

# HELA RYMDEN SKAKAR – SÅ UPPTÄCKTE VI GRAVITATIONSVÅGOR

av Ulf Torkelsson

Vad var det som hände den 14 september 2015, och varför förändrade det fysikens historia?

Einsteins allmänna relativitetsteori förutsäger att det ska finnas gravitationsvågor, och till slut, efter flera decenniers sökande, har man upptäckt sådana vågor.

När Einstein formulerade sin allmänna relativitetsteori 1915 var det en ny teori för gravitationen, vilken skilde sig mycket från Newtons gravitationslag. Enligt Newton var gravitationen en attraherande kraft mellan två massor. Om vi tänker oss en asteroid som passerar förbi en planet, så kommer gravitationskraften från planeten att böja av asteroidens bana mot planeten. Einstein tänkte sig istället att gravitationen kom från att den rumtid som vi lever i är krökt. Planeten kröker rumtiden omkring sig, och för asteroiden finns det inte en rak linje att följa längre, utan den rör sig med rumtidens krökning, så att dess bana böjer av mot planeten. Därför blir effekten av Newtons gravitationslag och Einsteins allmänna relativitetsteori praktiskt taget densamma i de flesta fall, men i extremt starka gravitationsfält skiljer de båda teorierna sig åt.

För att förstå rumtidens krökning kan vi använda en liknelse. Vi kan lägga en tung kula på en elastisk gummiduk. Runt kulan bildas det då en försänkning i gummiduken, och är kulan väldigt tung blir det en djup tratt.

Tänk er nu att vi istället lägger två kulor nära varandra på gummiduken. För att hindra kulorna från att sjunka ned i samma tratt låter vi dem snurra runt varandra. Då kommer naturligtvis gummidukens form att hela tiden förändras, och om vi tittar riktigt noga ser vi att vågor rör sig utåt från det område där kulorna rör sig runt varandra. Dessa vågor svarar mot gravitationsvågorna i den allmänna relativitetsteorin.

Vi förstår av det här exemplet att en dubbelstjärna kommer att sända ut gravitationsvågor. Dessa gravitationsvågor bär precis som andra typer av vågor med sig energi. Den energin tas från dubbelstjärnans rörelse, vilket leder till att stjärnornas banor gradvis krymper, så att de kommer allt närmare varandra. För vanliga dubbelstjärnor är den här effekten så liten att den aldrig märks, men om gravitationsfältet blir väldigt starkt, vilket är fallet omkring ett svart hål eller en neutronstjärna, så blir energiförlusten större.

Gravitationsvågor är alltså en form av deformationer i rumtiden, vilka fortplantar sig genom rumtiden. Matematiken bakom den allmänna relativitetsteorin är så sofistikerad att det under lång tid fanns en stor osäkerhet kring huruvida dessa vågor hade en mätbar effekt, eller om



BILD: SXS, THE SIMULATING EXTREME SPACETIMES (SXS) PROJECT (HTTP://WWW.BLACK-HOLES.PROJ)

de bara var en matematisk lösning utan några praktiska konsekvenser. Det krävdes mycket ingående beräkningar för att visa att en gravitationsvåg verkligen kan påverka en detektor. Om den enklaste formen av gravitationsvåg skulle träffa mig eller dig, så skulle jag först dras ut på längden och tryckas ihop på bredden för att genast efter tryckas ihop på längden och dras ut på bredden, eller tvärtom. Faktum är att det hela tiden finns gravitationsvågor som passerar genom oss, men gravitationen är en så svag kraft att förändringen i min längd blir mycket mindre än diametern av en atom, och därför märker vi inte av dessa gravitationsvågor.

### Framgång och förtvivlan

Om effekten av en gravitationsvåg nu är så svag, hur ska man då kunna upptäcka en sådan våg? Den första metoden som man försökte använda byggde på att man tog en stor metallcylinder av till exempel aluminium. Om cylindern träffas av en gravitationsvåg kommer den att sättas i svängning som en trumma som man slår på. En

väldigt känslig mikrofon kan sedan mäta upp vibrationen i cylindern. Den förste som försökte bygga en sådan gravitationsvågsdetektor var Joseph Weber på 1960-talet. Efter ett tag var han lite för framgångsrik, och upptäckte gravitationsvågor praktiskt taget dagligen. Resultaten var orimliga, för det är bara extrema händelser som supernovor och kolliderande svarta hål som kan alstra tillräckligt starka gravitationsvågor för att de ska gå att mäta upp, men sådana händelser sker mycket mer sällan än så i Vintergatan. Dessutom fanns det en rysk grupp i Moskva under ledning av Vladimir Braginskij som inte kunde detektera samma gravitationsvågor som Weber hade hittat. Slutsatsen idag är att något gick fel i Webers experiment.

### Lasertunnlar i L-format

Ett annat sätt att ta emot gravitationsvågor är genom att bygga ett stort L. När en gravitationsvåg passar L:et kommer dess ena sida att tänjas ut medan den andra sidan trycks ihop, och ett ögonblick senare blir det tvärtom. Det är då möjligt att märka att en våg har passerat genom att hela





# LIGO

HANSFORD, WA, USA

LIGO består av två instrument i olika delar av USA, ett i Hansford i staten Washington och ett i Livingston i Louisiana. Systemexperimentet VIRGO i Italien väntas uppnå samma känslighet som LIGO under 2018.

tiden mäta de båda sidornas längder med mycket hög precision. Detta gör man genom att sätta en laser nära L:ets mitt och dela upp laserstrålen i två delar som följer varsin sida av L:et. Laserstrålarna reflekteras tillbaka av speglar i sidornas ändar, och smälter sedan ihop, interfererar, igen i L:ets hörn. Beroende på hur lång sträcka som strålarna har gått kan de då antingen förstärkas eller försvaga varandra. Därför kan vi mäta små förändringar i armarnas längd med mycket stor noggrannhet genom att mäta laserstrålens styrka. Mätningarna är så extremt känsliga att laserstrålarna inte kan gå genom luften, utan de måste gå genom vakuumtunnlar. Till att börja med sågs laserinterferometrin som en mycket svårare teknik än aluminiumcylindrarna, så det dröjde länge innan tekniken utvecklades.

## Extrema dubbelstjärnor

År 1974 upptäckte Hulse och Taylor dubbelpulsaren PSR 1913+16, en upptäckt för vilken de belönades med 1993 års nobelpris i fysik. Denna är en dubbelstjärna som består av två neutronstjärnor, vilka rör sig runt varandra. En av neutronstjärnorna är en radiopulsar, och genom att med hög precision bestämma ankomsttiderna för radiosignalerna från denna kan man bestämma dess banrörelse.

Till att börja med såg man att det tog 7,75 timmar för kropparna att röra sig ett varv runt varandra. När de är som närmast varandra är avståndet mellan dem 750 000 km, och pulsaren kommer då upp i en hastighet av 300 km/s. Men pulsarens bana krymper, så att för varje år minskar banperioden med 0,000 0765 s. Detta svarar mot att avståndet mellan stjärnorna minskar med 3,5 meter per år. Systemet förlorar gradvis energi i precis den omfattning det skulle göra om det sänder ut gravitations-

strålning i enlighet med den allmänna relativitetsteorin. I mer än fyrtio år var det det bästa beviset för att det finns gravitationsstrålning. Tyvärr kan vi inte direkt detektera denna strålning ännu, eftersom den är för svag för att vi ska kunna mäta upp den och rumtidens krökning skulle ta lika lång tid på sig att variera som dubbelstjärnans banperiod.

Dubbelstjärnans ständiga förlust av energi kommer att leda till att de båda neutronstjärnorna kommer att kollidera om 300 miljoner år. Precis innan de kolliderar kommer de att röra sig allt snabbare runt varandra och sända ut allt intensivare gravitationsstrålning med allt kortare period.

Gravitationsstrålningens förmåga att föra två stjärnor närmare varandra spelar också en roll även i andra stjärnsystem. Hos vissa täta dubbelstjärnor där en vit dvärg och en liten röd stjärna kretsar kring varandra tycks det främsta skälet till att banorna krymper vara att det sänds ut gravitationsstrålning.



## LIGO byggs, förbättras – och lyckas

Om nu Webers aluminiumcylindrar inte var tillräckligt känsliga för att upptäcka gravitationsvågor, så var det kanske dags att prova den andra metoden. I slutet på 1970-talet började man testa att bygga laserinterferometrar bland annat vid CalTech och MIT i USA. Under många år handlade det i första hand om att förstå de störningskällor

FOTO: LIGO

BILD: AET/MM/EXOZET



som påverkade mätningarna och lära sig att minimera dem, men i slutet på 1980-talet hade man kommit så långt att man tillsammans kunde skriva ett förslag på ett stort instrument, LIGO, för att leta efter gravitationsvågor.

För att minska risken för att tillfälliga lokala störningar skulle misstolkas byggdes två stationer. De båda anläggningarna stod färdiga vid sekelskiftet, och de bestod då var och en av två armar, som är 4 km långa. Under de kommande åren handlade forskningen främst om att förstå de störningar som uppstår och hitta sätt att minimera dessa. Först 2015 hade man uppnått en tillräcklig känslighet för att det skulle finnas en rimlig chans att hitta en gravitationsvåg, som svänger fram och tillbaka på mindre än en sekund.

Den första vetenskapliga körningen med denna förbättrade version av LIGO började hösten 2015 och fortsatte in i början av 2016. Analysen av dessa mätningar är så rigorös att man först i februari 2016 kunde tillkännage att LIGO

bara 18 respektive åtta gånger tyngre än solen.

Vi vet att svarta hål bildas när tunga stjärnor exploderar som supernovor, och ofta räknar man med att sådana svarta hål inte kan väga mer än tjugo gånger så mycket som solen, då en stor del av stjärnans massa kastas ut i den omgivande rymden, men det finns fortfarande stora osäkerheter kring hur tunga stjärnor kan bli och vad som händer i slutet av de tyngsta stjärnornas liv.

### Nytt sätt att se svarta hål

Fram till nu har vi främst hittat svarta hål genom att observera den röntgenstrålning som bildas då gas faller in mot det svarta hålet. På senare år har man lagt märke till att några sådana röntgenkällor är extremt ljusstarka, vilket tyder på att de svarta hålen kan vara flera hundra gånger



## VIRGO

CASCINA, ITALIEN

redan den 14 september 2015 upptäckte gravitationsvågor från två svarta hål som kraschade in i varandra då deras banor krympte ihop. Det två svarta hålen är 29 respektive 36 gånger tyngre än solen. Vi vet att kollisionen skedde på ett avstånd av 1,3 miljarder ljusår från oss, men vi vet inte exakt var på himlen den skedde. Flera forskargrupper har försökt att hitta ett samtidigt utbrott i någon annan form av strålning, som synligt ljus eller gammastrålning, men inget sådant utbrott har upptäckts med säkerhet. Det betyder att hundra år efter att Einstein publicerade sin allmänna relativitetsteori, så har man till slut kunnat bekräfta en av teorins förutsägelser: att det finns gravitationsvågor.

I juni kunde sedan LIGO-projektet meddela att man i

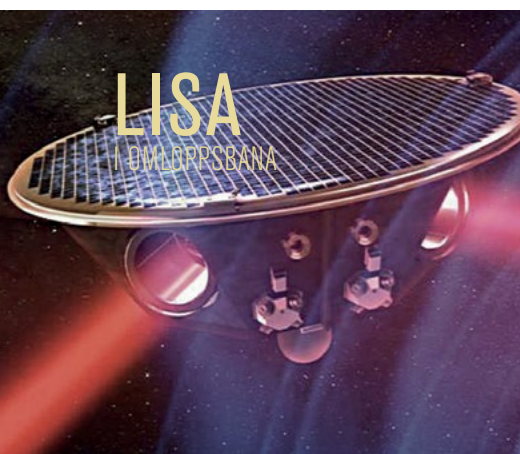
sina data hade hittat ännu en händelse från annandag jul 2015. Denna kom sig också av att två svarta hål hade kolliderat med varandra, men i detta fall var de betydligt lättare,

tyngre än solen, men dessa uppskattningar har stora osäkerheter. Därför är det välkommet att vi nu har fått tillgång till ett nytt sätt att bestämma de svarta hålens massor.

LIGO kan bara mäta upp de högfrekventa gravitationsvågor som bildas då ett par svarta hål eller neutronstjärnor kolliderar, eller den gravitationsstrålning som avges i samband med en supernovaexplosion. LIGO kommer aldrig att kunna mäta den mycket lågfrekventa strålning som en tät dubbelstjärna avger under många miljoner år innan dubbelstjärnan kollapsar. För att kunna mäta denna gravitationsstrålning krävs ett instrument med mycket längre armar.

Den europeiska rymdstyrelsen, ESA, arbetar sedan lång tid på att bygga ett sådant instrument, som ska arbeta ute i rymden där det också påverkas mindre av yttre störningar. Detta projekt, LISA, kommer förmodligen att vara klart att tas i drift om ungefär tio år. Bortsett från att kunna mäta upp gravitationsvågor från täta dubbelstjärnor hoppas LISA också att kunna observera gravitationsvågor från de stora svarta hålen som rör sig i galaxernas centra. Vi står nu på randen till en ny astronomi som vi hoppas ska göra det möjligt att studera universum på ett helt nytt sätt. ★

ULF TORKELSSON är astronom och gymnasielärare.



## LISA

I RYMDSTRÅLNINGEN