

Ave Mets

Ilya Prigogine'i raamatu "Tõsikindluse lõpp. Aeg,
kaos ja uued looduseadused" filosoofiline
analüüs ja looduseaduste käsitus

Magistriväitekiri

Juhendajad: professor kandidaat (filosoofia) Rein Vihalemm ja
vanemteadur doktor (füüsika-matemaatika) Piret Kuusk.

Tartu 2007

Sisukord

Sissejuhatus	3
1 Kaasaegne teadus ja probleemid, mida Prigogine lahendada püüab	4
1.1 Klassikaline mehaanika	5
1.2 Kvantmehaanika	6
1.3 Termodünaamika	8
1.4 Deterministlik kaoseteooria	10
2 Ilya Prigogine'i teooria	11
2.1 Aeg teaduses	11
2.1.1 Suured Poincaré süsteemid	12
2.1.2 Poincaré resonantsid	13
2.1.3 Korrelatsioonid	14
2.1.4 Mittetasakaalulisus ja ebastabiilsus	15
2.1.5 Dissipatiivsus ja iseorganiseerumine	17
2.1a Aeg teaduses: repriis	18
2.2 Kuidas Prigogine'i teooria peaks lahendama kaasaegse teaduse probleemid	19
2.2.1 Idealiseeritus	19
2.2.2 Determineeritus	20
2.2.3 Tasakaalulisus ja stabiilsus	20
2.2.4 Pööratavus	21
3 Prigogine'i teooria kriitika	21
3.1 Matemaatika ja rakendused	22
3.1.1 Korrelatsioonid ja trajektoorid	24
3.1.2 Pöördumatus	25
3.1.2.1 Kriitika Bishopi kohta	27
3.1.3 Taandumatu tõenäosuslikkus	27
3.1.4 Ebakõlad kvantmehaanika formalismiga	29
3.2 Deterministlik kaoseteooria	30
3.2.1 Vastuväited Jean Bricmont'ile	32
3.2.1.1 Kriitika Näpineni ja Mürsepa käsitlusele	33
3.3 Vastuolud Prigogine'i teoorias	34
3.3.1 Süsteemi avatus ja suletus pöördumatuse allikana	34
3.3.2 Subjektiivsus ja objektiivsus	35
4 Looduseadused ja mudelid teaduses	36
4.1 Nancy Cartwrighti käsitlus looduseadustest	38
4.1.1 Prigogine Cartwrighti valguses	40
4.1.2 Kriitika Cartwrighti pihta	41
4.1.3 Täppisteaduse spetsiifika Rein Vihalemma käsituses	43
4.2 Teaduseaduste ja looduseaduste eristus Norman Swartzi põhjal	44
4.2.1 Swartzi seadusemõistete analüüs	45
4.2.1.1 Looduseaduste, teaduseaduste ja kogemuse suhe	46
4.2.2 Prigogine'i teooria organisatsioon	48
4.3 Teaduseadused kui mudelid: ülevaade Ronald Giere konstruktiiv-realistlikust mudelist	49
4.3.1 Mudelid Prigogine'i teoorias	51
4.4 Prigogine'i teooria võimalik staatus	53
Kokkuvõtt	57
Kasutatud kirjandus	60

Sissejuhatus

Oma töös vaatlen kaoseteooria edasiarendust Ilya Prigogine'i poolt, tuginedes põhiliselt tema raamatule "Tõsikindluse lõpp. Aeg, kaos ja uued loodusseadused". Prigogine ja tema koolkond on arendanud teooriat, mida nad peavad klassikalise mehaanika ja kvantmehaanika laienduseks nii, et need haaravad ka pöördumatud protsessid ja kaootilised termodünaamilised süsteemid, ning ühtlasi peavad nad uut teooriat mitteklassikaliseks teaduseks, vastandades seda klassikalisele teadusele, mille hulka arvavad nad lisaks klassikalisele mehaanikale ka kvantmehaanika. Väidetavalt on isegi muutunud loodusseaduse mõiste: kui klassikalises teaduses väljendab see tõsikindluseid (*certainties*), siis nüüd võimalikkusi (*possibilities*). Ühest küljest seostub loodusseaduse käsitlus teadusliku teooria kui maailma kirjeldamise viisiga. Olulised matemaatilised vahendid selle saavutamiseks on väidetavalt operaatorarvutus ja väljumine Hilberti ruumist taglastatud Hilberti ruumi puhta matemaatika poolt ning rakendusmatemaatika poolt suured Poincaré süsteemid ja Poincaré resonantsid. Teisest küljest seostub see teaduslikult kirjeldatava osaga maailmast. Kui klassikaline teadus kirjeldas maailma kui kirjeldajast endast (inimesest) eraldiseisvat objekti, siis Prigogine väidab haaravat teaduslikku kirjeldusse ka subjekti – inimese kui maailma osa.

Siit tulenevad järgmised küsimused. Kas Prigogine'i teooria puhul on tegemist füüsikasarnase täppisteadusliku teooriaga, kus väljatöötatud matemaatiline aparatuur on kasutatav hästi defineeritud füüsikaliste probleemide lahendamiseks? Mis mõttes erineb see klassikalisest ja kvantmehaanikast? Mis mõttes erineb see termodünaamikast? Mis mõttes erineb see deterministlikust kaoseteooriast? Kas väidetav uus teadus tõepoolest kirjeldab pöördumatust, aja kulgu? Kas see kirjeldab vaatlejat koos vaadeldavaga? Kas nüüd tõesti kirjeldavad loodusseadused maailma kogu selle keerukuses, ebakorrapärasuses ja mitmetahulisuses? Miks pole Prigogine'i teooria leidnud üldist poolehoidu täppisteadlaste hulgas?

Neile küsimustele vastuseid otsides uurin nii Prigogine'i enda kirjutatut kui tema teooria käsitlusi ja kriitikat kui ka üldisemaid käsitlusi loodusseadustest, mudelist ja teaduslikkusest. Töö esimeses peatükis esitan ülevaatlikult klassikaliste füüsikateooriate ja kvantmehaanika probleemid, millele Prigogine'i teooria lahendusi peaks pakkuma, teises osas tutvustan Prigogine'i teooriat ja võrdlen uut teooriat eelpool nimetatud tunnustatud füüsikateooriatega, kolmandas peatükis vaatlen kriitikat Prigogine'i teooria aadressil põhiliselt konkreetsemast (matemaatilisest ja rakenduslikust) aspektist ning neljandas

Mets: Ilya Prigogine'i teooria analüüs looduseaduste aspektist

päätükis asetan need teooriad looduseaduse mõiste teoreetilisse raamistikku ning arutan Prigogine'i teooria üldisemaid filosoofilisi probleeme.

Kavatsen jõuda järgmistele järeldustele:

- Prigogine'i teooria näol ühes mõttes (metoodika poolest) on ja teises mõttes (selguse poolest) pole tegemist hariliku täppisteadusliku teooriaga.
- Tema taotlused kirjeldada (kogu) maailma nagu see on ja kirjeldada teda matemaatilise rangusega on antagonistlikud.
- Teooria pole leidnud laialdasemat kasutust tulenevalt tema antagonistlikkusest, alamääratusest (rakendusvaldkond, defineeritavad objektid ja seosed) ja piisava vajaduse puudumisest nii keerulise esituse kasutuselevõtuks.
- Looduseaduse mõiste täppisteadustes pole kaotanud oma klassikalist tähendust.

1 Kaasaegne teadus ja probleemid, mida Prigogine lahendada püüab

Vaatlen lähemalt neid teooriaid, milles Prigogine näeb vigu laita ja mida ta püüab omapoolsete uuendustega parendada, laiendades väidetavalt nende haaret ning ühendades neid ühtsemaks käsituseks. Need teooriad on klassikaline mehaanika ja kvantmehaanika kui deterministlikku ja pööratavat dünaamikat esitavad teooriad, termodünaamika kui statistilisi mittepööratavaid süsteeme esitav teooria ja deterministlik kaoseteooria kui klassikalise mehaanika laiendus ennustamatutele süsteemidele. Neid võiks nimetada ka klassikaliseks teaduseks, kuna nad on leidnud kaasajal tunnustust ja laialdast kasutust ning kuna Prigogine neile vastandab oma teooriat, mida ta peab mitteklassikaliseks. Prigogine'i üldine etteheide neile on: looduseadused, formuleerituna traditsioonilisel viisil, kirjeldavad stabiilset, idealiseeritud maailma, mis on üpris erinev sellest ebastabiilsest, arenevast maailmast, milles me elame (Prigogine 1997: 26). Tema arvates on igal nimetatud teooriatest selles vastuolus oma eripärane süü.

1.1 Klassikaline mehaanika

Klassikalise ehk Newtoni mehaanika põhiprobleemideks peab Prigogine idealiseeritust, sh abstraheritust vaatele, determineeritust ja pööratavust. Selgitan järgnevalt nimetatud probleeme lähemalt.

Klassikaline mehaanika käsitleb konservatiivseid (ehk energiat säilitavaid), väheste osakestega tasakaalulisi süsteeme. Sellised süsteemid alluvad lihtsatele, pööratavatele seadustele. Kuna energiat saavad säilitada ainult suletud süsteemid, seega idealiseeritud ja vaatele sõltumatud süsteemid, mida reaalsuses ei leidu, siis tähendab see, et klassikaline mehaanika käsitleb pelki idealisatsioone (Prigogine ja Stengers 1984: 41). Idealisatsioonid on aluseks loodusega manipuleerimisele – eksperimenteerimisele, võimaldades luua kunstlikult olukordi, kus inimene kontrollib täpselt süsteemide koosseise ja neile mõjuvaid jõudusid. Seeläbi eksperiment kui reaalsuse kontekstist väljakistud olukord ühtlasi toetab ja kinnitab idealisatsiooni kui reaalsest olukorrast abstraheritud kirjeldust. Selle kaudu, leiab Prigogine, saab maailm uurimisobjektiks, mis seisab uurijast – inimesest – eraldi ja samas allub selle manipulatsioonile (Samas: 42-43). Lihtsatele stabiilsetele looduseadustele omistati universaalne kehtivus ja fundamentaalsus, kogu loodust peeti alluvaks lihtsatele seadustele (Samas: 44 ja 48). Looduseadused kirjeldavad praegu idealiseeritud, stabiilset maailma, kuid see maailm, milles me elame, on ebastabiilne, arenev, fluktuuerv (Samas: 26, 184). Seetõttu leiab Prigogine, et kaasaegne klassikaline teadus on ebatäielik, jättes maailma kogu keerukuse oma kirjeldustest välja.

Klassikalises mehaanikas kasutatakse protsesside kirjeldamisel trajektoori¹ mõistet, mis esitub diferentsiaalvõrrandi (süsteemi) abil. Trajektoor on punktihulk $6N$ -mõõtmelises faasiruumis, mille moodustab N osakesest koosneva süsteemi kulgemine (iga osakese jaoks on kolm ruumi- ja kolm kiiruse või impulsi mõõdet). See on determineeritud, konservatiivne, võib sisaldada aega ühe parameetrina ning omab (nii asukoha kui kiiruse jaoks) matemaatiliselt põhimõtteliselt infinitesimaalselt täpset väärtust igal ajahetkel. Süsteemi kulgemist faasiruumis kirjeldavad Hamiltoni võrrandid, mis määravad süsteemi kulgemise täielikult, kui on teada algtingimused (Prigogine 1962: 13). Pööratavus on defineeritud järgmiselt: “Mikroskoopilise pööratavuse peamine omadus seisneb individuaalsete osakeste kõigi mehaaniliste liikumisvõrrandite invariantisuses teisenduse $t \rightarrow -t$ suhtes (Prigogine 1967: 51).” Sellisel juhul pole vahet, kas võtta aeg

¹ Trajektoor on liikumistee faasiruumis, mille punktid on ajalises järgnevuses (Lepik, Engelbrecht 1999: 288).

pluss-märgiga (tulevikku mingist alghetkest $t=0$) või miinus-märgiga (minevikku), tulemus on sama (Prigogine 1997: 110). Ka pööratavus teenib Prigogine'i arvates inimese huve loodusega manipuleerimisel: "Pööratavad teisendused kuuluvad klassikalise teaduse juurde ses mõttes, et nad määravad võimaluse süsteemile toimida, seda kontrollida. *Dünaamilist objekti* saab kontrollida tema algtingimuste kaudu (Prigogine ja Stengers 1984: 120)." Seejuures pole dünaamika iseloomu järgi võimalik vahet teha, kas liikumine toimub tulevikku või minevikku.

See on intuiitiivselt vastuvõetamatu, kuna igapäevaselt kogeme endas ja enda ümber sündmusi ja protsesse, mille kulgemine vastupidises suunas – tulevikust minevikku – pole kujuteldav. Seega on inimkogemuses tulevik ja minevik selgelt eristuvad (Prigogine 1997: 28). "Üksiku trajektoori algtingimus vastab lõpmatule hulgale $\{u_n\}$ ($n=-\infty$ kuni $+\infty$).² Aga reaalses maailmas saame me vaadata ainult läbi lõpliku akna (Samas: 101)." Sellest järeldeb Prigogine, et klassikaline Newtoni mehaanika läheb vastuollu inimkogemusega maailma keerukusest ning ajalisusest kui inimese eksistentsiaalsest olukorrast, kuid ka looduse endaga:

Loodus sisaldab nii ajas pööratavaid kui ka ajas mittepööratavaid protsesse, kuid on aus öelda, et mittepööratavad protsessid on reegel ja pööratavad protsessid erand. Pööratavad protsessid vastavad idealisatsioonidele: me peame ignoreerima hõõrdejõudu, et panna pendel võnkuma pööratavalt. Sellised idealisatsioonid on problemaatilised, sest looduses pole absoluutset tühjust (Samas: 18)

1.2 Kvantmehaanika

Kvantmehaanika probleemid kattuvad osaliselt klassikalise mehaanika probleemidega: idealiseeritus, sh determineeritus, pööratavus, kuid lisandub pööratavusest tulenev kvantparadoks ja selle tõlgendused.

Erinevalt klassikalisest mehaanikast pole kvantmehaanika objektide – kvantosakeste – puhul enam võimalik mõõta korraga nii asukohta kui impulssi infinitesimaalse täpsusega, kuna kehtivad Heisenbergi määramatuse printsiibid. Kvantmehaanika põhivõrrand on Schrödingeri võrrand, mis arvutab lainefunktsiooni³ Ψ muutumist ajas ning kvantsüsteemi energiatasandeid (seda nimetatakse kvantmehaanika

² Nimetatud algtingimus on seotud Prigogine'i näitega Bernoulli kujutusest, mis rakendub ühikpoollõigule. Esitades selle kahendsüsteemis, osutub, et teisendus (olgu see tähistatud tähega T) teostab bitijada $u_0, u_1, u_2, u_3, \dots$, kus u_n sisaldub hulgas $\{0, 1\}$, nihutamist: $T(u_0, u_1, u_2, u_3, \dots) = u_1, u_2, u_3, u_4, \dots$. Bernoulli kujutusega analoogne on pagari teisendus, mille Prigogine toob deterministliku, kaootilise ja pööratava dünaamika näitena (Prigogine 1997: 99-101).

³ Lainefunktsioon Ψ on kvantosakeste ansambli (mõõtmistulemuste) tõenäosuse amplituud (Piret Kuusk).

fundamentaalseks loodusseaduseks (Prigogine 1997: 136)). Erinevalt klassikalisest mehaanikast ei ole selle lahendeiks mitte trajektoorid vaid lainefunktsioonid, mida tõlgendatakse kui tõenäosusamplituude (osakese/laine mingis asukoha või momendi olekus olemise tõenäosuste amplituude – sõltuvalt sellest, kas lainefunktsioon asub asukoha- või momendiruumis (ehk on funktsioon asukohast või momendist)).

Ühine klassikalisele ja kvantmehaanikale on pööratavus. Nagu Hamiltoni võrrand, on ka Schrödingeri võrrand arvutatav tulevikku ja minevikku, kui lainefunktsioon mingil suvalisel ajahetkel on määratud. Kvantmehaaniline tõenäosus on ajas sümmeetriline, seega samuti pööratav (Prigogine 1980: 57 ja 1997: 11, 137). See tuleneb Prigogine'i arvates kvantsüsteemi suletusest ja lihtsusest: kvantmehaanika süsteemid on tasakaalulised, neile ei mõju välised jõud ja osakeste vahel pole püsivaid vastasmõjusid. Seega on tegemist, nagu klassikalise mehaanika puhulgi, väga idealiseeritud ja ainult stabiilsete süsteemide puhul kehtiva mudeliga (Prigogine 1997: 184). Kvantsüsteemides esineb pöördumatuid protsesse (nt lignemine tasakaalule kiirguse ja aine vastasmõjul (Samas: 131)), mida ei esine väikestes süsteemides ja mis ei esitu olemasoleva matemaatilise aparatuuri abil (nt Hamiltoni ruumis).

Kui Schrödingeri võrrand teisendab ühe lainefunktsiooni teiseks, ehk puhta oleku puhtaks olekuks, siis mõõtmisel, mis on ainus võimalus Schrödingeri võrrandi kontrollimiseks (kuna ta pole tuletatav teistest võrranditest (Prigogine 1980: 57)), ilmneb nähtus, mida nimetatakse lainefunktsiooni kollapsiks. Nimelt esitub lainefunktsioon superpositsioonina: $\Psi = \sum c_i u_i$, kus u_i tähistavad lainefunktsioone, mis tähistavad energiatasandeid, milles kvantosake võib esineda, ja c_i tähistavad nende esinemise tõenäosuste amplituude. Lainefunktsioon osaleb Prigogine'i sõnusti mõlemal tasandil, süsteem on mingis vahepäälises olekus (Prigogine 1997: 48). Energia mõõtmisel on ta aga vaid ühel neist tasandest vastava tõenäosusega $|c_i|^2$. Siit tuleneb kvantparadoks: Schrödingeri võrrand teisendab ühe lainefunktsiooni teiseks lainefunktsiooniks, mitte ansamblik, aga mõõtmisel tuleb võimalikkusi kirjeldava Ψ asemel kasutada tegelikkusi, mida saab mõõta, ehk puhtalt olekult minnakse üle segaolekule; “pööratavat Schrödingeri võrrandit saab testida ainult pöördumatu mõõtmise kaudu, mida see võrrand ise *definiitsiooni poolest* ei saa kirjeldada” (Prigogine ja Stengers 1984: 228). Seega viitab kvantparadoks taas pöördumatusele.

Sellele kvantparadoksile on pakutud erinevaid tõlgendusi, sageli peetakse seda subjektiivseks: järeldatakse, et see on inimese tegevus – mõõtmine, või isegi tema meel,

mis pöördumatuse esile kutsub, kus tegelikult, ehk loomulikult, objektiivselt, toimuvad protsessid pööratavatena (Samas; Prigogine 1997: 5). Prigogine'i tõlgendus on: "klassikaline idealisatsioon, mis kirjeldab dünaamilist maailma eneseküllasena, on mikroskoopilisel tasandil võimatu (Prigogine 1997: 229)." See tähendab, et keel, mida kasutame mikrotasandi protsesside kirjeldamiseks, viitab alati tagasi makrotasandile, mõõteriistadele. See jätab mulje, nagu tuleneks mikrotasandi pöördumatus makrotasandist. Prigogine'i eesmärk on formuleerida uued loodusseadused ja seeläbi näidata rangelt, et pöördumatus on maailma, sh mikrotasandi maailma objektiivne omadus.

Kui aja nool eksisteerib ainult seepärast, et inimteadvus sekkub [kvant]maailma, mida muidu valitsevad ajas pööratavad seadused, siis isegi teadmise saamine ise muutub paradoksaalseks, kuna *iga mõõtmine juba toob kaasa pöördumatu protsessi*. Kui me tahame üldse midagi teada saada ajas pööratava objekti kohta, siis ei saa me vältida mõõtmisega kaasatud pöördumatuid protsesse, olgu siis mõõteriistade tasandil või meie oma tajumehhanismide tasandil (Samas: 49).

1.3 Termodünaamika

Termodünaamika puhul peab Prigogine põhiprobleemiks selle rakendumist ainult tasakaalulistele ja lineaarsetele protsessidele, samuti olevat tänini probleemiks mikrotasandi ja makrotasandi ühitamise viis: tasakaalulisele seisundile liginemise esitus mikrotasandi kaudu.

Esimest korda säeti deterministliku ja pööratava maailmapildi fundamentaalsus kahtluse alla, kui tekkis probleem soojusmasinatega: selleks, et masin tööd teeks, on vaja viia ta tagasi esialgsesse seisundisse, kuid kuna osa soojust hajub paratamatult ilma tööd tegemata, siis pole võimalik taastada esialgset seisundit ilma lisaenergiata. See probleem oli uue teadusharu – termodünaamika – sünnitaja (Prigogine ja Stengers 1984: xiv, xix). Esimene tõsiseltvõetav tulemus sellest vallast oli Fourier' soojusgradiendi mõistet kasutava soojuskonvektsiooni võrrand: paljude osakeste mikroskoopilise liikumise kirjeldamise asemel, mis oleks olnud tohutu paljude muutujatega diferentsiaalvõrrandite süsteem, sisaldas võrrand vaid ühte muutujat ja rakendus seejuures täpselt ja universaalselt. "See oli tõepoolest esimene kvantitatiivne kirjeldus millelegi, mis polnud klassikalise dünaamika jaoks haaratav – pöördumatule protsessile (Prigogine ja Stengers 1984: 12)."

Üldiseks printsipiiks, mis väljendab teatud protsesside pöördumatust ning annab seeläbi ajale põhimõtteliselt uue tähenduse, sai termodünaamika teine seadus: "mittetasakaaluline süsteem läheb iseenesest sellisesse makroseisundisse, kus selle

võimalike mikroolekute arv antud siseenergia korral on maksimaalse võimaliku väärtusega (Mankin, Reiter 1997: 57)”, ehk teisiti: isoleeritud süsteemi entroopia kasvab monotoonselt kuni süsteem jõuab termodünaamilise tasakaalu seisundisse (Prigogine 1997: 60). Entroopia kasv tuleneb universumis toimuvatest mittepööratavatest protsessidest, samas kui pööratavad protsessid jätavad entroopia konstantseks (Prigogine 1980: 19). Seega on kaks vastuolulist kirjeldust maailmast: Newtoni mehaanika järgi maailm kui kellavärk, alluv lihtsatele ja pööratavatele loodusseadustele, ning termodünaamika järgi pöördumatult degradeeruv, kus kasulik energia hajub pidevalt. Seda tänaseni püsivat “dihhotoomiat” peab Prigogine lahendamist vajavaks probleemiks (Prigogine 1997: 19).

Ludwig Boltzmann püüdis Darwini eeskujul formuleerida süsteemi arengut termodünaamilise seisundi poole. Nagu Darwin, tugines ta populatsiooni mõistele, kuna areng sellises mõttes saab olla määratud ainult populatsiooni, ja mitte indiviidi (individuaalse osakese/trajektoori) jaoks. Tulemuseks olev H-teoreem määrab süsteemi infohulga taseme H-funktsiooni kaudu (funktsioon molekulaarsete kiiruste jaotusest), mis entroopia kasvades kahaneb (Prigogine 1997: 19-20). Temagi probleemiks osutus Prigogine'i arvates pööratavus: kuna ta kasutas osakeste kiiruste mõistet, mis aga on mikroskoopiline, trajektoore iseloomustav muutuja, siis v asendamisel $-v$ -ga pöördus ringi ka entroopiatootmine, ehk ümberpööratud süsteemis entroopia kahanes⁴. H-funktsioon osutub Prigogine'i arvates oma eesmärgi suhtes loogiliselt ebaadekvaatseks, kuna üritab mikrotasandi osakeste trajektooride kaudu seletada makrotasandi pöördumatust ja entroopia kasvu (põrgetes kiirused ühtlustuvad), kuid trajektoorid on analüütiliselt oma olemuselt pööratavad. Seega, üritades luua teooriat, mille kohaselt entroopia kasv oleks looduse objektiivne omadus, mitte ei tuleneks inimese piiratusest, pidi Boltzmann lõpuks oma teoreemile andma ikkagi tõenäosusliku tõlgenduse: et H-funktsioon sõltub meie teadmisesest ehk teadmatuses süsteemi seisundi kohta⁵ (Samas: 21-22). Seda episteemilist tõlgendust toetab ka asjaolu, et populatsioonina peetakse silmas trajektooride hulka faasiruumis, mis vastab ligikaudu mõõtmise ebatäpsusest (ehk teadmatuses astmest) tingitud jämedateralistamisele (*coarse-graining*), seega ei peeta juhuslikkust ja tõenäosuslikkust süsteemi enda objektiivseks omaduseks (Prigogine ja Driebe 1995: 5).

Põhiline probleem termodünaamikaga on, et see tegeleb seni põhiliselt tasakaaluliste süsteemidega – kas statsionaarsetega või sellistega, kus energiavood on

⁴ Mankin ja Reiter (1997: 100) kirjutavad, et Boltzmanni võrrand ei ole pööratav.

⁵ Tõenäosust võib mõista ka objektiivse suhtelise sagedusena kollektiivis, mitte tingimata episteemilisena (Piret Kuusk)

võimalik esitada väga aeglase protsessidena nii, et nad kirjelduvad lineaarsete võrrandite abil, on pööratavad ja neile kehtib minimaalse entroopia tootmise teoreem. “Minimaalse entroopia tootmise teoreem [...] on tõestatud ainult lineaarse piirkonna jaoks. See teeb ta muidugi vähem tähtsaks praktiliste probleemide lahendamisel, kuna lineaarseid probleeme saab arutada hästituntud klassikaliste meetoditega (Prigogine 1967: 95).” Termodünaamika teise seaduse kohaselt kasvab isoleeritud süsteemi entroopia ning ta unustab oma algtingimused ses mõttes, et lõpuks saavutatav tasakaaluseisund ei sõltu algtingimustest, samamoodi minimaalse entroopiatootmise teoreemi kehtivuspiirkonnas (tasakaalulähedastes süsteemides). Prigogine on oma uurimistöös avastanud, et üldjuhul pole see nii: leidub süsteeme, mis häirituse järel ei naase oma esialgsesse seisundisse, häiritus jääb mõjutama nende edasist arengut (Samas: 106). Maailmas ilmuva kasvava keerukuse ja korrastatuse kirjeldamiseks pole Prigogine'i arvates kohane tasakaaluline termodünaamika, mis kirjeldab entroopia kasvu: “Vaadeldav korrastatus on mittepööratavate protsesside tulemus ja seda ei saaks saavutada tasakaalus (Prigogine 1997: 64).”

1.4 Deterministlik kaoseteooria

Deterministliku kaoseteooria põhiprobleemiks peab Prigogine selle põhiobjekte – trajektoore, mis ei ole võimelised väljendama lignemist tasakaalule ning mis mitteintegreeruvuse tõttu antud teoorias on ebaadekvaatsed (Prigogine 1997: 90-91).

Deterministlik kaoseteooria sai tõuke 20. sajandi keskpaigas Edward Lorentzi tööga atmosfääri konvektsiooni matemaatilise mudeli arvutamisest, kuigi selle olulised mõisted ja põhimõtted leiduvad juba Poincaré monograafias kolme keha probleemist (Poincaré 1890). See on klassikalise dünaamika mittelineaarne haru, mis uurib kaose tekkimise tingimusi. See tähendab, et ta kasutab klassikalisele dünaamikale omast matemaatilist aparatuuri – diferentsiaalvõrrandeid ja kujutusi, mille põhiomadus on mittelineaarsus. Mittelineaarsusest tulenevalt on uuritavad süsteemid ebastabiilsed alg- ja ääretingimuste suhtes ehk lähedastest alg- või ääretingimustest alanud trajektoorid lahknevad aja jooksul eksponentsiaalselt. Kaoseteooria uurib kaose tekkimise tingimusi dünaamilistes süsteemides: kuidas sõltub süsteemi režiim parameetritest, kuidas ja millised bifurkatsioonid (lahendite järsk muutus) toimuvad jms. Kaoseteooria on leidnud rakendust mitmetes valdkondades: materjaliteaduses, meditsiinis, bioloogias, keemias jm.

Mittelineaarsed süsteemid võivad Prigogine'i sõnutsi muutuda mitteintegreeruvaks, kuna informatsioon hajub neis, algtingimused lähevad kaotsi ning trajektoorid pole pööratavad. Trajektoorid on süsteemi kirjeldamiseks ebaadekvaatsed, hoolimata sellest, et nad on deterministlikud, sest nad on seejuures ikkagi ennustamatud. Kaootiliste süsteemide puhul sõltub tulemus oluliselt algtingimuste täpsusest, mistõttu ligikaudsed algtingimused ei anna enam ligikaudselt õiget tulemust (Prigogine 1997: 90-91) "Determineeritud kaose kirjeldus trajektooride kaudu on üleidealiseering (*overridealization*) ega ole võimeline väljendama liginemist tasakaalule (Samas: 95)." "Trajektoorid on *arvutatatud*. [T]rajektoorid (või lainefunktsioonid) hävitatakse difuusete mõjutuste [...] tulemusena, mis tulenevad Poincaré resonantsidest (Petrosky ja Prigogine 2000: 374)."

2 Ilya Prigogine'i teooria

Ilya Prigogine väidab olevat loonud (formuleerinud) uued looduseadused, millele vihjab ka tema raamatu päälkiri, millele antud väitekiri põhiliselt tugineb ("Kord kaosest. Aeg, kaos ja *uued looduseadused*"). Neid seadusi kirjeldavad põhilised märksõnad on pöördumatus, entroopia, dissipatiivsed struktuurid, tasakaalukaugus, tõenäosuslikkus (juhuslikkus), korrelatsioonid jt. Selles päätükis selgitan, kuidas on need mõisted omavahel seotud ja vaatlen üksikhaaval nende mõistete olemust ja rolli Prigogine'i teoorias, kuidas need eristuvad seda teistest (kaasaegsetest ehk klassikalistest) teooriatest ja lahendavad eelpool nimetatud probleeme.

Prigogine püüab uute mõistete sissetoomisega formuleerida uued looduseadused, mis ei põhine enam tõsikindlustel, nagu klassikalise ja kvantfüüsika looduseadused, vaid võimalikkustel. Uues formuleeringus lõhutakse ajasümmeetria. "Universumi arenev iseloom peab kajastuma fundamentaalsete füüsikaseaduste kontekstis (Prigogine 1997: 29)."⁶

2.1 Aeg teaduses

Klassikalises teaduses oli pöördumatus seotud lihtsate makrotasandi protsessidega, mida oli võimalik mõista senise ajas pööratava dünaamika abil. Prigogine'i arvamuse kohaselt ei

⁶ Seda kajastavad ka kaasaegsed füüsikateooriad, näiteks kosmoloogia, kuid Prigogine ei arvesta nii mõnegi kaasaegse teaduse arengusuuna ja tulemustega.

piisa aga enam kaasaegse teaduse (ehk mida Prigogine klassikaliseks nimetab) vahenditest maailma mõistmiseks: "Me teame nüüd, et mittepööratavus viib terve hulga uute nähtusteni [...], kirjeldades aja noole olemuslikku *konstruktiivset* rolli. Mittepööratavust ei saa enam identifitseerida pelga näivusega, mis kaoks, kui meil oleks täiuslik teadmine (Prigogine 1997: 3)." Prigogine'i eesmärgiks on rangelt teaduslik kirjeldus maailmast kui keerukast, ajas arenevast süsteemist ning ajast kui peamisest eksistentsiaalsest dimensioonist: aeg on ajalooline, sõltub ajaloost, süsteemid ning nende alg- ja ääretingimused ei ole suvalised vaid kujunenud nende ajaloolise arengu jooksul ja tulemusel. Seejuures on maailm pidevas saamises, ta on ettearvamatu ning ses mõttes pole tulevik antud nagu ta oli klassikalises Newtoni mehaanikas (Prigogine 1997). Nimetatud eesmärgi peavad silmas erinevad mõisted ja seosed, mida Prigogine oma teoorias formuleerib. Vaatlen neid eraldi.

2.1.1 Suured Poincaré süsteemid

Kuna klassikaline mehaanika käsitleb väheste elementidega isoleeritud süsteeme, kus iga osakese liikumist modelleeritakse individuaalselt ja osakestevahelised vastasmõjud on lühiajalised, siis reaalsete makroskoopiliste süsteemide kirjeldamiseks on vaja arvestada nii suure hulga osakestega, mida pole enam otstarbekas ega võimalikki kirjeldada individuaalselt. Selleks minnakse termodünaamilisele piirile: osakeste arv $N \rightarrow \infty$ ja süsteemi ruumala $V \rightarrow \infty$, seejuures nende suhe N/V (ehk kontsentratsioon) jääb lõplikuks ja konstantseks (nõ termodünaamiline piir). Süsteemi suuruse tõttu võib pinnaefektid jätta arvestamata. Selliseid süsteeme nimetatakse suurteks Poincaré süsteemideks (Prigogine 1997: 111). Seda sellepärast, et süsteemi osakeste hulga tõttu on süsteemi liikumisviisidega (*mode of motion*) seotud sageduste spekter pidev ning osakesed on pidevas vastasmõjus, mistõttu süsteemi hamiltoniaan sisaldab liiget, mille kohta Poincaré näitas, et see üldjuhul ei integreeru (Samas).

Suurtes süsteemides ilmnevad materia uued omadused: nt faasid ja faasisiirded on mõttekad ainult populatsioonide tasandil, nad pole defineeritud väheste osakestega süsteemides. Makroskoopilisel tasandil toimub ka mineviku ja tuleviku sümmeetrilisuse lõhkumine. Süsteemi kirjeldus individuaalsete osakeste tasandil muutub võimatuks, primaarseks saab kirjeldus tõeäosuste ja tõeäosusjaotuste kaudu. Selle tarvis on vaja laiendada matemaatilist aparatuuri: kui relatiivsusteooria jaoks oli vaja liikuda Eukleidese

ruumist Riemanni ruumi ja kvantmehhaanika ja statistilise mehhaanika jaoks Hilberti ruumi, mis võimaldas arvestada lõpmatut hulka dimensioone, siis ebastabiilsete süsteemide ja termodünaamilise piiri jaoks on vaja liikuda Hilberti ruumist välja veelgi üldisematesse funktsiooniruumidesse (Prigogine 1997: 45-46). Taglastatud Hilberti ruumis on võimalik esitada tõenäosusjaotustele rakenduvate operaatorite spektreid, mida ei saa taandada individuaalsetele trajektooridele. Sellega lõhutakse individuaalse ja statistilise esituse võrdväarsus, primaarseks saab süsteemi globaalne holistlik kirjeldus (Samas: 96).

2.1.2 Poincaré resonantsid

Suurtes mitteintegreeruvates Poincaré süsteemides on mitteintegreeruvuse põhjuseks resonantsid. Lõpmatu arvu osakestega süsteemi spekter on pidev, mis viib probleemini, mida Poincaré nimetas väikeste jagajate probleemiks⁷ ja mis tähendabki resonantse, seega ka ebastabiilsust (Prigogine 1997: 141). Poincaré resonantsid põhjustavad süsteemis hajumist ja viivad teatud sorti kaoseni – juhuslike trajektoorideni nagu deterministlikus kaoses (Samas: 111). Kvantmehhaanikas, kus pole trajektoore, mistõttu pole selles rakendatav deterministlik kaos, saadakse püsivate vastasmõjude korral difuussed liikmed resonantside lisamisel statistilisse kirjeldusse. Need ei sisalda lainefunktsiooni Ψ , uus kirjeldus põhineb tõenäosusel ρ (tihedusmaatriks). Poincaré' resonantside abil on saadud tõenäosustihedusest tõenäosused ilma lisaeldusteta (Samas: 53-54).

Ei klassikaline ega kvantmehhaanika oska kirjeldada liginemist tasakaalule. Suurtes süsteemides toimuvate vastasmõjude tulemus on aga just süsteemi omaduste ühtlustumine, kuni saavutatakse termodünaamiline tasakaal. Seda ühtlustumist kirjeldavadki Poincaré resonantsid (Samas: 79). Resonantsid tekitavad uusi dünaamilisi protsesse, mis saavad alguse mingist osakestevaheliste korrelatsioonide seisundist. Nad põhjustavad korreleeritud dünaamika, mis haarab kogu süsteemi, olles seega globaalne. Seda pole võimalik kirjeldada lokaliseeritud jaotusfunktsioonidega (nt $\rho = \delta(x)$, kus δ on Diraci deltafunktsioon ja mis kujutab trajektoori jaotust), vaid on vaja delokaliseeritud jaotusfunktsioone, mis on pidevad. Seepärast ei saa Poincaré resonantsid sisalduda kirjelduses trajektooride kaudu ning on vaja väljuda Hilberti ruumist (Samas: 123-124).

⁷ Võrrandite lahendites tekivad liikmed kujul $1/(E_n - E_m)$, kus E on energiatasand. Kui energiatasandid asetsevad üksteisest infinitesimaalsel kaugusel, nagu pideva spektri korral, siis jagaja läheb nulli ja liige ei ole defineeritud.

2.1.3 Korrelatsioonid

Erinevalt statistilisest mehaanikast ning termodünaamikast, kus süsteemi osakeste vahelised vastasmõjud on põgusad ja mööduvad ning osakesed liiguvad mittekorreleeritult (Prigogine nimetab neid hüpnonteks, kuna need ei "suhtle" teiste sama populatsiooni osakestega), on suurtes Poincaré süsteemides osakeste vahel pidevad vastasmõjud ning tekivad korrelatsioonid⁸ (Prigogine 1997: 78). Korrelatsioonide dünaamika on vahend formuleerimaks füüsikaliselt pöördumatus mehhanismi. See areneb "kaskaadis": haarab aja jooksul järjest rohkem osakesi. Loodav teooria pakub ka evolutsiooni kineetilised mitte-Markovi võrrandid: "jaotusfunktsiooni muutus antud ajahetkel sõltub jaotusfunktsiooni väärtustest mineviku ajavahemikus." Kui süsteemi puhul on oluline ainult pikaajaline areng, võib võrrandid asendada Markovi võrranditega⁹ (Prigogine 1962: 8).

Teisalt keskendub uus lähenemine progressiivsele korrelatsioonide tekkele pikas ajaskaalas, kus pöördumatus viib pikkadele mälu efektidele, mis muudavad makroskoopilist füüsikat. Korrelatsioonid tekivad ja kaovad, haarates endasse järjest enam osakesi (ses mõttes on klassikalised süsteemid erijuhud, kus on korrelatsioonide vaakum ehk korrelatsioone pole). Seejuures Poincaré' resonantsid "seovad (*couple*) loomiskatkendit ja hävitamiskatkendit, mis viib antud korrelatsiooniseisundist uute dünaamiliste protsesside tekkele, ja lõpuks pöörduvad tagasi täpselt samasse seisundisse (Prigogine 1997: 123)." Seda, mis sinna vahele jääb, tuleb käsitleda kui tervikut. Selles ei kehti enam tavaline kineetiline teooria, kus tasakaalulise süsteemi häiritused summutatakse, vaid korrelatsioonid võimendavad häiritusi (Samas: 123-125)

Sellises süsteemis ei saa kasutada lokaliseeritud jaotusfunktsiooni. Püsivate vastasmõjude kirjeldamiseks on vaja delokaliseeritud jaotusfunktsioone, mis ulatuvad üle kogu süsteemi, kirjeldades seda holistlikult (Prigogine 1997: 114). Liouville'i evolutsioonioperaatori L rakendamisel tõenäosusjaotusele ρ statistilises kirjelduses ρ ajalise arengu leidmiseks tekivad kompleksed omaväärtused (Hilberti ruumis on tal alati reaalsed omaväärtused), mis viivad süsteemi liikumise sumbumisele. Statistilise kirjelduses tuleb tavaliste dünaamiliste muutujate p (moment) ja q (asukoht) asemel kasutada lainevektoreid k , millest tulenevalt pole trajektoor enam primitiivne mõiste, vaid lainete

⁸ See tähendab, et muutujatel on ühine jaotusfunktsioon, mida ei saa lahutada eraldi jaotusfunktsioonide korrutiseks, ehk $\rho(x_1, x_2) \neq \rho_1(x_1) * \rho_2(x_2)$.

⁹ Markovi võrrandit iseloomustab sõltumatus süsteemi varasematest seisunditest, mida võib tõlgendada kui algtingimuste "unustamist".

superpositsioon. Laineamplituud kasvab läbi konstruktiivse vastasmõju ja kahaneb läbi destruktiivse vastasmõju (Samas: 113, 118-119). Selle tõttu tuleb väljuda Hilberti ruumist ning kaasata Poincaré resonantsid. Uus esitus on kompleksne (ehk aja sümmeetria on lõhutud) ja taandumatu (ehk ei saa tagasi pöörduda trajektoore juurde). Dünaamikaseadused saavad nüüd uue tähenduse – nad väljendavad võimalikkusi, mitte paratamatusi. Termodünaamilisel piiril jätkuvad vastasmõjud igavesti (Samas: 125-126).

Termodünaamika paragrahvis oli juttu Boltzmanni mudelist süsteemi arengu jaoks entroopiasse ja selle pööratavusest. Pööratavus olevat sääl siiski suhteline: mida kauem lasti süsteemil käia (arvutisimulatsioonis), seda raskem oli seda ümber pöörata, osakesed ei liikunud enam päris oma esialgsetele kohtadele tagasi. Prigogine leiab, et Boltzmanni mudelist on puudu korrelatsioonid: et ikkagi taastuks esialgne seis, peab süsteem mäletama oma minevikku. See saaks juhtuda korrelatsioonide abil – minevikust tulevikku kulgedes, ehk alustades molekulaarsest kaosest, tekivad süsteemi osakeste vahel korrelatsioonid, mis kiiruste ümberpööramise määravad süsteemi kulgemise, osakestevahelised esialgsele vastupidised põrked, mis omakorda elimineerivad korrelatsioonid, kuni süsteem on tagasi täpselt algolekus (Prigogine ja Stengers 1984: 244-246). Korrelatsioonid osakeste vahel viivad sümmeetrilise jaotuseni, nende lõhkumine ebasümmeetrilisemani. Prigogine nimetab seda korrelatsioonide dünaamikaks (Prigogine 1997: 79)

2.1.4 Mittetasakaalulisus ja ebastabiilsus

Vanasti arvati, et organismide püsimine on vastuolus fundamentaalsete füüsikaseadustega, selle eest “vastutavad” mingid muud seadused, sest füüsikaseaduste järgi peaks nad lagunema hoopis kiiresti. Selline arusaam tulenes füüsikaseaduste identifitseerimisest evolutsioonina korrapäratuse suunas (tulenevalt termodünaamika teisest seadusest). Prigogine arvab, et nüüd me teame, et tegelikult ikkagi kirjeldavad füüsikaseadused ka organismide püsimist, aga need pole enam ainult staatiliste struktuuride seadused, vaid nüüd ka juba ebastabiilsete, muutlike struktuuride seadused, mis rakenduvad tasakaalukaugetele, iseorganiseeruvatele süsteemidele (Prigogine ja Stengers 1984: 83-84).

Klassikaline ja kvantmehaanika ning termodünaamika uurivad tasakaalulisi ja tasakaalulähedasi süsteeme, mida saab kirjeldada lineaarsete mudelitega. Sellised süsteemid on stabiilsed: fluktuatsioonid on ulatusega $1/\sqrt{N}$ (kus N on osakeste arv süsteemis), mis ei mõjuta süsteemi olekut, ning need summutatakse. Hoopis teine on lugu

tasakaalukaugete süsteemidega. Neis ei kehti enam tasakaalulistele süsteemidele omased printsiibid nagu näiteks minimaalse entroopiatootmise printsiip. Selles võivad fluktuatsioonid võimenduda, hakates mõjutama süsteemi iseloomustavate makroskoopiliste suuruste keskväärtusi, ja viia kogu süsteemi uude, keerulisema korrapäraga olekusse (Samas: 63-64). Uue oleku valikut mõjutavad juhuslikud tegurid, mis toob süsteemi kirjeldusse taandumatult tõenäosusliku elemendi isegi kui süsteemi kirjeldavad deterministlikud võrrandid. Sellist kvalitatiivset muutust nimetatakse deterministlikus kaoseteoorias bifurkatsiooniks. Bifurkatsiooni järel muutub senine stabiilne lahend ebastabiilseks ja tekivad uued stabiilsed lahendid. Millise neist uutest lahenditest süsteem valib, seda liikumisvõrrandid ei kirjelda, mis tähendabki juhuslikkust (Samas: 68).

Nii klassikalises kui kvantmehaanikas on võimalik kasutada nii individuaalse tasandi kirjeldust (trajektoolid, lainefunktsioonid) kui ka statistilist (ansamblid), kusjuures integreeruvates süsteemides on need võrdväärsed, neid saab teineteisest tuletada. Ebastabiilsus ja püsivate vastasmõjude põhjustatud mitteintegreeruvus lõhuvad nende kirjelduste võrdväärsuse kõigil tasanditel. Prigogine leiab, et klassikalist mehaanikat tuleb täiendada ebastabiilsete ja mitteintegreeruvate süsteemidega, et haarata sellesse entroopia kasvu põhjustavad pöördumatud protsessid (Prigogine 1997: 107-108).

Kuna enamus meid ümbritsevaid nähtusi vastavad Prigogine'i arvates suurtele Poincaré süsteemidele, siis on üldkehtivaks termodünaamika, mis käsitleb süsteeme statistiliselt, olles trajektoori-kirjeldusega ühitamatu nii tasakaalulistes kui tasakaalukaugetes süsteemides (Samas: 127). Ebastabiilsus trajektooride tasandil viib stabiilsuseni statistilisel tasandil, kuna ebastabiilsed trajektoolid lahknevad üksteisest eksponentsiaalselt ning "täidavad" kogu faasiruumi ühtlaselt, mis statistilisel tasandil tähendab jaotusfunktsiooni kiiret lähenemist konstantsele väärtusele. Matemaatiliselt kirjeldab sellist liginemist tasakaalule evolutsioonioperaator¹⁰, mis rakendub küll nii statistilistele ansamblitele kui trajektooridele, kuid omab esimeste jaoks lahendeid, mis viimasele ei rakendu, kuna trajektoor pole selles esituses enam sile funktsioon. Seega saab kaose probleemi lahendada ning kaose seadused esitada ainult statistiliste ansamblite

¹⁰ Perroni-Frobeniuse operaator U , mis rakendub kujutusele, teostades selle üleviimise järgmisse seisundisse, ehk määrab kujutuse arengu läbi iteratsioonide. Trajektoori rakendatuna: $\delta(x-x_{n+1})=U\delta(x-x_n)$, kus δ on Diraci deltafunktsioon, mille puhul $\delta(x=0)=\infty$ ja $\delta(x\neq 0)=0$, mis teebki trajektoori mitesiledaks. Perroni-Frobeniuse operaatorit saab rakendada nii tulevikule kui minevikule (viimasele vastavalt pöördoperaator), kuid teatud süsteemide puhul viib see ebasümmeetriani, mistõttu Prigogine jaotab trajektooridele vastava dünaamilise rühma kaheks poolrühmaks, millest tuleb valida see, mis viib tasakaaluni tulevikus (Prigogine 1997: 104).

Mets: Ilya Prigogine'i teooria analüüs looduseaduste aspektist

tasandil, kuna statistiline kirjeldus jääb kehtima kõigiks aegadeks. Tõenäosuste uute lahendite jaoks on olemuslik ajas orienteeritud korrelatsioonide voog (Samas: 87). Kvantsüsteemides põhjustavad ebastabiilsust Poincaré resonantsid (Samas: 53).

2.1.5 Dissipatiivsus ja iseorganiseerumine

Ebastabiilsus ja Poincaré resonantsid põhjustavad energia ja informatsiooni pöördumatut hajumist süsteemis ehk dissipatsiooni, mis on mitteintegreeruvuse põhjuseks (Prigogine 1997: 111, 141). Dissipatiivseid süsteeme ei saa kirjeldada hamiltoniaani kaudu. Termodünaamikas on dissipatsioon entroopia kasvu mehhanism, kuid see võib põhjustada ka uue korrapära teket (Samas: 67). "Dissipatiivsed protsessid võivad [...] viia organiseerituse kasvuni (Prigogine 1967: 118)." Selle näiteid võib leida keemiast, kuid ka mujalt:

Leidub olukordi, mis haaravad autokatalüütiliste reaktsioonide jadasid, mille puhul termodünaamilist lahendit ei saa laiendada tasakaalukaugetele tingimustele. Püsiolekut iseloomustavate afiinsuste piisavalt suurte väärtuste korral ilmub ebastabiilsus. See ebastabiilsus viib uue püsiolekuni, mille olulisim iseloomulik omadus on, et ta pole enam ruumis homogeenne. Seega viib see entroopia mittepideva kahanemiseni tänu ruumilisele ebäühtlusele. Võib-olla on selle ebastabiilsuse võluvaim aspekt see, et ta on "sümmeetriat lõhkuv" (Samas: 119-120).

Teatud keemilised reaktsioonid võivad kulgedes moodustada makroskoopilisel tasandil mittedumbuvaid laineid. Teine näide oleks Bénard'i konvektsioonirakud, mis tekivad soojusenergia hajutamisest õhukeses vedelikukihis ja on väga korrapärsed. Entroopiatootmine on selles protsessis negatiivne (Samas: 126). Selliseid struktuure, mis moodustuvad süsteemis dissipatiivsete protsesside tulemusena, nimetab Prigogine dissipatiivseteks struktuurideks.

Dissipatiivsed struktuurid ei saa ilmuda ajas pööratavatele seadustele alluvas maailmas, nad eeldavad aja noolt, pöördumatust (Prigogine 1997: 73). Ühtlasi on dissipatsioon ise pöördumatuse allikas, põhjustades bifurkatsioone ja organiseerituse teket ja lõhkudes nii aja- kui ruumisümmeetriat. Fluktuatsioonide tõttu tekivad uued dissipatiivsed struktuurid iseorganiseerumise mehhanismi kaudu, kus süsteem valib mitme võimaliku arenguvõimaluse vahel. Seda käsitlust kasutatakse lisaks keemiale mitmetes teadustes nagu bioloogia, majandusteadus, sotsioloogia. Aja nool mängib seejuures olemuslikku rolli (Samas: 69-71).

2.1a Aeg teaduses: repriis

Kokkuvõtvalt võiks eelnevalt selgitatud mõistete abil selgitada aja kaasamist teaduslikku käsitluse järgmiselt: suured Poincaré süsteemid sisaldavad lõpmatu arvu vabadusastmeid, mis omavahel korreleeruvad, tekivad resonantsid ja dissipatsioon, mille tagajärjel hajub energia pöördumatult ja paratamatult tuleviku suunas. Sellega on määratud aja suund. Ühtlasi põhjustavad korrelatsioonid ja dissipatiivsus tasakaalukaugetes süsteemides iseorganiseerumist, mis on samuti pöördumatu protsess ning toob endaga kaasa aja suunatuse. Entroopiabarjäär saab takistuseks klassikalise teaduse postuleeritud pööratavusele ning määrab lubatavad algtingimused. See võib esineda ka väheste vabadusastmetega süsteemides tingimusel, et need on ebastabiilsed (Prigogine ja Stengers 1984: 278-279).

[P]alju vabadusastmeid pole see ois, mis vastutab pöördumatuse eest. See on ebastabiilne mikroskoopiline dünaamika, mis on vastutav pöördumatuse ilmnemise eest, nagu näitavad tulemused ühe ja kahe vabadusastmega süsteemide kohta, mida oleme uurinud. Kui trajektoordünaamika on pööratav, ilmub ajasümmeetria lõhkumine, mis on seotud dünaamilise poolrühma valikuga tõenäosusjaotuste tasandil. Kuna me kõik jagame sama ajanoolt, siis see valik väljendab looduses leiduvat ühtsust (Prigogine ja Driebe 1995: 12).

Lisaks sellele on Prigogine varasemas kirjanduses esitanud ajaoperaatori, milleks on Misra pakutud hermiitiline operaator¹¹ T teatud liiki ergoodsete¹² süsteemide jaoks, mis on assotsieeritud (kommuteerub) Liouville'i operaatoriga L , mistõttu võibki operaatorit T nimetada ajaoperaatoriks, kuna operaator L vastab tuletisele aja järgi. Ajaoperaator T viib süsteemi ühest ajahetkest teise, teostades selle sisemist arengut või vananemist ja seeläbi esindades süsteemi seesmist iga. Ajaoperaatori omafunktsioonid tähistavad süsteemi iga mingi standardjaotuse suhtes leitud ruumijaotuse jaoks. Kui jaotusfunktsioonil on hästi defineeritud iga, siis on ta definitsiooni poolest ajaoperaatori T omafunktsioon. Üldiselt pole jaotusel hästi defineeritud iga, vaid teda saab arendada hästi defineeritud igadega funktsioonide ritta. Siis saab kõnelda keskmisest east, ea "fluktuatsioonist". Ajaoperaatori kaudu võib defineerida mitteunitaarse operaatori Λ , mille abil saab defineerida Boltzmanni H -funktsiooniga analoogse universaalse Ljapunovi funktsiooni, mis muutub aja jooksul vaid ühes suunas, saavutades miinimumi mikrokanoonilises¹³ tasakaalus. Nii esindab

¹¹ Hermiitilistel operaatoritel on reaalsed omaväärtused ja neid (ja ainult neid) kasutatakse kvantmehaanikas vaadeldavate suuruste tähistamiseks. Kui mitme vaadeldava väärtused on üheaegselt täpselt defineeritud, siis vastavad operaatorid kommuteeruvad.

¹² Mõõtu säilitav teisendus T öeldakse olevat ergoodne, kui ainsad T suhtes invariantid mõõtuvad hulgad on mõõduga 0 või 1.

¹³ Mikrokanooniline ansambel on konstantse energiaga isoleeritud tasakaaluline termodünaamiline süsteem.

Mets: Ilya Prigogine'i teooria analüüs loodusseaduste aspektist

Ljapunovi funktsioon aja ühesuunalisust ka väikeses süsteemis ilma, et oleks vaja minna isegi termodünaamilisele piirile (Prigogine 1980: 188-191). Vastavalt sellele määratlusele peaks igale süsteemile leiduma oma ajaoperaatori toime, ehk ajaoperaator rakendub süsteemisõltuvalt. Seega ei leidu sellise kontseptsiooni järgi universaalset aega ega universaalset ajaühikut, nagu seda on klassikalise dünaamika ühtlane (ühetaoline) aeg ja ajaparameter t .

2.2 Kuidas Prigogine'i teooria peaks lahendama kaasaegse teaduse probleemid

Eksplitseerin viisid, kuidas Prigogine'i loodud mõistestik väidetavalt aitab lahendada 1. päätükis nimetatud probleeme klassikalise mehaanikaga, kvantmehaanikaga, termodünaamikaga ja deterministliku kaoseteooriaga.

2.2.1 Idealiseeritus

Loodusseaduste traditsioonilised formuleeringud on võimalik saada ainult isoleeritud süsteemide kohta (Prigogine 1997: 156).

On tõsi, et täna saame isoleerida lihtsad dünaamilised süsteemid ja tõestada klassikalise ja kvantmehaanika seadused. Kuid ikkagi vastavad need idealisatsioonidele, mis on rakendatavad stabiilsetele dünaamilistele süsteemidele universumis, mis on hiiglaslik tasakaalukauge termodünaamiline süsteem, kust me leiame fluktuatsioonid, ebastabiilsused ja evolutsioonilised mustrid kõigil tasanditel (Samas: 184)

Suured Poincaré süsteemid koos nendes aset leidvate resonantside ja korrelatsioonidega peaksid paremini vastama reaalsele süsteemidele nagu Prigogine neid kirjeldab. Samuti peaks ebastabiilsuse, dissipatiivsuse (vs klassikalise ja kvantmehaanika konservatiivsus), korrelatsioonide ja resonantside ning ajaloolise pöördumatu aja kaudu olema mõistetav elu kui materia vorm, ka muud bioloogilised ja geoloogilised protsessid ja süsteemid, isegi inimtegevus. Ebastabiilsus ning püsivad vastasmõjud nii süsteemi sees kui väliskeskkonnaga on eelduseks keeruliste süsteemide, säälhulgas elu tekkimisele ja püsimisele (Samas: 128, 27, 39, 161-162).

2.2.2 Determineeritus

Poincaré resonantsid põhjustavad nii klassikalises kui kvantmehaanikas determinismi kao, süsteeme pole enam võimalik kirjeldada trajektoore või lainefunktsioonide abil – fundamentaalseks saab statistiline kirjeldus. Seda toetab matemaatiline aparaat delokaliseeritud jaotusfunktsiooni, evolutsioonioperaatori ja taglastatud Hilberti ruumi näol. Statistilise kirjelduse vajadus ei tulene inimese puudulikkusest teadmistest süsteemi kohta, nagu ka termodünaamika puhul on arvatud, vaid süsteemi enda objektiivsetest omadustest. Loodusseadused ei kirjelda enam tšikindluseid vaid võimalikkusi, nad kirjeldavad ebaregulaarset, kaootilist maailma (Prigogine 1997: 155)

Kaos omandab üldisema tähenduse kui deterministlikus kaoseteoorias. Ta pole esitatav trajektoore ja nende lahknemise kaudu, sest resonantsid lõhuvad trajektoore. Nagu klassikalises ja kvantmehaanikas, saavad siingi süsteemi adekvaatsemaks kirjelduseks tõenäosusjaotused (Samas: 155-156). “Tõenäosus pole enam meie teadmatuses tulenev meeles seisund vaid loodusseaduste tulemus (Samas: 132).”

2.2.3 Tasakaalulisus ja stabiilsus

Erinevalt tasakaalulisest termodünaamikast, mis on võimeline kirjeldama ainult süsteemi arengut termodünaamilise tasakaalu, entroopia suunas, tegeleb tasakaalukauge termodünaamika süsteemidega, kus võivad tekkida uued korrapärased struktuurid. Ebastabiilsus ja tasakaalukaugus on iseorganiseerumise eest vastutavad omadused suurtes süsteemides. Sellega on ehitatud sild Darwini evolutsiooniteooria ja Boltzmanni entroopia vahele: entroopiasse kulgevad dissipatiivsed protsessid saavad teatud tingimustes korrapära allikaks (Prigogine 1997: 55, 128, 183). Kasutades füüsikaliste protsesside kirjeldamiseks evolutsiooniteooria mõisteskeeme (nt sisemise aja operaator), on võimalik kirjeldada loomulikult viisil ansambleid kui füüsikalisi “populatsioone”. Sellega on Leo Näpineni sõnul Prigogine ületanud Darwini ja Boltzmanni teooriate vastandlikkuse (Näpinen 2007: 161). Seejuures on oluline mitteintegreeruvus resonantside kaudu: nii aja nool, iseorganiseeruvus kui elu ise eeldavad vabadusastmete vahelisi resonantse, pidevaid vastasmõjusid osakeste vahel, mis viib mitteintegreeruvusse (Prigogine 1997: 39).

Samuti aitavad Poincaré resonantsid ja püsivad vastasmõjud, mis muudavad süsteemi ebastabiilseks, ühendada klassikalist ja kvantmehaanikat (aga ka termodünaamikat ja kvantmehaanikat) terviklikumaks teooriaks: kuna “ebastabiilsus

mängib keskset rolli nii klassikalises kui kvantmehaanikas”, on nad sunnitud muutma oma formuleeringut, minema Hilberti ruumist välja taglastatud Hilberti ruumi, kus on võimalik esitada ebastabiilsusest tulenevalt muutunud matemaatilist esitust. Näiteks klassikalist mehaanikat peab laiendama mitteintegreeruvate süsteemidega. Seeläbi saab mõlemas fundamentaalseks tõenäosuslik kirjeldus. Lihtsamad juhud nagu trajektorid ja lainefunktsioonid oleksid neist tuletatavad nii klassikalise mehaanika kui kvantmehaanika puhul (Samas: 54-55, 131).

2.2.4 Pööratavus

Pööratavuse elimineerimisele aitavad kaasa Prigogine'i teooria kõik elemendid: suured Poincaré süsteemid oma paljude vabadusastmetega, mis omavahel pidevas vastasmõjus olles põhjustavad resonantse, mis omakorda viib korrelatsioonide ja hajumiseni, mis muudab süsteemi mittepööratavaks. Seega on tegemist süsteemi enda seesmise pööratavusega, mitte inimese puudulikest teadmistest süsteemi algandmete kohta tuleneva näivusega.

Poincaré resonantside abiga laheneb ka pöördumatuse probleem kvantmehaanikas. Püsivatest vastasmõjudest tulenevad resonantsid lisatakse statistilisse kirjeldusse, tuletatakse difuussed liikmed, mille esitus ei sisalda lainefunktsiooni. Saadud kirjeldus põhineb tõenäosusel ρ (tihedusmaatriks), mitte enam lainefunktsioonil Ψ . Vaatleja ei mängi enam olulist rolli, mõõteriist esindab lõhutud ajasümmeetriat, mis ühtib inimkogemusega maailmast. Sellega on saavutatud kvantmehaanika realistlik tõlgendus (Prigogine 1997: 53-54, 131-132). Kvantparadoks on vaid ajaparadoksi üks tulem, mis laheneb suurte Poincaré süsteemide abil, milles dünaamikat saab esitada ainult tõenäosuste kaudu. Suured Poincaré süsteemid esindavad siin mõõteriista, mis toobki kvantsüsteemi pöördumatuse (Samas: 156)

3 Prigogine'i teooria kriitika

Esitan probleeme Prigogine'i teooriaga erinevatest aspektidest nii omalt- kui teiste poolt. Kui eeldada, et Prigogine pretendeerib olema rangelt täppisteaduslik (arvestades viisi, kuidas ta oma teorias matemaatikat kasutab (üritab kasutada), on see õigustatud eeldus) ja ranges täppisteaduses on keskne roll matemaatikal, siis tuleb vaadelda tema teooria

Mets: Ilya Prigogine'i teooria analüüs loodusseaduste aspektist

matemaatilist osa – kas, ja kui, siis kuidas see lahendab probleeme, millest eelnevalt juttu oli. Eraldi vaatlen deterministliku kaoseteooria käsit(l)ust ning subjekti haaramist teaduslikku kirjeldusse.

3.1 Matemaatika ja rakendused

Prigogine'i teooria suur nõrkus on, et tema matemaatika pole seni rakendatavaks arendatud. Tal pole näiteid füüsikalistest probleemidest, mida oleks lahendatud või mille puhul oleks näidatud lahendatavust teoorias vermitud mõistete abil ning kohati on küsitavad ka põhimõistete rakendused lihtsatelegi matemaatilistele mudelitele. Seda mõtet väljendab ka Cosma Shalizi: Prigogine'i ideed dissipatiivsetest struktuuridest pole leidnud kasutust eksperimentaalsetes uurimustes ega ole ka tal endal ette näidata eksperimentaalset tulemusi ja nende võrdlusi matemaatilistel mudelitel arvutatutega. Peter Engel kirjutab, et Prigogine ja Stengers ei identifitseeri enamuse oma näidete puhul iseorganiseerumisest selle aluseks olevat mehhanismi, mis tekitab kahtlusi fluktuatsioonide olemasolus. Samuti jääb selgusetuks, kuidas saab esineda terveid süsteeme haaravat antitermodünaamilist käitumist, nagu seda on elu (Engel 1984: 54).

Piret Kuusk on teinud mitmeid kriitilisi märkusi¹⁴ Prigogine'i teooria kohta nagu seda esitavad nt raamatud “Tõsikindluse lõpp” ja “Kord kaosest” kui ka tema eelduste kohta, mis lähtuvad kaasaegsest teadusest. Esitan mõned neist.

- Prigogine tahab kaasata teaduslikku kirjeldusse ka inimese, kuid ometi anda kvantmehaanikale realistlikku inimesest sõltumatut kirjeldust, mis aga kipub osutama vastuoluliseks (sellest pikemalt edaspidi).
- Prigogine nõuab aja suuna sissekirjutamist füüsikasse, samas põhjendab seda nõuet teadvusega, sellega, et inimese teadvuses on aeg suunatud. Samas võib olla (nt Huw Price on argumenteerinud), et aeg ongi suunatud ainult meie teadvuses ja meie jaoks.
- Prigogine tugineb oma kriitikas peamiselt tõenäosuse episteemilisele tõlgendusele, kuid tõenäosust võib tõlgendada ka mitteepisteemiliselt, objektiivse sagedusena. Näiteks kvantmehaanikas osakeste poolestusajad

¹⁴ Individuaalsetes konsultatsioonides

on leitud statistiliselt ansamblite vaatlustega (suhtelised sagedused) ning üksikjuhtumi tõenäosust tõlgendatakse samuti ansambli kaudu.

- Poincaré resonantside mõiste kasutamine kvantmehaanikas ning sellele laiendamise trivიაalsus on enam kui kahtlane. Poincaré ei tegele kvantmehaanikaga vaid klassikalise mehaanikaga ja kõik tema mõisted käivad klassikaliste süsteemide kohta. Nende kasutamine kvantmehaanika mõistestikuga seoses analoogia põhjal ei vii veel klassikalist ja kvantmehaanikat kokku.
- Prigogine eeldab, et kogu universum on kirjeldatav termodünaamiliselt, et termodünaamiline aja nool on kõikjal kehtiv ja rakendatav. See eeldus on problemaatiline. Füüsikas on mitu erinevat aja noolt, mis tulenevad erinevatest teooriatest ja mis üksteisest ei tuletatu.
- Kvantmehaanikas on tõenäosusjaotuste kasutamine standardne protseduur, selleks pole vaja Poincaré resonantse. Samuti on tõenäosustihedus definitsiooni poolest pidev ehk Prigogine'i terminoloogias mittelokaalne, seega pole Prigogine siin midagi uuendanud. Operaator Λ on mitteunitaarne, mis tähendab, et ta ei säilita tõenäosuste summeeruvust 1-ks. Selliseid operaatoreid kvantmehaanikas välditakse.
- Prigogine pole selgitanud, mida tähendavad matemaatiliselt need juhuslikud tegurid, mille tõttu bifurkatsioonipunkti läheduses süsteemi areng ennustamatuks muutub. Bifurkatsioon tekib võrrandi bifurkatsiooniparameetri muutumisel. Siis peaks seega selgitama, mida tähendab parameetri juhuslik muutus.

Mitmed kriitikud (Engel 1984, Zetie 1998) leiavad Prigogine'i teooriast antud ülevaated liialt segased olevat. Lihtsat matemaatikat seletatakse, keerulisem, kuid teooria suhtes olemuslikum, tuuakse sisse justkui imelugu, mis peaks probleemeid lahendama, ilma selgitamata selle seost seletatavate nähtustega sellisel viisil, et tavalugeja aru saaks (kuigi raamatud on mõeldud laiale lugejaskonnale). Samas on kogu matemaatiline raamistik antud nii robustselt, et peletab eemale ka reaalteaduste taustaga inimese, mis tekitab tugevaid kahtlusi teooria enda korrektsuses kuni tõdemuseni, et „liiga sageli see, mis on

korrektne, pole uus, ja mis on uus, pole korrektne (Pagels 1985: 97). Järgnevalt toon ära kriitikaid Prigogine'i teooria erinevate osade kohta.

3.1.1 Korrelatsioonid ja trajektoolid

Prigogine ei selgita, mida korrelatsioonid endast kujutavad reaalses süsteemis. Samuti jääb mulje, et korrelatsioonid on nagu hunt Kriimsilm oma üheksa ametiga – nad vastutavad ühtaegu nii pöördumatusel kui ka pööratavuse eest, koherentsuse ja ebakoherentsuse eest. Robert Bishop selgitab, mis on ruumilised korrelatsioonid, millel on oluline roll statistilises mehaanikas. Aine (nt gaasi) kujuteldavas esialgses olekus, kus osakesed pole veel omavahel vastasmõjutanud, võivad nad asetseda meelevaldselt, kõik asukohad on võrdtõenäosused. Kuid kui on teada ühe osakese asukoht, siis annab see piirangu teise osakese asukoha suhtes – nimelt ei saa teine omada sama asukohta nagu esimene.

Osakestevaheliste vastasmõjude ja olekuvektorite sümmeetriaomaduste tõttu ei avaldu gaasis kahe katseosakese vahelise suhtelise kauguse (r_1-r_2) erinevad väärtused sama tõenäosusega. Seda omadust tuntakse *ruumilise korrelatsioonina* kahe osakese samaaegsete asukohtade r_1 ja r_2 vahel (Bishop 1999: 20).

Korrelatsioonide teke sõltub gaasi (nt plasma) tihedusest, kuna tihedamas gaasis on osakeste kokkupõrgete tõenäosused suuremad. Sellest tulenevalt ei haju gaas ühtlaselt laiali, vaid moodustab koherentseid struktuure (Samas).

Korrelatsioonid on kirjeldatavad taglastatud Hilberti ruumi abil, aga pole kirjeldatavad Hilberti ruumis. Samuti pikaajalised korrelatsioonid, kus koherentsus lõhutakse, kui osakesed üksteisest eemalduvad ja korreleeruvad teiste osakestega. Korrelatsioonid ja ühes nendega informatsioon kandub süsteemis laiali difusiooni tõttu. See toob kaasa aja suunatuse, mis ilmneb taglastatud Hilberti ruumi operaatorite komplekssete spektrite (omafunktsioonid ja omaväärtused) kaudu (Samas: 21). Seega tuleb selgelt eristada pikaajalised ja lühiajalised korrelatsioonid.

Korrelatsioonide teke ei tähenda siiski veel trajektooride kadumist, nagu Prigogine väidab. Juba korrelatsioonide määratus osakeste asukohtade kaudu viitab trajektoorile kui mikroskoopiliste muutujatega (nagu asukoht) defineeritud objektile. Trajektoolid jäävad oluliseks lokaalsel tasandil ning on aluseks korrelatsioonide-kirjeldusele. Suurte Poincaré süsteemide jaoks on tarvis teistsugust trajektoori mõistet: tavalises faasiruumis kirjelduvad need Browni liikumisena. Enne kokkupõrkeid liiguvad osakesed siledaid trajektoore pidi, kuid kokkupõrgete tagajärjel muutuvad trajektoolid tükati pidevaks ning pidevate

vastasmõjude korral pole nad enam kõikjal diferentseeruvad, kuid nad on ikkagi trajektoorid. Tuleb eristada trajektoorid episteemilise ja ontolise mõistena (Samas: 22-23). Korrelatsioonid ja rühmaefektid eeldavad osakeste asukohti ja trajektoore (Samas: 24). Seejuures pole sugugi kindel, kas trajektoorid, mis pole kõikjal pidevad ega kõikjal diferentseeruvad, on taglastatud Hilberti ruumis deterministlikud või mitte (Samas: 26).

3.1.2 Pöördumatus

Bishop peab probleemseks Prigogine'i pöördumatuse mõistet, mille kujuks on evolutsioonioperaator, mis rakendub ebastabiilsetele süsteemidele ja teisendab trajektoorid Markovi ahelateks ning analoogselt Perroni-Frobeniuse operaatorile omab nii tulevikule (ajateljel $+t$) rakenduvat kuju kui minevikule (ajateljel $-t$) rakenduvat kuju ning nii minevikku kui tulevikku rakendudes viib tasakaalu. Väidetavalt nõuab operaatori rakendamine mineviku suunale infinitesimaalse täpsusega algtingimusi, tuleviku suunas ainult lõpliku täpsusega algtingimusi, mistõttu on ta praktiliselt rakendatav ainult süsteemi tuleviku seisundite leidmiseks, kuid muudab füüsiliselt võimatuks tasakaalu saavutamise mineviku suunas. Seega on antud operaatori näol tegemist teatud valikuprintsiibiga ebastabiilsete süsteemide algtingimustele, mis põhjendab termodünaamika teise seaduse ning välistab teatud liiki kogemused (need, mis on vastuolus termodünaamika teise seadusega) (Bishop 1999: 8-9).

Jällegi on siin probleem, et episteemilised mõisted aetakse segi ontoliste mõistetega. Lisaks sellele on tehtud just selliseid katseid, kus süsteem ilmutab antitermodünaamilist käitumist. Sellele väidetakse vastu, et kiiruste ümberpööramine kujutab endast välist sekkumist, mis kahandab entroopiat. Bishop heidab Prigogine'ile ka ette, et selline pöördumatuse definitsioon sõltub entroopia definitsioonist: evolutsioonioperaatori definitsiooniga on täiesti kooskõlas ka selline entroopia definitsioon, mille kohaselt entroopia kasvab mineviku suunas. Sellele on vastuväitena viidatud kogemusele aja suunatusest. "See tähendab fenomenoloogiliste seaduste pidamist fundamentaalseteks ja seega välistab kõik entroopia definitsioonid, mis lubavad antitermodünaamilist käitumist." Sellega loobub Prigogine'i rühm võimalusest seletada neidsamu vaatlusi ja aja suunatust, mille seletamine oli nende eesmärgiks, "väidetav side klassikaliste deterministlike süsteemide ja Markovi protsesside vahel, mis pidi valgustama pöördumatuse müsteeriumi, ei võimalda meile arusaamist ja on ringikujuliseks muutumise ohus (Samas: 9-10)."

Sama probleem on taglastatud Hilberti ruumi abil termodünaamilise aja noole tuletamises ja seletamises. Siin peab tasakaal saavutatama läbi difusiooni ja korrelatsioonide kasvu. Taglastatud Hilberti ruum võimaldab lahendada vastavad võrrandid, mille tulemuseks on kaks poolrühma moodustavad omavektorid. Neist valitakse see, mis viib termodünaamilise tasakaaluni tuleviku suunas ning hüljatakse see, mis viib termodünaamilise tasakaaluni mineviku suunas. Valiku aluseks on empiirilisel vaadeldud aja suund. Taas võttes aluseks vaatlus, toetatakse faktidele, mida püütakse seletada (Samas: 19). Pöördumatuse ehk aja noole ja entroopia kasvu ehk ka dissipatiivsete struktuuride tekke vastastikust sõltuvust väljendab Prigogine mitmes kohas. Entroopia ja korrastatuse kasv ühest küljes eeldavad aja noolt, teisest küljest toovad maailma pöördumatuse. Ka Zetie kritiseerib Prigogine'it, et aja suuna valik on meelevaldne: operaatori lahenditeks olevatest poolrühmadest valitakse välja see, mis sobib meile paremini, et saada õiget aja suunda (Zetie 1998: 395).

Saab eristada kahte sorti pöördumatust: välimine, mis tuleneb süsteemi vastasmõjust väliskeskkonnaga, ning sisemine, mis tuleneb süsteemi enda käitumisest. Prigogine'i rühm peab fundamentaalseks sisemist pöördumatust ning on püüdnud leida ka teooria vastavat kuju (Bishop 1999: 4). Enamus näiteid, seejuures rangemad nende hulgast, mida Prigogine toob, on isoleeritud süsteemidest, kus pöördumatus ja juhuslikkus on süsteemide endi omadused, või süsteemidest, kus välised efektid võib tähelepanuta jätta. Sel juhul on aga vägagi küsitav, kas tema pretensioonidel teooria kehtivuse universaalsusest on alus. Väidetavalt on nüüd võimalik seletada ära isegi elu teke, kuid samas nimetab ta ise elu olemasolu ja püsimise tingimusteks avatust – elusorganismid peavad olema avatud väliskeskkonnale ja saama sellest lisaenergiat, et säilitada neile omane kõrgetasemeline organiseeritus. Shalizi ütleb, et pöördumatus pole Prigogine'il üldse seotud iseorganiseeruvusega. Viimane on tavaliselt modelleeritud nii tahumatult, et selle rakendamine igasugusele mikroskoopilisele dünaamikale ei tasu vaeva. Samas on võimalik modelleerida pööratavat süsteemi, mis ise organiseerub päris ilusti. Samuti, kirjutab Shalizi, on võimalik matemaatiliselt tõestada, et pööratav mikroskoopiline dünaamika, olgu siis Newtoni või kvantmehaanika, võib kuhjatuna viia nähtusteni, mis on igas mõistlikus ajaskaalas pöördumatud. Küsimus on ainult selles, kas reaalne, maailmas toimiv dünaamika ise evib vastavaid omadusi.

Jean Bricmont selgitab, miks pöördumatus pole pööratavate fundamentaalsete füüsikaseadustega vastuolus: füüsikaseadused määravad süsteemi determineeritud

kulgemise mingite algtingimuste jaoks, kuid ei ütle midagi tegelike algtingimuste kohta ja kehtiksid paljudes võimalikes maailmades. Vastupidi – pöördumatust on võimalik ära seletada pööratavuse kaudu, nimelt seades algtingimustele piirangud, nagu Ludwig Boltzmann on osutanud. Ometi on teda tõlgendatud, nagu oleks ta termodünaamikas postuleeritud pöördumatust ja pööratavaid mehhaanikaseadusi omavahel vastuolulisteks pidanud. Enamasti pöördumatuks peetavad süsteemid sisaldavad palju osakesi, seega ka palju vabadusastmeid. Süsteemi samale makrotasandilisele seisundile vastab palju erinevaid mikrotasandi seisundeid ning on väga väike hulk neid erinevaid mikrotasandi arenguid, mis tekitavad täpselt ühesuguse makrotasandi arengu. Seepärast pole põhjust pidada konkreetsete algtingimuste korral makrotasandi seadusi pööratavaks (Bricmont 1998: 2390-2396).

3.1.2.1 Kriitika Bishopi kohta

Bishop ise ajab sassi matemaatika (füüsika) ja reaalsuse. See, et füüsika kirjeldab oma valdkonna nähtusi pööratava matemaatika abil, ei tähenda veel, et need nähtused tegelikult ka ümber pöörduvad või et pööratavus oleks fundamentaalne. Siin on küsimus ka selles, mis on fundamentaalne, ehk mida see mõiste tähendab nt looduseaduste puhul. Nimetades mikroskoopilisi seadusi fundamentaalseteks, kas siis makroskoopilised peaks neist kuidagi tulenema? Termodünaamika ja statistiline mehaanika nt kirjeldavad küll makrotasandi nähtusi mikrotasandi nähtuste kaudu, aga on selliseid, mida pole mõttekas tuletada mikrotasandi seadustest, nt vedelike dünaamika või heitkehad. Teine probleem on siin eksistentsiaalne: kas see, mida inimene ei aisti, mis on olemas ratsionaalsel tasandil, on kuidagi fundamentaalsem? Kas teades, et inimese taju on vahel ekslik, peab ekslikkust tingimata eeldama, ehk teades, et see on võimalik, kas eeldame, et kõik, mis on võimalik, juhtub? Seega ei tohiks taju üldse tõsiselt võtta? Ometi igapäevastes toimetustes ei arvuta keegi fundamentaalsete füüsikaseaduste abiga välja, mida ja kuidas täpselt teha, ikka tuginetakse kogemusele ning ollakse seejuures sageli edukad oma eesmärkide täitmisel.

3.1.3 Taandumatu tõenäosuslikkus

Robert Batterman säeb kahtluse alla süsteemi muutumise taandumatult tõenäoslikuks läbi evolutsioonioperaatori W ja sarnasusteisenduse Λ , mis teisendab unitaarse evolutsiooni stohhastiliseks. Λ on ebasümmeetriline aja pööramise suhtes (Λ^{-1} ei säilita

positiivsust, kui $t \leq 0$) ja teisendab jaotusfunktsiooni, isegi kui see on määratud vaid väikesel piirkonnal süsteemi võimalike olekute hulgast, selliseks jaotusfunktsiooniks, mis on määratud kogu faasiruumil, mis läbi tõenäosusjaotus ρ delokaliseerub. Sellega „elimineeritakse teooriast füüsikaliselt realiseerimatu deterministliku liikumise idealisatsioon koos faasiruumi trajektoorigega“ (Batterman tsiteerib Goldsteini, Misrat ja Courbage'i). Ennekõike tekivad küsimused sellise kirjelduse tõlgendamiseks: mis mõttes kirjeldavad uued jaotused individuaalset süsteemi? Ka klassikalises statistilises mehaanikas kasutatakse tõenäosusi, kuid seda seepärast, et täpsed mikroolekud pole teada, seega tõlgendatakse tõenäosusi suhteliste sagedustena (Batterman 1990: 255). Kvantmehaanika tõenäosused on taandumatud eeldusel, et pole varjatud muutujaid (ehk eeldusel, et kvantmehaanika baasformalism ei vaja täiendamist). Kehtestamiseks tõenäosuste fundamentaalsust trajektoorige suhtes, peaks Prigogine pakkuma midagi samaväärset (Samas: 257).

Prigogine ja tema rühm pretendeerivad dünaamika esituse muutmisele nii, et faasiruumi punktide ja trajektoorepidi evolutsioneeruva dünaamika asemel on teooria põhiobjektideks punktide teisendus ebastabiilsete süsteemide abil defineeritud Λ kaudu ja evolutsioon W kaudu. Isegi kui algtingimus on antud punktina faasiruumis, lakkab ta olemast faasiruumi punkt nimetatud teisenduste rakendamisel. Probleem on siin Battermani sõnul selles, et Λ 't, mis on defineeritud ainult Hilberti ruumi Koopmanni kujus, ei ole võimalik rakendada faasipunktidele – ta lihtsalt pole sellisena defineeritav, ning Diraci δ -jaotused, mis on keskendunud faasipunktidele, pole faasipunktid. Seega pole võimalik kehtestada ka nimetatud matemaatilistel objektidel põhinevat ontoloogiat (Samas: 258-260).

Jean Bricmont kritiseerib taandumatu tõenäosuslikkuse ideed seoses trajektoorige ja determinismiga. Klassikalises mehaanikas ja ka deterministlikus kaoseteoorias esitatakse süsteeme deterministlike trajektoorige kaudu, kuid kaootilised süsteemid on hoolimata deterministlikkusest ennustamatud. Bricmont toob näite piljardikuulist, mis veereb piisavalt siledal ja mitmete takistustega laual, kus ta takistuste vastu pörkab. Põhimõtteliselt oleks võimalik koostada võrrandid, kirjeldamaks kuuli liikumist, kuid ilmselt oleks nende lahendamine liiga keeruline; seega on mõttekam esialgu kasutada tõenäosuslikku kirjeldust, mille põhjal tõenäosus leida kuuli mingis laua osas on mõne aja möödudes ühtlane üle kogu laua. “Isegi kui lähtetõenäosus on hästi keskendunud kuuli algpositsiooni ümber, leidub ometi palju lähedasi algtingimusi, mis aga tekitaksid hoopis

teistsuguseid trajektoore (Bricmont 1998: 2385)”. Kuid igal hetkel on kuul siiski mingis kindlas kohas ega valgu mööda lauda laiali, nagu pakub tõenäosus, ja tema liikumist on võimalik jälgida, kuna ta on siiski vaid ühes kohas korraga, tal on kindel trajektoor. Seega trajektooride kõrvaldamine dünaamiliste süsteemide kirjeldusest ei ole päris mõttekas, tõenäosus näitab vaid meie teadmatust toetumisel ainult algtingimustele. Seega tuleb eristada ennustamatus ja determineeritus: see, et me ei suuda ennustada süsteemi seisundit täpselt pika aja päale ette, ei tähenda veel, et süsteem ise oleks määramatu (Samas: 2385-2388).

3.1.4 Ebakõlad kvantmehaanika formalismiga

Suured Poincaré süsteemid on seotud diferentsiaalvõrranditega – need on teatud liiki diferentsiaalvõrranditesüsteemid suurte süsteemide jaoks, mida kasutatakse statistilises mehaanikas, mis uurib süsteeme, kus osakesed on omavahel lakkamatus vastasmõjus. Seega pole kuidagi võimalik seda mõistet rakendada kvantsüsteemidele, kuna neis pole diferentsiaalvõrrandite formalism kasutatav. Ka Poincaré resonantsid on klassikalise teaduse objektide omadused, mille laiendamine kvantsüsteemidele pole kindlasti triviaalne, nagu Prigogine mitmes kohas väidab. Samuti kvantmehaanika realistlik tõlgendus oleks vastuolus eksperimendiga:

Nimelt õnnestus John Bellil tuletada kvantsüsteemide omaduste objektiivset, inimese vaatlustest sõltumatut eksistentsi eeldades üks võrratus (nn Belli võrratus), millele teatud tüüpi katseandmed peaksid alluma. Kuid katsete tulemused rikuvad selgesti seda võrratust ja osutuvad olevat kooskõlas ühe teise võrratusega, mis on tuletatud eeldusel, et kvantsüsteemide omadused tekivad alles mõõtmise käigus. See eksperimentaalne tulemus paneb tõsise kahtluse alla ka kvantmehaanika realistliku interpretatsiooni teiste võimalike aspektide mõttekuse¹⁵.

Paul Davies iseloomustab kaasaegseid füüsikateooriaid järgmiselt. Füüsikalised mõisted on kood-sõnad (muuhulgas kujundatud ka kultuurilisest keskkonnast sõltuvalt), mis tähistavad keerulisi omadusi matemaatilistes mudelites, mida teadused kasutavad vaadeldava reaalsuse faktide sidumiseks üksteisega. Need mõisted saavad nii tavaliseks, et neile hakatakse välises reaalsuses vastet kujutlema, moodsas füüsikas on aga reaalsuseks seosed vaatluste vahel, mitte väline maailm, kuna subjekti ja objekti eristamatuse tõttu ei saa ka eristada “välist” (Davies 1995: 264). Seega on subjekt kaasaegsesse füüsikasse, eriti aga kvantmehaanikasse olemuslikult sisse haaratud kui demiurg: vaatluse defineerija, lavastaja, ning tulemuste tõlgendaja (ehk tõlkija „nimikeelde“) ainsale tasandile, millel

¹⁵ See tsitaat pärineb Piret Kuuselt individuaalsest kirjavahetusest.

neile saab omistada tähenduse – makroskoopilisele. Kui Prigogine pretendeerib andma kvantmaailma tasandile iseseisva eksistentsi, siis satub ta mitteoleva, hüperreaalse fundamentaaltasandi paradoksi – inimese loodud tasand, millel baseerub inimese olemine, millest kirjutab Mikhail Epstein (Epstein 1996).

3.2 Deterministlik kaoseteooria

Prigogine kritiseerib deterministlikku kaoseteooriat, et see üritab kirjeldada tasakaalukaugeid, ebastabiilseid süsteeme trajektooride kaudu, kuigi trajektoorid on selliste süsteemide kirjeldamisel ebaadekvaatsed, kuna lahknevad üksteisest eksponentsiaalselt, muutuvad ruttu ennustamatuks ning ei integreeru (nt Prigogine 1997: 95) Oma bakalaureusetöös näitasin, et deterministliku kaoseteooria mudelid ei kirjelda süsteemide konkreetset arengut, nagu tavaliselt trajektoorid kirjeldavad. Kuna trajektoorid on selles ennustatavad vaid lühikeste ajavahemike piires, kuid ennustatavus on trajektooride põhiline eelis, mis võimaldab ennustatavust kui kontrollivahendist looduse üle, siis deterministliku kaoseteooria eesmärk pole anda ennustusi süsteemide täpsete seisundite kohta. Pigem on trajektoorid selles abivahenditeks süsteemi muude omaduste kindlakstegemisel.

Klassikalises dünaamikas uuritakse peamiselt lineaarsete diferentsiaalvõrrandite lokaalseid faasidiagramme, mis jäävad püsipunktide¹⁶ ligidusse. Deterministlikus kaoseteoorias, mis on mittelineaarse dünaamika haru, pakub huvi globaalne faasidiagramm, kuna mittelineaarsel juhul on võrranditel üldjuhul mitu püsipunkti (lineaarsel juhul alati üksainus) ning süsteemi iseloomu määravad faasikõverate kujud ka püsipunktide vahel. Üldjuhul ei saa võrrandeid püsipunktide ümbruses lineariseerida, kuna see muudaks faasidiagrammi (st annaks uuritava süsteemi võimalikest käitumisviisidest vääralt kirjelduse). Deterministlik kaoseteooria uurib faasidiagrammi sõltuvust parameetritest, nt millised on nende kriitilised väärtused, mille juures toimuvad bifurkatsioonid, bifurkatsioonide tüüpe, muutujate (algväärtuste) ja bifurkatsiooniparameetrite kvantitatiivseid seoseid, lahendite lahknemise kiirust sõltuvalt alg- ja ääretingimustest (Ljapunovi eksponent). Sellega seoses on deterministliku kaoseteooria kaudu saanud aktuaalseks ennustatavuse kadu ning klassikalise teaduse

¹⁶ Püsipunkt on diferentsiaalvõrrandite süsteemi $dx/dt=f(x)$ puhul punkt, kus $f(x)=0$, kujutuse $x_{n+1}=f(x_n)$ puhul $x'=f(x')$.

loodud deterministliku maailmapildi muutumine: kui enne arvati keerukus tulevat süsteemidesse nende suuruse tõttu, mille esitamine nõuab paljude vabadusastmetega suuri võrranditesüsteeme, siis kaoseteooria näitas, et ka lihtsalt esituvad, kuid mittelineaarsust sisaldavad süsteemid võivad olla keerulised ja ennustamatud.

Prigogine sarjab deterministlikku kaoseteooriat liigsete idealisatsioonide ja lihtsustuste kasutamises, samas kasutab ise selle tulemusi ja mõisteid (nt bifurkatsioon, kriitiline väärtus, lahendite lahknemine, Ljapunovi eksponent) oma teooria formuleerimisel. Seejuures ta ei põhjenda, miks trajektoorid on liiga lihtsustatud objektid, aga nende abil tuletatud suurused ja mõisted seda pole. Tegelikult ju maailm ise ei võta endas toimuvate protsesside ja muutumiste aluseks ei mingeid võrrandeid, arvulisi väärtusi, funktsionaalseid ruume ega operaatoreid, kõik need on vaid inimese loodud matemaatika, mille abil on võimalik maailma kirjeldada sellisel viisil, et ühest küljest ennustada tendentse ja sündmusi, teisest küljest kasutada loodust inimese hüvanguks. Neid eesmärke teenivad ka deterministliku kaoseteooria mudelid, mis on näidanud varem täiesti seaduspäratuteks peetud nähtuste seaduspärasusi, mis erinevad klassikalises dünaamikas tuvastatavatest seaduspärasustest.

Bricmont peab deterministlikku kaoseteooriat tõenduseks klassikalise teaduse kujundatud deterministlikule maailmapildile: kuna kaootilisi süsteeme kirjeldatakse nagu klassikalisi deterministlike võrranditega, kuid saadakse ennustamatud tulemused, siis näitab see, et süsteem ei peagi olema stohhastiline ja sisaldama juhuslikkust eksplitsiitselt, et anda juhuslik väljund. Varem juhuslikeks ja seaduspäratuteks peetud nähtused võivad olla sama determineeritud nagu ilmselt seaduspärased nähtused. Sellega on teadus laiendanud oma haaret, seda osa maailmast, mida võib täppisteaduslike vahenditega mõista. Kaootiliste süsteemide ennustamatus ei ole pädev vastuväide determinismile, kuna ennustatavus on episteemiline mõiste, kirjeldades inimese teadmisi, determinism aga ontoloogiline, kirjeldades maailma ennast. Tema arvates pole determinismi kaost mõtet kõnelda makroskoopiliste nähtuste tasandil, vaid ainult fundamentaalsel mikroskoopiliste seaduste tasandil, ehk kvantmehaanika raames, kuid kõik kaoseteooria näidetena vaadeldud süsteemid on olnud makroskoopilised (Bricmont 1998: 2378-2384).

3.2.1 Vastuväited Jean Bricmont'ile

Jüri Engelbrecht kritiseerib Bricmont'i, et see ei arvesta mittelineaarsuse tingimust, mis dünaamilistes süsteemides on oluline ebastabiilsuse ja kaose allikas, põhjustades aditiivsuse ehk proportsionaalsuse kehtetuks muutumist. Teine määrav idee Prigogine'i teoorias on termodünaamika tõlgendus ja selle säädmine dünaamiliste süsteemide kirjeldustes aluseliseks. Kui Boltzmanni arvates on paljudest osakestest koosneva materia hulga seisundis primaarsed osakeste trajektorid, mille arvutamise võimatuse tõttu peab kasutama tõenäosuslikku termodünaamikat, mis seega on sekundaarne, siis Prigogine'i arvates on termodünaamika kui pöördumatute protsesside teooria tuletamatu pööratavate protsesside teooriast, Newtoni füüsikast, ja selle ees primaarne (Engelbrecht 1999).

Leo Näpinen ja Peeter Mürsepp heidavad Bricmont'ile ette, et ta ei võta arvesse Ilya Prigogine'i teooriat suurte Poincaré süsteemide kohta ega vaatle üldse neid süsteeme oma kriitikas Prigogine'i teoriale. Selle asemel vaatab Bricmont Prigogine'i teooria kummutamiseks ainult väheste vabadusastmetega deterministlikke süsteeme, kus ei ilmne deterministlikku maailmapilti õnnestavad nähtused nagu trajektoride kadu resonantside tõttu ja pöördumatu tõenäosuslik areng. Erinevalt tavalisest kaoseteooriast, kus kaos tekib ainult arvutuslike raskuste tõttu, sisaldab Prigogine'i teooria kaost juba matemaatilises formuleeringus Poincaré resonantside kaudu (Näpinen ja Mürsepp 2002: 474). Oluline on nimelt liginemine termodünaamilisele piirile (kus süsteemi osakeste arv ja ruumala lähevad lõpmatusse, aga nende suhe jääb lõplikuks ja konstantseks), mis Prigogine'i sõnul mängib kesksel rollil kogu makroskoopilises füüsikas. Kui tavalise kvantsüsteemi spekter on diskreetne, kuna ta sisaldab lõpliku arvu osakesi, mille vastasmõjud on põgusad, siis Prigogine'i teoorias omandavad tähtsuse pideva spektriga kvantsüsteemid, kus osakesed on lakkamatus vastasmõjus ja ilmnevad Poincaré resonantsid ja seeläbi kvantkaos – kaos fundamentaalseimal tasandil. Seeläbi kaob võimalus kirjeldada kvantsüsteemi lainefunktsioonide kaudu ning peamiseks kirjeldusviisiks saab tõenäosuslik (Samas: 470-474).

Uus teooria formuleerib loodusseadused, mis peavad silmas avatud, arenevat universumit koos inimesega, kus pole võimalik ette määrata, millal ilmub järgmine bifurkatsioon. Järjestikusi ebastabiilsusi ja praktiliselt lõpmatut arvu vastasmõjustuvaid ühikuid peab Prigogine elava looduse fundamentaalseteks omadusteks, tekitades süsteemis koherentsuse. Arvesse tuleb võtta süsteemide ajalugu – algtingimused ei saa olla suvalised, vaid on määratud süsteemi varasemast kulgemisest, ning iseorganiseeruvust, millega

deterministlik kaoseteooria ei tegele ja mis on võimalik ainult avatud süsteemis. Erinevalt Engelbrechtist usuvad Näpinen ja Mürsepp, et Prigogine'i eesmärk ei ole näidata termodünaamika primaarsust dünaamika ees ning mittelineaarsus pole tema oluline uuendus. Uuendus on Poincaré resonantside, mitteintegreeruvuse ja kvantkaose kasutamine füüsikalise maailma modelleerimisel (Samas: 475-477).

3.2.1.1 Kriitika Näpineni ja Mürsepa käsitlusele

Pangem tähele, et Prigogine pole arendanud välja kaose mõiste matemaatilist tähendust ja kuju kvantmehaanikas. Ta küll viitab selle seostele süsteemi suurusega ja osakeste vahel tekkivate resonantsidega, kuid ei näita kuski, kuidas seda tuletada või kuidas arvutada kaootilist kvantsüsteemi (küll aga mainib mitmes kohas, et vaadeldud mõistete (nt resonantsid, korrelatsioonid jm) laiendamine kvantmehaanikale on triviaalne). Seepärast on kaheldav omistada talle kvantkaose mõiste teadusse toomise au. Nagu Näpinen ja Mürsepp isegi nendivad, ei saa kvantsüsteemide puhul kasutada sama kaose mõistet, mida klassikaliste süsteemide puhul, kuna see tugineb trajektoori mõistele, aga kvantmehaanika ei tegele trajektooriga. Õigupoolest on aga nii suured Poincaré süsteemid kui Poincaré resonantsid seotud klassikaliste süsteemidega: esimesed tulenevad Poincaré rekurrentsiteoreemist, kui seda rakendada lõpmatu suurusega süsteemidele, kus (esialgse seisundi) taastumise periood venib lõpmata pikaks, teine tuleneb Poincaré uurimusest kolme (või n) keha probleemist, mis on klassikaline, trajektooriga seotud süsteem (esialgselt pärineb taevamehaanika vallast, kuid tänapäeval ka klassikalistes mikrotasandi süsteemides uuritav) ning kus perioodide vahel tekivad teatud tingimustel resonantsid. Selles mõttes pole ka Bricmont'i näited kaootilistest süsteemidest ebaadekvaatsed: piljardikuulide süsteem kujutab endast lihtsustust klassikalisest osakeste süsteemist, kus osakesed on vastasmõjus ja ennustamatud, kuid nende seesmine struktuur jääb puutumata. Seega saab Prigogine'i käsitledavatel süsteemidel olla rohkem pistmist termodünaamikaga klassikalise teooriana kui kvantmehaanikaga.

Problemaatiline on universumi kui avatud süsteemi mõiste¹⁷: et universum oleks avatud, peab tal olema mingi ümbrus – keskkond, milles ta asub ning millega on energia- ja ainevahetus, ning äärepind, mille kaudu väliskeskkond universumile mõjub. See saab praegu olla ainult spekulatiivne – meil pole vahendeid selliste hüpoteeside kinnitamiseks

¹⁷ Piret Kuuse märkus

ega ümberlukkamiseks. Samuti pole matemaatiliselt näidatud elusaine seost ja kirjeldamise võimalusi suurte Poincaré süsteemidega ja korrelatsioonidega. Mis puudutab kinniste süsteemide bifurkatsioone ja nende ennustamist, siis sellega tegeleb deterministlik kaoseteooria, nagu eelnevalt mainitud.

3.3 Vastuolud Prigogine'i teoorias

Prigogine'i teoorias on mitmes aspektis vastuolusid tema lähte-eeldustega, probleemidega, mida ta püüab lahendada, näiteks teooria ja sellega kirjeldatavate omaduste objektiivsuse ja subjektiivsuse aspektis, kuid ka lahendustes, mida ta probleemidele pakub, täpsemalt nende mitmekesisuses, st tema teoorias pole ühtsust. Eelnevalt tõin juba ära Bishopi ja teiste kriitika tema aja noole tuletamise kohta pöördumatust protsessidest, kus ta ühtlasi eeldab pöördumatute protsesside toimumiseks aja noolt, mis teeb tema arutluskäigu ringikujuliseks ja aja suunatuse põhjendamise meelevaldseks. Järgnevalt tuleb juttu süsteemide avatusest ja suletusest aja suunatuse eeldusena, pöördumatuse ja tõenäosuslikkuse objektiivsusest.

3.3.1 Süsteemi avatus ja suletus pöördumatuse allikana

Prigogine'i teooria alusobjektid on suured Poincaré süsteemid, mille puhul teadaolevalt pinnaefektid võib arvestamata jätta, mis tähendab, et nad on tinglikult isoleeritud süsteemid – ei vaadelda nende vastasmõju väliskeskkonnaga. Samas peab ta teoorias oluliseks elemendiks fluktuatsioone ja nende võimendamist süsteemi sees kuni uue ehk uut tüüpi korrapära tekkimiseni. See eeldab süsteemide avatust ümbritsevale keskkonnale, mille puhul on oluline aine- ja energiavahetus ülem- ja alamsüsteemide vahel, mis võimaldabki väliskeskkonnast tulevaid häiritusi, mis süsteemi tasakaalust kaugel hoiavad. Kas pole siis siin vastuolu? Ühest küljest peaks modelleeritavad süsteemid olema resistentsed väljastpoolt tulevatele mõjutustele, teisest küljest nende avatusest väliskeskkonna mõjutustele sõltub nende olek. Ka elusorganismide, ühiskonna jt keerukate süsteemide tarvis oma teooria laiendamise üle arutledes peab ta olemuslikuks nende süsteemide avatust, mis võimaldab nende teatud parameetrid hoida kriitilisel väärtusel,

mistõttu need on tasakaalukauged ja võimelised arenema keerukama struktureerituse suunas¹⁸.

3.3.2 Subjektiivsus ja objektiivsus

Omavahel vastuolus on Prigogine'i järgmised taotlused: 1) luua maailmast teaduslik kirjeldus, millesse on haaratud ka inimene kui subjekt, vaatleja (erinevalt klassikalisest teadusest, milles subjekt ja objekt (vaadeldav) on eraldi) ja 2) luua maailmast teaduslik kirjeldus, milles tõenäosuslikkus ja pöördumatus on sõltumatud inimesest kui vaatlejast. Ta pole rahul erinevate teooriate subjektiivse, episteemilise tõlgendusega, mille tahab asendada objektiivse, ontolise tõlgendusega, samas ikkagi haarata teaduslikku kirjeldusse inimese kui vaatleja, kui subjekti. Subjekti ja objekti probleem esineb põhiliselt termodünaamikas, statistilises mehaanikas ja kvantmehaanikas seoses tõenäosuste kui nende teooriate olemuslike kirjeldusosiste ning kvantparadoksi tõlgendamisega. Kvantparadoksi tahab muuta inimesest sõltumatuks nii, et lainefunktsiooni kollapsit ei peaks tõlgendama kui tulenevat inimese sekkumisest kvantprotsessi. "Ta tahab, et mõõteriist kuidagi ise mõõdaks süsteemi¹⁹", mis kirjelduks suure Poincaré süsteemi kaudu, niimoodi muudaks pöördumatuse üldiseks objektiivseks seaduseks²⁰ (Prigogine 1997: 157). Sedasi ta sisuliselt tahab eemaldada vaatleja teooriast, hoolimata 1) oma taotlusest ta sinna olemuslikuna haarata ja 2) sellest, et mõõteriist ise sõltub vaatlejast, kes selle üles on säädnud, nii oma olemasolus kui informatiivsuses

Prigogine'i üks eesmärke on näidata rangelt indetermineeritusest tulenevat taandumatut tõenäosuslikkust ja pöördumatust maailma, sh mikromaailma objektiivsete omadustena. Ta heidab klassikalisele teadusele ette, ühest küljest, et see eeldab objektidel (nt trajektooridel) olevat infinitesimaalselt täpsed väärtused, mida me tegelikkuses ei saa määrata, ja teisest küljest tõenäosuse tõlgendamist klassikalise teaduse raames teadmatusena – süsteemi kirjeldust tõenäosuste ja ansamblite kaudu kasutatakse siis, kui täpsed andmed pole teada ning sellest tulenevalt tõlgendatakse nende olemust episteemilisena. Ometi oma näidetes Bernoulli kujutusest ja pagari teisendusest, kus ta esitab need

¹⁸ Pagels (Pagels 1985: 98) tsiteerib biofüüsikut L.A. Blumenfeldi, kelle väitel elu teke ega püsimine pole seotud mingite (makro)parameetrite (kriitiliste) väärtustega, vaid programmilaadsete arhitektuuriliste mikrotasandi struktuuridega, mis on tekkinud miljonite aastate jooksul keemilise ja bioloogilise evolutsiooni käigus.

¹⁹ Piret Kuuse väljend

²⁰ Prigogine nimetab seda kvantajaevolutsiooni teiseks seaduseks.

kahendsüsteemis (vt paragrahv 1.1 ja märkus 2 selles), mille ta toob kui lihtsad süsteemid, mille pääl oma teooria mõningate mõistete (nt evolutsioonioperaator, tõenäosuslikkus, difusioon, ebastabiilsus) kasutamist näidata, põhjendab ta determineerituse kadu just samadel alustel: kujutuse algtingimused on antud infinitesimaalselt (lõpmatu bitijadana), kuid inimene pole võimeline määrama reaalsete süsteemide algtingimusi nii täpselt, mistõttu teatud aja möödudes muutub süsteemi käitumine ennustamatuks. Seega tuues ennustatavuse kao põhjusena inimese võimetuse määrata algtingimusi piisava täpsusega, mõonab ta juhuslikkuse ja sellest tuleneva tõenäosusliku kirjelduse vajaduse põhjusena ikkagi subjektiivseid episteemilisi asjaolusid (inimese võimete piiratus). Sellega mõonab ta maailma deterministlikkust, siin konkreetselt algtingimuste infinitesimaalse arvulise väärtuse olemasolu, kuigi tahab näidata indetermineerituse fundamentaalsust ja selle kaudu tõenäosusliku (ehk statistilise) kirjelduse objektiivset, maailma enda omadustest tulenevat vajadust.

Bernoulli kujutuse ja pagari teisenduse kohta väidab ta ühtlasi, et algtingimusena süsteemi kulgemise määrav bitijada on sama juhuslik nagu kopika viskamine, mis toob vaadeldud süsteemi taandumatu juhuslikkuse. Tegelikult Bernoulli kujutuse ja pagari teisenduse (mis on kahemõõtmeline, millest üks mõõde kujutab endast Bernoulli kujutust) puhul võib juhuslikkus tulla sisse ainult ühel viisil: kui algtingimus määratakse juhusliku protsessi kaudu (nt juhuslike arvude generaatori abil). Kui algtingimus on määratud, siis edasine kujutuseeskirja rakendamine on täiesti deterministlik, olgu ta esitatud kümnend- või kahendsüsteemis, ning pagari teisenduse korral on ta ka pööratav. Eeldades algtingimuste juhuslikkust näidetes, mis peaksid näitlikustama tema teooria eelduste rakenduvust, läheb ta vastuollu ka oma lähte-eeldusega, mille kohaselt ajalooline aeg, milles me elame, määrab ka algtingimused ajaloolistena, ajalooliste protsesside tulemina (erinevalt klassikalisest mehaanikast, kus algtingimused on meelevaldsed).

4 Loodusseadused ja mudelid teaduses

Prigogine ei väsi rõhutamast, et tal on õnnestunud muuta teadust kardinaalselt: kui varem kirjeldasid loodusseadused ajatut olemist, siis nüüd kirjeldavad nad saamist ja ajalist maailma sellisena, nagu see on – keerukana, juhuslikuna, muutlikuna, ähmasena. Selleks leiab ta põhjendusi matemaatilisest formalismist, mida tema teooria kasutab: operaatorid, mis rakenduvad ainult tõenäosusjaotustele ja mitte trajektoridele ning vajavad Hilberti

ruumi asemel taglastatud Hilberti ruumi, kus on võimalik esitada operaatorite ebasümmeetrilisi lahendite hulki ja trajektoorideks taandumatuid tõenäosusjaotusi. Need võimaldavat kirjeldada ebastabiilseid süsteeme ja maailma nagu see tegelikult on. "Ainult väljaspool Hilberti ruumi lõhutakse individuaalse ja statistilise kirjelduse võrdväärsus tagasivõetamatult, ja pöördumatus ühendatakse looduseadustesse (Prigogine 1997: 96)."

Jääb mulje, et Prigogine peab teooriat maailma täieõiguslikuks esindajaks – nagu teooria sätestab, selline maailm on, ehk "matemaatika ongi loodus"²¹. Ta ei erista maailma kirjeldust maailmast endast justkui need, mida me nimetame looduseadusteks, oleksid needsamad, mille järgi loodus ise toimib, või nagu peaks teaduslik kirjeldus loodusest olema täpselt selline, nagu loodus ise on, ja ühtne, kuna maailm on üks tervik. Mingis mõttes sarnaneb tema käsitlus Richard Feynmani omaga: teoreetilised entiteedid, nt mingid seadused või arvud (konstandid), iseloomustavad Feynmani arvates maailma ennast (Feynman 1968: 61, 163), ning teaduslik teooria (füüsika) on selline, et põhimõtteliselt on kõik seadused tuletatavad mingist väikesest hulgast seadustest koosnevast süsteemist (kuigi seni, kuni pole sellist hulka ja tuletamise süsteemi, peab ikkagi kõiki seadusi meeles pidama) (Samas: 49). Erinevad aga Feynman ja Prigogine selle poolest, mida nad peavad nendeks põhilisteks, fundamentaalseteks seadusteks, mille abil peaks olema võimalik kõik nähtused ära seletada. Kui Feynman klassikalise teadlasena peab nendeks juba teadaolevaid, kaasaegsesse teadusesse kuuluvaid seadusi (Samas: 163), mispuhul lihtsatest seadustest saaks tuletada keerulisemad juhtumid, siis Prigogine'i arvates tuleks kogu seaduste süsteem rajada uutele, saamist kirjeldavatele seadustele, mispuhul keerulistest seadustest oleksid tuletatavad lihtsamad.

Lähtuvalt teaduse ühtsuse ja loodusega identsuse nõudest ja tõdemusest, et maailm kogu oma mitmekesisuses on väga keeruline, oleks kirjeldus temast samuti nii keeruline, et tekiks kahtlusi sellise kirjelduse rakendatavuses ja kasutatavuses praktilistel eesmärkidel. Prigogine näib ka eeldavat, et on võimalik täiesti adekvaatne kirjeldus maailmast, mis vastab maailmas leiduvatele seostele ja struktuuridele detailideni. Seetõttu on järgnevalt vajalik kriitiline käsitlus teooriast ja looduseaduse olemusest, mille taustal Prigogine'i pretensioone kaaluda. Võtan selleks appi Nancy Cartwrighti, Rein Vihalemma, Norman Swartzi, Ronald Giere'i ja teiste käsitused.

²¹ Piret Kuuse väljend

4.1 Nancy Cartwrighti käsitus looduseadustest

Filosoofias eristatakse epistemoloogiliselt fenomenoloogilised seadused ja teoreetilised seadused. Esimesed kirjeldavad vaadeldavat, teised mittevaadeldavat reaalsust vaadeldava taga. See eristus lahutab teineteisest realistid ja antirealistid [teaduse või teaduslike (teoreetiliste) entiteetide suhtes] (Cartwright 1986: 1-2). Realistid on siis need, kes peavad fundamentaalseteks (aktsepteerivad) teoreetilisi seadusi, antirealistid peavad fundamentaalseteks fenomenoloogilisi seadusi. Selle eristuse järgi võib Prigogine'it pidada realistiks, kuna ta omistab teaduslikele (matemaatilistele) entiteetidele iseseisva eksistentsi reaalsuses leiduvate nähtustena.

Füüsikas eristatakse fundamentaalsed (teoreetilised) ehk seletavad seadused fenomenoloogilistest ehk kirjeldavatest. Seletavaid seadusi peab Cartwright vääradeks, kuna need pole võimelised kirjeldama toimuvat – isegi kui nad nähtusi hästi seletavad, tuleb see tõesuse arvelt, ning nende kasutusviis seletustes (*ceteris paribus*, põhjuste komponeerimine, lähendused) näitab pigem nende väärust. Fenomenoloogilised seadused seevastu järgivad fakte üsna täpselt. Sellest tulenevalt nimetab Cartwright end antirealistiks (Samas: 1-3).

Cartwright vaidleb vastu teadusliku seletuse deduktiiv-nomoloogilisele mudelile, mida ta nimetab katteseaduse (*covering-law*) käsitluseks ning mille kohaselt saab kõik nähtused põhimõtteliselt seletada ära looduseaduste abil (sellise seisukoha esindaja võiks olla Richard Feynman). Ta väidab, et füüsikas ei leidu erandituid kvantitatiivseid seadusi, veelgi enam – teadupärast ei kehti ka parimad seadusekandidaadid, nad ebaõnnestuvad detailides, nad ei kirjelda fakte. Nad kehtivad vaid teatud tingimustes – ideaalsetes (nad on *ceteris paribus* seadused), kuid selliseid reaalsetes oludes üldjuhul ei esine. Teaduses on sellised seadused siiski olulised looduseaduste visandamiseks, näidates, millised seosed on nähtuses relevantssed. Cartwright ei usu, et *ceteris paribus* seadused võiksid olla lähendused tegelikele looduseadustele, mida veel ei teata. Pigem on loodus üldse seaduste poolt “alamääratud” ja käitub enamasti, vähemalt detailides, ilma mingitele seadustele tuginemata. Ei ole olemas piisavalt palju katteseadusi, millega maailma ära seletada, igas valdkonnas on oma detailsed seadused, kuid pole seadusi nende valdkondade kokkupuutealade jaoks (Samas: 44-49).

Cartwright nimetab seisukohta, mille kohaselt looduseadused kirjeldavad tegelikkuse fakte, seaduste faktsuskäsituseks. Faktsuskäsituse kohaselt kirjeldavad

seadused objektide käitumist. Richard Feynman on pakkunud teistsuguse tõlgenduse seadustele: nad kirjeldavad reaalsuse rütme ja mustreid, mis ei pruugi olla nähtavad inimsilmale, kuid on seda analüütilisele silmale. Arvestades, et tavaliselt peetakse fundamentaalseid seletavaid füüsikaseadusi ideaalseteks seadusteks, millele kõik teised peaksid ehituma, selgub, et seaduste faktuskäsitlus on väär, sest fundamentaalsed füüsikaseadused, kui nad on seletavad, on väärad, kuid kui neid parandada nii, et nad oleks tõesed, kaotavad nad oma seletusjõu (sest parandusliikmed pole õigustatavad kuidagi teisiti kui fenomenoloogiliselt). Ka Feynmani realismi peab Cartwright vääraks (Samas: 54-55). Seaduste väärus tuleneb sellest, kuidas neid tavaliselt seletustes kasutatakse. Esiteks tuleb neile lisada tingimused, millistel nad kehtivad (seega ei kehti üldiselt), teiseks tuleb üldjuhul komponeerida seletus mitmest seadusest, sest ükski ei sätesta tegelikke põhjusi, mis konkreetsel juhul toimivad (seda nimetab Cartwright J.S. Milli järgi seletuseks põhjuste kompositsiooni kaudu: keerulisemad protsessid kirjeldatakse lihtsamate seaduste koostoimena) (Samas: 57-58). Konkreetsetel juhtumitel pole seadused sageli rakendatavad vaid tuleb kasutada *ad hoc* meetodeid. Pöördumatute protsesside kirjeldamiseks kasutavad insenerid vanamoodsaid fenomenoloogilisi seadusi, kohandades neid igale juhtumile eraldi (Samas: 63-64). Enamasti ei leidu superseadusi, millest tuleneksid eriseadused, ja kui nad leiduvad, siis nad ei seleta eriti midagi, ja kui ka seletab, siis ta ei asenda ikkagi põhjuste kompositsiooni vaid on sellega komplementaarne või kehtib kombineeritud põhjuste tõttu (Samas: 70-71).

Näiteks põhjuste kompositsioonist toob Cartwright kehade liikumise kirjelduse vektorite liitmise kaudu: kui kaks keha (nt planeeti) evivad nii gravitatsiooni- kui elektrivälja, siis nende käitumist teineteise mõjusfääris ei kirjelda õigesti ei gravitatsiooniseadus ega Coulombi seadus, vaid need kaks koos. Seejuures saadakse kirjeldus kahe vektori liitmisega, millest üks kujutab gravitatsioonijõu toimet ja teine Coulombi jõu toimet. See on aga Cartwrighti arvates selge vale: kumbki jõud ei ilmne, loodus ei liida vektoreid; keha ei liigu ühtepidi ja teistpidi nagu vektorid pakuvad, vaid ühes kindlas suunas, mida ei kirjelda kumbki vektor. Vektorkirjeldus on ainult metafoor (Samas: 59-60).

4.1.1 Prigogine Cartwrighti valguses

Prigogine'il ja Cartwrightil võib leida teatavaid sarnaseid ideid: 1) Valitsevas teaduslikus maailmapildis on maailm jagatav elementaarseadusteks, mis esituvad matemaatiliselt lihtsalt. Lihtsatele seadustele tuginedes kirjeldatakse ka nähtused, mis neile otse ei allu, kuid mida saab kirjeldada neid kombineerides. Nii Prigogine kui ka Cartwright peavad sellist käsitlust liiga idealiseerituks ega usu neid seadusi, mida klassikalises (kaasaegses) teaduses fundamentaalseiks peetakse. 2) Tegelikult on lood keerulisemad, kui looduseadused seda kirjeldavad. Enamuse nähtuste puhul lihtsad seadused ei kehti. Nii Prigogine kui Cartwright peavad seaduste kehtimatuse põhjuseks sisuliselt keerulise liikumise ontoloogilist iseseisvust: see on eraldiseisev liikumisviis ega taandu lihtsate liikumiste summaks.

Prigogine teadlasena üritab neid probleeme lahendada matemaatilise aparatuuri uuendamise läbi, et kirjeldada rangelt ka keerulised nähtused ja pöördumatud protsessid. Kas ei või tema teooria pakkuda leevendust ka Cartwrighti muredele? Selle selgitamiseks tuleb uurida, kuidas Cartwrighti etteheited seadustele Prigogine'i teooria puhul kehtivad. Cartwrighti seisukohast vaadates tahab Prigogine lahendada probleemi, kus seadus ei rakendu nähtusele, ei seleta seda ilma koostöötä teiste seadustega ehk põhjuste kompositsioonita, sest ta on liiga idealiseeritud, lihtsustatud, st kirjeldab ainult mingit elementaarprotsessi, mis harva esineb ilma muude mõjutusteta. Ta püüab seda ületada superseaduse abiga, mis seletaks nii keerulised nähtused iseenesest kui ka lihtsamad, mille seletus (seadus) oleks tuletatav sellest superseadusest. Seejuures ta võtab fundamentaalseks ühe kompleksse põhjuse – Poincaré resonantsid ja sellest tulenevad nähtused, ning rakenduspiirkonnaks tuleks lugeda suured Poincaré süsteemid. Teised (nt lihtsamad) nähtused peaksid olema Poincaré resonantsidel baseeruvad ehk lihtsamad seadused nendest tuletatavad.

Leevendust Cartwrighti muredele oleks raske leida mitmel põhjusel. 1) Prigogine pole sõnastanud mitte ühtegi uutset konkreetset seadust (kui jätta arvestamata tema avatud ebastabiilsete keemiliste protsesside teooria, kuna praegu käib jutt tema kogu teadust puudutavast projektist). Cartwrighti näiteid arvestades peaks seadus sisaldama järgmisi andmeid: rakendusvaldkonda, (matemaatilist) seaduspärasust ja selle (tähistuste) tõlgendust ning seaduse täielikus sõnastuses ka tingimusi, nt mõttekas rakenduspiirkond (kui seaduspärasust kirjeldava funktsiooni määramispiirkond (nt reaaltelg) on laiem kui

saab olla väärtusi vaadeldaval muutujal (nt temperatuur ei saa minna lõpmatusse))²². Sellisel kujul seaduste sõnastusi ega ka sõnastuste visandeid ei leia ei raamatust „Tõsikindluse lõpp“ ega „Kord kaosest“. Parimal juhul võib neist välja lugeda üldprintsipiibid seaduste sõnastamiseks. 2) Oma katteseadusega tahab Prigogine luua alusteadust, see tähendab fundamentaalseid seadusi, milliseid Cartwright nimetab seletavateks. Kas on võimalik, et tema seadused rakenduksid konkreetsetele reaalsele protsessidele kuidagi otsemini võrreldes klassikaliste aluseadustega nii, et poleks vaja parandusliikmeid ja lähendusi ning seadused säilitavad oma seletusvõime, samas kirjeldavad protsesse detailselt täpselt? Arvestades teaduse fragmenteeritust paljudeks väga erinevateks distsipliinideks ja nendes rakendatavate eriseaduste, lähendusviiside ning *ad hoc* eelduste ja liikmete ampluaad, mida Cartwright rõhutab, pole eriti mõeldav, et kogu see mitmekesisus võiks olla tuletatav vaid ühest põhjuslikust asjaolust (Poincaré resonantsidest). Prigogine pole ka näidanud, kuidas tuletada kõigi uuritavate süsteemide huvipakkuvaid omadusi suurte Poincaré süsteemide omadustest ning nende seadusi Poincaré resonantsidest.

4.1.2 Kriitika Cartwrighti pihta

Cartwright, nagu Prigogine'gi, ajab sassi matemaatika ja tegelikkuse. See, et meil on just selline matemaatiline raamistik nagu vektorarvutus jõudude kvantitatiivseks kujutamiseks ei tähenda, et neid vektoreid omistataks loodusele endale. Ühte liikumist võib kirjeldada erinevates koordinaadistiketes või ka üldistatud ruumides nii, et iga kirjeldus oleks erinev. Sama kehtib ka põhjuste korral, mida esitatakse teistsuguse matemaatika abil: erinevad matemaatilised vahendid võimaldavad süsteemidest erinevaid kirjeldusi, mille otstarbed erinevad üksteisest. See ei tähenda, et loodus ise oleks iga kord erinev, võttes matemaatilisele vahendile vastava kuju. Põhjuste kompositsiooni ei pea tõlgendama kui iga jõu eraldi mõjumist, kompositsiooni mõte ongi jõudude koosmõju leidmine matemaatiliselt võimalikult lihtsasti esituval ning aktsepteeritud teooriatega kooskõlalisel viisil (viimase tagavad komponentjõud kui mingis teoorias aktsepteeritud entiteetid).

²² Näiteks universaalse gravitatsioonijõu seadus: kaks keha (olgu need M ja M') mõjuvad teineteisele jõuga (gravitatsioonijõud), mis on võrdeline nende masside korrutisega ja pöördvõrdeline nende vahelise kauguse ruuduga, $F=Gmm'/r^2$, kus G on gravitatsioonikonstant, m ja m' on vastavalt kehade M ja M' massid ning r on nendevaheline kaugus. Rakendusvaldkonnaks seega füüsilised massiga kehad ning tingimuseks (*ceteris paribus*) oleks muude kehadele mõjuvate jõudude puudumine (Cartwright 1986: 58).

David Spurrett ütleb (Spurrett 2001: 255), viidates gravitatsiooniseadusele: “see seadus ei ütle iseenesest üldse mitte midagi selle kohta, mis tegelikult juhtub vaatlusaluste kehadega”, seadused ütlevad, millised jõud mõjuvad. Ta kritiseerib, et Cartwright samastab seadused nende toimetega, mistõttu tekib probleem põhjuste kompositsiooniga, et ilmne peaks nii iga seaduse toime eraldi kui nende koostoime, kuigi tegelikult ilmneb ainult viimane (Samas: 260). Cartwright kitsendab summa mõiste (põhjuste summa puhul) lineaarsele (ühemõõtmelisele) reaalarvulisele juhule, kus summa sisaldab summeeritavaid, kuigi teistes võimalikes matemaatilistes hulkades, sh vektorarvutuses, võib summa olla defineeritud teisiti, nt olla mittelineaarne, mitte sisaldada liidetud elemente oma osadena jne. Newtoni seadused kirjeldavad masside käitumist üldiselt, kuid toimida võivad ka teised jõud ning paljudel juhtudel rakenduvad need seadused väga täpselt ka kombinatsioonis. Väide, et ühe toimiva jõu puhul vektoriaalne esitus sobib, aga mitme puhul enam ei sobi, oleks *ad hoc*, ning järeldus, et juhtudel, kui pole võimalik või ei osata arvutada komponeeritud liikumist, on gravitatsiooniseadus väär ja gravitatsioonijõud ei toimi nagu arvutatavatel juhtudel, oleks “episteemilise kaariku [rakendamine] ontoloogilise hobuse ette” (Samas: 262-263). Spurrett nõustub Crearyga, et reaalsed ja loomulikeks tuleks pidada hoopis fundamentaalseid seletavaid seadusi ja fiktiivseks pigem kompositsioonina kirjeldatud tulemust (Samas: 258).

Kaaludes Prigogine'i teooriat seletuse vihtide järgi, võiks tema taotluse sõnastada järgmiselt. Prigogine tahab seletada keerukuse, juhuslikkuse ja pöördumatuse matemaatika abil. Ta omistab matemaatikale ontoloogia – mitte kui abstraktsete entiteetide olemise, vaid kui reaalsete objektide ja protsesside olemise. Matemaatika justkui toimiks mateeria kaudu või annaks sellele struktuuri. Arvestades matemaatika tehislikkust, tema olemise inimsõltuvust, on tegemist väga tugeva väitega, mille üks järeldusi oleks maailma enda tehislikkus – mitte ainult inimese loodud maailma, vaid ka looduse, kuna Prigogine taotleb adekvaatset teadust maailmast holistlikust, kogu olevat haaravast pilgust. Kuid tema teooria käib empiirilise maailma kohta ning matemaatikal on selles ikkagi kirjeldav roll ja matemaatika rolli laiendamine seletavaks pole õigustatud ilma piisava eksplitsiitse põhjendusega.

4.1.3 Täppisteaduse spetsiifika Rein Vihalemma käsituses

Paistab, et nii Prigogine, Cartwright kui Spurrett arutlevad loodusseaduste staatuse üle teaduses ilma põhjalikumalt juurdlemata teaduse enda olemuse üle. Nad justkui võtavad omaks mingi tavaarusaama teadusest kui millestki, mis kirjeldab või peaks kirjeldama maailma nagu see on, peilima välja tõe, mis tavakogemuse eest varjule jääb. Seejuures see tõde on matemaatiline. Selgitamaks selle teaduse olemust, millest kõik kolm kirjutavad, võtan appi Rein Vihalemma käsituse täppisteadusest (ehk meetodi poolest konstruktiiv-hüpoteetilis-deduktiivsest ehk f-teadusest, nagu ta seda nimetab – füüsikasarnasest teadusest). Ta kirjeldab täppisteaduse eripära järgmiselt:

Täppisteaduslik maailmanägemine tähendab nähtuste nägemist niisugustes reaalses, objektiivsetes tingimustes, milles need nähtused käituvad idealisatsioonidena, mis alluvad täpselt üldistele kvantitatiivsetele seadustele, matemaatiliselt kirjeldatavatele seostele. Need tingimused tehakse kindlaks eksperimentaalselt. Selles mõttes täppisteadus määrab ise, mida ja kuidas ta maailmast uurib; talle ei ole temast sõltumatult n-õ etteantud nähtusi, mida kirjeldada, vaid teda iseloomustab matemaatiline ja eksperimentaalne idealiseeritud ja reprodutseeritavate nähtuste konstrueerimine. Teadus ei ütle, missugune maailm (loodus) *on* (kogu oma mitmekesisuses ja keerukuses), vaid näitab seda, mis on loodusseaduste järgi võimalik ja mis mitte ja mida ja mis tingimustel on seetõttu võimalik *teha* ja mida mitte (Vihalemm 1995: 2532).

Teadusi, mis pole täppisteadused (ühiskonnateadused, loodusteadused – bioloogia, geoloogia; jt) nimetab Vihalemm klassifitseeriv-kirjeldav-ajaloolisteks teadusteks, ning mõnel teadusel, nt keemial, on mõlema sümptomeid (nt Vihalemm 2007).

Olles määratud inimese tegevusest sellisel viisil, peetakse (ja peavad ka teadlased ise) teaduse “avastatavat” maailma ikkagi sõltumatuks inimesest kui teda “avastavat” subjektist, seega teadust ses mõttes objektiivseks, sest ei märgata täppisteaduse eripära maailma kirjeldamisel. Tegelikult on teaduslik teadmine eelpool kirjeldatud mõttes subjektiivne (kuid mitte suvaline) (Samas: 2532-2533). Niisiis, mitte ainult kvantmehaanika, aga ka kõik muud füüsika distsipliinid sisaldavad subjekti, kuigi teiste puhul ei ole vaja seda eksplitseerida teadusliku tegevuse käigus.

Prigogine'i optimism, nagu võiks teadus hakata nüüd kirjeldama maailma sellisena, nagu see on, pole siiski põhjendatud. Tegemist on ikkagi matemaatilise teadusega, mis otsib loodusseadusi mudelite abiga, mis on koostatud teatud eeldusi ja eesmärke silmas pidades, võimaldades seletamist ja ennustamist. Matemaatika kehtib mudelitel, mitte reaalsusel endal. Uus teadus pigem näitab teaduse piiratust maailma adekvaatsel kirjeldamisel loodusseaduste abiga üldse – mitte kogu loodus ei lase ennast korrapärastesse

matemaatilistesse vormidesse valada. See, mis jääb väljapoole täppisteaduslikku kirjeldust, pole seepärast veel vähem reaalne; teadusel pole teadmise monopoli (Samas: 2536-2538).

4.2 Teadusseaduste ja loodusseaduste eristus Norman Swartzi põhjal

Olles määratlenud loodusseadused millegi idealiseerituna, mida ainult spetsiifilise, lausa esoteerilise teadusliku tegevuse käigus on võimalik formuleerida, seejuures kui tehiseid, mille seos looduse endaga näib peagu meelevaldne, tekib küsimus, kuidas on need ikkagi seotud loodusega ja kuidas inimese kogemusega (mis ju Prigogine'i uurimisprojekti üldse ajendasid, olles vastuolus füüsika alusseadustega) ning kuidas on kogemus seotud loodusega (millele Prigogine omistab uute seaduste pärasust). Kuna intuiitiivselt tahaksin ma pidada loodusseadusteks midagi, mis on omased loodusele endale, eristades need teaduses seadusteks peetavast, siis võtan nende eristamisel appi Norman Swartzi käsituse kui seni ainsa minu lugemisvarasse sattunu, mis selle eristuse teeb ja lahti seletab, ning selle pinnalt arendan välja endale sobivad mõisted.

Norman Swartz eristab teadusseadused ja füüsilised seadused, toetades viimaste suhtes (loodus)seaduste regulaarsusteooriat (olles seega loodusseaduste suhtes empirist). Ta kasutab sõna 'füüsilised seadused', kuna peab silmas kogu füüsilist reaalsust, lisaks loodusele ka nt ühiskonda ja psüühikat. Füüsilised seadused on tõesed sõltumatult inimesest ja tema teadmisest nende tõesuse kohta – nad on objektiivsed, tegelikud seadused, ega ole seotud teadusliku praktikaga. Neil on vähemalt järgmised omadused, mida Swartz peab tarvilikuks ja piisavaks, määratlemaks midagi füüsilise seadusena: nad on (1) tõesed kogu ajas ja ruumis; (2) universaalsed või statistilised üldistused; (3) puhtalt kirjeldavad; (4) tingimuslikud; (5) sattumuslikud (ehk mitteparatamatud). Füüsiline seadus on näiteks valguse kiiruse konstantsus. Füüsiliste seaduste mõistestamine on metafüüsika asi.

Teadusseadused on inimese looming, mille otstarve on maailma seletada, ennustada ja kontrollida. Mõned neist on füüsiliste seaduste otsesed väljendused, mõned mõistatatakse ning testitakse, mõned tulenevad (kuid ei dedutseerita) kõrgemat järku seadustest. Teadusseadustel on järgmised omadused (Swartz järgib siin Cartwrighti): (1) nad on väärad, seejuures nende väärus on teada; (2) neid peetakse tõe lähendusteks, idealiseeritud konstruktsioonideks või instrumentaalseteks vahenditeks; (3) neid peetakse

katseliselt võimalusega need kummutada ja asendada. Olemaks teadusseadus, peab väide omama mingit hulka seadust sätestavatest omadustest (sinna kuuluvad näiteks ennustuslikkuse võimaldamine, seletuslike eelduste tarnimine, seotus mingi teoreetiliste seoste võrguga, kontrollitavus) ning olema seadusena tunnustatud hulga prominentsete teadlaste poolt. Teadusseaduste mõistestamine on epistemoloogia asi (Swartz 1995: 70-73).

Kas Swartzi teadusseaduste ja loodusseaduste eristusele tuginedes on võimalik lahutada teineteisest Prigogine'i käsituse teadusseadused loodusseadustest? Enne, kui hakkan Prigogine'i kaootilises käsituses korda looma, vaatlen lähemalt Swartzi kriteeriumide puudusi ja püüan kujundada nende põhjal endale sobivamad seaduste mõisted.

4.2.1 Swartzi seadusemõistete analüüs

Ma väidan, et Swartzi füüsilise seaduse mõiste on vastuoluline. Vastuolu tuleneb selle omadustest 2 ja 3 ning objektiivsuse nõudest. Nimetatud omadused (seadused on üldistused ja kirjeldavad) viitavad käsitusele, mille järgi seadused on keelelised üksused. Sellele viitab ka füüsilistele seadustele tõeväärtuse omistamine. Kuna keel on omane inimesele (eriti veel üldistamist ja kirjeldamist võimaldav keel), siis ta ei saa olla inimesest sõltumatu – triviaalselt sõltub ta inimesest oma ilmnemises, kuid ka oma struktuuris ja suhetes objektiivse (“objektiivse”?) tegelikkusega²³. Võib küll väita, et (iga) keel on vähemalt intersubjektiivne, eriti aga teaduskeel, kuna see defineerib olulised mõisted nii, et neid igas kontekstis ühtviisi mõistetakse, ning eriti matemaatika kui seaduste formuleerimise keel, kuid neidki saab mõista, vahendada ja õpetada vaid loomuliku keele kaudu, ning teaduskeel on teaduse töövahend, mida kasutatakse teaduse eeldatavalt väärade ja füüsilistest seadustest sõltumatute seaduste formuleerimiseks. Ning olles intersubjektiivne, inimlooming, pole keel ikkagi objektiivne. Kui siiski jätta objektiivsuse nõue alles, siis kuidas mõista objektiivset, inimesest sõltumatut üldistust või kirjeldust ja selle ontoloogiat? Kui seadus on tõene inimesest sõltumatult nii, et inimene võib teada saada seadusest ja selle tõesusest, siis seadus peaks olema mingi iseseisva eksistentsiga keeleline üksus. See järeldus viib aga muuhulgas seaduste realismi, isegi platonismi, mis

²³ Ma ei usu realismi loomuliku keele suhtes, kuid see on juba keelefilosoofia, mitte käesoleva töö küsimus.

on vastuolus Swartzi eelduseks oleva empirismiga²⁴. Ka 4. omadus pole 2. ja 3. omadust arvestades keelest päris sõltumatu: kui tingimused, milles väidetav seos kehtima peaks, kuulub seaduse enda sõnastusse, ehk on üks osa kirjeldusest, siis see kirjeldus kehtib tingimatult.

Ka Swartzi teadusseaduse mõiste pole probleemidest vaba. Kui osa teadusseadusi on otseselt füüsilistelt seadustelt “maha viksitud” (ta toob näiteks statistilised seadused), siis neil puudub teadusseaduste esimene omadus väärus, sest füüsilised seadused on tõesed. Kuidas aga eristada füüsilisi seadusi väljendavaid teadusseadusi ülejäänutest? Kas need on kõik need, mis pole tuletatud kõrgemast seadusest ega mõistatatud? Võib aga mõistatada või tuletada mingi tendentsi ning kontrollida seda statistiliselt nii, et saadakse statistiline seadus, mis sätestab vastava tendentsi. Või on need need, mis kontrollimisel tõeseks osutuvad? Eelduse järgi on aga kõik teadusseadused väärad. Oletades, et tõesti tehakse mõnede seaduste puhul mööndus, et nad võivad ka tõesed olla, on nende tõeseks pidamine ikkagi sõltuvuses nii asitõendite ja seaduse rakendusvõimaluste tõlgendamisest kui lisaefektide esinemisest vaadeldavas nähtuses. Kui aga seaduse vääruse eeldus tähendab, et tema tõesust ei peetagi oluliseks, siis pole mõttekas rääkida seaduse kummutamisest.

4.2.1.1 Loodusseaduste, teadusseaduste ja kogemuse suhe

Loodusseadust määratledes jätaaksin ma Swartzi pakutud määratlusest alles objektiivsuse ja inimsõltumatuse omadused, kuid mitte tõesuse ja selle inimsõltumatuse, sest tõeväärtus iseloomustab keelelisi üksusi, aga loodusseadus ei saa olla keeleline üksus. Ta võib seda olla ainult ülekantud tähenduses, nagu kabalistikas, mis mõistab maailma jumala (Jumala) “kirjutatud tekstina”, mida inimene “lugema” õpib (üritab õppida), või nagu Swartz ise väljendab: “Jumal ütleb ja loodus allub” (Swartz 1995: 67). Kui loodus on objektiivne, inimesest väljaspool asuv reaalsus (ma eeldan ja on ilmne, et ka Swartz eeldab, et ta seda on), siis oma olemasolus ja võimalike käitumisviiside hulgas on ta inimesest sõltumatu, siis tema seadusteks ei saa olla need, mida inimesed talle ette kirjutavad või omistavad. Kui nii oleks, siis oleksid vähemalt mingil ajal olnud aatomid kuubi-, kera-, merisiiliku- jm

²⁴ Ilmselt on Swartz füüsilise seaduse määratlemisel pidanud silmas paratamatuse universaalideteooriat sellele vastandudes: ‘üldistus’ tähendab siin, et seadus sõltub üksikasjadest, kuid on nendest üldisem, aga ta pole mingi platonistlik idee, sõltumatu eksistentsiga; kirjeldus tähendab siin, et seadus pole norm ega ettekirjutus, vaid tõsiasi sätestus või väljendus. Kuid selliselgi juhul jääb mu kriitika kehtima, laienedes käsitusele füüsilistest või loodusseadustest kui paratamatutest, iseseisva eksistentsiga universaalide vahelisi seoseid sätestavatest tõestest “normidest”, millele loodus paratamatult allub.

kujulised, heidetud keha trajektoor õhus oleks moodustunud ringist ja kahest sirgest ning vihm hakkas sadama sellepärast (ehk tänu sellele), et jumalatele ohverdati pääliku tütar. Samuti peaksid loodusseadused olema vastavalt sellised, kuidas neid erinevates (loomulikes) keeltes väljendatakse, kuid erinevate keelte suhted tegelikkusega on erinevad²⁵, seega peaks ka loodusseadustega määratud seosed olema ähmased, kui tahetaks säilitada nende ajalisi ja ruumilisi kehtivustingimusi. Loodusseadused on looduse siseomased seosed ega ole seotud inimese teadvuslike ega keeleliste seisunditega. Seetõttu pole võimalik määratleda nende ontoloogilist seisundit ega mingeid muid omadusi.

Ilmne vastuväide sellele on, et inimesed lähtuvad oma igapäises tegevuses looduse, üldiselt ainelise maailma käitumisest, ja kui nad sellest ei lähtu, siis läheb neil halvasti. Järelikult objektiivsed seadused on olemas, veelgi enam – paljusid neist teatakse, seega nii ontoloogiline kui epistemiline seisund on kindlaksmääratletav. Ma väidan vastu, et see, mille järgi tegutsemist plaanitakse, on empiirilisel saadud, nähtumustel põhinev kogemus (kas siis otsene või pärandatud). Kogemust mõistan ma Kanti mõttes: see on mõistuspäraselt läbitöötatud, mõistestatud ja süstematiseeritud aistingute kogum; ning kogemuse kaudu omandatud teadmise seaduspärasustest, mida nimetatakse argikõnes sageli loodusseadusteks (nimetan neid lühidalt kogemusseadusteks), mõistan omandatud pragmaatiliste põhimõtetenä, millest (enamasti teadvustamatult) lähtutakse praktilistes argitoimetustes. Neid sobivad iseloomustama Swartzi füüsilise seaduse omadused 2, 3 ja 4: kogemus nähtumustest on tingimuslik kirjeldav üldistus. Arvatavasti omistatakse paljudele kogemustele ka 1. omadus – kehtivus üle kogu aja ja ruumi, kuid 5. suhtes ma kahtlen: keegi vist ei arva, et kätt tulle pistes võib ta selle juhuslikult (ehk nagu parajasti sattub) ära kõrvetada – enamus arvab, et see juhtub paratamatult.

Olles üldjuhul põhimõtteliselt keeleliselt väljendatavad üksused, sõltuvad kogemusseadused intersubjektiivselt keele ja kogemuste sfäärist. Seetõttu võivad nad paiguti erineda vastavalt nähtumustele, mis kuski ilmnevad või mida tematiseeritakse, näiteks ei saa ilmselt Elevantiluuranniku elanikel olla seadusi kümne erineva lumesordi kohta, nagu eskimotel ei saa olla seadusi krokodillide kohta. Empiiriliste andmete puudumisel täidetakse vajalikud lüngad kogemustes teoreetiliste seostega, näiteks jumalate või vaimudega. Teoreetilised on ses mõttes ka 1. ja 5. omadus: meil ei saa olla tajusid

²⁵ Selle näitena võiks tuua värvide nimetusi: meil on värvid punane, oranž, kollane, ja enamasti normaalse nägemisega inimesed eristavad neid teatud piirideni. Aga on keeli, kus kõiki neid värvusi tähistab üksainus sõna (ning teine sõna on värvidehulga {sinine, roheline, violetne} jaoks) ning sellest tulenevalt võiks spekuloida, et nt elektromagnetlainete spektri jaotus on nende keelte kõneleajate jaoks kvalitatiivsest aspektist lihtsam.

sellest, et mingi seos kehtib alati ja kõikjal, ega sellest, et mingi seos on juhuslik või paratamatu. Nende mõte võiks ehk olla mingi psüühilise kindlustunde tekitamine, mis õigustaks teatavad ootused välismaailma käitumise suhtes. Sarnane mõte võib olla kogemusseaduste nimetamisel loodusseadusteks: kogemuste hulga omistatakse kindel, ainealine vundament, mis peaks tagama kogemuste õigsuse.

Ilmselt on ka teadusseadused keelelised, kuid väljendatud rangemas keeles: teatud mõisted on defineeritud rangelt ning omavad kindlat kohta ja funktsiooni süsteemis ja teoorias, millesse nad on sisse toodud (see koht võib mingil määral muutuda vastavalt teooria arengule ja empiiriliste andmete lisandumisele, kuid mõistet tähistavat sõna ei saa meelevaldselt asendada mingi (tavakeeles) sarnase tähendusega sõnaga ilma, et süsteem muutuks). Kas tuleks eristada täppisteaduslikud seadused ja mittetäppisteaduslikud seadused, ehk seadused, mis saadud konstruktiiv-hüpoteetilis-deduktiivsel meetodil, ja seadused, mis saadud klassifitseeriv-kirjeldav-ajaloolisel meetodil, vastavalt Rein Vihalemma jaotusele? Vihalemma väitel olid just täppisteadused ja ekslik usk nende (seaduste) tõesusesse ja ainuõigsusesse maailma seletamisel põhjus, miks teisi teadusi ja muid teadmise saamise viise eksitavaiks ja seetõttu alaväärseiks on peetud (Vihalemm 1995: 2532, 2533). Lähtuvalt täppisteadusliku tunnetuse eripärast nagu Vihalemm seda kirjeldab, kas võivad mittetäppisteaduslike seaduste hulka kuuluda need, mille kohta Swartz ütleb, et need on tõesed ehk kehtivad uuritava puhul täpselt? See tähendab, kas nemad ei kasuta eesmärgipäraseid idealiseeritud mudeleid? Vihalemm iseloomustab täppisteadusliku ja mittetäppisteadusliku tunnetusviisi erinevust Kantile tuginedes järgmiselt: “täppisteaduslik lähenemisviis eeldab objektide kooskõlastamist tunnetusega, [mittetäppisteaduslik tunnetusviis eeldab] tunnetuse kooskõlastamist objektidega (Vihalemm 1989: 33).” Sellest lähtuvalt võib oletada, et mittetäppisteadused, kui nad just ei kirjelda oma objekte täpselt sellistena nagu need on, siis vähemalt idealiseerivad neid vähem. Lähemalt käsitlen seadusi kui mudeleid paragrahvis 4.3.

4.2.2 Prigogine'i teooria organisatsioon

Eelmises paragrahvis toodud eristuse põhjal võiks Prigogine'i käsituses organiseerida seaduste mõisted teadusseadusteks ja kogemusseadusteks. Viimased moodustuvad muuhulgas kogu sellest inimest ümbritsevast ja sisustavast keerukusest ja pöördumatusest, mis ei allu klassikalise teaduse kirjeldusele ja mida Prigogine üritab uute teadusseadustega

jäljendada, luua nende identset kirjeldust. Väidetavad ajatud, olemist kirjeldavad loodusseadused, mida Prigogine asendada tahab, on teadusseadused, väljendatud ja mõistetavad ennekõike matemaatiliselt, kuid paratamatult ka keeleliselt. Uued seadused, niivõrd kui võrd neid seadusteks saab pidada, võivad olla teadusseadused – sellena on neid vähemasti silmas peetud: matemaatilisuse taotluse poolest täppisteaduslikena, maailma täpse kirjeldamise taotluse poolest mittetäppisteaduslikena. Milliseid osi Prigogine'i teooriast teadusseadusteks pidada ja nendena kasutada, on juba eraldi teema ennekõike teadlastele endile otsustamiseks ning selles töös vaatlen vaid sellise otsustamise võimalikke aluseid (paragrahv 4.3). 3. päätüki kriitikad on selle suhtes küll üsna pessimistlikud.

Kas võiksid need, mida Prigogine püüab loodusseadustena või nende põhimõttena esitada, olla kogemusseadused? Prigogine pole neid kindlasti sellistena mõelnud – nende seaduste rakenduspiirkonnana on ta silmas pidanud siiski mingit “fundamentaalselt” mikrotasandit, millest inimesel kogemust pole ega saa olla teatud füsioloogiliste iseärasuste tõttu, ning matemaatiline kuju, mis neil on või olema peaks, või on nende formuleerimiseks valitud (taglastatud Hilberti ruum jm), välistab kogemuslikkuse eelpool selgitatud argises mõttes. Ka seaduste keelelised esitused, olgugi ähmased ja enamasti isegi mitte identifitseeritavad, kuna pole üldiselt sõnastatud konkreetsete seadustena, omab kogemusega vaid osalist ühismõõtu. Sellised võiks olla mingid makroskoopilise väljundiga lausungid, millest mõnedele ta ka vastavaid näiteid leiab, näiteks ebastabiilses seisundis süsteemi häiritusest põhjustatud seisundi muutumine.

Pidades silmas Prigogine'i pretensiooni loodusseaduste uuendamisele – vanade, tõsikindluseid väljendavate loodusseaduste asendamisele uutega, mis väljendavad võimalikkusi, keerukust, pöördumatust jms – siis selles mõttes, nagu mina loodusseadusi mõistan, pole neid ilmselgelt inimesel võimalik asendada. Loodus ei hooli (vähemalt minu ratsionaalse eelduse kohaselt) meie matemaatilistest teooriatest, mille keeles me talle käitumisreegleid, seadusi ja norme ette kirjutame.

4.3 Teadusseadused kui mudelid: ülevaade Ronald Giere konstruktiiv-realistlikust mudelist

Lähtudes Ronald Giere arusaamast loodusseaduse mõiste rollist teadustes, esitan tema teadusteooria käsitluse, mis täpsustab seaduse kui mudeli suhted teooriaga ja teooria

objektiga (selle osaga maailmast, mida teooria modelleerib) ning postuleerib visandlikult mudeli teooriasse vastuvõtmise raamistiku. Seejärel vaen Prigogine'i teooria vastavust nendele nõuetele. Loodetavasti annab see mõningat selgust selles, miks Prigogine'i teooria pole leidnud üldist täppisteadlastepoolset hääkskiitu.

Giere ei tunnista üldse loodusseaduse mõistet. Ta ütleb, et teaduses kasutatavaid mõisteid ei saa mõista otseses tähenduses, vaid neid tuleb tõlgendada, ka ajalooliselt. "Loodusseadus" kui reegel, mille järgi loodus toimib, on kasutusse jäänud kaasaegse teaduse tekkimise ajast, mil seda mõisteti jumala ettekirjutusena, millest loodus hälbida ei saanud. Ka seaduste matemaatilise esituse lihtsus, selgus ja elegantsus kinnitasid jumala kõikeületavat tarkust. Hiljem mõiste küll sekulariseerus, aga säilitas sunduslikkuse ja inimsõltumatusse sisu. Ometi on (Giere väitel) kõik loodusseadusteks nimetatavad väljendused otseselt väärad, näiteks Newtoni liikumisseadused ei kehti, kuna ei leidu kaht omavahelises vastasmõjus olevat keha, millele ei mõjuks teiste kehade raskusjõud. Giere lükkab tagasi ka võimaluse, nagu poleks praegused seadused veel need päris seadused või tulekski neid lugeda tingimuslikult, teatud eeldusi arvesse võttes, kuna mõnda eeldust pole seaduse formuleerimise ajal veel võimalik teadagi (Giere 1995).

"Loodusseaduse" tõlgendamise näiteks toob Giere võrrandi: see on määratud mingi matemaatilise aksiomaatikaga ning kujutab endast uuritava mudelit, mis esitab selle relevantseid osi ja seoseid mingi täpsusega (mudeli sarnasus maailmaga oleks seaduse tõesuse analoog). Paratamatus on mudelile rakenduv mõiste, mitte seadusele, ning selle projitseerimine tegelikule süsteemile on metafüüsiline probleem. Kui mingid võrrandid näivad haaravat maailma fundamentaalstruktuuri omadusi, siis on tegemist lihtsalt laia kasutusala modelleerimispõhimõttega (Samas). Järgnevalt annan ülevaate Giere arusaamast teaduslikust teooriast ning mudeli rollist selles, mis aitaks paremini mõista Prigogine'i teooriat.

Giere ei püüa luua teooriat ideaalsest teadusest ehk dikteerida, milline peaks olema teaduslik teooria. Ta uurib olemasolevat teooriat, täpsemalt selle rakendamist, selle raames tegutsemist, ja järeldab sellest, milline ehk mis on teaduslik teooria. Näitena vaatleb ta teoreetilist mehhaanikat, teoreetilise mehhaanika õpikuid kui allikat, kust tulevased teadlased oma sellealaseid teadmisi esmalt koguma hakkavad ja mille põhjal antud teooriast omale üldpildi loovad (Giere 1988: 62-64). Giere teooria on piisavalt üldine, et teda on võimalik rakendada teistele teaduslikele teooriatele (Giere ise rakendab seda näitena geograafiale).

Giere järgi pole teadusliku teooria puhul tegemist keelelise entiteediga, olulised on hoopis mudelid mittekeeleliste entiteetidena ning teooria on mudelite klasside või kobarate hulk. Mudelite võimalikud omadused määratakse küll teatava hulga väidetega, mis esitatakse (ainuvõimalikul viisil) loomuliku ja matemaatilise keele abil, mis Giere toodud näidete põhjal oleksid need, mida ma nimetaksin teadusseadusteks (ning mida on nimetatud ka propositsioonideks). Mudeli ja reaalse süsteemi vaheline suhe on sarnasussuhe, mille sätestavad hüpoteesid, mis seovad mudelit reaalse maailmaga. Seega on meil järgmine skeem: väidete hulk defineerib mudeli, millel on teatav sarnasus reaalse süsteemiga (Samas: 83-85). Kontrolliks saab seda rakendada Giere enda teooriale: antud skeem on mudel, mille osad on eelnevalt defineeritud ja millel on sarnasus (kuid mitte isomorfism) teaduslike teooriatega. Kuna kõigel võib leida mingit sarnasust kõige muuga, siis tuleb eristada sarnasust mingis aspektist ja mingil määral, mis on mõlemad olulised, otsustamaks mudeli kuulumise üle teaduslikku teooriasse (Samas: 81).

See, kas mingi mudel antud teooriasse kuulub või mitte, pole siiski järeldatav ainuüksi mudeli omadustest või tema sarnasusest reaalse süsteemiga, vaid see sõltub ka teadlaste endi otsusest arvata mudel teooriasse kuuluvaks – teadlased otsustavad, kas see piisavalt hästi ja vajalikul viisil on süsteemi modelleerimiseks kasutatav. Ses mõttes on Giere teooria teooriatest kognitiivne ja ühtlasi tuleb sellest ka tema konstruktiivsus – teaduslik teooria kui sotsiaalne konstruktsioon (Samas: 86). Kas meelevaldselt konstrueeritud mudelid saavad reaalsete, nt põhjuslike seoste kohta teavet anda? Giere pooldab selles suhtes modaalsel realismi, mille järgi võib vähemalt mõnedel juhtudel leida mudeli modaalsel struktuuril (võimalikkus, paratamatus) reaalsuses põhjuslik vaste. See tähendab, et kui mudeli mingid osad mõjutavad (võivad mõjutada) mingite teiste osade käitumist, siis see sõltuvussuhe võib esindada reaalsel struktuuri. Selle kinnituseks on asjaolu, et mudelid reaalsuses töötavad (ehk on ettenähtud viisil rakendatavad) (Samas: 98-100).

4.3.1 Mudelid Prigogine'i teoorias

Kuigi Prigogine'i teoorias (nagu see on esitatud antud töö aluseks olevas kirjanduses) ei ole ma suutnud tuvastada konkreetselt sõnastatud loodusseadusi, püüan vähemalt piiritleda selles leiduvaid või leida võivaid mudeleid, tuvastada nende osi või algeid, mis vastaksid Giere käsitlemise mudeli mõistele ja suhetele teooria ja maailmaga.

Maailmast, mida Prigogine tahab teooriaga haarata, võib eristada üldise, laiema ja kitsama vaate. Üldine vaade haarab neid maailma omadusi, mida Prigogine tahab modelleerida: pöördumatus, keerukus, juhuslikkus, ebastabiilsus, iseorganiseeruvus – inimese igapäevase kogemuse maailm. Need omadused on omavahel seotud ja neid evivad nähtused esinevad kõikjal. Laiem vaade haarab nähtused, millel on nimetatud omadused, nagu näiteks dissipatiivsed süsteemid ja dissipatsioon kui protsess, dissipatiivsete struktuuridena keemilised reaktsioonid, iseorganiseeruvad süsteemid nagu organismid, ühiskond ja populatsioonid. Kitsamat vaadet maailmale pole nii lihtne tuvastada Prigogine'i enda teksti põhjal. Tõenäoselt on nendeks näiteks need, mida ta on rangelt teaduslikult uurinud – keemilised võnkumised ja Bénard'i konvektsioon, kuid raamatutes „Tõsikindluse lõpp“ ja „Kord kaosest“ ta neid ei modelleeri. Nendest leiame hoopis matemaatilise hästi defineeritud süsteemi, millele ta näitlikult mõnesid neist matemaatilistest vahenditest rakendab – pagari teisenduse. Seega pole ta näitlikustanud oma matemaatilist aparatuuri ühegi reaalse süsteemi pääl, pole ühtegi hästi defineeritud (või defineeritavat) füüsikalist probleemi, mille puhul tema teooria võimeid oleks demonstreeritud.

On ilmne, et keel, mille abil Prigogine'i teooria mudelid peaks defineerima, on rangelt matemaatiline. Selle põhiobjektideks on taglastatud Hilberti ruum, operaatorarvutus mitteunitaarsete komplekssete operaatoritega, tõenäosustihedused, korrelatsioonid, suured Poincaré süsteemid ja Poincaré resonantsid. Paraku ei leia temalt näiteid füüsikaliste süsteemide mudelitest, mis oleksid defineeritud kvantitatiivselt nimetatud matemaatilisi mõisteid kasutades. Leiduvad küll lihtsamad näited Bernoulli kujutusest ja pagari teisendusest ning nendele võrdluseks säetud konservatiivsetest teisendustest ning mõned klassikalised juhuslikud süsteemid. Need mudelid, mis võiksid kujutada Prigogine'i enda uudseid mõisteid, on defineeritud puhtkvalitatiivselt (kuigi sisaldavad matemaatilise mõjuvaid tähistusi) ning on üldised ja väheütlevad (nt korrelatsioonide tekkest ja elimineerimisest). Tõenäoselt oleks praktiliselt kasutatavate mudelite defineerimine vähemalt mõnede nimetatud matemaatiliste objektide abil nii keeruline (nt taglastatud Hilberti ruumi kasutades) ja võimalik, et ka raskesti tõlgendatav (nt mitteunitaarsete ja komplekssete omaväärtustega operaatorite puhul), et see lihtsalt ei tasu vaevagi²⁶. Teiste mõistete kasutamine on aga juba standardne ja neis pole uudsust (tõenäosusjaotused).

²⁶ See tõdemus pärineb Piret Kuuselt individuaalsest konsultatsioonist.

Sarnasus, mis peaks aset leidma Prigogine'i teooria mudelite ja maailma vahel, on nimetatud üldised vaated maailmale, tema omadused: pöördumatus, keerukus, juhuslikkus, ebastabiilsus, iseorganiseeruvus. Pöördumatust peaksid aitama modelleerida mitteunitaarsed operaatorid taglastatud Hilberti ruumis, kus lahendite poolrühm olekski pöördumatuse matemaatiline väljendus, ning tõeüksusjaotused, mis definitsiooni poolest kulgevad ajas vaid ühes suunas. Keerukust ja iseorganiseeruvust peaksid aitama modelleerida korrelatsioonid (Poincaré resonantside kaudu) suurtes Poincaré süsteemides. Viimasest tuleneks ka ebastabiilsus, sellest juhuslikkus. Kuna aga pole konkreetselt defineeritud mudeleid ega modelleeritavaid objekte, siis pole ka, mille põhjal nende sarnasussuhete olemasolu ja määra kindlaks teha.

Kas võib siiski leida mittetäppisteaduslikke mudeleid ehk selliseid, mille defineerib mittematemaatiline keel? Selleks peaks olema võimalik tõlgendada mõisteid „suur Poincaré süsteem“, „korrelatsioonid“ jt mittematemaatiliselt, kuna põhiliselt on just nende mõistetega väljendatud laused sellised, mida saaks mingis mõttes seadustena tõlgendada. Näidetena võiks tuua sellised laused nagu „suurtes Poincaré süsteemides on osakesed lakkamatus vastasmõjus“, „Poincaré resonantsid tekitavad korrelatsioonid ja ühtlasi lõpetavad neid“, „korrelatsioonid haaravad järjest rohkem osakesi ning viivad süsteemi seeläbi uude korrastatud seisundisse“. Isegi kui neid saab käsitleda mittetäppisteaduslike mudelitenä, siis on raske kujutleda neile tõlgendusi, ehk sarnasusi mittetäppisteaduste objektidega, kuna paljud defineerivad mõisted saavad oma tähenduse täppisteaduste raames (statistilises mehaanikas, termodünaamikas, deterministlikus kaoseteoorias jm).

4.4 Prigogine'i teooria võimalik staatus

Eelneva analüüsi põhjal nähtub, et teatud aspektides ei vasta Prigogine'i teooria täppisteaduse kriteeriumidele: matemaatika ei defineeri konkreetseid tõlgendatavaid mudeleid. Küll aga jätab mingil määral täppisteadusliku mulje kasutatav meetod: defineeritakse mudelid (õigemini miski, mis meenutab mudeleid), kasutades idealiseeritud mõisteid (millele omistatakse ka matemaatiline sisu), mida *a priori* rakendatakse (või väidetakse rakendatavust) empiiriale. Seejuures on „mudelid“ või mõisted mingis mõttes üksteisest tuletatavad (nt tõeüksuslikkuse fundamentaalsus korrelatsioonidest, need omakorda Poincaré resonantsidest, need suurtest Poincaré süsteemidest). Ka konstrueerimise järgi leidub Prigogine'i teoorias: ta loob spetsiifilised vaated uuritavale

ehk defineerib aspektid, millest kirjeldada uuritavaid süsteeme, nimelt termodünaamiline ja statistiline. Sellega haakub deduktiivsus teises mõttes: klassikaliste teooriate vaated peaksid olema tuletatavad siin fundamentaalseiks peetavast termodünaamilisest ja statistilisest vaatest. Kuid eksperiment vist ei sobi siiski teooria eesmärkidega, kuna see oleks juba looduse kõnetamine inimesele sobivast aspektist, kuid see teooria peaks laskma loodusel endal kõnelda, et oleks võimalik teda kirjeldada sellisena, nagu ta on. See aga viitab mittetäppisteaduslikule lähenemisele, klassifitseeriv-kirjeldav-ajaloolisele meetodile, eriti veel kuna Prigogine rõhutab ka aja ning maailma seisundi ajaloolisust.

Leo Näpinen peab Prigogine'i teooria puhul oluliseks, et see käsitleb teooriat „*lahutamatus* seoses reaalse teadlase reaalse uurimistegevusega“, millega Prigogine on näidanud, et klassikalise füüsika seadused ei saa kehtida kogu maailma suhtes, vaid teadlase valitud-konstrueeritud maailma osa suhtes – maailm tervikuna ei saagi olla seadustega haaratav (Näpinen 2007: 152). Ma vaidleks sellele vastu, et Prigogine pole kuski eksplitseerinud uurija ja uuritava ning uurija ja teooria suhet, ning oma teoorias, nagu ma paragrahvides 3.1.4 ja 3.3.2 näitasin, püüab ta mõnede süsteemide kirjeldusest pigem uurija välja jätta, mis läheb aga nende süsteemide olemusega vastuollu.

Näpinen peab Prigogine'i teooria rolliks, et see on näidanud täppisteadusliku maailmamõistmise piire, sest on nähtusi, mis põhimõtteliselt ei allu matemaatilisele kirjeldusele, mida ei saa konstrueerida, juhtida, ette määrata. Ta peab Prigogine'i teooria toodud uuenduseks täppisteadustes just tõdemust pöördumatus ja juhuslikkuse esinemisest looduses, mis takistab nähtuste matematiseerimist ning sunnib asendama tõsikindluseid väljendavad loodusseadused võimalikkusi väljendavatega, nagu Prigogine seda teha taotleb:

Täppisteadus saab kirjeldada ainult seda osa maailmast, mis allub seadustele. See osa on inimese poolt järele ja ümber tehtav. Ülejäänud valdkonda maailmast iseloomustavad pöördumatus, määramatus, juhuslikkus, ajalooline aeg, ajalis-ruumiline mitteühesugusus, mittejälgitav keerukus, jms. See valdkond maailmast ei ole matemaatika abil põhimõtteliselt tabatav (sest matemaatika oma staatilise loomuse tõttu peatab maailma “voolavuse”), selle üle saab arutleda ainult loomulikes keeltes (Samas: 163).

Näpineni ainus etteheide Prigogine'ile on, et ta on liigagi palju matemaatikat kasutanud ning oleks pidanud rohkem laskma kõnelda intuitsioonil ja loomulikul keelel, sest „Kui loomulik keel *asendada* matemaatilise keelega, siis “libiseb” ajalooline aeg (mille mõistmine Prigogine'i kõige enam huvitas) uuesti käest (Samas: 164).” Samas aga tunnustab ta evolutsioonibioloogia skeemide kasutamist Prigogine'i poolt uute füüsikalise-

matemaatiliste mõistete (nt sisemise aja operaator) konstrueerimisel (Saams: 161). Seega Näpinen justkui tunnistab Prigogine'i teooria täppisteaduslikkust, kuid möönab, et see ei saa olla täppisteaduslik, ja arvab, et ei peagi olema. Kuna ma võtan iseenesestmõistetavana, et see, mis pole matematiseeritav, ei saa ka kuuluda täppisteaduse ajalukku, sest täppisteadus, nagu seda on kirjeldanud Rein Vihalemm, püsib matemaatikal, siis Näpineni tunnustavad sõnad viitavad just Prigogine'i ebaõnnestumisele täppisteaduslikkuse taotlustes (sest Prigogine tegelikult tahtis just nimetatud mittematematiseeritavaid omadusi matematiseerida).

Rein Vihalemm peab Prigogine'i teadust mitteklassikaliseks teaduseks, mis on kombinatsioon konstruktiiv-hüpoteetilis-deduktiivsest teadusest ja klassifitseeriv-kirjeldav-ajaloolisest teadusest nagu keemiagi (Vihalemm 2007: 79). Ka Prigogine ise vastandas end kaasaegsele teadusele kui klassikalisele, kuid selle erinevusega, et arvas mitteklassikalist teadust vabastavat teaduse selle müüdist, nagu oleks teaduslik teadmine see õige ja tõeseim, samas kui Vihalemma arvates näitab mitteklassikaline teadus kätte teaduse piirid, eeldused ja tegelikud eesmärgid (Samas). Paistab, et Vihalemma seisukohalt pole Prigogine siiski kasutanud ära mitteklassikalise teaduse kõiki pakutavaid võimalusi: „Mitteklassikalise teaduse omapära [on] selles, et ta ühtaegu tõi välja teaduse piirid ning avas talle – just teaduse piiride n-ö mahamärkimisega – uusi perspektiive. I. Prigogine on piirdunud üksnes teaduse uute perspektiivide rõhutamisega (Vihalemm 1995: 2539).“ Ma tõlgendan uute perspektiividena Prigogine'i põhieesmärke – viia teadusliku käsitluse alla maailma keerukuse ja pöördumatusesega seotud nähtused. Seda on ta tõepoolest selgelt rõhutanud, ja tõepoolest pole ta neid perspektiive välja arendanud, nagu eelnev analüüs näitab.

Piiridele osutamist võiks mõista järgmise lause abil: “Loodus on füüsika aines ainult oma nende omaduste, aspektide ja nähtuste alusel, mida saab matemaatiliselt väljendada, mida saab mõõta, esitada ja taastoota eksperimentaalselt (Vihalemm 2007: 85).” Seega need looduse omadused, mis ei lase endaga loetletud viisidel manipuleerida, ei saa ka olla füüsika uurimisobjektiks. Kui Prigogine'i teooria väljatöötatuse puudused täppisteaduslikust aspektist tulenevad sellest, et üritatakse täppisteaduslike meetoditega käsitseda midagi, mida niimoodi käsitseda ei saa, siis ongi sellega näidatud piir, kus selline uurimisviis peab alla andma ning andma teed teistele uurimisviisidele:

Kui [...] meil on [...] olukord, [kus] tunnetuse ülesanne on omandada teadmisi objektist, mis on uurijale juba 'antud' mingit laadi eel- või mitteteadusliku praktika kaudu enne selle teaduslikku uurimist ja sellest sõltumatult, siis puhtalt teaduslik

teadmine, või täppisteaduste skeeme järgiv teadmine sellest objektist on võimatu. [...] “Antud” objektide uurimine ei saa olla oma olemuselt f-teaduslik, see ei saa otsida loodusseadusi²⁷; pigem peab see olema nagu looduslugu, klassifitseeriv-kirjeldav-ajalooline, kus “seadused” ilmuvad ainult jutumärkides ning on iseloomult “universaalsed üldistused” (ka need on jutumärkides) (Vihalemm 2007: 86).

Täppisteaduslike meetodite rakendamise võimatus aga ei tähenda, et need teised uurimisviisid ei võiks anda adekvaatseid teadmisi maailma kohta, nagu Vihalemmgi ütleb (Samas: 86).

Vabanemaks usust klassikalise teaduse tõemonopoli, tuleb arvesse võtta tema eripärast tunnetusviisi ja eesmärke ning neist tulenevaid piire. Ka mitteklassikaline teadus jääb nendesse piiridesse, kui ta kasutab samu meetodeid nagu klassikaline teadus. “Kui [mitteklassikalisel teadusel] õnnestub vabaneda klassikalise teaduse müüdist, oleks ainus muutus see, et ta ei võrruta teaduslikku pilti maailmast ja teaduslikult *modelleeritud* reaalsust maailma endaga, reaalsuse endaga (Samas: 88).” Paraku Prigogine just seda teebki – võrrutab mudeli maailmaga, matemaatika reaalsete protsessidega. Seega pole ta veel jõudnud saada mitteklassikaliseks teaduseks, milleks Vihalemm Prigogine'i teooriat klassifitseerib (erinevalt tõenäoselt Prigogine'i keemiateooriast). Nagu eelmises paragrahvis vaatlesin, on raske leida tal ka (Giere järgi) tunnuseid, mille alusel klassifitseerida teda teaduslikuks teooriaks, seda nii täppisteaduste kui mittetäppisteaduste raames. Millega siis Prigogine'i teooria puhul ikkagi tegu võiks olla? Ilukirjanduse jaoks on ta liialt matemaatikane, matemaatika jaoks liialt ilukirjanduslik.

Ma panen ette, et seda võiks käsitleda maailmapildina, nimelt uue võimaliku (mitteklassikalise) teaduse maailmapildina. Maailmapildi määratluse leiame raamatust (Teaduse metodoloogia: 184):

Maailmapilt seostub eelkõige vastava teadusharu fundamentaalteooriaga, erinedes sellest täpsuse ja üldisuse astme poolest. Maailmapilt jääb nagu filosoofia ja fundamentaalteooria vahele: ta on konkreetsem ja vähem üldine kui filosoofia, kuid üldisem ja vähem täpne kui vastav fundamentaalteooria.

ning “Maailmapilt on nagu teoreetiliste skeemide ontoloogiliseks projektsiooniks (Samas: 185).” Prigogine püüab luua just fundamentaalteooriat ning selle teooria mõisteid (nagu “korrelatsioonid” jt) võib vaadelda kui selliseid projektsioone, mis küll paraku pingutustest hoolimata eksisteerivad enne projekteeritavat. Selles mõttes pole tegemist tavalise

²⁷ Siit järeldub, et Vihalemma “loodusseaduse” mõiste on kitsam kui Giere “mudeli” mõiste, hõlmates ilmselt matemaatilisi mudeleid, sest Giere järgi kasutavad mudeleid ka mittetäppisteadused.

maailmapildiga: maailmapilt peaks kujunema “teaduse objektiivse arengu protsessis”²⁸ (Samas: 211). Samuti peaks maailmapildi ümberkujunemine olema “globaalne revolutsioon teaduses” (Samas: 212), milleks ta Prigogine'i teooria puhul pole saanud, kuigi Prigogine väidab vastupidist²⁹. Kindlasti aga paneb ta paika võimaliku teooria interpreteerimise, formeerumise, funktsioneerimise ja empiirilise tunnetuse, nagu ühele õigele maailmapildile ette nähtud (Samas: 212-213).

Kokkuvõtt

Eelneva arutelu põhjal on võimalik vastata kokkuvõtlikult sissejuhatuses esitatud küsimustele (vastused ei pretendeeri ammendavusele). Esitan need ükshaaval.

Kas Prigogine'i teooria puhul on tegemist füüsikasarnase täppisteadusliku teooriaga, kus väljatöötatud matemaatiline aparaat on kasutatav hästi defineeritud füüsikaliste probleemide lahendamiseks? Ei ole. Prigogine'i teoorias pole hästi defineeritud füüsikalisi probleeme ega sätestatud algoritme ega matemaatilisi vahendeid selliste probleemide lahendamiseks. On küll matemaatilisi mõisteid, mille põhjal peaks sellised algoritmid väljatöötatavad olema vastavalt sellele, milliste omadustega (eeldatavates reaalses süsteemides) mingi mõiste seotud on. Paraku pole Prigogine ise näidanud, kuidas matemaatiliselt esitada ja lahendada tema teooria võtmeprobleeme.

Mis mõttes erineb see klassikalisest ja kvantmehaanikast? Klassikaline ja kvantmehaanika on kindla struktuuriga ja teadustegevuses rakendatavad ranged täppisteadused, mida Prigogine'i teooria pole. Nende põhimõte on seletada keerulisemad nähtused lihtsamate abil, tuletada keerulisemad seadused lihtsamatest, Prigogine'i põhimõte on seletada keerulised nähtused keeruliste seaduste abil ja tuletada nendest ka lihtsamad. Nende fundamentaalsed seadused on ajas pööratavad, Prigogine tahab fundamentaalseks teha mittepööratavad seadused.

Mis mõttes erineb see termodünaamikast? Termodünaamika on kindla struktuuriga ja teadustegevuses rakendatav range täppisteadus, mida Prigogine'i teooria pole. Termodünaamika kirjeldab termodünaamilise tasakaalu iseloomu ja selle saavutamist,

²⁸ Kuigi teadus pole jõudnud sellisesse arengustaadiumi, kuhu Prigogine tahab teda lükata, ütlevad Prigogine ja Stengers, et klassikaline teadus leidiski oma otsa “mitte filosoofilise kriitika või empiristliku alistumise läbi, vaid teaduse enda sisemise arengu läbi (Prigogine ja Stengers 1984: 55)”

²⁹ Prigogine (1980. xii-xiii) kirjutab: “Me viibime teadusrevolutsiooni perioodis – sellise, milles teadusliku lähenemise asendit ja tähendust endid ümber hinnatakse.”

Mets: Ilya Prigogine'i teooria analüüs looduseaduste aspektist

Prigogine tahab kirjeldada tasakaalukaageid süsteeme ja keerukate struktuuride arengut (mis tema keemiateoorias on ka õnnestunud arvestataval tasemel, kuid selle laiendamine keemiast väljapoole pole õnnestunud).

Mis mõttes erineb see deterministlikust kaoseteooriast? Deterministlik kaoseteooria on kindla struktuuriga ja teadustegevuses rakendatav range täppisteatus, mida Prigogine'i teooria pole. Deterministlik kaoseteooria võtab kirjelduse aluseks trajektooreid kui determineeritud matemaatilised objektid, mille juhuslik käitumine on (väidetavalt) ebatäpsete algtingimuste teadmatus tulemus, Prigogine'i teoorias rõhutatakse juhuslikkuse fundamentaalsust ja sõltumatust meie teadmistest süsteemi (alg)seisundi kohta.

Kas väidetav uus teadus tõepoolest kirjeldab pöördumatust, aja kulgu? Niipalju, kui kasutatakse statistilise mehaanika ja termodünaamika vahendeid, on pöördumatus teoorias sees tõenäosuste kaudu. Abstraktsemate vahendite puhul peab ta pöördumatuse või ka aja suuna „tõestamiseks“ seda enne eeldama. Muus osas ei erine aga pöördumatuse ja aja suuna kirjeldused oluliselt ilukirjanduslikest.

Kas see kirjeldab vaatlejat koos vaadeldavaga? Pigem üritab Prigogine saada kirjeldust, kus fundamentaalseks peetavad omadused nagu pöördumatus, keerukus ja juhuslikkus on inimesest kui vaatlejast sõltumatud, samas ei eksplitseeri ta vaatleja ja vaadeldava seost rohkem kui haidegeriaanliku eksperimendikäsitluse kaudu. Täppisteatuslikult seisukohalt pole vaatleja ja vaadeldava suhe muutunud.

Kas nüüd tõesti kirjeldavad looduseadused maailma kogu selle keerukuses, ebakorrapärasuses ja mitmetahulisuses? Looduseadused, nagu Rein Vihalemm neid mõistab, ei saa kirjeldada maailma ennast nagu ta on – nad on paratamatult idealisatsioonid, konkreetsetest süsteemidest kindla eesmärgiga loodud mudelid, omavad modelleeritava reaalse süsteemiga sarnasust mingist aspektist ja mingil määral, kuid mitte ei järgi neid korraga täpselt kõigis detailides. Arvestades maailma kogu keerukust, pole ka eriti reaalne perspektiiv kõik see võtta kokku ühe inimpäritolu märgisüsteemi vähestesse üksustesse (ehk mõnesse matemaatilisse vormelisse). Sõltumata vaadeldud looduseaduse mõistest, kas minu arusaam või Rein Vihalemma arusaam, pole looduseaduse mõiste muutunud – esimesel juhul ei saa ta muutuda looduse sõnakuulmatuse tõttu, teisel juhul täppisteatusliku tunnetuse eripära tõttu.

Miks pole Prigogine'i teooria leidnud üldist poolehoidu täppisteadlaste hulgas? Selle pärast, et Prigogine'i teooria ei ole täppisteatus. Selles pole viidatud piisavalt

Mets: Ilya Prigogine'i teooria analüüs loodusseaduste aspektist

konkreetsetele rakendustele ehk probleemidele, mida see lahendaks, ega antud piisavalt konkreetseid skeeme probleemide lahendamiseks. See teooria ei lahenda täppisteaduslike meetoditega neid probleeme, mille lahendamiseks teda loodud on, ning kui ta seda ka teeks, oleks lahendamiseks kasutatav matemaatika tõenäoselt nii keeruline, et ei annaks mingeid eeliseid „klassikaliste“ teooriate ees. Lisaks aga ei tunneta teadlaste enamus neid probleeme, mida Prigogine, ega pea vajalikuks ega otstarbekaks asendada lihtsam matemaatika keerulisemaga, kui „tasu“ selle eest ei ole nende huvis.

Kasutatud kirjandus

Batterman, Robert W. (1991), "Randomness and probability in dynamical theories: on the proposals of the Prigogine school", - *Philosophy of Science*, 58 (1991), 241-263

Bishop, Robert C. (2001), "Nonequilibrium statistical mechanics Brussels-Austin style", - *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 35 (2004), 1-30

Bricmont, Jean (1998), "Kaoseteadus või kaos teaduses?" (tõlkinud Toomas Kiho), - *Akadeemia* 10:11, 2375-2411 ja 10:12, 2564-2588

Cartwright, Nancy (1986), *How the Laws of Physics Lie*, New York: Oxford University Press

Davies, Paul, "Algorithmic Compressibility, Fundamental and Phenomenological Laws", - *Laws of Nature: Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions* / toimetanud Friedel Weinert, Berlin, New York: Walter de Gruyter, 248-267

Engel, Peter (1984), "Against the currents of chaos (Book review: *Order out of Chaos. Man's New Dialogue with Nature*, by Ilya Prigogine and Isabelle Stengers)", - *Sciences* September/October 1984, 24:5, 50-56

Engelbrecht, Jüri (1999), "Teaduses on kord ja vaidlused korras", - *Akadeemia*, 11:1, 107-112

Epstein, Mikhail (1996), "*Hyper* in 20th Century Culture: The Dialectics of Transition From Modernism to Postmodernism", - *Postmodern Culture*, 6:2

Giere, Ronald N. (1988), *Explaining Science. A Cognitive Approach*, Chicago and London: The University of Chicago Press

Giere, Ronald (1995), "The Skeptical Perspective: Science without Laws of Nature", - *Laws of Nature: Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions* / toimetanud Friedel Weinert, Berlin, New York: Walter de Gruyter, 120-138

Gröblacher, Simon, Tomasz Paterek, Rainer Kaltenbaek, Časlav Brukner, Marek Żukowski, Markus Aspelmeyer ja Anton Zeilinger (2007), "An experimental test of non-local realism", - *Nature*, 446, 871-875

Lepik, Ülo, Jüri Engelbrecht (1999), *Kaoseraamat*, Tallinn: Teaduste Akadeemia Kirjastus

Mets: Ilya Prigogine'i teooria analüüs loodusseaduste aspektist

Mankin, Romi, Eerik Reiter (1997), *Mittetasakaaluliste protsesside statistiline termodünaamika*. 1, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus

Näpinen, Leo (2007), „Ilya Prigogine'i ideede kriitikast Jean Bricmont'i poolt“, - *Teaduslugu ja nüüdisaeg XI. Teaduse uuringud: eesmärgid ja meetodid*, koostanud Rein Vihalemm, Tartu: Tartu Ülikooli Kirjastus, 151-167

Näpinen, Leo, Peeter Mürsepp (2002), “The concept of chaos in contemporary science: on Jean Bricmont's critique of Ilya Prigogine's ideas”, - *Foundations of Science*, 7, 465-479

Pagels, Heinz R. (1985), „*Order out of Chaos* (Book)“, - *Physics Today*, 38:1, 97-99

Petrosky, Tomio Y., Ilya Prigogine (2000), “Thermodynamic limit, Hilbert space and breaking of time symmetry”, - *Chaos, Solitons and Fractals*, 11, 373-382

Poincaré, Jules Henri (1890), *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique* (Mémoire couronné du Prix de S. M. le roi Oscar II de Suède), *Acta Math.*, t. 13, 1890, p. 1-270

Price, Huw (1997), „No direction known (*The End of Certainty: Time, Chaos and the New Laws of Nature* by Ilya Prigogine)“, - *Nature* 369: 6655, 42

Prigogine, Ilya (1962), *Non-Equilibrium Statistical Mechanics*, New York; London: Wiley

Prigogine, Ilya (1967), *Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes*, New York: Wiley

Prigogine, Ilya (1980), *From Being to Becoming. Time and Complexity in the Physical Sciences*, San Francisco: W.H. Freeman and Company

Prigogine, Ilya (1997), *The End of Certainty. Time, Chaos and the New Laws of Nature*, New York: The Free Press

Prigogine, Ilya, Dean J. Driebe, “Time, Chaos and the Laws of Nature”, *Proceedings of the International Conference on Nonlinear Dynamics, Chaotic and Complex Systems*, Zakopane, Poland (7.-12. November 1995)

Prigogine, Ilya, Isabelle Stengers (1984), *Order Out of Chaos. Man's New Dialogue with Nature*, New York: Bantam Books

Mets: Ilya Prigogine'i teooria analüüs looduseaduste aspektist

Swartz, Norman, "The Neo-Humean Perspective: Laws as Regularities", - *Laws of Nature: Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions* / toimetanud Friedel Weinert, Berlin, New York: Walter de Gruyter, 67-91

Shalizi, Cosma Rohilla, "Hostile notes on Ilya Prigogine", <http://www.cscs.umich.edu/~crshalizi/notebooks/prigogine.html>

Spurrett, David (2001), "Cartwright on laws and composition", - *International Studies in the Philosophy of Science*, **15**:3, 253-268

Zetie, Ken (1998), "Essay review. Time's quantum arrow revisited (Review of *The End of Certainty: Time, Chaos and the New Laws of Nature*, Edited by Ilya Prigogine)", - *Contemporary Physics*, **9**:5, 393-395

Teaduse metodoloogia / koostanud Rein Vihalemm (1979), Tallinn: Eesti Raamat

Vihalemm, Rein (1989), "Keemia metodoloogilisest samastamisest füüsikaga", - *Teaduslugu ja nüüdisaeg IV*, 30-40

Vihalemm, Rein (1995), "Kas teaduse piirid või tegelik algus? Ilya Prigogine'i teadusekäsitusest", - *Akadeemia* **7**:12, 2527-2540

Vihalemm, Rein (2007), "Whitehead's metaphysical ontology and Prigogine's scientific ontology: from a point of view of a theoretical conception of science", - *Problemos* **71**, 78-90

Фейнман, Ричард (1969), *Характер физических законов*, Москва: Мир

Resümee

Töös käsitletakse Ilya Prigogine'i teooriat, millega ta püüab ületada klassikalise mehaanika, kvantmehaanika ja termodünaamika vahelised lõhed ning haarata teaduslikku käsitusse maailm sellisena nagu see on – keerukana ja pöördumatuna. On näidatud, et, vastupidiselt Prigogine'i pretensioonile loodusseaduste uuendamisest ja mitteklassikalise teaduse sünnist, ei ole ta muutnud loodusseaduste mõistet ega loonud uut teaduslikku teooriat, mis oleks võimeline konkureerima seniste tunnustatud teooriatega. Ühest küljest tuleneb see teooria sisemistest vastuoludest ning viimistlematusest, mis takistab selle rakendamist praktiliseks teadustööks. Prigogine tahab kirjeldada maailma koos inimese kui vaatlejaga, kuid samas ka vaatlejast sõltumatuna – pöördumatu ja keerukana fundamentaaltasandil, mis kvantmehaanika puhul osutub teoreetiliselt vastuoluliseks. Teisest küljest tuleneb see täppisteaduse eripärasest maailma kirjeldamise viisist eesmärgipärasest matemaatilist kirjeldamist võimaldava idealiseeritud mudeli kaudu, mis paratamatult ei saa kajastada maailma sellisena, nagu see on, vaid ikka mingist aspektist ja teatud määral, ning loodusseaduse teoreetilistest käsitustest selle mõiste eraldamise läbi kas maailmast (loodusseadus matemaatilise mudelina) või teadusteooriast (loodusseadus loodusele siseomasena ja inimsõltumatuna).

Summary

In the present theses “Discussing Laws of Nature in the Context of Philosophical Analysis of Ilya Prigogine’s Book *The End of Certainty. Time Chaos and the New Laws of Nature*“ the theory of Ilya Prigogine is considered, with the help of which he tries to surmount the gaps between classical mechanics, quantum mechanics and thermodynamics and to comprise into scientific description the world as it is – complex and irreversible. It is shown that, contrary to Prigogine’s claims on the renovating laws of nature and the birth of non-classical science, he has not changed the concept of laws of nature nor created a new scientific theory that would be able to compete with accepted theories. On the one hand this is due to the inner controversies of the theory and its unelaboratedness that hinders putting the theory in scientific practice. Prigogine wants to describe the world with human as observer, but at the same time independent of the observer – irreversible and complex on the fundamental level, which occurs as theoretically controversial in quantum mechanics. On the other hand, this is due to the specific way of exact sciences of describing the world as idealised model enabling purposed mathematical description that necessarily cannot reflect the world as it is but always from some aspect and to a degree, and to the theoretical accounts of the laws of nature as distinguished from the world (laws of nature as mathematical models) or from the scientific theory (laws of nature as inherent to the nature and independent of humans).