

Ljiljana DOBROSAVLJEVIĆ GRUJIĆ

Univerzitet u Beogradu
Institut za fizikuUDK
54:929 Хоцкин Д.
57/59:929 Френклин Р.

TRIJUMF OTKRIĆA II: INTELEKTUALNE BIOGRAFIJE DOROTI HODŽKIN I ROZALIND FRENKLIN

APSTRAKT U ovom tekstu se analizira život i rad dveju istaknutih naučnica u dvadesetom veku, Doroti Hodžkin i Rozalind Frenklin. Njihov rad, kao i rad njihovih koleginica, pokazuje kako naučnica ima u daleko većem broju u naukama koje se bave *živim* bićima, o čemu govori i broj značajnih priznanja koje su dobile naučnice u oblastima molekularne biologije, fiziologije, i uopšteno medicine. Rad analizira naučne doprinose Doroti Hodžkin, koja je dobila Nobelovu nagradu za hemiju 1964. godine za određivanja tehnikama X-zraka strukture važnih biohemijskih supstanci, i Rozalind Frenklin, čije učešće u otkriću onog što je nazvano pronalaskom tajne života, strukture DNK, nije dobilo odgovarajuće priznanje.

Ključne reči: intelektualna biografija, žene, istorija nauke, diskriminacija, naučno otkriće, hemija, kristalografija, Nobelova nagrada, Doroti Hodžkin, Rozalind Frenklin

PROLOG

Dok su fizika i hemija još uvek nauke gde je jasna muška supremacija, u oblastima kao što su molekularna biologija (gde spadaju genetika, biofizika i biohemija), fiziologija i medicina, u većoj meri su prisutne žene. Drugim rečima, žena naučnica ima u daleko većem broju u naukama koje se bave *živim* bićima. To se vidi ne samo po velikom broju žena naučnica angažovanih u ovim oblastima, već i po broju Nobelovih nagrada i drugih značajnih priznanja. Dok su u fizici samo dve žene nobelovke,¹ a u hemiji

1 Konačno, ove 2018. godine, treća žena u istoriji je dobila Nobelovu nagradu za fiziku. Radi se o Doni Strickland (Donna Strickland), koja je zajedno sa Žerarom Muroom (Gerard Mourou) dobila nagradu za otkriće metode generisanja ultrakratkih optičkih impulsa visokog intenziteta. Druga „polovina” nagrade pripala je Arturu Aškinu (Arthur Ashkin) za optičke pincete i njihovu primenu na biološke sisteme (prim. ur.).

četiri, u fiziologiji i medicini je dvanaest žena dobilo Nobelovu nagradu u periodu od 1901. do 2016. godine. Kao što između fizike i hemije više nema oštih granica, tako ih nema ni između molekularne biologije i fiziologije i medicine. U oba ova područja, određivanje kristalne strukture kompleksnih organskih molekula bitno je vezano za kristalografiju, određivanje strukture metodom rasejanja X-zraka. Ovo polje rada kao da ima nešto specifično što čini da tu žene mogu dati poseban doprinos. To se vidi i u velikoj zastupljenosti žena u kristalografskim udruženjima, često i na čelu, i u brojnim priznanjima koje su dobile. Kako je počelo ispitivanje organskih jedinjenja sa velikim i komplikovanim molekulima, a posebno onih koji ulaze u žive organizme i bitni su za mnoge vitalne procese, klasične hemijske metode nisu bile dovoljne. Hemija je „pozajmila” od fizike metod difrakcije X-zraka za određivanje strukture kristala posmatranih jedinjenja. Mada je ovaj metod u fizici dobro razrađen, čak ni danas ne postoji direktan put od eksperimentalnih podataka do strukture. Pokazalo se da je za ovo potrebno veliko strpljenje, mentalni napor, mašta i intuicija. Te osobine se posebno mogu videti na primerima dveju naučnica, Doroti Hodžkin (Dorothy Crowfoot Hodgkin), koja je dobila Nobelovu nagradu za hemiju 1964. godine za „njena određivanja tehnikama X-zraka strukture važnih biohemijskih supstanci” (The Nobel Foundation 1964), i Rozalind Frenklin (Rosalind Elsie Franklin), čije učešće u otkriću onog što je nazvano pronalaskom tajne života – strukture DNK – nije dobilo odgovarajuće priznanje.

1. DOROTI KROUFUT HODŽKIN (1910–1994)²

Rođena 1910. godine u Kairu, u porodici engleskih intelektualaca, Doroti Kroufut kao da je rođena pod srećnom zvezdom. Njen talenat je mogao lako doći do izražaja, blagodareći spletu povoljnih okolnosti koje su je pratile celog života: bila je na pravom mestu u pravo vreme. Njena majka se trudila da od malena doprinese intelektualnom razvoju svoje ćerke i davala joj je apsolutnu slobodu. Doroti je počela da se interesuje za kristale veoma rano, kad je imala oko deset godina. Taj interes se naročito razvio kad joj je jedan

² Tekst u ovom odeljku je zasnovan na: The Nobel Foundation 1964; Goldwhite 1993; McGrayne 2001; Rayner-Canham and Rayner-Canham 2001; Byers and Williams 2006; Strohmeier 2011; Dodson 2014.



Slika 1. Doroti Kroufut Hodžkin

Autor/ka: nepoznat/a

Izvor: Diapedia (Dodson 2014)

prijatelj njenog oca, hemičar A. F. Džozef (A. F. Joseph), dao set hemikalija kojima je mogla da analizira minerale. Ohrabrena i oduševljena, ona se baca na učenje hemije i biohemije. Ova ljubav iz detinjstva je nikad nije napustila.

Doroti je želela da studira na Oksfordu kao i njen otac pre nje. U periodu od 1928. do 1932. godine pohađa Somervil Koledž, gde sluša kurseve iz kristalografije, i već tada donosi odluku da će se posvetiti istraživanju kristala pomoću X-zraka. Po diplomiranju, dobija podršku, savete i pomoć od svojih profesora i drugih uticajnih ljudi, uključujući i njenog starog prijatelja Džozefa. U stvari, njen odlazak u Kembridž da radi sa Dž. D. Bernalom (J. D. Bernal) bio je rezultat jednog slučajnog razgovora u vozu između Džozefa i jednog drugog profesora. Doroti Kroufut provodi dve srećne godine u Kembridžu, stiče puno prijatelja i radi na raznim problemima. Ono što je bilo presudno za njenu dalju karijeru, međutim, bilo je to što se Bernal bavio proučavanjem organskih molekula.

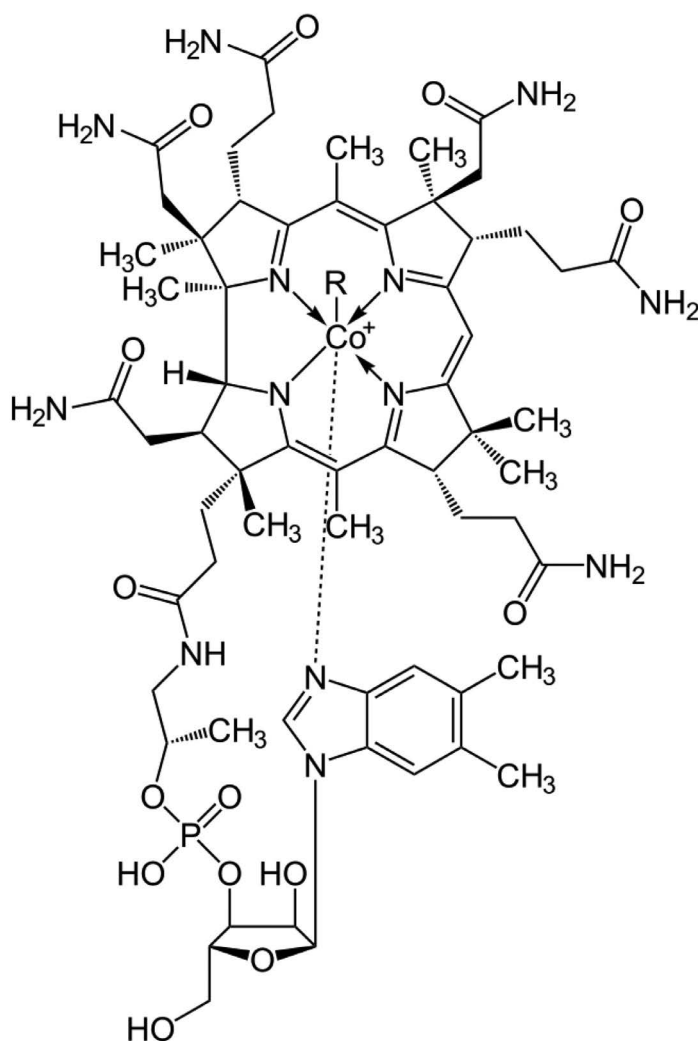
Doroti se 1934. godine vraća u Oksford, i tamo, sa manjim prekidima, ostaje do kraja života. Najveći deo svoje karijere je provela radeći kao istraživačica i profesorka hemije na Somervil Koledžu za devojke. Godine 1937. udala se za istoričara Tomasa Hodžkina (Thomas Hodgkin), sa kojim je imala troje dece. Kasnije, dobila je i troje unučadi.

Od 1956. godine, Doroti Hodžkin nosi profesorsko zvanje, i karijeru završava kao profesorka emerita. Tokom svoje bogate naučne delatnosti imala je toliko dostignuća da je Maks Peruc (Max Perutz), takođe nobelovac, napisao: „Bilo me je stid sto sam dobio Nobelovu nagradu pre Doroti, čija su velika otkrića načinjena sa tako fantastičnim umećem i uvidom u hemiju, i to pre mojih” (Rayner-Canham and Rayner-Canham 2001, 81)

Prvo veliko dostignuće je Doroti načinila još dok je radila sa Bernalom u Kembridžu 1934. godine. To je bila prva na svetu slika kristala jednog proteina – pepsina, dobijena difrakcijom X-zraka. Prva je odredila trodimenzionalnu strukturu kompleksnih biomolekula, što početkom četrdesetih godina dvadesetog veka niko nije bio u stanju da uradi zbog složenosti proračuna.

Srećna okolnost koja je doprinela jednom od njenih najvećih otkrića bio je susret sa jednim kolegom koji joj je ukazao na to koliko je važno odrediti strukturu penicilina, kod koje je bilo velike kontroverze. Zbog izuzetnih antibiotskih svojstava, penicilin je bio veoma tražen i bilo je jako važno

ponaći da li se penicilin ili slična jedinjenja mogu napraviti hemijskim putem. Ovo je za vreme Drugog svetskog rata bilo od ogromnog značaja za lečenje ranjenika. Doroti Hodžkin se sa svojim timom bacila na posao i uz saradnju organskih hemičara, kristalografa X-zraka, kao i naučnika iz drugih oblasti fizičke hemije i fizike, uspeła je 1944. godine da tačno odredi strukturu penicilina, opet u tri dimenzije. Za ovaj veliki doprinos bila je 1947. nagrađena izborom u Kraljevsko društvo.



Slika 2. Molekularna struktura vitamina B12 koju je odredila Doroti Hodžkin

Autor/ka: NEUROtiker (2007)

Izvor: NEUROtiker

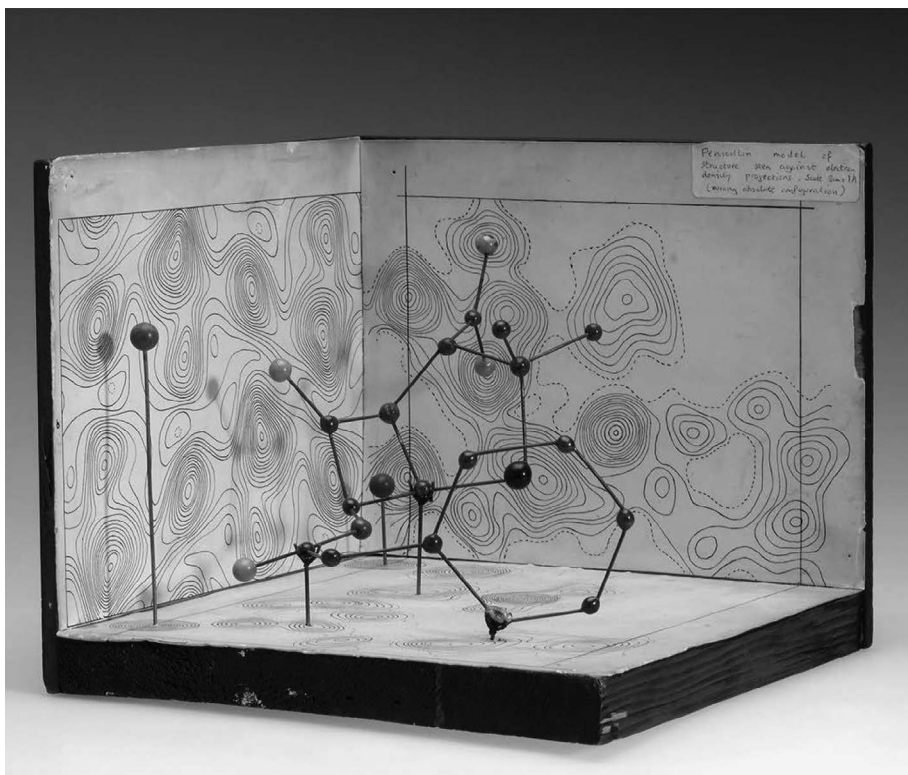
Prijateljstva su u Oksfordu bila od presudnog značaja za njen naučni rad. Tako je do sledećeg velikog otkrića Doroti Hodžkin došlo pošto je od jednog prijatelja dobila lepe, kao trešnja crvene kristale vitamina B12. Koristeći jedan od prvih digitalnih računara velike brzine, ona je 1956. uspela da odredi strukturu ovog vitamina. Od svih dotle proučavanih, ovo je bio najkomplikovaniji molekul, s trodimenzionom arhitekturom i mnogim ranije nepredviđenim strukturnim svojstvima. Ovaj rad, zajedno sa otkrićem strukture penicilina, doveo ju je do dodele Nobelove nagrade za hemiju 1964. godine.

Ipak, kristali insulina postali su predmet njenog najsenzacionalnijeg otkrića. Određivanje strukture insulina, koje je trajalo preko tri decenije, sve do 1969, omogućilo je da se bolje razume funkcija ovog vitalnog hormona.

U svako od ovih istraživanja, Doroti je ulagala sve svoje snage, umeće, hemijska znanja i žensku intuiciju. Zajedno sa neograničenim strpljenjem, ove osobine su joj omogućile jedan uspeh za drugim, i pored bolesti koja ju je mučila. Naime, posle rođenja prvog deteta, dobila je nakon infekcije reumatoidni artritis, od čega joj je leva ruka ostala savijena i distordirana. Ipak, ona je nastavila da uporno radi na delikatnim manipulacijama neophodnim za obradu majušnih kristala koje je izučavala.

Počasti koje je doživela su bile mnogobrojne. Pored već spomenutih, od kojih je najveća bila Nobelova nagrada 1964, dobila je već sledeće godine britanski Orden za zasluge, kao druga žena posle Florens Najtingejl (Florence Nightingale). Bila je članica više akademija nauka širom sveta, imala je više počasnih doktorata, nagrada i medalja.

Kao ličnost imala je posebnu magiju. Prema rečima njenih koleginica i kolega, njen topli i ljubazni pristup je u svakoj osobi otkrivao ono najbolje. Imala je mnogo prijatelja i prijateljica, naročito otkako je počela da koristi svoj uticaj u borbi za mir i protiv termonuklearnog naoružanja. Bila je



Slika 3. Molekularni model penicilina

Autor/ka: Science Museum London

Izvor: Wikimedia

predsednica mirovnog Pugvaš (Pugwash) pokreta od 1975. do 1978. godine. Njen život je bio stalni izvor inspiracije za sve oko nje. Posebno je poklanjala pažnju ženama: tokom svog rada na Somervilu, ona je stvorila i za sobom ostavila plejadu istaknutih hemičarki, kao što su Paulina Harison (Paulina Harrison), Margaret Adams (Margharet Adams), Mardžori Harding (Marjory Harding), Džudit Hauard (Judith Howard) i mnoge druge.

Pored naučnih priznanja, štampana je i poštanska marka sa njenim likom, a postavljena je u njenu čast i „plava” medalja na kući u kojoj je stanovala kada joj je dodeljena Nobelova nagrada.

2. ROZALIND ELZI FRENKLIN (1920–1958)³

Engleskinja, rođena i živela u Londonu. Bitno je doprinela otkriću molekularne strukture deoksiribonukleinske kiseline (DNK), koja se nalazi u hromozomima koji služe da kodiraju genetsku informaciju.⁴

Rozalind Frenklin je studirala fizičku hemiju na Nunam Koledžu Univerziteta u Kembridžu, diplomiravši 1941. Usred Drugog svetskog rata, 1942. godine, zaposlila se u Britanskom istraživačkom udruženju za eksploataciju uglja. Ugalj, prljavi oblik ugljenika, bio je od vitalnog značaja kao gorivo u britanskim ratnim naporima. Kao sunder, ugalj je porozan, sa mrežom finih tunela, koji određuju efikasnost uglja kao goriva. S druge strane, Frenklin je otkrila da mnogi od ovih tunela imaju dimenzije slične onima kod gasnih molekula i da mogu da posluže kao sita za razdvajanje smeša molekula, na primer za ekstrakciju kiseonika iz vazduha. Rezultati ovih istraživanja su joj omogućili da odbrani doktorsku disertaciju u Kembridžu 1945. godine.

Frenklin je ubrzo shvatila da treba da savlada novu tehniku u razvoju – polje kristalografije X-zraka – ako želi da shvati strukturu materije. Međutim, ona nije bila tradicionalna kristalografkinja koja proučava pravilne monokristale čvrstih tela. Rozalind Frenklin je bila jedna od pionirki u primeni difrakcije X-zraka na neuređenu materiju, kao što su ugalj ili komplikovani veliki biološki molekuli. Ovo istraživanje je uspela da započne u Francuskoj, gde je otputovala kada je imala 27 godina. Taj boravak je značio veliku promenu i u njenom ličnom životu. Mlada, zgodna, elegantno

3 Tekst u ovom odeljku je zasnovan na: Ferry 1998; Miksic 1993; McGrayne 2001; Rayner-Canham and Rayner-Canham 2001; Maddox 2002; Offereins 2011.

4 Još krajem 19. veka se znalo da hromozomi, tamni končići u jedru ćelije, nose informaciju o nasleđu, dok se danas zna da je sve što karakteriše ljudsku vrstu „spakovano” u takozvani ljudski genom. U principu, u jedru svake ćelije su dva kompletna seta genoma, od kojih jedan potiče od majke, a dugi od oca. Svaki set uključuje 60000 do 80000 gena, na svojih 23 hromozoma. Svaki hromozom je jedan vrlo dugački molekul deoksiribonukleinske kiseline (DNK). To je dugi lanac fosfata i šećera, na koji su „zakačene” kao bočne prečke baze adenin (A), citozin (C), guamin (G) i timin (T).



Slika 4. Rozalind Frenklin na odmoru u Norveškoj (1940-ih)

Autor/ka: nepoznat/a

Izvor: Personal Collection of Jenifer Glynn

(The National Library of Medicine's Profiles in Science Program)

obučena, sa perfektnim znanjem francuskog jezika, ona se savršeno uklopila u parisku posleratnu sredinu. Njene kolege i kolegice su bili mladi, mnogi od njih su bili komunisti i komunistkinje, bivši članovi i članice francuskog pokreta otpora. Zajedno su ručavali u pariskim bistroima, išli na skijanje, planinarili i kampovali. To je sve bilo novo za devojkicu odraslu i školovanu u Engleskoj.

Naredne tri godine radi sa Žakom Meringom (Jacques Mering) u Državnoj hemijskoj laboratoriji u Parizu, gde proučava tehnike difrakcije X-zraka. To joj je pomoglo u istraživanjima strukturnih promena izazvanih formacijom grafitu u zagrevanom uglju, jer se taj rad pokazao kao značajan u industriji uglja.

Rosalind Frenklin pristupa 1951. godine Biofizičkoj laboratoriji na Kraljevskom koledžu u Londonu. Tu počinje da primenjuje metode difrakcije X-zraka za proučavanje DNK. Na ovom problemu se u toj laboratoriji već radilo u grupi Morisa Vilkinsa (Maurice Wilkins), dok je Frenklin bila angažovana (bar je ona to tako shvatila) kao ekspertkinja za X-zrake. Vilkins je, međutim, smatrao da ona treba samo da vrši merenja koja će on dalje analizirati. Između Frenklin i Vilkinsa je postojala stalna netrpeljivost. Paralelno, u Kembridžu, Fransis Krik (Francis Crick) i Džejms Votson (James Watson) prave modele komplikovane strukture DNK. Kompeticija je bila oštra, utoliko pre što je u trci učestvovao i američki hemičar, nobelovac Lajnus Poling (Linus Pauling). Kraj ove priče je bio dramatičan. Naime, u proleće 1952. godine, Frenklin je dobila izvanredno lepu fotografiju DNK, koju je snimio njen student Rejmond Gosling (Raymond Gosling), u obliku krsta, koji je jasno ukazivao na helikoidalnu formu. Ali to se odnosilo samo na takozvani B-oblik DNK, dok je Rozalind Frenklin želela da u nastavku rada ispita da li je i A-oblik helikoida, kao i da precizno matematički analizira rezultate. U međuvremenu, početkom 1953. godine, prilikom jedne Votsonove posete Kraljevskom koledžu, Vilkins mu, Rozalindi iza leđa, pokazuje spektakularnu sliku B-oblika DNK, takozvanu fotografiju 51. Votson odmah shvata o čemu se radi, i za par meseci sa Krikom dolazi do tačnog modela DNK.



Slika 5. Portret Rozalind Frenklin (oko 1956)

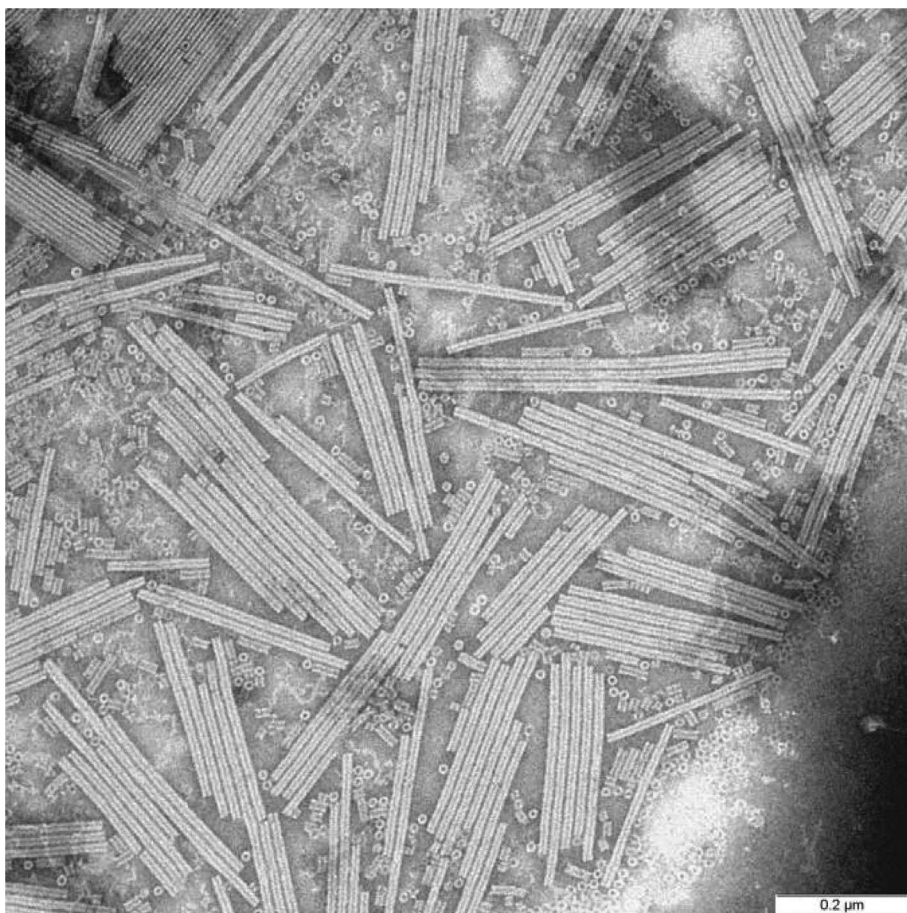
Autor/ka: nepoznat/a

Izvor: Personal Collection of Jenifer Glynn

(The National Library of Medicine's Profiles in Science Program)

U aprilu 1953. godine, Krik i Votson objavljuju u časopisu *Nature* članak u kome se pojavljuje struktura DNK u obliku dvostruke helikoide, za šta zajedno sa Morisom Vilkinsom 1962. godine dobijaju Nobelovu nagradu za fiziologiju i medicinu. Rozalind Frenklin je izostavljena. Iako ona u tom trenutku više nije živa, pošto je umrla veoma mlada, u 38. godini života, njene muške kolege i saradnici namerno umanjuju njenu ulogu u ovom važnom otkriću. Votson čak pokreće čitavu kampanju u kojoj, služeći se seksističkim formulacijama, poriče svaki doprinos Rozalind Frenklin rezultatima u otkriću strukture DNK. U svojoj biografiji, Krik nadugačko govori o svom prijateljstvu sa Vilkinsom, dok se rad Frenklin samo spominje u jednoj rečenici u kojoj se za nju kaže da je samo napravila veoma lepe klišee DNK dobijene X-zracima. Drugim rečima, pominje se samo kao da je bila tehničko lice. Međutim, stvari su stajale sasvim drugačije. Tek 1953. godine, pošto su videli klišee sa X-zracima koje je napravila Rozalind Frenklin, dva istraživača iz Kembridža dolaze do konačnog rezultata – daju teorijski model konzistentan sa fizičkim i hemijskim osobinama DNK. Model se sastojao od dva isprepletena helikoidalna lanca šećera i fosfata, spojena horizontalnim ravnim organskim bazama. Pri odvajanju lanaca, teorija je predviđala da svaki od njih može da posluži kao kalup za formiranje novog, identičnog lanca, formiranog od malih molekula u ćeliji. Ovaj proces je objašnjavao replikaciju gena, odnosno hromozoma pri deljenju ćelije. Takođe, model je ukazivao na to da niz baza duž molekula DNK daje neku vrstu koda, koji može biti pročitao tako da se formiraju specifični proteini odgovorni za ćelijsku strukturu i funkciju. Danas se zna da je Rozalind Frenklin znatno doprinela utvrđivanju helikoidalne strukture i određivanju gustine DNK, kao i drugim važnim aspektima ovog i sličnih istraživanja.

Talenat Rozalind Frenklin dolazi do punog izražaja tek po odlasku sa Kraljevskog koledža. Od 1953. do 1958. godine, ona radi u Kristalografskoj laboratoriji na Birkbek Koledžu u Londonu, na projektu istraživanja molekularne strukture mozaičnog virusa duvana. Učestvovala je i u istraživanjima koja su pokazala da se ribonukleinska kiselina (RNK) u tom virusu nalazi u njegovom proteinu, a ne u centralnoj šupljini, i da je RNK prosta helikoida, a ne dupla kao što je to slučaj kod bakterijskih virusa i viših organizama.



Slika 6. Mozaični virus duvana

Autor/ka: T. Moravec

Izvor: Wikimedia

Rosalind Frenklin, iako nije dobila Nobelovu nagradu, ipak je dobitnica brojnih posthumnih priznanja za svoj rad. Uključujući i ona skorašnja, od 2016. godine, ima ih oko 40. Među njima, najvažnija su sledeća: 1997. godine, jedan asteroid pronađen te godine nazvan je 9241 Rosfranklin; od 2002. godine, Univerzitet u Groningenu u Holandiji, uz podršku Evropske Unije, dodeljuje petogodišnju stipendiju koja nosi ime Rozalind Frenklin za žene naučnice, radi sticanja profesorskog zvanja. Od 2003. godine, u Velikoj Britaniji, u čast pedesetogodišnjice pronalaska strukture DNK, ustanovljen je Orden Rozalind Frenklin. To je prvo odlikovanje britanskog Kraljevskog društva koje nosi ime jedne žene, a dodeljuje se za izuzetne doprinose u bilo kojoj oblasti prirodnih nauka ili tehnologije.

LITERATURA

- Byers, Nina, and Gary Williams, eds. 2006. *Out of the Shadows: Contribution of the Twentieth-Century Women to Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dodson, Guy. 2014. „Dorothy Hodgkin.” *Diapedia*, August 13. Dostupno na: <https://doi.org/10.14496/dia.1104105146.6>
- Ferry, Georgina. 1998. *Dorothy Hodgkin: A Life*. London: Granta Books.
- Goldwhite, Harold. 1993. „Dorothy Mary Crowfoot Hodgkin.” In *Women in Chemistry and Physics: A Biobibliographic Sourcebook*, edited by Louise S. Grinstein, Rose K. Rose, Miriam H. Rafailovich, 253–260. Westport, Conn., London: Greenwood Press.
- Maddox, Brenda. 2002. *Rosalind Franklin: The Dark Lady of DNA*. New York: HarperCollins.
- McGrayne, Sharon Bertsch. 2001. *Nobel Prize Women in Science: Their Lives, Struggles, and Momentous Discoveries*. Washington, D.C.: Joseph Henry Press.
- Miksic, Mary Clarke. 1993. „Rosalind Elsie Franklin.” In *Women in Chemistry and Physics: A Biobibliographic Sourcebook*, edited by Louise S. Grinstein, Rose K. Rose, Miriam H. Rafailovich, 191–200. Westport, Conn., London: Greenwood Press.
- Offereins, Marianne. 2011. „Rosalind Franklin.” In *European Women in Chemistry*, edited by Jan Apotheker and Livia Simon Sarkadi, 203–206. Weinheim: Wiley-VCH Verlag and Co. KGaA.
- Rayner-Canham, Marelene, and Geoffrey Rayner-Canham. 2011. *Women in Chemistry: Their Changing Roles from Alchemical Times to the Mid-Twentieth Century*. Philadelphia: Chemical Heritage Foundation.
- Strohmeier, Renate. 2011. „Dorothy Crowfoot Hodgkin.” In *European Women in Chemistry*, edited by Jan Apotheker and Livia Simon Sarkadi, 195–198. Weinheim: Wiley-VCH Verlag and Co. KGaA.
- The Nobel Foundation. 1964. „Dorothy Crowfoot Hodgkin – Facts.” NobelPrize.org. Dostupno na: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1964/hodgkin/facts/>

Primljeno: 25.12.2016.

Prihvaćeno: 10.08.2017.

The Triumph of Discovery II: Intellectual Biographies of Dorothy Hodgkin and Rosalind Franklin

Ljiljana DOBROSAVLJEVIĆ GRUJIĆ

University of Belgrade
Institute of Physics

Summary: This essay analyzes the lives and works of two distinguished women scientists in the 20th century, Dorothy Hodgkin and Rosalind Franklin. Their work and the work of their other female colleagues show that female scientists are present in large numbers in sciences that deal with *living* beings. The evidence for that is the number of the most important prizes and awards that female scientists received for their work in the fields of molecular biology, physiology, and medicine in general. This essay, therefore, analyzes scientific discoveries made by Dorothy Hodgkin, who was awarded the Nobel Prize for her determinations of the structures of important biochemical substances by X-ray techniques, and Rosalind Franklin, whose participation in and contribution to the discovery of the so-called secret of life, the DNA structure, was not officially and adequately recognized.

Keywords: intellectual biography, women, history of science, discrimination, scientific discovery, chemistry, crystallography, the Nobel Prize, Dorothy Hodgkin, Rosalind Franklin