

Fra Fysikkens Verden



Einsteinring av lys fra en fjern galakse
(Se artikkel om Einbus nova og Einstein)

Nr. 2 – 2012
74. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øyvind Grøn
Marit Sandstad

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Jan-Erik Solheim	
Einbus nova –	
Einstein og gravitasjonslinser	39
Ø. Grøn og H. Knutsen:	
Kvasarspektra	
og universets historie	44
Fra Redaktørene	38
FFV Gratulerer	38
NOKUTs utdanningspris	
til realfag og fysikere ved UiO	
Kommentar	50
Om universets utvikling	
Hva skjer	52
Fysikkolympiaden 2012	
Fysikkformidling med smell!	
Nye Doktorer	55
PhD Hanne Sigrun Byhring	
Trim i FFV	55

Fra Redaktørene

Det er spennende tider for fysikken. Flere store eksperimenter er godt igang og vil levere nye resultater i løpet av året som kommer. LHC vil etter all sannsynlighet enten finne tydelig bevis for Higgs-bosonets eksistens, eller utelukke et Higgs-boson av typen vi har forventet i standardmodellen for partikkelfysikk. Planck-satellitten er også i ferd med å levere sine data for kosmisk bakgrunnsstråling. I begge tilfeller kan vitenskapen nå høste fruktene av lang tids arbeid, planlegging og teknologiutvikling som ledet fram til disse fantastiske eksperimentene.

Den siste dagen i mai ble årets kavliprismennere kunngjort. Disse viser også i stor grad hvordan teknologi og vitenskapsutvikling henger sammen. Astrofysikkvinnerne David C. Jewitt, Jane Luu og Michael E. Brown, blir i høst tildelt Kavliprisen for sine oppdagelser og kategorisering av astronomiske objekter i Kuiperbeltet. Kuiperbeltet er en region ytterst i solsystemet utenfor planetbanene. Tidligere ble dette området sett på som tomt og uinteressant. Jewitt og Luu bestemte seg for å undersøke området nærmere likevel. De fant et objekt, men først da CCD-kameraene ble tatt i bruk til astronomiske observasjoner, var de istand til å se et stort antall objekter i Kuiperbeltet. Dermed startet utforskningen og kategoriseringen av et utall objekter som også Brown deltok sterkt i. Idag er Kuiperbeltets rike struktur og mange objekter allerede et veletablert faktum og en hovedårsak til at Pluto ikke lenger regnes som en planet. Den nye kunnskapen om Kuiperbeltet har vist at Pluto bare er en av mange objekter i den ytre delen av solsystemet, hvorav den ikke engang er størst.

For vinneren i nanofysikk, Mildred S. Dresselhaus, var det ikke ny teknologi som muliggjorde hennes oppdagelser. Hun startet teoretiske beskrivelser av grafen og karbon nanorør allerede før noen hadde vært i stand til å lage dem. Hun får prisen for sine beskrivelser av elektriske og termiske egenskaper i disse materialene og hvordan de kan endres ved å endre nanorørets geometri og opprullingsvinkel. Om noen år vil kanskje teknologi utviklet ved hjelp av disse fantastiske materialene som bidra til nye vitenskapelig oppdagelser.

Marit Sandstad

∞

FFV Gratulerer

NOKUTs utdanningskvalitetspris til realfag og fysikere ved UiO

Nasjonalt organ for kvalitet i utdanningen (NOKUT) deler hvert år ut en utdanningskvalitetspris for "tiltak som igangsetter vedvarende aktiviteter knyttet til heving av utdanningskvalitet". Prisen for 2012 deles mellom Høgskolen i Lillehammer for et prosjekt for kvalitetsheving i utdanning for studenter innen HR (*Human Resources*), Høgskolen i Gjøvik for et prosjekt for de helsefaglige profesjonsutdanningene, og "Computing in Science Education" (CSE)-prosjektet ved Universitetet i Oslo.

CSE er et samarbeidsprosjekt mellom instituttene for fysikk, matematikk og informatikk. Formålet er å integrere beregninger og beregningsorientert tenkning fra starten av studiene i matematikk og fysikk. Studentene lærer seg fra første semester å skrive programmer med fokus på fysiske og matematiske beregninger om beregningsorienterte algoritmer og presisjon på datamaskiner, samtidig som de lærer tradisjonelle regnemetoder og matematikk. I de påfølgende semestrene følges dette opp ved at læring av tradisjonell mekanikk kombineres med numeriske beregninger. Dermed står studentene bedre rustet til arbeid i forskning og privat næringsliv der numeriske beregninger er en nødvendig del av realisters "verktøykasse".

CSE-prosjektet er drevet og utviklet av Knut M. Mørken og Tom L. Lindstrøm ved Matematisk institutt, Hans-Petter Langtangen og Øyvind Ryan ved Institutt for informatikk, og Morten Hjort-Jensen og Anders Malthe-Sørensen ved Fysisk institutt, og har fått sterk støtte fra ledelsen ved Det matematisk-naturvitenskapelige fakultetet, spesielt fra prodekan for utdanning, Annik M. Myhre.

Vi gratulerer med en velfortjent pris for systematisk og godt arbeid gjennom mange år. Spesielt vil vi gratulere fysikerne Morten Hjort-Jensen og Anders Malthe-Sørensen. Vi gleder oss med dem og med alle fysikkstudentene som har nytt, og nyter godt av CSE-prosjektet.

∞

Sigurd Einbu nova – Einstein og gravitasjonslinser

Jan-Erik Solheim *

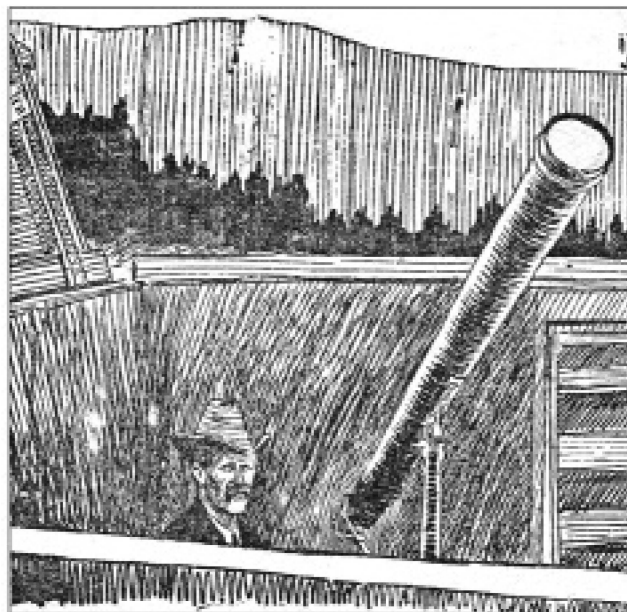
Den norske astronomen Sigurd Einbu oppdaget den 12. mars 1912 ei ny stjerne (Nova Geminorum 1912 Enebo). Dette inspirerte Albert Einstein til å gjenoppta arbeidet med sin generelle relativitetsteori og beregne virkningen av en gravitasjonslinse. Den norske astrofysikeren Sjur Refsdal var den første som viste hvordan gravitasjonslinser kan brukes til å bestemme universets ekspansjonshastighet. Det første eksempel på en gravitasjonslinse ble funnet i 1979. I dag er gravitasjonslinser det viktigste hjelpemiddel til å finne mørk materie i universet.

Astronomen på Dombås

Sigurd Einbu var en internasjonalt anerkjent norsk astronom. Han var født på Lesjaskog i 1866 og ble i 1926 tildelt Nansenprisen for fremragende forskning, en heder han deler med kjente forskere som Kristian Birkeland, Carl Størmer, Svein Rosse-land, Lars Vegard og Sjur Refsdal. Einbu var en tid skolelærer på Dombås, men fikk fra 1909 statsstipend for å konsentrere seg helt om sine astronomiske observasjoner. Han hadde ikke formell utdanning utover middelskole og lærerskole, men lærte seg astronomi, matematikk og språk på egen hånd – med god hjelp av sin mentor, observator Jens Chr. Schroeter ved Observatoriet i Kristiania. I 2009 ble det avduket en bauta over Sigurd Einbu ved Lesjaskog kirke. Denne begivenheten og litt om Einbus liv, er beskrevet i FFV,⁽¹⁾ i Astronomi⁽²⁾ og i en nylig utkommet bok om Einbu.⁽³⁾

En astronomisk verdensbegivenhet

Om kvelden den 12. mars 1912 satt astronomen Sigurd Einbu, eller Enebo som han da het, i sitt jordgropobservatorium på Brennøygarden på Dombås



Figur 1. Sigurd Einbu i sitt jordgropobservatorium. Ideen om å observere på denne måten hadde han fra Tycho Brahe som konstruerte et jordgropobservatorium (Stjerneborg) på øya Ven, som han fikk til sin astronomiske forskning etter å ha oppdaget en nova i 1572. (Skisse fra boka om Sigurd Einbu.⁽³⁾)

(se figur 1) og observerte variable stjerner med sitt 12,5 cm teleskop. Han skulle akkurat til å notere, på sin skriveplate, observasjoner han hadde gjort av stjerner i stjernebildet Tyren, da han kikket opp på himmelen – og plutselig ble klar over ei ny sterk stjerne i stjernebildet Tvillingene (Gemini) litt høyere oppe på himmelen. Dette var et stjernebilde han ofte observerte for å følge flere variable stjerner. Det var også her det var oppdaget ei ny stjerne i 1903. Den hadde fått navnet *Nova Geminorum 1903*. I all hast fikk Sigurd Einbu kona si, Helga, som kjente stjernehimlen godt, til å se nøye på stjernebildet Tvillingene. Hun var enig i at det var kommet ei ny sterk stjerne til syne der, og at det ikke var innbilning fra Sigurd. Så løp han, så raskt han kunne, opp til telegrafstasjonen på Dombås som var stengt for kvelden. Men han fikk åpnet stasjonen og fikk meldt observasjonen til Det As-

* Institutt for teoretisk astrofysikk, UiO.

tronomiske Centralbyrået i Kiel som hadde til oppgave å registrere og videreformidle informasjon om viktige astronomiske hendelser. Einbu var først, og dermed ble hans navn knyttet til denne nye stjerna.

Hva er en nova?

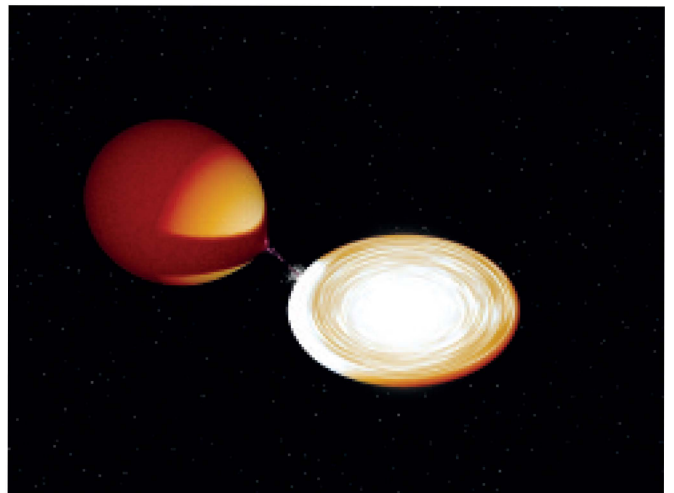
En nova er ei ny stjerne som uventet kommer til syne på himmelen. Navnet stammer fra Tycho Brahe som observerte og beskrev en nova som dukket opp i stjernebildet Kassiopeia i 1572. Dette var en vitenskapelig revolusjon – stjernene skulle ifølge det klassiske verdensbildet være uforanderlige lyspunkter på himmelen. Nye stjerner kunne slett ikke oppstå. Tycho Brahe forklarte det med at Gud nok var litt sent ute med denne nye stjerna – som forøvrig forsvant fra himmelen igjen et halvt år senere.

I løpet av det forrige århundre ble det oppdaget 19 novaer sterkere enn magnitudo 5. Disse kunne sees uten teleskop. Den første kom i 1901 i stjernebildet Perseus. Dette var få år etter at spektrografer var tatt i bruk på teleskop, noe som førte til klassifikasjon av stjerner basert på stjernenes spektra. De fleste stjerner har mørke spektrallinjer som skyldes absorpsjon i stjernenes atmosfære. Men Nova Perseus 1901 hadde lysende linjer, emisjonslinjer, som til da bare var funnet i tåkeliknende objekter. Det tydet på at strålingen kom fra en tynn gass. Fotografier tatt etter novautbruddet viste da også at Nova Perseus var omgitt av tåkerester. Det man hadde lagt merke til var at alle novaer så ut til å ligge i Melkeveien, der det også er mørke tåker som stenger for lys fra bakenforliggende stjerner.

En mulig forklaring på novafenomenet for 100 år siden var at dette var døde stjerner som på sin ferd gjennom verdensrommet (Melkeveien) traff en mørk gasståke, og at lyset kom fra varme som ble utviklet ved kollisjonen.⁽⁴⁾ På denne tiden var det ikke kjent at stjernene lyser på grunn av kjernereaksjoner som utvikler energi i deres indre. Det var kun gravitasjonsenergi frigitt ved sammentrekning av ei gasskule som kunne få ei stjerne til å lyse – noen millioner år. Dette var for kort tid til å kunne forklare jordas geologiske alder på flere milliarder år. Problemet med stjernenes energiproduksjon ble først løst i samarbeid med kjente atomfysikere som Bethe og Gamow i slutten av 1930-årene. Men novamysteriet, som Einbu kalte det, ble ikke løst før etter Einbus død i 1946.

Først i 1964 ble det klart at en nova skyldes en eksplosjon i et dobbeltstjernesystem. Den amerikanske astronomen Robert Kraft (1927-)

brukte 5 m teleskopet på Mt. Palomar i California, den gang verdens største teleskop, til korte eksponeringer av spektra av tidligere novaer. Han fant at de var dobbeltstjernesystem med perioder fra 3 til 9 timer. Systemene består av ei rød normal stjerne og ei hvit dvergstjerne (se figur 2). Den hvite dvergstjerna har masse litt under en solmasse og radius som jorda. Det betyr at tyngdekraften på overflaten er mer enn en million ganger sterkere enn tyngdekraften på jorda. Dette fører til at den hvite dvergstjerna trekker til seg stoff (masse) fra den normale stjerna. Dette stoffet samles i en ring, eller en skive, rundt den hvite dvergstjerna og faller etter hvert ned på overflaten av stjerna. Stoffet som overføres består hovedsakelig av hydrogen. Når tettheten av dette hydrogenet er stort nok blir det utløst en kjernefysisk eksplosjon.



Figur 2. Einbus nova har som variabel stjerne fått navnet DN Gemini. Det er et dobbeltstjernesystem hvor ei normal rød stjerne (til venstre) er så nær ei hvit dvergstjerne at stoff (hydrogen) trekkes fra den normale stjerna over til dvergstjerna. Stoffet lagres først i ei skive rundt denne for etter hvert å trekkes ned på overflaten. Når en kritisk stoffmengde er overført vil hydrogenlaget eksplodere som en H-bombe. Dette fører til en kraftig lysøkning som vi registrerer som en nova. (Laget av Robert Hynes 2012, og gjengitt med tillatelse).

I motsetning til kjernereaksjoner med hydrogen inne i sentrum av ei stjerne, er det ingen ting som stopper denne eksplosjonen. De ytre lagene blåses opp, og stjerna kan lyse 10 til 100 000 ganger sterkere i en dag eller to. Dette er novautbruddet. Ettersom eksplosjonsskyen sprer seg utover blir temperaturen lavere, fargen blir rødere og lyset svakere. Den hvite dvergstjerna blir omtrent uforandret etter et novautbrudd og kan ha flere slike utbrudd med tusen års mellomrom. *En nova er derfor*

ikke ei ny stjerne, men ei gammel stjerne som får nytt liv i en kort periode.

For astronomene i 1912 var det viktig å observere novaer så raskt som mulig, slik at både lysendringene og endringene i spektrene kunne registreres. Dette for å finne en forklaring på deres plutselige tilsynekomst og tilsynelatende korte liv på noen få måneder.

Fra Centralbyrået i Kiel gikk det derfor ut meldinger til europeiske observatorier og til Harvard-observatoriet i USA, som formidlet oppdagelsen til andre observatorier på den vestlige halvkule. Snart var mange av verdens store teleskoper i gang med å observere Einbus nova, eller *Nova Geminorum 1912 Enebo*, som ble det offisielle navnet. Hvordan denne novaen ble observert og har endret seg fram til i dag, er beskrevet i en nylig utkommet bok.⁽³⁾

Etter et par uker kunne ikke Einbus nova lenger sees med det blotte øye. Men den kunne følges i kikkert til den forsvant i morgendemringen et halvt år senere. I dag, 100 år etterpå, observeres dette dobbeltstjernesystemet, som har fått navnet *DN Gemini*, med magnitudo 16, dvs. 100 000 ganger svakere enn da maksimum ble observert den 14. mars 1912, to dager etter Einbus oppdagelse. Rundt stjerna observeres restene av denne eksplosjonen, som etter beregnet avstand, fant sted lenge før Gallilei rettet sitt teleskop mot himmelen.

Einstein på Potsdam-observatoriet

I det følgende vil jeg beskrive hvordan Albert Einstein ble inspirert av Einbus nova til å beregne forsterkning av lys ved gravitasjonslinsevirkning. Fremstillingen bygger på Einsteins kladdebok fra 1912, som nylig er funnet.⁽⁵⁾

Ett av observatoriene som observerte Einbus nova var Potsdam-observatoriet i Tyskland, se figur 3. Det ligger på Telegraphhøyden, i det som nå heter Einsteins Vitenskapspark. Observatoriet hadde i 1900 verdens største teleskop, en dobbeltrefraktor med linser på 80 og 50 cm. Observatoriet rommet også et solteleskop som ble tatt i bruk i 1879 for å gjøre spektrografiske undersøkelser av lys fra sola. I kjelleren på dette observatoriet gjorde fysikeren Albert M. Michelson i 1881 sine første interferometereksperimenter som viste at lyset beveger seg med samme hastighet enten det sendes ut i samme retning som jorda beveger seg, eller vinkelrett på. Dette fikk betydning for Einsteins spesielle relativitetsteori som kom i 1905.



Figur 3. Potsdam-observatoriet i 2011. Her fikk Einstein høre om Einbus nova i april 1912. Det inspirerte ham til å fortsette arbeidet med sin generelle relativitetsteori og til å vise at lysstråler bøyes rundt kompakte astronomiske objekter.

Albert Einstein hadde aldri besøkt Potsdam-observatoriet før han, etter invitasjon fra Erwin Finlay-Freundlich (1885–1964), oppholdt seg der i tidsrommet 12–25 april 1912. På den tiden observerte Freundlich Einbus nova, og Einstein ble interessert. Han skriver i et senere brev at han hadde arbeidet lenge med en generell relativitetsteori som skulle gå videre enn den spesielle – som ikke omfattet gravitasjon. Den generelle teorien skulle gi en relativistisk beskrivelse av alle typer gravitasjonsfenomener, inkludert hvordan gravitasjon påvirker lysets, tidens og rommets egenskaper. I begynnelsen av 1912 hadde dette arbeidet kjørt seg fast. Men da Einstein hørte om Einbus nova, fikk han en idé som skulle få store konsekvenser: *Lysavbøying ved gravitasjon gjør at en ansamling av masse kan virke som en linse!*

Einstein beregner virkningen av gravitasjonslinser

Einstein hadde i 1911 fullført et arbeid som viser at lysstråler kan avbøyes i et gravitasjonsfelt.⁽⁶⁾ Han viste at dette var en direkte konsekvens av ekvivalensprinsippet. I dette arbeidet utledet Einstein at avbøyningsvinkelen, v , for lys som passerer en stjerne (punktlyskilde) med masse M , kan skrives som

$$v = 2GM/c^2\rho, \quad (1)$$

hvor G er gravitasjonskonstanten, c er lyshastigheten og ρ er den korteste avstanden mellom massesenteret til stjerna (med masse M) og lysstrålen som

passerer stjerna. I dette uttrykket kan vi skrive $a = 2GM/c^2$ som har enheten lengde, og senere ble kalt *Schwarzschilds radius*. Avbøyningen gitt i formel (1) er halvparten av den korrekte verdien som Einstein senere utledet fra den generelle relativitetsteorien, som han fullførte i desember 1915.

Einstein besøkte Potsdam for å diskutere med Freundlich om det lot seg gjøre å måle lysavbøyning ved solranden under en fremtidig solformørkelse.

I Einsteins kladdebok⁽⁵⁾ utledes "linseligningen" som viser i hvilken avstand, r , en lysstråle vil være fra den optiske akse når den har passert en stjerne med masse M i en avstand ρ , når avstanden fra lyskilden til den lysavbøyende stjerna er R , og denne stjerna ligger i avstanden R' fra oss (se figur 4):

$$R = \rho \frac{R + R'}{R} - \frac{R' \alpha}{\rho}. \quad (2)$$

Denne ligningen kan gjøres dimensjonsløs ved å innføre to nye variabler:

$$r_0 = r \sqrt{\frac{R}{R'(R + R')\alpha}} \quad (3)$$

og

$$\rho_0 = \rho \sqrt{\frac{R + R'}{RR'\alpha}} \quad (4)$$

Dette gir en enkel linseligning:

$$r_0 = \rho_0 - \frac{1}{\rho_0}. \quad (5)$$

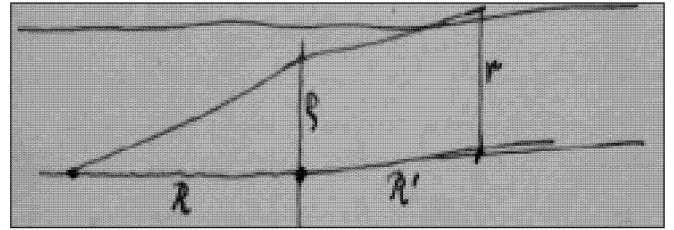
Einstein viste at siden dette er en kvadratisk ligning for ρ_0 , har den to løsninger, dvs. at lysstrålen kan i planet gå over eller under stjerna som bøyer den. Han fant også ut at dersom kilden og den avbøyende stjerna var eksakt på linje i forhold til observatøren, ville denne observere en ring, senere kalt "einsteinring", med radius $r_0 = 1$. Einstein regnet ut at ringen ville være så liten at den ikke ville være synlig som en ring, men at lyset ble samlet i et punkt med en forsterkning fra objektet som lå bakerst. I kladdeboka regner Einstein for første gang ut hvor stor denne forsterkningen ville bli:

$$\mathcal{H}_{tot} = H \left\{ \frac{1}{1 - \frac{1}{\rho_1^4}} + \frac{1}{\frac{1}{\rho_2^4} - 1} \right\} \quad (6)$$

Hvor ρ_1 og ρ_2 er de to løsningene av ligning (5), og H er lysstyrken til stjerna uten forsterkning. Uttrykt ved avstanden r kan forsterkningen skrives:

$$\mathcal{H}_r = \sqrt{1 + \frac{1}{r^2(1 + \frac{1}{4}r^2)}} \quad (7)$$

hvor $\mathcal{H}_r$ er forsterkningsfaktoren i avstanden r fra den optiske akse. Av det siste uttrykket ser vi at forsterkningen går mot 1 når $r \rightarrow \infty$, og mot $1/r$ når $r \rightarrow 0$.



Figur 4. Endring av retningen til en lysstråle fra punktet lengst til venstre når det passerer et massepunkt i avstand ρ , slik det er gjengitt i Einsteins kladdebok fra 1912.⁽⁵⁾

Det som inspirerte Einstein til å regne ut denne forsterkningen var den raske økningen i lyset fra Einbus nova. Det kunne forklares ved at de to stjernene beveget seg i forhold til hverandre og plutselig kom på en rett linje slik at lyset ble forsterket i en ring, men som var for liten til å kunne observeres.

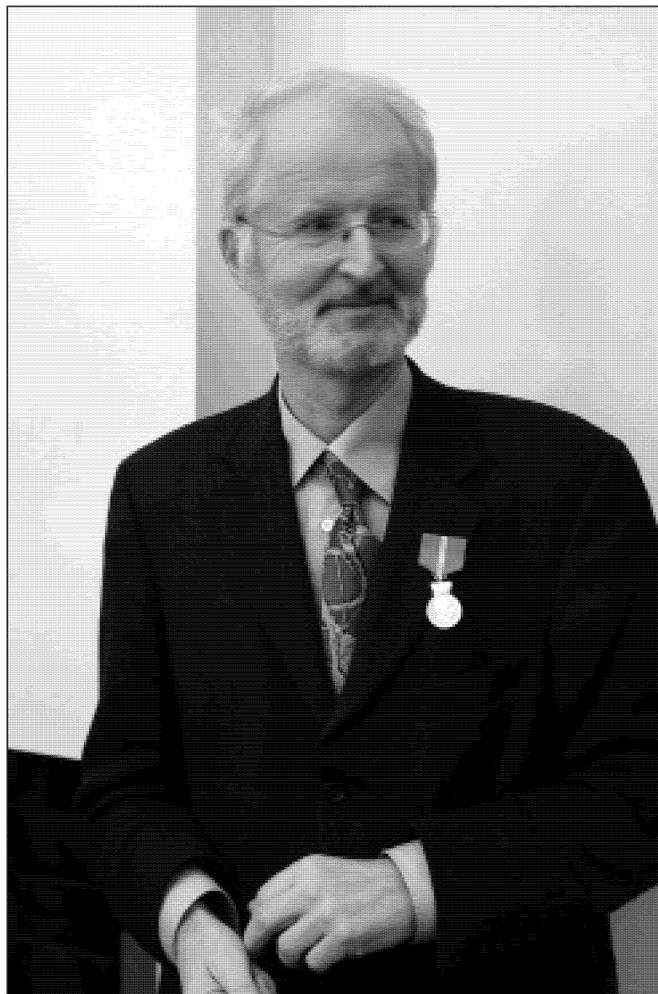
I et brev, sannsynligvis skrevet i oktober 1915, skriver Einstein at han har forlatt ideen om at en nova kan forklares som en gravitasjonslinse, av tre grunner:

1. Lyset fra en gravitasjonslinse vil forandre seg symmetrisk i tid, dvs. at det vil gå like fort opp som ned, mens lysstyrken fra Nova Geminorum 1912 Enebo gikk mye raskere opp enn ned.
2. Lyset fra en gravitasjonslinse vil ikke skifte farge, mens novaen endret farge. Den var først blå-hvit og ble senere rødligere. Dette skyldes eksplosjonsrestene som utvidet seg og ble avkjølt.
3. Sjansen for at to stjerner skal stå nøyaktig på linje er forsvinnende liten. Det måtte da være minst en milliard ganger flere stjerner i verdensrommet enn de ca. 300 000 man kjente til.

Einstein la nå til side beregningene av gravitasjonslinser. Men da det ble spørsmål om det et par tiår senere, fant han dem fram igjen og publiserte en kort notis i *Science* i 1936.⁽⁷⁾ Effekten ble diskutert, men sannsynligheten for at den kunne observeres ble ansett for å være svært liten. Den første som publiserte noe om gravitasjonslinser var imidlertid den russiske fysikeren Orest Cwolson i 1924.

Sjur Refsdal lanserer gravitasjonslinser på nytt

Gravitasjonslinseeffekten ble forklart på en elegant måte av den norske astrofysikeren Sjur Refsdal (1935–2009). Dette skjedde i to artikler som kom ut i 1964,^(8,9) basert på hans hovedfagsoppgave ved Fysisk institutt, Universitet i Oslo, med Erik Eriksen som veileder.



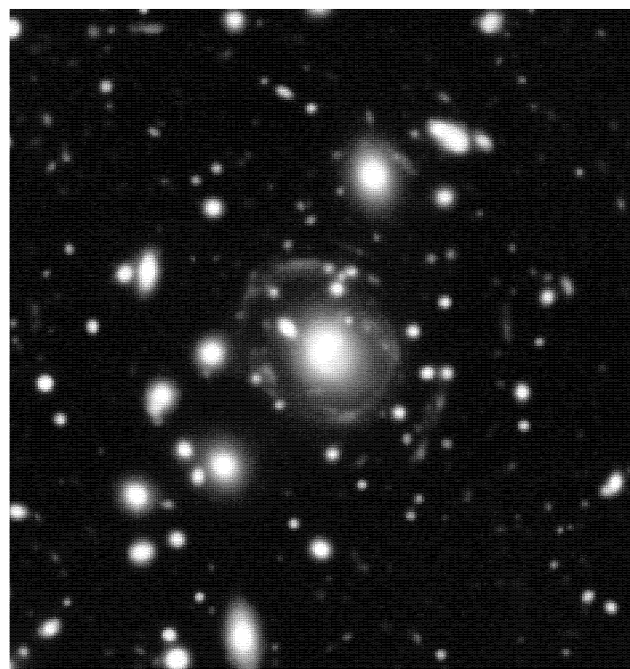
Figur 5. Sjur Refsdal (1935–2009) var den som først viste at det var stor sannsynlighet for at virkningen av gravitasjonslinser kunne observeres.

Refsdal beregnet at sannsynligheten for å finne en gravitasjonslinseforsterkning av lys fra stjerner var ganske stor, men det ville kreve overvåkning av hele himmelen å finne slike. Dette ville være vanskelig hvis effekten var kortvarig. Han regnet også på linseeffekter mellom stjerner i forskjellige galakser og fant at linseeffekten kunne resultere i to bilder som kunne endre lysstyrke med dagers eller ukers mellomrom. En slik observasjon kunne fortelle oss hvor raskt universet utvider seg. Først

noen tiår senere ble det gjort observasjoner som tillot astronomene å bestemme universets ekspansjonshastighet. En pedagogisk artikkel med Refsdals utledning ble publisert i 1992.⁽¹⁰⁾

Gravitasjonslinser kan påvise mørk materie

Det første gravitasjonslinseobjektet som ble funnet var et dobbelt bilde av en kvasar (0957+561 A,B) i 1979. Den består av to bilder 5,7 buesekunder fra hverandre og har identisk spektrum.⁽¹¹⁾ Etter hvert er det funnet mange gravitasjonslinseobjekter og Einstein-ringer. Det er særlig kompakte objekter som svarte hull, som kan gi kraftige linseeffekter. Effekten er spesielt viktig i leting etter mørk materie, dvs. stoff som har tyngdekraft, men ikke sender ut lys. I dag mener forskerne at kun 4 % av det vårt univers inneholder er lysende masse, 23 % er mørk masse og 73 % er mørk energi. Gravitasjonslinserne gjør det usynlige synlig og er svært viktige for kartlegging av innholdet i universet. Et eksempel på en einsteinring er vist i figur 6. Her er det en galaksehopp som fungerer som linse.



Figur 6. Her er lys fra en fjern galakse blitt bøyd av en galaksehopp som ligger foran og lager en nesten perfekt einsteinring. Forgrunnsgalakserne er litt oransje i kantene. Det betyr at de består av gamle stjerner. Den blå ringen kommer fra lyssterke unge stjerner i galaksen bakenfor. Avbøyningen skyldes også mørk masse i galaksehopen. Slik blir den mørke massen synlig. (Observeret av Håkon Dahle med Subaru teleskopet på Hawaii i april 2007.)

Det kan nevnes at linseeffekter fra stjerner nå er observert. Linsen kan være ei stjerne i en fjern galakse eller ei stjerne i vår egen galakse. Disse kalles mikrolinser. Refsdal var også den første til å beregne slike effekter. Det er også observert linseeffekter fra planeter rundt stjerner i vår egen galakse. Denne effekten er viktig for å kunne påvise nye planeter utenfor vårt solsystem (eksoplaneter) som kan være av samme størrelse som jorda og kanskje kan ha mulighet for liv.

Etterord

Spørsmålet om bebodde kloder utenom planeten jorda var noe som opptok Einbu, og han skrev i 1928 en bok hvor han argumenterte sterkt for at det må finnes bebodde planeter utenom vår egen.⁽¹²⁾ Einbu ville nok ha satt pris på å få vite at novaoppdagelsen hans i 1912 har ført til en metode for å oppdage slike jordlignende planeter utenom vårt solsystem!

Takk til Rolf Stabell og Øyvind Grøn for verdifulle innspill i arbeidet med denne artikkelen.

Referanser

1. Asgeir Brekke: *Amatørastronomen Sigurd Einbu heidra med minnesmerke*. Fra Fysikkens Verden **71**, Nr. 4, 129–130 (2009)
2. Torbjørn Urke: *Stjerneoppdagaren frå Lesjaskog*. Astronomi **39**, Nr. 3, 18–21 (2009) og: *Jubileum for stjerneoppdaginga*. Astronomi **42**, Nr. 1, 40–41 (2012)
3. Gunnar Bentsdal, red.: *En himmelrommets fyrvokter. Sigurd Einbu*. ISBN 978-82-303-1986-4, (gun-ben@fjellnett.no)
4. Sigurd Enebo: *Gjennom stjerneverdenen II, Melkeveiens soler*. H. Aschehoug & Co (1924) (Enebo skiftet navn til Einbu i 1924.)
5. Tilman Sauer: *Nova Geminorum 1912 and the origin of the idea of gravitational lensing*. Archive for History of Exact Sciences, **62**, 1–22 (2008)
6. Albert Einstein: *Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes*. Annalen der Physik, **35**, 898–908 (1911) Reprinted in CPAE3, Doc. 23.
7. Albert Einstein: *Lens-like action of a star by the deviation of light in the gravitational field*. Science, **84**, 506–507 (1936)
8. Sjur Refsdal: *The gravitational lens effect*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **128**, 295–306 (1964)
9. Sjur Refsdal: *On the possibility of determining Hubbles parameter and the masses of the galaxies from the gravitational lens effect*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, **128**, 307–310 (1964)
10. Øyvind Grøn og Sjur Refsdal: *Gravitational lenses and the age of the Universe*. European Journal of Physics, **13**, 178–183 (1992)
11. D. Walsh, R.F. Carswell og R.J. Weymann, R.J.: 0957+561A,B: Twin quasi-stellar objects or gravitational lens? *Nature*, 279, **381–384** (1979)
12. Sigurd Einbu: *Bebodde verdener i et nytt lys*. H. Aschehoug & Co (1928)

∞

Kvasarspektra avslører universets historie

Øyvind Grøn * og Henning Knutsen * *

I verdensrommet mellom jorda og fjerne kvasarer finnes store hydrogenskyer. Noe av den elektromagnetiske strålingen fra kvasarene blir absorbert i disse skyene. Dette fenomenet benyttes til å fastslå hva som finnes mellom oss og kvasarene.

Da universet kun var 3 minutter gammelt, var det slutt på syntesen av atomkjerener. Materien i kosmos besto da av frie elektroner, hydrogenkjerener (protoner), vanlige heliumkjerener, relativt få kjernepartikler av den lette varianten av helium, tunge hydrogenkjerener (deuterium) og litium. Dessuten var der et enormt antall nøytrinoer og en meget energirik elektromagnetisk stråling. Det er denne strålingen vi nå finner rester av som kosmisk

* Høgskolen i Oslo og Akershus, og Fysisk institutt, UiO,

** Universitetet i Stavanger.

bakgrunnstråling i mikrobølgeområdet.

Før universet var omtrent 300 000 år var det ugjennomsiktig for elektromagnetisk stråling. Da var temperaturen i den kosmiske bakgrunnsstrålingen så høy at fotonene hindret protonene og elektronene i å slå seg sammen og danne nøytrale hydrogenatomer. Heliumkjerner greide heller ikke å kapre elektroner og således få fram elektrisk nøytralt helium. Dermed eksisterte det i denne perioden relativt mange frie elektroner. Disse elektronene vekselvirket sterkt med strålingen slik at fotonene stadig skiftet retning på sin ferd gjennom kosmos. Derfor var dette plasmaet den rene "tåkeheimen".

Men omtrent 300 000 år etter Big Bang var temperaturen sunket tilstrekkelig til at protonene og elektronene kunne slå seg sammen og danne nøytrale hydrogen- og heliumatomer. Fra da av var det nesten ingen frie elektroner igjen. Strålingen passerte forbi de nøytrale atomene nesten uten å merke deres nærvær. Universet var blitt gjennomsiktig. Deretter levde materien og den kosmisk bakgrunnsstrålingen fritt og uavhengig av hverandre.⁽¹⁾

Kvasarer

Observasjoner av temperaturfluktuasjoner i den kosmiske mikrobølgestrålingen har vist at ved tiden da materie og stråling mistet grepet på hverandre, eksisterte det skala-uavhengige tetthetsfluktuasjoner i den intergalaktiske kosmiske gassen. Hydrogenet og heliumet brukte noen hundre millioner år på å klumpe seg så mye at galaksedannelsen startet. Under denne prosessen med gravitasjonskollaps fikk den vanlige materien antagelig god hjelp av såkalt mørk materie i universet. Ingen vet hva denne mystiske materien består av. Men vi vet at den er til stede, og den føler ikke elektromagnetiske krefter, bare gravitasjon. Derfor kunne denne mørke materien lage *massive* klumper. Disse masseansamlingene var starten på prosesser som endte med at stjerner, galakser og galaksehoper ble dannet.

De første galaksene med stjerner ble trolig dannet mellom 500 millioner og én milliard år etter Big Bang. Den gangen var massetettheten i universet mye større enn nå, og det ble etter hvert dannet galakser med supermassive svarte hull (dvs. med fra 10^5 til 10^7 solmasser) i sentrum av galaksene. Astronomene er ikke sikre på hvordan de supermassive svarte hullene ble til. Muligens kunne svære skyer av hydrogen og helium kollapse direkte og lage "såkorn" med masser mellom 10 000 og 100 000

solmasser. Disse vokste siden til de supermassive svarte hullene som er der nå.

Når en sky av gass og støv trekker seg sammen under påvirkning av sin egen gravitasjon, omdannes gravitasjonsenergi til termisk energi. Da stiger temperaturen og trykket i skyen, og det hindrer en fortsatt sammentrekning. Men dersom skyen er tilstrekkelig masserik, eller greier å stråle ut nok energi slik at oppvarmingen ikke blir så stor, kan sammentrekkingen fortsette.

Astrofysikerne har funnet ut at tilstedeværelsen av tunge grunnstoffer stimulerer utstrålingen. De kaller grunnstoffer tyngre enn helium for "metaller". Det må være tilstrekkelig mye metaller i en sky for at den skal kunne trekke seg sammen til en stjerne av samme type som sola.

I det tidlige univers var tyngre grunnstoffer fraværende.⁽²⁾ Dette betyr at de første stjernene som ble dannet fra den interstellare materien som manglet metaller, var meget massive. Disse stjernene levde et særdeles kort liv (noen få millioner år) og endte snart som svarte hull. Hvis disse svarte hullene oppstod i en tett hop av stjerner, smeltet de gjerne sammen med andre hull og massive stjerner til rene superhull.

Nær galaksekjernene var det et inferno av glohet gass som roterte rundt det svarte hullet og ble trukket mot det. Slike aktive galaksekjerner forårsaket en enorm utstråling. Dette var kvasarer som blant annet sendte ut intens ultrafiolett stråling.⁽³⁾ Det ble nok også dannet mange massive stjerner med høy overflatetemperatur som sendte ut ultrafiolett stråling med stor intensitet.

Kosmisk rødforskyvning

I 1929 fant Edwin Hubble og Milton Humason ved Mount Wilson-observatoriet, at linjene i spekteret for lyset fra fjerne galakser er forskjøvet mot rødt. Astronomene ga en kosmisk tolkning av dette fenomenet. Dette var ikke den vanlige dopplereffekten av spektrallinjene til en lyskilde som beveger seg gjennom rommet og fjerner seg fra observatøren. Kosmologene sin tolkning var at det er selve rommet som utvider seg og tar galaksene med seg når det strekkes. Når rommet ekspanderer, øker den kosmiske skalafaktoren for universet.⁽⁴⁾ Avstanden mellom alle objekter økes, og alle bølger strekkes til større bølgelengder. Om denne avstandsskalaen betegnes med R , og altså varierer med tiden, t , finnes følgende sammenheng mellom bølgelengde, λ , og avstandsskala:

$$\lambda_{obs}/\lambda_{ut} = R(t_{obs})/R(t_{ut})$$

der λ_{obs} er bølgelengden til den observerte strålingen og λ_{ut} er bølgelengden til den utsendte. Videre er t_{obs} observasjonstidspunktet, og t_{ut} er tidspunktet da strålingen ble sendt ut. Denne relasjonen hadde faktisk kosmologen Georges Lemaître funnet fram til allerede i 1927, da han undersøkte dynamiske modeller for universet.

Kosmologene innførte en egen størrelse, z , som betegner forholdet mellom bølgelengdeforandring, $\Delta\lambda$, og opprinnelig bølgelengde:

$$z \equiv \Delta\lambda/\lambda_{ut} = (\lambda_{obs} - \lambda_{ut})/\lambda_{ut}$$

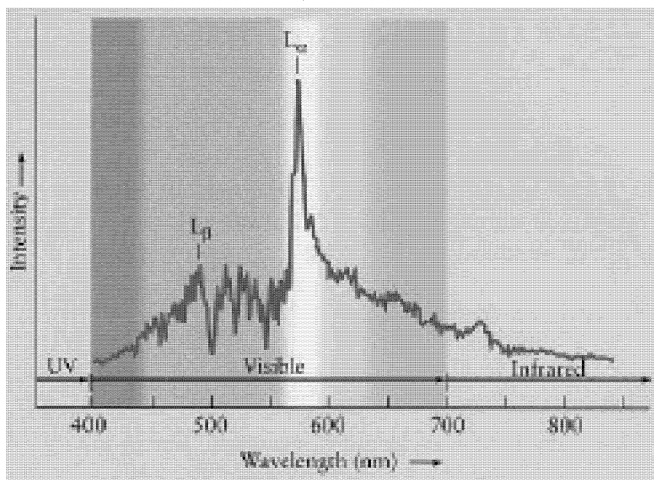
Vi har altså:

$$\lambda_{obs} = (1 + z)\lambda_{ut}$$

Vi merker oss at z er en funksjon både av når lyset blir sendt ut og når det blir mottatt. Den opprinnelige elektromagnetiske strålingen i kosmos er blitt strukket til stadig lengre bølgelengder mens universet har utvidet seg.

Kvasarer er aktive galaksekjerner som sender ut stråling med de fleste bølgelengder. Siden kvasarene inneholder mye hydrogen, vil en stor del av denne strålingen komme fra eksiterte hydrogenatomer. Dette gir opphav til to topper i emisjonsspekteret til kvasarer.

Et typisk kvasarspekter er vist i figur 1. Det er spekteret til en kvasar med rødforskyvning $z = 3,77$. Strålingen ved toppen, markert L_{α} , hadde en bølgelengde på 121,6 nm da den ble sendt ut fra kvasaren. Dette lyset tilhører dermed den ultrafio-



Figur 1. Spekteret til en kvasar kalt PSK 2000-030. Bølgelengden er oppgitt i nanometer, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$. Her er vist hvordan Lyman- α -linjen som hører til i den ultrafiolette delen av spekteret, rødforskyves inn i den synlige delen av spekteret.

lette delen av fargespekteret. Men ekspansjonen av universet har strukket denne bølgen mens den har vært på veg til observatøren. Derfor er bølgelengden nå på 580 nm i det visuelle spektralområdet.

Stråling fra hydrogen

De store områdene mellom galaksene er ikke tomme for materie. Der er støvpartikler og gass som stort sett består av hydrogen og helium. Dette er *den intergalaktiske materien*. Den fyller hele universet. Opprinnelig var hydrogenatomene i grunntilstanden. Det er en tilstand der elektronet i hvert atom befinner seg i lavest mulig energinivå. Når atomene absorberer stråling kommer de i en mer energirik tilstand med elektronet i et høyere energinivå. Vi sier at atomet er i en *eksitert* tilstand.

Etter Bohrs modell for hydrogenatomet, se figur 2, er energinivåene, E_n , gitt ved:

$$E_n = -13,6/n^2 \text{ eV},$$

der energienheten eV (elektronvolt) $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ Joule. Heltallet n betegner hvilket energinivå atomet befinner seg på. Forskjellen i energi, ΔE , mellom første eksiterte tilstand ($n = 2$) og grunntilstanden ($n = 1$) er da gitt ved

$$\Delta E = 10,2 \text{ eV}$$

Når atomet faller tilbake fra den eksiterte tilstanden til grunntilstanden, vil det ifølge Bohrs idé, bli utsendt et foton med bølgelengde λ , gitt ved

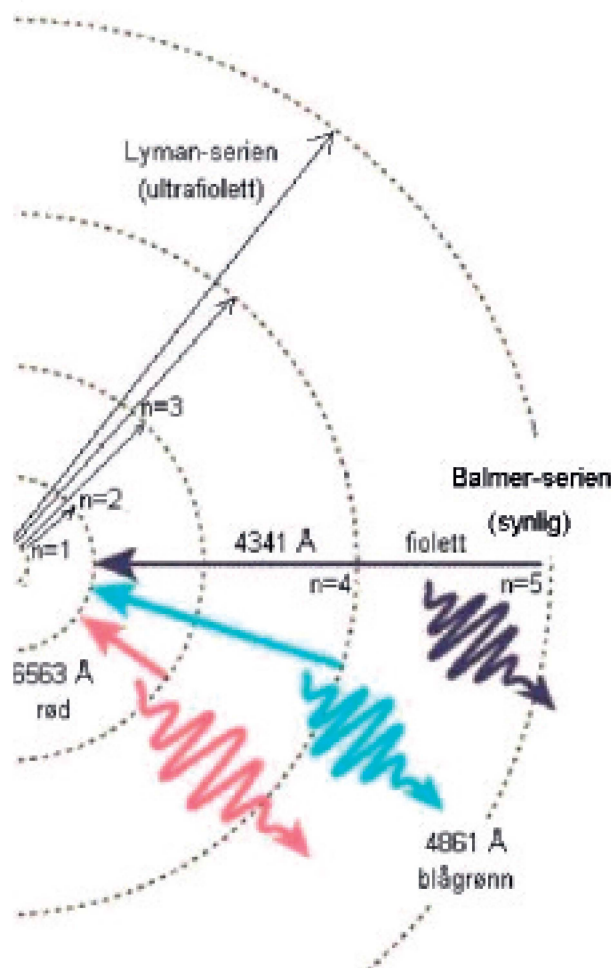
$$\lambda = hc/\Delta E = 121,6 \text{ nm}.$$

Her er h Plancks konstant gitt ved $h = 4,1356 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$, og c er lysfarten i vakuum gitt ved $c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Dette fotonet tilhører den ultrafiolette delen av det elektromagnetiske spekteret.

Å frigjøre et elektron fra et hydrogenatom i grunntilstanden krever energien 13,6 eV. Det skal med andre ord 13,6 eV til for å ionisere et hydrogenatom. Et foton som skal kunne løsrive elektronet slik at atomet forandrer sin energitilstand fra grunnnivået ($n = 1$) til et ionisert atom ($n \rightarrow \infty$), må da ha en bølgelengde

$$\lambda = \frac{hc}{E_{\infty} - E_1} = 91,2 \text{ nm}$$

Figur 2 viser noen av energiovergangene for hydrogenatomet. Lyman-serien representerer ultrafiolette fotoner, mens Balmer-serien tilsvarer fotoner i den delen av spekteret som øyet oppfatter.



Figur 2. Bohrs modell av hydrogenatomet. Figuren viser energiovergangene som gir opphav til Lyman-serien i den ultrafiolette delen av spekteret, og Balmer-serien i den optiske delen. Pilene ved Lyman-serien markerer at atomer som absorberer ultrafiolett stråling, eksiteres. Atomene faller tilbake til grunntilstanden via lavere energinivåer. Når de faller til det laveste eksiterte nivået med $n = 2$, sender de ut emisjonslinjer i Balmer-serien.

Absorpsjonslinjer

Ultrafiolett stråling som passerer gjennom hydrogen-gass med nøytrale atomer, kan eksitere og ionisere atomene så sant strålingen inneholder passende bølgelengder. En observatør som bruker en spektrograf og registrerer stråling som har passert gjennom gassen, vil se en rekke mørke spektrallinjer, såkalte absorpsjonslinjer, i spektrene. Disse linjene har bølgelengder som svarer til forskjellen i energi mellom hydrogenatomenes energinivåer. Linjene som svarer til at hydrogenatomer eksiteres fra grunntilstanden kalles Lyman-serien. Linjen med størst bølgelengde i denne serien kalles Lyman- α -linjen. For elektromagnetisk stråling som ab-

sorberes av hydrogen-gass i laboratoriet, har denne linjen bølgelengden 121,6 nm.

Dersom slik ultrafiolett stråling fra en kvasar passerer gass med atomært hydrogen, vil atomer i grunntilstanden bli eksitert. Da absorberes ultrafiolett stråling med bølgelengder som hører til spektrallinjene i Lyman-serien. Atomene faller raskt tilbake til grunntilstanden og sender ut stråling i alle mulige retninger. Dermed vil mindre stråling med bølgelengder i Lyman-serien bevege seg mot jorda. Dette gir altså opphav til absorpsjonslinjer, kalt Lyman-linjer, i spekteret til strålingen. Av disse har den såkalte Lyman- α -linjen lengst bølgelengde, nemlig 121,6 nm.

Rødforskyvning av absorpsjonslinjer

Kvasarene sender ut elektromagnetisk stråling av mange bølgelengder. Men skal en observatør registrere en absorpsjonslinje med bølgelengde 121,6 nm, må han befinne seg nær hydrogenet som absorberer linjen. Hvis hydrogenet er svært langt fra observatøren, bruker strålingen lang tid fra den har passert hydrogenet til den ankommer observatøren. Da vil universet ha utvidet seg merkbart og strukket bølgelengdene på veg fra hydrogenet til observatøren. Hvis strålingen passerer gjennom ei hydrogensky med rødforskyvning z_{sky} , vil strålingen fra kvasaren som har bølgelengden 121,6 nm når den treffer skya, bli absorbert der. Da vil observatøren se ei rødforskjøvet Lyman- α -linje med bølgelengde $(1 + z_{sky}) \cdot 121,6$ nm.

Sett nå at strålingen fra en fjern kvasar med rødforskyvning z passerer gjennom nøytralt hydrogen hele vegen fra kvasaren til observatøren. Da vil observatøren registrere absorpsjonslinjer med alle bølgelengder fra 121,6 nm til $(1 + z_{kvasar}) \cdot 121,6$ nm. Den med kortest bølgelengde ble absorbert like ved observatøren, mens den med lengst bølgelengde ble absorbert like ved kvasaren, og kalles kvasar-Lyman- α -linjen. Dersom kvasaren har en rødforskyvning $z = 5$, vil det observerte spekteret til kvasaren ha tett i tett med absorpsjonslinjer slik at intensiteten blir svært liten i området fra 121,6 til 729,6 nm. Dette er hele spektralområdet fra ultrafiolett stråling gjennom den optiske delen av spekteret og ut i den infrarøde delen. Spekteret fra kvasaren vil da inneholde et skarpt fall i intensitet ved kvasar-Lyman- α -linjen, $\lambda = 729,6$ nm, med mye mindre intensitet for kortere bølgelengder.

Reionisering

Strålingen fra kvasarene og de massive stjernene var energirik nok til å ionisere en del av de nøytrale hydrogenatomene. Reioniseringen skjedde hurtigst i galaksene og i deres nære omgivelser der strålingsintensiteten var størst. Det ble dannet skyer av ionisert hydrogen. I løpet av en periode fra universet var omtrent 500 millioner år og noen hundre millioner år fremover, ble disse skyene etter hvert så store at de begynte å smelte sammen. Nesten alt det kosmiske hydrogenet ble ionisert. Ifølge simuleringer var denne prosessen fullført omtrent én milliard år etter Big Bang.

Siden det tok noen hundre millioner år før en betydelig del av det kosmiske hydrogenet ble ionisert, ville lyset fra de aller tidligste kvasarene først passere gjennom nøytralt hydrogen. Dette hydrogenet absorberer stråling med Lyman- α -bølglengden og gir opphav til absorpsjonslinjer med hydrogens rødforskyvning. Men etter hvert ville strålingen passere områder med hydrogen som i økende grad var ionisert. Disse områdene, med mindre rødforskyvning, ville slippe strålingen gjennom til tross for at det var frie elektroner i dem. Universet utvidet seg jo, og dermed avtok tettheten av elektroner. Den var nå mye mindre enn da universet var ugjennomsiktig, de første 300 000 årene etter Big Bang.

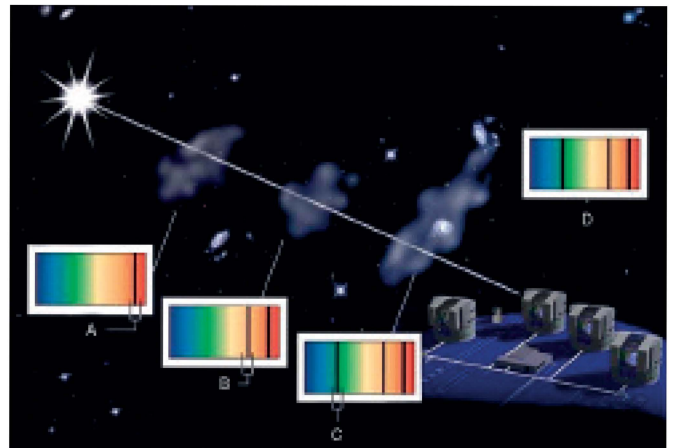
Men i det intergalaktiske hydrogenet fantes skyer som ikke var fullstendig ionisert. I disse skyene ville de nøytrale hydrogenatomene spre lyset fra kvasarene. Skyene har forskjellige avstander fra jorda og dermed forskjellig rødforskyvning. De ga derfor opphav til absorpsjonslinjer med ulike bølglengder.

Lyman- α -skogen

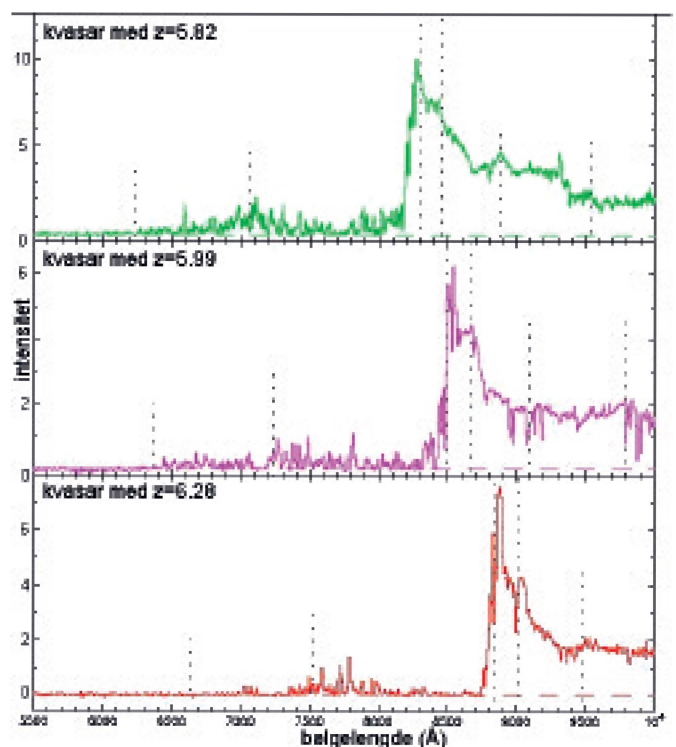
Da man registrerte de første spektrene fra kvasarer, ble det observert et stort antall linjer, kalt *Lyman-alfa-skogen*. Hydrogenets absorpsjon av kvasarstråling med Lyman- α -bølglengden ga opphav til denne skogen av rødforskjøvede absorpsjonslinjer i spekteret til kvasarene (se figur 3).

Man fant som forventet, rødforskjøvede Lyman- α -absorpsjonslinjer med kortere bølglengder enn kvasar-Lyman- α -linjen. Figur 4 viser en del av spektrene med bølglengder fra 550 til 1000 nm for de tre kvasarene med størst rødforskyvning.

I spekteret fra kvasaren med rødforskyvning $z_{\text{kvasar}} = 5,82$ er det et brått fall i inten-



Figur 3. Figuren viser hvordan Lyman- α -skogen oppstår. Det skjer absorpsjon som gir samme absorpsjonslinje observert lokalt der absorpsjonen foregår, uansett hvor absorpsjonen skjer. Men observert fra jorda er absorpsjonslinjen mer rødforskjøvet desto nærmere kvasaren absorpsjonen skjedde. Linjen A på figuren fremkommer i det observerte spekteret på grunn av absorpsjon av stråling i hydrogenskyen nærmest kvasaren, linjen B i den midtre hydrogenskyen og linjen C i skyen nærmest observatøren. Absorpsjonsspekteret, D, skyldes absorpsjon i alle tre skyene.



Figur 4. Spektra fra kvasarer med rødforskyvning $z = 5,82$, $z = 5,99$ og $z = 6,28$. Den store høydeforskjellen i spekteret opptrer ved kvasar-Lyman- α -linjen. For kortere bølglengder finnes utallige absorpsjonslinjer som utgjør Lyman- α -skogen. I det nederste spekteret, som er fra en kvasar med rødforskyvning 6,28, er det rett til venstre for kvasar-Lyman- α -linjen en ekstra stor fordypning som kalles Gunn-Peterson-fordypningen.

siteten når bølgelengden blir mindre enn $(1 + z_{\text{kvasar}})121,6 \text{ nm} = 830 \text{ nm}$. Disse bølgene er forlenget med faktoren $1 + z_{\text{kvasar}} = 6,82$ på vei fra kvasaren til jorda. Det betyr at den tilsvarende bølgelengden ved utstrålingen fra kvasaren var $121,6 \text{ nm}$. Ser vi på de andre kvasarene, finner vi at fallet i intensitet med avtagende bølgelengde inntreffer for samme bølgelengde, $121,6 \text{ nm}$, ved kvasaren, som er bølgelengden til Lyman-alfa-linjen. For disse kvasarene er denne linjen rødforskjøvet fra den ultrafiolette delen av spekteret til den infrarøde.

Vi kan nå skjønne den fysiske årsaken til at der er et sprang i intensitet ved kvasar-Lyman- α -linjen (se figur 3). Det øverste spekteret i figur 4 er fra en kvasar med rødforskyvning. Stråling som har større bølgelengde enn 830 nm når den ankommer jorda, hadde større bølgelengde enn $121,6 \text{ nm}$ ved kvasaren. Den var ikke energirik nok til å ionisere hydrogenatomer. Men stråling med kortere bølgelengder hadde tilstrekkelig energi. Fallet i intensitet viser at mesteparten av denne strålingen ikke har kommet uforstyrret fram til jorda. Den har passert gjennom nøytralt hydrogen, eksitert hydrogenatomene og blitt spredt til alle kanter.

Det er Lyman-alfa-skogen som gjør intensiteten mindre i denne delen av spekteret. Men selv i dette området er det små intensitetstopper. Det viser at da strålingen passerte gjennom hydrogenskyer med forskjellig rødforskyvning, var hydrogenet noen steder ionisert og andre steder ikke. Intensitetstoppene kommer fra de områdene der hydrogenet var ionisert da lyset passerte gjennom dem.

Gunn-Peterson-fordypningen

Stråling sendt ut fra kvasarer omkring én milliard år etter Big Bang observeres med rødforskyvning omkring $z = 6$. Det var på denne tiden reioniseringen skjøt fart. Stråling sendt ut tidligere, altså stråling med større rødforskyvning, passerte gjennom større mengder nøytralt hydrogen. For slik stråling burde linjene med størst rødforskyvning ligge så tett at de dannet en sammenhengende fordypning i spekteret for kortere bølgelengder enn kvasar-Lyman- α -linjen. Her skulle det være tilnærmet null intensitet. Denne fordypningen burde strekke seg fra kvasarens Lyman- α -linje til Lyman- α -linjen med rødforskyvningen til de første områdene med ionisert hydrogen. Eksistensen av en slik fordypning i spekteret til kvasarer med stor rødforskyvning ble forutsagt av James Gunn og Bruce Peterson allerede i 1965. Den kalles

derfor *Gunn-Peterson-fordypningen*. Siden linjene i Lyman- α -skogen har mindre rødforskyvning enn linjene i Gunn-Peterson-fordypningen, skulle Lyman- α -skogen finnes i den delen av spekteret som har kortere bølgelengder enn Gunn-Peterson-fordypningen.

I spektrene fra kvasarer med stor rødforskyvning burde man altså for det første se et skarpt intensitetsfall med praktisk talt null intensitet på den kortbølgede siden av kvasar-Lyman- α -linjen. For det andre burde man se absorpsjonslinjene i Lyman- α -skogen. Man observerte allerede i 1970-årene intensitetsfallet ved kvasar-Lyman- α -linjen og absorpsjonslinjene i Lyman- α -skogen. Men intensiteten falt ikke ned til null slik det skulle være i Gunn-Peterson-fordypningen. Så sent som ved utgangen av år 2000 hadde man ingen overbevisende observasjoner av denne fordypningen.

Gunn-Peterson-fordypningen dukker opp

I år 2000 satte man i gang et stort prosjekt for å kartlegge fordelingen av lysende materie i universet. Prosjektet kalles *Sloan Digital Sky Survey*. Deltagere i dette prosjektet har observert kvasarer med så stor rødforskyvning at Gunn-Peterson-fordypningen skulle komme til syne.

Ser vi på spekteret fra kvasaren med rødforskyvning $z = 6,28$, finner vi ingen intensitetstopper i området nærmest bølgelengden som svarer til den rødforskjøvede Lyman- α -linjen. Dette er Gunn-Peterson-fordypningen (se nederste kurve i figur 4). For første gang har man oppnådd et spekter med denne fordypningen. Dette viser at strålingen fra denne kvasaren ble sendt ut så tidlig i universets historie at det kosmiske hydrogenet ennå ikke var ionisert. Stråling med bølgelengder litt kortere enn Lyman- α -linjen ble raskt rødforskjøvet til $121,6 \text{ nm}$ og eksiterte nøytralt hydrogen tidlig på reisen mot jorda. Dermed kom ikke denne strålingen fram til jorda, noe som førte til Gunn-Peterson-fordypningen i det observerte spekteret.

Ny kunnskap og innsikt

Nå forstår man hva som forårsaket det store antallet spektrallinjer og fraværet av Gunn-Peterson-fordypningen i de tidligere observasjonene (før år 2000). Kvasarstrålingen som ble observert da, hadde rødforskyvning på $z = 6$ og mindre. Da denne strålingen ble sendt ut, var universet såpass gammelt at mesteparten av det kosmiske hydro-

genet som strålingen beveget seg gjennom, var blitt ionisert. Ioniserte hydrogenatomer er rett og slett frie protoner. De vekselvirket praktisk talt ikke med strålingen. Fraværet av et kontinuerlig absorpsjonsspektrum i strålingen fra fjerne kvasarer har derfor gitt oss en meget viktig informasjon om universet, nemlig at mesteparten av det kosmiske hydrogenet er ionisert.

Konfrontasjonen mellom observasjoner og beregningene som forutsa eksistensen av Gunn-Peterson-fordypningen, kom først i år 2000, 35 år etter at beregningene ble utført. Beregningene er basert på et hendelsesforløp der den kosmiske reioniseringen var på sitt heftigste, omtrent én milliard år etter Big Bang. Ifølge beregningene gikk reioniseringen svært langsomt til å begynne med. Man mener at den begynte så smått allerede noen hundre millioner år tidligere. Dette betyr at galaksedannelsen startet omtrent 500 millioner år etter Big Bang. I denne prosessen ble det produsert kvasarer og massive stjerner som sendte ut ultrafiolett stråling med stor intensitet.

At Gunn-Peterson-fordypningen i Lyman- α -skogen endelig er observert, bekrefter våre forestillinger om hva som skjedde før universet var én milliard år gammelt.

Referanser

1. Ø. Grøn og H. Knutsen: *Tiden fra 300 000 år til 3 milliarder år etter Big Bang*. *Naturen*. Nr. 5, 194–201 (2011)
2. H. Knutsen og Ø. Grøn: *Historien til de letteste grunnstoffer*. *Astronomi*, Nr. 6, 26–30 (2011)
3. A. Christensen: *Universet i 3D*. Internett: <http://www.forskning.no/artikler/2011/mai/287118>
4. Ø. Grøn: *Relativistiske universmodeller*. *Fra Fysikkens Verden*, 56 Nr. 3, 75–83 (1994)

Supplerende lesning

1. P.J.E. Peebles: *Principles of Physical Cosmology*. Princeton University Press (1993)
2. John A. Peacock: *Cosmological Physics*. Cambridge University Press (1999)
3. Steven Weinberg: *Cosmology*. Oxford University Press (2008)

∞

Kommentar

Hva bestemmer universets utvikling?

Var universet lite da det ble til?

Illustrert Vitenskap 17/2011 har en artikkel om universets mørke masse og energi skrevet av Helle og Henrik Stub.⁽¹⁾ De skriver ofte fine og interessante artikler, men her er det noen villedende setninger. De skriver: " Ω beskriver universets massetetthet i forhold til en såkalt kritisk tetthet. Universet inneholder både materie og energi, men energi bidrar også til massetettheten ifølge Einsteins formel $E = mc^2$. Einsteins generelle relativitetsteori sier samtidig at verdien av Ω bestemmer både universets utvikling og geometri. Hvis $\Omega < 1$, vil universet alltid fortsette å utvide seg. Hvis $\Omega = 1$, vil universet også fortsette å utvide seg, men utvidelsen vil i en uendelig fjern fremtid til slutt gå i stå. Hvis $\Omega > 1$, vil utvidelsen opphøre og erstattes av en sammentrekning, slik at universet til slutt kollapser til et punkt." Dette er ikke korrekt. Jeg vil her omtale hva relativitetsteorien sier om universets utstrekning og fremtidige utvikling.

Forestillingen om at universet "kollapser til et punkt" innebærer også at man kan oppfatte begynnelsen ved Big Bang som at universet startet fra et punkt. I *Illustrert Vitenskap* 4/2012 skriver Helle og Henrik Stub: "Big Bang er en veletablert teori som beskriver universets utvikling fra den gangen det var mindre enn et atom."⁽²⁾ Dette er en vanlig forestilling, men trolig stemmer den ikke med virkeligheten. Mange typer observasjoner favoriserer at universet har uendelig stor utstrekning, og da var det uendelig stort også ved Big Bang.⁽³⁾ Jeg har omtalt dette tidligere i *Fra Fysikkens Verden*.⁽⁴⁾ Det betyr at Big Bang skjedde overalt i universet i en tilstand med ekstremt høy tetthet.

Universets geometri

For å forstå hva som bestemmer universets fremtidige utvikling, er det viktig å ha klarhet i betydningen av en størrelse som kalles "den kritiske tettheten".⁽⁵⁾ Den dreier seg om rommets geometri, og er gitt ved

$$\rho_{kritisk} = \frac{3H^2}{8\pi G}, \quad (1)$$

der G er Newtons gravitasjonskonstant, og H er hubbleparameteren som beskriver hvor raskt universet ekspanderer. Innsetting av observerte verdier gir $\rho_{kritisk} = 4 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$, som svarer til omtrent 3 hydrogenatomer per kubikkmeter. Den gjennomsnittlige tettheten av den kosmiske materien og energien, representeres ofte ved en såkalt *tetthetsparameter* som er tetthet delt på kritisk tetthet, $\Omega = \rho/\rho_{kritisk}$. Dersom $\Omega = 1$, har materien og energien i universet til sammen kritisk tetthet.

Hvis $\Omega > 1$, dvs. hvis tettheten er større enn den kritiske, har rommet positiv krumning. Den 2-dimensjonale analogien er en kuleflate. Den har endelig areal selv om den er uten grenser. Tilsvarende har et positivt krummet rom endelig volum selv om det er uten grenser. Hvis lys sendes ut fra et punkt i en retning, vil det komme tilbake til utgangspunktet fra motsatt retning etter lang tid.

Dersom $\Omega = 1$, sies rommet å være "flatt". Det betyr ikke at det er flatt som en pannekake, men at det ikke har noen krumning. I et slikt rom gjelder de vanlige reglene for Euklids geometri, slik som at summen av vinklene i en trekant er 180 grader. Den 2-dimensjonale analogien er et uendelig stort plan. Tilsvarende har et såkalt flatt univers uendelig stor utstrekning. Et flatt univers har kritisk tetthet.

Dersom $\Omega < 1$, dvs. at universet har mindre tetthet enn den kritiske, har rommet negativ krumning. Den 2-dimensjonale analogien er en sadelflate med uendelig stor utstrekning. Også et negativt krummet univers er uendelig stort.

Universets ekspansjon

I de relativistiske modellene beskrives universets ekspansjon ved hjelp av en såkalt *skalafaktor* som vanligvis betegnes med bokstaven a . Helle og Henrik Stub skriver at den beskriver universets størrelse på et gitt tidspunkt. Heller ikke det er korrekt.

Skalafaktoren beskriver hvordan avstanden mellom to referansepartikler som definerer rommet, endres med tiden. Skalafaktoren er forholdet mellom partiklenes avstand ved et vilkårlig tidspunkt og deres nåværende avstand. Den har derfor verdien 1 nå. Referansepartiklene skal være partikler som ikke påvirkes av lokale gravitasjonsfelter. En god tilnærmelse er å bruke galaksehoper som referansepartikler. Observasjoner har vist at galaksehoper har en hastighet bort fra oss proporsjonal med avstanden fra oss. Dette ble annonsert av Edwin Hubble i 1929, og kalles *Hubbles lov*. Denne bevegelsen tolkes ifølge relativitetsteorien, som en *ekspansjon av rommet*.⁽⁶⁾

Hvis summen av tetthetene til den kosmiske materien og energien er lik, eller mindre enn, den kritiske tettheten, har rommet uendelig stor utstrekning. Da har det ingen mening å snakke om "universets størrelse".

Likningen som bestemmer universets utvidelse som funksjon av tiden, ble presentert i *Fra Fysikkens Verden* i 1994.⁽⁷⁾ For kosmisk materie eller energi, med tilstandslikning $p = w\rho c^2$ tar likningen formen

$$\ddot{a} = -\frac{1}{2}(1 + 3w)H^2 a \Omega \quad (2)$$

Hvis $\ddot{a} > 0$, øker ekspansjonen farten. Likningen forteller at tilstandslikningen for den kosmiske materien og energien i universet er viktigere for universets utvikling enn om tettheten er større eller mindre enn den kritiske. Hvis $w < -1/3$, øker universets ekspansjonsfart selv om tettheten er større enn den kritiske. Da vil universet aldri kollapse.

Observasjoner av temperaturvariasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen⁽⁸⁾ favoriserer at vi bor i et flatt univers der omtrent 70 % av innholdet er energi med $w = -1$, og 30 % består av kald materie med $w = 0$. I så fall har universet i de siste 7 milliarder årene vært i en tilstand av akselerert ekspansjon.⁽⁹⁾ At universets ekspansjon øker farten ble oppdaget i 1998 av to forskningsgrupper der de ledende forskerne var Saul Perlmutter, Brian Schmidt og Adam Riess. De fikk Nobelprisen i fysikk for 2011 for denne oppdagelsen.⁽¹⁰⁾

Fratøtende gravitasjon

Ifølge Newtons gravitasjonsteori er gravitasjon alltid tiltrekkende. Helle og Henrik Stub skriver derfor at "gravitasjonen vil jo bremse utvidelsen – og hvor kraftig nedbremsingen er, avhenger bare av massetettheten". Videre skriver de at den mørke energien i universet "innfører et tredje element: nemlig den frastøtende kraften som virker motsatt av gravitasjonen og forsterker utvidelsen". Men det er ikke slik.

Ifølge relativitetsteorien er gravitasjonens virkning på den kosmiske ekspansjonen beskrevet i likning (2). Denne likningen og dens fysiske tolkning, sier at relativitetsteorien åpner for en mulighet som ikke eksisterer i den newtonske teorien: *at gravitasjon kan være frastøtende*. Den mørke energien forårsaker frastøtende gravitasjon. Det er ikke snakk om en ny, ikke-gravitasjonell kraft.

Konklusjon

Universet er antakelig uendelig stort og har alltid vært det. Dette betyr at Big Bang-eksplosjonen skjedde overalt i et uendelig stort univers.

Det er ikke avgjørende for universets fremtidige skjebne om den samlede tettheten til universets materie og energi er større eller mindre enn den kritiske tettheten. Tilstandslikningen til den kosmiske materien og energien er viktigere. Dersom universets ekspansjon domineres av en energi med stort nok negativt trykk, dvs. som er i en tilstand av strekk, vil universet fortsette å ekspandere i all tid selv om tettheten er større enn den kritiske.

Frastøtningen som den mørke energien forårsaker, er en form for gravitasjon. Ifølge relativitetsteorien er gravitasjon frastøtende dersom energien har tilstrekkelig stort negativt trykk, nemlig hvis $w < -1/3$. Observasjoner tyder på at 70 % av universets innhold består av vakuumenergi med $w = -1$. Dens frastøtende gravitasjon gjør at universet er i en tilstand av akselerert kosmisk ekspansjon.

Referanser

1. H. Stub og H. Stub: *Et tapt univers*. Illustrert Vitenskap, Nr. 17, 66–73 (2011)
2. H. Stub og H. Stub: *Universets 10 største gåter*. Illustrert Vitenskap, Nr. 4, 56–65 (2012)
3. O. Lahav and A.D. Liddle: *The cosmological parameters*. ArXiv: 1002.3488 (2010)
4. Ø. Grøn: *Big Bang i et uendelig univers*. Fra Fysikkens Verden, 63, Nr. 2, 55–59 (2001)
5. Ø. Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?* Fra Fysikkens Verden, 61, Nr. 3, 73–80 (1999)
6. Ø. Grøn and Ø. Elgarøy: *Is space expanding in the relativistic universe models?* Am. J. Phys., 75, 151–157 (2007)
7. Ø. Grøn: *Relativistiske universmodeller*. Fra Fysikkens Verden, 56, Nr. 3, 75–83 (1994)
8. WMAP-teamet: *Cosmology: The Study of the Universe*. Internett: http://map.gsfc.nasa.gov/universe/WMAP_Universe.pdf (Et fint sammendrag.)
9. Ø. Grøn: *A new standard model of the universe*. Eur. J. Phys. 23, 135–144 (2002)
10. Ø. Grøn: *Nobelprisen i fysikk 2011*. Fra Fysikkens Verden, 73, Nr. 4, 112–114 (2011)

Øyvind Grøn

∞

Hva skjer

Fysikkolympiaden 2012

Norsk finale i fysikkolympiaden for elever i videregående skole ble avholdt fredag 30. mars på Fysisk institutt ved Universitet i Oslo. Håkon Tåsken fra Valler vgs. ble best. Oda Lauten fra Lillestrøm vgs. og Tiantian Zhang fra St. Hallvard vgs. i Drammen delte andreplassen. Nr. 4 ble Anders Strømberg fra Vestby vgs., og på 5. plass kom Marius Leiros fra Oslo katedralskole. Finaleoppgavene var nok vanskelige, særlig tatt i betraktning av at det er mye nytt stoff som skal læres og at deltakerne har kort tid til å besvare oppgavene på.

De fem vinnerne er tatt ut til den internasjonale fysikkolympiaden som skal være i Tallin i Estland til sommeren. Ekstra hyggelig i år er at det er to jenter som skal være med. Sist vi hadde med en jente til den internasjonale finalen var i 2004, og det er faktisk den eneste gangen også!

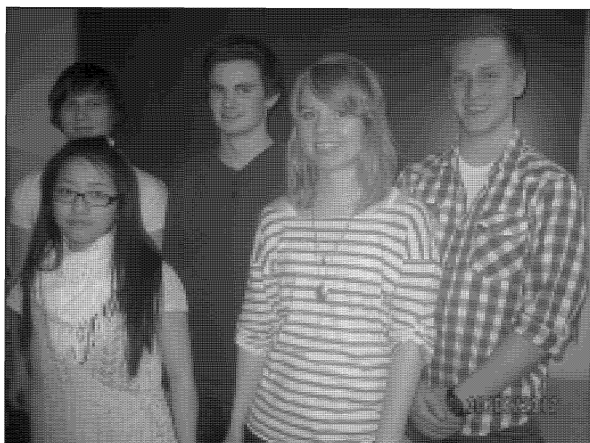
For å komme med i finalen har disse elevene vært gjennom to uttakningsrunder. I første runde i november deltok 692 elever fra 86 skoler. Det er noe færre enn i fjor, men vi satser stort på at antallet tar seg opp igjen til neste år. Oppgavene, de fleste flervalgsoppgaver, var som vanlig utfordrende. Resultatene tyder nok på at oppgavene var litt vanskeligere enn i de siste årene. Det er vi i komiteen ikke så fornøyd med, og vi vil gjøre mer for at oppgavene skal være så relevante som mulig neste år.

Det var 78 elever som deltok i 2. runde. Dette er en tre timers prøve som er en del vanskeligere enn den i første runde. Kravene til begrunnelser er også strengere her. Tiantian Zhang fra St. Hallvard vgs. ble best med nesten alt riktig. På de to neste plassene kom Marius Leiros fra Oslo katedralskole og Jan Henrik Wiik fra Nadderud vgs.

De 18 beste fra 2. runde ble invitert til en ukes kurs på Universitetet i Oslo og Norsk finale. Kurset ble avholdt fra 26. til 30. mars og er svært omfattende og intenst. I tillegg til forelesninger, laboratorieøvelser og oppgaveregning, var det populærforedrag hver dag, samt sosiale tilstelninger, omvisning og orientering om studier ved UiO.

Flere av deltakerne har sendt oss hyggelige tilbakemeldinger. Her er et lite "selektivt" utvalg:

– OL-kurset var utrolig lærerikt og morsomt. Ikke mange gangene man lærer så mye på en uke,



Vinnerne av Norsk finale i fysikkolympiaden. Foran fra venstre: Tiantian Zhang og Oda Lauten. Bak fra venstre: Marius Leiros, Håkon Tasken og Anders Strømberg.

og enda bedre var det at det var så gøy utenom det faglige. Masse hyggelig mennesker og god stemning i gruppa. Det var et bra kurs og en flott uke.

– Ellers synes jeg det vi gjorde utenom fysikk også var veldig bra. Vi ble en sammensveiset gruppe, og jeg trivdes godt sammen med de andre deltakerne. Det sosiale gikk utover øvingen, men for min del synes jeg det var verdt det.

– Synes generelt opplegget var veldig bra, til tross for at forelesningene kunne bli tunge og lange til tider. Kommer sannsynligvis til å møte på det meste av dette igjen når jeg skal studere fysikk etter videregående, og jeg vil sannsynligvis ha lettere for å forstå emnene når jeg har sett litt av det før. En endring dere kanskje kan gjøre til neste år, er å sette av tid til at elevene kan jobbe med tidligere finaleoppgaver, som en forberedelse til selve prøven. Maten var alle tiders, og foreleserne var også veldig flinke.

– Jeg hadde en utrolig hyggelig uke. Jeg var veldig fornøyd med det faglige nivået og følte meg virkelig faglig utfordret, samtidig som man forstod det som foregikk og hang med på foredragene og forklaringene. Det føltes som en helt ny måte å forholde seg til fysikk – den måten man møter på et høyere nivå. Det var veldig morsomt og interessant. Det var også veldig morsomt å møte fysikere som var eksperter på sine fagfelt, og veldig stilig å kunne se på ting som partikkelakseleratorer, elektronmikroskop og andre instrumenter.

Den internasjonale finalen skal i år foregå i Tallin i Estland fra 15. til 24. juli. Finalen består av to konkurransedager, en med teorioppgaver og en med

eksperimenter. De andre dagene oppholdet varer, er det ulike sosiale og kulturelle arrangementer, sight-seeing og ekskursjoner. Det er med andre ord et rikholdig program, og møtet med fysikkelever fra alle verdens kanter er en stor opplevelse!

Den norske fysikkolympiaden er støttet av Forskningsrådet, Kunnskapsdepartementet og Universitetet i Oslo.

Mer om fysikkolympiaden med oppgaver og resultater finnes på våre nettsider:

<http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/grupper/skolelab/Fysikk-OL/>

Carl Angell

∞

Fysikkformidling med smell!

Over 50 showfysikere fra hele Europa var samlet ved Universitetet i Bergen 16. til 21. april, for å diskutere fysikkformidling og holde show. *ShowPhysics* er den årlige konferansen til det Europeiske nettverket for fysikkshow, *EuroPhysicsFun* (EPF), og ble i år arrangert av *Fysikkshow Bergen*. Uken inneholdt alt fra foredrag om bruk av radioaktivitet i show og smakebiter fra de deltakende show, til førstehjelp og teatersport.

EuroPhysicsFun ble startet i 2004 for å gi fysikkshow i Europa en felles plattform. I dag har nettverket 44 medlemsshow fra 21 land, og flere har meldt sin interesse etter konferansen i Bergen.

Den årlige konferansen, *ShowPhysics*, er hovedaktiviteten i nettverket og har vært arrangert hvert år siden 2007. Bergen deltok første gang på konferansen i 2008 som ble holdt i Tartu, Estland. På dette tidspunktet var *Fysikkshow Bergen* fremdeles bare en idé fra engasjerte studenter ved Insitutt for fysikk og teknologi ved UiB, men arbeidet fikk fart på seg etter denne konferansen, og *Fysikkshow Bergen* ble en realitet våren 2009.

De Europeiske fysikkshowene har veldig ulike profiler. Noen baserer seg på en eller to ildsjeler, noen på frivillige studenter, mens andre har faste ansatte til å drive og utøve fysikkshowene. Noen driver på veldig små budsjetter, mens andre har årlige budsjetter på flere millioner kroner. Det som

er felles for alle er gleden av fysikkformidling og ønske om å inspirere og undervise barn og unge. De fleste show har målgrupper i aldersklassen 14-19 år og besøker eller mottar besøk fra skoleklasser. Men vi gjør også show for alle aldre der det er ønsket.

Konferansen i Bergen. Deltakerne var medlemmer av ulike fysikkshow i nettverket, og 23 show fra 14 land var representert. Målet med konferansen er å dele erfaringer og eksperimenter i tillegg til å diskutere temaer som alle er opptatt av. I år hadde vi en hel dag med teatersport sammen med instruktører fra Den nasjonale scene. Det ble en veldig kjekk og nyttig dag for alle sammen.

En ny eksperimentdatabase ble også tatt i bruk for å dele eksperimenter både mellom showene og med andre interesserte. Denne databasen inneholder nå ca. 20 eksperimenter og vil forhåpentligvis vokse raskt fremover. Målet er at databasen skal inneholde både kjente eksperimenter, variasjoner av disse, og egenutviklede eksperimenter.

Flere eksperimenter som de siste årene er utviklet av eller for fysikkshowene, ble vist frem. I år hadde Physicscope fra Universitetet i Genève med seg et svevende surfebrett, se figur 1. Dette består av to skinner av magneter, og et brett påmontert fire superledere. Kassene rundt superlederne fylles med flytende nitrogen som holder brettet svevende i ca. en time. Skinnene består av ca. 6000 magneter, hver med en styrke på ca. 1 T.



Figur 1. Surfebrett som holdes svevende ved hjelp av superledere, fra Universitetet i Genève.

Det ble også arrangert en konkurranse i eksperimentutvikling, "Physics in a box". De som ønsket å delta i konkurransen fikk tilsendt en liten boks på 10,2 x 6,2 x 2,2 cm, ikke større enn at den passer i en brystlomme. Oppgaven var å fylle boksen med best mulige og flest mulige eksperimenter. Deltakerne fra Universitetet i Praha hadde over 60 ulike eksper-

imenter i en slik boks, mens fysikkshowet fra Lund hadde laget et eksperiment med trådløs musikkoverføring vha laserlys. Fysikkshow Århus hadde fått plassert bl.a. en elektrisk motor, mange kuleformede magneter og en liten beholder med såpe i boksen, se figur 2. Med innholdet i boksen kan en gjøre minst 40 ulike eksperimenter innen elektromagnetisme, akustikk og klassisk mekanikk.



Figur 2. Fysikkshow Århus sitt bidrag til "Physics in a box". Denne boksen inneholder bl.a. en Gaussrifle, en elektrisk motor, mange magneter og såpe, som det kan gjøres minst 40 ulike eksperimenter med.

Konferansen ble avsluttet med et stort publikumsshow på Bergen Vitensenter, VilVite. I fire timer kunne gjestene gå rundt blant showene og prøve ut de ulike eksperimentene. Vi fikk besøk av over 500 store og små, og både publikum og konferansedeltakerne hadde en flott dag.

Vi håper på en like spennende konferanse neste år. Den skal holdes i Göttingen i Tyskland et par uker etter påske, og er åpen for alle som holder på med fysikkformidling, også utenom nettverket. For mer informasjon kontakt Ragnhild Schrøder Hansen (ragnhild.hansen@ift.uib.no), eller besøk vår nettside: europa.physicsfun.org

Linker

Eksperimentdatabase:

<http://wiki.europa.physicsfun.org/experiments/home>

Youtube-kanal fra Fysikkshow Århus:

<http://www.youtube.com/user/Fysikkshow>

Youtube-kanal fra Fysikkshow Bergen:

<http://www.youtube.com/user/FysikkshowBergen>

Videoer av boksene "physics in a box":

<http://hebergement.u-psud.fr/supraconductivite/physicsinabox.html>

Ragnhild Schrøder Hansen

Nye Doktorer

Hanne Sigrun Byhring



MSc Hanne Sigrun Byhring forsvarte 21. oktober 2011 sin avhandling *Minor element abundances in the corona and solar wind* for graden PhD i realfag ved Universitetet i Tromsø.

Avhandlingen tar for seg hyppigheten av minoritetsioner i solkoronaen. Ved hjelp av en numerisk modell blir det vist at dersom en forutsetter proton-elektron plasmaparametre i overenstemmelse med observerte verdier, vil det oppstå opphopninger av He og O i solkoronaen med mindre disse ionene blir utsatt for stor oppvarming. Det blir vist at en slik høy oppvarming ikke er i overenstemmelse med observerte parametre for O og He i koronaen og ved jordbanen. Det er også vist at opphopning av He typisk forekommer i et område av koronaen der observasjoner av He-hyppigheten så langt ikke har vært mulig å utføre. Det er derfor ennå ikke mulig å bekrefte eksistensen av slike opphopninger observasjonelt. Det finnes imidlertid observasjoner av emisjonslinjer fra Fe+10 og Fe+12 som tyder på at opphopninger av Fe forekommer i solkoronaen. Avhandlingen tar derfor også for seg beregninger av Fe-hyppigheten i koronaen for forskjellige verdier av proton-elektron plasmaparametre ved ulik grad av Fe-oppvarming i koronaen.

Arbeidet ble utført ved Institutt for fysikk og teknologi på Universitetet i Tromsø med professorene Ruth Esser og Åshild Fredriksen som veiledere. Hanne Sigrun Byhring jobber nå ved Fakultet for naturvitenskap og teknologi på UiT, som hovedansvarlig for studentrekruttering.

∞

Trim i FFV

Løsning på FFVT 1/12

En multiplikasjon med sju ukjente

Vi skulle bestemme G i multiplikasjonen

$$ABCDE \cdot F = GGGGGG$$

der bokstavene sto for sju *ulike* tall.

Da $GGGGGG = G \cdot 111111$, og 111111 har bare 3 og 7 som énsifrede faktorer, må F være lik 3 eller 7. Hvis $F = 3$ er $ABCDE = G \cdot 111111/3 = G \cdot 37037$. Bare G lik 1 eller 2 gir et femsifret tall, hhv 37037 og 74074, som begge har gjentatte siffer.

Den gjenværende mulighet er $F = 7$, dvs.

$$ABCDE = G \cdot 111111/7 = 15873 \cdot G.$$

For G lik 1, 2, 3, 4, 5, 6 får vi de femsifrede tallene 15873, 31746, 47619, 63492, 79365 og 95238 som potensielle verdier for ABCDE. Tallene for $G = 1$, 2, 3 og 5 inneholder 7 som var reservert for F, og for $G = 4$ inneholder 63492 et firetall (verdien av G i dette tilfellet). Bare siste tall, 95238, inneholder hverken 7 eller G-verdien 6. Den eneste muligheten er derfor $ABCDE = 95238$, og $G = 6$.

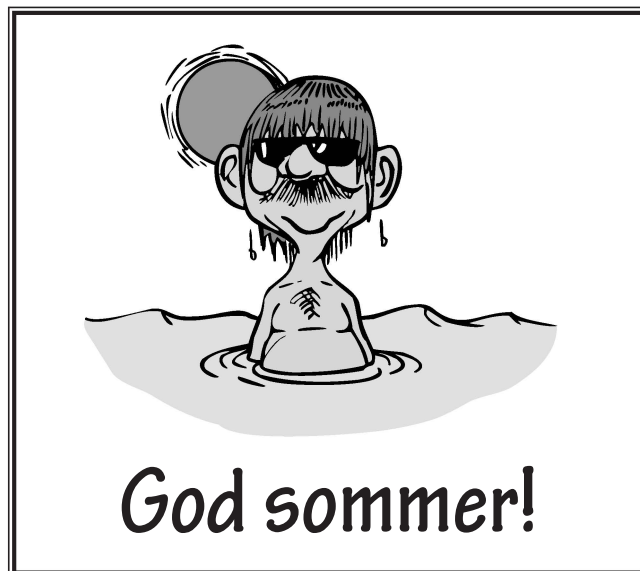
FFVT 2/12

En sum med 2012 ledd

Finn de to siste sifrene i summen

$$1! + 2! + 3! + 4! + \dots + 2012!$$

∞



Avsender:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo
Boks 1048 Blindern
0316 Oslo



Retningslinjer for forfattere

FRA FYSIKKENS VERDEN utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høyskoler med fysikk i sine fagkretser. Andre kan også abonnere på bladet. Blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

FORMÅLET MED FFV er å gi informasjon om aktuelle tema og hendinger innen fysikk, og å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker FFV å være til hjelp for elever og lærere i videregående skoler og andre undervisningsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på norsk og på en lett forståelig måte. Faguttrykk må defineres. En verbal form er oftest å foretrekke fremfor matematikk. Men det må brukes standard begreper og enheter. Matematikken må være forståelig for vanlige fysikkstudenter. Artiklene i FFV skal primært gi informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare forstås av en liten faggruppe har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redaksjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

MANUSKRIPTER leveres i en form som forfatteren mener er direkte publiserbar. De skal leveres elektronisk, helst som e-post. Dersom formatet ikke er ren tekst (helst LATEX) eller i Microsoft Word, må det merkes med hvilket tekstbehandlingsprogram som er brukt. Under alle omstendigheter må redaksjonen kunne forandre teksten direkte.

ARTIKLER bør ikke være lengre enn 6 sider med trykt tekst og figurer. Større avsnitt i teksten bør markeres med undertitler. Unngå fotnoter. Referanser kreves ikke, men det er ønskelig med en liste over lett tilgjengelig tilleggstoff.

SMÅSTYKKER: Gratulasjoner, nekrologer, bokomtaler, skolestoff, møtereferater etc. mottas gjerne, men de må ikke være lengre enn 1–2 sider. Bokkronikker kan være noe lengre. Doktoromtaler begrenses til en halv side inkludert bilde.

ILLUSTRASJONER er en viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene. All tekst skal være på norsk. Figurene vil som regel bli trykt i svart/hvitt med en spaltebredde på 8,6 cm. Av økonomiske grunner vil bilder bare i spesielle tilfeller trykkes i farger. Figurene bør være på elektronisk form i et standard grafisk format og med god oppløsning. Vi kan unntaksvis motta figurer eller bilder som urastrerte kopier. Figurer og tabeller skal være referert i den løpende teksten, og ønsket plassering må markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

FORSIDEBILDER velges som regel i tilknytning til en av artiklene. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

KORREKTUR: Forfatterne får tilsendt korrektur som må returneres snarest. Det må ikke gjøres unødige endringer i korrekturane.

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

Professor Per Osland

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

e-post: per.osland@ift.uib.no

Visepresident:

Professor Åshild Fredriksen

Inst. for fysikk og teknologi, UiT

e-post: ashild.fredriksen@uit.no

Styremedlemmer:

Professor Jon Otto Fossum

Institutt for fysikk, NTNU

Professor Håvard Helstrup

Høgskolen i Bergen

Professor Ulf R. Kristiansen

Inst. for elektronikk og telekom., NTNU

Postdoktor Eirik Malinen

Radiumhospitalet, Oslo

Førsteaman. Kjartan Olafsson

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Professor Jon Samseth

Høgskolen i Akershus, Lillestrøm

Lektor Morten Trudeng

Asker videregående skole

Selskapets sekretær:

Cand.scient. Trine Wiborg Hagen

Fysisk institutt, UiO,

Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo.

e-post: nfs@fys.uio.no

Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Professor Øyvind Grøn

Høgskolen i Oslo og Fysisk inst. UiO

Stipendiat Marit Sandstad

Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO

Redaksjonssekretær:

Karl Måseide

Fysisk institutt, UiO

Redaksjonskomité:

Professor Odd-Erik Garcia

Institutt for fysikk, UiT

Professor Per Chr. Hemmer

Institutt for fysikk, NTNU

Førstelektor Ellen K. Henriksen,

Fysisk institutt, UiO

Professor Bjarne Stugu

Inst. for fysikk og teknologi, UiB

Ekspedisjonens adresse:

Fra Fysikkens Verden

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.

Tlf.: 22 85 64 28 / 22 85 56 68

Fax.: 22 85 64 22 / 22 85 56 71

e-post: oyvind.gron@iu.hio.no

e-post: marit.sandstad@astro.uio.no

e-post: k.a.maseide@fys.uio.no

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement tegnes hos selskapets sekretær.
Årsabonnement 120 kr. (Studenter 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.