

# THE ESA/ESO ASTRONOMY EXERCISE SERIES

Student exercises in astronomy using observations from the NASA/ESA Hubble Space Telescope and the ESO telescopes



Exercise 1

## Measuring the Distance to Supernova 1987A

Based on Observations with the NASA/ESA Hubble Space Telescope





# **Obsah**

## **Úvod**

Úvod	strana 2
Určování vzdálenosti supernovy 1987A	strana 3
Supernovy	strana 4
Vzdálenost Velkého Magellanova oblaku	strana 4
Prstenec	strana 5

## **Cvičení**

Cvičení 1	strana 7
Cvičení 2	strana 7
Cvičení 3	strana 9
Cvičení 4	strana 9
Cvičení 5	strana 10
Cvičení 6	strana 12

## **Literatura**

Odborné časopisy	strana 13
------------------	-----------

## **Poznámky pro učitele**

Poznámky pro učitele	strana 14
----------------------	-----------

# Úvod

ESA/ESO Astronomická cvičení č.1

## Určování vzdálenosti supernovy 1987A

Astronomie je dostupná a názorná věda, ideální pro vzdělávací účely. Během několika posledních let představili NASA, ESA, Hubbleův vesmírný teleskop a observatoř La Silla a Paranal v Chile nejhlubší a nejpozoruhodnější pohledy do Vesmíru, jaké kdy byly pořízeny. Ačkoliv, Hubbleův vesmírný teleskop a teleskop ESO již nepořizují nové ohromující snímky, jsou stále pro astronomy neocenitelné. Tyto dalekohledy mají excelentní prostorové a úhlové rozlišení (ostrota snímků) a umožňují astronomům pohledy do nejvzdálenějšího Vesmíru, jaké kdy byly pořízeny a umožňují nalézat odpovědi na dlouhodobě nezodpovězené otázky.

Ačkoliv jsou analýzy těchto pozorování velmi detailní, v principu jsou tak jednoduché, že je lze použít ve vzdělávání. Můžeme tak ukázat studentům, jak mohou tuto práci zopakovat vlastními silami a prostředky.

Tento soubor cvičení byl vytvořen evropským partnerem projektu Hubble, Evropskou vesmírnou agenturou (ESA), která má zajištěných 15% pozorovacího času Hubbleova vesmírného dalekohledu, společně s Evropskou jižní observatoří (ESO).



**Obrázek 1: NASA/ESA Hubbleův vesmírný dalekohled**

Hubbleův vesmírný dalekohled pořizuje neobyčejné snímky našeho Vesmíru z oběžné dráhy Země.

## Úvod

SN 1987A je název úžasné supernovy. První část tohoto označení představuje typ objektu – supernovu, potom je uveden rok prvního pozorování (1987) a nakonec „A“ oznamuje, že to byla první objevená supernova v daném roce.

### Supernovy

Supernova je výbuch, označující smrt jistého typu hvězdy. Existují dva typy supernov, my se zde budeme věnovat supernovám, které se nazývají supernovy typu II. Jedná se o velmi hmotné hvězdy, které ukončují svůj aktivní život v úžasném představení. SN 1987A byl výbuch jedné z těchto hmotných hvězd.

Hmotné hvězdy (typicky nejméně 5-krát hmotnější než Slunce) mohou ukončit svůj aktivní život výbuchem po několika milionech roků. Během

této exploze je většina materiálu, který tvoří hvězdu, odvržena do okolního prostoru. Rychlost šíření vyvrženého materiálu je téměř  $10^7$  m.s<sup>-1</sup> (3% rychlosti světla). Expandující jádro září do mezihvězdného prostoru tisíce let předtím, než se později odvržený materiál zformuje do mlhoviny. Centrální část hvězdy je potom stlačena do neutronové hvězdy.

Všechny supernovy jsou velice jasné. Jejich zářivý výkon odpovídá záření miliard Sluncí. Věříme, že jsou to nejjasnější objekty ve Vesmíru a jsou tudíž viditelné na velké vzdálenosti. Nicméně, můžeme pozorovat jen velmi málo supernov, a proto není obloha přezářená těmito představeními. Četnost výskytu supernov se odhaduje na několik za století pro jednu galaxii.



**Obrázek 2: Velké Magellanovo mračno (LMC)**

LMC je malá nerovnoměrná galaxie, jeden z nejbližších sousedů Mléčné dráhy. Je plná hvězd, prachu a plynu a rodí se v ní mnoho hvězd. Právě zde se objevila supernova 1987A. Tento snímek byl pořízený Schmidtovým dalekohledem na Evropské jižní observatoři v Chile.

## Úvod

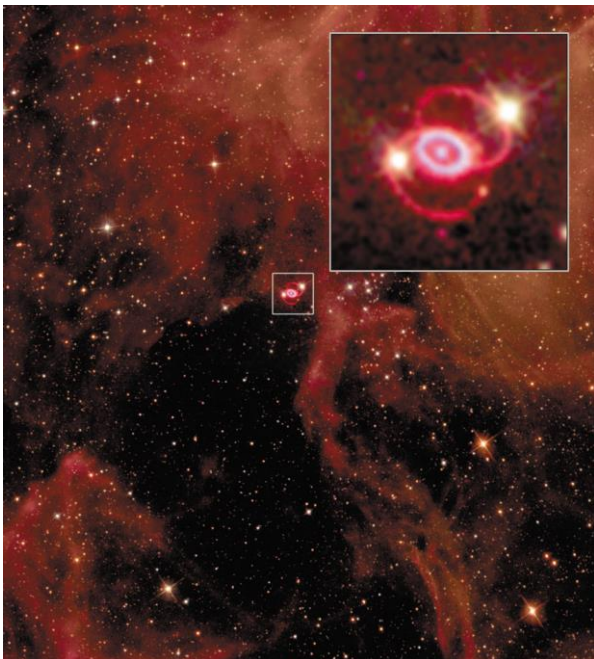


**Obrázek 3: Objevení se supernovy 1987A**

Na levém snímku je vidět mlhovina Tarantule po výbuchu supernovy. Toto místo ukazuje šipka. Na pravém snímku je stejná mlhovina před výbuchem supernovy, 23. 2. 1987.

### Supernova 1987A

23. února 1987 se objevila ve Velkém Magellanově mračnu (LMC) pouhým okem viditelná supernova. LMC je jedna z nejbližších galaxií galaxie Mléčná dráha. Byl to jeden z nejúžasnějších momentů v historii astronomie. SN 1987A byla první, pouhým okem viditelná supernova po 400 letech.



### Vzdálenost Velkého Magellanova mračna

Určování vzdálenosti je jeden ze základních problémů astronomie. Přesné určení vzdálenosti SN 1987A, umístěné v LMC, je možné použít k určení vzdálenosti LMC samotného.

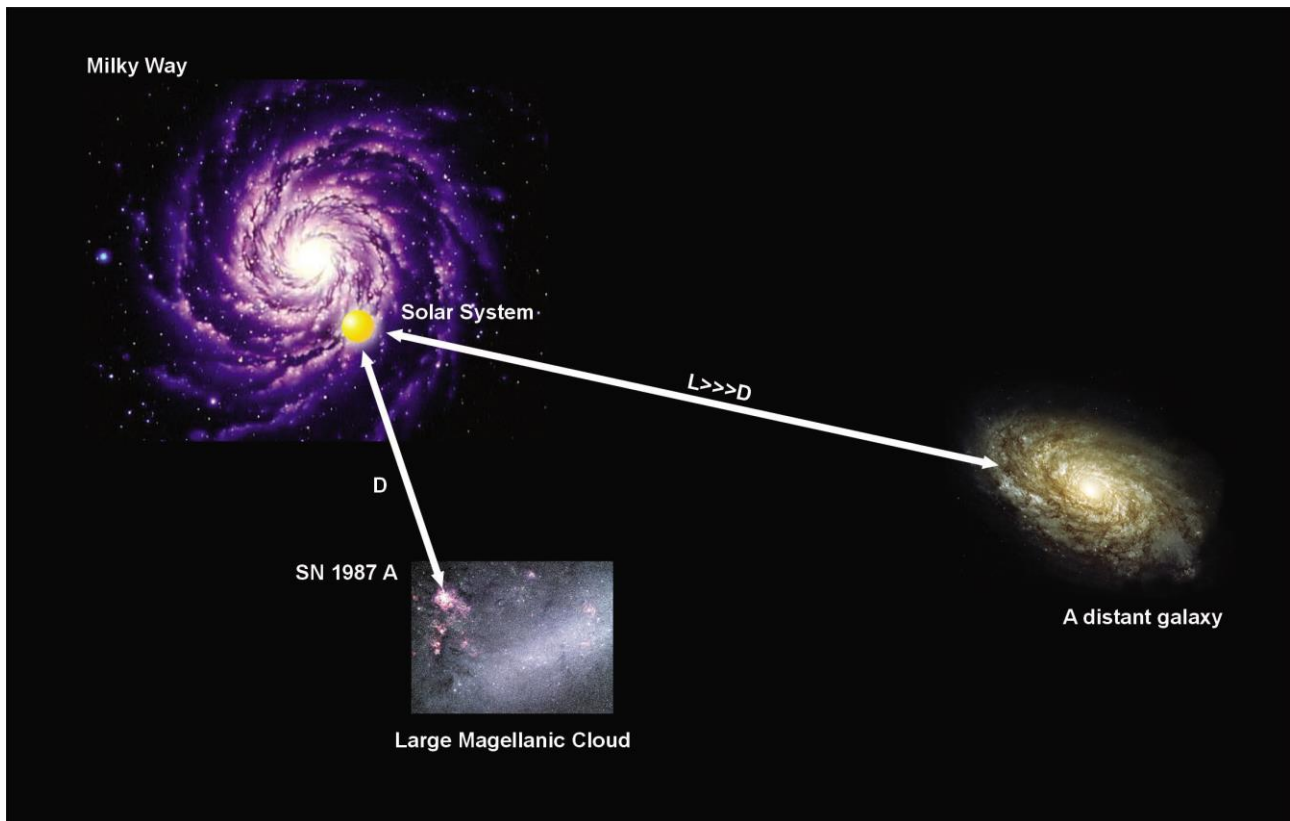
Všechny hvězdy LMC jsou průměrně ve stejné vzdálenosti od nás. Pokud bychom byli schopni určit vzdálenost supernovy D, potom budeme schopni současně určit ostatních typů hvězd v LMC.

### Obrázek 4: Supernova 1987A

SN 1987A po sobě zanechala v centru (v rámečku zvětšeno) zbytky tří prstenců zářícího plynu v LMC. V tomto cvičení je malý středový prstenec použit k určení vzdálenosti supernovy a tím i LMC.

V této oblasti je vidět mnoho mladých – 12 milionů let starých – modrých hvězd, stejně jako prach a plyn (tmavě červená barva). To ukazuje, že oblast okolo supernovy je stále živnou půdou pro tvorbu hvězd.

# Úvod



**Obrázek 5: Měření vzdáleností mezi galaxiemi**

Čím přesněji jsme schopni určit vzdálenost LMC, tím přesněji můžeme určovat vzdálenosti vzdálenějších galaxií.

Některé typy objektů v LMC a v dalších více vzdálených galaxiích mohou být použity pro určování vzdáleností. To znamená, že přesnější určení vzdálenosti LMC umožní přesněji určit vzdálenosti vzdálenějších galaxií.

## Prstenec

První snímek SN 1987A pořídil Hubbleův vesmírný dalekohled pomocí ESA Faint Object Camera (FOC) 1278 dní po výbuchu. Hubbleův dalekohled byl umístěn na oběžnou dráhu Země v roce 1990, proto nebylo možné pořídít tyto snímky dříve. Bylo prvotním zájmem pořídít tyto snímky. Ty ukazují tři kruhové mlhoviny obklopující supernovu – vnitřní prstenec a dva vnější prstence. V tomto cvičení budeme používat pouze vnitřní prstenec. Prstenec je dostatečně daleko od supernovy na to, aby byl tvořen materiálem, vyvrženým při výbuchu. Musel být vytvořený dříve,

pravděpodobně z materiálu umírající hvězdy, neseného hvězdným větrem během posledních několika tisíc let jejího života. Není jasné, jakým způsobem byl tento prstenec vytvořen. Nicméně byl jednou stvořen, a jakmile k němu dorazilo ultrafialové záření z výbuchu supernovy, jasně se rozzářil.

Je důležité si uvědomit, že prstenec vznikl před explozí supernovy. Budeme předpokládat, že je to dokonalá kružnice, ale je skloněný k přímce, spojující Zemi a supernovu. Proto jej vidíme jako elipsu. Jestliže by byl prstenec natočený kolmo k Zemi, zmíněné záření by dopadlo na všechny části prstence ve stejnou dobu.

## Úvod

Protože je však prstenec skloněný, záření dopadlo na nejbližší část prstence, rozzářilo ji a poté dopadalo na vzdálenější části prstence tak, že to vypadalo, jako kdyby záření obíhalo okolo prstence. To vše vlivem konečné rychlosti šíření záření (viz obr. 6). Všimněte si, že celý prstenec svítí současně, na Zemi jsme však viděli, jako kdyby byla rozzářena nejbližší část prstence.

Vzhledem k tomu, že plyn pokračoval v záření a jen pomalu pohasínal, jakmile záření z výbuchu prošlo prstencem, celkové záření dosáhlo maxima v okamžiku, kdy byl osvětlený celý obvod prstence. Tato skutečnost může být použita pro výpočet vzdálenosti supernovy.

Otázky v následujících úkolech mají nastínit kroky, které je třeba učinit pro výpočet vzdálenosti supernovy pomocí úhlové velikosti prstence a světelné křivky, která ukazuje závislost zářivého výkonu prstence na čase, který uplynul od výbuchu.

### Obrázek 6: Záření prstence

Tato simulace ukazuje, jak záření z výbuchu dopadá na prstenec a rozzáří jej.

Prstenec dosáhl maxima jasnosti po 400 dnech po výbuchu. Mějte na mysli, že ačkoliv dopadlo záření do všech částí prstence ve stejnou dobu, my vnímáme, že záření dopadá nejdříve do nejbližší části prstence (díky konečné rychlosti světla).

Pomocí měření zpoždění dopadajícího záření je možné určit vzdálenost SN 1987A.

Obrázky jsou převzaty ze stránek STScI/NASA.





# Cvičení

## Cvičení 1

Prvním úkolem je vypočítat úhlový průměr prstence, tj. zdánlivý průměr prstence v úhlových vteřinách, tak jak je pozorovatelný ze Země. Tento úhel označme  $\alpha$ .

Relativní polohy hvězd 1, 2 a 3 SN 1987A na obrázku 8 na straně 8 jsou dány jako vzájemné úhlové vzdálenosti v tabulce níže.

? Pokuste se přímým měření na obr. 8 určit měřítko tohoto snímku (v úhlových vteřinách/mm).

## Cvičení 2

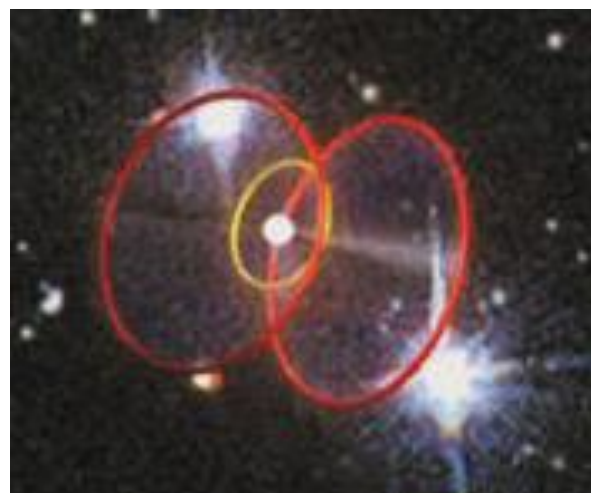
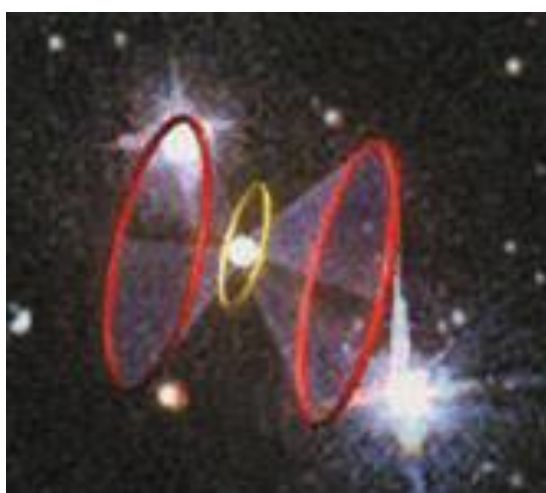
Předpokládáme, že prstenec okolo SN 1987A je ve skutečnosti kruhový – skutečnost, že se zdá

eliptický je dána tím, že rovina prstence je skloněná ke směru spojnice Země a supernovy.

? Úhlový průměr prstence můžete měřit bez znalosti tohoto náklonu. Někteří lidé říkají, že toto tvrzení je zřejmé, zatímco jiní se budou zdráhat uvěřit. Vysvětlete, proč je toto tvrzení pravdivé. Pokud je třeba, podívejte se na obrázek 9.

? Na základě znalosti konverzního parametru, který jste určili v prvním cvičení a informací z matematických nástrojů, určete průměr prstence v milimetrech a vyjádřete jej v úhlových vteřinách.

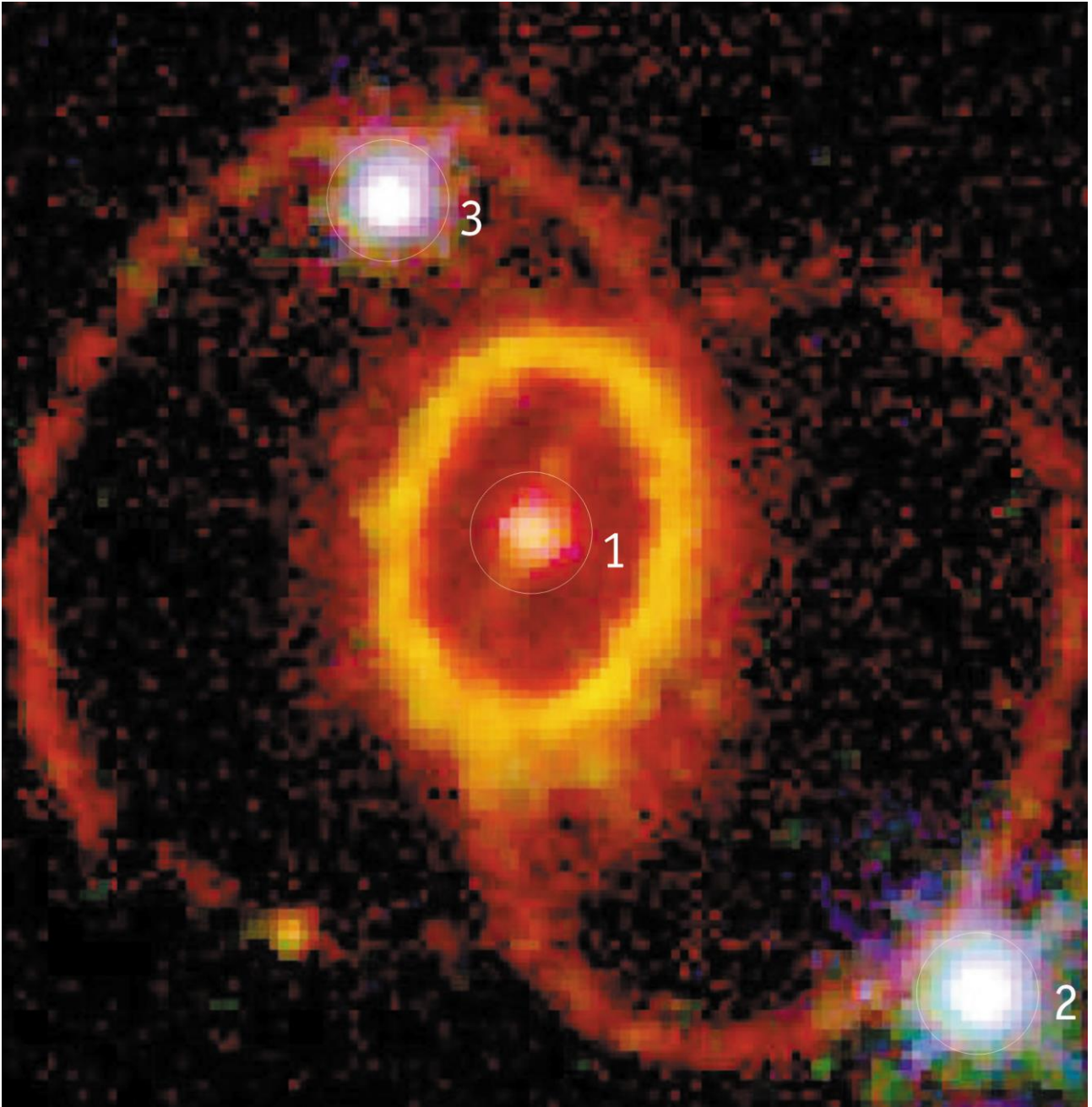
	Vzdálenost (mm)	Vzdálenost (úhlové vteřiny)	Měřítko (úhlové vteřiny/mm)
Relativní vzdálenost hvězdy 2 od hvězdy 1		3,0	
Relativní vzdálenost hvězdy 3 od hvězdy 1		1,4	
Relativní vzdálenost hvězdy 3 od hvězdy 2		4,3	



**Obrázek 7: Prstence**

Pokud se podíváme na SN 1987A z odlišného úhlu, uvidíme tři kruhové prstence se supernovou uvnitř menšího z nich a se dvěma většími v rovnoběžných rovinách (obrázek vlevo). Zatímco pohled Hubbleova vesmírného teleskopu vypadá, jako kdyby tyto prstence ležely ve stejné rovině (obrázek vpravo).

## Cvičení



**Obrázek 8: Hvězdy okolo supernovy 1987A**

Tento snímek byl pořízený v únoru 1994 pomocí Wide Field and Planetary Camera 2 (WFPC2). WFPC2 pořídila většinu ohromujících snímků Hubbleova vesmírného teleskopu v průběhu let. Její rozlišení a vynikající kvalita byly důvody, proč to byl nejpoužívanější nástroj během prvních 10-ti let Hubbleova vesmírného teleskopu. Filtr použitý na kameře propouští nejvíce červené světlo vyzařované zářícím vodíkem – Balmerova emisní čára alfa.

## Cvičení

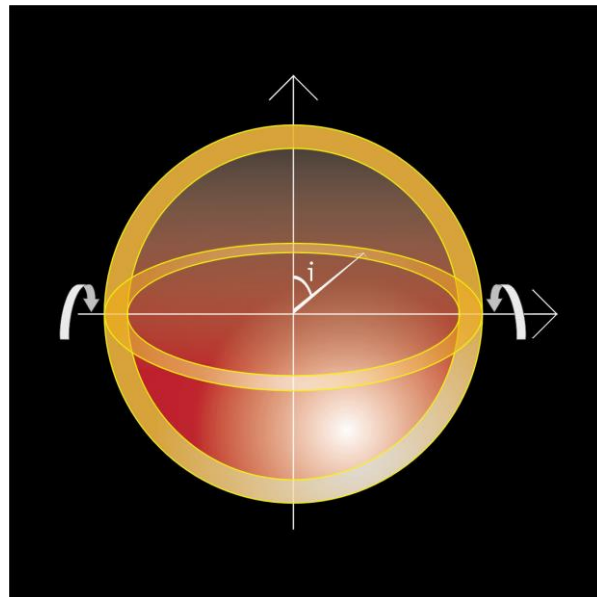
### Obrázek 9: Úhel sklonu

Úhel sklonu,  $i$ , popisuje sklon objektu, např. prstence, od roviny oblohy.

### Cvičení 3

Pokud je úhel sklonu  $i = 0^\circ$  nebo  $i = 180^\circ$ , vidíme kružnici. Pokud je  $i = 90^\circ$ , vidíme úsečku. Pro všechny ostatní úhly vidíme elipsu.

? Jak můžeme určit úhel sklonu ze znalosti hlavní a vedlejší poloosy elipsy? Při určení této závislosti mohou pomoci obrázky 9 a 10.



### Obrázek 10: Určení úhlu sklonu $i$

Představte si, že se díváte na systém objektů, který je skloněn pod úhlem  $i$  k rovině oblohy, která odpovídá směru pohledu pozorovatele. Úhel sklonu je možné určit z jednoduchého vztahu mezi velikostí hlavní a vedlejší poloosy elipsy. Na obrázku jsou vyznačeny nejbližší bod A a nejvzdálenější bod B prstence.

? Určete největší a nejmenší úhlový průměr elipsy a vypočítejte úhel sklonu  $i$ .

### Cvičení 4

Již jsme určili úhlový průměr prstence a úhel jeho sklonu. Pro určení vzdálenosti však potřebujeme určit skutečný průměr prstence v rovině oblohy. Klíčem k určení skutečného průměru je naše znalost rychlosti šíření světla.

Když supernova exploduje, vydá velmi jasný záblesk světla. Později, v určité době,  $t$  sekund po výbuchu, záření dorazí k prstenci a ten začne zářit. Protože předpokládáme, že prstenec je kruhový a supernova se nachází ve středu tohoto kruhu, dorazí záření do všech částí prstence ve stejnou dobu.

Zvažte, jak se bude tato situace jevit při pohledu ze Země. Ačkoliv všechny části prstence budou zasaženy zářením ve stejnou dobu, nevidíme, že by se prstenec celý ve stejnou dobu rozzářil.

## Cvičení

To je dáno sklonem prstence. Část prstence, která je neblíže Zemi se z našeho pohledu „rozsvítí“ nejdříve, protože světlo z tohoto místa k nám dorazí nejdříve. Pouze tehdy, když se celý prstenec rozsvítí při pohledu ze Země, dosáhne světelná křivka svého maxima.

Rozdíl vzdáleností mezi nejbližším a nejvzdálenějším bodem prstence je možné určit z času, který uplynul mezi těmito událostmi na světelné křivce.

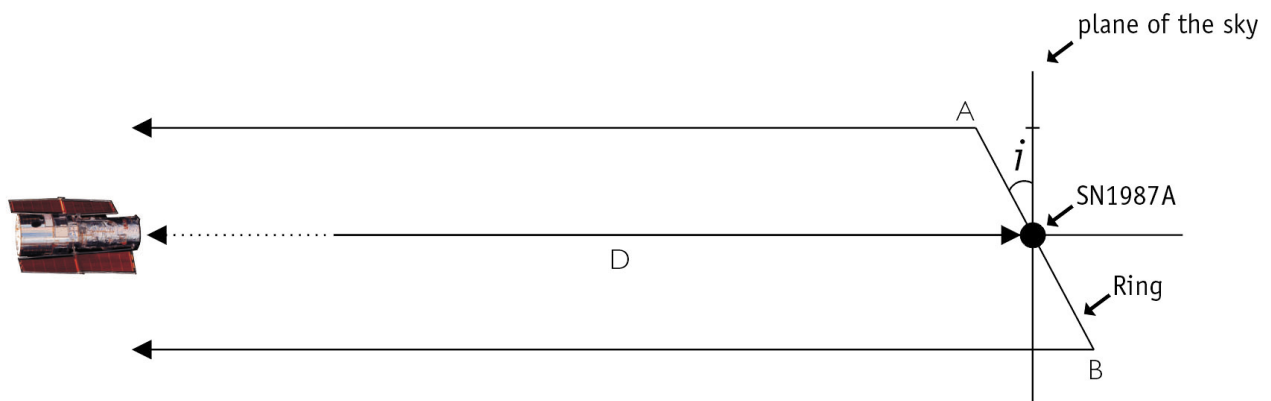
Takže čas potřebný od okamžiku, kdy se rozsvítí nejbližší část prstence (počátek světelné křivky) a doby maxima světelné křivky, úzce souvisí se vzdáleností mezi nejbližším a nejvzdálenějším bodem prstence. Světelná křivka pro prstenec SN 1987A je na obrázku 12.

? Určete čas potřebný k „rozsvícení“ prstence supernovy 1987A.

? Pokud bude úhel sklonu  $90^\circ$ , bude velmi jednoduché určit závislost mezi časem a průměrem prstence – proč?

### Cvičení 5

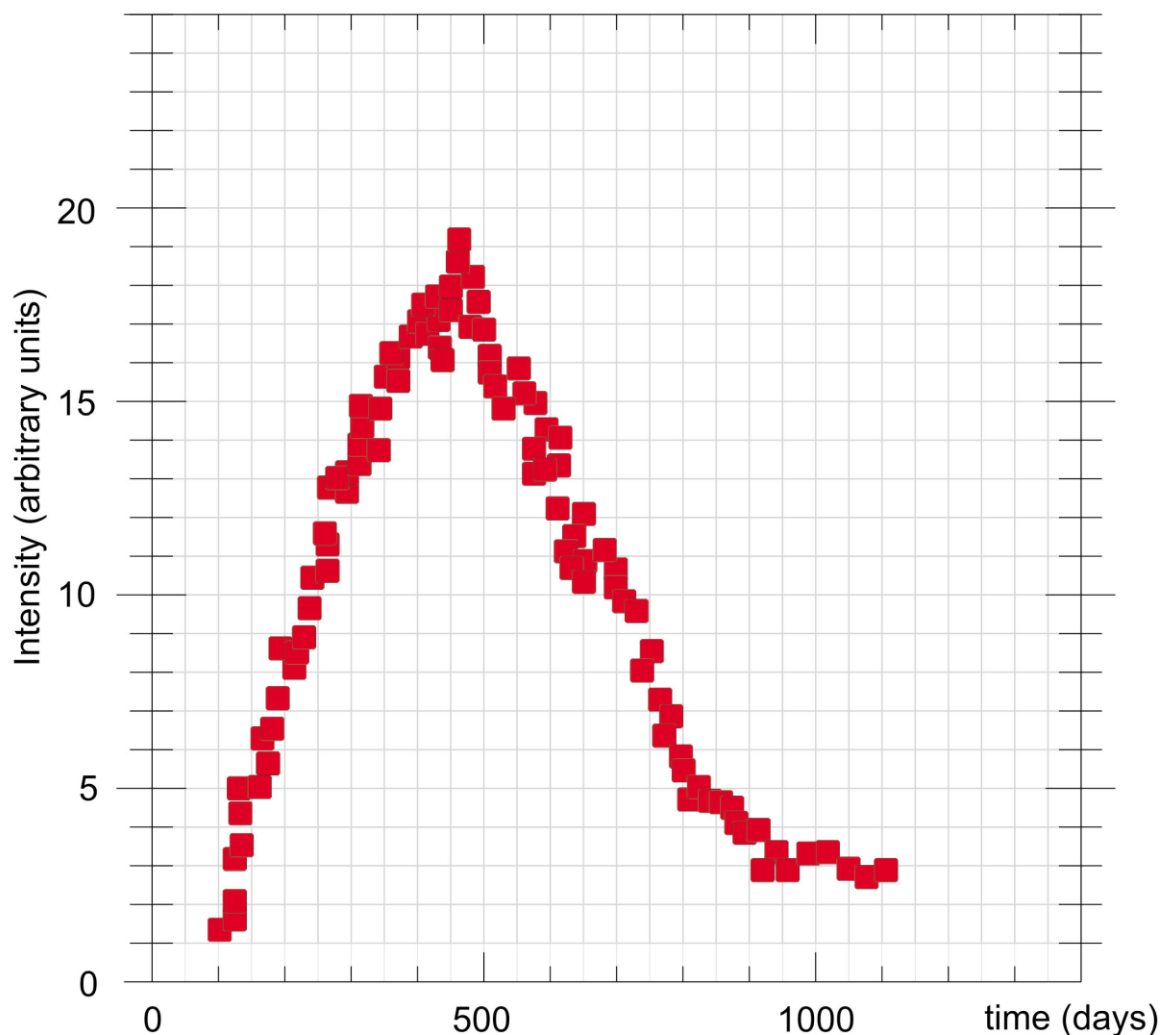
Pro výpočet musíme učinit ještě jedno zjednodušení.



**Obrázek 11: Dráha pohybu světelného paprsku**

Záření ze supernovy zasáhlo celý prstenec ve stejný čas. Tedy, nejbližší část A, a nejvzdálenější část B, začaly zářit ve stejnou dobu a vyzařovaly směrem k Zemi. Vzhledem ke sklonu roviny ke směru k Zemi putovalo záření z bodu B nejdelší dobu.

## Cvičení



**Obrázek 12: Světelná křivka prstence**

Tento graf ukazuje celkové množství záření, které vyzařoval prstenec v průběhu několika měsíců od okamžiku výbuchu supernovy. Celkový zářivý výkon prstence začal růst v okamžiku, kdy na Zemi začalo dopadat záření z nejbližší části prstence. V okamžiku, kdy při pohledu ze Země září celý prstenec, křivka dosahuje svého maxima. Tato měření byla prováděna International Ultraviolet Explorer – další vesmírné observatoře.

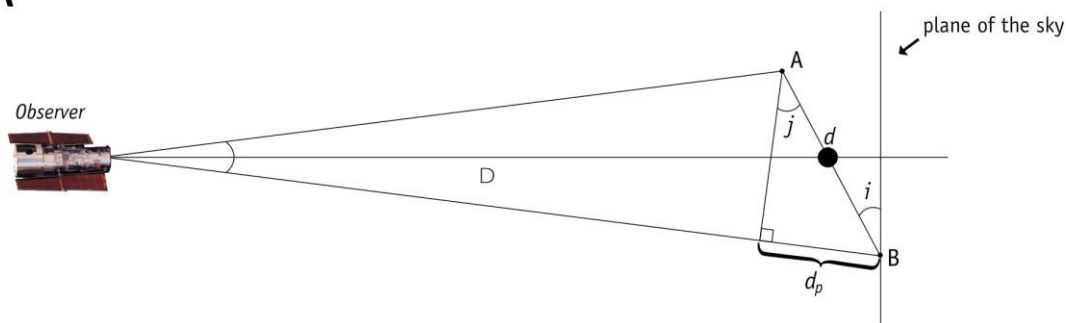
Budeme předpokládat, že přímky spojující Zemi s body A a B, tedy nejbližší a nejvzdálenější částí prstence, jsou rovnoběžné. To je platný předpoklad, protože úhlový průměr prstence  $a$  je velmi malý ve srovnání se vzdáleností  $D$ . Proto jsou si úhly  $i$  a  $j$  rovny.

? Podívejte se na diagram (obrázek 13) a použijte jej pro určení závislosti mezi:

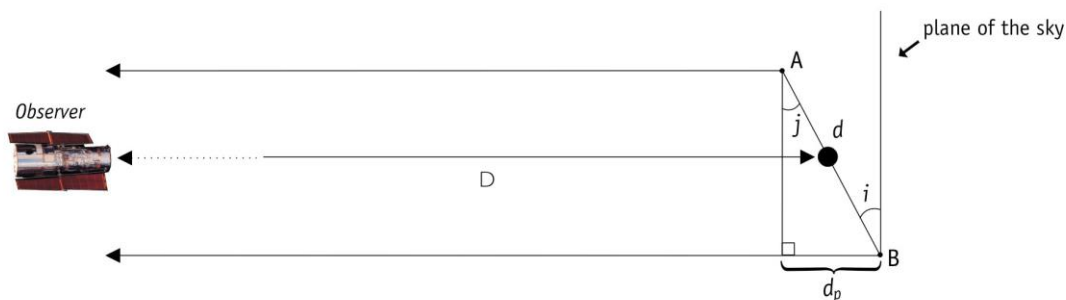
1. Rozdíl vzdáleností, které musí urazit záření z nejbližšího bodu A a z nejvzdálenějšího bodu B. Tento rozdíl označme  $d_p$ .
2. Skutečný průměr prstence  $d$ .
3. Úhel sklonu  $i$  (vypočítaný ve cvičení 3).

# Cvičení

A



B



## Obrázek 13: Určení skutečného průměru

S pomocí tohoto diagramu a veličin určených v předchozích cvičeních je možné určit skutečný průměr prstence  $d$ . Diagram A ukazuje skutečný stav. Vzhledem ke vzdálenosti LMC je možné předpokládat, že spojnice Země a bodů A a B jsou rovnoběžné. Tento předpoklad je ilustrován obrázkem B.

- ? Nyní najděte závislost mezi vzdáleností  $d_p$ , rychlostí světla  $c$  a časem  $t$ .
- ? Zkombinujte tyto dva vztahy a najděte vztah pro určení skutečného průměru prstence  $d$ .
- ? Dosadte do tohoto vztahu dříve vypočítané nebo naměřené hodnoty a určete skutečný průměr prstence  $d$ .

### Cvičení 6

Nyní je vše připraveno pro velké finále.

Použijte hodnoty  $d$  a úhlu  $\alpha$  (určeného ve cvičení 2) a vypočítejte vzdálenost supernovy  $D$  (použijte zjednodušení pro malé úhly). Vzdálenost udejte v kiloparsecích použitím konverzního faktoru.

Nyní je čas pro kontrolu odpovědí...

Vzdálenost supernovy byla vypočítána v Panagia a kol. (1991) z originálních dat. Určená vzdálenost byla  $D = 51,2 \pm 3,1$  kpc a úhel sklonu  $i = 42,8^\circ \pm 2,6^\circ$ .

Pokud se vaše hodnota vzdálenosti liší o méně než 20%, potom bylo vaše měření a výpočty přesné a můžete být na svou práci hrdí.

? Z jakého důvodu se vaše výsledky liší od výsledku vědců?

Toto cvičení nekladlo otázky ohledně dvou vnějších prstenců.

? Dovedli byste odhadnout jejich původ?

# Literatura

## Odborné časopisy

- 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.*

Další články najdete zde:

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

# Poznámky pro učitele

## Rychlý přehled

Byla představena geometrie vnitřního prstence supernovy 1987A (SN 1987A). Následně jsme definovali měřítko snímku supernovy z Hubbleova vesmírného teleskopu a díky tomu mohli určit úhlový průměr prstence a jeho sklon k rovině, ve které leží spojnice Země a supernovy. Pozorování ze Země ukazují, jak záření z výbuchu supernovy dosáhlo různých částí prstence. Pomocí měření intenzity světla a znalosti rychlosti světla mohly být nalezeny skutečné rozměry prstence. V okamžiku, kdy byl nalezen úhlový a skutečný průměr prstence, bylo možné určit vzdálenost samotné supernovy.

Tyto poznámky obsahují řešení uvedených problémů společně s komentáři a diskuzí použitých aproximací a zjednodušení. Vše je vytvořeno s ohledem na maximalizaci použitelnosti těchto cvičení a také jako pomůcka pro učitele pro tvorbu plánu hodiny.

### Cvičení 1

Ukázkové ruční měření, provedené pomocí pravítka a tištěné verze obrázku o rozměrech 149 mm x 152 mm (velikost tištěné verze obrázku závisí na parametrech tiskárny).

	Vzdálenost (mm)	Vzdálenost (úhlové vteřiny)	Měřítko (úhlové vteřiny/mm)	Průměrné měřítko (úhlové vteřiny/mm)
Relativní vzdálenost hvězdy 2 od hvězdy 1	89 mm	3,0	0,03371	0,03111
Relativní vzdálenost hvězdy 3 od hvězdy 1	50 mm	1,4	0,02800	
Relativní vzdálenost hvězdy 3 od hvězdy 2	136 mm	4,3	0,03162	

### Cvičení 2

Úhlový průměr prstence byl určen pomocí měření největšího viditelného rozměru elipsy. Projekce kruhu vždy ukáže stejný průměr nezávisle na sklonění prstence.

Naměřený zdánlivý průměr prstence: 51 mm.

Převod na radiány:

$$a = 51 \text{ mm} \times 0.03111 \text{ úhlových vteřin/mm} \times 4.848 \times 10^{-6} \text{ rad/úhlovou vteřinu} = 7.6917 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

### Cvičení 3

Někteří lidé mají problémy s prostorovým vnímáním, pokud se dívají na dvourozměrný diagram – tedy na diagram, který simuluje pohled (například izometrické projekce) pomocí zobrazení v řezu. Dejte na toto téma pozor a v případě potřeby dostatečně tyto diagramy vysvětlete. Zjednodušení, které uvažuje rovnoběžnost světelných paprsků jdoucích ze dvou různých míst z velké vzdálenosti, je studentům dostatečně známé (často se používá pro světelné záření přicházející od Slunce).

Každá elipsa může být vnímána jako kružnice, skloněná od roviny kolmé na směr pohledu o úhel sklonu  $i$ . Hlavní poloosa této elipsy odpovídá průměru kružnice a její vedlejší poloosa je dána vztahem  $\cos(i)$  krát hlavní poloosa.

Z toho plyne:

$$\cos i = \text{vedlejší poloosa} / \text{hlavní poloosa} = 37 \text{ mm} / 51 \text{ mm}$$

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



# Poznámky pro učitele

## Cvičení 4

Pomocí grafu můžete určit časovou vzdálenost mezi prvním zjasněním prstence a maximální hodnotou tohoto zjasnění. Z grafu odečteme údaj  $t = 399$  dní. Je to náhoda, že je to téměř rok.

Kdyby byl úhel sklonu  $90^\circ$ , viděli bychom prsteneček jako úsečku. V tomto případě rozdíl mezi okamžikem, kdy vidíme zářít nejbližší část prstence a mezi okamžikem, kdy vidíme zářít nejdálší část, je průměr prstence dělený rychlostí světla.

## Cvičení 5

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

$$d_p = c \cdot t$$

$$d = d_p/(\sin i) = (c \cdot t)/(\sin i) = (2.997 \cdot 10^8 \cdot 399 \cdot 24 \cdot 3600)/(\sin(43.49^\circ)) = \mathbf{1.5012 \cdot 10^{16} \text{ m}}$$

## Cvičení 6

$$D = d/a = (1.5012 \cdot 10^{16})/(7.6917 \cdot 10^{-6}) = 1.9517 \cdot 10^{21} = \mathbf{63.2 \text{ kpc}}$$

Vzdálenost určená v Panagia a kol. použitím původních dat (použitím mnohem složitějších metod) je  $D = 51.2 \pm 3.1$  kpc. (Hodnota odpovídá přiměřené chybě měření.)

## Zdroje možných chyb

Je možné požádat studenty, aby provedli znovu výpočty pro nejmenší a největší naměřené hodnoty. Zde jsou možné trendy:

Příliš velký úhlový průměr  $a \Rightarrow$  příliš malý průměr  $D$  (čím blíže něco je, tím větší to vypadá)

Příliš velký skutečný průměr  $\Rightarrow$  příliš malý průměr  $D$

Příliš velký konverzní faktor  $\Rightarrow$  příliš malý průměr  $D$

Příliš malé  $t \Rightarrow$  příliš malý průměr  $D$

Příliš velké  $i \Rightarrow$  příliš malý průměr  $D$

Pro studenty je dobrým cvičením si tyto trendy sami pro sebe určit.

## Původ dvou vnějších prstenců

Otázka původu vnějších prstenců je dobrým příkladem jednoduché vědecké otázky, na kterou není žádná jasná odpověď (takovéto otázky se v astronomii vyskytují velmi často). Vědecká komunita se na jejich původu neshoduje. Jasně však je, že hmota prstenců byla vyloučena z hvězdy více než 20 tisíc let před tím, než vybuchla jako supernova. Je dosud záhadou, proč jsou tak přesně geometricky zformované. Je totiž známé, že rudý obr normálně odhazuje své vnější obálky ve všech směrech stejně.



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

