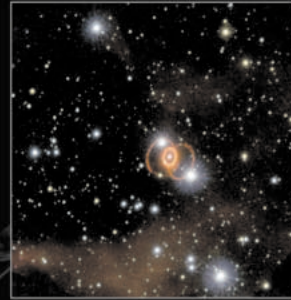
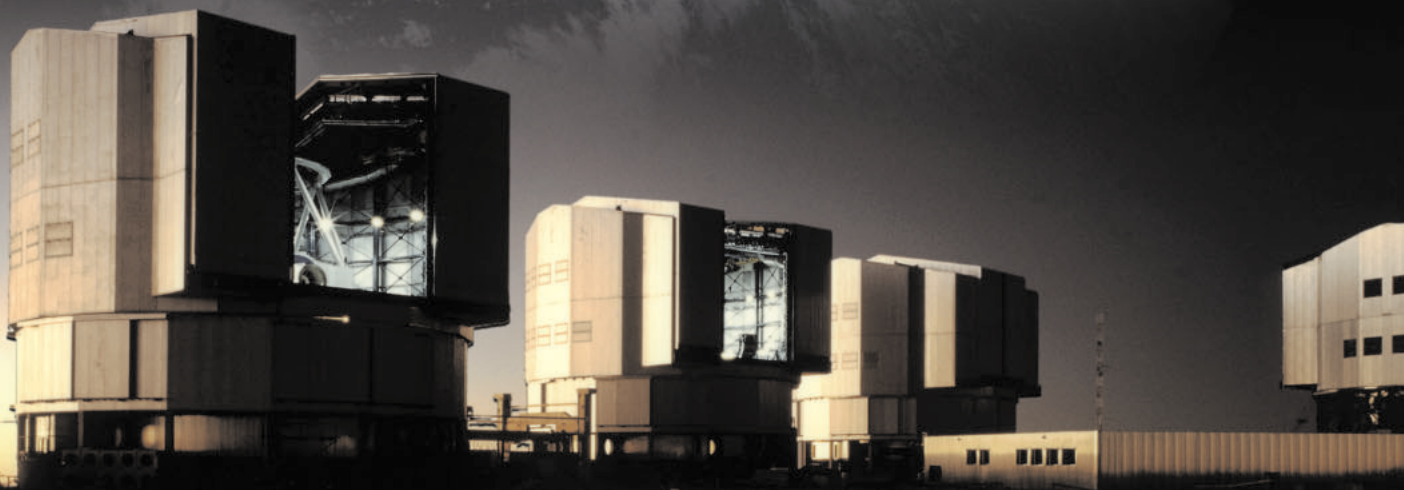


# ESA/ESO ÖVNINGSSERIE I ASTRONOMI

Övningar i astronomi  
som använder observationer från  
NASA/ESA Hubble Space Telescope  
och ESOs teleskop



Övning 1



**Att mäta avståndet till supernova 1987A**  
Baserat på observationer med NASA/ESA Hubble Space Telescope





# Innehåll

## ESA/ESO's Övningsserie i Astronomi 1

### Förord

- Förord ..... Sidan 2

### Introduktion

- Supernovor ..... Sidan 3
- Supernova 1987A ..... Sidan 4
- Avståndet till Stora Magellanska Molnet ..... Sidan 4
- Ringen ..... Sidan 5

### Uppgifter

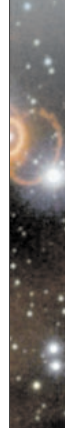
- Uppgift 1 ..... Sidan 7
- Uppgift 2 ..... Sidan 7
- Uppgift 3 ..... Sidan 9
- Uppgift 4 ..... Sidan 9
- Uppgift 5 ..... Sidan 10
- Uppgift 6 ..... Sidan 12

### Ytterligare läsning

- Vetenskapliga artiklar ..... Sidan 13

### Lärares Guide

- Lärares Guide ..... Sidan 15



## Förord

### ESA/ESOs Övningsserie i Astronomi 1

#### Att mäta avståndet till supernova 1987A

Astronomi är en lättillgänglig och visuell vetenskap, vilket gör den idealisk i undervisningssyfte. De senaste åren har NASA<sup>1</sup>, ESA<sup>2</sup>, Hubble Space Telescope och ESOs<sup>3</sup> teleskop på La Silla- och Paranal-observatorierna i Chile presenterat allt djupare och mer spektakulära bilder av universum. Hubble och ESOs teleskop har inte bara gett fantastiska bilder, de är även ovärderliga instrument för astronomer. Teleskopen har en mycket bra rums/vinkel-upplösning (bildskärpa), vilket ger astronomer möjlighet att blicka längre ut i universum än någonsin tidigare och låter dem svara på gamla, hittills obesvarade frågor. Att analysera sådana observationer, vilket ofta är ett sofistikerat och detaljerat arbete, är ibland tillräckligt enkelt för att gymnasiestudenter själva ska kunna utföra det.

Denna serie av uppgifter är framtagen av den europeiska partnern i Hubbleprojektet, ESA (European Space Agency), som har 15% av observationstiden med Hubble, tillsammans med ESO (the European Southern Observatory).



**Figur 1: NASA/ESAs Hubble Space Telescope**  
NASA/ESAs Hubble Space Telescope har presenterat spektakulära vyer av universum från sin bana runt jorden.



## Introduktion

SN 1987A är namnet på en berömd supernova. Första delen av namnet refererar till typen av händelse - en supernova, sen står året den först observerades (1987), och sist står ett A som visar att det var den första supernovan som observerades det året.

### Supernovor

En supernova är en explosion som signalerar döden av en viss typ av stjärnor. Det finns i stort sett bara två typer av supernovor, men här kommer vi bara behandla supernovor av typ II – massiva stjärnor som dör på ett mycket spektakulärt sätt. SN 1987A var en explosion av en av dessa massiva stjärnor.

En massiv stjärna (normalt mer än fem solmassor) kan sluta sitt liv i en explosion efter några miljoner år. Under explosionen kastas det mesta av stjärnans material våldsamt ut i rymden. Hastigheten hos det utkastade materialet kan nå  $10^7$  m/s (3% av ljushastigheten). Det expanderande

skalet av stoft förblir synligt i den interstellära rymden under tusentals år innan det försvinner i det interstellära mediet och kvar blir bara en synlig rest som kallas supernovarest. Inom den omgivande nebulosan komprimeras den centrala delen av den ursprungliga stjärnan till en neutronstjärna.

Alla supernovor är väldigt ljusa med ljusstyrkor ekvivalenta med miljardtals solar. De tros vara ett av de ljusaste objekten som finns i universum. Detta gör att de kan ses över stora avstånd. Supernovor är dock ovanliga så himlen är inte konstant upplyst av dessa spektakulära döende stjärnor. Det uppskattas att supernovor bara uppstår ungefär några få gånger per sekel och galax.

#### **Figur 2: Stora Magellanska Molnet (the Large Magellanic Cloud (LMC))**

*LMC är en lite irreguljär galax och en av vintergatans närmsta granngalaxer. Den är fylld av stjärnor, stoft och gas och myllrar av stjärnfödslar. SN 1987A dök upp i LMC. Bilden är tagen med Schmidt-teleskopet på European Southern Observatorys (ESO) La Silla-observatorium.*





## Introduktion



**Figur 3: Uppenbarelsen av SN1987A**

I den vänstra bilden kan man se Tarantula-nebulosan efter det att supernovan exploderat. Den högra bilden visar Tarantula-nebulosan i LMC innan explosionen av supernova 1987A den 23 februari 1987.

Introduktion

### Supernova 1987A

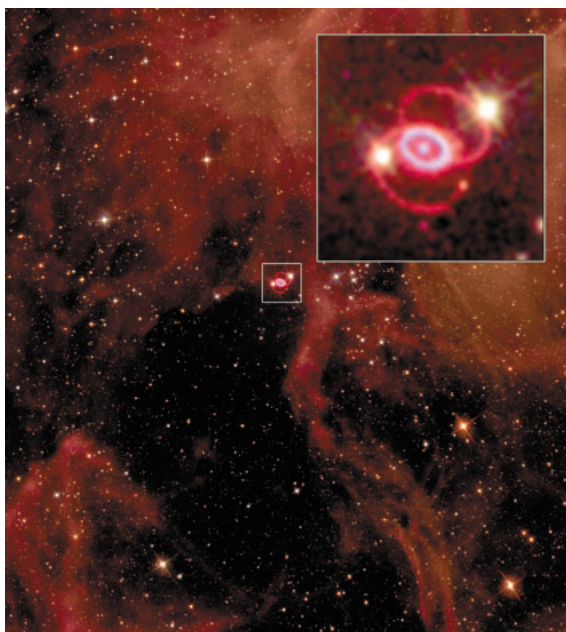
Den 23:e februari 1987 blev en supernova i det Stora Magellanska Molnet (LMC) synlig för blotta ögat. LMC är en av Vintergatans närmaste grannar. Detta var ett av de mest spännande ögonblicken i astronomins historia därför att

SN 1987A var den första supernovan på nästan 400 år som var synlig för blotta ögat.

### Avståndet till det Stora Magellanska Molnet

Att bestämma avstånd i universum är ett av de mest fundamentala problemen i astronomin. Ett välbestämt mått på avståndet till SN 1987A, som ligger i LMC, kan användas som ett mått på avståndet till själva LMC.

Alla stjärnor i LMC ligger ungefär lika långt ifrån oss. Om vi kan finna avståndet,  $D$ , till SN 1987A så får vi samtidigt avståndet till alla andra olika typer av stjärnor i LMC. Flera olika typer av objekt som finns i LMC och andra mer avlägsna ga-



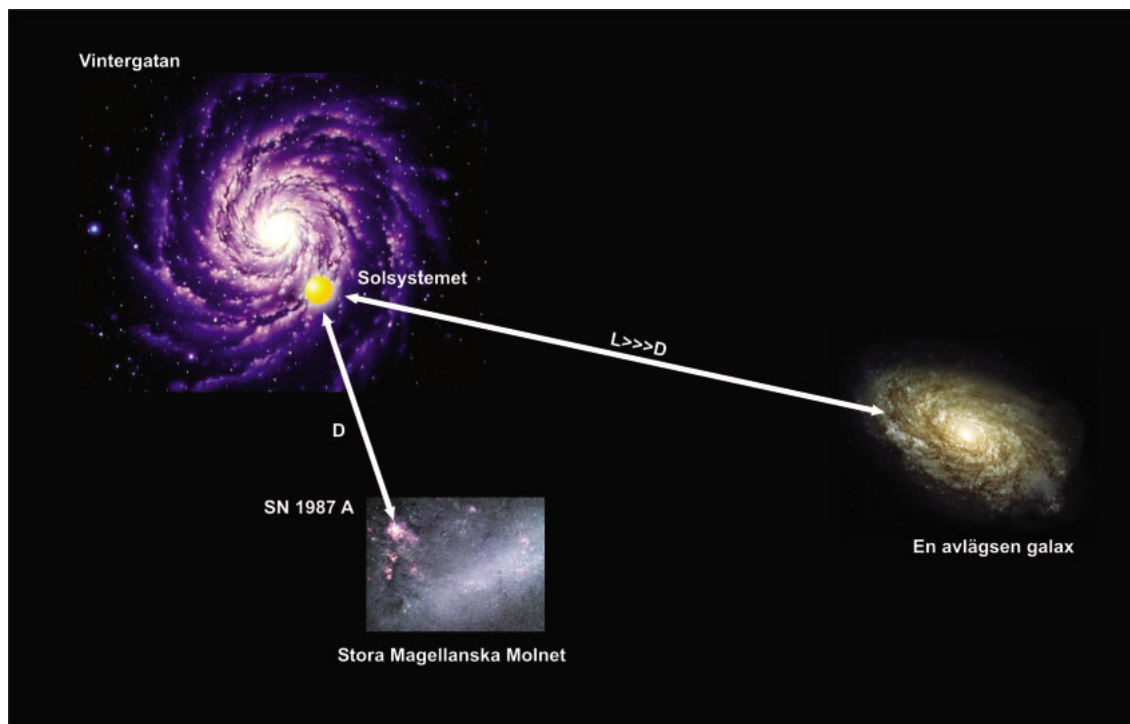
**Figur 4: Supernova 1987A**

SN 1987A i mitten (förstorad i den infällda rutan) lämnade bakom sig en återstod i form av tre ringar av glödande gas i LMC. I denna uppgift används den inre ringen till att bestämma avståndet till supernovan och därmed också till LMC.

Många unga — 12 miljoner år — blåa stjärnor syns i detta område tillsammans med stoft och gas (i mörkrött). Detta visar att platsen runt supernovan fortfarande är en fertil födelseplats för nya stjärnor.



## Introduktion



**Figur 5: Att mäta avstånd mellan galaxer**

Om avståndet till LMC kan bli mer noggrant uppmätt så kommer också mer noggranna mätningar av avstånd till mer avlägsna galaxer att bli möjliga.

Galaxer kan också användas som avståndsmätare så ett mer exakt värde på avståndet till LMC skulle bli en språngbräda till bättre mätningar av avstånd till mer avlägsna galaxer.

### Ringen

När de första bilderna med NASA/ESAs Hubble Space Telescope togs, dag 1278 efter utbrottet, användes ESAs kamera för svaga objekt (Faint Object Camera (FOC)). Hubble sköts upp 1990 och måste sedan ställas in i rymden så det var inte möjligt att ta bilder tidigare. SN 1987A var inte bara intressant i sig utan utmanade även Hubbles mycket höga upplösning. Bilden av SN 1987A visar tre cirkulära nebulosor runt supernovan, en inre och två yttre. I denna uppgift använder vi bara den inre ringen. Ringen befinner sig för långt ifrån supernovan för att kunna

ha kastats ut i själva explosionen. Den måste ha skapats tidigare, troligtvis när material från den döende stjärnan har blåsts ut från stjärnan av dess stjärnvind under de sista tusentals åren av dess liv. Man vet inte säkert hur denna materia kunde bilda en så väldefinierad ring men när den väl fanns där började den snabbt glöda när en chockvåg av ultraviolett ljus från SN 1987A nådde den.

Det är viktigt att inse att ringen var där innan stjärnan exploderade som en supernova. Vi kommer att anta att ringen är en perfekt cirkel som lutar med en viss inklinering mot den linje som går mellan jorden och supernovan och vi ser därför en ellips. Om ringen hade varit vänd mot observatören hade alla delar av ringen blivit upplysta samtidigt när ljuset från supernovan nådde den.



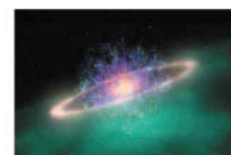
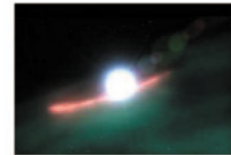
## Introduktion

Men eftersom ringen lutar så kom den närmre änden att lysas upp först (på grund av ljusets ändliga hastighet) och sen verkade ljuset röra sig runt ringen och sist lysa upp den bortersta punkten (se fig. 6). Notera att hela ringen blev upplyst samtidigt men på jorden såg vi den närmsta delen först börja lysa.

Eftersom gasen fortsatte att glöda och endast bleknade sakta efter att ljuset passerat, kommer det totala ljuset utsänt från ringen att ha sitt maximum ungefär när hela ringen precis blivit upplyst. Detta faktum kan användas för att beräkna avståndet till SN 1987A.

Frågorna i de följande uppgifterna lägger ut de steg som ska tas för att kunna beräkna avståndet till supernovan med hjälp av vinkelstorleken av ringen och ljuskurvan som visar evolutionen av ringens ljusstyrka med tiden efter explosionen.

**Figur 6: Ringen lysas upp**  
Som denna animation visar när ljuset från SN 1987A når materia runt den ringen av materia runt den och ringen lysar upp. Ringen når en maximal ljusstyrka runt 400 dagar efter utbrottet. Notera att även om ljuset når alla delar av ringen samtidigt, ser vi de närmsta delarna lysa upp först (på grund av ljusets ändliga hastighet). Genom att beräkna tidsförskjutningen är det möjligt att beräkna avståndet till SN 1987A. Bilderna är tagna från en animerad sekvens gjord av STScI/NASA.







## Uppgifter

### Uppgift 1

Det första målet är att beräkna vinkeldiametern på ringen, det vill säga ringens apparenta diameter sedd från jorden i bågsekunder. Detta är vinkel  $a$ .

De relativa positionerna för stjärnorna 1,2 och 3 i bilden av SN 1987A (fig. 8, sid. 8) är givna som vinkelseparationer (i bågsekunder) i tabellen nedan.

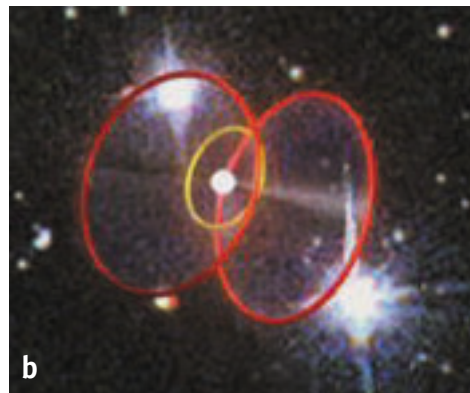
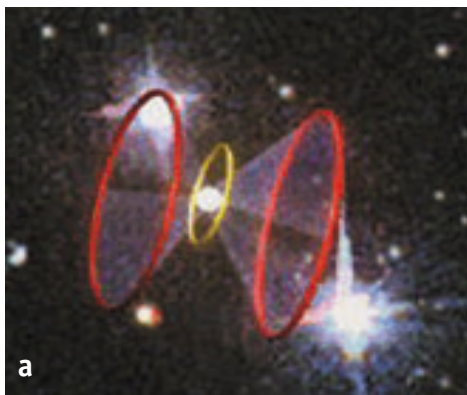
- ? Bind ihop dessa värden med mätningar i bilden för att ta reda på bildens skala (i bågsekunder/mm i bilden).

### Uppgift 2

Ringen runt SN 1987A antas vara cirkulär — det faktum att den ser elliptisk ut beror på dess inklination eller lutning (relativt till himmelsplanet — planet som är vinkelrätt mot vår siktlinje mot supernovan).

- ? Du kan mäta ringens vinkeldiameter direkt i bilden utan att veta dess inklination. Vissa skulle nog säga att det är självklart medan andra skulle behöva tänka efter för att se att det är sant. Förklara varför uttalandet håller. Titta på fig. 9 om det behövs.
- ? Mät ringens diameter i fig. 8 i mm och konvertera svaret till radianer med hjälp av konverteringsfaktorn du fick fram i uppgift 1 och informationen i Matematiska Verktyg.

	Avstånd (mm)	Avstånd (bågsekunder)	Skala (bågsekunder/mm)
Stjärna 2 relativt till stjärna 1:		3,0	
Stjärna 3 relativt till stjärna 1:		1,4	
Stjärna 3 relativt till stjärna 2:		4,3	

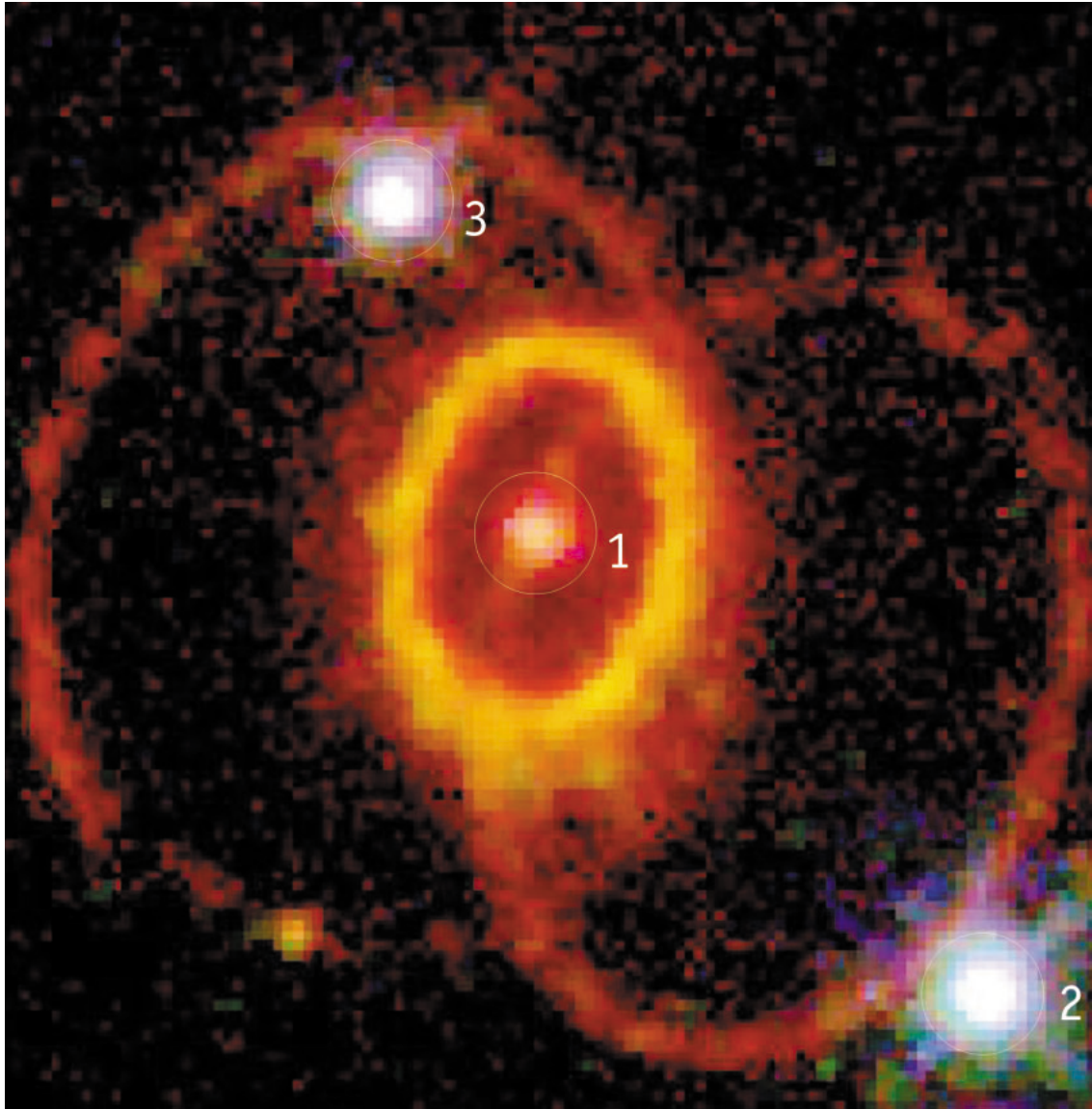


**Figur 7: Ringarna**

Om vi kunde se SN 1987A från en annan vinkel skulle vi se tre cirkulära ringar med SN 1987A i mitten av den mindre och de två större i parallella plan (fig. 7a). Hubble ser det dock som om de tre ringarna ligger i samma plan (fig. 7b) (Med rättigheter från STScI/NASA).



## Uppgifter



**Figur 8: Stjärnor runt supernova 1987A**

Denna bild togs i februari 1994 med Vidfält och planetär kamera 2 (Wide Field and Planetary Camera 2 (WFPC2)). WFPC2 har tagit de flesta av Hubbles fantastiska bilder som har blivit offentligt publicerade under åren. Dess upplösning och utmärkta kvalitet är några av anledningarna till att WFPC2 var det mest använda instrumentet under Hubbles tio första år. Filtret som används i kameran släpper igenom rött ljus emitterat av glödande vätegas — emissionslinjen Balmer- $\alpha$ .



## Uppgifter

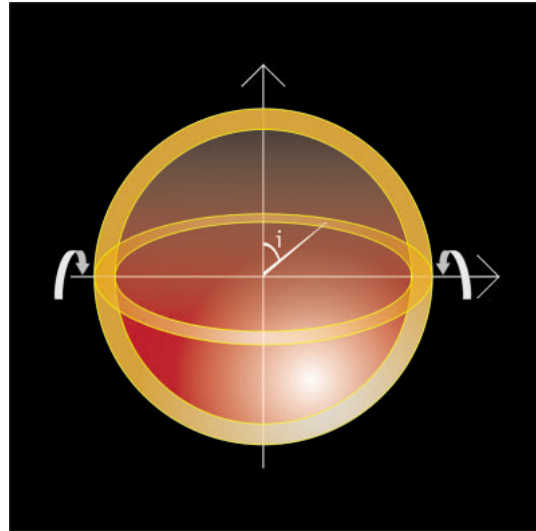
**Figur 9: En inkliniation**

En inklinationsvinkel,  $i$ , beskriver lutningen hos ett objekt, t.ex. en ring, bort från himmelsplanet.

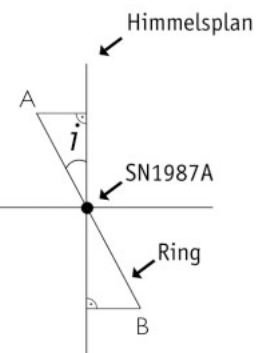
### Uppgift 3

Inklinationsvinkeln kallas  $i$ . Om  $i = 0^\circ$  eller  $i = 180^\circ$  ser vi en cirkel och vi ser en linje om  $i = 90^\circ$ . För alla andra värden mellan  $0^\circ$  och  $180^\circ$  ser vi en ellips.

- ? Hur kan du bestämma  $i$  genom att mäta en ellips stora och lilla axel? Fig. 9 och 10 kan kanske hjälpa dig att härleda relationen.
- ? Mät den stora och lilla vinkeldiametern på ellipsen och beräkna inklinationsvinkeln,  $i$ , från relationen du just fann.



Observatör



**Figur 10: Bestämning av inklinationsvinkeln,  $i$**

Tänk dig att vi tittar på systemet från sidan så att vi ser ringen med en inklinationsvinkel,  $i$ , relativt till himmelsplanet (detta plan är vinkelrätt mot observatörens siktlinje).

Inklinationsvinkeln kan härledas från en enkel relation mellan den observerade ellipsens lilla och stora axel. Den närmsta delen, A, och delen längst bort, B, är indikerade.

### Uppgift 4

Vi har nu ringens vinkeldiameter och inklinationsvinkel. Vi behöver fortfarande finna den verkliga diametern,  $d$ , i himmelsplanet för att kunna bestämma avståndet.

Nyckeln till att finna ringens verkliga diameter är vår kunskap om ljusets hastighet. När supernovan exploderar sänder den ut en väldigt stark ljusblxt. Denna blxt expanderar ut i den omgivande rymden med ljusets hastighet,  $c$ . Någon tid senare,  $t$  sekunder efter explosionen, kommer blixten att lysa upp ringen. Eftersom vi har antagit att ringen är cirkulär och om vi antar

att dess centrum sammanfaller med supernovans centrum, kommer alla delar av ringen lysas upp samtidigt, sett från supernovan.

Betänk hur detta skulle se ut från jorden. Även om alla delar av ringen "ser" supernovablixten samtidigt gör inte vi det eftersom ringen har en inklinationsvinkel. Delen av ringen som lutar mot oss kommer verka lysa upp först eftersom ljuset från denna delen har kortast väg att färdas för att nå oss. Inte förrän hela ringen är upplyst, sett från jorden, kommer ljuskurvan nå sitt maximum. Skillnaden i avstånd mellan den närmre och den bortre delen av ringen kan beräknas från tidsskillnaden mellan dessa punkter i ljuskurvan. Så tiden från att vi först ser ringen



## Uppgifter

upplöst tills att ljuskurvan når sitt maximum är nära relaterad till skillnaden i avstånd mellan den närmsta och bortesta delen av ringen. Ljuskurvan för SN 1987As ring visas i fig. 12.

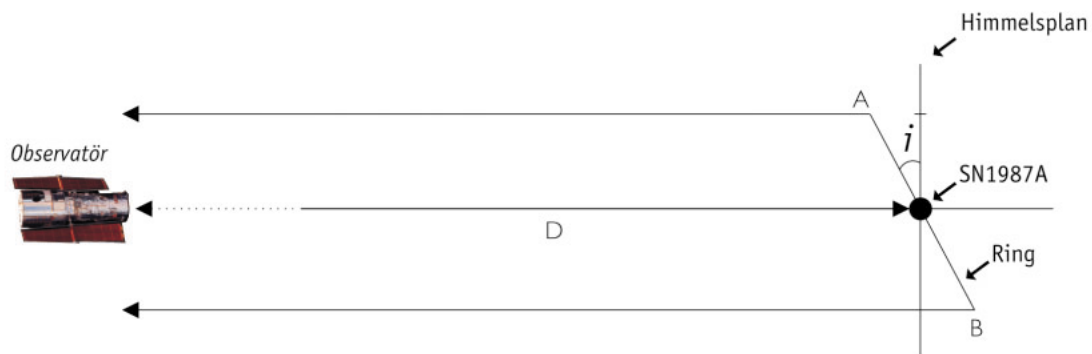
- ? Mät denna tid  $t$  från ljuskurvan av ringen hos SN 1987A.
- ? Om inklinationsvinkeln hade varit  $90^\circ$  hade det varit väldigt lätt att relatera denna tid till ringens diameter — varför?

### Uppgift 5

För att göra nästa beräkning måste vi använda en annan approximation (se fig. 13a och 13b). Vi kommer att anta att linjerna som förbinder jorden med punkterna A och B, den närmaste och bortesta punkten på ringen, är parallella. Detta är ett välgrundat antagande eftersom ringens vinkeldiameter,  $a$ , är så liten jämfört med avståndet,  $D$ . Följaktligen är vinklarna  $i$  och  $j$  lika.

- ? Titta på diagrammet i figur 13 och använd det för att finna relationen mellan:

1. Skillnaden i distans som ljuset färdas mellan den närmsta punkten, A, och den bortesta punkten, B. Vi kallar denna distans  $d_p$ .



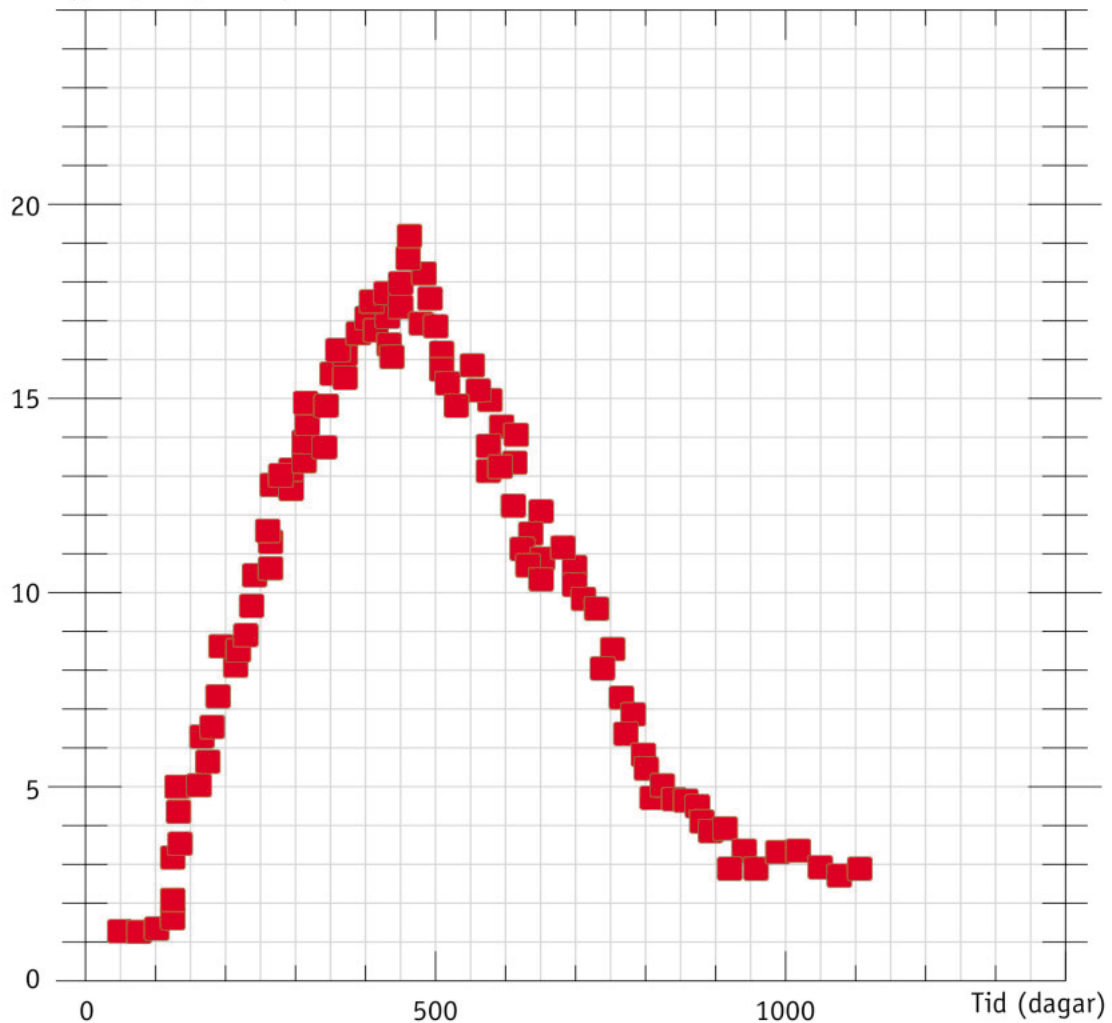
**Figur 11: Ljusets resa**

Blixten från SN 1987A träffade hela ringen samtidigt. Så den närmsta delen, A, och den bortesta delen, B, blev upplösta samtidigt och de sände ut ljus mot observatören på jorden samtidigt. Det utstrålade ljuset från B hade en längre resa på grund av ringens inklination.



## Uppgifter

Intensitet (godtycklig enhet)



**Figur 12: Ringens ljuskurva**

Här visar vi mätningar av det totala ljuset från ringen allt eftersom den blev upplyst månaderna efter supernovaexplosionen. Den totala intensiteten från ringen börjar öka när det första ljuset från den närmsta delen når oss. När ringen är helt upplyst (sett från jorden) når ljuskurvan sitt maximum. Dessa mätningar gjordes med International Ultraviolet Explorer (IUE) - ett annat rymdbaserat observatorium.

2. Ringens verkliga diameter,  $d$ .

3. Inklinationsvinkeln,  $i$  (beräknad i uppgift 3).

? Finn sedan en relation mellan skillnaden  $i$

- distans,  $d_p$ , ljushastigheten,  $c$ , och tiden,  $t$ .

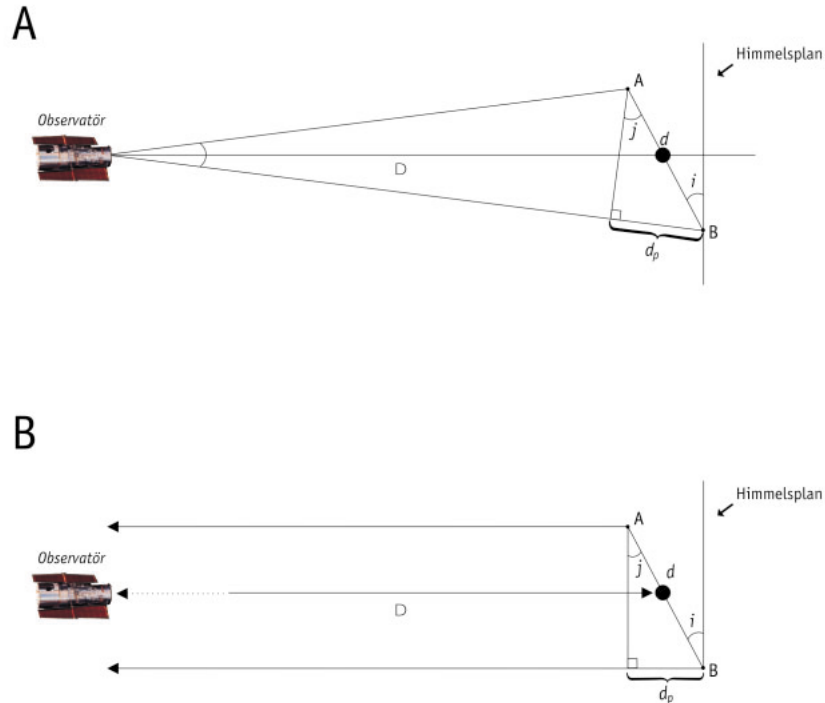
? Kombinera dessa två uttryck för att få ett uttryck för ringens verkliga diameter.

? Sätt in värdena som du antingen beräknat eller mätt i detta uttryck och räkna ut ringens verkliga diameter,  $d$ .





## Uppgifter



**Figur 13: Att finna den verkliga diametern**

Med hjälp av denna figur och de tidigare funna värdena är det möjligt att bestämma supernovaringens verkliga diameter. I 13a visas den verkliga situationen men på grund av det stora avståndet till LMC är det rimligt att anta att linjerna som förbinder jorden med punkt A och B är parallella. Detta antagande är illustrerat i 13b.

### Uppgift 6

Du är nu redo för den stora finalen!

- ?
- Använd värdet på  $d$  och vinkeln  $a$  (beräkna  $a$  i uppgift 2) för att bestämma avståndet,  $D$ , till supernovan (använd approximationen för små vinklar i "Matematiska Verktyg"). Ge svaret i kiloparsec med hjälp av konverteringsfaktorn som är given i "Matematiska Verktyg".

En ledtråd för att kolla ditt svar...

Avståndet till supernovan har blivit beräknat av Panagia et al. (1991) från originalversionen av dessa data. De fick värdet  $D = 51,2 \pm 3,1$  kpc och de har mätt inklinationsvinkeln till  $i = 42,8 \pm 2,6$  grader.

Om dina svar ligger inom 20% felmarginal så har du gjort noggranna mätningar och beräkningar och kan vara stolt över ditt arbete.

- ?
- Kan du tänka dig någon anledning till varför dina resultat skiljer sig från vetenskapsmännens?  
Den här uppgiften säger inget om de yttre ringarna.
  - ?
  - Kan du spekulera i deras ursprung?



## Ytterligare läsning

### Vetenskapliga artiklar

- Fransson, C., Cassatella, A., Gilmozzi, R. Kirshner, R. P., Panagia, N., Sonneborn, G., and Wamsteker, W., 1989, Ap.J., 336, 429-441: *Narrow ultraviolet emission lines from SN 1987A Evidence for CNO processing in the progenitor.*
- Gould, A., 1994, Ap.J., 425, 51-56: *The ring around supernova 1987A revisited. 1: Ellipticity of the ring.*
- Panagia, N., Gilmozzi, R., Macchetto, F., Adorf, H.M., Kirshner, R.P. 1991, Ap.J., 380, L23-L26: *Properties of the SN 1987A circumstellar ring and the distance to the Large Magellanic Cloud.*
- Jakobsen, P., Albrecht, R., Barbieri, C., Blades, J. C., Boksenberg, A., Crane, P., Deharveng, J. M., Disney, M. J., Kamperman, T. M., King, I. R., Macchetto, F., Mackay, C. D., Paresce, F., Weigelt, G., Baxter, D., Greenfield, P., Jedrzejewski, R., Nota, A., Sparks, W. B., Kirshner, R. P., Panagia, N., 1991, ApJ, 369, L63-L66: *First results from the Faint Object Camera – SN 1987A.*

Se också länkar på:

<http://www.astroex.org/>



## Kolofon



### ESA/ESOs övningsserie i astronomi

#### Övning 1: Att mäta avståndet till

#### Supernova 1987A

2:a upplagan (23.05.2002)

#### Producerad av:

Hubble European Space Agency Information Centre  
och European Southern Observatory:

<http://www.astroex.org>

(Pdf-versioner av detta material och relaterade  
internetlänkar finns på denna adress)

#### Postadress:

European Southern Observatory  
Karl-Schwarzschild-Str. 2  
D-85748 Garching bei München  
Tyskland

Telefon: +49 89 3200 6306 (or 3200 60)

Fax: +49 89 3200 64 80 (or 320 32 62)

E-mail: [info@astroex.org](mailto:info@astroex.org)

#### Ursprunglig idé och text:

Emma Fosbury och Robert A.E. Fosbury

#### Text av:

Anne Værnholt Olesen, Lars Lindberg Christensen,  
Jean-Marc Brauer, och Arntraud Bacher

#### Grafik och layout:

Martin Kornmesser

#### Översättning:

Martin Lundqvist

#### Svensk Korrekturläsning:

Britt Sjöberg

#### Co-ordination:

Lars Lindberg Christensen och Richard West

Tack till Karl-Heinz Lotze, Tyskland, för inspiration,  
till Nino Panagia, STScI/ESA, för välvillig tillförsel  
av data, och till Nina Troelsgaard Jensen,  
Frederiksberg Seminarium, för kommentarer. Vi vill  
också tacka de som har hjälpt till att förbättra den  
andra versionen av denna övning: Lyle Lichty och  
Thibaut Plisson, USA; Nausicaa Delmotte, ESO.





## Lärarens Guide

### Kort summering

Geometrin hos den närmast liggande ringen runt supernova 1987A (SN 1987A) introduceras. Vi definierar sedan skalan på Hubbles bild av supernovan så att ringens vinkeldiameter och dess inklination relativt till himmelsplanet kan erhållas.

Observationer från jorden visar hur ljuset från supernovan nådde olika delar av ringen. Med hjälp av mätningar av ljusets intensitet och ljushastigheten kan de fysiska dimensionerna av ringen beräknas. När både vinkelstorleken och den fysiska storleken av ringen är bestämda kan vi bestämma avståndet till själva SN 1987A.

Denna lärarguide innehåller lösningar till problemen tillsammans med kommentarer och diskussioner om gjorda approximationer och förenklingar. Målet är att maximera användbarheten av övningarna och assistera läraren under förberedelserna.

### Uppgift 1

Exempel på mätningar gjorda för hand med en linjal på en utskrivna bild med storleken 149 mm × 152 mm (den utskrivna bildens storlek beror på skrivaren):

	Avstånd (mm)	Avstånd (bågsekunder)	Skala (bågsekunder/mm)	Genomsnittlig skala (bågsekunder/mm)
Stjärna 2 relativt till stjärna 1:	89 mm	3,0	0,03371	0,03111
Stjärna 3 relativt till stjärna 1:	50 mm	1,4	0,02800	
Stjärna 3 relativt till stjärna 2:	136 mm	4,3	0,03162	

### Uppgift 2

Ringens vinkeldiameter erhålles genom att mäta ellipsens största dimension. Projektionen av en cirkel kommer alltid att visa diametern någonstans oavsett hur ringen är lutad.

Ringens uppmätta apparenta diameter: 51 mm.  
Konvertering till radianer:

$$a = 51 \text{ mm} \cdot 0,03111 \text{ bågsek/mm} \cdot 4,848 \cdot 10^{-6} \text{ rad/bågsek} = 7,6917 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$$

### Uppgift 3

Vissa människor har svårt med den rumsliga uppfattningen i 3D när de tittar på ett 2D-diagram - alltså att avkoda ett diagram som simulerar perspektiv (till exempel en isometrisk projektion) med hjälp av ett tvärsnitt. Var försiktig med detta ämne och kommentera diagrammet om det behövs. Approximationen som betraktar ljusstrålar som parallella när källan är långt ifrån jorden är normalt sett välkänd av studenter (den är ofta använd för ljuset som kommer från solen).

Varje ellips kan tänkas att vara en projektion av en cirkel som lutar med en vinkel,  $i$  (inklinationen), mot himmelsplanet (detta plan är vinkelrätt mot synlinjen). Storaxeln är lika med cirkelns diameter och lillaxeln är  $\cos(i)$  gånger diametern.

Det följer att:

$$\cos i = \text{lillaxel/storaxel} = 37 \text{ mm}/51 \text{ mm}$$

$$i = \cos^{-1}(37/51) = 0,7591 \text{ rad} = 43,49 \text{ grader}$$



## Lärarens Guide

### Uppgift 4

På tidsaxeln i diagrammet kan du mäta avståndet mellan början på upplysandet av ringen och maxintensiteten. Vi avläser **t = 399 dagar** från kurvan - det är en ren slump att tiden nästan överensstämmer med ett år.

Om inklinationen hade varit 90 grader skulle ringen visa sig som en linje. I detta fallet är tidsskillnaden mellan det att vi ser det första ljuset tills vi ser den bitersta kanten lysa upp bara just ringens diameter delat med ljushastigheten.

### Uppgift 5

$$\sin i = d_p/d \Rightarrow d = d_p/(\sin i)$$

$$d_p = c \times t$$

Kombinerade:

$$d = d_p/(\sin i) = (c \times t)/(\sin i) = (2,997 \times 10^8 \times 399 \times 24 \times 3600)/(\sin(43,49)) = 1,5012 \times 10^{16} \text{ m}$$

### Uppgift 6

$$D = d/a = (1,5012 \times 10^{16})/(7,6917 \times 10^{-6}) = 1,9517 \times 10^{21} = 63,2 \text{ kpc}$$

Avståndet beräknat av Panagia et al. från originaldatan (med hjälp av mer sofistikerade beräkningsmetoder) är  $D = 51,2 \pm 3,1 \text{ kpc}$ . (Värdet vi får håller sig inom en rimlig felmarginal.)

### Felkällor

Det är möjligt att använda denna fråga till att introducera en mer formell beräkning av felmarginaler genom att be studenterna att upprepa beräkningarna med de minsta respektive största värdena som är möjliga att uppmäta. Här är trenderna:

För stor vinkeldiameter,  $a \Rightarrow$  för litet  $D$  (ju närmare någonting är, desto större ser det ut att vara)

För stor apparent diameter  $\Rightarrow$  för litet  $D$

För stor konverteringsfaktor  $\Rightarrow$  för litet  $D$

För litet  $t \Rightarrow$  för litet  $D$

För stort  $i \Rightarrow$  för litet  $D$

Det är en bra övning för studenterna att arbeta igenom dessa trender själva.

### De två yttre ringarnas ursprung

Frågan om ursprunget av dessa yttre ringar är ett bra exempel på en enkel vetenskaplig fråga som inte har något klart svar (dessa dyker upp ganska ofta inom frontlinjeforskning som astronomi).

Det vetenskapliga samfundet är inte överens om deras ursprung men det är känt att ringarna skickades ut från den ursprungliga stjärnan över 20000 år innan den exploderade som en supernova. Varför de är så väl definierade är ett mysterium. Man tror att en röd jättestjärna normalt sänder ut sitt yttre skal likformigt åt alla håll.



[www.astroex.org](http://www.astroex.org)

