

VÅR TIDS FINASTE SUPERNOVA

av Josefin Larsson

SUPERNOVA 1987A

Upptäcktes 23 februari 1987. Den var då så ljusstark att den kunde ses med blotta ögat.

Belägen i vår granngalax Stora magellanska molnet, ca 160 000 ljusår bort.

Stjärnan som exploderade var en blå superjätte med en massa ca 20 gånger högre än solens. Man kan se stjärnan på bilder som tagits före explosionen.

Neutriner från supernovan observerades på jorden, vilket visade att det verkligen var en stjärna som hade kollapsat.

De tre ringarna runt supernovan skapades redan 20 000 år före explosionen. Man vet inte säkert hur det gick till, men det kan ha berott på att två stjärnor slogs ihop till en. Den inre ringen har en diameter på ca 1,2 ljusår och de yttre ringarna är ca tre gånger större. Tillsammans bildar de ett slags timglasstruktur runt supernovan.



Hubblebilder visar upp supernovan, ringarna samt andra stjärnor.

I år är det trettio år sedan ljuset från en stjärna som exploderade nådde jorden – och blev ett helt eget forskningsfält.

Josefin Larsson berättar historien om supernova 1987A, och vad den berättar för oss idag.

En supernova är en stjärna som exploderar. Supernova 1987A var den första supernovan man såg år 1987 – därav namnet "1987A". Den visade sig vara den mest närbelägna supernovan sedan Keplers supernova 1604. Faktumet att den är så närbelägen ledde till en rad viktiga upptäckter redan år 1987 (se faktaruta).

Idag, hela 30 år senare, lyser den fortfarande starkt och genom att observera dess utveckling lär vi oss hela tiden nya saker om hur supernovor fungerar. Den här artikeln handlar om vad vi har lärt oss genom att studera 1987A under de senaste åren och vad vi fortfarande hoppas kunna lära oss i framtiden. Det är också en historia om oväntade upptäckter som vi gjorde av en slump när vi höll på att studera andra saker.

Slut på ett stjärnliv

Innan vi fördjupar oss i SN 1987A är det på sin plats att klargöra några grundläggande saker om supernovor i allmänhet. För det första så är det bara stjärnor som har massor cirka åtta gånger större än solen som avslutar sina liv med en explosion. De vanligaste stjärnorna har betydligt lägre massor än så, och supernovor är därför ganska sällsynta.

I en galax som Vintergatan inträffar en supernova ungefär vart 100e år. Trots att de är sällsynta spelar supernovor dock en viktig roll i universum eftersom de bildar och sprider ut tunga grundämnen. Exakt hur explosionerna går till vet vi inte (mer om det senare), men vi vet att de börjar med att en tung stjärna kollapsar när den tillverkat järn i sitt inre. När järn har bildats kan nämligen stjärnan inte längre frigöra energi genom att slå ihop lättare grundämnen till tyngre. Därmed finns det inget som kan stå emot gravitationen och en kollaps blir oundviklig.

Det var utmärkt timing att SN 1987A inträffade just år 1987. Bara några år senare, 1990, skickades nämligen rymdteleskopet Hubble upp i omloppsbana runt jorden. Hubble tar bättre bilder i synligt ljus än något annat teleskop och har varit ovärderligt för att studera SN 1987A. Tyvärr dröjde det dock till 1994 innan vi fick se riktigt bra bilder av supernovan. Man hade gjort ett litet, men förödande, misstag med spegeln, och det krävdes att man skickade astronauter som rättade till optiken för att teleskopet skulle fungera som det var tänkt. Bilden i rutan ovan visar en av de första bilderna som togs av SN 1987A efter reparationerna. Supernovan är det ljusstarka objektet i mitten, medan de tre ringarna tros ha skickats ut från stjärnan många tusen år före explosionen (se faktaruta).

Bakgrundsbild: supernovan som den såg ut kort efter smällen 1987, i ett fotografi från ESO:s Schmidtteleskop.

Stjärnrester och ringar

Sedan 1994 har Hubble tagit bilder av supernovan nästan varje år. På nästa uppslag ser du ett kollage av dessa bilder. Bilderna är beskurna så att man bara ser supernovan och den inre ringen. Det är lätt att se tydliga förändringar i bilderna från år till år. Detta är en tidsskala som är väldigt väl anpassad för en astronom. I många astronomiska objekt, som till exempel galaxer, sker utvecklingen på en tidsskala om många miljoner år, vilket ju uppenbarligen inte går att följa i realtid. I andra fall, exempelvis i de korta gammablixtar som uppstår när neutronstjärnor slås samman, är signalen typiskt över på minde än en sekund, vilket inte ger oss mycket tid för detaljerade studier. Förutom att vara unikt närbelägen och att inträffa under tiden vi har Hubbleteleskopet, så är alltså SN 1987A väldigt väl anpassad till en mänsklig tidsskala.

En av de tydligaste förändringar man ser i tidsserien är ringen. I den ser vi hur nya ljusstarka klumpar ("hotspots") dyker upp en efter en, för att till slut bilda ett helt pärlhalsband kring år 2005. Dessa hotspots lyser på grund av chockvågen som uppstår när de yttre delarna av supernovan kraschar in i ringen. Chockvågen gör faktiskt

att ringen lyser i större delen av det elektromagnetiska spektret, från radio till röntgenstrålning. Detta ger oss astronomer en fantastisk möjlighet att studera chockfysik med väldigt stor noggrannhet.

När vi tittade på de nya bilderna som togs 2014 upptäckte vi att något nytt var på gång med ringen. Vi såg att nya, svaga hotspots hade dykt upp utanför ringen. Eftersom de är så svaga syns de inte så tydligt i kollaget. Däremot syns de bra i den bilden från 2017, som har en skala som gör att svaga ljuskällor syns bättre. Vi tolkar de här observationerna som att chockvågen har tagit sig igenom ringen och nu kolliderar med gas som finns utanför. Allteftersom chockvågen fortsätter utåt så kommer den göra att gas som ligger allt längre bort lyser upp. Den här gasen skickades ut från stjärnan långt innan explosionen. Vi hoppas därför kunna lära oss mer om slutfasen av stjärnans liv genom att följa utvecklingen av nya hotspots. Samtidigt som detta pågår har den ursprungliga ringen med hotspots börjat lysa allt svagare i takt med att den slits sönder av chockvågorna. Om våra förutsägelser stämmer kommer ringen att vara helt borta runt år 2030. I bästa fall kommer Hubbleteleskopet att finnas kvar för att studera hela den här utvecklingen.

BILD: NASA/ESA/P. CHALLIS (CFR)



De tre ringarna är inte helt tomma inuti. (Här finns även tre stjärnor som råkar ligga framför eller bakom supernovan.)

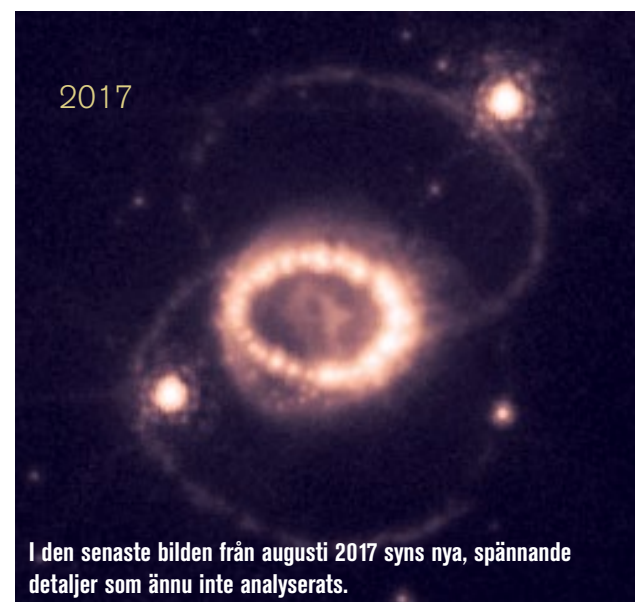
från t.ex. en ambulans ändras när den är på väg mot oss eller från oss. Det fungerar på ett liknande sätt med ljus: ljus från en källa som är på väg mot oss får blåare färg och ljus från en som är på väg bort får rödare färg. Genom den här tekniken kan vi bestämma formen i 3D för flera olika grundämnen som kastats ut av explosionen. Exempelvis visar bilden nedan den asymmetriska fördelningen av väte. Den observerade 3D-formen har redan visat att det är väldigt osannolikt att explosionen drevs av så kallade jetstrålar. Vi arbetar med att jämföra med andra explosionsmodeller för att se om de ger bättre överensstämmelse med observationerna.

Radioaktivitet och ringkrock

Det var egentligen för att studera formen på den utkastade materian som jag först blev intresserad av SN 1987A och började jobba med Hubbleobservationerna. Långt innan

domineras av energi från radioaktiva sönderfall, så kallar vi den istället en supernovarest. Faktumet att det som finns kvar av supernovan blir ljusare har dessutom varit riktigt lyckosamt för oss som vill studera det. Om det bara hade fortsatt att blekna hade det idag varit så ljussvagt att vi inte hade kunnat göra några noggranna studier.

Våra studier av formen på den utkastade materian ledde till ännu en oväntad upptäckt. Delar av sommaren för två år sedan ägnade jag åt att studera en ny observation av den i kortvägigt infrarött ljus som tagits med Very Large Telescope (VLT) i Chile. När jag gick igenom linjerna i spektret var det två linjer som jag inte kunde identifiera med några väntade energiövergångar i atomer. Det visade sig att linjerna i stället berodde på strålning från molekylärt väte. Det här var första gången som molekylärt väte hade observerats i någon supernova! Att molekylärt väte skulle bildas hade förutsagts av modeller redan på 1990-talet, men eftersom signalen var svag hade man inte sett



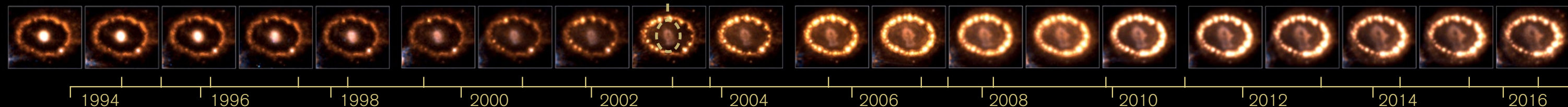
2017

I den senaste bilden från augusti 2017 syns nya, spännande detaljer som ännu inte analyserats.

BILD: NASA/ESA/J. LARSSON M. FL. BILD: LÄNGST UPP OCH LÄNGST NER: ESO

Medan ringen gnistrar sprider stjärnresterna ut sig

utkastad materia - - -



Stjärnrester brer ut sig

Det som syns i mitten av ringen är materialet som slungades ut i explosionen. I tidsserien ser man hur den utkastade materian expanderar, vilket man så klart väntar sig i en explosion. Man ser också att den har en tydligt asymmetrisk form. Detta är faktiskt något som har stor betydelse. Trots att vi vetat länge att supernovor är exploderande stjärnor så förstår vi faktiskt inte mekanismen som utlöser explosionen. Ett av ganska få sätt att utvärdera teoretiska modeller för explosioner är att undersöka formen på det som kastas ut – hur asymmetriskt det är, hur stora klumpar det består av, och så vidare. Eftersom materian har expanderat fritt sedan explosionen så hänger den form som vi observerar direkt ihop med de fysikaliska förhållanden som rådde vid explosionstillfället. Supernova 1987A är faktiskt den enda supernovan som är så närbelägen att vi kan studera formen på det som kastats ut. I mer avlägsna supernovor är det bara en punktkälla på bilderna.

Vi kan gå ännu längre än att bara studera formen på bilderna. Med lite extra arbete kan vi även bestämma formen i tre dimensioner. För att komma åt den tredje dimensionen använder vi en teknik som kallas dopplertomografi. Den går ut på att man använder dopplereffekten för att ta reda på om material i en viss del av bilden är på väg mot oss eller från oss, och med vilken hastighet. Till vardags är de flesta av oss främst bekanta med dopplereffekten när vi hör hur signalen

jag kom någon vart med det projektet så upptäckte vi dock något annat intressant – ljusstyrkan på materian utvecklades inte som väntat. När en stjärna exploderar bildas radioaktiva ämnen, och det mesta av ljuset från en supernova kommer från energi som frigörs när dessa ämnen sönderfaller. Ljusstyrkan från en supernova avtar därmed i takt med sönderfallen. Detta stämmer med vad vi ser i SN 1987A fram till ungefär år 2000. Därefter blir den utkastade materian ljusare igen, tvärt emot vad man hade väntat sig. Den här effekten är så tydlig att man till och med kan se den direkt i bildserien ovan. Efter att ha gått igenom många olika möjliga förklaringar för det här kom vi fram till att den mest troliga anledningen är att det är röntgenstrålningen från ringen som börjat hetta upp materian och fått den att lysa starkare igen. Detta markerar en helt ny fas i utvecklingen av SN 1987A; när supernovan inte längre

Skevt och ihåligt: vätet i resterna efter supernovan visas här i blått. Det kan rekonstrueras i 3D tack vare expansionen.

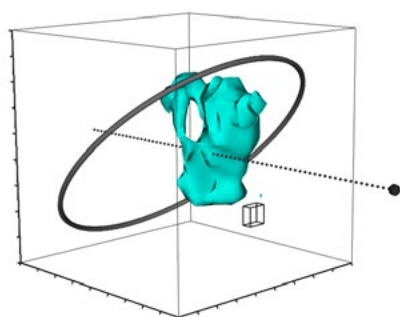


BILD: J. LARSSON

den i någon supernova förrän nu. Vår upptäckt bekräftade att de modeller man har för de fysikaliska förhållanden i supernovor fungerar bra. Redan några år tidigare hade dessutom andra forskare som använt submillimeterteleskopet ALMA observerat andra molekyler, som till exempel kolmonoxid och kiselmonoxid. Faktumet att alla dessa molekyler kan observeras i den utkastade materian innebär att vi nu kan använda SN 1987A för att lära oss mer om hur olika delar av stjärnan har blandats i explosionen och hur molekylbildning fungerar i supernovor i allmänhet.

Neutronstjärna eller svart hål i mitten?

Trots att vi lär oss nya saker om den här supernovan varje år så återstår fortfarande flera frågetecken. Ett av de viktigaste är att vi ännu inte har hittat den så kallade neutronstjärna som enligt teorin ska ha bildats av stjärnans innersta delar. En neutronstjärna består som ordet antyder till största delen av neutroner. Dessa är extremt tätt packade, vilket innebär en extremt hög densitet. Att hitta neutronstjärnan i 1987A och mäta dess egenskaper, så som dess temperatur, skulle vara ett mycket viktigt steg för forskningen om såväl supernovor som neutronstjärnor. Anledning till vi inte ännu inte har hittat den är troligtvis att den lyser för svagt för att synas bakom all gas

och stoft som kastats ut. Vi fortsätter så klart att leta efter den i alla nya observationer som görs. I takt med att den utkastade materian expanderar blir det mindre och mindre material som är i vägen mellan oss och neutronstjärnan, så sannolikheten för att hitta den bör öka med tiden. Med de observationer som vi har idag kan vi inte heller helt utesluta att så mycket material fallit ner på neutronstjärnan att den kollapsat och istället blivit ett svart hål. Endast genom att fortsätta observera supernovan kommer vi att kunna lösa gåtan om neutronstjärnan.

Framtida observationer av SN 1987A kommer säkerligen också leda till fler oväntade upptäckter. Som många exempel ovan har visat, så finns det vissa typer av mätningar som man bara kan göra med ett närbeläget objekt. Så fastän vi närmar oss en tid då vi kommer att observera flera hundra tusen avlägsna supernovor varje år, så fortsätter SN 1987A att spela en viktig roll för vår förståelse av supernovor i allmänhet. Om man får önska lite fritt skulle det dock vara bra att ha mer än en närbelägen supernova att studera. Det är inte heller osannolikt att vi får uppleva en ny supernova i Vintergatan under vår livstid. I en galax som Vintergatan väntar vi oss som sagt en supernova ungefär var 100:e år, och det börjar bli hög tid för nästa närbelägna supernova. ★

JOSEFIN LARSSON är astronom vid KTH i Stockholm. Forskningen som beskrivs i artikeln är ett samarbete med många andra, bland dem Claes Fransson och Dennis Alp.

BILDER: NASA, ESA, AND R. KIRSHNER (HARVARD-SMITHSONIAN CENTER FOR ASTROPHYSICS AND GORDON AND BETTY MOORE FOUNDATION), AND P. CHALLIS (HARVARD-SMITHSONIAN CENTER FOR ASTROPHYSICS)