

# MONSTER- EXPLOSIONER

När tunga stjärnor exploderar blir det alltid spektakulärt. På senare år har forskare upptäckt exploderande stjärnor som är så ljusa och kraftfulla att vi inte kan förklara hur de lyser. Anders Jerkstrand berättar om vad vi vet – och vad vi inte vet ännu.

Folk som levde för 400 år sedan hade tur. De kunde bevittna två supernovor i vår egen galax under en och samma livstid: SN 1572 (känd som Tychos supernova) och SN 1604 (Keplers supernova). Dessa "gäststjärnor" lyste upp himlen under flera veckor, även på dagtid.

Sedan dess har märkligt nog inte en enda supernova exploderat i Vintergatan som man kunnat se på jorden. Vi vet genom att studera supernovor i andra galaxer att det i snitt sker en eller två per århundrade, så det har varit ett ovanligt långt avbrott. En del av förklaringen är att supernovan måste ske i vår del av galaxen för att vi ska kunna se den – gas och stoft skymmer mycket som händer på andra sidan av galaxen. Snarare var det extrem tur med två närliggande supernovor inom 32 år mellan 1572 och 1604.

Vad är då en supernova? När vi zoomar in med moderna teleskop på de himmelskoordinater som angavs för Tychos och Keplers supernovor ser vi någonting spektakulärt. Gigantiska, färggranna nebulosor som expanderar med flera tusen kilometer per sekund! De har en massa minst lika stor som solens och slutsatsen kan bara vara en – det är stjärnor som har exploderat.

Idag kan vi tack vare våra teleskop studera supernovor långt bort i andra galaxer. Med hjälp av ny, automatiserad teknik upptäcktes nu flera hundra per år. Vi förstår supernovor som resultatet av två distinkt olika föregångssystem – tunga stjärnor, och vita dvärgar. De har stor användning i kosmologin, producerar våra grundämnen och skapar svarta hål och neutronstjärnor.

### Superljusstarka supernovor upptäcks

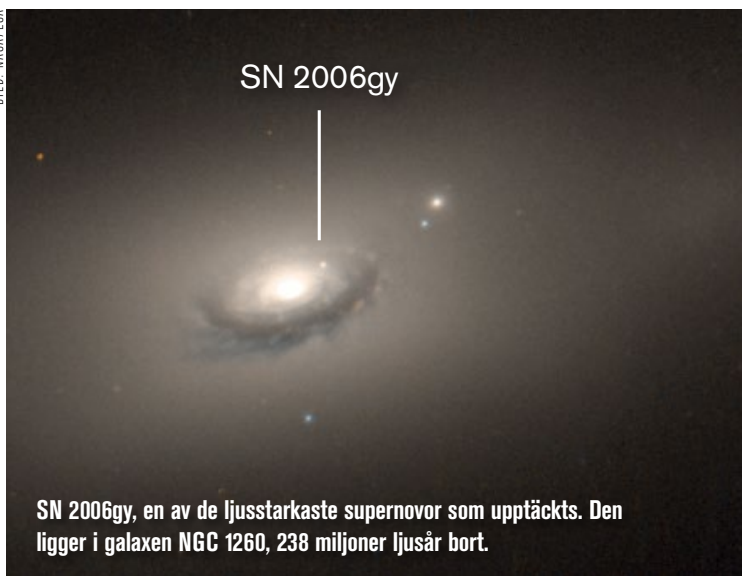
Under andra halvan av 1900-talet verkade de supernovor som kunde studeras inrätta sig efter grundteorin – tunga stjärnor som exploderar vid livets slut, eller vita dvärgar som sprängs när de får tillskott av massa från en grannstjärna. Men för cirka tio år sedan upptäcktes ett par supernovor som var mycket mer ljusstarka än vad de borde vara enligt teorin. Ett exempel är monsternsupernovan SN 2006gy. Den strålade ut gigantiska mängder energi (över  $10^{44}$  joule – ungefär samma som solens energiproduktion under hela sin livstid) och nådde en maximal ljusstyrka på över 100 gånger den normala. Den blev den första så kallade superluminösa supernovan. Formellt kallas en supernova superluminös om den är ljusare än absolut magnitud  $-21$ ; en sådan supernova skulle lysa som solen även om man var hela nio ljusår bort, avståndet till vår himmels ljusaste stjärna Sirius.

Med tiden har det framkommit en signifikant mångfald bland de superluminösa supernovorna. En del visar upp tydliga tecken på väte, en del gör det inte. En del ljusnar och bleknar på ett par veckor, medan andra tar flera månader. Denna mångfald innebär att vi inte kan förklara dem med en alltför smal och enkel teori.

Hur kunde dessa mest ljusstarka supernovor undgå upptäckt så länge? En anledning är att de är mycket ovanliga – för varje sådan finns cirka tusen vanliga supernovor. En annan an-

**En stjärna sprängs med en magnetar som kraftkälla. Olika färger visar områden med olika täthet ca en timme efter ett stjärnan exploderat.**

BILD: NASA/ESA



SN 2006gy, en av de ljusstarkaste supernovor som upptäckts. Den ligger i galaxen NGC 1260, 238 miljoner ljusår bort.

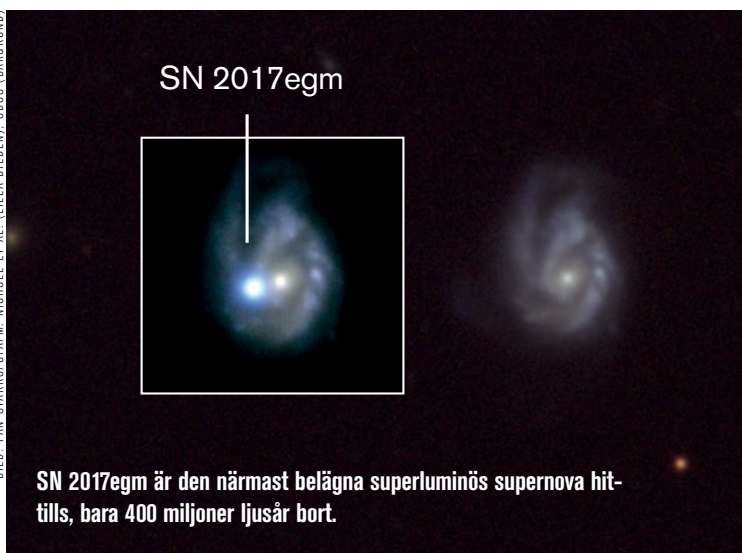
ledning är att de verkar ske i ovanliga galaxer där forskare inte normalt letar efter supernovor – små, kompakta dvärggalaxer.

### Teorier

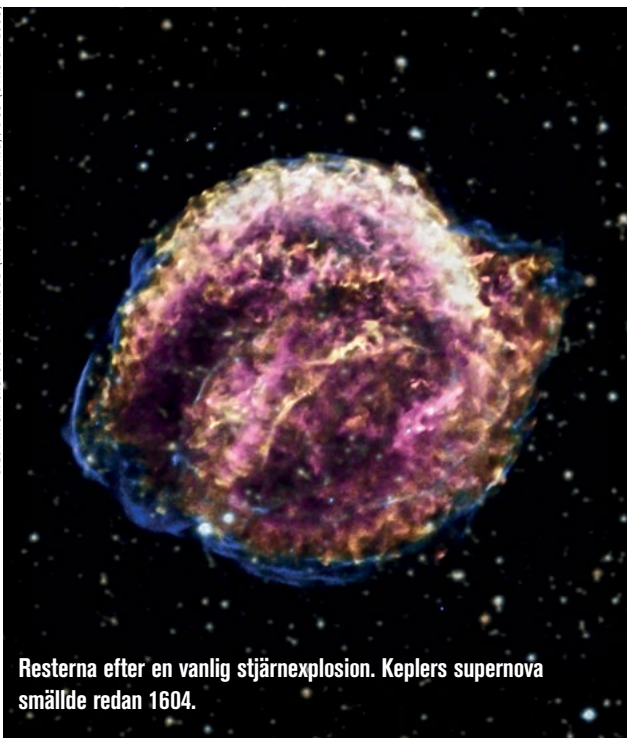
För att skapa den enorma luminositeten krävs två saker – en energikälla som producerar minst  $10^{44}$  J och en mekanism som omvandlar denna energi till ljusstrålning under några veckor eller månader. Det fungerar inte att bara deponera energin inuti en vanlig stjärna – det mesta omvandlas då till expansionsenergi istället för strålningenergi. När en röd superjätte blir en supernova släpps bara en procent av explosionens energi ut som ljus, och från en mer kompakt stjärna är andelen ännu mindre.

Det finns inte stöd, varken från teori eller observationer, att stjärnor kan bli större än röda superjättar. Därmed är det svårt att se att effektivitetsfaktorn skulle kunna bli större än cirka en procent. Den energi som skapas i själva explosionen kan inte heller överskrida cirka  $10^{44}$  J på grund av fundamentala fysikaliska begränsningar. Standardteorin kommer därför aldrig över cirka  $10^{42}$  J i strålningenergi, och något mer måste tillkomma.

BILD: PAN-STARRS/GEMINI/NICHOLL ET AL. (ULILA BILDEN); SDSS (BAKGRUND)



SN 2017egm är den närmast belägna superluminösa supernova hittills, bara 400 miljoner ljusår bort.



Resterna efter en vanlig stjärnexplosion. Keplers supernova smällde redan 1604.

### Kolliderande skal

Ett extra tillskott av energi kan komma om materian som kastas ut i rymden kolliderar med någonting. Om denna kollision sker hyfsat långt ut kan rörelseenergi effektivt omvandlas till strålningenergi.

Vad är då detta någonting? Det är rimligtvis material som stjärnan slungat iväg tidigare i sin utveckling. Vi vet relativt lite om just hur de allra tyngsta stjärnorna fungerar, men vi vet att de släpper ut material i form av ymniga stjärnvindar och utbrott. Ett scenario skulle vara om stjärnan några årtionden innan kollaps haft ett utbrott liknande det som den gigantiska dubbelstjärnan Eta Carinae hade 1843, då uppskattningsvis flera solmassor av ytmaterial slungades ut. Det krävs ett skal med hög massa för att bromsa upp supernovan och omvandla dess rörelseenergi till ljus.

### Radioaktivitet

I normala supernovor påverkas ljuskurvan av radioaktivitet, specifikt isotopen nickel-56 som skapas i explosiv förbränning på över fem miljarder grader i supernovans chockvåg. Sönderfallet sker i två steg med halveringstider på 6 och 77 dygn, vilket betyder att energin släpps ut i supernovan då den redan expanderat en bra bit. Fotonerna kan då läcka ut och supernovan blir ljusstark.

Om radioaktivt nickel också är ansvarigt för energin i superluminösa supernovor, så måste dock enorma mängder produceras – över tio solmassor i vissa fall. Det är långt mer än den normala mängden på 0,1 solmassor. Det finns en typ av supernova som enligt teorin skulle kunna åstadkomma detta – så kallade parinstabilitetssupernovor – men ingen sådan supernova har setts. Dessa kommer från stjärnor med en massa på över 150 solmassor, som

kollapsar på grund av en instabilitet som uppstår då mängder av elektron- och positronpar bildas. De består av kol och syre som ger en termokulär reaktion.

På grund av sin höga massa lyser sådana supernovor länge. De är därmed kandidater för de superluminösa supernovorna som utvecklas långsamt. Förra året utförde jag och mina medarbetare de första detaljerade beräkningarna av hur spektra från sådana explosioner ser ut. Resultatet var markant annorlunda mot observerade spektra. Dagens bästa teorier om hur dessa explosioner fungerar verkar med andra ord inte vara rätt förklaring.

### Extrema pulsarer?

En tredje teori, som vunnit mycket mark sista åren, är att den neutronstjärna som skapas i stjärnans kollaps ibland har en enorm rotationsenergi som sedan tillförs supernovan via bromsning av starka magnetfält. Precis så fungerar vanliga pulsarer, fast här skulle krävas mycket högre energiskalor.

Faktum är att för 40 år sedan betraktades denna process som en rimlig förklaring till vanliga supernovors ljusstyrka. Sedan dess har dock radioaktivitet i nästan samtliga fall gett en fullgod tolkning, så idén om energitillskott från neutronstjärnan föll i glömska.

År 2010 väckte forskarna Daniel Kasen och Lars Bildsten denna hypotes till liv igen och visade att med vissa antaganden kunde detta scenario förklara de superluminösa supernovorna. Vad som krävs är att neutronstjärnan som föds måste rotera nära maximal hastighet – tusen varv per sekund! – och ha ett mycket starkt magnetfält, runt hundra gånger starkare än till exempel himlens bäst kända pulsar, den i Krabbnebulosan.

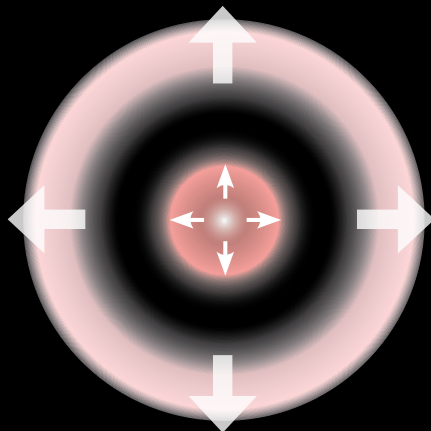
Att neutronstjärnor kan ha så starka magnetfält vet vi genom observationer av flera extrema neutronstjärnor i vår galax; de kallas magnetarer. De kända magnetarerna snurrar dock mycket långsammare, bara ett varv i sekunden. Man vet heller inte hur deras starka magnetfält uppstår, eller om det ens finns realistiska sätt för en extremt snabb och magnetisk neutronstjärna att bildas i en supernova. En annan oklarhet är hur strålningen från magnetarer tar sig ut genom supernovans expanderande material. En fördel med magnetarhypotesen är att mångfalden av supernovor skulle kunna förklaras om magnetarer bildas som snurrar olika snabbt och med olika starka magnetfält. Många frågetecken kvarstår, men man arbetar just nu ivrigt med att räkna på hur magnetarer och supernovor interagerar i flera dimensioner.

### Exotiska modeller

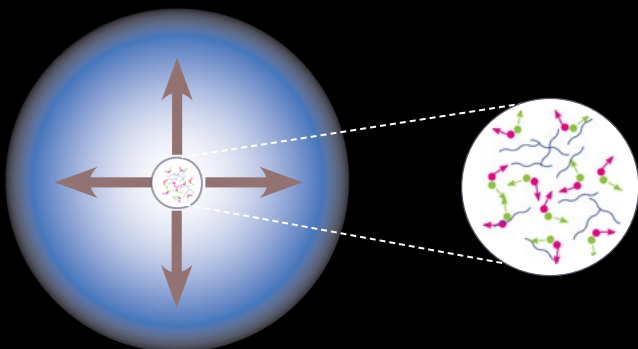
I dagsläget betraktar man de tre scenarierna – skalkollisioner, extrem radioaktivitet, magnetarer – som de mest lovande förklaringarna till superluminösa supernovor. Det finns dock ytterligare mer exotiska förslag, som till exempel kvarknovor. I detta scenario skapas först en vanlig neutronstjärna när supernovan exploderar, men neutronstjärnan störtar sedan samman och blir en kvarkstjärna, och detta ger en ett nytt tillskott av energi. Men kvarkstjärnor vet ingen om de egentli-

## Superljusa explosioner på tre sätt

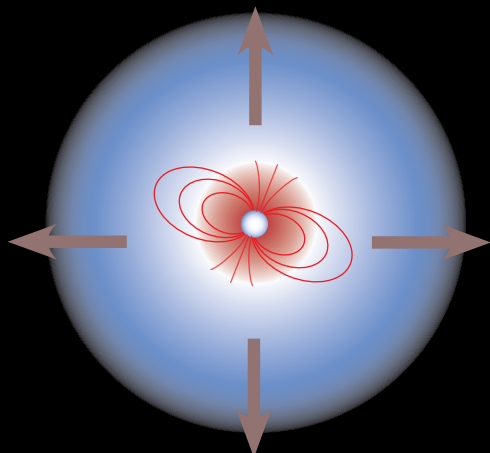
**Kolliderande skal**  
explosionen kastar ut materia som krockar med befintlig materia



**Extrem radioaktivitet**  
Mycket tung stjärna exploderar när fotoner omvandlas till partiklar i kärnan



**Magnetarer**  
extremt magnetiserad neutronstjärna eller pulsar bildas i kärnan



gen kan finnas, och det finns många andra frågetecken kring hur neutroner och kvarkar egentligen beter sig under sådana extrema förhållanden.

### Hur går vi vidare?

Hur kommer vi då framåt med att förstå de superluminösa supernovorna? Just nu ligger mycket fokus på att förstå deras spektra, det vill säga hur de lyser i olika våglängder. Enligt skalkollisionsmodellen borde smala linjer synas i supernovornas spektra, men sådana har inte setts till. Om parinstabilitetshypotesen stämmer borde ljusets spektrum bära fingeravtrycken av de stora mängder nickel som skapas, men att uppskatta mängden av nickel-56 är svårt och kräver avancerade datormodeller.

Motiverade av dessa frågor publicerade jag och mina medarbetare 2017 en studie inriktad på hur mycket nybildat material som finns inuti dessa supernovor. Inga konkreta tecken på höga nickel-56 massor kunde ses. Dock kunde ett mycket intressant resultat för ett annat grundläggande ämne, syre, tas fram. Vi kunde visa att oberoende av var energin kommer ifrån, så kräver de observerade syrespektrallinjerna en massa på runt tio solmassor av syre. Detta är den högsta syremassa som uppmätts i någon supernova, och visar otvetydigt att superluminösa supernovor kommer från extremt tunga stjärnor – ett viktigt steg framåt. Ytterligare ett intressant resultat framkom, nämligen att spektra av dessa supernovor är väldigt lika dem för supernovor från gammablixtar. Det är fortfarande oklart vad denna länk betyder, men det tyder på ett möjligt gemensamt ursprung för dessa klasser.

Under det senaste året har också spännande nya upptäckter gjorts. I juni 2017 upptäcktes SN 2017egm – den första närbelägna superluminösa supernovan på bara 40 Mpc avstånd (mot vanligtvis flera hundra Mpc). Observationer av denna unika supernova håller på att samlas in just nu. En stor överraskning stod omedelbart klar – idén om att låg metallhalt är ett krav för superluminösa supernovor, som man tidigare trott, stämmer inte, då SN 2017egm exploderade i en region med ganska hög metallhalt. Dess nära läge kommer ge oss chans till observationer mer i detalj, och vid senare tidpunkter, än vanligtvis, vilket kommer ge viktig ny information. Ytterligare en exotisk supernova, iPTF14hld, publicerades i *Nature* i november 2017. Den var inte riktigt så ljusstark som  $-21$  mag, men var mer ljusstark än vanligt, och framförallt visade den upp en aldrig tidigare skådad diffusionfas på över 500 dygn. För det måste det också krävas en extra energikälla, och på så sätt länkar iPTF14hls till de superluminösa supernovorna.

Jakten på både nya exotiska supernovor och nya modeller för att förstå vad de är fortsätter. Vad som står klart är att de superluminösa supernovorna kommer förändra vår syn på vilka slutstadier för stjärnor som är möjliga. Och som vanligt bjuder naturen på mer än vad som ens de mest fantastifulla forskarna hade kunnat förutspå. ★

ANDERS JERKSTRAND är astronom vid Max Planck-institutet för astrofysik i Garching, Tyskland. Han har tidigare ingått i Populär Astronomis nätredaktion.