939), br. 8: 234-240.

SUPEK, Ivan. „Elementarne čestice materije”. *Priroda* 35 (1945), br. 3-4: 6-13.

SUPEK, Ivan. „Nauka i društvo”. *Priroda* 35 (1945), br. 1-2: 2-7.

ŠPICER, Zora. „Zlato iz žive”. *Priroda* 15 (1925), br. 1: 15-17.

„Transurani”. *Priroda* 31 (1941), br. 3: 90.

„Transurani”. *Priroda* 31 (1941), br. 4: 126.

„Ultra-uran”. *Priroda* 25 (1935), br. 9: 284.

URBANI, Milutin. „Elementi elemenata”. *Priroda* 26 (1936), br. 9: 310-312.

URBANI, Milutin. „Lord E. Rutherford (U spomen njegove smrti)”. *Priroda* 27 (1937), br. 10: 315-317.

URBANI, Milutin. „Manija za zlatom”. *Priroda* 25 (1935), br. 7: 197-200.

URBANI, Milutin. „Nešto o prošlosti i budućnosti kovina”. *Priroda* 20 (1930), br. 4-5: 113-119.

URBANI, Milutin. „O radiju”. *Priroda* 2 (1912), br. 4: 108-111.

VRGOČ, Antun. „Alkemija i moderni nazor o atomima”. *Priroda* 30 (1940), br. 10: 289-294.

VRKLJAN, Vladimir. „Teorija kvanta”. *Priroda* 19 (1929), br. 1: 7-15.

„Zaronimo u dubinu elemenatâ”. *Priroda* 14 (1924), br. 1: 11-14.

„Zašto je toplina Sunca uvijek ista?”. *Priroda* 31 (1941), br. 3: 90.

Literatura

BONDŽIĆ, Dragomir. *Između ambicija i iluzija: nuklearna politika Jugoslavije 1945-1990*. Beograd: Institut za savremenu istoriju, 2016.

BONDŽIĆ, Dragomir. „Pavle Savić – naučnik u ratu”. U: *Intelektualci i rat 1939. – 1947. Zbornik radova s međunarodnog skupa Desničini susreti 2012.*, ur. Drago Roksandić i Ivana Cvijović Javorina. Zagreb: Centar za komparativno-historijske i interkulturalne studije, 2013, 1. dio, 239-248.

BONDŽIĆ, Dragomir. „Rad Pavla Savića u Moskvi 1944. i 1945/46. i projekat za izgradnju jugoslovenskog instituta za fiziku”. *Istorija 20. veka* 33 (2015), br. 2: 91-104.

FERNANDEZ, Bernard; RIPKA, Georges. *Unravelling the Mystery of the Atomic Nucleus: A Sixty Year Journey 1896 – 1956*. New York: Springer, 2013.

HANŽEK, Branko; FRANIĆ, Zdenko; BRANICA, Gina. „Znameniti radiofizičari i radiokemičari u Hrvatskoj do 1945.” *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* 62 (2011), br. 3: 279-290.

KERSTEN, Holger. „‘These Rays May Be Helpful or Harmful’: The Depiction of Radium in Early 20th Century American Newspapers”. U: *The Anticipation of Catastrophe: Environmental Risk in North American Literature and Culture*, ur. Sylvia Štefica Mayer i Alexa Weik von Mossner. Heidelberg: Universitätsverlag Winter, 2014, 81-100.

KOŽNJAK, Boris. „O predavanju Maxa Plancka ‘Smisao i granice egzaktne znanosti’ u Zagrebu 15. rujna 1942.” *Prilozi za istraživanje hrvatske filozofske baštine* 45 (2019), br. 1: 183-223.

KRIŽE, Željka. „Velikosrpska politička propaganda uoči raspada Jugoslavije na primjeru srbijanskog tiska od donošenja Memoranduma SANU do početka ratnih sukoba u Hrvatskoj (1986-1991)”. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 2015.

LANDA, Edward. „The First Nuclear Industry”. *Scientific American* 247 (1982), br. 5: 180-193.

L'ANNUNZIATA, Michael F. *Radioactivity: Introduction and History, From the Quantum to Quarks*. Amsterdam: Elsevier, 2016.

LUBENAU, Joel; LANDA, Edward. *Radium City: A History of America's First Nuclear Industry*. Pittsburgh: Senator John Heinz History Center, 2019. Pristup ostvaren 9. 2. 2023. <https://www.heinzhistorycenter.org/wp-content/uploads/2022/08/Radium-City.pdf>.

MALLEY, Marjorie. *Radioactivity: A History of a Mysterious Science*. New York: Oxford University Press, 2011.

MAROVIĆ, Miodrag. *POLITIKA i politika*. Beograd: Helsinški odbor za ljudska prava u Srbiji, 2002.

MARPLE, Mary Lynn. *Radium-226 in Vegetation and Substrates at Inactive Uranium Mill Sites*. Los Alamos Scientific Laboratory. Pristup ostvaren 3. 5. 2023. https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/11/540/11540885.pdf.

MILOSAVLJEVIĆ, Olivera. „Upotreba autoriteta nauke: javna politička delatnost Srpske akademije nauka i umetnosti (1986-1992)”. *Republika* 7 (1995), br. 119-120: 19-48.

MOORE, Kate. *The Radium Girls: The Dark Story of America's Shining Women*. Naperville: Sourcebooks, 2018.

PAIS, Abraham. *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*. Oxford; New York: Clarendon Press; Oxford University Press, 1986.

PODGORSAK, Ervin B., ur. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Beč: International Atomic Energy Agency, 2005. Pristup ostvaren 13. 4. 2023. https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1196_web.pdf.

PRESTON, Diana. *Before the Fall-Out: The Human Chain Reaction from Marie Curie to Hiroshima*. London: Corgi Books, 2006.

RAŽEM, Dušan. „Odjeci otkrića radioaktivnosti u Hrvatskoj”. U: *Zbornik radova Trećeg simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja*, ur. Dragan Kubelka i Jadranka Kovač. Zagreb: Hrvatsko društvo za zaštitu od zračenja, 1996, 27-32.

SUPEK, Ivan. *Posljednja revolucija*. Zagreb: Stvarnost, 1965.

WHITTAKER, Edmund. *A History of the Theories of Aether and Electricity. The Modern Theories 1900 – 1926*. London: Thomas Nelson and Sons, 1953.

SUMMARY

The Fulfilment of the Alchemists' Dream as an Immense Treasure and a Threat to the Entire Planet: Radioactivity and Nuclear Energy in the Journal *Priroda* 1911-1945

At the beginning of the 20th century, radioactive elements kindled great expectations from both the scientific community and the general public, but for different reasons. While scientists hoped for deeper insights into the structure of matter, the public dreamed of a panacea and an inexhaustible source of energy. Therefore, it is interesting to consider what kind of messages the scientific community was sending to the public in those circumstances. The richest Croatian source for such research is the magazine *Priroda*, a journal for the popularization of science that was published by the Croatian Natural History Society from 1911 until recently. During the first half of the 20th century it was the only continuously open channel of communication between the local scientific community and the public. For the purpose of this research, the content of the journal in the period 1911-1945 was searched and texts relevant to the topic were identified. This article presents the results of the analysis of those texts in a historical context. The retrospective picture of radioactive elements that follows from this analysis is multidimensional and includes the presentation of the results of experimental and theoretical research on the transmutation of elements, the presentation of practical applications of radioactive elements, and the presentation of the dangers that come with the use of radioactive elements. The analysis shows that *Priroda* gave a complete and balanced glimpse into radioactive elements and their potential, mostly correct and as current and complete as can be expected from a popular magazine.

Keywords: radium; radioactivity; ionizing radiation; nuclear energy; journal *Priroda*