

# VARJATUD PARAMEETRITE HÜPOTEES KVANTMEHHAANIKAS

(Tähetorni Kalender 1986, lk 56-67)

**E. K a s a k**

## 1. Sissejuhatus

Tutvudes füüsika kui fundamentaalteadusega seostub kaasaegsus selles eelkõige relatiivsus- ning kvantteooriaga. Pisut liialdades võib öelda, et erirelatiivsusteooria mõistetavuse kõige kindlam tõend on suur hulk vastavasisulisi aimeartikleid. Mingil määral kehtib see ka üldrelatiivsusteooria kohta.

Kuigi nende teooriate rakendamine nõuab täiesti uute mõistete ja arusaamade kujundamist ning uutmoodi lähenemist ammu tuntud mõistetele ja seostele, jäävad füüsiku kui teadlase tunnetusprotsessi olulised printsiibid põhiliselt paika.

Kvantmehhaanika aga, mis matemaatilises mõttes pole keerulisem, põhjustab tõsiseid gnoseoloogilisi raskusi, olles seetõttu mõneti arusaamatum kui relatiivsusteooria. On juba lepitud sellega, et kvantteooria sisuline mõistmine on mittespetsialistile kättesaamatu, sest mida paremini õnnestub selles illustreerida üksikfakte, seda raskemaks läheb teooria põhiolemuse tutvustamine: segavad juba tehtud lihtsustused ja piltlikud mudelid. Kui nüüd aga tutvuda spetsialistide arusaamadega, siis ilmneb, et siingi pole kõik kaugeltki selge. Missugused ka oleksid kasulikud tulemused, mida kvantmehhaanika meile annab, on temaga lahutamatu seotud mõned raskesti vastuvõetavad seaduspärasused, nende hulgas ka statistiline põhjuslikkus. Vaidlus nende seaduspärasuste olemuse üle kestab kord vaibudes, kord ägenedes, alates kvantmehhaanika sünnist. Ühelt ja teiselt poolt esitatakse nii objektiivseid kui ka subjektiivseid argumente, sest nagu ikka segastes probleemides on tähtis ka isiklik veendumus. Oks vaidlusaluseid küsimusi ongi tuntud varjatud parameetrite hüpoteesi nime all. Selle sõnastamiseks on kasulik alustada natuke kaugemalt.

## 2. Põhjuslikkus füüsikas enne kvantmehhaanikat

Jälgime füüsika arengut, käsitledes seda vastavalt ajastule kas esialgses või praeguses mõttes. Põhitähelepanu pöörame põhjuslikkuse kategooria rakendamisele. Nagu kombeks, alustame atomistidest. «Mitte midagi ?i teki põhjusega, vaid kõik (ilmub) mingisugusel alusel ja paratamatuse

tõttu,» arvas Leukippos, määrates sellega ette ara kõikide atomistide seisukoha [1].

Demokritos jõudis juhuslikkuse täieliku eitamiseni, pidades juhust ja aru teineteisele vasturääkivateks mõisteteks. Kummatigi oli talle juhust vaja õpetuses maailma kujunemisest [1]. Selline vastuolu on tingitud paratamatuse ja juhuslikkuse dialektilisuse ebateadlikust mõistmisest. Juhuslikkuse kaotamisega ei tõsteta juhuslikkust paratamatuse tasemele, vaid kistakse paratamatus alla juhuslikkuse asemele. Seda mõistnud, pakkus Epikuros välja idee, mille järgi aatomid võivad oma sirgjoonelisest langemisest ka kõrvale kalduda [1]. Selline seisukoht on suunatud ettemääratuse vastu, kuid ei eita ka põhjuslikkust. Tänapäeva keeles võib öelda, et Epikuros ennustas statistilise põhjuslikkuse avastamist ning oletas õigesti selle otsesest avaldumist just nimelt mikromaailmas.

Teadmise ajalooline areng lubab siin vahele jätta kaks aastatuhandet, mille jooksul füüsika seisukohalt sellele probleemile midagi põhimõtteliselt uut ei lisatud.

Füüsikale tänapäeva mõttes panid aluse Galilei ja Newton. Üks põhiline alustugi oli neil usk jäika determinismi, milleta poleks saanud puhas-tada teadust müstikast. Rangel kujul sõnastas mehhanitsistide seisukoha Laplace, kes väitis, et iga sündmuse algtingimuste täpne teadmine võimaldab täpselt kirjeldada nii antud sündmust kui ka sellest tulenevat sündmuse ahelat. Igasugune juhuslikkus on järelikult vaid teadmiste ja inim-mõistuse piiratuse tagajärg.

Jäik determinism osutus füüsikas niivõrd viljakaks, et seda hakati pidama endastmõistetavaks. Sellise harjumuse kujunemiseks oli ka piisavalt aega — kuni XX sajandi alguseni. Kaasajal kujundab sellist harjumust kooliharidus ning taoline olukord on mõneti paratamatu, sest enne olemasolevate teadmiste kritiseerimist tuleb neid tunda ja mõista.

Siiski mitte kõik füüsikud polnud jäiga ettemääratusega rahul, kuid midagi mõistlikumat asemele ka ei pakutud. Näiteks E. Mach jõudis mehhanitsistlikku põhjuslikkust kritiseerides välja põhjuslikkuse objektiivse iseloomu eitamisele. Vastuoludest püüdsid mööda hiilida ka positivistid. Loodusteadlaste enamus kui stiihilised materialistid ei võtnud neid lahendusid omaks.

Suuri ja selgesti tajutavaid muutusi põhjuslikkuse kui mõiste sisus tekitas relatiivsusteooria oma mõju lokaliseerituse nõudega, mille põhjal ükski mõju ei saa levida kiiremini kui valgus. Kuna kadus pind kaugmõju pooldajate jalge alt, näis vaadeldava kategooria mõistmine lihtsustuvat, füüsikutes aga süvenes veendumus, et identsed osakesed käituvad identsetes tingimustes identselt, ehkki samal ajal sundis loodus juba peale fakte, mille sügavam analüüs viis kvantmehhaanika loomise kaudu vastupidisele järeldusele.

### 3. Varjatud parameetrite hüpotees

Kvantmehhaanika põhiline tööaparaat loodi vähem kui viie aastaga (1923—28). Rakenduslikus mõttes on see teooria lõpetatud ning rakendus-teadusena on kvantmehhaanika tänini väga edukas ja seda ka astrofüüsikas, kus sobivaid näiteid võib tuua lausa ridamisi, kuid ilmselt piisab, kui nimetada kiirguslevi või mitmesuguste spektrite teoreetilist põhjendamist.

Aeg on õpetanud austusega suhtuma kvantmehhaanika järeldustesse. Näiteks määramatuse relatsioon, mida tõlgendati tihti kui füüsikute võimetust tunnetada reaalseid eksisteerivaid suurusi, on näidanud, et ta pole «halvem» teistest füüsikaseadustest, mis võimaldavad konkreetseid, mõdetavaid tulemusi. Just nimelt aja ja energia vahelist määramatust kasutades oli võimalik leida resonantsosakeste tüüpiline eluiga, sest energia määramatust saab hinnata interaktsiooni tõenäosust kirjeldava resonantskõvera laiuse järgi.

Mis puutub aga kvantmehhaanika süvaolemusse ning üldisematesse järeldustesse, siis nagu sissejuhatuses juba öeldud, pole siin veel üksmeelele jõutud.

Üks kõige kummalisemaid eksperimentaalset kinnitust leidnud kvantmehhaaniline seadus väidab: täiesti ühesugused mikroobjektid peavad end täiesti ühesugustel tingimustel ülal erinevalt. See tähendab, et dünaamilised seaduspärasused, mille puhul süsteemi seisund määrab üheselt tema järgnevad seisundid, asenduvad kvantmehhaanikas seaduspärasustega, mille puhul süsteemi seisund määrab järgneva seisundi teatud tõenäosusega. Seaduspärasuse statistilisusest ei tohi järeldada, nagu oleks ta seetõttu «nõrgem» või võimaldaks endast «mööda minna», ehkki üksiküldmuste kohta on raske midagi öelda.

Aärmuseni minnes võib üksikosakesele omistada isegi «vaba tahet». Ebameeldivatest järeldustest hoidumiseks näib olevat lihtsaim tee tõestada, et mingit kõrvalekaldumist jäigast determinismist tegelikult polegi. Idee aluseks on fakt, et statistilised seaduspärasused kehtivad ka klassikalises füüsikas, täieliku determinismi tingimustes, kui oleme võimetus kindlaks tegema kõiki süsteemi algtingirnusi. Näiteks termodünaamikas tõestasid Gibbs ja Boltzmann, et seda võib vaadelda kui statistilist füüsikat, arvestades makrokehade koosnevust aatomitest. Mittevaadeldavatest varjatud parameetritest — üksikaatomite koordinaatidest ja impulssidest — võib saada kõik makroskoopiliste kehade termodünaamilised omadused. Varjatud parameetrite hüpotees kvantmehhaanikas väidab, et mikroosakeste käitumine on täiesti üheselt määratud meile teadmata faktorite poolt.

Sellega oleks ka mikromaailmas taastatud jäik determinism.

Oluline on märkida, et kvantmehhaanika ise pole iialgi tundnud vajadust mingite varjatud parameetrite järele, probleemi püstitus on rohkem maailmavaateline.

#### 4. Varjatud parameetrite hüpotees ja kvantmehhaanika

Esimesena formuleeris ja ka lahendas küsimuse varjatud parameetrite olemasolust 1932. a. J. von Neumann. Oma kuulsas teoreemis tõestas ta, et kvantmehhaanika on loogiliselt lõpetatud teooria, mis välistab varjatud parameetrite olemasolu [5]. Probleemi olemasolust olid juba varem teadlikud Bohr ja Heisenberg, kuid von Neumanni töö tähtsust see ei vähenda.

Kvantmehhaanika ei luba harilikult midagi öelda oma põhipostulaatide kohta, ta isegi välistab võimaluse nende tagapõhja mõista. Seda üllatavam tundus selge ja ühene vastus nii segases küsimuses. Samal ajal alles võttis hoogu praegu Bohri ja Einsteini vaidlusena tuntud poleemika kvantmehhaanika eluõiguse üle.

Bohr, Heisenberg ja Born töötasid välja klassikalise Kopenhaageni interpretatsiooni kvantmehhaanikas. See tõlgendus on vähemalt praktilises mõttes praegu üldtunnustatud ja kõrgkooli kursuses ainuvalitsev ega vaja seetõttu lähemat tutvustamist. Ja siis kui vastaspool, eelkõige Einsteini, Plancki, Schrödingeni ja Lorentzi näol, alles otsis mõjusamaid argumente, ründas von Neumanni teoreem nende veendumuste põhialust, usku jäika determinismi. Teoreemi tõestus ei tekitanud vastuväiteid, kuid vaidlustamiseks sobisid tõestuses kasutatud eeldused. Vaidlus lahenes üldtuntud arvamuse järgi Bohri kasuks. Vahemärkusena sobib öelda, et varjatud parameetrite probleem ei olnud sugugi kõige tähtsam vaidlusküsimus ning huvi selle vastu langes kuni viiekümnendate aastateni, mil suure vaidluse järel võitjatega ühinenud de Broglie äkitselt oma meelemuutust kahetses ja jälle ortodokssete seisukohtade vastu välja astus.

Suure vaidluse käiku on tihti peetud Einsteini tragöödiaks. Ehkki isegi relatiivsusteooriat kõrvale jättes ei saa A. Einsteini kui kvantmehhaanika ühte rajajat, kui mikroosakeste dualistliku loomu hüpoteesi esitajat kuidagi süüdistada väheses vastuvõtlikkuses uutele ideedele või kvantmehhaanika väheses tundmises. Sama kehtib ka E. Schrödingeri kohta.

Einstein ei eitanud kvantteooriat üldse, ta ei suutnud vaid leppida eelkõige just määramatuse printsiibi ja statistilise põhjuslikkusega. Füüsika areng on näidanud, et Einsteini seisukohad ei pruugi olla läbinisti valed. Tema vastuväited võib jagada kolme suurde klassi [7]. Esiteks püüdis ta näidata, et on olemas niisugune eksperiment, mis on vastuolus kvantmehhaanikaga. Selles osas tõepoolest jäi võitjaks Kopenhaageni koolkond. Einsteini mõttekäikude efektiivne ümberlukkamine jättis varju tema teised, isegi olulisemad vastuväited «kopenhaaglastele».

Teiseks püüdis ta leida võimalusi kirjeldada mikroosakesi üldrelatiivsusteooria võrrandite abil, mis aga eeldab varjatud parameetrite sissetoomist. (Siinkohal osutus ta kriitika palju jõulisemaks, lõplikult näidati nende katsete lootusetust alles kuuekümnendatel aastatel). 1935. aastal avaldas Einstein koos Podolski ja Roseniga töö, milles formuleeriti kuri-kuulus EPR-paradoks [2]. Paradoks seisneb selles, et vaadeldes seotud,

mingi omaduse poolest antikorreleeruvat osakeste paari, näiteks vastasuundades liikuvate elektronide paari, mille koguspinn on null, võime me alati fikseerida ühe elektroni spinni projektsiooni mingile ruumiteljele. Kvantmehhaanika klassikalise interpretatsiooni kohaselt seda projektsiooni enne mõõtmist olemas ei ole, eksisteerivad vaid tõenäosused selle projektsiooni mitmesuguste väärtuste leidmiseks. Jäävusseaduste põhjal aga peab mõõtmishetkel tekkima teisel osakesel sama telje sihis vastandmargiline spinni projektsioon. Järelikult peab mõõtmisakti mõju kanduma teise ruumipunkti üle hetkeliselt ning selline mõju leviku kurus ületab valguse oma. Paradoksi ületamiseks võiks oletada parameetri ( $t_e$ ) olemasolu, mis juba ette ja üheselt määrab mõõtmistulemuse ning seetõttu reaalsel informatsioonivahetust ei toimu.

Kolmandaks lootis Einstein leida sügavama füüsikalise tagapõhja, põhjendamaks kvantmehhaanika võrrandeid. Siin on praegu veel kõik lahine, on koguni vihjeid (Kolmogorovi, Arnoldi ja Moseri tööd; nn. KAM-teoreem ning järeldused sellest), et kvantmehhaanilisi seaduspärasusi saab tõlgendada klassikalise mehhaanika abil. Pole välistatud, et selles kõige olulisemas kriitika aspektis oli Einsteinil õigus.

Pöördume tagasi varjatud parameetrite hüpoteesi juurde. Viiekümnendatel aastatel asus de Broglie, kahetsedes «raisatud aastaid», looma varjatud parameetrite konkreetseid mudelid [3]. Sama tegid ka D. Bohm, J. P. Vigiier ja R. Schiller [5]. Oletades ühete või teiste von Neumanni teoreemi eelduste paikapidamatust, õnnestuski mõned mudelid luua. Kuid isegi kõige paremini (matemaatilises mõttes) põhjendatud nn. hüdrodünaamiline mudel ei olnud kooskõlastav ei kvantmehhaanika ega eksperimendiga.

Taoliste katsete vältimiseks hakati täiustama von Neumanni teoreemi. Kocher ja Specher tõestasid von Neumanni teoreemi, vähendades vaidlusaluste eelduste arvu, ning lõpuks näitas E. Turner, et kvantmehhaanika põhialustele tuginev kvantloogika ei ole põhimõtteliselt ühildatav varjatud parameetrite hüpoteesiga. Seega võib öelda, et kuuekümnendate aastate lõpuks oli kvantmehhaanika ja varjatud parameetrite ühildamatus muutunud tõestatud faktiks [3; 4; 5].

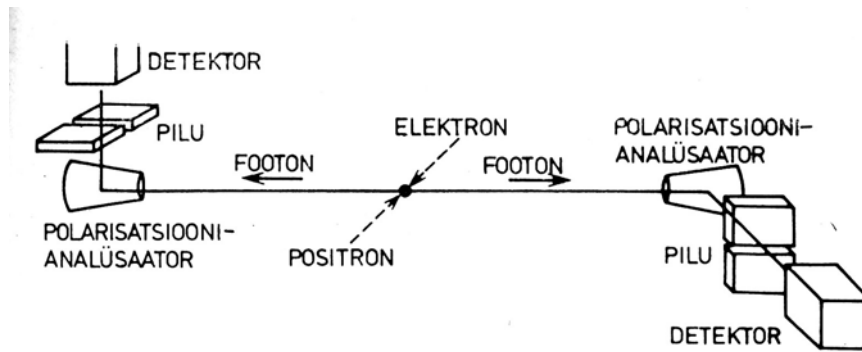
## 5. Varjatud parameetrite hüpotees *contra* kvantmehhaanika

Võttes omaks, et kvantmehhaanika ja varjatud parameetrid ei sobi kokku, on võimalik teha kaks vastukäivat oletust:

1) kvantmehhaanika on kooskõlas eksperimendiga, järelikult varjatud parameetreid ei eksisteeri;

2) et determinismi olemasolu on iseendast mõistetav ja kooskõlas kogu füüsikaga väljaspool kvantmehhaanikat, siis tuleb uskuda varjatud parameetrite olemasolu ning eeldada, et kvantmehhaanika, ehkki praegu edukas teooria, on oma olemuselt ligikaudne ning peab varem või hiljem sattuma vastuollu eksperimendiga.

Küsimuse lahendamiseks tuleb näidata, et on olemas kas või üks eks-

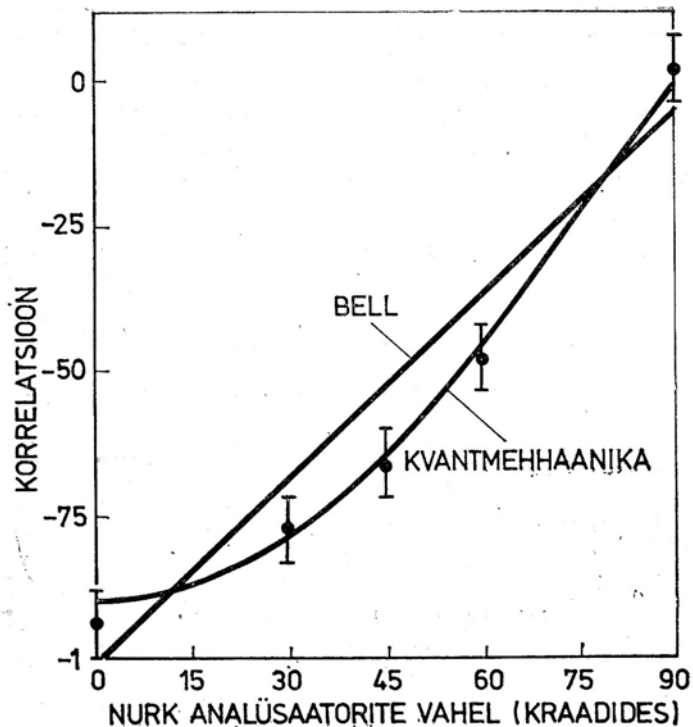


Joon. 1. Belli katse põhimõtteskeem.

periment, mis lükkab ümber kvantmehhaanika või välistab igasugused katsetiselt määratavad varjatud parameetrid. Selle viimasega sai hakkama J. S. Bell [4, 6]. Bell lähtus kõige üldisematest jäävusseadustest ja mõju lokaalsuse nõudest ning koostas katse, mille tulemustega vastuollu sattumiseks piisab nõuda varjatud parameetritelt ainult nende põhimõttelist tuvastamisvõimalust eksperimendi teel. Teiste sõnadega, kui varjatud parameetrid eksisteerivadki, ei ole need tänapäeva füüsika mõttes tunnetatavad.

Hoopis huvitavasse valgusesse satub nüüd EPR-paradoks. Selge ju, et kui osakestel ei saa põhimõtteliselt enne mõõtmist eksisteerida parameetrit, mis üheselt määrab mõõtmistulemuse, saame me mõõtmistulemuse kaudu rikkuda Einsteini mõju lokaalsuse nõuet. Bell koostas reaalse katse plaani selle kontrollimiseks. Lähtudes praegu üldkehtivatest loogikareeglitest ja Einsteini lokaalsuse nõudest, koostas ta võrratused (nn. Belli võrratused), mille põhjal saab ennustada vaadeldava antikorreleeruva osakeste paari käitumist. Eksperimendi põhimõte sarnaneb EPR-paradoksi juures kirjeldatud mõttelise katsega. Põhjalik ülevaade on toodud artiklis [4], samas on esitatud ka Belli võrratuste elegantne tõestus. Katseobjektideks soovitas Bell võtta positrooniumi annihilatsioonil tekkinud fotonipaari ning uuritavaks tunnuseks polarisatsioonivektori. Klassikaline kvantmehhaaniline mõõtmisteooria annab osakeste paari käitumisele mõneti teistsuguse ennustuse, sest eeldatakse nende ühise lainefunktsiooni olemasolu ning selle kollabeerumist ja mõju hetkelist ülekandumist mõõtmishetkel. Vastavad eksperimendid tehti ning tulemused kinnitavad üpris ühemõtteliselt kvantmehhaanika ennustusi [4] (joon. 1, 2). Tekkis olukord, kus midagi peab vale olema süsteemis, mis koosneb järgmistest elementidest:

- 1) üldised loogikaprintsiibid,
- 2) kvantmehhaanika,
- 3) relatiivsusteooria,
- 4) varjatud parameetrite hüpoteesi ekslikkus.



*Joon. 2.* M. Lamechi—Rachti ja W. Mittigi poolt 1976. aastal sooritatud katse tulemused. Katsest saadud punktid on antud koos veaga. Alumine joon vastab kvantmehhaanika, ülemine J. S. Belli ennustustele. Abstsisseljele on kantud polarisatsioonianalüsaatorite vaheline nurk, ordinaatteljele korrelatsioon.

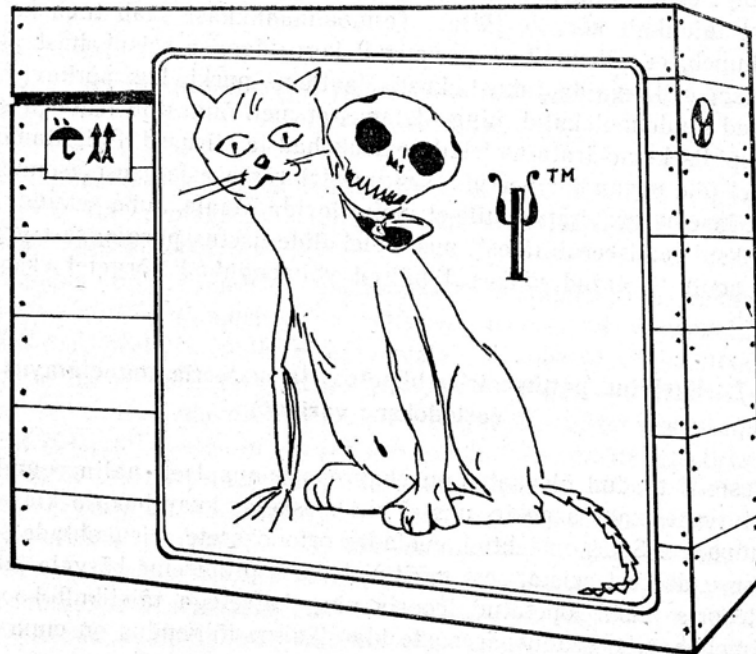
Seega ei saa isegi Belli tööde põhjal kindlalt eitada varjatud parameetrite olemasolu. Probleem kvantmehhaanika varjatud parameetritest jääb püsima ning seda arvab ka Bell ise [8]. Selline tähenärimine ei leiaks siiski erilist kõlapinda, kui kvantmehhaanika ka ise selleks põhjust ei annaks.

## 6. Kvantmehhaanika kui lõpetamata teooria

Kõrgkoolis tutvustatakse kvantmehhaanikat kui üldistatud klassikalist mehhaanikat, sest on täidetud vastavuspriintiip: üleminekul  $n \rightarrow 0$  läheb kvantmehhaanika tõepoolest üle klassikaliseks mehhaanikaks. Vahemärkusena on siinkohal sobiv meelde tuletada eesti füüsikateoreetiku P. Kardi nimega seotud mittevastavuspriintiipi, mis autori enda sõnastuses kõlab nii [8]: «Mittevastavuspriintiip seisneb selles, et igas küllalt fundamentaalses uues teoorias leidub alati teatav element, mis kõige sügavamalt väljendab selle teooria olemust, on vanale teooriale täiesti võõras, aga piir-

protsessile ometi ei allu. Kvantmehhaanikas on selleks elemendiks kvantmehhaaniline superpositsiooniprintsiip.»

Kvantteooriale ainuomane puudus on aga see, et üldisema teooriana ei tule ta mõõtmisteooria tegemisel toime oma klassikalise piirjuhuta. Mõõtmiste probleem tekib kvantmehhaanikas seetõttu, et kvantsüsteemi ja mikroskoopilise mõõteriista vastastikune mõju pole kirjeldatav kvantmehhaanika fundamentaalse liikumisvõrrandiga — Schrödingeri võrrandiga [7]. Peab sisse tooma makroskoopilise ehk klassikalise objekti, mis käitub põhimõtteliselt erinevalt mikroobjektidest. Seda erinevust illustreerib hästi «Schrödingeri kassi» paradoks (joon. 3). Kujutlege kasti, milles on kass, mürgise gaasi ampull, radioaktiivne preparaat ja seade, mis purustab ampulli teatud hulga aatomite lagunemise järel. Olgu preparaadi aktiivsus selline, et ampull purustatakse ööpäeva jooksul tõenäosusega 0,5. Kui see sündmus aset leiab (aga see on juhuslik), siis kass sureb. Käivitanud katse, on meil ööpäeva pärast tõenäosusega 0,5 surnud kass ja tõenäosusega 0,5 elus kass. Kvantmehhaanika kirjeldaks kasti olekut elusa ja surnud kassi olekufunktsioonide superpositsioonina ning alles kasti avades realiseeruks konkreetne tulemus. Teisest küljest ei kahtle me, et tegelikult on kassis ainult kas elus või surnud kass. Schrödinger lisas mürgiselt, et kes seda hästi ei usu, võib kujutleda ennast kassi asemele. Oleme sunnitud mõõnma mikro- ja makroobjekti põhimõttelist erinevust.



Joon. 3. Schrödingeri kass. A. Kuperjanovi joonistus.



Kuidas aga tõmmata püri mikro- ja makroobjektide vahele? Kust algab üks ja lõpeb teine? Osutub, et selleks pole võimalik leida mõistlikku eeskirja. Kui nüüd lisada, et kvantmehhaanika keelab oma tõenäosuslikkuse päritolu selgitamist või Plancki konstandi sügavama sisu mõistmist, siis ei ole midagi imestada, et praegugi leidub teadlasi, kes peavad võimalikuks kvantmehhaanika tagasiviimist jäigale determinismile, olgu või tunnetamatute varjatud parameetrite abil. Lõpuni aus on olnud nendes küsimustes L. Landau, kes arvab, et kvantmehhaanika on praktilises mõttes väga kasulik, kuid teoreetilises ja metodoloogilises plaanis lõpetamata, mistõttu tema postulaate tuleb lihtsalt kas uskuda või mitte.

Toetudes käesolevale ja eelmisele punktile saab teatud järeleandmisega sõnastada kaks võimalust mikromaailma kirjeldamiseks.

1. Kvantmehhaanika on suletud (või vähemalt tulevikus suletav) teooria, mille tõenäosusliku iseloomu kohta pole põhimõtteliselt midagi öelda, selline lihtsalt on mateeria loomus. Nimetame selle seisukoha ortodoksseks.

2. Kvantmehhaanika on empiiriliste reeglite kogum ja tema tõenäosulik olemus tuleneb mikroosakeste sisemisest struktuurist. Kvantmehhaanika on küll olemuselt tõenäosulik ja selline kirjeldus on ligikaudne, aga paratamatu, järeldudes suure hulga varjatud parameetrite koosmõjul tekkinud kvalitatiivsest hüppest. Sellised üldistatud varjatud parameetrid eksisteerivad samas mõttes nagu termodünaamikas. Nimetame selle seisukoha ketserlikuks.

Kuigi esimene kirjeldatud võimalus on paremini põhjendatud, ei saa ka teist täielikult kõrvalda. Termodünaamikast saab tuua ka näite, kust ilmneb, et vähemalt eksperimendi korraldamise seisukohast jääb determinism ei kõrvalda juhuslikkust. Vaatleme purki, kus pörkuvad kerakujulised mudelmolekulid, ning oletame, et meil õnnestub leida ja sellega ka edaspidiseks määrata molekulide asukohad ja kiirused. Paigutame nüüd Siiriusel ühe grammi ainet ühe sentimeetri võrra esialgselt asendist kõrvalle ja laseme gravitatsioonilisel mõjul levida Maale. Juba sekundi murdosa jooksul realiseerub täiesti uus molekulide asetus purgis, sest gravitatsiooni poolt tekitatud väikesed häired võimenduvad pörgetel eksponentsiaalselt.

## **7. Varjatud parameetrite hüpotees ja mateeria tunnetatavus (ortodoksne variant)**

Eespool toodud ülevaates on ebaoproportsionaalselt palju ruumi kulutatud tutvustamiseks aspekte, mis ei ole kooskõlas kvantteooria klassikalise tõlgendusega. Seda on tehtud, eeldades ortodokssete seisukohtade suutlikkust ise enda eest seista, sest mõõtmisteooria probleeme kõrvaldes jättes on kvantteooria siiski lõpetatud teooria ning katsetega täielikult kooskõlas. Kvantmehhaanika seaduspärasuste klassikaline tõlgendus on ennast tõestanud ja arenenud tugevas kriitikatules.

Seisukohalt, mille järgi põhjuslikkus on üldine ja universaalne seos

nähtuste vahel, pole kvantmehhaanilises põhjuslikkuses midagi kummalist. Ka kahe suuruse vahelist määramatust võib käsitleda kui piiri, millest alates need kaks üldse korraga mõtet omavad [9]. Kõik hädad algavad aga sellest, et enamik loodusteadlasi ei suuda olla järjekindlad dialektikud ning mehhanitsism viib ikkagi lõpuks müstitsismi või katsetele taastada Laplace'i determinism.

On usutav, et mõõtmisteooria täpsustamisel ilmneb EPR-paradoksi tüüpi raskuste tulenemine otseselt mõõtmisaktist. Juba ainuüksi väide «mõõdame mingil hetkel» ei oma praegu veel ranget sisu, rääkimata mõõtmise ja objekti omavaheliste mõjude sisust. Kvantteooria sulgemine võtab varjatud parameetrite pooldajatelt ara viimased hädised tugipunktid, mis neile veel jäänud on. Loodus on ammendamatu ning kvalitatiivselt uut tüüpi seaduspärasuste olemasolu tavapärasest väga erinevate mastaapide maailmas peaks olema pigem ootuspärane kui ootamatu.

Praktika kui tõe kriteeriumi seisukohalt on kvantmehhaanika äärmiselt tõene teooria ning senikaua, kuni katse meid selleks ei sunni, pole mõtet laskuda spekulatsioonidesse. Kaudne argument selle väite kasuks on ka varjatud parameetrite hüpoteesi ajalugu. Iga järgnev tulemuslik uurimus on vähendanud võimalusi, et see hüpotees kehtib. Seepärast pole patt kujundada endas veendumus juba peaaegu kindlalt tõestatud faktis: varjatud parameetreid pole olemas.

Mateeria on tunnetatav ka 'mikromaailmas ja seda tõestab eelkõige kvantmehhaanika rakendamine praktikas. Üksikasjade ebaselgus ei pea niivõrd eduka teooria puhul tähendama veel selle ebatäpsust.

## **8. Varjatud parameetrite hüpotees ja mateeria tunnetatavus (ketserlik variant)**

Senikaua, kuni kvantmehhaanika veel pole loogiliselt lõpetatud teooria ja võib-olla ei saagi selleks, ei tohi varjatud parameetrite küsimuses langetada lõplikku otsust.

Viiendas punktis jõudsime vastuolude tunnistamisele süsteemis, mille elementideks on loogikaprintsiibid, relatiivsusteooria, kvantmehhaanika ja varjatud parameetrite puudumine. Arvatavasti oleksid vähemalt spetsialistid praeguseks juba jõudnud harjuda kvantmehhaanika statistilise olemusega, kui mitte seda tüüpi vastuolud ei sunniks edasi urgitsema. Võimalik, et süsteemi vastuolulisus tuleneb puudulikust mõõtmisteooriast. Sel juhul jõuame otsaga tagasi eelmisse punkti. Kui aga vastuolu on sügavam laadi? Varjatud parameetrite otsijate kasuks võib sõnastada mõneti vaieldava mõistliku reegli: ei tohi loobuda ühestki füüsikas kasulikuks osutunud seaduspärasusest enne, kui on ilmne, et teisiti mitte kuidagi ei saa. Teatud lootusi selle seisukoha pooldajatele annab ka eespool mainitud võimalus seletada kvantmehhaanikat klassikalise mehhaanika abil. Sellisel juhul saab kvantmehhaanika tõenäosuslikku iseloomu tõepoolest kirjeldada varjatud parameetrite suure hulga statistilisuse tagajärjena, kusjuures iga

üksiku parameetri deterministlik käitumine pole välistatud. (Oleks väga huvitav näiteks uurida, kuidas käitub jääk determinism lõpmatult jaguva materia korral, mis tähendaks täieliku algtingimuste süsteemi puudumist.)

Osutub, et ka selline seisukoht pole vastuoluline. Miski ju ei nõua, et mikroosakesed peavad ilmtingimata käituma makroosakestest kardinaalselt erinevalt. Mikrofüüsikas taastuks metodoloogilises mõttes olukord, mis oli enne kvantmehhaanika väljatöötamist. Kaoksid ara ka kvantmehhaanika poolt peale surutud viimseinstantsilised tõed, mille kohta ei tohi midagi isegi küsida (näiteks Plancki konstandi päritolu). See ketserlik variant näitaks juba praegu kujuteldava tee mikromaailma olemuse sügavamaks tunnetamiseks ega oleks sugugi metafüüsiline. Tekkiv ring meenutab dialektilist spiraali: determinismist indeterminismile ja sealt edasi determinismile uuel tasemel, sest ilmselt ei ole uus jäiga põhjuslikkuse mõiste täpselt samane praegusega. Kuivõrd tähtis on jätta täielikult ara lõikamata veel elimineerimata, ehkki väga uskumatud võimalused, näitab kas või paarsuse rikkumist tõestav katse.

## 9. Kokkuvõte

Varjatud parameetrite hüpoteesi ajalugu on sügavalt seotud meie arusaamadega materia olemusest ning tunnetatavusest. Võib öelda, et lõppjärelendus on dialektiline. Nagu tihtipeale loodusteadustes, ei ole võimalik anda ühest vastust ja pole päris selge, kas seda üldse tohibki teha. Varjatud parameetrite hüpotees pole kunagi olnud peamine vaidlusobjekt kvantmehhaanikas ning sellepärast ei olnud võimalik anda probleemist ülevaadet, käidumata pidevalt kõrvale üldisematesse probleemidesse, milleta selle eriküsimuse sisuline mõistmine olnuks raskendatud.

Varjatud parameetrite hüpotees esialgses mõttes on kindlalt tagasi lükatud. Hüpoteesi suurim teene füüsikas oli selles, et viitas praegu praktilises mõttes üldtunnustatud kvantmehhaanika ebatäiuslikkusele. Kuuekümnendatel aastatel avaldatud tööd osutavad siiski veel lubatud võimalusele tuua varjatud parameetrid sisse uues mõttes. Kindlalt tuleb loobuda varjatud parameetritest kui võimalusest taastada mikromaailmas (sellel tasemel, mida praegu tunneme) jääk determinism. Kvantmehhaanika puudujääkide tõttu pole võimalik langetada ühest otsust nn. üldistatud varjatud parameetrite olemasolu kohta.

Kirjutise autor isiklikult on ortodokssel seisukohal ja kaldub arvama, et maailm ei ole nii lihtne, nagu loodavad kvantmehhaanika kriitikud, ning mitte mingite varjatud parameetrite abil ei õnnestu enam ligilähedaseltki taastada «kuldset aega füüsikas», mis lõppes kvantmehhaanika loomisega. Teisest küljest on ilmselt võimalik ka maailma sügavam tunnetamine ning varem või hiljem selgub kvantmehhaaniliste seaduspärasuste tagapõhi. Arutlused selle üle osutuvad praegu siiski rohkem targutusteks ning sisuline edasiliikumine saab võimalikuks alles uute eksperimentaalsete faktide valguses,

## 10. P. S.

Selles ümmarguse numbriga peatükis osutus vajalikuks vastata järgmistele küsimustele.

1. Kas loetud kirjutise koht on «Tähetorni Kalendris?»
2. Kas on mõtet teha probleemist sellist ülevaadet ning eesti keeles?
3. Kas probleemi poleks pidanud sügavamalt (või lihtsamalt) käsitleda mõni asjaga kauem ja põhjalikumalt tegelenud spetsialist?

Vastused:

1. «Tähetorni Kalender» on alati olnud koht, kus avaldatakse ka üldise füüsikalise sisuga artikkelid. See peegeldab olukorda astrofüüsikas, kus tulemused on tihtipeale osutunud eriti headeks siis, kui ollakse kursis füüsika fundamentaalprobleemidega. Hea näide on hiljuti meie hulgast lahkunud akadeemik A. Kipper, kes oskas segases astrofüüsikalises probleemis rakendada kvantmehhaanika värsked tulemused (kahefootoniline üleminek udukogudes).

Teine argument kirjutise avaldamise kasuks on see, et «Tähetorni Kalender» on ainus väljaanne, kus saab eesti keeles avaldada mitte päris lihtsustatud füüsikalise sisuga artikleid.

2. Vaadeldavas probleemis on kvantmehhaanikat võrreldud väga vajaliku ja võimeka inimesega, kelle pisipuuduse (näiteks kukla kratsimise kombe) kallal mõõdutundetult noritakse.

Võrdlus on tabav, kuid siiski ebatäpne, sest ajalugu tunneb juhtumeid, kus pisiprobleemid mingi teadusharu silmapiiril on kasvanud üle põhimõtelisteks raskusteks.

Huvi varjatud parameetrite vastu on füüsikutes olnud pidev ning eesti keeles pole autori teada sellest ülevaadet tehtud, sest probleemi on peetud liiga spetsiifiliseks. Arvestades «Tähetorni Kalendri» lugejaskonda, tahaksin uskuda, et asi pakub huvi ning sellest võib kirjutada, lihtsustamata sisu üle moonutustele viiva määra.

3. Kirjutis on oma eesmärgi saavutanud, kui ta kas või ebatäpsuste kritiseerimiseks sunnib kedagi sulge haarama, sest siis on lootust näha nii sügavamaid kui ka paremini populariseeritud käsitusi.

### Kasutatud kirjandus

1. **Aleksandrov, G. F., Böhrovski, B. E., Mitin, M. B., Judin, P. E.** Filosoofia aja lugu, 1 kd. Tartu, 1947. 598 lk.
2. **Einstein, A., Podolsky, B., Rosen, N.** Can Quantum-Mechanical Description of Reality be Considered Complete? — *Phys. Rev.*, 1935, V. 47, p. 777.
3. **d'Espagnat.** Conceptual Foundations of Quantum Mechanics. U.S.A., 1971.
4. **d'Espagnat.** The Quantum Theory and Reality. — *Scientific American*, 1979, V. 241/5, p. 128.
5. **Ахиезер А. И., Половин Р. В.** Почему невозможно ввести в квантовую механику скрытые параметры. — *УФН*, 1972, т. 107, вып. 3, с. 463—487.
6. **Bell, J. S.** On the Problem of Hidden Variables in Quantum Mechanics. — *Rev. Mod. Phys.*, 1966, V. 38, p. 447.
7. **Вигнер Е.** Этюды о симметрии. М., 1971. 317 с.
8. **Кард П. Г.** Принципы несоответствия. — *Ученые записки Тартуского государственного университета*, 1975, вып. 360, с. 21.
9. **Valt, L.** Mis on kvantmehhaanika. Tallinn, 1960. 46 lk.