

Osakesteuuringutest Eestis

Piret Kuusk, Jaak Lõhmus, Ilmar Ots, Elmar Vesman

(toimetatud kujul ilmunud kogumikus "Universumi mikromaailm", OÜ Reves Grupp, Tallinn 2003.)

Füüsika ajaloos on kahekümnes sajand erakordne. See on olnud füüsika uute suurteooriate ja aine süvaehituse avastamise sajand, fundamentaaluuringute ja neist võrsunud tehnoloogiliste imede sajand.

Sajandi esimese veerandi jooksul loodi kolm uut suurt füüsikateooriat, mis avardasid inimese pilku täiesti uutesse maailmadesse – aine sügavusse ja kosmose hiigellaotusse. Need olid *erirelatiivsusteooria* (1905), *üldrelatiivsus-* ehk *gravitatsiooniteooria* (1916) ja *kvantmehaanika* (1926).

Aine ehituse alal pärandas üle-eelmine sajand meile aatomi ja molekuli mõisted, sajandi viimastel aastatel aga juba esimese, tänini elementaarse alusosakese, *elektroni* (1897). Aatomi ehitus ja elektroni osa selles selgus üsna möödunud sajandi alguses, pärast Ernest Rutherfordi ja Niels Bohri töid. 20. sajand avastas aine ehituses tervelt kolm sügavuti laskuvat struktuuritaset: esiteks *aatomi ehituse* (tuum ja selle ümber seuvad elektronid), teiseks *tuuma struktuuri* (koosnemine nukleonidest – prootonitest ja neutronitest) ja kolmandaks – *nukleonide* koosnemise kvarkidest. Viimane, kolmanda põlvkonna üliraske top-kvark avastati 1995. Seega siis kulus nendele kolmele struktuuritasemele üsna täpselt 100 aastat. Oluline on vahest märkida, et praeguste teooriate järgi lõppes kvarkide avastamisega struktuuritasemete üheülbaline kordumine liitosakeste (aatomite, tuumade) purustamise ja koost lahtivõtmise vaimus. Kvarkidest moodustunud süsteemi pole enam võimalik koost lahti harutada, kvargid on nukleonides vangistatud .

In statu nascendi

Millal ja kuidas jõudsid need füüsika suurteooriad Eestisse ning mis nendest siin sai? Millal said Eestis alguse osakeste füüsika-alased uurimused?

Relatiivsusteooria esmatutvustajaks oli Tartu Ülikooli (TÜ) matemaatikaprofessor Jaan Sarv (1877-1954) (esimene aimeloeng Loodusuurijate Seltsis 1914, hiljem mõned aimeartiklid ajakirjas Loodus).

1929. aastal pidas loenguid Einsteini ühtse väljateooria kohta TÜ Tartu Tähetorni töötaja, hiljem Tallinna Tehnikaülikooli (TTÜ) õppejõud Oskar Silde (1900-?), temalt ilmus (1974) ka relatiivsusteooria geomeetiline käsitlus eesti keeles.

1930. aastatel luges relatiivsusteooria matemaatikast mitmeid kursusi TÜ, hiljem TTÜ professor akadeemik Jüri Nuut (1892-1952). Temalt on ka esimene relatiivsusteooria alane raamatuke eesti keeles (1930). J. Nuut arendas hiljem välja paisuva Universumi uue geomeetrilise mudeli. Tema ulatusliku monograafia esimene, matemaatiline, osa trükiti ära Moskvas 1961.

Eesti relativistide koolkonnale pani aluse akadeemik Harald Keres, kes pidas sellealaseid loenguid TÜ-s alates 1939. aastast, kaitses doktoritöö 1942 ning alustas laiema kandepinnaga õppe- ja uurimistööd 1950-ndal aastal. Rahva seas väga populaarse aimeraamatu "Vestlus relatiivsusteooriast" kirjutas Harry Õiglane (1927-1999), mis pidas vastu kolm trükki (1958, 1965, 1973) ja tõlgiti ka vene keelde. Üldse peab ütleva, et relatiivsusteooria on populaarsuselt Eesti rahva hulgas astronoomia järel kindlalt teisel kohal.

Kvantfüüsika ideed olid eelöelduga võrreldes Eestisse visamad tulema. TTÜ füüsikakateedri kauaaegne õppejõud Georg Mets (1911-1986) oli küll 1936-1937 Werner Heisenbergi juures Göttingenis stažeerimas, pole aga kuulda olnud, et ta oleks hiljem Eestis kvantmehaanikat õpetanud. Esimeste kvantmehaanika loengutega alustas TTÜs 1941-42 keemik Adolf Parts (1904-1996), temalt on ka mitmed füüsikalise keemia alased uurimused, mis kasutasid kvantmehaanika ideid ja meetodeid. Neist ühe kaasautoriks on Arnold Tudeberg (1908-1987, alates 1937 Humal), kes samuti oli stažeerinud Göttingenis 1932-1933.

Üks kuulsamaid Eesti teadusmehi, astronoom Ernst Õpik (1893-1985) pidi tundma kvantmehaanikat ja tuumafüüsikat, sest ta seletas (1939) tähtede energiaväljundit termotuumaprotsessidega, seda isegi veidi enne Hans Bethet ja Carl von Weizsäckerit, kellele selle avastuse au ametlikult omistatakse. Akadeemik Aksel Kipper (1907-1984) mälestuskildudest ajakirjas Eesti Loodus (nov 1977) selgub, et E. Õpik soovitas oma õpilastel ja kolleegidel kvantmehaanikat lähemalt uurida.

Pool sajandit edukat uurimistööd

Aksel Kipper võttiski kvantteooria tõsisemalt käsile ja hakkas pärast sõda taasavatud Tartu (Riiklikus) Ülikoolis lugema kvantmehaanika, kvantstatistika ja kvantelektrodünaamika kursusi. Ta innustas oma õpilasi kasutama väljade kvantteooriat elementaarosakeste uurimisel. Sel alal jõudsid oma väitekirjade kaitsmiseni kolm A. Kiperi aspiranti: Paul Kard (1949, vesinikusarnane aatom kvanditud ruumis), Harry Õiglane (1954, vaakumparandused elektroniteoorias) ja Ilse Kuusik (1954, modifitseeritud

elektroniteooria).

Pärast kaitsmist jätkas Paul Kard sama temaatikat ja andis sealt ülesanded ka oma kahele aspirandile, Madis Kõivule ja Laur Palgile. Kuid enne, kui nemad oma väitekirjade kirjutamise ja kaitsmiseni jõudsid – Madis Kõiv 1960. a (mesonite ja hüperonide süstemaatika) ja Laur Palgi 1963. a (vahebosonite mõjust nõrga vastastikmõju protsessidele müü-mesoatomis), oli juhendaja ise juba osakestefüüsikast eemaldunud. Elementaarosakeste teooria edasivijaks sai Harry Õiglane, kellel oli piisavalt teotahet ja läbilöögivõimet tollaegses Eesti ja N Liidu teaduskeskkonnas.

Umbes samal ajal, 1960. a, kaitses USA-s, Californias, pärastiste Nobeli laureaatide (1959) O. Chamberlaini ja E. Segré juures doktoriväitekirja prootonite ja antiprootonite annihilatsioonist väliseestlane Rein Silberberg, kes hiljem töötas edukalt kosmiliste kiirte tuuma-astrofüüsika alal.

Esimeseks osakestefüüsika uurimiskeskuseks Eestis sai Eesti (NSV) Teaduste Akadeemia Füüsika ja Astronoomia Instituudis 1960. a loodud teoreetilise füüsika ja matemaatika sektori (juhataja Harald Keres) elementaarosakeste töörühm, mida vedas Harry Õiglane. Töörühma põhikoosseisu on moodustanud teadurid, kes instituudis töötanud aastakümneid: Galina Kutuzova 1959-1974, Madis Kõiv 1961-1991, Laur Palgi 1961-2002, Elmar Vesman alates 1961, Ain Ainsaar 1961-1988, Jaak Lõhmus 1961-2002, Ilmar Ots alates 1962, Rein Saar 1970-1988, Piret Kuusk alates 1970, Vladimir Rosenhaus 1979-1991, Hannes Uiibo 1987-1999. Episoodiliselt töörühma koosseisus olnud on vähemalt teist niisamapalju. Harry Õiglane lahkus instituudist 1981. aastal.

Töörühma temaatikat on suuresti kujundanud kaks inimest: Harry Õiglane ja Madis Kõiv.

H. Õiglase huvi Diraci võrrandi ja tema üldistuste vastu ärgitas jalule uurimused nõrga vastastikmõju alal ja üldisemaltki – relativistlikult invariantsete väljavõrrandite alal. Esiialgu olid selles valdkonnas tegevad H. Õiglane ja G. Kutuzova, hiljem lisandusid M. Kõiv, A. Ainsaar, I. Ots ning M. Kõivu õpilased R.-K. Loide (TTÜ) ja R. Saar (TÜ). Samast said alguse elementaarosakeste süstemaatika ja rühmateooria alased tööd (M. Kõiv, H. Õiglane, J. Lõhmus). Selle suunaga piirneb huvitav ja originaalne ideestik algebralise mitteassotsiatiivsuse võimalikust osast mikrofüüsikas, mida on arendanud Leo Sorgsepp Tartu Observatooriumist (koos Jaak Lõhmuse ja Eugen Paaliga). Kui tavalises kvantmehaanikas on oluline suuruste järjekord, siis selle mitteassotsiatiivses üldistuses, *assotsiatiivkvantimises*, on oluline ka suuruste grupeerimine (sulgude asetus), mis võiks ilmneda aine ehituse ülisüvatasemetel, kvarkide vangistuses või Plancki maailmas.

1990. aastatel pungus siit veel üks võimalus – aegruumi geometrias sisalduva mitteassotsiatiivsuse toomine gravitatsiooniteooriasse ja kvantmehaanikasse (E. Paal, P. Kuusk, J. Örd).

Madis Kõivu initsiatiiv ja kohtumised Dubna Tuumauuringute Keskuse füüsikutega 1950. aastate lõpul töid tartlaste huviorbiiti salapärase osakese, müüoni ning tahtmise proovida jõudu ja mõistust tol ajal vägagi kõneks olnud probleemiga – müü-katalüüsi mõistatusega. Sel alal kirjutasid oma väitekirjad Laur Palgi (1963), Elmar Vesman (1968, juhendaja S. Gerštein Dubnast) ja Eve Tammet (1972, juhendaja M. Kõiv). E. Vesmani koduse juhendaja M. Kõivu juhtimisel kohalikus müü-töörühmas peetud arutlused ja vaidlused aitasid kaasa jõudmiseni selle suuna suurtulemuseni – müümesomolekulide resonantstekke *Vesmani mehhanismini*, mis 1988. aastal registreeriti N Liidus ametlikult avastusena. Vesmani mehhanismi kohaselt võib ebastabiilne müüon oma ülilühikese eluea jooksul siiski esile kutsuda küllaldase arvu termotuumareaktsioone, mis võib saada aluseks perspektiivsele energiaallikale.

Ilmar Ots sai oma kandidaaditöö teema samuti Venemaalt – Moskvast, juhendajaks J. Shapiro (ITEF). Ta arvutas polarisatsiooniefekte otsestes tuumareaktsioonides (kaitses väitekirja 1972). Hiljem on sellest välja kasvanud spinn-orientatsioonide uurimine elementaarosakeste põrke- ja lagunemisprotsessides. Praegu on sel alal tegevad ka R.-K. Loide (TTÜ), R. Saar (TÜ) ja H. Liivat (TÜ doktorant, juhendaja I. Ots). Sellest ja eelpoolmainitud relativistlikult invariantsete väljavõrrandite suunast kasvas omaette liinina välja kõrgemate spinnidega osakeste vastastikmõju uurimine, milles osalevad kõik siin nimetatud neli uurijat.

Kauge järjena H. Õiglase uuringutele nõrga vastastikmõju alal kujunes 1980. aastatel Tartus neutriinofüüsika uurimissuund, mille põhilised viljelejad olid L. Palgi ja H. Uiibo (neutriinode massid ja segunemised). 1990. aastatel toimus sel alal Lohusalus kolm rahvusvahelist sümposiumi (1990, 1993, 1995).

Veel ühe täiesti uue ja üsnagi matemaatilise temaatika võttis 1980. aastate alguses üles Madis Kõiv: ulatuvusega objektid (stringid, membraanid), aegruumi ja väljade vaheline sümmeetria (hodograafteisendused), topoloogilised väljateooriad. Siit said oma kandidaadiväitekirjade teemad V. Rosenhaus (1983) ja K. Kiirani (1989) (juhendaja A. Ainsaar), artikleid avaldasid M. Kõiv, A. Ainsaar, P. Kuusk ja lühemat aega FI-s töötanud K. Palo.

Kaua aega on Füüsika Instituudi elementaarosakeste töörühm olnud ainsaks elementaarosakeste teooria uurimiskeskuseks Eestis. On loetud arvukalt põhi- ja erikursusi Tartu Ülikoolis, juhendatud üliõpilasi,

magistrante ja doktorante. Mitmed siin töötanud teadlased on oma karjääri edukalt jätkanud mujal (vt biograafilist ülevaadet).

Alates 1980. aastatest on Eestis proovitud jõudu ka elementaarosakeste füüsika eksperimendi alal. Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi (KBFI) kollektiiv akadeemik Endel Lippmaa juhtimisel mõõtis 1984. a ioontsüklotronresonantsi meetodil tritiumi ja heeliumi masside erinevuse, mis seab ülempiiri neutriino võimalikule massile. Pisut hiljem algas KBFI koostöö CERNiga kiirendiekperimentides kasutatavate detektorite väljatöötamise alal. Praegu osaleb KBFI CERN-i suurkiirendi LHC detektori Felix projektis.

Osakestefüüsika teooria töörühma KBFI-s on energiliselt asunud looma rahvusvaheliselt tuntud noorema põlvkonna teoreetik Martti Raidal, kelle arvukad tööd käsitlevad elektronõrga vastastikmõju laiendatud mudeleid, supersümmeetriat, neutriinofüüsikat ja muid probleeme.

Homo sapiensi pärusmaa

Materia alusstruktuuride uurimise vaimsusest annavad ehk aimu Madis Kõivu sõnad, öeldud teoreetilise füüsika labori juhataja Harald Kerese 75. sünnipäeva seminaril 16. novembril 1987:

"Teoreetiline uuring selles valdkonnas ei ole matemaatika rakendamine tavalises tähenduses, see on matemaatika ise tema ideede tasandil. Seejuures on teoreetilise füüsika matemaatilisus – selles piirkonnas, millest ma räägin, s.t alusfüüsikas – alati avantüristlik ja tema vahekord range ametkondliku formaalsusega külm. Ehk kui parafraseerida Einsteini: matemaatika ideedest on pooled pärit füüsikast, s.t loodusest, s.t Jumalast, teine pool on loodud matemaatikute kui suletud klaaspärlimängijate ordu enda poolt. Alusfüüsikalistes uuringutes esineb piitlikult rääkides piirsituatsiooni olukordi, kus uurija tunneb, et ta otse ja vahetult mängib tundmatu endaga – mingit superbridži, kus kaartide hulk ja mängureeglid võivad igal ajal muutuda. Seda mängu mängitakse siit-poolt muutuva matemaatika reeglite järgi. Alles hiljem võib neid reegleid kanoniseerida: algebra, diferentsiaalarvutus, diferentsiaalvormid, diferentsiaalgeomeetria, rühmateooria, kihtruumid, topoloogia."

Füüsika fundamentaalteooria ei ole pelgalt intellektuaalne meelelahutus. Ta annab üldise aluse kõikidele praktilisematele füüsikateooriatele, põhjendades nende lähtekohti ja varjatud eeldusi ning võimaldades leida nendevahelisi kasulikke seoseid.

Füüsika fundamentaalteooriate, eelkõige kvantteooria suhteliselt õigeaegne juurdumine Eesti kõrgkoolides on kindlustanud Eestis viljeldava füüsikaõpetuse ja -uuringute maailmataseme. Praegu töötavad Tartu Ülikooli ja Tallinna Tehnikaülikooli füüsikainstituutides ning Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudis (Tallinnas) sajad füüsikud paljude nüüdisaegse füüsika probleemide kallal, mis poleks mõeldav kvantteooriat tundmata.

On selge, et väikeses Eestis on fundamentaaluuringuteks ka väikesed võimalused, ning järjest väiksemaks need millegipärast kipuvad jääma (mida tahtagi, kui koguproduktist eraldatakse teadusele alla 0,5 protsendi!).

Muidugi, Eesti tingimustes pole mõtet rääkida kõrge energia füüsika eksperimentidest, mis praegu jõukohased vaid mõnele üliiriigile ja riikide ühendlaboritele (Eesti võiks ju kunagi osaleda ka täisliikmena Euroopa tuumauuringute ühislaborites, CERN-is, kus riikidelt nõutakse nende koguproduktiga proportsionaalset osamaksu). Fundamentaalse probleemide teoreetiline uurimine on aga ääretult odav, see võimaldab väikeste kulutustega arendada ja hoida löögijõudu mis tahes vajalikku teaduslik-tehnilisse uuringusse lülitumiseks. Meil on noori mehi, kes töötavad väga moodsatel aladel (näiteks kvantinformatikas). Selle aluseks on olnud fundamentaaluuringutele toetuvad spetsialistid, kes on suutnud kindlustada vastava ettevalmistuse. Päris tühja koha peale ei teki midagi, või läheb siis väga kaua aega, kuni tuul sinna midagi kannab. Ja päril kindlasti ei suuda vastavat taset ealeski kindlustada "asendusjõud" naaberlaldelt.

Füüsika fundamentaalprobleemid annavad aluse inimese mõistuslikule tunnetusele, maailmavaatele ja filosoofiale, seega pole nad *Homo faberi*, vaid pigem *Homo sapiensi* pärusmaa. Teadus on kultuuri loomulik ja lahutamatu osa ning koos sellega ka meie rahva ja riigi olemasolu alus.

Täiendavalt:

- Elmar Vesman, *Tartu Ülikooli Füüsika Instituut 1946-1998*
- Jaak Lõhmus, *Teoreetilise füüsika labori minevik ja tänapäev. Materia süvastruktuuride uurimisest Eestis*, Transactions of the Institute of Physics of the Estonian Acad. Sci., vol 64, 10-44, 1989