



## Wędrowki i złączenia planet



Szkoła średnia  
Klasy I – IV  
Doświadczenie konkursowe 1

Rok 2023

## 1. Wstęp teoretyczny

*Wędrujące gwiazdy* to termin używany do opisu ruchu planet na niebie. Skąd się wziął? Planety wydają się poruszać w stosunku do gwiazd, w przeciwieństwie do samych gwiazd, które zdają się nieruchome. Starożytni Grecy i Rzymianie używali określenia *planetes* (w języku greckim od *planao*, czyli „błądzą”) lub wędrujące gwiazdy do opisu pięciu jasnych planet, które były wtedy znane: Merkurego, Wenus, Marsa, Jowisza i Saturna.

Dawne cywilizacje miały niejasne pojęcie o planetach i ich ruchu. Były one obserwowane jako jasne obiekty, wyraźnie i szybko poruszające się na tle pozornie nieruchomych gwiazd. Często kojarzono je z bogami i postaciami mitologicznymi. Starożytni Babilończycy prawdopodobnie jako pierwsi systematycznie śledzili ruchy planet i zapisywali je w formie tabel. Grek Pitagoras już wtedy sądził, że Ziemia jest kulą i obraca się wokół osi. Inny filozof, Arystarchus z Samos, zaproponował model Układu Słonecznego ze Słońcem znajdującym się w centrum i planetami krążącymi wokół niego. Pomysł ten nie był jednak powszechnie akceptowany – do czasów Kopernika.

### Kręci się!

Urodzony 550 lat temu Mikołaj Kopernik był prawdziwym człowiekiem renesansu: strategiem, prawnikiem, matematykiem, lekarzem, ekonomem, kartografem i poetą. To jemu zawdzięczamy słynne geometryczne Twierdzenie Kopernika, a także ekonomiczne Prawo Kopernika-Greshama, zgodnie z którym gorszy pieniądz wypiera lepszy.

W historii zapisał się jednak głównie jako astronom. Obserwator nieba, który zmienił nasz sposób myślenia o Ziemi i kosmosie. Zauważył, że nauczana w jego czasach wizja świata nie za dobrze zgadzała się z obserwacjami. Przy okazji wniósł ogromny wkład we współczesną metodę naukową, twierdząc, że każda teoria – na przykład właśnie ta dotycząca ruchów ciał niebieskich – powinna być zgodna z tym, co faktycznie obserwujemy. Jego obserwacje nieba otworzyły drogę dla późniejszej mechaniki klasycznej i teorii grawitacji Newtona.

Wcześniej wierzono, że planety (w czasach Kopernika znano ich też 5) wraz z błędnie zaliczanym do nich Księżycem i Słońcem okrążają Ziemię. Dla społeczeństw obserwujących niebo okiem nieuzbrojonym, bez przyrządów astronomicznych, wszystko się zgadzało: Słońce wschodziło na wschodzie, przechodziło przez całe niebo i zachodziło na zachodzie, po czym cykl tego pozornego ruchu wokół Ziemi powtarzał się. Podobnie, choć jeszcze bardziej nietypowo, zachowywał się Księżyc. Planety leżące bliżej Słońca niż Ziemia, czyli Merkury i Wenus, zawsze były na niebie blisko Słońca i też zdawały się okrążać wraz z nim Ziemię. Nieco wolniej „krążyły” wokół niej Mars, Jowisz i Saturn, choć w tym przypadku ich ruch na sferze niebieskiej był skomplikowany i budził słuszne wątpliwości. Przede wszystkim teoria geocentryczna, o której mowa, wydaje się nam dziś (i mogła wydawać się dawniej) zbyt skomplikowana. Słońce i Księżyc poruszają się w niej dokoła Ziemi na kołowych orbitach, ale środki tych orbit miałyby leżeć nieco poza zajmującą centrum Wszechświata Ziemią. Ten pomysł, choć dziwaczny, lepiej tłumaczył rzeczywiste, obserwowane ruchy tych ciał. Dużo większy problem był z wyjaśnieniem obserwacji planet.

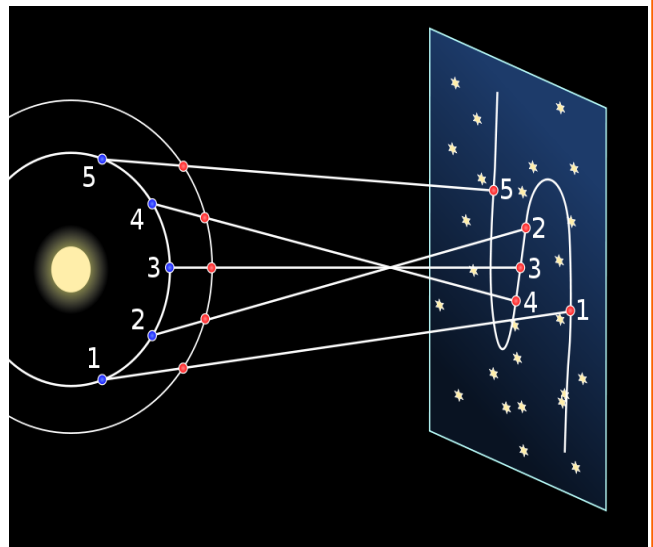


Niektóre obserwowane z Ziemi planety, w tym Mars, zakreślają na niebie charakterystyczne pętle. Nie da się tego wyjaśnić przy założeniu, że krążą one wokół Ziemi po okręgach. W celu wyjaśnienia tego niezrozumiałego ruchu przyjęto więc założenie, że musi być on wynikiem nakładania się na siebie kilku osobnych ruchów: po kołowej orbicie, tak zwanym deferencie, porusza się dookoła Ziemi nie sama planeta, a środek innej, mniejszej orbity kołowej zwanej epicyklem, po której z kolei porusza się już sama planeta...

Dziś wiemy, że pozorny ruch wsteczny Marsa to zjawisko, w którym planeta tylko wydaje się poruszać wstecz w stosunku do gwiazd. Jest to spowodowane ruchem Marsa wokół Słońca. W pewnych momentach Mars jest po prostu bliżej Ziemi, a z czasem Ziemia „przegania go” na swojej orbicie, i stąd obserwowana pętla. Można to zaobserwować poprzez regularne obserwacje Marsa. Po kilku tygodniach zobaczymy, że jego pozycja na niebie cofa się względem gwiazd. Podobnie jest z Jowiszem i Saturnem oraz Uranem i Neptunem.

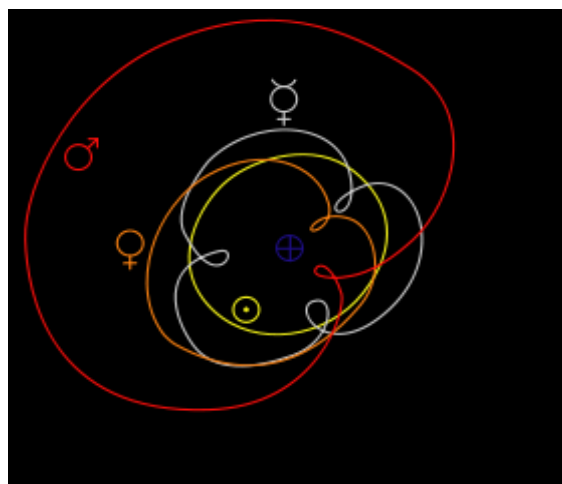
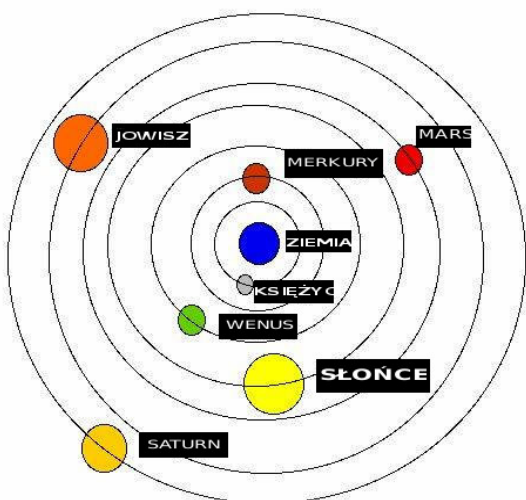


Rysunek 1. Pozorny ruch wsteczny Marsa w 2003 r. Źródło: Eugene Alvin Villar – Seav (po lewej)



Rysunek 2. Pozorny ruch wsteczny – wyjaśnienie geometryczne. Niebieskie kółko to Ziemia, czerwone – Mars. Ziemia zakreśla orbitę wokół Słońca szybciej niż dalej położony Mars, przez co w pewnym momencie go „przegania” (punkt 3), a na niebie zaczyna się on odtąd poruszać pozornym ruchem wstecznym. Źródło: Brian Brondel (po prawej)

Nie odmawiając twórcom **teorii geocentrycznej** pomysłowości, trzeba przyznać, że ich wyjaśnienia obserwacji planet były dość zawite. A może wyjaśnienie jest znacznie prostsze? W swoim domu we Fromborku Kopernik przeprowadził sporo obserwacji zmieniających się położzeń planet na niebie. Po czym zaproponował inny opis budowy Układu Słonecznego: planety krążą wokół Słońca, a Ziemia, wokół której miałby krążyć ze znanych wówczas ciał tylko Księżyc (Kopernik już wtedy to wiedział!), obraca się dokoła własnej osi. To wiele upraszczało, a przede wszystkim było bardziej zgodne z obserwacjami.

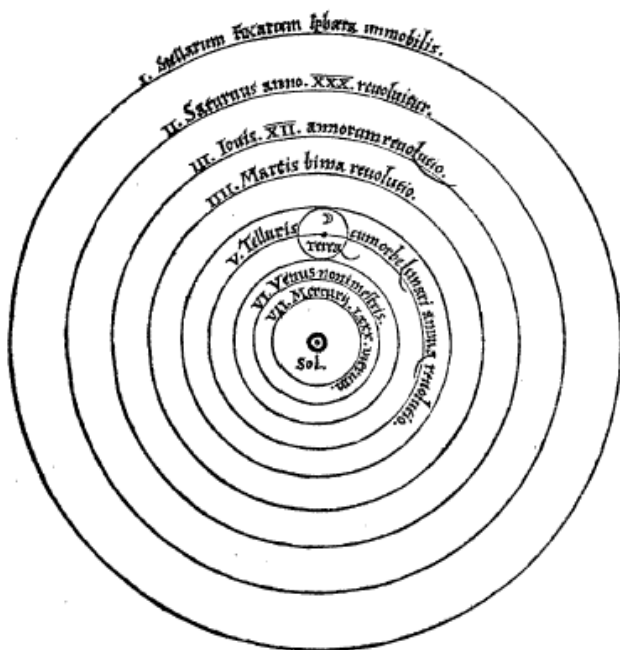


Rysunek 3. Model geocentryczny. Źródło: people.highline.edu (po lewej)

Rysunek 4. Uprozczone odwzorowanie ruchów wybranych planet na deferentach i epicyklach w teorii geocentrycznej (po prawej). Źródło: Celestia/Jecowa. Ciałom niebieskim przypisano astronomiczne oznaczenia symboliczne:

- ☉ (symbol Słońca)
- ♿ (symbol Merkurego)
- ♀ (symbol Wenus)
- ⊕ (symbol Ziemi)
- ♂ (symbol Marsa)

Kopernik wiedział, że jego teoria heliocentryczna jest wiarygodna, ponieważ wyjaśniała ona (wreszcie!) wiele zjawisk trudnych do wyjaśnienia w teorii geocentrycznej. Ostatecznie zrewolucjonizowała nasze postrzeganie Wszechświata i stanowi ona ważny krok w rozwoju całej nauki. Prace Kopernika są dziś uważane za jedno z najważniejszych w historii astronomii.



Rysunek 5. Model heliocentryczny Kopernika, przedstawiony w jego *De revolutionibus orbium coelestium*. W środku widzimy „Sol”, czyli Słońce. Kolejno okrążają je: Merkury (Kopernik przypisał mu orbitę nr VII), Wenus (na orbicie VI), następnie Terra, czyli Ziemia, na orbicie V, okrążana przez Księżyc; Mars na orbicie nr IV, Jowisz i Saturn na orbitach III i II, i wreszcie powszechnie uznawana wówczas za pewnik, nieruchoma sfera gwiazd stałych (I). Warto zwrócić uwagę na zapis numerów orbit – od końca względem Słońca – i nietypowy zapis rzymskiej liczby 4). Źródło: Wikipedia



Rysunek 6. Rzeczywiste skale odległości między planetami w Układzie Słonecznym.  
Źródło: NASA/Dave Jarvis

W rzeczywistości planety dzielą dziesiątki lub setki milionów kilometrów. Ilustracja Układu Słonecznego we właściwej skali znajduje się na Rysunku 7. W porównaniu z Jowiszem, Saturnem, Uranem i Neptunem cztery pierwsze planety od Słońca (w tym Ziemia) zdają się być bardzo blisko Słońca. W rzeczywistości średnia odległość Ziemi od Słońca to 150 milionów kilometrów, czyli około 8 minut świetlnych!

Pamiętajmy, że Kopernik nie do końca jednak miał rację! Tak naprawdę planety krążą wokół Słońca nie po okręgach, a po elipsach. Mówi o tym **I prawo Keplera**. Z kolei z **II prawa Keplera** wynika m. in., że planety nie poruszają się na orbitach ze stałą prędkością. Najwolniej planeta porusza się, gdy jest najdalej od Słońca, a najszybciej w punkcie najbliższym Słońcu. Zgodnie z **III prawem Keplera** stosunek drugich potęg czasów obiegu dwóch planet wokół Słońca do trzecich potęg wielkich półosi ich orbit jest stały dla wszystkich planet Układu Słonecznego. Prawa Keplera zostały sformułowane w 1609 r. w oparciu o dane empiryczne – obserwacje. Ich matematyczne uzasadnienie wynika z prawa powszechnego ciążenia, które Newton sformułował dopiero w 1687 r.

Więcej informacji na temat orbit eliptycznych i praw Keplera można znaleźć m. in. na stronach:

<https://astronet.pl/uklad-sloneczny/n3237/>  
<https://www.medianauka.pl/prawa-keplera>

To, jakie planety widać danego dnia na niebie, zależy od ich chwilowego położenia względem Słońca. Nie krążą one wokół niego w jednej linii, jak często sugerują ilustracje naszego Układu; są raczej „rozsypane” wokół na własnych orbitach. Czasem przez kilka tygodni są za Słońcem z punktu widzenia obserwatora na Ziemi i wówczas ich nie widać. Czasem usytuowane są tak, że moglibyśmy je zobaczyć, ale tylko na dziennym niebie. Czasami planety, w rzeczywistości bardzo odległe, na niebie widzimy obok siebie – zjawisko takie nazywamy złączeniem (koniunkcją). Przez kilka dni mogą znaleźć się też w pobliżu jasnej gwiazdy lub gromady gwiazd.

Na poniższych ilustracjach zamieszczono pozycje planet na wieczornym i porannym niebie w lutym, marcu i kwietniu 2023 r. Ilustracje pochodzą z darmowego, dostępnego w Internecie programu Stellarium (<https://stellarium.org/pl/>). Oprogramowanie dostępne jest też w wersji przeglądarkowej (<https://stellarium-web.org/>) i na telefony komórkowe.



Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”  
Odległość kątowna  
Doświadczenie konkursowe rok 2023



Rysunek 7. Luty 2023 r. – planety (Wenus, Mars, Jowisz (ang. *Jupiter*), Uran (ang. *Uranus*)) widoczne z okolic Krakowa, po zachodzie Słońca i na wieczornym niebie, nad horyzontem południowo-zachodnim. Źródło: Stellarium



Rysunek 8. Połowa marca 2023 r. – planety widoczne z okolic Krakowa, na wieczornym niebie, nad horyzontem południowo-zachodnim (S-W). Jowisz zachodzi już wcześniej i nie jest widoczny. Źródło: Stellarium

Konkurs Astronomiczny „Astrolabium”  
Odległość kątowna  
Doświadczenie konkursowe rok 2023



Rysunek 9. Połowa kwietnia 2023 r. – planety widoczne z okolic Krakowa, po zachodzie Słońca i na wieczornym niebie, nad horyzontem południowo-zachodnim (S-W). Zwróć uwagę, że Mars od lutego nieznacznie, ale już dostrzegalnie przesunął się na tle gwiazd. Źródło: Stellarium



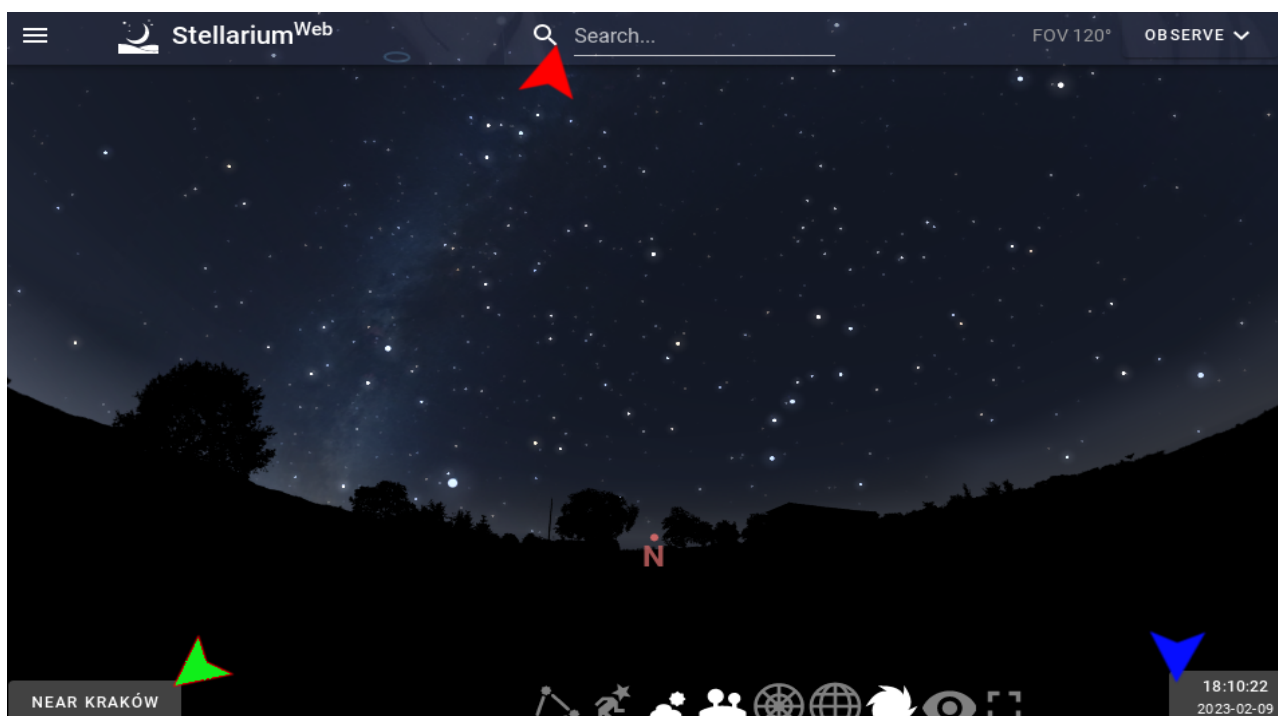
Rysunek 10 Niebo poranne, tuż przed wschodem Słońca, w kwietniu 2023 r. Widzimy, że z planet jest tu widoczny tylko Saturn, który jeszcze w marcu chował się w blasku wschodzącego Słońca, ale w kwietniu jest rankiem coraz bardziej dostępny do obserwacji. Źródło: Stellarium

## 2. Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest nauka rozpoznawania planet na niebie i zrozumienie ich pozornych ruchów. Uczniowie uczą się prowadzenia dziennika obserwacyjnego i korzystania z oprogramowania Stellarium – zaawansowanej, intuicyjnej mapy nieba dostępnej w Internecie, także w wersji niewymagającej instalacji. Zaznajamiają się z widokiem nocnego nieba, uczą się angielskich nazw planet i ich symboli astronomicznych. Poznają znaczenie i sens badań Mikołaja Kopernika. Zapoznają się z prawami ruchu planet Keplera i związanymi z nimi obliczeniami.

## 3. Opis wykonania doświadczenia

1. Przejdź na stronę <https://stellarium-web.org/>. Sprawdź, czy Twoja geolokalizacja (zielona strzałka poniżej) jest prawidłowa, i czy data i czas ustawione są dobrze w prawym dolnym rogu okna (niebieska strzałka). Jeśli nie, popraw je, klikając w ich okienka zaznaczone strzałkami i wybierając nowe wartości. Jeśli włączysz Stellarium za dnia, prawdopodobnie w oknie godziny będzie podana data „wieczorna” dla tego samego dnia. Nie zmieniaj jej.



Rysunek 11. Okno główne programu Stellarium w przeglądarce.

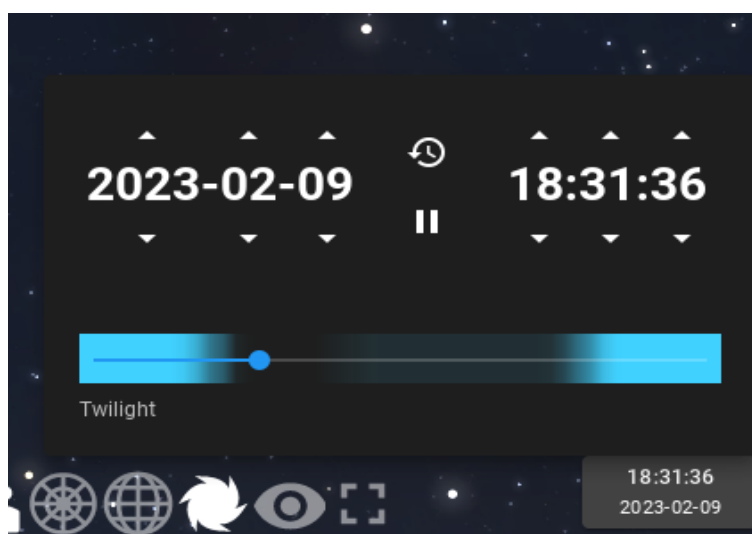
Aby wyszukać pozycję planety na niebie w danym dniu, w pole *Search* (panel górny, strzałka czerwona) wpisz jej nazwę w języku angielskim, po czym wybierz obiekt z listy. Program pokaże pozycję planety, o ile tego dnia jest ona na niebie widoczna. Widoczność planet jest także zależna od pogody i Twojego otoczenia (rzeźby terenu, budynków). Może się okazać, że planeta danego dnia jest pod horyzontem. Aby przybliżyć obraz nieba w oknie mapy Stellarium, użyj rolki myszy.





Rysunek 12. Okno Stellarium w przeglądarce – Merkury pod horyzontem, Wenus i Jowisz ponad horyzontem.

Sprawdź w Stellarium, gdzie i w jakim kierunku na niebie można danego dnia dostrzec planety. Spróbuj wyszukać planety najdalsze: Urana i Neptuna. Zmień datę obserwacji na dwa, a następnie cztery tygodnie do przodu. Jak zmieniły się pozycje planet? Czy wszystkie planety są teraz widoczne? Uwaga! Możesz użyć prostszego, ale dającego nieco mniej możliwości Stellarium w wersji webowej, albo pobrać odpowiedni dla swojego systemu operacyjnego plik ze strony <https://stellarium.org/pl/> i zainstalować go na komputerze.



Rysunek 13. Stellarium w przeglądarce – zmiana daty i godziny obserwacji. Możesz wybrać datę i godzinę za pomocą strzałek albo użyć suwaka czasu.

2. W każdy pogodny wieczór (lub poranek) obserwuj na niebie widoczne planety. Aby sprawdzić, które z nich są możliwe do obserwacji, skorzystaj z programu Stellarium lub innego narzędzia. Zwróć szczególną uwagę na dni wymienione w karcie pracy dołączonej do doświadczenia (**Wędrowki i złączenia planet**) i postaraj się zaobserwować wymienione w niej zjawiska związane ze złączeniami planet lub ich bliskimi położeniami względem znanych gwiazd, innych planet lub Księżyca. Jeśli danego dnia nie możesz obserwować lub nie sprzyja temu pogoda, nie przejmuj się – spróbuj kolejnej pogodnej nocy. Wyniki obserwacji, wraz z właściwą datą i godziną obserwacji, zapisz w kolumnie nr 2, nawet jeśli od zjawiska wymienionego w kolumnie 1 minie kilka dni. Zapisuj to, co faktycznie widać na niebie.

Możesz także dodać do tabeli kolejne wiersze i inne, własne obserwacje ciekawych zjawisk. Kartę pracy wypełnij na komputerze lub wydrukuj i wypełnij ręcznie. Obserwuj planety uważnie i systematycznie – bądź jak Kopernik!

**Uwaga!** Jeśli masz możliwość, do obserwacji planet skorzystaj z lornetki. Nigdy nie spoglądaj przez lornetkę (lunetę, teleskop i inne przyrządy optyczne) w Słońce oraz okolice wschodzącego lub zachodzącego Słońca! Grozi to uszkodzeniem wzroku.

3. Z III prawa Keplera wynika, że im dalej znajduje się dana planeta od Słońca, tym okres jej obiegu jest dłuższy. Z planet Układu Słonecznego najkrótszy okres obiegu ma Merkury (~88 dni ziemskich), a najdłuższy Neptun (165 lat ziemskich). Dla 2 planet Układu zachodzi proporcjonalność (to uproszczony zapis III prawa Keplera):

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$$

(gdzie:  $T_1$ ,  $T_2$  to okresy obiegu dwóch różnych (1, 2) planet Układu Słonecznego;  $a_1$ ,  $a_2$  – wielkie półosie orbit tych dwóch planet.)

Uran został odkryty 13 marca 1781 r. przez Williama Herschela. Wiedząc, że od chwili jego odkrycia minęło w przybliżeniu 242 ziemskich lat, a w tym czasie Uran dokonał około 2,88 pełnych obiegów wokół Słońca, oblicz, ile trwa (w latach ziemskich) jeden rok na Uranie (czyli okres jego obiegu dookoła Słońca). Zapisz obliczenia. Wynik należy zaokrąglić do pełnej wartości w latach.

Korzystając z III prawa Keplera i zakładając, że wielka półoś orbity Urana wynosi 19,2 AU (jednostki astronomicznej), wielka półoś orbity Saturna to około 9,5 AU, przy czym okres obiegu Urana został wyliczony w poprzednim kroku, oblicz przybliżony okres obiegu planety Saturn wokół Słońca. Zapisz obliczenia.

#### Do przemyślenia i doczytania:

1. Która planeta Układu Słonecznego porusza się na niebie z naszego punktu widzenia najwolniej? Dlaczego?
2. Dlaczego Uran i Neptun nie były znane jako planety w Starożytności? Czy to możliwe, że Urana obserwowano wielokrotnie przed odkryciem, ale często mylono go z gwiazdą?
3. O czym mówi Prawo Kopernika-Greshama? Czy Twoim zdaniem ma ono zastosowanie w naszych czasach?