

Nobelova nagrada za 2009. s osvrtom na nagradu za kemiju

B. Kojić-Prodić i Z. Štefanić

Institut Ruđer Bošković, pp 180, 10002 Zagreb

Prikaz je posvećen dodjeli Nobelovih nagrada za 2009. i kriterijima određenim oporukom A. Nobela, koji se primjenjuju u odabiru laureata. Kako je u ovoj godini pet laureatkinja, što je rekord u povijesti Nobelove zaklade, dan je i kratak osvrt na povijest dodjele te nagrade ženama. Sažeto su opisani znanstveni temelji i važnost otkrića strukture i funkcije ribosoma za koje je dodijeljena Nobelova nagrada za kemiju V. Ramakrishnanu, T. Steitzu i A. Yonath. Ovom nagradom zaokružena je trilogija u kojoj predvodi po važnosti nagrada dodijeljena 1962. za otkriće strukture dvostruke zavojnice DNA na atomnoj razini J. Watsonu, F. Cricku i M. Wilkinsu. Druga nagrada u toj trilogiji dodijeljena je 2006. R. D. Kornbergu za objašnjenje kako se informacije pohranjene u genu kopiraju i potom prenose na mjesto sinteze proteina. Zajedničko ovoj trilogiji je da predstavlja objašnjenja ključnih životnih procesa na atomnoj razini temeljena na strukturama makromolekula određenih metodama rendgenske difrakcije.

Ključne riječi: Nobelova nagrada 2009, Nobelova nagrada za kemiju – objašnjenje jednog od ključnih životnih procesa

Dodjela Nobelovih nagrada uvijek izaziva veliku pozornost svjetske javnosti, posebice znanstvenika. Nakon postupka nominiranja i odlučivanja slijedi objavljivanje odluka, koje postaju dostupne javnosti tijekom prve polovice listopada svake godine. Svečani čin uručena nagrada pripada švedskom kralju u prisutnosti laureata i njihovih obitelji, kraljevske obitelji i uglednika, 10. prosinca, na godišnjicu smrti osnivača zaklade Alfreda Nobela, u koncertnoj dvorani u Stockholmu. Izuzetak je Nobelova nagrada za mir, koju podjeljuje Odbor Norveškog Nobelovog instituta u Oslu. Svečana dodjela nagrade uključuje unikatnu, umjetnički izrađenu diplomu (slika 1), zlatnu medalju (slika 2), koja ima isti umjetnički dizajn od 1902. te dokument kojim se potvrđuje novčani iznos dodijeljene nagrade. Najprestižnija nagrada za znanost dodjeljuje se od 1901. svake godine za znanstvena dostignuća u području fizike, kemije, fiziologije ili medicine, zatim književnosti te očuvanje mira u svijetu, a od 1968. i za ekonomiju. Izvorno, nagrada za ekonomiju nije bila predviđena. Povodom tristote obljetnice postojanja Švedske državne banke (Sveriges Riksbank) 1968. ustanovljena je nova "Nagrada za ekonomiju Centralne švedske banke u spomen Alfreda Nobela". Nagradu dodjeljuje Švedska akademija znanosti prema izvornim principima, a postupak za odabir laureata i ceremonijal dodjele isti je kao i za ostala područja.

Nobelove nagrade dodjeljuju se već 108 godina prema načelima i kriterijima koje je ustanovio osnivač zaklade Alfred Bernhard Nobel (slika 3) osobno. Nakon Nobelove smrti 10. prosinca 1896. obznanjena je njegova samostalno napisana oporuka 27. studenog 1895. u Parizu, prema kojoj najveći dio ostavštine treba biti temelj osnivanja zaklade, koja će se baviti poslovima pod nadzorom odabranih stručnjaka.^{1,2} "Dobit je namijenjena dodjeli godišnjih nagrada onima za koje se ocijeni da su učinili najveću dobrobit čovječanstvu. Dobit zaklade dijelit će se na pet jednakih dijelova: jedan dio osobi koja će ostvariti najznačajnije otkriće ili izum u području fizike; jedan dio osobi koja će učiniti najznačajnije kemijsko otkriće ili nadopunu postojećem; jedan dio osobi koja će učiniti najznačajnije otkriće u području fiziologije ili medicine; jedan dio osobi koja će stvoriti izuzetno djelo u idealnom smislu u području književnosti; i jedan dio osobi koja će učiniti što je moguće više za bratstvo među narodima, za ukidanje i smanjenje naoružanja te



Slika 1 – Diploma Nobelove nagrade dodijeljena Rogeru D. Kornbergu za kemiju 2006.

Fig. 1 – Nobel Prize Diploma awarded to Roger D. Kornberg for chemistry 2006. (Copyright © The Nobel Foundation 2006 Artist: Ulla Kraitz Calligrapher: Annika Rücker)

održavanje i promociju kongresa za mir. Nagrade za fiziku i kemiju dodjeljivat će Švedska akademija znanosti, nagradu za fiziologiju ili medicinu Karolinški Institut u Stockholmu, nagradu za literaturu Akademija u Stockholmu, a nagradu za mir dodjeljivat će odbor od pet članova koje bira Norveški parlament. Moja je izričita želja da se prilikom dodjele nagrada ne uzima u obzir nacionalnost kandidata, nego će najvrijedniji primiti nagradu, bio ili ne bio Skandinavac." Nobelove propozicije za dodjelu Nobelove nagrade veoma su jasne i temeljene na toleranciji i uvažavanju ljudskih prava i velika su obveza Odboru koji odabire laureate.

Laureati 2009. godine

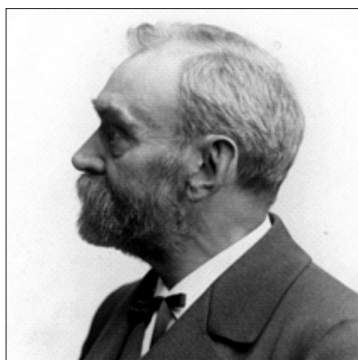
Objava Karolinškog instituta o dodjeli Nobelove nagrade za fiziologiju ili medicinu uslijedila je 5. listopada 2009. u Stockholmu za otkriće kako se kromosomi zaštićuju telomerima i enzimom telomerazom znanstvenicima:

* Autor za korespondenciju: kojic@irb.hr



Slika 2 – Prednja i stražnja strana Nobelove medalje, koju dodjeljuje Kraljevska švedska akademije znanosti za fiziku i kemiju. Prednja strana ista je za nagrade za fiziku, kemiju fiziologiju ili medicinu i književnost. Prikazuje lik A. Nobela s datumima njegovog rođenja i smrti (NAT-MDCCCXXXIII OB-MDCCCXCVI). Stražnja strana medalje je ista samo za fiziku i kemiju. Ta strana predstavlja Prirodu u liku koji podsjeća na božicu Isis, koja izranja iz oblaka držeći u rukama rog (simbol obilja). Veo iznad nje pridržava dobri duh znanosti. Utisnut je tekst *Inventas vitam juvat excoluisse per artes* i preuzet je iz Vergilijeve Eneide, šesta pjesma, stih 663. Dizajner je Erik Lindberg.

Fig. 2 – Front and back sides of the Nobel medal awarded by the Royal Swedish Academy of Sciences for Chemistry and Physics. The front side of the three “Swedish” medals (Physics and Chemistry, Physiology or Medicine, and Literature) is the same, featuring a portrait of Alfred Nobel and the years of his birth and death in Latin – NAT-MDCCCXXXIII OB-MDCCCXCVI. The reverse side of the medal for Physics and Chemistry represents Nature in the form of a goddess resembling Isis, emerging from the clouds and holding in her arms a cornucopia. The veil which covers her cold and austere face is held up by the Genius of Science. The main inscription on the reverse side of all three “Swedish” Nobel Prize medals is the same: The inscription reads: *Inventas vitam juvat excoluisse per artes* loosely translated “And they who bettered life on earth by their newly found mastery.” (Word for word: inventions enhance life which is beautified through art.) The words are taken from Vergilius Aeneid, the 6th song, verse 663. The Nobel Prize Medal for Physics and Chemistry was designed by Erik Lindberg.



Slika 3 – Alfred B. Nobel (1833.–1896.) rođen je u Stockholmu, Švedska, 21. listopada 1833. Olof Rudbeck, predak Nobelove obitelji, bio je najpoznatiji tehnički genij Švedske u 17. stoljeću u vrijeme velikog napretka Švedske. Nobel je govorio tečno nekoliko jezika i pisao poeziju i drame. Nobel je bio socijalno osjetljiv i težio je odnosima koji vode k svijetu bez ratova. Njegovi su stavovi bili radikalni za vrijeme u kojem je živio.

Fig. 3 – Alfred B. Nobel was born in Stockholm, Sweden, on October 21, 1833. Olof Rudbeck, Nobel’s family ancestor was the most famous technical genie of 17th century in Sweden. Nobel spoke a few languages fluently, wrote poetry and dramas. He was socially sensitive and a devoted pacifist with ideas being much ahead of his time.

Elizabeth H. Blackburn (rođena 1948. u Hobartu, Tasmanija, Australija)

Carol W. Greider (rođena 1961. u San Diegu, Kalifornija)

Jack W. Szostak (rođen 1952. u Londonu, Velika Britanija).

Nagradu za otkriće “eliksira života” znanstvenici dijele ravnopravno.

Nobelov odbor Kraljevske švedske akademije za znanost objavio je dobitnike Nobelove nagrade za fiziku za 2009. 6. listopada u Stockholmu **za proboj u postignućima vezanim uz prijenos svjetla u vlaknima za optičku komunikaciju** znanstveniku

Charles K. Kao (rođen 1933. u Šangaju, Kina) Standard Communication Laboratories, Harlow UK & Chinese University of Hong Kong, China;

te **za izum oslikavanja poluvodičkog kruga – CCD senzori** znanstvenicima:

Willard S. Boyle (rođen 1924. u Amherstu, Kanada) Bell Laboratories, Murray Hill, NJ, USA i

George E. Smith (rođen 1930. u White Plainsu, New York) Bell Laboratories, Murray Hill, NJ, USA.

Znanstvenik Kao prima pola novčane nagrade, dok znanstvenici Boyle i Smith primaju svaki četvrtinu novčanog iznosa.

Odluku o dobitnicima **Nobelove nagrade za kemiju** priopćio je prof. Gunnar Öquist, glavni tajnik Kraljevske švedske akademije znanosti 7. listopada 2009. u Stockholmu. Odlukom Nobelovog odbora nagrada za kemiju dodijeljena je za **izučavanje strukture i funkcije ribosoma** znanstvenicima (slika 4):

Venkatraman Ramakrishnan (rođen 1952. u Chidambaramu, Tamil Nadu, Indija), MRC Laboratory of Molecular Biology Cambridge, UK;

Thomas Steitz (rođen 1940. u Milwaukee, Wisconsin) Yale University New Haven, CT and Howard Hughes Medical Institute, New Haven, CT, USA;

Ada Yonath (rođena 1939. u Jerusalemu) Weizmann Institute of Science, Rehovot, Izrael. Novčani iznos nagrade od deset milijuna švedskih kruna dijele sva tri znanstvenika ravnopravno.

Odluku Nobelovog odbora Kraljevske švedske akademije znanosti obznanio je stalni tajnik akademije Peter Englund 8. listopada 2009. u Stockholmu da Nobelova nagrada za književnost pripada njemačkoj autorici rumunjskog porijekla

Herti Müller (rođena 1953. u Nitzkydorfu, Rumunjska) **koja je sažetošću poezije i jasnoćom proze ocrtala živote obespravljenih ljudi.**

Odlukom Norveškog Nobelovog odbora njegov je predsjednik T. Jagbland objavio 9. listopada 2009. u Oslu da se Nobelova nagrada za mir za 2009. dodjeljuje predsjedniku SAD-a **Baracku Obami za izuzetne napore u jačanju međunarodne diplomacije i suradnji među ljudima.**

Dobitnike nagrade Švedske državne banke za ekonomiju u spomen Alfreda Nobela obznanio je prof. Gunnar Öquist, glavni tajnik Kraljevske, švedske akademije znanosti 12. listopada 2009. Ravnopravni dobitnici su:

Elinor Ostrom (rođena 1933.) Indiana University, Bloomington IN, USA **“za njezinu analizu ekonomskog upravljanja”** te

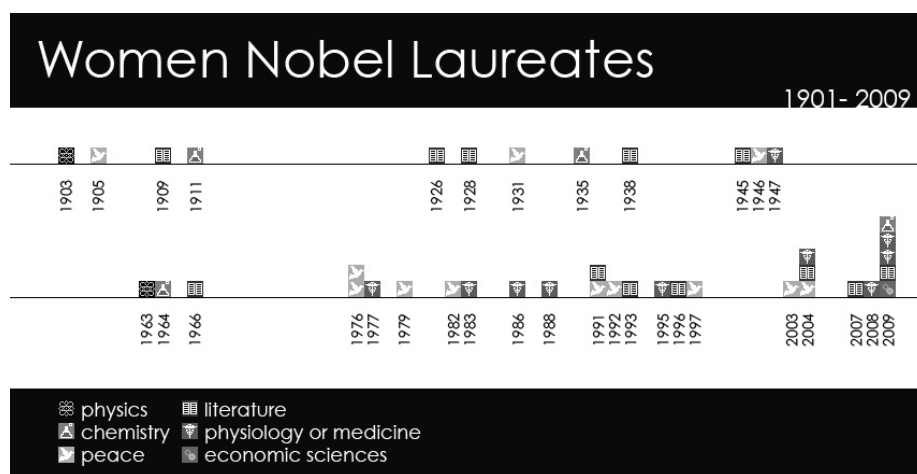
Oliver E. Williamson (rođen 1932.) University of California Berkeley, CA, USA. **“za njegovu analizu ekonomskog upravljanja, posebice granica tvrtke”.**

Uz veliki ugled ova prestižna nagrada donosi i znatno materijalno priznanje – u 2009. godini iznosi deset milijuna švedskih kruna.² Ukupan iznos nagrada za fiziku, kemiju, fiziologiju ili medicinu te književnost i mir iznosi ukupno pedeset milijuna švedskih kruna. Nagrada za ekonomiju, koju u spomen A. Nobela dodjeljuje Šved-



Slika 4 – Ravnopravni dobitnici Nobelove nagrade za kemiju 2009. su Venkatraman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz i Ada Yonath

Fig. 4 – The Nobel Prize Winners for Chemistry 2009 are: Venkatraman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz and Ada Yonath



Slika 5 – Grafički prikaz nobelovih nagrada dodijeljenih ženama u razdoblju 1901.–2009. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_female_Nobel_laureates

Fig. 5 – Graphic presentation of Nobel Prizes awarded to female scientists in the period 1901–2009. http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_female_Nobel_laureates

ska državna banka, također iznosi deset milijuna švedskih kruna. Nobelova nagrada dodjeljuje se već 108 godina i od 2001. iznosi deset milijuna švedskih kruna. Koliko uspješno odabrano tijelo od sedam članova i dva zamjenika vodi zakladu, najbolje pokazuje financijski uspon nagrade; prilikom prve dodjele dobitnicima je pripalo 150 782 švedskih kruna dok je u ovoj godini puni iznos 10 000 000 švedskih kruna. Najniže nagrade bile su 1923. i iznosile su 114 935 švedskih kruna. Nakon što su 1953. izmijenjena pravila ulaganja, nastavljeno je uspješno poslovanje. Od 1946. nagrada je oslobođena poreza. Nobelova zaklada i njezino poslovanje podliježu strogoj kontroli institucija odgovornih za dodjelu nagrada i vlade koja imenuje u tu svrhu posebna tijela. Pravila se poštuju strogo više od stoljeća i nema nikakvih nedoličnih akcija ili pronevjera.

Nobelove nagrade za 2009. jedinstvene su u više nego stoljetnoj tradiciji zaklade

“Rekordna godina za žene nobelovke”, kako je komentirao čuveni *The Independent*, jasno govori po čemu je ova godina posebna u Nobelovoj zakladi. Ove godine od postojanja zaklade najveći je broj nagrada dodijeljen ženama (slika 5). Pet laureatkinja: H. Müller za književnost, E. Blackburn i C. Greider nagradu za medicinu (dijele s J. Szotakom), A. Yonath nagradu za kemiju (dijeli s V.

Ramakrishnanom i T. Steitzom) te E. Ostrom nagradu za ekonomiju (dijeli s O. E. Williamsonom). Jedino 2004. bile su dodijeljene tri nagrade ženama: L. Buck za medicinu, E. Jelinek za književnost i W. Maathai za mir. Ovogodišnja dobitnica nagrade za književnost H. Müller je dvanaesta žena koja je dobila tu prestižnu nagradu, dok je prva dobitnica u povijesti zaklade 1909. bila Švedanka S. Lagerlöf. Nagrade za mir primilo je do sada dvanaest žena, a deset za medicinu. Prva nagrada za mir dodijeljena je Berti Von Suttner 1905. Međutim, ženama su do sada dodijeljene samo četiri nagrade za kemiju: M. Curie 1911. i njezina kći I. Joliot-Curie 1935, Dorothy Crowfoot Hodgkin 1964. i A. Yonath 2009. (slika 6). Ne iznenađuje činjenica da su nagrade 1964. i 2009. dodijeljene za otkriće strukture i funkcije bioloških molekula metodama rendgenske difrakcije. U tom tandemu nedostaje i pokojna R. Franklin, koja je prva snimila rendgenogram vlakna molekule DNA, iz koje su kolege dokučili postojanje strukture makromolekule koja tvori dvostruku zavojnicu i dobili nagradu 1962. U području fizike samo su dvije žene dobile to prestižno priznanje: M. Curie sa svojim suprugom Pierrom i A. H. Becquerelom za otkriće radioaktivnosti te M. Goepfert-Mayer 1963. M. Curie je jedina žena koja je dobila dvije Nobelove nagrade. Dakle, od 1901. do 2009. samo je 40 žena dobilo 41 Nobelovu nagradu. Od postojanja Nobelove nagrade za ekonomiju 1968. prvi je put ove godine dodijeljena ženi – Elinor Ostrom. Netko se potrudio izbrojiti nagrade dodijeljene i muškarcima, što je bio ozbiljan posao, a ako je točno brojio, takvih je 764. Više od polovice žena nobelovki imalo je obitelj i podizalo djecu. Prema kriterijima i toleranciji, koje je u svom testamentu iskazao A. Nobel preostaje nam vjerovati da nije pravio ni razliku u spolu, te da je prvi kriterij bila znanstvena izvrsnost otkrića. Zacijelo su

uvjeti života i društvene predrasude uvelike utjecale i još uvijek utječu na položaj žena u znanosti, i općenito u društvu. Primjer koji govori sam za sebe: veoma cijenjena znanstvenica D. Crowfoot Hodgkin nije mogla dobiti položaj redovite profesorice na Sveučilištu u Oxfordu, što je u to vrijeme značilo sigurnu egzistenciju. Tek nakon dodjele Nobelove nagrade 1964. postigla je i to imenovanje (1965.).

“Poznavanje strukture i funkcije ribosoma” – znanstveni temelji otkrića i njihov značaj

Početak 20-tog stoljeća, kemijske osnove života bile su potpuna enigma, dok sada znamo kako se odvijaju mnogi važni životni procesi sve do atomne razine. Otkrićem strukture i uloge ribosoma objašnjena je ključna točka u životu stanice, sinteza proteina, kojim je spoznato da ribosom djeluje kao enzim (ribozim).^{3,4}

Opća teorija evolucije, koju je postavio 1859. Darwin, temeljila se na pretpostavci da su svojstva organizma nasljedna te da se dešavaju slučajne promjene. Uspješne promjene koje pomažu da organizam preživi prenose se na buduće generacije.

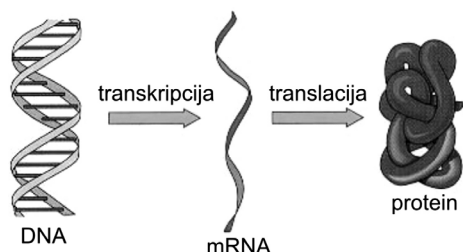
Kad su znanstvenici prihvatili Darwinove ideje, nametnula su se nova pitanja. Što se točno prenosi generacijama? Gdje nastaju slučajne promjene i kako se one odražavaju na žive organizme? No-



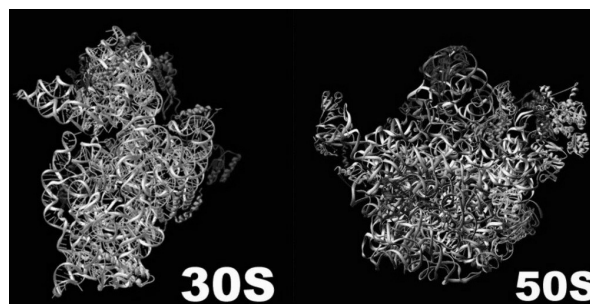
Slika 6 – Nobelove nagrade za kemiju u povijesti zaklade dodijeljene su 1911. Marie Curie, potom 1935. njezinoj kćeri Irene Joliot-Curie, 1964. Dorothy Crowfoot Hodgkin te 2009. Adi Yonath

Fig. 6 – Nobel Prizes for Chemistry in the history of the Nobel Foundation were awarded to 1911. Marie Curie, 1935. her daughter Irene Joliot-Curie, 1964. Dorothy Crowfoot Hodgkin and 2009. Adi Yonath

belova nagrada za kemiju 2009. treća je u trijadi nagrada koje su pokazale da Darwinova teorija seže do atomne razine. Trilogija nagrada počinje s izuzetno važnom nagradom za otkriće strukture dvostruke zavojnice DNA dodijeljene 1962. J. Watsonu, F. Cricku i M. Wilkinsu.⁵ Druga nagrada u trilogiji dodijeljena je R. D. Kornbergu^{6,7} 2006. godine za otkriće koje je pokazalo kako se informacija pohranjena u genu kopira i potom prenosi na mjesto sinteze proteina u stanici. Rješenjem trodimenzijske strukture polimeraze RNA koja ima ključnu ulogu u transkripcijskom procesu otkriven je mehanizam kopiranja informacije u mRNA. Ribosom "čita" informaciju koju nosi mRNA i na temelju nje se proizvodi protein. Taj proces znanstvenici nazivaju translacijom i tijekom te faze jezik DNA/RNA postaje jezikom proteina. Slijed nukleotida u DNA kontrolira slijed aminokiselina u proteinima.



Ribosomi postoje u svim živim bićima od bakterija do ljudi i bez ribosoma ne mogu preživjeti. Unatoč izuzetnoj važnosti tih makromolekula, odnosno njihovih kompleksa, nije bilo moguće objasniti mehanizam na atomnoj razini dok nisu bile otkrivene njihove trodimenzijske strukture. Pionir u tom zahtjevnom poduhvatu bila je Ada Yonath, koja je oko 1970.-ih odlučila odrediti strukturu ribosoma metodom rendgenske difrakcije. Najprije je trebalo planirati kako kristalizirati tako složenu makromolekulu, koja je kompleks proteina i RNA: ona sadrži veliku i malu podjedinicu. Mala



Slika 7 – Prikaz male (30S) i velike (50S) ribosomske podjedinice. (Prilagođeno sa stranice http://www.weizmann.ac.il/sb/faculty_pages/Yonath/home.html)

Fig. 7 – The small (30S) and the large (50S) ribosomal subunit. (Adapted from the web page http://www.weizmann.ac.il/sb/faculty_pages/Yonath/home.html)

podjedinica ljudskog ribosoma sadrži veliku molekulu RNA i oko nje 32 proteina, dok velika podjedinica ima tri molekule RNA koje su okružene s 46 proteina (slika 7). Poznavati strukturu tih kompleksa znači odrediti položaj svakog atoma u ribosomu. Izbor Ade Yonath bio je izolirati ribosom iz bakterije koja obitava u oštrim uvjetima (termalnim izvorima – *Geobacillus stearothermophilus* i Mrtvom moru – *Haloarcula marismortui*) jer je time veća šansa da ima izuzetno stabilan ribosom koji će dati dobre kristale. U 1980. uspjela je dobiti kristale velike podjedinice, što je predstavljalo velik uspjeh iako kristali nisu bili kvalitete kakva se očekuje za difrakcijski eksperiment.^{8–10} Njezino istraživanje nastavilo se sljedećih 20 godina tijekom kojih je razvila posebne krio-tehnike (rad na niskim temperaturama), koje su omogućile da kristali "prežive" rendgensko, odnosno sinkrotronsko zračenje. Tek 1990-ih A. Yonath proizvela je kristale podesne za uspješan eksperiment. Međutim, postojala je još velika zapreka u rješenju trodimenzijske strukture kompleksa, a to je bilo rješavanje faza valova rendgenskog zračenja raspršenih na kristalu ribosoma. Dotadašnja metoda uranjanja proteinskih kristala u otopinu metalne soli (metal s velikim brojem elektrona, kao živa ili uranij), kojom su nastajali derivati proteina s "teškim" atomima nije bila primjenjiva na tako velike podjedinice. Thomas Steitz je riješio taj problem primjenom krio-elektronske mikroskopije visokog razlučivanja. J. Frank,^{11,15} istaknuti stručnjak u tom području, snimio je sliku ribosoma, koja je dala samo obris makromolekule, ali je poslužila da se složenim matematičkim funkcijama odrede faze strukturnih faktora i dobije slika velike podjedinice ribosoma na 9 Å razlučivanju. U toj slici nisu bili vidljivi atomi, već samo duga molekula RNA. Tu strukturu objavio je Steitz 1998., a potom se nastavilo raditi na poboljšanju kvalitete kristala i eksperimentalnih podataka. Tek 2000. uspjelo je, gotovo istodobno, svo troje znanstvenika odrediti strukturu na atomnoj razini:^{11–21} T. Steitz odredio je strukturu velike podjedinice iz bakterije *Haloarcula marismortui*, dok su Yonath i Ramakrishnan odredili strukturu male podjedinice iz *Thermus thermophilus*. Tek tada se moglo pričati razjašnjenju kemijskih reakcija tog složenog i važnog biološkog procesa. Znanstvenici su uočili da ribosom veoma pouzdano prevodi jezik DNA/RNA u jezik proteina, tj. da se prilikom sinteze proteina ugrađuje, gotovo bez pogreške, kodirana aminokiselina. O tome odlučuju nastali parovi između tRNA i mRNA. Međutim, točno objašnjenje visoke preciznosti ribosoma pružila je struktura visokog razlučivanja male podjedinice, koju je objavio Ramakrishnan sa suradnicima. Oni su prepoznali da su nukleotidi u maloj podjedinici RNA mjera udaljenosti između kodona u mRNA i antikodona u tRNA. Ako udaljenost nije odgovarajuća, molekula tRNA ispada s ribosoma. Tako ribosom upotrebom "molekularnog ravnalca" dva puta kontrolira ispravnost. Time se osigurava visoka vjerodostojnost kopiranja, pa se pogreška javlja jednom na sto tisuća aminokiselina. Uloga velike podjedinice je da potiče stvaranje peptidne veze između aminokiselina. Svaki korak kemijske reakcije koji se zbiva velikom brzinom nije jednostavno prepoznati; u pojedinom ribosomu nastaje oko 20 peptidnih veza u sekun-

di. T. Steitz uspio je kontrolirati svaki korak kemijske reakcije tako da je kristalizirao veliku podjedinicu zajedno s molekulama koje sličice onima koje sudjeluju u stvaranju peptidnih veza. S tim "markerima" on je prepoznao koji atomi ribosoma su važni za kemijsku reakciju i kako ona teče.

Laureati Nobelove nagrade za kemiju u 2009. otkrili su kako prirodna zapisa od četiri slova (A, C, G, T) pretvara u život. Proučavanje pokrenuto istraživačkom znatiželjom objasnilo je mehanizam jednog od temeljnih životnih procesa i istodobno pružilo mogućnost zaštite života blokiranjem funkcije ribosoma u patogenim bakterijama. Ta istraživanja su također podloga za razumijevanje rezistencije na antibiotike, koja može biti fatalna ako ne bismo uspjeli dizajnirati nove učinkovite antibiotike.

U istraživanjima koje su dovela do ovogodišnje Nobelove nagrade za kemiju svoj doprinos dala su i dvojica znanstvenika koji su bili studenti Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu; prof. dr. Nenad Ban je radio u grupi prof. T. Steitza, dok je dr. Ante Tocilj bio u grupi A. Yonath. Prof. dr. Nenad Ban^{21–26} istaknuti je molekularni biolog na ETH u Zürichu, koji radi na rasvjetljavanju struktura i funkcija velikih staničnih makromolekularnih kompleksa koji sudjeluju u sintezi proteina i masnih kiselina kombinacijom metoda: rendgenske kristalografije, elektronske mikroskopije i biokemijskih pokusa.

References

1. B. Kojić-Prodić, *Kem. Ind.* **50** (2001) 669.
2. <http://nobelprize.org/>, The Official web site of the Nobel Foundation, 2009.
3. www.cytochemistry.net/cell-biology/ribosome.htm
4. A. Liljas, *Structural Aspects of protein Synthesis*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore, 2004.
5. J. D. Watson, F. H. Crick, *Nature*, **171** (1953) 964.
6. A. Kornberg, *Science*, **163** (1969) 1410.
7. P. Cramer, D. A. Bushnell, R. D. Kornberg, *Science*, **292** (2001) 1863.
8. A. Yonath, J. Mussig, B. Tesche, S. Lorenz, V. A. Erdman, H. G. Wittmann, *Biochem. Int. J.* (1980) 428.
9. A. Yonath, H. D. Bartunik, K. S. Bartels, H. G. Wittmann, *J. Mol. Biol.* **177** (1984) 201.
10. I. Makowski, F. Frolow, M. A. Saper, M. Shoham, H. G. Wittmann, A. Yonath, *J. Mol. Biol.* **193** (1987) 819.
11. N. Ban, B. Freeborn, P. Nissen, P. Penczek, R. A. Grassucci, R. Sweet, J. Frank, P. B. Moore, T. A. Steitz, *Cell* **93** (1998) 1105.
12. N. Ban, P. Nissen, J. Hanssen, M. Capel, P. B. Moore, T. A. Steitz, *Nature* **400** (1999) 841.
13. N. Ban, P. Nissen, J. Hanssen, P. B. Moore, T. A. Steitz, *Science* **289** (2000) 905.
14. P. Nissen, J. Hanssen, N. Ban, P. B. Moore, T. A. Steitz, *Science* **289** (2000) 920.
15. J. Frank, J. Zhu, P. Penczek, Y. Li, S. Srivastava, A. Verschoor, M. Radermacher, R. Grassucci, R. K. Lata, R. K. Agrawal, *Nature* **376** (1995) 441.
16. F. Schluenzen, A. Tocilj, R. Zarivach, J. Harms, M. Gluehmann, D. Anell, A. Bashan, H. Bartels, I. Agmon, F. Franceschi, A. Yonath, *Cell* **102** (2000) 615.
17. J. Harms, F. Schluenzen, R. Zarivach, A. Bashan, S. Gat, I. Agmon, H. Bartels, F. Franceschi, A. Yonath, *Cell* **107** (2001) 679.
18. J. M. Ogle, D. E. Brodersen, W. M. Clemons Jr., M. J. Tarry, A. P. Carter, V. Ramakrishnan, *Science* **292** (2001) 897.
19. J. M. Ogle, F. V. Murphy, M. J. Tarry, V. Ramakrishnan, *Cell* **111** (2002) 721.
20. J. M. Ogle, V. Ramakrishnan, *Annu. Rev. Biochem.* **74** (2005) 129.
21. T. Maier, M. Leibundgut, N. Ban, *The Crystal Structure of a Mammalian Fatty Acid Synthase*, *Science* **321** (2001) 1315.
22. M. Leibundgut, S. Jenni, C. Frick, N. Ban, *Structural Basis for Substrate Delivery by Acyl Carrier Protein in the Yeast Fatty Acid Synthase*, *Science* **316** (2007) 288.
23. S. Jenni, M. Leibundgut, D. Boehringer, C. Frick, B. Mikolásek, N. Ban, *Structure of Fungal Fatty Acid Synthase and Implications for Iterative Substrate Shuttling*, *Science* **316** (2007) 254.
24. T. Maier, S. Jenni, N. Ban, *Architecture of mammalian fatty acid synthase at 4.5 Å resolution*, *Science* **311** (2006) 1258.
25. S. Jenni, M. Leibundgut, T. Maier, N. Ban, *Architecture of a fungal fatty acid synthase at 5 Å resolution*, *Science* **311** (2006) 1263.
26. R. Bingel-Erlenmeyer, R. Kohler, G. Kramer, A. Sandikci, S. Antolić, T. Maier, C. Schaffitzel, B. Wiedmann, B. Bukau, N. Ban, *A peptide deformylase-ribosome complex reveals mechanism of nascent chain processing*, *Nature* **452** (2008) 108.

Napomena: referencije od broja 21 do 26 sadrže i naslove radova jer autori prikaza žele istaknuti najnovije doprinose N. Bana u području strukturne molekularne biologije.

SUMMARY

The Nobel Prize for 2009 with the Emphasis on the Prize for Chemistry

B. Kojić-Prodić and Z. Štefanić

The essay is dedicated to the Nobel prizes for 2009 and criteria proposed in A. Nobel's will used in laureates selections. The original Nobel's will, quoted in the essay, was written in a spirit of tolerancy and respect of human rights and has inspired the Nobel Committee to select the superb among the excellent scientists to be awarded. In 2009, the highest number of women honoured is five, being the record in the history of the Nobel Foundation. Therefore, some data relevant to this topic are presented. The Nobel Prize for chemistry in 2009 is awarded to Ramakrishnan, Steitz and Yonath for the structure and function of ribosome. A brief description of the scientific background and importance of the discovery is given. By this year's award in chemistry a trilogy of prizes related to explanations of the key life processes is completed. The first, crucial prize in the trilogy was awarded in 1962 to J. Watson, F. Crick and M. Wilkins for the discovery of a double helix structure of DNA macromolecule. The second one in the trilogy went to R. D. Kornberg for the explanation of how the information stored in the genes is copied, and then transferred to those parts of the cell where proteins are produced. These three discoveries of the trilogy are vital for life processes and are based on determinations of three-dimensional structures of key, biological macromolecules by X-ray diffraction methods.