

Hulduorka og þróun hins sýnilega heims

Einar H. Guðmundsson og Gunnlaugur Björnsson
Rannvísindastofnun Háskólans

Ágrip

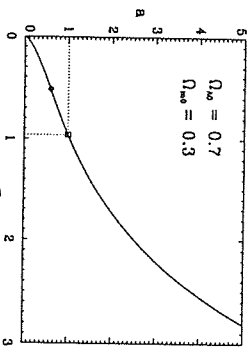
Nýlegar mælingar annars vegar á birtu fjarlægja sprengistjarna og hins vegar á stefnuhneigð örbylgjukljóðsins, benda eindregið til þess að þensluhraði alheimsins fari vaxandi og að hann hafi verið að vaxa frá því löngu áður en sólkerfið okkar varð til. Slík hegðun geti stalað af áhrifum jákvæða heimsstaða eða svokallaðrar eisu, sem hefur svipuð áhrif. Áhrifaaldurinn, hver sem hann nú er, gengur almennt undir nafninu hulduorka. Í þessari grein verður fjallað nánar um áhrif hulduorkunnar á þróun alheimsins og þó einkum á þann hluta hans, sem við sjáum hédan frá jörðinni.

1 Heimsmynd nútímans

Heimsfræðingar nota venjulega lítið þekktu Friedmann-Robertson-Walker (FRW) líkan til þess að lýsa alheimi og þróun hans. Kennistærðir líkansins eru m.a. Hubblesstuðullinn H og þéttleikastíkinn Ω . Sá fyrrennindi er mælikvæði á útbensluhraða alheimsins, en sá síðarnefndi segir til um heildarorkuþéttleika hans í hlutfalli við svonefndan markþéttleika. Markþéttleikinn skilur á milli opins og lokaðs heims þannig að $\Omega < 1$ svarar til opins heims með neikvæða sveigju, en $\Omega > 1$ svarar til lokaðs heims með jákvæða sveigju. Í líkonum án heimsstaða nær lokaður heimur endanlegri stærð, þegar útbenslan stöðvast og samdráttur hefst. Marktilfallið $\Omega = 1$ lýsir flötum heimi.

Þeir þættir sem taldir eru ráðandi um stærð Ω í dag eru annars vegar venjulegt sýnilegt efni og lítið ósýnilega hulduefni og hins vegar svonefndur heimsstaði. A. Núgildi þéttleikastíkans má því tákna með $\Omega_0 = \Omega_{\text{m}0} + \Omega_{\text{v}0}$, þar sem $\Omega_{\text{m}0}$ táknar framlag venjulegs efnis og huldufnis og $\Omega_{\text{v}0}$ framlag heimsfastans eða hulduorkunnar. Bæði mælingar á fjarlægum sprengistjörnum (t.d. Perlmutter et al. 1999; Riess et al. 1999, 2001) og á stefnuhneigð örbylgjukljóðsins (sjá t.d. Carroll 2001). Þenda til þess að $\Omega_0 \approx 1$, þar sem $\Omega_{\text{m}0} \sim 0.3$ og $\Omega_{\text{v}0} \sim 0.7$. Afleiðing þessa er sú, að heiminum mun halda áfram að þenjast út með stöðvandi hraða um alla framtíð. Um þetta verður fjallað nánar hér á eftir. Svonefnd eisa (e. *quintessence*) getur einnig valdið svipuðum áhrifum og heimsfastinn, en ekki verður fjallað nánar um hana hér. Lesendum er bent á Guðmundsson & Björnsson (2002) þar sem fralaga er fjallað um alla ofangreinda þætti og áhrif þeirra á þróun alheimsins lýst. Einnig er vakinn athygli á alþýðlegri grein um sama efni (Einar H. Guðmundsson 2001).

Áður en lengra er haldið er rétt að minna á að gildi Hubblesstuðulsins í dag, H_0 , er talið vera um $70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, sem oftast er ritað $h_0 = H_0 / (100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}) = 0.7$. Svonefndur Hubblesstími, sem líta má á sem mælikvæða á aldur alheims, hefur þá gildið $t_0 = 1/H_0 = 9.8h_0^{-1}$ Gár og svokallaður Hubblesradíus $R_{H_0} = c/H_0$ er um $14h_0^{-1}$ Glár.



Mynd 1: Skalarþáttur alheims sem fall af tíma fyrir gefin gildi á Ω . Núgildið, merkt með fermingi, er $a_0 = 1$ og $\tau_0 = 0.96$ svo aldur alheims í þessu líkani er $t_0 = 13.5$ Gár ef $h_0 = 0.7$. Beygjuskil ferilsins eru auðkennd með tígli.

Við munum lýsa þróun fjarlægða í alheimi með stærðinni $a = a(t)$, sem er fall af heims-tímanum t . Allar fjálsar eiginfjarlægðir, t.d. fjarlægð milli tveggja vetrarbrautahöpa, vaxa í réttu hlutfalli við a . Í dag hefur a gildið 1. Loks munum við kvarða tímann með Hubblestímanum og nota hér á eftir einingarlöausa heimsstímann $\tau = t/t_0$.

2 Þróun alheims

Sem dæmi um þróun alheims einbeitum við okkur að einu FRW-líkani með $\Omega_{m0} = 0.3$ og $\Omega_{\Lambda 0} = 0.7$ svo $\Omega_0 = 1.0$. Þetta er faktur heimur og mælingar benda einmitt til þess að þannig sé okkar heimur.

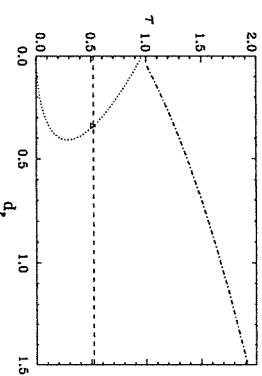
Mynd 1 sýnir skalarþátt þessa heimslíkans sem fall af tíma. Eftir um 2 Hubblestíma hefur úrþenslan náð veldisvexti þar sem áhrif heimsfastans eru þá orðin ráðandi í þróuninni. Hubblestærðin H er hvernig títma má reikna samkvæmt $H(\tau)/H_0 = d \ln a/d\tau$ og Hubblelögmálið er þá

$$v = Hd, \quad (1)$$

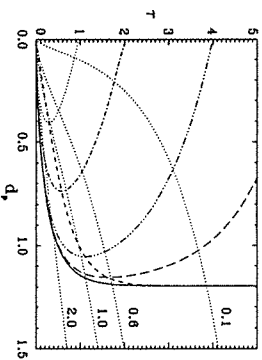
þar sem v er burtbraði tiltekinnar vetrarbrautar og d $\propto a$ er eiginfjarlægðin til hennar. Vært er að minna á, að bæði H og d eru háð títma. Þegar áhrif Λ eru orðin allsráðandi um þróunina vax skalarþátturinn veldisvexti, $a \propto e^{r\sqrt{\Lambda_0}}$, svo $H/H_0 = \sqrt{\Lambda_0}$, og burtbraðinn vax því einnig veldisvexti, $v \propto e^{r\sqrt{\Lambda_0}}$.

Við skilgreinum skeið huldurkunnar sem tímabilið frá því áhrifa Λ á úrþensluna fer fyrst verulega að gæta, en það gerist við beygjuskil ferilsins á Mynd 1 (tígullinn). Þau má auðveldlega finna úr frá skilyrðinu $d^2a/d\tau^2 = 0$. Fyrir líkanið sem sýnt er á Mynd 1, fæst að beygjuskilin eru í punktinum $a_1 = 0.60$ og $\tau_1 = 0.52$. Áhrifa heimsfastans var því farið að gæta fyrir 6.1 Gár. Þegar aldur alheims var 7.4 Gár, en þá var hvorki sólin né sólkerfið til. Við 7.4 Gára aldur hefst því skeið huldurkunnar í þróun alheimsins.

Huldurorka og þróun hins sýnilega heims



Mynd 2: Punktalinan sýnir fortíðarljóskeili athuganda, framtíðarkeilan er sýnd sem punktuð stríkalína og d_p er eiginfjarlægð. Núgildi heimstímans er $\tau_0 = 0.96$. Skeið huldurkunnar hefst við $\tau_\Lambda = 0.52$ og er ofan láréttu stríkalinnunnar. Staðsetning Δ -hvælsins á fortíðarkeilunni er merkt með þríhyrningi. Hér og á næstu myndum er d_p í einingunni R_{H_0} .



Mynd 3: Ljóskeilur athuganda á 4 mismunandi tímum í sögu heimsins. Skrymmörkin eru sýnd með heilum ferli, sem er í fastri eiginfjarlægð frá athuganda eftir u.þ.b. 2 Hubblestíma (lóbót á aðella). Heimsliður fígurra vetrarbrauta eru einnig sýndar með punktakerlum.

3 Ljóskeilur og skrymmörk

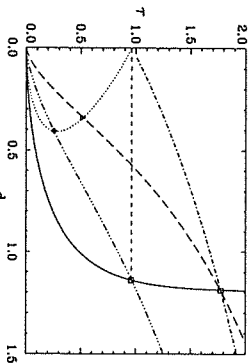
Ljóskeilur athuganda þróast með tíma svo sem ljóst má vera af Mynd 2 (núttíminn er skurðpunkturinn við lóbótta ásin). Almennir má lýsa fortíðarkeilunni með jöfnunni

$$d_{\tau_0}(\tau) = R_{H_0} a(\tau) \int_{\tau}^{\tau_0} \frac{d\tau'}{a(\tau')}. \quad (2)$$

Í heimum með heimsfasta koma fram skrymmörk vegna endanlegs hraða ljóssins. Úrþensla alheimsins getur náð því stigi, að hraði ljóssins dugi ekki til að halda orsakasambandi við fjarlægga athugendur. Skrymmörkin eru því mörk orsakatengsla tveggja athugenda. Einnig má líta á skrymmörkin sem hina endanlegu fortíðarkeili, sem fæst þá með því að láta $\tau_0 \rightarrow \infty$ í jöfnu (2). Þessu er einnig vel lýst á Mynd 3, þar sem sýndar eru fortíðarkeilur athugenda á fjórum mismunandi heimsstímum, auk skrymmarkanna. Ljóst er af myndinni, að fortíðarkeila athuganda nálgast skrymmörkin meira og meira eftir því sem tíminn líður. Þá eru á Mynd 3 einnig sýndar heimsliður fígurra vetrarbrauta og eru samstíga (e. comoving) hnit þeirra tilgreind við hvern feril.

Ef við lítum á skrymmörkin í fjarlægri framtíð, $\tau \gg \tau_0$, þá má sýna að eiginfjarlægðin til þeirra er gefin með $d_{\tau_0} = R_{H_0} \Omega_{\Lambda 0}^{-1/2} = 17$ Gía, ef $\Omega_{\Lambda 0} = 0.7$ og $h_0 = 0.7$. Þetta er einmitt staðsetning lóbótettu aðellunnar á Mynd 3.

Á Mynd 4 eru tvær tiltekna uppsprettur teknar til skoðunar. Önnur uppsprettan er á mörkunum þess að vera í orsakatengslum við okkur. Heimsliða hennar er slítri stríkaferillinn á myndinni. Skilaboð, sem við sendum í átt til hennar nú, munu berast til hennar á því augnabliki, er hún fer yfir skrymmörkin. Hún mun því ekki gæta svarað skilaboðunum. Randvirk þessarar uppsprettu mælist okkur nú vera $z = 0.08$, svo eins er



Mynd 4: Heimslnur tveggja valinna linda. Heimslna annarrar (sifti ferillinn), sker fram-tíðarkellu athugandans í skymörkunum. Þrjúplaterillinn er heimslna hinnar lindarinnar sem er nú á leið yfir skymörkin svo sem einnig má sjá af lárétta slitna ferlinum. Skurðpunktur heimslnanna við fortíðarkelluna eru merktir með þríhyrningi og tígli.

Ástætt um allar uppsprettur með hærra rauðvík. Ljós, sem þær senda frá sér nú, mun ekki ná til okkar fyrir en uppsprettur eru komnar yfir skymörkin. Hin uppsprettan á Mynd 4, með heimslnu sem sýnd er sem þrjúplaterill, er að fara yfir skymörkin nú, svo sem sjá má af lárétta stríkalinnu við núverandi heimstíma. Sú uppsprettan hefur rauðvík $z = 1.7$ og er nú þegar úr öllum orsakatengslum við okkur. Sama gildir einnig um allar uppsprettur með hærra rauðvík. Tíi samanhurðar er rétt að nefna, að fartlægasta uppsprettan, sem þekkt er, hefur rauðvík $z = 6.28$, og er að sjálfsögðu fyrir löngu komin yfir skymörkin, þótt við sjáum hana ennþá.

Frantúðarsýn í heimi af þeirri gerð, sem hér hefur verið rætt um, er fremur dökkt, raunar væri réttara að segja myrk, frá sjónarhóli hugsandi vera sem stunda athuganir á alheimi. Fjarlægjar vettarbrautar fara hver af annari yfir skymörkin á nokkrum Hubbleskránum. Bæði fjarlægð þeirra og rauðvík vaxa veldisvexti svo ljósið sem frá þeim berst dofnar skjótt niður fyrir mælanleg mörk. Sérhver athugandi yrði þá einn innan síns sýnilega heims, yrði í raun eyland í oravíddum alheimsins og algerlega sambandslaus við umheiminn.

Þakkir

Værkenni þetta er styrkt af Rannsóknasjóði Háskóla Íslands.

Heimildir

- Carrroll, S. M., 2001, *Living Rev. Rel.* 4, 1.
 Einar H. Guðmundsson, 2001, Morgunblaðið 24. júní, bls. B4.
 Guðmundsson, E. H. & Björnsson, G., 2002, *Apu* 565, 1.
 Perlmutter, S. et al., 1999, *Apu* 517, 565.
 Riess, A. G. et al., 1999, *AJ* 118, 1009.
 Riess, A. G. et al., 2001, *Apu* 560, 49.

Summary

We discuss the future evolution of FRW world models with a cosmological constant. In particular we consider the evolution of the observable part of the universe. We calculate its extent and the portion of it that can be seen at different epochs.

ISSN 1670-0570

EDLISFRÆÐI Á ÍSLANDI X

Ráðstefna Eðlisfræðifélags Íslands
í Hátiðasal Háskóla Íslands
17. – 18. nóvember 2001

Eðlisfræðifélag Íslands
júní 2002

Eðlisfræði á Íslandi X
sérhefti af 16. árgangi Fréttabréfs Eðlisfræðifélags Íslands
ISSN 1670-0570

© júní 2002: Eðlisfræðifélag Íslands
Raunvísindastofnun Háskólans
Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Ráðstefnustjórn:

Viðar Guðmundsson, ráðstefnustjóri
Gunnlaugur Björnsson, dagskrárstjóri
Jón Tómas Guðmundsson, gjaldkeri

Styrktaraðilar:

Almannaksjóður HÍ
Raunvísindastofnun HÍ, Eðlisfræðistofa

Ritstjóri:

Ari Ólafsson

Tölvuvinnsla og umbrot:

Ari Ólafsson

Ljósmyndir:

Sveinn Ólafsson, Unnar B. Arnalds og Viðar Guðmundsson

Prentun:

Fjölritunarstofa Daníels Halldórssonar

Upplag:

300 eintök