

**1. naloga**
**Črna luknja v središču Galaksije**

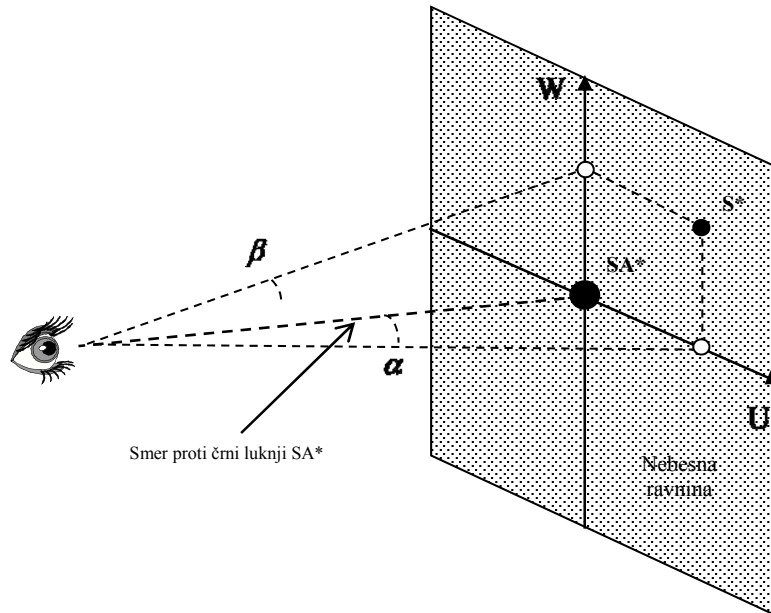
Astronomi so na podlagi opazovanj ugotovili, da je v središču Galaksije masivna črna luknja. Njeno prisotnost je mogoče ugotoviti na podlagi gibanja zvezd v jedru Galaksije. Črna luknja se nahaja v ozvezdju Strelec in jo označujemo s SA\*. Astronomi so izmerili položaje zvezde S\*, ki se giblje okoli nje.

V **preglednici 1** so sledeči podatki: datum opazovanja (datum v decimalnem zapisu), in kotni oddaljenosti zvezde od črne luknje  $\alpha$  in  $\beta$  v kotnih sekundah, v smereh, kot to prikazuje **slika 1** (koordinatni sistem z osema U W in izhodišču v SA\*).

Ena kotna sekunda ( $\varphi=1''$ ) je v tem sistemu enaka  $d=41$  svetlobnih dni oziroma:

$$S_0 = \frac{d}{\varphi} = 41 \frac{\text{svetlobni dan}}{\text{arcsec}}.$$

	Datum (leto)	$\alpha(\text{arcsec})$	$\beta(\text{arcsec})$
1	1995,222	0,117	- 0,166
2	1997,526	0,097	- 0,189
3	1998,326	0,087	- 0,192
4	1999,041	0,077	- 0,193
5	2000,414	0,052	- 0,183
6	2001,169	0,036	- 0,167
7	2002,831	- 0,000	- 0,120
8	2003,584	- 0,016	- 0,083
9	2004,165	- 0,026	- 0,041
10	2004,585	- 0,017	0,008
11	2004,655	- 0,004	0,014
12	2004,734	0,008	0,017
13	2004,839	0,021	0,012
14	2004,936	0,037	0,009
15	2005,503	0,072	- 0,024
16	2006,041	0,088	- 0,050
17	2007,060	0,108	- 0,091



Slika 1

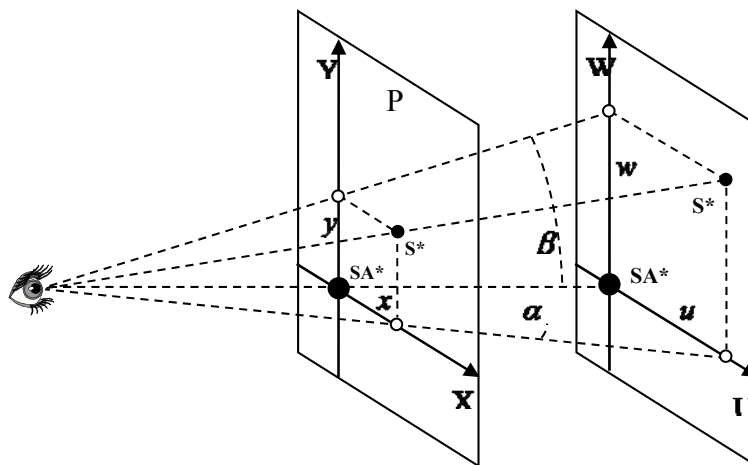
Z znanimi podatki reši naslednje naloge:

- a) V sendviču poravnaj milimetrski, indigo papir (neki papir, ki kopira stvari na drugo podlago) in prozorni papir. Podatke za lege zvezde  $S^*$  za izbrane datume iz preglednice 1 vnese v koordinatni sistem  $XY$  z izhodiščem v  $SA^*$ , pri čemer ena kotna sekunda ( $\varphi = 1''$ ) pomeni  $d_0 = 1200 \text{ mm}$  v koordinatnem sistemu oziroma:

$$S = \frac{d_0}{\varphi} = 1200 \frac{\text{mm}}{\text{arcsec}}.$$

Pomagaj si tudi s sliko 2.

- b) Z narisano in prekopirano orbito zvezde dokaži, da je ravnina orbite zvezde  $S^*$  okoli  $SA^*$  pravokotna na zveznico med opazovalcem in  $SA^*$ .



Slika 2

- c) Z narisano orbito zvezde  $S^*$  določi njene orbitalne elemente okoli črne luknje  $SA^*$  sledeče:
- I.  $a$  – veliko polos tira (v enotah svetlobnih dni);  $b$  – mala polos tira (v enotah svetlobnih dni);  $e$  – ekscentričnost.
  - II.  $r_{\min}$  – najmanjša razdalja med  $S^*$  in  $SA^*$  (v enotah svetlobnih dni);  $r_{\max}$  – največja razdalja med  $S^*$  in  $SA^*$  (v enotah svetlobnih dni).
  - III. Razdalja od opazovalca do  $S^*$ .
  - IV. Orbitalno periodo (čas enega obhoda) zvezde  $S^*$  okrog črne luknje  $SA^*$  (določi najboljšo mogočo vrednost z upoštevanjem čim večjega števila meritev in izračunom njihove aritmetične sredine).
  - V. Celotno maso sistema  $SA^* - S^*$ .

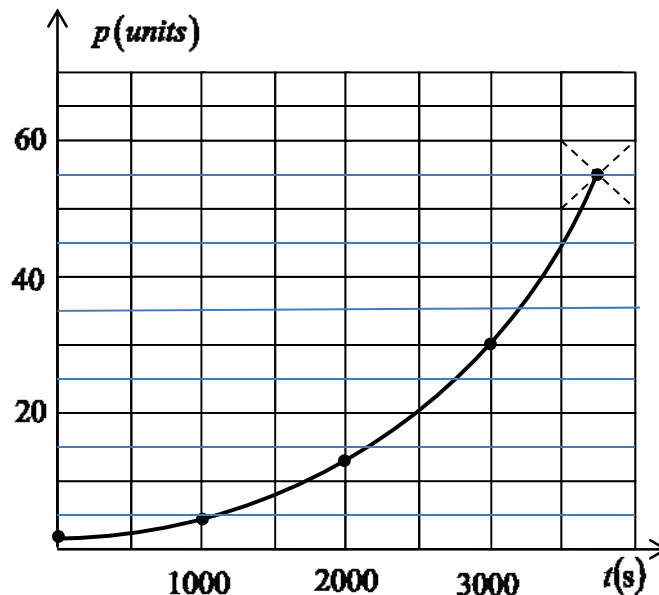
Svetujeva, da za natančno določitev rezultatov vmesne izračune in končne rezultate prestaviš preglednicah.

$$G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$$

## 2. naloga

### Termodinamični preizkus

Skupina znanstvenikov je poslala vesoljsko plovilo k dvema eksoplanetoma  $P_1$  in  $P_2$ , da bi z njim raziskala atmosferi eksoplanetov, ki sta 100 % iz  $\text{CO}_2$ . V njunih atmosferah ni gibanja atmosferskih mas in sta v termodinamičnem ravnovesju. Ko se vesoljsko plovilo približa posameznemu planetu, nanj spusti radijsko sondo v navpični smeri (smer proti središču planeta). Ko radijska sonda med padanjem doseže konstantno hitrost, začne pošiljati meritve tlaka v atmosferi eksoplaneta. Na sliki 3.1 je graf atmosferskega tlaka (v poljubnih enotah) kot funkcija časa padanja sonde na eksoplanet  $P_1$ . Ko se sonda dotakne površja eksoplaneta  $P_1$ , pošlje meritev površinske temperature  $T_0 = 700 \text{ K}$  in podatek za gravitacijski pospešek na površju  $g_0 = 10 \text{ ms}^{-2}$ .



Slika 3.1

težni pospešek na atmosfero konstanten.

*Računamo, kot da je poti spusta sonde skozi*

a) Določi višino  $h_0$  na kateri je radijska sonda  $R_1$  začela padati enakomerno oziroma začela oddajati radijski signal.

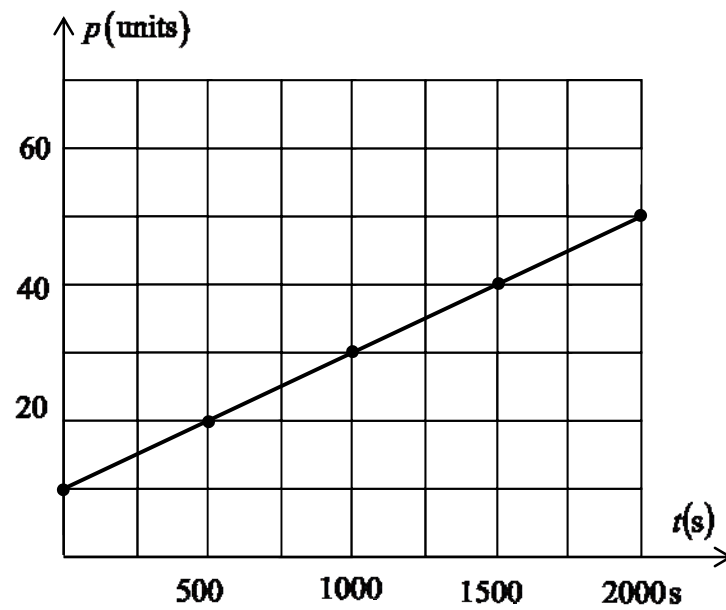
b) Določi temperaturo atmosfere eksoplaneta  $P_1$  na višini  $h = 39,6 \text{ km}$ . Uporabi podatke: splošna plinska konstanta  $R = 8,3 \text{ J/molK}$ , molska masa  $\text{CO}_2$   $\mu = 44 \text{ g/mol}$ .

c) Na sliki 3.2 je graf atmosferskega tlaka (v poljubnih enotah) kot funkcija časa spusta sonde na planet  $P_2$ . Radijska sonda vesoljskemu plovilu sporoči vrednost temperature na površju  $T_0 = 750 \text{ K}$  in vrednost gravitacijskega pospeška  $g_0 = 8 \text{ ms}^{-2}$  v trenutku pristanka na planetu  $P_2$ .

Nariši naslednje grafe odvisnosti tlaka  $p$  in temperature  $T$  v  $\text{CO}_2$  atmosferi eksoplaneta  $P_2$ :

$$p = f(h)$$

$$T = f(h)$$



Slika 3.2

### 3. naloga

#### Opazovalec na eksoplanetu

Zvezda Sirij v ozvezdju Veliki pes je najsvetlejša zvezda (za Soncem) za opazovalca na Zemlji. Opazovalec sicer s prostim očesom vidi le eno zvezdo, v resnici pa je Sirij dvozvezdje. Velik navidezni sij Sirija je posledica dveh dejstev: velikega izseva zvezde in njene bližine. Mizar v ozvezdju Velikega medveda sestavljajo 4 zvezde, ki so na našem nebu videti zelo blizu skupaj. Nekatero od teh zvezd so gravitacijsko vezane.

Predpostavimo, da se opazovalec A nahaja na eksoplanetu v zvezdnem sistemu Sirija.

*Določi:*

- Navidezno magnitudo Sonca  $m_{\text{Sun,Planet}}$ , kot bi jo izmeril opazovalec A.
- Navidezno magnitudo zvezdnega sistema Sirij  $m_{\text{SY,Planet}}$ , kot bi jo izmeril opazovalec A.
- Skupni izsev zvezdnega sistema Mizar  $L_{\text{Mizar}}$ .
- Povprečno razdalja med gravitacijsko vezanimi zvezdami sistema Mizar in Zemljo.
- Geocentrično kotno razdaljo med sistemoma Mizarja in Sirija  $\Delta\theta$ .
- Razdaljo v prostoru med gravitacijsko vezanim sistemom Mizarja in opazovalcem A  $d_{\text{Mizar,Planet}}$ .
- Skupno navidezno magnitudo zvezd Mizarjevega sistema, kot bi jo izmeril opazovalec A  $m_{\text{Mizar,Planet}}$ .

**Pri vseh izračunih in rezultatih upoštevaj mersko napako!**

Uporabi sledeče podatke:

$d_{\text{Sirius,Earth}} = 2.6 \text{ pc}$  - razdalja med Sirijem in Zemljo,

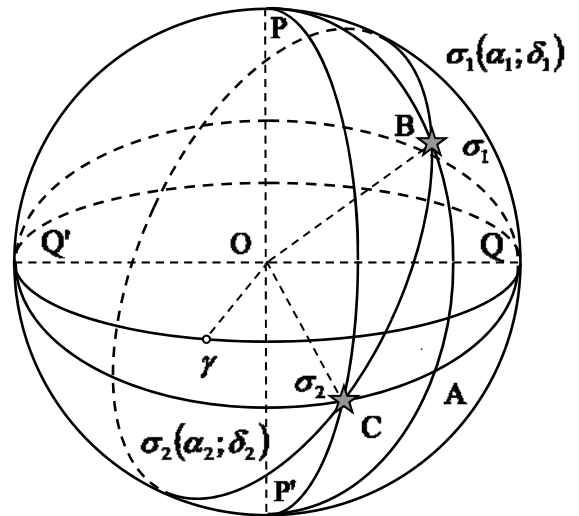
$m_{\text{Sirius,Earth}} = -1.46^{\text{m}}$  - navidezna magnituda Sirija iz Zemlje;

$d_{\text{Sun,Earth}} = 1 \text{ AU}$  - razdalja med Soncem in Zemljo;

$m_{\text{Sun,Earth}} = -26,78^{\text{m}}$  - navidezna magnituda Sonca na Zemlji ;

$d_{\text{Sirius,Planet}} = 10 \text{ AU}$  - razdalja med Sirijem in njegovim planetom, kjer se nahaja opazovalec A;

V spodnji preglednici se nahajajo podatki o zvezdnem sistemu Mizar, kot jih izmeri opazovalec na Zemlji.



Število zvezde	Ime zvezde	Navidezna magnituda	paralaksa (mili kotnih sekund)
1	Alcor	$3,99 \pm 0,01$	$39,91 \pm 0,13$
2	Mizar A	$2,23 \pm 0,01$	$38,01 \pm 1,71$
3	Mizar B	$3,86 \pm 0,01$	$38,01 \pm 1,71$
4	Sidus Ludoviciana	$7,56 \pm 0,01$	$8 \pm 4$

Ekvatorialne koordinate zvezdnega sistema Mizar ( $\sigma_1$ ) in Sirija ( $\sigma_2$ ), merjene v heliocentričnem sistemu:

$$\alpha_{Mizar} = \alpha_1 = 13^{\text{h}} 23^{\text{min}} 55.5^{\text{s}}; \delta_{Mizar} = \delta_1 = 54^{\circ} 55' 31'';$$

$$\alpha_{Sirius} = \alpha_2 = 6^{\text{h}} 45^{\text{min}}; \delta_{Sirius} = \delta_2 = -16^{\circ} 43'.$$

Upoštevaj:

$$\ln(1 - x) \approx -x \text{ če je } x \ll 1$$

$$e^x \approx 1 + x \text{ če je } x \ll 1$$