

Utjecaj Marie Curie na razvoj kvantne mehanike

Božić, Vlatka

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:738184>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Vlatka Božić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Vlatka Božić

UTJECAJ MARIE CURIE NA RAZVOJ KVANTNE MEHANIKE

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Članovi ispitnog povjerenstva: prof. dr. sc. Elvira Vidović

izv. prof. dr. sc. Marijana Kraljić Roković

izv. prof. dr. sc. Helena Otmačić Ćurković

Zagreb, rujan 2021.

Jedna od izjava Marie Curie, heroine modernog doba, glasi:

„Ničega se u životu ne treba bojati, samo treba razumjeti. Sada je vrijeme da razumijemo više, kako bismo se bojali manje.“

Ako je netko razumio svijet, to je bila Marie. Dapače, usudila bih se reći da je među svim onim titulama koje je, kao pionirka, neustrašivo ponijela na različitim područjima djelovanja, ona bila i prva žena koja je razumjela.

S ciljem boljeg razumijevanja napisan je i ovaj završni rad.

Posebno zahvaljujem prof. dr. sc. Vladimiru Dananiću na pruženoj prilici za izradu završnog rada na ovom zavodu te na svim stručnim savjetima, pomoći i susretljivosti prilikom izrade rada.

Nadalje, veliko hvala mojoj obitelji i prijateljima koji su me svih ovih godina podržavali i razumjeli.

SAŽETAK

Marie Curie Skłodowska francuska je fizičarka i kemičarka poljskog podrijetla. Obilježila je 20. stoljeće. Bila je prva značajna i globalno priznata žena u znanosti te je kao takva ostalim ženama utrla put u znanost. Od 1891. godine živi u Francuskoj gdje je 1893. godine postala prvom ženom koja je diplomirala fiziku na Sorbonni.

Henri Becquerel je 1896. godine otkrio nevidljive zrake koje provode struju. Potaknuta time, madam Curie se odlučila za temu svog poslijediplomskog istraživanja. Tako je otkrila da je radioaktivnost unutarnje svojstvo nekih elemenata.

Radeći sa svojim suprugom Pierrom u skromnom i trošnom laboratoriju, vođena neiscrpnom snagom, voljom i radom, 1898. godine je otkrila dva nova kemijska elementa. Naime, zajedno su prebirali po tonama prirodne rude kako bi u konačnici 1902. godine izolirali desetinu grama radija. 1903. godine zajedno sa suprugom prima prvu Nobelovu nagradu na području fizike te tako postaje prva žena koja je dobila Nobela. Već 1911. godine prima drugu Nobelovu nagradu za kemiju čime je postala jedinom ženom koja je primila dvije Nobelove nagrade.

Cilj ovog rada je upoznati lik i djelo Marie Curie te pritom istaknuti njezin utjecaj na razvoj kvantne mehanike. Njezin najveći uspjeh bila je primjena potpuno novih metoda pri otkriću elemenata. Sljedećih godina znanstvenici su pojasnili i locirali izvor radioaktivnosti te su tako pridonijeli otkriću atoma i njegove strukture.

Ovim je radom utvrđeno da su glavna snaga madam Curie i njezin glavni doprinos fundamentalnoj znanosti kreativni postupci u izdvajanju radioaktivnih elemenata i njezina upornost. Otkrićem radioaktivnosti, Marie je ujedno i utrla put daljnjeg razvoja kvantne mehanike.

Ključne riječi: *Marie Curie Skłodowska, radioaktivnost, polonij, radij, Nobelova nagrada, kvantna mehanika*

ABSTRACT

Marie Curie Skłodowska is a French physicist and chemist of Polish descent. She marked the 20th century. She was the first significant and globally recognised woman in science and, as such, paved the way for other women in science. She has lived in France since 1891, where in 1893 she became the first woman to graduate physics from Sorbonne.

In 1896, Henri Becquerel discovered invisible rays that conduct electricity. Encouraged by this, Madame Curie decided on the topic of her postgraduate research. She discovered that radioactivity is an internal property of some elements.

Working with her husband Pierre in a humble and dilapidated laboratory, with inexhaustible strength, will and hard work, in 1898 she discovered two new chemical elements. Namely, together they sifted through tons of natural ore in order to finally isolate a tenth of a gram of radium in 1902. In 1903, with her husband Pierre, she received the first Nobel Prize in physics. Madam Curie became the first woman to receive the Nobel prize. In 1911, she received the Nobel Prize in Chemistry, making her the only woman to receive two Nobel prizes.

The aim of this paper is to get to know the character and work of Marie Curie and to emphasize her influence on the development of quantum mechanics. Her greatest success was the application of completely new methods in the discovery of elements. In the following years, scientists explained and located the source of radioactivity and thus contributed to the discovery of the atom and its structure.

This paper found that Madame Curie's main strength and her main contribution to fundamental science were creative procedures in the isolation of radioactive elements and her persistence. With the discovery of radioactivity, Marie also paved the way for the further development of quantum mechanics.

Key words: *Marie Curie Skłodowska, radioactivity, polonium, radium, Nobel prize, quantum mechanics*

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. BIOGRAFIJA	2
2.1. Djetinjstvo i obrazovanje	2
2.2. Znanstveni rad	4
2.2.1. Otkriće radioaktivnosti	4
2.2.2. Otkriće radija i polonija.....	6
2.3. Putovanje radija k slavi	9
2.4. Polonij i radij u suvremeno doba.....	10
2.4.1. Radij	10
2.4.2. Radij u Hrvatskoj	11
2.4.3. Polonij	11
2.5. Pitanje bez odgovora	12
2.6. Radioaktivnost u suvremeno doba	13
2.7. Daljnja istraživanja.....	15
2.8. Nobelove nagrade.....	15
3.0. Žene u znanosti.....	17
3.1. Iréne Joliot – Curie	19
3.2. Rosalind Franklin	20
3.3. Wang Zheny	21
4.0. Ostavština Marie Curie.....	22
5.0. Zaključak	25
6.0. LITERATURA.....	27
ŽIVOTOPIS	29

1. UVOD

Marie Curie je bila poljska fizičarka i kemičarka, svijetu poznata po otkriću kemijskih elemenata radija i polonija. Poljakinja koja je čak dva puta uspjela osvojiti Nobelovu nagradu. Prvi put za fiziku 1903., zajedno s mužem Pierrom Curiejem, a drugi put za kemiju 1911., samostalno. Ustvari, u čitavoj povijesti Nobelove nagrade samo su još tri osobe primile dvije nagrade, Linus Pauling, Frederick Sanger i John Bardeen, a samo Pauling u dvije različite kategorije kao Marie. Osim toga, Marie je otkrila i mjerila radioaktivnost.¹

Radioaktivnost nastaje razlaganjem atomske jezgre drugih elemenata emitirajući pritom zrake ili čestice (radijacija) u procesu kojeg nazivamo radioaktivni raspad.²

Njoj se duguje i pronalazak polonija i radija, dva elementa koja su puno radioaktivnija od uranija. Polonij, prvi otkriven te nazvan prema imenu Marieine rodne domovine, ubrzo je zasjenila važnost radija.¹ Svojom upornošću i mukotrpnim radom koji je podrazumijevao laboratorijsko obrađivanje nekoliko tona rudače, prvi je put testirala zračenje koje je utrlo put kvantnoj mehanici te ukazalo na njezinu povezanost s eksperimentalnom kemijom.

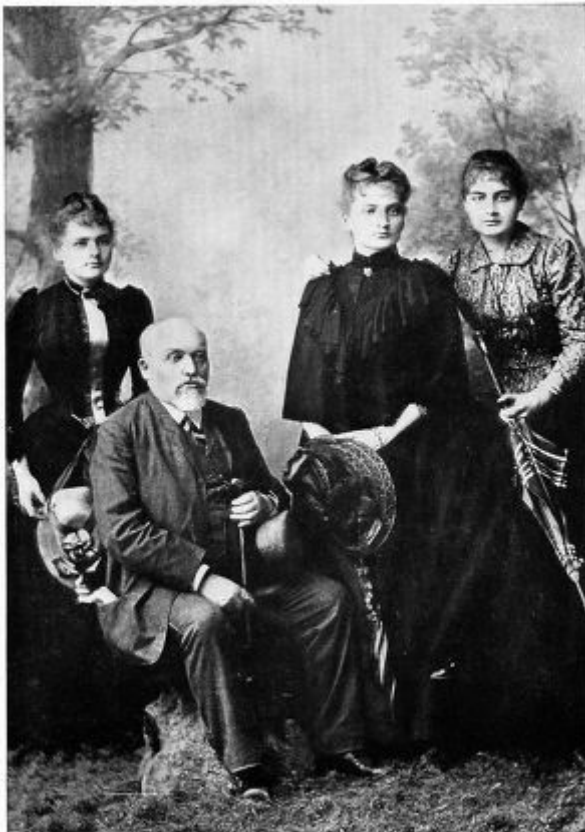
Profesionalna veličina madam Curie bila je potpuna rijetkost u njezino vrijeme. Bila je prva žena profesorica na pariškoj Sorbonni, članica Medicinske akademije te utemeljiteljica i direktorica radioloških instituta u Francuskoj, a potom u Poljskoj. Marie Curie se bespogovorno isticala inteligencijom, radinošću, znanstvenim poslanjem i kreativnošću. Međutim, krasile su je i općeljudske vrednote: poštenje, nesebičnost i plemenitost.

2. BIOGRAFIJA

2.1. Djetinjstvo i obrazovanje

Marya Salomee Skłodowska rođena je 7. studenog 1867. u Varšavi. Potječe iz obitelji u kojoj se oduvijek veoma cijeniло obrazovanje. Majka Bronislawa bila je ravnateljica privatne škole za djevojčice, dok je otac Wladyslaw bio nastavnik matematike i fizike u gimnaziji.

Slika 1. prikazuje Marie Curie (s lijeva) s dvjema sestrama i ocem. Nažalost, kada je Marie napunila 11 godina, ostala je bez majke koja je oboljela od tuberkuloze. Uskoro je njezina starija sestra umrla od posljedica tifusa.



Slika 1. Marie Curie sa sestrama i ocem ²¹

Od malena je pokazivala iznimnu žeđ za znanjem. Tako je već u srednjoj školi bila najbolja učenica. Visoke državne škole u Poljskoj u to vrijeme nisu primale žene, ali su one mogle pohađati ilegalno „Leteće sveučilište“. U svojim autobiografskim bilješkama, Marie piše:

„Noću (kao adolescentica jer je s četrnaest godina završila srednju školu) običavala sam učiti. Čula sam kako su neke žene uspjele upisati studij u Sankt Peterburgu ili inozemstvu i odlučila sam sama učiti kako bih slijedila njihov primjer.“¹

Obzirom da nisu imale financijskih sredstava za studij, Marie se zaposlila kao guvernanta. Sestre su se dogovorile da Bronia ode na studij medicine u Pariz, a Marie će joj slati dio primanja. Kada se Bronia snašla u Parizu, pozvala je sestru da joj se pridruži. Tako je Marie došla u Pariz i s 24 godine na Sorbonni upisala studij fizike. Svoje tadašnje misli zapisala je u obliku autobiografskih bilješki: „Soba u kojoj sam živjela bila je u potkrovlju, zimi vrlo hladna jer nije bila dovoljno grijana malom peći u kojoj je često nedostajalo ugljena. Tijekom posebno rigorozne zime nije bilo neobično da se voda noću ledila u cijevima; da bih mogla spavati, morala sam svu odjeću složiti na pokrivače...

Obroci su se često svodili na kruh uz šalicu čokolade, jaja ili voća. Nisam imala pomoći u domaćinstvu i sama sam nosila male količine ugljena koje bi se brzo potrošile...“¹⁵

Unatoč nepovoljnoj financijskoj situaciji, došavši u Pariz i počevši se slobodnije baviti znanošću, ushićena Marie Curie je u svojem dnevniku zapisala: “Bilo je to kao da mi se otvorio novi svijet, svijet znanosti, koji sam napokon smjela upoznati u punoj slobodi.“⁵

Baveći se studijem, Marie je istovremeno pisala raspravu o istraživanju magnetskih svojstava raznih vrsta čelika namijenjenu poljskom „Društvu za podizanje nacionalne industrije“. Za potrebe ove rasprave, trebala je laboratorij za provedbu eksperimentalnog dijela rada. U tu joj je svrhu profesor fizike, rodom Poljak, Józef Kowalski, ponudio rješenje. Naime, on ju je upoznao sa znanstvenikom Pierom Curijem koji je radio u laboratoriju na Ecolé de Physique et de Chimie. Marie je Pierra odmah osvojila svojim znanjem, ljupkošću, skromnošću i genijalnošću. Ubrzo ju je zaprosio te su se 1895. godine i vjenčali.³ Slika 2. prikazuje Marie i Pierra na dan njihova vjenčanja.



Slika 2. Fotografija s vjenčanja Marie i Pierra Curie; prema nekim izvorima, jedina fotografija na kojoj se Marie blago smiješi ²²

2.2. Znanstveni rad

2.2.1. Otkriće radioaktivnosti

1895. godine Wilhelm Röntgen je provodio pokuse pomoću cijevi za katodne zrake. Jednom prilikom je slučajno otkrio X-zrake. (Tako ih je nazvao obzirom da nije mogao pojasniti njihovu prirodu.) Njihov pronalazak je izazvao nova senzacionalna otkrića te doveo do prve radiografije ruke njegove žene. Uslijedilo je razdoblje zaludenosti znanstvenim otkrićima. Ništa manje fasciniran X-zrakama nije bio niti Henri Becquerel. On je počeo istraživati postoji li prirodna fosforescencija. 1896. godine otkrio je da uranilne soli emitiraju nevidljive radijacije nepoznate prirode koje ostavljaju trag na fotografskoj ploči.¹

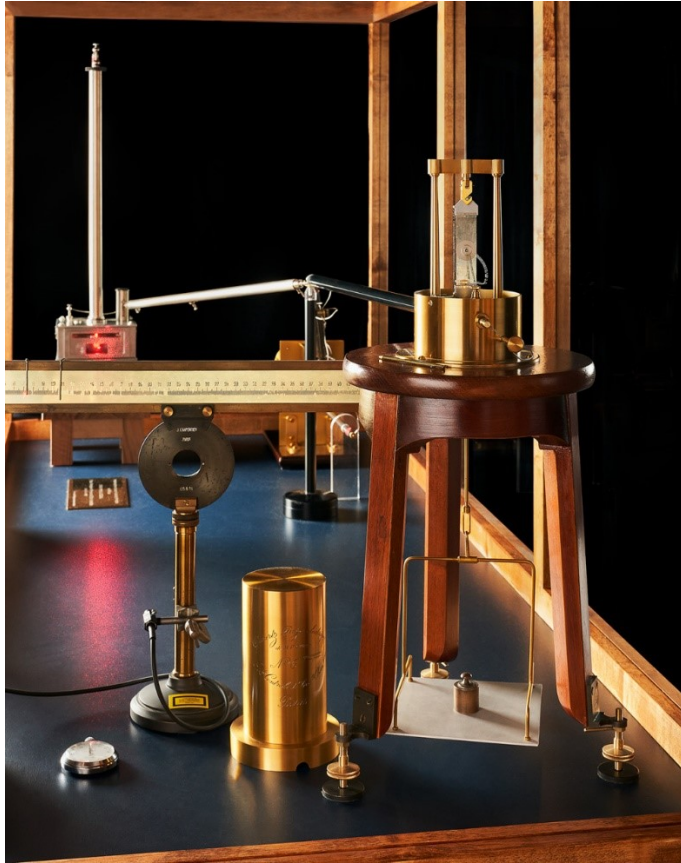


Slika 3. Prva radiografija ruke supruge Wilhema Röntgena koja je u kratkom vremenu obišla svijet ²³

Marie je, potaknuta nevidljivim zrakama koje je otkrio Becquerel, odlučila napisati disertaciju na temu daljnjeg istraživanja radioaktivnosti. U to je vrijeme Pierre Curie sa svojim bratom Jacquesom izumio kvarcni piezoelektrični elektrometar te je Marie počela mjeriti stupanj provodljivosti novootkrivenih zraka kako bi detaljnije ispitala njihovu prirodu.⁴ Slika 4. prikazuje elektrometar s piezoelektričnim kvarcom i osjetljivim vagama kojim se Marie koristila pri istraživanju fenomena radioaktivnosti.

Ustanovila je da zračenje ne potječe od uranove soli, već od uranovog atoma te je pojavu nazvala radioaktivnošću.³

Kada je Becquerel dokazao da je uran radioaktivan, Marie je htjela ispitati postoji li još elemenata koji imaju slična svojstva. Uskoro je otkrila da je i torij radioaktivan.⁴



Slika 4. elektrometar s piezoelektričnim kvarcom i osjetljivim vagama ²¹

2.2.2. Otkriće radija i polonija

Marie je nastavak istraživanja odlučila provoditi s mineralom koji sadrži uranij – pehblendom. Ubrzo je došla do nevjerojatnog okrića uvidjevši da uranov smolinac povećava provodljivost zraka više od uranija koji se iz nje mogao izolirati. Marie je svojom nenadmašivom intuicijom zaključila da mineral na kojemu su radili mora sadržavati element radioaktivniji od uranija. Međutim, ono čega ovaj mladi tim znanstvenika tada nije bio svjestan jest činjenica da kako bi izolirali taj radioaktivni element iz rude, moraju obraditi čitavu planinu tog kamenja. Uistinu, bilo je potrebno deset tona uranovog smolinca kako bi izolirali desetinu jednog grama radijeva klorida.¹

Na sreću, profesor Suess iz austrijske države, koja je bila vlasnik rudnika u Joachimsthalu, poslao im je poruku u kojoj im je objasnio kako im otpadni produkti uranove rude mogu biti darovani.⁶

Marie je kasnije napisala dnevnik u kojemu je dodala: „Nitko ne može reći bismo li ustrajali, s obzirom na siromaštvo naših sredstava za istraživanje, da smo znali za istinski razmjer onoga što smo tražili.“⁵

Do ovog velikog otkrića, Marie je došla uz pomoć samo nekoliko asistenata u veoma malom i trošnom laboratoriju koji je jedva zadovoljavao osnovne uvjete za rad. Njezina asistentica i prijateljica Blanche Wittman, u svojem je dnevniku opisala: „Laboratorij je zapravo bio stara, drvena šupa, napuštena remiza od dasaka čiji je krov pokriven staklom bio u tako jadnom stanju da je kiša sve vrijeme potpuno poplavljivala tu užasnu šupu koju je Medicinski fakultet nekada koristio kao prostoriju za obdukcije.“⁶



Slika 4. Marie Curie u trošnim uvjetima svoga laboratorija u Parizu²⁴

Uzorke uranovog smolinca su usitnjavali, otapali u kiselinu te koristeći standardne analitičke tehnike toga doba razdijelili su sastojke uranove rude. Zatim su mjerili radioaktivnost svakog sastojka zasebno.

U konačnici su izolirali crni prah koji je pokazivao 330 puta veću sklonost k radioaktivnosti od urana. Novi kemijski element su nazvali polonij.⁷

U srpnju 1898. godine, Marie je napisala rad u kojemu ističe: "Stoga vjerujemo da supstanca koju smo izdvojili iz uranovog smolinca sadrži metal koji do sada nije poznat, a srodan je svojim analitičkim svojstvima bizmutu. Ako se postojanje tog novog metala potvrdi,

predlažemo da ga se nazove polonij, po imenu zemlje podrijetla jednoga od nas." U tome se radu po prvi puta koristi naziv radioaktivnost.



Slika 5. Primarna mineralna ruda urana, u kojoj je Marie Curie otkrila polonij i radij ²¹

Daljnim istraživanjem, supružnici Curie su uočili da tekućina koja je preostala nakon izolacije polonija, pokazuje iznimnu radioaktivnost. Tako je uskoro otkriven još jedan novi element koji je u još manjim količinama zastupljen u rudi uranova smolinca. Bio je to radij, element vrlo visoke radioaktivnosti.⁴

Marie je, zbog malih količina u kojima su bili zastupljeni novi elementi, sa suprugom Pierrom do 1902. godine prebivala po tonama materijala. Pritom je ona bila zadužena za kemijsku separaciju, dok je Pierre bilježio pojedina mjerenja.

Naime, Marie je u kiselini otapala po 20 kilograma otpada. Potom je pomoću barija odvajala radijev sulfat iz kojega je dobivala radijev klorid i kristalizirala ga više tisuća puta. Na ovu temu je objavila 32 znanstvene rasprave, a sam postupak izoliranja radija je opisala u svojoj disertaciji iz 1903. godine „O istraživanju radioaktivnih tvari“.³

Bile su potrebne četiri godine da bi se prikupio jedan decigram gotovo čistog radijevog klorida te kako bi se na osnovu njega odredila atomska težina radija. Marie Curie je nakon toga provela još 8 godina u suradnji s A. Debierneom da bi uspjela izolirati radij u metalnom obliku.⁹

Tako su omogućili da se svijet upozna sa svojstvima polonija i radija te proračun njihovih atomskih masa.⁴

Nakon otkrića dvaju novih elemenata, Marie i Pierre su se odrekli velikog novčanog dobitka koji su im ovi patenti mogli donijeti. Marie je u to vrijeme zapisala: „...naše otkriće nismo zaštitili patentom i bez pridržavanja objavili smo rezultat našeg istraživanja kao i postupak za pridobivanje radija. Osim toga davali smo interesentima sva objašnjenja što su ih željeli. To je bila velika blagodan za industriju radija, jer se mogla sasvim slobodno razvijati...”. Kada je 1920. godine posjetila Ameriku, u intervjuu s novinarkom Meloney je istaknula: “Radij ne bi smio nikoga obogatiti. Radij je element i vlasništvo svih ljudi svijeta.”³

2.3. Putovanje radija k slavi

Otkrićem radija svijet je počeo vjerovati u njegova čudotvorna svojstva. Marie Curie su promehnuli u sestru Prometeja te ju opjevali u odi naslova „Oda za Madame Curie“.

Uskoro se radij počeo koristiti u terapiji nekih teških bolesti. Tako je 1901. Pierre Curie poklonio malu količinu radijevog klorida bolnici u Parizu, a prva uspješna terapija opisana je u stručnoj literaturi 1903. godine.

U vrijeme kada je tek otkriven, radij se nametnuo kao eliksir života i mladosti. Jedan od novinskih članaka iz 1904. godine imao je naslov: "Radij je zamjena za plin, elektricitet i pozitivno djeluje na svaku bolest".

Radij je ulazio i u druge konzumne produkte: miješan s cinkovim sulfatom koristio se kao luminiscentna boja.

Nadalje, proizvođači su ga miješali s cinkovim sulfatom kako bi se u konačnici koristio kao luminiscentna boja. Procjenjuje se da je do 1963. godine prodano skoro 10 milijuna ručnih satova s radijevom bojom. To upućuje na činjenicu da je 20,000 ljudi nosilo džepne satove od kojih je svaki sadržavao 0,1 μCi radija što je vlasniku osiguravalo apsorbiranu dozu od 165 rada godišnje na koži neposredno pod satom.

Tek 1963. godine američka služba javnog zdravstva započinje dokumentirati informacije o nesrećama s radijem u glavnoj ulozi. Tako je vrijeme koje je uslijedilo radij gurnulo na donje police jer su ga ljudi počeli izbjegavati.⁹

2.4. Polonij i radij u suvremeno doba

2.4.1. Radij

Radij (lat. *radius*: zraka), simbola Ra, prirodni je radioaktivni kemijski element atomskog broja 88 te relativne atomske mase 226,025. Dosad su poznata četiri radijeva radioizotopa s masenim brojevima 223, 224, 226, 228 od kojih je najstabilniji je ²²⁶Ra kojemu vrijeme poluraspada iznosi 1600 godina.

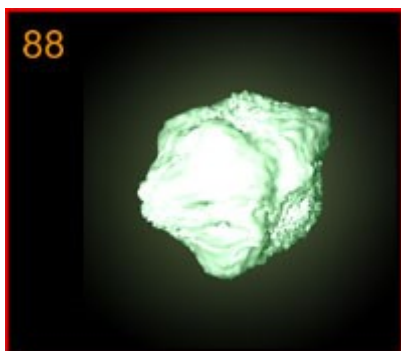
Radij je u svome elementarnom stanju bijeli sjajni metal sličan bariju. Slika 5. prikazuje radij u elementarnom stanju. Nestabilan je na zraku te vrlo brzo potamni. Gustoća mu iznosi 5 g/cm³, a talište je na 700 °C.¹¹ Tablica 1. prikazuje neka od fiziikalnih svojstava radija.

Radijeve soli se zbog svoje radioaktivnosti čuvaju u zatvorenim staklenim posudama koje se potom smještaju u olovne štitove. Spontanom radioaktivnim raspadima svojih izotopa emitira alfa, beta i gama-zrake. Radiotoksičan je te uzrokuje tumore i druge poremećaje u stanicama i organizmu. U svim sjevima ima oksidacijsko stanje +2.¹²

Tablica 1. Fizikalna svojstva radija¹²

Talište/K	973
Vrelište/K	1413
$\Delta H_{\text{spajanja}}/\text{kJ mol}^{-1}$	7,15
$\Delta H_{\text{isparavanja}}/\text{kJ mol}^{-1}$	136,8
Gustoća/kg m ⁻³	5000 [293 K]
Toplinska vodljivost/W m ⁻¹ K ⁻¹	18,6 [300 K] (procjena)
Molarni volumen/ cm ³	45,2

Radij se proizvodi u obilku klorida, bromida, karbonata ili sulfata, a njegova primjena se temelji na radioaktivnosti ovog elementa.¹¹



Slika 5. Radij u elementarnom stanju ¹²

2.4.2. Radij u Hrvatskoj

1931. godine Ministarstvo zdravlja, na poticaj prof. dr. A. Štampara, nabavilo je prve količine radija za potrebe Ginekološke klinike grada Zagreba. 1932. godine osnovano je prvo Hrvatsko društvo za borbu protiv raka. S vremenom su još neke hrvatske bolnice kupile manje količine radija. Međutim, kasnije dolazi do kontaminacije te je jedan dio radijskih izvora povučen u skladišta na Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada te na Institut "Ruđer Bošković".

Stručnjaci Instituta „Ruđer Bošković“ su potom kondicionirali radij prema preporukama Međunarodne agencije za atomsku energiju. Tako je prikupljeni radij smješten u posebne kapsule od nehrđajućeg čelika koje su potom zavarene te postavljene unutar tri olovna spremnika koji se čuvaju na samom institutu. Ovakav način kondicioniranja garantira da radij neće dospjeti u okoliš najmanje 40 godina.⁹

2.4.3. Polonij

Polonij, simbola Po, radioaktivni je teški metal srebno-bijele boje atomskog broja 84. Tablica 2. prikazuje neka od fizikalnih svojstava polonija.

Pojavljuje se u obliku dvaju modifikacija gustoća $9,32 \text{ g/cm}^3$ i $9,4 \text{ g/cm}^3$. Slika 6. prikazuje polonij u elementarnom stanju. Talište polonija iznosi $254 \text{ }^\circ\text{C}$. Dosad su poznati polonijevi izotopi s masenim brojevima između 192 i 218 od kojih je najstabilniji ^{209}Po . Njegovo vrijeme poluraspada iznosi 102 god.¹³



Slika 6. Polonij u elementarnom stanju ¹⁴

Plemenit je metal, a prema svojim kemijskim svojstvima sličan je teluriju.

Polonij je hlapljiv, a njegov oksidacijski broj u spojevima iznosi +2, +4 ili +6.

Gram polonija će dostići temperaturu od 500 stupnjeva zbog intenzivnog alfa-zračenja. Ovaj element se iz toga razloga često koristi kao izvor toplote za satelite ili kao izvor alfa zračenja u istraživanjima.¹⁴ Osim navedenog, polonij se koristi i kao sredstvo za ionizaciju ili izvor ionizirajućeg zračenja.

Tablica 2. Fizikalna svojstva polonija ¹⁴

Talište/K	527
Vrelište/K	1235
$\Delta H_{\text{spajanja}}/\text{kJ mol}^{-1}$	10
$\Delta H_{\text{isparavanja}}/\text{kJ mol}^{-1}$	100,8
Gustoća/ kg m^{-3}	9320 (alfa) [293 K]
Toplinska vodljivost/ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	20 [300 K]
Molarni volumen/ cm^3	22,4

2.5. Pitanje bez odgovora

Tijekom života, Marie Curie bavila se jednim pitanjem na koje za života nije uspjela ponuditi potpun odgovor. Što je zapravo to zračenje koje odašilju navedeni elementi?

Marie je znala da se radi o barem dvama tipovima zraka različitih svojstava. Međutim, potpuniji je odgovor ponudio Ernest Rutherford otkrivši da se radi o alfa, beta i gama zrakama. Jednom prilikom, Rutherford se povjerio svojoj majci rekavši: „Moram objaviti svoje sadašnje

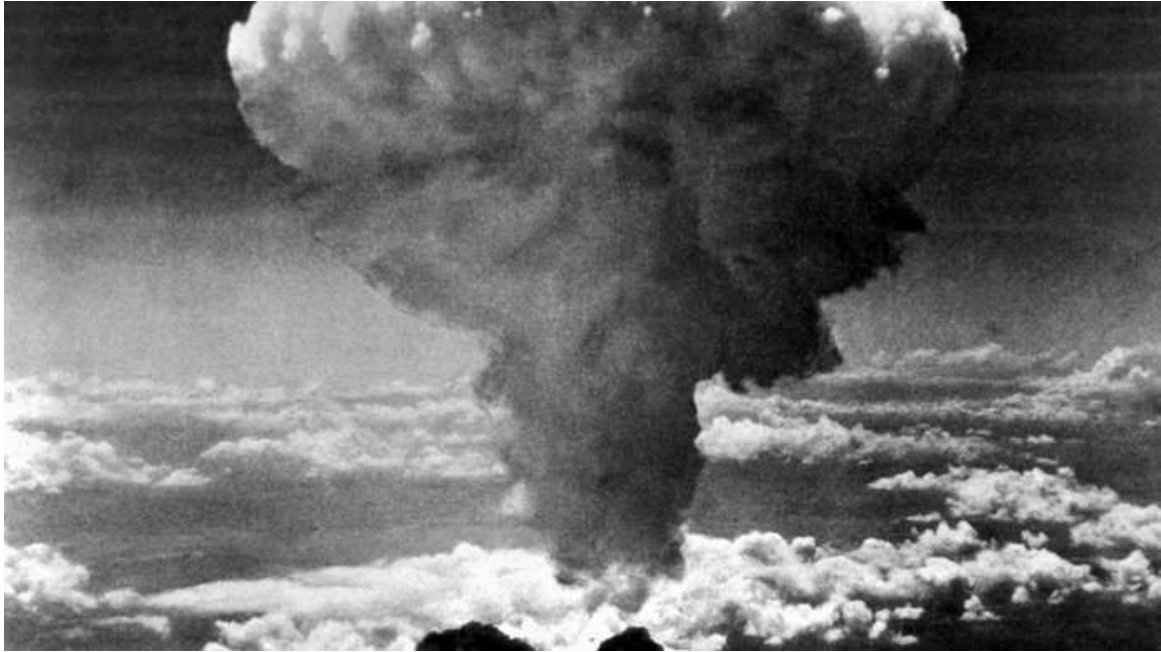
djelo što je brže moguće kako bih zadržao utrku. Najbolji sprinteri na ovom putu istrage su Becquerel i Curie iz Pariza, koji su tijekom posljednjih nekoliko godina obavili velik dio vrlo važnog posla na temu radioaktivnih tijela. " ⁵

Obzirom da u vrijeme prvotnih istraživanja radioaktivnih kemijskih elemenata nisu bile poznate štetne posljedice, znanstvenici su radili bez odgovarajuće zaštite. Tako su bilježnice s eksperimentalnim podacima Marie Curie kontaminirane čak i nakon toliko godina. Marie je 1934. godine umrla od posljedica zračenja koja su izazvala tešku bolest s kojom se borila posljednjih godina, leukemiju.⁴

2.6. Radioaktivnost u suvremeno doba

Radioaktivnost je svojstvo atoma da im se jezgre, bez vanjskih utjecaja, mijenjaju i emitiraju energiju u obliku zračenja. Radioaktivnim elementom se smatra onaj element čija se jezgra spontano razgrađuje radioaktivnim raspadom. Do takvog raspada jezgre dolazi jer je ona nestabilna te ima visok maseni broj ili neuravnotežen odnos protona i neutrona.²

Bombardiranjem jezgre neutronima dolazi do pojave nuklearne fisije. Na taj se način jezgra raspada te pritom otpušta veliku količinu energije. Takvim otpuštanjem elektrona dolazi do fisije u drugim atomima što u konačnici uzrokuje lančane reakcije. Danas se kontrolirana nuklearna fisija primjenjuje u nuklearnim elektranama, dok je nekontrolirana fisija svoju primjenu pronašla u nuklearnim bombama.²



Slika 6. Razorne posljedice primjene svojstva radioaktivnosti; Hiroshima, Japan, 9.kolovoza 1945. ²⁵

Spajanje dviju jezgara pri čemu nastaje jedna veća naziva se nuklearnom fuzijom. Ovaj se proces odvija pri visokim temperaturama te dolazi do oslobađanja velikih količina energije. Proces nuklearne fuzije se primjenjuje u hidrogenskim bombama.²

Jedna od važnijih primjena radioaktivnosti u medicini jest radioterapija.

Radioterapija je jedna od grana medicine koja se upotrebljava za liječenje karcinoma. Pritom se visokoenergetske zrake upućuju direktno na tumor ili drugo željeno područje. Pažljivo usmjerena energetska zraka se koristi za oštećivanje kancerogenih stanica smanjujući tumor.⁸

Osim navedenog, radiaktivnost se može primijeniti i kod određivanja starosti organizma uz pomoć radioaktivnog ugljika. Naime, živi organizmi sadrže malu količinu ugljika-14 koji se smrću organizma naknadno raspada.²

2.7. Daljnja istraživanja

U rano travanjsko jutro 1906 godine, Pierre je poginuo od posljedica udara zaprežnih kola. Marie je tako u svojoj 38. godini postala udovica s dvije male djevojčice. Čitav privatni i znanstveni život gradila je s Pierrom. Međutim, sad je bila primorana nastaviti sama. U svojem dnevniku navodi da je njezin suprug često znao govoriti: „Neka dođe što mu drago, pa makar ostalo čovjeku samo bezdušno tijelo, morao bi svejedno još raditi.“³

Nošena tim riječima, odlučila je, u Pierrovo i svoje ime, nastaviti dalje znanstveno djelovati. Marie je, nakon suprugove smrti, došla na njegov položaj profesora fizike na Sorbonni. Tako je 13. svibnja 1906. godine postala prvom ženom na takvom položaju!

1912. godine osnovala je laboratorij za radioaktivnost koji je uskoro postao vrlo zapažen u čitavom svijetu.⁴

Njezino prvo predavanje studentima nosilo je naziv: „Ionizacija plinova i radioaktivnost“.³

Osim navedenog, Marie je nakon suprugove smrti nastavila i s istraživanjima te je u sklopu toga provela drugo mjerenje atomske mase radija vrijednosti 225. Obzirom da je do toga vremena uspjela izdvojiti radij jedino u obliku dviju soli – klorida i bromida, nastavila je mjerenja s ciljem izoliranja čistog radija. Elektrolizom vodene otopine radijeva klorida sa živinom elektrodom, uz pomoć dugogodišnjeg suradnika Andréa Debiernea, uspjela je izolirati čisti radij. Nadalje, Marie je svojim neiscrpnim radom i požrtvovnošću za znanost uspjela oblikovati metodu za određivanje količine radija u aktivnim rudama i odrediti prvu međunarodnu mjeru za radij. Naime, radij se počeo primjenjivati pri liječenju bolesnika na cijelom svijetu, a za te je potrebe bilo potrebno odijeliti tisućinke miligrama radija. Takvu je količinu radioaktivne tvari određivala pomoću zraka koje one izaraju.³

2.8. Nobelove nagrade

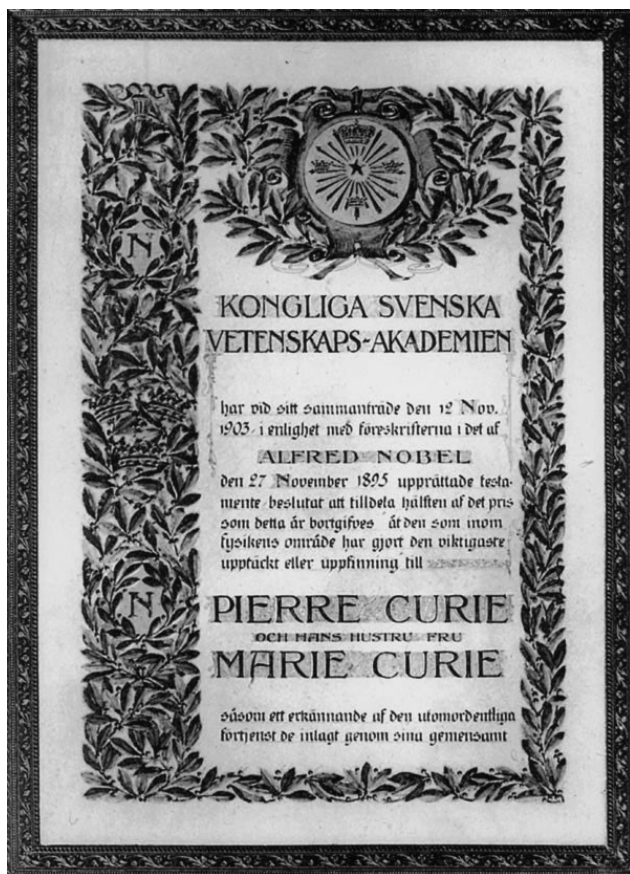
Marie Curie zasigurno je fascinantna žena koja je čak dva puta osvojila Nobelovu nagradu. Prvu, onu za fiziku, osvojila je 1903. godine zajedno s Henrijem Becquerelom i svojim suprugom Pierrom.¹

Međutim, Marie i Pierre su se osjećali previše slabo i bolesno da bi oputovali u Švedsku na dodjelu nagrade te tim povodom održali predavanje. To je učinjeno tek 1905. godine, nakon čega je Pierre ubrzo i preminuo.¹⁶

Slika 7. prikazuje prvu Nobelovu nagradu koju je primila madam Curie.

Pri primitku prve Nobeove nagrade Marie je u svome dnevniku zapisala:

„ 1903. godine završila sam doktorski rad i stekla zvanje. Krajem iste godine Nobelova nagrada zajednički je dodijeljena Becquerelu, mom suprugu i meni za otkriće radioaktivnosti i novih radioaktivnih elemenata. Ovaj je događaj uvelike povećao publicitet našeg rada. Neko vrijeme više nije bilo mira. Posjetitelji i zahtjevi za predavanjima i člancima javljali su se svakog dana ...“¹⁵



Slika 7. Nobelova nagrada dodijeljena supružnicima Curie 1903. godine²⁶

Drugu Nobelovu nagradu primila je za iznimne doprinose na području kemije 1911. godine – samostalno!

Slika 8. prikazuje Nobelovu nagradu za kemiju.

Naime, u cijeloj su povijesti još samo tri osobe primile po dvije Nobelove nagrade. Bili su to Linus Pauling, Frederick Sanger i John Bardeen.¹



Slika 8. Nobelova nagrada za kemiju dodijeljena Marie Curie 1911. godine²⁶

3.0. Žene u znanosti

U vremenu koje je obilježila, profesionalna veličina madam Curie je bila potpuna rijetkost zbog ograničenja koja su se nametala ženama. Znanstvenice su rijetka pojava te se često štedi na nagradama kada su one u pitanju.

Od početka dodjele Nobelove nagrade pa do 2011. godine nagradu je dobilo 786 muškaraca i samo 44 žene (otprilike 6 posto u ukupnom broju Nobelovaca).¹

Osim što je bila prva žena koja je dobila Nobela te prva i jedina žena koja je dobila dvije Nobelove nagrade, bila je i prva žena koja je diplomirala prirodne znanosti na Sorboni, prva koja je uopće doktorirala prirodne znanosti u Francuskoj, prva žena koja je imala svoju vlastitu katedru. Naime, bila je pionirka! Jednostavno je bila prva na toliko područja da ih je sve teško i zapamtiti.

Nadalje, prva je žena koja je na temelju svojih životnih zasluga pokopana na Panteonu velikih muževa u Parizu. 26. travnja 1955. godine njezini su ostatci prebačeni u Panteon gdje je pokopan i njezin suprug Pierre Curie. Na slici 9. prikazan je Panteon gdje počiva madam Curie. Tadašnji francuski predsjednik François Mitterrand isticao je uzornu borbu jedne žene u društvu u kojem su izvršavanje intelektualnih uloga i javna odgovornost bili rezervirani isključivo za muškarce.. Danas su te nejednakosti gotovo prevladane, ali u ono vrijeme, Marie zasigurno nije bilo lako. Postavlja se pitanje, kako je ta novopridošla Poljakinja bez materijalne potpore i u gotovo nemogućim uvjetima rada, potpuno samostalno, protiv struje čitavog društva (ili gotovo cijelog svijeta), uspjela sve to ostvariti?! Jedno je sigurno Marie je bila pravi borac, ratnica na području znanosti.¹

O tome koliko je teško bilo biti pionirka u društvu koje je odobravallo jedino uspjehe muškaraca, svjedoči jedna anegdota s Lordom Kelvinom – britanskim fizičarem i matematičarem. Naime, kada je Marie pretpostavljala da se radi o otkriću novog elementa, Kelvin je napisao pismo Timesu tvrdeći da njezin radij nije novi element, nego helijev spoj. Takvo svoje kritičko mišljenje nije poslao nekom znanstvenom časopisu, već ga je predao najčitanim dnevničkim novinama te tako potaknuo brojne glasine. Bio je to pokušaj javnog ponižavanja madam Curie. Ona je na njega odgovorila tako što je sljedeće tri godine provela u svom laboratoriju kako bi izolirala čisti metal što joj je u konačnici i uspjelo.¹



Slika 9. Fotografija Panteona u Parizu koji nosi naziv prema velikim muževima, a madam Curie je jedina žena koja je u njemu sahranjena ²⁷

3.1. Iréne Joliot – Curie

Kada je riječ o ženama u znanosti, zasigurno je veliki doprinos dala Iréne Joliot – Curie. Slika 9. prikazuje Iréne. Name, Iréne je rođena 12. rujna 1897. godine kao kći već spomenutih znanstvenika Marie i Pierrea Curie. Vrsno obrazovanje stekla je na Prirodoslovno – matematičkom fakultetu u Parizu. Za vrijeme Prvog svjetskog rata, zajedno s majkom je osnovala Petit Curie – jedinicu mobilnih rendgenskih sustava koji su djelovali odmah iza prve crte bojišta. Tako su brojne vojnike spasile od prijevremenih amputacija ili sigurne smrti. Zajedno sa suprugom Frédéricom Joliotom istraživala je područje prirodne i umjetne radioaktivnosti. 1925. godine postala je doktoricom znanosti na temelju rada o alfa i beta zrakama. Zbog iznimnih doprinosa na području prirodne i umjetne radioaktivnosti, transmutacije elemenata, nuklearnoj fizici i sintezi novih radioaktivnih elemenata, 1935. godine dobila je priznanje u obliku Nobelove nagrade. ¹⁶



Slika 10. Fotografija znanstvenice i Nobelovke - Iréne Curie ¹⁶

3.2. Rosalind Franklin

Uz Marie, Rosalind je svakako jedna od najistaknutijih znanstvenica 20. stoljeća što se kroz njezinu burnu karijeru pokazalo veoma zamornim.

Naime, Rosalind Franklin engleska je kemičarka i kristalografkinja rođena 25. srpnja 1920. godine u Londonu. Slika 10. prikazuje fotografiju ove znanstvenice. Svoju odlučnost i iznimnu želju za bavljenjem znanošću izrazila je još u 15. godini čvrsto izjavivši da će se ona baviti znanošću. Te se izjave držala do kraja života.

Studij kemije završila je na ženskom sveučilištu Newnham u Cambridgeu. Potom se predala istraživanju na području poroznosti ugljena što je ujedno bila i tema njezinog doktorskog rada. 1947. godine nastavila je s istraživanjem u Središnjem laboratoriju državne kemijske službe u Parizu. Iduće tri godine bavila se rendgenskom kristalografijom. Potom se vratila u London kao znanstvena suradnica u laboratorij Johna Randalla na sveučilištu King. U sklopu ovog istraživanja, otkrila je da molekula DNA može doći u obliku dviju različitih konfiguracija. ¹⁷



Slika 11. Fotografija Rosalind Elsie Franklin – engleska kemičarka i kristalografkinja ¹⁷

Nakon nekog vremena, na sveučilište King se vratio istraživač Maurice Willkins te je krivo shvatio Rosalindinu ulogu u sklopu istraživanja. Nije ju prihvaćao kao ženu znanstvenu istraživačicu što je donijelo neriješeni odnos između njih. Willkins je poznavao Francisu Cricka i Jamesa Watsona te im je pokazao do tada neobjavljene radove Rosalind Franklin i “Fotografiju 51” bez njezinog znanja. Obzirom da su Crick i Watson u to vrijeme gradili strukturu DNA, na temelju Franklininih podataka i svojih oblikovali model dvostruke spiralne zavojnice DNA. Tako su Crick, Watson i Willkins 1962. godine osvojili Nobelovu nagradu. Znanje i vrhunski doprinos Rosalind Franklin nije došao do izražaja jer ju nitko nije priznao kao takvu. Međutim, nakon njezine smrti, Crick je jednom prigodom izjavio da su njezina istraživanja bila presudna. Rosalind je svoje rezultate objavila 1953. godine u časopisu Nature, ali su oni tada ostavili dojam nadogradnje modela Watsona i Cricka. Tako je Rosalind ostala bez Nobelove nagrade obzirom da se ona ne dodjeljuje posthumano. Ipak, s godinama se njezin doprinos sve više cijenio i uzimao u obzir te se danas zaslužno smatra prvom koja je dala točan opis modela DNA.¹⁷

3.3. Wang Zheny

Wang Zheny poznata je kineska astronomkinja, matematičarka i pjesnikinja. Živjela je u 18. stoljeću u dinastiji Qing. U Kini je u to vrijeme obrazovanje bilo dostupno samo bogatim

muškarcima. Međutim, Wang se rodila u obitelji znanstvenika koji su vrlo cijenili obrazovanje te joj je ono bilo dostupno od malih nogu. Djed ju je podučavao astronomiji, baka je bila učiteljica poezije, a otac je predavao medicinu, zemljopis i matematiku.

Studiji su joj bili teški te je jednom prilikom rekla: "Bilo je trenutaka kad sam morala odložiti olovku i uzdahnuti. Ali ja to volim raditi, ne odustajem." ¹⁹

U to su vrijeme ljudi bili očarani pomrčinom Sunca i Mjeseca, ali ih nisu razumjeli. Ona je konstruirala model pomoću svjetiljke, zrcala i globusa te tako uspjela pojasniti svoju teoriju pomrčine. Osim toga, Wang je proučavala kineski kalendarski sustav. Istraživala je kretanje planeta u Sunčevom sustavu i promatrala zvijezde. Potaknuta vrlo skromnim i nezahvalnim uvjetima u kojima žive siromašni, pisala je pjesme na temu istih.

S 24 godine napisala je "Jednostavna načela računanja" koja su bila pristupačna i početnicima te podijeljena u 5 dijelova.²⁰

Wang je živjela tek dvadeset i devet godina, ali se vrlo istaknula u akademskom svijetu. Dala je velike doprinose astronomiji i matematici. Jedan od njezinih doprinosa bio je opis nebeskih pojava u članku "Spor povorke ravnodnevnica". U njemu je objasnila kako se ravnodnevnice kreću, a zatim i kako izračunati njihovo kretanje. Napisala je i druge članke poput "Raspoređivanje dužine i zvijezda", kao i "Objašnjenje pomrčine Mjeseca". ¹⁹

4.0. Ostavština Marie Curie

Marie Curie nije mogla znati kako će ljudi koristiti njezina otkrića, hoće li ona svijetu donijeti pozitivne ili negativne posljedice i koje će od toga prevagnuti. Međutim, njezina nepogrešiva intuicija i velik um, pretpostavljali su kolika je količina energije u igri. Jednom je prilikom izjavila: „Ja sam jedna od onih koji razmišljaju poput Nobela da će čovječanstvo iz novih otkrića izvući više dobra nego zla.“ ¹⁸

No bila dobra ili loša, ta uništavajuća sila nalazi se u samom temelju izgradnje 20. stoljeća. Marie nas je zasigurno uvela u radioaktivna vremena. Otkrićem radioaktivnosti, Marie je ujedno i utrla put daljnjeg razvoja kvantne mehanike.



Slika 11. Marie i Irène Curie s američkim ekspedicijskim snagama 1918. godine ²⁸

Francuska je madam Curie željela dodijeliti križić legije časti, ali ga je Marie, baš kao i njezin suprug Pierre, odbila. Osim toga, Marie je kandidirana za člana Akademije što je prihvatila. Velik dio francuskih znanstvenika bio je ljubomoran pa tako i predsjednik Akademije Amagat. Tako je 23. siječnja 1911. godine na otvorenju sjednice izjavio da se na izbore puste svi osim žena. Nažalost, to je rezultiralo da Marie nije dobila dovoljan broj glasova da bi bila izabrana. Međutim, u prosincu iste godine švedska je Akademija znanosti rad madam Curie okrunila Nobelovom nagradom. Na taj je način ipak ispravljena nanesena nepravda, a Marie je postala prvom znanstvenicom kojoj su dodijeljene dvije Nobelove nagrade. ³

Tijekom Prvog svjetskog rata Marie je uspjela inzistiranjem osnovati Institut za radij u Parizu. Kada je izbio rat, Marie je zajedno sa starijom kćeri Irène, osnovala jedinicu „Mali Curieji“. Naime, u automobile su ugradile rendgenološke aparate te su uz pomoć rendgenskih zraka mogle otkriti gdje se u tkivu nalazi krhotina granate ili metak. Marie se čak izborila i za dozvolu za vožnju vojnih automobila. Koliko je bila spremna uložiti za svoju adaptiranu domovinu svjedoči i činjenica da je novac od Nobelove nagrade uložila u državne rentne

papire. Čak je i svoja zlatna odličja predala da se istale, ali je Francuska narodna banka to odbila učiniti.³

1921. godine predsjednik Harding je u Washingtonu Marie poklonio gram radija. 1932. godine je u Varšavi osnovala Institut za radij. Do 1935. godine je više od 200 liječnika prošlo stručno usavršavanje liječenja novom metodom u Marieinom Institutu u Parizu. 1922. godine madam Curie je izabrana za člana Francuske medicinske akademije, a 1923. godine predsjednik Francuske joj je darovao "narodnu zahvalu" u obliku mirovine od 40 000 franaka.³

U čast Curiejevima jedinica raspada radioaktivnih tvari je prozvana Kiri.

Madam Curie je umrla 1934. godine od posljedica dugotrajne izloženosti zračenju. Naime, njezine su bilježnice i danas toliko kontaminirane da ih je opasno listati.

Godinu dana nakon njezine smrti, njezina starija kći Irené, objavila je njezino najznačajnije djelo Radioactivité. Dok je starija kći nastavljala majčnim stopama na putu znanosti, mlađa kći Ève postala je književnica i pijanistica. Među ostalim, napisala je roman o Marieinom životu. Na taj je način svijetu približila lik i djelo svoje majke.³

5.0. Zaključak

Mnoge su žene kroz povijest podnijele velike žrtve u ime znanosti. Vodeća među njima bila je Marie Curie koja se suočena sa čestim bahatim odbijanjem, usudila uzvratiti zahvaljujući istančanoj intuiciji, ambiciji i neiscrpnoj radnoj energiji. Promatrajući njezin život čovjek mora ostati očaran cjelokupnim utjecajem kojeg je imala na razvoj znanosti i tehnologije.

Glavna snaga madam Curie i njezin glavni doprinos fundamentalnoj znanosti su kreativni postupci u izdvajanju radioaktivnih elemenata i njezina upornost.

Marie, potpuna pionirka u svijetu koji je tada redovno davao prednost muškarcima, uspjela se izboriti za vlastito mjesto u području znanosti. Kao poljski imigrant, bez financijske potpore obitelji koja joj podmeće leđa, sve je uspjela ostvariti potpuno samostalno. Ona je prva žena dobitnica Nobelove nagrade, prva i jedina žena koja je primila dvije Nobelove nagrade, prva koja je diplomirala prirodne znanosti na Sorbonni, prva žena koja je doktorirala prirodne znanosti u Francuskoj, prva žena predavač na vlastitoj katedri ... Postala je glavnom osnivačicom brojnih disciplina poput radiokemije, medicinske fizike, nuklearne medicine, radiologije...

Madam Curie je proglašena najznačajnijom znanstvenicom i ženom dvadesetog stoljeća. Svojim djelovanjem osvijestila nas je kolika je važnost i isprepletenost eksperimentalne kemije i kvantne mehanike. Postavila je temelje 20. stoljeća i uvela nas u novo doba – razdoblje radioaktivnosti. Osim toga, otvorila je brojna vrata ženama na područjima raznih znanstvenih disciplina.

Njezin najveći uspjeh bila je primjena potpuno novih metoda pri otkriću elemenata pri čemu je mjerila njihovu radioaktivnost. Sljedećih godina znanstvenici su locirali izvor i sastav radioaktivnosti te su tako pridonijeli otkriću atoma, ali i njegove strukture više nego svih prethodnih stoljeća.

Oštroumni znanstvenik Frederick Soddy, jednom je prilikom rekao kako je najveće otkriće Pierrea Curieja bila Marie Skłodowska, a njezino najveće otkriće bila je ... radioaktivnost. Međutim, čitajući njezine osobne dnevnike ne može se ne primijetiti koliku je snagu i životnu energiju dobivala iz sretnog odnosa sa suprugom Pierrom te koliko joj je bilo teško nastaviti

znanstvena istraživanja bez njegove podrške i pomoći. Nažalost, često je osjećala da mora svijetu dokazati kako ona koju on voli ipak nešto vrijedi.

Otkrićem radioaktivnosti, Marie je ujedno i utrla put daljnjeg razvoja kvantne mehanike. Kemija je sve do pojave kvantne mehanike, odnosno do formuliranja Schrödingerove jednačbe te Slaterovih i Paulingovih radova, bila samo eksperimentalna znanost.

6.0. LITERATURA

1. R. Montero, Smiješna ideja da te više neću vidjeti, Hrvatsko fiološko društvo, Biblioteka književna smotra, Zagreb (2019) 16-89.
2. Wertheim J., Oxlade C., Stockley C., Slikovni rječnik kemije, Usborne Publishing Ltd, (2003) 14-15.
3. Paušek-Baždar S., Marie Sklodowska Curie i njezin put do uspjeha – u povodu 150. obljetnice rođenja, Kem. Ind. 66 (9-10) (2017) 564–572.
4. J. Balchin, 100 znanstvenika koji su promijenili svijet (prijevod s engleskog Vjera Lopac, ŠK, Zagreb, 2005., 152-153.
5. Curie E., Madame Curie (prijevod s francuskog Ljubomir Lisac), Narodna knjižara, Zagreb, 1945.
6. Enqist P.O., Knjiga o Blanche i Marie, Fraktura, Zagreb (2007) 15-70.
7. <https://www.mariecurie.org.uk/who/our-history/marie-curie-the-scientist> (pristup 10. srpnja 2021.)
8. <https://radiochirurgiazagreb.com/hr/radioterapija> (pristup 11. srpnja 2021.)
9. Lokner V., Otkriće radija 1898., (1998) U: Obelić B., Franić Z., ur. Zbornik radova IV. simpozija Hrvatskog društva za zaštitu od zračenja. Zagreb: Editions 200, 17-22
10. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/biographical/> (pristup 13. srpnja 2021.)
11. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51448> (pristup 13. srpnja 2021.)
12. http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/ra/fizikalni_podaci.html#FIZIKALNI (pristup 15. srpnja 2021.)
13. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49269> (pristup 15. srpnja 2021.)
14. http://www.pse.pbf.hr/hrvatski/elementi/po/kemijski_podaci.html (pristup 16. srpnja 2021.)
15. Curie M., Pierre Curie with Autobiographical Notes, Macmillan, New York (1923)
16. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1935/joliot-curie/biographical/> (pristup 16. srpnja 2021.)
17. <https://recipe-cpsa.com/rosalind-franklin-prva-znanstvenica-koja-je-otkrila-strukturu-dna/> (pristup 16. srpnja 2021.)

18. <https://www.mariecurie.org.uk/who/our-history/marie-curie-the-scientist> (pristup 17. srpnja 2021.)
19. <https://scientificwomen.net/women/zhenyi-wang-98> (pristup 21. srpnja 2021.)
20. Ignatofsky R., 50 neustrašivih znanstvenica koje su promijenile svijet, Školska knjiga, Zagreb (2018) 14-15.
21. <https://www.nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie> (pristup 20. srpnja 2021.)
22. <https://www.lindahall.org/marie-curie/> (pristup 22. srpnja 2021.)
23. <http://library.foi.hr/m3/autor.php?B=1&mg=1&lang=hr&h=metelgrad&A=0000010975> (pristup 16. srpnja 2021.)
24. <https://www.thoughtco.com/all-about-marie-curie-3529556> (pristup 20. kolovoza 2021.)
25. <https://www.britannica.com/event/atomic-bombings-of-Hiroshima-and-nagasaki/The-bombing-of-Nagasaki> (pristup 2. rujna 2021.)
26. <https://www.skolskiportal.hr/sadrzaj/iz-skolskog-svijeta/marie-curie-prva-zena-dobitnica-nobelove-nagrade/> (pristup 9. rujna 2021.)
27. <https://www.listal.com/viewimage/16076642> (pristup 9. rujna 2021.)
28. Coursey B.M., A reflection on the 150 anniversary of the birth of Marie Curie, Applied Radiation and Isotopes, 130 (2017) 280-284.

ŽIVOTOPIS

Vlatka Božić rođena je 13. kolovoza 1996. godine u Vinkovcima. Odrasla je u Vukovaru gdje je završila Osnovnu školu Dragutina Tadijanovića, a 2011. godine, kao učenik generacije, upisuje opći smjer Gimnazije Vukovar. Maturirala je 2015. godine s odličnim uspjehom. U međuvremenu je stekla diplomu engleskog jezika na B2 razini u privatnoj školi stranih jezika u Vukovaru. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja upisuje preddiplomski studij na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Studentsku stručnu praksu odradila je u Plivi, na odjelu Istraživanje i razvoj.