

ASTRONOMISCHE ÜBUNGSREIHE DER ESA/ESO

Astronomische Schülerübungen basierend auf
Beobachtungsdaten des NASA/ESA
Hubble Weltraumteleskops
und der ESO Teleskope.



Übung



Entfernungsbestimmung zur Supernova 1987A
Basierend auf Beobachtungen mit dem NASA/ESA Hubble Space Teleskop



Inhaltsverzeichnis

Astronomische Übungsreihe der ESA/ESO Teil 1

Vorwort

- Vorwort Seite 2

Einleitung

- Supernovae Seite 3
- Supernova 1987A Seite 4
- Die Entfernung zur Großen Magellanschen Wolke Seite 4
- Der Ring Seite 5

Aufgaben

- Aufgabe 1 Seite 7
- Aufgabe 2 Seite 7
- Aufgabe 3 Seite 9
- Aufgabe 4 Seite 9
- Aufgabe 5 Seite 10
- Aufgabe 6 Seite 12

Weiterführende Literatur

- Wissenschaftliche Veröffentlichungen Seite 13

Für den Lehrer

- Für den Lehrer Seite 15

Vorwort

Astronomische Übungsreihe der ESA/ESO Teil 1

Entfernungsbestimmung zur Supernova 1987A

Astronomie ist eine leicht zugängliche und anschauliche Wissenschaft, welche ideal für die Verwendung im Schulunterricht ist. In den letzten Jahren haben das NASA/ESA Hubble Weltraumteleskop und die ESO Teleskope auf den Beobachtungsstationen La Silla und Paranal in Chile immer spektakulärere und tiefere Einblicke in das Universum geliefert. Hubble und die ESO Teleskope haben nicht nur faszinierende neue Bilder geliefert, sie sind gleichzeitig auch als Werkzeuge für Astronomen von unschätzbarem Wert. Die Teleskope haben hervorragende räumliche Auflösung/Winkelauflösung (Bildschärfe) und erlauben den Astronomen tiefer als je zuvor ins Universum zu blicken und dabei seit langem anstehende Fragen zu beantworten.

Obwohl die Analyse von solchen Beobachtungen im Detail oft wissenschaftlich sehr anspruchsvoll ist, können sie manchmal einfach genug sein, dass auch Oberstufenschüler die Möglichkeit haben, die Auswertung selbständig nachzuvollziehen.

Diese Übungsreihe wurde gemeinsam von der ESA (European Space Agency), dem europäischen Partner des Hubble Projekts, welche 15% der Beobachtungszeit am Hubble besitzen, und der ESO (European Southern Observatory, Europäische Südsternwarte) erstellt.



Abbildung 1: Das NASA/ESA Hubble Weltraum Teleskop
Das NASA/ESA Hubble Weltraum Teleskop hat spektakuläre Erkenntnisse über das Universum von seiner Umlaufbahn um die Erde geliefert.



Einleitung

SN 1987A ist der Name einer berühmten Supernova. Der erste Teil des Namens bezieht sich auf die Art des Ereignisses—eine Supernova, danach folgt das Jahr, in dem es entdeckt wurde (1987), und 'A' heißt schließlich, dass es die erste Supernova war, die in diesem Jahr entdeckt wurde.

Supernovae

Eine Supernova ist eine Explosion, die den Tod bestimmter Sterntypen kennzeichnet. Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Supernovae, hier jedoch beschäftigen wir uns nur mit den sogenannten Typ II Supernovae — massiven Sternen, die auf spektakuläre Art das Ende ihres Sternenlebens erreichen.

SN 1987A war die Explosion eines solchen massiven Sterns.

Ein massiver Stern (typischerweise mehr als fünf

Sonnenmassen) kann sein Leben nach einigen Millionen Jahren mit einer Explosion beenden. Während der Explosion wird der Großteil des Sternmaterials gewaltsam in den Raum geschleudert. Die Geschwindigkeit des ausgestoßenen Materials kann 10^7 m/s (3% der Lichtgeschwindigkeit) erreichen. Die sich ausdehnende Hülle von Trümmern bleibt im interstellaren Raum für tausende von Jahren sichtbar, bevor sie schlussendlich im interstellaren Medium verschwindet. Dabei hinterläßt sie einen sichtbaren Überrest, bekannt als Supernova-Überrest (SNR, *supernova remnant*). Innerhalb des Nebels, der ihn umgibt, verdichtet sich der zentrale Teil des ursprünglichen Sterns zu einem Neutronenstern.

Supernovae sind sehr hell, sie besitzen eine Helligkeit, die dem ausgesandten Licht von Milliarden von Sonnen entspricht. Sie gehören wahrscheinlich zu den hellsten Objekten im ganzen

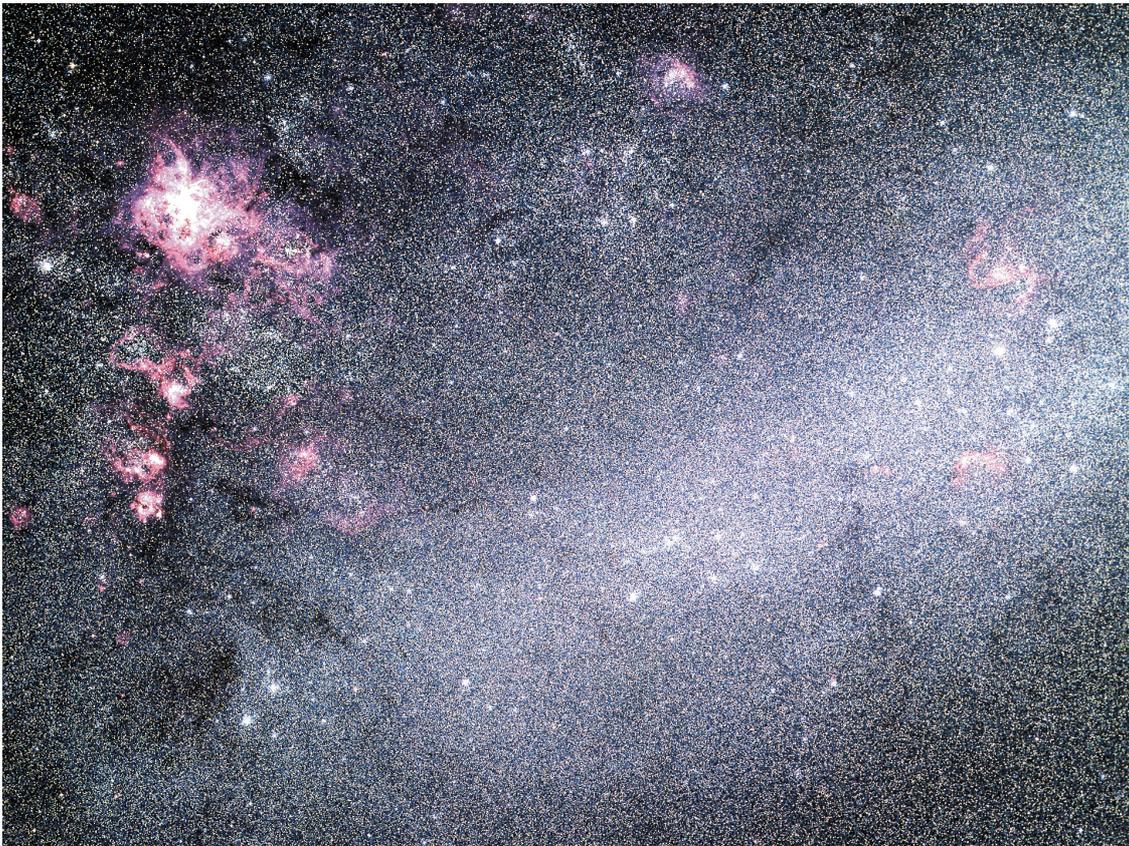


Abbildung 2: Die Große Magellansche Wolke (Large Magellanic Cloud, LMC)

Die LMC ist eine kleine irreguläre Galaxie, eine der nächsten Nachbargalaxien der Milchstraße.

Sie ist voll von Sternen, Staub und Gas, und es wimmelt von Sternentstehung. SN 1987A tauchte hier in der LMC auf.

Dieses Bild wurde mit dem Schmidt Teleskop der Europäischen Südsternwarte (ESO) am Observatorium La Silla aufgenommen.



Einleitung



Abbildung 3: Das Erscheinen von SN1987A

Im linken Bild sieht man den Tarantel-Nebel nach der Supernovaexplosion. Ein Pfeil zeigt auf die Supernova. Das rechte Bild zeigt den Tarantel-Nebel in der LMC, bevor Supernova 1987A am 23. Februar 1987 explodiert ist.

Einleitung

Universum. Deswegen sind sie über große Entfernungen hin sichtbar. Allerdings gibt es nur sehr wenige Supernovae, und deshalb ist der Himmel nicht ständig von spektakulären Sternexplosionen erleuchtet. Es wird geschätzt, dass nur ein paar Supernovaexplosionen pro Jahrhundert in einer Galaxie vorkommen.

Supernova 1987A

Am 23. Februar 1987 erschien eine Supernova in der Großen Magellanschen Wolke (LMC), die mit dem bloßen Auge sichtbar war. Die LMC ist eine der nächsten Nachbargalaxien der Milchstraße. Dies war eines der aufregendsten Ereignisse in der Geschichte der Astronomie. SN 1987A war die erste Supernova seit beinahe 400 Jahren, die mit dem bloßen Auge sichtbar war.

Die Entfernung zur Großen Magellanschen Wolke

Die Bestimmung von Entfernungen im Universum ist eines der wesentlichen Probleme in der Astronomie. Eine genaue Bestimmung der Entfernung zu SN 1987A, die innerhalb der LMC

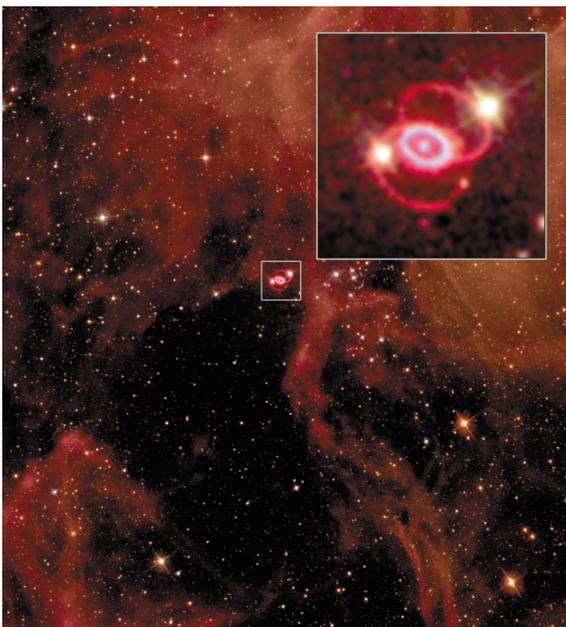


Abbildung 4: Supernova 1987A

SN 1987A im Zentrum (vergrößert im Bildausschnitt rechts) hinterließ einen Überrest von drei Ringen von leuchtendem Gas in der LMC. In dieser Übung wird der kleine zentrale Ring dazu verwendet, die Entfernung zur Supernova und damit zur LMC zu bestimmen. Viele junge (12 Millionen Jahre alte) blaue Sterne sind in diesem Gebiet zu sehen, ebenso wie Staub und Gas (in Dunkelrot). Dies zeigt, dass das Gebiet um die Supernova immer noch ein fruchtbares Sternentstehungsgebiet für neue Sterne ist.



Einleitung

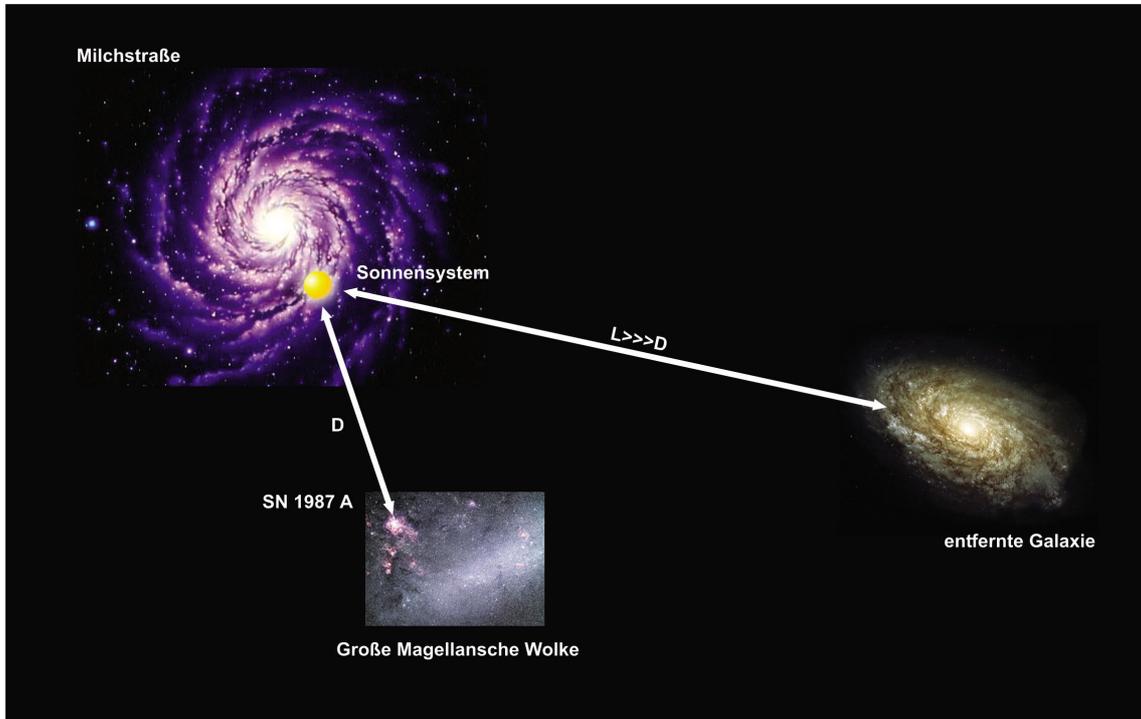


Abbildung 5: Messung der Entfernungen zwischen Galaxien

Wenn die Entfernung der LMC genauer bestimmt werden kann, können auch genauere Entfernungsmessungen für andere, weiter entfernte Galaxien gemacht werden.

liegt, kann verwendet werden, um die Entfernung zur LMC selbst zu bestimmen. Alle Sterne der LMC liegen in ungefähr der gleichen Entfernung von der Erde. Wenn wir die Distanz D zu SN 1987A finden können, finden wir gleichzeitig die Entfernungen zu allen anderen Sterntypen, die es in der LMC gibt. Einige andere Arten von Objekten, die in der LMC und anderen, weiter entfernten Galaxien gefunden wurden, können auch zur Entfernungsbestimmung verwendet werden. Daher würde eine genauere Bestimmung der Distanz zur LMC ein Sprungbrett für genauere Entfernungsmessungen für andere, weiter entfernte Galaxien bedeuten.

Der Ring

Die ersten Bilder von SN 1987A mit dem NASA/ESA Hubble Weltraum Teleskop wurden mit der ESA Faint Object Camera (FOC) am 1278. Tag nach dem Ausbruch aufgenommen. Hubble wurde 1990 gestartet und musste im All erst einge-

richtet werden, deswegen war es nicht möglich, früher Aufnahmen zu machen. SN 1987A war nicht nur von großem eigentlichem Interesse, sie stellte auch eine Herausforderung für Hubbles sehr großes Auflösungsvermögen dar. Die Bilder von SN 1987A zeigen drei ringförmige Nebel, die die Supernova umgeben- einen inneren und zwei äußere Ringe. In dieser Übung wird nur der innere Ring behandelt. Der Ring ist zu weit entfernt von der Supernova, um aus Material zu bestehen, das in der Explosion ausgeschleudert wurde. Er muss schon früher entstanden sein, wahrscheinlich, als Material vom sterbenden Stern während der letzten tausend Jahre seines Lebens vom Sternwind abtransportiert wurde. Es ist nicht klar, wie das Material in einen so klar abgegrenzten dünnen Ring geformt wurde, aber einmal geformt, begann das Material des Ringes rasch zu glühen, als ein Blitz aus ultraviolettem Licht von SN 1987A es erreichte.

Es ist wichtig zu verstehen, dass der Ring schon



Einleitung

existiert hatte, bevor der Stern als Supernova explodierte. Wir nehmen an, dass der Ring ein perfekter Kreis ist, aber um einen Winkel geneigt entlang der Linie, die die Erde und die Supernova verbindet, so dass wir eine Ellipse sehen. Wenn der Ring direkt gegenüber dem Beobachter stehen würde, hätten alle seine Teile gleichzeitig aufgeleuchtet, als der Blitz der Supernova sie erreichte. Da der Ring jedoch geneigt ist, schien der nähere Rand des Ringes früher aufzuleuchten (infolge der endlichen Geschwindigkeit des Lichts), dann schien sich das Licht um den Ring zu bewegen und den entferntesten Punkt als letztes zu beleuchten (siehe Abbildung 6). Beachte, dass der ganze Ring tatsächlich gleichzeitig beleuchtet wurde, aber dass es von der Erde aus so aussah, als ob der nächste Rand als erstes aufflammte.

Da das Gas weiterhin glühte und erst langsam schwächer wurde, als der Lichtblitz vorbei ging, erreichte das vom Ring ausgestrahlte Licht ungefähr dann ein Maximum, als der ganze Kreisumfang beleuchtet wurde. Diese Tatsache kann dazu verwendet werden, um die Entfernung zu SN 1987A zu messen.

Die Fragen in den folgenden Aufgaben skizzieren die nötigen Schritte, um die Entfernung zur Supernova zu berechnen. Verwendet werden dabei die Winkelgröße des Rings und eine Lichtkurve, die die Entwicklung der Ringhelligkeit mit der Zeit nach der Explosion zeigt.

Abbildung 6: Der Ring leuchtet auf

Wie diese Animation zeigt, erreicht das Licht von SN 1987A den sie umgebenden Materierung, und der Ring flammt auf. Der Ring erreichte seine größte Helligkeit ca. 400 Tage nach dem Ausbruch. Beachte: Auch wenn das Licht die verschiedenen Teile des Rings gleichzeitig erreicht, sehen wir die näheren Gebiete zuerst aufleuchten (wegen der endlichen Geschwindigkeit des Lichts). Indem man die beobachtete Zeitverzögerung misst, ist es möglich, die Entfernung zu SN 1987A zu erhalten. Diese Bilder stammen aus einer Animationssequenz von STScI/NASA.





Aufgaben

Aufgabe 1

Das erste Ziel ist es, den Winkeldurchmesser des Rings zu berechnen, das heisst, den scheinbaren Durchmesser des Rings in Bogensekunden, wie er von der Erde aus beobachtet wird. Das ist der Winkel α .

Die relativen Positionen der Sterne 1, 2 und 3 im Bild von SN 1987A (Abbildung 8, S. 8) sind als Winkelabstand (in Bogensekunden) in der Datentabelle unten angegeben.

- ? Verbinde diese Werte mit Direktmessungen am Bild, um den Maßstab des Bildes zu bestimmen (in Bogensekunden/mm auf dem Blatt).

Aufgabe 2

Der Ring um SN 1987A wird als kreisförmig angenommen — die Tatsache, dass er elliptisch erscheint, kommt durch die Neigung oder Schiefelage des Ringes (relativ zur Himmelsebene—die Ebene, die senkrecht zu unserer Sichtlinie zur Supernova liegt) zu Stande.

- ? Du kannst den Winkeldurchmesser des Ringes messen, ohne seine Neigung zu kennen. Manche werden sagen, dass diese Behauptung offensichtlich ist, während andere überlegen müssen, ob diese Behauptung stimmt. Erkläre, warum die Behauptung gilt. Falls nötig, schau dir Abbildung 9 an.

	Entfernung (mm)	Entfernung (Bogensekunden)	Maßstab (Bogensekunden/mm)
Stern 2 relativ zu Stern 1:		3,0	
Stern 3 relativ zu Stern 1:		1,4	
Stern 3 relativ zu Stern 2:		4,3	

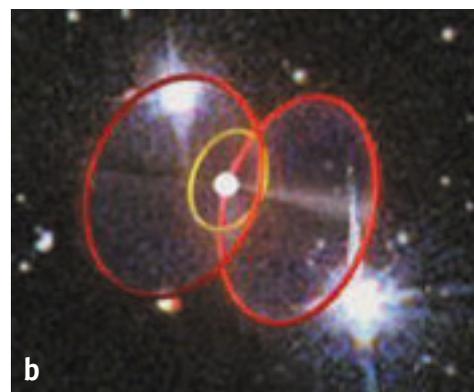
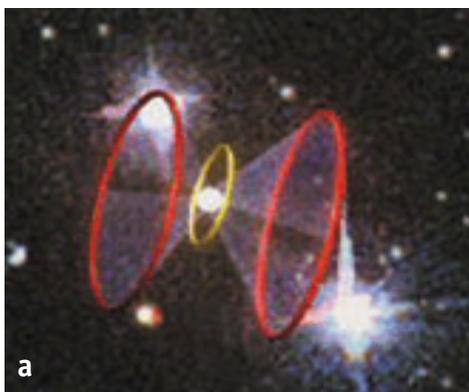


Abbildung 7: Die Ringe

Könnten wir SN 1987A von einem anderen Winkel aus betrachten, würden wir drei kreisförmige Ringe sehen mit SN 1987A im Zentrum des kleineren Ringes und die zwei größeren in parallelen Ebenen (Abbildung 7a). Von Hubbles Perspektive aus jedoch scheinen die drei Ringe in der gleichen Ebene zu liegen (Abbildung 7b) (zur Verfügung gestellt von STScI/NASA).



Aufgaben

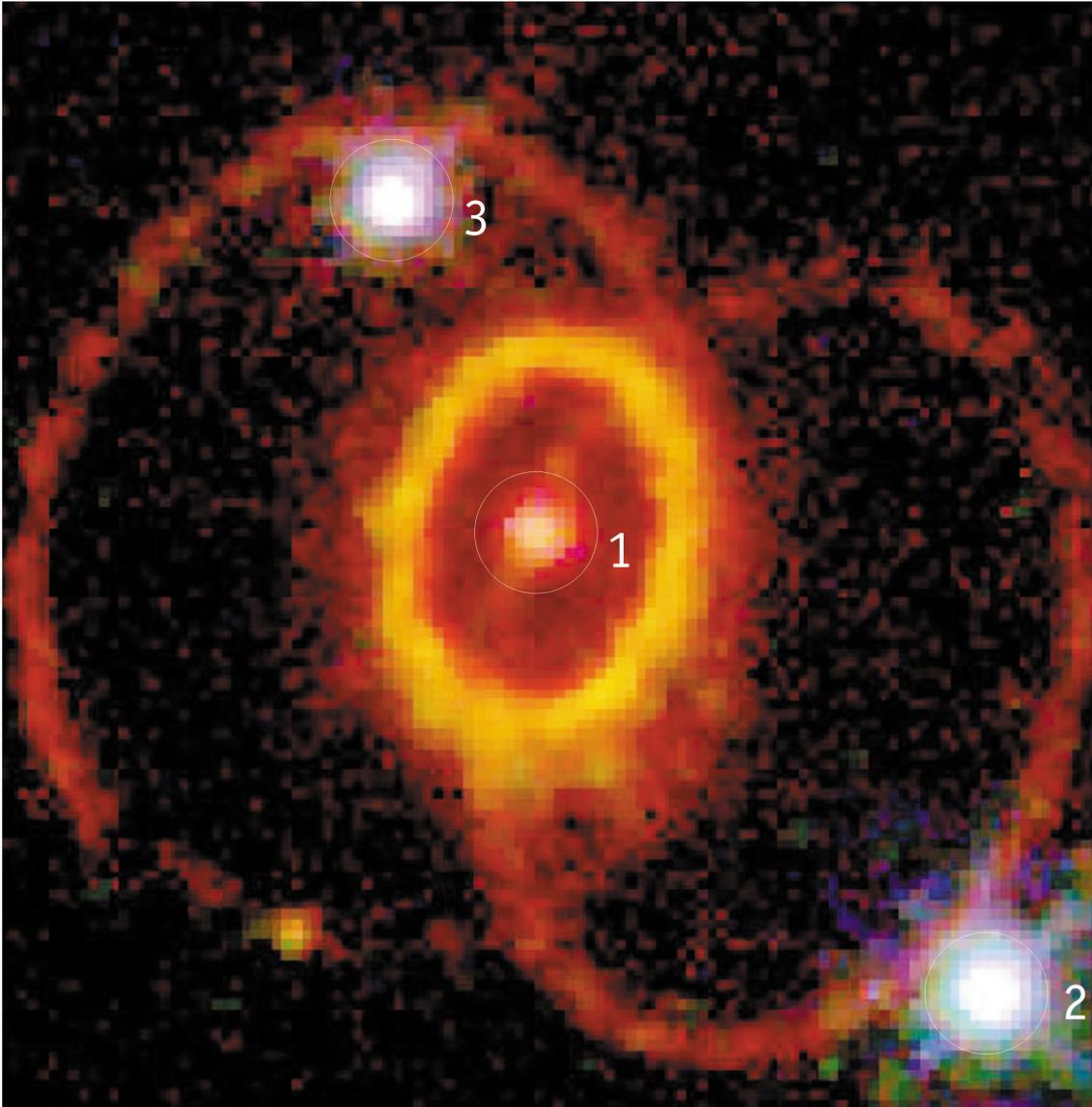


Abbildung 8: Sterne um die Supernova 1987A

Dieses Bild wurde im Februar 1994 mit der Wide Field Planetary Camera 2 (WFPC2) aufgenommen. WFPC2 hat die meisten der überwältigenden Hubble Bilder geliefert, die während der letzten Jahre als Bilder für die Öffentlichkeit publiziert wurden. Sein Auflösungsvermögen und seine ausgezeichnete Qualität sind mit ein Grund dafür, dass WFPC2 das am meisten verwendete Instrument während der ersten 10 Lebensjahre von Hubble war. Der Filter, der in der Kamera verwendet wurde, lässt rotes Licht durch, das von leuchtendem Wasserstoffgas angeregt wird — die Balmer- α Emissionslinie.



Aufgaben

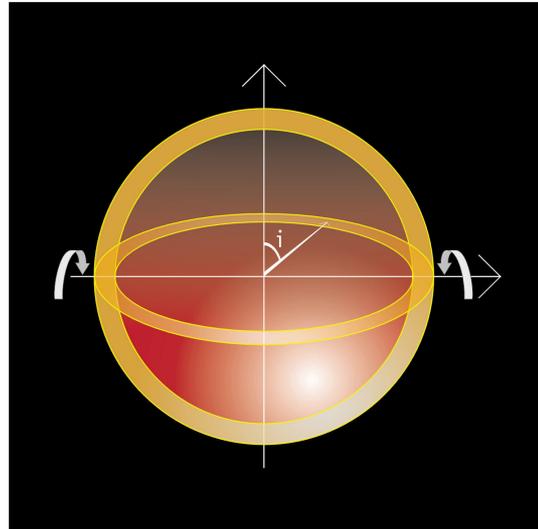
Abbildung 9: Die Neigung

Der Neigungswinkel i beschreibt die Schiefelage eines Objektes, zum Beispiel eines Ringes, relativ zur Himmelsebene.

- ? Miss den Durchmesser des Rings in Abbildung 8 und wandle das Ergebnis ins Bogenmaß um. Verwende dazu den Umwandlungsfaktor aus Aufgabe 1 und Informationen aus den Mathematischen Werkzeugen.

Aufgabe 3

Der Neigungswinkel wird i genannt. Wenn $i = 0^\circ$ oder $i = 180^\circ$ sehen wir einen Kreis, und eine Linie, wenn $i = 90^\circ$. Für jeden anderen Wert von i zwischen 0° und 180° sehen wir eine Ellipse.



Beobachter

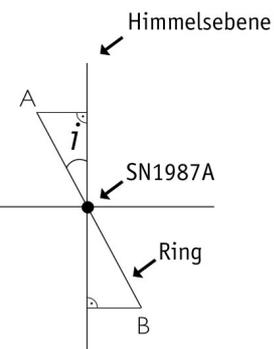


Abbildung 10: Bestimmung des Neigungswinkels i

Stell dir vor, dass wir nun das System von der Seite her betrachten, so dass wir den Ring unter einem Neigungswinkel i relativ zur Himmelsebene sehen (diese Ebene steht senkrecht zu der Sichtlinie des Beobachters).

Der Neigungswinkel kann durch eine einfache Beziehung zwischen der kleinen und großen Achse der beobachteten Ellipse bestimmt werden. Der nächste Teil des Ringes, A, und der am weitesten entfernte, B, sind abgebildet.

- ? Wie kannst du i durch Messung der großen und kleinen Achse der Ellipse bestimmen? Abbildungen 9 und 10 helfen bei der Bestimmung dieser Beziehung.
- ? Miss den großen und kleinen Winkeldurchmesser der Ellipse und berechne den Neigungswinkel aus der eben erhaltenen Beziehung.

Aufgabe 4

Nun kennen wir den Winkeldurchmesser des Ringes und seine Neigung. Wir müssen nun noch den wahren Durchmesser, d , in der Himmelsebene finden, um die Entfernung bestimmen zu können.

Der Schlüssel zur Bestimmung des wahren Durchmessers des Ringes ist unsere Kenntnis der Lichtgeschwindigkeit.

Wenn die Supernova explodiert, sendet sie einen sehr hellen Lichtblitz aus. Dieser Blitz breitet sich im Raum mit Lichtgeschwindigkeit c





Aufgaben

aus. Später, zu einer Zeit von t Sekunden nach der Explosion, wird der Blitz den Ring zum leuchten bringen. Da wir angenommen haben, dass der Ring kreisförmig ist und wir auch annehmen werden, dass sein Zentrum mit dem der Supernova übereinstimmt, werden alle Teile des Ringes von der Supernova aus gesehen gleichzeitig zum leuchten gebracht werden. Überlege nun, wie das von der Erde aus aussehen wird. Obwohl alle Teile des Ringes den Supernovablitz zur gleichen Zeit bemerken, sehen wir nicht, dass der ganze Ring gleichzeitig aufleuchtet, da der Ring geneigt ist. Der Teil des Ringes, der zu uns geneigt ist, wird anscheinend als erstes heller, da Licht von diesem Punkt eine kürzere Distanz zur Erde zurücklegen muss. Nur wenn der ganze Ring von der Erde aus gesehen beleuchtet wird, erreicht die Lichtkurve ihr Maximum. Der Unterschied in der Entfernung zwischen den nahen und fernen Punkten des Ringes kann dann aus der Zeit, die zwischen den beiden Ereignissen in der Lichtkurve verstrichen ist, berechnet werden. Daher ist die Zeit, die zwischen dem ersten Aufleuchten des ganzen Ringes und dem Maximum der Lichtkurve vergeht, eng verbunden mit der Differenz in der Entfernung zwischen dem nächsten und entferntesten Punkten des Ringes. Die Lichtkurve des Ringes von SN 1987A ist in Abbildung 12 dargestellt.

? Miss diese Zeit t aus der Lichtkurve des Ringes von SN 1987A.

? Wäre der Neigungswinkel 90° , wäre es sehr einfach gewesen, diese Zeit in Bezug zum Durchmesser des Ringes zu bringen — warum?

Aufgabe 5

Um die nächste Übung durchzuführen, brauchen wir noch eine Näherung (siehe Abbildung 13a und 13b).

Wir werden annehmen, dass die Linien, die die Erde mit den Punkten A und B, den der Erde nächsten und entferntesten Punkten am Ring, verbinden, parallel sind. Dies ist eine gültige Annahme, da der Winkeldurchmesser des Ringes, α , sehr klein ist im Vergleich zur Distanz D . Daher sind die Winkel i und j gleich.

? Betrachte das Diagramm (Abbildung 13) und benutze es, um eine Beziehung zu finden zwischen:

1. Dem Unterschied in der Entfernung, die das Licht zurücklegt, wenn es vom nächsten Punkt des Ringes, A, kommt, und vom entferntesten Punkt, B. Wir nennen diese Distanz d_p .

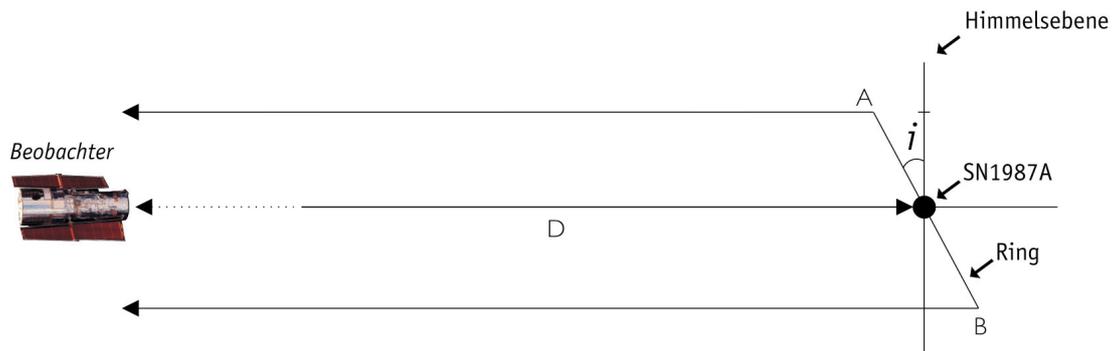


Abbildung 11: Die Reise des Lichts

Der Blitz von SN 1987A erreichte den ganzen Ring zur gleichen Zeit. Daher wurden der nächste Teil, A, und der entfernteste Teil, B, zur gleichen Zeit beleuchtet, und gleichzeitig sandten sie Licht zum Beobachter auf der Erde aus. Das Licht, das von B ausgesandt wurde, musste weiter reisen, da der Ring geneigt ist.



Aufgaben

Intensität (willkürliche Einheiten)

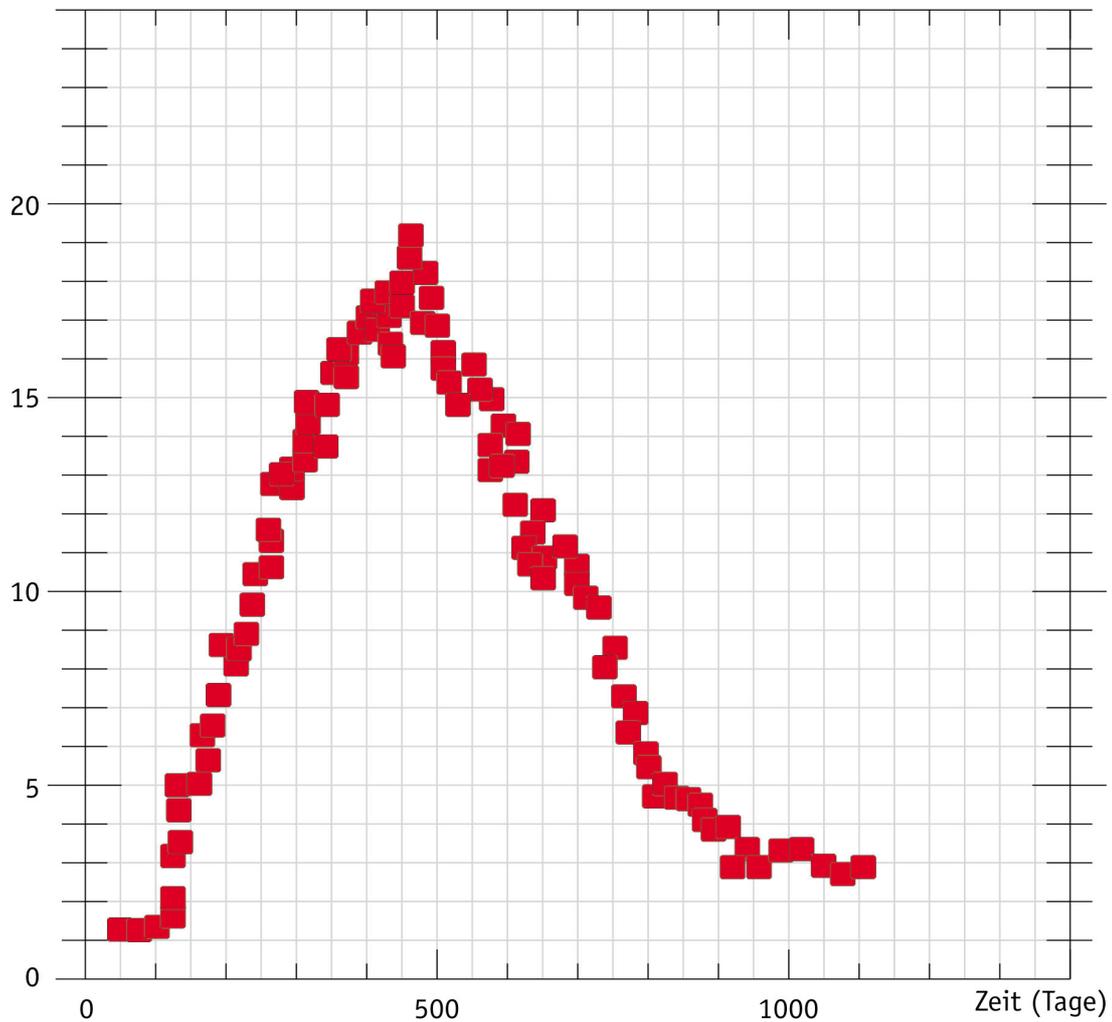


Abbildung 12: Lichtkurve des Ringes

Hier zeigen wir Messungen des gesamten Lichts des Ringes, der in den Monaten nach der Supernovaexplosion aufleuchtete. Die Gesamtintensität des Ringes nimmt zu, wenn das Licht von den nächsten Gebieten des Ringes uns erreicht. Wenn der Ring vollständig beleuchtet ist (von der Erde aus gesehen), erreicht die Lichtkurve ihr Maximum. Diese Messungen wurden mit dem International Ultraviolet Explorer (IUE) gemacht-ebenfalls ein Weltraumteleskop.

2. Dem Winkeldurchmesser α des Ringes (berechnet in Übung 2)

3. Dem Neigungswinkel i (berechnet in Übung 3)

? Finde dann eine Beziehung zwischen dem Unterschied in der Distanz, d_p , der Lichtgeschwindigkeit c und der Zeit t .



Aufgaben

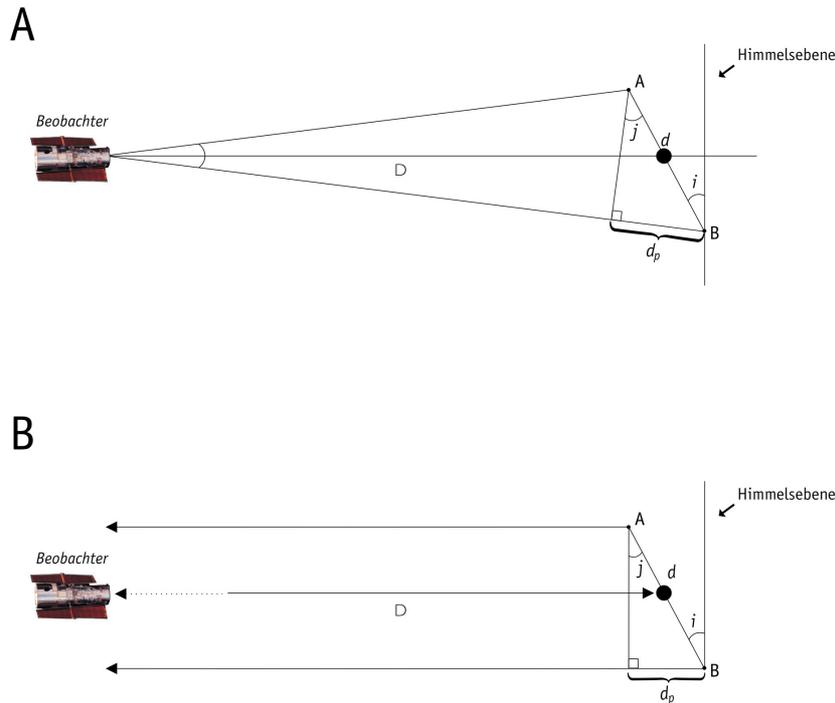


Abbildung 13: Berechnung des wahren Durchmessers

Mit Hilfe dieser Abbildung und früher gefundenen Werten ist es möglich, den wahren Durchmesser d des Supernovaringes zu finden. Die Skizze in Abbildung 13A zeigt die wahre Situation, aber wegen der großen Entfernung zur LMC ist es vernünftig anzunehmen, dass die Linien, die die Erde mit A und B verbinden, parallel sind. Diese Annahme wird in Abbildung 13B illustriert.

- ? Verknüpfe diese beiden Ausdrücke, um einen Ausdruck für den wahren Durchmesser d des Ringes zu finden.
- ? Füge die Werte, die du vorher entweder berechnet oder gemessen hast, in diesen Ausdruck ein, und berechne so den wahren Durchmesser d des Ringes.

Aufgabe 6

Nun sind wir bereit für das große Finale!

- ? Verwende die Werte von d und dem Winkel α , um die Distanz D zur Supernova zu bestimmen (verwende die Näherung für kleine Winkel aus den Mathematischen Werkzeugen). Gib die Antwort in Kiloparsec an, verwende dazu den Umrechnungsfaktor aus den Mathematischen Werkzeugen.

Ein Hinweis, um deine Antworten zu überprüfen...

Die Entfernung zur Supernova wurde von Panagia et al. (1991) mit den Originaldaten dieser Aufgabe berechnet. Sie finden den Wert $D = 51,2 \pm 3.1$ kpc, und sie finden einen Neigungswinkel $i = 42,8$ Grad ± 2.6 Grad.

Wenn deinen Antworten innerhalb einer Fehlerpanne von 20% liegen, hast du genau gemessen und sorgfältig gerechnet und kannst auf deine Arbeit stolz sein.

- ? Kannst du dir Gründe vorstellen, warum deine Ergebnisse sich von denen der Wissenschaftler unterscheiden?

Diese Übung befasst sich nicht mit den zwei äußeren Ringen.

- ? Kannst du dir vorstellen, wie diese entstanden sind?



Weiterführende Literatur

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

- Fransson, C., Cassatella, A., Gilmozzi, R. Kirshner, R. P., Panagia, N., Sonneborn, G., und 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.*

Siehe auch Weblinks auf:
<http://www.astroex.org/>



Colophon



ESA/ESO Astronomische Übungsreihe
Übung 1: Entfernungsbestimmung zur Supernova
1987A
1. Auflage (Übersetzung der 2. englischen Auflage
vom 23.05.2002)

Produziert von:
the Hubble European Space Agency Information
Centre und der Europäischen Südsternwarte:
<http://www.astroex.org/>
(Pdf-Versionen dieses Materials und verwandte
Weblinks finden sich unter dieser WWW-Adresse)

Postanschrift:
Europäische Südsternwarte
Karl-Schwarzschild-Str. 2
D-85748 Garching bei München
Deutschland

Telefon: +49 89 3200 6306 (oder 3200 60)
Fax: +49 89 3200 64 80 (oder 320 32 62)
E-mail: info@astroex.org

Ursprüngliche Idee und Text:
Emma Fosbury and Robert A.E. Fosbury

Text :
Anne Værnholt Olesen, Lars Lindberg Christensen,
Jean-Marc Brauer und Arntraud Bacher

Grafik und Layout:
Martin Kornmesser

Übersetzung:
Birgit Armsdorfer,
Arntraud Bacher und Paul Scheier

Korrekturlesen:
Paul Schleier und Arntraud Bacher

Koordination:
Lars Lindberg Christensen und Richard West

Dank an Karl-Heinz Lotze, Deutschland, für die
Inspiration, an Nino Panagia, STScI/ESA, der
freundlicherweise die Daten zur Verfügung gestellt
hat, und an Nina Troelsgaard Jensen, Frederiksberg
Seminarium, für Kommentare.



Für den Lehrer

Kurze Übersicht

Die Geometrie des nächsten Ringes um Supernova 1987A (SN 1987A) wird vorgestellt. Anschließend definieren wir den Maßstab des Hubblebildes der Supernova, sodass der Winkeldurchmesser des Ringes und auch die Neigung des Ringes relativ zur Himmelsebene bestimmt werden können. Beobachtungen von der Erde zeigen, wie das Licht der Supernova die verschiedenen Teile des Ringes erreicht hat. Indem man Messungen der Lichtintensität und die Lichtgeschwindigkeit verwendet, können die physikalischen Dimensionen des Ringes gefunden werden. Sind einmal Winkeldurchmesser und physikalische Größe des Ringes bestimmt, können wir die Entfernung zu SN 1987A selbst bestimmen.

Dieser Leitfaden für Lehrer enthält Lösungen der Aufgaben sowie Anmerkungen und Erörterungen jeglicher Näherungen und Vereinfachungen, die gemacht wurden. Ziel ist es, den Nutzen der Übungen zu maximieren und den Lehrer bei der Vorbereitung des Unterrichtsplans zu unterstützen.

Aufgabe 1

Beispiele für Messungen, von Hand durchgeführt mit einem Lineal auf einer 149 mm x 151 mm Version des gedruckten Bildes (die gedruckte Größe hängt vom Drucker ab):

	Abstand (mm)	Abstand (arcseconds)	Maßstab (Bogensekunden/mm)	durchschnittlicher Maßstab (Bogensekunden/mm)
Stern 2 relativ zu Stern 1:	89 mm	3,0	0,03371	0,03111
Stern 3 relativ zu Stern 1:	50 mm	1,4	0,02800	
Stern 3 relativ zu Stern 2:	136 mm	4,3	0,03162	

Aufgabe 2

Man findet den Winkeldurchmesser des Rings, indem man die größte Ausdehnung der Ellipse misst. Die Projektion eines Kreises wird immer an irgendeiner Stelle den Durchmesser zeigen, wie auch immer der Kreis geneigt ist.

Gemessener scheinbarer Durchmesser des Rings: 51 mm.

Umwandlung ins Bogenmaß:

$$a = 51 \text{ mm} \cdot 0,03111 \text{ arcsec/mm} = 1,58761 \text{ arcsec} = 7,6915 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$$

Aufgabe 3

Manchen bereitet es Schwierigkeiten, sich eine räumliche Darstellung in 3D vorzustellen, wenn sie ein 2D Diagramm betrachten- das heißt, ein Diagramm, das Perspektive simuliert (zum Beispiel eine isometrische Projektion), zu entschlüsseln, indem man einen Querschnitt betrachtet. Geben Sie Acht auf dieses Thema, und kommentieren Sie wenn nötig die Diagramme. Die Näherung, die besagt, dass Lichtstrahlen parallel sind, wenn die Quelle weit von der Erde entfernt ist, ist den Schülern üblicherweise gut bekannt (sie wird oft für Lichtstrahlen der Sonne verwendet).

Jede Ellipse kann man sich vorstellen als die Projektion eines Kreises, geneigt um einen Winkel i (die Inklination) zur Himmelsebene (diese Ebene steht senkrecht zur Sichtlinie). Die große Achse entspricht dem Durchmesser des Rings, die kleine Achse ist $\cos(i)$ mal der großen Achse.



Für den Lehrer

Daraus folgt, dass:

$\cos i = \text{kleine Achse} / \text{große Achse} = 37 \text{ mm} / 51 \text{ mm}$

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

Aufgabe 4

Anhand der Grafik kann man die Entfernung auf der Zeit-Achse zwischen dem Beginn des Leuchtens des Ringes und der maximalen Intensität messen. Wir messen $t = 399$ Tage aus der Grafik — es ist reiner Zufall, dass die vergangene Zeit ungefähr einem Jahr entspricht.

Wäre die Neigung 90 Grad gewesen, würde der Ring als eine Linie erscheinen. In diesem Fall wäre der Zeitunterschied zwischen dem Moment, wenn wir das erste Licht sehen, und dem Moment, wenn wir das entfernteste Ende aufleuchten sehen, einfach der Durchmesser des Ringes dividiert durch die Lichtgeschwindigkeit.

Aufgabe 5

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

$$d_p = c \cdot t$$

Zusammen:

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

Aufgabe 6

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

Die Entfernung, die von Panagia et al. aus den Originaldaten berechnet wurde (sie verwendeten eine genauere Berechnungsmethode), ist $D = 51,2 \pm 3,1 \text{ kpc}$. (Der Wert, den wir erhalten, befindet sich innerhalb der Fehlergrenzen.)

Fehlerquellen

Es besteht die Möglichkeit, diese Frage zu verwenden, um eine formale Berechnung von Fehlergrenzen einzuführen, indem man die Schüler auffordert, die Rechnung mit den kleinsten und größten möglichen Meßwerten zu wiederholen. Dies sind die Tendenzen:

Zu großer Winkeldurchmesser $a \Rightarrow$ zu kleine D (je näher sich ein Objekt befindet, desto größer erscheint es)

Zu großer scheinbarer Durchmesser \Rightarrow zu kleine D

Zu großer Umrechnungsfaktor \Rightarrow zu kleine D

Zu kleines $t \Rightarrow$ zu kleine D

Zu großes $i \Rightarrow$ zu kleine D

Es ist eine gute Übung für die Schüler, diese Tendenzen selbst zu erarbeiten.

Die Entstehung der äußeren Ringe

Die Frage nach der Entstehung der äußeren Ringe ist ein gutes Beispiel für eine einfache wissenschaftliche Frage ohne klare Antwort (dies passiert häufig in einer front-line Wissenschaft wie der Astronomie).

Die wissenschaftliche Gemeinschaft stimmt in der Frage nach der Entstehung der Ringe nicht überein, aber es ist bekannt, dass die Ringe vom Vorläuferstern vor über 20 000 Jahren ausgestoßen wurden, bevor der Stern als Supernova explodierte. Es ist ein Rätsel, warum sie so klar geformt sind. Es wird angenommen, dass ein roter Riesenstern normalerweise seine äußeren Schichten gleichförmig in alle Richtungen abstößt.

www.astroex.org

