

Nobelova nagrada za kemijo za leto 2023

Črtomir Podlipnik

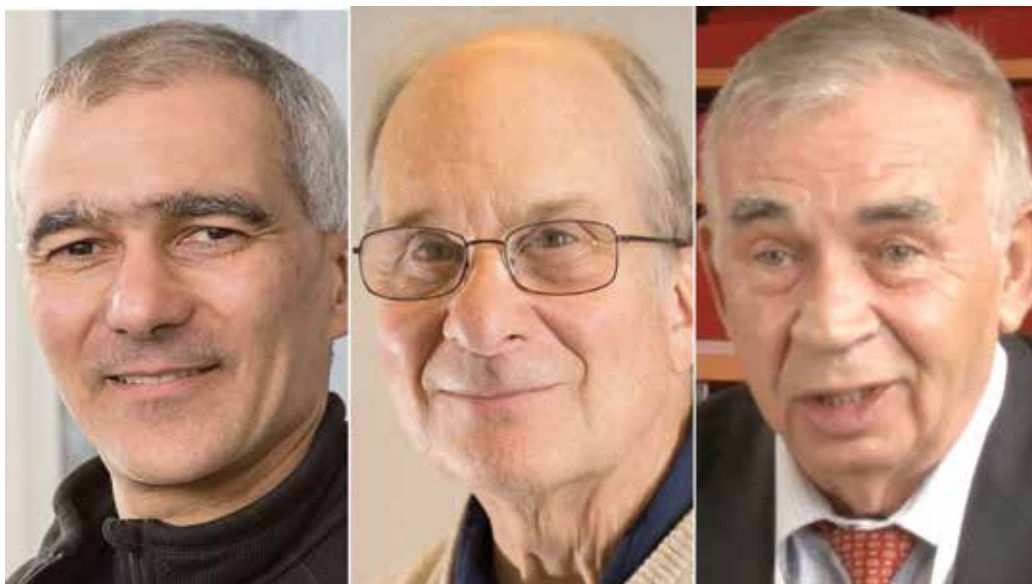
4. oktobra leta 2023 je Kraljeva švedska akademija znanosti podelila Nobelovo nagrado za kemijo francoskemu kemiku tunizijskih korenin Moungiu Bawendiju, ki deluje na Tehnološkem inštitutu Massachusettsa v Združenih državah Amerike, ameriškemu kemiku Louisu Brusu z Univerze Columbia v Združenih državah Amerike in ruskemu fiziku Alekseju Jekimovu, ki je raziskoval na inštitutu Vavilov v Sankt Peterburgu v Rusiji, za njihove pionirske raziskave na področju kvantnih pik.

Lastnosti snovi so v veliki meri povezane z elementi, ki jih sestavljajo, a njihovo medsebojno delovanje ustvarja zapletene rezultate. Kisik na primer je osnovni element v molekuli vode, a hkrati je tudi del nevarnih bojnih strupov, kot je fosgen. Čeprav lahko na splošno trdimo, da lastnosti snovi določa njena elektronska struktura, to vedno ni tako enostavno. Atomi in ioni imajo določeno število elektronov, ki imajo ključno vlogo pri tvorbi in cepitvi kemijskih vezi. Večinoma so lastnosti snovi neodvisne od njene mase: na primer, zmrzišče enega grama vode je enako zmrzišču enega kilograma vo-

de. V svetu nanodelcev pa se zakoni fizike kažejo na nenavadne načine. Ko se približujemo razdaljam v milijoninkah milimetra, postane kvantna mehanika glavni igralec, ki presega naše tradicionalno razumevanje. Če elektrone ali druge delce zapremo v zelo majhen prostor, se njihovo vedenje temeljito spremeni: takrat so lastnosti odvisne tudi od velikosti delcev. Takšno obnašanje je že leta 1937 teoretično predvidel Herbert Fröhlich (Fröhlich, 1937).

V zgodnjih osemdesetih letih prejšnjega stoletja sta Aleksej Jekimov in Louis Brus neodvisno drug od drugega odkrila kvantne

Prejemniki Nobelove nagrade za kemijo za leto 2023: Mounji Bawendi, Louis Brus in Aleksej Jekimov.



pike, ki jih imenujemo tudi polprevodniški nanokristali. Kvantne pike so zelo majhne agregacije polprevodniškega materiala in vsebujejo od tisoč do nekaj deset tisoč atomov, njihov premer pa znaša od enega do deset nanometrov. Zaradi majhnosti se kvantne pike obnašajo kot kvantni delci, njihove optične in elektronske lastnosti se bistveno razlikujejo od večjih agregatov istega polprevodniškega materiala. Kako majhne so kvantne pike, najlažje ponazorimo z naslednjo primerjavo. Kvantna pika, ki jo sestavlja nekaj tisoč atomov, je v enakem velikostnem razmerju z nogometno žogo, kot je ta v razmerju s planetom Zemlja (slika spodaj).

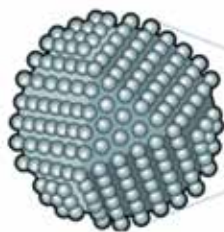
Jekimov in njegova ekipa so na Državnem optičnem inštitutu podrobno preučevali Schottova stekla s polprevodniškimi lastnostmi ter razvijali teorijo, ki bi lahko pojasnila njihov spekter barv. Ko so ta stekla segreli in kasneje ohladili, so v njih nastali nanokristali bakrovega klorida, ki so jih zaznali z rentgenskim uklonom (difrakcijo). Ugotovili so, da je barva stekla v neposredni odvisnosti od velikosti teh nanokristalov. Jekimov je s prilagajanjem pogojev segrevanja in ohlajevanja stekla natančno nadzoroval nastanek nanokristalov bakrovega klorida v velikostnem razponu od dveh do trideset nanometrov. Svoja spoznanja je leta 1981 objavil v prestižni sovjetski znanstveni reviji (*Екимов, Онущенко, 1981*). Ker pa je bila dostopnost te publikacije znanstvenikom zahodnega sveta omejena zaradi železne za-

vese, Louis Brus ni bil seznanjen z Jekimovim delom.

Louis Brus je leta 1983 kot prvi samostojno razkril kvantne lastnosti nanodelcev, raztopljenih v tekočini, ki so povezane z njihovo velikostjo. Med svojim delom v Bellovih laboratorijih v Združenih državah Amerike je Brus raziskoval fotokemijo delcev kadmijevega sulfida, ki so v njegovih poskusih bili katalizatorji kemijskih reakcij. Da bi optimiziral aktivno površino, je pripravil suspenzije drobnih delcev kadmijevega sulfida. Med opazovanjem teh nanodelcev je opazil nenavaden pojav - njihove optične lastnosti so se sčasoma, ko so stali v laboratoriju, spreminjale. Predvideval je, da je vzrok za to rast delcev, zato je za preverjanje te hipoteze ustvaril nanodelce kadmijevega sulfida, velike približno 4,5 nanometra. Njihove optične lastnosti je nato primerjal z večjimi delci, ki so merili približno 12,5 nanometra. Medtem ko so večji delci svetlobo absorbirali pri običajnih valovnih dolžinah za kadmijev sulfid, je bila za manjše delce značilna absorpcija pri krajših valovnih dolžinah, kar se je kazalo v premiku proti modri barvi v spektru (Brus, 1984).

Slika na sledeči strani prikazuje suspenzije kadmijevega selenida s kvantnimi pikami različnih velikosti. Iz slike je jasno razvidno, da velikost kvantnih pik vpliva na valovno dolžino oddane svetlobe: manjše kot so kvantne pike, krajša je valovna dolžina svetlobe, ki jo oddajajo.

Kvantna pika je nanokristal, ki je pogosto sestavljen iz le nekaj tisoč atomov. Po velikosti je do žoge v takšnem razmerju, kot je žoga do Zemlje.



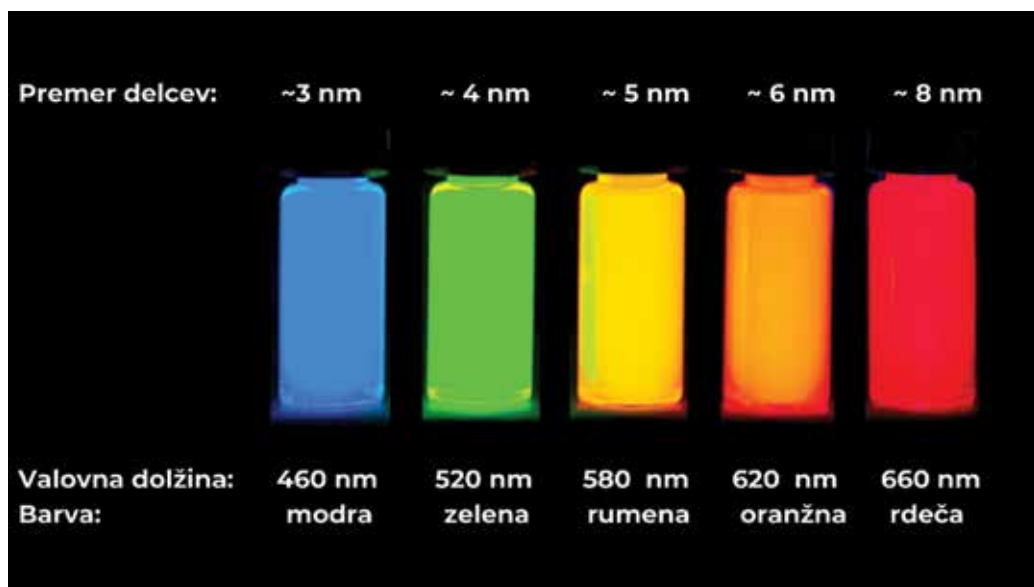
2 do 10 nanometrov



19 centimetrov



12.756 kilometrov



Suspenzije kadmijevega selenida s kvantnimi pikami različnih velikosti (v nanometrih).

V svetu raziskav kvantnih pik je bilo glavno vprašanje, kako ustvariti kakovostne in obstojne kvantne pike z enotnimi lastnostmi. Mounji Bawendi, letošnji Nobelov nagrajenec za kemijo, je leta 1993 objavil metodo vročega vbrizgavanja, ki omogoča sintezo kvantnih pik z natančno določenimi dimenzijami, hkrati pa so kvantne pike, dobljene s tem postopkom, izjemno obstojne (Murray, Norris, Bawendi, 1993). Bawendijeva novost je pripomogla k razvoju novih tehnologij, ki temeljijo na uporabi kvantnih pik. Tehnologija kvantnih pik postaja vedno bolj prevladujoča in ključna v sodobnem svetu. Na njeni osnovi so razviti visokokakovostni zasloni QLED za računalnike in televizorje, ki zagotavljajo izjemno kakovost slike in žive barve. V kvantnih računalnikih kubitih, ki uporabljajo kvantne pike, omogočajo revolucionarne zmogljivosti. Poleg tega sončne celice, ki vsebujejo kvantne pike, dosegajo izjemno učinkovitost in povečujejo izkoristek energije. Kvantne pike prav tako uporabljajo v medicinski diagnostiki, kjer omogočajo natančnejše rezultate, in pri razvoju inova-

tivnih senzorjev (tipal), ki obetajo večjo občutljivost in zanesljivost.

Literatura:

Brus, Louis, E., 1984: *Electron–electron and electron–hole interactions in small semiconductor crystallites: The size dependence of the lowest excited electronic state. The Journal of Chemical Physics*, 80 (4403): 4403–4409.

Екимов, А. И., Онущенко, А. А., 1981: *Квантовый размерный эффект в трехмерных микрокристаллах полупроводников (PDF). Письма в ЖЭТФ*, 34: 363–366.

Fröblich, H., 1937: *Die spezifische Wärme der Elektronen kleiner Metallteilchen bei tiefen Temperaturen. Physica*, 4 (5): 406 – 412.

Murray, C. B., Norris, D. J., Bawendi, M. G., 1993: *Synthesis and characterization of nearly monodisperse CdE (E = sulfur, selenium, tellurium) semiconductor nanocrystallites. Journal of the American Chemical Society*, 115 (19): 8706–8715. doi:10.1021/ja00072a025. ISSN 0002-7863.

Slovarček:

Elektronska struktura Razporeditev in vedenje elektronov v atomu ali molekuli.

Fotokemija. Veja kemije, ki se ukvarja z učinki svetlobe na kemijske reakcije.

Kadmijev sulfid. Polprevodniški material, uporabljen v raziskavah kvantnih pik.

Kubiti. Osnovne enote informacije v kvantnih računalnikih.

Kvantna mehanika. Področje fizike, ki opisuje vedenje zelo majhnih delcev.

Kvantna pika. Zelo majhna agregacija polprevodniškega materiala, ki se obnaša kot kvantni delci in ima posebne optične in elektronske lastnosti.

Kvantni računalnik. Naprava, ki za procesiranje podatkov uporablja kvantno mehaniko, predvsem superpozicijo in prepletanje. Namesto običajnih bitov uporablja kubite, ki lahko zavzemajo več stanj hkrati. To omogoča bistveno hitrejšo izračune in večjo procesno moč, kar je ključno za reševanje kompleksnih problemov, ki presegajo zmogljivosti klasičnih računalnikov.

Metoda vročega vbrizgavanja. Tehnika za sintezo kvantnih pik z nadzorovanimi velikostmi.

Nanodelci. Izjemno majhni delci, merjeni v nanometrih.

Polprevodniški nanokristal. Majhen kristal, sestavljen iz polprevodniškega materiala, ki ima kvantne lastnosti.

Rentgenska difrakcija. Tehnika za analizo kristalne strukture snovi s pomočjo rentgenskih žarkov.

Schottova stekla. Posebna vrsta stekla z določenimi optičnimi lastnostmi.

Sončne celice. Naprave, ki pretvarjajo svetlobno energijo v električno energijo.

Vavilovov inštitut v Rusiji. Raziskovalni inštitut v Sankt Peterburgu, znan po raziskavah v fiziki.

Zasloni QLED. Visokokakovostni zasloni, ki uporabljajo tehnologijo kvantnih pik za izboljšanje kakovosti slike.



Črtomir Podlipnik je doktoriral iz teoretične kemije na Univerzi v Ljubljani pod mentorstvom prof. Jožeta Kollerja. Specializiral se je tudi na področju kemoinformatike, kar mu omogoča učinkovito analizo in modeliranje kemijskih spojin. Po pridobitvi doktorata se je pridružil skupini prof. Anne Bernardi na Univerzi v Milanu v Italiji, kjer je bil vključen v razvoj zaviralcev toksina kolere. V času epidemije SARS-CoV-2 je sodeloval v projektih odprte znanosti Covid-si in SiDock@Home. Trenutno je zaposlen kot asistent na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani, kjer je tudi koordinator za študij kemoinformatike v okviru Erasmus+ programa Chemoinformatics+.