

Nākotnes enerģētika ir saistīta ar kodolsintēzes reaktoru attīstību

“Radiācijas ietekme uz materiāliem dažreiz ir noslēpumaina un neparedzama. Apstarotais materiāls uzvedas kā kaprīza meitene: es gribu – es negribu. Tas arī liecina par ļoti sarežģītu un grūti prognozējamu pašorganizēšanās fenomenu”, saka Latvijas Universitātes Cietvielu fizikas institūta Pašorganizēto sistēmu kinētikas laboratorijas vadošais pētnieks Anatolijs Popovs. Uz sarunu par LZA rīkotajā konkursā “Nozīmīgākie sasniegumi zinātnē 2020. gadā” pieteikto zinātnisko darbu, kam tika piešķirts gada nozīmīgākā sasnieguma zinātnē nosaukums, Ilona Gehtmane–Hofmane aicināja pētnieku grupas vadītāju **Anatoliju Popovu** un pētnieku **Aleksandru Platonenko**.

Kāpēc ir svarīgi radīt jaunus, pret radiāciju izturīgus materiālus? Un kādi bija pētījuma uzdevumi?

Anatolijs Popovs: Tas, ko mēs darām, pieder fizikas nozarei, kas pēta cieto vielu uzvedību apstarošanas laikā. To sauc par radiācijas cietvielu fiziku. Gandrīz visi materiāli, no kuriem tiek izgatavoti dažādi kodoliekārtu strukturālie elementi, to darbības laikā tiek pakļauti starojumam. Tā kā kodolreaktoru un projektēto kodolsintēzes reaktoru darbības ilgumam jābūt ne mazāk kā 10 gadiem (pretējā gadījumā tie būs ekonomiski neizdevīgi), ir skaidrs, ka arī iekšējam uzpildījumam, visiem instrumentiem, visiem detektoriem, visām vadības iekārtām, visiem konstrukciju materiāliem vajadzētu strādāt paredzami un bez pārtraukumiem. Radiācija no funkcionējoša reaktora ietekmē visus materiālus un maina to struktūru, līdz ar to arī to izturību, elektriskās un citas īpašības. Tāpēc ir ļoti svarīgi veikt pareizo izvēli vai radīt jaunus, izturīgus pret radiāciju materiālus, it īpaši saistībā ar to, ka cilvēce izstrādā jaunus enerģijas avotus.

Ko jūs domājat, runājot par jauniem enerģijas avotiem?

Šeit jāsaprot, ka tradicionālās enerģijas ražošanas metodes (hidroelektrostacijas, termoelektrostacijas) ir sevi izsmēlušas, saules un vēja enerģijai ir savi ierobežojumi, un esošās atomelektrostacijas darbojas uz kodolu dalīšanas reakcijas pamata un rada daudz radioaktīvu atkritumu. To iznīcināšana un uzglabāšana ir saistīta ar milzīgām grūtībām un vides apdraudējumu. Kodolsintēzes reaktoram ir pilnīgi atšķirīgs darbības princips; faktiski tā ir maza Saule, kurā ūdeņraža izotopi saplūst un pārvēršas par hēliju. Reaktorā mēs ielādējam ūdeņraža izotopus, no kuriem viens ir nedaudz radioaktīvs. Bet tas nestāv blakus urānam un citiem tā sabrukšanas produktiem. Lielākās grūtības ir radīt visus nepieciešamos apstākļus: spiedienu, temperatūru, aizdedzināt un pēc tam noturēt plazmu. Rezultātā mēs vienkārši “sadedzinām” ūdeņradi, izejviela ir hēlijs un daudz enerģijas. Ja šī sistēma sabojājas, tā vienkārši apstāsies un nekas nenotiks. Tādas katastrofas kā Černobiļa un Fukušima nevar notikt ar šāda veida reaktoriem tikai pēc definīcijas. Darba procesā neveidojas atkritumi.

Iekārtās ar šādu shēmu šodien jau ir bijis iespējams panākt nelielu energoefektivitāti, tas ir, ar tās palīdzību atbrīvojot vairāk enerģijas, nekā tika iztērēts plazmas sildīšanai, tomēr, lai enerģijas raža būtu ievērojama, nepieciešams uzbūvēt patiesi lielu reaktoru. Tas ir tieši tas, kas šodien tiek radīts Eiropā: Starptautiskais eksperimentālais kodolreaktors ITER, kas atrodas Francijas dienvidos, solās būt 30 m augsts un svērs 23 tūkstošus tonnu. To plānots uzbūvēt līdz 2025. gadam, un, pēc ekspertu domām, rūpniecības līmeni tas sasniegs tikai ap 2060. gadu. Pie tās izveidošanas strādā Eiropas Savienības valstis, Krievija, ASV, Japāna, Indija, Dienvidkoreja un Ķīna. 2020. gada augusta vidū sākās reaktora montāžas fāze. Projektējot reaktoru, liela uzmanība tika pievērsta radiācijas drošībai gan normālas darbības laikā, gan iespējamo negadījumu laikā. Kad vien iespējams, reaktora

konstrukcijā tiks izmantoti materiāli, kas jau ir pārbaudīti kodolenerģētikā. Tādēļ ierosinātā radioaktivitāte būs salīdzinoši maza.

Kādi bija jūsu pētījuma uzdevumi? Pastāstiet, lūdzu, arī nedaudz par pašorganizēšanās fenomenu!

Attiecībā uz mūsu pētījuma uzdevumiem, tos pat ir grūti pārskatīt – tā ir arī izejmateriālu fizikāli ķīmisko īpašību pētīšana, tā ir arī to radiācijas īpašību izpēte, tas ir arī paralēls pētījums to ražošanas tehnoloģiju jomā lielos apjomos un nostrādāto konstrukciju un materiālu izpēte.

Radiācijas ietekme uz materiāliem dažreiz ir noslēpumaina un neparedzama. Spilgts piemērs: gan metālos, gan izolatoros ilgstošas apstarošanas laikā parādās burbuļi (tukšumi), kas ir materiāla iekšēja sabrukuma pazīme. Dažreiz šie burbuļi paši ierindojas regulārās rindās, veidojot tā saukto virsrežģi. Šo fenomenu sauc par pašorganizēšanos. Ja apstarošana tiek noņemta, virsrežģis sabrūk, to uztur tikai nepārtraukti apstarojot. Bet, ja jūs turpināsiet apstarošanu, virsrežģis arī sabruks, jo burbuļi tiks uzpūsti un saplaks. Tas izskatās savādi, bet vēl savādāk ir tas, ka, ja eksperimentu atkārti tādos pašos apstākļos, virsrežģis var neparādīties vispār. Apstarotais materiāls uzvedas kā kaprīza meitene: es gribu – es negribu. Tas arī liecina par ļoti sarežģītu un grūti prognozējamu pašorganizēšanās fenomenu. Pašorganizēšanās parādība ir starpdisciplināra, tā ir universāla un sastopama dažādās fizikas, ķīmijas u.c. problēmās. Tāpēc laboratorijā strādājošie ir universāli speciālisti. Šādi speciālisti ir ļoti pieprasīti un zina, kā strādāt produktīvi. Nav nejaušība, ka mūsu mazā laboratorija par pagājušo 2020. gadu institūtam nodrošināja 61 zinātnisko publikāciju citējamās žurnālos.

Kāpēc par jūsu projekta partneri izvēlējāties grupu no Tartu?

Vēl padomju laikos Tartu tika dibināta lielākā radiācijas fizikas zinātniskā skola ne tikai PSRS, bet arī visā pasaulē. Akadēmiķis Česlavs Luščiks tur nodibināja dielektrisko kristālu fizikas skolu un ietekmēja pētniecības attīstību šajā jomā Latvijā, Kazahstānā, Krievijā un Kirgizstānā. Pagājušā gadsimta 60. gadu sākumā ar šīs skolas dibinātāju profesoru Česlavu Luščiku sāka strādāt Kurts Švarcs, kurš pēc tam turpināja darbu Latvijā, Salaspils reaktorā, un pēc tam kļuva par Latvijas Zinātņu akadēmijas īsteno locekli. Kopš tā laika sākās auglīga sadarbība starp mūsu valstīm. Starp citu, arī Česlava Luščika dēls Aleksandrs ir profesors, Latvijas Zinātņu akadēmijas ārzemju loceklis un mūsu galvenais līdzgaitnieks.

Vai visi eksperimenti tika veikti Tartu?

Protams, nē, daži eksperimenti tika veikti mūsu institūtā sadarbībā ar spektroskopijas laboratoriju, kas projekta CAMART2 ietvaros iegādājās daudz modernu pētījumu aprīkojumu. Bet daļa eksperimentu tika veikta Eiropas liela mēroga pētniecības centrā, sinhrotrona paātrinātājā MAX IV Lundā, Zviedrijā. Tā palaišana notika pavisam nesen, 2015. gada augustā. Pirmie elektronu stari tika paātrināti 528 m garā sinhrotrona gredzenā līdz 3 GeV enerģijai. Sinhrotronā elektronu kūļi gandrīz gaismas ātrumā cirkulē gredzenveida vakuuma caurulē. Spēcīgi “lieces” magnēti virza elektronus pa apli, savukārt “fokusējošie” magnēti saspiež elektronu staru, pārvarot to savstarpējās atgrūšanas spēku. Visbeidzot, elektroni iziet cauri īpašiem magnētiem, kas tos “izstumj” malā. Kā rezultātā rodas rentgenstaru impulsi, kas pazīstami kā sinhrotrona starojums. Šādu centru ir grūti izveidot un uzturēt mazām valstīm. Tāpēc tur ir uzbūvēta Somijas un Igaunijas pētniecības iekārta, lai pētītu dažādu materiālu īpašības vakuuma ultravioletā starojuma jomā. Nesen, 2020. gada oktobrī, mēs veicām dažādu kristālisko materiālu analīzi, kuru radiācijas pretestība un īpašības ir svarīgas un interesantas mūsu projektam EUROfusion konsorcijs ietvaros.

Lundā tiek būvēts European Spallation Source (ESS), kas būs Eiropas jaudīgākais neitronu avots. ESS mērķis ir izmantot neitronus, lai smalki izpētītu vielas īpašības. Aukstie un ultraaukstie neitroni ir fantastiski spēcīgi zondēšanas rīki – bez lādiņa tie viegli iekļūst paraugā, un sarežģītas noteikšanas un informācijas apstrādes metodes ļauj izpētīt daudzas statiskas un dinamiskas parādības atomu līmenī. Fiziķi par spallēšanu (spallation) sauc procesu, kad enerģētiskā daļiņa no mērķa atoma “sašķeļ” nedaudz protonu un neitronu. Šādas šķelšanās vai sadalīšanas rezultāts ir spēcīga neitronu plūsma (protoni bremzē mērķa materiālā). Šī metode ļauj iegūt neitronu spilgtumu desmitiem reižu lielāku nekā visspēcīgākajos reaktoros, kā arī dažus trikus, piemēram, plūsmas jaudas profilēšanu laikā, kas fiziķiem dažreiz ir nepieciešami. Kā jūs varat iedomāties, visiem iepriekšminētajiem pētījumu centriem, tehnoloģijām un zinātniskajām pieejām nepieciešami materiāli, kas spēj darboties ekstremālos apstākļos. Tagad ir pienācis laiks runāt par mūsu projekta būtību un galvenajām idejām.

Kādi materiāli ir jūsu interešu laukā?

Visi materiāli, kas lietošanas laikā tiek pakļauti radiācijai, ir mūsu interešu lauks. Un šādu sfēru ir vairāk, nekā varētu šķist no pirmā acu uzmetiena. Tas ietver kodolmedicīnu, augstas enerģijas fiziku, materiālus kosmosam un, protams, kodolenerģiju. Visur mums jāzina šo materiālu īpašības, kā tie mainīsies to pielietošanas laikā.

Vai tas nozīmē, ka varēsiet paredzēt kādu no šīm īpašībām, izmantojot esošos eksperimentālos datus, un teorētiskās idejas par starojuma un vielas mijiedarbības procesiem?

Tas, ko mēs darām, ļauj izprast un paredzēt jebkuras cietās vielas īpašības, kas šobrīd ir starojuma pakļautībā vai iepriekš bijusi zem starojuma. Mēs domājam, ka mēs to darām labi. Mēs esam vienīgā grupa no Austrumeiropas, kas izturējusi visus EUROfusion projektu konkursa atlases posmus. Mums ir izdevies apsteigt pat to valstu grupas, kurām ir savi aktīvi kodolreaktori.

Bet šī ir tikai viena daļa no mūsu darba. Kā jau minēju iepriekš, mūsu darba tēma neaprobežojas tikai ar kodolreaktoriem. Izmantojot mūsu pieredzi un zināšanas, mēs izvirzījām līdzīgus uzdevumus, lai prognozētu radiācijas detektoru (scintilatoru) īpašības, kas tagad tiek izmantoti CERN (šī ir Eiropas Kodolpētniecības organizācija, pasaulē lielākā augstas enerģijas fizikas laboratorija, kas atrodas netālu no Ženēvas). Viens no mūsu projektiem, kuru pabeigsim šogad, ir saistīts ar scintilatoru īpašību prognozēšanu augstas enerģijas fizikai un medicīniskajai diagnostikai. Nākamā joma, kurā vēlamies darboties, ir kosmoss. Jo, tiklīdz mēs paceļamies augstāk no mūsu Zemes virsmas, radiācijas intensitāte dramatiski palielinās un materiālu uzvedība kosmosa orbītā ir pilnīgi atšķirīga, nevis tāda pati kā uz Zemes virsmas. Tagad ministru līmenī notiek sarunas par sadarbību ar Eiropas Kosmosa aģentūru, un viena no jomām būs materiālu izpēte.

Jūs minējāt, ka šajā projektā daudz ir izdarīts pirmo reizi gan eksperimentāli, gan teorētiski. Pirmo reizi Latvijā, vai pirmo reizi pasaulē?

Pirmo reizi pasaulē. Apstarotajos paraugos bija iespējams atklāt kaut ko tādu, ko iepriekš neviens nebija novērojis. Daudzi pieņēma, ka tā varētu būt, bet nevarēja to redzēt tieši. Bet, lai to izdarītu, ir paveikts ļoti daudz darba. Es jums pastāstīšu vairāk un varbūt sarežģītāk. Ja apstaro materiālu ar gamma stariem (rentgena stariem), tad varat ņemt paraugu, ievietot to kabatā un doties to pārbaudīt. Neitronu gadījumā to nevar izdarīt, jo, kā saka fiziķi, paraugs sakarst. Ne tāpēc, ka tas ir karsts temperatūras ziņā, bet gan tāpēc, ka tas kļūst radioaktīvs, un bieži vien ir jāgaida 5–10, dažos gadījumos pat 20 gadi, līdz šo paraugu pārbauda fizikas laboratorijā. Daži no šajā pētījuma ciklā paveiktajiem darbiem tika veikti ar paraugiem, kurus es atvedu no Spānijas jau pirms 10 gadiem.

Viņi Spānijā ieradās 1998. gadā no Oakridžas (Amerikas Savienotās Valstis). Oakridžā ir reaktors, kur tika apstaroti daudz materiālu. Tātad paraugus, kurus mēs tagad esam pētījuši, pagājušā gadsimta septiņdesmitos gados apstaroja neitroni, un tie nebija analizēti visus šos gadus, jo tos vienkārši nevarēja paņemt un veikt fizikālus pētījumus. Un rodas jautājums, kas notika ar šiem paraugiem, kad tie vēl bija ļoti radioaktīvi, kādas īpašības viņiem piemita? Un tagad mēs varam paredzēt dažas šādu materiālu īpašības.

Kas tiek domāts runājot par moderniem funkcionāliem materiāliem?

Materiālu ir daudz, periodiskā tabula ļauj mums izveidot bezgalīgu savienojumu skaitu. Bet ir noteiktas tehniskās specifikācijas, katram konkrētajam lietojumam ir tā sauktais īss materiālu saraksts. Un šajā sarakstā materiāli tiek izvēlēti pēc daudziem kritērijiem. Iedomājieties, ka man ir divi perspektīvi materiāli. Pieņemsim, ka man ir, piemēram, A paraugs un B paraugs. Lai A ir 10 reizes labāks nekā B paraugs. Bet nav reāli to pagatavot lielos daudzumos, tas būs vai nu ļoti dārgs, vai arī nevarēs nodrošināt absolūtu īpašību viendabīgumu visā tilpumā un tā tālāk. Tāpēc mēs pakavējamies pie materiāla B, kas ir nedaudz sliktāks par A, bet mēs cenšamies uzlabot tā īpašības, lai tuvotos ideālam. Katram pielietojumam ir sava materiālu izvēle, kas balstās ne tikai uz to tehniskajiem parametriem, bet arī uz to, ka tos var ražot pietiekamā apjomā pasaulē esošās rūpnīcās.

Projekta realizācijā jūs iesaistījāt arī studējošos. Aleksandr, ko jums deva šis projekts?

Aleksandrs Platonenko: Vēlos uzsvērt, ka lielākā daļa darba, par kuru mēs šodien runājam, tika veikta EUROfusion projekta ietvaros. Tie ir starptautiski centieni izveidot nākamās paaudzes reaktoru, kura pamatā ir kodolsintēze. Un šo vērienīgo projektu var paveikt ar visu eiropiešu kopīgiem spēkiem, pat no tām valstīm, kur kodolenerģija šķiet neiedomājama. Lielā projektā visi strādā pie mazām tēmām. Varu runāt arī kā students, kurš, balstoties uz šiem projektiem, dabūja labu darbu un projekta ietvaros uzrakstīja disertāciju, kuru mēģināšu aizstāvēt šogad. Grupai no Tartu bija arī savs doktorants, kurš jau bija aizstāvējis. Projekts man kā studentam deva iespēju apmeklēt konferences, mācīties citās vietās, piedalīties skolās un semināros un sazināties ar ievērojamiem Eiropas zinātniekiem. Runā, ka Latvijā dažreiz ir grūti atrast vietu doktorantūrā, lai studētu. Kopumā tā ir taisnība, taču tik lieli starptautiski projekti ir lieliska iespēja. Tā rezultātā pēc doktora studiju pabeigšanas izglītība ir pasaules līmeņa.

Kas, jūsuprāt, ir nepieciešams, lai izveidotu spēcīgu līdzīgi domājošu cilvēku komandu, kas spēj pieteikt un īstenot liela mēroga starptautisku projektu?

Aktīva eksperimentatoru un teorētiķu sadarbība ir ļoti svarīga projekta panākumiem. Pirmkārt, eksperimenti ar materiālu apstarošanu ir ļoti dārgi, un darbam ar tiem nepieciešams ilgs gaidīšanas laiks līdz paraugu radioaktivitāte sabrūk. Tādēļ radiācijas procesu datormodelēšana var un patiešām ļauj ietaupīt daudz laika un naudas. Turklāt modelēšana ļauj prognozēt ekstremālākās situācijas. Otrkārt, eksperimentālo datu teorētiskā analīze ļauj prognozēt materiālu uzvedību visdažādākās situācijās. Mūsu komandā ir divi labi zināmi radiācijas procesu kinētikas speciālisti perspektīvajos kodolmateriālos – Vladimirs Kuzovkovs un Jevgēņijs Kotomins, daudzu publikāciju un grāmatas “Difūzijas kontrolēto procesu mūsdienu aspekti: kooperatīvās parādības bimolekulārās reakcijās” autori (North Holland, Elsevier), kas veltīta sarežģītiem pašorganizēšanās procesiem, par kuriem runājam iepriekš. Liela mēroga datorsimulācijām mēs izmantojam gan vietējo Institūta klasteru, gan superdatorus Eiropā (Itālijā, Vācijā).

Pēdējos gados zinātnē ir pierasts raksturot zinātnieka līmeni ar skaitli – Hirša indeksu, H. Pats Hiršs (J.E. Hirsch), popularizējot savu ideju, pamanīja, ka zinātnieks ar $H = 18$ indeksu atbilst profesoram

prestīžā pasaules līmeņa universitātē. $H = 45$ indekss atbilst daļībai ASV Nacionālajā zinātņu akadēmijā (NAS). No šī viedokļa mūsu mazā laboratorija (tikai 9 darbinieki ievēlēti konkursa kārtībā) izskatās diezgan pienācīgi. Mums ir zinātnieks ASV akadēmiķa līmenī: profesora Jevgēnija Kotomina indekss $H = 51$ ar 500 publikācijām. Pastāv spēcīga “starptautisko profesoru” grupa: ieskaitot mani, Anatoliju Popovu ($H = 31$), kā arī citus komandas locekļus: Oļģerts Dumbrājs ($H = 26$), Vladimirs Kuzovkovs ($H = 22$), Deniss Grjaznovs ($H = 18$).

“Advanced experimental and theoretical analysis of defect evolution and structural disordering in optical and dielectric materials for fusion applications” (Defektu evolūcijas un struktūras izjaukšanās eksperimentāla un teorētiska analīze optiskajos un dielektriskajos materiālos kodolsintēzes reaktoriem) ir EUROfusion administrēts projekts.

Laikrakstam “Zinātnes Vēstnesis”
sagatavoja **Ilona Gehtmane–Hofmane**

Avots: “Zinātnes Vēstnesis”, Nr. 1 (606), 2021. gada 25. janvāris.