

ZBIRKA VAJ ESA-ESO



Vaja 1

Meritev oddaljenosti supernove SN 1987A na osnovi opazovanj vesoljskega teleskopa Hubble



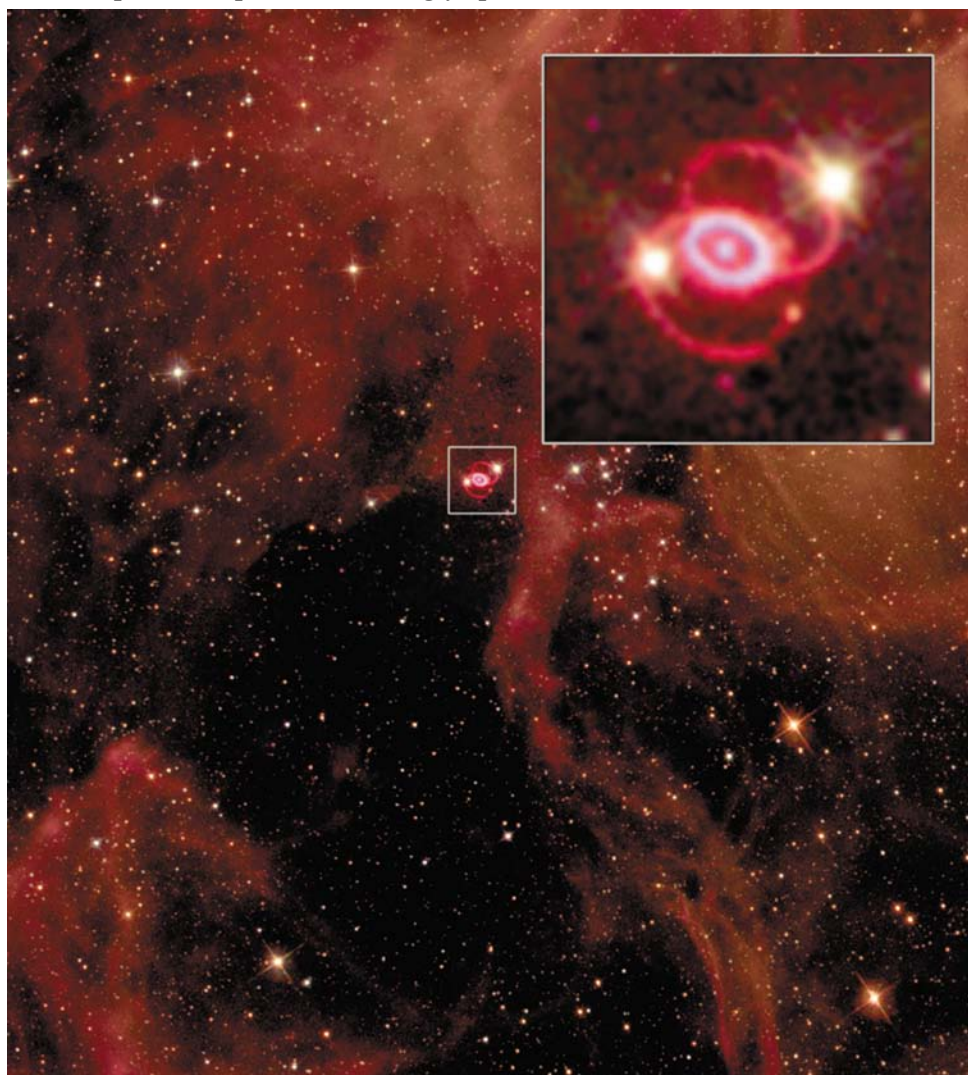
UVOD

SN 1987A je oznaka znamenite supernove. Prvi del imena se nanaša na vrsto vesoljskega pojava – supernovo, temu sledi leto odkritja (1987), A pa označuje, da je bila to prvo odkrita supernova tistega leta.

Supernove

Supernova je eksplozija, ki zaznamuje smrt določenega tipa zvezd. Poznamo dve osnovni vrsti supernov, toda tu se bomo ukvarjali le s tako imenovanimi supernovami tipa II, ki zaznamujejo smrt masivnih zvezd. SN 1987A je bila eksplozija take masivne zvezde. Zvezda velike mase (tipično več kot pet Sončevih mas) živi vsega nekaj milijonih, nato pa se pod lastno težo sesede, pri tem sproščeno energijo pa

vidimo kot eksplozijo supernove. Med eksplozijo se večina snovi zvezde razleti v okoliški prostor. Ta snov lahko doseže hitrost 10^7 m/s (3 % hitrosti svetlobe). Razširjajoča se lupina ostankov zvezde ostane vidna v medzvezdnem prostoru še tisoče let, dokler se ne porazgubi. Teji vidni ostalini eksplozije pravimo ostanek supernove. V središču ostanka se nahaja osrednji del nekdanje zvezde, ki se je sesedel v nevtronsko zvezdo. Vse supernove so zelo svetle. Njihov izsev je primerljiv z energijo, ki jo odda več milijard Soncu podobnih zvezd, in sodijo med najsvetlejšje pojave v vesolju. Prav zaradi tega jih je mogoče videti na velikih razdaljah. Supernov je sorazmerno malo, zato nebo ne žari neprestano od svetlobe umrlih zvezd. Po ocenah naj bi v posamezni galaksiji eksplodiralo le nekaj supernov na stoletje.



Slika 1
23. februarja 1987 se je v Velikem Magellanovem oblaku (VMO) pojavila supernova, ki je bila vidna s prostim očesom. VMO je ena od najbližjih satelitskih galaksij naše Galaksije. To je bil med najbolj vznemirljivimi dogodki sodobne astronomije. SN 1987A je bila prva s prostim očesom vidna supernova po 400 letih. SN 1987A je za seboj pustila ostanek (na sliki označen z okvirčkom in povečan v zgornjem desnem kotu), ki ga sestavljajo trije svetleči plinasti prstani. V vaji je za določanje oddaljenosti supernove in s tem tudi VMO izbran manjši osrednji prstan.

Oddaljenost Velikega Magellanovega oblaka

Določanje oddaljenosti vesoljskih teles je ena od temeljnih nalog astronomije. Natančno meritev oddaljenosti SN 1987A lahko uporabimo za določitev razdalje do VMO.

Ker je VMO zelo daleč v primerjavi z razdaljami med zvezdami v njem, lahko privzamemo, da so zvezde v VMO približno enako oddaljene od nas. Če torej določimo oddaljenost SN 1987A, s tem določimo tudi oddaljenost drugih zvezd v VMO. To pa lahko izkoristimo tudi kot odskočno desko za določanje oddaljenosti bolj oddaljenih galaksij. To naredimo tako, da v galaksijah poiščemo zvezde določenega tipa in njihov navidezni sij primerjamo z navideznim sijem istovrstnih zvezd v VMO. Ko poznamo oddaljenost VMO, iz te primerjave neposredno izračunamo oddaljenost drugih galaksij.

Prstan

Vesoljski teleskop Hubble je prve posnetke SN 1987A naredil z Esino kamero FOC (Faint Object Camera) 1278 dni po eksploziji supernove. Teleskop Hubble so v orbito okoli Zemlje izstrelili leta 1990, potem pa je trajalo še nekaj časa, da so ga popravili, zato posnetkov ni bilo mogoče narediti prej. Na posnetkih SN 1987A so vidne tri krožne meglice – notranji prstan in dva zunanja prstana, ki se pnejo okoli mesta eksplozije. V vaji bomo uporabili le notranji prstan. Prstan je preveč oddaljen od supernove, da bi bil iz snovi, ki je v okoliški prostor poletela ob eksploziji. Gotovo je nastal pred tem dogodkom in ga je verjetno oblikovala snov umirajoče zvezde, ki jo je v zadnjih nekaj tisočletjih življenja zvezde ta odpihnila v okolico. Ni povsem znano, kako se je snov zbrala v tako ostro zarisan in tanek prstan, toda potem ko ga je dosegla ultravijolična svetloba eksplozije supernove SN 1987A, je začel svetiti.

Pomembno je, da je prstan nastal pred eksplozijo supernove. Predpostavili

bomo, da ima prstan popolno okroglo obliko, a je nagnjen glede na zveznico med opazovalcem na Zemlji in supernovo ter ga zato vidimo kot elipso. Če bi bil prstan viden od zgoraj, bi ga videli kot krožnico. Svetloba bi v tem primeru iz različnih delov prstana do nas prišla sočasno. Ker pa prstan vidimo pod kotom, je bilo najprej videti, kot bi zažareli deli, ki so nam bližje, z zakasnitvijo pa bolj oddaljeni deli. To je posledica končne hitrosti svetlobe (glej sliko 2).

Plinasti prstan je zasvetil, ko ga je dosegla svetloba supernove, nato pa je njegov sij postopoma slabel. Sij je bil največji, ko je zasvetil ves prstan. Prav to pa je mogoče izkoristiti za izračun oddaljenosti SN 1987A.

Slika 2

Prstan zasveti
Zaporedje ilustracij prikazuje, kako je prstan snovi zasvetil, ko ga je dosegla svetloba SN 1987A. Prstan je največji sij dosegel 400 dni po eksploziji supernove. Čeprav je svetloba dosegla vse dele prstana sočasno, so navidezno najprej zasvetili tisti deli, ki so nam najbližje. To je zato, ker je svetloba z bolj oddaljenih delov prstana prepotovala daljšo pot do nas. Z merjenjem te zakasnitve je mogoče določiti oddaljenost SN 1987A. Ilustracije so iz računalniške simulacije, ki so jo naredili pri STScI/NASA.



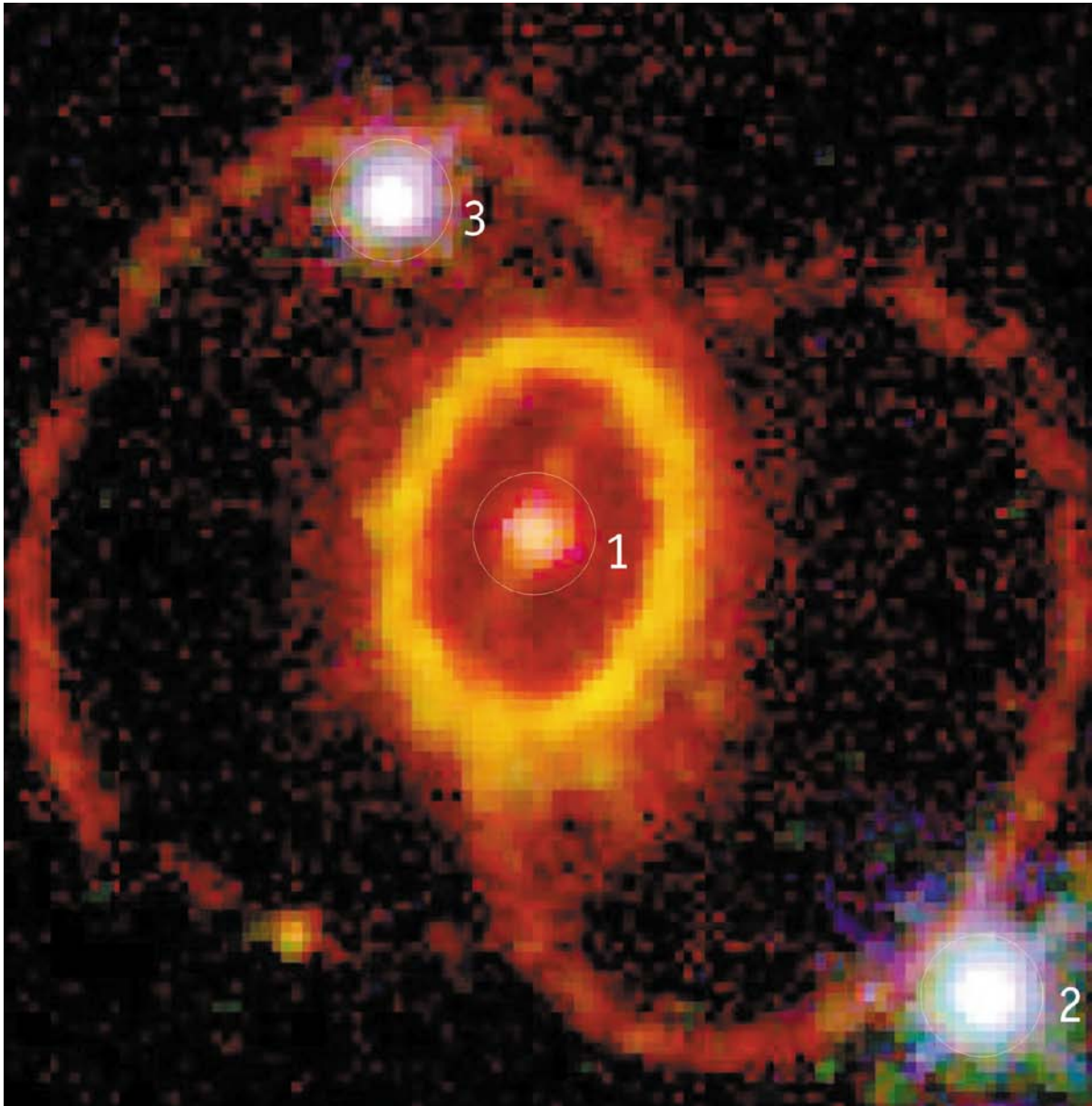
NALOGE

1. naloga

Najprej moramo izračunati kotni premer prstana, torej njegov navidezni premer v kotnih sekundah α kot ga vidimo z Zemlje.

Navidezne razdalje med referenčnimi zvezdami 1, 2 in 3 na sliki 3 so v preglednici podane v kotnih sekundah.

razdalja med	oddaljenost (mm)	oddaljenost (")	merilo ("/mm)
zvezdo 1 in 2			
zvezdo 1 in 3			
zvezdo 2 in 3			



Na sliki 3 izmeri razdalje med referenčnimi zvezdami v milimetrih in jih zapiši v prvi stolpec preglednice. Za vsako določi še merilo na sliki (kotne sekunde/mm).

Slika 3
Posnetek je nastal februarja 1994 s kamero WFPC2 (Wide Field and Planetary Camera 2). Uporabljen je bil filter H-alfa, ki prepušča rdečo svetlobo vodikove emisijske spektralne črte.

2. naloga

Predpostavimo, da je prstan okoli SN 1987A popolnoma okrogel. Videti je eliptičen, ker ga vidimo pod kotom oz. s strani.

Kotni premer prstana na sliki 3 lahko izmerimo, ne da bi poznali njegov naklon. Za nekatere je to povsem logično, drugi pa boste morali razmisliti, zakaj je tako. V vsakem primeru na kratko razložite, zakaj zgornja trditev drži. Pomagajte si s sliko 4.

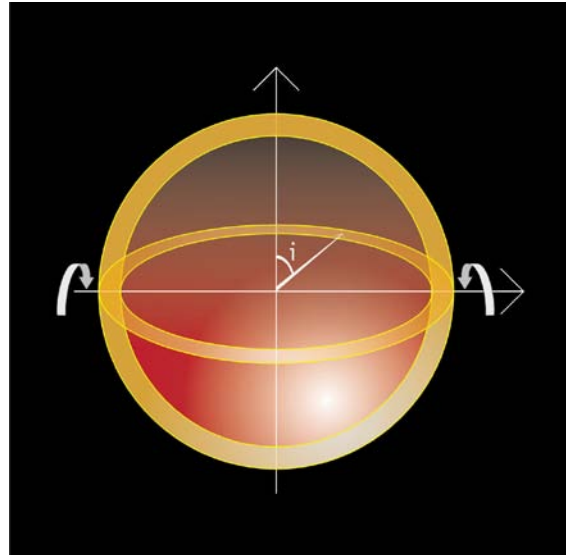
Na sliki 3 izmeri premer prstana v milimetrih in s podatki za referenčne zvezde meritev pretvori v kotne sekunde.

Izmeri največji in najmanjši kotni premer elipse in izračunaj naklonski kot i .

3. naloga

Naklonski kot prstana označimo z i . Če je $i=0^\circ$ ali 180° , potem prstan vidimo kot krog. Če je $i=90^\circ$, potem ga vidimo kot črto. Za i med 0° in 180° obroč vidimo kot elipso.

Kako bi določili i z meritvami velikosti male in velike osi elipse? V pomoč sta sliki 4 in 5.



Slika 4

Naklonski kot i označuje kot med navidezno ravnino neba in ravnino, v kateri leži prstan.



Slika 5

Zamisli si, da prstan opazuješ s strani in ga zaradi tega vidiš pod kotom i glede na namišljeno ravnino neba. Namišljena ravnina neba je pravokotna na smer gledanja. Naklonski kot i je mogoče določiti kar z razmerjem med malo in veliko osjo elipse. A označuje najbližjo točko, B pa najbolj oddaljeno prstana.

4. naloga

Potem, ko izračunamo kotni premer prstana in njegov naklon, moramo izračunati še njegov dejanski premer na ravnini neba d , da lahko nato ocenimo njegovo oddaljenost.

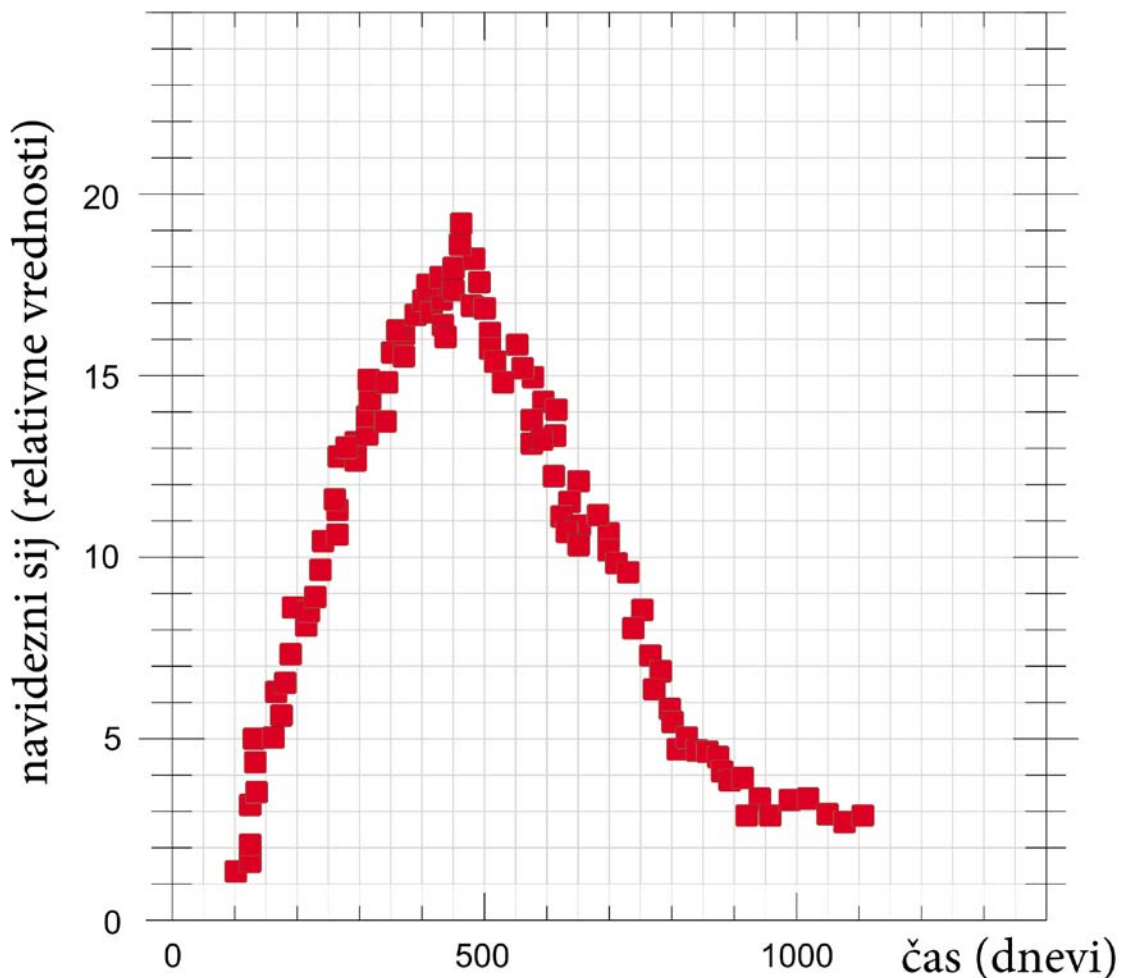
Dejanski premer prstana dobimo s pomočjo hitrosti svetlobe. Ko supernova eksplodira, odda zelo svetel blisk svetlobe, ki se v okoliški prostor širi s svetlobno hitrostjo c . Svetloba osvetli prstan v času t po eksploziji. Ker smo predpostavili, da je prstan krožen in njegovo središče sovpada s supernovo, bo svetloba vse dele prstana dosegla sočasno.

Razmislimo, kako je to videti z Zemlje. Čeprav so vsi deli prstana osvetljeni sočasno, je z Zemlje videti, da eni deli zasvetijo prej kot drugi. To je posledica dejstva, da je prstan nagnjen in svetloba

z nam bližjih delov prstana prepotuje krajšo pot do nas. Če merimo sij prstana, bo ta dosegel višek šele tedaj, ko bo do nas prišla svetloba z vseh delov prstana. Razliko oddaljenosti najbližjega A in najbolj oddaljenega dela prstana B dobimo iz časovnega intervala med trenutkoma zaznave prve svetlobe in trenutkom maksimuma sija. To svetlobno krivuljo prstana prikazuje slika 6.

Na svetlobni krivulji izmeri časovni interval t med prvo svetlobo, ki je prišla do nas s prstana SN 1987A, in maksimumom sija.

Če bi bil naklonski kot prstana $i=90^\circ$, bi bilo ta čas zelo enostavno povezati s premerom prstana. Zakaj?

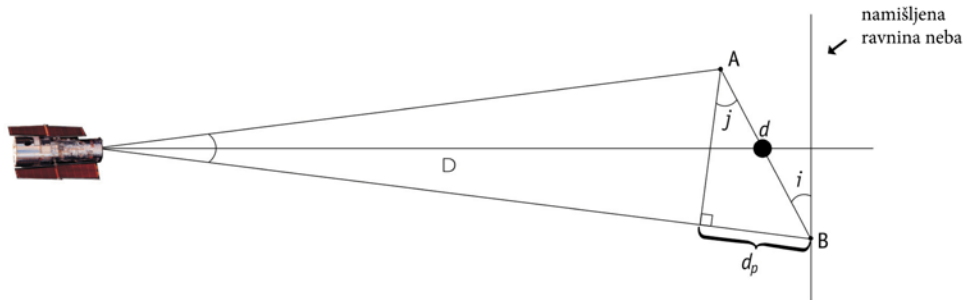


Slika 6

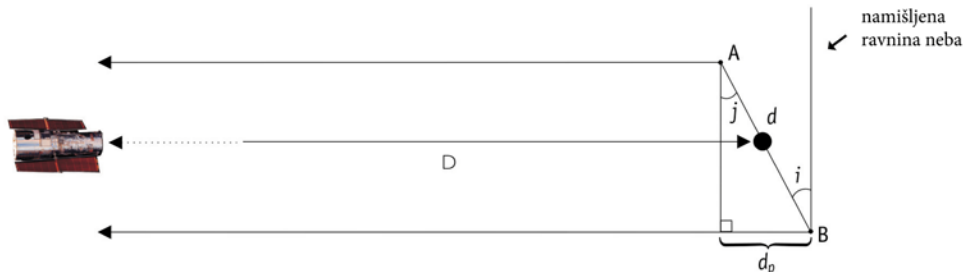
5. naloga

Da bi lahko izvedli naslednji račun, moramo narediti še eno poenostavitev (glej sliki 7a in 7b). Privzeli bomo, da sta premici, ki gresta skozi Zemljo in točki A ter B vzporedni. To lahko naredimo, saj je premer prstana zelo majhen v primerjavi z njegovo oddaljenostjo od Zemlje. Sledi, da sta kota i in j enaka.

a



b



Slika 7

S pomočjo slik 7 poišči:

- razliko poti svetlobe d_p med točkama A in B;

- dejanski premer d prstana.

Nato najdi zvezo med razliko poti svetlobe d_p , hitrostjo svetlobe c in intervalom zakasnitve osvetljenosti prstana t , kakor jo vidimo z Zemlje. Iz te zveze in prej izmerjenih oz. izračunanih podatkov izračunaj še dejanski premer prstana d .

6. naloga

Sedaj si pripravljen za veliki finale!

Iz izračunanih vrednosti za premer prstana d in kot i (2. naloga) izračunaj oddaljenost supernove D. Vrednost D izrazi v kiloparsekih (kpc) in svetlobnih letih.

1 parsek (pc) je razdalja, na kateri bi bila polos Zemljinega tira (1 astronomska enota) vidna pot kotom 1 kotne sekunde.

REZULTATI

Astronomi so iz originalnih podatkov za oddaljenost supernove SN 1987A dobili vrednost

$$D = 51,2 \pm 3,1 \text{ kpc}$$

in za naklonski kot prstana

$$i = 42,8^\circ \pm 2,6^\circ$$

Če tvoja rezultata ne odstopata za več kot 20 % od teh vrednosti, si zelo dobro izvedel nalogo.