

TARTU RIIKLIK ÜLIKOOI

Üldfüüsika kateeder

AATOMI MUDELID TUNNETUS-
VAHENDINA

Diplomitöö

Antoni Vintimäe
M. E. Mäe
[Signature]

Teostaja: A. L a n g
füüsika os.V kursuse
üliõpilane.

Juhendaja: L.V a l t
filosoofiakateedri
vanemõpetaja.

S i s u k o r d

	lk
1. Sissejuhatus	4
2. Mudeli mõiste, mudelite liigid	6
3. Aatomimudelite ajalooline areng	11
II Mudeli tunnetuslik funktsioon	51
1. Abstraktsioon	52
2. Analüüs ja süntees	57
3. Hüpotees ja analoogia	64
4. Probleemi idealistliku ja metafüüsilise käsitluse kriitika	71
5. Kokkuvõte	79
III Kirjanduse nimistu	
1. Töös tsiteeritud materjalid	80
2. Ajavahemikku 1890 - 1924 kuuluv kirjandus aatomis struktuuri kohta	84

S i s s e j u h a t u s

Maailm koos oma nähtustega on olnud aastatuhandeid inimkonna uurimisobjektiks. Esialgset oletused ja arvamused maailma ehitusest ning temas toimuvate nähtuste olemusest kujunesid inimestel looduse vaatlemisel. Selline moodus oli passiivne, kuid inimestel polnud teada vahendeid, millega nad oleksid saanud ise esile kutsuda looduses toimuvaid nähtusi. Samuti ei suutnud inimesed kauges minevikus oluliselt vahele segada looduses toimuvatele nähtustele.

Juba vanal ajal püüti leida elementaarsed olemused, millest koosneb maailm, märgib nõukogude füüsik M.A. Markov k.l. . Selles küsimuses tekkis kaks arvamust ja nende vahel käis pidev võitlus. Ühelt poolt oli Demokriose diskreetsuse (atomismi) idee, teiselt poolt aga Empedoklese pidevuse idee. Diskreetsuse idee seisnes oletuses, et maailmas eksisteerivad kehad koosnevad aatomitest, mis omavad küll väga väikest, kuid siiski lõplikku suurust. Pidevuse idee pooldajad aga väitsid, et kõik kehad on jaotatavad ükskõik kui väikesteks osadeks.

Atomistika loob tavaliselt konkreetset mõttelised "mudolid" materia struktuurist. M.A. Markov märgib, et ajaloo õppetunnid on olnud sellised, et idee - "miski"

koosneb " millestki" - osutus alati õigeks.

Füüsika arengu erinevatel etappidel on muutunud ettekujutus aatomitest enestest ja samuti aatomite omavahelisest seosest / s.t. viisist, kuidas aatomid omavahel on ühinenud, moodustades objektiivses reaalsuses eksisteerivaid kehi/. Lucretius Carus arvas, et aatomid ühinevad haagikeste ja konksukeste abil. Selline ettekujutus on mehhanistliku maailmapildi eelkäijaks. Kuid tehnika areng andis tõuke mehhaanika seaduste väljatöötamiseks. Viimase küsimuse lahendas enam-vähem täielikult I. Newton. M.A. Markov ütleb, et mehhaanika seadustele püütigi taandada " Maailma Teooriat". Sellepärast tekkis möödunud sajandi lõpus füüsikute seas arvamusi, et kõik avastused füüsikas on tehtud ja jääb vaid üle füüsikaliste suuruste järjest täpsem mõõtmine.

Pidevalt täiustuv eksperiment kummutas arvamuse, et mehhaanika seadustega on loodud "Maailma Teooria", kuna uusi avastusi /radioaktiivne kiirgus, katoodkiirtegevastamine, Michelsoni katse / ei saadud enam kuidagi viia mehhaanika raamidesse.

Aatomiteooria ajalugu on pikk, kuid tema suurimad edusammud kuuluvad XX sajandisse. Kaasaegse atomismi erinevuse eelnevast võtab M.A. Markov kokku sõnades: "Elementaarosakeste tekkimise ja kadumise võimalikkus,

õigemini, elementaariosakeste vastastikune muundumine - see on erinevalt varemast /tinglikult ütleme, njuutonlikust/ atomismist kaasaja atomismi täielikult uus ja fundamentaalne joon". k.l, lk.58

Tutvudes lähemalt mitmesuguste teadusharude arenguga torkab silma, et nendes kasutatakse laialdaselt mitmesuguseid mudeleid. Ka aatomfüüsika ajalugu tunneb paljusid mudeleid. Mõned neist on oma mitteadekvaatsuse tõttu kiiresti muutunud ajalooliseks episoodiks. Teisi on aga pidevalt täiendatud ja nende põhjal on ühtlasi jõutud ka täiuslikumatele mudelitele.

Mudelite gnoseoloogiline külg on dialektilise materialismi seisukohalt leidnud vähest vaatlemist, küll on aga kodanlikud filosoofid /Hutten, Hesse jt./ seda küsimust käsitlenud idealistlikelt seisukohtadelt.

Käesolevas töös püütakse käsitleda aatomimudelite gnoseoloogilist külge.

Enne kui minna konkreetse küsimuse juurde, aatomimudelite gnoseoloogilise külje uurimisele, tuleb aga selgitada millises tähenduses siin kasutatakse sõna "mudel", millisesse mudelite klassi aatomimudelid kuuluvad. Samuti tuleb anda ajalooline ülevaade aatomimudelite arengust. Kõike seda püütaksegi teha järgnevas töös.

2. M u d e l i m õ i s t e , m u d e l i t e l i i g i d

Termin "mudel" omab erinevates teadusharudes erinevat tähendust, sellepärast tuleb määratleda mudelite klass, millistesse kuuluvad uuritavad mudelid.

Sõna "mudel" kasutatakse järgmistes, täiesti erinevates tähendustes:

- 1/ mudel = näidiseksemplar millestki
- 2/ mudel kui millegi enam-vähem täpne koopia
- 3/ mudel kui objekt, mis kuulub kujutamisele teises vormis /modell/.

Viimase tähenduse järgi mudeleid leiame kunstis. Siit nähtub, et töös uuritavad mudelid kuuluvad mudeli mõiste 2/ alla. See mudeli mõiste haarab aga väga paljusid mudeleid peale aatommodelite, sellepärast peab veelgi lähemalt piirama töös uuritavate mudelite kohta. Sellega seoses tekib paratamatult probleem mudelite klassifitseerimisest.

Tavaliselt jaotatakse mudeleid füüsikalisteks ja matemaatilisteks k.2 .

1/ Objekti A füüsikalise mudeli all mõeldakse materiaalselt objekti B, mis kujutab objekti A, säilitades tema füüsikalise olemuse ja geomeetrilise sarnasuse. Selline mudel erineb objektist /originaalist/ mõõde-

telt, protsesside kulgemise kiiruselt jne.

Kui on täidetud sarnasuse ja ühesuse tingimus sellise mudeli puhul, siis tulemused, mis saadakse mudeli uurimisel võib lugeda kehtivaks objekti /originaali/ kohta.

2/ Objekti A matemaatilise mudeli B all mõeldakse objekti, mis peegeldab A-d või mõningaid tema omadusi, omades seejuures teistsugust füüsikalist olemust, ehk mitte säilitades geomeetrilist sarnasust. Matemaatiline modelleerimine on rajatud sellele, et erinevaid füüsikalisi protsesse kirjeldavad ühesugused matemaatilised võrrandid. Nende protsesside hulgas võib olla selliseid, mida on lihtsam realiseerida ja millede kvantitatiivseid karakteristikeid on kergem mõõta. Need protsessid ongi mudeliteks teistele, mida kirjeldatakse sama võrrandiga.

Selline mudelite klassifikatsioon ei haara aga veel kõiki mudeleid, mis omavad koopia iseloomu. Nimelt ühelt poolt loogilisi /sümboolseid/ ja teiselt poolt mõttelisi, kujuteldavaid mudeleid.

Loogilises ja matemaatilises kirjanduses kasutatakse veel üht mudeli mõistet. Siin mudeli all kujutatakse formaalse, deduktiivse süsteemi konkreetset interpretatsiooni, s.t. sellist reaalsete objektide valdkonda, kus rahuldatakse teatav aksiomide süsteem, samuti kõik järeldused, mis tulenevad sellest süsteemist loogika seaduste alusel.

Seega mistahes realiseering, mille puhul on rahuldatud kõik teooria T väited, nimetatakse T mudeliks. Üks aksioomide süsteem võib omada erinevaid realiseeringuid, erinevaid omavahel isomorfseid mudeleid. Kaks süsteemi on omavahel isomorfsed, kui eksisteerib vastastikku ühene seos nende elementide ja seesmiste suhete vahel.

Kui kaks süsteemi on omavahel isomorfsed, siis igat fakti, mis on avastatud ühes realiseeringus, võib tõlgendada kui fakti teises realiseeringus.

Kuigi erinevates teadusharudes kasutatavate mudelite tähendus on erinev ja sõltub sellest, millisest küljest on modelleerimise küsimus püstitatud, on kõikidele mudelitele ühiseks omaduseks see, et mudel on alati enam-vähem täpne originaali koopia või kujutis. Mudeli üldiseks aluseks on objekt /materiaalne või kujuteldav/, mille uurimine annab informatsiooni teisest objektist /originaalist/.

L. Valt /suusõnaline teade/ leiab, et mudeleid on otstarbekas klassifitseerida:

1. E s e m e l i s e d m u d e l i d .

Siia kuuluvad kõik materiaalsed objektid, mis imiteerivad teiste objektide struktuuri või funktsiooni ja on nendega sellises vastavuses, et andmed, mis on saadud mudeli põhjal, omavad selle vastavuse põhjal originaali karakteristikute väärtust. See on geomeetriline või funktsionaalne sarnasus. Siia kuuluvad füüsikalised mudelid

/säilitavad originaali füüsikalise iseloomu/, samuti matemaatilised mudelid, mis on rajatud võrrandite sarnasusele, mis kirjeldavad originaali dünaamikat /masinate vähendatud mudelid, elektrilised mudelid soojuslikele nähtustele jne./.

2. Kujuteldavad, mõttelised mudelid.

Nad ei eksisteeri kui iseseisvad materiaalsed esemed, vaid kui teatav ettekujutus originaalist, mis on loodud analoogia põhjal varem tundud, rohkem uuritud nähtustega. Toetudes sellisele ettekujutlusele mudelist ja teades uuritava üldisi omadusi, võib matemaatiliste või loogiliste ehitustega interpreteerida ^{mudelit} kui võimalikku originaali kirjeldust. Selliste mudelite hulka kuuluvad ka aatomimudelid, mis moodustavad ühe osa füüsikalise - teoreetilistest mudelitest.

3. Loogilis - matemaatilised / sümboolsed / mudelid.

Need mudelid ehitatakse kui loogilised või matemaatilised arvutused. Selliseid tuleb eristada mudelite 1. ja 2. matemaatilisest kirjeldusest. Sellise mudeli elemendid ei oma enam otsest sarnasust originaali elementidega, nad ei kujuta, kopeeri neid, vaid ainult tähistavad. Teravikuna aga loogiline mudel on tegelikkuse peegeldamine. Märkidega opereerimise reeglid tulenevad loogika seadustest,

mis lõppkokkuvõttes peegeldavad objektiivset maailma.

Tunnetuse arendamine esemeliste mudelitega sisaldab endas alati sisulisi operatsioone nendega /eksperiment, mõõtmine/. Kujuteldavale loogilis-matemaatilisele mudelile omistatakse fikseeritud tõkked, mis väljendavad uuritava nähtuse liigi üldisi seaduspärasusi; andmeid nendest mudelitest eraldatakse järeldusena, formaliseeritud operatsioonide teel. Selles seisneb esemelise ja mõttelise mudeli erinevus.

Nagu oli juba mainitud, kuuluvad aatomimudelid mõtteliste mudelite klassi, seega ka mudelite gnoseoloogilise külje uurimine, mida tehakse järgnevas töös, kehtib mõtteliste mudelite kohta.

3. Aatomimudelite ajaloo- line areng

Enne kui siirdume aatomi sisemise ehituse uurimisele, tuleb peatuda õpetusel aatomist kui jagamatust osakesest. Selline ettekujutus aatomist valitses peaaegu 2500 aastat, sest selle aja jooksul ei olnud teadusel küllaldaselt fakte, et seda kummutada.

A. Aatom - jagamatu osakene.

a/ Leukippos ja Demokritos /5.s.e.m.a./.

Käsitleme Leukippose ja Demokritose õpetust aatomitest koos, sest nad omistasid aatomitele ühesugused omadused.

Nende arvates koosneb kõik ümbritsev aatomitest ja absoluutsest tühjusest, kusjuures aatomit kujutatakse absoluutselt kõvana ja läbistamatuna. Tühjust iseloomustatakse kui absoluutset läbitavust, mis loob tingimuse liikumiseks.

Leukippos ja Demokritos omistavad aatomitele järgmised omadused. Aatomid on 1/ igavesed; 2/ muutumatud ja jagamatud; aatom on jagamatu ühik, milles pole osi. Aatomi seesmine olek muutuda ei saa, sest kus pole osi, seal pole ka ümberpaiknemist; 4/ Nad on absoluutselt tihedad; 5/ aatomitel on omadus lõpmatult liikuda tühjas lõpmatus ruumis.

Need olid kõigi aatomite ühised omadused. Peale nende

on aatomitel teisi omadusi, mille poolest nad üksteisest erinevad. Need omadused on: 1/ kuju-aatomid võivad olla lõpmatult erikujulised nagu on lõpmatu aatomite arvgi; 2/ suurus - mõõted võivad olla erinevad, kuid kõik aatomid on niivõrd väikesed, et isegi mõtteliselt ei saa neid jaotada osadeks; Demokritos lisab aga juurde, et kuigi aatomid on väga väikesed, ei saa nende suurus olla null, sest iga keha, kujutades endast aatomite kogu, omab lõplikku suurust; 3/ asend ruumis - aatomid võivad ruumis asetseda lõpmatult erinevalt.

Leukippos ja Demokritos väidavad, et ümbritsevad kehad koosnevad aatomitest ja kehade erinevus tuleneb sellest, et neid moodustavad aatomid on kas erineva kujuga, erineva suurusega või eriviisiliselt ühinenud.

Nad omistasid aatomitele liikumise lõpmatus tühjas ruumis kui lahutamatu atribuudi ja väitsid, et liikumise vorme on lõpmatult palju, sest lõpmatult palju on ka aatomite erikujusid. Sealjuures nad ei ütle aga midagi liikumise põhjusest. Selle kohta märgib nõukogude filosoof V.F. Asmus järgmist: "Atomistid ei püstita küsimust liikumise põhjusest mitte "hooletuse" pärast, vaid sellepärast, et aatomite liikumine näis nendele aatomite eneste põhiomadusena. Kui põhiomadus, ei nõua ta põhjuse selgitamist. Kuid ta pole ka filosoofi meelevaldne väide sellest, mis toimub meeleliselt nähtamatus ja tajumatus piirkonnas. Väga väi-

keste, meile nähtamatute aatomite liikumise teooria tun-
gib meie mõistusse meeleliselt tajutavate looduses toimu-
vate protsesside ja nähtuste jälgimisel" K. 3, lk. 11

b. Lucretius, Carus /l.s.e.m.a./.

Lucretius Carus tõstis vahepeal soikunud Leukippose
ja Demokritose õpetuse uuesti üles. Lucretius ei kasuta
terminit "aatom", vaid asendab selle väljendustega "asjade
algus", "seemned" jne., kuid sisuliselt on nad samased aato-
mitega. Nendel "seemnetel" on järgmised omadused: Nad on:
1/ igavesed ja jagamatud; 2/ nendel on tihedus ja raskus;
3/ nad on niivõrd väiksed, et pole nähtavad; 4/ on ühesugu-
sed oma massilt; 5/ läbistamatud.

"Seemned" võivad üksteisest erineda suuruse ja kuju
poolest. Nad on Lucretiuse järgi lihtkehad, materia vähi-
mad osakesed, mis on muutumatud ja purustamatud ning mil-
lest koosnevad ümbritsevad lihtkehad.

Lucretius väidab, et kuigi aatomitel on palju eriku-
jusid, pole see erinevus kujus lõpmatu /erinevus, võrrel-
des Demokritosega/. Lõpmatu on vaid aatomite arv.

Lucretius väitis, et aatomi suurus ei saa olla null,
sest ümbritsevad lõplikud kehad koosnevad neist. Kui aa-
tomi suurus oleks null, siis saaksime ümbritsevate kehade
jagamisel osadeks minna lõpmata kaugemale ja lõpuks ei
jääks midagi järgi. Seega oleksid ümbritsevad kehad tek-
kinud eimillestki. Lucretiusel avaldub aimdus materia

absoluutsusest.

Aatomid on Lucretiuse järgi pidevas liikumises. Ta jaotas aatomite liikumise kolme liiki : 1/ liikumine tõukest ; 2/ liikumine allapoole raskusjõu mõjul ; 3/ vaba kõrvalekaldumine vertikaalsihist.

Mateeriat käsitles ta arenevana, sest aatomid on pidevas liikumises ja astuvad sel teel endi vahel loendamatusesse ühendustesse, milledest tekivad kõik loodusnähtused. Lucretius püüdis kõiki nähtusi selgitada atomistika seisukohalt isegi elu tekkimist ja psüühikat.

Sellised olid antiikmaterialistide ettekujutused aatomitest.

Peale Lucretiust ei puudutatud peaaegu 17 sajandit atomistlikku õpetust. Atomistliku õpetuse taaselustas 17. saj. P. Gassendi /1592- 1655/.

Ta väidab, et aatomid on lihtsaimad, jaotamatud, igavesed maailma elemendid. Materia on Gassendi arvates liitkeha ja koosneb aatomitest. Sellest võib järeldada, et materia nagu aatomidki on hävimatu. P.Gassendi seega formuleerib ühelt poolt materia hävimatuse printsiibi, teiselt poolt aga väidab, et meeleliselt tajutav maailm loodi jumala poolt eimillestki ja tal on algus ja lõpp. Kõik ümbritsev sisaldab kahte asjade algust : materiat ja tühjust. Gassendi ja antiikmaterialistide vaadetes on ka erinevus. Kui antiikmaterialistid püüdsid kõiki

nähtusi seletada atomistika seisukohalt, siis Gassendi toob sellele lisaks ka jumala kui maailma looja. Selles avaldub osalt hirm kiriku vägivalla ees.

Gassendi arvates aatomid erinevad üksteisest suuruse, kuju ja raskuse poolest. Aatomid pole matemaatilised punktid, vaid väga väikesed, nähtamatud kehakesed. Kõige tähtsamaks aatomi omaduseks peab ta kaalu. Kuna aatomid asuvad tühjuses, siis nende raskus on nagu stiimuliks, seesmiseks allikaks, mis tingib lakkamatu liikumise. Siit näeme, et Gassendi püüab näidata ka liikumise põhjust. Liikumine on aatomite igavene ja lahutamatu omadus. Aatomite ühendus kehas seisneb selles, et pörkudes /aatomid liiguvad tühjas ruumis igas võimalikus suunas ja seega pörkuvad/ nende kiirused vähenevad ja nad liituvad.

Aatomitega seletas Gassendi ka psüühilisi nähtusi ja reageerimist ärritusele, kui aatomite ümberpaiknemist ajus.

d. M. V. Lomonossov /1711 - 1765/

Faktist, et keemilistes analüüsides ükski keha ei saa laguneda lõpmatuks hulgaks elementideks või aineteks, jõudis M.V. Lomonossov järeldusele, et eksisteerivad elementaarsed osakesed, millest ained ja kehad koosnevad. Nende osakeste omadusteks pidas ta, jälgides varasemate atomistide õpetust: läbitungimatust, kõvadust ja inertsi. Nende osakeste vastastikune mõju avaldub tõugetena, kaugmõju puudub. Osakeste liikumine saadakse teistelt osakes-

telt, mis kaotavad niipalju liikumist, kuipalju sai esime-
ne osakene juurde.

Lomonossov sidus elementaarsed osakesed keemiliste elementidega. Liitosad - korpuskulid /vastavad molekulidele/, lihtosad - elemendid, korpuskulid koosnevad elementidest.

Soojusliikumine on Lomonossovi järgi elementaarsete osakeste pöörlev liikumine. Lomonossov oletas, et tahkes kehas elementaarsed osakesed puudutavad üksteist ja seega on võimalik ainult pöörlev liikumine. Siit järgneb, et Lomonossovi kujutluse järgi pidid elementaarsed osakesed oma ma kera kuju.

e. I. Newton /1643 - 1727/

I. Newton ei käsitle atomistlikku õpetust detailselt, kuid tema töödes avalduvad mõtted mateeria ehitusest. I. Newtoni vaated ja järeldused selles küsimuses võtab kokku S.I. Vavilov k.4, lk.274. Need on:

"1. Mateeria on diskreetne ja omab erakordselt poorset struktuuri.

2. Selle struktuuri aluseks on tihedad, võib-olla absoluutselt tihedad ja muutumatud elementaarsed osakesed.

3. Need osakesed on omavahel seotud eriliste jõududega moodustades eelkõige erakordselt tugevad, kompaktsed süsteemid väga väikeste mõõdetega. Need süsteemid moodustavad oma-

V korda uued, vähempüsivad ja suurema ruumalaga süsteemid, kuni meie suure keha moodustamiseni. Osakeste vahelised jõud võivad olla mõnikord elektrilised.

4. Kehade keemilised ja optilised omadused määratakse seesmiselt nõrgalt seotud liitsüsteemide vastastikuse tugevusega. Keemiliste elementide üksteiseks muutumise võimatus on seletatav aine osakeste vahelise väga tugeva jõu olemasoluga, millede purustamiseks /mille puhul oleks üleminek teiseks elemendiks/ on vaja erilisi akte.

V 5. Keemilised muutused ja keemilised omadused määravad osakesed, mis on suurusjärgus 10^{-5} sm.

6. Soojus vastab erineva keerukuse astmega osakeste liikumisele".

B. A a t o m - l i i t o s a k e n e

19. saj. algul esitas Prout hüpoteesi, et kõik aatomid koosnevad vesiniku aatomitest. See ei leidnud kinnitust, sest aatomkaalude täpsel määramisel selgus, et need ei ole vesiniku aatomi kaaluga täisarvkordsed.

L.P. Kubis K. 5 ütleb, et alles 19. saj. viimane kolmandik tõi endaga kaasa lahkhelisid füüsikute ja keemikute keskele põhilisest ideest aine ehituse kohta. Selle põhjuseks olid 1869.a. avastatud katoodekiired. Samas Kubis märgib, et inglise teadlane Crookes, esinedes Briti teadlaste ühingu konverentsil 1874.a., väitis, et katoodekiired

on sellised osakesed, mis kuuluvad aatomi koosseisu. Kuna aga põlnud veel kindlaid tõendeid /eksperimentaalseid/ selle kohta, siis ei saadud seda väidet tunnistada enamaks kui hüpoteesiks. Sellised arvamused olid ka mõnedel teistel teadlastel, kuid nad ei avaldanud oma mõtteid teistele.

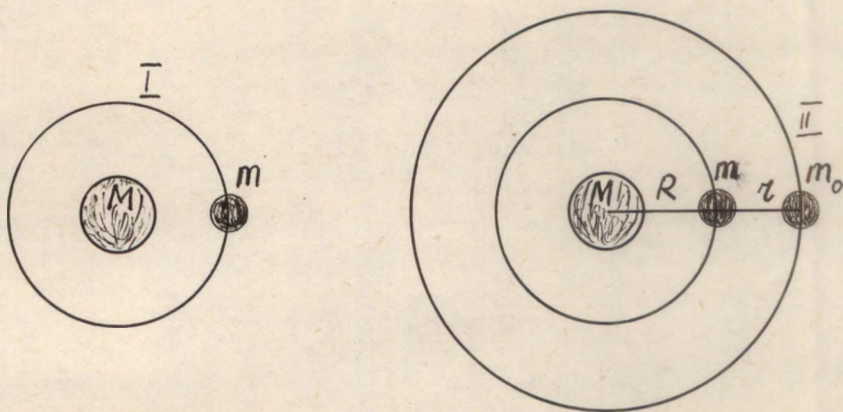
P.N. Lebedev oli teinud oma päevikusse 22. jaanuaril 1887.a. järgmise sissekande: "Iga meie algelemendi /H, O, Ba, A.../ aatom kujutab endast täielikku päikesesüsteemi, s.t. koosneb mitmesugustest aatomplaneetidest, mis tiirlevad erinevate kiirustega, või liiguvad mõnel muul viisil ümber tsentraalse planeedi iseloomulikult perioodiliselt. Perioodid on väga väikesed /meie mõistete järgi/..." K.6, lk. 327

J.J. Korjakin K.7, lk. 33 märgib: "Mendelejev arvas, et "aatomite maailm on ehitatud samasuguselt nagu taevakehade maailm, oma päikestega, planeetidega ja sputnikutega".
Kõhuks pole korjakin viidanud Mendelejevi artiklile, millises esineb selline arvamus. Seega jääb autorile teadmatuks, kuidas Mendelejev konkreetselt kujutas nende planeetide ja sputnikute liikumist.

L.P. Kubis K.5 viitab vene õpetlase Tšitšerini hüpoteesile aatomi struktuuri kohta, mis kuulub 19. saj. 80-90.-desse aastatesse. Nagu eelnevast nägime, polnud sel ajal veel avastatud aatomi koostisosi /elektron/. Tšitšerini lähtus katselistest andmetest aatomkaalude kohta, elementide tihedusest ja Mendelejevi perioodsuse seadusest.

1. Tšitšerini mudel

Oma arutlustest jõudis Tšitšerin loogilise kujutluseni, et aatomite moodustamise protsess toimub lihtsaimast, vesiniku omast /I/ /sama väitis sajandi algul ka Prout/, kusjuures massi suurenemine toimub igas uues aatomi kattes /II/



Tšitšerin võttis oma uurimise aluseks aatomisiseste osakeste gravitatsioonilise mõju. Osakene m paikneb ümber niikaua, kuni jõud f_0 ja F /gravitatsiooni tõmbejõud m_0 ja M poole/ pole võrdsed. M -i gravitatsioonilisest mõjust m_0 ja m -ga seletatakse suurem või väiksem hõrenemine aatomis /tiheduse vähenemine/. Mida suurem on tuuma tõmbejõud, seda suurem on tihenemine, mida suurem on ümbritsev mass, seda rohkem osakesed eemalduvad tsentrist, seda rohkem nad on lahus, s.t. seda rohkem toimub hõrenemine. Järelikult

$$F = \frac{mM}{R^2} = f_0 = \frac{mm_0}{r^2}; \quad \frac{R^2}{r^2} = \frac{M}{m_0}; \quad R^2 = r^2 \frac{M}{m_0}$$

Aatomite ruumala ja erinevate elementide tihedus muutub aatomkaalu muutudes perioodiliselt, seda näitab ka Mendelejevi perioodsuse seadus.

Tšitšerin oletas, et kogu mass on põhiliselt koondunud tuuma m ja $m_0 \ll M$. m ja m_0 on pidevas pöörlemises. Aatomkaalu muutusega muutub ka pöörlemise kiirus perioodiliselt. Peale selle arvas Tšitšerin, et aatom tervikuna pöörleb ümber seisva telje.

Sellise kirjelduse annab L.P. Kubis Tšitšerini mudeli kohta. Selles kirjelduses jääb aga arusaamatuks, mida on mudelis mõeldud tuuma all ja kas vesiniku aatomil on ka tuum. Samuti pole märgitud seda, kas igas uues aatomi kattes esineb vesiniku aatom /kui ta ise on jagamatu/.

L.P. Kubis ütleb, et Tšitšerini mudel oma olemuselt oli planetaarne ja see oli loodud 20 aastat enne Rutherfordi, keda loetakse planetaarse aatomimudeli loojaks. Kubis väidab nagu oleks Rutherfordi mudel analoogne Tšitšerini omaga. Tegelikult need mudelid erinevad teineteisest täielikult. Seda näeme hiljem, kui käsitleme Rutherfordi mudelit.

Sellised olid oletused aatomi ehitusest kuni 19 saj. lõpuni, mil polnud avastatud aatomi koostisosi. P.S. Kuderjavtsev K. 9^a, lk. 256 ütleb: "Halb vaakum ei võimaldanud saada kooskõlalisi tulemusi vaatlustega elektrivälja mõjust katoodkiirtele ja alles 1895.a. õnnestus Perrin'il

näidata, et katoodkiired kannavad elektrilaengut". Samuti õnnestus määrata nende laengukandjate laeng ja mass, mis osutus ligikaudu 2000 korda väiksemaks vesiniku aatomi massist. Seega oli katseliselt tõestatud, et aatom pole jagamatu, jäi vaid ajalooline nimetus - aatom, mis tuleneb kreeka keelest atomos - jagamatu.

Katsetest katoodkiirtega selgus, et elektron omab negatiivset laengut. Nüüd tekkis küsimus, kuidas on elektronid aatomis asetunud ja milline on positiivne laeng, mis neid tasakaalustab, sest aatom tervikuna on neutraalne.

Itaalia füüsik A. Righi /K.8 märgib, et tekkis kaheksa arvamusi. Üks osa füüsikuid eeldas, et eksisteerivad ainult elektronid, aga see, millega nad koos moodustavad aatomi, pole midagi terviklikku, vaid omab positiivset laengut ja elektronist suuremat massi ning elektronid võivad temas liikuda vabalt. Teine osa füüsikuid aga tunnustab kahte liiki elektronide olemasolu. Oma iseloomult on need elektronid vastandlikud, s.t. positiivsed ja negatiivsed elektronid. Eeldati, et ainult negatiivsed elektronid võivad olla vabas olekus, sest katoodkiired kujutasid endast negatiivsete elektronide voogu. Sellisel juhul kujutab endast neutraalne aatom süsteemi, mis koosneb teatud arvust negatiivsetest elektronidest ja sama suurest arvust positiivsetest elektronidest. Oli veel vaja oletada, et negatiivsed elektronid eksisteerivad isoleeritult ja hakka-

✓ vad elektriliste jõudude mõjul liikuma /Zeemani efekt/. Positiivsed elektronid on aga võrratult liikumatamad.

L.S. Polak K.9^b, lk.368 märgib: "1897 - 1899 aastatel oli Wichert'i, J.J. Thomas'e ja Lenard'i poolt mõõdetud elektroni mass, laeng ja kiirus. Peaaegu samaaegselt algasid katsed ehitada positiivsetest ja negatiivsetest laengutest aatomimudel, pidades silmas kolme ülesande lahendamist: 1/ püstitada seos kiirgumis- ja neeldumisspektri joonte ning elektronide võnkumiste vahel;

2/ selgitada elementide perioodsuse süsteemi;

3/ selgitada loomuliku radioaktiivsuse nähtust."

Esimese sellise mudeli esitaski W. Thomson 1902.a. K.10 Matemaatiliselt lahendas selle ülesande J.J. Thomson ja sellepärast asumegi seda mudelit vaatlema selliselt nagu selle andis J.J. Thomson 1903.a. K.11

2. J. J. Thomson'i mudel

J.J. Thomson'i järgi on aatomi ehitus järgmine. Positiivne laeng on jaotunud ühtlaselt kogu aatomi ruumalas /aatomit peab ja sfääriliseks/. Aatomi teise osa moodustab kindel arv negatiivseid elektrone, mis liiguvad positiivse laengu sfääri sees. Liikumine on selline, et peale pörgete teiste elektronidega on elektron veel sfääri tõmbejõu mõju all, mis on võrdeline kaugusega sfääri tsentrist /elektronid

on seotud kvasielastse jõu lineaarse seadusega $F = kr/$. Thomsoni mudel on oma olemuselt staatiline. Tema mudelis on positiivne laeng jaotunud sfääris, mille raadius, samuti ka aatomi raadius, on suurusjärgus 10^{-8} sm.

See mudel on ehitatud klassikalisest elektrodünaamikast lähtudes. Seepärast ei saadud oletada positiivselt laetud osakeste olemasolu aatomis, kuna sel juhul ei saaks süsteem olla püsiv. Positiivne laeng aga peab eksisteerima sellepärast, et aatom kui tervik on neutraalne. Negatiivse laenguga osakesed /elektronid/ olid aatomis avastatud ja järelkult pidi eksisteerima neutraliseeriv laeng /positiivne/.

Tähtis küsimus oli aatomite kiirguse uurimine. Selle mudeli puhul kasutatakse kiirguse selgitamisel lineaarse ostsillaatori /osakene, mis võngub mööda sirget jõu mõjul, mis on võrdeline hälbe tasakaalu asendist ja on suunatud alati tasakaaluasendi poole/ mõistet. Aatomis sooritab võnkumisi elektron.

J.J. Thomson uuris oma mudelit väikese arvu elektronide juhul. Sel juhul pidid elektronid asetsema võrdsetel kaugustel positiivse laenguga sfääri tsentrist. Kui aga kujutame selle mudeli järgi aatomit suure elektronide arvuga, siis need elektronid paiknevad kas sfääriliste katetena või ringidena positiivse laengu tsentri ümber.

Selle mudeli suurimaks puuduseks oli aatomi kiirgus-

spektrite selgitamise võimatus. L.S. Polak ütleb: "...spektrite seaduspärasus sisaldab endas alati lainepikkust miinus esimesel astmel, aga J.J. Thomsoni kvasielastse teooria järgi peab ta alati olema miinus teisel astmel" K.9^b, lk.370

Teisest küljest kerkis veel küsimus sellise mudeli püsivusest. Kuna see mudel oli staatiline, siis tema kohta kehtib Hearneshow' teoreem, mis väidab, et püsiv elektri-laengute staatiline süsteem on võimatu, sest sellise süsteemi potentsiaalne energia ei oma miinimumi. Selle võtab I.E. Tamm kokku sõnades "... järelikult materia ülesehitamist elektrilistest osakestest klassikalise elektrodünaamika piirides pole võimalik ja aatom peab endast kujutama dünaamilist süsteemi" K. 12, lk.98 .

Seega nähtub, et selline mudel polnud õnnestunud, kuna eksperimendist saadud tulemused polnud kooskõlas mudeli põhjal saadud arvutuste tulemustega.

Teistsuguse mudeli esitas 1904.a. Tokio ülikooli professor H. Nagaoka k. 13

3. N a g a o k a m u d e l

H. Nagaoka väidab ,et aatomi keskel on suhteliselt suure massiga positiivne laeng ja selle ümber tiirlevad ringikujulistel orbiitidel elektronid. Elektronid asuvad ringil üksteisest võrdsetel kaugustel ja on paigutatud ringile ehitatud ruudu tippudesse. H. Nagaoka eeldas, et elektronide ja keskse positiivse laengu vahelised tõmbe-

jõud, samuti samal ringil asetsevate elektronide tõukejõud on pöördvõrdelised osakeste vahelise kauguse ruuduga. Siinkohal olgu mainitud, et H. Nagaoka eeldas elektronide jaotumist erinevate ringide vahel, kusjuures erinevatel ringidel asetsevate elektronide vahel valitsevat mõju ei arvestata.

H. Nagaoka arvutas välja võnkumise perioodid, mis tekiavad elektronide virtuaalsetel ümberpaigutustel ringtrajektodil ja leidis, et nendest perioodidest moodustatud rida läheb kokku reaga, mis vastavad mõnede elementide spektrijoontele. Selle ülesande /virtuaalsete ümberpaiknemiste võnkumisperioodide / lahendamiseks oligi loodud selline mudel. H. Nagaoka ise märgib, et selline aatomimudel pole vastuolus katoodkiirte, radioaktiivsuse ja teiste sarnaste nähtustega.

H. Nagaoka järgi elektronide arv ringil väheneb tsentri poole. Püsivus ringil on seletatav elektronide tiirlemise kiirusega. Kui kiirus on alla teatud piiri, siis aatom kaob. Seda võib näha radioaktiivsete ainete aatomite puhul.

H. Nagaoka ütleb, et tema kujutluse kohaselt aatom kui elektriline süsteem ei pea tingimata olema elektriliselt neutraalne. Tema eesmärgiks oli uurida väikesi võnkumisi, mis võiks selgitada riba - ja joonspektrite korrapärasust. Selleks oli vaja hüpoteetilist aatomit, millel oleks mõningane sarnasus tegelikule aatomile ja mille liikumist võiks käsitleda lihtsa matemaatilise analüüsi abil. Tema arvates koosneb

keemiline aatom väga suurest arvust elektronidest /kergetematel on elektrone mõnisada, raskematel jõuab sajatuhandeni/. Kui käsitleda neutraalse aatomi omadusi, siis peab uurima elektronide asetust orbiitidel, mis Nagaoka arvates, muutub liiga keeruliseks.

H. Nagaoka poolt esitatud mudel sarnaneb Maxwell'i poolt uuritud Saturni süsteemiga /uurimus Saturni rõngaste suhtelisest püsivusest/. Nagaoka mudelis valitsevad osakeste vahel elektrilised tõmbe- ja tõukejõud.

Selline oli H. Nagaoka poolt antud aatomimudel, mille varal ta uuris joon- ja ribaspektrite korrapärasust. Loomulikult ei andnud selline mudel õiget ettekujutust aatomist. Huvitav on see mudel selle poolest, et siin on juba olemas tuuma idee ja väide, et osakeste vahel valitsevad jõud on pöördvõrdelised nendevahelise kauguse ruuduga /samasugune on Coulomb'i jõud/. Selles mudelis oli esmakordselt olemas kujutluse elektronorbiitidest. Selle mudeli püsivuse tagas "rõngaste", millel asetsesid elektronid, pöörlemine ümber tuuma.

Katsed α -osakeste hajutamisest õhukeste metallplaatide poolt näitasid, et teatud α -osakeste hulk /umbes 1 osakene 8000 kohta/ hajub väga suurte nurkade / 90° , isegi kuni 180° / all. Seda ei saanud seletada nende väikeste kõrvalekallete summana, mida põhjustasid elektronid.

E. Rutherford 1911.a. väitis K.14, et selline

hajumine on võimalik vaid juhul, kui aatomi sees on erakordselt tugev elektriväli, mille moodustab positiivne laeng, mis on seotud suure massiga ja on kontsentreerunud väga väikeses ruumalas /raadius suurusjärgus 10^{-13} sm/. See-ga oli katseliselt "näidatud", et aatomis eksisteerib positiivselt laetud tuum. Lähtudes sellest, esitaski E. Rutherford oma aatomimudeli, mida täiendas N. Bohr.

4. R u t h e r f o r d - B o h r ' i m u d e l .

E. Rutherfordi järgi kujutab aatom endast planetaarset süsteemi. Aatomi keskel asub positiivse laengu, suure massi ja väikese ruumalaga tuum. Ümber tuuma tiirlevad kinistel ringikujulistel orbiitidel elektronid. Selline aatom võib olla püsiv, tänu elektronide tiirlemisele ümber tuuma. Tuumas positiivne laeng /mõõdetuna elementaarlaengutes/ võrdub aatomi järjekorranumbriga Mendelejevi perioodsuse süsteemis. A. Sommerfeld võrdleb seda mudelit planeetide tiirlemisega ümber Päikese, kusjuures gravitatsiooniline tõmbetung /planeetide ja Päikese puhul/ tuleb asendada elektrilise tõmbetungiga /aatomi puhul/, mis avaldub Coulombi seadusest $f = \frac{Ze \cdot e}{r^2}$ /Z - aatomi jrk. nr. e - elementaarlaeng r - laengute vaheline kaugus/.

Olulisemaks küsimuseks on siingi valguse kiirgamine aatomi poolt. Peale elektroni avastamist oli selge, et just viimased oma liikumisega põhjustavad valguse kiirgamist.

Seda kinnitas ka 1896.a. avastatud Zeemani efekt /magnetvälja mõju valguse kiirgamisele/. E. Špolski ütleb: "Kooskõlas Rutherfordi planetaarse mudeliga tuleb aatomit vaadata kui rotaatorit, s.t. negatiivselt laetud osakest, mis tiirleb ümber tuuma kinnisel orbiidil." K. 15, lk. 234

Kui kujutada elektroni tiirlevana ühtlaselt ümber tuuma kinnisel ringikujulisel orbiidil, siis saab elektroni kiirgust taandada ostsillaatori kiirgusele. Elektroni tiirlemist tuleb sel juhul vaadelda kui kaht ostsillaatorit, mis sooritavad võnkumisi ühesuguse amplituudiga a ja ühesuguse sagedusega w omavahel ristiolevates suundades.

Klassikalise elektrodünaamika seisukohalt aga peavad elektronid, mis liiguvad kiirendusega /Rutherfordi mudeli püsivus tulenes just elektronide tiirlemisest ümber tuuma/ kiirgama energiat elektromagnetilise kiirguse näol. Siit järeldub, et elektroni energia pidevalt väheneb ja elektron pidevalt läheneb tuumale ning lõpuks langeb tuumale. Seega aga pole selline aatom püsiv. Kui aga elektron pidevalt kiirgab elektromagnetilist kiirgust, siis peaks aatomi kiirgusspekter olema pidev. See on aga vastuolus eksperimendist saadud tulemusega. Samuti kinnitab eksperiment aatomite suurt püsivust. Need olid raskused, mis olid kerkinud Rutherfordi aatomimudeli ette. N. Bohr lõi nende vastuolude kõrvaldamiseks oma postulaadid:

" I Aatomid ja aatomite süsteemid võivad kestvalt

viibida ainult kindlates olekutes - statsionaarsetes olekutes - milledes, vaatamata nendes olevate laetud osakeste liikumisele, nad ei kiirga ega neela energiat" K.15, lk.275

Statsionaarsetes seisundites on aatomitel kindlad diskreetsed energiad E_1, E_2, \dots, E_n . Nendes statsionaarsetes seisundites on aatomid püsivad. Kui toimub aga energia kiirgamine või neelamine, siis see vastab aatomi hüppelisele üleminekule ühelt statsionaarselt seisundilt teisele.

" II Üleminekul ühelt statsionaarselt seisundilt teisele, aatomid kiirgavad või neelavad ainult rangelt määratud sagedusega ν kiirgust. Kiiratud või neelatud kiirgus üleminekul seisundist E_m seisundisse E_n on monokromaatne ja tema sagedus ν määratakse seosest $h\nu = E_m - E_n$ /Bohri sageduste tingimus/. $h = 6,624 \cdot 10^{-27}$ erg.sek - Planck'i konstant" K. 15, lk.275 .

Nende postulaatide alusel andis N. Bohr vesiniku aatomi mudeli, mis koosneb positiivselt laetud tuumast ja selle ümber ringikujulisel orbiidil tiirlevast elektronist. Elektron ei või aga tiirelda kõikidel orbiitidel nagu tuleks klassikalisest mehhaanikast, vaid ainult kvantiseeritud orbiitidel. N. Bohri teooriat kinnitas ka eksperiment. Nimelt sai N. Bohr vesiniku aatomi energia arvutamiseks valemi

$$E_n = - \frac{Rhc}{n^2}$$

h - Planck'i konstant

✓
 c - universaalkonstant = $2,99776 \cdot 10^{10} \frac{\text{sm}}{\text{ssek}}$

n - täisarv

R - Rydbergi konstant, mille väärtuseks sai N. Bohr $109737,303 \text{ sm}^{-1}$. Täpsetest spektroskoopilistest andmetest saadi $R = 109677,581 \text{ sm}^{-1}$. Siit nähtub, et teooria ja eksperiment langevad küllaltki täpselt kokku. Bohri postulaatidest nähtub, et mikromaailma nähtustes ilmneb pidetus, mida iseloomustab lõpliku suurusega Planck'i konstant. Makroskoopilisi nähtusi aga iseloomustas pidevus.

Kuna pölnud teada, et väga väikestel osakestel /elektronidel, prootonitel jne./ ilmnevad ka lainelised omadused, tuli N. Bohril lähtuda klassikalisest mehhaanikast. Selleks tuli arvutada kõik võimalikud ringorbiidid ja nendest välja valida kvantiseeritud orbiidid, lähtudes teisest postulaadist.

✓
Juba M. Planck'il tuli absoluutse musta keha kiirguse arvutamisel oletada, et eksisteerivad ostsillaatori seisundist, mis tuli kõikvõimalikest seisunditest välja valida.

Ringorbiitidest kvantiseeritud orbiitide välja eraldamine toimub kvantiseerimise tingimuse kohaselt. Lähtudes Bohri teisest postulaadist, saame tingimuse

2.

$$p = n \frac{h}{2\pi} \quad /n - \text{täisarv} = 1, 2, 3 \dots/$$

Seega statsionaarsed on vaid sellised ringorbiidid, mille

korral liikumishulga moment on $\frac{h}{2\pi}$ täisarv kordne. Seega on suurus $\frac{h}{2\pi}$ liikumishulga momendi kvantühikuks. Kui elektron tiirleb ringikujulisel orbiidil, siis on tal üks vabadusaste. Sellepärast on ka sel juhul üks kvanttingimus.

5. Sommerfeld'i mudel

Planeetide tiirlemisest oli teada, et planeetid tiirlevad ümber Päikese ellipsikujulistel orbiitidel, mille ühes fookuses asub Päike. A. Sommerfeld K. 16, tegi sellise üldistuse ka vesiniku aatomi puhul. Tema järgi tuleb vesiniku aatomis vaadelda elektroni tiirlemist ellipsikujulisel orbiidil, mille ühes fookuses asub tuum.

Klassikalise mehhaanika järgi võib elektron tiirelda ümber tuuma mistahes ellipsikujulisel orbiidil. Kiirgusseisukohalt võib aga elektron tiirelda ainult kvantiseeritud orbiitidel. Siin tuleb ka anda kvanttingimused.

Siin tuleb aga arvestada orbiidi tasapinnalise või ruumilise orientatsiooniga, mis ühtlasi määravad ka elektroni vabadusastmed. Tasapinnalisel juhul on kaks vabadusastet, sest elektroni asend tasapinnal määratakse kahe parameetriga: raadiusvektoriga \vec{r} ja polaarnurgaga /asimuudiga/ φ . Kui on tegemist ruumilise juhuga, siis tuleb elektronile omistada kolm vabadusastet.

Kvanttingimuste tuletamisel kasutatakse lihtsa näitena anisotroopset ostsillaatorit, s.o. osakest massiga m , mis

liigub tasandil nii, et tema projektsioonid omavahel risti-olevatele koordinaattelgedele teostavad lihtsaid harmoonilisi võnkumisi erinevate sagedustega v_x ja v_y .

Tasapinnalisel juhul saame kaks kvanttingimust:

1/ $\int p_r dr = n_r h$ - radiaalne kvanttingimus

2/ $\oint p_\varphi d\varphi = n_\varphi h$, e. $p_\varphi = n_\varphi \frac{h}{2\pi}$ - asimutaalne kvanttingimus

n_r - radiaalne kvantarv

n_φ - asimutaalne kvantarv

Arvestades neid tingimusi saame vesiniku aatomi energia jaoks avaldise $W = -\frac{RhcZ^2}{n^2}$, kus $n = n_r + n_\varphi$. Siit nähtub, et aatomi koguenergia võib omada terve rea diskreetseid väärtusi.

n_φ kohta saame tõkkeks $n_\varphi > 0$. Kui $n_\varphi = 0$, siis elektron, sooritades võnkumisi mööda sirget, peaks pörkuma tuumaga.

Nagu nägime, iseloomustab kvantarv $n = 1, 2, 3, \dots$ aatomi koguenergiat. Kvantarvu n nimetatakse peakvantarvuks. Et iseloomustada impulssmomenti, siis selleks tuleb sisse tuua kvantarv $l = n_\varphi - 1$, sest teatud seisundite energiat on võimalik tõlgendada ainult siis, kui impulssmoment $m v r = n_\varphi \frac{h}{2\pi}$ on null /seda näitab eksperiment/. Seega iseloomustab impulssmomenti kvantarv l , mida nimetatakse kõrvalkvantarvuks ja ta võib omada väärtusi $0 \leq l \leq n - 1$;

$$l = 0, 1, 2, \dots, n-1.$$

A. Sommerfeldi järgi ellipsi poolteljed avanevad:

$$\text{suurem pooltelg } a = n^2 \frac{a_1}{Z}$$

$$\text{väiksem pooltelg } b = n \varphi \cdot n \frac{a_1}{Z}$$

$$a_1 = 0,528 \cdot 10^{-8} \text{ cm- nn. Bohri raadius.}$$

Pooltelgede avaldistest on näha, et kui mingi olek on määratud kindla n väärtusega, siis on ka ellipsi suurem pooltelg üheselt määratud. Väiksem pooltelg võib aga omada n väärtust suure pooltelje ühe kindla väärtuse puhul, sest $n\varphi = 1, 2, \dots, n$. Kõigile nendele orbiitidele vastab aga üks ja sama energiaväärtus. Sellepärast öeldakse, et need olekud on n korda kõdunud. E. Špolski kirjutab: "Kui aga tekib mingi häiritus, siis orbiidid deformeeruvad erineval viisil ja energianivood, mis enne langesid kokku, eralduvad. Öeldakse, et häiritus kõrvaldab kõdumise." k.15, lk. 327 .

Ruumiline kvantiseerimine on võimalik ainult siis, kui on antud ette mingi eelistatud suund, mille suhtes me määrame orbiidi orientatsiooni. Selline eelistatud suund võib olla tekitatud välise välja poolt, kuid siis tuleb arvestada piirjuhtu /üleminek olukorrale, kus puudub väline väli/.

Kuna ruumilisel juhul oli elektronil kolm vabadusastet, siis saame ka kolm kvanttingimust.

$$1/ \oint p_x dx = n_x h \quad - \text{"laiuseline" kvanttingimus.}$$

$$2/ \oint p_y dy = n_y h \quad - \text{"ekvatoriaalne" kvanttingimus}$$

$$3/ \int p_r dr = n_r h \quad - \text{radiaalne kvanttingimus.}$$

Oma teoorias näitas A. Sommerfeld, et $n_x + n_y = n_z$ ja energia ruumilisel juhul ei erine energiast tasapinnalisel juhul

$$E = - \frac{R h c Z^2}{(n_x + n_y + n_z)^2} = - \frac{R h c Z^2}{(n_\varphi + n_r)^2} = - \frac{R h c Z^2}{n^2}$$

Ruumilisel kvantiseerimisel ekvatoriaalne kvantarv n_y iseloomustab elektroni impulssmomendi projektsiooni absoluutväärtust füüsikaliselt eelistatud suunale ($0 \leq n_y \leq l$) Kui aga tahame iseloomustada projektsiooni ennast, siis tuleb seda projektsiooni iseloomustavale kvantarvule omistada ka negatiivseid väärtusi. Selleks tuuakse sisse kvantarv $m = \pm n_y$. Kuna väljaks, mis määrab eelistatud suuna ruumis on magnetväli, siis sellele vastavalt nimetatakse kvantarvu m magnetiliseks kvantarvuks ($-l \leq m \leq l$). Seega näeme, et Bohri teoorias on aatomi olek iseloomustatav kolme kvantarvuga n , l , m , millised saime vastavatest kvanttingimustest.

N. Bohri teooriaga saadi edukalt selgitada vesiniku aatomi ehitust ja sellest tulenevaid nähtusi. Tänapäevaks on aga välja kujunenud teistsugune ettekujutus aatomist. Lähtudes sellest, peab märkima, et N. Bohri teoorias esines rida puudusi:

1/ Bohri teooriaga saab arvutada küll lihtsaima, vesiniku aatomi spektrijoonte sagedused, kuid ei saa arvutada spektri-

joonte intensiivsust.

2/ Bohri teooria abil ei saa anda ettekujutust /mude-
lit/ heeliumi aatomist, olgugi, et ta koosneb ainult kol-
mest osakesest / tuum ja kaks elektroni/.

3/ Kõige suurem Bohri teooria puudus seisneb selles, et
ta polnud ei järjekindel klassikaline teooria ega ka jär-
jekindel kvantteooria. Esialgu tuli arvutada klassikalise
teooria kohaselt kõik võimalikud orbiidid ja siis valida
kvantteooria alusel välja kvantiseeritud orbiidid. ~~Meis~~
tuli heita kõrvale.

Klassikaline mehhaanika, mis kirjeldab hästi makroskoo-
pilise maailma nähtusi, ei kõlba mikroskoopilise maailma
nähtuste kirjeldamiseks.

Vaba mikroskoopilise osakese kirjeldamiseks kasutas
A.V de Broglie k.17 lainetusteooriat. Mikroosakesi
kirjeldati tasapinnalise lainega.

$$\psi(x, y, z, t) = A e^{i \frac{2\pi}{h} (x p_x + y p_y + z p_z - E t)}$$

mida saame kirjutada üldisel viisil

$$\psi(x, y, z, t) = a \cos \left[\frac{2\pi}{h} (\vec{r} \cdot \vec{p} - E t) + \sigma \right]$$

Seose mikroosakese ja lainefunktsiooni vahel saame tule-
tada ainult statistiliselt: " tasapinnalise laine ampli-
tuudiruut a^2 , mis võrdub kompleksfunktsiooni ψ moo-
duliga $\psi\psi^*$ (ψ^* on ψ kaaskompleksne), korrutatud ruumielemen-

diga $d\tilde{v} = dx dy dz$, s.t. $\psi\psi^*d\tilde{v}$ me võtame osakese leidmise tõenäosuseks ruumi osas koordinaatide x ja $x + dx$, y ja $y + dy$, z ja $z + dz$ vahel. Sel viisil võib funktsiooni ψ nimetada tõenäosuse amplituudiks, aga tema mooduli ruutu - tõenäosuse tiheduseks." K-18, lk.26 .

Sama interpretatsiooni rakendatakse ka mistahes mikroosakesele.

Sellisel kujuneski välja kvantmehhanika. Esialgu eristati kvantmehhanikas kahte suunda. W. Heisenbergi maatriksimehhanikat ja E. Schrödingeri lainemehhanikat. Hiljem aga näidati, et mõlemad suunad on samaväärsed. Kui kasutame füüsikaliste suuruste iseloomustamiseks lainefunktsiooni, siis peame viimasele esitama rea nõudeid. Lainefunktsioon peab olema lõplik, pidev ja ühene kogu määramispiirkonnas. Samuti peab ψ rahuldama normeerimistingimust $\int \psi\psi^* d\tilde{v} = 1$ / kui on Cartesiuse koordinaadid, tuleb integreerida $-\infty$ kuni $+\infty$ /.

Kvantmehhanika on ülesehitatud analoogial klassikalise mehhanikaga ja seepärast kasutatakse esimeses samu dünaamilisi muutujaid kui teises. Vahe seisneb aga selles, et kvantmehhanikas iseloomustatakse dünaamiliste muutujate väärtusi teistsuguse matemaatilise aparatuuri abil kui klassikalises mehhanikas.

Kvantmehhanika aluseks on kaks aksioomi:

1. Igale klassikalise mehhanika dünaamilisele muutu-

jale seatakse kvantmehhanikas vastavusse lineaarne operaator, mis mõjub lainefunktsioonile ψ . Eeldatakse, et nende operaatorite vahel valitsevad samad seosed, millised on vastavate klassikalise mehhaanika suuruste vahel.

Näiteks impulsi komponent:

klassikaline muutuja kvantmehhaaniline operaator

$$\begin{aligned} p_x &\rightarrow \frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial x} \\ p_y &\rightarrow \frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial y} \\ p_z &\rightarrow \frac{\hbar}{2\pi i} \frac{\partial}{\partial z} \end{aligned}$$

Nii saame koguenergia operaatori H , mida nimetatakse Hamiltoni operaatoriks, $H = T + U$.

T - kineetilise energia operaator

U - potentsiaalse energia operaator

$$H = \frac{1}{2m} (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) + U(x, y, z) \quad - \text{klassikalises mehhaanikas}$$

$$H = - \frac{\hbar^2}{8\pi^2 m} \Delta + U(x, y, z) \quad - \text{kvantmehhaanikas.}$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad - \text{Laplace operaator.}$$

2. "Kui mingi mehhaanilise suuruse mõõtmisel saame iga kord ühe ja ainult ühe arvu λ , siis operaator F , mis kujutab seda mehhaanilist suurust ja funktsioon ψ , mis iseloomustab seisundit, milles on süsteem ning λ on seotud

$$F\psi = \lambda\psi \quad (1). \text{ Vastupidi, kui peab paika vastavus (1), siis}$$

mõõtes seisundis ψ mehhaanilist suurust F iga kord /s.t. tõenäoselt/ peab saama arvu λ ". K.18, lk. 31 λ_i nimetakse operaatori F omafunktsiooni ψ_i omaväärtuseks.

Võrdleme neid aksioome Bohri postulaatidega. Need aksioomid on palju laiemata tähendusega. Kui Bohri järgi tuli klassikalistest suurustest valida kvantiseeritud suurused, siis kvantmehaanikas tuleb operaatori omaväärtusprobleemist välja, millised suurused on diskreetsed, millised pidevad. Kui osutub, et omaväärtuste spekter on diskreetne, siis nendele vastavad klassikalises mehhaanikas kasutatavad suurused on kvantiseeritud, s.t. annavad mõõtmisel diskreetsete suuruste rea. Kui aga omaväärtuste spekter on pidev, siis vastava mehhaanilise suuruse mõõtmisel saame pideva rea.

Seega näeme, et üks Bohri teooria suurimaid raskusi /kvantiseeritud orbiitide leidmisel tuli leida kõikvõimalikud orbiidid ja nendest valida välja kvantiseeritud/ on kvantmehaanikas kõrvaldatud. Elektronide võimalikud lubatavad orbiidid tulevad vahetult välja omaväärtusprobleemi lahendamisel.

Enne kui siirdume kaasajasse ettekujutuse juurde aatomi ehitusest, peatume lühidalt veel mõnel aatomimudelil. Nendel mudelitel pole küll tähtsust mikromaailmas toimuvate nähtuste ja seaduspärasuste kirjeldamisel, kuid nad loodud mingi üksiku nähtuse kirjeldamiseks. Neil on ajaloolise tööhüpoteesi tähendus.

6. Täringmudel

Kristallide struktuuri uurimisel tehti kindlaks, et kristallid võivad omada väga mitmesuguseid võre tüüpe. Üheks lihtsamaks võre tüübiks on kuubiline /NaCl tüüpi/ võre. Siit kerkis üles küsimus, kuidas on need kristallvõred ülesehitatud.

W. Kossel K.19 uurib väärisgaasi /Ar/ aatomi. Tema arvates on väärisgaasi aatomi eriti kõrge stabiilsus tingitud tema väliskihi 8-st elektronist. 8 - elektronilist välist kihti peab omama ka leelismetalli aatom, kui ta annab ühe elektroni ära, ja halogeeniaatom peale ühe elektroni juurdevõtmist. Viimased erinevad väärisgaasi aatomist vaid selle poolest, et nad kujutavad endast ioone /leelismetalli aatom - positiivseks iooniks, halogeeniaatom - negatiivseks/, mitte aga neutraalseid aatomeid.

W. Kosseli arvates omavad 8-elektronsed süsteemid kuubilist sümmeetriat. Nimelt tuleb selliseid süsteeme kujutada täringuna, mille tippudesse on paigutatud elektronid. Selline elektronide paigutus sarnaneb NaCl tüüpi võrega.

M. Born K. 20 toob ära kõik empiirilised argumentid, mis seda hüpoteesi toetavad.

1. Mõlema esimese perioodi pikkus on 8; see on peamine põhjus, miks Kossel stabiilsete väärisgaasiaatomite välisele

kihile 8 elektroni omistab.

2. Keemikud kujutavad ka süsiniku aatomit kui tetraeedrit, hapniku aatomit kui oktaeedrit. Väärisgaasi argooni puhul aga tuleb sisse täringu hüpotees. Selliste sümmeetriliste figuuridega selgitavad keemikud nende aatomite mõningaid omadusi.

3. Leelismetallide soolad ja halogeenid kristalliseeruvad, moodustades NaCl tüüpi võre.

M. Born K.20 püüab NaCl tüüpi võret ehitada üles Bohri ringorbiitidest, kuid arvutus näitab, et kokkusurutavuses tuleb suur lahkuminek eksperimentidga. See kokkusurutavus, mis on aga saadud täringu sümmeetriast teoreetilistes arvutustes, langeb hästi kokku eksperimentaalsete tulemustega.

Seega püütakse ehitada kristallvõret /NaCl tüüpi/ üles aatomi sümmeetriast lähtudes.

Selle mudeli kohta aga puudub range matemaatiline arvutus, mis tõestaks sellise süsteemi suurt stabiilsust. Samuti on siin jäetud kõrvale elektromagnetilise kiirguse küsimus, küsimus elektronide tiirlemisest /sest aatom peab endast kujutama dünaamilist süsteemi/. Need ongi arvatavasti põhjusteks, miks selline aatomimudel pole leidnud laialdast kasutamist.

7. Whittakeri mudel

E.T. Whittaker K.21 lähtudes Starki efektist ja Franki katsetest, püüab konstrueerida mehhanismi, mis kirjeldaks energiaabsorptsiooni- ja emissiooni kvantiseloomu.

Whittaker kujutab aatomit koosnevana teatud arvust jäigalt ühendatud, ühesuguse pikkusega magnetvarbadest. Magnetvarbade asetus sarnaneb ratta kodarate asetusega, kusjuures keskpunktis on ühendatud kõikide magnetpulgakeste ühenimelised poolused. Selline süsteem pöörleb ümber keskpunkti.

Arvutuste käigus töi Whittaker raskuste kõrvaldamiseks veel sisse meelevaldseid elemente.

E. T. Whittaker'i poolt loodud mudelil pole midagi ühist objektiivse reaalsusega ja seepärast tuleb teda vaadelda kui meelevaldset konstruktsiooni, mis ei mahu käesolevas töös antud mudeli mõistete raamidesse.

Kirjanduses võib leida veel viiteid ka mõnede teiste aatomimudelite kohta. Sellisteks on Lewis'e, Stewart'i, Langmuir'i mudel, kuid nende kohta polnud võimalik saada kirjandust ja seega ei saa neid käsitleda. Võib arvata, et ka need mudelid pole teadusliku teooria loomisel omanud tähtsust, kuna nad on kiiresti teaduse areenilt kadunud.

Sellised olid kvantmehhaanika-eelsed ettekujutused aatomi struktuurist,

Kaasaegne ettekujutus aatomist põhineb kvantmehhaanikal - s.t. tuleb lahendada Schrödingeri võrrand

$$\Delta \psi_0 + \frac{\hbar^2 m}{\hbar^2} (E - V) \psi_0 = 0$$

Vesiniku aatomi puhul, kus on üks elektron, tuleb suuruse V all mõista elektroni potentsiaalset energiat tuuma elektriväljas. Kui on tegemist rohkem kui ühe elektroniga, siis V all tuleb mõista elektroni potentsiaalset energiat tuuma ja teiste elektronide poolt põhjustatud elektriväljas. Sellepärast energia sõltub ka teistest kvantarvudest /vesiniku aatomi energia sõltus ainult peakvantarvust n /.

Kvantarvu l nimetatakse orbitaalseks kvantarvuks. Bohri teooria kohaselt liigub elektron aatomis ringjoonelisel orbiidil nurkkiirusega ω . Sellele vastavalt omab elektron pöördimpulssi, mis on vektoriline suurus ja mis on risti orbiidi tasandiga. Bohri esimese postulaadi järgi on selle vektori pikkus täisarvukordne suurusest $\frac{\hbar}{2\pi} = \hbar$

Lainemehhaanika järgi on elektroni orbitaalne liikumine kirjeldatud kvantarvuga l . Pöördimpulsi absoluutväärtus on määratud seosest

$$|\vec{L}| = \sqrt{l(l+1)} \hbar$$

Antud peakvantarvu n puhul võib l omada väärtusi $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$. Kvantmehhaanika tõlgenduses võib l -i vaadelda kui pöördimpulsi operaatori omaväärtust.

Peale selle omab elektron ka magnetilist momenti. Magnetilise momendi operaator

$$\vec{\mu} = \frac{e \vec{l}}{2 m_e c}$$

m_e - elektroni mass.

Siit nähtub, et $\vec{\mu}$ võib omada diskreetseid väärtusi / \vec{l} omas ainult diskreetseid väärtusi /.

Kui anname ruumis ette mingi füüsikalisel eelistatud sihi ja projekteerime sellele \vec{l} -i, siis saame $2l + 1$ projektsiooni. Nende projektsioonide väärtusi nimetatakse magnetiliseks kvantarvuks ja tähistatakse tähega m_l . m_l võib omada väärtusi $-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$.

Elektroni magnetiline moment määrati Stern-Gerlach'i katsest. Sellest katsest selgus, et elektroni seisundi $l = 0$ puhul tekkis ikkagi mittehomogeenses magnetiväljas elektronide kõrvalekalle, mis oli vastuolus katse teoreetiliste eeldustega. Selle vastuolu kõrvaldamiseks esitati 1925.a. hüpotees, et elektron omab teatud oma pöördimpulsi - nn. "spini." Spin avaldub valemiga $p_s = \hbar s$, kus $s = \frac{1}{2}$. Arvu s nimetatakse spinquantarvuks.

Spinvektori absoluutväärtuseks on lainemehhaanikas

$$|\vec{p}_s| = \sqrt{s(s+1)} \hbar = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar$$

Seega omab elektron orbitaalset ja spinmomenti. Nende / \vec{l} ja \vec{s} / summa annab kogu pöördimpulssmomendi. Liitmisel aga tekib küsimus, kuidas viia liitmist läbi. Sellele

annab vastuse vektormudel.

8. Vektormudel.

"Bohri poolklassikalises teoorias on impulsside \vec{l} ja \vec{s} liitmine lihtne: selle teooria kohaselt on impulsside arvulised väärtused võrdsed $l \frac{h}{2\pi}$ ja $\frac{1}{2} \frac{h}{2\pi}$; spin võib orienteeruda kas paralleelselt \vec{l} -ga /projektsioon $+\frac{1}{2} \frac{h}{2\pi}$ / või antiparalleelselt /projektsioon $-\frac{1}{2} \frac{h}{2\pi}$ /."

K.18.lk.199

Sellisel juhul on \vec{l} ja \vec{s} vaheline nurk selline, et $\cos(\vec{l}, \vec{s}) = \pm 1$

Kvantmehhaanikas impulssmoment ei oma aga eelistatud suunda ruumis ja tema arvuline väärtus on $\sqrt{l(l+1)} \frac{h}{2\pi}$ ning projektsioon välja sihile on $m_l \frac{h}{2\pi}$. Spini arvuline väärtus on $\sqrt{\frac{1}{2}(\frac{1}{2}+1)} \frac{h}{2\pi}$ ja projektsioon välja sihile on $\pm \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi}$

Seega \vec{l} ja \vec{s} ei ole kunagi paralleelsed ega antiparalleelsed, vaid nurk nende vahel on 0 ja π vahepeal.

\vec{l} ja \vec{s} liitmisel kasutatakse poolklassikalist teooriat. neid liidetakse parallelogrammi reegli järgi /nagu iga-suguseid vektoreid/. Tulemusena saame kogu liikumishulga momendi \vec{j} . Arvestades, et \vec{l} ja \vec{s} on omavahel seotud vastavate magnetväljade kaudu, siis \vec{l} ja \vec{s} pretsesseerivad \vec{j} ümber nagu kaks elastse niidiga ühendatud mehhaa-

nilist güroskoopi.

Sellisele klassikalisele arutluskäigule tuleb lisada kvantmehhanikale omased seaduspärasused:

1. Nurgad \vec{l} ja \vec{s} vahel ei või olla meelevaldsed, vaid piiratakse \vec{l} ja \vec{s} ruumilise kvantiseerimise tingimustega. Vektor \vec{l} võib asuda \vec{j} suhtes selliste nurkade all, et tema projektsioon \vec{j} sihile võrduks $m_l \cdot \frac{h}{2\pi}$. Vektor \vec{s} võib asetseada \vec{j} suhtes nurkade all, mille puhul tema projektsioon \vec{j} sihile võrduks $m_s \cdot \frac{h}{2\pi}$, kus $m_s = \pm \frac{1}{2}$. Seega nurk \vec{l} ja \vec{s} vahel võib omada diskreetseid väärtusi.

2. Kogu impulssmoment \vec{j} peab arvuliselt võrduma $\sqrt{j(j+1)} \frac{h}{2\pi}$, kus $j = l \pm \frac{1}{2}$. / j - kogu impulssmomendi kvantarv/.

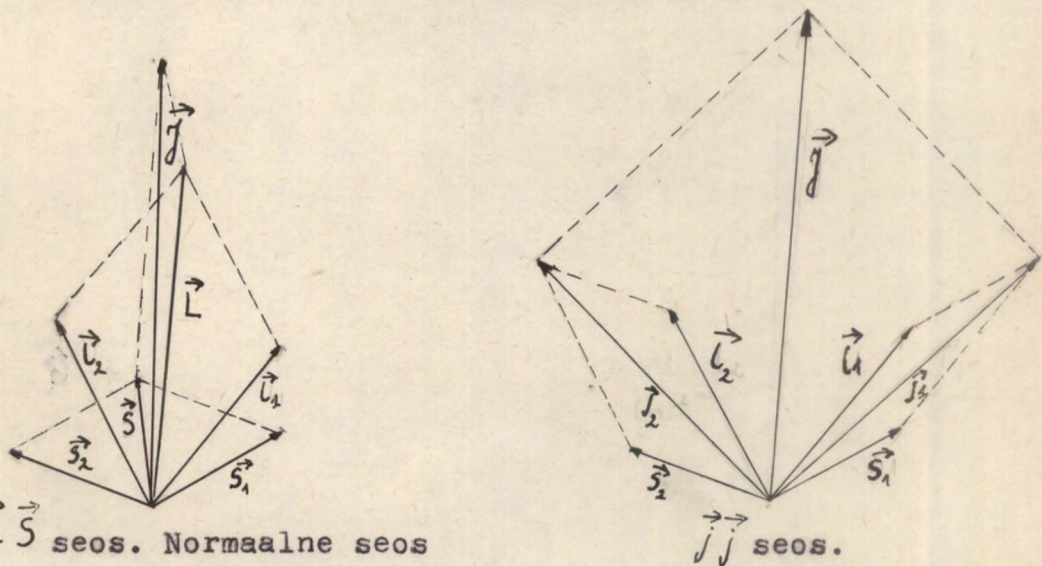
Vaatleme aatomit kahe elektroniga. Sel juhul on neli vektorit \vec{l}_1, \vec{s}_1 ja \vec{l}_2, \vec{s}_2 . Kui puudub väline väli, ehk on nõrk magnetväli, siis need vektorid omavahel liitudes, annavad aatomi kogu liikumishulga momendi \vec{j} , mis omab kindlat suurust ja suunda ruumis.

Nüüd tekib küsimus, millises järjekorras spin - ja orbitaalsed momendid omavahel liituvad. Kas alguses \vec{l} ja \vec{s} kummagi elektroni jaoks, moodustades \vec{j}_1 ja \vec{j}_2 ja siis need liitudes annavad \vec{j} või algul erinevatel elektronidel \vec{l} (\vec{l}_1 ja \vec{l}_2) ja \vec{s} (\vec{s}_1 ja \vec{s}_2), moodustades \vec{L} ja \vec{S} ja siis liituvad vektoriks \vec{j} .

E. V. Špolski ütleb: "On ilmne, et summeerimine on küsimus seoseenergia suurusest - küsimus sellest, milline seos on tugevam: seos erinevate elektronide spinide vahel ja nende orbitaalsete momentide vahel või spin-orbitaal-seos iga elektroni vahel" K.18, lk.247 .

Mõlemal liitmisel saame ühesuguse arvu olekuid, kuid olekud ise on erinevad. Spektrite analüüs näitas, et enamikel juhtudel on spin-spin, mitte aga spin-orbitaalne seos. Spin-spin seost ongi seepärast hakatud nimetama normaalseks seoseks.

Käsitleme nüüd liitmist lähemalt.



$\vec{L} \vec{S}$ seos. Normaalne seos

$\vec{J} \vec{J}$ seos.

$\vec{L} \vec{S}$ -seos: 1. Liidame parallelogrammi reegli kohaselt \vec{l}_1 ja \vec{l}_2 , saame \vec{L} . \vec{l}_1 ja \vec{l}_2 võivad liituda ainult sel juhul, kui nurgad nende vahel on sellised, et nende summa \vec{L} absoluutväärtus $|\vec{L}| = \sqrt{L(L+1)} \frac{h}{2\pi}$, kus $L = l_1 + l_2, l_1 + l_2 - 1, \dots, 0, \dots, l_1 - l_2 + 1, l_1 - l_2$ kui $l_1 > l_2$

Spinvektorite \vec{S}_1 ja \vec{S}_2 liitmisel peame samuti saama summaks vektori \vec{S} , kusjuures $|\vec{S}| = \sqrt{S(S+1)} \frac{h}{2\pi}$, kus $S = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$ või $S = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$ s.t. $|\vec{S}| = \sqrt{2} \frac{h}{2\pi}$ või 0.

\vec{L} ja \vec{S} liitmisel saame aatomi kogu impulssmomenti \vec{J} . \vec{J} arvuline väärtus $|\vec{J}| = \sqrt{J(J+1)} \frac{h}{2\pi}$ kus

$J = L+S, L+S-1, \dots, L-S.$

Kahe elektroni korral $J = L+1, L, L-1$

Käsitletud mudelid olid loodud kas ühe või kahelektronsete aatomite korral. Kui aga tahetakse luua seoseid paljuelektronsete aatomite jaoks, siis on vaja luua ka uued mudelid.

9. Thomas - Fermi mudel

Mudel on loodud paljuelektronsete aatomite jaoks, milledele on võimalik rakendada statistilist uurimismeetodit.

Thomas - Fermi mudelis eeldatakse, et elektronide laeng on jaotunud ühtlaselt kogu aatomi ruumalas, moodustades nagu "atmosfääri", mis ümbritseb tuuma. See atmosfäär on tasakaalus tänu positiivse tuuma tõmbejõule ja samaaegsele negatiivsete elektronide tõukejõule.

P. Gamboš märgib: "Staatiline aatomiteooria on rajatud eeldusel, et elektrone võib vaadelda mandunud elekt-

rongaasina, mis on absoluutse nulli temperatuuril". K.22, lk.40 .

Thomas - Fermi statistilises mudelis arvestatakse ainult elektronide elektrostaatilisest mõju. Vaatlusest on välja lülitatud kõik teised vastastikuse mõju liigid. Statistilises teoorias ei arvestata elektroni kui üksikut. Aatomi seisundite määramiseks püüti leida elektronide tiheduse jaotus aatomis. Mudeli puuduseks on see, et ta kehtib neutraalsete aatomite puhul siis, kui aatomi raadius $r = \infty$

Thomas - Fermi mudelit täiendas Dirac. Ta tõi Thomas - Fermi mudelis arvestatud elektronide elektrostaatilisele mõjule lisaks ka elektronide vahetusest põhjustatud energia osa.

Paljuelektroonsete aatomite kvantteooria on antud D.R. Hartree K. 23 ja V. Fock'i K. 24 poolt.

10. H a r t r e e - F o c k ' i m u d e l

Mudel on antud nn. "kooskõlalise välja" printsiibist lähtudes. See mudel kehtib mitteralativistlikus kvantmehhanikas ja tema eesmärgiks on mitme keha probleemi taandamine kahe keha probleemile. Sellised olid püüded mudeli matemaatilisel kirjeldamisel.

Mudel seisneb järgnevas. 1. D. Hartree järgi: Elektron aatomis asub tuuma tõmbe ja teiste elektronide tõukejõu

mõjustuses /sama oli ka Thomas - Fermi mudelis/. Siin on aga võetud eelduseks, et igale elektronile mõjub teiste elektronide poolt moodustatud keskmine väli. D. H. Hartree heidab kõrvale elektronide vahetusenergia ja samuti ei pea silmas Pauli printsiipi.

2. V. Fock. Lähtub D. Hartree "kooskõlalise välja" võrranditest ja teeb rea täiendusi. Fock arvestab Pauli printsiipi ja elektronide vahetusenergiat. Sellise täienduse tulemusena osutus aatomi energia, mis oli arvutatud Fock'i meetodi järgi, täpsemaks kui Hartree meetodist arvutades.

Arvutused on tehtud eeldusel, et elektron liigub tsentraalsümmeetrilises väljas, mis on tekitatud tuuma ja teiste elektronide poolt. Kogu aatomi kui terviku seisundite kirjeldamisel lähtutakse sellest, et aatom kui tervik koosneb elektronidest kui üksikutest. Arvutatakse iga elektroni omafunktsioonid ja selle põhjal /nende omafunktsioonide kogumi põhjal/ tehakse järeldused aatomi kohta.

Peale nende mudelite on esitanud M. M. Protodjakonov K.25 hüpoteesi aatomi elektronkatte struktuuri kohta. Tema väidab, et planetaarses Rutherford - Bohri aatomimudelil pole arvestatud elektronide vahelist tõukejõudu, mis on aga küllalt suur. Selle tulemusena peavad elektronid aatomi elektronkattes paiknema sümmeetriliselt, et mitte "segada" üksteist. Nii ütleb Protodjakonov, et vastastikuse

mõju tulemusena püüavad elektronid üksteisest maksimaalselt eralduda.

Lähtudes sellisest hüpoteesist, püüab Protodjakonov selgitada elementide perioodsuse süsteemist lähtudes elektronide asetust katetes.

Kahjuks pole viidet Protodjakonovi originaaltööle, kuid nagu selgub retsensioonidest /akad. E. Tamm/ ei ole Protodjakonovi poolt antud mingit matemaatilist arvutust. Sellepärast ei pea füüsikud sellist oletust rohkemaks kui hüpoteesiks. Keemikutele aga on selline mudel meeldinud /selgus retsensioonist/, kuna siin pole kasutatud keerulist matemaatilist aparatuuri nagu kvantmehhaanikas.

Tunnetuslikust seisukohast aga ei saa seda mudelit pidada rohkemaks kui aatomi elektronkatte ehitust näitlikustavaks vahendiks.

II MUDELI TUNNETUSLIK FUNKTSIOON

Väga laialdane mudelite kasutamine teadusliku teooria loomisel nõuab ka mudelite tunnetusliku osa dialektilis-materialistlikku lahtimõtestamist. Idealistid väidavad sageli, et mudel on loodud subjektiivselt ja sellepärast tal pole mingit seost tegelikkusega.

Aatomimudelid on loodud idealisatsiooniprotsessi tulemusena. Idealisatsiooniprotsessis on lähtepunktiks reaalsed objektid. Nende kvantitatiivsed karakteristikud viiakse mõtteliselt ekstreemaalse loogiliselt võimaliku väärtuseni: tulemuseks ongi ideaalne objekt /absoluutselt jäik keha, ideaalne vedelik, mõõdeteta elektron jne./. Smirnov, V.A.

K.26 ütleb, et abstraktne objekt /sellised on ka aatomimudelid/ on tegelikkuse fragment, mida vaadeldakse teatud vaatenurga all. See tähendab, et mudel alati peab kujutama mingit reaalse objektiivsuse külge, ainult siis on ta reaalse maailma tunnetusvahendiks. Muidugi võib luua mudeli ka täiesti meelevaldselt, täiesti vastuolus objektiivse reaalsusega, kuid sellistel mudelitel pole mingit tähtsust teadusliku teooria arendamisel.

Mudel sisaldab endas alati abstraktsioonimomenti, eraldab mingi tegelikkuse külge teistest ja uurib seda

puhtal kujul. Uurimine puhtal kujul sisaldab alati ka analüüsi ja määrab uuritava nähtuse koha keerulises seoste süsteemis. Teiselt poolt eeldab ta nähtuse omaduste sidumist üldise seoste struktuuriga - sünteesi momenti. Tunnetusteooria seisukohalt aga tuleb vaadelda eraldi abstraktsiooni, analüüsi ja sünteesi, ehkki tegelikkuses nad esinevad alati koos.

1. A b s t r a k t s i o o n .

Abstraktsiooni eesmärk on nähtuste seesmiste seaduste ja omaduste avastamine. B.E. Makarevitš märgib, et abstraktsioon kulgeb kahes etapis:

" a/ Nähtuste väliste seoste ja omaduste fikseerimine elementaarse abstraktsiooni abil /empiriline tunnetus/.

b/ Nähtuste seesmiste seoste ja külgede avastamine kõrgemat järku abstraktsiooni abil, sageli nähtuste eraldamine ja uurimine puhtal kujul." K.27, lk.287

Aatomfüüsika ongi suunatud aatomi seesmiste seoste ja külgede avastamisele, sellepärast on kasutatud selle teooria loomisel just kõrgemat järku abstraktsiooni. Aatomi seesmiste seoste ja tema struktuuri selgitamiseks ongi loodud aatomimudelid.

B.E. Makarevitš väidab: "... füüsikas nn. nähtuste skematiseerimine või uuritavate nähtuste mudelite loomine,

on nende nähtuste struktuuri eraldamine puhtal kujul või nagu ütlevad füüsikud, on nähtuse idealiseerimine." K. 27, lk.297 .

✓
Idealiseerimine ongi põhiliseks aatomi struktuuri selgitamise vahendiks. Idealisatsioonis eraldatakse nähtuse mingi külge ja muudetakse ta tunnetusobjektiks.

Vaatleme, kuidas on teostatud idealiseerimine aatomimudelitel puhul.

Juba antiikmaterialistid jõudsid loogilise mõtlemise teel järelduseni, et kõik ümbritsevad kehad koosnevad aatomitest. Antiikmaterialistide jaoks oli aatom abstraktsiks objektiks, millele nad omistasid mitmesuguseid omadusi, a. t. vaatlesid aatomeid kui eraldiseisvaid materiaalseid objekte.

D.P. Gorski K.28 ütleb, et abstraktsioonis me eraldame teatud objektid teistest, millistega koos nad esinevad ja meil tekivad nagu iseseisvad elemendid.

Abstraktsioonis on oluliseks küsimuseks millised nähtuste või esemete üksikuid külgi me eraldame. Selle järgi saame abstraktsioone klassifitseerida.

a/ Identifikatsioon - eraldab asjades ja esemetes üldised omadused. Iga element sellest tervikust võib olla teiste esindajaks ainult ühiste omaduste piirides. Tehakse kindlaks esemetes seesmine sarnasus.

Aatomi struktuuri uurimisel ei käsitleta aatomite seoseid kehaes, vaid vaadeldakse aatomit kui iseseisvat objekti. Aatomiga seotud nähtusi uuritakse nende seesmisteste seoste seisukohalt. Peale elektroni avastamist sai selgeks, et elektron on aatomi kui terviku element. Valguskiirguse seisukohalt uuritakse elektroni võnkumisi aatomis. Seega on selge, et mistahes aatomid sarnanevad üksteisega selle poolest, et nad koosnevad elektromidest ja nad kiirgavad elektromagnetilist kiirgust.

Elektromagnetilise kiirguse uurimisel eraldatakse loogilises plaanis kiirgusprotsess puhtal kujul ja uuritakse teda seoses aatomi seesmise ehitusega. Siin on elektroni võnkumiste uurimisel võetud mudeliks lineaarne ostsillaator /J.J. Thomsoni mudelis/.

b/ Isoleeriv e. analüütiline abstraktsioon.

Seisneb selles, et eksperimendis /ka mõttelises/ kõrvaldatakse nähtust segavad teisejärgulised tingimused ja nähtust uuritakse puhtal kujul.

Katoodkiirte omadusi uuriti sõltumatult sellest, millest nad tekivad või milline on nende koht reaalse maailma struktuuris. Selle uurimise tulemusena avastati elektron.

Rutherford, α -osakeste hajutamist uurides, kõrvaldas need hajutamised, mida põhjustavad elektronid. Katsest oli teada, et ainult väike α -osakeste hulk /1 osakene

8000 kohta/ hajub suurte nurkade all. Teised aga hajuvad väikeste nurkade all. Hajutamine väikeste nurkade all tulenes aatomis olevatest elektronidest ja Rutherford lülitask nad uurimisest välja. Uurimise objektiks muudeti suurte nurkade all hajuvad α -osakesed. Uurimuse tulemusena tekkis tuuma idee.

Paljudes aatomimudelites on kas täielikult või osaliselt välja jäetud elektronide vastastikune mõju, mida peetakse tühiseks. Arvestatud on tuuma ja elektronide vastastikust mõju, või samadel orbiitidel olevate elektronide vastastikust mõju /Nagaoka mudel/.

Abstraktsioonil on alati teatud piirid, kuid neid ei saa lugeda absoluutseteks. Näiteks olid kõik varasemad mudelid /Thomson, Nagaoka, Rutherford, Tšitšerin/ loodud rangelt klassikalise mehhaanika piirides. Kuid aatomite püsivus ja kiirgusspektrite seaduspärasus sundis N. Bohri neid piire laiendama. N. Bohr idealiseeris aatomit sel moel, et tõi sisse aatomi statsionaarsed seisundid. Oma teoorias jäi aga Bohr klassikalise mehhaanika piiridesse, ta ainult laiendas seda piiri. Kuigi Bohr kasutas kiirgusspektrite selgitamiseks idealisatsiooniprotsessi /omistades aatomile statsionaarsed olekud/ pole tema poolt loodud vesiniku aatomi mudel meelevaldne, vaid ta on heas vastavuses tegelikkusega.

Peale elektronile spini omistamist muudeti aatomi kogu impulssmoment uurimise objektiks. Siin on uurimise objektiks elektronide orbitaalsete ja spinmomentide liitmine, kuna teised aatomi omadused /elektromagnetiline kiirus, püsivus/ on kõrvale jäetud. Vektormudel kajastabki seda külge, mis on abstraktsioonis eraldatud /spin ja orbitaalsete momentide liitmist/.

Kvantmehhanilistes mudelites on aga esile tõstetud aatomi kui terviku mõju oma elementidele /elektronidele/. Kvantmehhanikas on iga elektron aatomis iseloomustatud ainult temale omaste, kindlate kvantarvudega. Hartree - Focki mudelis on võetud aluseks elektron kui üksik ja temale mõjuv väli on keskmestatud, s.t. on arvestatud temale mõjuvat teiste elektronide poolt keskmist välja.

Keskmestamine kui abstraktsiooni liik avaldub eriti statistilises teoorias. Thomas - Fermi mudelis abstraheritakse terviku üksikute elementide olemasolust. Selles mudelis ei arvestata elektroni kui üksikut mikroobjekti, temast tulenevat mõju struktuurile, vaid opereeritakse keskmestatud väärtusega. Selles mudelis kujutatakse elektrone elektrongaasina, mis on viidud idealisatsiooniprotsessis absoluutse nulli temperatuurini.

2. A n a l ü ü s j a s ü n t e e s

Olles abstraktsiooni teel eraldanud nähtuse puhtal kujul, tuleb seda analüüsida, lähtudes seesmistest seostest. E. M. Babossov K. 29 ütleb, et tunnetada võib tervikut ainult siis, kui jaotame ta osadeks analüüsi teel, uurides igat osa eraldi ja hiljem liites kokku analüüsis saadud andmed sünteesi teel.

Analüüs ja süntees on teineteisega niivõrd seotud, et neid teineteisest lahutada on võimatu. Analüüsi ja sünteesi üksteisest lahutamine ja vastandamine on võimalik ainult abstraktsioonis. Ta on õigustatud niivõrd, kui võrd tunnetuse objektiks on muudetud tunnetusprotsess ise, s.t. analüüsi objektiks on reaalne tunnetusprotsess kui analüüsi ja sünteesi tervik.

M.K. Mamardašvili K.30 märgib, et analüüs eraldab vaadeldavast tervikust tema koostisosad ja vaatleb nende omadusi selles plaanis, mille määrab nende koht tervikus, s.t. nende seose järgi tervikuga. Süntees aga omakorda, liites koostisosad tervikuks, arvestab terviku osade omadusi, s.t. eeldab, et tervik on jaotatud osadeks.

J.J. Thomsoni mudeli loomisele andis tõuke praktika. Oli vaja siduda elektronid aatomiga kui "tervikuga". See tingis positiivse laengu osa analüüsi, mille tulemusena

tuli positiivsele laengule omistada suur mass /praktiliselt võrdne kogu aatomi massiga/. Analüüs arvestab alati teadaolevaid fakte. Nii polnud J.J.Thomsonilt tarvis eeldada diskreetsete positiivsete laengute olemasolu, kuna polnud teada ühtki fakti, mis kinnitaks vabade positiivsete laengute olemasolu. Positiivne laeng oli vajalik ainult selleks, et kompenseerida elektronide laeng. Elektronidele tuli aga omistada nende vaba eksisteerimise võimalus /katoodkiired/.

Omistanud elektronidele ja positiivsele laengule sellised omadused, tuli need kokku liita sünteesi abil. See protsess aga andis uut materjali analüüsi jaoks. Tuli uurida jõude, milledega on elektronid ja positiivne laeng omavahel seotud. J.J.Thomson sidus nad omavahel kvasielastsete jõududega. Kõige selle tulemusena saigi J.J. Thomsonil võimalikuks luua aatomi kui terviku mudel. Nüüd aga tuli uurida aatomi kui terviku omadusi ja seostada need eksperimentaalsete andmetega.

M.H. Mamordašvili ütleb: "Tervik" on ese, mis koosneb erinevatest osadest ja omab selle tulemusena kindlaid omadusi, mida pole erinevatel osadel ja mis on omased ainult nende koordinatsioonile." K. 30, lk. 53

Sellisteks omadusteks oli aatomi poolt elektromagnetilise kiirguse kiirgamine ja aatomi püsivus.

Thomsoni mudeli järgi arvutatud spektrite seaduspärasus pidi sisaldama lainepikkust miinus teisel astmel.

Eksperimendist saadud tulemused aga näitasid, et spektrite seaduspärasused sisaldavad lainepikkust miinus esimesel astmel. Thomsoni mudel kujutab endast staatilist laengute süsteemi. Need puudused, mis väljendusid sünteesi teel loodud terviku omaduste analüüsimisel, näitasid veenvalt J.J. Thomsoni poolt loodud aatomimudeli kõlbmatust.

Siin avaldus ilmekalt analüüsi positiivne iseloom. Analüüs ei piirdu ainult uuritava nähtuse selgitamisega teadaolevate nähtuste varal, vaid analüüs eraldab igas nähtuses tema olulised küljed.

Eriti ilmekalt avaldub analüüsi realiseerumine sünteesi vahendusel Nagaoka mudelis. Nagaoka ei saanud analüüsida elektronide virtuaalsete ümberpaiknemiste sageduste rida ilma, kui ta poleks elektroni vaadelnud seoses aatomi struktuuriga. Vabad elektronid /katoodekiirte puhul/ võivad liikuda ruumis /katoode torus/ ühelt elektroodilt teisele, kuna aga aatomi struktuuris on nende liikumine piiratud. Analüüs näitas, et liikumist piirab elektronide ja positiivse tuuma ning samal orbiidil olevate elektronide vahel mõjuv tung, mis on pöördvõrdeline laengute vahelise kauguse ruuduga. Sellise analüüsi tulemusel avastati palju uut /elektroni orbiidid, tungi pöördvõrdelisis kauguse ruuduga/ võrreldes J.J. Thomsoni teooriaga.

Analüüsides põhjusti, miks osa α -osakestest hajuu

tatakse aatomite poolt suurte nurkade all, jõudis E. Rutherford järeldusele, et see peab olema põhjustatud tugeva positiivse elektrivälja poolt. Kuna oli teada, et aatomis peab eksisteerima positiivne laeng, siis Rutherford analüüsis võimalusi, millisel juhul see laeng võib tekitada tugeva elektrivälja. Selgus, et positiivne laeng peab olema kontsentreerunud väikesesse ruumalasse / läbimõõduga 10^{-13} cm/.
✓ Loomulikult omistati positiivsele laengule ka suur mass /analooogselt J. J. Thomsoniga/. Selliselt kujuneski välja tuuma idee.

Vältides varasemate aatomimudelite puudusi, ei loonud E. Rutherford staatilist laengute süsteemi, vaid tema mudelis tiirleb elektron ümber tuuma kinnisel orbiidil.

Kiirguse seisukohalt vaadeldi aatomit kui rotaatorit. Analüüs näitas, et klassikalise elektridünaamika seisukohalt peaks aatomi kiirgusspekter olema pidev. Eksperimendist aga oli teada, et aatomite kiirgusspektrid on joonspektrid. Teiselt poolt näitasid arvutused, et selline mudel ei saa olla püsiv, vaid elektron peaks langema tuumale, mis samuti räägib tegelikkusele vastu.

Kui analüüs oleks konservatiivne, selles mõttes, et arvestaks ainult teasaolevaid seaduspärasusi, siis oleks tulnud seda mudelit lugeda samuti kõlbmatuks ja heita teaduslikust teooriast välja. Kui analüüs oleks suunatud

sellele, et selgitada uusi nähtusi ainult ^{tuntud} seaduspärasuste raames, siis oleks tema osa teadusliku teooria arendamisel väike.

Rutherfordi mudeli puhul ilmnenud vastuolud teooria ja eksperimendi vahel olid tõukeks aatomiteooria arengule.

Lähtudes Rutherfordi aatomimudelitest, andis N.Bohr mikroosakeste kirjeldamiseks oma postulaadid. Nendest postulaatidest lähtudes, arvutas Bohr vesiniku aatomi kiirgusspektri, mis langes hästi /vea püüdes/ kokku eksperimendiga. Sellega oli kõrvaldatud Rutherfordi mudeli vastuolu eksperimendiga. Klassikalise mehhaanika ja aatomisiseste mikroosakeste seaduspärasuste vahelist vastuolu see aga ei kõrvaldanud, kuna Bohri teooria aluseks oli klassikaline mehhaanika. Alles hiljem Heisenberg' i ja Schrödingeri poolt loodud kvantmehhaanika näitas, et mikromaailmas kehtivad teised seaduspärasused kui makromaailmas, mida kirjeldab klassikaline mehhaanika. Kvantmehhaanika näitas, et mikromaailmas valitseb dualism, s.t. mikroosakestel avalduvad nii lainelised kui ka korpuskulaarsed omadused.

Eespool mainitud on näha, et analüüsi protsessis avastatakse tunnetusobjekti seesmised vastuolud, mis viib täpsemale tegelikkuse tunnetamisele, s.t. lähemale tõe.

Kui eelnevates mudelites analüüsiti aatomi koostisosi /elektrone ja tuuma/ kui iseseisvaid abstraktseid objekte,

siis statistikas /Fermi-Thomas¹e mudel/ ei esine elektroni kui üksikut. Selles mudelis on uurimise objektiks elektronide koosmõju /elektrongaas/, mille käitumist uuritakse absoluutse nulli temperatuuril. Mudeli matemaatiline aparatuur annab elektrongaasi tiheduse jaotuse aatomis.

Thomas - Fermi mudel on loodud eeldusel, et aatomis on palju elektrone. See teooria nagu kinnitab, et aatomi struktuur omab suuremat suhtelist iseseisvust kui struktuuri elemente on rohkem. See on ka loomulik, sest struktuuri omadused määratakse elementide üldiste omadustega. Kui elemente on palju, siis iga üksiku elemendi omadused mõjustavad struktuuri vähe. Käsiteldavas mudelis vaadeldakse aatomi kui terviku omadusi teda moodustavate elektronide keskmestatud omaduste valgusel.

Kvantmehhaanika aga käsitleb elektroni kui üksikut, millel aatomi kui terviku struktuuris avaldub rida omadusi. Kvantmehhaanikas on aatomis igal elektronil kindlad kvantarvud, mis ühelgi teisel aatomi struktuuri kuuluval elektronil ei saa olla samad.

Hartee - Fock'i mudelis ongi seda silmas peetud. Selles mudelis on uurimisobjektiks võetud aatomite energeetilised omadused. Ka selles mudelis on teiste elektronide mõju vaadeldavale elektronile keskmestatud, kuid on silmas peetud, et faasiruumi raskus ei tohi olla üle kahe elektroni /Pauli printsiip/.

Stern - Gerlach'i katse tulemuste analüüs näitas, et elektron peab omama ka spini. Edasi oli vaja selgitada, kuidas orbitaal- ja spin momendid liituvad, moodustades aatomi liikumishulga momendi. Selle küsimuse lahendamiseks ongi loodud vektormudel. Vektormudeli kohaselt tuleb liita orbitaalne moment ja spin kui tavalised vektorid. Liitmise järjekord sõltub sellest, milline seosenergia /spin - spin või orbitaalne - spin/ on suurem. Spektrite seaduspärasuste uurimine andis vastuse, et põhiliselt esineb aatomites spin - spin seos.

3. Hüpotees ja analoogia.

Aatomifüüsika arengus omavad hüpotees ja analoogia tähtsa koha. Kuna hüpotees ja analoogia on omavahel tihedalt seotud, siis tuleb neid käsitleda koos.

Kõigepealt peame piiritlema, millises tähenduses kasutatakse terminit hüpotees teaduslikus mõttes. L. B. Baženov K.31 märgib, et terminit hüpotees kasutatakse: esiteks kui oletust; teiseks kui erilist oletuse edasiarendamise ja kinnitamise võtet.

Hüpoteesile püstitatakse rida nõudeid, mida ta peab rahuldama, et omada teaduslikku väärtust: 1. Hüpotees peab olema kooskõlas selle faktilise materjaliga, mille selgitamiseks ta püstitatakse. Samuti ei tohi olla vastukäiv teaduses loodud teooriatele ja seadustele.

"Püstitatud hüpotees peab arvestama tema kompetentsi sfääri kuuluvat kogu faktilist materjali ja teaduses esinevaid teooriaid ja seadusi. Ta kas ei tohi olla nende vasturääkiv või peab olema võimeline näitama selle paikapidamatust, mis varem oli võetud faktina, tõestatud teadusliku oletusena." K.31, lk.9

2. Teaduslik hüpotees peab olema kontrollitav. Seda võib teostada antud hüpoteesist järelduste tuletamise ja nende faktidega kõrvutamise teel.

3. Hüpotees peab olema rakendatav võimalikult laiale nähtuste ringile.

Hüpotees aimab alati ette uusi nähtuste omadusi.

Teaduses võivad esineda ka hüpoteesid, mis on rakendatavad ainult ühele kindlale nähtusele. Neid hüpoteese nimetatakse hüpoteesideks ad hoc. Aatomfüüsikas on selliseks Prout'i hüpotees, mis kehtis ainult aatomkaalude selgitamiseks.

4. Hüpotees peab olema võimalikult lihtne, s.t. sisaldama endas minimaalse hulga oletusi, millega saaks selgitada võimalikult palju nähtusi. Tõeline hüpotees oma arenemises pidevalt täpsustab, kuid see ei muuda tema printsiipiaalset lihtsust.

Füüsika arenemise käigus on kasutatud kaht meetodit. Esiteks fenomenoloogilist printsiipide ja teiseks selgitavate hüpoteeside meetodit. Tegelikus teaduse arengus on nad teineteisega seotud.

Selgitavate hüpoteeside meetod oli seotud füüsikaliste teaduste arenemise esimesel etapil näitlike, mehhaaniliste mudelite loomisega. Kaasaegses teaduses avaldub aga teistsugune vorm, mida S.J. Vavilov nimetas matemaatiliseks hüpoteesiks, või matemaatiliste mudelite meetodiks.

Teaduses tehakse järeldusi analoogia põhjal. Asmus märgib: "Järelduseks analoogia põhjal nimetatakse järeldust, mis on tehtud kahe eseme osa omaduste sarnasuse põhjal, oletades, et ka teised omadused on sarnased, kui nad on leitud esimeses esemes, kuid pole veel teada, kas nad on ka teises esemes." K. 32, lk.202 .

Mudelite kohta märgib V.A. Šoff, et siin tuleb analoogia all mõista järgmist:

1. Mudel pole samane esemega. Mudeli ja eseme vahel on teatav samasus sisuliselt, kuid erinevus vormilt.

2. Mudel pole ka sisult täiesti sarnane esemega, erinevalt tavalisest kujutisest või näitlikust ettekujutlusest.

Samas, K. 33, lk.128 öeldakse: "Sellisel viisil, kinnitades, et mudelid on loodusega analoogiasuhetes, meie nõuame viimastelt, et nad peegeldaks enam-vähem õigesti objektiivselt eksisteerivaid protsesse, seaduspärasusi, seoste ja vastastikuse mõju tüüpe."

Mudelid, mis neid tingimusi ei täida, ei saa kaasa rääkida teaduse arenemises.

Järgnevas käsitleme hüpoteesi ja analoogia osa aatomi-füüsika arengus.

Demokritos ja Lucretius Carus löid hüpoteesi materia atomistliku ehituse kohta. Oma hüpoteesi loomisel lähtusid nad analoogiast tolmuosakeste liikumisega õhus, aurimishästustest, lahustumisest, difusioonist jms. Täpselt samuti nagu levivad need materiaalsed osakesed õhus, niisama liiguvad mõeldavad aatomid tühjas ruumis.

Teaduse areng võimaldas määrata elementide aatomkaale ja selgus, et erinevatel elementidel on erinevad aatomkaalud. Selle selgitamiseks andis Prout oma hüpoteesi ad hoc, et raskemate elementide aatomid koosnevad vesiniku aatomitest.

See aga sattus vastuolule eksperimentidega, kuna selgus, et aatomkaalude täpsemal määramisel nad ei osutunud vesiniku aatomi kaaluga täisarv kordseteks. Sellel hüpoteesil ad hoc polnud määravat tähtsust teaduse arengus. Sama võib ütelda ka Tšitšerini poolt loodud aatomimudeli kohta.

J.J. Thomson arvestas oma mudeli loomisel kõiki fakte, mis olid teada. Tema mudeli abil osutus võimalikuks selgitada katoodekiirte tekkimist ja elektromagnetilist kiirgust. Tema mudel oli kooskõlas klassikalise elektrodünaamikaga. Kontrollimine aga näitas, et sellise mudeli poolt kirjeldatavad faktid /elektromagnetiline kiirgus, aatomi püsivus/ on vastuolus uute eksperimentaalsete andmetega. Thomsoni mudel oli võimetu näitama klassikalise elektrodünaamika kõlbmatust aatomisiseste protsesside kirjeldamisel. Temas peituv hüpotees osutus valeks, nagu tagantjärgi selgub. Kuid see hüpotees omas ka positiivset joont aatomfüüsika arengus. Lähtudes analoogiast staatiliste laengute süsteemiga, jõuti järeldusele, et aatom ei saa endast kujutada staatilist süsteemi, vaid see süsteem peab olema dünaamiline.

Ka H. Nagaoka lõi oma mudeli analoogia põhjal. Nagu näitas Maxwelli uurimus Saturni rõngaste kohta, osutusid need suhteliselt püsivateks. Oli teada, et aatomid on ka püsivad. Nagaoka lõi aatomimudeli, mis sarnaneb Saturni süsteemiga. Loomulikult polnud see samastamine. Saturni

süsteem on makroskoopiline, aatomi süsteem mikroskoopiline. Aatom koosneb laetud osakestest, Saturni süsteem neutraalsetest kehast. See ongi analoogia just selles mõttes, mida peab silmas V.A. Štoff.

Oma hüpoteesi püstitamisel arvestas H. Nagaoka kõiki teadaolevaid fakte: katoodkiirte tekkimist, radioaktiivsust ja elektromagnetilist kiirgust. Nende nähtustega oli tema mudel kooskõlas. Elektromagnetilise kiirguse sidumine elektronide virtuaalsete ümberpaiknemistega oli Nagaoka uurimuse eesmärgiks. Arvutustes saadud tulemused langesid kokku eksperimendiga. Selline hüpotees kinnitas veelkord arvamust, et elektromagnetilist kiirgust põhjustavad elektronid oma liikumisega.

Nagaoka hüpotees, mis loodi käesoleva sajandi alul, on tähelepanuvääriv. Tema mudeli puhul on juba tuuma idee, mis sel ajal polnud leidnud eksperimentaalset kinnitust.

Tuuma hüpotees leidis kinnitust α -osakeste hajutamise uurimisel. See andis Rutherfordile aluse planetaarse aatomimudeli loomiseks. Et saavutada oma mudeli stabiilsus, tuli Rutherfordil kujutada elektrone tiirlevana ümber tuuma kinnistel orbiitidel. Mudeli arvutuslik külg on loodud kooskõlas klassikalise elektrodünaamikaga. Kuid just elektromagnetilise kiirguse seisukohalt tekkisid lahkemid teooria ja eksperimendi vahel. Rutherfordi hüpotees

teesi õigsust aga kinnitas veenvalt α - osakeste hajumine ja seega olid vastuolud teooria ja eksperimendi vahel tingitud klassikalise elektrodünaamika piiratusest aatomisiseste protsesside kirjeldamisel.

Et kõrvaldada vastuolu eksperimendi ja teooria vahel rakendas N. Bohr kvantühoteesi ka aatomitele. See näitas Planck'i kvantühoteesi rakendatavust laialdasele nähtuste piirkonnale Planck'i hüpotees tekkis musta keha kiirguse uurimisel nn. "ultravioletse katastroofi" kõrvaldamiseks.

Näiliselt oli kvantühotees kõrvaldanud kõik vastuolud teooria ja eksperimendi vahel. Kui vaadelda selle hüpoteesi rakendamist lihtsuse seisukohalt, siis näeme, et Rutherford-Bohri mudeli puhul pole see kaugeltki lihtne. Lihtsuse saavutas see hüpotees vaid kvantmehhaanikas. Bohr-Rutherfordi mudelit võrreldakse sageli päikesesüsteemiga, ehkki siin on võetud aluseks, et elektron liigub mööda ringikujulist orbiiti.

Sommerfeld, lähtudes teadaolevast tõsiasiast, et planeedid tiirlevad ümber Päikese ellipsikujulistel orbiitidel, kandis selle analoogia põhjal üle ka aatomitele.

Analoogia põhjal klassikalise mehhaanikaga tuli elektronile omistada orbitaalne impulssmoment, kuna elektron liigub kiirendusega kinnisel orbiidil.

Stern- Gerlach'i katse ja teooria vahel kooskõla saavutamiseks loodi hüpotees, et elektron peab omama

ka oma pöördimpulssi , nn. spini. Selline hüpotees oli tehtud katse tulemustest lähtudes. Samuti oli ta lihtsaim viis vastuolu kõrvaldamiseks. Kõik see annab kinnitust, et see pole hüpotees ad hoc.

Statistilise Thomas- Fermi mudeli aluseks oli hüpotees, et suure elektronide arvuga aatomid alluvad statistilistele seaduspärasustele. Eksperiment ja arvutused näitavad, et teatud lähenduses võib tõesti kasutada statistilist uurimismeetodit aatomsisestest protsesside kirjeldamiseks. Selles mudelis vaadeldakse elektronide kogu gaasina /elektron-gaas/ ja uuritakse tema käitumist absoluutse nulli temperatuuril. Sellise hüpoteesi eeliseks on tema lihtsus, ehkki tulemused on vähemtäpsed kui kvantmehhaanilistest arvutustest saadud tulemused.

Matemaatiliste hüpoteeside kasutamine on eriti laialdane kvantmehhaanikas ja relatiivsusteoorias.

L. de Broglie püstitas hüpoteesi, et mikroosakestel on lainelised omadused. Seda hüpoteesi laiendas Schrödinger, andes kvantmehhaanika põhivõrrandi. Hartree - Fock'i mudelis ongi aluseks see hüpotees /nad püüavad lahendada Schrödingeri võrrandit paljude osakeste juhul/. Kuid mudelis on püütud seda hüpoteesi lihtsustada, säilitades tema sisu. Hartree - Fock'i mudelis on arvestatud Pauli printsiipi ja elektronide vahetusenergiat /Fock'i meetod/. Kuigi arvutused on teostatud teatud lähenduses, on sellel mudelil hea kooskõla eksperimendiga.

4. PROBLEEMI IDEALISTLIKU JA METAFÜÜSILISE

KÄSITLUSE KRIITIKA

Mudelite gnoseoloogiline külg on leidnud laialdast käsitlemist kodanlike filosoofide poolt. See käsitus on idealistlik.

Mudelite probleemi püüavad põhjalikult analüüsida E.H. Hutten K.35 ja B. Hesse K.36. Oma vaadetelt on nad subjektiivsed idealistid. V.A. Štoff K.33, 34 kritiseerib neid, näidates ära nende põhiliste seisukohtade ekslikkuse.

E.H. Hutten käsitleb mõttelist mudelit kui inimõistuse konstruktsiooni, mis on loomulikult õige. Aatomimudelid on loodud teadlaste poolt. Hutten aga arutleb edasi ja väidab, et mudel pole mingil juhul tegelikkuse peegelduseks. Sellest järgneb, et inimõistus dikteerib loodusele seadusi, mis on tuntud väide subjektiiv-idealistslikes teooriates.

Hutten väidab, edasi, et mudel sisaldab süntaktiliste reeglite kõrval ka semantilisi reegleid. Mudel kujutab endast "võtit" vanalt, tuntud situatsioonilt üleminekut uuele situatsioonile. Tema järgi määrab mudel uue situatsiooni vana terminites. Seega on, Hutteni järgi, mudel ühelt situatsioonilt teisele ülemineku, mitte aga objektiivse maailma peegelduse vorm.

Kui sellist teooriat rakendada aatomimudelitele, siis peaks Rutherford-Bohri mudelit lugema paikapidamatuks, kuna

teda pole võimalik seletada vana / klassikalise elektron-
dünaamika/ terminites. Ometi on aga teada, et see mudel
peegeldas hästi objektiivselt toimuvad protsesse aatomis.

M.B. Hesse eitab mudeli igasugust sarnasust tegelikkusega. Tema arvates võib olla sarnasus ainult mudelit kirjeldava matemaatilise aparatuuri ja tuntud teooria matemaatilise aparatuuri vahel. Kokkulangemine võib olla ka mudeli matemaatilisest formalismist tulenevate kvantitatiivsete tulemuste ja katses saadud mõõtmistulemuste vahel.

Seisukoht, et mudel pole tegelikkusega samane, on õige. Seda ei tohi aga absolutiseerida. Kui oletada, et mudel ei oma reaalse maailmaga mingit sarnasust, siis tuleb mudelit lugeda täiesti meelevaldseks konstruktsiooniks. Muidugi ei püüa Hesse teha põhjusega sellist oletust.

Kui jätta arvestamata need objektiivsuse nõuded, mis sundisid Rutherfordi kujutama aatomit planetaarse süsteemina, võib teda lugeda meelevaldseks konstruktsiooniks.

Hesse järgi ei peaks olema Rutherford-Bohri mudelil mingit seost reaalse maailma seadustega. Et aatomite kiirgusspektrite sagedused arvutatakse mudeli matemaatilise formalismiga ja tulemused langevad kokku eksperimentist saadud tulemustega, ongi /analoogia/ sarnasus Hesse järgi. Tundub, et Hesse "unustab" just nimelt need objektiivsed põhjused, mis on mõjutanud ühe või teise mudeli loomist. Aatomimudelid, olles mõttelised, annavad

kujuka näite sellest, et mudelit meelevaldselt luua ei saa.

Mudelite gnoseoloogilist külge käsitleb ka J. Schultz

K. 37 .Ta väidab, et filosoofi huvitab vaid see, milline antud vaadetest /Ansicht/ on lihtsaim, mugavaim. Füüsik aga vastupidi tunneb huvi selliste vaadete vastu, millised on matemaatiliseks käsitlemiseks mugavaim, tõhusaim ja antud teaduse arengu etapil viljakaim.

"Igaüks loob oma eesmärgile vastava pildi - ja igaüks täie õigusega" K. 37 lk.207 . Seejuures mainib Schultz, et füüsiku ja filosoofi "vaated" võivad olla vasturääkivad.

Regelikult on nii filosoofi kui ka füüsiku uurimisobjektiks reaalne maailm. Schultz'i järgi võib luua kumbki endale erineva pildi reaalsest maailmast /ka vastukäitava pildi/ ja tal on täielik õigus seda teha. See näitab, et Schultz'i arvates maailmapildi loomine sõltub vaid subjektist. Siin paljastab Schultz ennast kui subjektiivset idealisti, konventsionalisti.

Aatomiõpetuse antinoomiaks peab Schultz seda, et mõningates katsetes / α -osakeste hajumine, β - ja kanal-kiired/ aatom omab läbitavat /durchlässige/ ehitust. Teised katsed /Wilsoni kambris osakeste teede jälgimine/ räägivad sellele vastu.

Selle väite kohta võib öelda, et nendest katsetest

saab järeldada, millised on aatomite ja erinevate osakeste $\alpha - \beta$ -osakesed jne./ vastastikune mõju. Ei saa aga rääkida antinoomiatest aatomiõpetuses. Samuti on aatomi ehitust vaadeldud tema erinevatest külgedest. Mõnedes nähtustes võib ilmned aatomite üks omadus, teistes teine, dialektiliselt vastandlik. See ainult kinnitab, et aatomit on käsitletud dialektika seisukohalt. Ei saa ju pidada Rutherford-Bohri mudelit ainuõigeks ja absoluutseks tõeks aatomi ehituses.

J.Schultz arutleb edasi. Rutherford-Bohri teooriaga kirjeldatavaid aatomeid pole võimalik omavahel siduda; see teooria ei seleta tahke keha tekkeprotsessi. Planetaarsed aatomid kui tervikud on neutraalsed ja nende vahel valitsevad gravitatsioonijõud on niivõrd väikesed, et nad ei suudaks aatomeid koos hoida. Rutherford-Bohri mudeliga ei saa selgitada kristallvõre ehitust. Sellest teeb Schultz järelduse: "Ja sellega ilmutab end Rutherfordi ja Bohri mudel kui ehtne fiktsioon Vaihingeri mõttes" K.37, lk. 217. Ta "selgitab" seda edasi: Ei tohi arvata, et aatom tegelikkuses kujutaks tõesti planetaarset süsteemi; "... vaid optikas ja elektriõpetuses saab nii arvutada, nagu nad seda oleksid; milline arvutus ka tõeliselt siiani praktiliselt kõlblikuks on osutunud ja niivõrd õigustatud on". lk. 217 .

Kõigepealt tuleb öelda, et kristallvõre ülesehitata-

mist Rutherford-Bohri aatomimudelitest on käsitlenud M. Born K. 20 . Born ei väida oma töös, et selliselt kristallvõret ehitada on võimatu, vaid ütleb, et sellel juhul tuleks arvestada veel teatud lisatingimusi. M. Born mainib, et kristallvõret on lihtsam ehitada kuubilisest täring mudelist.

Teiseks avaldub Schultzil öeldud väites jällegi subjektiiv- idealistlik seisukoht. Teda võiks selle väite põhjal võrrelda Hesse'ga, kes väidab, et analoogia võib olla ainult mudeli matemaatilise formalismi ja mõõtmistulemuste vahel.

Kuigi Rutherford- Bohri mudelis otseselt ei peeta silmas aatomite seost reaalses kehas, omab see mudel head kooskõla reaalse maailma nähtustega / elektromagnetiline kiirus, katoodkiired/. Samuti on jätnud Schultz kõrvale kõik need tõsiasiad, mis olid aluseks just planetaarse mudeli loomisel ja mis näitasid, et aatom enam-vähem niisugusena eksisteerib. Kui arvestada neid tingimusi, siis ei saa mingil juhul rääkida fiktsioonist Vaihingeri mõttes.

Järgnevalt ütleb Schultz ,et filosoofia vastupidi füüsikale nõuab ühtset pilti, mis sobiks kõigile juhtudele. Sellest lähtudes püüabki Schultz luua "filosoofilise aatomi". Selle loomine on vaid tühine spekulatsioon, millel pole vähimatki vastavust objektiivse reaalsusega. Tuues oma

mudeli eeliseid esile mainib Schultz , et Rutherford-Bohri mudelit saab kirjeldada matemaatiliselt, tema oma aga mitte. Selles suhtes peab ta Rutherford- Bohri mudelit eelistatuma. Kuid millised järeldused saaks Schultz oma mudelist teha reaalse maailma nähtuste kohta? Sellele pole mudeli looja püüdnud vastata ja seda ei saakski teha.

Mudeli ja piltliku mõtlemise osa loodusteaduslikes uurimustes käsitleb H. Dänzer K. 38 . Oma artiklis püüab ta selgitada mudeli ja tegelikkuse vahekorda.

H. Dänzer kirjutab, et mehhanistlik mõtlemine arenes materialistlikuks maailmapildiks, mis näeb mehhaanikas ainsat võimalust maailmaühenduste tunnetamiseks.

Siin on samastatud materialism üldise ja mehhanistlik materialismi. Öeldud väide kehtib ainult viimase kohta, mitte aga dialektilise materialismi kohta.

Õige on Dänzeri arvamus, et mudeli ja sellega kujutatud tegelikkuse samastamine pole mingil juhul õigustatud. Edasi aga märgitakse: "Tõelisuse mudelipärase /modellmässig/ kirjeldamise kõikuval pinnal ei saa aga mingit maailmavaadet ehitada." K. 38 ,lk. 306 .

Loomulikult määrab maailmavaate suhe tegelikkusega. Kuna aga mudelid on loodud just selleks, et reaalse maailma erinevaid külgi saaks paremini tundma õppida, siis iga mudel, mis on loodud analoogia põhjal objektiivse reaalsusega, annab meile informatsiooni tegelikkuses toimuvatest protsessidest.

Käsitledes Bohri aatomimudelit märgib Dänzer, et see mudel loob piltliku ettekujutuse aatomisiseste protsesside keerukusest. Tegelikuse selgeid mudeleid peab laiendama ka abstraktsioonides, kui seda teaduse edusammud nõuavad. Viimast väidet kinnitab Dänzer näitega, et tänapäeva aatomfüüsikas on klassikaline mehhaanika asendatud kvantmehhaanikaga.

Sellise arutluskäigu lõpuks teeb Dänzer kokkuvõtte: "Piltlikku mudelimõtlemist tuleb mõista kui religioosse mõtlemise mütoloogilist vormi." K. 38, lk 308 . Selline väide on omane objektiivsele idealismile. Dänzer kui objektiivne idealist ei saa muidugi mudelit mõista kui objektiivse reaalsuse kujutist muidu, kui vaid jumaluse kaasabil.

Ei saa nõustuda ka P. Duhemiga K.39 , kes lähtub rahvuslikust jaotusest ühe või teise teooria-tüübi kasutamisel. P. Duhem märgib, et inglise füüsikud püüdsid igale nähtusele seada vastavusse mehhaanilise mudeli. Prantsuse füüsikud püüdsid nähtusi selgitada abstraktsete mõistete ja üldiste seisukohtade ühendamise, toetudes rangelt loogika seadustele. Siit tuleks teha järeldus, et prantsuse füüsikud kasutasid teadusliku teooria arendamisel matemaatilisi mudeleid, inglise füüsikud aga mehhaanilisi.

Sellisel rahvuslikul jaotuspriinitsiibil pole muidugi

mingit alust; asi seletub teaduslikes koolkondades
kujunenud suundade ja uurimistraditsioonidega.

K o k k u v ö t e .

Töös püüti käsitleda aatominudelite gnoseoloogilist külge dialektilis-materialistlikult seisukohalt. Selleks on välja eraldatud mudelite klass, kuhu kuuluvad aatomimudelis. Põhitähelepanu on pööratud kvantmehhaanika-eelsele aatomimudelitele.

On välja selgitatud aastatel 1890 - 1924 füüsika- alases perioodikas ja monograafiatena ilmunud põhilised tööd, kus aatomimudelite probleem on käsitlemist leidnud.

Töös on kritiseeritud kodanlike filosoofide väärseisukohti modelleerimise küsimuse lahendamisel.

Kokkuvõttes võib öelda, et nende aatomimudelite loomine, millel on tähtsust teaduse arengus, pole subjektiivne tahteakt, vaid seda on tinginud reaalse maailma konkreetset nähtused. Aatomimudelite gnoseoloogilist külge saab õigesti mõista vaid dialektis-materialistlikust seisukohast.

Lõpetades käesoleva töö tänan oma juhendajat sm.L.Valt'i mulle osutatud abi eest.

11. mail 1962.

Lang

K I R J A N D U S E N I M I S T U

I . T ö ö s t s i t e e r i t u d m a t e r j a l i d .

1. Марков, М.А. О современной форме атомизма.
Вопросы философии 1960 № 3 и 4
2. В С Э второе издание, том 28. статья Колмогорова,
А.Н. Моделирование.
3. Асмус, В. Ф. Демокрит.
Москва, 1960
4. Вавилов, С.И. Исаак Ньютон.
Москва, 1961
5. Кубис, Л. П. Первая атомная модель.
Ученые записки Сталингр. гос. пед. ин-та
им. А. С. Серафимовича. 1953, № 3
6. Пути в незнание.
Писатели рассказывают о науке.
Москва, 1960
7. Корьякин, Ю. И. Биография атома.
Москва, 1961.
8. Риги, А. Современная теория физических явлений.
Одесса, 1908
9. Очерки развития основных физических идей.
Москва, 1959.
Статьи:
а/ Кудрявцев, П.С. Развитие теории электромагнитного
поля.
б/ Полак, Л. С. Возникновение квантовой механики.

10. Thomson, W. Phil. Mag 3, 1902, p. 257.
11. Thomson, J.J. On the Structure of the Atom: an Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a Number of Corpuscles Arranged at Equal Intervals Around the Circumference of a Circle; With Application of the Results to the Theory of Atomic Structure.
Phil. Mag./6/ 7, 234-265, 1904.
12. Тамм, И. Е. Основы теории электричества.
13. Nagaoka, H. Kinetics of System of Particles illustrating the Line and the Band Spectrum and the Phenomena of Radioactivity.
Phil. Mag. 12, 1904, p. 445-455.
14. Rutherford, E. The scattering of α - and β -Particles by Matter and the Structure of the Atom.
Phil. Mag. 21, 1911, p. 669-688.
15. Шпольский, Э. В. Атомная физика, том I
Москва, 1950
16. Sommerfeld, A. Atombau und Spektrallinien kapital 2
Berlin 1919.
Строение атома и спектры, том 2.
Москва 1956
17. Broglie, A. V. Annalen d. Physik /10/ 3, 22, 1925.
18. Шпальский, Э. В. Атомная физика. том 2.
Москва, 1950.
19. Kossel, W. Über Molekülbildung als Frage des Atombaus.
Annalen der Physik /4/ 49, 1916.

20. Born, M. Über kubische Atommodelle.
Verhandlungen der Deuts. Phys. Gesellschaft 1918.
21. Whittaker, E.F. On the Quantum Mechanism in the Atom.
Proc. Edinburgh Soc 42, 1922, Nr. 2, 129-142.
22. Гамбош, П. Статистическая теория атома и ее применение.
Москва, 1951.
23. Hartree, D.R. Wave mechanics of an Atom with a Non-
Coulomb Central Field.
Proc. Camb. Phil. Soc. 24, 1928, p. 89.
24. Fock, V. Zs.f. Phys. 61, 1930. /126/.
25. Протоdjяков, М. Геометрия электронных оболочек.
Техника молодежи 1962 /2/.
26. Смирнов, В. А. Так называемые абстрактные объекты
и теория языковых каркасов Р. Карнапа.
Диалектический материализм и современный
позитивизм.
Тезисы докладов и выступлений, Москва, 1961
27. Макаревич, Б. Е. Исследование явлений в чистом виде
как форма научной абстракции.
Ученые записки Ярославского пединститута.
Выпуск XXV /XXXV/, 1958. Гуманитарные науки.
28. Горский, Д. П. О видах научных абстракций и способах
их обоснования.
Вопросы философии 9, 1961 /65-78/
29. Бабосов, Е. М. Роль анализа и синтеза в научном поз-
нании /автореферат/.
Минск 1961.
30. Мамардашвили, М. К. Процессы анализа и синтеза.
Вопросы философии 1958 № 2.
31. Баженов, Л. Б. Основные вопросы теории гипотезы.
Москва, 1961.

32. Логика.
Москва, 1956.
33. Штофф, В. А. К вопросу о роли модельных представлений в научном познании.
Ученые записки ЛГУ 1958, № 248.
34. Штофф, В. А. О роли моделей в квантовой механике.
Вопросы философии 1958, № 12.
35. Hutten, H. E. The role of Models in Physics.
The Brit. Journ. of the Phil. of Science,
1954, vol. 4, Nr. 16, p. 284.
36. Hesse, M. B. Models in Physics.
The Brit. Journ. of the Phil. of Science,
1954, vol 4, Nr. 15, p. 198.
37. Schultz, J. Atommodelle.
Ann. d. Philosophie 6, Heft 6/7 1960.
38. Dänzer, H. Die Rolle des Modells und des bildhaften Denkens in der naturwissenschaftlichen Forschung.
Phuysikalische Blätter, 1960, Jg. 16, Heft 6.
39. Люгем Физическая теория, ее цель и структура.
Спб. 1910.

II Ajavahemikku 1890-1924 kuuluv kirjandus
aatomi struktuuri kohta. /väljaarvatud töös
kasutatav kirjandus/

1. Abbot, C.G. The architecture of atoms and a universe
built of atoms.
S.-A. Smiths Rep. for 1922; 1924 /157-166/
2. Allen, H.S. An Atomic Model with Stationary Electrons.
Nature 110, 1922; Nr. 2757 /310/
3. Bateman, H. Some questions connected with the constitution
of the atom.
Manchester Soc., Oct. 20, 1908. Nature 79, /118/,
1908
4. Bavnik, B. Moderne Atomistik im Unterricht.
Z S f. phys. Unter. 34/241-246/ 1921, Nr. 6
5. Bertels, H. Das Problem der spektralen Intensitätsver-
teilung und die Kaskadensprünge im Borschen
Atommodell.
ZS. f. Phys. 37, 1926, Nr. 1/2 /35-59/
6. Berthoud, A. La structure des Atomes.
Arch. sc. phys. et. nat. /5/ 1, 1919/473-496/
7. Bialobjeski, T. Duration of Emission of Quanta in Bohr's
Atomic Model.
Krakauer Anzeiger, 1919/A/ Nr. 8/10/79-96/
8. Bohr, N. Atomtheorie und Mechanik.
Naturwissensch. 14, 1926, Nr. 1/1-10/
9. Bohr, N. Bau der Atome.
Berlin, 1924.
10. Bohr, N. Über den Bau der Atome.
Naturwissensch. 11; 1923. Nr. 27/606-624/
11. Bohr, N. Atomic Structure.
Nature 107; 1921. Nr. 2682 /104-108/

12. Bohr, N. On the model of a triatomic hydrogen molecule.
Medd.Nobelinstitut 5,Nr.28,168,1919.
13. Bohr,N. Unsere heutige Kenntnis vom Atom.
Die Umschau 25; 1921 Nr.18 /229-232/
14. Born,M. Probleme der Atomdynamik.
Berlin 1926.
15. Born,M. und Pande ,A. Antwort auf die Bemerkungen des
Herren Vegard zu unseren Arbeiten über Kristallgitter und Bohrsches Atommodell.
Verh.d.D.Phys.Ges.21; 285-387;1919.
16. Born, M. Das Atom.
Die Naturwissenschaften 8,1920 /213-226/
17. Born ,M.und Heisenberg,W.
Phasenbeziehungen bei den Bohrschen Modellen
von Atomen und Molekeln.
Z S.f.Phys.14,1923 Nr.1 /44-55/.
18. Brackett F.S. and Birge R.T.
Quantum defect and the Bohr theory of atomic
structure.
Phys.Rev. /2/ 21, 1923, Nr.6 /710-711/.
19. Brackett,F.S. and Snoddy L.B.
Mechanical aspects of the Bohr atom.
Phys.Rev./2/, 26, 1925 Nr.6 /884/
20. Campbell,N.R. Atomic structure.
Nature 106,1920,Nr.2665 /408-409/.
21. Chaturvedi,R.K. Über eine ernstliche Schwierigkeit in
der Bestimmung der Zahl der vom Bohrschen
Atom ausgestrahlten Schwingungen.
ZS.f.Phys.33,1925, Nr.9 /660-663/
22. Clarke, F.W. The atomic theory.
Mem. and Proc. Manchester 47, Nr.11,1903,S.32.
23. Grehore,A.C. A Study of Cristal Structure in the Light
of New Atomic Models.
Phil.Mag./7/,1, 1926, Nr.4 /786-827/.

24. Crehore, A. C. On the Universal Distance of 10^{-8} cm
between the Centres of Nearest Atoms.
Phil.Marg./6/ 49, 1925 /839-888/
25. Crehore, A. C. A Copernican Atomic Model based an Elektro-
magnetic Theory.
Phys.Rev./2/,17,1921,Nr.4 /541-544/.
26. Crehore, A. C. An Atomic Model based upon Electromagnetic
Theory I.
Phil.Mag. /6/ 42/569-592/ 1921 Nr.250.
27. Darrow, K. The Atom-Model.
Bell.Syst.Techn.Jour.4,1925 Nr.3 /4 07-458/.
28. Darwin, C. G. The Structure of the Atom.
Nature 106,1920 Nr.2654,2655, 2656 / 51-54;
81-86 ; 116-118/
29. Debye, P. Die neuen Forschungen über den Bau der
Moleküle und Atome.
Verh. ges.D.Naturf. und Ärzte 86, 1920
/239-241/
30. Eldrige, J. A. Criticism of the Whittaker atomic model.
Phys.Rev./2/ 25, 1925,Nr.1 /115/.
31. Feussner, O. Bohrsche Atomtheorie und elektrische
Zeitfähigkeit.
ZS.f.Phys. 25,1924,Nr.3./215-219/
32. Geiger, H. Über unsere heutigen Vorstellung vom Bau
der Atome.
Elektrot. Umsch. 8,1920 /213-217/
33. Graetz, L. Die Atomtheorie in ihrer neuesten Ent-
wicklung.
Stuttgart - 1920

34. Harkins, W.D. and Hall, R.E.
The periode system and the properties of the
elements.
Journ. Amer. Chem. Soc. 38, 1916 /169-221/.
35. Harkins, W.D. and Wilson, E.
Recent work on the structure of the atom.
Journ. Amer. Chem. Soc. 38, 1915, /1396-1421/
36. Harkins, W.D. and Wilson, E.
The structure of complex atoms. The hydrogen-
helium system.
Journ. Amer. Chem. Soc. 37, 1915 /1383-1396/.
37. Heern, P. La constitutiono de la matere et la physique
moderne.
Bull de Belg. /3/ 24, 1892 /670-687/.
38. Hengelin, F. A. Der Aggregatzustand der Elemente und das
Atommodell.
ZS. f. Elektrochem. 27, 1921 Nr. 1/2 /28-30/.
39. Hughes, W. Possible Reconciliation of the Atomic Models
of Bohr and of Lewis and of Langmuir.
Nature 110, 1922, Nr. 2749 /37-38/
40. Jackson, L.C. A matematical investigation of the stability
of Dr. A. Stewarts Atom.
Phil. Mag. /6/, 1919 /256-266/
41. Jeans, J.H. The Quantum Theory and New Theories of
Atomic Structure.
Journ. Chem. Soc. 115, 1919 /865-871/
42. Jordan, P. Bemerkungen zur Theorie der Atomstruktur.
ZS. f. Phys. 33, 1925 Nr. 8 /563-570/
43. King, L.V. Demonstration of Atomic Models.
Phil. Mag /6/ 44, 1922 Nr. 260 /395-400/

44. Kirchof, F. Über eine Modifikation des Bohrschen
Atommodells.
ZS. f.Phys.Chem.93,1919 /623-633/
45. Kohlweiler, E. Der Atombau auf Grund des Atomzerfalles
und seine Beziehung zur chemischen Bildung
zur Wertigkeit und zum elektrochemischen
Charakter der Elemente.
ZS.f.phys.Chem.93,1918/1-42/.
46. Kramers, H.A. Über das Modell des Heliumatoms.
ZS.f.Phys.13,1924, Nr. 5 /313-341/
47. Kramers, H.A. Zonnestelsels en Atomen.
Physica, 2, 1922, Nr.6 /174-190/
48. Kramers, H.A. und Holst H.
Das Atom und Bohrsche Theorie seines
Baues.
Berlin 1925.
49. Kroning, R.L. Model of the helium Atom.
Science 58, 1923, Nr.1513 /537/
50. Kudar, J. Kernimpulss und Atombau.
Phys. ZS. 27, 1926, Nr.2 /59-62/
51. Kurbatov, W. Die bedeutung der Atomhypothese.
Journ.d.russ.phys.-chem.Ges.39, 1907
/1181-1212/
52. Lande, A. Zu Schwenderwein über die Jonengrosse und
die Gitterenergie der Alkalihalogenide
für Atommodellen mit Würfelbahnen.
ZS.f. Phys. 4, 1921, Nr.3 /450/
53. Lande, A. Über Würfelatome.
Phys.ZS.21, 1920 Heft 21/22 /626-628/

54. Lande, A. Würfelatome, periodisches System und Molekülbildung.
ZS.f.Phys.2, 1920 Nr.4 /380-404/
55. Larmor, J. O Non-Radiating Atoms.
Phil^mag./6/ 1921, Nr.250 /42,595/
56. Lane, M. Atomaufbau und Atomzertrümmerungen.
ZS.d.Ver. d.Ing. 68, 1924, Nr.30 /769-773/
57. Laurie, A.P. Experiments With a Model to illustrate the
Combination of two Atoms consisting of
Magnetons round a Positive Nucleus.
Proc.Edinburgh.43, 1923, Nr.1 /72-84/
58. Lewis, C.M. The atom and the molecule.
Journ.Amer.Soc.38, 1916 /762-785/
59. Lewis, C.M. Atomic structure and Quantisation.
Scienta 35, 1924, Nr.3 /168-178/
60. Lindsay, R.B. Note on "pendulum" orbits in atomic
Models.
Phys.Rev /2/ 29, 1927, Nr.4 /612/.
61. Lindsay, R.B. Atomic models of the alkali metals.
Phys.Rev./2/, 23, 1924, Nr.4 /552-553/.
62. Lodge, O. Bohr and Langmuir Atoms.
Nature 110, 1922, Nr. 2758 /341/
63. Madelung, E. und Lande, A.
Über ein dynamisches Würfelatommodell.
ZS.f.Phys.2, 1920, Nr.3 /230-235/.
64. Mallik, D.N. Stability of the Atom.
Phil.Mag./6/ 48, 1924, Nr.287 /884-895/.
65. Marsch, J.K. and Stewart, A.W.
A Magnetic Model of Atom Constitution.
Nature 109, 1922, Nr.2733 /1922-, 340/

66. Masson, O. The Constitution of Atoms.
Phil. Mag. /6/ 41, 1921, Nr. 242/281-285/
67. Mil, G. Das Wesen der Material.
Leipzig-Berlin 1919.
68. Millikan, R. A. Atomism in modern Physik.
Journ. Chem. Soc. 125, 1924, Juli /1405-1417/
69. Milne, E. A. The total energy of binding a heavy atom.
Proc. Cambridge Phil. Soc. 23, 1921, Nr. 7
/794-799/
70. Oxley, A. E. On Atomic and Molecular Structure.
Nature 105, 1920 /231-232/
71. Peddie, W. Whittaker's Atomic Model and other Atomic
Models.
Proc. Edinburgh Soc. 42, 1922, Nr. 2 /223-224/
72. Pellat, H. Sur la constitution de l' atome.
C.R. 144, 1907 /480-482/
73. Pellat, H. Diametre d' un atome.
C.R. 144, 1907 /902-904/
74. Pellat, H. Sur la constitution de l'atome et la de
Coulomb.
C.R. 144, 1907 /744-746/
75. Perkins, C. A. Experiments of J. J. Thomson on the struc-
ture of the atom.
Science 12, 1900 /368-370/
76. Perrin, J. Die Atome.
Dresden 1920
77. Planck, M. Die Bohrsche Atomtheorie.
Naturwissensch. 11, 1923, Nr. 27 /535-537/
78. Noyes, W. A. A kinetic hypothesis to explain the function
of electrons in the chemical combination of
atoms.
Journ. Amer. Chem. Soc. 39, 1917 /879-882/

79. Radulescu, D. Atommodelle und die Dynamide von Lenard.
Das Torulusmodell und die Quantentheorie.
Bulet. Societat de Stunte din. Chy. 2, 1924
/129-154/
80. Radulescu, D. Atommodelle und die Dynamide von Lenard.
Bulet. Societat de Stunte din. Cluj. 1
1922 /215-231/.
81. Rella, T. Über das elektrostatische Potential räumlichen
Atommodelle.
ZS. f. Phys. 3, 1920, Nr. 3 /157-168/
82. Remy, E. Die neue Atomlehre und ihre Beziehungen zum
Weltall.
Natur 12, 1921, Nr. 21 /271-276/ Nr. 22
/290-294/
83. Russell, A. S. The Structure of the Atom.
Discovery 1, 1920, Nr. 12 /361-365/
84. Rydberg, J. R. Elektron, der erste Grundstoff.
Berlin - 1906
85. Schenk Der Bau der Atome.
Lie Umschau 24, 1920 /337-340/
86. Schmidt, G. S. Das Problem der Urmaterie.
Chem. ZS. 1. 1902 /177-179, 209-211/
87. Schmidt, H. Notiz über eine besondere Klasse von Deter-
minanten und ihre Anwendung bei Stabilitäts-
studien an Atommodellen.
Phys. ZS. 20, 1919 /446-448/
88. Schmid, R. Das Atom - ein räumliches Planetensystem.
Leipzig - Wien 1925
89. Schwenderwein, H. Die Ionengröße und die Gitterenergie
der Alkalihalogenide für Atommodellen mit
Würfelbahnen.
ZS. f. Phys. 4, 1921, Nr. 1 /73-88/

90. Slater, J. E. A dynamical model for complex atom.
Phys. Rev. /2/, 1926, Nr. 2 /291-317/
91. Smekal, A. Bemerkungen zu den räumlichen Atommodellen.
ZS. f. Phys. 1, 1920 /309-319/
92. Sommerfeld, A. Grundlagen und Ziele der Bohrschen Theorie von Atomen und Spektren.
ZS. f. Elektrochem 26, 1920 /258-260/
93. Sommerfeld, A. Model of the neutral helium atom.
Journ. Opt. Soc. 7, 1923, Nr. 7 /509-515/
94. Sommerfeld, A. Atombau und Spektrallinien.
Berlin 1919
95. Sommerfeld, A. Grundlagen der Quantentheorie und des Bohrschen Atommodells.
Naturwissensch. 12, 1924, Nr. 47 /1047-1049/
96. Sommerfeld, A. Die Erforschung des Atoms.
Strahlentherapie 19, 1924, Nr. 6 /873-882/
97. Stanley, A. The question of the divisibility of the atoms.
Journ. Franklin Inst. 153, 1902, /451-468/
98. Stintzing Eine mögliche Bedeutung der Tetraederzahlen im natürlichen System für den Atombau.
Verh. d. D. Phys. Ges. /6/ 6, 1925, Nr. 2 /32-33/
99. Swann, W. F. G. The Structure of the Atom.
Journ. Franklin Inst. 197, 1924, Nr. 3 /293-321/
100. Tank, F. Über Serienspektren nach dem Bohrschen Modell.
Ann. d. Phys. /4/ 59, 1919 /293-331/
101. Tendt, H. Über Atommodelle mit langgestreckten Kernen
Zs. f. Sauerstoff n Stickstoff. Ind. 14, 1922, Nr. 4 /38-41/

102. Tommasina, Th. Quelques observations a propos de la
Note de M.H. Pellat sur la constitu-
tion de l'atome.
C.R. 144, 1907 /746-747/
103. Vallatra, L. M. Bohr's atomic model form the stand-
point of general relativity.
Phys. Rev. /2/ 25, 1925, Nr. 4./382/
104. Vegard, L. Die Verwandtschaftverhältnisse der Elemen-
te im Licht modernen Atomtheorie.
Berlin, 1924
105. Vegard, L. Bemerkungen zu den Arbeiten von M. Bohr
und A. Lande über Kristallgitter und
Bohrsches Atommodell.
Verh. d. D. Phys. Ges. 21, 1919 /383-385/
106. Wahl, W. A. Die Valenzverhältnisse des Bohrs, Kohlen-
stoffs und Stickstoffs vom Standpunkt
des Bohrschen Atommodells.
ZS. f. anorg. Chem. 146, 1925, Nr. 3/4
/201-224/
107. Wenzel, F. Die chemische Struktur der Atome.
Wiener Anz. 1918 /82-85, 147-148/
108. Woodward, I. Calculation of the Potential Energy
for some Atomic Models.
Phil. Mag. /6/ 47, 1924, Nr.281 /992-
1016/
109. Wereide, Th. General principle of relativity applied
to the Rutherford - Bohr Atommodell.
Phys. Rev. /2/ 21, 1923, Nr.4 /391-396/

110. Zerman, P. Experimentelle onderzoekingen over deelen
kleiner dan atomen.
Phys. ZS. 1, 1900 /562-565, 575-578/
111. Zehender L. Folgerungen aus der Kugelform der einfachs-
ten Atome /mit Modellen/.
Phys. ZS. 23, 1922, Nr. 5 /53-55/
112. Zehender, L. Der atomische Äther, das Wasserstoffatom
und das Plancksche Wirkungsquantum.
Verh. d. D. Phys. Ges. 21, 1919 /118-125/
113. Zehender, L. Ein Atommodell.
Verh. d. D. Phys. Ges. 18, 1916 /134-148/
114. Zehender, L. Über den Atombau.
Verh. d. D. Phys. Ges. 18, 1916 /324-332/