

Tõejärgsest teadusest füüsika taustal

Piret Kuusk

Tartu Ülikool, füüsika instituut

Tõejärgse ajastu mõiste tõusis reljeefselt esile 2016. a poliitikamaastikul, täpsemalt seoses presidendivalimiste kampaaniaga Ameerika Ühendriikides, kui hakati jõuliselt levitama kuulujutte ja valeuudiseid. Viimaste hulka saab lugeda ka mõnede teadusuuringute ja nende tulemuste väga erapoolikut esitamist või lausa eitamist. Loodusteaduste filosoofias võib tõe mõista vastavusteooria vaimus ehk täieliku kooskõlana teadustulemuste ja reaalselt olemasoleva vahel, kuid enamasti vaadatakse niisugust vastavust pelgalt ideaalse eesmärgina, mis pole tegelikult saavutatav. Allpool kirjeldan lühidalt tõejärgse ajastu jõudmist füüsikute vaatevälja ja arutlen, kuidas see paigutub Thomas Kuhni teadusrevolutsioonide skeemi. Märgin, et nii tõejärgne teadus kui ka teadusfilosoofiline antirealism ei tunnista tõe vastavusteooriat, kuid väga erinevatel viisidel.

Märksõnad: teaduse eitamine, post-normaalteadus, realism ja antirealism teadusfilosoofias, üldrelatiivsusteooria ja selle teleparalleelne ekvivalent

1. Teaduse eitamine 2016 ja 2017

Ameerika Ühendriikide presidendivalimiste kampaanias 2016. a sügisel töid vabariiklaste partei esindajad mängu ka teaduse, täpsemalt teaduse eitamise (*science denial*). Ühendkuningriigi füüsikaseltsi ajakirjas *Physics World* andis eitajatele vastulöögi New Yorgi Stony Brooki ülikooli filosoofiaprofessor Robert P. Crease (s. 1953). Kõigepealt selgitas ta, et teaduse eitamise all ei mõelda seekord mitte lahtiütlemist kogu loodusteadusest, vaid ainult selle teatud spetsiifilistest osadest: kliimamuutus — kas tõsiasi või hiinlaste pahatahtlik väljamõeldis; energia — kas on tarvis kulutada taastuvenergiale vaeva ja raha või piisab nafta ja kivisöe põletamisest; toidutehnoloogia — kas geenmuundatud toit on kasulik või kahjulik; tervis — kas vaksineerimine tekitab autismi või mitte. Neis valdkondades võidakse teatud poliitiliste,

Autori aadress: Piret Kuusk, Teoreetilise füüsika labor, füüsika instituut, Tartu Ülikool, W. Ostwaldi 1, 50411, Tartu, Eesti. E-post: piret.kuusk@ut.ee.

majanduslike ja religioosete huvide tõttu panna kahtluse alla või otsesõnu eitada asjassepuutuvaid teadusuuringuid (Crease 2016).

Veel ühe näitena võib nimetada 2017. aasta lõpul Euroopas teravaid vaidlusi tekitanud probleemi: kas glüfosaati sisaldavad herbitsiidid on looduslike keskkonnale ja inimeste tervisele ohutud või mitte? Teadusuuringud ei ole siin veel andnud selget vastust ja see on õhutanud vastastikuseid süüdistusi. Keskkonnakaitsjad peavad seniseid ohutusele viitavaid uurimusi kinnimaksuks glüfosaati sisaldavaid herbitsiide tootvate firmade poolt, nood aga tõstavad esile, et geenitehnoloogia abil saab luua glüfosaadi suhtes resistentseid kultuurtaimi, mis teeb nende kultiveerimise odavaks, ning seda peetakse argumendiks geenmuundatud kultuuride (ja glüfosaadi) kasuks (Schmidt 2017). Keskkonnakaitsjad aga on üldiselt geenmuundatud põllukultuuride kasvatamise vastu, olgugi et nende vastuväited on pigem ideoloogilist laadi, nagu elu pühaduse tees ja keeld elusorganismidega, ka taimedega, manipuleerida.

Crease (2017) on esile toonud mõned asjaolud, mis tänapäeval võivad tekitada või soodustada negatiivset suhtumist loodusteadusesse.

Esiteks, laialt on levinud arvamus, et teaduse tulemustest lõikavad kasu ainult suurkorporatsioonid ja ühiskonna eliit, mitte aga n.ö. lihtne maksu- maksja. Teiseks, loodusteadlased töötavad detailide kallal, koguvad andmeid ja moodustavad andmebaase, mis koosnevad mõõtmistulemustest ja/või vaatluste kirjeldustest. Sellist laadi tulemused on avalikkusele arusaamatud. Siia tahaksin lisada, et andmebaas iseenesest ei saagi olla teaduse sisu, andmetest tuleb midagi välja lugeda ja neist aru saada. Arusaamine on vaimne protsess, mis lubab asjast või teatest mõelda mõistete abil ja siduda need inimese muude teadmistega. Seda võimaldab sõnalise osa, narratiivi lisamine arvutustest ja andmetöötlusest saadud tulemustele. Narratiiv on enamasti kas arengulooline, näidates uusi tulemusi varasemate tulemuste järjena, või siis loogikalooline, esitades tulemuste loogilised seosed seniteatuga. Minnes teadusest populaarteadusesse, tuleb täppisandmetest loobuda ja alles jääb ainult narratiiv. Sel käigul aga võivad olla soovimatud tagajärjed. Kui me unustame andmebaasid, kui me unustame rõhutada teaduse tõenduspõhistsust, kui me teeme evolutsiooniteooriast või Suure Paugu kosmoloogiast ainult „loo“, siis pole vahet, kas uskuda seda „lugu“ või näiteks piibli maailma loomise lugu. Kokkuvõttes võime jõuda selleni, et teadus muutub üheks paljudest arvamustest, mille seast võib igaüks vabalt valida endale meelepärase.

Kolmandaks, tänapäevase tehnoloogia edukus ja igasugused tavaelus väga kasulikud leiutised kipuvad varjutama asjaolu, et nende aluseks on põhjalikud teadusuuringud ja inseneritöö, mitte aga vabalt valitud arvamused. Nii näiteks olevat üks USA kongressi liige tõsimeeli väitnud: milleks raisata raha Landsat satelliitidele, meil on ju Google Earth, kus kõik vajalikud

maakaardid on olemas — olgugi et Google'i täppiskaardid on tehtud just Landsat satelliitide vaatlusandmete alusel. Või siis: milleks meile alusfüüsika, kui me saame kõiki meid huvitavaid kõrgtehnoloogilisi nutiseadmeid vabalt osta elektroonikapoodidest?

Kokkuvõttes esitab Crease (2017) kategoorilise väite: loodusteaduse autoriteedi traditsiooniline mudel on surnud. Teaduse autoriteedi all mõistab ta inimeste vabatahtlikku nõustumist teaduse seisukohtadega ja veendumust, et teadlased on usaldusväärsed teejuhid maailma sisemise struktuuri uuringutes. Tema arvates on teaduse eitamisel kolm allikat: (i) teadlaste kommunikatsioon ühiskonnaga on puudulik, (ii) nende poolt edastatud sõnumitest ei saada aru, (iii) teadusele eelistatakse muid asjaolusid ja väärtusi. Viimasega seoses hoiatab Euroopa Füüsika Seltsi president Christophe Rossel (2016), et ühiskonnas võivad asjad areneda väga halvas suunas, kui mingid muud asjaolud ja väärtused summutavad teadlaste ekspertarvamuse.

Ka Eestis on üha valjuhäälselt end kuuldavaks tegema hakanud need, keda teaduse tulemused ühel või teisel põhjusel ei veena ning kes teatavad, et neil on teistsuguseid andmeid või alternatiivseid fakte. Meediast võib leida näiteks astroloogilisi ennustusi, tervisekristallide propagandat ja soovitud kasutada soodat või torusiili universaalse ravimina. Sedalaadi seisukohti peetakse tõejärgse ajastu iseloomulikeks tunnusteks.

Crease'i ja Rosseli ülalnimetatud artiklid on füüsikute tähelepanu äratamiseks esitatud karjuvalt teraval moel. Neis on tõejärgseid hoiakuid püütud küll ka põhjendada, kuid mitte mingil juhul heaks kiita. Tõejärgsust on seostatud avalikkuse ootuste ja hinnangutega, millesse ei ole osatud või tahetud kaasata tõsiste teadusuuringute tulemusi, aga ka poliitikute pealetungiga teadusele ning nende sooviga esitada teadustegevust viisil, mis on neile kasulik.

2. Teaduse tõenduspõhisus ja post-normaalteadus

Tõejärgseteks nimetatakse hoiakuid ja seisukohti, mida on kujundanud pigem emotsioonid ja isiklikud arvamused, mitte aga positiivsed teadmised ja ratsionaalsed kaalutlused.

Erinevalt sellest iseloomustab uusaegset teadust teadmiste süstemaatiline kogumine maailma kohta ning nende teadmiste konsolideerimine ja esitamine kontrollimist võimaldavate seaduste ja teooriate kujul. Sel viisil annab teadus meile maailma sisemise struktuuri kirjelduse, nii nagu me seda praegu mõistame.

Nagu teada, oli aeg, kus kindlustunde maailma sisemise struktuuri olemasolu ja tunnetatavuse kohta andsid religioon ja kirik. Maailm oli Jumala loodud, võib-olla oli Temal selle kohta ka kindel plaan, ja teadmine maa-

ilma kohta tuli Jumala armust. Kuid 16.–17. sajandil, renessansi lõpu ja baroki alguse aastail kogus jõudu inimesekeskne, humanistlik eluhoiak, püüdes unustusse suruda valitseja- ja kirikukeskset eluhoiakut. Maailma sise- ja välise struktuuri kirjeldust loodeti leida loodusteadusest, kus hakati nõudma teadmiste tõenduspõhisust. Ehk teisiti: teaduse aluseks said tõendused maailmast ja loogiline arutelu.

Selle pöörde üks läbiviijaid oli Galileo Galilei (1564–1642). Toome näiteks tema traktaadi „Dialog kahe peamise maailmasüsteemi vahel“. Selles vaidleb Koperniku süsteemi pooldaja Salviati Ptolemaiiose süsteemi pooldaja Simplicioaga ning nende jutuajamisse sekkub aeg-ajalt haritud veneetslane Sagredo. Teise vaidluspäeva kirjelduses laseb Galilei Sagredol öelda, et iga kord, kui Sagredo on kohanud Koperniku õpetuse pooldajat, on ta temalt küsinud, kas ta on alati olnud sellel seisukohal, ja kunagi polevat ta leidnud kedagi, kes ei oleks vastanud, et ta pooldas kaua aega Ptolemaiiose seisukohta ja vahetas selle Koperniku oma vastu tänu tõendustele, mis olid tema jaoks veenvad (Galilei 1661, 110–111).

Eluterve skeptitsism, võimalus kahelda igas väites on teaduse edendamisel hädavajalik, see ajendab väiteid kontrollima. Kuid mingil juhul ei ole see pime eitamine. Teadlaste omavaheliste vaidluste kurvaks tulemuseks on aga populistlik järeldus, et „teadlased ju ei tea ka ise, kuidas asjad tegelikult on“ ja „nad ei oska rahvale selgesti öelda kas jah või ei“.

Tänapäeval on loodusteaduse struktuur ja meetod oluliselt keerukamad kui Galilei ajal ja neid on väga põhjalikult analüüsitud. Thomas Kuhn (1922–1996) tõi sisse normaalteaduse mõiste, kus uurimistööd toimuvad kindlas mõistelises ja metodoloogilises raamistikus ehk paradigmas. Kui osutub, et uued tulemused pole seletatavad senise paradigma raames, toimub teadusrevolutsioon Kuhni tähenduses ja endine paradigma asendatakse uuega (Kuhn 2003).

Praegusel tõejärgsuse ajastul on väidetud, et Kuhni skeemi tuleb täiendada post-normaalteaduse mõistega (Funtowicz ja Ravetz 1993). Selle all mõistetakse olukorda, kus teadlastelt oodatakse kindlaid ja kiireid vastuseid oluliste probleemide asjus, andmata neile aega normaalseks uurimistööks. Nii-suguste probleemide alla võib paigutada ka esimeses osas nimetatud teaduse eitamise juhtumid: kliimamuutused, energia tootmine, geenmuundatud toit, vaktsineerimine, glüfosaat. Kõik nad on tänapäeva inimeste jaoks elutähtsad ja lahendused ei kannata edasilükkamist kaugesse tulevikku. Väidetakse, et post-normaalteaduses ongi lubatud vaielda nii faktide kui ka väärtuste üle, sest panused on kõrged ja otsustada on tarvis kiiresti. Esile on tõstetud, et normaalteaduses eeldatakse nähtuste regulaarsust, lihtsust ja ennustatavust, mis soosib kontrollitud eksperimentide ja abstraktsete teooriate kasutamist jõudmaks kvantitatiivsete tulemusteni (Funtowicz ja Ravetz 2003).

Need eeldused ei pruugi aga kehtida inimkonna ees seisvate uute oluliste probleemide puhul, mis on ülimalt kompleksed ja pole kindel, kas traditsioonilised teadusuuringud üldse saavad siin kunagi anda mingeid kindlaid vastuseid.

Tõejärgset teadust saab vaadata kui post-normaalteaduse äärmuslikku vormi, kust on peaaegu kadunud normaalteaduse ideaalne eesmärk — tõene teadmine ning põhiväärtused — teadustulemuste üldkättesaadavus, universaalsus, neutraalsus ja kollektiivne kritiseeritavus. Nende asemel on väärtusteks kvalitatiivne ja jõuline otsustamine, ekspertiisi demokratiseerimine, konteksti arvestamine ja holism, otsuste paindlikkus, pluralism, ettevaatlikkus, läbipaistvus jms (Køning *et al.* 2017). Need lubavad anda kiireid nõuandeid poliitikutele ja kindlaid seisukohti avalikkusele, mistõttu post-normaalteadust ongi vahel peetud mitte niivõrd teaduseks, kuivõrd nõustamiseks. Kuid erialast nõustamist võib seostada pigem rakendusteadustes saadud kogemustele toetumisega, ja post-normaalteadus, nii nagu seda seletavad mõiste autorid, tuleb mängu alles siis, kui tuleb väga kiiresti otsustada tõesti elutähtsate asjade korraldamise üle ja kui vaatlusaluses süsteemis on väga suur määramatus (Funtowicz ja Ravetz 1993; Funtowicz ja Ravetz 2003).

Seni on traditsioonilisel viisil töötavad loodusteadlased püüdnud hoiduda post-normaalteadusest, sest see on põimunud poliitika ja sotsioloogiaga, mis on väljaspool nende teaduslikku kompetentsi. Nende arvates ei saa post-normaalteaduse tegemise viisid viia usaldusväärsete tulemusteni, sest järeldused on tehtud kiirustades ja sageli puudulikest andmetest lähtudes. Viimasel ajal on aga nemadki hakanud post-normaalteadust märkama. Ajakirja *Nature* juhtkiri 1. märtsil 2016 (*Nature* 2016) tõstab esile, et loodusteaduste ja sotsiaalteaduste uudset sümbioosi post-normaalteaduses esitatakse kui teed elu jätkusuutlikkuse poole, kuid seni pole seal läbimurdelisi edusamme olnud. Seetõttu ei maksa kiirustada praeguste teadusprogrammide sulgemisega, ka mitte selliste, mille põhilisteks tulemusteks on olnud artiklid akadeemilistes ajakirjades ja mitte praktilised nõuanded näiteks farmeritele või linnaplaneerijatele. Traditsiooniline uudishimust ajendatud loodusteadus on alus, millele peaksid toetuma ka uued ellujäämisstrateegiad.

3. Tõejärgsus, realism ja antirealism füüsikas

Füüsikat võib pidada normaalteaduse musternäiteks, kus uurimistööd tehakse kindlate teooriate üldistes raamides. Käsitletavad probleemid ei ole siiani nõudnud kiireid lahendusi, mis oleks soosinud post-normaalteaduslike lähenemisviise.

Viimasel ajal aga on siiski tulnud nähtavale ka selliseid vaidlusi, mis toetuvad pigem emotsioonidele ja kujutuspiltidele, mitte aga ratsionaalsetele kaalutlustele ja rangetele teadustulemustele. Neist tuntuim on kliima-

muutuste probleematika, mis kuulub ju põhiliselt atmosfäärifüüsikateaduse valdkonda. Vähem tuntud on kabuhirm, mida õhutati avalikkuses enne suure hadronite põrguti (LHC) töölepanekut 2008. aastal Genfi lähedal tuumauuringute keskuses (CERN): enneolematult suure energiaga prootonite põrked võivad tekitada musti auke, veiderainet või kes teab veel mida, mille edasine käitumine võib kergesti terve maakera hävitada. Õnneks sai toonaseid hirme kiiresti leevendada normaalteaduse raames leitud seletuste populaarteaduslike esituste abil. Nimetada võiks ka tuumaelektrijaamade ga seonduvat, kuid nende ehitamine on aeganõudev ning kiireid ja otsekohet vastust nõudvaid küsimusi pole tõusnud, kui mitte silmas pidada kardinaalset jah/ei küsimust: kas tuumaenergiat üldse kasutada või mitte? Teatavasti otsustas Saksamaa valitsus 2011. aastal loobuda täielikult tuumaelektrijaamadest aastaks 2022.

Tegelikus uurimistöös püüavad füüsikud reeglina püsida normaalteaduse paradigmas ja metodoloogias nii kaua kui vähegi võimalik. Näiteks võib siin tuua gravitatsioonilainete avastamise loo võrdluses kliimamuutuste analüüsiga.

Gravitatsiooniuuringute üldiseks raamiks on olnud Einsteini üldrelatiivsusteooria. Selle valemities nägi gravitatsioonilaineid kirjeldavate lahendite võimalikkust juba Einstein (1916). Kuid möödus peaaegu terve sajand, enne kui gravitatsioonikiirgust õnnestus esmakordselt mõõta laser-interferomeetri LIGO abil 14. septembril 2015. Ametlikult aga teatati avastusest alles 16. veebruaril 2016 (Abbott *et al.* 2016). Vahepealsed viis kuud tegeldi andmetöötlusega ja kontrolliti kõikvõimalikel viisidel, kas tegu ikka oli gravitatsiooniline poolt tekitatud häiritusega või oli selle allikaks mingi muu nähtus. Kui avalikkus oleks tungivalt nõudnud kiiret jah/ei vastust küsimusele gravitatsioonilainete olemasolu kohta, siis küllap oleks sellest teatatud palju kiiremini, võib-olla isegi kohe septembris 2015. Kuid õnneks mingit avalikkuse survet siin polnud ja teadlased said oma analüüsid viia neid rahuldava lõpuni.

Tõejärgse teaduse üks meelisteemasid on kliimamuutuste alased uurinud. Siin on tõesti rohkem teadmatust kui teadmisi, kuid aega normaalteaduse laadseks uurimistööks ei taheta anda. Seetõttu on kliimamuutuste eitajate hulgas mitte ainult poliitikud, vaid ka mõned tunnustatud teadlased. Üks sellistest oli aegridade matemaatilise analüüsi suurepärase asjatundja Olavi Kärner (1942–2016), kes Eesti Füüsika Seltsi aastaraamatus 2001 näitas, et „inimtegevuse jälg (s.t. kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni suurenemise mõju) pole troposfääri keskmises temperatuuris seni ilmnenud. Stratosfääri keskmine temperatuur käitub nagu 1-dim Browni trajektor“ (Kärner 2002, 59). Analüüsinud parimate mõõtmiste tulemusi aastaist 1978–2000, leidis ta, et atmosfääri madalamate kihtide (troposfääri) keskmis-

ne temperatuur on olnud püsiv, kõrgemate kihtide (stratosfääri) keskmine temperatuur küll muutuv, kuid muutuste reas ei ole globaalsele soojenemisele või jahtumisele viitavat püsivat tendentsi, rida koosneb täiesti juhuslikest arvudest. Sellest järeldas ta, et globaalset soojenemist inimtegevuse tagajärjel tema analüüs ei näita. Probleemi geoloogi pilguga vaadates on samale järeldusele jõudnud Anto Raukas, kes on uurinud looduslikke tegureid, mis kujundasid Maa kliimat geoloogilises minevikus. Ta väidab, et inimtegevuse mõju tuleb pidada vaid tühiseks lisanduseks loodusprotsessidele (Raukas 2006).

Kärneri matemaatika poolest perfektne töö on tehtud teatud paradigma raames ja kasutatud kindlat kliimamudelit, mida autor ka ise artikli lõpus tunnustab. Tema tulemused aga ei tühista mitmeid silmnähtavaid tähelepanekuid, nt. polaarjää vähenemist ja liustike sulamist. Kuid need võivad olla argumendiks post-normaalteaduse raames, mitte aga paradigmaatilise loodusteaduse raames, kus kliima soojenemise õigustamiseks on tarvis täpsemaid vaatlusi ja rangemaid kinnitusi. Nende saamine nõuab suurt tööd, aega ja ressursse. Ka ei piisa järelduste tegemisest üheainsa mudeli põhjal, ükskõik kui tõepärastena selle eeldused paistavad. Kindlasti on tarvis erinevate mudelite vaheliste vastuolude ja kooskõlade selgitamist ning mis eriti oluline, arendada ja kontrollida üha laiemat nähtuste piirkonda hõlmavaid mudeleid.

Huvitava aspekti normaalteaduse ja tõejärgsuse vahel tõi esile filosoof Steve Fuller: tema väite kohaselt on ka normaalteadus olemuslikult „tõejärgne“, sest paradigmade vahetus kinnitab, et tõde looduse kohta on tulnud ikka ja jälle kardinaalselt ümber hinnata (Fuller 2016).

Vaatame nüüd lähemalt, kuivõrd õigustatud on normaalteaduse ideaalseks eesmärgiks pidada maailmast tõese kirjelduse saamist. Küsimine: kas tõendused näiteks füüsikas saavad üldse olla piisavad väitmaks, et füüsikateaduse tulemused on tõesed selles mõttes, et kirjeldavad reaalsust? Naiivne usk, et teooriad on otseses vastavuses tegelikult olemasolevaga, pole tänapäeval enam tõsiseltvõetav. Juba Immanuel Kant (1724–1804) põhjendas seisukohata, et maailmas olemasolev on n.ö. asjad iseeneses, mille kohta täiesti täpne teave on meile põhimõtteliselt kättesaamatu. Kuid avalikkuses on ettekujutus loodusteadusest kui tegelikkuse täpsest kirjeldusest endistviisi laialt levinud. Tegevfüüsikute seas on selline realismiks nimetatud seisukoht kindlasti omal kohal heuristilise abivahendina, kuid ei tohi unustada, et füüsikateooriad on mudelid, mille kinnitamine vaatlustest ja katsetest saadud andmassiivide töötlusega ei saa kunagi olla absoluutne. Seega ei saa loodusteaduse eesmärk olla absoluutne tõde — vähemalt mitte tõe vastavusteooria mõttes.

Kaasaegses teadusfilosoofias kohtab nii realistlikke kui antirealistlikke hoiakuid. Ma ei hakka siin andma ülevaadet vastavast ulatuslikust diskussioonist, kuid paljud osalised on jõudnud järeldusele, et kõik, mis on meile uuringuteks kättesaadav, on pelgalt mudelid tegelikkuse kohta, kusjuures võib juhtuda, et valikut põhimõtteliselt erinevate mudelite vahel saab heal juhul teha alles kauges tulevikus, kui üldse saab.

Toon näite gravitatsiooniteoorias, kus praegu arendatavad vaated toetavad pigem antirealism (Kuusk 2016).

On üldiselt teada, et Einsteini üldrelatiivsusteooria valemite kehtivus on ülisuure täpsusega kooskõlas vähemalt nõrgas gravitatsiooniväljas (Päikesesüsteemi piires) tehtud vaatluste ja katsetega. Einsteini teoorias interpreteeritakse raskusjõudu aegruumi kõverusena. On teada, et geomeetrias on üldisel mitteeuclidilisel ruumil kaks erinevat mittetriviaalset omadust — kõverus ja vääne. Kahemõõtmelist kõverat väändeta ruumi esindab näiteks kerapind, kahemõõtmelist väändega tasast ruumi aga ümber posti keerleva keerdrepi pind. Üldrelatiivsusteoorias oletatakse, et füüsikalist tähendust omab aegruumi kõverus ja mitte vääne, mis eeldatakse puuduvat (võrduvat identselt nulliga). Otsides omal ajal teooriat, mis võiks ühistel alustel kirjeldada nii gravitatsiooni kui ka elektromagnetismi, uuris Einstein (1928a; 1928b) võimalust, et aegruum on väändega, kuid ilma kõveruseta. Ta esitas vastavad valemid ja vaatas, kuidas need võiksid kirjeldada teadaolevaid vaatlustulemusi. Kuid võrranditel polnud lahendeid, mis võinuks kirjeldada üksiku massiivse keha, nt. Maa või Päikese raskusvälja, mistõttu ta otsekohe loobus oma ettepanekust.

Hiljuti aga tegi see teooria läbi uuestisünni, sest leiti võimalus formuleerida seda nii, et kõik selle vaatluslikud järeldused langevad ühte hästi kontrollitud üldrelatiivsusteooria omadega. Teadusfilosoofiline realist seisab nüüd valiku ees: kas aegruum, milles me elame, on kõver ja väändeta, nagu väidab üldrelatiivsusteooria, või tasane ja väändega, nagu väidab teooria, mida praegu nimetatakse üldrelatiivsusteooria teleparalleelseks ekvivalendiks (Aldrovandi ja Pereira 2013); teooria nimetus tuleneb sellest, et kõveruse puudumisel saab globaalselt defineerida paralleelsete vektorite välja. Mõlemad teooriad, nii üldrelatiivsusteooria kui ka selle teleparalleelne ekvivalent on elujõulised, sest kõigi vaatluste ja katsetega ühtviisi hästi kontrollitud. Kuid mõttetuks muutub teadusfilosoofilise realismi seisukohalt esitatud küsimus: missugune on siis tegeliku aegruumi geomeetria? Selget vastust ootab siin muidugi ka piltlikest ettekujutustest huvitatud avalikkus. Alljärgnevas kirjeldan füüsikute ebaõnnestunud püüdlusi jõuda vastuseni. Seda saab pidada tõe vastavusteooria läbikukkumiseks, kuid mitte tõejärgse teaduse mõttes, sest tulemuste usaldusväärsus on tagatud vaatluste ja katsetega. Kui loobuda teadusfilosoofilisest realismist, saab olukorda käsitle-

da van Fraasseni (s. 1941) antirealistliku konstruktiivempirismi seisukohalt (van Fraassen 2016). Konstruktiivempirismis väidetakse, et oluline pole mitte teooria tõesus, vaid empiiriline paikapidavus. Nii üldrelatiivsusteooria kui ka selle teleparalleelne ekvivalent on empiirilisel samaväärsed, sest nende vaatluslikud järeldused ühtivad. Kuid edasi küsib van Fraassen, kas teooriate laiendused võiksid anda eelistuse ühele neist teooriatest. Ta toob rea näiteid (van Fraassen 2016, 79–83) ja järeldab, et tema poolt antud tähendustes — kuna van Fraasseni tööd kuuluvad analüütilise filosoofia traditsiooni, püüab ta iga kasutatud mõiste tähendust võimalikult täpselt määratleda — ei saa ka laiendused eristada teooriaid empiirilise sisu järgi, heal juhul saavad seda teha täiendavad pragmaatilised kaalutlused. Allpool toome aga van Fraasseni näidetest erineva, kuid otse füüsikateoretikute uusimatest töödest pärineva näite ja väidame, et sel juhul võiksid kahe empiirilisel samaväärse teooria täiendused põhimõtteliselt eristada neid kahte teooriat, olgugi et praktiliselt ei ole see teostatav.

Nagu öeldud, on üldrelatiivsusteooria vastu pidanud kõik lokaalsed vaatluslikud ja katselised kontrollid, kuid kosmoloogilistes mastaapides tuleb teda täiendada, et saaks teoriasse sobival viisil kirjeldada vaatlustest 1998. a leitud nähtust — universumi kiirenevat paisumist (Einsteini üldrelatiivsusteooria valemitest järeldub, et universumi paisumine peaks aeglustumama). Kuna kosmoloogilised vaatlused praegu ei anna rohkem tugipunkte, kuidas nimelt teooriat täiendada, püütakse lähtuda matemaatikast ja vaadata kõigepealt matemaatiliselt kõige lihtsamaid modifikatsioone. Näiteks üldrelatiivsusteoorias on teooria põhivõrrandid tuletatavad skalaarse kõveruse avaldisest $R(g_{\mu\nu})$, kus $g_{\mu\nu}$ tähistab aegruumi meetrikat. Lihtsaima modifikatsioonina oletatakse, et täiendatud teooria võrrandid võiksid olla tuletatavad sobival viisil määratud funktsiooni f sisaldavast avaldisest $f(R(g_{\mu\nu}))$. Üldrelatiivsusteooria teleparalleelset ekvivalenti modifitseeritakse siis analoogilisel viisil. Esialgses teoorias on põhivõrrandid saadud skalaarse väände avaldisest $T(e_i^\mu)$, kus e_i^μ on aegruumi lokaalse reeperi komponendid. Modifitseeritud teoorias oletatakse, et põhivõrrandid on tuletatavad täiendavat funktsiooni f sisaldavast avaldisest $f(T(e_i^\mu))$. Kuid täpsemad arvutused näitavad, et erinevalt esialgsetest empiirilisel samaväärsetest teooriatest, on neil kahel, matemaatiliselt ühesugusel viisil täiendatud teoorial kosmoloogilistes mastaapides erinevad vaatluslikud järeldused (Cai *et al.* 2016). See näide erineb mõnevõrra van Fraasseni omadest, kus kõne all oli püüd ühendada erinevaid füüsikateooriaid, näiteks käsitleda ühistel alustel mehaanikat ja elektrodünaamikat, või siis laiendada esialgse teooria poolt haaratud nähtuste valdkonda. Meie näites on kahe konkureeriva teooria täienduste esmane alus matemaatiliselt lihtsaimate täiendamisvõimaluste kasutamine, kusjuures täiendatud teooriad ei ole enam matemaatiliselt ekvivalent-

sed. Põhimõtteliselt võiksid nüüd uued vaatlused selgitada, kumb täiendatud teooriatest on empiirilisel paikapidav, kas väändeta ja kõver aegruum või väändega ja tasane; siis võiks sama valiku omistada ka esialgsete, lihtsamate ja täiendamata teooriate kohta, millega võiksime väga täpselt kirjeldada aegruumi Päikesesüsteemis. Kuid selge vastus sõltub siin kosmoloogilistest vaatlustest, mida on vähe ja mis üldiselt on suurte veapiiridega. Realisti seisukohalt „õige“ valikuni võiksime jõuda alles määratu kauges tulevikus, antirealisti seisukohalt aga mitte kunagi, sest ühegi mudeli vaatluslik kinnitus ei saa olla absoluutne. Mõlemal juhul on teadlastel õigus jätkata vaidlusi ja mitte anda kindlat vastust avalikkuse poolt esitatud küsimusele, et „kuidas siis asjad tegelikult on“.

Olukorda võiks võrrelda soojusteooriate omaga 19. sajandi algul, kus samuti konkureerisid kaks põhimõtteliselt erinevat, kuid tol ajal empiirilisel enam-vähem samaväärset teooriat: kineetiline teooria ja soojusvedeliku teooria. Van Fraasseni arvates lahenevad sedasorti dilemmad aja jooksul iseenesest, kui ühes kahest võistlevast teooriast leidub hüpoteese, mis osutuvad olulisteks nähtuste laiemas valdkonnas (van Fraassen 2016, 80). Soojusnähtuste kirjeldamises jäi aja jooksul peale kineetiline teooria, kuid ei ole selge, kas selline „iseeneslik valik“ võiks toimuda ka kosmoloogias.

4. Lõpetuseks

Praegusel, vahel ka tõejärgseks nimetatud ajajärgul mõistetakse loodusteaduse eitamise või mahasalgamise all mõnede teaduses tugevat kinnitust leidnud faktide või printsiipide kahtluse alla seadmist. Kahtlus iseenesest on õhtumaise teaduse lahutamatu osa: igasugune inimlik teadmine võib olla ekslik ning teaduslik meetod sisaldab loomulikult viisil arutlusi ja vaidlusi võistlevate teooriate üle. Kui aga eluterve skeptitsism on asendunud mõne teaduses tõendusi leidnud seisukoha järsu eitamisega, siis tuleb ajendeid otsida pigem mingite teaduseväliste asjaolude seast. Seda võib pidada laiemaks vaateks ühiskonna toimimisele, kus teadus on ju ainult üks komponent, mis ei saa olla iseendasse täielikult suletud süsteem ja mis peabki arvestama ka teaduseväliste asjaolusid. Kuid loodusteadusliku meetodi põhialus on katsete ja vaatluste korratavuse ning teadmiste kontrollitavuse nõue, mis kokkuvõttes peaks andma loodusteaduste tulemustele suure usaldusväarsuse. Usaldusväärseid teadmisi eitada ei ole mõistlik.

Loodusteaduste usaldusväarsus ei eelda tõe vastavusteooriat. Teadusfilosoofiline realism ei ole teadlaste jaoks kohustuslik nõudmine ja mitmesugused antirealistlikud seisukohad lõdvendavad seda ühel või teisel viisil, rikku-mata sealjuures empiirilise paikapidavuse nõuet ja teaduse usaldusväarsust.

Tänapäeval kipuvad teadus, teaduse sotsioloogia ja poliitika omavahel põimuma, eriti sellistes valdkondades, kus otsuseid tuleb vastu võtta kiires-

ti, andmata teadlastele aega põhjalikeks uurimistöodeks. Teaduse seda osa on nimetatud post-normaalteaduseks, et eristada teda nii normaalteadusest kui ka teadusrevolutsioonist Kuhni mõttes. Kuigi tõejärgne ajastu ja post-normaalteadus püüavad äratada suurt tähelepanu, ei tähenda see uusaegse, Kuhni terminoloogia järgi normaalteadusliku loodusteaduse ulatuse ja tähtsuse vähenemist.

Nii normaalteadusesse kuuluval teadusfilosoofilisel antirealismil kui ka post-normaalteadusesse kuuluval teaduse eitamisel on ühiseks tunnuseks skeptiline suhtumine eesmärki kirjeldada maailma „nii nagu see tegelikult on“. Siiski lubab eitajate kirglik võitluslikkus ja muidugi ka silmatorkavalt teaduseväline tagapõhi neid ära tunda.

Tänapäeva teadus on konkurentsipõhine ja õhutab vaidlusi väga erinevate seisukohtade vahel, mida pole võimalik lihtsal viisil ühitada. Sellest siis avalikkuse järeldus, et ega teadlased ise ka ei tea, kuidas on lood tegelikult. Kuid parafraaseerides Churchilli ütlust demokraatia kohta: kaasaegne loodusteadus on halvim mõeldav viis teadmiste hankimiseks, kuid paremat pole kahjuks välja mõeldud.

Tunnustused

Täna anonüümset retsensenti, kelle heatahtlikud märkused ajendasid mind artiklit mõtteselgemaks täiendama.

Kirjandus

- Abbott, B. P. *et al.* (2016). Observation of gravitational waves from a binary black hole merger, *Physical Review Letters* **116**: 061102.
- Aldrovandi, R. ja Pereira, J. (2013). *Teleparallel Gravity: An Introduction*, Springer, Dordrecht.
- Cai, Y.-F., Capozziello, S., De Laurentis, M. ja Saridakis, E. M. (2016). $f(t)$ teleparallel gravity and cosmology, *Reports on Progress in Physics* **79**: 106901.
- Crease, R. P. (2016). Critical point: Fighting science denial, *Physics World* **29**: 23–24.
- Crease, R. P. (2017). Critical point: This time it's different, *Physics World* **30**: 19–20.
- Einstein, A. (1916). Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation, *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse*, lk 688–696.

- Einstein, A. (1928a). Neue Möglichkeit für eine einheitliche Feldtheorie von Gravitation und Elektrizität, *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse*, lk 224–227.
- Einstein, A. (1928b). Riemann-Geometrie mit Aufrechthaltung des Begriffes des Fernparallelismus, *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-Mathematische Klasse*, lk 217–221.
- Nature* (2016). Editorial: Future present, **531**: 7–8.
- Fuller, S. (2016). Science has always been a bit 'post-truth', *The Guardian* **December 15**.
- Funtowicz, S. ja Ravetz, J. (1993). Science for the post-normal age, *Futures* **31**: 735–755.
- Funtowicz, S. ja Ravetz, J. (2003). Post-normal science. International Society for Ecological Economics (toim), *Internet Encyclopedia of Ecological Economics*.
- Galilei, G. (1661). *The systeme of the world: in four dialogues; wherein the two grand systemes of Ptolemy and Copernicus are largely discoursed of*, William Leybourne, London. Tlk Th. Salusbury.
- Køning, N., Børsen, T. ja Emmeche, C. (2017). The ethos of post-normal science, *Futures* **91**: 12–24.
- Kärner, O. (2002). Arvutusi kliima muutlikkusest. P. Kuusk (toim), *Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat 2001*, Tartu, lk 59–76.
- Kuhn, T. (2003). *Teadusrevolutsioonide struktuur*, Ilmamaa, Tartu.
- Kuusk, P. (2016). Physical reality, theoretical physics, and mathematics — 15 years later, *Acta Baltica Historiae et Philosophiae Scientiarum* **4**: 88–97.
- Raukas, A. (2006). Kliima ja teadusmüüdid meie ümber, *Horisont* **4**: 34–39.
- Rossel, C. (2016). Editorial: Science denial, *Europhysics News* **47**: 03.
- Schmidt, F. (2017). Kommentar: Das Glyphosat-Dilemma — Vertrauenskrise der Wissenschaft, *Deutsche Welle* **28.11.2017**.
- van Fraassen, B. C. (2016). *Teaduslik pilt*, Tartu Ülikooli Kirjastus, Tartu.

Post-truth Science and Physics

The post-truth era gained momentum in 2016 during the US presidential campaign when robust rumors and fake news were actively distributed. They included also heavily biased presentations or outright rejection of results of some scientific investigations. The correspondence theory of truth claims that scientific results must perfectly conform to reality, but scientists mostly consider an exact correspondence as an ideal which is not attainable. In the present paper I describe how physicists took notice of the post-truth science and discuss its possible place in Thomas Kuhn's scheme of scientific revolutions. The post-truth science and scientific antirealism both oppose the correspondence theory of truth, albeit rather differently.

Keywords: science denial, post-normal science, scientific realism and antirealism, general relativity and its teleparallel equivalent
