

2021.08.30 Nyt: s.22 A9 Opdatering. - Her følger hele artiklen, med appendiks inkluderet. Den første del uden appendiks udkom i Kvant i marts 2021. Der manglede desværre tilden \sim i [2], som ses nedenfor - Den kosmiske horisont forklares i figurerne 1 og 2, som forudsætning for at forstå, hvad der menes med *det observerbare univers*, OU. Læsestof, der ikke er så nødvendigt for at forstå OU, er lagt i et appendiks med noter, hvor bl.a. observationer angående **universets homogenitet** diskuteres, og fænomenerne **over-lyshastigheder** og **inflation** forklares af sagkyndige.

Det observerbare univers - og det udenfor

Af Erik Høg, Niels Bohr Institutet

Observationer i mikrobølger og i synligt lys viser, at universet er meget større end det observerbare univers (OU). Dette afgrænses ved *den sidste spredende overflade*, den kosmiske horisont, der stammer fra dengang universet var 380.000 år gammelt. Imidlertid peger nye observationer i begge bølgelængdeområder på, at der kan være afvigelser fra det enkle svar, at fortsættelsen uden for horisonten rummer statistisk set det samme som indenfor.¹

Vi skal i denne artikel især tænke på universet, da det er blevet 380.000 år gammelt. Det bestod af en glødende gas, hvis temperatur var faldet til ca. 3.000 grader. Sådan var det overalt i universet, og temperaturen varierede kun 0,02 K fra sted til sted, se figur 1, så der var slet ingen kontraster i lysstyrke eller farver, som ellers er det, der gør vort nuværende univers så smukt og levende.

Man tør nok sige, at hele universet dengang var i en *meget enkel og meget "kedsommelig" tilstand!* Denne artikel skal først handle om netop denne *"spændende"* tilstand, spændende fordi gassen på det tidspunkt pludselig blev gennemsigtig, og fordi vi faktisk kan observere lyset derfra, det ældste lys i universet. Tilstanden var samtidig så enkel, at den må kunne forstås af interesserede lægfolk.

I de første tre afsnit gøres nøje rede for universets tilstand omkring dette tidspunkt ved hjælp af de direkte observationer, vi har fået i de senere år. Dernæst diskuteres i tre afsnit: universets udvidelse, universets størrelse, og det udenfor.

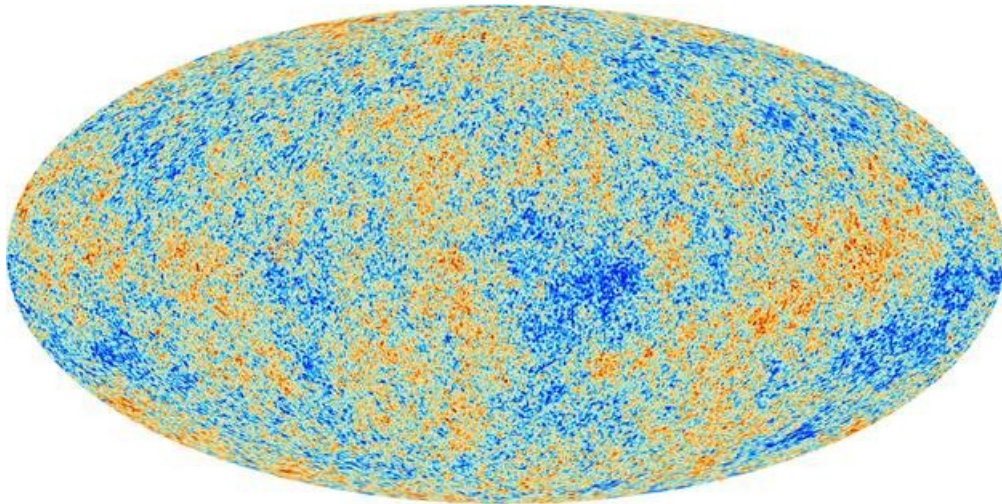
¹ En stor tak skylder jeg Leif Hansen, Steen Harle Hansen, Peter Laursen og Jørgen Otzen

Universet ved 3000 grader

Universets udvikling begyndte ved big bang (BB) for 13,8 milliarder år siden. Denne udvikling forstår vi i dag gennem den generelle relativitetsteori (GR), det ekspanderende univers og big bang fysik, og Kvant har tidligere bragt en artikel herom [1].

Ved en alder af 380.000 år indeholdt universet næsten kun brint og helium, hvor brinten var ioniseret. Rummet var derfor fyldt med frie elektroner, der blev dannet allerede i det første sekund efter big bang. Elektronerne spredte hele tiden lyset, så det hver gang blev sendt af sted i en ny retning, lyset kom altså ingen vegne: rummet var fyldt med stråling og derfor helt uigennemsigtigt.

Da temperaturen var faldet til ca. 3.000 grader, blev hver elektron bundet til en proton, så vi nu havde neutral brint. Der var desuden 25 procent helium, som også var ioniseret, men som allerede blev neutral, inden brinten blev det. Der var kun ca. 270 atomer pr. cm^3 , så gassen var omtrent så fortyndet som det bedste vakuum, man kan skabe i et laboratorium på Jorden.



Figur 1. Billede af hele himlen i mikrobølgestrålingen. Temperaturen er dermed målt til knap tre K over det absolutte nulpunkt, faktisk præcis 2,725 K. Variationerne fra sted til sted på himlen, som ses på billedet, svarer til kun ca. 0,018 mK i den modtagne stråling og til kun 0,02 K i den oprindelige glødende gas, der var ca. 3.000 K varm (ESAs Plancksatellit).

Denne tynde neutrale gas var fuldstændig gennemsigtig for elektromagnetisk stråling, så det lys, de fotoner, de elektromagnetiske bølger, der netop var undervejs, fortsatte ligeud, og hver foton vil blive ved med det i al fremtid, hvis den ikke rammer noget. I tidens løb voksede lysets bølgelængde i takt med

universets udvidelse og er nu, i vore dage, 1100 gange større, se nærmere nedenfor. Bølgelængden var først ca. $1 \mu\text{m}$ (som for almindeligt synligt lys) og er nu i vore dage blevet 1 mm, lyset er altså blevet til mikrobølger, omtrent som strålingen i en almindelig mikroovn.

Hvor kom lyset fra?

Disse mikrobølger kommer fra alle retninger, fra hele himlen. Strålingen blev opdaget i 1964 af A.A. Penzias og R.W. Wilson under afprøvning af nye meget følsomme kryogeniske mikrobølgemodtagere til radioastronomiske observationer, og de modtog i 1978 nobelprisen i fysik.

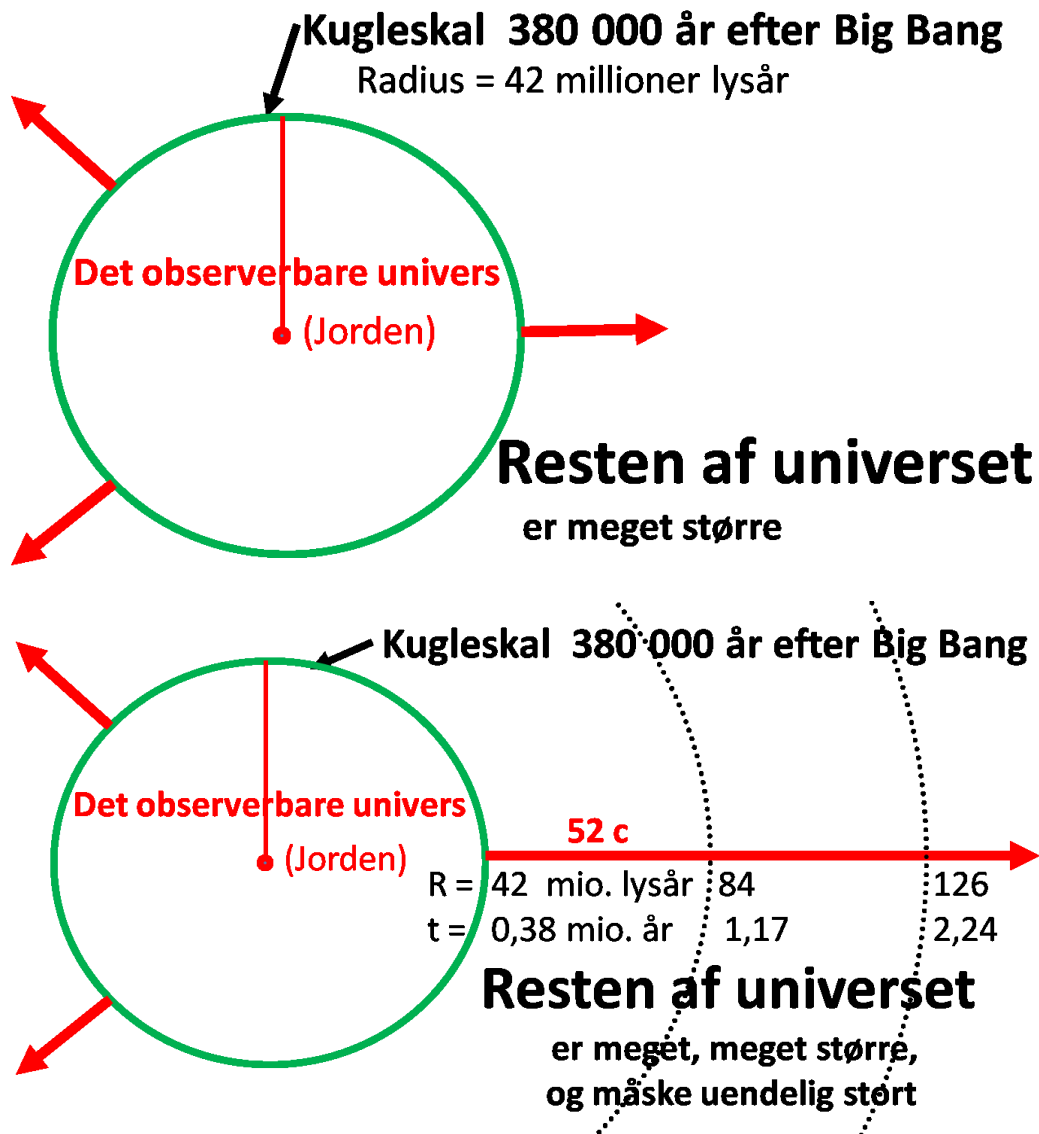
Strålingen er i de senere år blevet målt nøjagtigt fra flere videnskabelige satellitter. Figur 1 viser det billede, vi således har af himlen. Vi må spørge: hvor kom dette lys fra? Svaret er: lyset må være kommet fra gas, der lå så langt væk, at det netop har taget 13,8 milliarder år for lyset at nå hertil. Da lyset kommer fra alle retninger, må det være kommet fra en kugleskal med centrum i os, som vist i figur 2. Selvfølgelig blev der afsendt lys fra alle steder i gassen, og lys blev sendt i alle retninger. Vi modtager kun det, der netop tilfældigt havde retning, så det kunne træffe os nu i vort solsystem, der blev dannet af gas og støv små ti milliarder år senere.

Hvor langt er kugleskallen væk?

Den kugleskal skal vi nu tænke på, og det er jo kun en *tænkt* kugleskal. Gassen i denne kugleskal var ganske som den gas, der fyldte *hele* universet dengang. Enhver observatør hvor som helst i universet kan tænke på sin egen kugleskal, hvor han er i centrum, og hvorfra han netop nu modtager mikrobølger, ganske som vi gør.

Denne kugleskal kalder vi den *kosmiske horisont*, fordi lys fra det, der er længere ude, endnu ikke er nået frem til os. Det rum, der er inde i kugleskallen, kalder vi det *observerbare univers*.

Vores kosmiske horisont



Figur 2. **Øverst:** Hele universet er fyldt med glødende gas. Overalt er der nøjagtig samme temperatur og tæthed. Gassen indeholder kun 270 atomer pr. cm^3 . Med grønt er markeret en kugleskal i gassen, hvorfra det tog lyset 13,8 milliarder år at nå frem til Jorden. - Denne tegning siger noget væsentligt og også meget enkelt om universet dengang. **Nederst:** Den oprindelige glødende gasskal udvider sig sammen med hele universet som vist ved de punkterede cirkler, hvor radius og tidspunkt er angivet ved R og t. Udvidelsen sker med en hastighed, der er 52 gange lysets til at begynde med. Stoffet i skallen har efterhånden dannet stjerner og galakser, som nu befinder sig i en afstand af 46.000 millioner lysår. - I astronomien anvendes enhederne lysår (= 9.460 milliarder km) eller parsec (= ca. 3,26 lysår).

Hvad var afstanden til skallen, da lyset til os blev afsendt, altså hvad var radius i vores kugleskal? Afstande og hastigheder er beregnet som angivet i [5], hvor man kan finde nærmere om formler og beregninger. Med universets ekspansion er radius i denne kugleskal af gas blevet 1100 gange større, og gassen er blevet til støv, stjerner og galakser ganske som i vores nære omegn i universet. Radius er øget fra 42 millioner lysår til nu at være 46 milliarder lysår, som nævnt ved figur 2. Radius er altså vokset med en hastighed i gennemsnit på $46/13,8=3,3$ gange lyshastigheden, c , som er ca. 300.000 km pr sekund. Til at begynde med voksede radius endda med en hastighed på $52c$, som der står ved figur 2!

Her vil den opmærksomme læser undre sig over hastigheder og afstande og spørge, hvordan lyset overhovedet kan nå til Jorden, når det observerbare univers er større, end den afstand, lyset kan nå at tilbagelægge i universets levetid. Beregningen af fotonens vej gennem rummet viser, at dens hastighed i forhold til det lokale koordinatsystem altid er netop lyshastigheden c , men samtidigt vokser afstanden til Jorden på grund af ekspansionen, og den tilbagelagte vej vokser ligeledes. Når fotonen endelig når frem, er den tilbagelagte strækning større, end den ville have været i et statisk univers.

Selve navnet *observerbar* fører let til, at man tror, der menes det, der *faktisk kan observeres*, men det er forkert. Fx kan man ikke i en for mennesker overskuelig fremtid observere de galakser, der nu i dag ligger næsten ude, hvor horisonten ligger i dag, i en afstand fra os af 46 milliarder lysår, en afstand der hele tiden vokser hurtigere end lyshastigheden. Derude lå stof, som har dannet stjerner og galakser, ganske som i vores omegn, men det skete mange millioner år efter big bang.

På grund af lysets endelige hastighed, kigger vi tilbage i tiden, når vi kigger ud i universet. Derfor vil de fjerneste observerbare galakser kunne ses på et meget tidligt stadium af deres udvikling i det tidlige/ynge univers. Lyset fra galakserne, som udsendes netop nu i retning mod Jorden, vil først kunne observeres om mange år efter en lang rejse gennem rummet. Observationer af fjerne galakser er for eksempel Hubble Ultra Deep Field. Et tilsyneladende tomt område af himlen er blevet observeret i dagevis med Hubble Rumteleskopet, hvilket afslørede en masse galakser på et meget tidligt stadium i deres udvikling. En af disse galakser vises i figur 4 i [1] fra 2012. Vi ser den ældste galakse, man dengang kendte, idet universet kun var 750 millioner år gammelt, da det lys blev udsendt, som vi

modtager nu. Ved den alder var universet kun et barn på fem år, hvis vi sætter det nuværende gamle univers til 100 år.

Betegnelser eller navne om disse sager er ganske velvalgte, men misforståelser kan alligevel kun undgås ved stor omhu. Man kan også sige, at OU i dag er den del af universet, hvorfra optisk lys ville kunne have nået Jordens sted engang i løbet af hele tidsrummet fra BB til nu. Man ser somme tider, at astronomer kalder det observerbare univers for *det synlige univers*, men det kan jo også misforstås. Lad det være sagt allerede her: Den del af universet, der ligger uden for OU, bør man IKKE kalde *det ikke-observerbare univers*, for den del er i princippet observerbar, som vi forklarer i et afsnit nedenfor. Dette fænomen ville straks blive misforstået på grund af selve navnet.

Universets udvidelse

Relativitetsteorien er den basale fysiske lov, der giver os en matematisk beskrivelse af universets udvidelse. Albert Einstein præsenterede den *specielle relativitetsteori*, *SR*, i 1905, men den teori behandler kun bevægelser uden accelerationer i et rum uden tyngdekrafter. I 1915 forelagde Einstein den *generelle relativitetsteori*, *GR*, der også omfatter accelerationer i et rum med tyngdekrafter. Derved blev *SR* et specialtilfælde af *GR*, så man kan sige, at der kun findes én relativitetsteori, og det er *GR*. *Det er først med GR at forskningsområdet kosmologi har fået et sundt teoretisk grundlag*, således som der står om relativitetsteori i Den Store Danske Encyklopædi, bind 16, s. 97.

Observationer af fjerne objekter i universet viser, at hastigheden bort fra os for fjerne objekter vokser med disses afstand. Sammenhængen mellem hastighed og afstand kan udtrykkes i en matematisk model baseret på *GR*, som nærmere beskrevet i [5]. Det kan siges i få ord: det matematiske rum i *GR*, dvs. det anvendte koordinatsystem, udvider sig, således at alle afstande vokser i samme forhold. Vi siger, at selve det fysiske rum udvider sig, eller bare: *selve rummet udvider sig*. Denne matematiske model for udvidelsens forløb *beskriver* altså det, man måler, men den siger intet om årsager til udvidelsen. *GR* er en *makroskopisk* teori, der beskriver rummets geometri og dynamik. Men den bryder sammen i det meget tidlige univers, hvor kvanteteori også spiller ind.

At rummet udvider sig, betyder ikke, at galakser eller en bygning på Jorden udvider sig. På Jorden, i galakser og galaksehobe dominerer tyngdekraften og holder sammen på det hele. I det lokale univers har objekterne relative

hastigheder, der er beskedne i forhold til lyshastigheden, og i middel er hastigheden tæt på nul i forhold til det store univers – for eksempel målt i forhold til mikrobølgebaggrunden. Det må fremhæves, at tilsyneladende overlyshastighed og andre forhold ved universets udvidelse kun kan beskrives korrekt ved hjælp af den matematiske form, som GR har i forbindelse med Big Bang-modellen.

Alt dette lyder måske besynderligt i nogles ører, men det er korrekt i det store sammenhængende billede af universet, som kosmologer er nået frem til gennem anvendelse af fysiske teorier og observationer. Dog er der selvfølgelig meget, teoretikerne stadig ikke forstår eller er uenige om.

Det er en udbredt opfattelse, at intet kan bevæge sig hurtigere end lyset, så udbredt, at man kan tale om *en almen viden* blandt lægfolk. Denne populære opfattelse stemmer med SR men ikke med GR anvendt på universets udvidelse. Alligevel går enkelte også i dag så vidt som til at forkaste al moderne kosmologi, på grund af overlyshastighederne ved universets ekspansion. Det er en ekstra grund til at behandle dette emne grundigt her. I Appendix anbefales note A4 og især reference [7].

GR siger ligesom SR, at et objekt ikke kan have en hastighed større end lysets i forhold til et andet objekt, der ligger i nærheden. Men det gælder ikke, hvis objekterne ligger så langt fra hinanden, at rummets udvidelse spiller en rolle. Det må betones, at det IKKE er stoffet, der farer gennem rummet følgende inertiens lov, som mange tror, og mange får bildt ind. For der er jo ikke tale om en eksplosion i rummet.

Universets størrelse

Den observerede fordeling af stoffet inde i det observerbare univers, OU, er ret homogen, ens overalt, når man ser på de store træk, hvad der gøres rede for i note A4 i [2]. Derfor er det nærliggende at mene, at dette må fortsætte udenfor. Det ville dog være mærkeligt, hvis Jorden netop var centrum i en kugleformet massefordeling med ingenting eller noget helt andet udenfor. Siden Kopernikus for 500 år siden flyttede Jorden bort fra centrum af verden, har en sådan tanke været umulig.

Desuden påvirker masserne uden for OU de masser, der er indenfor gennem deres tyngdekraft, men hvis fordelingen fortsætter kuglesymmetrisk uden for OU, vil denne kraft netop ophæves, hvilket er en elementær følge af Newtons gravitationslov, der let kan bevises. Det betyder samtidig, at vi i princippet vil kunne se en virkning på fordeling og bevægelser af stjerner og galakser indenfor, såfremt massen udenfor IKKE er fordelt kuglesymmetrisk, altså hvis det kosmologiske princip, CP (se note A4 i [2]) ikke er opfyldt for hele universet. En sådan detektering kan kaldes global, og den tillader ikke detektering af enkelte objekter uden for OU, kun af globale afvigelse fra kuglesymmetri. Det vil dog være vildledende at kalde universet uden for "det observerbare univers" for "*det ikke-observerbare univers*". Nogle vil nemt kunne tro, der ligger en betydning i selve navnet, hvad der advares imod ovenfor.

Den slagside (bias) i mikrobølge strålingen, der er fundet i Planckdata (se nedenfor), kan måske skyldes en asymmetrisk fordeling af masserne uden for det observerbare univers?

Hvad er der udenfor?

Det følgende er nærmere beskrevet og dokumenteret i noterne A4 og A5 i [2] med citater fra korrespondence med forskere, og hvor også skepsis kommer til udtryk.

En analyse fra 2018 (se dog diskussion i note A4) af observationer viser, at hele universet har en radius, der er mindst 5 gange større end det observerbare univers, altså mindst $5 \times 46 = 230$ Giga-lysår med 99% sandsynlighed. Imidlertid er det kun en nedre grænse, at udstrækningen af hele universet kun er 5 gange større end OU, som man her har fået fra analyse af observationer. Det kan stadig være meget, meget større. Hvad jeg også synes, er nødvendigt, hvis der overhovedet skal være plads til multiverset. Med *multivers* tænker vi her fx på den teoretiske mulighed, at der uden for vores OU findes andre områder, andre universer, hvor udviklingen har været lidt eller meget anderledes end i vores OU.

I samme analyse fra 2018 beregnes en sandsynlighed mellem 67% og 98%, for at universet er rumligt uendeligt: Forfatterne antager, at universet er præcist fladt, det betyder, at det er uendeligt. og så kan de give et statistisk mål for sandsynligheden for, at universet ikke er fladt, og dermed et statistisk mål for at universet ikke er uendeligt. Men det er alt sammen indenfor de samme

begrænsninger: fx antager de en given kosmologisk model med stof, kosmologisk konstant, osv.

Andre analyser viser, at det observerbare univers ikke er helt homogent på meget stor skala. Data fra Planckmissionen viser bias (på dansk: slagside) for en halvkugle af himlen i forhold til den anden, såkaldt halvsfære-bias, på to måder: det ene bias drejer sig om den gennemsnitlige temperatur (dvs. temperatur variationer), det andet drejer sig om at der er større variationer i perturbationerne (dvs tæthederne). Derfor, konkluderer ESA (som står for Planckmissionen) at disse anisotropier (uensartetheder) er statistisk signifikante og ikke længere kan ignoreres.

Et antal observationer er meddelt som værende i modstrid med forudsigelserne om en maksimal størrelse for strukturer i universet, her to eksempler: 1. Den såkaldte Sloan Great Wall (SGW), opdaget i 2003, har en længde på 1380 millioner lysår og det er kun lige netop foreneligt med det kosmologiske princip. 2. I November 2013 blev en ny struktur opdaget, som er 10 milliarder lysår borte og som måler 6,6 til 10 milliarder lysår (mere end syv gange større end SGW), kaldet Hercules-Corona Borealis Great Wall, og det rejser yderligere tvivl om gyldigheden af CP.

Der er altså håndfaste tegn i observationer, både af mikrobølger og i optisk lys, på at universet fortsætter uden for det observerbare, men også på at fortsættelsen ikke er helt, som det vi kender. Det må derfor ikke undre, hvis der er *meget store forskelle* på endnu større skala. Så der er rigelig plads til *multiverset* og til tanker om dette som fra Martin Rees i [3], en fremragende bog, der førte mig til at begynde på denne artikel om det, der er udenfor. Men en advarsel om multiverser: der findes mange forskellige forslag, se [4].

Litteratur

[1] Erik Høg, Peter Laursen, Johan Samsing (2012) **Universets begyndelse**. 6pp
<https://www.kvant.dk/upload/kv-2012-1/kv-2012-1-kv121-EH-universets-begyndelse.pdf>

[2] Erik Høg (2021) **Det observerbare univers - og det udenfor**. 21pp. Hele artiklen med Appendiks A1-A9 findes på
<http://www.astro.ku.dk/~erik/xx/Udenfor.pdf>

[3] Martin Rees (1999) **Just Six Numbers: The Deep Forces That Shape The Universe**.

En paperback udgave er trykt i 2015, men der findes ingen egentlig ny udgave.

[4] Laura Mersini-Houghton (2013) **Birth of the Universe from the Multiverse**, 25pp
<http://de.arxiv.org/pdf/0809.3623>

[5] J. Samsing & E. Høg (2012) **Noter til kosmologi**, 3pp
<http://www.astro.ku.dk/~erik/xx/KosmoNote3.pdf>

Appendiks

Her følger to noter A1 og A2 af de ni, som udgør hele appendiks, der findes i [2]. De otte noter, A1-A9, uddyber selve artiklen, men skønnes ikke nødvendige til en første læsning, hvor det først og fremmest drejer sig om rigtigt at forstå, hvad der menes med *det observerbare univers, OU*. Noterne er: A1: Afstande i universet, A2: Andre kosmiske horisonter, A3: GR og inflation, A4: Det kosmologiske princip (CP), A5: Fra wikipedias artikel om CP, A6: Over-lyshastigheder, A7: Relativitetsteori og komplekse tal, A8: Referencer, A9: Opdatering.

A1: Afstande i universet

Det er ikke så enkelt at tale om afstande i universet, hvad der gøres nærmere rede for i [5]. I denne artikel anvendes dog kun det, man i kosmologien kalder for *proper distance* på engelsk, og på dansk: *metrisk afstand* eller *egenafstand*. Afstande kan angives i kilometer, men i astronomien anvendes enhederne lysår (= 9460 milliarder km) eller parsec (= ca. 3,26 lysår). I kosmologien skal et lysår kun forstås som en afstand på så mange km. Man kan imidlertid ikke omsætte X lysår til at lyset har været X år undervejs, hvis afstanden er så stor, at universets udvidelse spiller en væsentlig rolle. Men ikke alle astronomer synes at vide dette, for et sted på nettet skriver en astronom: "Fordi Big Bang skete for 13,8 milliarder år siden, har lyset altså kunnet rejse 13,8 milliarder lysår. Det er grænsen for, hvad vi kalder 'Det synlige univers', forklarer han." Det samme høres tit i populære foredrag.

Nogle astronomer foretrækker i kosmologisk sammenhæng slet ikke at tale om en afstand, men kun om hvor længe lyset har været undervejs. Det ville være upraktisk her, hvor vi skal kunne sige, hvor langt kugleskallen var væk, da lyset blev afsendt, og hvor langt den er væk nu i dag.

A2: Andre kosmiske horisonter

Man betragter i kosmologien også andre *kosmiske horisonter* end den horisont, som vi har særlig fokus på i denne artikel. Jeg har her defineret den kosmiske horisont som *overfladen for sidste spredning* af elektromagnetisk stråling. På det tidspunkt var universet allerede 380.000 år gammelt. Men faktisk foreligger der også information fra epoker, da universet var yngre. Meget vigtig er den tidlige kernesyntese (en fusion), hvor brint- og heliumkerner dannes ved vel forståede processer kun få minutter efter BB.

Vi har information om dannelsen af variationer (perturbationer) i tætheden af det, der var der under *inflations-perioden*, men andre signaler er ifølge teorien også mulige såsom af neutrinoer og gravitationsbølger. Mere fundamental er derfor *partikel horisonten*. Ifølge General Relativity (GR) kombineret med kvantefysik, er dette den yderste grænse for signaler, og den ligger ved et tidspunkt kun Planck-tiden på omkring 10^{-44} sekund efter big bang. Ifølge GR alene er det kun selve singulariteten, der er forbudt. Med kvantefysik vides, at fysikken før Planck-tiden, og dermed muligheden for signaler, er ukendt. Planck-tiden er det korteste tidsrum, det vil være muligt at måle ifølge Heisenbergs usikkerhedsrelation, men det korteste tidsrum, der hidtil faktisk er målt, er 10^{-21} sekund.

Det er egentlig opløftende, at det har været meget nemmere at inkludere mørkt stof og mørk energi i BB end nogle troede, idet man ikke behøver noget principielt nyt fra Einstein 1915/16. Mørkt stof indgår helt som almindelig kendt stof, og mørk energi er i BB-modellen Einsteins lambda-led.

De resterende noter A3 til A9 findes i [2].

***Her slutter det der trykkes på 4 sider i Kvant.
Det nedenfor lægges på nettet.***

Appendiks - fortsat med A4-A9

Appendiks indeholder i alt ni noter, A1-A9, som uddyber selve artiklen, men som ikke skønnes nødvendige til en første læsning, hvor det først og fremmest drejer sig om rigtigt at forstå, hvad der menes med *det observerbare univers, OU*. Noterne er: A1: Afstande i universet, A2: Andre kosmiske horisonter, A3: GR og inflation, A4: Det kosmologiske princip (CP), A5: Fra wikipedias artikel om CP, A6:

Over-lyshastigheder, A7: Relativitetsteori og komplekse tal, A8: Referencer, A9: Opdatering.

De første to noter A1 og A2 findes ovenfor, her følger de syv sidste.

A3: Om GR og inflation

Universets inflation varede kun ca. 10^{-32} sekund, men på denne korte tid voksede universet med ekstrem hastighed (to punkter separeret med et atoms afstand, ville efter inflationen ligge ca. et lysår fra hinanden). Efter inflationen fortsætter en langsommere udvidelse, og nu begynder den gensidige tyngdekraft fra al stoffet at bremse udvidelse, men kun langsomt, og senere kommer mørk energi til at spille en rolle som en negativ tyngdekraft, altså frastødning. Hvis inflationsteorien er sand, giver den også en naturlig forklaring på universets homogenitet.

Herom skriver Leif Hansen: "Det er sagt, at Allan Guth fiklede med GR for at få *inflation* til at blive en mulighed. Det er ikke rigtigt. Det var Einstein, der indførte den kosmologiske konstant Λ . Denne tilføjelse er i overensstemmelse med feltligningerne. I det nuværende Univers kan Λ fortolkes som den observerede *mørke energi*.

Hvis man negligerer gravitation (massetæthed nul) i feltligningerne, så Λ dominerer, vokser rummets udvidelse meget hurtigt (dvs. eksponentielt): *inflation*. Spørgsmålet er, hvordan man skal fortolke Λ . Man har forsøgt sig med forskellige former for vakuum energi, hvilket er et velkendt værktøj i teoretikernes værktøjskasse, men uden at finde en tilfredsstillende løsning. Det betyder ikke, at *inflation* ikke har fundet sted. Det kan godt være, at teoretikerne ikke har en løsning, men naturen synes godt at kunne finde ud af det alligevel.

Teorien om *inflation* forklarer blandt andet horisont-problemet og at rummets krumning er tæt på nul. Desuden forudsagde den dannelsen af de oprindelige tætheds-fluktuationer, hvilket er meget vigtigt, da det er svært at finde en anden årsag. Oven i købet forudsagde den, at fluktuationerne skulle udvise et Harrison-Zeldovich spektrum, hvilket observationer efterfølgende har påvist. Dette er absolut ikke trivielt. En alternativ teori skal som minimum forklare disse tre fundamentale observationer."

A4: Det kosmologiske princip (CP) og størrelsen af hele universet

Universet strækker sig langt uden for det observerbare univers, og stoffet er ret jævnt fordelt i det. Hvorfor mener vi det?

Det kosmologiske princip siger, at universet ser ens ud fra ethvert punkt bortset fra lokale uregelmæssigheder. Det diskuteres grundigt i wikipedia *Cosmological Principle* (CP), som citeres i det følgende mærket med *wikiCP*.

Dette har været antaget i alle kosmologiske teorier siden Einstein, altså for et hundred år siden. For 100 år siden vidste man så lidt om universet, at CP stadig var den enkleste og vel den eneste mulighed og samtidig var det en *dristig hypotese*.

En undersøgelse fra før 1950 nævnes i H. Bondi *Cosmology*, trykt i 1952, hvor kapitel 2 drejer sig om det kosmologiske princip, CP. I afsnit 5.3 siger Bondi bl.a. at området ud til 500 millioner lysår, hvor de svageste galakser var blevet observeret, er stort nok til at kaldes et *fair sample af universet*. Det konkluderes i denne bog, at CP er en rimelig antagelse. Imidlertid findes en nyere udgave af bogen fra 1960, som nævner et 10 gange større område ud til 5.000 millioner lysår! Sandsynligvis fordi 5m teleskopet på Mount Palomar var kommet i brug i 1949.

Fra wikipedias *supercluster* kan man fortsætte med nutidens viden om galakser, der er en million gange lyssvagere end man kendte i 1950. Galakser findes i galaksehobe (galaxy clusters), hvor de er bundet af den fælles tyngdekraft, som er så stærk, at hoben ikke udvides ved universets ekspansion. Denne ekspansion udvider heller ikke, hvad der er mindre som de enkelte galakser og vores solsystem, fordi tyngdekraften dominerer. Galaksehobene ligger i superhobe, der er så store, at galaksehobene deltager i ekspansionen, så superhoben derved vokser. Man kender mange meget fjerne superhobe, og der skønnes at være 10 millioner superhobe i OU. Den største superhob i vores nærhed er *Laniakea*, som blev erkendt i 2014, og som har en udstrækning på 500 millioner lysår - Til sammenligning er vor Mælkevej kun ca. 100.000 lysår. Selv denne udstrækning af Laniakea er meget lille i forhold til den nuværende radius af OU på 46 milliarder lysår, så når man ser på endnu større områder, er OU ret homogent belagt med de nævnte 10 millioner superhobe.

Universet er åbenbart ikke homogent på lille skala, hvor vi finder stjerner, galakser og galaksehobe, men det er statistisk homogent på skalaer større end 500 millioner lysår. Den kosmiske mikrobølge-stråling er isotrop, dvs. at dens intensitet er den samme uanset i hvilken retning man ser, se figur 1. Så vi kan igen konkludere, som Bondi gjorde for 70 år siden på et meget spinklere grundlag, at det kosmologiske princip, CP, er en rimelig antagelse. Det må man på en måde forbavses over, men man må jo også glædes, fordi kosmologi derved bliver mere overskuelig.

Imidlertid har nye målinger rejst tvivl om dette spørgsmål, se note A5. Man har fundet strukturer i fordelingen af galaksehobe større end de nævnte 500 millioner lysår. Desuden viser data fra de 4,5 års observationer med Planckmissionen bias, dvs. slagside, for en halvkugle af himlen i forhold til den anden, såkaldt halvsfære-bias, endda på to måder. Det ene bias drejer sig om den gennemsnitlige temperatur (dvs. temperatur variationer), det andet drejer sig om, at der er større variationer i tæthederne. Derfor konkluderer ESA, som står for Planckmissionen, at disse uensartetheder er statistisk signifikante og ikke længere kan ignoreres.

Størrelsen af hele universet får vi oplysning om gennem den slags observationer, som er brugt til figur 1, idet de er anvendt til beregning af rummets krumning, se https://en.wikipedia.org/wiki/Shape_of_the_universe#Infinite_or_finite . Krumningen findes at være meget lille, endda mindre end usikkerheden på målingen, idet der står: *Results of the Planckmission released in 2015 show the cosmological curvature parameter, Ω_K , to be 0.000 ± 0.005 , consistent with a flat universe.*

Dette tydes som, at universet er meget større end det observerbare, og at det måske er uendelig stort, som der står i figur 2. Vi kan komme det nærmere, idet krumningen vel må være mindre end 3 gange usikkerheden, altså at Ω_K , må være mindre end $3 \times 0.005 = 0.015$.

En artikel i MNRAS fra 2018 [6] bringer os videre. I abstract angives: *...the probability that the Universe is spatially infinite lies between 67% and 98%, depending on the choice of priors... We also report a robust, prior-independent lower limit to the number of Hubble spheres in the Universe, larger than $N_U \sim \geq 5$ (at 99% confidence).*

En Hubble sfære har en radius af en Hubble længde, som er 14.4 milliarder lysår (Giga-lysår=Glyår), så man kunne tro artiklen siger, at Universet (det jeg kalder "hele universet") skulle have en radius på kun $5 \times 14.4 = 72$ Glyår. Det kan jo ikke passe, da selve OU har en radius på 46 Glyår. Det viser sig da også senere, at der skulle have stået OUs i stedet for Hubble spheres i abstractet! Det blev opklaret, da jeg til sidst spurgte en af forfatterne til råds. Denne korrespondence gengives nu i forkortet udgave, da den var ret underholdende med mange misforståelser, men den førte dog til en "lykkelig" udgang.

Roberto Trotta svarede omgående: *Thank you for being so punctilious in your research on the matter. This is indeed an area where confusion is rampant, often because of misconceptions in the way terms are used (see this "nice paper" for more details) -- I must admit that in our own paper we use inconsistent terminology!* - The "nice paper" er her [7].

Jeg stillede endnu to spørgsmål 1) og 2), som blev besvaret således:

Dear Erik

Spørgsmål 1) Your abstract says: "...lower limit to the number of **Hubble spheres** in the Universe, $N_U \sim > 5$ ". The abstract should perhaps have said "number of **Observable universe spheres** in the Universe"?

Roberto svarede: *Yes, you are right -- this is why I said before that my own paper used inconsistent terminology.*

Spørgsmål 2) You wrote: "the 5 comes from reading off the lower limit from our Fig 1. " In your Fig 1, the abscissa is $\text{Log}_{10}(N_U)$ which means you read at the abscissa $\text{Log } 5 = 0.70$. How is that possible when I see no curve at all at abscissae < 1.1 , the ordinate must there be < 0.01 .

You claim even to distinguish $NU=4.8$ and 6.2 : "we find a 99% lower limit (1-tail) $NU \sim > 4.8$, while for the Curvature scale prior this slightly increases to $NU \sim > 6.2$ (both figures for the more conservative case where $w_{\text{eff}} = -1$. So we conclude that, at the 99% level, the value $NU \sim > 5$ can..."

Roberto svarede: *It's true that the figure doesn't really show that level of detail. But consider that the 99% limit quoted in the text comes from counting the MCMC*

samples used to produce the figure, which is a coarser representation of the samples (partially due to binning). It does not mean that the level of the histogram is 0.01 at $\log_{10}(N_U) = 0.7$ (as your sentence seems to suggest). It means that the number of samples below $N_U = 5$ is 1% of the total number of samples. So according to the text, 5 (rounding up from 4.8) is a solid lower limit, and that's the one I've quoted. Unfortunately this is now so long ago that I don't have any further details than what we can get from the text.

Hope this helps!

Best wishes

Roberto

Min konklusion er nu de 14 linjer, som står ovenfor i artiklens sidste afsnit efter: En analyse fra 2018...

Steen Hansen svarede følgende, da jeg spurgte om hans mening om dette paper fra 2018: "Tja, det er jo klart nok hvad de gør: hvis universet er præcist fladt, så er det uendeligt. og så kan de give et statistisk mål for sandsynligheden for at universet ikke er fladt, og dermed et statistisk mål for at universet ikke er uendeligt.

Men det er alt sammen indenfor de samme begrænsninger: f. eks. så antager de en given kosmologisk model (med matter, kosmologisk konstant, osv), men hvis noget ikke er sandt der, f. eks. hvis det kosmologiske princip skulle bryde ned en lille smule, så kan man ikke bruge deres resultater til noget. Og der står min oprindelige sætning ved magt: hvis vi ikke kan observere det ikke-observerbare univers, så kan vi ikke udtale os om det.

Om de så finder en faktor 3.000 eller 5 er sådan set underordnet, for det hænger alt sammen på deres antagelser (ekstrapolationer udover det observerbare univers). Jeg har ikke læst artiklen, men med Trotta og Silk er jeg sikker på, at det er solidt arbejde. Jeg har ikke noget problem med at du citerer hvad jeg siger - så længe folk, der læser din artikel, husker at stille sig kritisk også overfor, hvad jeg skulle finde på at sige :-)

A5: Fra wikipedias artikel om CP

Citat i uddrag fra september 2020 - oversat til dansk. En del af det er overført til sidste afsnit i selve artiklen.

"Skønt universet ikke er homogent på lille skala, er det statistisk homogent på skalaer større end 250 millioner lysår. Den kosmiske mikrobølge-stråling er isotrop, dvs at dens intensitet er den samme uanset i hvilken retning man ser. [8] - disse referencer er nummereret og findes i wikiCP.

Imidlertid har nye målinger rejst tvivl om dette spørgsmål. Data fra Planckmissionen viser bias (på dansk: slagside) for en halvkugle af himlen i forhold til den anden, såkaldt halvsfærebias, på to måder: det ene bias drejer sig om den gennemsnitlige temperatur (dvs temperatur variationer), det andet drejer sig om at der er større variationer i perturbationerne (dvs tæthederne). Derfor, konkluderer ESA (som står for Planck missionen) at disse anisotropier (uensartetheder) er statistisk signifikante og ikke længere kan ignoreres. [9]. Mere findes her: Planck 2018 results. A&A 641, A1 (2020) <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833880> ESO 2020 Astronomy & Astrophysics.

Et antal observationer er meddelt som værende i modstrid med forudsigelserne om en maksimal størrelse for strukturer i universet:

I wikiCP anføres fem eksempler, hvoraf to skal nævnes her, idet 1 Mpc=ca. 3,26 Mega lysår:

- Den såkaldte Sloan Great Wall (SGW), opdaget i 2003, har en længde på 423 Mpc=1380 millioner lysår [11] og det er kun lige netop foreneligt med det kosmologiske princip.
- I November 2013 blev en ny struktur opdaget, som er 10 milliarder lysår borte og som måler 2000-3000 Mpc= 6,6 til 10 milliarder lysår (mere end syv gange større end SGW), kaldet Hercules-Corona Borealis Great Wall, og det rejser yderligere tvivl om gyldigheden af CP. [12]

Men, som betonet af Seshadri Nadathur i 2013, [13] eksistensen af strukturer større end homogenitetsskalaen på 260 Mpc=850 Mega lysår efter Yadav's beregning [10] betyder ikke nødvendigvis et brud på CP (se Huge-LQG#Dispute, LQG står for Large Quasar Group)."

Citat på engelsk som i originalen fra wikiCP, uddrag i september 2020:

"Although the universe is inhomogeneous at smaller scales, it is statistically homogeneous on scales larger than 250 million light years. The cosmic microwave background is isotropic, that is to say that its intensity is about the same whichever direction we look at.[8]

However, recent findings have called this view into question. Data from the Planck Mission shows hemispheric bias in 2 respects: one with respect to average temperature (i.e. temperature fluctuations), the second with respect to larger variations in the degree of perturbations (i.e. densities). Therefore, the European Space Agency (the governing body of the Planck Mission) has concluded that these anisotropies are, in fact, statistically significant and can no longer be ignored.[9]

A number of observations have been reported to be in conflict with predictions of maximal structure sizes:

Her kun to eksempler, idet 1 Mpc=3.3 M lysår:

- The Sloan Great Wall, discovered in 2003, has a length of 423 Mpc,[11] which is only just consistent with the cosmological principle.

- In November 2013, a new structure 10 billion light years away measuring 2000–3000 Mpc (more than seven times that of the SGW) has been discovered, the Hercules–Corona Borealis Great Wall, putting further doubt on the validity of the cosmological principle.^[12]

However, as pointed out by Seshadri Nadathur in 2013,^[13] the existence of structures larger than the homogeneous scale (260/h Mpc by Yadav's estimation^[10]) does not necessarily violate the cosmological principle (see Huge-LQG#Dispute)."

A6: Forklaring på tilsyneladende over-lyshastigheder

Først vil jeg citere fra en artikel i Scientific American om observation i januar 2020 af en ekstrem supernova. Der blev observeret lys med en rødforskydning på 2,9, så universet var kun 2,3 milliarder år gammelt, da stjernen eksploderede. Lyset har været undervejs i 11,4 milliarder år, og resterne af denne stjerne befinder sig nu i en afstand af 21 milliarder lysår - på grund af universets udvidelse. Dette som eksempel på de ekstreme forhold i forbindelse med over-lyshastigheder.

Jeg spurgte flere eksperter samtidigt for at få grundig belysning af fænomenet med over-lyshastigheder. Til min store glæde svarede alle fire adspurgte omgående og ganske udførligt. Den forklaring, at det er universet der udvides, og ikke partikler der bevæger sig, er noget man tit hører som "argument", og det har jeg faktisk skrevet i ovenstående artikel for nemheds skyld, men det er ikke korrekt. Her følger repræsentative og dækkende svar fra to af eksperterne.

Den ene ekspert, Steen Hansen, skriver: "Den *nemme* forklaring, du nævner, er egentlig forkert, man kan kun forstå sagen i den matematiske form som GR har. Et fundamentalt princip bag GR er netop, at der gælder generel covarians. Og det betyder, at man altid kan transformere til et andet koordinatsystem, uden at det ændrer på fysikken. Se f.eks. dette paper: Cook, R. J., & Burns, M. S. 2009, American Journal of Physics, 77, 59 <https://arxiv.org/pdf/0803.2701.pdf>

De laver en konkret transformation, til et statisk univers, hvor man kan fortolke alt inden for regler af speciel relativitetsteori, SR, og der kan intet bevæge sig hurtigere end lyset."

Eksperten fortsætter: "Begrebet hastighed skal defineres rigtigt. Man kan **ikke** bare sige hastighed = afstand/tid. Grunden er, at i SR (og GR) blandes tid og rum sammen i Minkowski rumtiden. Det er jo grunden til at vi finder tvillingeparadokset og alt andet sjovt. Og når man laver disse udregninger korrekt, så finder man faktisk, at hastigheden (defineret korrekt) aldrig overstiger lysets hastighed. Jeg tror dette blev vist første gang i Synge, J. L. 1960, Series in Physics, Amsterdam: North-Holland Publication Co. Men der er jo ingen der kan finde ud

af at citere de oprindelige artikler længere (inklusiv mig selv, suk suk). Det er beskrevet mere pædagogisk i det nævnte paper af Cook og Burns."

En anden ekspert, Peter Laursen, skriver: "Man må ikke blande speciel og generel relativitetsteori sammen. Det er jo heller ikke helt trivielt matematik, men grundlæggende er svaret — som du jo godt kender, men her formulerer jeg det måske lidt anderledes — at

1. Speciel relativitetsteori viser, at intet kan bevæge sig gennem rummet hurtigere end lyset, på baggrund af den antagelse, at lysets hastighed er den samme for alle *inertielle* observatører, dvs. observatører der ikke accelererer.
 1. Denne antagelse kan ikke bevises, men er eftervist talrige gange, mest berømt af Michelson & Morley i 1887, men siden da til højere og højere præcision.
 2. Det er dette resultat, som mange kender til og refererer til.
2. Generel relativitetsteori viser, at rummet ikke nødvendigvis beskrives ved den vante Euklidiske geometri, men kan antage andre "former". På tilstrækkelig lille skala (formelt set infinitesimalt lille skala) gælder SR stadig, og derfor vil SR-regler se ud til at gælde lokalt. Men f.eks. i nærheden af tunge legemer kan rummets geometri ændres så meget, at man *på afstand* kan se, at f.eks. lysstråler ændrer retning (hvilket jo også er en ændring i hastighed).
3. I 1922 viste Alexander Friedmann så, at en løsning til Einsteins feltligninger (altså fra GR) var, at rummet ikke blot lader sig *krumme*, men også er *dynamisk*, dvs. i stand til ændre form og størrelse med tiden. Stadigvæk gælder SR lokalt, og intet kan overhale lyset, men der er intet i alle disse ligninger, der forbyder rummet mellem to observatører at udvide sig eller trække sig sammen med vilkårlig stor hastighed. Observatørerne bevæger sig jo ikke gennem rummet med superluminale hastigheder, men afstanden mellem dem vokser vilkårlig hurtigt. En milliard gange lysets hastighed? Intet problem!

Så jeg vil sige, at der ikke findes én enkelt ligning der viser, at to observatører, eller galakser, kan fjerne sig med hastigheder større end lysets. Det er indeholdt i det samlede sæt af ligninger fra SR, GR, og Friedmann-ligningerne. Dette bliver jo nok lidt meget at give i et appendiks, men du kunne eventuelt vise denne version

af Friedmanns første ligning, som jeg tror er nogenlunde til at forstå for lægmænd med gode matematiske forudsætninger:

$$\frac{H^2(a)}{H_0^2} = \frac{\Omega_r}{a^4} + \frac{\Omega_M}{a^3} + \frac{\Omega_k}{a^2} + \Omega_\Lambda$$

Ligningen viser sammenhængen mellem rummets udvidelseshastighed H , der kan angives som *km per sekund per megaparsec*, (H er derfor egentlig en *rate*, ikke en *hastighed*, som der står her) og skalafaktor a , givet nogle konstanter (Ω 'erne) som beskriver energitætheden af universets bestanddele.

Mere udførlige forklaringer gives i wikipedia, men selve ligningen er der skrevet lidt anderledes: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Friedmann_equations

Heraf kan man se, at rummets udvidelseshastighed H udelukkende afhænger af tæthederne af de forskellige former for stof og energi der ligger i rummet. Uanset hvilke værdier man putter ind som Ω fås, at H har en værdi der giver en hastighed mellem to punkter som er proportional med deres indbyrdes afstand. Dvs. at for tilstrækkeligt store afstande, fås vilkårligt store hastigheder. Altså, der er ikke nogen asymptotisk grænseværdi, sådan som man ser i SR."

A7: Relativitetsteori og komplekse tal

Her følger noget om den historiske baggrund for den fysik og matematik, der ligger i GR.

Har rummet 3 eller 4 dimensioner? Svaret er: rummet har tre dimensioner, mens rumtiden, som anvendes i relativitetsteorien, har 4 dimensioner, hvor man anvender komplekse tal. Meget mere om rumtiden findes her:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Spacetime>

Det var den tyske matematiker Hermann Minkowski, der præsenterede rumtiden i 1907, kun et år før han døde i en alder af kun 44 år. I hans wikipedia står: "...Minkowski is perhaps best known for his work in relativity, in which he showed in 1907 that his former student Albert Einstein's special theory of relativity (1905) could be understood geometrically as a theory of four-dimensional space–time, since known as the *Minkowski spacetime*".

Minkowski har sagt, at han var meget forbavset over, at Einstein var i stand til at fremsætte relativitetsteorien i 1905, for han havde haft Albert Einstein som

student i Zürich og huskede ham som mindre dygtig. Einstein har dengang måske været for optaget bl.a. af sit arbejde på patentbureauet, hvor han var ansat, til også at læse på lektierne i matematik.

Videre fra kapitlet om *history* i artiklen om *spacetime* i wikipedia: "Einstein, for his part, was initially dismissive of Minkowski's geometric interpretation of special relativity, regarding it as *überflüssige Gelehrsamkeit* (superfluous learnedness). However, in order to complete his search for general relativity that started in 1907, the geometric interpretation of relativity proved to be vital, and in 1916, Einstein fully acknowledged his indebtedness to Minkowski, whose interpretation greatly facilitated the transition to general relativity."

Ved en præsentation om "Space and Time" i september 1908 sagde Minkowski: "The views of space and time which I wish to lay before you have sprung from the soil of experimental physics, and therein lies their strength. They are radical. Henceforth space by itself, and time by itself, are doomed to fade away into mere shadows, and only a kind of union of the two will preserve an independent reality."

A8 Referencer efter [5]

[6] Mihran Vardanyan, Roberto Trotta and Joseph Silk 2018, **How flat can you get? A model comparison perspective on the curvature of the Universe**. 15pp
<https://arxiv.org/pdf/0901.3354.pdf>

[7] Tamara M. Davis, Charles H. Lineweaver 2003, **Expanding Confusion: common misconceptions of cosmological horizons and the superluminal expansion of the Universe**. 26pp <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0310808>.

[8]-[13] betegner referencer i wikiCP: **Cosmological principle**,
https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmological_principle

2021.02.10

A9 Opdatering

A9.1 Gravitation from masses outside the OU?

The Newtonian gravitational force from a uniform spherically symmetric shell is zero at any point inside the shell. Masses outside our OU will however affect masses inside by gravitational forces if their distribution is not symmetric as stated in the paper for Kvant. But it has now become clear to me that we cannot observe this effect.

Two questions

In early 2021, I asked an astrophysicist about the possibility to detect gravitational effects from the universe outside the OU. The answers in both cases were statements to the negative, but they were very short and I could not understand the reasoning given. Therefore I have later pursued the subject. The expert wanted to stay anonymous and not to be quoted. My two questions were Q1 and Q2:

Q1: For the Planck mission is mentioned the following by ESA in the notes A4 and A5 of my paper: ... *two anisotropies [in the Planck data] are, in fact, statistically significant and can no longer be ignored.* I asked: Is that understood as detection of a structure of something outside the OU ?

Q2: My next question was more general about gravitational effects from outside masses on the distribution of mass and the motion of objects inside OU. In case the distribution outside OU is spherically symmetrical there will be no gravitational effect inside. But will there be a detectable effect if the distribution of mass outside deviates from spherical symmetry ?

Here ended the text on 10 February.

I will keep the rest of my update for myself for a while. If a reader wants to know **or if he has found the explanation** why we cannot observe the gravitational effect he is welcome to ask by mail to ehoeg@hotmail.dk. - **Gerne på dansk.**

Further update of A9.1 on 30 August 2021:

The speed of gravitation

The force of gravitation between two masses is attractive, it is proportional to the product of the two masses and inversely proportional to the square of their distance. This is common knowledge among astronomers and many others. But what is the speed of gravitation? With which speed does this force propagate through space? I thought the answer would be: the speed of light, c . But to be sure, I asked an astrophysicist and got no real answer at first. Finally he said: ask a cosmologist. When I did so, the immediate answer was: the speed of light, c . In my paper for Kvant, however, this finite speed was not taken into account. Then my reasoning took a new turn.

Detection of gravitational effects

Any mass in the universe has its own particular observable universe (OU) with the same radius as our OU, $R = 46$ Glyr (Gigalightyears). A mass can only be affected by gravitational forces from other masses within its OU because the gravitational force propagates with the speed of light.

The gravitation from masses outside our OU can in principle change motions and distributions of masses inside our OU. Consider, e.g., a disturbing mass at a distance $1.2 R$ from us, its gravitation will reach as close to us at $0.2 R$ in the time available since BB, i.e. by now. A detection of this effect can only be obtained by observation of positions and/or distances of masses. This requires that a signal, light or some electromagnetic radiation, shall reach the Earth from these masses at $0.2 R$ from us. This will happen far into the future, millions of years from now, so we must conclude that the effect is not observable at the present time.

This means the claim in my Kvant paper is in principle correct that gravitation from masses outside our OU can change motions and distributions of masses inside our OU. But such changes are not detectable for us on Earth at the present time.

Så er den sag vist klaret?
