

## Zadania III etapu

### Zadanie III.1

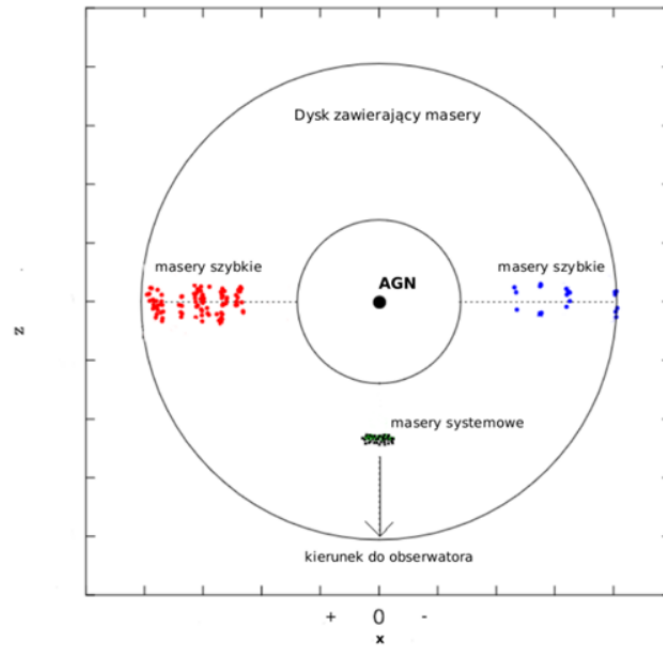
W galaktyce M106 wykryto dysk gazowy krążący wokół aktywnego jądra (AGN). Dysk zawiera wielką liczbę wodnych maserów emitujących promieniowanie w zakresie radiowym. Tworzą one megamaser, składający się z dwóch układów: maserów systemowych oraz maserów „szybkich”. Pierwszy układ znajduje się w jednakowej odległości  $R$  od AGN-u i ma prędkość radialną zbliżoną do prędkości AGN-u  $v_0 = +465$  km/s. Drugi układ obserwowany jest po obu stronach AGN-u i charakteryzuje się ściśle keplerowską zależnością prędkości radialnej od odległości  $r$  do środka dysku:  $v_r \sim r^{-1/2}$ .

Rysunek 1 przedstawia schemat modelu masera widzianego z „góry” wraz z położeniem obu systemów maserów. Rysunek 2 przedstawia wyniki obserwacji megamasera w M106 wykonane za pomocą radiowej interferometrii wielkobazowej. Zaobserwowano, że masery systemowe wykazują liniową zależność prędkości radialnej od położenia  $x$  podanego w milisekundach łuku (mas). Nachylenie tej zależności, reprezentowanej przez prostą na rysunku 2, wynosi  $\Omega = 280$  km/s/mas. Ponadto zmierzono przyspieszenie dośrodkowe maserów systemowych równe  $a = 9,3$  km/s/rok.

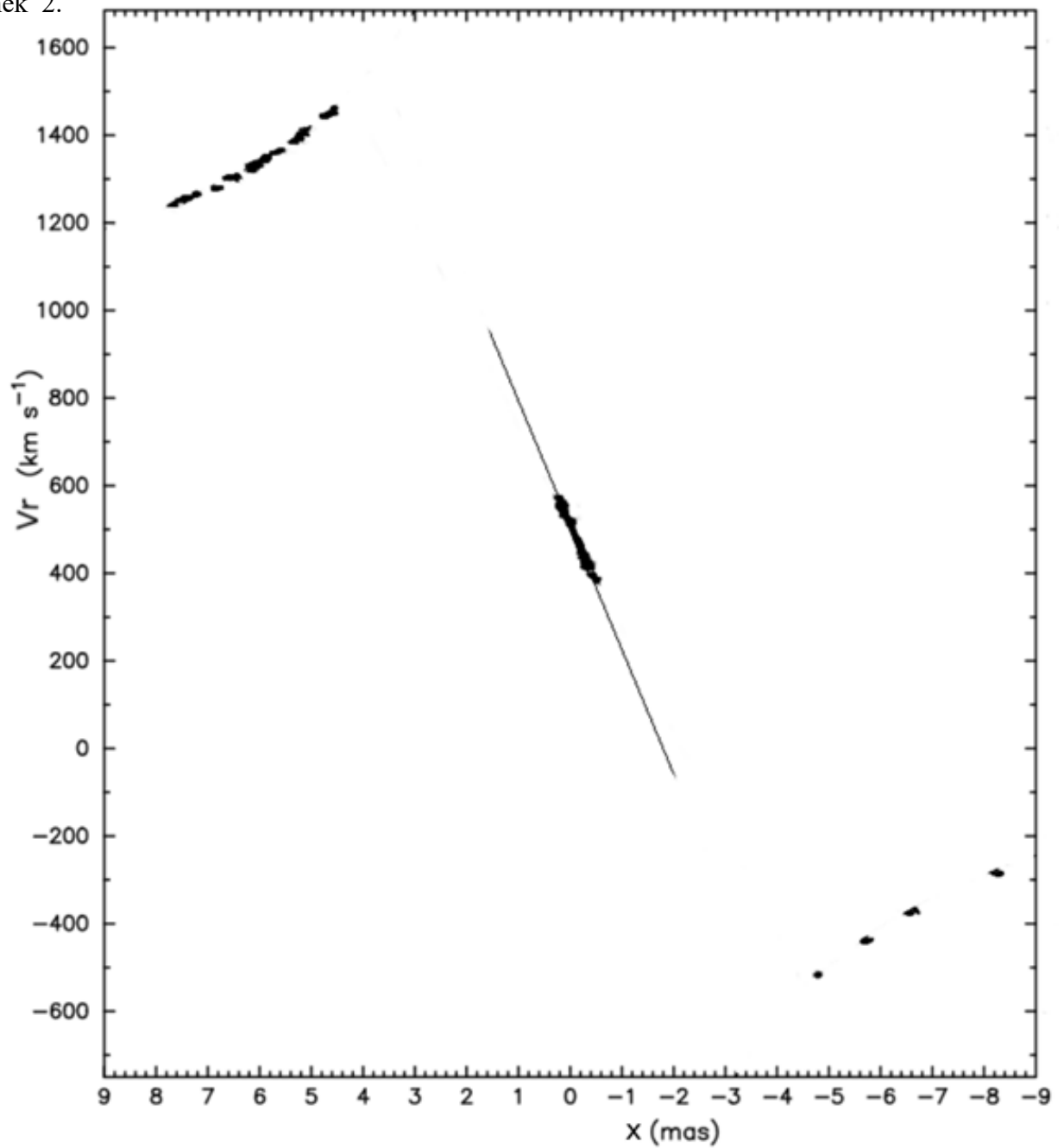
Posługując się modelem megamasera oraz danymi przedstawionymi na rysunku 2 wyznacz masę AGN-u (czarnej dziury) w masach Słońca oraz odległość do galaktyki M106 w megaparsekach. Możesz przyjąć upraszczające założenia:

- dysk jest płaski a AGN jest położony w jego centrum,
- kąt jaki tworzy płaszczyzna dysku z lokalną płaszczyzną nieba jest bliski  $90^\circ$ ,
- poprawki relatywistyczne są zaniedbywalne.

Rysunek 1.



Rysunek 2.



### Zadanie III.2

Parametr Hubble'a opisuje tempo ekspansji Wszechświata i jest zdefiniowany jako:

$$H(t) = \frac{1}{a(t)} \frac{\Delta a(t)}{\Delta t}$$

gdzie  $a(t)$  jest czynnikiem skali,

a  $\Delta a(t)$  to zmiana czynnika skali w niewielkim odstępie czasu  $\Delta t$ .

Wartość parametru Hubble'a może się więc zmieniać wraz z upływem czasu. Powoduje to, że – w długiej skali czasowej – przesunięcia ku czerwieni odległych obiektów mogą się również zmieniać.

Poniższa tabela przedstawia wartości parametru Hubble'a w pewnym modelu kosmologicznym, które zmierzyliby obserwatorzy znajdujący się na różnych przesunięciach ku czerwieni.

$z$	$H(z)$ ( $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ )
0	67,4
0,5	89,1
1,0	120,7
1,5	159,6
2,0	204,3

Zakładając poniższy model kosmologiczny, oblicz o ile zmieni się w ciągu 10 lat przesunięcie ku czerwieni pewnej galaktyki, która znajduje się obecnie na przesunięciu ku czerwieni  $z = 1,000$  (jeden). Oblicz zmianę prędkości ucieczki tej galaktyki. Wynik podaj w cm/s.

### Zadanie III.3

Cefeidy to klasa gwiazd zmiennych, które regularnie zmieniają jasność wskutek pulsacji. Pulsacje powodują okresowe zmiany temperatury efektywnej i promienia gwiazdy. W poniższych tabelach znajdują się pomiary prędkości radialnej i jasności w filtrach V i K pewnej cefeidy. Jej okres pulsacji wynosi 35,54804 dnia.

#### Pomiary prędkości radialnej

Lp	JD	$v_r$ (km/s)	$\sigma(v_r)$ (km/s)
1	2449939,86	4,42	0,26
2	2450119,03	-6,61	0,37
3	2450497,79	14,33	0,27
4	2450505,52	18,38	0,29
5	2450526,73	3,32	0,27
6	2450530,69	10,20	0,27
7	2450534,60	15,43	0,28
8	2450536,59	17,19	0,28
9	2450796,73	-16,26	0,32
10	2450802,79	-11,77	0,28

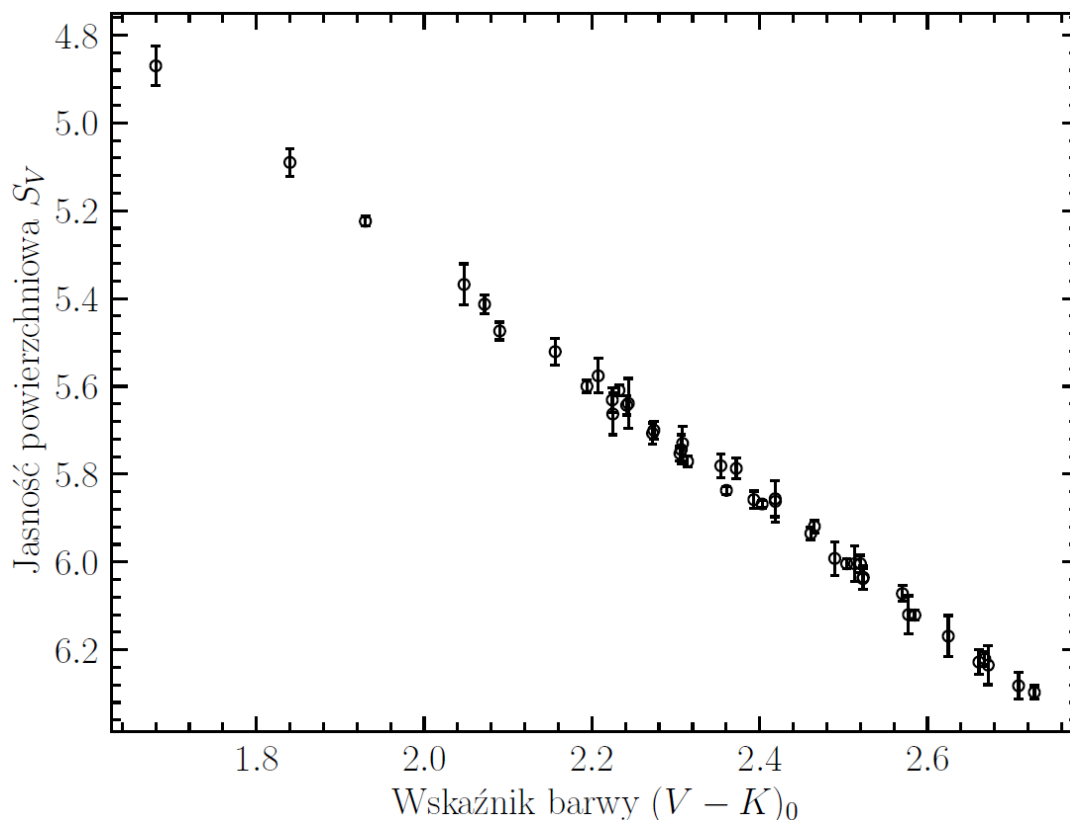
#### Pomiary jasności

Lp	JD	$V_0$ (mag)	$K_0$ (mag)
11	2452453,49	3,46	1,06
12	2452742,70	3,45	1,18
13	2452745,62	3,39	1,23
14	2452747,59	3,23	1,21
15	2452749,57	2,96	1,15
16	2452751,57	2,79	1,08
17	2452755,61	2,85	0,98
18	2452763,55	3,13	0,92
19	2452766,54	3,25	0,95
20	2452770,53	3,41	1,01

- Narysuj wykres przedstawiający zmiany wskaźnika barwy  $(V-K)_0$  tej cefeidy w funkcji fazy pulsacji. Zaznacz, kiedy cefeida była najgorętsza.
- Narysuj wykres przedstawiający zmiany średnicy kątowej tej cefeidy w funkcji fazy pulsacji. Zaznacz, kiedy cefeida była największa.
- Wykorzystując pomiary prędkości radialnej, narysuj wykres przedstawiający jak promień cefeidy zmienia się z fazą pulsacji.
- Oblicz odległość do cefeidy.

Wskazówka:

Jasność powierzchniowa gwiazdy (w pewnym filtrze  $\lambda$ ) jest zdefiniowana jako  $S_\lambda = m_\lambda + 5 \log \theta$ , gdzie  $m_\lambda$  jest wielkością gwiazdową w danym filtrze, a  $\theta$  jest średnicą kątową gwiazdy wyrażoną w milisekundach łuku. Poniższy wykres przedstawia zależność między jasnością powierzchniową w filtrze V a wskaźnikiem barwy  $(V-K)_0$ .

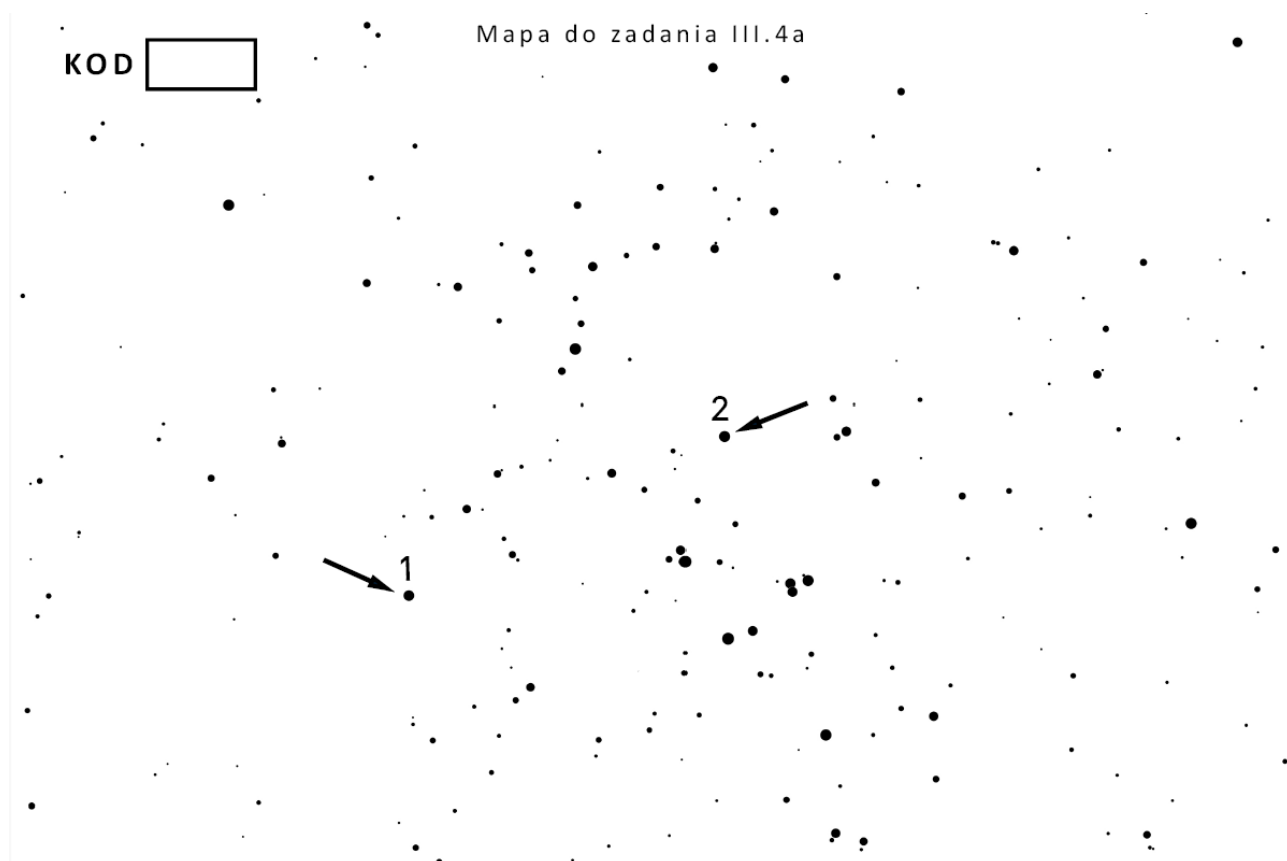


### Zadanie III.4a

Do dyspozycji masz mapkę gromady otwartej M44 (Praesepe, w gwiazdozbiorze Raka) i *Obrotową Mapę Nieba*. Na podstawie obserwacji tej gromady, przeprowadzonej za pomocą teleskopu zwierciadłowego na montażu azymutalnym:

- określ orientację gromady, rysując na mapce strzałki wskazujące kierunek północny ( $N$ ), wschodni ( $E$ ) oraz pion( $G$ ),
- zaznacz krzyżykami położenia trzech jasnych gwiazd gromady, których brakuje na mapce. Jasność brakujących gwiazd jest zbliżona do jasności gwiazd wskazanych strzałkami.
- wyznacz kątową średnicę pola widzenia teleskopu i oceń przybliżone rozmiary kątowe tej gromady,

Na załączonej mapce gromady M44 strzałki wskazują dwie gwiazdy o znanych współrzędnych równikowych:  $\alpha_1 = 8^h 41,8^m$ ;  $\delta_1 = +19^\circ 52'$  i  $\alpha_2 = 8^h 39,7^m$ ;  $\delta_2 = +19^\circ 47'$ . Oś lunety celowniczej nie jest zgrana z osią teleskopu.



### Zadanie III.5

W styczniu 2024 roku ogłoszono odkrycie pulsara milisekundowego znajdującego się w układzie podwójnym z niewidocznym towarzyszem. Zauważono, że sygnały radiowe pochodzące od pulsara nie dochodzą w równych odstępach czasu, lecz są opóźnione lub przyspieszone względem średniej o maksymalnie 27,8 s. Okres orbitalny pulsara wynosi 7,44 dnia.

Na podstawie obserwacji efektów relatywistycznych w tym układzie podwójnym, stwierdzono, że całkowita masa układu wynosi  $3,887M_{\odot}$ .

Wiedząc, że masa pulsara znajduje się w przedziale  $1,17 M_{\odot} \leq M_p \leq 1,79 M_{\odot}$  i zakładając, że jego orbita jest okręgiem, podaj możliwy zakres nachylenia orbity do płaszczyzny stycznej do sfery niebieskiej.

Czym może być niewidoczny towarzysz pulsara?

**Zadanie III.6 - zadanie planetaryjne****KOD ZAWODNIKA \_\_\_\_\_.**

Zadanie będzie polegało na obserwacji sztucznego nieba w sali projekcyjnej. Po przejściu na salę i zajęciu wskazanych miejsc aparatura wyświetli dwie projekcje związane z dwoma częściami zadania (po około 10 minut). W trakcie obu części wyświetlany będzie czas lokalny. Odpowiedzi można będzie uzupełnić po powrocie do sali egzaminacyjnej.

W czasie projekcji można posługiwać się czerwonym światłem ale skierowanym wyłącznie w dół! Można wstawać z fotela ale bez zmieniania miejsca. Należy zachować ciszę w czasie przejścia oraz w czasie projekcji. Prosimy o niekorzystanie z toalety w czasie części planetaryjnej. Odpowiedzi prosimy zapisać na tej kartce!

**Część A**

Zaprezentowany zostanie naturalny widok nieba z Ziemi od zachodu Słońca do północy. W poniższej tabeli wpisz zaobserwowane planety oraz określ gwiazdozbiór, na tle którego daną planetę widać. Należy podać nazwę polską lub skrót IAU nazwy łacińskiej.

Planeta	Gwiazdozbiór

**Część B**

Na czarnym niebie (bez gwiazd i atmosfery) zostaną wyświetlone pewne linie związane z astronomią sferyczną i ruchem ciał w przestrzeni kosmicznej oraz południk lokalny ze skalą. Należy zidentyfikować wszystkie linie. Prezentacja będzie obejmować jedną dobę.

Linia:	Identyfikacja (nazwa lub opis)
A	
B	
C	
D	
E	