

Laureaci LXIV Olimpiady Astronomicznej 2020/21:

1. Jakub Wróbel – XIV LO im. Stanisława Staszica w Warszawie,
2. Aleksander Waczyński – CXXII LO im. Ignacego Domeyki w Warszawie,
3. Antoni Skoczypiec – V LO im. Augusta Witkowskiego w Krakowie,
4. Piotr Tokarczyk – III LO im. Mikołaja Kopernika w Kaliszu,
5. Milan Wowra – II LO im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego w Rybniku.

LXIV OLIMPIADA ASTRONOMICZNA 2020/2021 PIERWSZA SERIA ZADAŃ

1. W kwietniu 2019 roku opublikowano pierwszy w historii obraz czarnej dziury, wykonany za pomocą radioteleskopów tworzących Teleskop Horyzontu Zdarzeń (*Event Horizon Telescope*). Celem obserwacji EHT są w szczególności dwie czarne dziury – supermasywna czarna dziura znajdująca się w centrum galaktyki M87 oraz czarna dziura z centrum Drogi Mlecznej. Oblicz i porównaj rozmiary kątowe horyzontów zdarzeń tych czarnych dziur. Informacje dotyczące obu galaktyk, potrzebne do przeprowadzenia oszacowań, wyszukaj samodzielnie.

2. Kiedy, z terenu Twojego miejsca zamieszkania, możliwe było zaobserwowanie ponad horyzontem astronomicznym gwiazdozbioru Krzyża Południa i to na możliwie największej wysokości? Jaka była wtedy wysokość centralnego punktu tego gwiazdozbioru? Potrzebne informacje wyszukaj samodzielnie.

3. ZADANIE TESTOWE

Odpowiedzi uzasadnij:

I. Planetoida obiega Słońce po orbicie eliptycznej. W peryhelium zbliża się do Słońca na odległość 0,5 au, a jej aphelium znajduje się w odległości 1,5 au. Ile wynosi okres obiegu tej planetoidy wokół Słońca?

II. Podczas opozycji odległość Jowisza od Ziemi wynosi $d \approx 4,2$ au, a jego widoma wielkość gwiazdowa $m \approx -2,5$ m. Jaka byłaby wielkość gwiazdowa Jowisza, gdyby znajdował się on w opozycji i w odległości od Słońca $r = 11$ au. Przyjmij, że orbity planet są współpłaszczyznowymi okręgami.

III. Jakie powiększenie powinien mieć teleskop, aby Jowisz (oglądany w opozycji) miał taką samą średnicę kątową, jak Księżyc obserwowany nieuzbrojonym okiem? Jaką średnicę obiektywu powinien mieć teleskop, aby jego zdolność rozdzielcza była zbliżona do rozdzielczości obrazu Księżyca, widzianego nieuzbrojonym okiem? Potrzebne dane wyszukaj samodzielnie.

IV. Słońce powstało około 4,5 miliarda lat temu. Przyjmując, że jego jasność nie ulegała zmianom, oszacuj, jaka część jego masy została do tej pory zamieniona na energię promienistą – wynik podaj w procentach.

V. Prawo Hubble'a-Lemaître'a pozwala wyznaczyć odległość galaktyki na podstawie pomiaru jej prędkości radialnej. Galaktyki w gromadach poruszają się chaotycznie z prędkościami rzędu 1000 km/s. Opisz pozorny kształt gromady galaktyk, jeżeli do oceny odległości będziemy korzystali wyłącznie ze wspomnianego wyżej prawa.

Które z poniższych stwierdzeń są prawdziwe?

VI.

- a) Cały wodór we Wszechświecie powstał w pierwszych kilku minutach po Wielkim Wybuchu.
- b) Cały hel został wytworzony podobnie jak wodór.
- c) Gwiazdy położone w pobliżu jasnego końca ciągu głównego to wyłącznie gwiazdy I populacji
- d) Gwiazdy całkowicie pozbawione cięższych pierwiastków obserwujemy jedynie w obszarach zewnętrznych Drogi Mlecznej.

VII. Gdyby w wyniku ewolucji Słońce, zachowując swoją obecną masę, zmieniło się w czarną dziurę (czego nie przewidują modele ewolucji gwiazd), to orbity wszystkich planet:

- a) uległyby znacznemu zmniejszeniu,
- b) uległyby wyraźnemu powiększeniu,
- c) pozostały zasadniczo niezmienione,
- d) uzyskałyby większe mimośrod, e) stałyby się bardziej kołowe.

VIII. Od kilku lat jesteśmy w stanie rejestrować fale grawitacyjne powstałe w wyniku gwałtownego połączenia się krążących wokół siebie zwartych obiektów (czarnych dziur czy gwiazd neutronowych). Masa końcowa nowo powstałego obiektu jest:

- a) równa sumie mas zlewających się obiektów,
- b) jest mniejsza niż suma mas, gdyż część energii unoszą fale grawitacyjne,
- c) jest większa niż suma mas, gdyż fale grawitacyjne niosą ujemną energię.

IX.

- a) Pierścienie Saturna są bardzo cienkie i stają się praktycznie niewidoczne, gdy Ziemia znajdzie się w ich płaszczyźnie.
- b) Mimo że pierścienie Saturna są bardzo cienkie, można je dostrzec z Ziemi na tle nieoświetlonej przez Słońce części tarczy planety, gdy znajduje się ona w I lub III kwadrze,
- c) Pierścienie Saturna mimo że są cienkie, silnie przesłaniają znajdujące się poza nimi gwiazdy.

X. Natężenie mikrofalowego promieniowania tła pozostałego po wczesnym, gorącym etapie istnienia Wszechświata:

- a) generalnie nie zmienia się w czasie,
- b) maleje, gdyż promieniowanie systematycznie "ucieka" do obszarów o mniejszej gęstości materii,
- c) maleje, gdyż wskutek ekspansji Wszechświata spada energia fotonów i ich gęstość przestrzenna,
- d) początkowo spadało, a obecnie wzrasta wskutek wzrostu stosunku gęstości ciemnej energii do gęstości ciemnej materii.

ZADANIA OBSERWACYJNE

Rozwiązanie zadania obserwacyjnego powinno zawierać: dane dotyczące przyrządów użytych do obserwacji i pomiarów, opis metody i programu obserwacji, standardowe dane dotyczące przeprowadzonej obserwacji (m.in. współrzędne geograficzne, datę, czas, warunki atmosferyczne), wyniki obserwacji i ich opracowanie oraz ocenę dokładności uzyskanych rezultatów. Wykonaną obserwację astronomiczną należy odpowiednio udokumentować.

1. Za pomocą nieruchomego aparatu cyfrowego wykonaj serię obserwacji położenia Księżyca na tle gwiazd, prowadzącą do znalezienia aktualnego położenia jednego z węzłów orbity Księżyca. Oszacuj współrzędne tego węzła, podając wartość jego deklinacji i rektascensji. Do rozwiązania dołącz pliki sporządzone w formacie .jpg, z dwoma opracowywanymi zdjęciami Księżyca.
2. (Zadanie własne) Jako rozwiązanie zadania obserwacyjnego można nadesłać opracowane wyniki innych, własnych obserwacji, przeprowadzonych w bieżącym roku.
3. (Zadanie internetowe) W styczniu 2019 roku sonda kosmiczna New Horizons przeleciała w pobliżu Arrokoth, obiektu transneptunowego z Pasa Kuipera.

Na podstawie obrazów, przesłanych przez sondę <http://pluto.jhuapl.edu/soc/Arrokoth-Encounter/> oszacuj rozmiary oraz okres obrotu Arrokoth. Z każdym zdjęciem związany jest szereg informacji, między innymi o samym zdjęciu, a także o odległości obiektu od sondy.

LXIV Olimpiada Astronomiczna - 2020/2021
Zestaw zadań drugiej serii zawodów I stopnia

4. Z układem ciał: Słońca, Ziemi i Księżyca, związane są między innymi zjawiska zaćmień Słońca i Księżyca. Niektóre z parametrów opisujących te zjawiska zmieniają się w czasie, w szczególności rozmiar Słońca (związany z jego ewolucją) oraz systematycznie wzrastająca odległość Księżyca od Ziemi.

Przedyskutuj, jak zmiany tych parametrów wpłyną na czas trwania centralnych zaćmień oraz na ewentualne występowanie obrączkowych zaćmień Księżyca i Słońca.

Potrzebne informacje wyszukaj samodzielnie.

5. Załączony rysunek przedstawia ścieżkę ewolucyjną na diagramie Hertzsprunga-Russella gwiazdy o masie $6M_{\odot}$ oraz składzie chemicznym podobnym do słonecznego. Dla punktów zaznaczonych na diagramie kolejnymi cyframi określ:

- a) fazę ewolucyjną tej gwiazdy,
- b) jej główne źródło energii,
- c) jej rozmiar, wyrażony w promieniach Słońca.

6. W dniu równonocy jesiennej, dla obserwatora geocentrycznego, Saturn znajdował się w opozycji, a Jowisz w kwadraturze wschodniej. Przyjmując, że planety krążą wokół Słońca po orbitach współpłaszczyznowych i kołowych, o promieniach:

$$r_Z = 1,000 \text{ au}, r_J = 5,204 \text{ au} \text{ i } r_S = 9,583 \text{ au},$$

wyznacz, po ilu latach i w jakim znaku zodiaku będzie można zaobserwować z Ziemi złączenie tych planet (a przy przyjętych założeniach - zakrycie Saturna przez Jowisza)?

7. W załączonym pliku 1 do arkusza kalkulacyjnego zestawiono pomiary jasności pewnej gwiazdy wykonane za pomocą teleskopu kosmicznego TESS. Gwiazda wykazuje okresowe spadki jasności, które mogą świadczyć o obecności wokół niej planety.

Wykonano również obserwacje spektroskopowe tej gwiazdy, które zostały zebrane w pliku 2. Na podstawie tych danych oblicz masę i promień planety oraz jej odległość od macierzystej gwiazdy.

W obliczeniach przyjmij, że promień gwiazdy wynosi $2,0 R_{\odot}$, a jej masa $1,6 M_{\odot}$.

LXIV Olimpiada Astronomiczna 2020/2021

Zadania zawodów II stopnia

1. Sonda o masie m kilogramów krąży wokół Słońca po orbicie kołowej o promieniu $r_0 = 1,00 \text{ au}$. Zaproponuj sposób użycia silnika raketowego sondy, który pozwoli przemieścić sondę na:

a) wewnętrzną orbitę kołową, o promieniu $r_1 = 0,723 \text{ au}$,

b) zewnętrzną orbitę kołową, o promieniu $r_2 = 1,52 \text{ au}$,

w taki sposób, aby wydatek energetyczny silnika był możliwie najmniejszy.

W obliczeniach przyjmij, że silnik sondy pozwala w krótkim czasie (wręcz skokowo) zmienić prędkość sondy na orbicie.

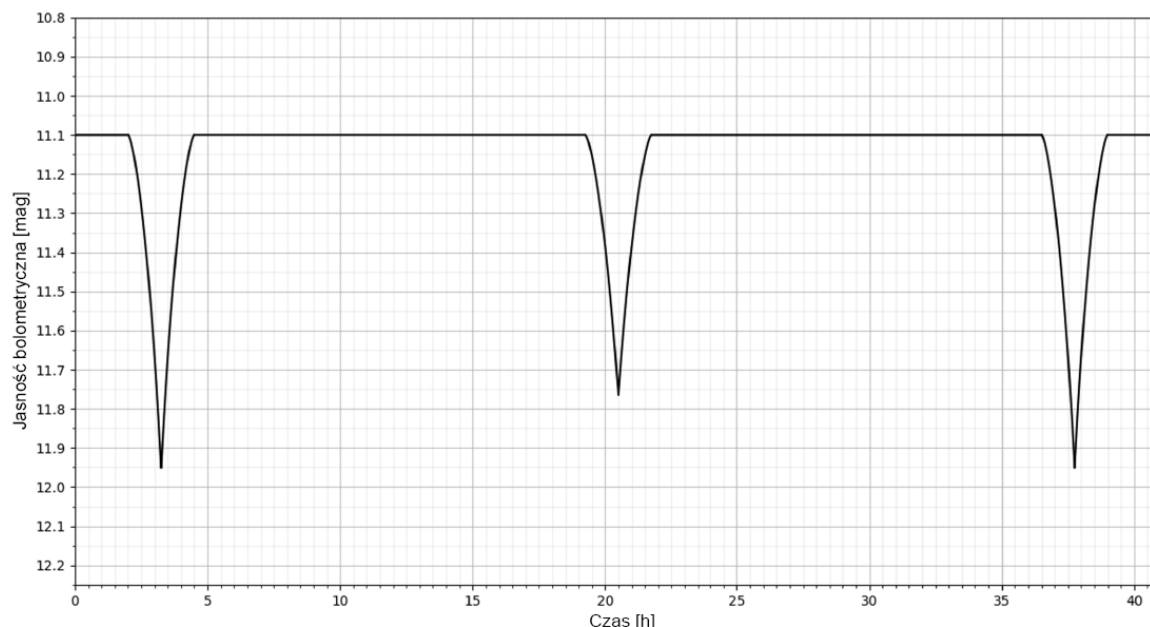
2. W 2016 roku Konstantin Batygin i Michael Brown, opierając się na analizie orbit obiektów transneptunowych, zapostulowali istnienie Dziewiątej Planety znajdującej się na obrzeżach Układu Słonecznego. Przypuszcza się, że ta hipotetyczna planeta powinna obiegać Słońce po eliptycznej orbicie o wielkiej półosi około 700 au i mimośrodku $0,6$. Jej masę szacuje się na co najmniej $10M_{\oplus}$, natomiast jej promień na 2 do $4R_{\oplus}$ (indeks $\oplus$ oznacza Ziemię).

Oszacuj jasność Dziewiątej Planety dla obserwatora na Ziemi.

Czy za pomocą współczesnych teleskopów można zweryfikować hipotezę o tej planecie?

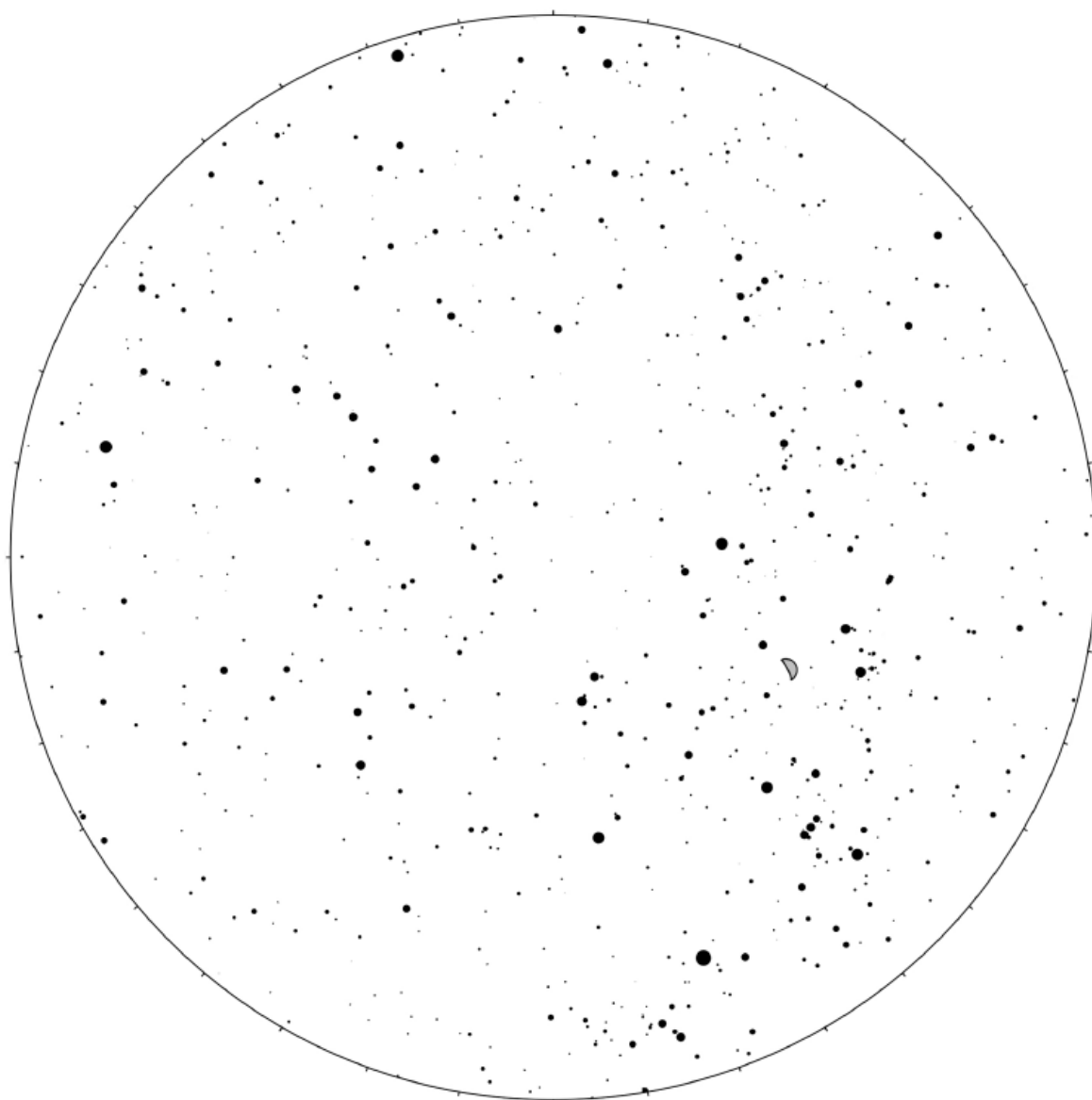
3. Załączony wykres przedstawia krzywą jasności gwiazdy zmiennej zaćmieniowej. Z obserwacji wynika, że zmiany jasności tej gwiazdy zachodzą bardzo regularnie. Jakie informacje o charakterze astronomicznym, dotyczące tego układu podwójnego oraz jego składników, można wywnioskować z analizy załączonego wykresu.

Podaj wartości otrzymanych parametrów i opisz sposób ich uzyskania.

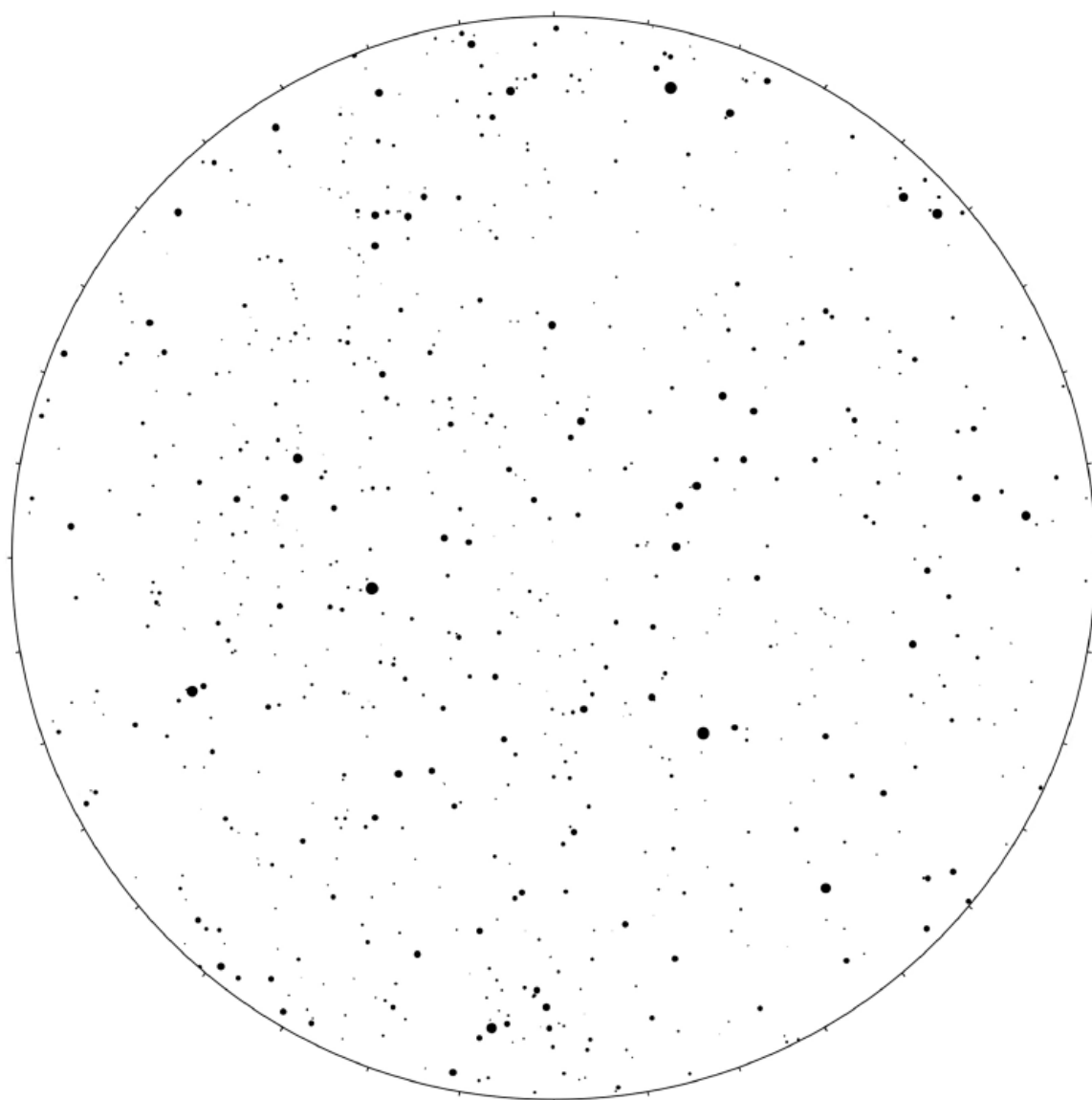


4. Załączone mapki ilustrują wygląd nieba widocznego ponad horyzontem astronomicznym z terenu centralnej Polski. Jedna z mapek dotyczy wyglądu nieba wieczornego, a druga nieba porannego – dla jednej z najbliższych nocy. Pytania i polecenia dotyczące wyglądu tego nieba sformułowane są w arkuszu odpowiedzi do zadania 4, w którym należy udzielić odpowiedzi.

Mapka 1 do zadania 4



Mapka 2 do zadania 4



Arkusz odpowiedzi do zadania 4

Kod: _____

- I. Na obu mapkach wkreśl południk miejscowy oraz równik niebieski
- II. Literami N, W, S, E, oznacz na obu mapkach położenia kardynalnych punktów horyzontu.
- III. Z dokładnością do pół godziny określ odstęp czasu między momentami, dla których sporządzono te mapki:
- IV. Na której z mapek znajduje się punkt Barana:
a na której Centrum Galaktyki?
- V. Na jednej z mapek widoczny jest Księżyc i jedna z jasnych planet.
Podaj nazwę planety: oraz określ, czy koniunkcja tych ciał niebieskich już była, czy dopiero nastąpi:
- VI. Dla każdej z mapek podaj nazwy dwóch gwiazdozbiorów, które górują i dwóch gwiazdozbiorów równikowych widocznych w całości:
na mapce 1:
.....
na mapce 2:
.....
- VII. Dla każdej z mapek podaj nazwy własne dwóch jasnych gwiazd, których przybliżone współrzędne horyzontalne wynoszą:
dla mapki 1 $A_1 \approx 317^\circ$; $h_1 \approx 43^\circ$:
 $A_2 \approx 69^\circ$; $h_2 \approx 36^\circ$:
dla mapki 2 $A_3 \approx 40^\circ$; $h_3 \approx 52^\circ$:
 $A_4 \approx 352^\circ$; $h_4 \approx 12^\circ$:
- VIII. Na każdej z mapek wskaż za pomocą strzałek (i opisz kolejną literą) położenia na sferze dwóch dowolnych obiektów z katalogu Messiera i poniżej podaj ich nazwy:
na mapce 1: a)
b)
na mapce 2: c)
d)
- IX. Za pomocą strzałek wskaż położenia na sferze (i opisz odpowiednią literą) gwiazdy zmienne: e) Algola (Beta Persei) oraz f) Deltę Cephei
- X. Za pomocą strzałek wskaż położenia na sferze (i opisz odpowiednią literą) układy wielokrotne gwiazd: g) Albireo (Beta Cygni) oraz h) Mizar i Alkor

LXIV Olimpiada Astronomiczna 2020/2021

Zadania z zawodów III stopnia

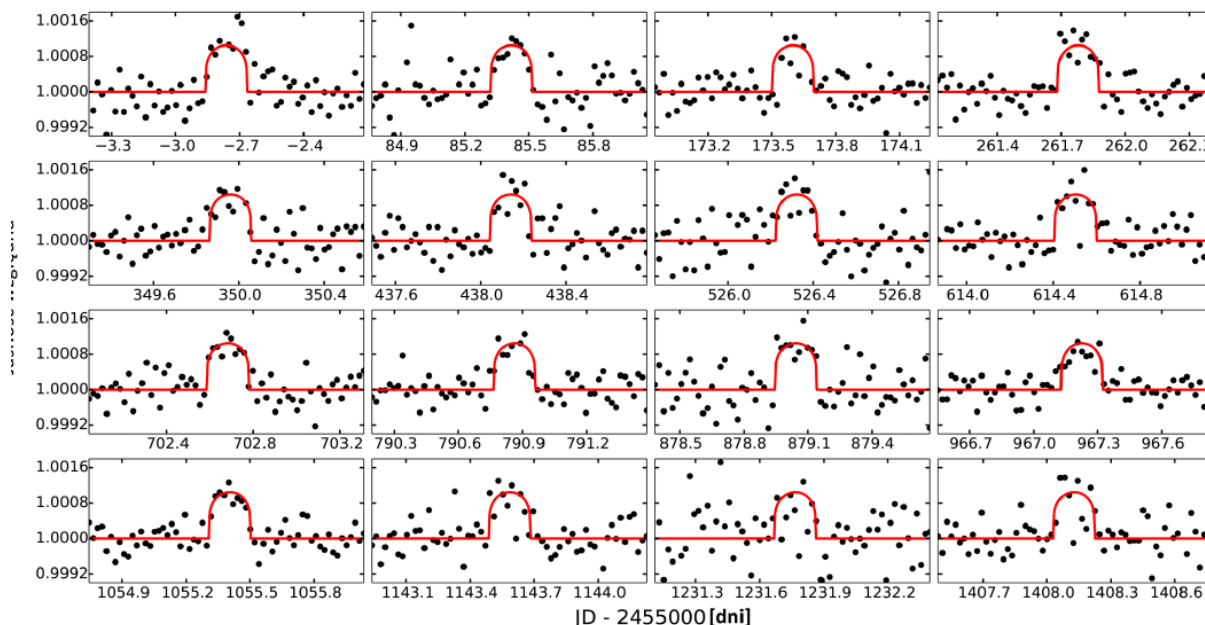
1. Obserwacje fotometryczne gwiazdy KOI-3278 wykonane za pomocą teleskopu kosmicznego Kepler wykazały, że jej jasność okresowo nieznacznie wzrasta (zobacz rysunki). Efekt ten można wytłumaczyć zjawiskiem mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Wokół gwiazdy krąży niewidoczny obiekt (soczewka). Kiedy znajduje się on między gwiazdą (źródłem) a obserwatorem, jego grawitacja skupia i wzmacnia światło źródła. Maksymalne wzmocnienie wynosi:

$$A = 1 + 2 \left(\frac{R_E}{R} \right)^2, \quad \text{gdzie:} \quad R_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2} D_L \left(1 - \frac{D_L}{D_S} \right)};$$

R jest promieniem gwiazdy, R_E – tzw. promieniem Einsteina, M – masą soczewki, a D_L i D_S są odpowiednio odległościami soczewki i źródła od obserwatora.

Korzystając z dostępnych danych i wiedząc, że źródło jest gwiazdą ciągu głównego o masie $1,04 M_\odot$ i promieniu $0,96 R_\odot$, oblicz masę soczewkującego obiektu.

Czym może być ten obiekt ?

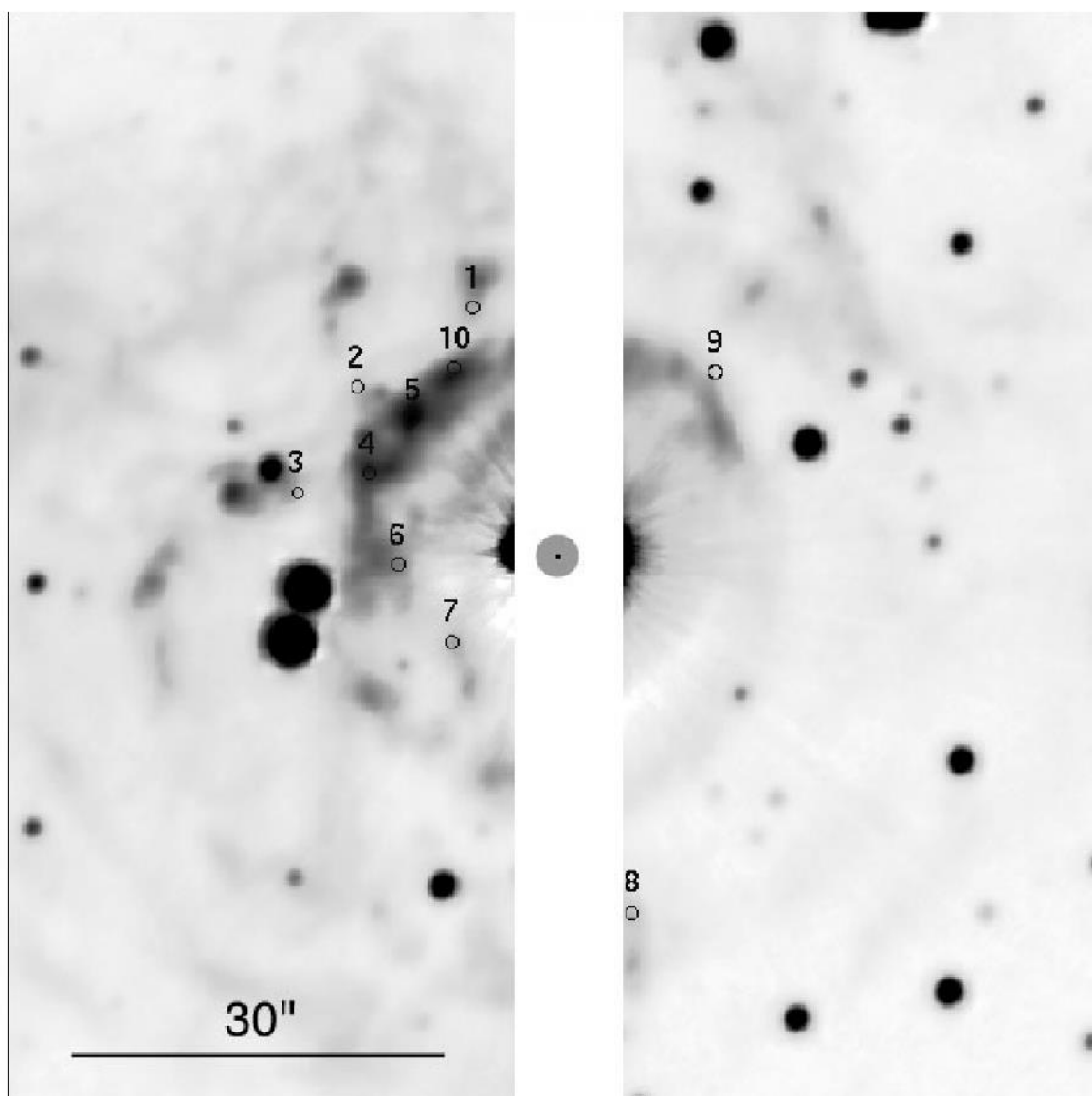


2. Załączone fotografie przedstawiają mgławicę otaczającą cefeidę *RS Puppis*. Wykonano je za pomocą teleskopu kosmicznego Hubble’a oraz New Technology Telescope, należącego do Europejskiego Obserwatorium Południowego.

Cefeida *RS Puppis* regularnie zmienia jasność z okresem $P = 41,439$ dnia. Poszczególne fragmenty mgławicy odbijają światło gwiazdy centralnej i również regularnie zmieniają swoją jasność, ale z opóźnieniem w stosunku do cefeidy. W tabeli zestawiono opóźnienia czasowe między maksimum jasności danej struktury a maksimum jasności cefeidy. Przykładowo, jasność struktury numer 2 osiąga maksimum około 33,52 dnia po maksimum jasności cefeidy.

Na podstawie tych danych, oblicz odległość do *RS Puppis*. W rozwiązaniu przyjmij, że cefeida i wymienione struktury mgławicy znajdują się w jednej płaszczyźnie, stycznej do sfery niebieskiej. Wiadomo również, na podstawie jasności powierzchniowej tej cefeidy w podczerwieni, że jej odległość jest mniejsza niż 2500 pc.

Numer struktury	Opóźnienie czasowe [dni]
2	33,52
3	40,98
4	23,87
5	20,89
8	8,58



3. Jednym z procesów mających wpływ na wybuchy niektórych supernowych może być kreacja par elektron-pozyton z wysokoenergetycznych kwantów gamma wewnątrz gwiazdy. Na skutek tych reakcji ciśnienie wewnątrz gwiazdy nagle spada i zaburzona zostaje równowaga między ciśnieniem gazu i promieniowania a siłami grawitacyjnymi, co powoduje kolaps, wzrost temperatury, uaktywnienie kolejnych reakcji syntezy, i w konsekwencji wybuch, któremu towarzyszy wyrzut fali materii;

a) oszacuj, przy jakich temperaturach wewnątrz gwiazdy może zajść taki proces?

W gwiazdach dostatecznie masywnych takie eksplozje mogą mieć miejsce kilka razy, przy czym kolejne wyrzuty materii są coraz mniej masywne, ale ich energia porównywalna, więc prędkość materii w kolejnych falach jest coraz większa. W sytuacji, gdy druga fala materii dogania pierwszą, następuje bardzo znaczne rozgrzanie materii na styku tych fal i wyświecenie olbrzymiej ilości energii. Prawdopodobnie taki scenariusz może tłumaczyć zachowanie się najjaśniejszych supernowych (jak na przykład SN 2006gy), dla których klasyczny model nie jest w stanie wygenerować odpowiedniej energii wybuchu;

b) przyjmując moc promieniowania podczas maksimum równą $L = 2,5 \cdot 10^{36}$ W oraz promień sfery, gdzie druga fala dogania pierwszą, jako $R = 10^{13}$ m, wyznacz temperaturę efektywną materii na styku tych fal.