

Úloha: Měření vzdálenosti supernovy SN 1987A

Jméno: Tomáš Plšek, 461281

Datum odevzdání: 23.3.2017 . . .

1. Nejprve spočítáme úhlový průměr vnitřního prstence, tedy takový, jak jej pozorujeme ze Země. Využijeme k tomu hvězdy 1, 2, 3 v obrázku 6. V tabulce jsou udány jejich vzdálenosti v úhlových vteřinách. Změřte vzdálenost hvězd na snímku. Zapište do tabulky a spočítejte odpovídající měřítko snímku.

Tabulka 8: Měřítko snímku na obrázku 6.

	Vzdálenost [mm]	Vzdálenost ["]	Měřítko ["/mm]
Hvězdy 2 ke hvězdě 1	65	3.0	0,0462
Hvězdy 3 ke hvězdě 1	37	1.4	0,0378
Hvězdy 3 ke hvězdě 2	101	4.3	0,0426

Průměr = 0,0422 "/mm

2. Úhel mezi rovinou prstence a rovinou kolmou na zorný paprsek ze Země se nazývá inklinace nebo inklinací úhel i . Pokud by inklinace byla nulová nebo rovna 180° , pak bychom viděli prstenec kruhový. Kdyby byla rovna 90° , pozorovali bychom místo prstence jen úsečku. Pro všechny ostatní hodnoty z intervalu $(0^\circ, 180^\circ)$ má pro nás prstenec tvar elipsy. Změření velké a malé osy vnitřního prstence nám pomůže určit nejen průměr prstence, ale také velikost inklinace v případě prstence u SN 1987A.

Na obrázku 6 změřte velikost malé a velké osy vnitřního jasného prstence. Měření vztáhněte ke středu jasného pásu vnitřního prstence, vypočtete průměry a příslušné chyby. Vše zapište do tabulky 9.

Tabulka 9: Velikost prstence.

Měření	Velká osa [mm]	Malá osa [mm]
1	40	28
2	37	30
3	38	29
4	38	28
5	39	29
průměr	38,4	28,8
chyba	0,6	0,5

S pomocí obrázku 7 spočtete inklinaci včetně její chyby. Inklinace prstence SN 1987A je $(41,4 \pm 0,8)^\circ$ ($p = 0,6827$, $n = 4$)

3. Abychom určili vzdálenost supernovy SN 1987A potřebujeme znát skutečný průměr d prstence v rovině kolmé na zorný paprsek. Výbuch supernovy vyvolá silný záblesk, který se do okolí šíří rychlostí světla. V určitém čase t sekund po výbuchu supernovy, záblesk osvětlí prstenec. Když předpokládáme, že je prstenec přesně kruhový

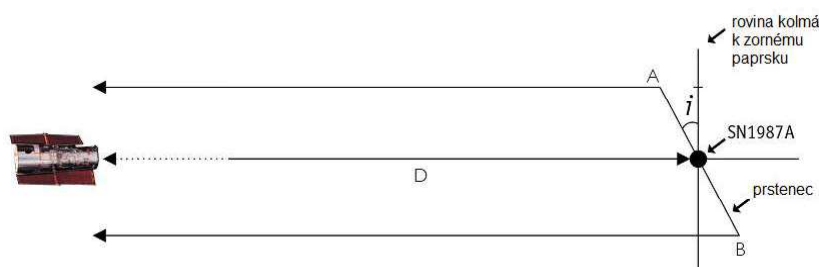


Obr. 7: Určení inklinančního úhlu. Představte si, že se na soustavu díváme ze strany, takže vidíme prstenec pod inklinančním úhlem i vzhledem k rovině kolmé na zorný paprsek. Inklinanční úhel můžeme určit z jednoduchého vztahu mezi velkou a malou osou pozorované elipsy. Vyznačeny jsou nejbližší část prstence A a nejvzdálenější část B.

a jeho střed souhlasí se středem supernovy, pak by měly být všechny části prstence při pohledu ze supernovy osvětleny současně. Jenže, při pohledu ze Země, při inklinaci $i \neq 0^\circ$, resp 180° se nejdříve zjasní k Zemi nejbližší část prstence, protože trajektorie světla z této části prstence je k Zemi nejkratší. Ale teprve až je vidět ze Země celý prstenec osvětlený, dosáhne světelná křivka prstence svého maxima. Rozdíl mezi nejbližšími a nejvzdálenějšími body prstence může být určen z prodlevy mezi těmito jevy na světelné křivce. Určete z obrázku 10 dobu mezi prvním záznamem osvětlení prstence a okamžikem maxima světelné křivky, kdy záblesk ze supernovy dospěl k nejvzdálenějším částem prstence.

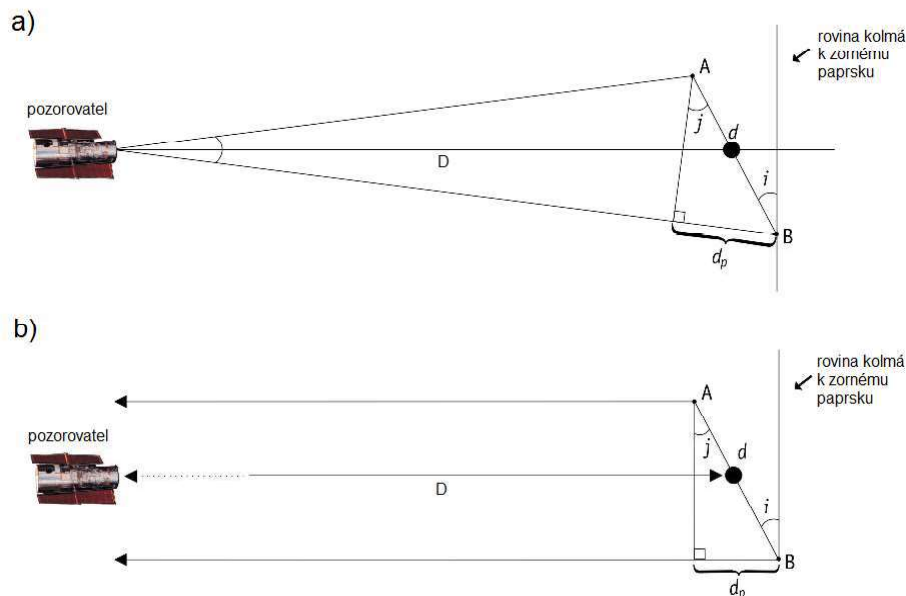
Zjištěná doba $t = .375 \text{ dní}$ a jí odpovídající vzdálenost $d_p = . . . 1.03 \text{ ly}$. . . Kdybychom měli inklinaci 90° , bylo by určení skutečného průměru prstence vzhledem ke zjištěné době t snadné. Proč? Vysvětlete.

Takový objekt by zjasňoval od středu do obou krajů. Stačilo by tedy určit čas od prvního rozžehnutí do zapálení okrajů disku (z našeho pohledu úsečky). Pak tedy: $d = \Delta t * c$.



Obr. 8: Záblesk ze supernovy SN 1987A zasáhne celý prstenec ve stejnou dobu. Také nejbližší část A a nejvzdálenější B byly ozářeny ve stejnou dobu a simultánně vyslaly záření dále k Zemi. Světlo vyzářené částí B má ale kvůli sklonu prstence delší trajektorii k Zemi.

- Bohužel v našem případě je inklinace $i \neq 90^\circ$, takže situace není tak jednoduchá. Musíme provést jisté zjednodušení, jak je naznačeno na obrázcích 9. Rozměry prstence jsou vzhledem k uvažované vzdálenosti malé, a proto můžeme zanedbat úhel mezi zornými paprsky k bodu A a bodu B a považovat je za rovnoběžné. Úhly i a j jsou pak shodné a výpočet hodnoty skutečného průměru prstence je už triviální záležitostí.



Obr. 9: S pomocí obrázku a dříve zjištěných hodnot je možné určit skutečný rozměr prstence d . Obrázek a) ukazuje skutečnou situaci, ale vzhledem k velké vzdálenosti LMC od Země lze provést zjednodušující předpoklad, že paprsky mířící k Zemi k části prstence A i B jsou rovnoběžné, jak je zobrazeno na spodním obrázku b).

Určete skutečný průměr prstence v radiánech včetně chyby určení. Vnitřní prstenec má průměr . . . $(7,9 \pm 0,5) \cdot 10^{-6} \text{ rad}$. ($p = 0,6827$, $n = 3$)

Skutečný průměr prstence $d = 1,55 \text{ ly}$. . .

5. Diskutujte, jak se nepřesnost v určení časového zpoždění projeví na přesnosti určení skutečného průměru prstence.

Jako hrubý odhad nejistoty při určení rozdílu času jsem bral polovinu nejmenšího dílku časové osy v obr. 10 (25 dní). Pak tedy bude mít na výsledný průměr následující vliv:

$$d = d_p / \sin(i) = c \cdot \Delta t / \sin(i) \Rightarrow U(d(U(\Delta t))) = U(\Delta t) \cdot c / \sin(i) = (25 / 365,25) / \sin(i) \text{ ly} = 0,104 \text{ ly}$$

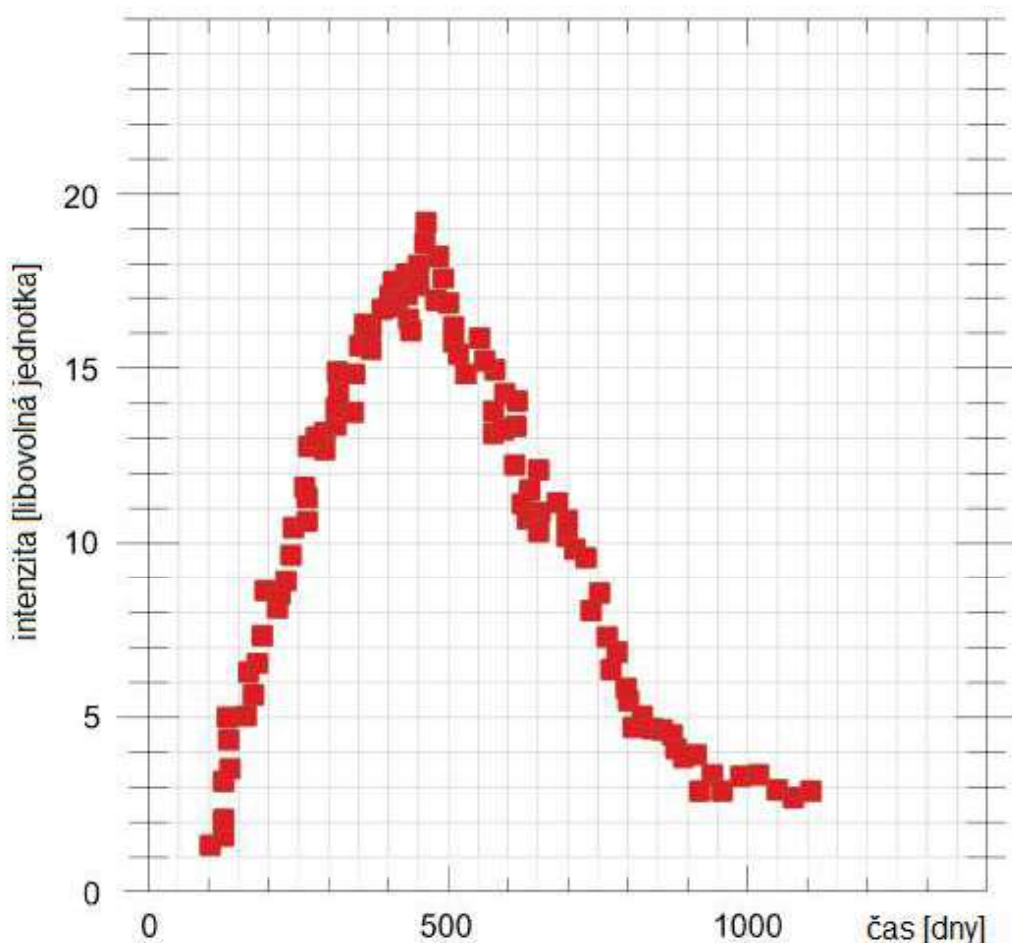
Výsledný průměr bude ležet v intervalu $1,6 \pm 0,1 \text{ ly}$.

6. Nyní už známe, jak pozorovaný úhlový průměr prstence, tak jeho skutečný rozměr, takže určení vzdálenosti je opravdu snadnou úlohou.

$$\text{Vzdálenost supernovy SN 1987A } 1,87 \cdot 10^{18} \text{ km} = 197,352 \text{ ly} = 60,500 \text{ pc}.$$

7. V předchozím úkolu jste diskutovali vliv přesnosti určení času t na hodnotu skutečného průměru prstence. Doplňte nyní diskusi úvahou, v jakém rozmezí jste stanovili vzdálenost supernovy (v závislosti na chybách veličin potřebných pro její určení).

Na serveru http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html jsou k dispozici astronomické články publikované v odborných časopisech. Pokuste se nalézt originální práci, v níž Panagia a kol. (1991) publikovali mimo jiné vzdálenost supernovy SN 1987A. Srovnajte jejich výsledek s vaším a diskutujte možné příčiny případných odchylek.



Obr. 10: Světelná křivka prstence ukazuje měření celkové jasnosti prstence měsíce po explozi supernovy. Jasnost začala růst, když světlo ze supernovy dosáhlo k prstenci. Maximum křivky odpovídá situaci, kdy je při pohledu Země „rozsvícený“ celý prstenec. Měření pocházejí z družice International Ultraviolet Explorer (IUE).

V žádném případě vámi určené hodnoty neupravujte! Pro uklidnění, pokud se vaše výsledky neliší od publikovaných více jak o 20 % pracovali jste dobře.

$$7) r(r) = [r^2(\Delta t) + r^2(i) + r^2(\varphi)]^{1/2} = 9,42 \% \\ u(r) = \pm 5701 \text{ pc}$$

Absolutní nejistota při výpočtu vzdálenosti je $\pm 5700 \text{ pc}$.

Výsledná vzdálenost tedy nejspíše leží (se spolehlivostí $p = 0,6827$, $n = 3$) v interval $60,5 \pm 6,5 \text{ kpc}$.

$$d(1987A) = 51,2 \pm 3,1 \text{ kpc} [1]$$

Rozdíl mezi výsledkem mým a výsledkem Panagia a kol. [1] je zhruba 18 %. Pracoval jsem tedy dobře. Na výslednou chybu měla značný vliv nepřesnost při určení úhlového průměru a také odečet časového rozdílu z grafu.

Zdroje:

[1] ... <http://adsabs.harvard.edu/abs/1991ApJ...380L..23P>