

Antistofteorien.

Big Bang har længe været en anerkendt teori om universets skabelse. Den har imidlertid mange mangler. Da universet består af masser, der tiltrækker hinanden, er det svært at forklare universets udvidelse. Derfor indføres en teoretisk konstruktion, inflation, som tænkes iværksat af en uhyre stærk frastødende kosmologisk konstant Λ (lambda). Λ begynder at virke når universet har en radius på ca. 10^{-27} m og skaber i løbet af ca. 10^{-34} sek hele universet. Big Bang teorien hævder, at der i universet næsten udelukkende findes partikler, skønt vi ved fra acceleratorforsøg, at partikler og antipartikler altid skabes samtidigt. Ifølge det kosmologiske princip skulle Universet være ensartet, men det er det ikke, og Big Bang kan vanskeligt forklare hvorfor. Big Bang har ikke nogen overbevisende forklaring på galaksernes skabelse, hvorfor de er flade og den måde, de roterer på. Den kan ikke forklare de enorme energier, der udsendes fra kvasarer og gammaglimt. Den kan ikke forklare, hvor det mystiske intergalaktiske "mørke stof" kommer fra, og hvad det består af. Derfor vil jeg opstille en helt anden teori om universets skabelse. Den kalder jeg antistofteorien, fordi den tager udgangspunkt i, at der skabes lige meget stof og antistof. Det viser sig, at antistofteorien løser alle de nævnte problemer ved Big Bang teorien.

Enkelte forskere har overvejet tilstedeværelsen af antistof i universet. Allerede i 1898 skrev Arthur Schuster: *"Astronomi, the oldest and yet most juvenile of the sciences, may still have some surprises in store. May antimatter be commended to its care!"*. Nogle forskere har afvist eksistensen af antistof, fordi der ikke i universet er tegn på den voldsomme stråling, som udsendes ved annihilation. Denne indvending er blevet tilbagevist.

Ifølge antistofteorien er det intergalaktiske rum opfyldt af en gas, der hovedsageligt består af antibrintmolekyler. Den er usynlig ligesom tør atmosfærisk luft. Massetætheden er meget lav, men den samlede masse er formentlig lig så stor som galaksernes samlede masse. Eksistensen af dette antistof er bekræftet af observationer af højenergetiske positroner, som kommer fra det intergalaktiske rum. Det er sket med AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) på ISS (International Space Station). Disse positroner må være slået løs fra antibrintmolekyler. Der er også observeret antiprotoner, som synes at komme fra det intergalaktiske rum.

Svarende til enhver elementarpartikel findes der en antipartikel. Den elektrisk negative elektron har en elektrisk positiv antipartikel, positronen. Protonen har en antiproton, neutronen en antineutron o.s.v. Erfaringen er, at når antipartikler og partikler møder hinanden, vil de annihilere under frigørelse af stor energi. Så antipartikler vil ikke kunne eksistere i mælkevejen udenfor laboratorier. Kosmologerne kan vanskeligt forklare, hvorfor der ved Big Bang er dannet så meget stof og ikke noget antistof. Her vil jeg antage, at der oprindeligt er dannet lige meget stof og antistof. Antistoffet må findes et sted udenfor mælkevejen.

Stof og antistof må være adskilt på et tidspunkt i universets udvikling, og for at

det kan ske, må der være en mekanisme. Min første tanke var at gravitationskraften mellem stof og antistof kunne være frastødende. Men ret beset er gravitation ifølge Einsteins almene relativitetsteori en tiltrækning der virker mellem alle masser. Antipartikler har samme masse som partikler, og gravitationskraften på dem er derfor også tiltrækkende. Jeg vil i stedet vise, at der tidligt i universet var en mekanisme, der kunne adskille stof og antistof.

Ursuppe

Den sædvanlige teori er, at universet er skabt ved et Big Bang, der startede med et lille punkt. Jeg vil i stedet foreslå, at starten var en ubegrænset ursuppe. Hvordan denne suppe er opstået vil jeg ikke spekulere over nu, men vi kan i hvert fald glemme alt om Big Bang. Vi kan ikke genskabe en ursuppe, og kender derfor ikke helt dens egenskaber. Det nærmeste vi kommer er forholdene inde i atomkerner, som kan betragtes som meget små suppedråber. De undersøges ved kollisionforsøg med store energier, hvorved der dannes hurtige frie partikler, som forlader den lille suppedråbe. Forholdene er helt anderledes i den enormt store ursuppe, som partikler ikke kan forlade. I Big Bang teorien opererer man også med en suppe med temperatur 10^{22} K, der eksisterer når universet har en alder på 10^{-23} sek, hvorefter suppen eksploderer og opløses i partikler. Den ursuppe vi taler om i antistofteorien, eksisterer i meget lang tid og har en meget lavere temperatur.

Ligesom atomkernerne indeholder suppen kun gluoner og kvarker. Ved kollisionforsøg har man vist eksistensen af 6 forskellige kvarker og deres tilhørende antikvarker. De har alle et bestemt energiindhold. De letteste er u ("up") og antikvarken \bar{u} med energier ca 2 MeV samt d ("down") og \bar{d} med energier ca 5 MeV. Overstregning betegner antipartikler. Kvarkernes energiindhold eller masse kan ikke måles og er beregnet ved simulering af de partikler, hvor kvarker indgår. Resultaterne er usikre, da de er baseret på en teoretiske model (Quantum Colour Dynamics) og en række antagelser. u har en elektrisk ladning $+2e/3$, hvor e er den elektriske elementarladning. d har en elektrisk ladning $-e/3$. Antipartikler har samme ladning som partiklerne men med modsat fortegn.

Gluonerne er kvantemekaniske felter, der kan gennemtrænge hinanden. Gluonerne har ikke masse eller ladning. En gluon kan manifestere sin energi ved at danne en kvark og dens antikvark, der danner et elektrisk neutralt par. Kvark og antikvark er almindeligvis bundet sammen i en gluon, og suppen kan kaldes derfor en gluonsuppe. De kræfter der binder kvarkerne sammen kaldes stærke kernekræfter, og de er så stærke, at man ikke kan isolere en kvark. Man har vist at de stærke kernekræfter egentlig er de samme som elektromagnetiske kræfter. Det er jo på en måde elektrisk ladning der holder kvark og antikvark sammen. Alle kræfter har således samme karakter. Gravitationen er ikke en kraft, men ifølge Einstein en forandring af rumtiden.

De to kvarker i en gluon bevæger sig ved rotation og vibration og har en lille sandsynlighed for at fjerne sig fra hinanden. Jo mere de adskilles desto større bliver tiltrækningskraften mellem dem på grund af deres elektriske ladning og

de stærke kernekræfter. Vi kan beregne en tilnærmet værdi af tiltrækningskraften mellem to d kvarker, der lige netop er adskilt:

$$F = -C*(e/3)^2/d^2 = - 8,99*10^9*(1,6*10^{-19}/3)^2/(1,8*10^{-15})^2 = -8N$$

C er Coulombs konstant. Elementarladningen $e= 1,6*10^{-19}$. Vi kender ikke kvarkers struktur eller størrelse, men må antage at de er mindre end nukleoner, der indeholder kvarker. Derfor er afstanden r sat til nukleonernes diameter $d= 1,8*10^{-15}$.

Kvarker har spin d.v.s. bevægelsesmængdemoment, og da de har elektrisk ladning, får de også et magnetisk dipolmoment. Kvarkerne har det mindst mulige spin, og det har to modsatte retninger, der betegnes $+\frac{1}{2}$ og $-\frac{1}{2}$. To magnetiske dipoler med samme retning frastøder hinanden, og to magnetiske dipoler med modsat retning tiltrækker hinanden. De to kvarker i en gluon har modsat ladning og må have spin i modsat retning og dermed magnetisk dipolmoment i samme retning. Gluonerne har altså spin 0. Vi kan beregne en tilnærmet værdi for frastødningskraften mellem to adskilte kvarker med ensrettet magnetisk dipolmoment ved at benytte den magnetiske permeabilitet for vakuum: $3*10^{-7}$

$$F = 3*10^{-7} * m^2/d^4 = 3*10^{-7}*(9,66*10^{-27})^2/(1,8*10^{-15})^4 = 2,7N$$

Det magnetiske dipolmoment m er her sat til den eksperimentelt bestemte værdi for neutroners magnetiske moment. Afstanden d er igen sat til nukleonernes diameter. Eksponenten på d der før var 2 er nu 4, og det betyder at den magnetiske kraft virker på meget kortere afstand end den elektriske kraft. Det er heldigt at den frastødende magnetiske kraft er mindre end den før beregnede tiltrækkende elektriske kraft. Begge kræfter er stærke og de er grundlaget for de stærke kræfter i atomkerner. En mere nøjagtig beskrivelse af de stærke kernekræfter gives i den såkaldte kvanteelektrodynamik.

Undertiden kan de to kvarker i en gluon have held til at blive skilt og bevæge sig væk fra hinanden, og det kaldes pardannelse. Hver af dem vil imidlertid hurtigt finde en ny partner og sammen med denne danne en ny gluon. Det kaldes annihilation. Pardannelse og annihilation vil dog sikre en vis diffusion af energi i suppen. Derfor vil suppen søge ligevægt med ensartet sammensætning, temperatur og tryk. Der er også den mulighed at to kvarker samtidig bliver adskilt fra deres to antikvarker. For eksempel kan der dannes et sæt af en kvark og en antikvark, en positiv pion ($u \bar{d}$) eller en negativ pion ($d \bar{u}$). De to pioner er hinandens antipartikel og de dannes samtidig. Da de har modsat elektrisk ladning, tiltrækker de hinanden. De vil derfor straks mødes og annihilere. Ved kollisionsforsøg i laboratorier opstår der frie pioner. En fri pion, der opstår ved kollisionsforsøg, har stor hastighed, således at den elektriske tiltrækning fra dens partner ikke kan nå at påvirke den. En fri pion har energien 140 MeV. De to valenskvarker i pionen har tilsammen energi $2 + 5 = 7$ MeV. Resten af den frie pions energi 133 MeV udgøres af gluoner, der holder sammen på de to kvarker.

Det er også muligt at tre kvarker samtidig og på samme sted bliver skilt fra

deres antikvarer. Der kan således dannes en positiv proton ($u u d$) og en negativ antiproton ($\bar{u} \bar{u} \bar{d}$). Da protonen og antiprotonen tiltrækker hinanden vil de straks mødes og annihilere ligesom pionerne. De får derfor ingen betydning i gluonsuppen.

I gluonsuppen er det neutroner ($d u d$) og antineutroner ($\bar{d} \bar{u} \bar{d}$), der har afgørende betydning. Neutronens kvarker har tilsammen energien $2+5+5 = 12$ MeV. Den frie neutrons energi er 940 MeV. Resten af energien 928 MeV eller 98,7% udgøres af gluoner, der holder sammen på de tre kvarker. I atomkerner er neutroner og protoner næsten frie, og har næsten deres fulde energi. Dog tiltrækker nukleonerne i atomkernen hinanden med en kraft (residual force), der er noget mindre end den kraft (strong force), der binder gluoner sammen i nukleonen.

Forholdene i ursuppen er anderledes end i atomkernerne. De neutroner der findes i suppen består af tre valenskvarker, der holdes sammen af stærke kræfter af elektromagnetisk karakter. Disse neutroner kan kaldes neutronskeletter eller neuletter, da de kun indeholder 1,3% af frie neutroners energi. Neuletterne har ikke nødvendigvis samme størrelse som frie neutroner. Vi skal senere se, at neuletterne i suppen skrumper ind, når de bliver til frie neutroner. Gluonerne gennemtrænger hinanden og gennemtrænger også neuletterne. Efter pardannelser i suppen sættes neuletter og antineuletter i bevægelse i modsat retning, men hvordan de bevæger sig gennem gluonsuppen ved vi ikke så meget om. Ved kollisionsforsøg med tunge atomkerner opstår en gluonsuppe kortvarigt. Forsøgene viser, at gluonsuppen ikke yder nogen modstand mod partiklerne i suppen. Viskositeten er nul. Suppen er en ideal væske. Forsøgene er dog udført med gluonsupper af høj temperatur. (<http://www.lanl.gov/projects/dense-plasma-theory/background/quark-gluon-plasma.php>).

En forklaring på den manglende modstand i gluonsuppen kan være, at neuletterne i gluonsuppen kun består af valenskvarker. Når neulettens tre valenskvarker bevæger sig gennem gluonsuppen, følger dens gluoner ikke med, men udskiftes med andre gluoner i suppen. Neuletten, der bevæger sig gennem gluonsuppen er kun et skelet bestående af de tre valenskvarker. En normal væske vil blive sat i bevægelse, når en partikel bevæger sig gennem væsken men ikke gluonsuppen.

Partiklerne i gluonsuppen kan altså bevæge sig upåvirket af gluonerne, men de vil blive stoppet et sted. I gluonsuppen vil neulettens tre valenskvarker bevæge sig, og de vil møde forskellige kvarker, idet neulettens gluoner hele tiden udskiftes. De tre valenskvarker vil annihilere, når de møder tre relevante antikvarer, og danne gluoner under udløsning af energien 12 MeV. Neuletten er dermed blevet opløst i gluonsuppen.

Vi kan skønne over temperaturen af ursuppen. Temperaturen må være langt mindre end den er ved kollisionsforsøgene. Den er også langt mindre end den temperatur, man forestiller sig for plasmaen i Big Bang. Den energi der kræves til at danne et par frie neutroner er $2 \cdot 940$ MeV. Men hvis alle gluoner i suppen havde denne energi i middel havde denne energi, ville alle suppens

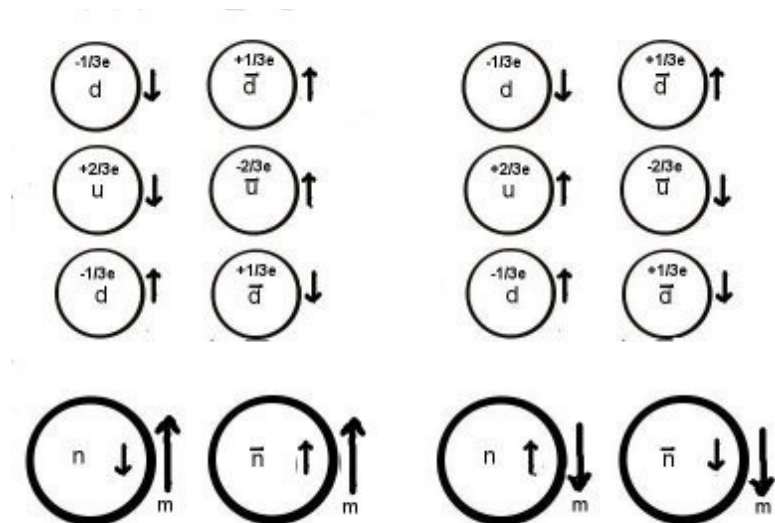
gluoner danne frie partikler, og suppen ville blive opløst. Suppens temperatur må være meget lavere. Den energi, der kræves for at danne tre kvarkepar til et neutlet-antineutletpar, er måske $E = 12+12 = 24$ MeV, og det svarer ifølge Boltzmanns lov $E=kT$ til en middeltemperatur på ca $T=2 \cdot 10^{11}$ K. Ved denne middeltemperatur vil der dannes rigeligt med kvarkepar og en spredt produktion af neutletpar.

Man kan beregne universets masse og dermed ursuppens masse. Det er lykkedes med Hubble rumteleskopet i 2012 at registrere galakser helt ud til 13,2 mia lysår ved at eksponere på et meget lille felt af himlen i lang tid. Der menes nu at være $1,5 \cdot 10^{11}$ galakser i universet. Man har fundet at galakserne i middel indeholder $4 \cdot 10^{10}$ solmasser. Solens masse er $2 \cdot 10^{30}$ kg. Udover solmasser er der usynligt stof i tåger, brune dværge og små neutronstjerner, så den samlede stofmasse skal multipliceres med 5. Ifølge antistofteorien er der lige så meget antistof i det intergalaktiske rum, så der kommer yderligere en faktor 2. Massen af stof og antistof i galakseuniverset er da

$$5 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \cdot 4 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 10^{30} = 1,2 \cdot 10^{53} \text{ kg}$$

Rumfanget af ursuppen er mere usikkert. Man kunne forestille sig at gluonsuppen var lige så tæt sammenpresset som nukleoner i en atomkerne. Jeg vil senere forklare at det nok ikke er tilfældet.

En mekanisme der kan adskille stof og antistof.



Figur 1

Figuren viser to forskellige par af neutron plus antineutron. Den viser også de tilsvarende neutletter. Øverst ses de tre kvarke, som neutletten eller antineutletten består af. Den elektriske ladning af kvarkerne er anført, og den har betydning for tiltrækningen mellem kvarkerne. Det fremgår, at den samlede ladning for neutletten er nul. En kvark og dens antikvark har modsat

spin og modsat ladning. Spin af de elektrisk ladede kvarker frembringer et magnetisk dipolmoment og har dermed betydning for vekselvirkningen mellem de tre kvarker i neuletpakken. Reglen er at ingen af de tre kvarker må have samme egenskaber med hensyn til ladning og spin. Således har de to kvarker med samme ladning modsat spin. Dette system kendes for neutroner, og protoner og man taler om at de tre kvarker har forskellige farver (Quantum Chromo Dynamics).

Vi ved ikke, hvordan de tre kvarker i en neutron eller en neulet er placeret. Måske er de smeltet sammen, så neutronen har sin egen struktur. Det samlede spin af neutronen er bestemt af u-kvarkens spin. Forskerne troede at det magnetiske dipolmoment af den elektrisk neutrale neutron måtte være nul, men blev nødt til at anerkende eksperimenterne, der viser at det magnetiske dipolmoment er $m = -9,66 \cdot 10^{-27} \text{ J/T}$. Da m er negativ og altså modsat rettet spinnet, kan man formode at m er bestemt af de negative d-kvarker. Jeg forestiller mig at u-kvarken danner par med den d-kvark, der har modsat spin, hvorved deres samlede spin er nul. Tilbage er en negativ d-kvark, der bestemmer neutronens spin og magnetiske moment m som er modsat spinnet.

Vi ser nu på den antineulet, der dannes samtidig med neulleten. Da u-kvarken havde spin ned, må \bar{u} -kvarken have spin op. \bar{u} -kvarken ophæver den ene \bar{d} -kvarks spin ned, og tilbage bliver en positiv \bar{d} -kvark med spin op. Dermed bliver antineulettens magnetiske moment positivt, hvad eksperimenterne også viser. Neulleten og antineulleten frastøder altså hinanden, og vi har lige før beregnet kraftens størrelse $2,7N$. Efter pardannelsen vil de to partikler bevæge sig væk fra hinanden, og de vil aldrig kunne komme så tæt, at de kan annihilere. Det er bemærkelsesværdigt, at man ikke har observeret annihilation af frie neutroner og antineutroner med lave hastigheder.

Vi må også tage det andet par af neulet plus antineulet på figur 1 i betragtning. Her er alle spin modsat rettede, og der dannes ligeså mange af disse par i suppen. En neulet fra det første par kan vel annihilere med en antineulet fra det andet par, men det ses at u og \bar{u} kvarkerne har ensrettet spin og det vil gøre annihilation vanskeligt. Derfor kan vi regne med, at annihilation ikke sker i gluonsuppen for neuletter, der møder antineuletter, men neuletterne bliver opløst når de møder passende antikvarker.

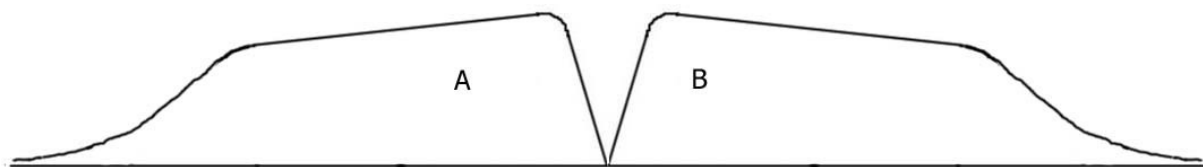
Hvordan kunne stof og antistof blive adskilt? Måske kunne der i ursuppen tilfældigvis opstå et lille område A, hvor der var flere neuletter end antineuletter. Derved ville gluonsuppen udenom A få et område B med et overskud af antineuletter. På grund af opløsning af neuletter og antineuletter vil der derefter være et overskud af kvarker i A og et overskud af antikvarker i B. Der er flest neuletter nær centrum og de har en længere middelvejlængde på grund af den lavere tæthed af antikvarker her. Deres spredning vil overskygge spredning fra neuletter længere fra centrum og give en resulterende strøm væk fra centrum. For antineuletterne gælder tilsvarende at de spredes væk fra centrum. Resultatet er således at gluonsuppen igen opnår en ensartet sammensætning. Der vil godt nok være en modsat rettet tendens til, at de neuletter, der vandrer mod centrum, vil møde færre antikvarker og har en længere middelvejlængde end dem, der bevæger sig i andre retninger.

Men denne tendens får ingen betydning, da overskuddet af kvarker eller neutletter være en langsomt faldende funktion af radius.

Jeg vil nu betragte en mere interessant hændelse, der kunne indtræffe tilfældigt. Lad os antage, at flere pardannelser omkring samme tidspunkt og sted udsendte neutletter i samme halvrum og dermed antineutletter i det andet halvrum. Herved opstod der to skiveformede områder af type A og B tæt på hinanden, og det giver mulighed for en ny udvikling. De to områder A og B vil igen få overvægt af kvarker henholdsvis antikvarker. Der dannes neutlet/antineulet par overalt og vi ser på dem der dannes imellem A og B. Da tætheden af antikvarker er mindre ved A end ved B, vil de neutletter, der bevæger sig mod A, få en længere middelvejlænge, end de der bevæger sig mod B. Der vil derfor være en strøm af neutletter mod A. Strømmen fører alle neutletter mod A, og ingen kan slippe udenom skiven A. Et tilsvarende argument kan gives for antineutletterne, og antineuletstrømmen ender derfor i skive B. Det er afgørende at alle neutletter og antineutletter, der dannes mellem A og B flyttes mod A eller B og ingen kan forsvinde udenom. Resultatet bliver, at bevægelsen af neutletter/antineutletter vil forøge overskuddet af kvarker i A og antikvarker i B. Overskuddet af kvarker eller neutletter bliver en stejlt faldende funktion af afstanden fra A, og det forstærker strømmen af neutletter mod A.

To kontinenter

Jeg vil foreslå kosmologerne at konstruere en computermodel med den mekanisme, jeg har foreslået. Indtil videre vil jeg skitsere, hvordan pladerne A og B kan udvikle sig. Diameterne af pladerne er til at begynde med ganske små, men de vil med tiden vokse. Neutletter og antineutletter bevæger sig som omtalt i retning fra den ene plade til den anden, men ikke nødvendigvis vinkelret på pladerne. Ved randen af pladerne vil nogle neutletter og antineutletter derfor ende udenfor pladens rand og derved få pladens areal til at vokse.



Figur 2

Figuren viser en akse vinkelret på pladerne. Det er kun en principskitse, så størrelsesforholdene kan ikke aflæses. Der vises overtal af neutletter i A eller antineutletter i B. Der vises samtidig overtal af kvarker i A og overtal af

antikvarer i B. Pladerne er nu vokset i areal og i tykkelse, og Jeg vil beskrive pladerne som to kontinenter adskilt af en kløft. I kløften vil neuletterne overvejende bevæge sig fra B mod A og antineuletterne modsat. Derved opstår bjergtoppen i A hvor der er overtal af neuletter og kvarker og tilsvarende for B. Kløften er meget smallere end det fremgår af figuren.

Overskuddet af kvarker og neutroner på bjerget giver anledning til en strøm af neuletter væk fra bjerget. Det har ikke nogen betydning i kløften, hvor der er en stærk strøm i modsat retning. I baglandet vil strømmen af neuletter ikke møde nogen væsentlig modstrøm, og overskudskurven falder svagt.

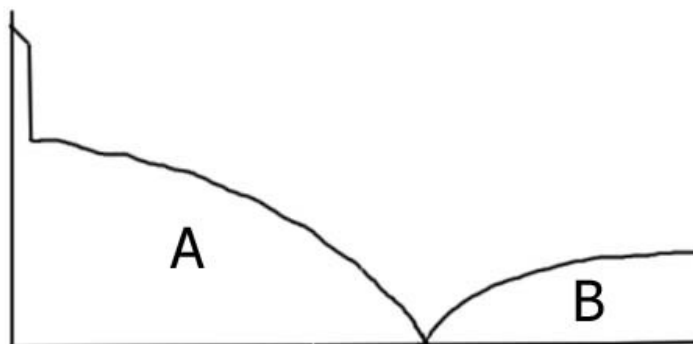
Adskillelsen af stof og antistof i kløften kan fortsætte uforstyrret i meget lang tid. Hastigheden af processen kan endda forøges, idet toppene bliver højere. Bjerget vokser i højden, indtil strømmen fra bjerget ophæver den stærke strøm fra kløften. Derefter vil kontinentet vokse videre, og vi får en svagt hældende linje i baglandet. Den svage hældning vil gælde ud til en afstand fra skiven, der ligner skivens diameter. Længere ude vil neuletstrømmen sprede sig til siderne, og overskuddet af kvarker vil falde meget hurtigt. På et tidspunkt har de to kontinenter formentlig omfattet mere end det område, der senere bliver til galakseuniverset. Det skal siges, at neuletterne i A udgør en meget lille del af det samlede energiindhold i A. Dels er koncentrationen meget lille. Dels er det vi kalder neuletter blot skeletter, hvis energi blot er de tre valenskvarkers energi.

De neuletter der dannes i A bevæger sig i tilfældige retninger og mødes tilfældigt. Vi har set, at to neuletter med modsat rettede magnetiske dipoler tiltrækker hinanden. Nogle af neuletterne vil danne par og vandre sammen. I den forbindelse skal det nævnes, at neutroner såvel som protoner også danner par i atomkerner. En neulet i et par vil kunne bevæge sig længere i gluonsuppen end en enkelt neulet, for de tre relevante antikvarer må have lidt mere energi for at frigøre neutronen fra parret. Lad os sige at der i gluonsuppen er 8 gange så mange neuletter som antineuletter i et område. Så vil sandsynligheden for, at neuletter møder hinanden og danner par, være 4 gange så stor som for antineuletterne. Der vil så være $4 \cdot 8 = 32$ gange så mange neuletpar som antineuletpar.

Når neuletpar rammer hinanden vil de klistre sig til hinanden ved hjælp af gluoner. I atomkerner holdes nukleonpar også sammen med gluoner. Disse gluonkræfter (residual forces) er ikke så stærke som de, der holder kvarker sammen i frie nukleoner. Jeg forestiller mig, at enkelte gluoner gennemtrænger og omfatter flere nukleoner. Noget lignende kan ske i gluonsuppen. Med tiden vil flere neuletter samles i større grupper. Denne proces vil foregå i kontinentet, samtidig med at kontinentet stadig vokser. Sådanne grupper af mange tætforbundne neuletter kalder jeg neutroniumkerner. Man taler om, at der findes et stof neutronium. Neutronstjerner og galaksekerner består i princippet af neutronium.

Der sker stadig pardannelse og opløsning af neuletter og antineuletter overalt også i de yderste lag af neutroniumkernerne, hvor neuletterne ikke er bundet så stærkt. Antineuletter bevæger sig væk fra kernen og neuletter bevæger sig

nærmere indtil de opløses. Kvarkoverskuddet bliver større jo nærmere man er neutroniumkernen. Udenom neutroniumkernen opstår en kappe af type A med overskud af kvarker. Jeg kalder den en kvarkbølge. Antineuletterne bevæger sig væk fra centrum og væk fra kvarkbølgen og danner en antikvarksuppe B udenfor kvarkbølgen. Figur 3 er en skitse af situationen.



Figur 3

Den vandrette akse viser afstanden fra kvarkbøllens centrum. Den lodrette akse viser overskud af neuletter i A eller antineuletter i B. Grafen viser også overskud af kvarker i A og overskud af antikvarker i B. Overskud af kvarker falder med afstanden fra centrum på hele figuren. Derved kommer der en strøm af kvarker mod centrum og antikvarker bort fra centrum. Derved vokser begge områder A og B. B-suppen vil smelte sammen med tilsvarende B-suppe fra nærliggende kvarkbølger, og derved vil antineuletterne hobe sig op i B.

Meget ofte vil de voksende kvarkbølger A smelte sammen, idet den mellemliggende antikvarksuppe B bliver presset ud til siderne. De sammensmeltede kvarkbølger er styret af overskuddet af kvarker, og de vil snart opnå kugleform. Selv neutroniumkernerne fra de sammensmeltede kvarkbølger vil på et tidspunkt smelte sammen, men det sker formentlig først i plasmafase, hvor gravitationen kommer til at spille en rolle. Sammensmeltninger af mindre kvarkbølger fører til dannelsen af stadig større kvarkbølger.

I B-suppen vil der muligvis dannes mindre antineutroniumkerner, men de vil blive opløst af kvarker, idet neuletter ikke flyttes ud i B-suppen.

Ildkugler

Nærmest centrum på figur 3 er antydning af en neutroniumkerne, hvor tætheden af neutroner er meget stor. Nogle af de neuletter, der strømmer mod centrum vil nå til kernen, hvor de bliver tiltrukket og sætter sig fast. Derved vokser kernen.

Når neuletterne føres sammen udfører de tiltrækkende kræfter et arbejde, som bliver til energi. Det kan sammenlignes med fusion af atomkerner. Fusion af

atomkerner foregår i plasma. Her bliver energien til kinetisk energi for de frie partikler. I gluonsuppen er der ingen frie partikler og her bliver energien til kinetisk energi, (rotation og vibration) for neutletternes kvarker. Vi regner med at neutletter, der opstår i gluonsuppen, har et energiindhold på mindst 12 MeV. Neutletternes energiindhold kan forøges til højst 940 MeV for en fri neutron. Ifølge Einsteins almene relativitetsteori vil hastigheder v nær lysets hastighed c forøge massen efter formlen

$$M^0 / M = 1 - v^2/c^2$$

Sætter vi hvilemassen $M^0 = 12$ og slutmassen til den maksimale masse for en neutron $M = 940$, får vi $v = 0,987c$.

Denne hastighed er meget stor, men rimelig, da neutronen er meget lille. De neutletter vi har i neutroniumkernen har langt fra den maksimale masse. De tiltrækkende stærke kernekrafter har en meget kort rækkevidde og kan derfor ikke nå at udføre et stort arbejde. Ifølge Einstein sker der en kontraktion af rummet ved store hastigheder. Hviledimensionen D^0 og slutdimensionen D er givet ved formlen

$$D / D^0 = 1 - v^2/c^2$$

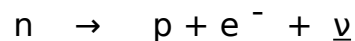
Den forholdsmæssige ændring af dimensionen er altså den omvendte af den forholdsmæssige ændring af massen. Når neutletterne har opnået det maksimale energiindhold, har deres kvarker og tilhørende gluoner altså skrumpet til $12/940 = 1,3\%$ af den oprindelige dimension. Disse tanker har jeg fra Michael Byrne: <http://arxiv.org/abs/physics/9902044v2>

Efterhånden får neutroniumkernerne mere masse, både fordi de tilføres flere neutletter fra kvarkbollen, og fordi de tilførte neutletter har større masse. Denne koncentrationen af masse eller energi betyder, at gravitationen begynder at spille en rolle i universet. Gravitationen beskrives af Einstein som en deformation af rum-tiden. Newton beskriver gravitationen som en tiltrækning mellem alle masser. De neutletter, der dannes tæt på neutroniumkernen, hvor antikvarktætheden er lav vil have en stor middelvejlængde og kan nå at blive absorberet af kernen. De vil inden da blive accelereret mod kernen og få en kinetisk energi. Det er neutlettens kvarker der får denne energi, men gluonerne bliver trukket med. Dermed bliver neutlettens masse forøget ifølge Einstein. Gravitationskrafterne har en lang rækkevidde og kan derfor tilføre neutletterne et større arbejde end de kortrækkende kernekrafter. Dermed bliver de absorberede neutletters masseforøgelse nu langt større. De absorberede neutletter vil forøge neutroniumkernens masse og kontraktion. Dermed forøges gravitationskraften udenfor kernen.

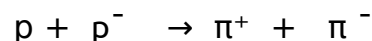
Neutletter der dannes lidt længere væk fra kernen vil ikke nå kernen, men gravitationen fra kernen vil forøge deres energi, og når de bliver opløst, vil energien forøge gluonsuppens temperatur. Der dannes lige så mange antineutletter som neutletter. De har godt nok ikke så stor middelvejlængde som neutletterne, men de vil også blive accelereret mod kernen af gravitationen og få forøget masse. Når de bliver opløst vil de også forøge gluonsuppens

temperatur. Udenfor kernen vil der i kvarkbollen opstå en kappe af gluonsuppe med høj temperatur. De neutletterer/antineutletter der dannes her vil fra starten have stort energiindhold, og dette vil blive forøget af gravitation fra kernen.

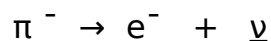
Alle de nævnte processer fører til en stadig voksende temperatur i kappen. På et tidspunkt bliver temperaturen så høj, at hovedparten af neutletterer og antineutletterer i kappen har et energiindhold på 940 MeV. Mange af disse nukleoner får imidlertid tilført yderligere energi der ikke kan optages af deres gluoner. Den tilførte energi bliver da til kinetisk energi for nukleonen, og den bliver til en fri partikel, løsrevet fra gluonsuppen. Når de frie neutroner og antineutroner mødes vil de ofte annihilere og danne andre frie partikler. Man har dog ikke eksperimentelle resultater for denne type annihilation, så den vil måske ikke være så hyppig. Vi har tidligere omtalt, at annihilation af neutletter og antineutletter heller ikke er sandsynligt. Men vi ved, at en fri neutron har en levetid på ca 15 min. En anden mulighed er derfor, at nogle af de frie neutroner henfalder til en proton, en elektron og en antineutrino.



Derefter vil protoner og de på tilsvarende måde dannede antiprotoner annihilere f.eks. således:



Det kan også ske, at en neutron og antiproton annihilere og danner pioner. Ved alle disse processer er det egentlig valenskvarkerne der reagerer. Protonens energi er 938 MeV og pionens energi er kun 140 MeV. Den overskydende energi bliver til kinetisk energi for pionerne. Derved hæves plasmaens temperatur. De dannede pioner har kort levetid og henfalder straks til andre partikler med høj kinetisk energi. For eksempel ved processerne



I sidste ende bliver de ustabile partikler omdannet til elektroner, fotoner og neutrinoer med høj energi. Hele kvarkbollen vil blive omdannet til en plasma med meget høj temperatur, og jeg kalder den en ildkugle. Temperaturen af ildkuglen må blive så høj at der er energi til at danne et frit par neutron/antineutron $2 \cdot 940 \text{ MeV} = \text{ca } 2 \text{ GeV}$. Det svarer til en temperatur på $2,4 \cdot 10^{13} \text{ K}$. Omtrent 2/3 af de frigivne nukleoner omdannes ved annihilation til varmeenergi. Det betyder at de tilbageblevne nukleoner i plasmaen i middel har en kinetisk energi på ca 2 GeV. Plasmaen har derfor en middeltemperatur $2,4 \cdot 10^{13} \text{ K}$. De energirige partikler i ildkuglen bombarderer den tilstødende gluonsuppe i omegnen. Denne proces minder om det, vi kender fra kollisionsforsøg, når atomkerner bombarderes med højenergetiske partikler. Ved en partikelenergi på 7 GeV svarende til en temperatur på $8,4 \cdot 10^{13} \text{ K}$, vil der i nogle tilfælde blive frigjort en proton, men er energien 24 GeV, vil der i alle tilfælde blive frigjort en proton. Jeg vil antage at ildkuglen har den nødvendige

energi og ikke behøver at få tilført ret meget energi ved stød for at frigøre et par. Jeg antager derfor at temperaturen i ildkuglerne var $8,4 \cdot 10^{13}$ K.

Jeg har endnu ikke talt om energiindholdet i neutroniumkernerne. Dem ser vi sidenhen som galaksekerner. Mælkevejens kerne kan sættes til $5 \cdot 10^{36}$ kg. Jeg antager at den overskydende mængde kvarker i kontinent A er samlet i neutroniumkernerne. Dertil kan være kommet neutroner fra kvarkbollerne. Selve galakserne er dannet af materiale fra kvarkbollerne. Mælkevejens masse kan sættes til $2 \cdot 10^{42}$ kg d.v.s. 400000 gange kernens masse. Den overskydende mængde kvarker i kvarkbollerne må være kommet fra den adskillelse af stof og antistof der er sket i kvarkbollen A og i antikvarksuppen B figur 3. Det betyder at antikvarksuppen B udenfor kvarkbollerne må indeholde omtrent samme mængde overskydende antikvarker, som kvarkbollerne indeholder overskud af kvarker. Antikvarksuppen B leverer materiale til det intergalaktiske rum. Her må der altså findes antistof med nogenlunde samme masse som galaksernes masse. Kvarkbollerne er tilfældigt spredt over hele kontinentet. Deres størrelse er også tilfældigt fordelt. Derfor ser man senere galakser tilfældigt fordelt og af forskellige størrelser.

I udkanten af kontinenterne og længere ude er der i gluonsuppen dannet neutroniumkerner og deres modparter, antineutroniumkerner. De kan ikke vokse sig store når de ligger ved siden af en modpart som før omtalt. De fleste vil blive opløst. Enkelte bliver større og overlever til plasmafasen. De vil næppe selv danne ildkugler, og det antiplasma de indeholder vil blive annihileret af plasma i første del af plasmafasen. Antineutroniumkerner kan overleve plasmafasen. Det er formentlig dem vi ser i kvasarer, som vi skal vende tilbage til.

Plasmafasen

Rundt om en stor del af neutroniumkernerne er der på et tidspunkt dannet ildkugler af glødende plasma. Plasmaen indeholder hovedsageligt neutroner, protoner, elektroner, neutrinoer og fotoner, der alle er stabile partikler ved den høje temperatur. Lige udenfor ildkuglen er der gluonsuppe, som bliver bombarderet med energirige partikler fra ildkuglen. Suppens temperatur stiger så meget, at den begynder at frigøre nukleoner, og vi kan sige at suppen fordamper.

For at frigøre en nukleon skal plasmaen tilføre suppen en energi på 940 MeV. Kun en del af de frigjorte nukleoner vil være nukleon/antinukleon par, der annihilerer i plasmaen og derved giver plasmaen en del af energien tilbage. Det ser ud som om der bliver underskud i energi og at fordampningen må stoppe. Men det sker ikke. For i det øjeblik partiklerne bliver frigivet, får de tilført energi af gravitationskraften. Gravitationsfeltet lige udenfor ildkuglen er også stort, da neutroniumkernens masse er forøget med ildkuglens masse. Derved kan fordampningen fortsætte, og ildkuglen kan vokse. For store ildkugler kan den høje temperatur endda forøges.

Neutrinoer og fotoner i ildkuglen spredes af de øvrige partikler og opnår den

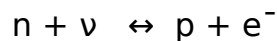
samme høje temperatur $8,4 \cdot 10^{13}$ K. Disse energirige og masseløse partikler vil ramme gluonsuppen i områder, hvor der ikke er ildkugler. De vil blive absorberet af gluonerne og gluonsuppens temperatur vil stige så meget, at suppen fordamper. Suppens omdannelse til plasma vil efterhånden brede sig til store dele af kontinentet.

Energirige partikler fra Ildkuglen vil formentlig også bombardere neutroniumkernen og forøge dens temperatur. Hvis kernens masse er stor vil dens tiltrækning forhindre, at neutroner fordamper. Man må regne med at mindre neutroniumkerner kan fordampe og muligvis helt forsvinde. Det er muligt, at der i kontinent A er opstået neutroniumkerner af type B. De vil være små, og de vil også forsvinde under den store omdannelse af gluonsuppe til plasma.

Massen af plasmaen findes efter en tid i elektroner, protoner og neutroner. Der er lige mange elektroner og protoner. Elektronerne vil befinde sig i en sky omkring protonerne, hvorved den elektriske ladning neutraliseres. Temperaturen er alt for høj til at binde elektronerne til protoner og danne atomer.

I Big Bang teorien opererer man med en plasmatilstand, hvor temperaturen aftager i takt med universets udvidelse. Noget lignende har vi her i antistofteorien. Beregninger af processer med elementarpartikler kan formentlig bruges i begge teorier. F.eks. kan vi forklare hvorfor universets masse mest består af Brint, men også 24% Helium. Jævnfør B. Ryden: *"Introduction to Cosmology."*

Neutroner og protoner vil indgå i en ligevægt



Forholdet mellem antal neutroner $n(n)$ og antal protoner $n(p)$ er givet ved Maxwell-Boltzman ligningen

$$n(n)/n(p) = \exp(-1,29\text{MeV}/kT)$$

hvor 1,29MeV er forskellen mellem neutronens og protonens energiindhold og k er Boltzmanns konstant. Det ses at når $kT \gg 1,29\text{MeV}$ svarende til en temperatur $1,5 \cdot 10^{10}$ K, er der lige mange neutroner og protoner. Man har vist at processer med neutrinoer ophører, når temperaturen er mindre end $9 \cdot 10^9$ K svarende til neutrinoenergien 0,8 MeV. Ved denne temperatur får vi

$$n(n)/n(p) = \exp(-1,29\text{MeV}/0,8\text{MeV}) = 0,2$$

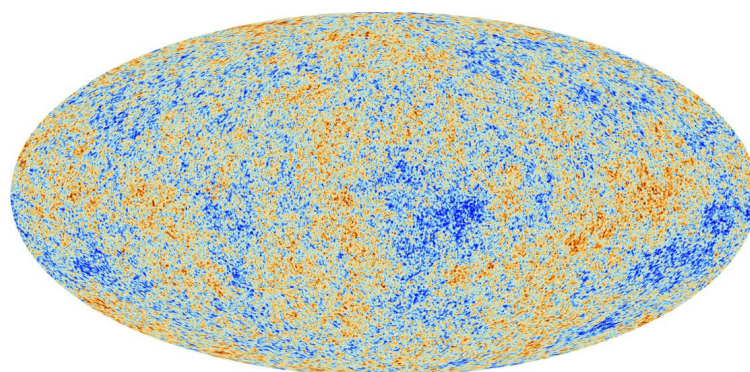
Hvis to af disse neutroner og to protoner danner Helium kerner, vil Helium massen udgøre 40% af den samlede masse. Men Helium kernen må dannes gennem flere mellemtrin, hvor kerner som ^2H og ^3He indgår, og disse processer sker først ved en lidt lavere temperatur $7,6 \cdot 10^8$ K, hvor neutrinoer ikke indgår. Mens temperaturen falder til denne værdi, vil en del af neutronerne henfalde til protoner. Derfor dannes kun 24% Helium.

Neutrinoer er masseløse, neutrale og bevæger sig med lyshastighed. De kan ikke eksistere i gluonsuppen, hvor deres energi straks vil blive absorberet af gluonerne. Meget energirige neutrinoer blev dannet i store mængder i den første del af plasmafasen. De deltog i mange forskellige processer med andre partikler. Da de bevæger sig med lyshastighed, medvirker de til at skaffe temperaturligevægt i plasmaen. Men da neutrinoernes middelenergi var faldet til 0,8 MeV, ophørte neutrino processerne. Fra da af har neutrinoerne stadig tabt energi på grund af universets udvidelse. De enorme mængder neutrinoer, der fylder universet i dag, er så energifattige, at de knapt nok kan registreres.

Fotoner er også masseløse og neutrale og bevæger sig med lyshastighed. De kan heller ikke eksistere i gluonsuppen. De indeholder elektromagnetisk energi, og i plasmafasen bliver de ustandselig spredt af de elektrisk ladede partikler, så plasmaen bliver uigennemsigtig og lysende. De sørger ligesom neutrinoerne for temperaturligevægt. Selv om de i dag har mistet energi på grund af universets udvidelse, er de stadig mere hyppige end nukleoner. I gluonsuppen har de ingen betydning.

Den såkaldte mikrobølgebaggrund vidner om afslutningen af plasmafasen. Mikrobølgebaggrunden har en bølgelængde svarende til temperaturen 2,73 K. Denne stråling er udsendt ved rekombinationen, hvor protoner modtager en elektron og bliver til Brintatomer. Joniseringsenergien for Brint er 13,6 eV, og denne energi svarer til middelenergien i en plasma med temperatur 160000 K. Men i plasma med meget lavere temperatur vil der stadig være mange fotoner med den nødvendige energi til at jonisere Brint. Mere detaljerede beregninger viser, at temperaturen skal ned på ca. 3000 K, før jonisering ophører. Jævnfør B. Ryden: *"Introduction to Cosmology."*

Ved rekombinationen omdannedes plasmaen til en elektrisk neutral gas, og udsendelse af fotoner ophørte. Herefter kunne elektromagnetisk stråling uhindret udbrede sig i universet. Den mikrobølgestråling, vi nu observerer, er udsendt omkring dette tidspunkt. Undervejs til os har strålingen passeret et område, der i mellemtiden har udvidet sig voldsomt. Derved er bølgelængden forøget, og strålingen er nu blevet til mikrobølger. Den traditionelle teori siger at universet har udvidet sig med konstant takt siden Big Bang. Lysudsendelsen fra plasmaen skal være sket kort efter Big Bang da universet var meget lille. Men ifølge antistofteorien er udvidelsen af universet først begyndt i plasmafasen og efter dannelsen af ildkugler. Universets historie før udvidelsen har formentlig taget enormt lang tid.



Figur 4

http://m.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Planck/Planck_and_the_cosmic_microwave_background

Det er ikke muligt at få lyssignaler fra tider længere tilbage end mikrobølgestrålingen, og det område, vi kan få lys fra, kaldes det synlige univers. Vi kan ikke med sikkerhed vide om der er dele af universet i større afstande, men det skulle være mærkeligt, hvis vor mulighed for at udforske skulle bestemme universets grænse. Der er en lille forskel i intensiteten af mikrobølgestrålingen fra forskellige retninger. Se figur 4 der stammer fra Planck-satellitten. De gule og mere intensive områder kan muligvis forklares ved, at der her ligger store kontinenter, som dem vi har omtalt. De gule områder dækker så stor en del af himlen, at de må tilhøre de to store kontinenter, vi selv er en del af. Jeg har sammenlignet de to kontinenter med to rundstykker, der ligger med den flade side mod hinanden. Vi er selv placeret ret nær midten. Mikrobølgestrålingen kommer fra et område i rundstykket, der ligger så langt væk, at området må udgøre en ring omkring os. Og der er en gul ring fra hvert rundstykke. I indre dele af kontinentet er tætheden af stof eller antistof størst, og det er sådanne områder der lyser gult. Her har der været ildkugler og dermed plasmadannelse og stor lysintensitet. De blå områder må være ydre dele af de to kontinenter. Her har der været få eller ingen ildkugler og dermed mindre plasma og mindre lysintensitet.

Universets udvidelse

Vi betragter nu galaksernes univers og opfatter det for nemheds skyld som en kugle, hvor vi befinder os i centrum. De fjerneste galakser har en rødforskydning på ca. 3,1 svarende til at lyset blev udsendt fra galakser, hvis hastighed var $v = 0,89 \cdot c = 2,67 \cdot 10^8$, hvor $c = 3 \cdot 10^8$ er lysets hastighed. Ud fra Hubbles lov $v = H \cdot r$ kan vi beregne afstanden til disse galakser

$$r = v/H = 0,89 \cdot 3 \cdot 10^8 / (67 \text{ km/s/mpc}) = 3,99 \cdot 10^9 \text{ pc} = 1,23 \cdot 10^{26} \text{ m} = 13 \text{ mia ly}$$

Men i mellemtiden, 13 mia år har disse fjerne galakser bevæget sig

$$r = v \cdot t = 2,67 \cdot 10^8 \cdot 13 \text{ mia år} = 1,1 \cdot 10^{26} \text{ m} = 11,6 \text{ mia ly}$$

Nu befinder de sig i afstanden

$$r = 1,23 \cdot 10^{26} + 1,1 \cdot 10^{26} = 2,33 \cdot 10^{26} \text{ m} = 24,6 \text{ mia ly}$$

hvilket altså er galakseuniversets nuværende radius.

Vi kan tilnærmet beregne den samlede kinetiske energi E , som galakserne har i kraft af universets udvidelse. Jeg antager, at massetætheden m nu er konstant i hele galakseuniverset. M er universets samlede masse. Jeg betragter den del af universet der har en radius på $0,85*r$ og dermed hastighed $0,85*0,89*c$ og tillægger hele universet den hastighed. Ifølge den relativistiske formel for kinetisk energi E , har vi

$$E = M*(1/\sqrt{(1-v^2/c^2)} - 1)*c^2 = M*c^2*(1/\sqrt{(1-(0,85*0,89)^2)} - 1) = 1,8*M*c^2$$

Vi ser her at den kinetiske energi i universet er næsten dobbelt så stor som masseenergien.

Den enorme kinetiske energi forklares i Big Bang teorien ved en såkaldt inflationsperiode, hvor alt stof accelererede og opnåede sin endelige hastighed. Inflationen var slut efter 10^{-34} sek, hvor universet havde en radius på 0,9 m.

Ifølge antistofteorien er universets udvidelse begyndt i plasmafase. Her skete der annihilation af partikler og antipartikler, hvorved enorme energimængder blev frigivet til plasmaen. Den høje temperatur og det høje tryk i begyndelsen af plasmafase har fremkaldt udvidelsen.

Vi kan også prøve at vurdere den rotationsenergi, der er i galakserne. Rotationen af galakserne er uden tvivl opstået ved udvidelsen af ildkuglerne i begyndelsen af plasmafase. Til beregningen kan vi bruge formelen for cirkelbevægelse $v^2 = G*m/r$, hvor G er gravitationskonstanten, m er den tiltrækkende masse fra galaksen, og v er hastigheden i afstanden r . Mælkevejens masse er $2*10^{42}$. Mælkevejens radius er $5*10^{20}$, men jeg vil vælge $5*10^{19}$ fordi størstedelen af rotationsenergien findes tæt på kernen. Antal galakser $a = 1,5*10^{11}$.

$$E = a*1/2*m*v^2 = a*1/2*m*G*m/r = 1/2*M*G*m/r \\ = 1/2 * M*6,67*10^{-11}*2*10^{42}/5*10^{19} = M*1,3*10^{12}$$

Ved sammenligning med den tidligere beregnede translationsenergi, ses at rotationsenergien har en meget lille andel af den samlede kinetiske energi.

Den stråling der udsendtes ved rekombinationen havde en temperatur 3000 K, og vi modtager stråling med temperatur 2,73 K. Den typiske bølgelængde af en temperaturstråling er omvendt proportional med temperaturen. Det vil sige, at bølgelængden er forøget med en faktor $f = 3000/2,73 = 1100$. Årsagen er at det mellemliggende rum har udvidet sig med faktor f . Galakseuniverset har siden rekombinationen udvidet sig med faktor 1100. Vi kan deraf beregne universets radius ved rekombinationen

$$r = 2,33*10^{26} \text{ m} / 1100 = 2,1*10^{23} \text{ m}$$

Vi ved nu hvor meget de yderste galakser har bevæget sig siden rekombinationen og med hvilken hastighed. Deraf beregnes tiden siden

rekombinationen

$$t = r/v = (2,33 \cdot 10^{26} - 2,1 \cdot 10^{23}) / 2,67 \cdot 10^8 = 8,7 \cdot 10^{17} \text{ s} / (3,15 \cdot 10^7 \text{ s/år}) = 28 \text{ mia år}$$

Mikrobølgebaggrunden er udsendt på omtrent samme tidspunkt fra hele universet nemlig for 28 mia år siden da temperaturen var 3000 K. Da denne stråling har bevæget sig med lyshastighed, er den udsendt fra et sted med afstanden 28 mia ly fra os. Det er længere væk end de 13 mia ly, som er den afstand, de fjerneste galakser befandt sig i, da de udsendte lys til os.

Man kan overveje om udvidelsen af galakseverdenen vil bremse op på grund af, at den samlede masse tiltrækker de ydre dele. Opbremsningen i de ydre områder af galakseverdenen må skyldes gravitationstiltrækningen fra den samlede masse af galakseverdenen. Vi kan betragte en masse m ved udkanten af galakseverdenen, som har massen M . Ved udvidelsen fra $r=1,23 \cdot 10^{26}$ til den dobbelte radius udfører gravitationskraften fra M et negativt arbejde, der medfører en formindskelse af den kinetiske energi. Vi beregner den forholdsmæssige formindskelse

$$G \cdot M \cdot m \cdot (1/(1,23 \cdot 10^{26} \cdot 2) - 1/1,23 \cdot 10^{26}) / (m \cdot c^2 \cdot ((1/\sqrt{1-0,89^2}) - 1) - 1)) = 0,30?$$

idet $G=6,67 \cdot 10^{-11}$, $M=1,2 \cdot 10^{53}$ og $c=3 \cdot 10^8$. Resultatet 0,30 forekommer alt for stort. Da det blandt andet skyldes den værdi, jeg har skønnet for universets masse, vil jeg tillade mig at halvere tallet til 0,15. Udvidelsesenergien af universet og dermed udvidelseshastigheden bliver altså mindre i løbet af udvidelsen. Dette gælder for alle dele af galakseverdenen. Hubblekonstanten bliver også mindre med tiden. De tider, der beregnes under forudsætning af en konstant udvidelseshastighed, må derfor tages med forbehold. Udvidelsesfaktoren 1100 siden rekombinationen svarer til 10 fordoblinger. Det betyder at den kinetiske energi er formindsket med faktoren $0,85^{10} = 0,20$

Undersøgelser af fjerne supernovaer synes at vise, at dengang de udsendte lys, bevægede de sig langsommere væk, end Hubbles lov angiver. Dette fortolkes i Big Bang teorien som, at udvidelsen af universet siden dengang er accelereret. (<https://www.cfa.harvard.edu/supernova/HighZ.html>) Bestemmelsen af afstanden til supernovaer kan ikke betvivles, men bestemmelsen af hastigheden af disse fjerne objekter er ikke rigtig. Hastigheden fås af rødforskydningen, men beregnes i forhold til lyshastigheden, og der tages ikke hensyn til at lyshastigheden var mindre i det tidligere univers.

Lyshastigheden er mindre i stærke gravitationsfelter ifølge Einstein. Einstein forklarede også, hvordan lyset vil blive afbøjet ved passage af massive legemer, hvor lyshastigheden er mindre. Det som i dag ses ved de optiske linser. Et lignende fænomen har man med lyd, der afbøjes om aftenen, hvor temperaturen er lavest og lydhastigheden mindst ved jordens overflade. I det tidlige univers, hvor galakserne lå tættere på hinanden, var gravitationsfeltet stærkere end nu, og det har gjort at lyshastigheden var mindre. Men det intergalaktiske antistof havde også en større tæthed. Lyshastigheden afhænger af stoftætheden. For en diamant er lyshastigheden 2,4 gange mindre end i

vacuum. For tør atmosfærisk luft er lyshastigheden 1,0003 gange mindre end i vacuum. Når en fjern galakse danner en optisk linse, skyldes det formentlig det antistof, der har samlet sig omkring galaksen. Lyshastigheden har altså tidligere været mindre. Dermed må beregningerne af tidlige hastigheder ændres. Hubbles lov kan ikke direkte bruges for meget fjerne objekter. I øvrigt er Hubble-konstanten aftagende med tiden fordi universet bremses op.

Det er nu netop hundrede år siden i foråret 1917, at Albert Einstein fremsatte sin teori om det statiske univers. På det tidspunkt vidste man intet om universets udvidelse, og galakserne var ikke kendt. Men det måtte forventes, at universet trak sig sammen, idet det består af masser der tiltrækker hinanden. Eller også at masserne havde så stor hastighed væk fra hinanden, at massetiltrækningen aldrig kunne nå at bremse dem op. Einstein indførte da en konstant Λ (lambda) i sine ligninger. Den kaldes den kosmologiske konstant og den repræsenterer en frastødende kraft i universet. Der er bare den ulempe ved teorien, at universet bliver ustabil. Hvis massedelen i universet for eks. udvider sig en lille smule så falder massetætheden, men Λ tætheden er den samme, og så vil universet udvide sig mere endnu. Hvis massedelen trækker sig en lille smule sammen, er Λ tætheden også uforandret, og universet vil trække sig endnu mere sammen. Einstein kaldte selv Λ for "the greatest blunder in my career".

Siden Einstein har kosmologer igen indført Λ for at forklare universets udvidelse. Dette er ganske overflødigt, for antistofteorien forklarer udvidelsen. Også den fejlagtige opfattelse af at udvidelsen accelererer forklares ved Λ . Man har forgæves forsøgt at finde den fysiske tilstedeværelse af Λ . Et af forslagene er "vakuumsenergi" eller "mørk energi".

Galakserne og det intergalaktiske rum

Den samlede masse af stof og antistof i galakseuniverset er $1,2 \cdot 10^{53}$ kg, og den nuværende radius er $2,33 \cdot 10^{26}$. Heraf kan vi beregne massetætheden i galakseuniverset nu

$$m = 1,2 \cdot 10^{53} / (4 \cdot \pi / 3 \cdot (2,33 \cdot 10^{26})^3) = 2,26 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

Halvdelen af massen er det intergalaktiske antistof, der nu breder sig over næsten hele universet, fordi galakserne relativt set er skrumpet meget ind. Derfor er tætheden af det intergalaktiske antistof kun ca. det halve af den lige beregnede massetæthed. For at forstå hvad antistoffet består af, skal vi bruge, at bindingsenergien for brintmolekylet og antibrintmolekylet er 4,5 eV svarende til middelenenergien i gas med temperatur 52000 K. Gassen havde efter rekombinationen en temperatur 3000 K, og derfor må næsten al brint og antibrint forekomme som molekyler. Tilsvarende gælder for de 24% Helium. Dividerer vi massetætheden med antibrintmolekylemassen, får vi antimolekyletætheden i det intergalaktiske rum

$$2,26 * 10^{-27} / 2 / (3,4 * 10^{-27}) = 0,34 \text{ antimolekyler/m}^3$$

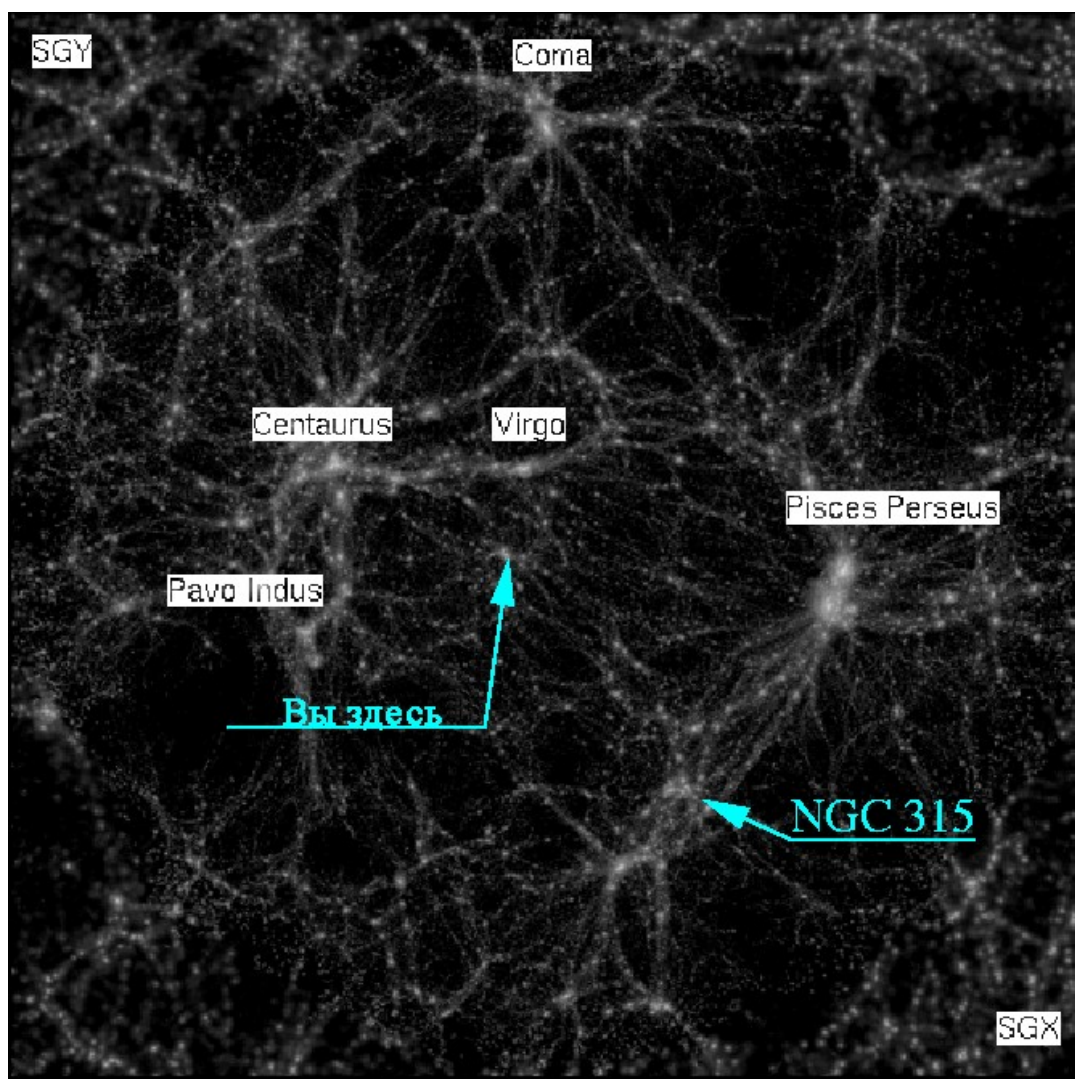
Vi kan også beregne temperaturen af den intergalaktiske antigas. Al gassen i universet havde lige efter rekombinationen en temperatur 3000 K. Størstedelen af antigassen var antibrintmolekyler. Udvidelsen med faktoren 1100 kan betragtes som en adiabatisk udvidelse af en ideal gas, hvor der for en toatomig gas gælder $T * V^{2/5} = \text{konstant}$. ($\gamma - 1 = 7/5 - 1 = 2/5$)

$$T = 3000 / (2 * (1100)^3)^{2/5} = 0,51 \text{ K}$$

Der er tilføjet en faktor 2 til rumfanget, fordi antigassen breder sig over næsten dobbelt så meget plads.

Det intergalaktiske antistof kan have en gravitationsvirkning. Antigassen vil blive tiltrukket af galaksen og samle sig nær ved galaksens plan. Koncentrationen af antistof vil her være større end den beregnede middelkoncentration. Betragter vi den kugle, der omslutter galaksen vil den formentlig indeholde mere antistof end stof. Gravitationsvirkningen af dette antistof bliver størst i spiralarmene. Tiltrækningen fra antistoffet såvel som fra stoffet virker, som om alt stof og antistof var samlet i galaksens centrum. I spiralarmene er tiltrækningen derfor meget større, end galaksens masse kan forklare. Det viser sig ved at spiralarmene roterer usædvanligt hurtigt. Dette har astronomer søgt at forklare ved noget mystisk mørkt stof, men det kan let forklares ved antistof.

Der er ingen fare for at det intergalaktiske antistof skal annihilere med stof i galaksernes gas. Begge gasser består jo af neutrale molekyler. Man kan undre sig over, at de to gasser ikke blander sig. Hertil vil jeg sige. For det første er stof og antistof allerede adskilt i plasmafasen, som vi senere skal se. Antistoffet udenfor galaksen deltager i galaksens rotation med samme hastighed. I grænsefladen mellem stof og antistof er der et tomrum. For det andet er temperaturen så lav, som nævnt 0,51 K, at der vil være meget lidt bevægelse i gasserne på tværs af grænsefladen. For det tredje vil antistoffet have størst koncentration nær grænsefladen på grund af gravitation fra galaksen. Antistof i grænsefladen vil derfor blive trukket væk fra grænsefladen. For det fjerde ved vi ikke hvordan brintmolekyler og antibrintmolekyler påvirker hinanden ved nærkontakt ved lav temperatur. Mig bekendt er der ikke udført laboratorieforsøg af den art. Hvad end forklaringen er, ser det ud til at de to slags stof ikke blander sig. Det ligner en blanding af olie og vand, hvor olien lægger sig ovenpå vandet.



Figur 5 https://en.wikipedia.org/wiki/Laniakea_Supercluster

Figuren viser ca 400 galaksehobe ud til en afstand på 300 mio lysår fra vores mælkevej. Mælkevejen er markeret på russisk. Vi ser en slags skum af bobler. Inde i boblerne er der tilsyneladende et tomrum (void), og galakserne sidder i væggene (filaments) mellem boblerne og især i hjørner, hvor flere end to bobler mødes. Disse hjørner kaldes også galaksehobe (clusters). De enkelte hobes hastighed er beregnet og vist, idet der er fraregnet den hastighed, der skyldes universets udvidelse.

Det fremgår af figuren at det intergalaktiske rum fylder mere end galaksernes rum. Det skyldes, at udvidelsen efter stjernedannelsen hovedsageligt er sket i det intergalaktiske rum. Men desuden har det intergalaktiske antistof samlet sig i større bobler. En mindre udgave af boblerne er formentlig skabt i begyndelsen af plasmafasen som jeg vil vende tilbage til.

Det originale billede viser med små streger galaksernes bevægelse, selv om det er vanskeligt at se her på figuren. Det fremgår heraf, at galakserne bevæger sig hen mod de store hobe. Desuden kan man se at galakserne

bevæger sig ud mod væggene i boblerne. Dette forklares i Big Bang teorien ved tilstedeværelsen af en mystisk mørk frastødende energi i det indre af boblen. I antistofteorien kan det forklares ved den gravitationelle tiltrækning mellem galakserne. Der kan dog også være rester af bevægelserne fra begyndelsen af plasmafase.

Tiltrækningen mellem to nærliggende galakser medfører en bevægelse. Det er dog ikke sikkert, at galakserne nærmer sig hinanden, for universets udvidelse gør jo, at de fjerner sig fra hinanden. Tiltrækningen får blot galakserne til at fjerne sig mindre, end de ville gøre alene på grund af universets udvidelse. I boblernes vægge, hvor tætheden af galakser er mindre end i hobene, vil udvidelsen være den stærkeste. Tiltrækningen får også en effekt på den intergalaktiske antigas, der befinder sig mellem de to galakser. Denne gas vil blive presset væk og bidrage til væksten af boblerne.

Vi kan danne os et billede af fremtiden i galakseverdenen ved at se på figur 5. Det intergalaktiske antistof vil danne stadig større bobler. Galakserne vil samle sig i galaksehobe og smelte sammen. Neutroniumkernerne/de sorte huller vil også smelte sammen. På et tidspunkt vil der være sorte huller og intergalaktisk antigas. De sorte huller kan også smelte sammen med sorte huller af antistof og annihilere. Muligvis kan alt stof forsvinde, så der kun er stråling tilbage.

Udvidelsen i plasmafase

I begyndelsen af plasmafase bliver der dannet nogle ildkugler med temperaturer ca $8,4 \cdot 10^{13}$ K. Dermed bliver trykket af nukleoner uhyre højt. Gluonsuppen absorberer energirige neutrinoer og fotoner, hvorved dens temperatur stiger, og der fordampes frie nukleoner fra suppen. Når ca 2/3 af nukleonerne annihilere udvikles varmeenergi, og der dannes nye energirige neutrinoer og fotoner.

Fra ildkuglerne breder fordampningen af gluonsuppen sig. Først møder fordampningsprocessen antikvarksuppe B. Her er gravitationen mindre end i ildkuglen A, og der går energi til dannelsen af antineutroner. Derfor bliver temperaturen i B lidt mindre end i A. Fordampningsprocessen møder også mindre kvarkboller A, der endnu ikke er blevet til ildkugler. Temperaturstigningen kan antænde kvarkbollen, så den bliver til en ildkugle. Derfor sker der ikke her noget væsentligt fald i plasmatemperaturen. Det sker først når fordampningsprocessen når ud til de ydre områder af kontinentet. Her er kvarktætheden mindre. Der er færre og mindre neutroniumkerner og mindre kvarkboller. Kvarkbollerne og den omgivende antikvarksuppe er tyndet ud og spredt ud. Fordampningsprocessen kan ikke antænde kvarkbollerne her, og der tabes energi til dannelse neutroner og antineutroner. Endelig når fordampningsprocessen helt ud til den rene gluonsuppe. Suppen vil absorbere alle neutrinoer og fotoner der ankommer, men de har nu lavere temperatur. Den energi suppen modtager bliver fordelt i suppen, så der ikke sker nogen fordampning fra overfladen.

Mens fordampningsprocessen breder sig opstår der trykforskelle i universet. Vi regner for nemheds skyld universet som en kugle. I gluonsuppen aftog overtal af kvarker med radius, og det medfører nu i plasmafase, at nukleontæthed aftager med radius. Gennemgangen af fordampningsprocessen viser, at også temperaturen aftager med radius. Derfor aftager trykket med radius, og der kommer en acceleration. Det bliver nok en trykbølge, men den kan udvikle sig til en homogen udvidelse, hvor acceleration og hastighed er proportional med radius.

For at vurdere udvidelsen i plasmafase vil jeg først regne på udvidelsen efter neutrinofrigørelsen ved $9 \cdot 10^9$ K. Da er annihilationerne ophørt, og vi kan betragte udvidelsen som en adiabatisk proces med en ideal etatomig gas. Der er ingen acceleration. Da vi kan se bort fra neutrinoerne, er der hovedsageligt protoner, neutroner, elektroner og fotoner. Der gælder da $T \cdot V^{2/3} = \text{konstant}$. ($\gamma = 5/3 - 1 = 2/3$). Vi får da udvidelsesfaktoren $V/V^0 = f^3$

$$9 \cdot 10^9 / 3000 = (f^3)^{2/3}$$

$$f = 1730$$

Den del af universet, der senere bliver til galakseverdenen, har da ved neutrinofrigørelsen radius

$$r = 2,1 \cdot 10^{23} / 1730 = 1,5 \cdot 10^{20}$$

Den kinetiske energi for en masseenhed i yderkanten af galakseverdenen ved neutrinofrigørelsen bestemmes af antal fordoblinger for faktoren $1100 \cdot 1740 = 1,91 \cdot 10^6 = 2^{21}$.

$$c^2 \cdot (1/\sqrt{1-0,89^2} - 1) = 0,85^{21} \cdot c^2 \cdot (1/\sqrt{1-(v/c)^2} - 1)$$

$$v/c = 1 - 3,6 \cdot 10^{-4}$$

Tiden for udvidelsen efter neutrinofrigørelsen kan vanskeligt beregnes. Ganske vist er hastigheden konstant i forhold til lyshastigheden, men lyshastigheden var mindre end nu og ikke konstant. En tilnærmet værdi for tiden kan fås ved at regne med konstant hastighed.

$$t = r/v = (2,3 \cdot 10^{23} - 1,5 \cdot 10^{20}) / 2,67 \cdot 10^8 = 8,6 \cdot 10^{14} \text{ s} / (3,15 \cdot 10^7 \text{ s/år}) = 27 \text{ mio yr}$$

Vi skal nu se på udvidelsen i neutrinoperioden, den første del af plasmafase før neutrinofrigørelsen. Trykket P kan beregnes idet plasmaen regnes for en ideal gas af nukleoner.

$$P = m/n \cdot k \cdot T = m / 1,7 \cdot 10^{-27} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 8,4 \cdot 10^{13} = m \cdot 6,8 \cdot 10^{17}$$

m er massetætheden, n er nukleonmassen, k er Boltzmanns konstant, og T er en slags middeltemperatur for den kaotiske plasma med ildkugler. Jeg antager nu, at massetætheden i universet til enhver tid er en lineært faldende funktion af radius, og at den i den yderste del af galakseverdenen (radius r) er faldet til

80% af massetætheden i midten m^0 . Vi anvender nu Newtons 2. lov på et enhedsareal af en kugleskal med radius r og tykkelse dr .

$$dP = m \cdot dr \cdot a$$

$$dm \cdot 6,8 \cdot 10^{17} = 80\% m^0 \cdot dr$$

$$a = 6,8 \cdot 10^{17} \cdot dm/dr / 80\% m^0 = 6,8 \cdot 10^{17} \cdot 20\% m^0 / r / 80\% m^0$$

$$a = 1,7 \cdot 10^{17} / r$$

Det er bemærkelsesværdigt at m^0 udgår af beregningen. Ved udvidelsen udfører trykket et arbejde W , som bliver til kinetisk energi for kugleskallen.

$$W = \int_{r(1)}^{r(2)} 1,7 \cdot 10^{17} / r \cdot dr = 1,7 \cdot 10^{17} \cdot \ln(r(2)/r(1))$$

$r(2)$ kan sættes til radius ved neutrinofrigørelsen $1,5 \cdot 10^{20}$. $r(1)$ er radius af plasmaen når gluonsuppen er fordampet. Her er brug for en overvejelse. Jeg har nævnt at ifølge Einstein er der en sammenhæng mellem forøgelsen af massen og formindskelsen af dimensionen

$$M/M^0 = D^0/D$$

Når en neutron i gluonsuppen med massen 12 MeV bliver til en fri neutron med massen 940 MeV, har den forøget massen med forholdet $940/12 = 78$. Der er imidlertid gluoner fra suppen, der bliver absorberet i de frie neutroner. Derfor må disse gluoner ændre dimension i forholdet $1/78$. Hele den gluonsuppe, der bliver til plasma, består af gluoner, som forsvinder og bliver absorberet i nukleoner. Derved formindskes dimensionen af de absorberede gluoner med forholdet $1/78$. Resten af plasmaen bliver tilsyneladende tom for gluoner.

Nukleonens og antinukleonens masse er $1,7 \cdot 10^{-27}$ kg og galakseverdenens nukleoners masse er $1,2 \cdot 10^{53}$ kg. Så kan vi beregne antallet af nukleoner og antinukleoner. Men omkring to trediedele af de oprindelige nukleoner og antinukleoner blev i plasmafase omdannet til den energi der fik universet til at udvide sig. Antallet af nukleoner skal altså multipliceres med 3 og vi havde da oprindeligt i plasmafase

$$3 \cdot 1,2 \cdot 10^{53} / 1,7 \cdot 10^{-27} = 2,12 \cdot 10^{80} \text{ nukleoner}$$

Radius af nukleon kan sættes til $1,75 \cdot 10^{-15}$, hvilket er radius af de tilhørende gluoner efter absorption. Radius af disse gluoner før deres absorption er $78 \cdot 1,75 \cdot 10^{-15}$. Vi beregner nu radius af den gluonsuppe, der blev til galakseverdenen.

$$78 \cdot 1,75 \cdot 10^{-15} \cdot \sqrt[3]{(2,12 \cdot 10^{80})} = 8,1 \cdot 10^{13} \text{ m}$$

Til sammenligning er radius i Neptuns bane om Solen $4,5 \cdot 10^{12}$ m.

Vi har da den kinetiske energi i kugleskallen

$$W = 1,7 \cdot 10^{17} \cdot \ln(1,5 \cdot 10^{20} / 8,1 \cdot 10^{13}) = 2,45 \cdot 10^{18}$$

Den kinetiske energi for en masseenhed er

$$E = c^2 \cdot (1/\sqrt{1-v^2/c^2} - 1)$$

$$E/c^2 + 1 = 2,45 \cdot 10^{18} / 9 \cdot 10^{16} + 1 = 28 = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$$

$$v/c = 1 - 6,2 \cdot 10^{-4}$$

Denne hastighed skal sammenlignes med den tidligere beregnede hastighed ved neutrinofrigørelsen $v/c = 1 - 3,6 \cdot 10^{-4}$. Jeg har brugt en værdi for galakseverdenens masse $1,2 \cdot 10^{53}$, som muligvis skal halveres, men det vil ikke ændre størrelsesordenen for resultatet. Ved beregningen antager jeg åbenlyst fejlagtigt, at temperaturen er konstant $8,4 \cdot 10^{13}$ i hele neutrinoperioden. Temperaturen i ildkuglerne er formentlig højere, og sluttemperaturen ved neutrinofrigørelsen er formentlig $9 \cdot 10^9$ overalt.

Udvidelsesfaktoren i neutrinoperioden $f = 1,5 \cdot 10^{20} / 8,1 \cdot 10^{13} = 1,85 \cdot 10^6$. Den samlede udvidelsesfaktor er da

$$f = 1,85 \cdot 10^6 \cdot 1730 \cdot 1100 = 3,5 \cdot 10^{12}$$

Tiden for neutrinoperioden kan anslås ved hjælp af lyshastigheden.

$$t = r/c = 1,5 \cdot 10^{20} / 3 \cdot 10^8 = 5 \cdot 10^{11} / (3,15 \cdot 10^7 \text{ s/år}) = 15900 \text{ år}$$

Men dette resultat er alt for lille, da lyshastigheden var meget mindre dengang.

Denne første udvidelse er meget dramatisk. Udvidelsen begynder, allerede før hele gluonsuppen er fordampet. Nogle store ildkugler opstår før andre, der er mindre. De første store har en større nukleonmasse og temperatur, og vil udvide sig mere end naboerne og skubbe dem væk. Hvis to store skubber hinanden væk, har vi en udvidelse, der er begyndelsen til de bobler, vi så på figur 5.

Ildkuglerne har samme masse af nukleoner som den mellemliggende plasma af antinukleoner. Da de har samme tryk og temperatur, må de også have samme rumfang. Deraf følger at afstanden mellem ildkuglerne er af samme størrelsesorden som ildkuglernes diameter. De tætliggende ildkugler vil trykke på hinanden og gnide på hinanden i den første dramatiske periode. Derved vil der opstå rotation både af ildkuglerne og den mellemliggende antiplasma. Det er årsagen til galaksernes rotation.

Man kan undre sig over at plasma i ildkuglen ikke blander sig med antiplasma udenfor ildkuglen. Protoner og antiprotoner ville derved annihilere, og energiudviklingen herfra ville få trykket i grænselaget til at stige. Dette sker sikkert også i et vist omfang. Denne blanding bliver imidlertid forhindret af en

anden type kræfter, der optræder i plasmafasen.

I plasmafasen er stoffet elektrisk ledende, og ved bevægelse vil elektromagnetiske kræfter også spille en rolle. De elektromagnetiske kræfter er langt større end gravitationskræfterne, men de virker i kortere afstande, fordi elektronerne ikke kan fjerne sig langt fra protonerne. Den elektriske strøm på jorden sker ved, at elektroner bevæger sig i forhold til et gitter af atomkerner. I den kosmiske plasma er det omvendt protonerne, der bevæger sig i forhold til en sky af elektroner. Strømmen af protoner kan sættes i gang af gravitation eller tryk. I solens indre ved vi, at magnetfelter styrer plasmaets bevægelser.

Hannes Alfven fik nobelprisen i 1970 for sit arbejde med magnetohydrodynamik. Jævnfør H. Alfven: *Cosmic Plasma*. 1981. Alfven havde også en kosmologisk teori, der indbefatter antistof. Hans teori indebar elektromagnetisk frastødning mellem stof og antistof. Han lod universet opstå af en kæmpegalakse af stof omgivet af antistof. Hans model holdt dog ikke, for den forklarede ikke universets udvidelse, og kæmpegalaksen ville falde fuldstændig sammen på grund af gravitationen. Der er i dag ingen større interesse for magnetohydrodynamik i kosmologien. Blandt andet fordi Alfvens kosmologi blev forkastet. Men det er sandsynligvis nødvendigt at tage hensyn til de magnetiske kræfter i plasmafasen for at forklare galaksernes form og størrelse.

Vi betragter nu en roterende ildkugle. Den nærliggende antiplasma tæt ved overfladen af ildkuglen vil bevæge sig i samme retning som plasmaen i ildkuglen. Begge bevægelser skyldes tryk fra andre ildkugler. Det er protonerne i plasmaen, der bevæger sig i samme retning som antiprotonerne i antiplasmaen. Elektroner og positroner danner stillestående skyer. De to elektriske strømme vil have modsat retning, og de frastøder hinanden ifølge Amperes lov. Dette kan forklare, at stof og antistof ikke blandes væsentligt i plasmafasen.

Galaksekernerne

Der er i dag en forestilling om, at galaksekerner er sorte huller. Der er dog usikkerhed om kernernes egenskaber. Et matematisk punkt hvor massefylden er uendelig stor strider imod al erfaring. Ifølge antistofteorien er galaksekernerne allerede dannet i gluonsuppen i form af neutroniumkerner. Galaksekernerne er i virkeligheden rester af den ursuppe, som er oprindelsen til universet. Galaksekernen er forudsætningen for at en galakse kan dannes. Ifølge antistofteorien dannes der omkring neutroniumkernerne ildkugler af plasma, og de bliver senere til galakser. Kernerne og dermed galakserne er mere tyndt fordelt ud mod universets yderområder.

Massen af mælkevejens kerne kan sættes til 10^{37} kg. Schwarzschild radius er radius af et massivt legeme, der ikke tillader lys at slippe væk.

$$\text{Schwarzschild radius} = 2 * M * G / c^2 = 2 * 10^{37} * 6,67 * 10^{-11} / (3 * 10^8)^2 = 1,48 * 10^6$$

Vi kan beregne kernens radius hvis vi antager at den består af tætpakkede neutroner ved hjælp af neutronens radius $1,75 * 10^{-15}$ og masse $1,7 * 10^{-27}$

$$\text{Kernens radius} = \sqrt[3]{(10^{37} / 1,7 * 10^{-27}) * 1,75 * 10^{-15}} = 3,01 * 10^6$$

Lys kan derfor godt forlade kernen, så betegnelsen sort hul er næppe rimelig, og vi kan ligeså godt bruge betegnelsen neutronstjerne eller neutroniumkerne. Hvis galaksekernen er 8 gange så massiv, vil Schwarzschild radius blive ganget med 8, men kernens radius med 2. Så kan man tale om et sort hul, men man kan ligeså godt tale om en massiv neutroniumkerne.

Vi ved ikke hvad der foregår inde i en neutroniumkerne/sort hul/neutronstjerne. Det er foreslået at neutronerne i det indre af en neutronstjerne er degenereret til kvarker og optræder som en gluonsuppe. De oprindelige neutroniumkerner bestod af gluonsuppe med et indhold af neutletter, men disse neutletter havde meget mindre masse end frie neutroner. Ved overgangen fra suppe til plasma havde neutletterne i neutroniumkernerne fået en større masse, måske som frie neutroner eller mindre eller mere. Derfor kan en neutroniumkerne have mindre eller mere masse end en ren neutronstjerne. I løbet af universets udvikling er neutroniumkernerne blevet mere massive ved at absorbere neutroner og andre partikler med energi og masse. Derved forøges energien af neutronerne i kernen.

Et problem har været at forklare, hvad der forhindrer en neutronstjerne i at falde sammen til et punkt. Både kvarker og neutroner har spin $\frac{1}{2}$ og kaldes Fermipartikler. To Fermipartikler kan ikke være i samme tilstand og modsætter sig derfor at blive presset helt sammen. Det er muligt at neutronerne i kernen opnår en større energi end frie neutroner. De vil dog ikke kunne forlade neutroniumkernen, hvis dens masse er stor nok. Disse massive neutroner er bundet til kernen. De er skrumpet ifølge Einstein og dermed er neutroniumkernen også skrumpet ind, men den er ikke kollapsed.

Vi har omtalt at kvarkboller i gluonsuppen ofte vil smelte sammen. Derved kan der være flere neutroniumkerner i en kvarkballe. Disse kerner bliver mere massive og begynder at tiltrække hinanden. De roterer om hinanden, og det fortsætter i plasmafasen og i gasfasen. Efterhånden mister de hastighed og kommer nærmere hinanden. Til sidst smelter de sammen, hvorved en stor mængde neutroner får tilført energi og krymper. Ved denne sammensmeltning udsendes en gravitationsbølge til universet.

Længst væk i det synlige univers ser man kvasarer, der er ekstremt massive galaksekerner. De udsender enorme mængder elektromagnetisk stråling, men udstrålingen sker kun i en bestemt retning. Det vil jeg prøve at forklare. Neutroniumkernerne blev dannet i gluonsuppen, og vi har omtalt, at flere kerner kunne indgå i en kvarkballe og senere ildkugle og galakse. I plasmafasen, hvor gravitationen spiller en rolle, kan to neutroniumkerner komme til at dreje sig om hinanden i ellipsebaner. Den ene kan være en mindre

antineutroniumkerne. Når antineutroniumkernen og neutroniumkernen er nærmest ved hinanden, kan de tiltrække stof fra hinanden. Derved sker der annihilation, og der udvikles stor energi i form af elektromagnetisk stråling. Det er karakteristisk, at kvasarer pulserer. Det kan muligvis forklares ved omløbstiden i ellipsebanen.

Kvasarer udsender så meget energi, at de kun kan eksistere i plasmafasen og i en kort periode efter regenerationen. Det skyldes formentlig at antineutroniumkernen efterhånden mister masse og gradvis kommer nærmere neutroniumkernen. Til sidst er den væk. De lyssignaler, vi får fra den periode, kommer fra perifere områder af kontinentet. Kvasarer er ikke omgivet af stjerner men kun af gasskyer. Skyerne kan kun ses, fordi de reflekterer eller absorberer stråling, der kommer fra kvasarer. Det perifere område, hvor kvasarerne befinder sig i, kaldes det mørke rum, hvor der ikke er stjerner. Jeg vil forklare det mørke rum i kapitlet om elliptiske galakser.

Spiralgalakserne

Materialet til galakserne er allerede skabt i gluonsuppen. Da suppen fordamper og bliver til plasma, er stoffet i ildkuglerne og antistoffet imellem dem adskilt, og masserne i de to områder bliver senere kun i ringe grad blandet. Ildkuglerne bliver senere til galakser. Temperaturen er enormt høj og nær den samme i ildkuglen A og omegnen B. Derfor er massetætheden og trykket næsten de samme i A og B. Kun nær centrum af A formår gravitationsfeltet fra neutroniumkernen at opretholde en lidt større massetæthed. Den eksplosive udvidelse af ildkuglerne sætter naboildkugler i rotation og translation, men det ændrer ikke på massen, massetætheden eller størrelsen af protogalakserne/ildkuglerne. Jeg vil foreslå kosmologerne at foretage computersimuleringer på de processer, der foregår i den første plasmatilstand. Indtil videre vil jeg blot skitsere udviklingen.

Der er $1,5 \cdot 10^{11}$ galakser. En middelgalakse havde før udvidelsen et råderum med radius.

$$8,1 \cdot 10^{13} / \sqrt[3]{(1,5 \cdot 10^{11})} = 1,5 \cdot 10^{10}$$

Efter udvidelsen er råderummet

$$1,5 \cdot 10^{10} \cdot 3,5 \cdot 10^{12} = 5,3 \cdot 10^{22}$$

Det er interessant at sammenligne med afstanden fra Mælkevejen til vor nære nabo Andromeda-galaksen: $2,4 \cdot 10^{22}$. Størrelsesordenen er den samme. Forskellen skal muligvis forklares ved, at de to galakser faktisk bevæger sig mod hinanden.

Ildkuglen er den indre del af råderummet. Råderummet udenfor ildkuglen består af antistof med samme masse som ildkuglens. Under forudsætning af at

massetætheden er den samme i ildkuglen som i dens omgivelser, kan man beregne, at selve ildkuglens radius vil være $\sqrt[3]{0,5} = 0,79$ af råderummet, altså

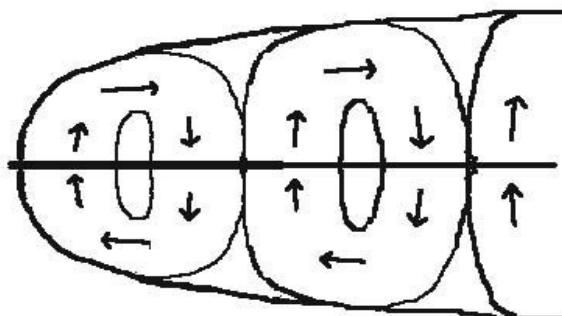
$$r = 0,79 * 1,5 * 10^{10} = 1,2 * 10^{10}$$

I løbet af udvidelsen vil denne radius vokse til

$$r = 1,2 * 10^{10} * 3,5 * 10^{12} = 4,2 * 10^{22}$$

Det er interessant at sammenligne med mælkevejens radius $8,5 * 10^{21}$. Vi ser, at mælkevejens radius kun er ca 50% af det forventede. Det kan være antagelsen om, at massetætheden er den samme i og udenfor ildkuglen, der er gal. Det er muligt, at gravitationen fra neutroniumkernen og fra ildkuglen selv vil forårsage at massetætheden aftager med afstanden fra kernen. Jeg tror dog ikke at dette får den store betydning i betragtning af de høje temperaturer. Andre fænomener er mere afgørende for skrumpningen. Når ildkuglerne skubber til hinanden sætter de ikke kun en regelmæssig rotation i gang. Der opstår store strømninger i ildkuglen. Derved blandes forskellige dele af ildkuglen i et vist omfang. Udvidelsen skyldes, at alle dele af kuglen har fået en bevægelsesmængde i retning væk fra centrum. Bliver dele med forskellige retninger af bevægelsesmængde blandet, vil blandingen have mindre bevægelsesmængde. Dette kan muligvis forklare skrumpningen af radius til 50%, eller sagt på en anden måde: Udvidelsen af galakserne er forholdsmæssigt kun 50% af den generelle udvidelse af universet.

Et andet fænomen er elektromagnetismen, der spiller en vigtig rolle i plasmatilstanden. Jeg har allerede omtalt hvordan de magnetiske kræfter kan holde stof og antistof adskilt i plasmafasen.



Figur 6

Figuren viser et snit gennem en ildkugle/protogalakse. Den vandrette linie er ildkuglens symmetriplan. Der ses kun et stykke af ildkuglen nær ved randen. Det fremgår af konturen, at ildkuglen er en temmelig fladtrykt ellipsoide. På grund af udvidelsen af ildkuglen har de to sider af symmetriplanet medbragt hver sin bevægelsesmængde rettet væk fra symmetriplanet. Disse bevægelsesmængder er bevaret og vil med tiden medføre, at galaksen udvider sig og bliver tykkere. Bevægelsesmængden findes hos protonerne, og de vil forsøge at bevæge sig væk fra symmetriplanet, hvor gravitationspåvirkningen er lille. Denne situation er ustabil, og den vil medføre, at mindre dele af

protonerne vil strømme til den ene side og andre til den anden. Der vil opstå magnetiske strømrør. Formentlig noget lignende de magnetiske strømme man kender fra solens indre.

Figuren illustrerer nogle af de magnetiske strømrør, der kan tænkes at opstå. Der er vist 2 strømrør. I denne forbindelse skal det nævnes, at ifølge Ampères lov vil ensrettede strømme tiltrække hinanden og modsat rettede strømme frastøde hinanden. De magnetiske strømme vil nå overfladen af ildkuglen og dreje om i en retning parallel med overfladen og derefter dreje mod symmetriplanet. Da strømrørene fortsætter igennem symmetriplanet, vil strømmingen blande de to stofmængder med modsat rettede bevægelsesmængder. Efter denne blanding i plasmafase vil protogalaksens tykkelse næsten ikke deltage i den universelle udvidelse. Det forklarer at spiralgalakserne er flade. Mælkevejens tykkelse er kun ca 1/100 af diameteren.

På grund af rotationen og den store stoftæthed i spiralgalakserne begynder gassen at samle sig og danne stjerner. Det sker muligvis allerede i plasmafase og fortsætter den dag i dag. Kun de udvalgte partikler, hvis hastighed er vinkelret på radius, parallel med galaksens symmetriplan, og med en størrelse bestemt af $v^2 = G \cdot M / r$, vil fortsætte uforstyrret i en cirkelbane. Alle andre partikler vil før eller senere støde ind i en af de udvalgte og blive hængende der. Kun de største af de udvalgte vil kunne holde kursen efter sammenstødet, og det er dem der bliver til stjerner. En lignende proces foregår ved dannelsen af planeterne i solsystemet.

Almindeligvis antages det, at tryk fra supernovaer eller fra andre dele af galaksen kan fremkalde stjernedannelse i en gaståge. Men rotationen af gastågen i galaksen er formentlig af afgørende betydning. Stjernedannelsen i Oriontågen har ikke noget at gøre med den lysende tåge. Oriontågen udsender ultraviolet lys fra randen. Det kan muligvis forklares ved, at en vind af stof fra supernovaeksplosioner rammer antistof ved randen af tågen og annihilere. Vinden fra supernovaer kan også forklare dannelsen af materialet til planetsystemerne og rotationen af dette materiale. Stjernernes udvikling er i øvrigt beskrevet grundigt af mange, og det vil jeg ikke komme nærmere ind på her.

Elliptiske galakser

En anden type galakser er de såkaldte elliptiske galakser, der har form som ellipsoider. De har en større masse og roterer langsommere, og de er ikke ret meget fladtrykte. Desuden indeholder de røde stjerner, der tolkes som gamle og udbrændte. De producerer ikke nye stjerner. Deres egenskaber forklares i Big Bang teorien ved, at de er resultat af sammenstød mellem spiralgalakser, hvorved den flade struktur er blevet ødelagt. Hubblesite har lige (juni 2017) offentliggjort fundet af en yderst fjern elliptisk rød galakse, MACS 2129-1. Den kan beskrives godt takket være en såkaldt optisk linse. At denne galakse skulle være gammel, kan ikke forstås ud fra den traditionelle kosmologi, men ifølge antistofteorien kan de røde elliptiske galakser være dannet allerede i

plasmafasen.

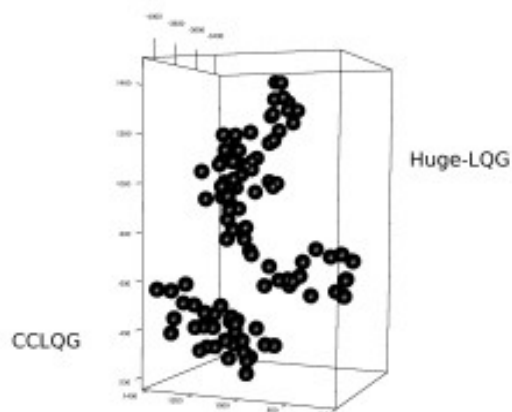
Ellipsegalaksernes store masse og lille rotation skal nok forklares ved, at de er opstået ved isolerede neutroniumkerner i gluonsuppen. Hubble observationer har vist, at de fjerne spiralgalakser ofte optræder i reder med 4-5 stykker, hvorimod ellipsegalakser er mere isolerede. Ellipsegalakserne har ikke fået en påvirkning fra nærliggende protogalakser og roterer derfor ikke meget. Ellipsegalakserne har fået en stor kerne og en stor ildkugle, fordi de har haft et stort råderum. Ellipsegalaksens plasma bliver tiltrukket af kernen, og på grund af mindre rotation vil dele af plasmaen komme ind i baner tæt på kernen. Massetætheden og rotationshastigheden bliver så stor tæt på kernen, at der kan dannes stjerner. Man har observeret at stjerner i ellipsegalakser bevæger sig radiale væk fra kernen, og det vil de gøre på grund af udvidelsen. Jeg forestiller mig, at disse stjerner bevæger sig i langstrakte parabelbaner noget lignende kometer i solsystemet. Hos spiralgalakserne sker der også stjernedannelse i mindre grad tæt på galaksekernen allerede i plasmafasen. Her roterer plasmaen mere og kommer ikke så tæt på kernen.

De fjerne Hubble observationer viste også nogle elliptiske galakser, der stadig var aktive. De var massive, men små og kraftigt hvidt lysende. Jeg tænker at de har stjerneagtig aktivitet tæt på kernen og er omgivet af en stor kappe af usynlig gas.

De fjerneste galakser udsendte lys fra et sted ca 13 mia ly væk. Længere væk i afstanden ca 28 mia ly fandtes mikrobølgebaggrunden. Der imellem findes et mørkt rum. Det bliver forklaret i Big Bang teorien ved, at så tidligt er stjernedannelsen ikke begyndt. Stjerner blev først dannet et stykke tid (ca 2 mia år) efter plasmafasens slutning. I antistofteorien er fortolkningen en helt anden. Massetætheden ved de yderste galakser er mindre end ved de centrale, Jeg har anslået ca 80% . Ved udvidelsen fra rekombinationen til nu er masse tætheden faldet med en faktor $(1100)^3$, og den falder stadig. Gassen skal have en vis tæthed for at samle sig til stjerner. Det er sandsynligt, at der aldrig bliver dannet galakser i de perifere områder. De protogalakser, der findes længere ude end de fjerneste galakser, har en lille massetæthed, og den bliver stadig mindre. De har ikke dannet stjerner, og de vil aldrig komme til det.

Der er en verden udenfor galakseuniverset

Den proces, jeg her har skitseret med dannelsen af to kontinenter, kan muligvis forklare, at universet allerede i en tidlig fase ses at have en struktur. Den traditionelle Big Bang teori går ud fra, at universet var en ensartet gas, hvoraf galakserne blev dannet ved fluktuationer. Det er i overensstemmelse med "the cosmological principle", der siger at universet oprindeligt er ensartet, fordi der gælder de samme love overalt. Det strider imidlertid mod observationer af kvasarer, der er galaksekerner i en tidlig fase af universet. Kvasarerne er mere koncentreret i nogle områder på himlen end i andre og har altså dannet en struktur.



Figur 7

Formationer af galaksekerner fandtes allerede, før galakserne havde udviklet sig. F.eks. har Roger Clowes registreret to samlinger af kvasarer kaldet Huge-LQG og CCLQG. Deres rødforskydning er ca $z=1,27$ svarende til, at de ved lysudsendelsen fjernede sig med hastigheden $v=200.000$ km/sek. Ved hjælp af Hubbles lov kan man beregne deres afstand fra os til ca 9 mia lysår. Og længden af Huge-LQG kan da sættes til 4 mia lysår, da lyset fra den blev udsendt. De to formationer af kvasarer har muligvis udviklet sig af to kontinenter A og B. Selve kvasarerne må stamme fra særligt store neutroniumkerner. De to formationer har i princippet samme opbygning som de to større kontinenter, der indeholder vor galakseverden. Den synlige galakseverden i vort univers har en udbredelse på 30 mia lys, men for længe siden havde den en udstrækning på 4 mia lysår. Huge-LQG kan derfor betragtes som en model, der viser hvordan vort univers så ud på et tidligere tidspunkt.

Kimen til vort store kontinentpar er ifølge antistofteorien opstået på et tilfældigt sted og et tilfældigt tidspunkt. Vi kan derfor regne med, at andre kontinentpar er opstået på et andet sted og et andet tidspunkt. Man kan tænke sig at vort kontinentpar opstår først, og der siden opstår andre kontinentpar i nærheden. Disse nyere par vil ikke nå at vokse sig så store, før de bliver standset i udviklingen af suppens omdannelse til plasma. Vi ender så op med kontinentpar i forskellige størrelser. De kan ligge udenfor hinanden, men også inde i hinanden. Kvasarformationen Huge-LQG + CCLQG kan være et eksempel på et sådant par, der har begyndt sin udvikling noget senere end vort eget par. Hvis det synlige univers er sammensat af flere kontinentpar, bliver beskrivelsen af universets struktur kompliceret.

Ifølge antistofteorien udgør vort galakseunivers kun de indre dele af vort kontinentpar. Men alene opgaven med at beskrive det synlige univers' struktur

er enorm. Der er $1,5 \cdot 10^{11}$ galakser, og der er forskellige måder at bestemme afstanden til dem på. Som før nævnt ville det være nyttigt at undersøge, hvordan galaksetætheden afhænger af afstanden fra os i forskellige retninger. Derved kunne vi få viden om kontinenternes form og vor placering i forhold til kontinenterne.

Mange astronomer har arbejdet på at finde store formationer af galakser. I 2003 blev der fundet Sloan Great Wall med en udstrækning på 1,4 mia lysår. En anden metode er at undersøge gammaglimt GRB (Gamma Ray Bursts). Det er de stærkest strålende objekter der kendes, og de varer kun få sekunder. Der er indtil 2015 fundet ca 2000. Vi ved ikke hvad de kommer fra, men jeg gætter på, at en neutroniumkerne og antineutroniumkerne har kollideret og frigjort enorm strålingsenergi. Disse gammaglimt findes langt ude i universet der, hvor der er stor tæthed af galakser. På grænsen mellem de to kontinenter er det muligt, at en antineutroniumkerne fra B har forvildet sig til A. Ungarnske astronomer har i 2013 fundet Great GRB Wall, der har en udstrækning på 10 mia lysår. I 2015 er fundet Giant GRB Ring på 5,6 mia lysår.

Imellem kontinentparret vil der være et tomrum for neutroniumkerner. Man kunne forestille sig, at der ville være et stort tomrum mellem kontinenterne, men det er der ikke. Mellemlummet indeholdt blandet stof og antistof, der forsvandt i plasmafase ved annihilation. Da kontinenterne udvidede sig, bredte de sig uhindret ind i dette strålingsområde og fyldte tomrummet op. De to kontinenter har omgivet sig med intergalaktisk plasma henholdsvis antiplasma. Senere er plasmaen blevet til gas.

En kortlægning af de tomme områder kunne være en måde at få et overblik over universets struktur. Det største hidtil fundne tomrum er Great Void med en afstand på 1,5 mia lysår og en udstrækning på 1,3 mia lysår offentliggjort 1988. Richard Brent Tully på Hawai observatoriet har fundet en lang række tomrum med udstrækning under 1 mia lysår. Disse tomrum er formentlig eksempler på, at antistof har samlet sig i større sammenhængende områder. Jævnfør de bobler vi så på figur 5.

Mon antistofteorien kan sige noget om universet udenfor den kendte galakseverden? Manglen på observationer gør svarene spekulative. Vi kan aldrig få lyssignaler fra så fjerne områder. Mikrobølgebaggrunden figur 4 viser dog, at dele af kontinenterne udenfor galakseverdenen har været omdannet fra gluonsuppe til plasma.

De to bjerge, der skabte kontinenterne havde form som cirkulære skiver, hvis diametre voksede. Herfra bredte overskuddet af kvarker eller antikvarker sig ud i kontinenterne. Tæt ved skiven A flyttede kvarkerne sig vinkelret på skiven, og da de ikke blev spredt til siderne faldt koncentrationen forholdsvis langsomt i retning væk fra bjergtoppen. Jeg har vurderet at koncentrationen af kvarker ved galakseverdenens ydergrænse var 80% af den maksimale koncentration på bjergtoppen. Længere væk fra skiven A flyttede kvarkerne sig radialt væk fra skiverne, og denne spredning medførte en hurtigt aftagende koncentration af kvarker jævnfør figur 2. Koncentrationen af de ildkugler som senere opstod havde aftog på samme måde.

Gluonsuppen fordampede da den høje temperatur fra ildkuglerne bredte sig, men den stoppede der hvor der ingen ildkugler var. Udvidelsen bragte ildkugler ud til suppen og fik mere suppe til at fordampe. På et tidspunkt var plasmaens temperatur og tæthed nær ved suppens overflade ikke høj nok til fordampning. Jeg formoder, at suppen i stedet absorberede plasmaen og ligeledes den senere gas. Suppen absorberer også de fotoner og neutrinoer, der måtte ankomme. Suppen er usynlig men absolut mørk. De absorberede partikler går til at forøge antallet af gluoner, og derved øges suppens rumfang. Jeg forestiller mig at suppen trækker sig mere og mere sammen og opsluger det partikelunivers, vi lever i.

Den her beskrevne udvikling forudsætter at den oprindelige ursuppe er uhyre stor, og at vort partikelunivers opstår som et hulrum i suppen. En anden mulighed kunne være, at suppen har en så begrænset udstrækning, at den fordamper helt i plasmafasen. En mulighed er også, at der findes andre partikeluniverser rundt omkring i suppen. Det kan så være, at fordampningen af suppe får nogle universer til at forbinde sig med hinanden.

Finn Rasmussen f@finse.dk

Hillerød november 2017