

# **PRESEK**

**List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje**

ISSN 0351-6652

Letnik 7 (1979/1980)

Številka 2

Strani 66-72

Andrej Čadež:

## **PRVI POSKUSI DOLOČANJA RAZDALJ V VESOLJU**

Ključne besede: astronomija, razdalje.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/7/428-Cadez.pdf>

© 1979 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



# ASTRONOMIJA

## PRVI POSKUSI DOLOČANJA RAZDALJ V VESOLJU

Kako daleč je do zvezd? To vprašanje so si ljudje zastavljali že zelo dolgo. Največji astronomi svoje dobe so vedno znova dokazovali, kako daleč lahko seže človekov um. V več kot dvatisočletni zgodovini merjenja vesoljskih razdalj se je meja zaznavnega vesolja širila od površja Zemlje do Sonca, nato od bližnjih do oddaljenih zvezd in nazadnje do milijarde svetlobnih let oddaljenih svetov. Vsaka nova meritev je predstavljala svojevrsten dosežek znanosti. Nekaj prvih dosežkov bi si radi ogledali v tem sestavku.

Grki so že zelo zgodaj začeli razmišljati o zgradbi sveta in o odnosih med Soncem, Luno in planeti. Že okrog tristo let pred našim štetjem so imeli za današnje čase zelo napredne predstave o zgradbi sončnega sistema. Pitagorejci so verjeli, da se Zemlja giblje po vesolju - verjetno po krogu, Heraklit je mislil, da se vsaj nekateri planeti gibljejo okrog Sonca, Tales pa si je predstavljal, da je Luna svetla, ker odbija sončno svetlobo. Vse te napredne ideje so omogočile Aristarhu, enemu največjih antičnih astronomov, da se je lotil določanja razdalje do Sonca. To je naredil v dveh korakih. Najprej je sklepal takole: ker Sonce osvetljuje Luno, je oblika luninega krajca odvisna od medsebojnih leg Zemlje, Sonca in Lune. V trenutku, ko je Luna natanko razpolovljena, oblikujeta zveznici Luna - Zemlja in Luna - Sonce pravi kot (sl. 1). Z meritvijo je določil še kot med zveznicama Zemlja - Luna in Zemlja - Sonce ( $\alpha$ ). Tako je poznal vse kote trikotnika Sonce-Zemlja-Luna in je lah

ko izračunal razmerja med stranicami trikotnika. Dobil je razdaljo do Sonca v enotah razdalje do Lune.

S pomočjo treh nadaljnjih meritev pa je uspel izračunati še razdaljo do Lune ter polmera Lune in Sonca v enotah zemeljskega polmera. Sledimo Aristarhovim sklepom s pomočjo sodobnega računstva, ki je seveda mnogo preprostejše, kot je bilo tristo let pred našim štetjem!

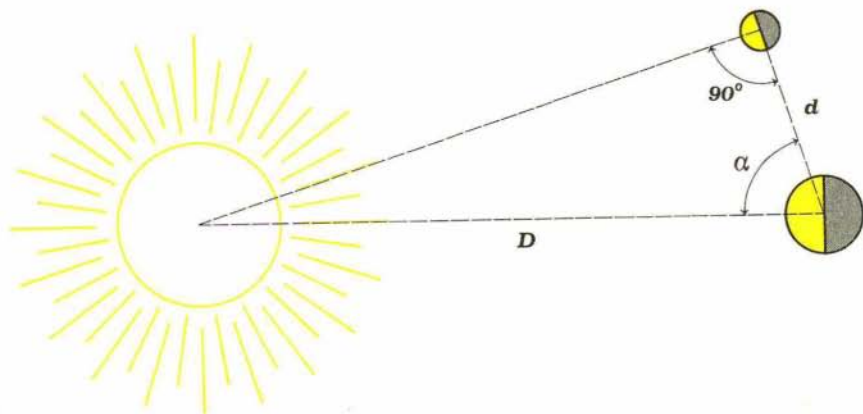
Najprej je Aristarh izmeril navidezni premer Sonca ( $\delta$ ), to je kot (kar v ločnih enotah), pod katerim vidimo sončni premer na Zemlji:

$$2R_s = D\delta \quad (1)$$

$R_s$  je polmer Sonca,  $D$  pa oddaljenost od Zemlje, ki je po Aristarhovem mnenju stalna. Njegovo naslednje opažanje je bilo, da je trajanje popolnega sončnega mrka zelo kratko, kar pomeni, da sta navidezni velikosti Sonca in Lune skoraj enaki. Tudi to enakost si zapišimo v matematični obliki za kasnejšo rabo:

$$R_s/R_L = D/d \quad (2)$$

Tretje Aristarhovo opažovanje pa je bilo ob centralnem luninem mrku (pri takem mrku gre Luna skozi središče Zemljine sence).



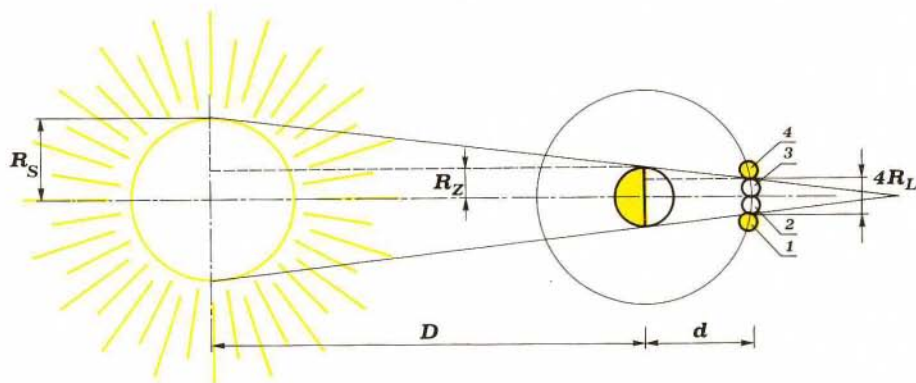
Sl. 1: Lege Sonca, Zemlje in Lune, ko vidimo Luno razpolovljeno

Meril je čas od vstopa Lune v Zemljino senco do popolne pomračitve in čas trajanja popolne pomračitve. Ugotovil je, da trajata obe fazi mrka enako dolgo. Slika 2 kaže faze luninega mrka, kot si jih je predstavljal Aristarh in si jih predstavljamo še danes.

S slike je razvidno, da je premer Zemljine sence na lunini oddaljenosti enak dvakratnemu luninemu premeru, če je le res, da potuje Luna enakomerno po svoji krožnici okrog Zemlje, kar pa je Aristarh brez nadaljnjega privzel. (To tudi ni zelo daleč od resnice, saj se lunin tir ne razlikuje prav dosti od krožnice.) Ta rezultat da še naslednjo enakost, ki sledi iz podobnosti s črtkami naznačenih pravokotnih trikotnikov na sl. 2:

$$(R_S - R_Z)/D = (R_Z - 2R_L)/d \quad (3)$$

Iz treh enačb (1), (2) in (3) danes ni težko izračunati obljubljenih razmerij  $R_L/R_Z$ ,  $R_S/R_Z$  in  $d/R_Z$ . Rezultate, do katerih je prišel Aristarh že pred kakimi 2200 leti, lahko napišemo v naslednji obliki:



Sl. 2: Lege Lune, Zemlje in Sonca ob luninem mrku;  
 1 - trenutek vstopa v Zemljino senco, 2 - začetek popolne pomračitve,  
 3 - konec popolne pomračitve, 4 - izstop iz Zemljine sence

$$\begin{aligned}
 R_L/R_Z &= (1 + d/D)/3 \\
 R_S/R_Z &= (D/3d)(1 + d/D) \\
 d/R_Z &= (2/3\delta)(1 + d/D)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Aristarhovo sklepanje je bilo sicer pravilno, njegove meritve pa so bile obremenjene s precejšnjo napako. Kot med Soncem in Luno v trenutku, ko je osvetljena natanko polovica Lune, je ocenil na  $87^\circ$ , pravilna vrednost pa je  $89^\circ 51'$ . Zato je dobil za razmerje med razdaljama Zemlja-Sonca in Zemlja-Luna ( $D/d$ ) vrednost 20, kar je skoraj dvajsetkrat premalo. Tudi vrednosti navideznega sončnega oziroma luninega premera ( $\delta$ ) ni dobro ocenil. Vendar so bili njegovi rezultati in podatki dovolj dobri, da je nedvomno ugotovil, da je polmer Sonca vsaj sedemkrat večji od zemljinega, Luna pa je po velikosti trikrat manjša od Zemlje. Na osnovi teh rezultatov je Aristarh izdelal heliocentrični sistem. Smatral je, da mora manjša Zemlja krožiti okrog veliko večjega Sonca, manjša Luna pa okrog večje Zemlje. Tako je bil Aristarh prvi, ki je ustvaril sliko o svetu na osnovi opazovanj in znanstvenega sklepanja.

Aristarh je imel malo naslednikov svojega kova. Šele 120 let mlajši Hiparh je uspel izboljšati natančnost merjenja kotov in je tako dobil precej boljšo vrednost za razdaljo do Sonca. Žal pa ni razumel Aristarhove ideje o Soncu kot središču, okrog katerega krožijo planeti, ampak je izdelal za filozofe prijaznejšo teorijo, po kateri je Zemlja središče sveta. Hiparhova teorija je bila zračunske plati boljša od Aristarhove, ker je napovedala nekatere astronomske pojave. Tako je tehnična premoč mlajšega Hiparha pokopala heliocentrično teorijo za skoraj 18 stoletij.

V teh osemnajstih stoletjih, ki vključujejo temačna obdobja srednjega veka, je globina pogleda v vesolje kvečjemu padala. Cerkevne dogme so bile težke sponse, ki so prikovala človekov um, da je stoletja in stoletja nemočno cepetal na mestu. V renesansi se je človeštvo otresalo dogem in s Kopernikom (1473 - 1543) je v astronomiji zavel svež duh. Z Galilejevo uporabo teleskopa v astronomske namene pa je napočil čas za natančnejše

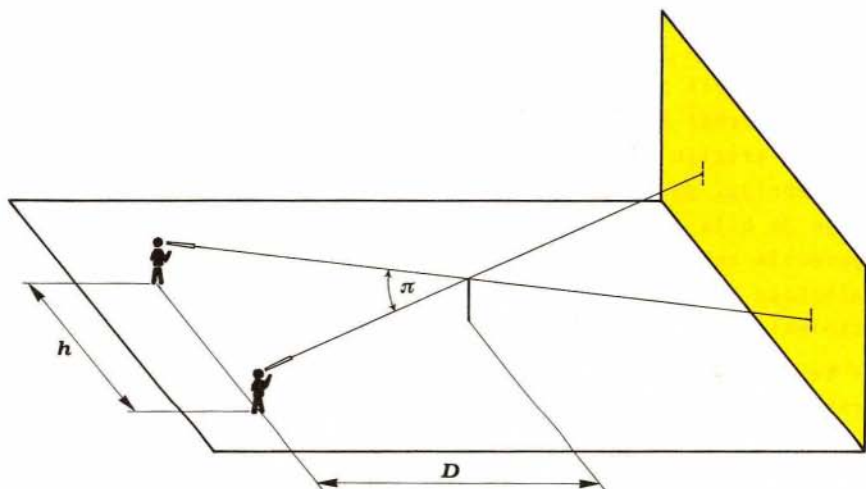
meritve.

Šele v 17. stoletju je bila merska tehnika dovolj dobra, da so mogli s pridom uporabiti metodo paralakse za merjenje vesoljskih razdalj. (To metodo je poznal verjetno že Aristarh, skoraj zagotovo pa Hiparh, ki je po izročilu napisal o tem celo knjigo.)

Metoda paralakse temelji na tem, da se bližnji predmet navidezno premakne glede na oddaljeno ozadje, če spremenimo lego opazovališča (sl. 3).

Kot med smerema opazovanja v prvem in drugem opazovališču imenujemo paralakso ( $\pi$ ). S sl. 3 je razvidno, da je paralaksa tem večja, čim manjša je oddaljenost do opazovanega predmeta in čim večja je oddaljenost med opazovališčema.

To metodo sta uporabila astronomi Richer in Cassini za merjenje oddaljenosti planeta Marsa l. 1672, ko je bil najbliže Zemlji. Richer je opazoval Mars iz Cayenne - glavnega mesta francoske Gvajane, Cassini pa iz Pariza. Njuni navidezni legi Mar-



Sl. 3: Metoda paralakse;  $h$  - razdalja med opazovališčema,  $D$  - oddaljenost predmeta,  $\pi$  - paralaksa

sa sta se razlikovali za petnajst ločnih sekund. Iz znane razdalje med Cayennom in Parizom (razdalja po ravni črti je skoraj natanko enaka polmeru Zemlje) sta določila najmanjšo oddaljenost Marsa.

S tem sta še potrdila dosežke Keplerja in Newtona, ki sta pokazala, v kakšnih razmerjih so si obhodni časi planetov in velike osi njihovih eliptičnih tirov okrog Sonca ("tretji Keplerjev zakon"). Tako je bilo mogoče iz Richerovega in Cassinijevega podatka izračunati oddaljenosti vseh planetov od Sonca. Za Zemljino oddaljenost od Sonca so dobili tako prvi zanesljivi podatek 140 milijonov kilometrov, kar je le 7% manj od prave vrednosti, vendar veliko več kot so bili pričakovali. Postalo je jasno, da bo določitev paralaks bolj oddaljenih planetov, kaj šele zvezd, mnogo zahtevnejša.

Razen paralakse planetov so astronomi želeli izmeriti tudi paralakso oziroma razdaljo do zvezd. Istočasna meritev iz dveh različnih krajev na Zemlji tu ne pride v poštev, ker je razdalja med opazovališčema premajhna v primeri z razdaljami do zvezd. Večji uspeh so si obetali od meritev na istem kraju, vendar v polletnih časovnih razmikih. V pol leta pride Zemlja namreč ravno v nasprotno stran ekliptike. Zato je razdalja med opazovališčema v takem primeru enaka premeru ekliptike, t.j. okrog 300 milijonov kilometrov, kar je mnogo več, kot razdalja med katerimakoli točkama na Zemlji.

Po skoraj tristoletnih naporih in izboljšavah merskih priprav se je l. 1838 končno posrečilo Besselu, da je kot prvi izmeril paralakso zvezde 61 Cygni v ozvezdju Laboda. Rezultat nam pove, zakaj so bili potrebni tolikšni napor. Paralaksa, ki jo je Bessel izmeril, je komaj 0,3 ločne sekunde, to pa je kot, pod katerim bi videli 1,5 cm visok predmet z razdalje 10 km (za Ljubljančane bi to pomenilo videti škatlico vžigalic na vrhu Krima). Besselu so zelo hitro sledili še drugi astronomi, tako da so v sto letih namerili že več kot šest tisoč paralaks. Človek je tako končno prestopil prag sončnega sistema in se začel razgledovati po zvezdah.

Razvoj fizike in njenih metod proti koncu prejšnjega stoletja je še močneje pospešil človekove korake v vesolje. Potem ko so astronomi poznali oddaljenosti nekaterih zvezd, so jih lahko v mislih približali na poljubno razdaljo in jih primerjali med seboj. Pri tem so odkrili vrsto zakonitosti, ki vladajo v življenju zvezd. Z mnogimi od teh zakonitosti si danes pomagajo, da določijo razdalje, ki so mnogokrat večje od tistih, ki jih še lahko določimo s paralakso.

---

*Andrej Čadež*

---