FUTURE SPACE

Scenariusz zajęć

Autor/ Autorzy: Przemysław Rudź / Krzysztof Rochowicz

Układ Słoneczny. Ważenie planet na odległość.

Słowa kluczowe:

Układ Słoneczny

księżyce Galileuszowe

planety karłowate

ważenie planet na odległość

egzoplanety

Tematyka: Planety i mniejsze ciała w Układzie Słonecznym. Poszukiwanie planet pozasłonecznych. Ważenie planet na odległość.

Wiek uczniów: 15-19 lat

Czas: 3 x 45 minut

Przedmioty:

geografia

fizyka

KONSPEKT ZAJĘĆ

Podczas zajęć uczniowie poznają i dyskutują zagadnienia dotyczące planet i mniejszych ciał w Układzie Słonecznym. Uczniowie:

- poznają dane fizykochemiczne planet, planet karłowatych, planetoid, komet i pyłu międzyplanetarnego,
- poznają sondy wysłane w celu zbadania tych światów,
- dowiadują się na temat metod poszukiwań planet pozasłonecznych,
- dowiadują się czym jest i na czym polega projekt OGLE,
- obserwują Galileuszowe księżyce Jowisza,
- wyznaczają masę Jowisza na podstawie pomiarów ruchu jego satelitów.

CELE LEKCJI

- poznanie metod poszukiwania planet pozasłonecznych;
- zrozumienie celu działania projektu OGLE;
- poznanie czym są Galileuszowe księżyce Jowisza i jakie występują zmiany następujące w ich układzie;
- poznanie metody określenia odległości i okresów obiegu wybranych naturalnych satelitów Jowisza;
- umiejętność zastosowania III prawa Keplera, wykorzystania wyników analizy do określenia masy planety;
- wiedza jak odkrywa się księżyce planet karłowatych i innych odległych obiektów na podstawie obserwacji naziemnych.

REZULTATY LEKCJI

- poznanie podstawowych danych na temat planet i innych mniejszych ciał Układu Słonecznego;
- poznanie pojęcia planety pozasłonecznej, czyli egzoplanety;
- poznanie nazw sond kosmicznych wysłanych w kierunku planet, planet karłowatych, planetoid i komet;
- zrozumienie znaczenia obserwacji Galileusza dla potwierdzenia teorii Kopernika;
- umiejętność obliczenia masy ciała niebieskiego na podstawie obserwacji ruchu jego satelitów;
- rozumienie uniwersalnego charakteru praw przyrody na przykładzie prawa powszechnego ciążenia.

KORELACJA Z PODSTAWĄ PROGRAMOWĄ

✍ **FIZYKA**		
	Zakres podstawowy	Zakres rozszerzony
Wymagania przekrojowe		I.10; I.18-19;
Grawitacja i elementy astronomii		IV.5

KLUCZOWE KOMPETENCJE XXI WIEKU*

(jakim kompetencjom kluczowym XXI wieku odpowiada scenariusz)

- ☑ kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji
- ☑ kompetencje w zakresie wielojęzyczności
- ☑ kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii
- ☑ kompetencje cyfrowe

* *Więcej informacji o kompetencjach kluczowych na stronie: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604(01)&from=EN*

MATERIAŁY DYDAKTYCZNE DO PRZEPROWADZENIA ZAJĘĆ:

- Planety pozasłoneczne - Astronarium odc. 22 ⇒link
- sposób wyznaczenia masy Jowisza ⇒link - opis zadania w języku angielskim
- Stellarium online ⇒link

PRZEBIEG LEKCJI 1

WSTĘP DO ZAJĘĆ ⇒ 25 MINUT

- Nauczyciel wraz z uczniami oglądają odcinek programu Astronarium pt. Planety pozasłoneczne (22) ⇒link Prosi uczniów, aby zanotowali odpowiedzi na pytania:
  - *Gdzie znajduje się teleskop projektu OGLE?*
  - *Na czym polega OGLE?*
  - *Co to jest egzoplaneta?*
  - *Na czym polega poszukiwanie planet metodą tranzytową?*
  - *Na czym polega poszukiwanie planet metodą prędkości radialnych?*
  - *Do czego astronomowie używają spektrometru?*

CZĘŚĆ PRAKTYCZNA ⇒ 15 MINUT

- Nauczyciel wraz z uczniami omawia prezentację multimedialną (**Załącznik nr 1**) poświęconą ciałom, z których składa się Układ Słoneczny. Zwraca uwagę na skalę rozmiarów gwiazdy centralnej i planet, a także różnice wielkości samych planet (planety skaliste kontra gazowe olbrzymy). Przy tym warto wymieniać nazwy sond kosmicznych, które zostały wysłane w ich kierunku, np.
  - Merkury – Mariner 2, BepiColompo
  - Wenus – Wenera, Pioneer Wenus 1, Magellan
  - Mars – Viking, Pathfinder, łaziki Sojourner, Spirit, Opportunity, Curiosity, Perseverance, InSight
  - Jowisz – Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1, Voyager 2, Galileo, Juno
  - Saturn – Pioneer 11, Voyager 1, Cassini-Huygens
  - Uran i Neptun – Voyager 2
  - Pluton – New Horizons
  - Ceres – Dawn
  - Komety – Wega, Giotto, Deep Space 1, Stardust, Rosetta-Philae
  - Planetoidy – Galileo, HEAR Shoemaker, Hayabusa, Rosetta-Philae, New Horizons
  - Słońce – SOHO, STEREO, TRACE, Solar Orbiter, Ulysses

PODSUMOWANIE ZAJĘĆ ⇒ 5 MINUT

- Podsumowanie Układ Słoneczny jest jednym z miliardów systemów planetarnych rozsianych w bezkresnym kosmosie. To nasz dom, miejsce gdzie od miliardów lat krąży planeta Ziemia i cała zawarta w niej przyroda ożywiona i nieożywiona. Badania słonecznej rodziny planet są jednymi z najbardziej pasjonujących zadań, jakie stoją przed astronomami i inżynierami projektującymi sondy i próbniki kosmiczne.
- Dziś znamy także tysiące egzoplanet krążących wokół odległych gwiazd. Dzięki odkryciom teleskopów (np. projekt OGLE) naziemnych oraz teleskopów kosmicznych (w tym Hubble'a, Keplera, TESS) ich liczba stale rośnie. Do odkrywania egzoplanet wykorzystuje się metody takie jak metoda tranzytów, prędkości radialnych, czy

mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Tylko nieliczne planety pozasłoneczne obserwujemy bezpośrednio. Nowa generacja teleskopów naziemnych i kosmicznych pozwoli nam obserwować egzoplanety bezpośrednio, a co za tym idzie badać warunki panujące w ich atmosferach. Być może na którejś z nich odkryjemy ślady pozaziemskiego życia.

PRZEBIEG LEKCJI 2

✍ *Aby przeprowadzić lekcję, uczniowie oglądają księżyce Jowisza np. przy pomocy symulacji programu Stellarium, zwracając uwagę na ich ustawienie.*

🕓 WSTĘP DO ZAJĘĆ ⇒ 15 MINUT

➲ Nauczyciel wprowadza do tematu zagadnienia Galileuszowych księżyców Jowisza;

- kim był Gallileusz;
- początki teorii heliocentrycznej

✍ *Włoski uczony Galileusz, korzystając ze skonstruowanej przez siebie lunety 7 stycznia 1610 odkrył początkowo trzy księżyce Jowisza – Io, Europa, Kallisto; 11 stycznia 1610 odkrył zaś kolejny księżyc – Ganimedesa. Początkowo myślał zgodnie z ówczesną wiedzą, że odkrył trzy gwiazdy stałe. Dwie z nich znajdowały się z jednej, trzecia z drugiej strony Jowisza. 8 stycznia wszystkie trzy obiekty znajdowały się po jednej stronie Jowisza, a Galileusz pomyślał, że to planeta przesunęła się w stosunku do wcześniejszej pozycji. Kolejna noc była pochmurna i nie można było prowadzić obserwacji. 10 i 11 stycznia zaobserwował tylko dwie gwiazdy znajdujące się po jednej stronie planety. Wyciągnął stąd wniosek, że trzecia jest przesłonięta przez Jowisza i znajduje się z nim w jednej linii.*

✍ *Kolejnego dnia obserwacji obiekty ułożyły się w nowej konfiguracji – dwie po jednej stronie, trzecia po przeciwnej stronie. Wynik tej obserwacji opisał słowami: Wydaje się, że wokół Jowisza znajdują się trzy ruchome gwiazdy, których nikt dotąd nie widział. 13 i 15 stycznia zaobserwował już równocześnie cztery małe obiekty koło Jowisza. Zgodnie z panującą wtedy teorią Galileusz myślał, że te gwiazdy poruszają się tam i z powrotem po linii prostej, co prowadziło do pytania: W jaki sposób one się mijają? Na podstawie tych obserwacji Galileusz zdał sobie sprawę, że w rzeczywistości obiekty te orbitują wokół Jowisza. Odkrycie księżyców Jowisza stało się argumentem na rzecz teorii heliocentrycznej, dostarczając niezbitych dowodów, że Ziemia nie jest jedynym ciałem niebieskim, wokół którego krążą inne ciała niebieskie.*

🕓 CZĘŚĆ PRAKTYCZNA ⇒ 25 MINUT

✍ *Uczniowie w czasie nocy poprzedzających te zajęcia - o ile pogoda i widoczność planety na to pozwalają - lub nieco wcześniej oglądają księżyce Jowisza, zwracając uwagę na ich ustawienie. Można wesprzeć się symulacją programu Stellarium ⇒link w celu identyfikacji.*

✍ *Do przeprowadzenia analizy i obliczenia masy Jowisza potrzebna będzie seria obserwacji w miarę systematycznych (najlepiej noc po nocy) i obejmujących 1-2 tygodniowy przedział (może być też z 1-2 miesięcy, biorąc pod uwagę zazwyczaj niezbyt sprzyjające warunki atmosferyczne). Mogą to być albo zdjęcia, na których widoczne będą księżyce (tarcza planety będzie przy tym na ogół prześwietlona; warto spróbować prostą obróbką cyfrową obrazu uzyskać efekt podobny do prezentowanego obok; można też wykonać jedną ekspozycję odniesienia tym samym sprzętem z krótszym czasem, żeby dało się określić rozmiar tarczy planety i tym samym skalę obrazu), albo też szkice, ale w tym drugim przypadku ważne jest dokładne odwzorowanie obrazu, zachowujące skalę. Na zdjęciach będziemy bowiem mierzyć odległość księżyców od środka tarczy planety (jednostką może być promień lub średnica równikowa). Ich identyfikacja zależy od regularności próbki zdjęć – dysponując stosunkowo długą i pełną serią można dokonać*

jej samodzielnie, w przeciwnym wypadku wspomagamy się symulatorem nieba – programem Stellarium.

- Celem jest sporządzenie wykresu zależności odległości księżyca od środka tarczy planety względem czasu (podobnego do widocznego obok) i odczytanie z niego okresu zmian (czyli obiegu T) oraz amplitudy (czyli maksymalnej odległości a). Wykres taki wykonujemy w miarę możliwości dla każdego z czterech księżyców, więc w sprzyjających okolicznościach dla wszystkich dysponować będziemy podobnym zestawem danych T i a.
- Do przygotowania wykresu można posłużyć się arkuszem kalkulacyjnym Excel (**Załącznik nr 2**).

PODSUMOWANIE ZAJĘĆ ⇒ 5 MINUT

- Omówienie uzyskanych wyników. Zebrany w ten sposób materiał pozwala na obliczenie masy Jowisza i generalnie każdego obiektu centralnego, którego obiegają satelity.
- Dane uzyskane z wykresów posłużą do ostatecznych obliczeń na kolejnej lekcji.

PRZEBIEG LEKCJI 3

WSTĘP DO ZAJĘĆ ⇒ 10 MINUT

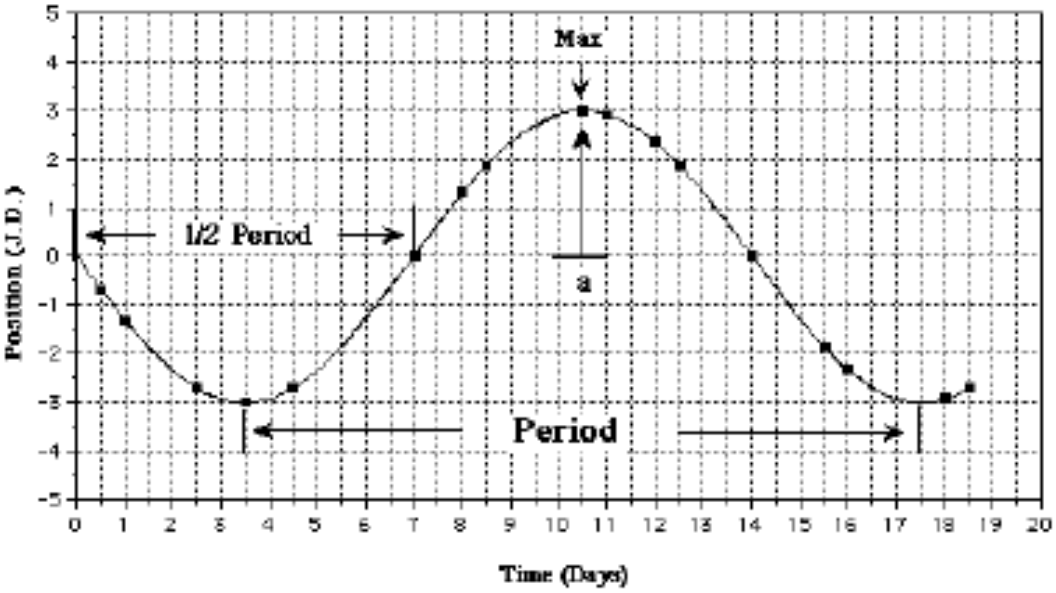
- Omówienie metody wykorzystanej do obliczenia masy Jowisza. Nauczyciel informuje o sposobie obliczenia masy Jowisza z wykorzystaniem prawa ruchu planet Keplera oraz wzorów na siłę grawitacji i siłę dośrodkową.

CZĘŚĆ PRAKTYCZNA ⇒ 30 MINUT

- Przeprowadzenie wraz z uczniami wyprowadzeń wzorów i podstawienie danych uzyskanych na poprzedniej lekcji.
- *Wykorzystanie III prawa Keplera.*

- Chyba najprostszym rachunkowo sposobem wyznaczenia masy Jowisza będzie metoda zasugerowana na stronie internetowej earthsky.org [1]. Korzystać będziemy oczywiście z III prawa Keplera, czyli związku między okresem obiegu T i odległością a, znanego na ogół jako prawo ruchu planet w postaci: a3 / T2 = const. Warto pamiętać o dwóch istotnych komentarzach tak sformułowanego prawa. Po pierwsze, w odniesieniu do planet, możemy – biorąc jako obiekt odniesienia Ziemię i przyjmując dla niej wartości T = 1 rok, a = 1 j.a. – w bardzo prosty sposób określić odległość na podstawie położenia, np. dla a'= 4 j.a. otrzymamy T' = 8 lat (gdyż a'3 = 43 = 64, więc wobec T'2 = 64 określamy T' = 8); podobnie ze znanego okresu obiegu określamy odległość planety, np. wiedząc, że Jowisz obiega Słońce w ciągu 11,86 lat, określimy jego odległość na 5,2 j.a.

- Po drugie, w stałej ukrywa się masa obiektu centralnego, w przypadku planet - Słońca.



Z prostego porównania siły grawitacji do siły dośrodkowej (i podstawienia za prędkość $2\pi a/T$) wynika wzór $M = 4\pi a^3 / GT^2$, gdzie G jest stałą grawitacji. Poprośmy uczniów o

sprawdzenie, jaką wartość otrzymają po podstawieniu danych dla Ziemi w jednostkach układu SI.

- Na podobnej zasadzie, obserwując ruch dowolnego satelity i określając jego odległość, możemy zmierzyć masę planety, np. Ziemi. Co więcej, ponieważ jest to (III prawo Keplera) zależność uniwersalna, możemy obliczając stosunek a^3 / T^2 na podstawie obserwacji dowolnego obiektu, określać ile razy większa bądź mniejsza jest masa obiektu centralnego, jeśli posłużymy się jednostkami najwygodniejszymi w rozważanym układzie odniesienia. Tak np. moglibyśmy wyrażać okres obiegu księżyców Jowisza w latach, a ich odległość – w j.a., by określić masę Jowisza w stosunku do masy Słońca, ale byłoby to niezbyt wygodne. O wiele korzystniej będzie określić okres obiegu T w „miesiącach księżycowych" (tzn. dzieląc przez 27,32 dni) oraz odległość a – w „odległościach księżycowych" (chodzi oczywiście o nasz ziemski Księżyc, więc podzielimy wyznaczoną odległość jowiszowego księżyca przez 384400 km) – wówczas otrzymamy masę Jowisza w stosunku do masy Ziemi. Np. dla Kalisto T = 16,689 dni oraz a = 1882700 km, czyli w „jednostkach księżycowych odpowiednio T = 16,689/27,32 = 0,611 i a = 1882700/384400 = 4,898. Obliczamy a^3 / T^2 w tych jednostkach (czyli określamy masę w stosunku do masy Ziemi):

$$a^3 / T^2 = (4{,}898)^3 / (0{,}611)^2 = 314{,}75$$

- Jeśli nam się uda, z obserwacji każdego z czterech księżyców możemy otrzymać niezależny wynik, a następnie obliczyć wartość średnią.

- Zauważmy (dla sprawdzenia), że obliczając tym samym sposobem dla ruchu Ziemi wokół Słońca

$$T = 365{,}25 / 27{,}32 = 13{,}369$$

i

$$a = 149600000 / 384400 = 389{,}2$$

mamy

$$a^3 / T^2 = (389{,}2)^3 / (13{,}369)^2 = 329853$$

- Jest to liczba określająca stosunek masy Słońca do masy Ziemi - faktycznie, biorąc z tablic masy Słońca i Ziemi: 1,98855 ×1030 / 5,97219×1024 = 332968, co oczywiście w granicach zaokrągleń jest tym samym wynikiem!
- Co jednak istotniejsze, historycznie rzecz biorąc, pierwszy sposób jest bliższy metody oryginalnej – pomiaru na podstawie obserwacji, pierwsi badacze nie mogli przecież odczytać masy Słońca z tablic, bo tablic takich jeszcze nie było!

PODSUMOWANIE ZAJĘĆ ⇒ 5 MINUT

- Zaprezentowana tu metoda ważenia ciał niebieskich na odległość pokazuje potęgę fizyki i matematyki wykorzystaną przez świadomego obserwatora. Co istotne, zastosowany aparat matematyczny nie wykracza poza wiedzę i możliwości ucznia szkoły średniej. To dość proste ćwiczenie daje ogromną satysfakcję młodym badaczom. Zastosowanie symulatora Stellarium pozwala na wykonanie pomiarów w klasie, praktycznie o dowolnej porze i terminie. Jeśli jednak pogoda na to pozwala, warto zebrać materiały do obliczeń samodzielnie za pomocą teleskopu.

UWAGI NAUCZYCIELA PO PRZEPROWADZENIU ZAJĘĆ:

Materiał edukacyjny opracowany
w ramach projektu FUTURE SPACE
(nr umowy: 2019-1-PL01-KA201-065434),
współfinansowany przez Unię Europejską
w programie ERASMUS+

LICENCJA: CC BY-SA 4.0 https://futurespaceproject.eu/