

Jakten på universums första sekund

Med teleskop kan vi fånga universums äldsta ljus. Men tiden innan är dold. Där, i universums första sekund, kan svaren finnas på några av fysikens största frågor: varför universum består av mer materia än anti-materia, vad den mörka materien är och om det finns nya naturlagar som vi ännu inte upptäckt. Med gravitationsvågor kan en tidigare osynlig del av universums historia snart bli möjlig att utforska.

AV RIKARD ENBERG

När svarta hål kolliderar bildas krusningar i rumtiden som sprider sig genom universum, så kallade gravitationsvågor. Med det planerade observatoriet Lisa, som kommer att bestå av tre rymdsonder med laser mellan sig, vill man kunna mäta extremt svaga gravitationsvågor. Med Lisa hoppas man kunna fånga spår från universums allra tidigaste ögonblick, vilket kan ge ledtrådar till varför universum ser ut som det gör idag.

Tack vare teleskop, såsom rymdteleskopet James Webb, kan vi genom att titta långt bort också se långt tillbaka i tiden, mot universums begynnelse och big bang. Vi kan blicka tillbaka till när de första stjärnorna och galaxerna tändes, endast några få hundra miljoner år efter big bang.

För att se ännu längre tillbaka har rymdteleskop, såsom Planck som skickades upp 2009, gjort precisa observationer av den kosmiska bakgrundsstrålningen som bildades omkring 380 000 år efter big bang. Det är det ljus som för första gången kunde färdas fritt i universum.

Innan dess var universum så pass hett att elektroner och protoner inte kunde binda sig till varandra. Fotoner kolliderade med de fria elektronerna och kunde inte färdas några längre sträckor. När universum expanderade sjönk temperaturen och elektroner och protoner kunde förenas och bilda neutrala väteatomer. Fotonerna kunde för första gången röra sig fritt genom rymden. Det är dessa fotoner som fortfarande färdas genom universum och som vi i dag observerar som den kosmiska bakgrundsstrålningen.

Planckteleskopets observationer har bidragit till den mest detaljerade kartan över det unga universum hittills. Men att observera vad som hände ännu tidigare är mycket svårt, då vi inte har något ljus från den epoken.

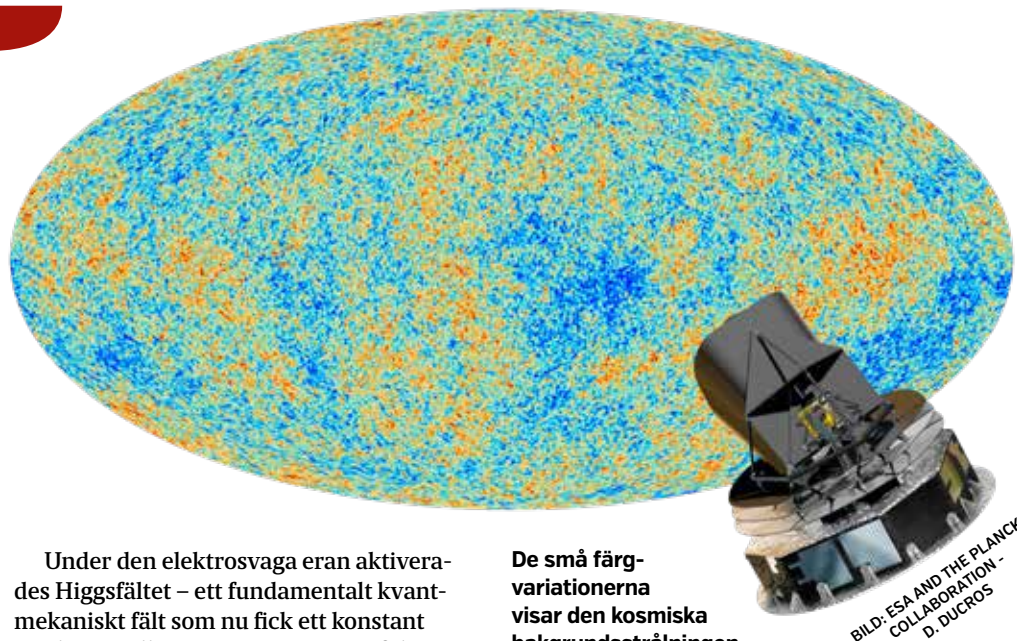
Inom partikelkosmologi är vi intresserade av vad som hände då – innan tyngre atomkärnor än väte bildades, vilket skedde ungefär tre minuter efter big bang.

Framförallt vill vi förstå vad som hände den allra första sekunden efter big bang. Eftersom inget ljus finns från universums absoluta början måste vi använda oss av partikelfysiken som redskap för att förstå vad som pågår.

Gravitationsvågor – ett fönster mot det osynliga

Många av de olösta frågorna som finns i partikelfysiken har att göra med den här tidseran. Exempelvis den mörka materia ursprung eller hur det kommer sig att det finns mer materia än antimateria i universum.

Den första epoken i tidiga universum som vi känner till är den som vi talar om som den *elektrosvaga eran*. Namnet kommer från att eran domineras av den elektrosvaga kraften – en av de fundamentala naturkrafterna. Den här eran inträffade en pikosekund efter big bang, när temperaturen i universum var otroliga 10^{15} grader varmt.



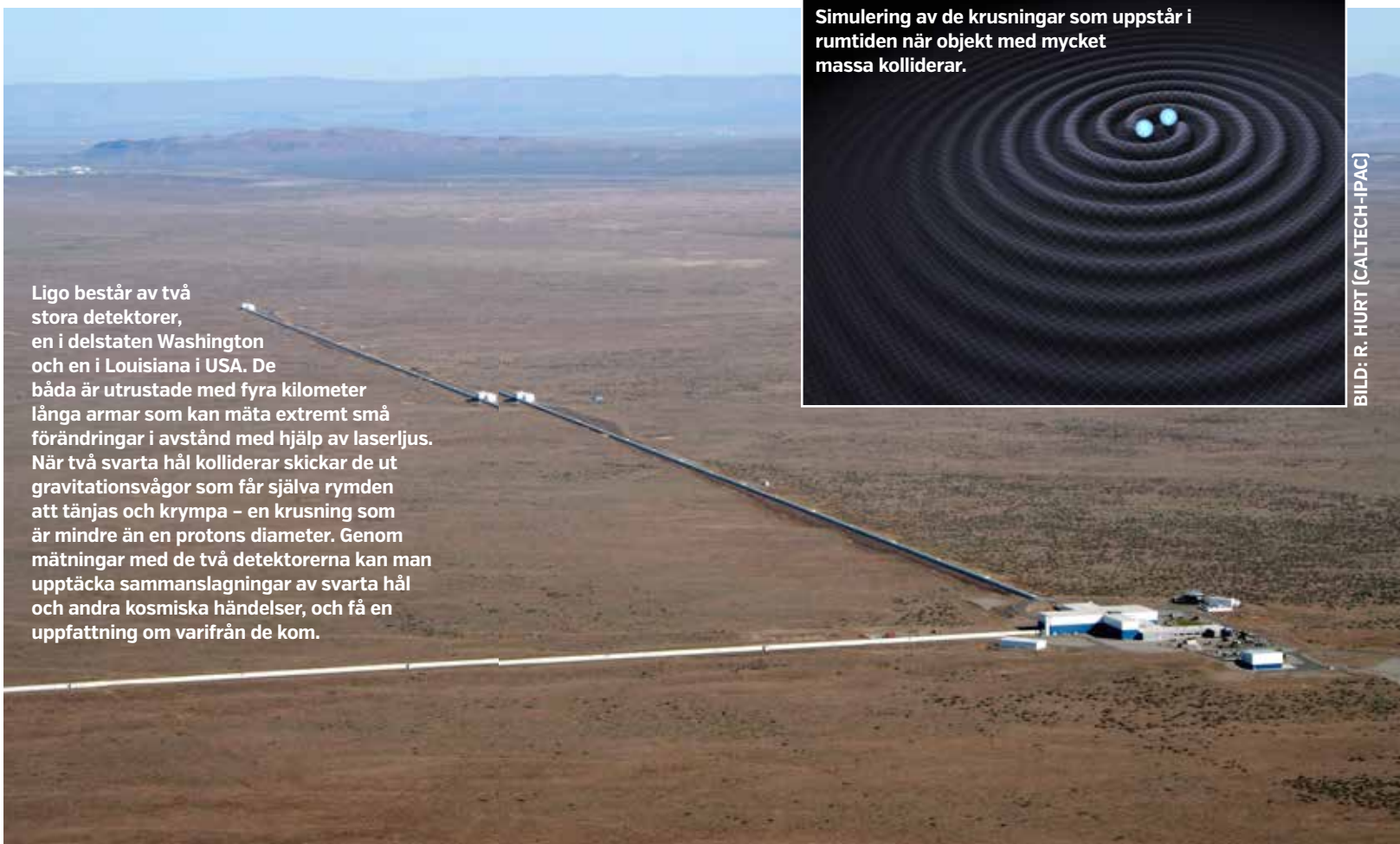
De små färgvariationerna visar den kosmiska bakgrundsstrålningen och motsvarar minimala temperaturskillnader från när universum var 380 000 år ungt. Detta är de första fröna till dagens stjärnor, galaxer och galaxhopar. Genom att kartlägga strålningen har Planckteleskopet gett oss den mest detaljerade bilden hittills av det unga universum och viktiga ledtrådar till hur kosmos utvecklades efter big bang.

Under den elektrosvaga eran aktiverades Higgsfältet – ett fundamentalt kvantmekaniskt fält som nu fick ett konstant värde överallt i rummet. När Higgsfältet aktiverades påverkades partiklarna i universum och gjorde så att nästan alla partiklar gick från att vara helt masslösa till att ha en massa. Detta kallas Higgsmekanismen, och upptäckten av den så kallade Higgsbosonen belönades med Nobelpriset i fysik 2013.

I det här gränslandet – efter big bang och innan ljuset flödade fritt – kan vi inte direkt observera vad som hände utan har hittills behövt förlita oss på indirekta observationer och teoretiska överväganden. Men det har visat sig att under universums skälvande första sekund kan det ha skapats stora mängder gravitationsvågor, och med framväxten av gravitationsvågsastronomi öppnas nu ett nytt fönster mot universum där vi kan använda oss av partikelfysik och gravitationsvågor för att försöka lära oss mer om vad som hände.

Gravitationsvågor är små krusningar i rumtiden och beskrivs av Einsteins allmänna relativitetsteori för gravitation. Enligt teorin kröker massa och energi rumtiden, och gravitationskrafter uppstår när föremål följer de kortaste banorna i den krökta rumtiden. När objekt med mycket massa rör sig bildas störningar i rumtiden som sprids som vågor. I de flesta fall är dessa gravitationsvågor alldeles för svaga för att ha någon effekt för att kunna detekteras. Trots det detekterades gravitationsvågor för första gången 2015 av Ligo-experimentet i USA, vilket också belönades med Nobelpriset i fysik år 2017.

Ligo är en enorm interferometer, med två vinkelräta, fyra kilometer långa armar, där en laserstråle delas upp i två för att sedan kombineras igen. När en gravitationsvåg passerar trycker den samman och drar ut rumtiden, och då förändras armarnas längder olika mycket. När laserstrålarna återvändar har de färdats olika långt, en skillnad som kan mätas och ge



Ligo består av två stora detektorer, en i delstaten Washington och en i Louisiana i USA. De båda är utrustade med fyra kilometer långa armar som kan mäta extremt små förändringar i avstånd med hjälp av laserljus. När två svarta hål kolliderar skickar de ut gravitationsvågor som får själva rymden att tänjas och krympa – en krusning som är mindre än en protons diameter. Genom mätningar med de två detektorerna kan man upptäcka sammanslagningar av svarta hål och andra kosmiska händelser, och få en uppfattning om varifrån de kom.

Vilka kosmologiska processer i det tidiga universum kan ge upphov till gravitationsvågor?

information om vågens styrka och varifrån den kom.

De gravitationsvågor som Ligo observerar kommer från kollisioner av kompakta astronomiska objekt som svarta hål eller neutronstjärnor. För att undersöka det tidiga universum vill vi istället detektera gravitationsvågor skapade av kosmologiska processer.

Materians asymmetri

Men vilka kosmologiska processer i det tidiga universum kan ge upphov till gravitationsvågor? En intressant möjlighet är att det skedde en eller flera kosmologiska fasövergångar under universums första sekund. Fasövergångar är exempelvis när vatten kokar eller is smälter – is, vatten och vattenånga är tre olika faser av samma ämne. Faser kan också representera andra tillstånd, exempelvis kan en järnbit vara magnetiserad, och processen när den magnetiseras är en fasövergång.

Fasövergångar kan också ske när hela universum går från ett tillstånd till ett an-

nat. Ett exempel på detta är när Higgsfältet aktiverades. Då gick universum från ett tillstånd där partiklar var utan massa till ett tillstånd där partiklar hade massa. Vi kallar detta för den elektrosvaga fasövergången, efter namnet på epoken. En sådan fasövergång kan hjälpa till med att förstå frågan om varför det finns mer materia än antimateria i universum.

Att det finns mycket mer materia än antimateria är ett faktum som är svårt att förena med partikelfysikens standardmodell. Detta är den modell som är vår bäst fungerande teori för de grundläggande partiklarna och de fundamentala naturkrafterna som verkar mellan dem. Standardmodellen har testats mycket framgångsrikt men kan inte förklara asymmetrin mellan materia och antimateria. Modellen förutsäger att det borde ha funnits lika mycket materia som antimateria efter big bang. Men kan detta verkligen stämma?

När materia och antimateria möts så släcker de ut varandra och förintas. Det måste alltså ha funnits ett överskott av

vanlig materia redan strax efter big bang. Vi själva och allt vi kan se i universum är resterna av detta överskott.

Bubblande fasövergångar

Det finns en teori om hur den här asymmetrin skulle kunna ha skapats i samband med den elektrosvaga fasövergången som gav allt dess massa, men det fungerar bara för en viss typ av fasövergång. I en sådan fasövergång, som kallas en första ordningens fasövergång, bildas det bubblor av den nya fasen som så småningom tar över helt. Detta liknar när vatten kokar, med bubblor av vattenånga och en omgivning till bubblorna som består av den gamla vätskefasen.

På samma sätt skulle bubblorna i en elektrosvag fasövergång innehålla den nya fasen. Bubblorna växer och kolliderar med varandra och skapar ljudvågor och turbulens. Allt detta ger också upphov till gravitationsvågor, då det är stora mängder med energi som är i rörelse i rumtiden.

Vid bubblornas yta pågår det processer där det skapas nya partiklar, men under vissa förutsättningar skapas det fler partiklar av vanlig materia än antimateria-partiklar. På det sättet skulle en fasövergång med bubblor kunna generera den observerade asymmetrin mellan materia och antimateria. Det betyder att om det skedde en sådan första ordningens fasövergång under den första sekunden efter big bang så har man en möjlig lösning på det mysteriet. Samtidigt, om det stämmer, skulle man kunna testa teorin ifall man kunde detektera de gravitationsvågor som skapades av bubblorna.

Detta är en spännande idé som lett till en febril aktivitet för att lista ut om en sådan fasövergång är möjlig, om den ger observerbara gravitationsvågor och tillräckligt mycket materia jämfört med antimateria.

Fysiken bortom standardmodellen

Det som sätter käppar i hjulet är att enligt standardmodellen kan det inte ha varit en första ordningens fasövergång, utan måste ha varit en andra ordningens övergång. Detta är i teorin i jämförelse en lugn affär där inga bubblor bildas.

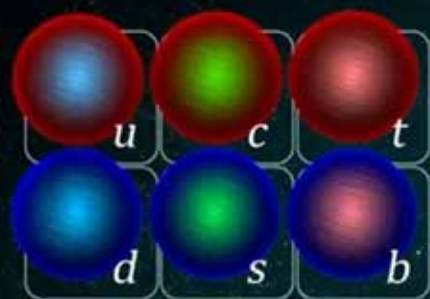
De flesta partikelfysiker är dock överens om att standardmodellen inte kan vara den slutgiltiga teorin – man brukar

Bortom standardmodellen

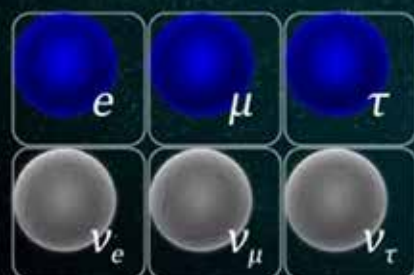
Standardmodellen är den teori som beskriver universums minsta byggstenar och hur de påverkar varandra. Modellen omfattar materiens grundläggande partiklar, som kvarkar och leptoner, exempelvis elektroner, samt de partiklar som förmedlar naturens

krafter. Higgsbosonen, som upptäcktes vid Cern år 2012, är också en del av standardmodellen och förklarar hur många av partiklarna får sin massa. Trots sina stora framgångar med att förklara universum verkar standardmodellen inte visa hela bilden. Den kan till exempel inte förklara varför universum nästan enbart består av vanlig materia och inte antimateria, vad mörk materia är eller hur gravitationen passar in med de andra krafterna. Därför söker forskare som Rikard Enberg efter fysik bortom standardmodellen – nya teorier som kan

beskriva fenomen som standardmodellen inte kan förklara. Flera av teorierna bortom standardmodellen förutsäger nya partiklar eller krafter och kan även förändra idéer om hur universums tidiga utveckling såg ut. Exempelvis skulle det kunna möjliggöra en elektrosvag fasövergång efter big bang som spreds som bubblor genom universum. När bubblor kolliderade kan de ha skapat gravitationsvågor. Upptäckten av sådana vågor kan ge ledtrådar till vilken fysik som kan finnas bortom standardmodellen.



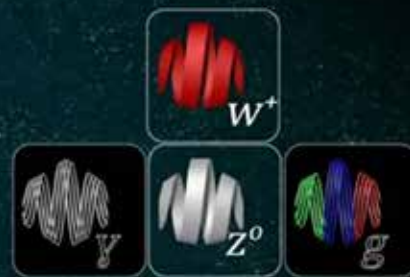
Bosoner



Leptoner

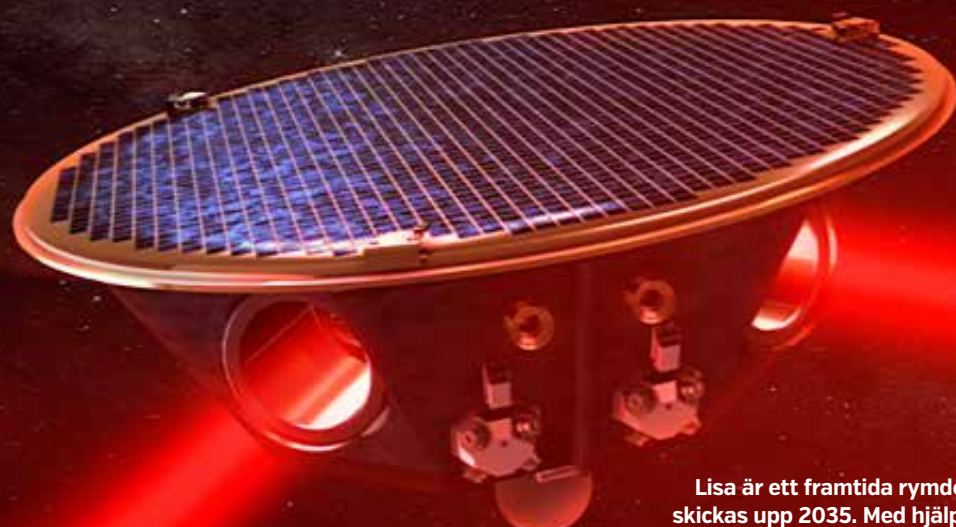


Higgsbosonen



Krafter

Lisa – gravitationsvågsobservatoriet i rymden



Lisa är ett framtida rymdobservatorium som planeras att skickas upp 2035. Med hjälp av tre rymdsonder som skickar laserstrålar mellan varandra över miljontals kilometer vill man mäta gravitationsvågor som är mycket längre än de gravitationsvågor som upptäcks med markbaserade observatorier som Ligo. Förhoppningen är att Lisa ska detektera vågor skapade av en fasövergång i det tidiga universum, vilket kan ge svar på frågor om materians natur, universums första ögonblick och om ny fysik.

Det ger en fantastisk möjlighet att testa fysiken i universum direkt efter dess födelse

tala om fysik bortom standardmodellen som ska kunna lösa de olika frågorna och problemen inom partikelfysiken. Denna fysik bortom standardmodellen är en av de stora motiveringarna för de experiment som utförs vid partikelacceleratorn Cern och andra liknande anläggningar världen över. Många föreslagna teorier för ny fysik leder till en första ordningens fasövergång så att de skulle kunna hjälpa till att förklara asymmetrin av materia och ge upphov till gravitationsvågor.

Det är dock än så länge okänt om fysik bortom standardmodellen faktiskt finns och vad det i så fall är. Men om man upptäcker något nytt i experiment och ifall man finner mätningar som tyder på något som skulle kunna skapa en asymmetri i materian så vore det ett stort plus i kanten för den teorin. Ett sätt att testa detta är att leta efter gravitationsvågor från en fasövergång.

Lisa – ett Ligo i rymden

Det är en av de saker som vi sysslar med i vår forskargrupp: vi försöker förbättra de teoretiska metoderna för att kunna säga mer säkert vad som pågår, och vi försö-

ker lista ut vilka teorier inom partikelfysik som kan ge upphov till en sådan fasövergång och gravitationsvågor.

Men dessa teoretiska gravitationsvågor från bubblorna av fasövergången har en mycket längre våglängd än de man observerat i Ligo – upp till hundratal miljoner kilometer istället för tusentals kilometer. För att upptäcka så pass utsträckta krusningar i rumtiden behöver man ett observatorium som är mycket större än Ligo.

Den europeiska rymdorganisationen Esa, med stöd av amerikanska Nasa, driver just nu utveckling och konstruktion av ett rymdbaserat observatorium för gravitationsvågor som kallas Lisa, eller Laser Interferometer Space Antenna.

Lisa bygger på samma princip som markbaserade gravitationsvågsobservatoriet Ligo, men ska bestå av tre rymdsonder i form av en liksidig triangel med en sidlängd på hela 2,5 miljoner kilometer. Liksom Ligo ska de tre rymdsonderna sända ut laser mellan varandra, och forma triangeln. I skrivande stund är Lisa planerad till att skjutas upp på en Arianeraket om ungefär ett decennium, år 2035. Lisa ska därefter kretsa runt solen i samma bana som jorden men 50 miljoner kilometer efter oss i sin bana.

Lisa, som utvecklas i samarbete av astrofysiker, partikelfysiker och ingenjörer världen över, byggs för att kunna detektera många olika källor till gravitationsvågor. Vår förhoppning är att Lisa ska kunna märka av krusningarna från kollisioner av supertunga svarta hål och andra astronomiska objekt, men kommer också att vara känsligt för gravitationsvågor i det våglängdsområde som skulle genereras av en elektrosvag fasövergång.

Det ger en fantastisk möjlighet att testa fysiken i universum direkt efter dess födelse och att därigenom få insikt i fundamental fysik som annars är osynlig för våra teleskop. ★

Rikard Enberg är professor i teoretisk fysik vid avdelningen för högenergifysik vid Uppsala universitet. Hans forskning inom partikel- och astropartikelfysik handlar till stor del om att upptäcka fysiken bortom standardmodellen.



BILD: MIKAEL WALLERSTEDT

Rikard Enberg



Klipp ut och skicka in eller skanna QR-koden!

- ☐ Ja tack, jag vill gärna prova Populär Astronomi till introduktionspriset 390 kr för fem nummer!



Frankeras ej.
Mottagaren
betalar portot.

Namn *

Gatuadress eller motsvarande *

Postnummer, ort *

Mejladress

Telefon

Som bonus blir du medlem av Svenska Astronomiska Sällskapet!



POPULÄR ASTRONOMI

AlbaNova Universitetscentrum
SVARSPOST
200 064 900
110 50 STOCKHOLM

* Obligatoriska uppgifter. Vi använder inte personuppgifter till andra ändamål.