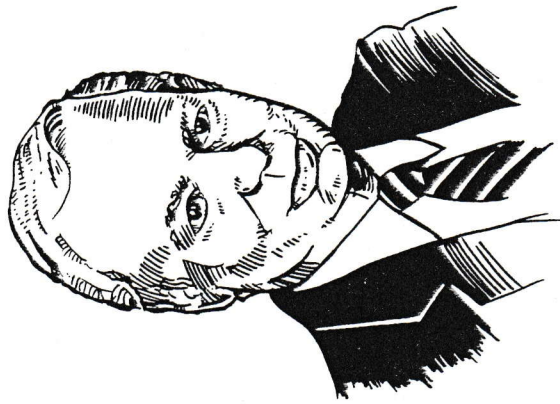


STEVEN WEINBERG

Ár var alda

Íslensk þýðing eftir
GUÐMUND ARNLAUGSSON
með inngangi eftir
EINAR H. GUÐMUNDSSON

TORFI SIGURÐSSON
annaðist útgáftuna



HÍÐ ÍSLENZKA BÓKMENNTAFÉLAG
Reykjavík 1998

LÆRDÓMSRIT BÓKMENNTAFÉLAGSINS

Ritstjóri: Vilhjálmur Árnason

Ár var alda

Rit þetta heitir á frummálinu

The First Three Minutes: A Modern View of the Origins of the Universe
og kom fyrst út hjá Basic Books í New York árið 1977

Bókin er tileinkuð foreldrum höfundar

Þýðingarsjóður styrkti útgáfu þessa rits

ISBN 9979-66-047-3

Öll réttindi áskilin

Copyright © HarperCollins Publishers, Inc. 1998

Published by arrangement by Bengt Nordin Agency

Inngangur © 1998 Einar H. Guðmundsson

Þýðing © 1998 erfingjar Guðmundar Arnlaugssonar

Bók þessa má ekki afrita með neinum hætti svo sem með
ljósmyndun, prentun, hljóðritun eða á annan sambærilegan hátt,
að hluta til eða í heild, án skriflegs leyfis
Hins íslenska bókmenntafélags

Umbrot, prentun, bókband:
Prentsmiðjan Oddi hf.

EFNI

Inngangur 9

Ár var alda 93

Formáli 95

1. Upphafid: Ýmir og Auðhumla 101

2. Þensla alheims 111

3. Örbylgjukliðurinn 158

4. Uppskrift að heitum heimi 198

5. Fyrstu þrjár mínúturnar 228

6. Dálíttill útúrdúr 255

7. Fyrsta andráin 269

8. Lokaorð: Hvað er framundan? 291

Eftirmáli 1993 298

Tafla 1. Eiginleikar nokkurra öreinda 327

Tafla 2. Eiginleikar nokkurra gerða geislunar 328

Rekenikaflar 329

Orðaskýringar 343

Nafnaskýringar 357

Vísir 365

Eftirmáli 375

INNGANGUR¹

I

HÖFUNDUR ÞESSARAR BÓKAR, bandaríski eðlisfræðingurinn Steven Weinberg, er án efa í hópi fremstu vísindamanna samtímans. Með verkum sínum hefur hann meðal annars átt mikilvægan þátt í að móta kenningar og aðferðir í öreindafræði, skammtasviðsfræði og heimsfræði. Auk þess að stunda grunnrannsóknir í kennilegri eðlisfræði hefur hann samið vandadar og áhrifamiklar fræðibækur um almennu afstæðiskenninguna og skammtasviðsfræði. Þá hefur hann skrifað bækur fyrir leikmenn um eðlisfræði sem náð hafa

¹ Skúli Sigurðsson vísindasagnfræðingur fær sérstakar þakkir fyrir gagnlegar ábendingar og skemmtilegar samræður um efni inngangs. Auk hans lásu eftirtaldir menn inngangsdrög á ýmsum stigum og veittu góð ráð: Gunnlaugur Björnsson stjarnfræðingur, Lárus Thorlacius eðlisfræðingur, Vilhjálmur Árnason heimspekingur, Þorsteinn Sæmundsson stjörnufræðingur og Þorsteinn Vilhjálmsson eðlisfræðingur. Hjóta þeir allir bestu þakkir fyrir.

miklum vinsældum og eru almennt taldar með bestu og læsilegustu verkum af því tagi. Á undanförnum árum hefur hann einnig verið einn helsti málsvari öreindafræðinga í opinberri umræðu um eðli og innviði vísinda og vísindarannsóknna. Weinberg hlaut nóbelsverðlaun í eðlisfræði árið 1979 ásamt þeim Abdus Salam og Sheldon Glashow, en verðlaunin fengu þeir fyrir framlög sín til kenningar sem við þá er kennd og gefur sameinada lýsingu á rafsegulkraftinum og veika kraftinum.² Weinberg hefur og verið heiðraður með fjölda annarra verðlauna og heildsúrdoktorsnafnbóta fyrir vísindarannsóknir og ritstörf.

Í eftirfarandi inngangsorðum er fjallað nánar um Weinberg og störf hans. Bókin *Ár var alda* kom í kjölfarið á stórbrotnum framförum í öreindafræði og stjarnedeðlisfræði á árunum 1960 til 1975, og í öðrum kafla inngangs er því stuttlega greint frá þessu mikilvæga tímabili. Jafnframt er sagt frá bók Weinbergs og áhrifum hennar á ungt fólk og aðra samtímamenn. Þriðji kafli er eins konar innskot þar sem rætt er um

² Oft er einnig talað um rafsegulvíxlverkun og veika víxlverkun. Þessir tveir kraftar teljast til hinna fjögurra frumkrafta náttúrunnar. Hinir tveir eru sterki krafturinn (sterka víxlverkunin) og þyngdarkrafturinn. Skýringar á þessum og ýmsum öðrum hugtökum í eðlisfræði er að finna í meginþexta bókarinnar og í orðaskýringum.

útgáfu alþýðlegra rita um heimsmyndina og stöðu þeirra mála á Íslandi. Í fjórða og fimmta kafla er þráðurinn tekinn upp að nýju með lauslegri umfjöllun um nokkra áhugaverða þætti í þróun eðlisfræðinnar á tuttugustu öld, og umræður sem um hana hafa skapast í heimi fræðanna. Þar hefur Weinberg verið virkur þátttakandi á báðum vígstöðvum. Sjötti og síðasti kafli inngangs fjallar svo um þróunina í heimsfræði frá því Weinberg skrifaði efirmála sinn árið 1993.

Steven Weinberg er af gyðingættum og úr bandarískri millistétt. Hann fæddist 3. maí árið 1933 og ólst upp í Bronx-hverfinu í New York. Faðir hans, er starfaði sem réttaritari, hafði fullan skilning á vísindaáhuga sonarins og hvatti hann til dáða. Á uppvaxtarárum Weinbergs var tími almenningstölvunnar og veraldarvefsins með sínum mettandi ofurþunga enn langt undan og að hætti vísindaunglinga þess tíma gerði Weinberg einfaldar efnafræðitilraunir í kjallaranum heima og velti fyrir sér grundvallarspurningum um lífið og tilveruna og stærð og gerð alheimsins. Sjálfur segir hann að alþýðlegar bækur rússnesk-bandaríska eðlisfræðingsins Georgs Gamows, eins af upphafsmönnum kenningarinnar um Miklahvell, hafi haft mikið að segja um þá ákvrörðun sína að leggja stund á kennilega eðlisfræði í háskóla. Eflaust hefur það einnig haft

mótandi áhrif á Weinberg og ævistarf hans að hann gekk í einn besta framhaldsskóla í New York, Bronx High School of Science, þar sem mikil áhersla var lögð á raunvísindi. Skóli þessi hefur menntað marga aðra unglinga, sem síðar urðu þekktir vísindamenn, til dæmis Glashow þann sem áður var nefndur, en hann var skólabróðir Weinbergs í Bronx og einnig í Cornell-háskóla þar sem þeir félagar stunduðu nám í eðlisfræði að loknu framhaldsskólaprófi. Eftir það skildu leiðir um sinn en síðar störfuðu þeir báðir sem prófessorar í eðlisfræði við Harvard-háskóla og deildu nóbelsverðlaunum ásamt þriðja manni eins og áður er getið.

Að loknu BA-prófi árið 1954 kvæntist Weinberg og hélt ásamt brúði sinni, Louise, til Kaupmannahafnar. Þar dvöldust þau í eitt ár á meðan Weinberg stundaði rannsóknir og nám við stofnun Kaupmannahafnarháskóla í kennilegri eðlisfræði. Yfirmaður stofnunarinnar var hinn snjalli danski eðlisfræðingur Niels Bohr, einn af frumherjum skammtafræðinnar og atkvæðamikill talsmaður nýrra hugmynda í eðlisfræði og heimspeki á fyrri hluta tuttugustu aldar. Mikið var um að vera í eðlisfræði í Kaupmannahöfn á þessum tíma. Þar voru þá höfuðstöðvar CERN í kennilegri eðlisfræði og norrænir eðlisfræðingar með Bohr í broddi fylkingar voru að undirbúa

stofnun NORDITA.³ Gestagangur var að venju mikill við stofnun Bohrs og naut Weinberg að sjálfsgöðu góðs af því að umgangast marga af fremstu eðlisfræðingum heims í opnu og einstaklega örvandi umhverfi. Undir venjulegum kringumstæðum verja nemendur á fyrsta ári í framhaldsnámi í kennilegri eðlisfræði mestum tíma í að sækja fyrirlestra og undirbúa sig fyrir próf, en hér gafst Weinberg strax færi á að hefja vinnu við rannsóknir, meðal annars undir leiðsögn sænska eðlisfræðingsins Gunnars Källéns. Það tækifæri greip hann fegins hendi og fyrsta vísindaritmið hans sá dagsins ljós áður en skólaárið var liðið.

Að lokinni ársdvöl í Kaupmannahöfn sneru hjónin aftur til Bandaríkjanna og Weinberg hóf doktorsnám við Princeton-háskóla. Leiðbeinandi hans þar var prófessor Sam B. Treiman sem fékkst einkum við rannsóknir á veiku víxlverkuninni. Náminu lauk Weinberg árið 1957 með ritgerð í skammtasviðsfræði og fjallaði hún um

³ Öreinda- og kjarnaeðlisfræðistofnun Evrópu (CERN) var sett á laggirnar árið 1952. Deild stofnunarinnar í kennilegri eðlisfræði var til húsa við Kaupmannahafnarháskóla fram til ársins 1957 þegar hún var flutt til Genfar. Norræna stofnunin í kennilegri eðlisfræði (NORDITA) var stofnuð formlega árið 1957. Hún hefur frá upphafi verið í Kaupmannahöfn.

notkun svokallaðrar umstuðlunar í kenningum um veika kraftinn.

Eftir doktorspróf starfaði Weinberg fyrst í tvö ár við Columbia háskólann í New York en færði sig síðan yfir á vestrurströndina, til háskólabæjarins Berkeley í Kaliforníu þar sem fjölskyldan bjó á árunum 1959 til 1966. Hann hlaut fjótlega framgang í starf prófessors við eðlisfræðideildina og í Berkeley fæddist einkabarn þeirra hjóna, dóttirin Elizabeth. Á þessum árum hélt Weinberg áfram að glíma við grundvallarspurningar í öreindafræði og skammtasviðsfræði en að auki tók hann að fást við stjarnæðlisfræði og þá einkum spurningar um hegðun fiseinda í alheimi. Til að geta kafað dýpra í stjarnæðlisfræði tók hann að sér að kenna námskeið í almennu afstæðiskenn-ingunni og heimsfræði. Fyrirlestarnir urðu uppistaða hinnar þekktu kennslubókar *Gravitation and Cosmology (Þyngdarafli og heimsfræði)* sem kom út 1972.

Árið 1966 hóf Louise laganám við Harvard-háskóla og fjölskyldan fluttist af því tilefni til Cambridge í Massachusetts.⁴ Weinberg fékk í fyrstu leyfi frá störfum sínum í Berkeley og starfaði sem gestakennari við Harvard og MIT en að því kom, árið 1969, að hann tók við prófessors-

stöðu við MIT.⁵ Fjórum árum síðar flutti hann sig um set og gerðist prófessor við eðlisfræðideildina í Harvard. Þar kom hann í stað hins þekhta eðlisfræðings og nóbelsverðlaunahafa Juliáns Schwingers, sem nokkru áður hafði tekið við stöðu við Kaliforníuháskóla. Samhliða prófessorsstarfinu gegndi Weinberg einnig sérstakri fræðimannsstöðu við Smithsonian rannsóknarstofnunina í stjarnæðlisfræði.

Á Cambridgeárunum vann Weinberg þau vísindastörf sem leiddu til þess að honum voru veitt nóbelsverðlaun. Um er að ræða líkan eða kenningu sem gefur fullkomna lýsingu á rafsegulvíg-vertkun og veikri víxlverkun og gengur almennt undir nafninu Weinberg-Salam-Glashow kenningin eftir höfundum hennar. Kenningin hefur verið staðfest í mörgum tilraunum í öreinda-hröðlum, bæði í CERN rannsóknastöðinni nálægt Genf og einnig í bandarískum hröðlum í Illinois (Fermilab) og Kaliforníu (SLAC). Mikilvægasta grein Weinbergs um þetta efni birtist 1967 og hún mun vera sú rittsmíð innan öreinda-fræðinnar sem mest hefur verið vitnað í síðastlið-in fimm-tíu ár. Hér er ekki rúm til að gera ítar-lega grein fyrir kenningunni, en í stuttu máli má segja að hún lýsi rafsegulkraftinum og veika

⁵ MIT er skammstöfun á *Massachusetts Institute of Technology*.

⁴ Louise starfar nú við lagaskóla í Austin í Texas þar sem þau hjón búa um þessar mundir.

kraftinum sem tveimur mismunandi hliðum á einum og sama frumkraftinum, einskonar rafveikum krafti. Við hið dæmigðra lága orkuástand sem ríkir í náttúrunni í dag verðum við ekki vör við rafveika kraftinn sem slíkan, hann er klofinn í rafsegulkraftinn og veika kraftinn. Hinn sameinadi kraftur kemur hins vegar fram við mun hærri orku, svo háa að hér á jörðinni er nauðsynlegt að nota öfluga öreindahradla til þess að skapa réttar aðstæður. Í sjálfri náttúrunni myndast jafn orkuríkt ástand aðeins í stjörnu-sprengingum eða enn öflugri hamföllum og enn fremur var slíkt ástand til staðar í árdaga í ógnarheitri öreindasúpunni skömmu eftir Miklahvell. Kenning þeirra Weinbergs og félaga er því ekki aðeins mikilvæg í öreindafræði heldur einnig í stjarnedlisfræði og heimsfræði, og hún hefur átt sinn þátt í að skapa nýtt sérsvið sem byggir á samspili þessara fræðigreina og kalla mætti öreindaheimsfræði á íslensku.⁶ Hún er einnig mikilvægur hluti af viðleitni kennilegra öreindafræðinga til að sameina kenningar um víxlverkanir náttúrunnar í eina allsherjarkenningu um efnisheiminn. Á því sviði hefur Weinberg lagt drjúgan skerf af mörkum, ekki aðeins með rannsókn-

⁶ Á ensku: *Astroparticle physics* eða *Particle astrophysics*. Öreindaheimsfræði eru gerð ítarleg skil í megintexta bókarinnar og eftirmála.

um sínum á rafveika kraftinum heldur einnig á sterka kraftinum og kenningum um sameiningu þeirra. Segja má að hann hafi verið einn helsti málsvari sameiningarsinna í hópi eðlisfræðinga og hann hefur ásamt öðrum átt mikilvægan þátt í að þróa þá tækni og þær aðferðir sem notuð eru í skammtasviðsfræði og öreindafræði. Í því sambandi má nefna umstuðlunina sem áður var minnst á, einnig svokallaða straumalgebru og síðast en ekki síst sjálfbrotnar samhverfur. Allt eru þetta tæknileg hugtök, sem ekki verður gerð tilraun til að útskýra hér.

Þau verk Weinbergs sem hér hafa verið til umræðu voru einkum unnin á árum hans við MIT og Harvard. Að hætti vísindamanna birti hann tæknilegar niðurstöður sínar einkum í vísindatímaritum og ráðstefnuritum, en eins og áður er getið kom fræðibók hans *Gravitation and Cosmology* jafnframt út á umræddu tímabili. Bókin er þekkt fyrir sérstaklega skýra og vandaða framsetningu og frumlega umfjöllun um flókið efni. Weinberg nálgast viðfangsefnið frá sjónarhóli öreindafræðinga og vísar þar talsvert frá hinni rúmfræðilegu framsetningu sem einkennir rit höfunda eins og Alberts Einsteins og Stephens Hawkings um svipað efni. Segja má að bók Weinbergs hafi gert almennu afstæðiskenninguna aðgengilega öllum þorra starfandi eðlisfræðinga og frá því bókinn kom út hefur hún alls

staðar þótt ómissandi við háskólakennslu í afstæðiskenningu og heimsfræði. Þá er iðulega vitnað í hana í greinum í vísindatímaritum og flestir þeir stjarnvísindamenn, sem fást við afstæðilega stjarnæðlisfræði og heimsfræði, nota hana sem handbók við vinnu sína.

Á árunum í Cambridge tók Weinberg einnig að skrifa um eðlisfræði fyrir leikmenn. Fyrsta bók hans af því tagi var einmitt *The First Three Minutes (Ár var alda)* sem kom út 1977. Bókin vakti strax verulega athygli og hefur alla tíð notið mikilla vinsælda. Um hana verður nánar rætt síðar. Á árunum í kringum 1980 lagði hann svo drög að verkinu *The Discovery of Subatomic Particles (Öreindirnar uppgötvaðar)*, vandað rit um fyrstu áratuginu í sögu öreindafræðinnar sem út kom 1984. Í bókinni er lögð megináhersla á rannsóknir frumherjanna Josephs J. Thomsons og Ernests Rutherford á innviðum atóma. Þrátt fyrir að bókin sé í senn fræðandi og læsileg þá varð hún fjarri því jafn vinsæl og *Ár var alda*. Það ætti kannski ekki að koma á óvart þar sem efni hennar er ekki jafn nútímalegt og fyrri bókarnar.

Flestar bækur Weinbergs eru að verulegum hluta byggðar á fræðilegum og alþýðlegum fyrirlestur hans, og þær endurspegla mikla hæfni hans sem fyrirlesara og kennara. Fáur eiga jafn auðvelt með að útskýra flókin atriði í vísindum

fyrir stúdentum og leikmönnum og setja hlutina jafnframt í rétt samhengi. Það er þess vegna eftirtektarvert að á ferli sínum hefur Weinberg ekki tekið að sér að leiðbeina mörgum nemum í doktorsnámi. Ekki er að fullu ljóst hvað veldur, en líklega finnst honum tíma sínum ekki vel varið í slíkt uppeldi.

Árið 1982 sagði Weinberg upp stöðu sinni í Harvard og tók við sérstakri prófessorsstöðu við eðlis- og stjörnufræðideildir Texasháskóla í Austin. Deildirnar höfðu um skeið verið mjög sterkar á sviði afstæðilegrar stjarnæðlisfræði og stjörnufræði en ráðning Weinbergs var hluti af átaki skólans til að mynda öflugan hóp sérfræðinga í öreindafræði. Það skipti verulegu máli í þessu sambandi að Texasbúar stefndu að því leynt og ljóst að ná til sín risahraðlinum SSC sem þá var á undirbúningsstigi.⁷ Tæki þetta átti að verða öflugasti agnahraðall allra tíma og ætlunin var að nota það til þess að svara ýmsum mikilvægum spurningum um innstu gerð efnisins. Peningaveltan í kringum smíði og rekstur slíks risatækis skiptir hundruðum milljóna bandaríkjadala á ári og hefur það eflaust átt sinn þátt í áhuga Texasbúa. Eftir margra ára baráttu ýmissa fylkja um verkefnið samþykkti Bandaríkjaþing loks árið

⁷ SSC er skammstöfun á nafninu *Superconducting Super Collider*, er kalla mætti ofurleiðandi risahraðal á íslensku.

1988 að hraðallinn skyldi byggður í Texas. Ekki ríkti þó full samstaða um nauðsyn þess að smíða tækið, hvorki meðal vísindamanna né stjórn-málamanna. Ýmsir áhrifamenn efuðust um mik-
 ilvægi þess og eins mun mörgum hafa blöskrað kostnaðurinn. Eftir harðar og langvarandi deilur kom að því að lokum árið 1993 að hætt var við smíðina. Þá hafði um tveimur milljörðum banda-
 ríkjadala þegar verið eytt í verkið.⁸ Weinberg hafði tekið virkan þátt í baráttunni fyrir smíði hraðalsins og líta má á bók hans frá 1992, *Dreams of a Final Theory (Draumar um hina endanlegu kenningu)*, sem sérstakt innlegg í hana. Þetta framúrskarandi alþýðlega ritverk er einskonar stefnufrýlsing öreindafræðings í fremstu röð og um leið varnarræða manns sem hefur helgað líf sitt leitinni að hinum endanlega sannleik um efnisheiminn. Þegar fram líða stundir verður þetta heimspekilega verk eflaust talið eitt hið mikilvægasta og eftirminnilegasta sem kom út úr hinu annars misheppnaða SSC ævintýri. Bókin hefur og gert það að verkum að víða er nú litið á Weinberg sem einn helsta málsvara eðlisfræðinga

⁸ Fróðlega umfjöllun um sögu SSC er að finna í grein Daniels Kevles „Big Science and Big Politics in the United States: Reflections on the death of the SSC and the life of the Human Genome Project“ í tímaritinu *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 27:2, 1997, bls. 269–297.

í samfélagi fræðanna og sem slíkur hefur hann tekið virkan þátt í opinberri umræðu um vísindi og vísindarannsóknir og stöðu þeirra í samtíman-um.

Weinberg er nú hálfjötugur að aldri en starf-
 ar enn af fullum krafti í Texas. Þrátt fyrir nokkr-
 ar áherslubreytingar á undanförunum árum heldur hann sínu striki í rannsóknnum og árlega berast frá honum greinar um grundvallaratriði í skammtasviðsfræði. Þá hefur hann velt fyrir sér gildinu á hinum svokallaða heimsfasta og beitt þar meðal annars aðferð sem kennd er við mann-
 horf.⁹ Síðast en ekki síst hefur hann nýlega skrif-
 að mikið grundvallarit um skammtasviðsfræði, *Quantum Theory of Fields*, í tveimur stórum bind-
 um. Fyrra bindið kom út 1995 og hið síðara 1996. Er ekki að efa að þetta mikla fræðirit eigi eftir að hafa veruleg áhrif í samfélagi eðlisfræð-
 inga á komandi árum.

Eins og áður er getið hefur Weinberg hlotnast margvíslegur heiður um dagana auk nóbelsverð-
 launanna. Hér er ekki ástæða til að telja upp allar þær viðurkenningar og heiðursdoktorsnafnbætur sem hann hefur hlotið fyrir vísindastörf og rit-
 störf, en þær skipta tugum. Viðurkenningarnar eru áþreifanlegur vitnisburður um það að Wein-

⁹ Nánar er fjallað um mannhorf í eftirmála Weinbergs og einnig í lokakafla inngangs.

berg er almennt talinn einn merkasti og áhrifa-
mesti eðlisfræðingur sem nú er uppi.

II

Tímabilið frá því um 1960 og fram til 1975 er
eitt frjóstasta skeiðið í sögu öreindafræðinnar á
seinni hluta tuttugustu aldar. Á þessum árum
jókst fjöldi öreindafræðinga hröðum skrefum,
fram komu margar mikilvægar tækninýjungar,
og bæði í Evrópu og Bandaríkjunum voru smíð-
aðir öflugir hraðlar til að kanna innsta eðli efnis-
ins.¹⁰ Í kennilegri öreindafræði byggðu menn á
verkum frumherja eins og Richards Feynmans,
Julians Schwingers, Sin-itiros Tomonaga, Free-
mans Dysons og fleiri, sem á árunum frá stríðs-
lokum og fram til 1950 höfðu komið skammta-
sviðsfræðinni til fulls þroska með hinni svoköll-
uðu skammtarafsegulfræði, háþróaðri skammta-
kenningu um rafsegulkraftinn.¹¹ Á sjöunda ára-
tugnum settu þeir Weinberg og félagar fram
skammtakenninguna um rafveika kraftinn eins

og áður er getið, og kenningin var síðan könnuð
í miklum smáatriðum og að lokum staðfest með
tilraunum. Um 1960 beittu Murray Gell-Mann
og Yuval Ne'eman svokölluðum Liegrúpum til
að flokka hinn mikla fjölda öreinda sem fundist
hafði í tilraunum.¹² Flokkunarkerfið gekk undir
nafninu „Hin ártfaldaleið“ og olli nokkrum
þáttaskilum í öreindafræði. Árið 1964 komu svo
Gell-Mann og George Zweig með nýjar hug-
myndir um innviði miðeinda og þungeinda, svo-
kallaða kvarka, og á næstu tíu árum eða svo tókst
öreindafræðingum smám saman að koma fræði-
legum böndum á sterka kraftinn. Sú vinna náði
hámarki á fyrri hluta áttunda áratugarins þegar
skammtalitfræðin svokallaða kom til sögunnar
sem grundvallarkenning um sterku víxlverkun-
ina. Árið 1973 tókst þeim David Gross, Frank
Wilczek og David Politzer að sýna fram á að
kenningin gæfi rétta lýsingu á hegðun kvarka
við mjög háa orku, og eftir það hefur henni verið
beitt með góðum árangri til að útskýra ferli sem
eiga sér stað í háorkutilraunum öreindafræðinga.

Segja má að með tilkomu skammtalitfræðinn-
ar og kenningarinnar um rafveika kraftinn hafi
eðlisfræðingar verið komnir með nær fullkomna
lýsingu á öllum helstu eiginleikum frumkraft-

¹² Liegrúpur eru nefndar í höfuðið á norska stærðfræð-
ingnum Sophus Lie (1842–1899).

¹⁰ Sjá t.d. yfirlitsgrein Guðna G. Sigurðssonar „Tilraunir í
öreindafræði“ í ritinu *Í blutarins eðli. Afmælisrit til beiðurs
Þorbirni Sigurgeirssyni prófessor*. Ritstj. Þorsteinn I. Sigfús-
son. Menningarsjóður, Reykjavík, 1987, bls. 381–400.

¹¹ Skammtarafsegulfræðinni er hvergi betur lýst en í bók-
inni *QED* eftir Feynman sem kom út 1985 og væntanleg
er sem Lærdómsrit. (QED er skammtstöfun fyrir *Quantum
Electrodynamics*.)

anna fjögurra. Tvær síðasttöldu kenningar falla um sterka kraftinn, rafsegulkraftinn og veika kraftinn, en besta kenningin um þyngdar-kraftinn er hins vegar almenna afstæðiskenningin, hin fagra og stórbrötta kenning Einsteins sem hann setti fram í endanlegri mynd á árunum 1915–16.¹³ Sú kenning er hins vegar frábrugðin hinum tveimur að því leyti að hún byggir ekki á skammtafræði. Eðlisfræðingar eru sammála um að slíkt sé í hæsta máta óæskilegt, en þrátt fyrir hetjulegar tilraunir margra snjallra vísindamanna til að útrívka afstæðiskenninguna og gera hana að skammtakenningu hefur það ekki enn tekist. Tilraunirnar tengjast að sjálfsgöðu þeirri viðleitni kennilegra öreindafræðinga að setja fram sameinada lýsingu á öllum öreindum og frumkröftunum fjórum í einni heildarkenningu, eins konar þyngdarskammtafræði. Leitin að slíkri kenningu, fræðilegum lykli að leyndardómum náttúrunnar, á sér langa og merkilega sögu sem ekki verður rakin hér. Á árunum 1973–74 fór

¹³ Fjallað er um undirstöðuatriði kenningarinnar í bók Einsteins, *Afstæðiskenningunni*, sem er eitt af Lærdómsritum Bókmenntafélagsins. Hún kom út í íslenskri þýðingu Þorsteins Halldórssonar, fyrst árið 1970 og aftur í endurskoðaðri útgáfu 1978. Magnús Magnússon ritar inngang um Einstein og verk hans, en þeir Þorsteinn Sæmundsson og Þorsteinn Vilhjálmsson fjalla í eftirmála um staðfestingu kenningarinnar með tilraunum og mælingum.

hún hins vegar að taka á sig þá mynd sem við þekkjum í dag. Á síðasta fjórðungi aldarinnar hefur talsverður fjöldi fræðimanna síðan haldið áfram af fullum krafti að vinna að samþættingartilraunum og nú er svo komið að ýmsir þeirra telja að hin endanlega kenning sé ekki langt undan. Í því sambandi hafa sjónir manna einkum beinst að strengjafraedi og nú síðast að svokallðri M-fræði, flóknum stærðfræðilegum kenningum sem lofa góðu, en enn hefur ekki tekist að finna leiðir til að ganga úr skugga um sannleiksgildi þeirra með tilraunum. Lítillega er vikið að þessu efni í eftirmála bókarinnar, en þeim sem hafa áhuga á því að kynna sér strengjafraedi í meiri smáatriðum má benda á ágæta umfjöllun í draumabók Weinbergs og einnig í bók Hawkings, *Sögu tímans*, er komið hefur út í íslenskri þýðingu sem eitt af Lærdómsritum Bókmenntafélagsins.¹⁴ Þessar nýju og áhugaverðu kenningar

¹⁴ Bók Hawkings frá 1988 kom út í íslenskri þýðingu Guðmundar Arnlaugssonar árið 1990. Í inngangi fjallar Lárus Thorlacius um Hawking og verk hans. Um strengjafraedi má einnig lesa í yfirlitgrein Þórðar Jónssonar „Strengjafraedi. Kenningin um allt eða ekkert?“ í ráðstefnuritinu *Eðlisfræði á Íslandi IV*. Ritstj. Jakob Yngvason og Þorsteinn Vilhjálmsson. Reykjavík, 1989, bls. 173–194. Lítið sem ekkert hefur verið ritað um M-fræði á íslensku enda er þar um tiltölulega nýjar hugmyndir að ræða. Nýleg alþýðleg grein um það efni er „The Theory Formerly

hafa verið talsvert áberandi í vísindalegri umræðu á undanförunum árum. Til að forðast misskilning er því rétt að taka fram að aðeins lítill hluti starfandi eðlisfræðinga stundar rannsóknir á samþættingu frumkraftanna fjögurra. Yfirgnæfandi meirihluti þeirra fæst við allt aðra hluti. Að auki má nefna að ekki eru allir eðlisfræðingar jafn sannfærðir um að leitinn að hinni endanlegu kenningu hljóti óhjákvæmilega að bera árangur.

Samhliða þróuninni í öreindafræði urðu stórstígar framfarir í stjarnæðlisfræði og heimsfræði á árunum 1960 til 1975. Útvarpsstjörnufræðin var þá þegar orðin háþrúð vísindagrein, og tilkoma eldflauga og gervitungla leyfði nú mælingar á geislun sem ekki kemst í gegnum lofthjúp jarðarinnar. Þannig urðu til á skömmum tíma heil ný svið eins og röntgenstjörnufræði og gamma-stjörnufræði. Maarten Schmidt uppgötvaði hið mikla rauðvik í litrófi dulstirnanna árið 1963 og tveimur árum síðar, 1965, uppgötvuðu þeir Arno Penzias og Robert Wilson örbylgjukliðinn, en sá fundur er almennt talinn önnur mesta uppgötvun í heimsfræði á þessari öld, næst á eftir uppgötvun Edwins Hubbles og samstarfsmanna hans á útþenslu alheimsins árið 1929. Jocelyn Bell og Antony Hewish fundu fyrstu tífstjörnu árið

known as Strings" eftir M. J. Duff, sem birtist í tímaritinu *Scientific American* í febrúar 1998, bls. 54-59.

1967 og skömmu eftir 1970 var skýrt frá því að í bandarísku Vela tunglunum, er fylgjast áttu með kjarnorkutilraunum Sovétmanna, hefðu á sjöunda áratugnum mælst dularfullir gammablossar utan úr geimnum.¹⁵ Árið 1971 uppgötvuðu Riccardo Giacconi og samstarfsmenn hans röntgenlagstjörnur með mælingum í Uhuru gervitunglinu, og 1974 fundu Russel Hulse og Joseph Taylor fyrstu tífstjörnu á þéttstæðu tvístirni. Nákvæmar athuganir þeirra á breytingum í tífínu færðu mönnum fyrstu vísbendingarnar um tilvist þyngdargeislunar.

Allar þessar mikilvægu uppgötvanir tengjast fyrirbærum þar sem veruleg orkulosun á sér stað og áhrif þyngdarinnar eru mikil. Almenna afstæðiskenningin fékk því byr undir báða vængi á þessum árum. Hún hafði ekki verið mikið til umræðu í vísindasamfélaginu um all langt skeið, en segja má að hinar nýju uppgötvanir hafi vakið hana af Pytnirósarsvefni. Ýmsir þekktir eðlisfræðingar, sem sumir hverjir höfðu ekki áður verið sérstaklega kenndir við afstæðiskenninguna, tóku nú að beita henni í rannsóknum sínum á furðum himingeimsins. Þannig urðu til nokkr-

¹⁵ Þessar orkumiklu gammahrinur dynja daglega á jörðinni og koma úr öllum átrum. Nýlegar athuganir benda til þess að þær megi rekja til atburða í fjarlægum vetrarbrautum, annað hvort til áreksra tveggja nifteinda-stjarna eða hamfara við myndun svarthola.

ir sterkir rannsóknahópar í afstæðiskenningunni og afstæðilegri stjarnæðlisfræði, meðal annars í kringum Robert Dicke og John Wheeler við Princeton-háskóla, Dennis Sciama við Cambridge-háskóla í Englandi og Yakov Zeldovítsj í Moskvu. Þessir vísindamenn, nemendur þeirra og samstarfsmenn, áttu verulegan þátt í að þróa framsæknar hugmyndir um sprengistjörnur og þyngdarhrun, nífteindastjörnur, svarthol og dulstirni sem og önnur háorkufyrirbæri í geimnum, framandi fyrirbæri á þeim tíma en nokkuð sem allir kannast við í dag. Þó að þessi kynslóð vísindamanna hafi að sjálfsgöðu notið góðs af ríkullegri arfleifð forvera sinna þá er ljóst að hún mótaði einnig í öllum aðalatriðum mynd nútímans af alheimi, þar á meðal kenninguna um heitan Miklahvell.

Hin vísindalega umræða þessa tímabils fór fram með venjubundnum hætti í vísindatímaritum, á ráðstefnum og við háskólastofnanir. Niðurstöður rannsókna birtust einnig tiltölulega fljótlega í vönduðum fræðiritum sem enn í dag eru talin grundvallarit. Flest þeirra komu út á árunum 1971 til 1975 og eru þau enn notuð við háskólakennslu um heim allan. Áður hefur verið getið um bók Weinbergs frá 1972, *Gravitation and Cosmology*, en um svipað leyti komu einnig út í Bandaríkjunum öndvegisritin *Physical Cosmology* (*Eðlisfræði alheims*) eftir James Peebles

og *Gravitation* (*Þyngdaraflið*) eftir Charles Misner, Kip Thorne og John Wheeler. Í Englandi kom út rit þeirra Stephens Hawkings og Georges Ellis *The Large Scale Structure of Space-time* (*Stórgerð tímarúmssins*) og í Sovétríkjunum tveggja binda stórvirki, *Relyativistskaya Astrofizika* (*Afstæðileg stjarnæðlisfræði*), eftir Yakov Zeldovítsj og Igor Novikov. Að sjálfsgöðu komu út fleiri fræðirit um afstæðilega stjarnæðlisfræði og heimsfræði á þessum árum en þessi eru þau mikilvægustu. Þó er vert að nefna einnig í þessu sambandi áhrifamikla bók eftir Dennis Sciama, *Modern Cosmology* (*Heimsmynd nútímans*), sem út kom árið 1971 og er mitt á milli þess að vera kennslubók og alþýðlegt yfirlitsrit um heimsfræði.

Fréttir af hinum nýju uppgötvunum í öreindafræði og stjarnæðlisfræði bárust til almennings eftir hefðbundnum leiðum. Frásagnir birtust í blöðum og tímaritum, en einnig í öðrum fjölmiðlum eins og útvarpi og sjónvarpi. Útskýringar fræðimanna á hinum nýju fyrirbærum fylgdu oftast fréttaskeytum og ýmsir þeirra reyndu jafnframt að veita ítarlegri upplýsingar með því að láta taka við sig viðtöl, halda erindi fyrir leikmenn og skrifa stuttar alþýðlegar greinar í blöð og tímarit. Fyrstu vönduðu alþýðlegu greinar í blöðum um hinar nýju uppgötvunar fóru síðan að koma út á árunum 1976 til 1977. Flestar þeirra lögðu

meigináherslu á furðufyrirbæri í geimnum, svo sem svarthol og dulstirni, en þær fjölluðu jafnframt í nokkrum smáatriðum um útþenslu alheimsins og Miklahvellskenninguna. Þetta gerði það að verkum að í flestum tilvikum var mun meira rúmi verið til þess að segja frá grundvallaratriðum afstæðiskenningarinnar en niðurstöðum tilsvarendi kenninga um skammtafræði öreinda. Væntanlega skiptir máli í þessu sambandi að talsvert erfiðara er að útskýra hina furðulegu skammtaeginleika öreinda en að lýsa stórbrotnum hugmyndum um þyngdarhrun, sveigð rúm og þróun alheimsins. Ein bókanna skar sig þó mjög úr hvað þetta varðar. Það var bókin *Ár var alda* eftir Weinberg, en eins og áður sagði kom hún upphaflega út í Bandaríkjunum árið 1977. Þetta var fyrsta bókin þar sem gerð var alvarleg tilraun til að kynna almenningsfræðisögu efnisins allt frá fyrstu sekúndubrotunum eftir Miklahvell fram til okkar daga. Vinsældir bókarinnar sýna að Weinberg tókst þetta einstaklega vel og bókin hefur verið endurprentuð nokkrum sinnum, síðast árið 1993. Hún hefur og verið þýdd á meira en tuttugu tungumál. Bókin er almennt talin tímamótaverk á sviði almenningsfræðslu um öreindafræði og heimsfræði og hún hafði jafnframt mikil áhrif, ekki aðeins á leikmenn heldur einnig á starfandi vísindamenn og ekki síst á ungt fólk í háskólum

víða um heim.¹⁶ Ýmsir vísindamenn á sviði stjarnfræðisfræði og heimsfræði, sem nú eru á miðjum aldri, hafa einmitt látið þess getið að bókin hafi haft mikil áhrif á þá ákvörðun þeirra að leggja fyrir sig þessi vísindi.

Í lýsingu sinni á fyrstu mínútunum í þróunarsögu alheimsins fjallar Weinberg um atburðarásina á mjög skýran og aðgengilegan hátt án þess að þar gæti ónákvæmni eða of mikillar einfeldunar, en slíkt er ekki á færi annarra en þeirra sem gjörþekkja efnið og bera fyrir því viðhlítandi virðingu. Hann talar ekki niður til lesandans eins og vísindamönnum hættir stundum til að gera, enda segist hann í formála sjá fyrir sér lesandann sem „gamlan og slyngan málafærslumann sem er óvanur mínum hugmyndaheimi, en ætlast þó til að honum séu lagðar sannfærandi röksemdir í hendur áður en hann gerir upp hug sinn“. Lesandinn nýtur því leiðsagnar Weinbergs um refilstígu eðlisfræðinnar án þess að rekast á eina einustu stærðfræðiformúlu. Eina hjálpartækin sem höfundur notar eru línurit, töflur og

¹⁶ Til gamans má geta þess hér að Gunnar Dal rithöfundur hefur greinilega verið búinn að kynna sér bók Weinbergs, þegar hann samdi ritin *Heimsmynd okkar daga* (1983) og *Hin vísindalega heimsmynd* (1992), eins og hann getur reyndar um sjálfur. Margt er þó fært í talsvert annan búning hjá Gunnari og túlkað með öðrum hætti en hjá Weinberg.

ljósmyndir. Til að koma til móts við þá sem vilja glíma við meiri torfærur er hins vegar bætt við sérstökum reikniköflum í bókarlok.

Í bókinni er fléttað saman vísindalegum útskýringum og sagnfræði á skemmtilegan og nýstrálegan hátt. Weinberg varð fyrstur til að fjalla ítarlega um uppgötvun örbylgjukliðsins og tengja hana skrautlegri sögu rannsókna á heitum frumheimi. Þar skiptir einna mestu að hann benti á mikilvægt framlag kenninga eðlisfræðingsins Georgs Gamows og samstarfsmanna hans, þeirra Roberts Hermans og Ralphs Alphers, á árunum í kringum 1950. Þessir þrjú vísindamenn framkvæmdu fyrstu nákvæmu útreikningana á eðli og þróun frumheims innan vébanda kenningarinnar um Miklahvell og spáðu fyrir um tilvist örbylgjukliðsins. En áhugi annarra vísindamanna á þessum rannsóknum var lítill, og þegar geislunin var uppgötvuð árið 1965 hafði verk þeirra féлага því sem næst fallið í gleymsku. Aðrir hlutu því í fyrstu allan heiður af því að útskýra mælingar þeirra Penzias og Wilsons. Gamow var því miður látinn þegar bók Weinbergs kom út en hún gerði það að verkum að þeir Herman og Alpher hlutu báðir verðskuldaða viðurkenningu í lífanda lífi. Áhugaleysi vísindasamfélagsins á útreikningum þremminganna á eðlisástandi frumheims hafði á sínum tíma orðið þess valdandi að bæði Herman og Al-

pher hættu rannsóknum í heimsfræði og sneru sér að hagnýtari viðfangsefnum. Herman fór að vinna hjá bílaframleiðandanum General Motors og Alpher hjá raftækjaframleiðandanum General Electric. Saga þessi er öll hin furðulegasta og það er fyrst og fremst Weinberg og *Ár var alda* að þakka að hún komst í hárnæli.

Þegar lítið er til baka má sjá að eitt merkasta framlag bókarinnar var það að hún færði allri heimsbygðinni áreiðanlegar og sannfærandi fréttir af mikilvægi örbylgjukliðsins og útskýrði fyrir leikum jafnt sem lærdum hvernig tilvist hans tengist hinu ógnarheita og ofurþétta ástandi frumheims. Það er sennilega engin tilviljun að þeir Penzias og Wilson fengu nóbelsverðlaun fyrir uppgötvun sína ári eftir útkomu bókarinnar og ári áður en Weinberg hlaut þau sjálfur fyrir rannsóknir á rafveika kraftinum.

Þó að mikið vatn hafi til sjávar runnið frá því bók Weinbergs kom fyrst út þá hefur hún staðist tímans tönn ótrúlega vel. Weinberg hefur óvenju gott auga fyrir þeim atriðum sem máli skipta og þrátt fyrir miklar framfarir á sviði öreindafræði og stjarnfræði á undanföllum tuttugu árum, hefur sú vísindalega heimsmynd, sem hann lýsir í bókinni, lítið sem ekkert breyst í öllum aðalatriðum. Að sjálfsögðu er sífellt verið að gera nýjar og spennandi uppgötvanir, og hugkvæmni vísindamanna við kenningasmíð virðast lítil sem

engin takmörk sett. En hinar nýju uppgötvanir fylla í eyðurnar og bæta við þekkinguna frekar en að þær umturni þeirri heimsmynd sem mótuð var á árunum 1960 til 1975.¹⁷ Hvort sú þróun heldur áfram er að sjálfsgöðu ekki vitað á þessari stundu.

III

Eins og áður er getið sló *Ár var alda* í gegn á alþjóðlegum bókamarkaði. Efni bókarinnar höfðaði greinilega til almennings og hvort sem það er því eða einhverju öðru að þakka þá hefur orðið gífurlegur vöxtur í útgáfu alþýðlegra fræðslurita um eðlisfræði og stjörnufræði á þeim árum sem liðin eru frá útkomu bókarinnar. Um margra ára skeið hafa komið út nokkrar bækur á ári um hið allra nýjasta í þessum fræðum, efni sem stundum er svo nýtt að prentsvertan er ekki enn þornuð á vísindaritgerðunum þar sem formlega er fjallað um hinar nýju uppgötvanir og tilgátur. Jafnframt hefur áhugi á sögu fræðanna aukist verulega. Sum þessara rita eru skrifuð af blaðamönnum með misjafnlega mikla vísindalega menntun, en flest þó af vísindamönnum og háskólakennurum. Þegar hefur verið minnst á draumabók

¹⁷ Nánar verður rætt um ýmsar nýjungar í heimsfræði í lokakafla inngangs. Sjá einnig eftirmála Weinbergs sjálfs sem saminn var 1993.

Weinbergs frá 1992 og *Sögu tímans* eftir Hawking frá 1988. Meðal margra annarra virtra vísindamanna, sem á undanförunum árum hafa gefið út vönduð alþýðleg rit um heimsmynd eðlisfræði og stjörnufræði, má nefna enskumælandi höfundu eins og Martin Rees, Leon Lederman, David Schramm og Joseph Silk og síðast en ekki síst þá John Barrow og Paul Davies sem hvað ötulastir hafa verið við skrifirnar.¹⁸

Erlendis ríkir löng hefð fyrir því að fræðimenn skrifi bækur fyrir leikmenn um niðurstöður vísindarannsókna og setji þær í rétt sambengi. Á þessari öld rituðu flestir ef ekki allir frumherjar skammtafræðinnar og skammtasviðsfræðinnar um fræði sín fyrir almenning og sérfræðingar í afstæðiskenningunni, þar á meðal Einstein sjálfur, létu ekki sitt eftir liggja. Meðal stjarnvísindamanna er einnig löng hefð fyrir því að kynna leikmönnum niðurstöður rannsókna í stjörnufræði og heimsfræði jafnóðum og þær liggja fyrir. Sem dæmi má nefna alþýðlegar bækur ensku stjarnfræðinganna James Jeans og Arthurs Eddingtons, en þær nutu gífurlegra vinsælda um heim allan á fyrri hluta aldarinnar fyrir skýra og skemmtilega framsetningu. Svipaða sögu er að segja af bókum þeirra Freds Hoyles og Georgs

¹⁸ Engin rit eftir þessa höfunda hafa enn verið þýdd á íslensku.

Gamows, en þeir ágætu heiðursmenn deildu hart um heimsmynd stjarnvísinda um miðbik aldarinnar. Enginn þessara fjögurra nafngreindu vísindamanna einskorðaði sig þó við heimsfræðina í bókum sínum. Allir skrifuðu þeir um nýjungar í eðlisfræði jafnt sem stjörnufræði og krydduðu frásagnir sínar með heimspekilegum vangaveltum. Núlifandi fræðimenn eins og Weinberg og Hawking sem og aðrir þeir er nú skrifa bestu bækurnar um heimsmyndina hafa haldið áfram á þeirri braut.

Á Íslandi er staða alþýðufræðslu í raunvísindum með nokkuð öðrum hætti en gengur og gerist í hinum vestræna heimi. Þetta er sérstaklega áberandi í greinum eins og eðlisfræði og stjörnufræði þar sem lítið er til af vönduðu frumsömdu efni á íslensku um það nýjasta í fræðunum. Fyrir þessu eru ýmsar ástæður, svo sem smæð þjóðarinnar og lítill markaður, en einnig skiptir miklu að þessar vísindagreinar eiga sér ekki langa sögu hér á landi sem fullgildir meðlimir í samfélagi fræðigreina. Reyndar hafa ávallt verið uppi á Íslandi menn sem voru vel að sér í þessum greinum, og nokkrir Íslendingar lögðu stund á þær í háskóla á fyrri hluta tuttugustu aldar. Það leiddi meðal annars til þess að undirstöðuatriði eðlisfræði og stjörnufræði voru kennd í íslenskum menntaskólum, og þegar verkfræðinám hófst við Háskóla Íslands árið 1940 var eðlisfræði ein

kennslugreina. Hún styrktist verulega í sessi með ráðningu Trausta Einarssonar í embætti prófessors árið 1945, en það var samt ekki fyrr en 1957, sama árið og Steven Weinberg lauk doktorsprófi frá Princeton, sem eðlisvísindin náðu raunverulegri fótfestu í íslensku vísindasamfélagi. Það ár var Þorbjörn Sigurgeirsson skipaður fyrsti prófessorinn í eðlisfræði við Háskóla Íslands og hann kom Eðlisfræðistofnun Háskólans á laggirnar skömmu síðar. Raunvísindastofnun Háskólans, þar sem frá upphafi hafa verið stundaðar rannsóknir í eðlisfræði, efnafræði, jarðvísindum og stærðfræði, tók svo til starfa 1966, einu ári eftir uppgörvun örbylgjukliðsins. Íslenskar háskólarrannsóknir í stjarnvísindum eiga sér enn styttri sögu. Meðal annars af þessum ástæðum og eins vegna mannfæðar hafa íslenskir eðlisfræðingar og stjarnfræðingar lagt megináherslu á það í störfum sínum að byggja upp kennslu og rannsóknir við Háskólann. Að sjálfsögðu hafa margir þeirra jafnframt kynnt almenningi fræði sín í hjáverkum, meðal annars með fyrirlesturum og útvarps-erindum sem og viðtölum og greinum í blöðum og tímaritum, en viðamikil bók um heimsmynd nútíma vísinda hefur ekki verið samin. Nokkrir fræðimenn hafa þó skrifað kennslubækur í eðlisfræði og skyldum greinum fyrir hin ýmsu skólastig, allt frá grunnskóla til háskóla, og sumir þeirra hafa einnig þýtt bækur um svipuð efni. Þá

eiga háskólamenn kafla í alfræðibókum og samritum af ýmsu tagi og á síðustu tveimur árum hafa komið út viðamikil orðasöfn um eðlisfræði, stjörnufræði og stærðfræði, mikilvægir sjóðir sem ættu að koma að góðum notum við þýðingar og önnur ritstörf í framtíðinni.¹⁹

Þrátt fyrir þær skorður, sem mannfæð og fjarlægð frá vettvangi vísindalegrar umræðu hafa löngum sett okkur Íslendingum, þá hafa ýmsar bækur verið gefnar út á íslensku um heimsm mynd vísindanna. Yfirgnæfandi meirihluti þeirra eru þýðingar eða endursagnir erlendra bóka en í örfáum tilvikum er um frumsamin íslensk verk að ræða. Fyrsta dæmið um alþýðlegt rit um þetta efni er væntanlega þýðing þeirra Guðmundar Þorgrímssonar og Sveins Pálssonar á bókinni *Undirvísan í náttúruhistoríunni* eftir Anton Büsching, sem birtist í Ritum Lærdómslistafélagsins á árunum 1781 til 1794, og gefur gott yfirlit yfir náttúruvísindi síns tíma. Jón Jónsson hinn lærði þýddi annað ágrip af náttúrufræði, ritið *Sá gæðlega þenkjandi náttúruskóðari* eftir

¹⁹ Orðasöfnin eru: *Orðaskrá um eðlisfræði og skýldar greinar*. Orðanefnd Eðlisfræðifélags Íslands. Reykjavík, 1996; *Ensk-íslensk og íslensk-ensk orðaskrá úr stjörnufræði með nokkrum skýringum*. Orðanefnd Stjarnvísindafélags Íslands. Reykjavík, 1996; *Ensk-íslensk stærðfræðiorðaskrá ásamt íslensk-enskum orðalykli*. Orðanefnd íslenska stærðfræðafélagsins. Reykjavík, 1997.

danska fræðimanninn Peter Suhm, sem kom út í Leirárgörðum árið 1789. Fyrri parturinn af *Almenntri landaskipunarfræði* kom út 1821 og í innangangi fjalla þeir Grímur Jónsson og Þórður Sveinbjörnsson nokkuð ítarlega um jarðfræði og stjörnufræði. Tuttugu árum síðar, eða 1842, birtist svo *Njóla* Björns Gunnlaugssonar, stórmerkt heimspækilegt trúarljóð um heimsmyndina sem vakti mikla athygli og kom út í nokkrum útgáfum. Hið sama ár leit snilldarþýðing Jónasar Hallgrímssonar á *Stjörnufræði* Georgs Ursins einnig dagsins ljós. Á seinni hluta nítjándu aldar fóru síðan að birtast þýddar kennslubækur um frumatriði eðlisfræði, stjörnufræði og annarra raunvísinda, upphaf hefðar sem enn er við lýði. Árið 1889 þýddi Björn Bjarnason *Úraníu* eftir Camille Flammarion, mjög vinsæla bók sem fjallar á skáldlegan hátt um heimsm mynd stjarnvísinda í aldarlok.

Á fyrri hluta þessarar aldar komu út, auk kennslubóka, nokkur rit um heimsmyndina sem eflaust hafa haft talsverð áhrif. *Vetrarbraut* Ásgeirs Magnússonar frá 1926 fjallar um stjörnufræði eins og nafnið gefur til kynna. Sama ár kom einnig út ágæt bók Ágúst H. Bjarnasonar um svipað efni, *Himingeimurinn*, yfirlitrit byggt á þýskri bókaröð kenndri við Kosmos frá árunum 1888 til 1917. Ágúst ræðir einnig um nýjungar í eðlisfræði og stjörnufræði í *Heimsm mynd vísindanna*

frá 1931 þar sem hann styðst mjög við bækur þeirra Jeans og Eddingtons. Að öðrum ritum ólöstuðum er þó eitt merkasta ritið frá þessum tíma án efa bók Björns Franzonar, *Efnisheimurinn*, sem út kom árið 1938. Hún fjallar um heimssýn eðlisfræðinnar í byrjun tuttugustu aldar og þar segir frá nokkrum frumatriðum afstæðiskenningar og skammtafræði.

Frá lokum seinni heimsstyrjaldarinnar hafa komið út allmörg þýdd verk er fjalla með einum eða öðrum hætti um heimsmýnd nútíma eðlisvísinda. Sem dæmi má nefna kafla í safnritinu *Undur veraldar* frá 1945, sem Harlow Shapley og fleiri ritstýrðu og Mál og menning gaf út. Árið 1947 komu út tvær bækur um atóm- og kjarn-eðlisfræði: *Á morgni atómaldar* eftir Helge Tyrén í þýðingu Ólafs Björnssonar og *Kjarnorka á komandi tímum* eftir David Dietz sem Ágúst H. Bjarnason þýddi. Einn ötulasti þýðandi landsins á þessum árum var rithöfundurinn og tónlistarkennarinn Hjörtur Halldórsson. Hann þýddi meðal annars hina þekktu bók Hoyles, *Uppruna og eðli alheimsins*, sem út kom 1951 og vakti mikla athygli. Þá endursagði Hjörtur bókina *Þættir úr ævisögu jarðar* eftir Gamow árið 1954 og þremur árum síðar, 1957, kom út þýðing hans á *Heiminum okkar*, fallega myndskreyttri bók frá Time-Life fyrirtækinu sem Almenna Bókafélagið gaf út. Hún fjallar meðal annars um stjörnu-

fræði. Heimsmýndin er til umræðu í bók Kenneths Gatlands og Dereks Dempsters, *Líf í alheimi*, sem Sören Sörenson þýddi 1958 og jafnframt í ritinu *Framtíð manns og heims* eftir Pierre Rousseau, sem Broddi Jóhannesson þýddi og út kom árið 1962. Í þessu sambandi er einnig ástæða til að minnast á *Alfræðisafn Almenna bókafélagsins*, sem kom út í 21 fallega myndskreyttri bók á árunum 1965–68. Safnið var hluti af alþjóðlegri útgáfu Time-Life fyrirtækisins á bókum um vísindi og tækni. Þá má minna á þýðingu Ara Trausta Guðmundssonar frá 1982 á bókinni *Alheimurinn og jörðin* eftir N. Ardley og fleiri. Ari gaf einnig út *Ferð án enda*, alþýðlegt fræðslurit um stjörnufræði, árið 1992.

Upptalningin hér að framan gefur að sjálf-sögðu ekki tæmandi lýsingu á öllu því efni sem birst hefur á íslensku um heimsmýnd raunvísinda á undanförunum árum, áratugum og öldum.²⁰ Hins vegar er alveg ljóst að samanburður

²⁰ Sem dæmi má nefna að ýmsar fróðlegar greinar um heimsmýnd stjörnufræði og eðlisfræði hafa birst í íslenskum ritgerðasöfnum, ráðstefnuritum og tímaritum í gegnum tíðina. Hér verður aðeins bent á örfáar slskar rit-smíðar eftir íslenska fræðimenn frá seinni helmingi þess-
arat aldar: „Hugmyndir manna um alheiminn fyrr og nú“ eftir Trausta Einarsson. Í bókinni *Vísindi nútímans*. Ritstj. Símon Jóh. Ágústsson. Reykjavík, 1958, bls. 27–51; „Um eðlisfræði“ eftir Þorbjörn Sigurgeirsson. Í bók-

við nágrannaþjóðir er okkur óhagstæður hvað varðar útgáfu slíkra rita, og hin íslenska vísindabókaflóra er því miður allt of fátækleg á þessu sviði. Tilkoma hinna nýju orðasafna í eðlisfræði, stjörnufræði og stærðfræði verður vonandi til þess að bæta verulega ástandið í þessum efnum á komandi árum.

En þó að ástandið mætti vera betra má ekki gleyma því sem vel er gert. Framlag Hins íslenska bókmenntafélags til þessa málaflokks hefur til dæmis verið ómetanlegt. Eins og þegar hefur verið minnst á gaf félagið út *Afstæðiskenninguna* eftir Einstein fyrir tæpum þrjátíu árum. Í bókinni ræðir merkasti eðlisfræðingur tuttugustu aldar um undirstöður kenninga sinna um rúm, tíma og þyngd og lýsir nokkrum niðurstöðum þeirra í smáatriðum. Með bókinni var bætt úr brýnni þörf, því lítið sem ekkert hafði

inni *Vísindin efla alla dæð*. Ritstj. Kristján Eldjárn, Ólafur Bjarnason og Sigurður Þórarinnsson. Reykjavík, 1961, bls. 315–330; „Drög að heimsmynd nútímans“ eftir Þóstein Sæmundsson. *Náttúrufræðingurinn*, 1.–2. hefti 1966, bls. 48–84; „Íður atómanna“ eftir Örn Helgason. *Almanak hins íslenska Þjóðvinnufélags* 1967, bls. 103–112; „Hvað er öreind?“ eftir Þórð Jónsson. *Náttúrufræðingurinn*, 1. hefti 1985, bls. 31–39; „Heimsmynd stjarnvísinda: Sannleikur eða skáldskapur?“ eftir Einar H. Guðmundsson. Í bókinni *Er vit í vísindum?* Ritstj. Andri S. Björnsson, Torfi Sigurðsson og Vigfús Eiríksson. Reykjavík, 1996, bls. 39–68.

verið fjallað um almennu afstæðiskenninguna á íslensku fram að þeim tíma. Árið 1990 kom svo út hjá félaginu *Saga tímans* eftir Hawking, einn af helstu arftökum Einsteins. Bókin er í senn skemmtileg og fróðleg hugvekja um þróun afstæðiskenningarinnar á undanförunum áratugum og áhrif hennar í stjarnfræðisfræði og nútíma heimsfræði. Hawking fjallar einnig í nokkrum smáatriðum um skammtakenningar og nýlegar tilraunir til sameina þær og almennu afstæðiskenninguna í eina allsherjarkenningu. Í því sambandi ræðir hann jafnframt um svokallaða skammtaheimsfræði, áhugaverða nýja fræðigrein, sem hann hefur sjálfur átt mikinn þátt í að móta.

Með útgáfu bókarrinnar *Ár var alda* eftir Steven Weinberg hefur Hið íslenska bókmenntafélag enn bætt úr brýnni þörf, í þetta skiptið á vandaðri umfjöllun á íslensku um öreindafræði og öreindaheimsfræði. Ásamt *Sögu tímans* og *Afstæðiskenningunni* myndar bók Weinbergs styrkan og efnismikinn grundvöll fyrir frekari umræðu hér á landi um hina vísindalegu heimsmynd og stöðu hennar í menningu samtímans.

IV

Eðlisfræði í skilningi nútímans er afsprengi vísindabyltingarinnar á sautjándu öld, þó að greinin eigi sér vissulega rætur í enn fjarlægari fortíð sem hluti af almenntri náttúruspeki. Stjörnufræði

er hins vegar mun eldri og jafnan talin elst raunvísinda. Saga þessara greina er vörðud mikilvægum uppgötvunum og uppfirringum og ekki síður áhrifamiklum kenningum og hugmyndum. Ýmsa þræði í hugmyndum nútímamanna um alheiminn má þannig rekja aftur í gráa forneskju, og ljóst er að þróun raunvísinda á tuttugustu öld hefði verið óhugsandi án framlags vísindamanna og hugsuða fyrri alda.²¹ Hins vegar fer ekki á milli mála að heimsmynd nútímans er í öllum meginatriðum afrakstur vinnu mikils fjölda vísindamanna á þeirri öld sem nú er að ljúka. Einn hver mesta vísindabylting allra tíma átti sér stað á fyrri helmingi aldarinnar með tilkomu afstæðiskenningar og skammtafræði, sem meðal annars byggðu á niðurstöðum margra merkra tilrauna. Rannsóknir á stjörnum og stjörnukerfum gjörbyltu hugmyndum manna um alheiminn og leiddu til þeirrar uppgötvunar að við búum í gríðarlega stórum heimi í útþenslu. Skammtafræðin opnaði upp á gátt hinn örsmáa heim atóma, atómkjarna og öreinda og gerði vísindamönnum jafnframt kleift að skilja hvað gerist þegar slíkar agnir koma saman og mynda stærri heildir, hvort heldur það eru sameindir, ískristallar, smurolía eða segulstál, eða framandi efnis-

²¹ Sjá t.d. tveggja binda verk Þorsteins Vilhjálmssonar, *Heimsmynd á bverfanda bveli*. Reykjavík, 1986–87.

fyrirbæri eins og rafgas. Þessi þekking hefur síðan leitt til smíði nýrra efna og efnasambanda, sannkallaðra töfraefna með sérstaka eiginleika, sem ekki er að finna í náttúrunni. Svo til öll hátækni nútímans hvílir á þekkingu manna á eiginleikum náttúrulegra og sérsmíðaðra efna, og því má segja að áhrifa hagnýttar skammtafræði gæti vítt og breitt í mannlegu samfélagi.²²

Ein mikilvægasta afleiðing þessarar þróunar hefur birst í smíði sífellt nákvæmari mælitækja til alls kyns vísindarannsókna. Þar hafa öll raunvísindi notið góðs af og ekki síst stjörnufræði og öreindafræði. Hinar stórstígu framfarir í þessum greinum á árunum 1960 til 1975 byggðust meðal annars á nýrri tækni og frjóu samspili tilrauna, athugana og kenninga, en slíkt samspil er aðalsmerki allra sannra vísinda. Þessi þróun hefur síðan haldið áfram, sérstaklega í stjarnvísindum þar sem nýjustu hátæknisjónaukum og gervitunglum er beitt til sífellt nákvæmari og fullkomnari rannsókna á fyrirbærum himingeimsins. Ekki má heldur gleyma tölvunum, sem eru órjúfanlegur hluti hátækninnar og hafa skipt

²² Í dag er vaxtarbroddinn á þessu sviði að finna í efnafræði og innan þeirrar sérgreinar eðlisfræðinnar sem á íslensku er kölluð eðlisfræði þéttfnis (*condensed matter physics*).

sköpum fyrir alla vísindastarfsemi á seinni hluta tuttugustu aldar.

Hin vísindalega heimsmynd nútímans hvílir á tveimur meginstöðum, sem báðar voru mótaðar í núverandi mynd á árunum 1960 til 1975. Annars vegar er um að ræða hið svokallaða staðallíkan öreindafræðinnar, sem samanstendur af skammtalífræðinni og kenningunni um rafveika kraftinn. Hins vegar er það staðallíkan heimsfræðinnar, sem einnig gengur undir nafninu kenningin um heitan Miklahvell og byggir fyrst og fremst á almennu afstæðiskenningunni. Eins og þegar hefur verið rætt um þá koma þessi tvö líkön mjög við sögu í öreindaheimsfræðinni, meginefni bókarinnar *Ár var alda*.

Staðallíkin hafa reynst hreint ótrúlega vel. Þau hafa vissulega tekið eðlilegum breytingum í rás tímans, en þar sem allar niðurstöður tilrauna og mælinga eru í góðu samræmi við líkin, hafa breytingarnar fyrst og fremst verið fólgnar í nákvæmari framsetningu og fínþússningu á einstökkum atriðum. Öðru hverju hafa reyndar birst fréttir um það í fjölmiðlum að heimsmyndin sé fallin: Nýjar mælingar hafi sýnt að hlutir geti hreyfst hraðar en ljósið, elstu stjörnur séu eldri en alheimurinn ætti að vera samkvæmt Miklahvellskeningunni, tilraunaeðlisfræðingar hafi fundið merki um agnir sem ekki ættu að vera til samkvæmt staðallíkaninu, og svo framvegis.

Nánari athugun hefur hins vegar leitt í ljós, að slíkar fréttir eru byggðar á misskilningi, sem oftast má rekja til mistúlkunar á mæligögnum eða galla í mælitækjum og öðrum búnaði. Þar með er ekki sagt að staðallíkin tvö gefi tæmandi lýsingu á öllu því sem er að finna í smásæjum heimi öreindanna eða í óráviddum himingeimsins. Margar gátur eru enn óleystar og sumar eru þess eðlis að ljóst er að þær verða ekki leystar innan vébanda líkananna. Það sem skiptir hins vegar meginmáli í þessu sambandi er það, að forspár staðallíkananna hafa staðist í öllum tilvikum þar sem á þær hefur reynt, og í dag er ekki vitað um nein fyrirbæri í náttúrunni sem eru í beinni mótsögn við líkin. Það virðist því mjög líklegt, að þegar yfirgrípsmeiri kenningar um frumkraftana og alheiminn sjá dagsins ljós, þá muni þær innihalda staðallíkin tvö sem einskonar nálgun, á svipaðan hátt og hin almenna afstæðiskenning Einsteins inniheldur eðlisfræði Newtons sem gefur kórrétta lýsingu á hegðun hluta, svo lengi sem þeir hreyfast mun hægar en ljósið og eru hvorki of smáir né of þungir.

Afrekssaga staðallíkananna er svo glæsileg að á undanförmum tveimur áratugum hafa hugmyndir um samþættingu frumkraftanna fjögurra fengið byr undir báða vængi meðal kennilegra öreindafræðinga og heimsfræðinga. Eins og áður hefur verið rætt um þá láta menn sig dreyma um eina

allsherjarkenningu, eins konar þyngdarskammtafræði, er gefur fullkomna lýsingu á öllum hugsanlegum öreindum og útskýrir frumkrafta náttúrunnar sem mismunandi hliðar á einum og sama heildarkraftinum. Það hefur hins vegar komið í ljós að allsherjarkrafturinn sýnir væntanlega ekki sitt rétta andlit nema við aðstæður sem eru svo framandi að ekki er nokkur von til þess að hægt verði að líkja eftir þeim í tilraunum. Aðstæðurnar eru svo sérstakar að menn telja að þær hafi aðeins verið til staðar í náttúrunni eitt einasta augnablik í sögu alheimsins, í sjálfum Miklahvelli. Þetta er ein helsta ástæða þess að ýmsir kenningarmiðir hafa verið ötulir við að beita hinum nýju samþættingarhugmyndum í vangaveltum um upphaf alheimsins, viðfangsefni sem raunvísindamenn hafa til skamms tíma vísað til guðfræðinga og heimspekinga. Þessi áhugi á upphafsástandi alheims á sér þess vegna ekki trúarlegar rætur, þótt eflaust ráði trúin ferðinni í einstaka tilvikum, heldur stafar hann fyrst og fremst af því að frumheimurinn er eini staðurinn þar sem heildarkrafturinn er sýnilegur í öllu sínu veldi.²³

²³ Í þessu sambandi er kannski ekki úr vegi að minna á hina frægu játningu Weinbergs í lokakafla *Ár var alda*: „Því skiljanlegri sem alheimur verður, því tilgangslausari virðist hann.“

Öreindafræðingar hafa ekki alltaf verið svona framsekni. Weinberg getur til dæmis um það í lok sjötta kafla bókarinnar, að ein meginástæðan fyrir því að vísindamenn voru ekki búnir að uppgötva örbylgjukliðinn löngu fyrir 1965 hafi verið sú, að það „var ákaflega örðugt fyrir eðlisfræðinga að taka *nókværa* kenningu um árdaga alheims trúanlega“ og enn fremur segir hann: „fyrstu þrjár mínúturnar eru svo fjarlægjar okkur í tíma og bæði hiti og þéttleiki þeirra svo óvenjulegir að manni hrýs hugur við að beita þar venjulegum kenningum safneðlisfræði og kjarneðlisfræði.“ Skömmu síðar bætir hann við: „Það er örðugt að átta sig á að þær tölur og jöfnur sem við er að glíma á skrifborðinu séu í alvarlegum tengslum við raunheiminn.“ Weinberg átti sjálfur mikinn þátt í að breyta þessu viðhorfi á sínum tíma með glæsilegum rannsóknnum á rafveika kraftinum, sameinuðum víxlverkunum og ýmsum grundvallarvandamálum í öreindaheimsfræði. Eins og áður er getið er hann nú talinn einn helsti málsvari samþættingarsinna í hópi eðlisfræðinga. Mikilvægt er að hafa í huga, að færa má mjög sterk rök fyrir nauðsyn þessarar þróunar í kennilegri öreindafræði, og fáir hafa gert það betur en Weinberg í draumabókinni frá 1992. Eðlisfræðingar ganga þó misjafnlega langt í þessum efninum, flestir talsvert styttra en Weinberg, en nokkrir mun lengra. Í hópi þeirra áráðnustu er

Stephen Hawking og hann fjallar ítarlega um þetta efni í *Sögu tímans*, bók sem fróðleiksfúsum lesendum er sérstaklega bent á í þessu sambandi.²⁴ Bókinni lýkur Hawking á fleygum orðum, sem segja líklega flest það sem segja þarf um draumana um heildarkenningu: „Finnist fullkomin kenning þá ætti hún, eða að minnsta kosti aðaldrættir hennar, smám saman að verða skiljanleg öllum, en ekki aðeins fáum vísindamönnum. Þá getum við öll, heimspekingar, vísindamenn og almenningur, tekið þátt í umræðunni um það hvers vegna við og alheimurinn erum til. Takist að finna svar við þeirri spurningu, yrði það lokasigur mannglegrar skynsemi – þá þekktum við hugskot Guðs.“

Frá sjónarhóli margra eðlisfræðinga, sem fást við hefðbundnari viðfangsefni en samþættingu frumkraftanna og upphaf alheimsins, vekur þróun öreindafræðinnar á undanfötrnum árum ýmsar áleitnar spurningar. Sérstaklega er til þess tekið hversu breið gjá virðist hafa myndast milli kenninga og tilrauna. Nýjustu kenningar í þyngdar-skammtafræði, hvort heldur þær byggja á strengjum eða einhverju öðru, snúast eins og áður er getið um fyrirbæri sem eingöngu koma

²⁴ Sjá einnig ritdóm Skúla Sigurðssonar um bókina, sem birtist í tímaritinu *Hugur*, 3.-4. ár 1990/1991, bls. 112-117.

fram við stjarnfræðilega háa orku. Orku sem er svo há að engin von er til þess í fyrirsjáanlegri framtíð að hægt verði að hanna, hvað þá fjármagna, nauðsynlegustu mælitæki og hraðla. Þetta hefur gert það að verkum að í augum margra eðlisfræðinga er öreindafræðin að breytast úr tilraunavísindum í hreina frumspeki.

Annað vandamál hefur komið upp í þessu sambandi sem valdið hefur talsverðum deilum í samfélagi eðlisfræðinga, enda tengist það síharðnandi samkeppni vísindamanna um fjármagn til rannsókna. Til að öðlast náð fyrir augum fjárveitingarvaldsins hefur gætt vaxandi tilhneigingar hjá umsækjendum í þá átt að ofmeta ágæti eigin rannsókna. Þessu fylgja gjarnan loforð um skjótan árangur eða mikið hagnýtt gildi, nokkuð sem oftar en ekki hefur reynst erfitt að standa við. Um þetta mætti nefna mörg dæmi úr flestum greinum vísinda, til dæmis loforð um lausnir á vissum heilbrigðisvandamálum í læknaísfræði og fyrirheit um óþrjótandi orkulindir í eðlisfræði. Ýmsum finnst einnig sem öreindafræðingar hafi á stundum gengið of langt í því að lofa mikilvægum niðurstöðum úr tilraunum í hröðlum framtíðarinnar, einfaldlega vegna þess að áhugaverðustu öreindaferlin krefjast mun meiri orku en fyrirsjáanlegt er að hraðlarnir geti framleitt.

Til viðbótar þessu hefur einnig borið talsvert á

úrvalshyggju hjá ákveðnum hópum vísindamanna. Hún lýsir sér í viðleitni til að stafla sérsviðum vísindanna í eins konar píramíta eftir „mikilvægi“. Píramíta þennan má hugsa sér á hvolfi og er þá neðsti punkturinn „mikilvægastur“. Á honum hvílir allt báknið og fet „mikilvægið“ dvínandi eftir því sem ofar dregur. Þannig halda ýmsir kennilegir öreindafræðingar og sviðsfræðingar því til dæmis fram að þeirra fræði séu grunnurinn að öðrum sérsviðum eðlisfræðinnar, sem aftur séu undirstaðan undir öllum öðrum raunvísindum. Þó að þessi skoðun sé náttúrlega ekkert annað en gamla góða smættarhyggjan í sinni einföldustu mynd, þá hefur hún vakið nokkurn kurr meðal annarra vísindamanna, sem finnst sér misboðið.²⁵ Mörgum gremst það sérstaklega þegar þessi skoðun er notuð sem rök fyrir því að frekar ætti að fjármagna rannsóknir í öreindafræði en öðrum greinum. Ætla má að það sé meðal annars af þessari ástæðu sem margir

²⁵ Í sinni einföldustu mynd er smættarhyggja (*reductionism*) í raunvísindum það viðhorf að öðlast megi fullan skilning á öllum fyrirbærum náttúrunnar með því að greina þau í frumpætti, sem hvern og einn megi síðan sundurgreina stig af stigi þar til komið er að hinni einu og sönnu rót. Hugmyndin er sú að náttúran sé eins og lagskipt þar sem útskýra megi öll fyrirbæri í einu laginu með því að höfða til þess sem er í neðri lögum. Til dæmis megi útskýra öll líffræðileg atriði á grundvelli efnafraðinnar sem aftur byggir eingöngu á eðlisfræði.

þekkir eðlisfræðingar beittu sér gegn smíði SSC hraðalsins í Texas á sínum tíma. Þar sem Weinberg er einn helsti málsvari smættarhyggjumanna er ekki úr vegi að gefa honum orðið um þetta efni:

Í dag vitum við að öll efnafræðileg ferli eru eins og þau eru vegna eðlis rafeinda og rafsegulkrafts og um það bil hundrað mismunandi atómkjarna. Viðfangsefni líffræðinnar tengjast oft tilviljanakenndum atburðum í náttúrunni, ólíkt því sem gengur og gerist í eðlisfræði og efnafræði, en þau erfðiferli sem stjórna líffræðilegri þróun eru grundvölluð á eiginleikum sameinda. Gamla kenningin um lífskraftinn, hugmyndin um sjálfstætt kraftlögmál í líffræði, er hins vegar dauð og grafín. Þessi öld hefur því sannarlega upplifað sigurgöngu smættarhyggjunnar. . . . Samskonar smættun getur einnig að líta innan eðlisfræðinnar. Hún snýst ekki um það hvernig eðlisfræðingar vinna heldur hvaða augum þeir líta náttúruna. Mörg áhugaverð vandamál biða lausnar, sum gömul, eins og iðustreymi, en önnur, til dæmis háhitaofurleiðni, eru ný af nálinni. Það er að sjálfsögðu nauðsynlegt að glíma við slík vandamál á þeirra eigin forsendum en ekki með því að höfða til öreindafræðinnar. En þegar vandinn hefur verið leystur þá mun koma í ljós að lausnin byggir á þekktum undirstöðuatriðum í eðlisfræði eins og jöfnum straumfræðinnar og rafsegulfraðinnar. Og ef við nú spyrjum, hvers vegna þessar jöfnur eru eins og þær eru, þá má

rekja ástæðurnar í gegnum hvert lagið á fætur öðru að einni og sömu rót: Staðallíkanir öreindafræðinnar. Þannig myndar öreindafræðin, ásamt kenningunni um þyngd og alheim, umgjörð um alla vísindalega þekkingu.²⁶

Hér verður ekki gerð tilraun til þess að kafa dýpra í þetta áhugaverða efni. Það er ljóst að mjög margir ef ekki flestir raunvísindamenn aðhyllast smættrarhyggju í einhverri mynd, fyrst og fremst vegna þess að slík hugsun hefur reynt ákaflega gagnleg í framsókn nútíma vísinda. Hins vegar hefur það smám saman verið að renna upp fyrir mönnum, ekki síst eftir tilkomu flækjufræðinnar sem sjálfstæðrar fræðigreinar, að smættun sé ekki endilega síðasta orðið í raunvísindum, og að mörg áhugaverð fyrirbæri í náttúrunni sé nær útilokað að skilja á grundvelli smættunar einnar saman.²⁷ Meðal nafntogaðra vísindamanna, sem á undanförunum árum hafa

²⁶ Þetta er lausleg þýðing inngangshöfundar á orðum Weinbergs í upphafskafila greinatíttar „Nature itself“ í þriðja bindi ritafnsins *Twentieth Century Physics*. Ritstj. L. M. Brown, A. Pais og B. Pippard. New York, 1995, bls. 2033–2040. Weinberg fjallar einnig um þetta efni í draumabók sinni, sérstaklega í 3. kaflanum „Two Cheers for Reductionism“.

²⁷ „Flækjufræði“ er hér notað yfir þá fræðigrein sem á ensku hefur verið kölluð *chaos theory* eða *the theory of complex systems*.

hvatt sér hljóðs um þetta mál og önnur skyld efni, má nefna eðlisfræðingana Roger Penrose, David Deutsch, Lee Smolin og John Barrow. Þó að sjónarmið þeirra séu ólík í mörgum mikilvægum atriðum, þá telja þeir allir að ríkjandi hugmyndir um smættun og samþættingu frumkraftanna kunni að vera á villigötum.²⁸ Þeir eru þó misjafnlega vissir í sinni sök og aðeins Deutsch og Smolin gera alvarlega tilraun til að setja fram nýjar stefnukrár í þessum efnum. Hvort hugmyndir þeirra hljóta hins vegar náð fyrir augum annarra vísindamanna getur framtíðin ein leitt í ljós.

V

Hin sterka skynsemistrú og framfarahyggja sem einkenni vísindabyltingu sautjándu aldar og menningarlíf næstu alda þar á eftir byggðist meðal annars á nýjum uppgötvunum og þeim áhrifum sem hagnýting vísindalegrar þekkingar hafði smám saman á daglegt líf og störf manna. Vaxandi skilningur á lögmálum náttúrunnar leiddi til hnignunar gullgerðarlistar, og galdra-brennur lögðust af með dvínandi trú á galdra og

²⁸ Sjá til dæmis bækurnar *The Emperor's New Mind* (Oxford, 1989) og *Shadows of the Mind* (Oxford, 1994) eftir Penrose, *The Fabric of Reality* (London, 1997) eftir Deutsch, *The Life of the Cosmos* (Oxford, 1997) eftir Smolin og *The World Within the World* (Oxford, 1988) eftir Barrow.

önnur yfirlitstúruleg fyrirbæri. Eitt sterkasta vígi hjátrúar og hindurvitna, sjálf stjórnuþekin, ríðaði til falls og bjartsynismenn á átjándu og níjtjándu öld töldu jafnvel að hún væri endanlega úr sögunni sem hreyfist í mannlegu samfélagi.

En reyndin hefur orðið önnur. Skoðanakannanir sýna að í dag trúir stór hluti Bandaríkjamanna á stjórnuþáðóm, og engin ástæða er til að ætla annað en að svipað gildi um aðrar þjóðir í vestrænum heimi. Ýmsir valdamiklir stjórnmálamenn leita til stjórnuþáðómanna vegna erfiðra pólitískra ákvarðana, og í bókabúðum eru margfalt fleiri hillumetrar lagðir undir rit um stjórnuþeki og alls kyns dulþeki en alþýðlegt fræðsluefni um vísindi. Fréttir af fljúgandi furðuhlutum eru algengar í áhrifamiklum fjölmiðlum og þar er fjallað í einlægni um eilífðarvél, töfralækningar á banvænum sjúkdómum, yfirnáttúrulega eiginleika rafsegulsviðs og aðrar hérgiljur.

Viðbrögð raunvísindamanna við þessu afturhvarfi margra nútímamanna til fornrar heimsýnar dulhyggju og hjátrúar eru mismunandi. Flestir yppta öxlum og halda rólegir áfram sínu daglega amstri, aðrir rífa hár sitt í örvæntingu, en nokkrir eldhugar hafa snúist til varnar gegn þróun er þeir sjá sem ótvíræða vísibendingu um hnignun siðmenningarinnar, andvísindalega

hugsun og jafnvel beinan fjandskap við raunvísindi og mannlega skynsemi.²⁹ Meðal annars hefur verið á það bent að þessi þróun gæti tengst takmarkaðri þekkingu almennings á einföldustu undirstöðuatriðum þeirra vísinda sem eru grunnurinn að hátækni nútímans. Eins og venjulega, þegar mál eru flókin og mikið er hugsanlega í húfi, hefur reynst erfitt að finna viðunandi svör. Í mörgum löndum hefur athyglin þó einkum beinst að skólakerfinu og því starfi sem þar fer fram. Það hefur síðan vakið frekari spurningar, meðal annars um kennaramenntun, aðstöðu til kennslu í grunn- og framhaldsskólum og síðast en ekki síst um námsefni skólanna.

Samhliða þessari þróun hafa athyglisverðir og ekki alveg óskyldir hlutir verið að gerast í samfélagi fræða og mennta. Eins og frægt er orðið benti C.P. Snow á það á sínum tíma að til væru tveir menningarheimar menntamanna sem aðskildir væru með háum múr gagnkvæms skilningsleysis og þekkingarskorts. Þarna átti Snow við raunvísindamenn annars vegar og hugvísindamenn hins vegar. Þó að flestir séu sammála um að hér sé um allmikla einföldun að ræða,

²⁹ Sjá til dæmis hina fróðlegu og skemmtilegu bók Carls Sagans, *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark*. London, 1996.

fer ekki á milli mála að Snow hafði talsvert til síns máls. Fulltrúum heimanna tveggja hefur þó til skamms tíma tekist að umgangast hver annan með virðingu og umburðarlyndi, og segja má að milli þeirra hafi ríkt eins konar þegjandi heiðursmannasamkomulag um gagnkvæmt afskiptaleysi. Þetta hefur jafnvel stundum gengið svo langt að fræðimenn, sem reynt hafa að brúa bilið milli menningarheimanna, eru litnir hornauga í báðum herbúðum.

Nú hefur það hins vegar gerst, að brestir hafa komið í heiðursmannasamkomulagið. Um nokkurt skeið hafa geisað hatrammar deilur á síðum ýmissa tímarita milli andstæðra fylkinga úr menningarheimunum tveimur. Deilurnar snúast meðal annars um grundvöll vísinda og vísindarannsóknna og tilraunir félagsfræðinga, mannfræðinga, sagnfræðinga og heimspekinga til að skoða hann í nýju ljósi. En þær eru jafnframt hluti af mun víðtækari umræðu, sem nær til flestra sviða mannglegra umsvifa, og tengist hugmyndafræði ýmissa stefna og isma, eins og konstrúktívisma og fémínisma og síðast en ekki síst hins víðfeðma póstmóðernisma. Þetta hefur meðal annars valdið því að umræðan hefur dreifst út um víðan völl og orðið all tilfinningaþrungin á köflum. Þannig hefur hún til dæmis borist inn á síður dagblaða og til annarra fjöl-

miðla.³⁰ Svo heitar og persónulegar eru deilurnar að stundum er erfitt að koma auga á sjálfa kveikjuna. En þegar grannt er skoðað virðist sá hluti ágreiningsins sem snýr að raunvísindum fyrst og fremst snúast um gömul og góð heimspökileg vandamál, eins og spurningar um það hvort til sé hlutlægur raunveruleiki og hvað sé sannleikur í raunvísindum.³¹

Í lok fjórða áratugarins benti bandaríski félagsfræðingurinn Robert Merton á það hvernig matgævislegir samfélagslegir þættir hefðu stuðlað að vexti og mótun raunvísinda á sautjándu öld. Verk hans hafa haft talsverð áhrif á hugmyndir manna um samspil samfélags og vísinda, og margir félagsfræðingar, mannfræðingar, heimspekingar og ekki síst sagnfræðingar hafa á síðustu áratugum beitt gleraugum fræða sinna til að skoða vísindalega starfsemi og þróun vísindasviða í félagslegu samhengi.³² Flestir geta vænt-

³⁰ Skemmst er að minnast greinaflokk Kristjánssonar um póstmóðernisma, og sterk viðbrögð við honum. Greinar Kristjánssonar birtust í *Leikhólk Morgunblaðsins* á haustmánuðum 1997 undir heitinu „Tíðarandi í aldarlok“.

³¹ Vandamál af þessu tagi eru til umræðu í nokkrum greinum í bókinni *Er vit í vísindum?* sem áður var nefnd. Þar er einnig vísað til fjölmargra annarra heimilda.

³² Um straua og stefnur í vísindasagnfræði má meðal annars lesa í ritdómnum: „Þar sem heimspeki, menning-

anlega verið sammála um það að slíkar rannsóknir séu bæði áhugaverðar og gagnlegar. Einnig er mikilvægt að bæði raunvísindamenn og aðrir geri sér glögga grein fyrir þeirri staðreynd, að vísindastarfsemi lýtur sömu takmörkunum og önnur mannleg starfsemi, hvort heldur þær eru samfélagslegar eða efnahagslegar. Áherslur í vísindarannsóknum ráðast ekki aðeins af innra röksamhengi fræðigreina og eldheiritri þekkingarleit, heldur einnig af mörgum öðrum flóknum þáttum. Atriði eins og tæknilegar takmarkanir ráða miklu en ekki síður tíðarandi, siðferðileg álitamál og hagsmunir af ýmsu tagi. Þar getur verið um að ræða hagsmuni vísindamanna og rannsóknarhópa en einnig vísindastofnana, atvinnulífs, ríkisstjórna og annarra aðila. Mikill vöxtur kjarneðlisfræðinnar á árunum eftir seinni heimsstyrjöld og öreindafræðinnar á dögum kalda stríðsins eru dæmi um áhrif samfélagslegra og pólitískra þátta á þróun grunnvísinda.³³ Um

arsaga og vísindi mættast“ eftir Skúla Sigurðsson, *Skírniir*, haust 1989, bls. 431–445 og í greininni „Vísindasagan í heimi fræðanna“ eftir Þorstein Vilhjálmsson, *Skírniir*, haust 1989, bls. 382–406.

³³ Um þetta hefur mikið verið fjallað á undanförunum árum. Sjá t.d. athyglisverða grein eftir Silvan S. Schweber: „Big Science in Context: Cornell and MIT“ í ritinu *Big Science: The Growth of Large-Scale Research*. Ritstj. P. Galison og B. Hevly. Stanford, 1992, bls. 149–183. Greinin

þetta eru flestir sammála í dag, þar á meðal raunvísindamenn.

Það sem hins vegar hefur valdið hneykslun og jafnvel reiði margra raunvísindamanna á undanförunum árum eru hugmyndir sem þeir líta á sem vanhugsaðar tilraunir til að veða að sjálfum rötum raunvísindanna, hinum hlutlæga raunveruleika. Í hópi þeirra sem snúist hafa til varnar gegn þessum nýju hugmyndum, sem oft eru kenndar við smíðastefnu, er Steven Weinberg.³⁴ Að hans mati halda áköfustu smíðastefnumennirnir og skodanabræður þeirra því beinlínis fram að öll lögmál og kenningar eðlisfræðinnar og jafnvel sjálf náttúrulegmálin séu í rauninni ekkert annað en forgengilegir smíðisgripir, eins konar leikreglur í svipuðum skilningi og reglur í fótbolta eða vinnudeilum. Samkvæmt þessu séu lögmálin því óhjákvæmilega háð félagslegu umhverfi og sögulegum forsendum. Þau taki sífelld-

varpar meðal annars fróðlegu ljósi á það umhverfi sem mótaði marga bandaríska eðlisfræðinga af kynslóð Weinbergs.

³⁴ „Smíðastefna“ er þýðing á *social constructivism*. Eitt þekktasta verk smíðastefnunnar er bók Andrews Pickering's *Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics*. Chicago, 1984. Annað þekkt smíðastefnurit er *The Golem: What everyone should know about Science* eftir Harry Collins og Trevor Pinchs. Cambridge, 1993.

um breytingum, og á hverjum tíma séu þau lög-
mál í gildi sem áhrifamestu vísindamenn telji
rétt. Þau endurspeglja því alls ekki hlutlægan
raunveruleika heldur einungis samkomulag eða
málamiðlun milli ríkjandi afla í vísindasamfélag-
inu.

Þessi róttæka hugmyndafræði fer eðlilega fyrir
brjóstið á mörgum raunvísindamönnum og þá
sérstaklega eðlisfræðingum eins og Weinberg,
sem flestir hafa allt aðra skoðun á málinu og telja
sig vera að leita að algildum sannindum með til-
raunum sínum og kenningum. Ekki bætir úr
skák að umfjöllun þeirra, sem hallir eru undir
smíðastrefnu, verkar stundum á eðlisfræðinga sem
ákafllega ruglingsleg ef ekki óskiljanleg. Wein-
berg og skoðanabræður hans halda því og fram
að ýmsir áhangendur smíðastefnunnar skreyti
mál sitt hugtökum úr eðlisfræði og stærðfræði,
sem þeir greinilega skilji ekki, og það geri mál-
flutning þeirra ekki sérlega traustvekjandi. Þetta
var meðal annars ástæðan fyrir því að bandaríski
eðlisfræðingurinn Alan Sokal skrifaði sína frægu
plátgrein í menningarfræðitímaritið *Social Text*
vorið 1996, en sú grein og játning Sokals á
prakkarastrikinu skömmu síðar ollu miklu fjaðra-
foki í menningarlífinu.³⁵ Þetta prakkarastrik og

³⁵ Grein Sokals heitir „Transgressing the Boundaries:
Towards a Transformative Hermeneutics of Quantum

gagnrýni Sokals öðlaðist síðan aukinn þunga með
grein Weinbergs í *New York Review of Books*
haustið eftir, en þar tekur Weinberg undir sjón-
armið Sokals og fer hörðum orðum um skoðanir
smíðastefnumanna á raunvísindum og eðli vís-
inda.³⁶

Hér verður ekki fjallað nánar um Sokal-málið
sem slíkt. Hins vegar er rétt að fara örfáum al-
mennum orðum um það, hvers vegna flestir eðli-
isfræðingar trúa því að ekki aðeins náttúruleg-
málin heldur jafnframt kenningar þeirra um þau
séu annað og meira en brothættir samfélagslegir

Gravity“. Hún birtist í *Social Text*, vor/sumar 1996, bls.
217–252. Játning hans „A Physicist Experiments with
Cultural Studies“ birtist í *Lingua Franca*, maí/júní 1996,
bls. 62–64.

³⁶ Grein Weinbergs heitir „Sokal's Hoax“ og hún birtist í
The New York Review of Books, 8. ágúst 1996, bls. 11–12
og 14–15. Mikil viðbrögð hafa orðið við greinum þeirra
Sokals og Weinbergs, bæði með og á móti (sjá t.d. *The
New York Review of Books*, 3. okt. 1996, bls. 54–56).
Stutta en högværa hugvekju um fjaðrafokið er að finna í
pistlinum „Reflection on the Sokal Affair: What is at
Stake?“ eftir bandaríska eðlisfræðinginn og vísindasagn-
fræðinginn Silvan S. Schweber. Pistillinn birtist í mars-
hefti tímaritsins *Physics Today* 1997, bls. 73–74. Sjá
einnig í þessu sambandi grein Þorvalds Þúasonar „Prakk-
arastrik í háskólasamfélagi: Sokal-sennan“ sem birtist í
bókinni *Afmælisrit. Davíð Oddsson fimmtugur*. Reykjavík,
1998, bls. 885–896.

smíðisgripir.³⁷ Það er vissulega rétt að um skoðun er að ræða en ekki óvefengjanlega staðreynd í skilningi stærðfræðinnar. Hins vegar er þessi grundvallarskoðun byggð á mikilli þekkingaröflun um náttúruna og ítarlegum tilraunum og athugunum á efnisheiminum í öllum sínum margbreytileika. Að baki liggur einnig margra alda ígrundun mikilla hugsuða. Fólk frá gjörólíkum menningarsamfélögum, af báðum kynjum og á öllum aldri hefur í rás tímans lagt hönd á plóg eðlisfræðinnar og þannig hefur smám saman tekist að flysja burt þá þætti sem ekki skipta máli. Hin innri rök greinarinnar og sú aðferðafræði sem beitt er til að skera úr um álitamál, svo ekki sé talað um hagnýtingargildið; allt gerir þetta það að verkum, að miklar líkur eru á því að niðurstaðan sé rétt. Þess vegna er engin ástæða til að ætla annað en að skoðun eðlisfræðinga á undirstöðum sinna eigin fræða hafi mun meira vægi en hinar róttæku hugmyndir smíðastefnumanna, hversu skemmtilegar og áhugavekjandi sem þær annars kunna að vera.

Allir eðlisfræðingar gera sér að sjálfsgöðu

³⁷ Mjög fróðleg og skemmtileg skoðanaskipti um þetta efni er að finna á síðum tímaritsins *Physics Today* (t.d. í mars, apríl og júlí 1996 og janúar 1997), sérstaklega milli eðlisfræðingsins Davids Mermin og smíðastefnumannanna Harrys Collins og Trevors Pinchs, höfunda bókarinnar *The Golem*.

grein fyrir því, að upphafleg framsetning eðlisfræðilögmála er háð reynsluheimi þeirra manna sem fyrstir koma við sögu. Orðalag og skilningur á einstökum atriðum breytist í meðförum vísindasamfélagsins eftir því sem tilraunir og kennileg umfjöllun skerpa heildarmyndina. Hins vegar er ekki annað að sjá en að lögmál eðlisfræðinnar í sinni endanlegu stærðfræðilegu mynd séu bein lýsing á sjálfum raunveruleikanum. Reynslan hefur sýnt að þær breytingar sem síðar kunna að koma fram eru ekki breytingar á lögmálunum sjálfum heldur skilningi manna á því hvers vegna þau gilda og hversu víðtæk þau eru. Gott dæmi um þetta er þyngdarlögmál Newtons sem við vitum nú að er ekki algilt lögmál um þyngdina. Það er eðlilegur hluti af hinni almennu afstæðiskenningu, en það er jafnframt enn í fullu gildi sem lögmál um aðdráttaraflíð milli hluta, meðan þyngdin er ekki of mikil og hlutirnir hreyfast mun hægar en ljósið. Hliðstæða sögu mætti segja um ýmis önnur sígild lögmál í eðlisfræði. En það er við hæfi að láta Weinberg hafa síðasta orðið um þetta efni:

Þegar ég held því fram að smíðastefnumenn hafi ekki komið auga á aðalatriðið, þá hef ég í huga það sem í stærðfræðilegri eðlisfræði er kallað nálgun að fastapunkti. Mörg vandamál í eðlisfræði snúast um hreyfingu í einhvers konar rúmunum. Stærðfræðilegar jöfnur stýra slíkum ferðum, og

óháð því hvar byrjað er þá endar ferðalagið alltaf í sama punkti, svokölluðum fastapunkti. Kortagerðarmenn fyrri alda höfðu eitthvað svipað í huga þegar þeir kváðu allar leiðir liggja til Rómur. Náttúrulögmálin eru einna líkust fastapunkturum sem við drögumst að. Samfélagsleg áhrif kunna að ráða byrjunarreit, og mismunandi leiðir ráðast af lífsskóðunum einstakra vísindamanna. En fastapunkturarnir eru ávallt á sínum stað. Þangað leita mismunandi kenningar, og þegar á áfangastað er komið þá vitum við svo sannarlega af því og höldum ekki lengra.³⁸

VI

Um miðja tuttugustu öld voru tvær kenningar um alheiminn einkum til umræðu í samfélagi stjarnvísindamanna. Annars vegar var það Miklahvellskenningin, sem fram kom í kringum 1930, um svipað leyti og Edwin Hubble uppgötvaði útþensluna. Hins vegar var hin svokallaða

sístöðukenning, sem þeir Fred Hoyle, Thomas Gold og Hermann Bondi settu fram árið 1948. Báðar kenningarnar gera ráð fyrir að alheimurinn sé að þenjast út í samræmi við niðurstöður Hubbles. Samkvæmt Miklahvellskenningunni varð alheimur til í einum stórbrotnum frum- atburði fyrir milljörðum ára og hefur verið í stöðugri þróun síðan. Í sístöðukenningunni er gert ráð fyrir að alheimurinn líti í aðalatríðum eins út á öllum tímum, og að nýtt efni sé sífellt að myndast í stað þess sem þynnist vegna þenslunnar. Heimur sístöðukenningarinnar er því eilífur en jafnframt í stöðugri endurnýjun. Lengi vel reyndist erfitt að gera upp á milli þessara tveggja heimsmynda með stjarnfræðilegum at- hugunum, en smám saman hallaði á sístöðukenn- inguna og að því kom að lokum árið 1965 að hún féll í valinn. Það sem réði úrslitum var upp- götvan örbylgjukliðsins, sem sístöðukenningin getur alls ekki útskýrt á sannfærandi hátt. Hann á sér hins vegar eðlilega skýringu í Miklahvells- kenningunni sem leifar geislunar frá funheitu frumástandinu.

Þannig var það uppgötvan örbylgjukliðsins sem fyrst og fremst sannfærði flesta eðlisfræðinga og stjörnufræðinga um það, að kenningin um heitan Miklahvell gæfi rétta lýsingu á gerð og þróun alheimsins. Á þeim rúmlega þrjátíu árum, sem síðan eru liðin, hafa stjarnfræðilegar athug-

³⁸ Þetta er lausleg þýðing inngangshöfundar á orðum Weinbergs í greininni „Physics and History“ í tímarit- inu *Daedalus*, 1998, bls. 151–164. Weinberg fjallar einn- ig ítarlega um þetta efni í draumabók sinni, sérstaklega í 7. kaflanum: „Against Philosophy“. Rétt er að ítreka að vandamál af þessu tagi hafa lengi verið til umræðu meðal fræðimanna. Sjá t.d. ýmsar greinar í bókinni *Er vit í vís- indum?* og ritsmíðar sem þar er vísað í. Sjá einnig fróð- legar greinar eftir Thomas S. Kuhn og Ian Hacking í bókinni *Heimspeki á tuttugustu öld*. Ritstj. Einar L. Vign- isson og Ólafur P. Jónsson. Reykjavík, 1994.

anir og mælingar rennt enn styrkari stöðum undir kenninguna. Engin önnur heimsmynd í sögu mannkynsins hefur verið studd jafn sterkum og sannfærandi rökum eða verið í jafn góðu samræmi við mæliniðurstöður. Eins og fyrri heimsmyndir hvílir hún óhjákvæmilega á nokkrum ósannanlegum forsendum, en ólíkt þeim hefur hún staðist harða gagnrýni og nákvæma skoðun fjölda vísindamanna í áratugi. Þar með er ekki sagt að hún svari öllum spurningum um alheiminn, og ýmsar heillandi gátur eru vissulega óleystar. En þær eru þess eðlis að engin ástæða er til að ætla að svörin muni kollvarpa kenningunni. Þvert á móti hníga flest rök að því að hún muni halda áfram að vera mikilvægur hluti af heimssýn vísindanna um ókomna framtíð. Vissulega má þó gera ráð fyrir að skilningur á ýmsum atriðum, og þá sérstaklega á fyrstu sekúndubrotunum í útþenslusögunni, muni breytast verulega með tímanum. Eðli málsins samkvæmt er hins vegar ómögulegt að sjá fyrir í hverju slíkar breytingar verða fólgnar.³⁹

Í bókinni *Ár var alda* er gerð ítarleg grein fyrir kenningunni um heitan Miklahvell og stöðu

³⁹ Nánari umfjöllun um undirstöður heimsmyndarinnar er að finna í grein Einars H. Guðmundssonar „Heimsmynd stjarnvísinda: Sannleikur eða skáldskapur?“ í bókinni *Er vit í vísindum?*

mála í öreindaheimsfræði árið 1977. Weinberg rekur síðan í eftirmála helstu þræði í þróun heimsfræðinnar á tímabilinu frá 1977 til 1993. Í þessum lokakafla inngangs verður því látið nægja að gera stutta grein fyrir veigamestu þáttunum í þróuninni frá 1993.

Sú algeislun, sem við köllum örbylgjuklið, öðlaðist sjálfstæða tilveru þegar nokkur hundruð þúsund ár voru liðin frá Miklahvelli. Fyrir þann tíma voru ljóseindir hennar hluti af heitri orindasúpu frumheimsins og í stöðugri víxlverkun við aðrar eindir. Í hraðri kólnun alheimsins á fyrstu sekúndubrotunum í þróunarsögunni mynduðust þungeindir eins og róteindir og nifteindir úr kvörkum og límeindum, og um það bil þremur mínútum eftir Miklahvell hafði hluti þung eindanna runnið saman og myndað helínkjarna og örlítið af öðrum léttum atómkjörnum. Eftir þann tíma var frumheimurinn fyrst og fremst samsettur úr róteindum, helínkjörnum, rafeindum og ljóseindum sem mynduðu heitt rafgas í varmajafnvægi. Í gegnum rafgasið flugu frjálssar fiseindir á ljóshraða og hugsanlega hafa einnig verið til staðar veikt víxlverkandi huldueindir eins og vikið verður að síðar.

Þegar nokkur hundruð þúsund ár voru liðin frá Miklahvelli hafði frumheimurinn náð að kólna niður í um það bil þrjú þúsund stig. Þá sameinuðust rafeindirnar róteindunum og kjörn-

unum og við það mynduðust venjuleg vetnisatóm, helínatóm og örlítið af öðrum léttum atómum, en jafnframt losnaði um hin sterku tengsl milli ljóss og efnis sem ríkt höfðu í rafgasinu. Hið sýnilega efni alheimsins í dag er allt samsett úr frumefnunum, sem þarna urðu til, og úr dótturefnum þeirra en þau mynduðust síðar í þróunarsögunni við kjarnasamruna í iðrum sólstjarna og í ýmsum ferlum í sterkum stjörnuvindum, sprengistjörnum og öðrum hamförum. En ljósið sem losnaði frá efninu, þegar fyrstu atómin mynduðust, fyllir enn allan heiminn sem nær fullkomin algeislun, ljóseindagas með ákveðið hitastig. Vegna þenslunnar hefur ljóseindagasið kólnað verulega í rás tímans og mælist nú sem veik örbylgjugeislun. Þetta er örbylgjukliðurinn.

Á undanförmum áratug hafa orðið stórfelldar framfarir í rannsóknnum á alheimi, allt frá nánasta umhverfi okkar í geimnum út að endimörkum hins sýnilega heims. Þekktasti stjörnusjónauki samtímans, Hubblestjónaukinn, var settur á braut um jörðu vorið 1990. Eins og minnst er á í eftirmála varð fljótlega vart alvarlegra smíðagalla, sem gerðu athuganir erfðar um tíma. Viðgerð lauk hins vegar giftusamlega í desember 1993 og hófst þá eitt mesta blómaskeið stjörnuathugana sem um getur í sögunni. Sjónaukinn er það hátt á lofti að truflandi áhrifa andrúmslofts-

ins gætir ekki og nýjasta myndvinnslutækni hjálpar einnig til að tryggja meiri myndgæði en áður hafa þekkt. Með Hubblestjónaukanum hafa menn því séð lengra út í geiminn en áður og jafnframt greint ótrúlegustu smáatriði í gerð stjarnfræðilegra fyrirbæra í Vetrarbrautinni og öðrum stjörnuþokum. Stórkostlegar ljósmyndir af geimþokum og stjörnukerfum, sólkernum í myndun og leifum nýstirna og sprengistjarna hafa prýtt síður dagblaða og tímarita, svo ekki sé talað um myndir af nánasta umhverfi risasvart-hola í kjörnum vetrarbrauta. Með Hubblestjónaukanum hefur meðal annars tekist að sýna endanlega fram á, í fullu samræmi við kenningar stjarnvísindamanna, að hin orkumiklu dulstirni eru í raun óhemju bjartir vetrarbrautakjarnar.

Á sama tíma og nýjar niðurstöður hafa streymt frá Hubblestjónaukanum hafa orðið verulegar framfarir í smíði jarðbundinna sjónauka. Með nýjustu tækni er nú hægt að búa til mun stærri spegilsjónauka en áður og jafnframt hafa fundist leiðir til að leiðrétta mælingar fyrir truflandi áhrifum andrúmsloftsins. Á undanförmum árum hafa nokkrir hátæknisjónaukar verið teknir í notkun á jörðu niðri og aðrir eru óðum að komast í gagnið. Flestir þeirra eru álíka góðir og Hubblestjónaukinn og sumir jafnvel mun betri. Sem dæmi má nefna Keckstjónaukana tvo á Hawaii, sem hvor um sig hefur spegil með 10

metra þvermáli.⁴⁰ Nýju jarðbundnu sjónaukunum hefur meðal annars verið beitt til þess að framkvæma ítarlegar rannsóknir á fyrirbærum, sem fundist hafa með Hubblessjónaukanum, en að auki hafa að sjálfsgöðu verið gerðar með þeim óháðar athuganir. Einnig er rétt að minna á, að á undanförunum árum hafa verið settar á braut um jörðu nokkrar nýjar athugunarstöðvar til rannsókna á alheimi á öðrum sviðum rafsegulrófsins en hinu sýnilega. Í eftirmála segir Weinberg til dæmis frá COBE tunglinu sem skotið var upp árið 1989. Með því voru framkvæmdar rómaðar nákvæmnismælingar á örbylgjukliðnum og innraðri grunngeislun í geimnum. Meðal margra annarra gervitungla, er gert hafa garðinn frægan á undanförunum árum, má nefna háorkuathugun-

⁴⁰ Kecksjónaukarnir eru nefndir eftir bandaríska auðkýfingnum W. M. Keck. Meðal margra minni hátækni-sjónauka er Norræni stjörnu sjónaukinn (NOT) á La Palma sem Íslendingar eiga hlut í. Hann er ívið stærri en Hubblessjónaukinn sem er 2,4 metrar að þvermáli. Á árunum 1998 til 2001 mun stærsti sjónauki veraldar, evrópski risasjónaukinn *The Very Large Telescope* (VLT), verða tekinn í notkun í Chile. Hann er samsettur úr fjórum 8 metra sjónaukum og jafngildir því einum 16 metra. Á fyrsta áratug næstu aldar mun NASA væntanlega senda á loft risastóran geimsjónauka, *New Generation Space Telescope* (NGST), sem ætlað er að leysa Hubblessjónaukann af hólmi. Hann verður að öllum líkindum um 8 metrar í þvermál.

arstöðvarnar Compton og ROSAT og einnig IRAS mælistöðina fyrir innrauða geislun.⁴¹

Mælingar sem gerðar hafa verið í þessum og öðrum athugunarstöðvum sýna að grundvöllur Miklahvellskeningarinnar er traustur. Hér er fyrst og fremst átt við hina svokölluðu meginfor-sendu heimsfræðinnar sem segir að stórgerð alheimsins sé ávallt og alls staðar einsleit og stefnusnað. Rannsóknirnar sýna að svæði sem eru stærri en sem svarar milljarði ljósára eru í aðalatriðum eins, óháð staðsetningu. Mælingar COBE tunglsins á örbylgjukliðnum leiddu í ljós að styrkur hans er því sem næst nákvæmlega hinn sami hvert sem litið er, og bendir það til þess að alheimur hafi verið enn einsleitari í upphafi en hann er í dag. Með COBE tókst þó að mæla örliðlar sveiflur í kliðstyrknum milli mismunandi átta. Slíkar sveiflur eru eðlilegar, þar sem þær tengjast myndun kekkja í frumgasinu, en úr þeim urðu vetrarbrautirnar væntanlega til síðar í þróunarsögunni. Sveiflurnar eru nokkurn veginn eins og heimsfræðingar höfðu búist við á grundvelli Miklahvellskeningarinnar. Því virðist nokkuð ljóst að hugmyndin um myndun

⁴¹ Compton athugunarstöðin er kennd við bandaríska eðlisfræðinginn Arthur Compton. IRAS er skammstöfun á *Infrared Astronomy Satellite* og ROSAT á *Röntgen Satellite*, gervitungli sem nefnt er eftir þýska eðlisfræðingnum Wilhelm Röntgen.

vetrarbrauta úr frumgasinu er í góðu samræmi við athuganir. Hins vegar verður að segjast eins og er, að þrátt fyrir ítarlegar tilraunir fjölda stjarnvísindamanna hefur ekki enn tekist að skilja í smáatriðum hvernig vetrarbrautirnar mynduðust, hvenær það gerðist og hvers vegna þær hafa þá eiginleika sem raun ber vitni. Ástæðan er meðal annars sú, að þekking manna á hinu dularfulla hulduefni er enn mjög takmörkuð. Eins eru útreikningar á myndun, gerð og þróun vetrarbrauta svo flóknir, að jafnvel núverandi ofurtölvur ráða ekki við þá. Væntanlega munu tölvur framtíðarinnar bæta ástandið hvað það varðar.

Eitt hið mikilvægasta, sem komið hefur út úr rannsóknum með Hubblessjónaukanum og öðrum nýjum mælitækjum, eru óyggjandi vísbendingar um þróun alheimsins. Sjónaukar eru í vísingum skilningi tímavélar. Endanlegur hraði ljóssins gerir það að verkum að þegar horft er út í geiminn er jafnframt verið að horfa aftur í tímann. Sem dæmi má nefna að ljós frá vetrarbraut í tíu milljóna ljósára fjarlægð er tíu milljón ár á leiðinni til okkar og við sjáum hana því í dag eins og hún var fyrir tíu milljónum ára. Með Hubblessjónaukanum hefur tekist að greina ýmis smáatriði í getð stjörnuþokna í milljarða ljósára fjarlægð, sem þýðir að hægt er að bera nálægar stjörnuþokur saman við mjög fjarlæggar vetrar-

brautir eins og þær voru fyrir milljörðum ára. Í ljós hefur komið að veröld vetrarbrautanna hefur breyst umtalsvert á þessum tíma. Fyri milljörðum ára voru reyndar til stjörnuþokur sviþaðar þeim, sem við sjáum nálægt okkur, en að auki var mun meira um sérkennilegar vetrarbrautir. Fjarlægu stjörnuþokurnar eru blárri á litinn en þær sem nær eru, sem bendir til þess að stjörnu-myndun hafi verið öflugri þá en nú. Einnig má sjá greinileg merki um sterkari víxlverkanir milli vetrarbrauta í árdaga vegna styttri vegalengda þeirra í milli. En fjöldinn er þó einna athyglisverðastur. Stjörnuþokur voru nefnilega mun fleiri fyrir milljörðum ára en þær eru í dag. Ekki er vitað með vissu af hverju þeim hefur fækkað með tímanum, en líklegast er að smærri vetrarbrautir hafi runnið saman og myndað stærri vetrarbrautakerfi.

Mjög erfitt er að litrófsgreina ungu vetrarbrautirnar vegna mikilla fjarlægða. Ljós magnið sem frá þeim berst er mjög lítið og á leiðinni hefur efni í öðrum vetrarbrautum og í geimnum á milli vetrarbrautanna einnig truflað ljósið þannig að litrófin hafa raskast. Þær mælingar, sem þó hefur tekist að gera, eru í samræmi við útreikninga byggða á Miklahvellsskenningunni á myndun frumefnanna og hlutfallslegu magni þeirra á hinum ýmsu skeiðum í þróunarsögu alheimsins. Litrófsmælingar á gífurlega fjarlægu

gasskýi, sem gerðar voru með öðrum Kecksjón-
aukanum árið 1994, benda sterkllega til þess að á
þeim tíma, þegar ljósið yfirgaf skýið, hafi ör-
bylgjukliðurinn verið næstum því 5 Kelvinstig-
um heitari en hann er í dag. Þetta er í fullu sam-
ræmi við Miklahvellskenninguna, en eins og út-
skýrt er hér að framan og í meiri smáatriðum í
megintexta bókarinnar getir kenningin ráð fyrir
að algeislunin sé upprunnin í ógnarheitu frum-
gasinu og að hún fylli alheiminn. Útþenslan
veldur því að geislunin kólnar með tímanum,
mjög hratt í fyrstu en síðan hægar og hægar. Um
þessar mundir tekur það örbylgjukliðinn millj-
ónir ára að kólna um einn þúsundasta hluta úr
Kelvinstigi, og mælingar í COBE tunglinu
sýndu að í dag er hiti algeislunarinnar aðeins
2,728 stig yfir alkuli. Svo lágt gildi er sterk vís-
bending um það að mjög langt sé liðið frá
Miklahvelli.⁴²

Samkvæmt Miklahvellslíkönnum almennu af-

⁴² Hitastigið, sem Weinberg nefnir í eftirmálanum frá
1993, er aðeins of hátt miðað við allra nýjustu niður-
stöður, en nýrra gildið, 2,728 K, er innan fyrri skekkju-
marka. Munurinn stafar ekki af kólnun örbylgjukliðsins
heldur má rekja hann til stærri gagnagrunns sem tryggir
meiri nákvæmni. Til samanburðar má geta þess að sam-
kvæmt útreikningum hefur örbylgjukliðurinn aðeins
kólnað um einn milljarðasta hluta úr stigi á síðustu
fimm árum.

stæðiskennningarinnar þarf fimm kennistærðir til
að gefa fullkomna lýsingu á stórgerð og þróun al-
heimsins. Þær eru Hubblesstuðull, svokallaður
hröðunarstiki, meðalþéttleiki alheims, meðal-
þrýstingur alheims og heimsfastinn. Hubbles-
stuðull er mælikvarði á sjálfan útþensluhraðann,
hröðunarstikinn mælir breytingar á þensluhrað-
anum, meðalþéttleikinn er mælikvarði á þéttni
efnis og orku í alheimi og heimsfastinn tengist
orkuþéttleika tómarúmsins. Allar aðrar stærðir
sem lýsa alheimi eru háðar þessum grunnstærð-
um með einum eða öðrum hætti. Flest bendir til
þess að við núverandi aðstæður sé meðalþrýsting-
ur alheimsins hverfandi og því er honum venju-
lega sleppt í útreikningum. Sumir gera einnig
ráð fyrir að heimsfastinn skipti ekki máli og
fylgja þar með fordæmi Einsteins, sem innleiddi
hann á sínum tíma, en hafnaði honum aftur eftir
að Hubble uppgötvaði útþensluna. Einstein lét
þau orð falla um heimsfastann, að innsetning
hans í afstæðiskennninguna hefðu verið mestu
mistök ævi sinnar. Þessu eru margir nútíma
heimsfræðingar ekki sammála og fastinn skýtur
því iðulega upp kollinum í heimsfræðilegri um-
ræðu. Til dæmis hefur Weinberg nýlega fjallað
um hann í verkum sínum eins og fram kemur í
eftirmála.

Þegar hefur verið á það bent, að niðurstöður
mælinga á kennistærðum eru í fullu samræmi

við Miklahvellskenninguna. Hins vegar hafa margir og flóknir óvissuþættir komið í veg fyrir að unnt hafi verið að ná þeirri nákvæmni sem menn eru almennt vanir í eðlisfræði og stjörnufræði. Þetta hefur meðal annars valdið því að oft gætir misskilnings í fréttaflutningi af nýjum mælingum, einkum þegar menn gera tilraun til að lesa meira úr mæliniðurstöðum en efni standa til. Þegar Hubblessjónaukanum var skotið á loft, vonuðust menn til að hægt yrði að framkvæma mun nákvæmari mælingar en áður, þannig að unnt yrði að ákvarða gerð og aldur alheimsins í eitt skipti fyrir öll og segja jafnframt fyrir um framtíðarþróun hans. Þetta hefur ekki enn tekist svo öllum líki, en á síðustu árum hefur heildarmyndin þó skýrst verulega með hjálp Hubble-sjónaukans, annarra geimrannsóknastöðva og jarðbundinna hátæknisjónauka. Sem fyrr er mikil óvissa tengd heimsfastanum og á þessari stundu er alls ekki ljóst hvort hann hefur gildið núll eða ekki. Nýjustu mælingar á Hubblestuðli, hröðunarstika og meðalþéttleika alheimsins benda hins vegar eindregið til þess að aldur alheimsins sé einhvers staðar á bilinu 8 til 20 milljarðar ára. Til samanburðar má geta þess að elstu stjörnur, sem vitað er um, urðu til fyrir 9 til 18 milljörðum ára. Ekki er hægt að segja nákvæmar til um myndunartímann vegna mikillar óvissu á ýmsum þáttum, sem taka þarf tillit til við aldursgrein-

inguna. Það er hins vegar ljóst að niðurstaðan er í fullu samræmi við Miklahvellskenninguna.

Á undanförunum árum hefur tekist að ákvarða meðalþéttleika alheimsins með talsvert meiri nákvæmni en áður. Þótt öll kurl séu væntanlega ekki enn komin til grafar, þá hefur hver rannsóknin á fætur annarri sýnt, að þéttleiki kekkjaðs efnis nægir alls ekki til þess að stöðva útþensluna. Þarna er ekki aðeins um að ræða efni, sem er beinlínis sjáanlegt í mælitækjum stjarnvísindamanna, heldur einnig hulduefnið er aðeins gerir vart við sig með þyngd sinni. Með kekkjuðu efni er þar af leiðandi átt við allt efni og alla orku sem fólgin er í vetrarbrautunum og þyrpingum þeirra. Ef þetta verður hin endanlega niðurstaða, er alheimi best lýst sem óendanlega stóru breiðgetðu rúmi sem mun halda áfram að þenjast út um aldur og ævi.⁴³

⁴³ Breiðgert rúm (*hyperbolic space*) hefur neikvæða sveigju. Mjög erfitt er að sjá fyrir sér eða teikna slíkt rúm í heild sinni, en stundum er talað um að í sérhverjum punkti líkist það einna helst þrívíðu söðulyfirborði. Venjulegt þrívítt rúm (*Euclidean space*) hefur hins vegar sveigjuna núll, og rúm með jákvæða sveigju (*elliptical space*) má hugsa sér eins og þrívítt yfirborð á fjórvíðri kúlu. Jákvætt sveigt rúm er þess vegna lokað og hefur endanlegt rúmmál, en hin eru óendanlega stór. Það er þéttleiki alheimsins sem ákvarðar rúmfræðilega gerð hans. Ef meðalþéttleikinn er undir ákveðnum mörkum er heimurinn breiðger. Í lokuðum heimi er þéttleikinn yfir mörk-

Það sem veldur mestri óvissu varðandi þéttleika alheimsins er takmörkuð þekking manna á hulduefninu. Rannsóknir síðustu áratuga hafa leitt í ljós að meira en níutíu hundraðshlutar alheimsins eru úr þessu dularfulla efni, og því má telja furðulegt að ekki skuli enn hafa tekist að skilja til fulls hvað hér er á ferðinni. Glögglega má sjá áhrif kekkjaðs huldufnis á snúningshraða vetrarbrauta og eins á innbyrðis hreyfingu þeirra í þyrpingum. Þessar niðurstöður hafa verið staðfestar með rannsóknum á áhrifum vetrarbrautaþyrpinga á ljós frá enn fjarlægari stjörnuþokum, en þyngd þyrpinganna sveigir ljósgeisla frá stjörnuþokunum og magnar jafnframt og bjagar mynd þeirra. Þyrpingarnar verka á svipaðan hátt og venjuleg stækkunargler, og það er ástæðan fyrir því að talað er um þyngdarlinsur í þessu sambandi. Þyngdarlinsustjörnufræði er í dag ein virkasta undirgrein stjarnvísindanna og linsuhrif eru nú notuð til að grandskoða endimörk hins sýnilega heims og kortleggja dreifingu huldufnis í fjarlægum stjörnuþokum. Jafnframt hafa stjörnufræðingar notað þyngdarlinsuhrif til að kanna kekkjað hulduefni í hjúp okkar eigin Vetrarbrautar. Í ljós hefur komið að allt að helm-

unum. Evklíðskur heimur hefur þéttleika sem er nákvæmlega á mörkunum. Sjá nánari umfjöllun um þetta í megintexta bókar og eftirmála.

ingur huldumassans gæti verið fólgin í litlum dimmum hnöttum.⁴⁴ Hvers eðlis hnettirnir eru vita menn hins vegar ekki. Þar gæti verið um stórar reikistjörnur að ræða, svartar, brúna eða hvíta dverga, niffeindastrjörnur eða lítil svarthol. Það virðist hins vegar ljóst, að ekki er hægt að útskýra nema hluta þekks huldufnis í alheimi með þessum hætti og því eru aðrar hugmyndir enn í fullu gildi, til dæmis sú vinsælasta, sem gerir ráð fyrir að um veikt víxlverkandi öreindir frá frumheimi sé að ræða. Weinberg gerir þeirri hugmynd góð skil í eftirmála og einnig er fjallað um þetta efni í *Sögu tímans*.

Eins og þegar hefur komið fram nægir þéttleiki kekkjaðs efnis alls ekki til að stöðva úþenslu alheimsins og breyta henni í samdrátt. Þar vantar mikið uppá, og heimurinn virðist því óhjákvæmilega vera breiðger. Hins vegar má færa ýmis kennileg og fagurfræðileg rök fyrir því að mun eðlilegra sé að alheimurinn sé evklíðskur en breiðger. Slíkar vangaveltur tengjast hugmyndum öreindafræðinga um svokallaða óðaþenslu í frumgasinu, atburð sem hugsanlega varð þegar aðeins voru liðnar 10^{-32} sekúndur frá Miklahvelli og rætt verður nánar um hér á eftir. Ef sú tilgáta er rétt ætti meðalþéttleiki alheims

⁴⁴ Hnöttur af þessu tagi er kallaður MACHO, sem er skammstöfun á *Massive Compact Halo Object*.

að hafa alveg ákveðið gildi, sem svarar til evklíðska heimsins, og er tvisvar til þrisvar sinn- um hærra en það sem mælingar stjarnvísinda- manna sýna. Af þessum sökum telja ýmsir öreindafræðingar og heimsfræðingar ekki ósenni- legt, að til viðbótar kekkjaða hulduvefninu gæti annars konar hulduefni verið til staðar, ókekkjað efni, sem dreifist jafnt um geiminn og kemur þar af leiðandi ekki fram við venjulegar þyngdar- ákvarðanir. Þar gæti til dæmis verið um að ræða massalaugar öreindir á ljóshraða eða jafndreifða orku á öðru formi. Einn möguleiki er sá að í sjálfu tóminu sé fölginn orka, en slíkt hefði svipuð áhrif á sveigju alheimsins og hin nýja tegund hulduvefnis. Þetta er ein af ástæðum þess að heimsfastinn, sem er mælikvarði á orkupéttleika tómsins, hefur mikið verið til umræðu meðal kennilegra öreindafræðinga og heimsfræðinga á undanförunum árum.

Mælingar á örbylgjukliðnum gætu skipt sköp- um fyrir aukinn skilning á þessum viðfangsefn- um. Geislunin berst til okkar frá þeim tíma þeg- ar efni alheimsins var að breytast úr ógagnsæju rafgasi í venjulegt gagnsætt gas, efni sem síðar varð að stjörnum og vetrarbrautum. Örbylgju- kliðurinn er því lengra að kominn en nokkur önnur geislun, og með rannsóknnum á honum er- um við að kanna innra yfirborð hins sýnilega heims, sjálfa sjóndeildina, er umlykur allt það

sem við getum séð með mælitækjum stjarnvís- indanna. Það sem er lengra í burtu og nær Miklahvelli í tíma er hulið sjónnum vegna þess að frumheimurinn var ógagnsær fyrstu þrjú hundr- uð þúsund árin. Með þessa mynd í huga ætti að vera ljóst að nákvæmur samanburður á styrk ör- bylgjukliðsins úr hinum ýmsu áttum gefur upp- lýsingar um hitadreifinguna á sjóndeildinni og þar með um péttleikasveiflur í frumgasinu um það leyti sem efni og ljós skildust að. Stærðin á gárunum og dreifing þeirra á sjóndeildinni er háð atburðum í öreindasúpunni fyrir þann tíma. Atburðarásin ræðst aftur af gildi hinna ýmsu kennistærða, svo sem Hubblesstuðuls, meðal- péttleika og heimsfasta, og jafnframt af eðli og magni hulduvefnis. Síðast en ekki síst er hún háð eiginleikum frumkraftanna fjögurra við aðstæður sem hvergi er að finna annars staðar en í frum- heimi. Ef hugmyndir öreindafræðinga um sam- þættingu frumkraftanna eru réttar hafa ýmsir mikilvægir atburðir orðið í frumheimi skömmu eftir Miklahvell, þar á meðal óðaþenslan sem að- ur var nefnd, og þessir atburðir hafa sett mark sitt á péttleikasveiflurnar. Mælingar með COBE tunglinu voru ekki nógu nákvæmar til þess að svara afdráttarlaust þeirri spurningu hvort óða- þenslan átti sér stað eða ekki, þó að niður- stöðurnar séu reyndar í fullu samræmi við spár um afleiðingar hennar. Bandarískjamennt hyggjast

Því senda upp nýtt gervitungl í stað COBE árið 2000, í þeirri von að hægt verði að afla nákvæmra upplýsinga um kennistærðir heimsfræðinnar og óðabensluna. Mælistöðin er kölluð MAP og mun hún kortleggja sjóndeildina með mun meiri nákvæmni en unnt var að gera með COBE. Árið 2005 munu evrópskir stjarnvísindamenn síðan senda á loft Planck athugunarstöðina til enn frekari rannsókna á örbylgjukliðnum.⁴⁵

Hér verður nú í lok inngangs fjallað aðeins nánar um óðabensluna og kenningar tengdar henni. Tilgátan um óðabenslu er ein merkasta hugmynd sem fram hefur komið í öreindaheimsfræði á undanförunum tuttugu árum, og hvort sem hún mun reynast rétt eða ekki þá hefur hún hlotið mikla og verðskuldaða athygli og vakið frjója umræðu um alheiminn og uppruna hans. Frumkvöðlar kenningarinnar eru venjulega taldir tveir, Bandaríkjamadurinn Alan Guth og Rússinn Andrei Linde, þó að margir aðrir hafi vissulega lagt hönd á plóginn, þar á meðal Stephen Hawking og ýmsir aðrir af fremstu eðlisfræðingum og stjarnfræðingum samtímans.

Eins og Weinberg segir frá í eftirmála telja

⁴⁵ MAP er skammstöfun á *Microwave Anisotropy Probe*. Planck athugunarstöðin er kennd við þýska eðlisfræðinginn Max Planck sem fyrstur útskýrði algeislun og er stundum kallaður faðir skammtafræðinnar.

eðlisfræðingar að hið svokallaða tómarúm sé í rauninni alls ekki tóm heldur þéttsetið flóktandi skammtasviðum af ýmsu tagi. Meðal annars eru til staðar svokölluð skalarsvið, sérstök tegund skammtasviða sem gefa kvörkum og öðrum öreindum massa. Orkan sem fylgin er í skalarsviðum er hluti af heildarorku tómarúmsins og við vissar aðstæður getur hún orðið ríkjandi. Nú bendir reyndar flest til þess að orkuþéttleiki tómsins sé hverfandi, en ekki er víst að svo hafi ávallt verið. Ef hugmyndir öreindafræðinga um samþættingu sterku og rafveiku kraftanna eru réttar ætti orkuþéttleiki frumtómsins að hafa verið gífurlega hár í upphafi. Samkvæmt kenningunum hélt hann óbreyttur í um það bil 10^{-32} sekúndur eftir Miklahvell í stað þess að minnka hratt af völdum þenslunnar eins og orkuþéttleiki öreindanna. Á sama andartaki og öreindaþéttleikinn varð minni en fastaþéttleiki tómsins jókst þensluhraðinn gífurlega, reyndar svo mjög að talað er um óðabenslu. Þetta skeið stóð þó aðeins í 10^{-32} sekúndur og því lauk með hamskiptum, þegar sameinaði frumkrafturinn klofnaði í sterka kraftinn og rafveika kraftinn. Við það breyttist fylgin orka tómsins í varmaorku í rafgasinu og við tók venjuleg útbensla. En á hinum örstutta óðabenslutíma varð hlutfallsleg stækkun alheimsins að minnsta kosti 10^{50} sinnum meiri en annars hefði orðið. Þetta þýðir að í dag er

alheimurinn svo útblásinn, að á sérhverjum stað ætti hann að virðast því sem næst evklíðskur, algjörlega óháð hinni raunverulegu stórgerð.⁴⁶

Við fyrstu sýn kann kenningin um óðabenslu frumheimsins að virðast nokkuð langsótt, og eins og áður sagði gætu mælingar á meðalbéttleika alheimsins bent til þess að hún sé hreinlega röng. Þó er rétt að hafa í huga að hún byggir á hugmyndum sem hafa reynst vel við samþættingu veika kraftsins og rafsegulkraftsins og hafa verið staðfestar í mörgum tilraunum öreindafræðinga. Að auki leysir hún viss vandamál í sígildri Miklahvellskenningu, sem meðal annars tengjast stefnusneyðu örbylgjukliðsins og stórgerð alheimsins, eins og Weinberg ræðir um í eftirmála. Ekki má heldur gleyma því að mælingar COBE tunglsins á örbylgjukliðnum eru í fullu samræmi við kenninguna. Síðast en ekki síst hef-

⁴⁶ Með stórgerð alheimsins er hér átt við rúmfræðilega lögun hans. Óðabensla í breiðgerum heimi fletur hann svo mjög út að athugandi í slíkum heimi sér engan mun á honum og evklíðskum eða flötum heimi. Hið sama gildir um lokaða kúluheima. Til gamans má minna á í þessu sambandi að menn héldu lengi vel að jörðin væri flöt eins og pönnukaka. Ástæðan er fyrst og fremst stærðarmunur manns og jarðar. Í óðabensluheimi er tilsvarandi stærðarmunur svo gífurlegur að stjarnfræðilega háar tölur nægja vart til að lýsa honum.

ur hún komið af stað frjórrí umræðu meðal eðlisfræðinga og stjörnufræðinga um frumheiminn og sjálfan Miklahvell. Áður var á það bent að sumar hugmyndir öreindaheimsfræðinga snúast um fyrirbæri í frumheimi sem fyrirsjáanlegt er að aldrei verður hægt að rannsaka í hefðbundnum tilraunum. Óðabenslan er sennilega í þeim flokki, en hún skilur hins vegar eftir sig merki í örbylgjukliðnum sem hægt er að kanna með mælingum. Því miður virðist ekki vera hægt að segja hið sama um ýmsar aðrar kenningar, til dæmis þær sem byggja á strengjafræði eða M-fræði og fjalla um atburði sem gerðust á svokölluðu Planckskeiði, fyrstu 10⁻⁴³ sekúndurnar eftir Miklahvell. En á meðan fræðimenn gera sér sjálfir glögga grein fyrir því að umræða um slíka hluti er oft á mörkum raunvísinda og frumspeki, þá er full ástæða til að halda henni áfram og þenja kenningar að þolmörkum. Sagan segir okkur nefnilega að framæktnar vangaveltur leiða oftar en ekki til nýs skilnings á ýmsum mikilvægum fyrirbærum efnisheimsins.

Ein skemmtilegasta hugmyndin sem spunnist hefur út frá óðabenslukenningu er tilgáta Lindes um það sem kalla mætti „glundroðabenslu“ á íslensku.⁴⁷ Venjulega er gert ráð fyrir

⁴⁷ Á ensku er ýmist talað um *chaotic inflation* eða *eternal inflation*.

að óðábenslan verði samtímis á mörgum mismunandi stöðum í frumheimi og að hún skilji eftir sig risastórar efnisbólur vítt og breitt um allheiminn. Samkvæmt kenningunni er hinn sýnilegi heimur djúpt inni í einni slíkri risabólu og við höfum því engar upplýsingar um aðrar bólur sem eru langt utan sjóndeildar. Þannig má hugsa sér sérhverja bólu sem einangraðan heim útaf fyrir sig, og að fyrir utan „okkar heim“ séu margir (jafnvel óendanlega margir) „aðrir heimar“. Alheimurinn er því safn allra slíkra heima. Það er ljóst að merking orðsins alheimur fær á sig alveg nýjan blæ í þessu tilbrigði við Miklahvellskenninguna.

En Linde hefur bætt um betur. Í kenningu sinni um glundroðábenslu reiknar hann með að skalarsviðin hafi ekki sama gildi alls staðar í upphafi, heldur sveiflist þau á glundroðakenndan hátt. Afleiðingin er sú að óðábenslan byrjar á mismunandi tímum á hinum ýmsu stöðum. Þannig gætu aðrir mikluhvellir hafa orðið langt í burtu frá okkar heimi og á undan okkar Miklahvelli. Jafnvel gæti verið von á fleiri mikluhvellum á enn öðrum stöðum. Samkvæmt þessari stórbrotnu kenningu gæti alheimurinn verið óendanlega gamall en nýir heimar stöðugt að spretta upp úr frumtöminu.

Nýlega hafa menn farið að nota hugtakið fjöl-

heimur í stað alheims í þessu sambandi.⁴⁸ Samkvæmt skilgreiningu inniheldur fjölheimur alla þá heima sem kenningin um glundroðábenslu gerir ráð fyrir að séu til. Við getum þá haldið áfram að tala um okkar heim sem alheim og okkar miklahvell sem Miklahvell eins og ekkert hafi í skorist. Það er athyglisvert að hin nýja heimsmynd Lindes minnir um margt á gömlu sístöðukenninguna sem einnig var byggð á frumspækingum vangaveltum. Sístöðukenningunni var þó eingöngu ætlað að lýsa okkar alheimi, og sem slík reyndist hún röng eins og áður hefur verið greint frá. En grundvallarforsenda hennar um heim, sem lítur í aðalatriðum ávallt eins út, á hins vegar ágætlega við um fjölheim Lindes.

Áður var á það minnst að samkvæmt kenningu um öreindafræðinnar gefa skalarsviðin ögnum massa, og er massi öreinda af ákveðinni tegund háður gildi tilsvarendi sviðs. Linde og ýmsir aðrir hafa látið sér detta í hug að margar aðrar stærðir en massi öreinda séu einnig háðar skalarsviðum. Þetta gæti til dæmis átt við um stærðir, sem ákvarða styrk frumkraftanna, eins og þyngdarstuðul Newtons og fasta Coulombs fyrir rafstöðukraftinn. Í fjölheimi eru gildi skalarsviðanna algjörlega tilviljanakennd þegar óðábensla

⁴⁸ „Fjölheimur“ er þýðing á enska orðinu *multiverse*.

hefst og það gæti leitt til þess að massi öreinda og styrkur frumkraftanna væri mismunandi í hinum ýmsu bóllum. Þróun efnisins væri þá mismunandi eftir heimum. Sumir heimar væru fæddir andvana í þeim skilningi að þar mynduðust engar stjörnur og engar vetrarbrautir vegna of veiks þyngdar-krafts. Í öðrum væri þyngdin hins vegar svo sterk að allt efnið safnaðist í þetta kekki sem yrðu fljótlega að svartholum. Í slíkum heimum ætti líf væntanlega ekki mikla möguleika á að myndast, hvað þá þróast. En í nokkrum heimum gætu kraftarnir verið mátulega sterkir og massar öreindanna þannig að skilyrði til lífs væru ákjósanleg. Ljóst er að ef eitthvað vit er í þessari hugmynd, þá hljóttum við að búa í slíkum heimi. Þess vegna ætti það ekki að koma á óvart að massar öreindanna og styrkur kraftanna, sem gera vart við sig í kringum okkur, hafi nákvæmlega þau gildi sem eru nauðsynleg lífinu og þróun þess.

Röksemdafærsla af þessu tagi fellur undir þá tegund vangaveltna sem oft eru kenndar við mannhorf.⁴⁹ Í hinni svokölluðu veiku útgáfu af mannhorfi er einfaldlega á það bent að við ættum ekki að vera undrandi á því að nánasta umhverfi okkar í alheimi sé eins og raun ber vitni. Ef það væri allt öðru vísi, þá værum við líklega ekki hér

⁴⁹ Á ensku er talað um *anthropic reasoning* og stundum um *the anthropic principle*.

til að velta þessum hlutum fyrir okkur. Væntanlega geta flestir verið því sammála að þetta sé frekar saklaus fullyrðing. En einnig er til sterk útgáfa af mannhorfi sem tengist fornu markhyggjunni eða tilgangsspekinni. Hún segir að alheimurinn hljóti nauðsynlega að hafa þá eiginleika sem leyfa lífi að þróast einhvers staðar. Þetta finnst flestum raunvísindamönnum einum of djúpt í árinni tekið og sterkt mannhorf á sér því tiltölulega fáa fylgismenn í þeirra hópi.

Þó að mannhorf hafi talsvert verið til umræðu í heimsfræði á undanförunum áratugum, þá telja flestir eðlisfræðingar og stjörnufræðingar að slík speki vegi ekki þungt í vísindalegri umfjöllun um alheiminn. Því verður hins vegar ekki á móti mælt að vangaveltur Lindes og skoðanabræðra hans um fjölheiminn eru bæði snjallar og spennandi, og þær hafa þess vegna vakið umtalsverða athygli meðal leikra sem lærðra. Hugmyndin um óendanlegan og eilífan fjölheim, þar sem heilu heimarnir eru stöðugt að fæðast og deyja, er ákaflega heillandi og kemur ímyndunarafinu óhjákvæmilega á hreyfingu. En látum Weinberg hafa orðið um þetta skemmtilega efni:

Eitt er ég þó viss um. Þeir, sem telja að hugmyndin um eilífan alheim sé út í hött og þess vegna sé einn frumatburður nauðsyn, eiga eitt sameiginlegt með hinum sem halda því fram að hugmyndir um

eitt allsherjarupphaf séu fátánlegar og að alheimurinn hljóti því að vera óendanlega gamall. Röksemdafærslan hjá báðum er röng, óháð því hvor hópurinn hefur á réttu að standa. Við vitum hvorki hvort alheimurinn er óendanlega gamall né hvort hægt er að tala um hinn fyrsta atburð. Hvorugt sjónarmiðið er fátánlegt, en rétt svar fæst alls ekki með hreinu innsæi eða með heimspekilegum eða guðfræðilegum rökum. Það fæst aðeins með venjulegum vinnuaðferðum raunvísinda.⁵⁰

Flestir raunvísindamenn eru væntanlega samála því að hvorki heimspeki né guðfræði geti gefið afdráttarlaust svar við þessari áhugaverðu spurningu. En hvort raunvísindi standa þar eitt-hvað sterkar að vígi er hins vegar langt frá því að vera jafn augljóst og orð Weinbergs virðast gefa til kynna.

Einar H. Guðmundsson

⁵⁰ Þetta er lausleg þýðing inngangshöfundar á lokaorðum Weinbergs í greininni „Before the Big Bang“ í tímaritinu *The New York Review of Books*, 12. júní 1997, bls. 16–20.

ÁR VAR ALDA

Fyrstu þrjátíu mínútur alheims