

De avlägsna SUPERNOVORNA SOM FÖRÄNDRADE UNIVERSUM

Den digitala bildfångartekniken gjorde det möjligt att hitta supernovor långt ut i det observerbara universum.

För femton år sedan vände de nyvunna resultaten av sådana observationer upp och ned på vår uppfattning

av universum, och den nya bilden växer sig allt starkare.

text och bild: Rahman Amanullah

När jag skulle skriva mitt examensarbete sista året i gymnasiet valde jag att kombinera mina dåvarande stora intressen, fotografering och astronomi. Jag prövade olika typer av film, bakade dem i ugn, och läste på om silverjoner. Hade jag gjort mitt arbete bara fem år senare hade jag förmodligen istället skrivit om detektorkylning, mörka strömmar och digital bildbehandling. Under slutet av 1990-talet och början av 2000-talet slog digitalkameran igenom med stormsteg, vilket emellertid inte enbart förändrade amatörastronomers vardag och hur vi delar med oss av semesterbilder. Den digitala kameran har faktiskt även revolutionerat vår förståelse av det observerbara universum.

Supernovor

namnges i kronologisk ordning efter det år de först observerats, och sedan med en löpande bokstavskombination. Här är några berömda historiska supernovor:

SN 1054 Dokumenterades av kinesiska astronomer och gav upphov till det som idag är Krabbnubulosan (M1).

SN 1572 Observerades av Tycho Brahe i Cassiopeja och var lika ljusstark som Venus.

SN 1604 Den senast dokumenterade supernovan i Vintergatan, som observerades av bland andra Johannes Kepler och under några veckor till och med var synlig dagtid.

SN 1987A Den hittills bäst studerade supernovan exploderade i Stora magellanska molnet, en närliggande satellitgalax till Vintergatan, och blev snabbt en världsnöhet.

Supernovor är stjärnor som avslutar sin livscykel i en energirik explosion och lyser under kort tid med samma styrka som det samlade ljuset från en hel galax. Uppskattningsvis exploderar en supernova ungefär vart hundra år i en typisk galax. Detta innebär visserligen i praktiken att det exploderar supernovor varje sekund någonstans i universum, men väldigt få är synliga med befintliga instrument. I och med att det inte heller går att veta var och när en supernova ska explodera är det ytterst få av dessa som upptäcks. Ju fler ögon mot himlen desto bättre, och professionella astronomer har länge varit beroende av amatörastronomer för att hitta supernovor.

Det var länge omöjligt att observera supernovor längre bort än några hundra miljoner ljusår från vår galax, Vintergatan. Detta förändrades drastiskt när den digitala ccd-kameran under 1980-talet började ersätta fotografiska plåtar vid de stora teleskopen runt om i världen (ccd-tekniken belönades med Nobelpriset i fysik 2009 och är numera en av två tekniker som används i vanliga digitalkameror). Digitala bilder är betydligt mer exakta än fotografiska, vilket gör att bilder tagna av samma galax vid olika tillfällen kan jämföras med hög noggrannhet. På så sätt går det att leta efter små, för blotta ögat ej synliga, förändringar i galaxen mellan de två bilderna. En dansk forskargrupp ledd av Hans Nørgaard-Nielsen var tidigt ute med att använda denna teknik och lyckades hitta en supernova nästan tre miljarder ljusår från jorden.

I början av 1990-talet hade utvecklingen av ccd-kameras gjort stora framsteg, och det gick att täcka en allt större del av himlen i en enda bild. En forskargrupp, Supernova Cosmology Project (SCP) vid Lawrence Berkeley National Laboratory i Kalifornien ledd av Saul Perlmutter, utvecklade en teknik där de först tog en bild av ca 2000 galaxer under en natt. Ungefär en månad senare tog de en likadan

Galaxhopen Abell 1689 observeras varje månad av ett pågående projekt vid Stockholms universitet i jakt på avlägsna supernovor. Den svarta rutan visar en galax där en supernova, SN 2010lw, hittades. Den infällda bilden nedtill visar bilder tagna av galaxen i januari och juli 2010 – och supernovan som är kvar när man subtraherar bilderna.

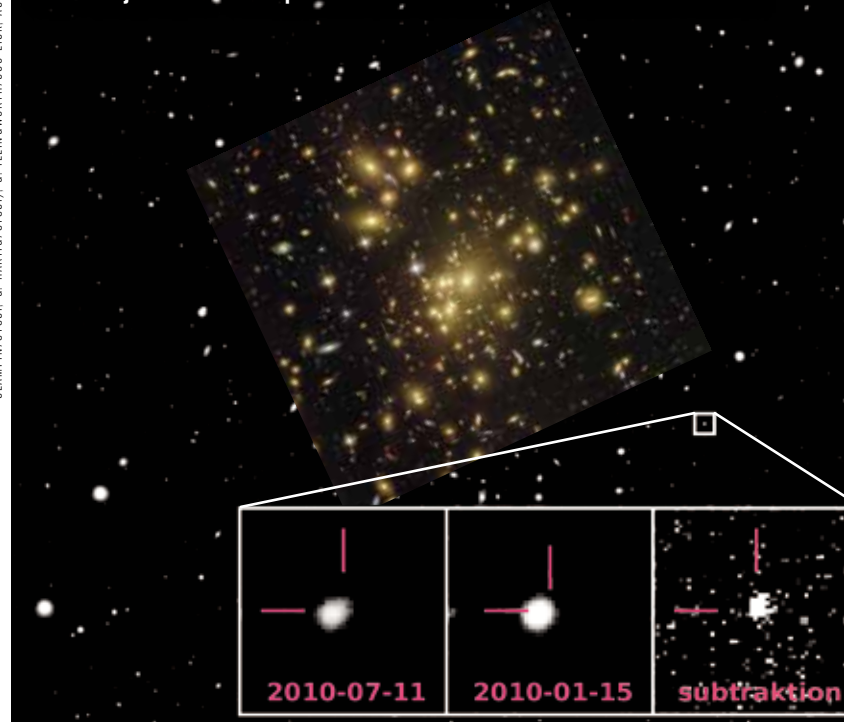


bild och subtraherade den ena från den andra i jakt på supernovor. I denna grupp ingick även Ariel Goobar som numera leder en observationell supernovagrupp på Fysikum vid Stockholms universitet.

Perlmutterns grupp letade särskilt efter så kallade typ Ia-supernovor, som alltid exploderar med ungefär samma ljusstyrka (den exakta orsaken till detta är fortfarande okänd). Precis som det går att bedöma avståndet till en bil beroende på strålkastarnas ljusstyrka, så går det att använda ljusstyrkan hos de här objekten för att mäta avstånden till dem. Ju längre bort de befinner sig, desto ljussvagare är de. Eftersom supernovor exploderar med sådan enorm ljusstyrka lämpar de sig synnerligen väl för att mäta mycket långa avstånd i universum.

Kosmiska avståndsmätningar, som annars är mycket svåra att utföra, är nyckeln till att studera universums historiska utveckling. Det var till exempel genom mätningar av hur långt bort en handfull galaxer befann sig, samt hur fort de rörde sig, som Edwin Hubble 1929 visade att universum expanderar. Hubble upptäckte inte bara att galaxerna rörde sig bort ifrån oss, utan även att de avlägsnade sig fortare ju längre bort de befann sig. En vanlig analogi för att förstå detta är att föreställa sig universum som en jäsande deg där galaxerna representeras av russin i degen (se bild på nästa uppslag). Oberoende av vilket russin man väljer som Vintergatan kommer det att se ut som om de övriga avlägsnar sig i allt högre takt ju längre bort de befinner sig. Det är detta som är Hubbles lag.

När insikten om universums expansion väl sjunkit in inställer sig några uppenbara följdfrågor. Först och främst inser man att om expansionen följs bakåt i tiden måste man komma till en



Supernovan SN 1994D (nedre vänstra hörnet) i galaxen NGC 4526.

tidpunkt då allting började, det vi brukar kalla för The Big Bang eller Den stora smällen. En annan fråga är vad som kommer ske med expansionen i framtiden. Kommer den att fortsätta i all evighet? Den mest påtagliga kraften i universum, gravitationen (tyngdkraften), kommer att motverka detta. Precis som gravitationen är orsaken till att månen kretsar kring jorden, och jorden i sin tur kretsar kring solen, håller den också ihop galaxerna. Kraftens styrka beror på mängden materia, och frågan som kosmologer ställde under 1900-talets andra hälft var om det finns tillräckligt mycket materia i universum för att bromsa in och kanske till och med vända expansionen.

Vi kan inte titta in i framtiden, men däremot kan vi studera universums expansionshistoria. Precis som mängden materia och energi i universum styr vad som händer med universum i framtiden beror även utvecklingen fram till idag av dessa. Expansionshistorien kan studeras genom att gå i Hubbles fotspår och mäta avstånd till avlägsna galaxer, samtidigt som vi mäter universums relativa storlek då ljuset från galaxerna sändes ut. (Faktum är att den hastighet med vilken galaxerna avlägsnar sig från varandra är ett mått på detta.) Då vi blickar ut i universum tittar vi även bakåt i tiden. Ju avlägsnare galaxer vi studerar, desto längre bakåt i tiden ser vi, och desto noggrannare kan vi mäta expansionshistorien och därmed mängden materia och energi i universum.

Kosmiska avståndsmätningar kan göras med typ Ia-supernovor, men det går dessutom att använda deras färg till att mäta universums storlek då supernovan exploderade. Ljus är precis som ljud en vågrörelse och en ljuskällas färg bestäms av våglängden. Blått ljus består av korta vågor, medan långa vågor ger rött ljus. Då universum expanderar drar det även ut ljusets våglängd. Om universums storlek fördubblas under tiden det tar för en ljusstråle att färdas från källa till observatör, kommer även ljusets våglängd att fördubblas. Det är detta fenomen som gör att supernovors färg är ett direkt mått på universums storlek då explosionerna inträffade.

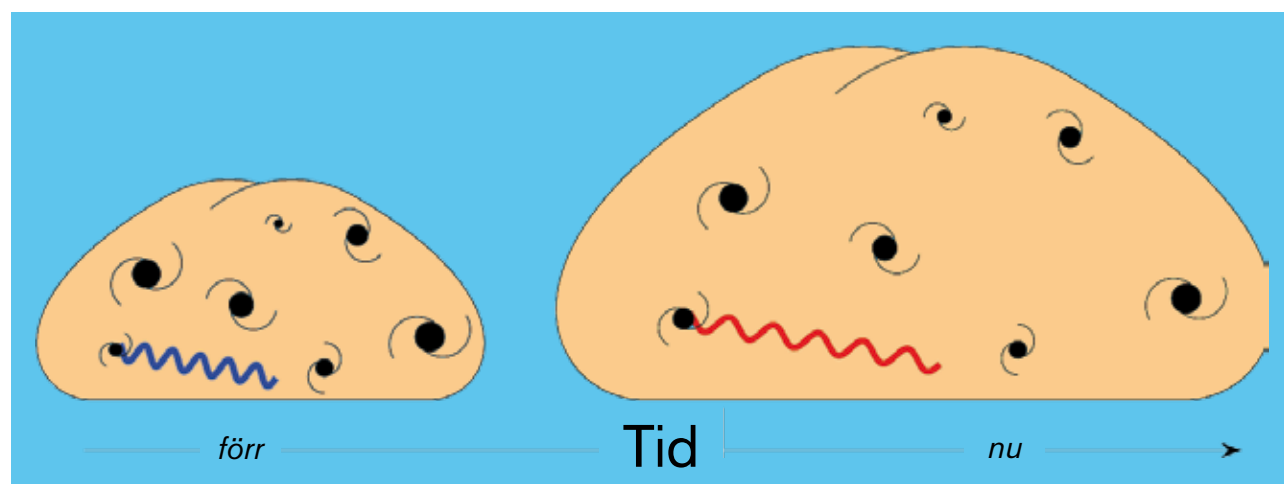
I slutet av 1990-talet fanns det två stycken forskargrup-

per som studerade universums expansionshistoria med hjälp av supernovor. Det var förutom Perlmutter's grupp även en grupp ledd av Brian Schmidt. Ungefär samtidigt kom de två grupperna, oberoende av varandra, fram till en slutsats som revolutionerade vår förståelse av universum – den kosmiska expansionstakten avtar inte, utan tycks istället accelerera.

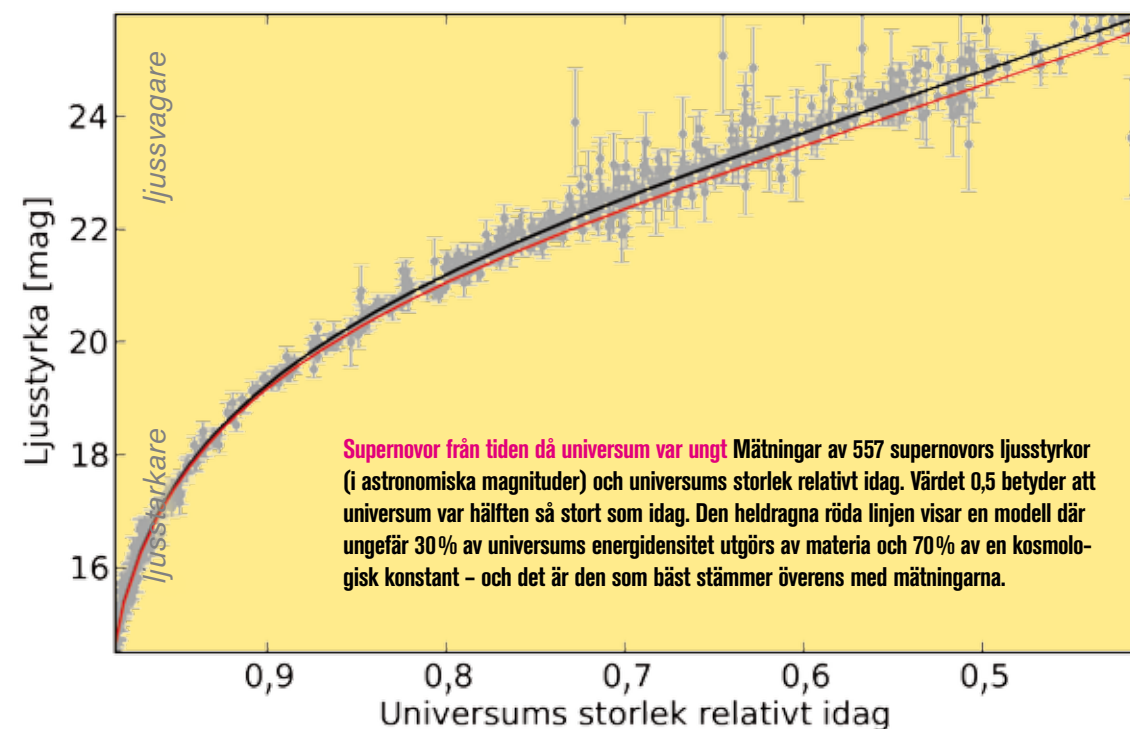
Accelerationen bekräftas

Efter det att supernovaresultaten blev offentliga har upptäckten bekräftats genom att kombinera resultat från flera andra metoder. Först genom mätningar av bakgrundsstrålningen från Den stora smällen samt olika mätningar av galaxhopar, och senare även genom att studera den statistiska fördelningen av galaxers positioner. Ingen mätning har dock hittills lyckats förklara vad det är som skjuter på expansionen och får universum att accelerera. Då materia genom gravitation enbart verkar attraktivt, och således skulle motverka expansionen, måste det antingen finnas en ny okänd kraft, ett slags anti-gravitation, eller så gäller inte antagandet att gravitation fungerar likadant på kosmologiska avstånd som den gör på mindre skalor, exempelvis inom solsystemet eller mellan galaxer i galaxhopar.

I brist på ett bättre ord brukar det som ger upphov till accelerationen kallas mörk energi (ej att förväxla med mörk materia). Jakten på en förklaring till vad mörk energi egentligen är har sedan upptäckten drivits både teoretiskt och observationellt. Från teoretiskt håll har det inte saknats idéer, utan problemet har snarare varit att det finns för många och att de inte är tillräckligt förankrade inom andra grenar av fysiken. Faktum är att redan när Einstein formulerade en kosmologisk modell baserad på sin allmänna relativitetsteori, så införde han en repulsiv kosmologisk konstant för att balansera gravitationen. Detta i syfte att beskriva ett statiskt universum som var den vedertagna uppfattningen vid den tiden. När Hubble sedan visade att



Ett expanderande universum Universums expansion kan liknas vid en jäsande deg, där galaxerna representeras av russin i degen. Oavsett i vilken galax en observatör befinner sig kommer det att se ut som att övriga galaxer avlägsnar sig. I och med att avstånden ökar mer ju längre bort en galax befinner sig kommer galaxer långt bort att avlägsna sig fortare än närliggande. Bilden illustrerar även hur ljus sträcks ut med expansionen och blir rödare.



universum faktiskt expanderar och inte alls är statiskt lär Einstein ha refererat till den kosmologiska konstanten som "mitt största misstag".

Jakten på den mörka energin

I och med upptäckten av den kosmiska accelerationen har den kosmologiska konstanten i allra högsta grad åter blivit aktuell. De mätningar som först visade att universum accelererar byggde på ungefär 50 supernovor. Nyligen har vi i SCP kombinerat mätningar av fler än 500 supernovor tillsammans med andra mätmetoder och visat att den mörka energin faktiskt beskrivs bäst av Einsteins kosmologiska konstant, även om det fortfarande finns utrymme för andra förklaringar.

Observationellt söker vi svar om den mörka energins ursprung genom att mäta dess egenskaper. Variationer i den mörka energins egenskaper, till exempel hur dess densitet varierar med tiden, förväntas ge avtryck i expansionshistorien. Att mäta sådana variationer kräver dock mycket exakta mätningar. Om upptäckten av accelerationen liknas vid att mäta vattennivån i en bassäng, så är avtrycket från variationer i den mörka energins egenskaper enbart som krusningar på vattenytan.

Det går att leta efter dessa avvikelser genom att göra än noggrannare mätningar av universums expansionshistoria. Dessa är dock inte möjliga att göra från jorden, då jordatmosfären dels utgör en oöverkomlig bruskälla, dels inte släpper igenom allt ljus. För tillfället planeras två satelliter, europeiska Euclid och amerikanska WFIRST, som inte enbart är utformade för att mäta den mörka energins egenskaper, utan även om och hur dessa varierar med tiden.

Ett alternativt sätt att söka svar på den mörka energins gåta är nämligen att försöka studera expansionshistorien längre bak i tiden. Vid Stockholms universitet genomförs just nu ett projekt som förhoppningsvis leder till att

universums utveckling kan följas hela vägen tillbaka till när det endast var en fjärdedel av dess nuvarande storlek. Det går normalt inte att hitta supernovor så långt bort med befintliga instrument, men genom att rikta ett av världens största teleskop, Very Large Telescope, mot massiva galaxhopar (se bild på förra uppslaget) kan vi utnyttja hoparnas egenskaper att kröka ljuset från bakomliggande galaxer. Hoparna fungerar som en extra lins framför teleskopet, vilket gör att vi kan observera betydligt längre ut i universum.

Ännu inga svar från strängfysiken

Skulle framtida mätningar peka med allt större noggrannhet mot en kosmologisk konstant kvarstår fortfarande en rad frågetecken. Det är en konstant som saknar fysikalisk förankring. Att söka en kvantfysikalisk förklaring till den kosmologiska konstanten misslyckats fullständigt. Den mörka energins låga densitet, 10^{-29} g/cm^3 , är 10^{120} gånger mindre än vad som ges av en kvantfysikalisk beskrivning. Andra försök har gjorts att söka svar baserade på strängteori, men ännu finns ingen tillfredsställande förklaring.

Oavsett om den kosmologiska konstanten ger oss förklaringen till den mörka energin eller om svaret ligger någon annanstans så kan vi vara tämligen säkra på en sak – den mörka energins gåta är med största sannolikhet porten till helt ny fysik, kanske kan den till och med vara länken som slutligen tillåter en sammanknytning av teorin om det allra minsta, kvantfysik och kvantfältteorin, med teorin om det allra största, den allmänna relativitetsteorin. Ett problem som gäckat fysiker i snart hundra år.

RAHMAN AMANULLAH är postdoc vid Stockholms universitet och Oskar Klein Center för kosmopartikelfysik i Stockholm