

# HEIMSMYND STJARNVÍSINDA: SANNLEIKUR EÐA SKÁLDSKAPUR?

Einar H. Guðmundsson

## I. Inngangur<sup>1</sup>

Það má líkja heimsmynd vísindanna við stórfelda kirkjumið eða musteri, sem menn hafa verið að reisa öldum saman og eru enn að bæta, fegra og fullkomna.

Ágúst H. Bjarnason<sup>2</sup>

Í þessari grein verður fjallað um alheiminn og tilraunir vísindamanna til þess að skilja uppruna hans, gerð og þróun. Megináhersla verður lögð á það að ræða undirstöður eða grundvöll nútíma heimsfræði, meðal annars í ljósi ríkjandi heimsmyndar sem er hin þekktu kenning um miklahvell. Helstu rök fyrir kenningunni verða könnuð og þau rædd í víðara samhengi. Hins vegar verður ekki varið miklu rými í það að fjalla um smáatriði í kenningunni sjálfri og gengið verður út frá því að menn þekki í aðalatriðum þá stórbrotnu mynd af alheimi sem í henni felst.

Samkvæmt kenningunni varð alheimur til í ólýsanlega mögnuðum frummatburði, svokölluðum miklahvelli, fyrir 10 til 20 milljörðum ára. Efnið sem þá myndaðist er enn að þenjast út. Í upphafi var það ofurheitt og ofurþétt rafgas, en í rás tímans kólnaði það vegna þenslunnar og myndaði kekki er síðar urðu að stjörnum og vetrarbrautum, geimpökum og reikistjörnum og öllum þeim fyrirbærum öðrum sem nú er að finna í órávöldum geimsins. Eins og mörgum mun kunnugt renna mælingar og athuganir stjarnvísindamanna styrkum stöðum

1 Ritsmið þessi er í öllum meginatriðum samhljóða erindi sem haldið var 17. febrúar 1996 í fyrirlestarráðinni Er vit í vísindum? Gunnlaugur Björnsson stjarnfræðingur, Þorsteinn Sæmundsson stjörnufræðingur og Þorsteinn Vilhjálmsson eðlisfræðingur lásu drög að greininni og bentu á ýmislegt sem betur mátti fara. Kann höfundur þeim bestu þakkir fyrir.

2 Ágúst Bjarnason (1926), bls. 6.

undir þessa stórbrotnu þróunarsögu. Framtíð alheims er hins vegar óráðin og í dag er ekki vitað hvort hann heldur áfram að þenjast út um alla eilífð eða hvort þenslan muni stöðvast og breytast í samdrátt í fjarlægri framtíð.

Þessi örstutta lýsing á miklahvellskenningunni verður látin nægja að sinni.<sup>3</sup> Kastljósinu verður þess í stað beint að meginviðfangsefninu en það er umfjöllun um þann grundvöll sem heimsmyndin hvílir á og þær aðferðir sem heimsfræðingar beita þegar þeir smíða vísindaleg líkön eða myndir af veröldinni. Fyrst verður rætt um sérstöðu heimsfræðinnar í heimi vísindanna og síðan fjallað um helstu forsendur sem lagðar eru til grundvallar í heimsfræði. Í því sambandi verður rætt sérstaklega um atriði eins og náttúrulögmálin, rúmfræðilega gerð alheims og vísbendingar um þróun veraldarinnar í heild. Einnig verður heimsmyndum almennu afstæðiskenningarinnar lýst í stórum dráttum og í framhaldi af því fjallað líttilega um þau áhrif sem kenningin um miklahvell hefur haft á hugsunarhátt margra eðlisfræðinga og stjarnvísindamanna samtímans. Í lokin verður svo gerð tilraun til þess að svara spurningunni sem varpað er fram í titlinum.

## II. Sérstaða heimsfræðinnar

Frá upphafi vega hefur maðurinn brotið heilann um eðli þeirra hluta, sem myndu umhverfi hans, og reynt að gera sér hugmyndir um útlit sjálfra heildarinnar, alheimsins. Heimsfræðin er þannig eitt elsta viðfangsefni mannsandans, og viðfangsefni, sem enn í dag skipar höfuðseti.

*Þorsteinn Sæmundsson*<sup>4</sup>

Heimsfræði er sú vísindagrein sem fjallar um alheiminn, gerð hans og þróun. Það eru einkum tvö atriði sem gera hana talsvert frábrugðna öðrum greinum raunvísinda. Í fyrsta lagi er ljóst að sammanburðar-rannsóknir á viðfangsefninu eru útilokaðar því að alheimurinn er samkvæmt skilgreiningu einn og óskiptur. Einnig er auðvelt að sjá að tilraunir á alheimi sem slíkum eru óhugsandi. Að sjálfsögðu er hægt að gera tilraunir á margvíslegum fyrirbærum í alheimi, til dæmis hér á jörðinni eða í nágrenni hennar, en slík tilraunastarfsemi fellur undir önnur fræðasvið en heimsfræði.

<sup>3</sup> Mun ítarlegri lýsingar er að finna í ritum sem talin eru upp í skránni um frekara lesefni í lok greinarinnar.

<sup>4</sup> Þorsteinn Sæmundsson (1966), bls. 48.

Þessi sérstaða veldur því meðal annars að stöku sinnum læðist að heimsfræðingum sá grunur að þeir viti í raun og veru ekki hvort þeir séu að leita svara við réttum spurningum um alheiminn. Hefðbundnum vísindalegum aðferðum er þó beitt eftir föngum, meðal annars með því að mæla og kortleggja allt sem virðist skipta máli, en síðast en ekki síst með smíði líkana eða vísindalegra heimsmynda.<sup>5</sup> Mæliniðurstöður eru skoðaðar í ljósi hinna ýmsu líkana og með slíkum samburði má gera sér vonir um að finna það líkan sem best lýsir veröldinni á hverjum tíma. Að baki þessari viðleitni liggur náttúrulega sú sannfæring, eða trú, að alheimurinn sé ekki ofvaxinn mannlægum skilningi.

Heimsfræðingar gera sér vissulega grein fyrir því að heimslíkön geta ekki lýst nema hluta af þeim margbrotna veruleika sem alheimur er. Veröldin er gífurlega stór og flókin en samt má sjá í henni vissa reglu, einfalda drætti og jafnvel fegurð. Við gerð heimsmynda skiptir mestu að komast að því hvaða atriði í gerð og þróun alheimsins eru mikilvægust og leitast við að skilja þau eftir bestu getu. Á hverjum tíma geta tvö eða fleiri líkön verið til umfjöllunar en stundum kemur fyrir að eitt þeirra þykir skara svo mjög fram úr að hægt sé með réttu að kalla það heimsmynd nútímans. Slíkt hefur einmitt gerst með kenninguna um miklahvell.

Heimslíkön taka sífelldum breytingum. Þau þróast eftir því sem nýjar athuganir og mælingar veita betri og fyllri upplýsingar um alheiminn. Að sjálfsögðu er sá möguleiki ávallt fyrir hendi að heimsmynd verði afsönnuð. Venjulega gerist það með þeim hætti að sýnt er fram á að hún geti ekki útskýrt ný fyrirbæri eða nýjar uppgötvanir. Það var nákvæmlega þetta sem kom fyrir jafnstöðukenninguna sál-ugu, en hún féll endanlega í valinn árið 1965 þegar örbylgjukliðurinn var uppgötvaður. Síðan þá hefur kenningin um miklahvell ekki átt sér neinn hættulegan keppinaut um titilinn heimsmynd nútímans.

Víkjum nú nánar að nokkrum grundvallaratriðum. Mikilvægt er að gera sér grein fyrir því að vísindaleg heimsmynd er í eðli sínu stærðfræðilegt líkan af alheimi þar sem stuðst er við nýjustu og bestu þekkingu í stjörnufræði, eðlisfræði og öðrum fræðigreinum. Heimslíkan er reist á ákveðnum forsendum, meðal annars um náttúru-

<sup>5</sup> Í þessari grein er hugtakið heimsmynd ávallt notað í merkingunni heimslíkan. Á ensku er talað um cosmological model eða world model í þessu sambandi. Hins vegar er eðlilegt að nota orðið heimsmynd yfir það sem á ensku er kallað world view. Um heimsmynd nútímans er stundum notað orðalagið the standard cosmological model eða modern theories of the universe.

lögmaín, rúmfræðilega gerð veraldarinnar og þróun hennar. Ávallt verður að gera þá grundvallarkröfu að bæði forsendur og niðurstöður útreikninga séu í samræmi við niðurstöður bestu mælinga og athugana á alheimi á hverjum tíma. Í því sambandi er sérlega mikilvægt að túlkun á mæliniðurstöðum sé ekki byggð á líkaninu sem er til athugunar hverju sinni. Slíkt getur verið erfitt að varast, einkum vegna þess að í heimsfræði er ekki hægt að beita samanburði og tilraunum á sama hátt og í öðrum vísindum. Til þess að draga úr hættunni á þessu hafa stjórnufræðingar, eðlisfræðingar og stærðfræðingar þróað ýmsar gagnlegar aðferðir til að bera mæligögn saman við spár mismunandi kenninga.<sup>6</sup>

Til viðbótar þessum almennu og sjálfsgöðu vinnureglum beita heimsfræðingar oft öðrum mun óljósari og einstaklingsbundnari reglum við gerð heimslíkana. Hér er til dæmis átt við kröfur um það að heimslíkón séu eins *einföld* og frekast er unnt, að þau séu *semmileg* og jafnvel *glæsileg* eða *fallleg*. Kröfur af þessu tagi eru oft ómeðvitaðar að meira eða minna leyti en sagan kennir okkur að stundum hafa menn ratað rétta leið að sannleikanum með því að beita slíkri aðferðfræði!

Krafan um einfaldleika er oftast kennd við enska lærdómsmanninn Vilhjálm af Ockham (fæddur um 1280, dáinn 1349) og gengur þá undir nafninu *rakhnífur Ockhams*. Ef tvær mismunandi kenningar um sama fyrirbæri geta báðar útskýrt allt það sem vitað er um fyrirbærið þá er eðlilegt að beita rakhnífi Ockhams og velja þá kenningu sem er einfaldari. Hin kenningin er jafnframt lögð til hliðar. Síðar kunna að sjálfsgöðu að koma í ljós ný atriði sem einfaldari kenningin getur ekki skýrt eða skýrir ranglega. Hún er þá lögð til hliðar og geti hin kenningin útskýrt nýju atriðin þá er hún eða önnur enn betri (einfaldari) valin í staðinn. Rakhnífi Ockhams er oft beitt í heimsfræði, ekki síður en í öðrum vísindum, til að velja á milli hinna ýmsu kenninga.<sup>7</sup>

Aður en lengra er haldið er rétt að nefna eitt atriði til viðbótar. Heimsmynd er stærðfræðilegt líkan í víðasta skilningi og til þess að það komi að tilætuðum notum er mikilvægt að unnt sé að leysa þau stærðfræðilegu vandamál sem upp koma í líkaninu. Það virðist því nokkuð ljóst að stærðfræðipekkingin á hverjum tíma getur haft

<sup>6</sup> Sjá t.d. MS-ritgerð Kára Indriássonar (1995).

<sup>7</sup> Um Ockham og rakhníf hans má meðal annars lesa í grein Eyjólfs Kjalars Emils-sonar (1985).

veruleg áhrif á heimsmyndina, ekki síður en þekking í eðlisfræði og stjórnufræði. Þetta á reyndar einnig við um reikni- og tölvutækni, og reiknigeta óflugustu tölva á hverjum tíma ákvarðar oftast en ekki hversu ítarleg heimsmyndin getur orðið. Sem dæmi má nefna reikninga innan vébanda miklahvellskenningarinnar á myndun og dreifingu vetrarbrauta í geimnum. Þetta er gífurlega flókin reikniþraut sem stjarnvísindamenn eru enn að glíma við og virðist óleysanleg nema með viðamiklum tölvureikningum.<sup>8</sup>

Í ljósi þessa mikilvægis stærðfræðinnar má með nokkrum rétti segja að hún sé lykillinn að vísindalegum skilningi á alheimi. Þetta þýkir mörgum dularfullt þar sem engin augljós rök eru fyrir því að lögmál náttúrunnar hljóti að lúta leikreglum stærðfræðinnar. Hins vegar bendir öll vísindareynsla mannsins ótvírætt til þess að svo sé. Hvort hið sama gildir um veröldina í heild er aftur á móti langt frá því að vera ljóst. En á meðan engar vísbendingar eru um hið gagnþæða virðist bæði eðlilegt og skynsamlegt að gera ráð fyrir að hægt sé að lýsa alheimi með stærðfræðilegum aðferðum. Það er því gert í vísindalegri heimsfræði.<sup>9</sup>

### III. Náttúrulögmálin

Í rauninni er þess alls ekki að vænta að sömu lögmál gildi um hið ofursmáa og atarstóra.

Björn Franzson<sup>10</sup>

Fyrsta og mikilvægasta forsendan sem heimsfræðingar gefa sér um náttúrulögmálin er einfaldlega sú að þau séu til! Með því er átt við að til séu algild lögmál er stýri öllum ferlum í náttúrunni. Úr eðlisfræði má nefna þekkt dæmi eins og bygndarlögmálið, annað lögmál varmafræðinnar og varðveislulögmál af ýmsu tagi. Aðrar vísindagreinar, svo sem efnafraði og líffraði, eiga sér einnig lögmál. Þetta virðist augljóst nú á dögum og saga vísinda og tækni segir frá hverju stórafrekinu á fætur öðru er tengist leitinni að lögmálum og beitingu þeirra á ýmsum sviðum. Yfirgæfandi meirihluti vísindamanna gengur þess vegna út frá því sem vísu að náttúran lúti algildum lögmálum. Það er þó rétt

<sup>8</sup> Sjá t.d. MS-ritgerð Örnólfs E. Rögvaldssonar (1996).

<sup>9</sup> Sjá í þessu sambandi grein Wigners (1960) og bækur Feynmans (1967) og Barrows (1992).

<sup>10</sup> Björn Franzson (1938), bls. 158.

að minna á að til eru fræðimenn sem hafa látið í ljós vissar efasemdir og sumir þeirra telja að náttúran kunni að vera tilviljana- eða glund-roðakennð í innsta eðli sínu.<sup>11</sup> Slíkar vangaveltur verða ekki til frekari umræðu í þessari grein en til að forðast misskilning er rétt að taka fram að þær flokkast ekki undir hin nýju og stórmerku fræði sem kennd eru við ringl (chaos) þó að vissulega sé um ákveðinn skyldleika að ræða.<sup>12</sup>

Að því gefnu að til séu náttúrulegumál er ofast gengið út frá því, meðal annars í kenningunni um miklahvell, að þau séu óháð stað og tíma. Þau séu ávallt og alls staðar hin sömu. Þetta er gömul skoðun sem til dæmis má sjá í grein Jónasar Hallgrímssonar frá 1835 um eðli og uppruna jarðarinnar en þar segir Jónas meðal annars:

... svo guðrækilæg skoðun hlutanna hlýtur, ekki síður en heimspekilegar rannsóknir, að leiða menn á þá sannfæringu að lögmál náttúrunnar sé eilíft og óumbreytanlegt. Því fer svo fjarrí að almætti guðs og fjálsu vísu sé neitað fyrir það, að einmitt af því inn fjálsli guð er fullkominn og ótakmarkaður hljóta hans gjörðir fyrir vorum augum að líta út sem eilíf og óbifanleg lög er allir hlutir verði að hlýða. Tökum til dæmis þyngdina. ...<sup>13</sup>

Jónas styður mál sitt guðrækilægum og heimspekilegum rökum eins og hann tekur fram sjálfur. Í dag væri talið eðlilegra að segja að engar vísbendingar hafi fundist um annað en að lögmálin séu óháð stað og tíma. Sú niðurstaða felur meðal annars í sér að grunnstærðir eðlisfræðinnar séu fastastærðir. Með grunnstærðum er til dæmis átt við ljóshraðann í lofttræmi, þyngdarstuðul Newtons, stuðul Plancks og aðrar þær eðlisfræðilegu stærðir er koma fyrir í náttúrulegumálunum.

Ýmsar tilraunir hafa verið gerðar til þess að kanna, með fræðilegum hætti, hvaða afleiðingar það hefði að leyfa sumum þessara stærða að breytast með tíma eða taka mismunandi gildi á mismunandi stöðum í alheimi. Sem dæmi má nefna kenningu sem gerir ráð fyrir að styrkur þyngdarkraftsins minnki með tímanum. Til viðbótar því að enginn fótur virðist vera fyrir slíkri breytingu í þeirri veröld sem við lifum í þá er kenningin mjög snúin og mun flóknari en almenna afstæðiskenningin sem gerir ráð fyrir að styrkur þyngdarinnar sé

<sup>11</sup> Sjá t.d. grein Nielsens (1983).

<sup>12</sup> Mikið hefur verið ritað um ringl á undanförmum árum. Aðgengilegt yfirlit er meðal annars að finna í bók Gleicks (1987). Sjá einnig Weinberg (1992), sem nalgast viðfangsefnið frá talvert öðrum sjónahóli.

<sup>13</sup> Jónas Hallgrímsson (1835), bls. 111.

algjörlega óháður tíma. Flókna kenningin fellur því fyrir rakhnífi Ockhams. Sömu sögu er að segja um aðrar óþarflega flóknar kenningar af svipuðum toga.

Þriðja forsendan um náttúrulegumálin sem ofast er gengið út frá við gerð heimsmynda gerir ráð fyrir því að menn þekki þau lögmál er skipta máli í heimsfræði. Þetta er eðlileg forsenda en hún kann að sjálfögðu að reynast röng. Það sem styrkir menn fyrst og fremst í þeirri trú að náttúrulegumálin séu þekkt í öllum meginatriðum er sú gífurlega þekking sem vísindin hafa aflað um eðli og eiginleika efnis, rúms og tíma. Stór hluti af þeirri þekkingaröflun hefur átt sér stað á öldinni sem nú er að líða. Vísindamönnum hefur tekist að byggja upp mjög heildstæða og sennilega mynd af innviðum efnisheimsins og þeim víxlverkunum sem eiga sér stað milli hinna ýmsu hluta hans. Það er þessi mynd sem heimsfræðingar leggja ofast til grundvallar við smíði heimslíkana og því er við hæfi að fara um hana nokkrum almennum orðum hér á eftir. Aður en lengra er haldið er þó rétt að taka fram að það er alls ekki gengið út frá því sem sjálfögðum hlut í heimsfræði að eðlisfræðin eða aðrar vísindagreinir hafi höndlað hinn endanlega sannleik. Heimsfræðingar styðjast einfaldlega við það sem best er vitað um efnisheiminn á hverjum tíma og að baki liggur náttúrulega sú sannfæring eða trú að þekkingin sé nægjanlega víðtæk til þess að hægt sé að fjalla um alheiminn af skynsamlegu viti.

Samkvæmt heimssýn nútíma eðlisfræði má rekja allt það sem gerist í efnisheiminum í dag til fjögurra frumkrafta. Þeir eru sterkir og veikir krafturinn, rafsegulkrafturinn og þyngdin. Sterki kjarnakrafturinn heldur meðal annars kjörnum atómanna saman. Veiki krafturinn veldur hrörnun ýmissa öreinda og ber þannig ábyrgð á vissri tegund geislavirkni. Rafsegulkrafturinn er allsráðandi í hinum smásæja heimi atóma, sameinda og kristalla og þar með einnig í miðsæjum heimi stærri efniskerfa. Í hinum stórsæja heimi daglegs lífs má einnig rekja svo til alla kraftverkun til rafsegulkraftsins með einum eða öðrum hætti en þó lætur þyngdin nokkuð til sín taka. Í heimi stjarna og vetrarbrauta er hún hins vegar allsráðandi. Það er einmitt þess vegna sem kenningar um þyngdina eru svo mikilvægar í heimsfræði.

Þá smættarbyggju sem fram kemur í lýsingunni hér að framan má ekki taka allt of bókstaflega. Það er til dæmis ekki nokkur leið að nota kenningar um frumkraftana milliliðalaust til að útskýra í smáatriðum öll þau flóknu ferli sem eiga sér stað í stórsæjum heimi. Hins vegar má oft sjá að flókin ferli fara af stað og þróast vegna víxlverkana sem

stjórnast af atburðum í miðsæjum heimi en þá atburði má aftur rekja með einum eða öðrum hætti til smásæja heimsins og þar með til eins eða fleiri frumkrafta. Það er þetta sem flestir eðlisfræðingar eiga við þegar þeir halda því fram að rekja megi öll ferli í náttúrunni til frumkraftanna.<sup>14</sup>

Á þessari öld hefur eðlisfræðingum tekist að búa til heilsteyptrar kenningar um frumkraftana fjóra. Skammtafræði er beitt til að lýsa sterka og veika kraftinum sem og rafsegulkraftinum og kenningarnar um þessa þrjá krafta hafa verið staðfestar með mikilli nákvæmni í fjölda tilrauna á rannsóknastofum um heim allan. Einfaldasta og glæstlegasta kenningin um þyngd, rúm og tíma er hins vegar almenna afstæðiskenningin. Kenningin er hefðbundin, sem kallað er, vegna þess að hún lýsir aðdráttarkraftinum milli hluta, jafnt sólstjarna sem öreinda, án þess að taka tillit til skammtafræði í hinum smásæja heimi öreindanna. Þegar um stóra hluti er að ræða skiptir skammtaæðlið ekki svo miklu og við allar venjulegar aðstæður er hin hefðbundna lýsing almennu afstæðiskenningarinnar algjörlega fullnægjandi. Um öreindir gegnir öðru máli. Þær hafa ótvíræða skammtaæiginleika og því virðist ljóst að útvíkka þarf almennu afstæðiskenninguna í skammtakenningu þar sem þyngdarverkun milli öreinda er lýst að hætti skammtafræðinnar.

Eðlisfræðinga hefur lengi dreymt um það að sameina kenningarnar um frumkraftana fjóra í eina allsherjarkenningu. Sá sameiningardraumur á sér merka sögu sem ekki verður rakin hér. Á sjöunda áratugnum tókst að búa til kenningu er lýsir veika kraftinum og rafsegulkraftinum sem tveimur mismunandi hlöðum á eina og sama frumkraftinum. Með þeim hætti tókst í vissum skilningi að fækka frumkröftunum úr fjórum í þrjá. Hinn nýi sameinaði kraftur kemur þó lítið við sögu í veröldinni í dag og til að kanna eiginleika hans þarf viðamiklar og flóknar tilraunir í öflugum hröðlum öreindafræðinga.<sup>15</sup>

En eðlisfræðingar vilja ganga enn lengra. Þeir hafa lagt mikla áherslu á að leita að kenningu sem gæti sameinað þennan nýja frumkraft og sterka kjarnakraftinn. Sú viðleitni hefur borið verulegan árangur og ýmislegt bendir til þess að slík kenning geti verið skammt undan. Hins vegar hefur ekki gengið eins vel að láta drauminn um

14 Bók Feynmans (1967) fellar á mjög skýran og skemmtilegan hátt um náttúruögmálin og viðhorf eðlisfræðinga til þeirra.

15 Sjá t. d. greinar Jakobs Yngvasonar (1984), Guðna Sigurðssonar (1987) og bók Creases og Manns (1996).

hina endanlegu kenningu rætast. Þessi óþekkta kenning gengur venjulega undir nafninu þyngdarskammtafræði og lýsir það vel því hlutverki sem kenningunni er ætlað að þjóna. Menn sjá fyrir sér allsherjarkenningu sem útskýrir alla kraftana, þar á meðal þyngdina, sem mismunandi hlíðar á einum og sama frumkraftinum. Flestir eðlisfræðingar virðast líta á það sem sjálfsgöðan hlut að slík kenning sé til og að það sé aðeins tímaspursmál hvener hún finnst. Það er þó rétt að minna á að í hópi eðlisfræðinga eru til menn sem leyfa sér að efast um að þetta sé raunhæft markmið.<sup>16</sup>

Draumarnir um þyngdarskammtafræði hafa vakið upp nýjar og stórbrotnar hugmyndir í heimsfræði. Í því sambandi má nefna hugmyndir er tengjast upphafi alheimsins, þar á meðal svokallaða ofurþenslu í nýfæddum frumheimi og jafnvel vangaveltur um aðra heima utan okkar veraldar. Hugmyndirnar byggjast meðal annars á því að menn láta sig dreyma um það hvaða eiginleika fullmótuð þyngdarskammtafræði ætti að hafa og gera svo ráð fyrir þeim í útreikningum. Með slíkum aðferðum er oft hægt að komast að áhuga-verðum niðurstöðum en mikilvægt er að hafa í huga að enn sem komið er verður að líta á allar slíkar fræðilegar tilraunir sem hreinar vangaveltur.<sup>17</sup>

Undir lok greinarinnar verður vikið frekar að þessu skemmtilega efni en nú er kominn tími til að huga aftur að forsendunum sem gengið er út frá í heimsfræði nútímans. Í kenningunni um miklahvell er til dæmis gert ráð fyrir að almenna afstæðiskenningin sé rétta kenningin um þyngdarafið og hún er því notuð til að lýsa þróun veraldarinnar. Skammtafræðinni er hins vegar beitt til þess að lýsa eiginleikum orku og efnis í alheimi. En það þarf fleiri forsendur til að búa til skynsamlega heimsmýnd. Lítum næst á hugmyndir heimsfræðinga um rúmfræðilega gerð alheimsins.

16 Stundum er í stað þyngdarskammtafræði talað um kenninguna um allt. Sumir telja að hin svokallaða strengjafræði geti þjónað þessu mikla hlutverki. Sjá m. a. bækur Weinbergs (1992), Hawking's (1990) og Barrows (1988) og grein Þórðar Jónssonar (1989).

17 Bækur Hawking's (1990) og Barrows (1994) gefa mjög gott yfirlit um þetta efni, sem fellur undir svokallaða skammtaheimsfræði. Sjá einnig grein Coopers, Suskinds og Lárusar Thorlaciusar (1991).

#### IV. Stærð og gerð alheimsins

Allt það er vér grillum til um himingeiminn er efallaust svo lítið að því er ekki að samjafna sem dropa við sjóinn.

Georg Frederik Ursin<sup>18</sup>

Rannsóknir stjörnufræðinga hafa leitt í ljós að veröldin er gríðarlega stór og væntanlega til muna stærri en sá hluti sem við sjáum héðan frá jörðinni. Það er einmitt þetta atriði sem gerir leitina að vísbendingum um rúmfræðilega gerð alheimsins jafn erfiða og raun ber vitni. Hin sýnilegi heimur er svo stór miðað við vegalengdirnar í sólkerfinu að rannsóknir vísindamanna eru í raun bundnar við einn stað í óravíddum geimsins. Jafnframt fara þær fram á því sem næst einum tímapunkti í sögu veraldar sem er greinilega ævagömul. Á mótinu kemur að við getum horft aftur á bak í tímann með því að skyggjast æ lengra út í geiminn með sjónaukum og öðrum mælitækjum. Ástæðan fyrir þessu er endanlegur hraði ljóssins sem bet til okkar upplýsingar frá fjarlægum fyrirbærum. Ferðalag ljóssins tekur tíma sem er þeim mun lengri sem vegalengdin er meiri. Ljós frá nálægum vetrarbrautum hefur verið milljónir ára á leiðinni. Þær fjarlægustu og daufastu sjáum við hins vegar eins og þær voru fyrir milljörðum ára. Við höfum því talsverða möguleika á því að afla upplýsinga um gerð hins sýnilega heims og þróunina í okkar heimshluta.

Í beinu framhaldi af þessu vakna spurningar um það hversu stóran hluta alheims við sjáum héðan frá sólkerfinu og hvort það sem er svo langt í burtu að við sjáum það ekki vegna fjarlægðar eða af öðrum ástæðum, sé svipað því sem er nær okkur í tíma og rúmi. Þessi skipting alheims í tvo hluta sem skildir eru að með einskonar sjóndeild eða sjóndeildarfleti er ekki alveg eins einföld og kann að virðast í fljótu bragði. Flestir geta séð fyrir sér slíka skiptingu í óendanlegum heimi en hvað ef veröldin hefur endanlega stærð? Er til dæmis hugsanlegt að alheimurinn hvelfst í sjálfan sig með einhverjum hætti þannig að við séum í raun að horfa á tiltölulega lítinn fjölda vetrarbrauta sem við sjáum oftar en einu sinni frá ýmsum sjónathornum og í ýmsum átum vegna þess að ljósið frá sérhverri þeirra berst til okkar eftir mörgum ólíkum og mislögnum leiðum?<sup>19</sup> Stjörnufræðingar hafa

<sup>18</sup> Ursin (1842), bls. 158.

<sup>19</sup> Einföld samlikning væri til dæmis sú gerð speglasala í skemmtigörðum, þar sem gestir geta séð óteljandi spegilmyndir af sjálfum sér og öðrum gestum. Rétt er að taka

gert tilraunir til að kanna þetta atriði með ýmiss konar samanburðar- og fylgnirannsóknnum á vetrarbrautum og hópum þeirra. Niðurstaðan er sú að ekkert bendir til þess að um slíkar flækjur sé að ræða í sýnilegum heimi. Veröldin gæti samt sem áður verið endanleg eða lokuð, eins og það er oft kallað, en hún hlýtur þá að vera mun stærri en hinn sýnilegi hluti.

Í kenningunni um miklahvell stafar sjóndeildin af útpenslu alheimsins og endanlegum aldri hans. Mælingar stjörnufræðinga benda til þess að um 15 milljarðar ára séu liðnir frá upphafinu og á þeim tíma hefur ótrúlað ljós ekki komist lengra en sem svarar 15 milljörðum ljósára.<sup>20</sup> Þetta er því fjarlægðin til sjóndeildarinnar og fyrirbæri sem eru handan hennar eru svo langt í burtu að ljósið frá þeim hefur ekki enn borist til okkar. Af þessu má sjá að samkvæmt miklahvellskeningunni fjarlægist sjóndeildin með hraða ljóssins og ný fyrirbæri birtast okkur þegar sjóndeildin nær til þeirra.

Það er ljóst að óvissan um það hvað er að finna utan hins sýnilega heims gefur heimsmyndasmíðum því sem næst ótæmandi möguleika við smíðina. Heimurinn gæti hvort heldur sem er verið óendanlegur eða takmarkaður. Á fjarlægum svæðum handan sjóndeildar gæti útpenslan verið hraðari en í hinum sýnilega heimi. Það er hugsanlegt að á vissum stöðum gæti verið um kyrrstöðu að ræða eða jafnvel samdrátt í stað þenslu. Engar athugarir eða mælingar geta gefið minnstu vísbendingu um það hvað er að gerast í heimshlutum handan sjóndeildarinnar.

Til þess að halda áfram af einhverju skynsamlegu viti verður því að grípa til ósannaðra og jafnvel ósannanlegra forsenda um stórgerð alheimsins. Í sígildri heimsfræði er enn einu sinni gripíð til rakhnís Ockhams: Gert er ráð fyrir því að alheimurinn sé eins einfaldur og athugarir og náttúrulegmál leyfa og að það sem er handan sjóndeildar sé í stórum dráttum sömu gerðar og hinn sýnilegi hluti.

Viðamiklar rannsóknir á undanförmum áratugum benda sterklega til þess að hinn sýnilegi heimur sé ekki aðeins einseitur heldur einnig stefnusauður frá jörðinni séð. Með einseitni er átt við að mis-

fram, að hér er átt við flókna rúmfræðilega lögun á alheimi í heild en ekki staðbundin áhrif frá svokölluðum þyngdarlinsum. Um flókin rúm má m.a. lesa í grein Thurs-tons og Weeks (1984). Einfalda lýsingu á þyngdarlinsum er að finna í grein Turners (1988).

<sup>20</sup> Ekkert í náttúrunni getur ferðast með meiri hraða en ljósið. Eitt ljósár er sú vegalengd sem ljósið fer á einu ári. Mælingar á þensluhraða alheims benda til þess að hann sé 10 til 20 milljarða ára gamall, en til einföldunar er hér stuðst við meðaltalið, 15 milljarða ára.

munandi og nógu stór svæði séu í öllum aðalatriðum eins. Stefnusneyða merkir hins vegar að heimurinn lítur í stórum dráttum eins út í hvaða átt sem lítið er. Í heimsfræðinni er þessi takmarkaða niðurstaða alhæfð og látin ná til alls alheims, líka þess sem er utan sjóndeildar. Forsendan gengur venjulega undir nafninu meginforsenda heimsfræðinnar og hljóðar einfaldlega: Alheimurinn er ávallt einsleitur og stefnusnaður um sérhvern punkt.

Meginforsendan takmarkar mjög þá möguleika sem til greina koma varðandi rúmfræðilega gerð veraldarinnar. Sýna má fram á það með stærðfræðilegum aðferðum að möguleikarnir eru aðeins þrír: Tvö þeirra þriggja rúma sem til greina koma eiga það sameiginlegt að vera óendalega stór. Annað er venjulegt ósveigt (flatt) þrívítt rúm en hitt hefur svokallaða neikvæða sveigju og er stundum líkt við þrívítt yfirborð á fjórviðum söðli. Hið þriðja hefur hins vegar takmarkað rúmmál og sveigist eða hvelfist í sjálf sig eins og þrívítt yfirborð á fjórviðri kúlu. Sagt er að slíkt rúm hafi jákvæða sveigju.<sup>21</sup>

Á undanföllum árum hafa stjarnvísindamenn lagt mikla vinnu í það að kanna hvert þessara líkana gefi bestu lýsinguna á rúmfræðilegri gerð alheimsins. Ýmsar flóknar ástæður valda því að niðurstaða hefur enn ekki fengist. Hér gefst ekki tækifæri til að fara í frekari smáatriði en þó má nefna að hluti vandans er fölginn í vanþekkingu manna á hinu dularfulla hulduefni.<sup>22</sup> Mælingarnar sýna að heimurinn er mjög nálægt því að vera ósveigður en hann gæti hvort heldur sem er haft jákvæða eða neikvæða sveigju. Þessi óvissa bendir eindregið til þess að hinn sýnilegi heimur sé aðeins örliðið brot af heildinni því annars ætti ekki að vera svo erfitt að ákvarða sveigjuna ótvírætt.<sup>23</sup>

Rétt er að taka sérstaklega fram að niðurstaðan um möguleikana þrjá á rúmfræðilegri gerð alheimsins er bein stærðfræðileg afleiðing af forsendunni um einsleitni og stefnusneyðu. Í þessu einfalda tilvikinu er gerð þrívíða rúmsins því óháð kenningum um þýngdina. Þær ákvarða hins vegar gerð hins fjórviða tímarúms, sem þýðir að þeim þarf að beita þegar fjallað er um þróun alheimsins.<sup>24</sup>

21 Sveigðum rúmunum er lýst á einfaldan hátt í bók Harrison's (1981), bls. 147-159. Mun itarlegri umfjöllun er að finna hjá Burke (1980). Sjá einnig áður nefnda grein Thurstons og Weeks (1984).

22 Fjallað er um hulduefnið í öllum nýlegum bókum um stjörnufræði og heimsfræði. Ítarlegt yfirlit fyrir almenna lesendur er að finna í bók Krauss (1989).

23 Frekari umfjöllun um þetta og önnur tengd efni er meðal annars að finna í greinum eftir Einar H. Guðmundsson og Örnólf E. Rögnvaldsson (1990), Örnólf og Einar (1991) og Gunnlaug Björnsson og Einar (1994, 1995).

24 Í flóknum heimslíkönunum, þar sem ekki er gengið út frá meginforsendunni, getur

## V. Vísbendingar um þróun veraldarinnar

Þetta samræmi í aldri getur vart verið tilviljun, heldur má líta á það sem mjög sterk rök fyrir því, að kenningin um upprunasprengringu sé rétt.

Trausti Einarsson<sup>25</sup>

Frá örófi alda hafa menn velt fyrir sér spurningum um uppruna og þróun jarðarinnar og þeirra lífvera sem hana byggja. Með vaxandi þekkingu í stjörnufræði og öðrum vísindum varð smám saman ljóst að sólin og sólkerfið hlutu einnig að hafa átt sér upp haf og að hið sama gilti um Vetrarbrautina, stjörnukerfið risavaxna, sem sólkerfið okkar er örliði hluti af. Vísindalegar vangaveltur um þróun alheimsins í heild eru hins vegar nýrri af nálinni og það er ekki fyrir en á þessari öld sem þær fá byr undir báða vængi. Fullyrða má að uppgötvun bandaríska stjörnufræðingsins Edwins Hubbles árið 1929 á lögmálinu sem nú er við hann kennt hafi verið kveikjan að allri þeirri umræðu og þar með að kenningunni um miklahvell. Þegar uppgötvun Hubbles er skoðuð í þessu ljósi verður vart hjá því komist að telja hana í flokki merkustu uppgötvana allra tíma.<sup>26</sup>

Það sem Hubble uppgötvaði var að litróf fjarlægtra vetrarbrauta sýna rauðvik sem vex í réttu hlutfalli við fjarlægð vetrarbrautanna. Eðlilegasta og skynsamlegasta túlkunin á þessu er sú að rauðvikið stafi af því að vetrarbrautirnar séu að fjarlægjast hver aðra og að heimurinn sé að þenjast út. Af þessu má draga þá ályktun að veröldin hafi verið þéttari áður fyrr. Með því að nota núverandi þensluhraða er tiltölulega auðvelt að reikna út að allt efni alheims hafi verið saman í einni kös fyrir um það bil 15 milljörðum ára. Þá virðist eitthvað hafa gerst sem kom þenslunni af stað. Þetta er sá atburður sem við köllum miklahvell.<sup>27</sup>

Ef þetta væru einu rökin fyrir kenningunni um miklahvell mætti með réttu segja að þau gætu verið sterkari. Staðreyndin er sú að til eru ýmsar aðrar kenningar um rauðvik er gætu útskýrt lögmál Hubbles eitt sér. Sem dæmi má nefna kenningu byggða á almennu afstæðiskenningunni er skýrir rauðvikið sem svokallað þýngdarrauðvik. Einnig má nefna kenningar er byggjast á algjörlega óstaðfestum

gerð þrívíða rúmsins að sjálfsgöðu verið háð kenningum um þýngdina.

25 Trausti Einarsson (1958), bls. 50.

26 Sjá bók Sharovs og Novikovs (1993).

27 Nánari umfjöllun um úþenslu alheims og rauðvik af ýmsu tagi er t.d. að finna í bók Hawkings (1990).

hugmyndum um nýja og áður óþekkt eðlisfræði svo sem svokallað þreytt ljós í stöðugum heimi eða sísköpun efnis úr engu eins og í jafnstöðukenningunni. Í þeirri kenningu er reyndar um úþenslu að ræða en nýtt efni kemur stöðugt í stað þess sem þynnist þannig að jafnstöðuheimurinn er eilífur og lítur í aðalatriðum eins út á öllum tímum.

Við þessar aðstæður mætti vel hugsa sér að beita rakhníf Ockhams til að velja á milli kenninga. Þess þarf þó ekki. Það eru nefnilega ýmsar aðrar vísbendingar en rauðvíkið sem benda sterklega til þess að alheimurinn sé í stöðugri þróun. Þegar þessar vísbendingar eru skoðaðar í heild kemur einfaldlega í ljós að kenningin um miklahvell er eina raunhæfa kenningin sem getur útskýrt þær allar á eðlilegan og skynsamlegan hátt. Hér gefst ekki tækifæri til ítarlegrar umfjöllunar en þó er rétt að fjalla lauslega um helstu atriðin.

Í fyrsta lagi má nefna örbylgjuklíðinn sem þegar hefur verið minnst á en það er rafsegulgeislun á örbylgjusviðinu sem berst til jarðar úr öllum áttum. Þessi geislun er stefnusauð algæislu með hita í kringum 3 Kelvinstig (mínus 270 stig á Celsíusvarða) og er hún því stundum kölluð 3K-geislunin. Geislunin berst til okkar úr meiri fjarlægð en nokkur önnur þekkt geislun og flytur þess vegna boð frá mjög fjarlægri fortíð. Eina skynsamlega skýringin á klíðnum sem mönnum hefur dottið í hug byggist á kenningunni um miklahvell en samkvæmt henni er geislunin komin frá glóandi heitu frumgasinu er myndaðist í miklahvelli. Héðan frá jörðinni sést þetta heita og ógagnsæja rafgas úti við jaðar hins sýnilega heims en geislunin frá því hefur kólnað á leiðinni vegna þenslu alheimsins og er nú aðeins þriggja stiga heit.<sup>28</sup>

Fundur örbylgjuklíðsins verður að teljast önnur merkasta uppgötvunin í heimsfræði á þessari öld, næst á eftir úþenslunni. Fljótlega kom í ljós að helsti keppinautur kenningarinnar um miklahvell, jafnstöðukenningin, gat alls ekki útskýrt þessa geislun á samfærandi hátt og eins og áður er getið varð hún því endanlega undir í keppinni um nafnbótina heimsmynd nútímans. Segja má að það hafi verið uppgötvun örbylgjuklíðsins, frekar en nokkuð annað, sem á endanum

28 Rétt er að minna á að samkvæmt kenningunni um miklahvell er sjóndeildin ekki aðeins jaðar í rúmi heldur einnig í tíma. Sjóndeildin svarar til miklahvells sem er þannig í vissum skilningi allt í kringum okkur í fjarlægðinni 15 milljarðar ljósára. Það eru þó tvar ástæður til þess að við getum ekki horft á sjálft upphafið á þessum fjarlegu svæðum: Rauðvík sjóndeildarinnar er óendanlega mikið og að auki er hún hulin ógagnsæju frumgasi.

sannfærði yfirgnæfandi meirihluta vísindamanna um það að alheimurinn hefði þróast í núverandi mynd úr mjög heitu og þéttu upphafsástandi.<sup>29</sup>

Með því að gera ráð fyrir heitum og þéttum miklahvelli hefur reynt mögulegt að útskýra uppruna allra frumefnanna í alheimi. Samkvæmt kenningunni var efnid úpphaflega hrærigrautur alls konar öreinda svo sem rafeinda, kvarka og ljóseinda auk annarra einda. Í hraðri úþenslunni urðu örar breytingar á magni hinna ýmsu einda og að því kom að kvarkarnir runnu saman og mynduðu róteindir og nifteindir. Nokkru síðar fór af stað kjarnasamruni, svipaður þeim sem á sér stað í iðrum sólarinnar. Þessu skeiði lauk um það bil þremur mínútum eftir miklahvell þegar rafgasið kólnaði niður fyrir þau mörk sem nauðsynleg eru fyrir kjarnasamruna.

Tiltölulega auðvelt er að reikna út samsetningu frumgassins að loknu samrunaskeiðinu. Tæplega 76% af massa alheims var í vetniskjörnum (róteindum), um 24% í helínkjörnum og að auki var örlítið af tvívetriskjörnum og litínkjörnum. Einnig voru til staðar rafeindir og ljóseindir. Um það bil þrjúhundruð þúsund árum eftir miklahvell sameinuðust rafeindirnar svo kjörnunum og mynduðu óhlaðin atóm vetnis, helíns, tvívetrnis og litíns. Við það dró mjög verulega úr vöxlverkun ljóseinda og rafeinda og alheimurinn varð gagnsær. Ljóseindirnar sem þá öðluðust frelsi frá efninu eru enn til staðar og mynda örbylgjuklíðinn.

Samkvæmt kenningunni um miklahvell urðu þung frumefni, eins og til dæmis kolefni, súrefni og járn, til síðar í þróunarsögunni og þau eru reyndar að myndast enn þann dag í dag. Það gerist í iðrum sólstjarna og þegar þær massamestu ljúka ævi sinni í miklum sprengingum dreifast frumefnin út í geiminn og blandast efni sem þar er fyrir. Nýjar stjörnur verða til úr blöndunni og þannig heldur framleiðslan áfram. Sum mjög þung frumefni, eins og til dæmis gull og úran, verða beinlínis til í stjörnusprengingunum sjálfum eða öflugum stjörnuvindum á meðan stjörnur eru á risaskeiði. Með þessum hætti hefur stjarnvísindamönnum tekist að útskýra uppruna allra frumefnanna í náttúrunni. Með nákvæmum reikningum hefur

29 Það voru bandarísku úrvarpsstjörnufræðingarnir Arno Penzias og Robert Wilson, sem uppgötvuðu örbylgjuklíðinn fyrir tilviljun árið 1965. Árið 1978 hlutu þeir Nóbelsverðlaunin í eðlisfræði fyrir afrekið. Skemmtilega umfjöllun um geislunina og uppgötvun hennar er að finna í 3. kafla bókar Weinbergs (1977). Um nýjustu mælingar með COBE gervitunglinu má lesa í bók Smoots og Davidsons (1994). Sjá einnig grein Einars H. Guðmundssonar (1985).



einnig tekst að reikna út hlutfallslegt magn þeirra og þannig má útskýra hvers vegna sum frumefni eru algengari en önnur. Niðurstöður eru í mjög góðu samræmi við mælingar og sumir telja því að þessi heilsteypta mynd af uppruna og núverandi magni frumefnanna séu einhver sterkustu rökin fyrir kenningunni um miklahvell.<sup>30</sup>

Rauðvíkið í litrófi vetrarbrautanna, örbylgjukliðurinn og tilvist og hlutfallslegt magn frumefnanna eru þau atriði sem gefa hvað ákveðnar vísbendingar um það að veröldin hafi átt sér þétt og heitt upphaf. En það má einnig tína til önnur atriði er vísa í sömu átt. Sem dæmi má nefna dreifingu virkra vetrarbrauta í hinum sýnilega heimi. Til virkra vetrarbrauta teljast meðal annars útvarpsvetrarbrautir en dulstirni eru væntanlega þekktasti flokkurinn. Frá sólkerninu séð vex fjöldi þeirra fyrst í stað með fjarlægð en eftir að ákveðinni fjarlægð er náð fer þeim aftur að fækka. Einfaldasta og skynsamlegasta skýringin á þessu er sú að fjöldinn sé háður heimstíma: Í upphafi voru engar vetrarbrautir. Síðan byrjuðu þær að myndast vítt og breitt um geiminn. Hluti þeirra varð að dulstirnum sem urðu mjög björt um tíma á meðan svartholin í hjarta þeirra höfðu nóg geimefni til að svelgja í sig. Við þær hamfárir losnaði mikil orka en þegar gekk á geimefnið dró smám saman úr virkninni og að því kom að það slokknaði á dulstirnunum vegna eldsneyðisskorts. Þessi sennilega þróunarlýsing er í fullu samræmi við fjöldamælingar og hún útskýrir á einfaldan hátt hvernig á því stendur að fjöldi virkra vetrarbrauta í næsta nágrenni okkar í geimnum er jafn lítill og raun ber vitni.<sup>31</sup> Til viðbótar þessu má svo nefna að nýlegar myndir frá Hubble sjónaukanum benda eindregið til þess að mjög fjarlægjar vetrarbrautir séu að ýmsu leyti talsvert frábrugðnar þeim sem nær eru. Þetta er ótvíræð vísbending um þróun alheimsins.

Enn ein vísbendingin um þróun veraldarinnar tengist vandamáli sem stundum gengur undir nafninu *þversögn Olbers* þó að ýmsir aðrir hafi reyndar fjallað um það á undan Olbers. Vandamálið snýst um birtuna í ótakmörkuðum stöðugum heimi sem er fullur af stjörnum. Auðvelt er að sýna fram á að í slíkum heimi ætti ljósstyrkurinn frá sérhverjum punkti á himinhvelinu að vera svipaður og frá sólinni þannig að frá sérhverjum athuganda séð ætti hvelvingin að vera logandi björt

30 Sjá m.a. Taylor (1984) og Schramm og Woosley (1993).

31 Um þetta efni er t.d. fjallað í 6. kafla bókar Gribbins og Rees (1990). Þar er meðal annars minnst á verk íslensk-bandaríska stjarnvísindamannsins Jacks G. Hills (Gísli Hliðvers Pálssonar). Í þessu sambandi má einnig benda á greinar eftir Hills (1975), Gunnlaug Björnsson (1992) og Quimlan, Herrnquist og Stein Sigurðsson (1995).

hvert sem lítið er. Nú er það vel þekkt að þetta gildir ekki um okkar veröld, til dæmis er myrkur á nóttinni hér á jörðinni. Margir, þar á meðal Olbers sjálfur, hafa glímt við þessa þraut í gegnum tíðina og sett fram ýmsar snjallar en misgóðar lausnir.<sup>32</sup> Lang sennilegasta skýringin á myrkri næturinnar er hins vegar sú að stjörnurnar hafi myndast fyrir endanlega löngum tíma og að ljós hafi ekki enn náð að berast til jarðar nema frá örlitlum hluta þeirra. Rauðvík vegna útpenslu alheimsins hjálpar einnig til að deyfja ljósið.

Síðasta vísbendingin um þróun veraldarinnar, sem hér verður nefnd, er hið makalaus samræmi milli aldurs elstu stjarna og aldurs alheims samkvæmt kenningunni um miklahvell. Eins og áður er getið er hægt að reikna tímann sem liðinn er frá miklahvelli út frá mælingum á núverandi útpensluhraða veraldarinnar. Þegar tekið hefur verið fullt tillit til allrar hugsanlegrar óvissu verður niðurstaðan sú að aldur alheimsins sé einhvers staðar á bilinu 7 til 20 milljarðar ára. Þessar tölur má bera saman við aldur elstu fyrirbæra sem þekkt eru í veröldinni en það eru gífurlega gamlar rauðar stjörnur í svokölluðum kúlubyrpingum. Ákvörðun á aldri þessara stjarna byggist á margvíslegum litrófmælingum sem og kenningum um innri gerð og þróun stjarnanna og er því algjörlega óháð kenningunni um miklahvell. Aldurinn reynist vera einhvers staðar á bilinu 10 til 21 milljarðar ára þegar reiknað hefur verið með öllum hugsanlegum skekkjuvöldum í mælingum og útreikningum.

Það getur varla verið tilviljun að þessum tveim óháðu niðurstöðum skuli bera svona vel saman. Auðvelt er að láta sér detta í hug þann möguleika að önnur talan væri mun hærri en hin, til dæmis í þá veru að aldur stjarnanna væri tíu til hundrað sinnum meiri en aldur alheims samkvæmt miklahvellskeningunni. Reyndin er þó önnur og því ber að líta svo á að niðurstöðurnar séu í fullu samræmi við kenninguna. Nýlegt fjáðrafok í fjölmöðlum um fall heimsmýndarinnar vegna misræmis milli þessara tveggja aldursákvæðana byggðist því á umtalsverðum misskilningi. Þar gleymdist hreinlega að taka alla óvissuþætti með í reikninginn!<sup>33</sup>

Áður en lengra er haldið er rétt að geta þess að aldur alheims samkvæmt kenningunni um miklahvell gæti hæglega verið mun hærri en

32 Sjá til dæmis bók Harrison's (1987).

33 Hins vegar má segja að nýlegar mælingar bendi frekar til þess að hinn svokallaði ofurþensluheimur, sem er eitt af mörgum tilbrigðum við kenninguna um miklahvell, gefi ekki góða mynd af alheimi. Vandað yfirlit um stöðu þessara mála er að finna í grein eftir Roth og Primack (1996).

fram kom hér að framan. Þessi möguleiki tengist spurningunni um tilvist svokallaðs heimsfasta sem lýsir eins konar alheimskrafti er vex í réttu hlutfalli við fjarlægð milli staða. Ef fastinn er jákvæður er um fráhrindikraft að ræða sem vinnur gegn eigin þyngd veraldarinnar. Áhrifin eru þau að á ákveðnu skeiði hægir verulega á þenslunni en síðan eykst hún aftur þegar alheimskrafturinn verður því sem næst allsráðandi. Þessi hegðun veldur því að heimur með heimsfasta getur verið mun eldri en heimur án slíks fasta.<sup>34</sup> Almenna afstæðiskenningin, sem og flóknari kenningar um þyngdina, leyfir tilvist heimsfastans og hann kemur einnig eðlilega fram í ýmsum kenningum öreindafræðinga um frumkraftana. Hins vegar hafa engar vísbendingar enn fundist um alheimskraftinn í hinum sýnilega heimi og af þeim sökum er mörgum illa við að gera ráð fyrir honum í heimsfræði. Einstein innleiddi heimsfastann upphaflega árið 1917 til að tryggja það að almenna afstæðiskenningin leyfði heimslíkön sem hvorki drægjust saman né þendust út. Án fastans eru nefnilega ekki til nein stöðug líkön samkvæmt kenningunni.<sup>35</sup> Á þeim tíma trúðu vísindamenn á stöðugleika alheimsins og töldu augljóst að hann væri bæði eilífur og óbifanlegur! Skömmu eftir að Hubble uppgötvæði úþensluna, og þar með þróun alheimsins, fjarlægði Einstein heimsfastann aftur úr afstæðiskenningu og kallaði innsetningu hans í kenninguna mestu mistök ævi sinnar. Vísindamenn seinni tíma eru þó ekki allir sammála Einstein í þessu efni og stundum er heimsfastinn dreginn fram í dagsljósið þegar mikið liggur við.<sup>36</sup>

34 Neikvæður heimsfasti veldur hins vegar samdrætti og þar af leiðandi styttri aldri. Nota má mismunandi gildi og formetki á fastanum til að auka hraða þenslunnar í heimslíkönunum eða hægja á henni eftir þörfum. Sum þessara tilfella má auðveldlega útloka með athugunum en önnur eru erfiðari viðfangs.

35 Í hinu stöðuga heimslíkani Einsteins frá 1917 verður heimsfastinn að taka alveg ákveðið jákvætt gildi.

36 Um heimsfastann hefur margt verið ritað. Sjá t.d. Abbott (1988), Carroll, Press og Turner (1992) og Weinberg (1989).

## VI. Heimsmyndir almennu afstæðiskenningarinnar

Upphaflegu sviðsjöfnurnar er hægt að leysa með því skilyrði, að „þvermál heimsins“ sé háð tíma (að rúmið þenjst út). Í þessum skilningi er hægt að fullyrða eins og Friedmann, að kenningin krefjist þess, að rúmið þenjst út.

Albert Einstein<sup>37</sup>

Hér að framan hefur verið fjallað um grundvöll nútíma heimsfræði frá ýmsum sjónarhornum. Rætt hefur verið um þær upplýsingar sem vísindamenn hafa aflað um gerð og þróun hins sýnilega hluta alheimsins og hugað hefur verið að helstu forsendum sem gengið er út frá í heimsfræði. Til þess að gera umfjöllunina ekki of flókna eða tor-skilda hafa hlutirnir verið skoðaðir í ljósi ríkjandi heimsmyndar sem kynnt var til sögunnar strax í upphafi. En nú er komið að því að safna aðalatriðunum saman og lýsa því hvernig þau leiða óhjákvæmilega til þeirrar niðurstöðu sem við köllum kenninguna um miklahvell.

Mikilvægasta forsendan sem gengið er út frá í nútíma heimsfræði er sú að almenna afstæðiskenningin sé rétta kenningin um þyngdina og gerð tímarúmsins. Skammtafræðin er hins vegar notuð til að lýsa eiginleikum efnis og orku í alheimi. Í öðru lagi er gert ráð fyrir meginforsendu heimsfræðinnar sem segir að alheimurinn sé ávallt einleitur og stefnusnaður um sérhvern punkt. Þriðja forsendan gerir ráð fyrir því að veröldin í heild sé í þróun og að um útþenslu sé að ræða.

Þessar forsendur má færa í stærðfræðilegan búning og setja inn í sviðsjöfnur almennu afstæðiskenningarinnar eða sviðsjöfnur Einsteins, eins og þær eru oftast kallaðar. Áður var frá því sagt að samkvæmt meginforsendunni getur rúmið aðeins haft eina af þremur mismunandi gerðum: Það getur verið með jákvæða, neikvæða eða enga sveigju. Ef heimsfastinn er tekinn með í reikninginn verða sviðsjöfnurnar fyrir hverja gerð að tveimur einföldum deildajöfnum sem lýsa þróun viðkomandi líkans með tíma. Sé heimsfastanum hins vegar sleppt er aðeins um eina jöfnu að ræða fyrir hverja rúmfræðilega gerð.

Lausnirnar á sviðsjöfnum Einsteins lýsa því meðal annars hvernig fjarlægð milli sérhverra tveggja punkta (vetrarbrauta) í rúminu breytist með tíma. Reikningarnir sýna ótvírátt að í þeim tilvikum er til

37 Einstein (1970), bls. 160. Rússneski stærðfræðingurinn og eðlisfræðingurinn Alexander Friedmann fann árið 1922 fyrstu miklahvellislausnina á sviðsjöfnum Einsteins. Hann er því jafnan talinn einn af þremur upphafsönnum kenningarinnar um miklahvell. Himir tveir eru belgíski stjarnfræðingurinn Georges Lemaitre og fyrirum nemandi Friedmanns, rússnesk-bandaríski eðlisfræðingurinn George Gamow.

greina koma sem raunhæfar lýsingar á alheimi voru allar fjarlægðir núll fyrir endanlega löngum tíma. Þetta er óháð því hvort reiknað er með heimsfasta eða ekki og þýðir einfaldlega að allt efnið var í einni kós á tilteknum tímamarkum. Heimurinn hefur verið að þenjast út síðan. Miklihvellur er því óhjákvæmileg afleiðing af þeim forsendum sem gengið er út frá.<sup>38</sup>

Hér gefst ekki tækifæri til að fara í frekari smáatriði en þó má nefna að afstæðiskenningin getur ekki lýst því hvað gerðist í sjálfu upphafinu. Samkvæmt henni voru allar eðlisfræðilegar breytistærðir, svo sem hiti, þrýstingur og þéttleiki, óendanlega stórar í miklahvelli, og kenningin getur því alls ekki fjallað um ástandið sem þá ríkti. Þetta ætti ekki að koma neinum á óvart því að skammtaefnleikar efnis og orku, og jafnvel rúms og tíma, hljóta að hafa verið allsráðandi. Kenningin getur þess vegna ekkert um það sagt hvort eitthvað var til fyrir miklahvelli eða ekki. Svar við þeirri spurningu, ef hún hefur þá á annað borð einhverja merkingu, fæst væntanlega ekki fyrir en mönnum um hefur tekist að útvíkka almennu afstæðiskenninguna í einhvers konar þyngdarskammtafræði. Niðurstaðan er því sú að alheimur hafi í einhverjum skilningi orðið til í miklahvelli en miklihvellur sjálfur er enn óráðin gáta.

Í lokin er rétt að fara örfáum orðum um framtíðarþróun alheimsins eins og hún birtist í lausnumum á sviðsjöfnum Einsteins. Ef ekki er tekið tillit til heimsfasta þá halda neikvætt sveigði söðulheimurinn og ósveigði heimurinn áfram að þenjast út um alla framtíð. Jákvætt sveigði kúluheimurinn er hins vegar það þéttur í sér að eigin þyngd hans nær að stöðva þensluna og breyta henni í samdrátt. Allt efni hans fellur á endanum saman í einn hnút í svokölluðu miklahruni sem er eins konar viðsnúinn miklihvellur. Slíkur heimur er því í vissum skilningi fullkomlega lokaður bæði í tíma og rúmi.<sup>39</sup> Eins og áður sagði þá hefur stjarnvísindamönnum ekki enn tekist að skera úr um það, hvert þessara þriggja líkana gefur besta mynd af alheimi og mikil óvissa ríkir því um þróun veraldarinnar í fjarlægri framtíð.<sup>40</sup>

38 Þeim sem vilja kynna sér þetta efni ítarlegar er bent á fræðiritin sem talin eru upp í skránni um frekara lesefni (Sjá bls. 63).

39 Ef gert er ráð fyrir neikvæðum heimsfasta má finna lausnir þar sem flati heimurinn og söðulheimurinn hætta að þenjast út eftir ákveðinn tíma og enda að lokum í miklahruni. Á sama hátt má finna lausnir með jákvæðum heimsfasta sem leyfa kúluheiminum að þenjast út um alla eilífð.

40 Einfalt yfirlit um þetta efni er að finna í nýlegu blaðaviðtali við Einar H. Guðmundsson (1995). Sjá einnig áður nefndar greinar eftir Gunnlaug Björnsson og Einar (1994, 1995) og bók Davies (1994).

## VII. Ábrif kenningarinnar um miklahvelli

Og jafnvel enn þá hæpnara væri það að koma með tilgátur varðandi sköpun efnisheimsins, því að einnig þar vantar athugasemjur og vör höfundur ekki einu sinni hliðstæður við að stýðjast. Þess vegna er það svo, að þótt vísindin hafi leitt oss upp á sjónarhæð, sem vilt sér af, þá liggur þó eitthvað óþekkt og ógrandi bak við sjóndeildarhringinn.

41  
Forest Ray Moulton

Kenningin um miklahvelli hefur staðist harða vísindalega gagnrýni allt frá því hún kom fyrst fram fyrir tæpum sjötú árum. Á sama tíma hafa ýmsar aðrar kenningar, svo sem jafnstöðukenningin og kenningar um þreytt ljós, komið og farið. Miklahvellskeningin stendur hins vegar enn, keikari en nokkru sinni fyrir.

Það fet ekki hjá því að jafn mögnuð mynd af gerð og þróun alheimsins hafi örvað ímyndunarafl og forvitni manna, jafnt leikra sem lærdra. Hún hefur einnig haft veruleg áhrif á hugsunarhátt margra þeirra vísindamanna sem nú eru uppi, ekki síst af yngri kynslóðinni, og þá kannski einkum úr hópi eðlisfræðinga og stjarnfræðinga. Þessara áhrifa má víða sjá merki. Sem dæmi má nefna að þróun af öllu tagi er mun meira áberandi í allri stjarnvísindalegri umræðu en áður var. Í gamla daga litu menn á himingeiminn sem óbreytanlegan en nú sjá þeir hluti á hinum ýmsu þróunarstigum í hverjum krók og kima. Ekki er fyrir búið að uppgöfva nýtt stjarnfræðilegt fyrirbæri en farið er spyrja spurninga um myndun þess og hugsanlega framtíðarþróun.

Menn hafa almennt sætt sig við þá tilhugsun að veröldin hafi einu sinni verið ung og allt öðru vísi en hún er í dag. Þetta er hreint ekki jafn sjálfsagt mál og ætla mætti við fyrstu sýn. Bandaríski eðlisfræðingurinn og Nóbelsverðlaunahafinn Steven Weinberg lýsir því til dæmis í bók sinni, *Fyrstu þjófár mínúturnar*, hversu erfitt það var fyrir hann og flesta aðra eðlisfræðinga á sjöunda áratugnum að sannfæra sjálfa sig um það að heimurinn hefði átt sér upphaf. Það reyndist jafnvel enn erfðara fyrir þá að gera sér grein fyrir því að þeir hefðu yfir að ráða vísindalegum kenningum og aðferðum sem beita mætti við ramnsóknir á ungum alheimi.<sup>42</sup>

41 Moulton (1945), bls. 67.

42 Weinberg (1977), bls. 131–132. Margt hefur verið ritað um þróun heimsfræðinnar á undanföllum áratugum og þá einstaklinga, sem þar hafa verið í fararbroddi. Í því sambandi má t.d. benda á bækur þeirra Overbyes (1991) og Lightmans og Brawers (1990).

Nú er öldin önnur og hinn heiti og þétti frumheimur er orðinn ein helsta rannsóknastofa kennilegra eðlisfræðinga á sviði öreindafræði. Má með sanni segja að með þeim rannsóknum renni hið ofursmáa og hið afarstóra saman í fræðunum. Þessi samruni öreindafræðinnar og heimsfræðinnar í nýja fræðigreini, eins konar öreindaheimsfræði, er ein athyglisverðasta breytingin sem orðið hefur í fræðasamfélagi eðlisfræðinga og stjörnufræðinga á seinni hluta þessarar aldar.<sup>43</sup>

Þessi mikilvæga breyting hefur meðal annars haft það í för með sér að sífellt fleiri vísindamenn eru nú farnir að velta fyrir sér spurningum er varða sjálfv upphafið og leita leiða til að ná vísindalegum tókum á því erfiða viðfangsefni. Þyngdarskammtafræðin svokallaða, sem áður var minnst á, er mikið til umræðu í þessu sambandi og einnig skammtaheimsfræðin sem er henni náteygð. Um þessar mundir má iðulega sjá greinar í virtum vísindatímaritum þar sem menn eru með vangaveltur um það hvað hafi komið úþenslunni af stað og hvort allt hafi orðið til í miklahvelli, ekki aðeins efnið og orkan, heldur einnig rúmið og tíminn. Menn velta því jafnframt fyrir sér hvort náttúrulögmálin hafi orðið til í miklahvelli og hvort núverandi ástand veraldarinnar stafi af einhvers konar finstillingum á grunnstærðum náttúrunnar eða hvort upphafið hafi verið glundroðakent og núverandi ástand sé að meira eða minna leyti óháð upphafskeyrðum. Þessar vangaveltur og aðrar af svipuðum toga hafa svo aftur vakið spurningar um það hvort til séu aðrir heimar, skyldir okkar veröld en þó algjörlega ótengdir og sjálfstæðir, þar sem náttúrulögmálin eru önnur en hjá okkur, grunnstærðirnar taka önnur gildi og fjöldi rúmvídda er jafnvel annar.<sup>44</sup>

Í nánnum tengslum við þessar vangaveltur hafa sumir vísindamenn velt upp gömlum hugmyndum um lífið og alheiminn, menn og stjörnur, og skoðað þær í nýju ljósi. Hér er átt við svokallað mannhorf sem er í rauninni ekkert annað en gamla góða tilgangsfraeðin eða markhyggjan í nýjum búningi.<sup>45</sup> Í gamla daga skildu menn þessi tengsl alheimsins og lífsins á svipaðan hátt og spekingurinn Björn

<sup>43</sup> Sjá t.d. bók Ledermans og Schramms (1989).

<sup>44</sup> Mikið er til um þetta efni fyrir almenna lesendur. Áður hefur verið bent á bækur þeirra Hawkings (1990) og Barrows (1994) en einnig má mæla með greinum eftir Halliwell (1991), Linde (1994), Mallove (1988) og Odenwald (1996).

<sup>45</sup> Ítarlega umfjöllun um mannhorf og markhyggju er að finna í bók Barrows og Tiplers (1986). Grein Gales (1981) gefur hins vegar stutt og hnitmiðað yfirlit. Sjá einnig bók Davies (1992).

Gunnlaugsson, en hann segir svo í skýringum við hið stórmerka trúar- og heimspekiljóð sitt, *Njólu*:

Sú mikla himinsins bygging boðar einhverja stóra fyrirætlan. En í öllu, sem vér sjáum á himni og jörðu, er lífið það æðsta, og allt er þess vegna gjört, og það er aðaltalgangur alls hins sýnilega heims ...<sup>46</sup>

Í umfjöllun um þessi efni á undanförmum árum hafa ýmsir vísindamenn haft orð á því að veröldin sé eins og sniðin fyrir tilvist lífsins. Þeim hefur að sjálfsgöðu verið á það bent að slíkt ætti ekki að koma á óvart í heimi þar sem líf er á annað borð að finna og mál af þessu tagi til umræðu. Ljóst er að líf getur ekki orðið til og dafnað við hvaða aðstæður sem er og tilvist þess hér á jörðinni gefur því ein sér ákveðnar vísbendingar um eðli og eiginleika veraldarinnar. Flestir telja að ekki sé hægt að segja mikið meira en þetta um tengslin milli lífsins og alheimsins. En nokkrir vísindamenn hafa gengið enn lengra og staðhæfa beinlínis að það geti alls ekki verið tilviljun að náttúrulögmálin séu eins og skradarasamuð fyrir lífið og manninn. Nefna þeir ýmis dæmi máli sínu til sönnunar sem ekki er ástæða til að ræða nánar á þessum vettvangi.<sup>47</sup> Þessar vangaveltur hafa svo blandast inn í umræðurnar um aðra hugsanlega heima utan okkar veraldar þar sem aðstæður gætu verið öðruvísi en hér. Það skal skýrt tekið fram að fylgismenn mannhorfs í sinni sterkustu mynd eru í miklum minnihluta í hópi vísindamanna en þeir hafa með skrifum sínum fyrir leikmenn haft talsverð áhrif út á við.

Það ætti að vera ljóst af því sem þegar hefur verið sagt að ýmsir vísindamenn samtímans, þar á meðal nokkrir merkir eðlisfræðingar, eru í fullri alvöru farnir að velta fyrir sér spurningum sem forverar þeirra vísuðu áður til guðfræðinga og heimspekinga. Margt áhugavert og gagnlegt hefur komið fram í þeirri umfjöllun og hún hefur nú þegar haft mikil og varanleg áhrif á það hvernig vísindamenn hugsa um alheiminn og sögu hans. Að margra mati hafa þó sumir hugsuðir gengið einum of langt. Oft getur verið erfitt að draga skýra markalínu milli framsækinnna nýrra hugmynda í vísindum annars vegar og hreins heilaspuna hins vegar. Því er að sjálfsgöðu mögulegt að taumlausar vangaveltur um aðra heima og náttúrulögmál með innbyggðum tilgangi eigi eftir að öðlast vísindalegt gildi einhvern tímann í fram-

<sup>46</sup> Björn Gunnlaugsson (1842), bls. 19.

<sup>47</sup> Sjá bók Barrows og Tiplers (1986).

tíðinni. Það er þó full ástæða til að efast um það að slíkt gerist alveg á næstunni. Og satt best að segja þá virðist umræðan um þessi mál á stundum vera komin langt út fyrir öll vísindaleg velsæmismörk. En sem vísindaskáldskapur er hún vissulega bæði heillandi og spennandi.

### VIII. Lokaorð

Ég er á þeirri skoðun, að allar tilgátur okkar og hugmyndir séu sennilega ekki nema daufur skuggi af sjálfum sannleikanum ...

48  
*Fred Hoyle*

Þá er komið að því að svara spurningunni, sem varpað er fram í titli þessarar greinar: Er heimsmynd stjarnvísindanna sannleikur eða skáldskapur? Flestir telja sig væntanlega vita hvað skáldskapur er en eins og kunnugt er þá getur sannleikshugtakið vafist fyrir jafnvel snjöllustu mönnum. Í því samhengi sem hér er til umræðu væri líklega réttast að tala um hinn endanlega sannleik. Ef það er gert þá verður svarið við spurningunni einfalt: Heimsmynd nútímans er hvorugt; hún er hvortki skáldskapur né hinn endanlegi sannleikur. Það ber fyrst og fremst að líta á hana sem tilraun vísindanna til að móta sem besta og skynsamlegasta mynd eða líkan af alheimi. Mynd er byggir á því sem best er vitað í dag.

Eins og áður er getið hefur kenningin um miklahvell staðist harða vísindalega gagnrýni í hartnær sjötíu ár og engin ástæða er til að ætla annað en að hún eigi langt líf fyrir höndum. Túlkun á hinum ýmsu atriðum á þó eflaust efir að breytast, enda hefur kenningin nú þegar tekið eðlilegum breytingum á þeim tíma sem liðinn er frá því hún kom fyrst fram. Ekki er ólíklegt að frekari breytingar muni meðal annars tengjast því hvernig við hugsum um upphafið, sjálfan miklahvell. Á þessari stundu er þó útilokað að fullyrða nokkuð um smáatriði, enda kennir sagan okkur að spádómar um slíka hluti standast mjög sjaldan. Það er því vel við hæfi að slá botninn í þessa stuttu umfjöllun um heimsmynd nútímans með því að vitna í hið forna kúnverska spakmæli:

*Það er effitt að spá en þó sérstaklega um framtíðina.*

48 Hoyle (1951), bls. 109.

### Frekara lesefni

Eftirtalin rit fyrir almenna lesendur gefa mjög gott yfirlit um heimsfræði og stöðu hennar í heimi nútíma vísinda: Barrow (1988, 1994), Davies (1992), Gribbin og Rees (1990), Harrison (1981), Hawking (1990), Kaufmann (1994) og Weinberg (1977, 1992).

Um sögu stjarnvísindna og heimsfræði má meðal annars lesa í bókum Ferris (1977), Norths (1994) og Þorsteins Vilhjálmssonar (1986 og 1987).

Fyrir þá sem vilja kynna sér afstræðiskenninguna og vísindalega heimsfræði í smáatriðum má benda á efturfarandi fræðirit: Hawking og Ellis (1973), Hawking og Penrose (1996), Kolb og Turner (1990), Linde (1990), Nilsson, Gustafsson og Skagerstam (1991), Misner, Thorne og Wheeler (1973), Peebles (1993), Rees (1995), Weinberg (1972) og Zeldovich og Novikov (1983).

### Heimildaskrá

- Abbott, L. (1988). The Mystery of the Cosmological Constant. *Scientific American*, maí, 82-88.
- Ágúst Bjarnason (1926). *Himningimurinn*. Akureyri: Bókaverslun Þorsteins M. Jónssonar.
- Barrow, J. D. og Tipler, F. J. (1986). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press.
- Barrow, J. D. (1988). *The World Within the World*. Oxford: Oxford University Press.
- Barrow, J. D. (1992). *Pi in the Sky: Counting, Thinking and Being*. Oxford: Oxford University Press.
- Barrow, J. D. (1994). *The Origin of the Universe*. New York: Basic Books.
- Björn Franzson (1938). *Efnisheimurinn*. Reykjavík: Mál og Menning.
- Björn Gunnlaugsson (1842). *Njóla, eður auðveld skoðun himninsins, með þar af fljóttandi hugleiðingum um hátígn Guðs og alheims áformið, eða hans tilgang með heiminni*. Boðsrit Bessastaðaskóla, Viðeyjarklaustri.
- Burke, W. L. (1980). *Spacetime, Geometry, Cosmology*. Mill Valley, California: University Science Books.
- Carroll, S. M., Press, W. H. og Turner, E. L. (1992). The Cosmological Constant. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 30, 499-542.
- Cooper, A., Susskind, L. og Lásur Thorlacius (1991). Two-dimensional Quantum Cosmology. *Nuclear Physics*, B363, 132-162.
- Crease, R. P. og Mann, C. C. (1996). *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics* (endursk. útg.). New Brunswick: Rutgers University Press.

- Davies, P. (1992). *The Mind of God: Science and the Search for Ultimate Meaning*. London: Simon and Schuster.
- Davies, P. (1994). *The Last Three Minutes: Conjectures about the Ultimate Fate of the Universe*. New York: Basic Books.
- Einar H. Guðmundsson (1985). 3K-geislumin og ljóshvolf hins sýnilega heims. Hjá Leó Kristjánssyni (ritstj.), *Rannsóknir í eðlisfræði á Íslandi* (bls. 85-98). Reykjavík.
- Einar H. Guðmundsson og Örnólfur E. Rögnvaldsson (1990). The Classical Cosmological Tests Applied to World Models with Pressure. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 246, 463-471.
- Einar H. Guðmundsson (1995). Upphaf og endir alheims. Viðtal í *Morgunblaðinu*, 25. júní 1995, 18-19.
- Einstein, A. (1970). *Afræðiskenningin* (þýð. Þorsteinn Halldórsson). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Eyjólfur Kjalar Emilsson (1985). Ilmur af nafni rósarinnar. *Tímarit Máls og Menningar*, 46, 163-180.
- Ferris, T. (1977). *The Red Limit: The Search for the Edge of the Universe*. New York: Morrow.
- Feynman, R. (1967). *The Character of Physical Law*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gale, G. (1981). The Anthropic Principle. *Scientific American*, desember, 114-122.
- Gleick, J. (1987). *Chaos: Making of a New Science*. New York: Viking.
- Gribbin, J. og Rees, M. (1990). *The Stuff of the Universe*. London: Heinemann.
- Guðni Sigurðsson (1987). Tilraunir í öreindafræði. Hjá Þorsteini I. Sigfússyni (ritstj.), *Í hlutaris eðli: Afmælisrit til heiðurs Þorbirni Sigurgeirssyni prófessor*. Reykjavík: Menningarsjóður.
- Gunnlaugur Björnsson (1992). Heitar gasskífur umhverfis svarthol. Hjá Grími Björnssyni (ritstj.), *Eðlisfræði á Íslandi VI* (bls. 71-80). Reykjavík.
- Gunnlaugur Björnsson og Einar H. Guðmundsson (1994). Stjarnfræðilegar athuganir í hrynjandi veröld. Hjá Þórði Arasyni (ritstj.), *Eðlisfræði á Íslandi VII* (bls. 51-58). Reykjavík.
- Gunnlaugur Björnsson og Einar H. Guðmundsson (1995). Cosmological Observations in a Closed Universe. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 274, 793-807.
- Halliwel, J. L. (1991). Quantum Cosmology and the Creation of the Universe. *Scientific American*, desember, 28-35.
- Harrison, E. R. (1981). *Cosmology: The Science of the Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Harrison, E. R. (1987). *Darkness at Night: A Riddle of the Universe*. Harvard: Harvard University Press.
- Hawking, S. W. og Ellis, G. F. R. (1973). *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hawking, S. W. (1990). *Saga tímans* (þýð. Guðmundur Arnlaugsson). Reykjavík: Hið íslenska bókmenntafélag.
- Hawking, S. W. og Penrose, R. (1996). *The Nature of Space and Time*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

- Hills, J. G. (1975). Possible Power Source of Seyfert Galaxies and QSOs. *Nature*, 254, 295-298.
- Hoyle, F. (1951). *Uppruni og eðli alheimsins* (þýð. Hjörtur Halldórsson). Reykjavík.
- Jakob Yngvason (1984). Forn og nývandamál í skammtasviðsfræði. *Fréttabréf Eðlisfræðifélags Íslands*, nr. 5, apríl, 3-8.
- Jónas Hallgrímsson (1835). Um eðli og uppruna jarðarinnar. *Fjölnir*, 1, 99-130.
- Kaufmann, W. J. III (1994). *Universe* (4. útgáfa). New York: Freeman.
- Kári Indriðason (1995). *Some statistics and parameters of galaxy distributions in redshift surveys*. MS-ritgerð. Háskólinn í Kaupmannahöfn.
- Kolb, E. W. og Turner, M. S. (1990). *The Early Universe*. Redwood City: Addison-Wesley.
- Krauss, L. M. (1989). *The Fifth Essence: The Search for Dark Matter in the Universe*. New York: Basic Books.
- Lederman, L. M. og Schramm, D. N. (1989). *From Quarks to the Cosmos*. New York: Scientific American Library.
- Lightman, A. og Brawer, R. (1990). *Origins: The Lives and Worlds of Modern Cosmologists*. Harvard: Harvard University Press.
- Linde, A. (1990). *Inflation and Quantum Cosmology*. San Diego: Academic Press.
- Linde, A. (1994). The Self-Reproducing Inflationary Universe. *Scientific American*, nóvember, 32-39.
- Mallove, E. F. (1988). The Self-Reproducing Universe. *Sky & Telescope*, septem-ber, 253-256.
- Misner, C. W., Thorne, K. S. og Wheeler, J. A. (1973). *Gravitation*. San Francisco: Freeman.
- Moulton, F. R. (1945). Hinn skipulegi alheimur (þýð. Trausti Einarsson). Hjá H. Shapley, S. Rapport og H. Wright (ritstj.), *Undur veraldar* (bls. 48-67). Reykjavík: Mál og Menning.
- Nielsen, H. B. (1983). Field Theories without Fundamental Gauge symmetries. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A310, 261.
- Nilsson, J. S., Gustafsson, B. og Skagerstam, B. S. (ritstj.) (1991). The Birth and Early Evolution of Our Universe: Proceedings of Nobel Symposium 79. *Physica Scripta*, T36.
- North, J. (1994). *The Fontana History of Astronomy and Cosmology*. London: Fontana.
- Odenwald, S. (1996). Space-time: The Final Frontier. *Sky & Telescope*, febrúar, 24-29.
- Overbye, D. (1991). *Lonely Hearts of the Cosmos: The Story of Scientific Quest for the Secret of the Universe*. New York: Harper Collins.
- Peebles, P. J. E. (1993). *Principles of Physical Cosmology*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Quinlan, G. D., Hernquist, L. og Steinn Sigurðsson (1995). Models of Galaxies with Central Black Holes: Adiabatic Growth in Spherical Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 440, 554-564.

- Rees, M. (1995). *Perspectives in Astrophysical Cosmology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Roth, J. og Primack, J. R. (1996). *Cosmology: All Sewn Up or Coming Apart at the Seams? Sky & Telescope*, janúar, 20-27.
- Schramm, D. N. og Woosley, S. E. (1993). Nuclear Astrophysics. *Physics Reports*, 227.
- Sharov, A. S. og Novikov, I. D. (1993). *Edwin Hubble, the Discoverer of the Big Bang Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Smoot, G. og Davidson, K. (1994). *Wrinkles in Time: The Imprint of Creation*. New York: Morrow.
- Taylor, R. J. (1984). Origin of the Chemical Elements. *Proceedings of the Royal Society of London, A* 396, 21-54.
- Thurston, W. P. og Weeks, J. R. (1988). The Mathematics of Three-dimensional Manifolds. *Scientific American*, júlí, 94-106.
- Trausti Einarsson (1958). Hugmyndir manna um alheiminn fyrr og nú. Í *Vísindá nítímans* (bls. 27-51). Reykjavík: Hlaðbúð.
- Turner, E. L. (1988). Gravitational lenses. *Scientific American*, júlí, 26-32.
- Ursin, G. F. (1842). *Sjörnufreði, létt og handá alþjóðu*. (pýð. Jónas Hallgrímsson). Viðeyjarklaustri.
- Weinberg, S. (1972). *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. New York: Wiley.
- Weinberg, S. (1977). *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. New York: Basic Books.
- Weinberg, S. (1989). The Cosmological Constant Problem. *Reviews of Modern Physics*, 61, 1-23.
- Weinberg, S. (1992). *Dreams of a Final Theory*. New York: Pantheon Books.
- Wigner, E. (1960). The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences. *Communications in Pure and Applied Mathematics*, 13, 1-14.
- Zel'dovich, Ya. B. og Novikov, I. D. (1983). The Structure and Evolution of the Universe. *Relativistic Astrophysics* (2. bindi). Chicago: University of Chicago Press.
- Þorsteinn Sæmundsson (1966). Drög að heimsm mynd nútímans. *Náttúrufræðingurinn*, 1.-2. hefti, 48-84.
- Þorsteinn Vilhjálmsson (1986 og 1987): *Heimsm mynd á hverfanda hveli: Sagt frá heimssýn vísindanna frá öndverðu fram yfir daga Newtons*. (1. og 2. bindi). Reykjavík: Mál og Menning.
- Þórður Jónsson (1989). Strengjafræði. Kenningin um allt eða ekkert? Hjá Jakobi Yngvasyni og Þorsteini Vilhjálmssyni (ritstj.), *Eðlisfræði á Íslandi IV*, (bls. 173-194). Reykjavík.
- Örnólfur E. Rögnvaldsson og Einar H. Guðmundsson (1991). Heimsmfræðilegar athuganir í alheimum með þrýstingi. Hjá Leó Kristjánssyni og Þorsteini Vilhjálmssyni (ritstj.), *Eðlisfræði á Íslandi V*, (bls. 35-44). Reykjavík.
- Örnólfur E. Rögnvaldsson (1996). *Combining N-body and MHD Codes for Simulations of Large Scale Structure in the Universe*. MS-ritgerð. Háskólinn í Kaupmannahöfn.

## Íslensk — ensk orðaskrá

algeislun <i>black body radiation</i>	meginforsenda heimsmfræði
alheimur, veröld <i>universe</i>	<i>cosmological principle</i>
alheimskraftur <i>cosmic force</i>	miðsær <i>mesoscopic</i>
almenna afstæðiskenningin	miklahrun <i>big crunch</i>
<i>general theory of relativity</i>	miklithvellur <i>big bang</i>
deildajafna <i>differential equation</i>	nátúrulögmál <i>law of nature</i>
dulstirni <i>quasar, quasi stellar object</i>	nifteind <i>neutron</i>
eind <i>particle</i>	ofurþensla, óðapensla <i>inflation</i>
einsleitni <i>homogeneity</i>	ofurþensluheimur <i>inflationary universe</i>
einsleitur <i>homogeneous</i>	rafeind <i>electron</i>
frumefni <i>chemical element</i>	rafgas <i>plasma</i>
frumgas <i>primordial plasma</i>	rafsegulkraftur <i>electromagnetic</i>
frumheimur <i>primordial universe</i>	<i>force, electromagnetic interaction</i>
frumkraftur <i>fundamental force, fundamental interaction</i>	rauðvík <i>red shift</i>
geislavirkni <i>radioactivity</i>	ringl, hvíkulleiki <i>chaos</i>
grunnstærð <i>fundamental constant</i>	róteind <i>proton</i>
heimsmfasti <i>cosmological constant</i>	sjóndeild <i>horizon</i>
heimsmfræði <i>cosmology</i>	skammtafræði <i>quantum theory</i>
heimsm mynd, heimslíkan	skammtaheimsmfræði <i>quantum cosmology</i>
<i>cosmological model, world model</i>	smásær <i>microscopic</i>
hrönnun <i>decay</i>	smættarhyggja <i>reductionism</i>
hulduefni <i>dark matter, missing mass</i>	stefnusneyða <i>isotropy</i>
jáfnstöðukenningin <i>steady state theory of the universe</i>	stefnusauður <i>isotropic</i>
kenningin um allt <i>theory of everything</i>	sterki kjarnakrafturinn <i>strong (nuclear) force, strong interaction</i>
kenningin um miklahvell <i>big bang theory of the universe</i>	stórgerð <i>large scale structure</i>
kjarnasamruni <i>nuclear fusion</i>	stórsær <i>macroscopic</i>
kúlupyrping <i>globular cluster</i>	strengjafræði <i>string theory, superstring theory</i>
kvarkur <i>quark</i>	svarthol <i>black hole</i>
ljóseind <i>photon</i>	sviðsjafna <i>field equation</i>
mannhorf <i>anthropic principle</i>	tímarúm <i>space-time</i>
markhyggja, tilgangsmfræði	ungur alheimur <i>early universe</i>
<i>teleology</i>	útvarpsvetrarbraut <i>radio galaxy</i>
	veiki krafturinn <i>weak (nuclear)</i>

<i>force, weak interaction</i>	<i>þyngdarrauðvík</i>	<i>gravitational</i>
<i>vetrabraut galaxy</i>	<i>redshift</i>	
<i>virk vetrabraut active galaxy,</i>	<i>þyngdarskammtafræði</i>	<i>quantum</i>
<i>active galactic nucleus</i>	<i>gravity</i>	
<i>víxlverkun interaction</i>	<i>örbylgjukliður, 3K-geislun</i>	<i>cosmic</i>
<i>þensla, útþensla expansion</i>	<i>microwave background</i>	
<i>þyngd gravity, gravitation</i>	<i>öreind</i>	<i>elementary particle</i>
<i>þyngdarkraftur gravitational force</i>	<i>öreindafræði</i>	<i>elementary particle</i>
<i>þyngdarlinsa gravitational lens</i>	<i>physics, high energy</i>	<i>physics</i>