

Tidernas tio bästa supernovor

av Robert Cumming

För gamla tiders astronomer var de olycksbådande gäststjärnor. För dagens astronomer har de blivit nyckeln till gåtan om universums storskaliga struktur och utveckling, supernovorna. Följ med supernovaforskaren Robert Cumming på en resa i tid och rum till tio av universums mest spännande exploderande stjärnor. Vi börjar strax efter stora smällen . . .

Forskningen kring supernovor har blivit synnerligen aktuell under senare tid. Från att ha varit tillfälliga uppenbarelser på den annars stabila och oföränderliga stjärnhimlen, till exempel Tycho Brahes stjärna 1572, har de nu blivit ovärderliga hjälpmedel för att utröna och förstå hela universums struktur. Dessutom utgör de viktiga stadier i stjärnornas utveckling.

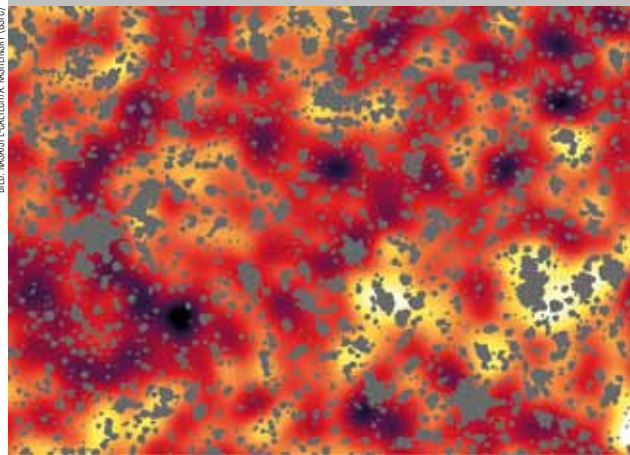
Supernovor är stjärnor som exploderar. Och det handlar inte om vilken smäll som helst. En supernova kan faktiskt under en tid lysa starkare än en hel galax med hundratals miljarder stjärnor! Med dagens teleskop kan man observera supernovor över hela det överblickbara universum och därmed också supernovor som inträffade när universum var mycket yngre än nu. För forskare som undersöker universums ursprung och utveckling, kosmologerna, är de oumbärliga mätverktyg, eftersom de kan ses över oerhörda avstånd. För forskare som kartlägger stjärnornas utveckling är de milstolpar i det kosmiska kretsloppet. För oss alla visar det sig att supernovorna är oumbärliga för det biologiska livet. En stor mängd av de så kallade naturliga grundämnena, som är viktiga ingredienser i våra mänskliga kroppar liksom i naturen kring oss, kan endast uppstå vid supernovaexplosioner, och dessa ämnen sprids sedan vid explosionen till andra delar av universum, varvid halten av tunga grundämnen hela tiden ökar. Chockvågorna som supernovorna skickar ut i rymden kan dessutom sätta gasmoln i rörelse och så frön till nya generationer av stjärnor. Som om inte detta var nog lämnar supernovorna efter sig extrema objekt som neutronstjärnor och svarta hål som sätter fysikens lagar på prov.

Supernovor förekommer av något olika slag, beroende på det sätt de uppkommer. Ett slag är de som uppkommer i dubbelstjärnesystem, där man har en jättestjärna och en vit dvärgstjärna. Jättestjärnan växer med tiden i storlek så mycket att materia börjar strömma över från den till den vita dvärgstjärnan. Vita dvärgstjärnor har en tämligen välbestämd största massa, omkring 1,4 solmassor. Om denna massa överskrids exploderar stjärnan som en supernova. Detta kan alltså hända om massöverföringen från jättestjärnan går tillräckligt långt. Det intressanta med denna typ av supernova, som för övrigt kallas typ Ia, är att man vid explosionen uppnår en största ljusstyrka som är gemensam för sådana supernovor. Det betyder att man med stor noggrannhet kan bestämma avståndet till explosionen. Inträffar den då i en fjärran galax kan avståndet till galaxen på så sätt bestämmas. Det är på grund av sådana observationer som senare tiders kosmologer har kunnat utröna att universum dels förefaller vara plant (euklidiskt på geometrispråk), dels att universums utvidgningshastighet ständigt ökar (accelererar).

Andra typer av supernovor, typerna Ib, Ic och II, uppstår vid så kallad kärnkollaps. Det inträffar när tunga stjärnor inte längre kan upprätthålla sin volym, när kärnbränslet börjar ta slut, och därför faller samman (kollapsar). Då överskrids också den kritiska massan i stjärnans centrum och den exploderar.

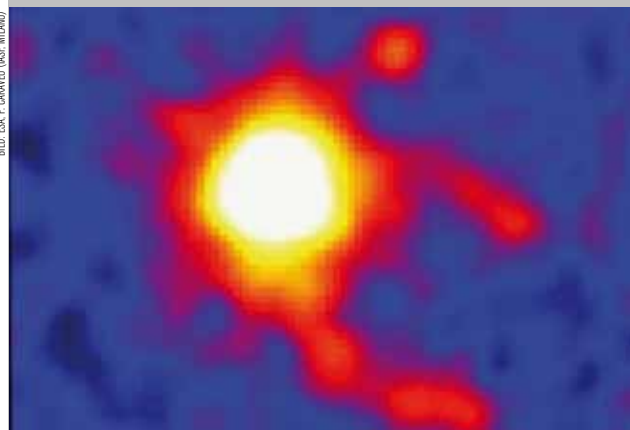
Bland alla de maffiga supernovor som vi känner till finns det några som känns extra intressanta. Här kommer mina förslag till listan över tidernas allra häftigaste supernovor. Vi börjar strax efter stora smällen ...

Supernova 1987 A, som ligger mitt i bilden, och som fyllde tjugo år den 23 februari 2007, ligger i vår granngalax Stora magellanska molnet i ett område som redan skulpterats av tidigare supernovor och deras efterföljande chockvågor. Med sina märkliga ringar intar SN 1987 A en given plats på tio i topp-listan – men vilken?



Är det här ljuset från de första stjärnorna? Astronomen Sasha Kashlinsky med kollegor har använt rymdteleskopet Spitzer för att leta efter det oerhört svaga skenet i infrarött ljus som syns bakom alla galaxer och stjärnor. Andra experter tvivlar på resultaten, men jakten på de första stjärnorna – och de första supernovorna – fortsätter.

Observationer med satelliten XMM-Newton från 2003 visar att pulsaren Geminga omges av en bågformad nebulosa som lyser i röntgenstrålning. Det är pulsarens egen stjärnvind som krockar med interstellär gas. Pulsaren rör sig med 160 kilometer per sekund, snabbare än ljudhastigheten i gasen. Pulsarer rör sig ofta med hög hastighet genom rymden. Troligen får de en kick när de föds, om supernovaexplosionerna som skapar dem är något asymmetriska.



1 Den allra, allra första ...

Bara fyra hundra miljoner år efter stora smällen bildas de första stjärnorna. Till skillnad från dagens stjärnor innehåller de inga tunga grundämnen, så man kan räkna med att de är ganska olika de stjärnor som vi känner till idag. Men då som nu är det de tyngsta stjärnorna som lever snabbast och dör på de mest dramatiska sätt. De första stjärnorna tros ha varit överlag större än dagens, men de allra tyngsta exploderar antagligen inte, utan slutar sitt liv genom att kollapsa och bli svarta hål. Så stjärnan som blir den allra första supernovan kanske inte är så mycket tyngre än dagens allra tyngsta stjärnor, med en massa på kanske omkring 150 gånger solens.

Som alla stjärnor förbränner den väte och sedan helium i kärnreaktorn i sitt inre. Till slut blir den heta kärnan instabil när heliumet är slut och stjärnan försöker bränna syre och kisel. Temperaturen når en miljard grader i kärnan och då börjar det spontant skapas antimateria – eller närmare bestämt både positroner och elektroner i stora mängder. Det slukar energi så pass att stjärnan inte längre kan hålla samman och till slut sprängs helt och hållet. Explosionen frigör uppemot hundra gånger mer energi än en av dagens supernovor. Den första stjärnan har dött, men allt material i den sprängda stjärnan skickas med våldsamt kraft ut i ett intet anande universum. Kanske sätter det så småningom igång nästa generation med stjärnbildning. I denna allra första supernovaexplosionen skapas även grundämnen som aldrig funnits i universum tidigare. Senare supernovor kommer att stå för nästan hela universums produktion av metaller som guld, silver och nickel.

Så småningom dör även andra från denna första generation bautastjärnor. De allra tyngsta kollapsar helt utan supernovaexplosion och bildar varsitt svart hål i centrum. De lite lättare, kring hundra gånger solens massa, är de första som exploderar precis som tunga stjärnor gör.

2 Geminga – med jorden på första parkett

För 300 000 år sedan är det fortfarande våra förfäder *Homo erectus* som vandrar på jorden, och det är de som får jordens hittills närmaste dust med en supernova. Planeten drabbas av en supernova bara 180 ljusår bort, en sannoligen spektakulär och skrämmande händelse. Denna helt nya stjärna som lyser som fullmånen, och till och med påverkar klimatet. Troligen förstör strålningen från supernovan tio till tjugoprocent av ozonlagret.

Vi känner till den här händelsen tack vare en mystisk gammastrålningskälla i stjärnbilden Tvillingarna som har fått namnet Geminga. Den upptäckts så sent som på tidigt sjuttioal, men det är inte förrän början på nittioal och med röntgenteleskopet Rosat som man lyckas identifiera den som en underlig sorts pulsar. Pulsarer och neutronstjärnor är två av de spår som supernovor kan lämna efter sig. Kilometerstora, men tunga som solen, strålar de tack vare sina magnetfält. En pulsar är helt enkelt en neutronstjärna som ligger orienterad så i rymden att vi uppfattar dess ljus som blinkande.

3 Gäststjärnan som blir Krabbnubulosan

Vi snabbspolar till år 1054. Kinesiska astronomer håller reda på så kallade gäststjärnor och nu dyker det upp en som blir årtusendets gäst. En ny stjärna i stjärnbilden Oxen upptäckts den 4 juli och nästa morgon ses den troligen även av observatörer i Chaco Canyon i nuvarande New Mexico. Den nya stjärnan syns under dagtid i 23 dagar och kan följas stjärnklara nätter i hela 21 månader. Nuförtiden känner vi SN 1054 som supernovaresten Krabbnubulosan. Mitt i nebulosans kärnan syns en pulsar, den snabbrotterande resten efter stjärnan som dog 1054. Att pulsarens finns överhuvudtaget avslöjar att stjärnan som dog, liksom den som blev Gemingasupernovan, måste varit minst åtta gånger tyngre än solen.

Båda är så kallade kärnkollapssupernovor. Det är det som är ödet för i princip alla stjärnor som är tyngre än åtta gånger solens massa. Efter att i kärnreaktioner ha bränt väte till helium och helium till kol och syre och vidare till kisel och svavel, så försöker stjärnan fusionera järn i ett sista desperat försök att värja sig mot tyngdkraften. Det går inte, och stjärnans kärna kollapsar inåt. Den kollapsade kärnan kan inte bli hur tät som helst, därför att atomkärnans täthet stretar emot. Den infallande heta gasen studsar våldsamt, i mitten bildas en neutronstjärna och ut från centrum kommer en våldsamt chockvåg som hettar upp och helt förstör stjärnan.

4 Tycho Brahes stjärna

År 1572 observerar den danske astronomen Tycho Brahe en helt ny stjärna i stjärnbilden Cassiopeia. Den lyser starkt och syns till och med på dagen i två veckor, ungefär som SN 1054 gjorde. Därefter bleknar den gradvis, och efter ett och ett halvt år syns den inte mer. Först på 1960-talet upptäckts en ganska ljussvag nebulosa på samma plats som Tycho såg sin supernova, först på fotografiska plåtar men sedan även som radiokälla.

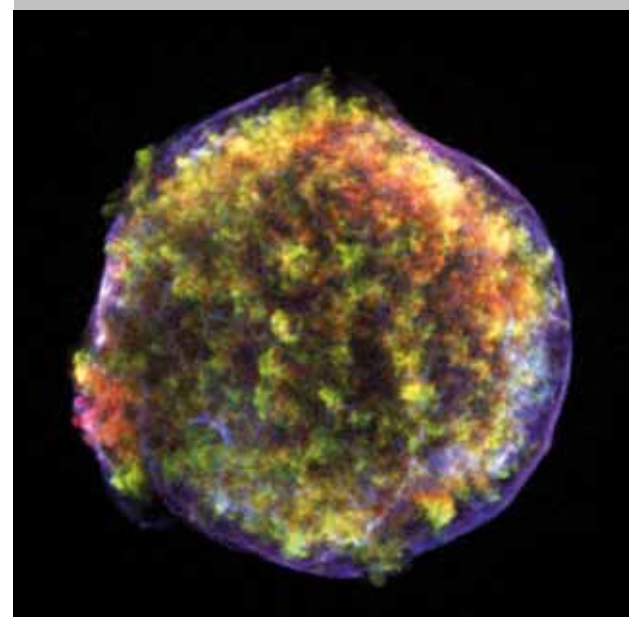
Det var med hjälp av historiska arkiv som man lyckades få fram supernovans ljuskurva och börja ringa in vilken typ av explosion det var. Den påminner mest om en supernova av det som astronomer kallar typ Ia, alltså de som inte har några spår av väte i sina spektra. Kärnkollapssupernovor som Geminga och SN 1054 skulle snarare ha kallats Typ II. I mitten av supernovaresten finns inte heller någon pulsar eller något liknande. Tychos supernova verkar ha liknat en av de hundratals välstuderade moderna supernovor som fått beteckningen typ Ia. Och bakom den beteckningen döljer sig en helt annan typ av explosion – en så kallad termonukleär supernova.

En stjärna som solen blir, när den blir gammal, först en röd jätte och till slut en liten, het, vit dvärg. Ligger den vita dvärgen i ett dubbelstjärnesystem finns det risk för att den kan explodera, men bara om kompanjonen på ett eller annat sätt kan föra över gas på den vita dvärgstjärnan. Om den vita dvärgen ökar sin vikt så att den hamnar över den magiska gränsen 1,4 gånger solens massa, då kan den inte hålla ihop längre. Kolet och syret i stjärnan fattar eld

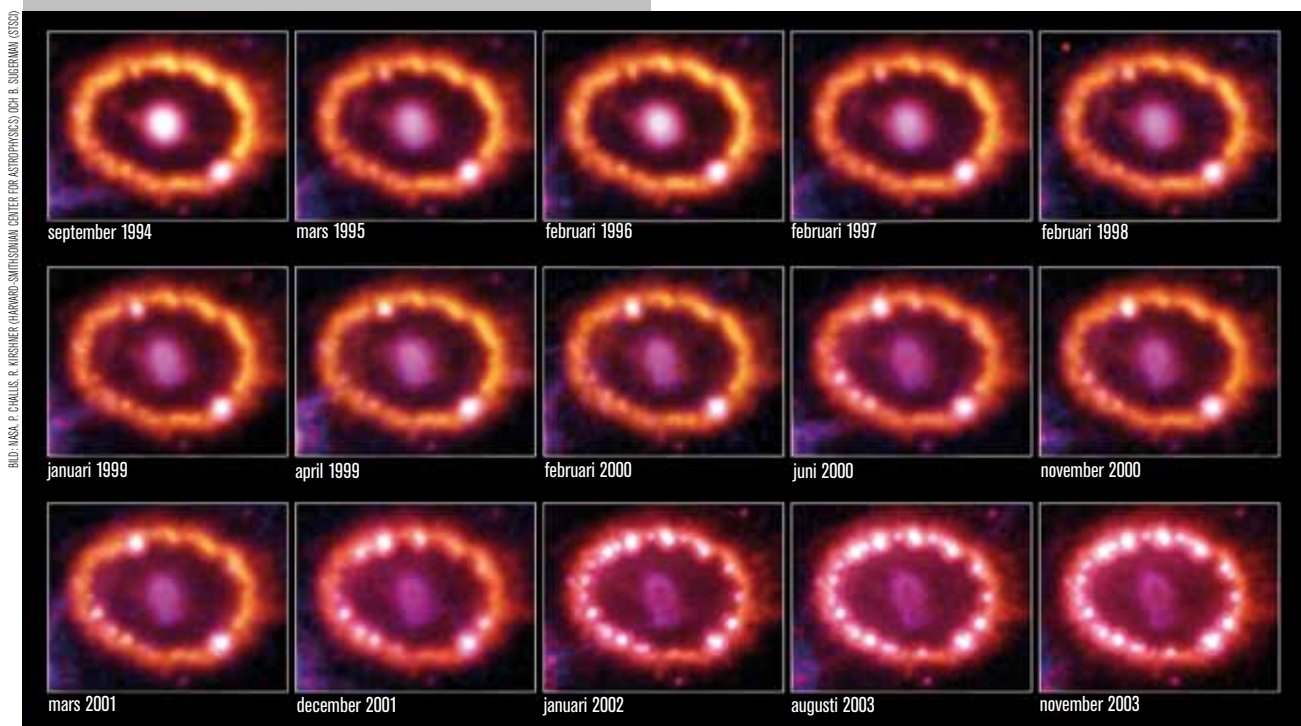


Stockholmsdoktoranden Anestis Tziamtzis med kollegor har tagit denna nya bild (ovan) på Krabbnubulosan som den lyser i ljuset från vätegas. De letar särskilt efter tecken på ett hölje av väte som kanske omger Krabbnubulosan. Höljets existens förutspåddes redan på sjuttioal då man insåg att det man visste om supernovan och det man visste om resterna efter den inte riktigt går ihop.

Nedan ses resterna efter Tycho Brahes stjärna, avbildad i röntgenstrålning av rymdteleskopet Chandra. I en supernovaexplosion kan gasen från den söndersprängda stjärnan accelereras till mer än en tiondel av ljusets hastighet. När supernovagasen börjar krocka med den interstellära gasen i sin omgivning bildas en chockvåg, som syns i denna bild som ett lila hölje runt de gröna och röda stjärnresterna. Sådana chockvågor tror man kan accelerera de högenergetiska partiklar som ständigt bombarderar jorden och som kallas kosmisk strålning. Astronomen Jessica Warren med kollegor har studerat Chandrabilderna av Tychos supernovarest och sett att chockvågen expanderar förvånansvärt långsamt. Det tror man är bevis på att mycket av chockens rörelseenergi går åt till att ge de kosmiska partiklarna de rejäla kickar de behöver.



och hela stjärnan sprängs. Sådana explosioner är förvånansvärt lika varandra, något som på senare år gjort att de exploderande vita dvärgarna blivit ett viktigt verktyg för astronomer.



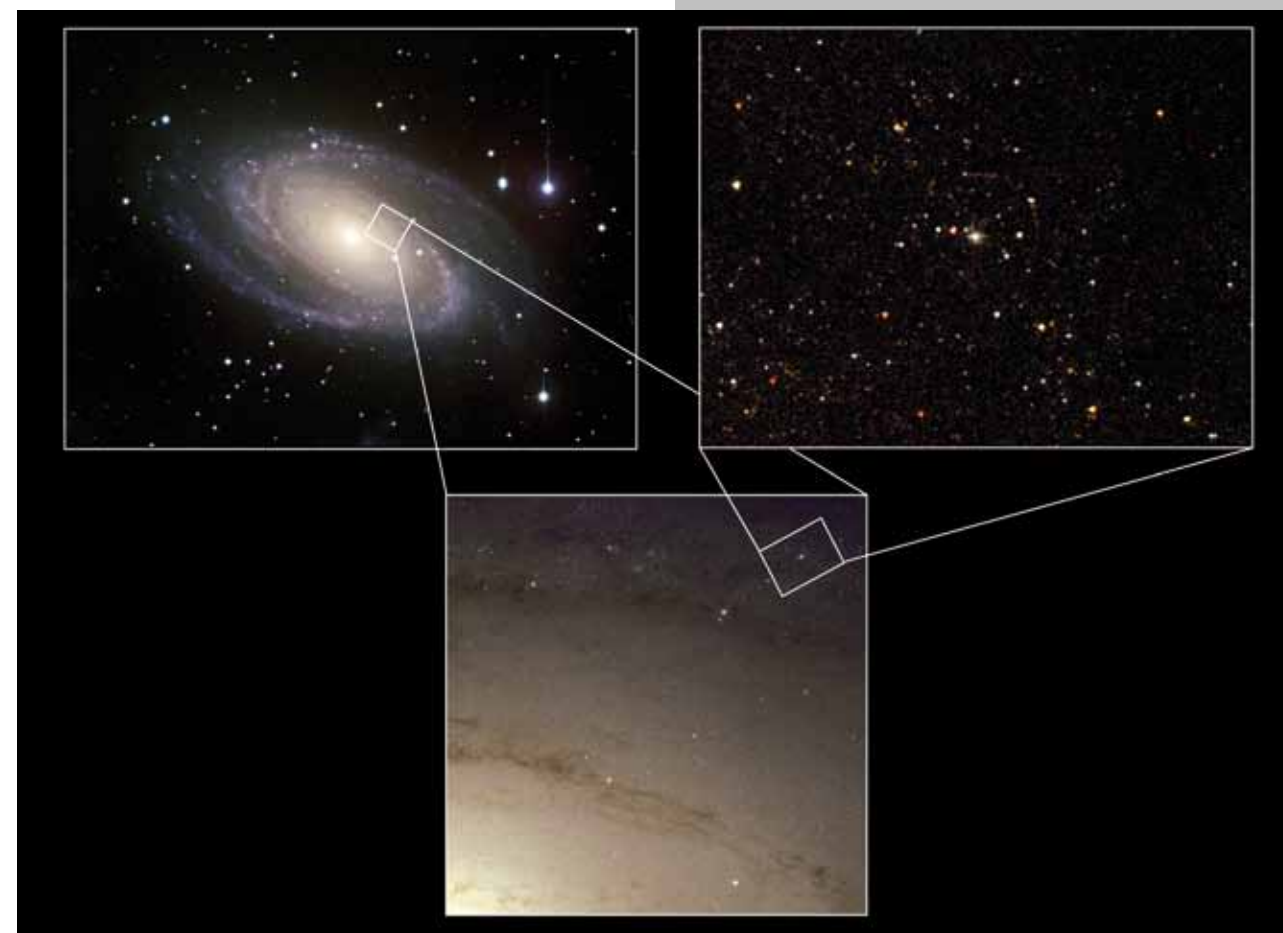
Mellan 1994 och 2003 bredde supernova 1987A ut sig och så småningom började dess allra snabbaste delar träffa ringen av joniserad gas som omger supernovan. I den här bildsekvensen kan man se hur den sprängda stjärnans rester i mitten blir avlånga och hur olika delar av ringen börjar tända när de träffas.

5 Det smäller i Stora magellanska molnet

Den 23 februari 1987 klockan 07:35 registrerade den japanska neutrindetektorn Kamiokande tolv neutriner från en supernova i det Stora magellanska molnet, bara 170 000 ljusår bort. Det är den första signalen som når jorden från den närmaste supernovan på nästan 400 år. Nu är det 20 år sedan neutrinerna och den mängd olika observationer som supernovans upptäckt i synligt ljus satte igång.

Neutrinerna från SN 1987A bekräftar bilden om kärnkollaps-supernovor, och att en neutronstjärna måste ha skapats i mitten av supernovan. Likaså kunde man bevisa för första gången att stoft skapas i supernovor, och att det är radioaktivt sönderfall av nyskapat nickel och kobolt som gör att supernovor syns även långt efter att den söndersprängda kärnans spillror börjat svalna. Men andra mysterier kvarstår. Trots årtal av modeller och spekulationer är det fortfarande ingen som vet säkert varför supernovan är omgiven av den spektakulära trippelringsnebulosa som Hubbleteleskopet fångat (se bilden på s. 13). Troligen pekar de på att stjärnan som exploderade någon gång i sin historia varit medlem i ett dubbelstjärnesystem. Och än har ingen hittat neutronstjärnan i mitten.

SN 1987A är inte heller över som astronomiskt skådespel. Just nu håller explosionens yttersta delar på att krocka med den inre ringen, och omvandlingen till supernovarest har börjat på riktigt. Tjugo år gammal kommer SN 1987A säkert att kunna bjuda oss på överraskningar även i framtiden.



6 SN 1993J – en brottsling träder fram

Scenen skiftar till spiralgalaxen M81, inte långt från vår egen. Supernova 1993J har precis exploderat och ljuset som når jorden talar om en kärnkollaps-supernova, men en som inte är som de flesta. Stjärnan som exploderade hade blivit av med sina yttre lager, något som inte händer utan anledning. Huvudmisstänkt för brottet är stjärnans egen kompanjon, med vilken den nyss varit dubbelstjärna. Så långt inget nytt. Jox i dubbelstjärnesystem skylls ju även typ Ia-supernovorna för. Men 2004 har supernovan klingat av och brittiska astronomer lyckas för första gången fotografera stjärnan som överlevde dess närmaste grannes våldsamma död – och som dessutom är medskyldig till den.

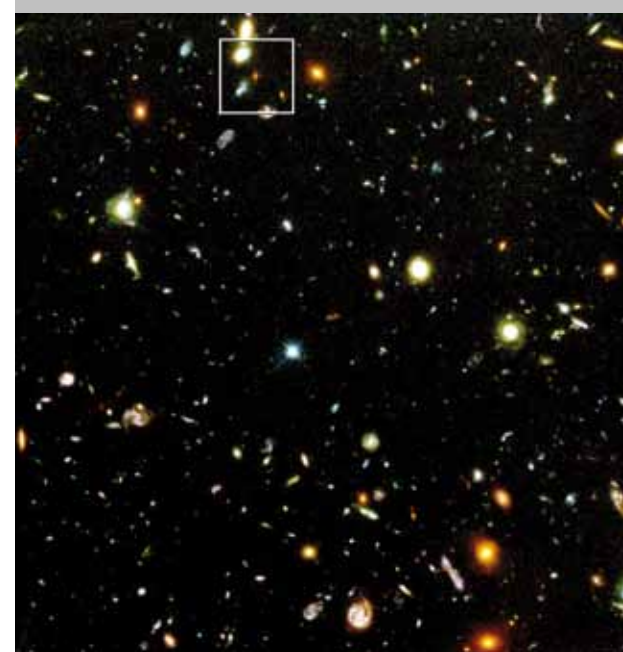
7 SN 1997ff – längst bort av alla

Kanske var supernova 1997ff en ganska ordinär supernova. En exploderande vit dvärg var den i alla fall, en supernova av typ Ia, i en elliptisk galax full med andra gamla stjärnor. Det som gör 1997ff till något särskilt är att den ligger längre bort – hela 10 miljarder ljusår – än alla andra supernovor som vi observerat. Det betyder också att den är den tidigaste supernova som vi känner till, och exploderade då universum var bara en fjärdedel av sin nuvarande ålder.

Det är de amerikanska astronomerna Ron Gilliland och Mark Phillips som 1997 bestämmer sig för att ta en ny titt där Hubbleteleskopets då djupaste bilder på natthimlen, det så

Ovan ses galaxen M81 i tre olika skalor med supernovan 1993J i centrum av den detaljkaste bilden upp till höger.

I kanten på Hubbleteleskopets djupa fält upptäcktes supernova 1997ff i en liten röd elliptisk galax som nätt och jämnt syns i rutan i bilden nedan. Än idag är den den mest avlägsna supernova som vi känner till.





SN 1998bw med sin hemgalax, några år före (överst) och två veckor efter det att gammablixten 980425 slog till (nederst).

kallade *Hubble Deep Field*, hade tagits. Två år efter att de första bilderna på fältet togs observerade de igen för att leta efter små små skillnader. Och otroligt nog hittade de inte bara en utan två nya supernovor i de nya bilderna. Med hjälp av andra observationer av samma fält som togs nästan samtidigt med Hubbleteleskopets infrarödkamera kunde man få ihop till en riktig ljuskurva för supernovan, och – viktigast av allt – undersöka dess hemgalax. Både ljuskurvan och galaxen tydde på att 1997ff var en supernova av typ Ia.

Typ Ia-supernovorna är den senaste tidens kosmiska hjältar. De ser nästan likadana ut allihopa, vilket innebär att det går att lista ut hur långt borta en typ Ia-supernova är om man bara vet hur ljusstark den är. Det är SN 1997ff och dess yngre och närmare kusiner som berättat för oss att universum inte bara expanderar utan även accelererar, och det är dem som visat oss den mörka energin som tycks hålla accelerationen igång. Trots nya observationsprogram med Hubbleteleskopet (se rapport på nyhetssidorna i det här numret) är 1997ff fortfarande oöverträffad som den äldsta och mest avlägsna supernovan som observerats.

8 SN 1998bw: supernovor + gammablixtar = sant

I början är explosionen som blev SN 1998bw ingen supernova alls. Det kommer en gammablixt, som upptäckts av den tidens bästa gammateleskop, satelliten BeppoSAX. Källan till gammablixten ligger ovanligt nära oss, och blixten själv, en av den långa sorten, var ovanligt svag. Men det mest ovanliga med gammablixten GRB 980425 är att dagarna efter blixten påvisas en ny supernova, en supernova som inte liknar någon annan.

Vanliga supernovor, både kärnkollaps- och termonukleära, frigör ungefär samma mängd energi och kan accelerera söndersprängt stjärnstoff upp till hastigheter på 30 000 eller 40 000 kilometer per sekund. SN 1998bw är i en klass för sig, med en explosionsenergi på tio gånger det vanliga.

SN 1998bw blir en vattendelare i forskningen om gammablixtar. Äntligen kunde man förknippa astronomiska händelser som vi förstår hjälpligt – supernovorna – med gammablixterna, som gäckat astronomerna alltsedan upptäckten på 1960-talet.

9 SN 2002ic och jakten på exploderande vita dvärgar

Astronomer är rätt så säkra på vad som gör de termonukleära supernovorna – de som kallas typ Ia och som blivit så viktiga för kosmologin. En vit dvärg, troligen i ett dubbelstjärnesystem, sprängs när den blivit för tung. Men vad är det för dubbelstjärnor egentligen? Kan vi identifiera sådana innan de blir supernovor?

Enligt vad vi vet om de termonukleära supernovor finns det två möjligheter. Kompanjonen till den olycksaliga vita dvärgen är antingen en röd jätte med en rejäl stjärnvind, eller så är den en annan vit dvärg. I det senare fallet går de två stjärnorna samman efter att ha närmat sig varandra väldigt, väldigt länge.

Ett tag hoppades man på att kunna se tecken på den röda jätten i supernovans spektrum. Mitt eget bidrag till fältet var faktiskt att tillsammans med några kollegor leta efter sådana tecken i supernovan 1994 D, en av förra

århundradets närmaste. Vi trodde att vi kanske skulle se tecken på vätgas. Vi hittade inte ett smack, och efter ett par supernovor utan något som helst tecken på väte började det kännas en smula pinsamt för teamet att inte ha hittat något. Sedan år 2003 fick jag ett mejl av amerikanske astronomen Mario Hamuy som ville veta allt om våra observationer. Han hade något på gång, och det skulle slå ner som en bomb.

Hamuy och sina kollegor hade nämligen upptäckt SN 2002ic, som var en tvättäkta supernova av typ Ia, men vars spektrum visade tecken på inte bara lite väte, som vi hade väntat oss, utan flera solmassor med väte. Skulle så mycket väte ha haft sitt ursprung i en röd jätte till kompanjonstjärna?

Svaret är antagligen nej. SN 2002ic tycks vara en supernova av en sällsynt sort. Likheterna med vanliga typ Ia supernovor säger oss att det ändå rör sig om en vit dvärg som exploderar, men en vit dvärg i underliga omständigheter. Exakt vilka omständigheter är en tvistefråga för astronomer, och än så länge känner vi till högst några enstaka supernovor som skulle kunna likna SN 2002ic.

Men en av dessa få är ingen mindre än den senast skådade supernovan i vår galax, den som upptäcktes 1604 och uppmärksammades av Tycho Brahes yngre kollega Johannes Kepler. Som SN 1054 och SN 1572 innan var Keplers supernova en spektakulär ny stjärna som kunde skådas på dagen under en tid. Nuförtiden är Keplers supernovarest välstuderad, men frågan om vilket slags stjärna som gav upphov till den har aldrig lösts. Men nu har järnhalten analyserats, återigen med Chandrateleskopet, av astronomen Steve Reynolds med kollegor. Nu verkar det vara klart att supernovan var en exploderande vit dvärg, alltså en termonukleär supernova av typ Ia. Men resten tycks ha plöjt in i en omgivning av redan tät gas. Slutsatsen blir ändå att Keplers stjärna kan ha varit en 1600-talets motsvarighet till vår tids underliga supernova 2002ic.

10 Universums sista supernova

Långt in i framtiden blir universum allt glesare, och så småningom kommer produktionen av nya stjärnor att avstanna. De sista kärnkollapssupernovorna exploderar kort efter det. Men universums vita dvärgar är mycket långlivade och de som bor i dubbelstjärnesystem kommer att utgöra en källa för typ Ia-supernovor under lång tid framöver. Så småningom tar även de slut, och det verkar som om det blir två ensamma vita dvärgar som bildar den allra sista supernovan. Enligt framtidsforskande astronomerna Fred Adams och Greg Laughlin blir supernovaexplosioner den enda underhållningen när universum är ungefär åtta miljarder gånger sin nuvarande ålder. En sista gång möts två av de sista vita dvärgarna med en tillräckligt stor sammanlagd massa för att nå den magiska gränsen på 1,4 solmassor. De kolliderar, kanske i närheten av ett supertungt svart hål som de dragits in mot, och lyser som inget annat kommer att lysa igen, någonsin. Men universums supernovor är slut. ★

ROBERT CUMMING är astronom vid Stockholms observatorium och nyhetsredaktör på *Populär Astronomi*



Chandrateleskopets bild på Keplers supernovarest. Mängden järn som uppmätts i resten, och det faktum att ingen lyckats hitta någon pulsar i centrum, tyder på att denna supernova kan ha liknat SN 2002ic.

Supernovor på webben:

Rymdteleskopet Chandras röntgenbilder:
<http://chandra.harvard.edu/photo/category/snr.html>

Hubbleteleskopets supernovabilder:
<http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/star/supernova/>

Rochester astronomys supernovasida: alla de senaste supernovorna:
<http://www.rochesterastronomy.org/snimages/>

GRBLog – profsens senaste om gammablixterna:
<http://grad40.as.utexas.edu/grblog.php>

Astrokonstnären Dana Berry visar här hur två vita dvärgar långsamt snurrar runt varandra för att till slut gå samman i en jätteexplosion. Stjärnorna tappar nämligen energi i form av gravitationsvågor, tror teoretiker, en process som tar oerhört lång tid. Sannolikt kommer universums allra sista supernova att vara slutpunkten efter just en sådan dödsspiral.

