

# Kvantne pike

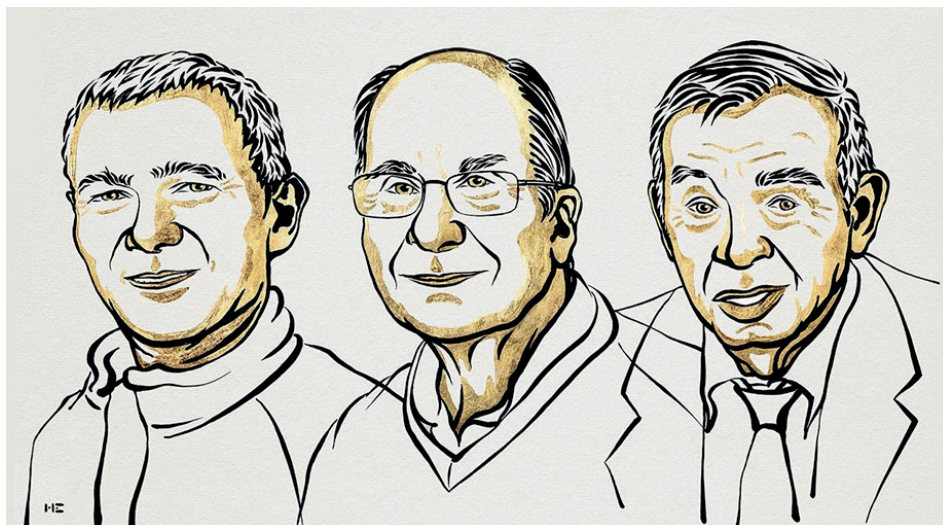
**Kvantne pike se že množično proizvajajo, zaradi česar so naše luči energetsko učinkovitejše, barve na elektronskih napravah pa so lahko bolj niansirane – Izraelsko podjetje izdeluje biološke polprevodnike, ki oddajajo vidno svetlobo ali pa se uporabljajo za proizvodnjo zelo zmogljivih ali hitro polnjevih baterij**

Tekst: **Brane Maselj**

**N**obelovo nagrado za kemijo za delo na področju kvantnih pik, drobnih delcev, ki dodajo barvo zaslonom in medicinskim postopkom, so letos prejeli Mounqi Bawendi, Louis Brus in Aleksej Ekimov. Imena nagrajencev so se že pred razglasitvijo pomotoma pojavila v švedskih medijih. Takšna uhajanja informacij iz Nobelovega odbora so sicer redka, v tem primeru pa tudi sicer niso povzročila kakšne večje senzacije, saj so kvantne pike, polprevodniški delci, veliki le nekaj nanometrov, že nekaj časa naši vsakdanji spremljevalci, vgrajeni v televizijske zaslone in monitorje, s katerimi si kirurgi pomagajo pri odstranjevanju tumorskega tkiva.

Institucija Nobelove nagrade je precej konservativna in od leta 1901, ko so nagrade podelili prvič, so kljub vsakoletnim kritikam in pritožbam sprejeli le malo sprememb ali izboljšav poslednje volje Alfreda Nobela. Največ negotovanja je dolga leta sprožal skrbno zaščiten izbirni postopek – nominacije so bile tajne 50 let – kot tudi izbor nagrajencev. Novejši val kritik je grmel nad izbori posameznikov zlasti na področjih fizike, kemije in predvsem fiziologije oziroma medicine, češ da so posamezniki, ki jim uspe izjemno znanstveno odkritje, danes izginjajoča vrsta; sodelovanje je zdaj norma. Tudi žirije za znanost naj bi sledile zgledu žirije za nagrado za mir, ki je v preteklosti izbrala celotne organizacije, kot so Amnesty

**L**etošnji dobitniki Nobelove nagrade za kemijo »za odkritje in sintezo kvantnih pik« so Mounqi Bawendi, ameriški kemik francoskega in tunizijskega rodu z Inštituta za tehnologijo Massachusetts (MIT), Louis Brus, profesor z univerze Columbia, in ruski fizik Aleksej Ekimov, trenutno zaposlen v ameriskem podjetju Nanocrystals Technology Inc.



Vir: Švedska kraljeva akademija znanosti, il. Niklas Einmehd



International, Zdravniki brez meja in zmagovalci leta 2022, Center za državljanske svoboščine v Ukrajini. Zakaj ne bi nagrade podelili laboratoriju, v katerem se zgodi prelomno odkritje, ali vsaj njegovim glavnim sodelavcem, ne pa eni sami zvezdi, se je ob podelitvi letošnjih nagrad denimo spraševal ameriški *Wall Street Journal*.

Nekaj sprememb se je kljub arhaičnim pravilom, ki jih je pred več kot stoletjem uvedel ustanovitelj Alfred Nobel, vseeno zgodilo. Odbor za nagrade je tudi v znanosti povečal možno število nagradencev: po trije ali pa organizacija kot celota si zdaj lahko razdelijo nagrado v vsaki kategoriji. Njihovi nagrajeni prispevki pa se lahko zgodijo kadar koli v njihovem življenju, ne le »v zadnjem obdobju«, kar je omogočilo tudi izbor letošnjih nagrajencev, ki so kvantne pike sicer sintetizirali že v 90. letih prejšnjega stoletja.

### Že desetletja v množični proizvodnji

Kvantne pike se danes že množično proizvajajo, zaradi česar so naše luči energetsko učinkovitejše, barve na elektronskih napravah pa so lahko bolj niansirane. Tudi biokemiki že uporabljajo kvantne pike za preslikavo celic in organov. »Vrednost te tehnologije je ogromna in v resnici smo to šele začeli dobro ugotavljati,« je dejala **Judith Giordan**, predsednica Ameriškega kemijskega združenja, in s temi besedami povzela bistvo letošnjega priznanja trem kemikom za njihovo delo v preteklosti.

Pred njihovim delom je le malo ljudi mislilo, da bodo učinki, ki bi teoretično lahko nastali v nanodelcih, kdaj praktično uporabljeni. »Dolgo časa si nihče ni mislil, da bi lahko dejansko naredili tako majhne delce,« je dejal **Johan Aqvist**, predsednik Nobelovega odbora za kemijo. So pa nekateri fiziki, ki so se razumeli na kvantno mehaniko, že v 30. letih 20. stoletja predvidevali, da bi lahko prišlo do takšnega učinka.

Kot prvi se je s kvantnimi pikami še v takratni Sovjetski zvezi v 80. letih prejšnjega stoletja ukvarjal Aleksej Ekimov, ruski fizik, ki dela pri podjetju Nanocrystals Technology s sedežem v New Yorku.

S poskusi na barvnem steklu je ugotovil, da lahko ena sama snov ustvari različno obarvano steklo, kar se mu je zdelo zelo zanimivo. Izdelal je zatemnjeno steklo in ga rentgensko slikal. V steklu so se oblikovali drobni kristalni delci, barva svetlobe, ki jo je steklo absorbiralo, pa je bila odvisna od njihove velikosti. Fizik je takoj spoznal, da je opazil kvantni učinek, pojasnjuje dr. **Franci Merzel**, vodja teoretičnega odseka na ljubljanskem Kemijskem inštitutu.

Ekimov je svoja spoznanja objavil v sovjetski reviji, do katere pa so raziskovalci na drugi strani železne zavese težko dostopali. Zato Louis Brus ni vedel za odkritje, ko je naredil podobno odkritje v Bell Laboratories v ZDA, kjer je delal z delci, lebdečimi v tekočini, ki lovijo svetlobo. Opazil je, da so se optične lastnosti delcev spremenile, potem ko so jih pustili na laboratorijski mizi, morda zato, ker so rasli. Proizvedel je še manjše delce in bil priča enakemu učinku kot Ekimov.

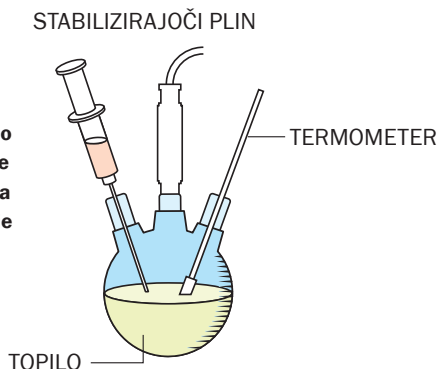
### Zanimive lastnosti spreminjajočih se kristalov

Ekimov in Brus, ki je danes povezan z univerzo Columbia, sta torej neodvisno drug od drugega odkrila, da je mogoče izdelati kvantne pike, a tudi po tem dvojnem odkritju je bilo še težko nadzorovati velikost delcev in njihova kakovost je bila pogosto nepredvidljiva. Moungi Bawendi, ki se je usposabljal v Brusovem laboratoriju, je želel rešiti ta problem. Ustvarjanje pik je zahtevalo veliko poskusov in napak, je ob podelitvi nagrade povedal Bawendi, a leta 1993 je dosegel preboj na Tehnološkem inštitutu v Massachusettsu (MIT), ko je njegova skupina v tekočino z nadzorovano temperaturo vbrižgala snovi, ki so tvorile drobne kristale. Spreminjanje temperature raztopine lahko spremeni velikost kristalov. Tako je kemiku na MIT uspelo revolucionirati proizvodnjo kvantnih pik.

Kvantne pike so tako majhne, da so lastnosti, vključno z barvo, odvisne od njihove velikosti, tudi če je njihova kemična sestava enaka. Najmanjše svetijo modro, večje pike pa rumeno in rdeče. To je zato, ker se elektroni stisnejo skupaj, ko se delec skrči, kar jim daje

## Kako je Moungi Bawendi izdelal kvantne pike

**1** Bawendi je vbrizgal snovi, ki lahko tvorijo kadmijev selenid, v vroče topilo. Prostornina je bila dovolj velika za nasičenje topila okoli igle.



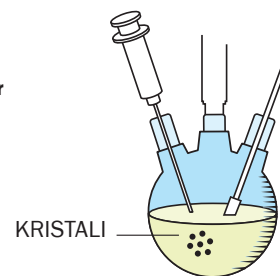
več energije in povzroči, da pike oddajajo različne valovne dolžine svetlobe. Spremenijo se tudi druge lastnosti, vključno s tališčem. »Materiali so zelo svetli in zelo dobro barvno definirani,« je povedal **Rigoberto Castillo Advincula**, raziskovalec nanomaterialov na Univerzi v Tennesseeju in Nacionalnem laboratoriju Oak Ridge. Lahko so dražji od drugih materialov, je dejal Advincula, vendar proizvajajo tudi več svetlobe. Raziskovalci upajo, da bodo lahko kvantne pike sčasoma pomagale pri razvoju prilagodljive elektronike, tanjših sončnih celic in šifrirane komunikacije. »Motivacija, da smo se lotili ustvarjanja tega materiala, je bila želja po boljšem razumevanju fizike, je še dejal Bawendi in dodal: »Nikoli si ne bi mislil, da jih lahko naredimo v tako velikem obsegu, da bodo dejansko postale tržno uporabno blago.«

### Kvantna mehanika na delu

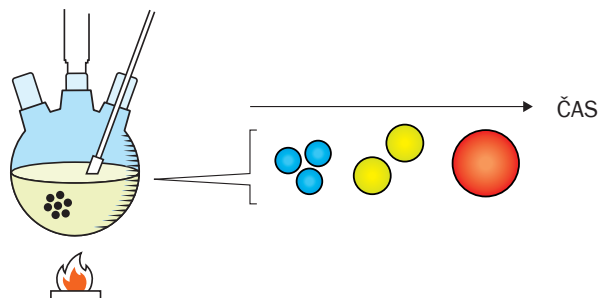
Tudi dr. Merzel, ki smo ga prosili za dodatno pojasnilo o principih delovanja kvantnih pik, je po osnovni izobrazbi fizik: »Kvantne pike so kvantni pojav in praviloma sodijo v domeno fizike, čeprav so avtorji dobili nagrado za kemijo; to pa zato, ker jim je uspelo dokazati, da so kvantne pike samostojna materialna enota, ki jim jo je uspelo tudi izdelati. Ekimov, ki je to delal že v 80. letih, je ugotovil, da prav velikost teh majhnih delov snovi vpliva na optične lastnosti, in to je takoj prepoznal kot kvantni efekt. Vsi trije so naprej raziskovali še z drugimi materiali, zato gre njim tudi zasluga za izdelavo kvantnih pik, znanstveno oziroma teoretično gledano pa gre za sicer zelo enostaven model v kvantni mehaniki.«

In dodaja: »Gre za pojav delca, ujetega v neskončno potencialno jamo. Če bi klasičen delec ujeli v nekakšno škatlo z vakuumom, po kateri bi se gibal brez trenja horizontalno in se odbijal od sten, bi vzdrževal kakršnokoli poljubno začetno energijo, ki jo je prejel na začetku. Če pa kvantni delec zapremo v takšno škatlo, bo njegova energija lahko zavzela le točno določene vrednosti, za katere se izkaže, da so

**2** Takoj so se začeli tvoriti majhni kristali kadmijevega selenida, a ker je injekcija ohladila topilo, so kristali prenehali nastajati.



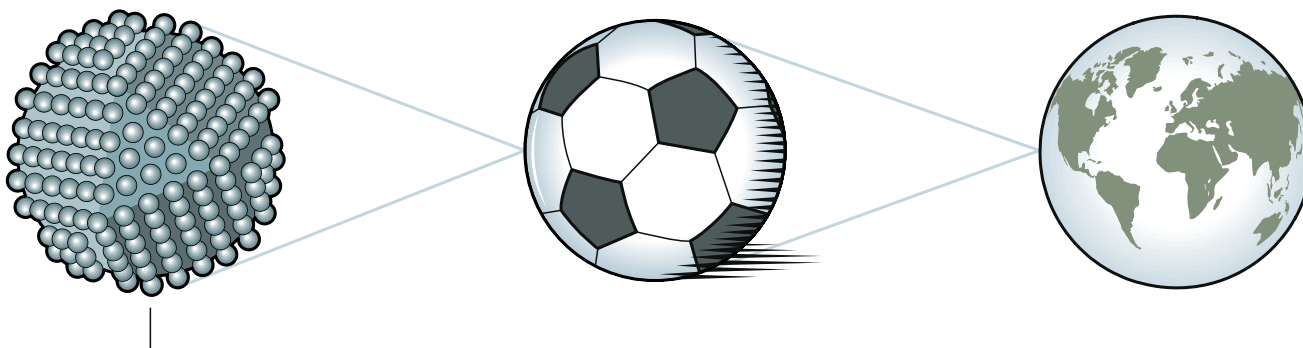
**3** Ko je Bawendi povečal temperaturo topila, so kristali spet začeli rasti. Dlje ko je ogreval topilo, večji so postajali kristali.



odvisne od širine te škatle. Če to dimenzijo večamo, bodo energijski nivoji bližje skupaj in bo tudi razlika med posameznimi energetskimi stanji manjša. Če z neko zunanjo motnjo, kot je foton svetlobe, zbudite ta delec, da preskoči v višje vzbujeno stanje – kar je osnovno za kvantne pojave – bo čez čas, ko bo prestopil nazaj v osnovno stanje, izseval točno določeno barvo svetlobe, ki je določena s to energijsko špranjo. Ta energijska razlika je enaka energiji fotona, ta pa je, kot fiziki vemo, povezana s frekvenco svetlobe po Planckovi formuli in nam tako določa barvo izsevane svetlobe. Če na te energijske razlike lahko vplivamo s širino škatle, dobimo možnost, da spreminjamo barvo izsevane svetlobe. In točno to je ključna lastnost kvantnih pik.«

Z ustvarjanjem različnih velikosti teh delcev so tako dobili možnost, da vplivajo na barve. »Razpon delcev, velikih od enega do deset nanometrov (nanometer je milijardinka metra), vgradimo v raztopino ali steklo in ta material bo svetil v takšnih barvah, kakršne so velikosti delcev. Prosti elektroni v kapljici so omejeni na neko prostorsko skalo, da ne morejo ven. To dosežemo v polprevodnikih – pri Ekimovu je bilo to steklo ali bakrov sulfid, Bawendi pa je to naredil s kadmijevimi selenidi – tako, da proste elektrone obdamo z materialom, katerega energijsko stanje je toliko višje, da elektron nima možnosti preskočiti v okolico in se izgubiti, ampak lahko samo nadzorovano skače oziroma se obnaša pa principu kvantnega velikostnega efekta.«

Postopek, pri katerem kristale obdamo z neko raztopino višje energetske vrednosti in tako ukrotimo proste elektrone v njih, je bil preboj na tem področju in ta tehnologija, ki so jo prevzemali tudi drugi, je omogočila napredek pri razvoju zaslonov z LED-tekočimi kristali. Najboljša tehnologija ta hip so QLED, zasloni, kjer Q pomeni vsebnost vgrajenih kvantnih pik. Za zelo učinkovite so se kvantne pike izkazale tudi pri kontrastnem barvanju raziskovanih tkiv v medicini.



**Kvantna pika je kristal, ki je pogosto sestavljen iz le nekaj tisoč atomov. Tako drobcena je kot nogometna žoga v primerjavi s planetom Zemlja.**

Ker niso strupene, se jih lahko vbrizga v telo in po krvi pridejo tudi v dobro prekrvavljena tumorska tkiva in jih dobro osvetlijo od znotraj, da jih kirurgi zato lažje oziroma lepše izrežejo.

### Naslednji korak: biološki polprevodniki?

Razvoj na tem področju pa obljublja še številne zanimive možnosti uporabe. Izraelsko tehnološko podjetje Store Dot se ukvarja s tehnologijo, ki bi lahko preoblikovala celotno industrijo polprevodnikov in shranjevanja energije. Podjetje s sedežem v Ramat Ganu, zahodno od Tel Aviva, ustvarja namreč biološke polprevodnike, ki lahko med drugim oddajajo vidno svetlobo ali pa se uporabljajo za proizvodnjo zelo zmogljivih ali hitro polnjevih baterij.

Njihovi polprevodniki so narejeni iz naravnih organskih spojin, imenovanih peptidi. To so kratke verige aminokislin, gradnikov beljakovin. Po besedah **Gila Rosenmana**, glavnega znanstvenika podjetja Store Dot in nosilca katedre Henryja in Dinah Krongolda

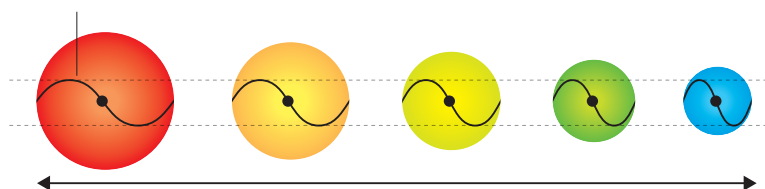
za mikroelektroniko na Univerzi v Tel Avivu, se lahko ti peptidi pod zunanjim kemičnim vplivom sami sestavijo v kvantne pike z izjemnimi lastnostmi.

»Vzamemo te peptide in po določenem kemičnem postopku lahko upravljamo proces samosestavljanja kvantnih pik, ki običajno poteka v naravi. Dovolj je, da povežemo med seboj samo dve molekuli peptidov in že ustvarita zelo majhno strukturo, veliko dva nanometra, ki ima zelo zanimive lastnosti. Nekatere so optične, nekatere so povezane z električnim nabojem, tretje pa so piezoelektrične, kar pomeni, da ustvarjajo električni naboj pod mehansko obremenitvijo. Če vse deluje in imamo veliko dokazov, da bo delovalo, imamo revolucijo v številnih napravah – pomnilnikih, baterijah, zaslonih, slikovnih senzorjih,« je optimističen **Doron Myersdorf**, izvršni direktor Store Dot.

Kvantne pike niso novost, vendar jih običajno izdelujejo iz anorganskih materialov, kot je kadmijev selenid, ki je sicer znan tudi kot nevarna rakotvorna snov. Poleg tega pri teh materialih pogosto prihaja do velikih odstopanj v velikosti proizvedenih pik. Z uporabo naravnega, organskega postopka pa ustvarijo pike, ki so cenejše in okolju manj škodljive za proizvodnjo, rezultati pa imajo visoko stopnjo čistosti in enake velikosti, zagotavljajo Izraelci, ki so svoje izume in postopke že zaščitili kot intelektualno lastnino. ■

## Kvantni učinki nastanejo, ko se delčki skrčijo

ELEKTRONSKI VAL



Večji nanodelec, več prostora za valovanje elektronov

Manjši nanodelec, manj prostora za valovanje elektronov

Ko imajo delci le nekaj nanometrov v premeru, se prostor, na voljo elektronom, skrči. To vpliva na optične lastnosti delca.

Kvantne pike absorbirajo svetlobo in jo nato oddajo v drugi valovni dolžini. Njena barva je odvisna od velikosti delca.

