Mikrofluidika in biomimetika

Umetne migetalke iz našega laboratorija

Živimo v obdobju, ko tehnološki napredek na marsikaterem področju stremi k vedno hitrejšemu in vedno manjšemu. Taka miniaturizacija, ki je pred nekaj desetletji silovito posegla v razvoj elektronike, danes vdira v tehnologijo tekočinskih sistemov, kakršni so v uporabi v kemiji ali medicini, njihova verjetno najbolj razširjena praktična uporaba pa je v brizgalnih tiskalnikih. Področje fizike, ki preučuje pretakanje tekočin v mikroskopskih strukturah, se imenuje mikrofluidika.

Dr. Mojca Vilfan
Odsek za kompleksne snovi,
Institut Jožef Stefan, Ljubljana

Glavna značilnost mikrofluidičnih procesov je izredno majhna količina tekočine – tipično manjša od milijardinke litra – ki se pretaka po kanalčkih, širokih le za desetinko ali stotinko debeline človeškega lasu. S tako majhnimi količinami tekočine lahko na primer bistveno skrajšamo čas poteka kemijske reakcije, povečamo občutljivost meritve ter nenazadnje zmanjšamo obremenitve za okolje. Seveda je potrebno pri zasnovi poskusov in naprav upoštevati fizikalne zakone, po katerih se ravnajo tekočine v mikroskopskem svetu.

Tok tekočine je v majhnih sistemih vedno laminaren, to pomeni brez vrtincev. V makroskopskem svetu opazimo tako obnašanje v tekočinah z veliko viskoznostjo, kakršne so na primer med, čokoladni preliv ali smola. V teh tekočinah pretakanje deluje »umirjeno« v primerjavi z manj viskoznimi kapljevinami, kot sta voda ali alkohol. Če si zdaj skušamo predstavljati, kako bi bilo plavati v čokoladnem prelivu ali z letalom leteti skozi med, hitro uvidimo, zakaj je obnašanje mikrofluidičnih sistemov težko predstavljivo. Izkaže se, da tudi mešanje majhnih količin tekočin in njihovo črpanje v mikrofluidiki zahtevata posebne prijeme.

Posnemanje živih organizmov

Za reševanje teh in podobnih problemov se ponuja več možnih rešitev. Ena izmed njih je posnemanje živih organizmov, za katere vemo, da v mikroskopskem svetu učinkovito delujejo. Tak *biomimetični pristop* izkoristi specifične lastnosti in prednosti bioloških sistemov, hkrati pa omogoča nadzorovano izdelavo in natančno krmiljenje mikrofluidičnih naprav ter zagotavlja ponovljivost poskusov. Čeprav v naravi najdemo veliko primerov, po katerih se lahko zgledujemo, smo se v našem laboratoriju zaenkrat omejili na izdelavo *umetnih migetalk* in *membran*.

Migetalke so podolgovati izrastki na površini celic, ki jih določeni enoceličarji uporabljajo za premikanje v tekočinah. Migetalke najdemo tudi pri višje razvitih živih bitjih, na primer pri človeku, kjer na stenah dihalnih poti pomagajo izločati prašne delce, ki se ujamejo v sluz. Migetalke so navadno dolge okoli 5 do 10 tisočink milimetra in s svojim upogibanjem poganjajo tekočino ob celični površini. Delovati morajo usklajeno, saj bi sicer vsaka črpala tekočino v drugo smer, poleg tega pa njihovo gibanje ni preprosto kroženje, temveč v vsakem zamahu opišejo precej zapleteno pot.

Prvenstvo

V Laboratoriju za eksperimentalno fiziko mehke snovi (FMF) smo v sodelovanju z Odsekom za kompleksne snovi in Odsekom za fiziko trdne snovi Instituta Jožef Stefan prvi ustvarili množico umetnih migetalk, ki so posnemale gibanje pravih migetalk, delovale usklajeno in črpale tekočino v izbrani smeri. Migetalke smo sestavili kot dolge verige drobnih kroglic, pri čemer je bil en konec verige pritrjen na podlago, magnetne lastnosti kroglic pa so omogočale sestavljanje in krmiljenje z magnetnim poljem. Ker so bile kroglice velike zgolj nekaj tisočink milimetra in jih zato s prostim očesom nismo videli, smo celoten eksperiment izvedli pod mikroskopom. Za nizanje kroglic v verige smo uporabili dva pristopa: v prvem smo kroglice posamično »nabirali« in zlagali v verigo, v drugem pa smo poskrbeli, da so se kroglice v verige uredile same.

Raziskovalci v Laboratoriju za eksperimentalno fiziko mehke snovi na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani (FMF) so v sodelovanju z Inštitutom Jožef Stefan nedavno dosegli velik uspeh na področju izdelave in raziskav umetnih migetalk ter umetnih membran. O aktualnosti raziskav in pomembnosti objav v *Proceedings of the National Academy of Sciences* in v *Physical Review Letters* priča podatek, da so bili rezultati dela izpostavljeni in podrobno predstavljeni med novostmi s področja znanosti v revijah *Nature* in *Nature Physics*.

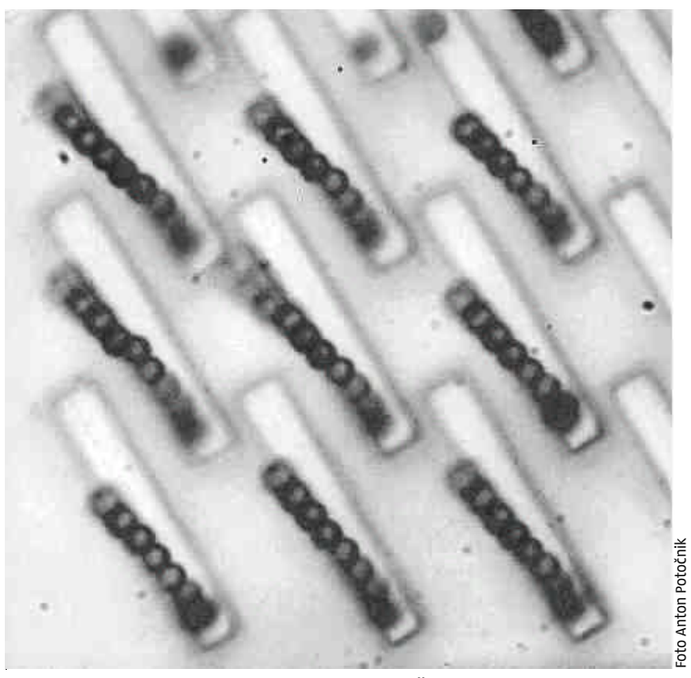


Foto Anton Potočnik

Slika umetno ustvarjenih migetalk pod optičnim mikroskopom – Z zunanjim magnetnim poljem kroglice sestavijo in jih krmilijo, tako da črpajo tekočino podobno kot naravne migetalke. Posamezne kroglice so velike 4,4 mikrometre.

Pri posamičnem zlaganju kroglic smo uporabili *lasersko pinceto*. Ta naprava uporablja močno fokusiran snop laserske svetlobe, v katerega se zaradi razlike v lomnih količnikih kroglic in vode kroglica ujame. S premikanjem lege laserskega snopa kroglice premikamo po vzorcu in jih »na roko« nanizamo v verige, kot bi to delali z zelo natančno pinceto. Delo je zamudno, a zagotavlja, da so verige lepo zložene in enako dolge. To je pripravno za laboratorijske poskuse, a neprimerno za praktično uporabo. Zato smo preizkusili še pristop, pri katerem smo pustili kroglice, da so se pod vplivom sile teže same posedle v vnaprej pripravljene kanalčke ustrezne velikosti. Kanalčke smo pripravili s *fotolitografskim postopkom*, ki smo ga razvili v našem laboratoriju in ki omogoča, da oblikujemo želeno strukturo v svetlobno občutljivem materialu. Za naš poskus smo pripravili večje število vdolbin na površini vzorca in tako na preprost način ustvarili množico dolgih verig. Za krmiljenje gibanja migetalk smo uporabili spreminjajoče zunanje magnetno polje. V ta namen smo optično pinceto nadgradili v *magneto-optično pinceto*: okoli vzorca smo namestili tri pare računalniško krmiljenih tuljav, s katerimi smo lahko poljubno spreminjali smer in velikost magnetnega polja. Spreminjajoče polje je določalo trajektorijo gibanja posamezne migetalke, ker pa so bile vse migetalke v enakem magnetnem polju, so se gibale usklajeno in tako črpale tekočino v izbrani smeri.

Posnemajo tudi obnašanje atomov ali molekul

Mikrometrske magnetne kroglice so primerne tudi za izdelavo drugih biomimetičnih sistemov, saj v primernem zunanjem magnetnem polju posnemajo obnašanje atomov ali molekul. Tako smo v sodelovanju z Univerzo v Cambridgeu (Velika Britanija) zasnovali poskus, pri katerem so se kroglice spontano uredile v membrane, ki so v številnih pogledih podobne celičnim membranam. S skrbno izbranim načinom vrtenja magnetnega polja smo dosegli, da je med parom kroglic delovala privlačna sila, podobna van der Waalsovi interakciji med molekulami. Čeprav se običajno delci, med katerimi deluje privlačna sila, združijo v neurejene skupke, so se kroglice v našem primeru spontano uredile v plasti. Te plasti smo lahko dodatno oblikovali v cevke in druge votle oblike. Membrane imajo tudi sposobnost, da se same zacelijo: tako se ob prehodu velike kroglice skozi membrano le-ta ponovno zapre.

Umetne membrane predstavljajo izreden napredek na področju vede o materialih, saj temelji na metodi samourejanja, ki omogoča ustvarjanje velikih struktur brez posebnega vloženega truda. Kroglice – ali molekule – se pod pazljivo izbranimi zunanjimi pogoji same uredijo v želeno obliko, ki je stabilna in neobčutljiva na zunanje motnje. Ta lastnost je posebno pomembna pri izdelavi novih funkcionalnih materialov.

Pri obeh opisanih poskusih smo uporabili biomimetični pristop, zato so rezultati zanimivi z dveh plati. Po eni strani so biomimetične migetalke in membrane uporabne pri eksperimentih, katerih končni cilj je izdelava praktičnih mikrofluidičnih naprav, po drugi strani pa zaradi popolnega nadzora služijo kot dober model za preučevanje naravnih sistemov.

Plod domačega znanja

Opisana dosežka predstavljata le del raziskav, ki potekajo v Laboratoriju za eksperimentalno fiziko mehke snovi. Magneto-optična pinceta in fotolitografski sistem za mikrostrukturiranje sta plod domačega znanja in edinstvena na svetu ter omogočata celo vrsto eksperimentov s področja fizike mehke snovi. Izdelava laserske pincete je vodila do ustanovitve *spin-off* podjetja Aresis d.o.o., čigar kupci so izjemno ugledne raziskovalne ustanove po Evropi, izdelava fotolitografskega sistema pa do tesnega sodelovanja s podjetjem LPKF Laser & Elektronika d.o.o. Poleg zgoraj opisanih eksperimentov, ki sta v mednarodni raziskovalni skupnosti naletela na največji odmev, se ukvarjamo še s študijem celičnih sistemov, biomolekul in tekočekristalnih interakcij.

Projekt BIOCRYPT – rezultat novih temeljnih in aplikativnih raziskav

Hitro odkrivanje prikritih virusov in strupov

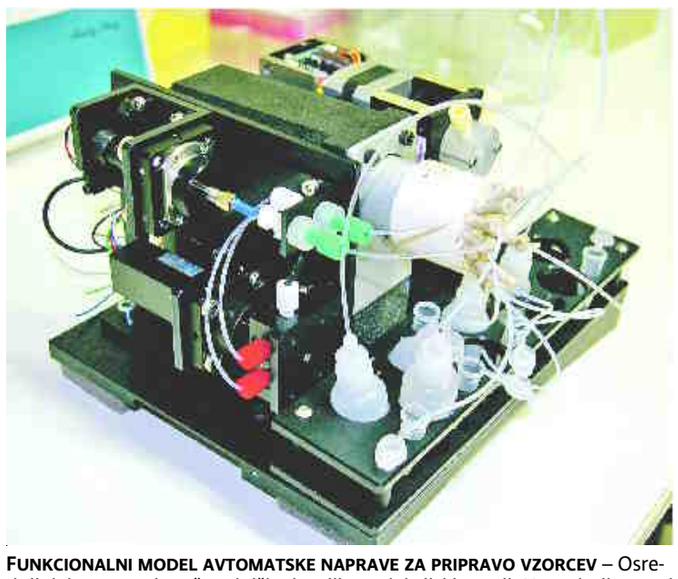
V ljubljanskem Inštitutu za fizikalno biologijo d.o.o. (IFB) so s pomočjo visoko usposobljenega tima in različnih zunanjih sodelavcev, partnerjev ter razvojne subvencije Javne agencije za tehnološki razvoj RS (TIA) in ministrstva za obrambo (MORS) v okviru projekta BIOCRYPT razvili spekter hitrih metod in miniaturiziranih naprav za odkrivanje prikritih patogenih mikroorganizmov, virusov in toksinov. Z uspešnim združevanjem temeljnih in aplikativnih raziskav se tako nameravajo z novimi izdelki in storitvami uveljaviti na zahtevnem področju bioznanosti.

Dragica Bošnjak

Kot so pojasnili **dr. Aleš Lapanje**, vodja raziskovalne skupine IFB d.o.o, direktor firme **dr. Alexis Zrimec**, in **dr. Igor Milek** z agencije TIA, je projekt združil kar 11 partnerjev; poleg IFB še pet podjetij in sicer Optotek, Harpha sea, Ames, Omega in Alianta ter prav tako pet fakultet Univerze v Ljubljani – Veterinarsko fakulteto, Fakulteto za matematiko in fiziko, Fakulteto za strojništvo, Biotehniško in Medicinsko fakulteto. Trajal je dve leti in pol – zaključili so ga konec minulega leta. Izvedbo projekta so pri agenciji TIA in MORS podprli z naložbo v višini 770.300 evrov, obratna sredstva pa je zagotovila Nova Ljubljanska banka. Zdaj teče tako imenovana poprojektna faza, ki je potrebna za razvoj izdelkov na višji tehnološki ravni, patentiranje novih tehnologij in njihovo komercializacijo.

Učinkovito in hitro zaznavanje patogenih mikroorganizmov in virusov je ključni pogoj za zajezitev širjenja epidemij. Po uveljavljeni praksi je to, se pravi prizadevanje za odkrivanje povzročiteljev in omejevanje širjenja okužb, večinoma vezano na dokazovanje klic potem, ko se te že namnožijo v gostitelju in ogrožajo njegovo zdravje. Preden pride do okužbe živali ali človeka pa ostajajo mikroorganizmi in virusi zaradi majhnega števila kužnih klic v kompleksnem okolju praviloma prikriti in jih s klasičnimi bioanalitskimi metodami težje odkrijejo. Poleg tega je treba vedeti, da patogeni organizmi neredko ubirajo nepričakovane poti, se prilagajajo in spreminjajo glede na spremenjene okoliščine v okolju in mnogi od njih so tudi zelo trdoživi.

Po besedah strokovnjakov je zlasti zahtevno odkrivanje klic, ki se širijo po zraku. Taki so denimo povzročitelj vraničnega prisada *Bacillus anthracis* in *Coxiella burnetii*, povzročitelj mrzlice Q. V okolju, kjer lahko preživita dlje časa, sta prikrita, saj primanjkuje učinkovitih metod za vzorčenje in identifikacijo. Kot je znano, sta se v novejšem času pojavila in razširila tudi nova seva visoko patogene influence, bolj znane kot ptičja in prašičja oziroma nova gripa, kjer prav zaznavanje v okolju, ne šele pri obolelih, predstavlja poseben strokovni izziv.



Funkcionalni model avtomatske naprave za pripravo vzorcev – Osrednji del naprave je računalniško krmiljen selekcijski ventil. Uporabnik vstavi vzorec, ki ga naprava s postopnim dodajanjem različnih reagentov samodejno pripravi za nadaljnje analize.

Zahtevna priprava vzorcev

Za vse omenjene klice, poleg njih pa še za salmonele, virus prašičje kuge in za povzročitelja botulizma, so strokovni sodelavci IFB razvili v sodelovanju s partnerji nove metode za njihovo zaznavanje še pred okužbo. Najzahtevnejši in najpomembnejši stopnji pri zaznavanju patogenih mikroorganizmov in virusov sta bili – zaradi njihove kompleksnosti – vzorčenje in priprava vzorcev. Za to so morali razviti, optimizirani in avtomatizirani novi načini vzorčenja in metode ekstrakcije nukleinskih kislin iz vzorcev ter čiščenje in koncentriranje izlužkov. Nadaljnje dokazovanje temelji na verižni reakciji s polimerazo v realnem času. Za zaznavanje botulin toksina so tako razvili kemijsko analizno metodo, za zaznavanje cianobakterijskih toksinov pa biosenzor, ki je nanešen na biočip.

Posebno nevarni so patogeni mikroorganizmi, ki se gensko razlikujejo od svojih naravnih sorodnikov. Do razlik pride lahko zaradi naključnih mutacij, prenosa genov med vrstami, lahko pa je vzrok v namerni genski modifikaciji prej nenevarnega mikroba. Tudi patogene mikroorganizme, ki so v naravi običajni, je mogoče modificirati tako, da postanejo bolj virulentni, bolj odporni proti zdravilom ali da se lažje širijo v okolju prek zraka, vode ali hrane. Lahko so jim dodane snovi, ki motijo oziroma onemogočijo njihovo zaznavo. Znano je, da so v preteklosti tako razvijali biološko orožje z modifikacijo povzročitelja črnih koz – kjer so povišali virulentnost in odpornost na zdravila. Eden najbolj nevarnih gensko spremenjenih patogenih mikroorganizmov nosi tako gene črnih koz kot ebole, kar predstavlja izjemno visoko tveganje in nepredstavljivo hude posledice take okužbe.

Pomembno je torej ne samo odkriti prisotnost patogenega mikroorganizma oziroma virusa, temveč tudi ugotoviti njegov izvor – ali gre za naravno ali umetno mutacijo. To je bil zahteven strokovni izziv za to skupino, ki je morala razviti dobre tehnične rešitve za to, kako na ta vprašanja zanesljivo odgovoriti s pomočjo moderne molekularne biologije. Zahtevne naloge so se lotili s projektom BIOCRYPT oziroma z razvojem metode fuzijske *in situ* PCR, to je hkrati zaznavanje vrste mikroorganizma in morebitnega vnosa tujih genov. Slednje predstavlja v veliki meri rdečo nit projekta BIOCRYPT, ki z razvitimi metodami in napravami omogoča hitro zaznavo omenjenih organizmov v kompleksnem okolju, ki ga predstavljajo: vzorčevalniki zraka in vode, naprave za pripravo vzorcev, prenosni biosenzorji, fluorometer na optičnem vlaknu, mini qPCR, to je prenosna naprava za specifično zaznavanje izredno majhne količine DNK v vzorcu, čitalec biočipov, naprava za hitro profiliranje DNK, poleg tega pa še prenosni merilec radioaktivnosti nove generacije.

Nova znanja in patentne prijave

Omeniti velja, da so raziskave odprle mnoga nova področja aplikativnih in temeljnih znanosti, kjer IFB kandidira za nadalnji razvoj, tako da se prijavlja na različne evropske razpise, med drugim tudi Evropske obrambne agencije. O rezultatih projekta bo skupina po prijavi patentov poročala po ustaljeni praksi v mednarodnih in domačih znanstvenih revijah. Večina izdelkov iz projekta BIOCRYPT je v tem času v fazi nadaljnjega razvoja in vlaganja patentnih prijav – IFB jih bo vložil kar šest. Z omenjenimi novimi razvojnimi dosežki so pri IFB že pridobili posle v živilski, kovinski in kemični industriji, pričakujejo pa tudi prodor na mednarodne trge.

Kot primer zanimivega konkretnega sodelovanja omenimo, da so v podjetju IFB sklenili strateški dogovor s firmo Tehtnica Železniki in sicer za mehanski dezintegrator celic, ki je bil predstavljen na sejmih laboratorijske opreme v Sloveniji in Nemčiji. V IFB pa potekajo priprave za začetek proizvodnje prvega laboratorijskega kompleta za hitro izolacijo nukleinskih kislin. Uspešno je bilo tudi sodelovanje na oktobrskem sejmu bioznanosti v Londonu (BioPartnering Europe), kjer so predstavniki IFB navezali stike z velikimi farmacevtskimi in biotehnološkimi podjetji.

BIOCRYPT – ključne projektne značilnosti

Po besedah strokovnjakov je bil prvi cilj projekta BIOCRYPT dvig tehnološke razvitosti in konkurenčnosti sodelujočih podjetij ter raziskovalnih skupin. Na področju modernih metod biotehnologije je namreč možen uspešen nastop na tujih trgih samo ob enotnem interdisciplinarnem povezovanju znanja, pri čemer vsebina razvoja ne sme biti trivialno sledenje tujim trendom, temveč njihovo preseganje ali celo ustvarjanje. Razvoj klasičnih metod zaznave tako imenovanih bioagensov v veliki meri že obvladujejo velike multinacionalke in možnosti za uspeh z rutinskimi biotehnološkimi izdelki na njihovih trgih so za slovenske biotehnološke firme majhne. Realnejše možnosti je torej treba iskati v razvoju in trženju izdelkov z visoko vsebnostjo temeljnega in inženirskega znanja, kar izdelki iz projekta BIOCRYPT brez dvoma dokazujejo.

Na Inštitutu za fizikalno biologijo (IFB) so se leta 2006 ob preoblikovanju iz zavoda v gospodarsko družbo odločili, da kot zasebni laboratorij povežejo biologe, mikrobiologe, biokemike, fizike, elektrotehnike, ekonomiste in poslovneže ter ustvarijo okolje, ki bo omogočalo v sodelovanju s partnerji doseganje vrhunskih rezultatov tako v znanosti kot pri prenosu odkritij v prakso. Danes zaposlujejo že 15 raziskovalcev, od tega 7 doktorjev znanosti. S konvergenco molekularne biologije, mikrobiologije, biotehnologije, biofotonike in nanotehnologije razvijajo metode za študij dinamike in delovanja kompleksnih mikrobnih združb na področjih biomedicine (okužbe, prenos odpornosti na antibiotike), sanitarne mikrobiologije (študij bioaerosolov, površin, hrane in vode), varnosti (zaznavanje prikritih in novih patogenih mikroorganizmov in virusov), industrije (preprečevanje korozije, obraščanja, nadzor kakovosti, biosinteza) in okolja (bioindikatorji onesnaženja, bioremediacija).

Znanost po svetu

V laboratoriju ustvarili najvišjo temperaturo

Temperatura, ki so jo dosegli v trkalniku RHIC (*Relativistic Heavy Ion Collider*) ameriškega državnega laboratorija Brookhaven na Long Islandu, je dosegla štiri bilijone stopinj Celzija in je najvišja temperatura, ustvarjena na Zemlji. »Pri tej temperaturi se stopijo tudi protoni in nevtroni v atomskih jedrih,« je ob tem izjavil **Steven Vigdor**, vodja poskusa. Ta izjemni dogodek v skoraj štiri kilometre dolgem podzemnem predoru RHIC, ki je nastal s trki ionov zlata pri skoraj svetlobni hitrosti, je trajal le milijardinko sekunde, temperaturo te nepredstavljivo vroče plazme pa so izmerili z barvo elektromagnetnih valov, ki so nastali pri tem, so sporočili iz laboratorija Brookhaven. Članek s podrobnostmi tega poskusa bo objavljen v reviji *Physical Review Letters*. Poskus je potekal v okviru raziskave, s katero skušajo ugotoviti, kaj naj bi se dogajalo ob velikem poku, ko je pred 13,7 milijarde let nastalo vesolje. S trki težkih ionov je namreč mogoče preučevati gosto hadronsko snov v ekstremnih razmerah, ko pride pri velikih energijah do razpada atomskih jeder in se protoni in nevtroni odcepijo od atoma. Teoriji močne interakcije napoveduje ločevanje kvarkov, tako da bi pri tako visokih temperaturah dobili plazmo iz kvarkov in gluonov. Kmalu po velikem poku naj bi bila tovrstna plazma prevladujoče agregatno stanje v vesolju. Znanstveniki domnevajo, da bi lahko v njej odkrili neznane delce in njihove antidelce. Podoben poskus bodo opravili tudi v velikem hadronskem trkalniku (LHC) v Cernu, kjer bodo pri skoraj svetlobni hitrosti trkali svinčevi ioni.

Izmerili atomsko maso nobelija

Foto GSI

Poleg 92 kemijskih elementov, ki jih lahko najdemo v naravi, so znanstveniki v laboratorijih ustvarili še 20 dodatnih, med njimi kar 6 v Helmholtzovem centru za težko-ionske raziskave v Darmstadtu. Skupna lastnost teh novoodkritih elementov je, da zelo hitro razpadejo, zato je tudi težko natančno izmeriti njihovo atomsko maso. Nemški znanstveniki domnevajo, da obstajajo še težji elementi, katerih obstoj je dolgotrajen. Zato so razvili posebno merilno napravo, ki so jo poimenovali *Shiptrap*, s katero lahko merijo atomske mase težkih elementov.

Relativna atomska masa je enaka vsoti števila protonov in nevtronov v jedru in je definirana kot uteženo povprečje relativnih atomskih mas vseh njegovih izotopov. Skupina znanstvenikov, ki jo je vodil **Michael Block** (na fotografiji pred napravo), je tako prvič natančno izmerila atomsko maso elementa 102, s katerim označujemo nobelij (No). Odkrili so ga leta 1957 na Nobelovem inštitutu za fiziko v Stockholmu ob obstreljevanju kurijevih izotopov. Je radioaktivni transuranski element, ki ima v jedru 102 protona in sodi med »težke« elemente (uran jih ima na primer 92). Možnost napake pri merjenju atomske mase in vezne energije elektronov v atomih je komaj 0,000005-odstotna. Prvič so atomsko maso in vezno energijo neposredno izmerili v atomih treh transuranskih elementov. Gre za tri izotope nobelija (252-253-254), članek o tem pa so objavili v reviji *Nature*. »Natančno izmerjena atomska masa nobelija pomeni le prvi korak. V prihodnje bomo napravo izpopolnili, tako da bomo lahko merili vedno težje elemente,« je ob tem povedal prvopodpisani pod članek Michael Block.

So za jecljanje krivi geni?

Jecljanje, ki po statističnih podatkih prizadene kakih pet odstotkov otrok in približno odstotek odraslih ljudi, je hiba, o kateri obstaja nekaj bolj ali manj uveljavljenih teorij. Skupina znanstvenikov z ameriškega inštituta za gluhe in druge motnje v komuniciranju (NIDCD) pod vodstvom **Jamesa Batteyja** pa je v svoji raziskavi odkrila, da bi bili za jecljanje lahko krivi – geni. Ker so pakistanski znanstveniki že pred tem odkrili, da imajo ljudje, ki jecljajo, spremenjen gen GNPTAB, je tokratna raziskava nadaljevala njihovo delo in ga še razširila. Lotili so se primerjave tega gena pri 123 Pakistancih, ki so imeli težave z jecljanjem, in pri 96 ljudeh brez teh težav. K temu so dodali še 550 ljudi iz ZDA in Britanije, od katerih je približno polovica jecljala.

Nova raziskava je potrdila to, kar so pred tem odkrili že pakistanski znanstveniki, pri čemer so ugotovili, da imajo prizadeti ljudje mutacije tudi na dveh drugih genih (GNPTG in NAGPA). »Vzroki jecljanja so bili kar nekaj desetletij zaviti v plašč skrivnosti, ki ga znanstveniki niso znali odgrniti. Naša raziskava je prva, ki ugotavlja, da bi bile lahko za to hibo krive prav mutacije na določenih genih. Potrebne bodo še nadaljnje raziskave, potem pa bi se lahko odpravljanje jecljanja temeljito spremenilo,« je povedal James Battey. Članek o raziskavi je objavila revija *New England Journal of Medicine*.

Tečejo manj, a bolj preudarno

Fotodokumentacija Dela

O usodnih odločitvah nogometnih sodnikov, ki so bile lahko pravilne ali pa zmotne, je bilo že ogromno napisanega. Skupino, sestavljeno iz mednarodnih strokovnjakov, pa je v raziskavi, ki jo je objavila revija *Journal of Science and Medicine in Sport*, zanimalo nekaj drugega: kako se različno stari nogometni sodniki gibajo po igrišču. V raziskavi, ki je zajela 22 poklicnih delilcev pravice na 778 tekmah angleške Premier lige v štirih igralnih sezonah (2003–2007), so sodnike razdelili na tri starostne skupine: mladi (od 31 do 36 let), srednji (od 37 do 42) in starejši sodniki (od 43 do 48 let); medtem ko lahko britanski nogometni sodniki svoje delo opravljajo do 48 leta, se morajo njihovi italijanski in španski kolegi upokojiti že tri leta prej. Gibanje sodnikov po igrišču so spremljali s kamerami in potem merili, kako daleč je bil sodnik v trenutku, ko je prišlo do prekrška ipd. V obsežni študiji so ugotovili, da so starejši sodniki sicer pretekli manj od mlajših kolegov, vendar so bili kljub temu v povprečju enako oddaljeni od dogodka na tekmi. Skratka, večinoma so bili na pravem mestu. »Izkazalo se je, da znajo starejši nogometni sodniki bolje predvideti dogajanje na tekmi. Če v povprečju pretečejo manj od mlajših kolegov, to še nič ne pomeni. Izkazalo se je, da so kljub temu vselej na tistem delu igrišča, od koder imajo najboljši pregled nad dogajanjem,« je ob tem dejal vodja raziskave **Matt Weston**. Tokratna je bila namenjena predvsem merjenju fizičnih sposobnosti nogometnih sodnikov, v naslednji pa se bodo lotili bolj vsebinske obravnave presoj, saj bodo skušali ugotoviti, ali starejši sodniki naredijo manj napak.