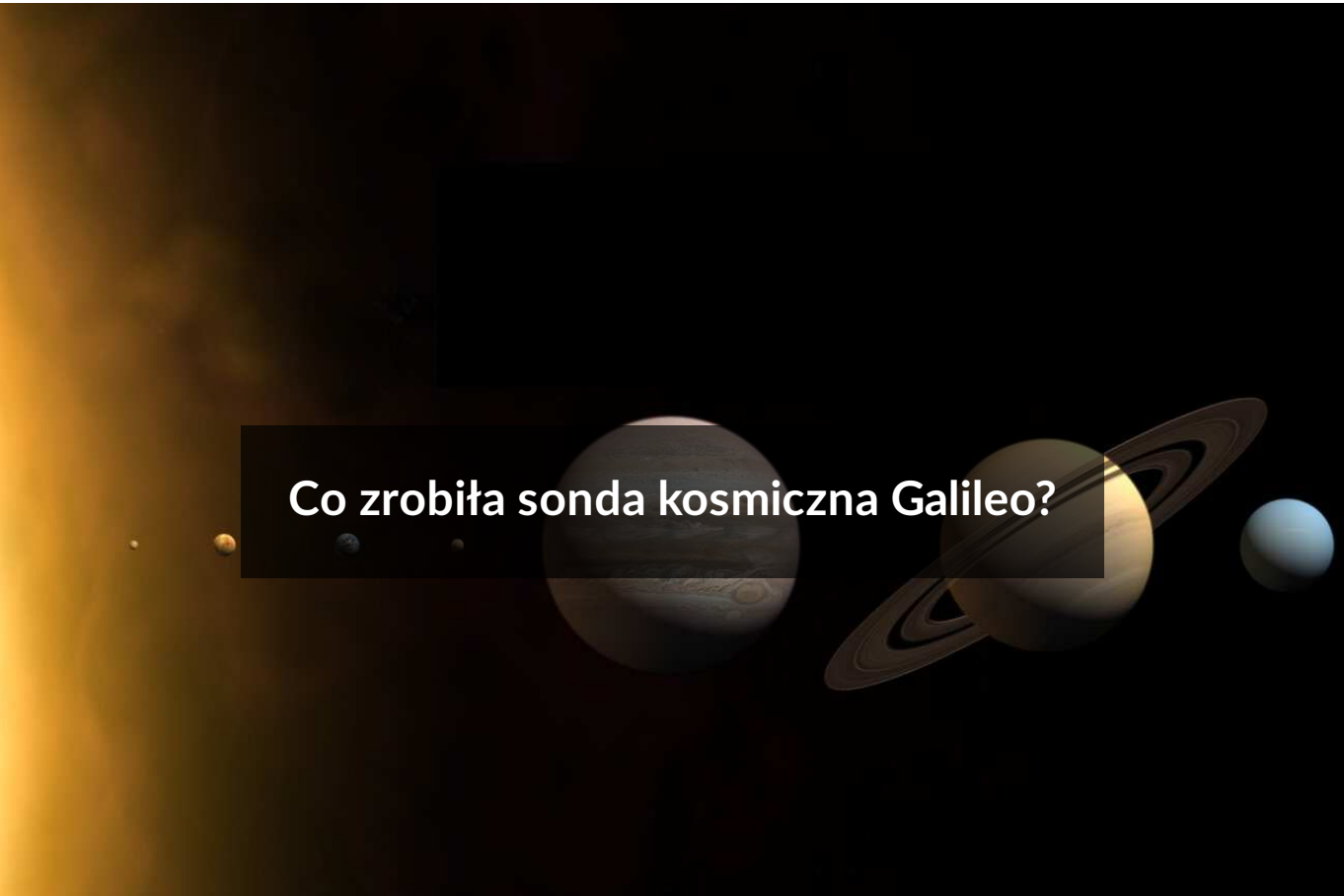


Co zrobiła sonda kosmiczna Galileo?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Gra edukacyjna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Co zrobiła sonda kosmiczna Galileo?

Źródło: dostępny w internecie: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Planets2013-uk.svg> [dostęp 13.05.2022 r.],
licencja: CC BY-SA 4.0.

Czy to nie ciekawe?

Koniec XX wieku obfitował w różnego rodzaju programy badawcze, których celem było budowanie bezzałogowych misji kosmicznych. Dzięki temu dziś sondy wyposażone w specjalistyczne urządzenia pomiarowe przemierzają najbliższy nam Kosmos i badają ciała niebieskie Układu Słonecznego. Jedną z takich misji była udziałem amerykańskiej sondy kosmicznej Galileo. Jej głównym celem było zbadanie Jowisza i księżyców galileuszowych. Czy to się udało? Co sonda kosmiczna w drodze do Jowisza mogła dodatkowo zbadać i sfotografować? Sonda Galileo była pionierem eksploracji dalekich ciał Układu Słonecznego. Co zobaczyła z bliska jako pierwsza w historii? Czy po wielu latach od zakończenia misji kosmicznej dane zebrane przez urządzenia pomiarowe mogą być nadal przydatne?

O tym dowiesz się z tego e-materiału.

Twoje cele

Dzięki temu e-materiałowi:

- dowiesz się, jak długo działała sonda Galileo,
- poznasz główne cele misji kosmicznej Galileo,

- poznasz rezultaty naukowe misji kosmicznej Galileo,
- rozegrasz grę edukacyjną, w której będziesz sterować sondą Galileo.

Przeczytaj

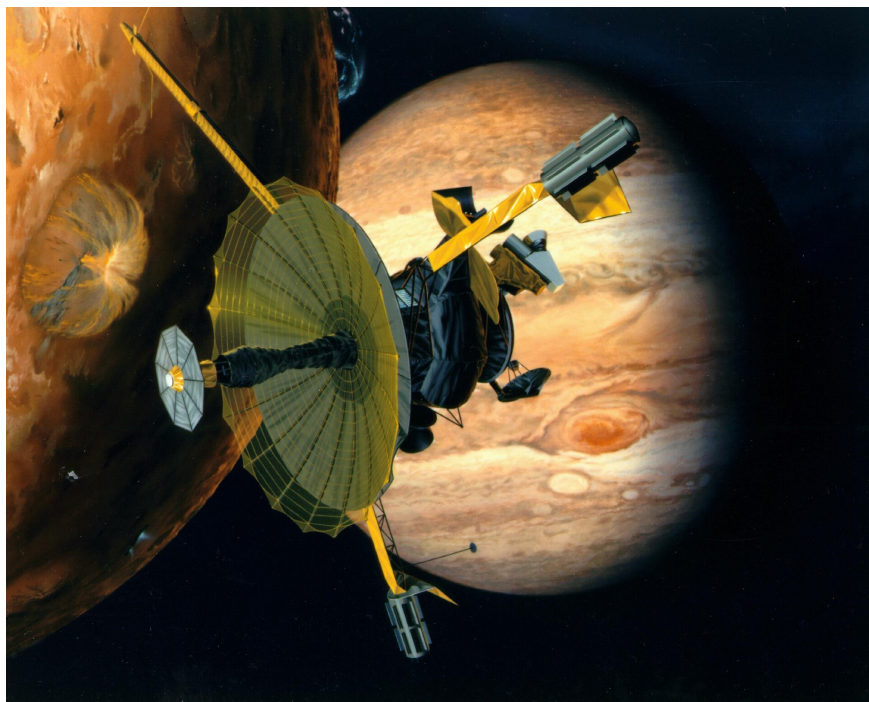
Warto przeczytać

Początki misji kosmicznej Galileo sięgają lat siedemdziesiątych XX wieku. Po udanych przelotach w pobliżu Jowisza sond Pioneer zaczęto planować misję, która dokładnie zbada największą planetę Układu Słonecznego. W roku 1977 Kongres Stanów Zjednoczonych zatwierdził misję składającą się z **orbitera** i **próbnika atmosferycznego**, przyznając fundusze na jej realizację. Rok później misja otrzymała nazwę Galileo. Nazwa ta jest ściśle powiązana z celem misji. W roku 1610 włoski astronom Galileo Galilei (po polsku nazywany Galileuszem), korzystając ze zbudowanego przez siebie pierwszego teleskopu, obserwował Jowisza. To on dzięki temu teleskopowi odkrył cztery największe księżyce Jowisza: Io, Europę, Ganimedesa i Kallisto, które zostały nazwane na jego cześć księżycami galileuszowymi. Ponieważ głównym celem naukowym misji było badanie Jowisza i właśnie księżyców galileuszowych, sonda dostała imię po odkrywcy księżyców.

Początki budowy sondy były bardzo trudne. Zakładano, że sonda musi pracować przez kilka lat, a sam lot bezpośredni do Jowisza to prawie miliard kilometrów. Trudności dotyczyły trzech kwestii:

- odległego lotu, który wymagał dużych zapasów paliwa,
- rozwiązania technicznego, które umożliwiłyby umieszczenie sondy na orbicie Jowisza,
- budowy silnika, który pracowałby, obsługując sondę przez bardzo długi czas.

Zgodnie z pierwszym planem sonda miała zostać wystrzelona już w 1982 roku. Niestety, problemy techniczne przy budowie silnika przesunęły datę startu. Zdecydowano o zmianie projektu silnika na zasilany ciekłym tlenem i ciekłym azotem oraz wyznaczono start misji na rok 1986. Jednak w styczniu 1986 roku doszło do katastrofy wahadłowca Challenger, przez co wstrzymano na dwa lata wszystkie loty wahadłowców wynoszących sondy w przestrzeń kosmiczną. Ponadto stwierdzono, że silnik zasilany ciekłym azotem i tlenem jest zbyt niebezpieczny na transport w luku wahadłowca. Kolejny raz zmieniono projekt silnika i powrócono do zasilanego paliwem stałym. Jednakże tego rodzaju silnik nie pozwalał na bezpośredni lot do Jowisza. Trasa przelotu została zmieniona, tak aby sonda wykorzystując asystę grawitacyjną planet, uzyskała większą prędkość bez strat paliwa.



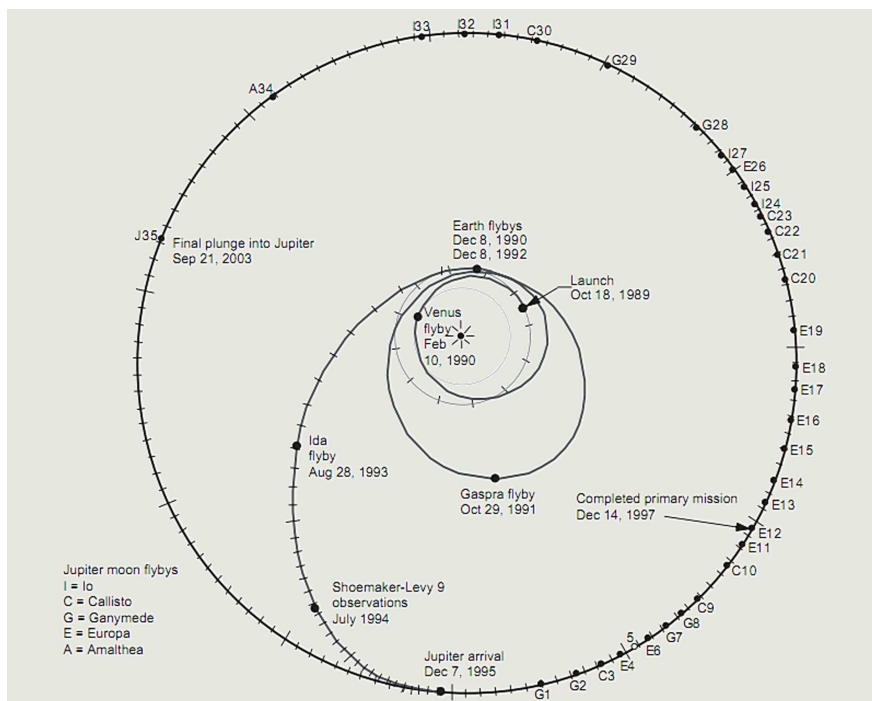
Rys. 1. Artystyczna wizja sondy Galileo obok Io, w tle widać planetę Jowisz

Start sondy Galileo miał miejsce 18 października 1989 roku. Sonda została wyniesiona na orbitę okołozemską przez wahadłowiec Atlantis. Zgodnie z planem, w nocy z 18 na 19 października sonda została wprowadzona na trajektorię ku Wenus.

Przebieg misji:

- luty 1990: przelot obok Wenus (asysta grawitacyjna),
- grudzień 1990: pierwszy przelot obok Ziemi (asysta grawitacyjna),
- październik 1991: pierwszy w historii misji kosmicznych przelot obok planetoidy Gaspara,
- grudzień 1992: drugi przelot obok Ziemi (asysta grawitacyjna),
- sierpień 1993: przelot przy planetoidzie Ida i odkrycie jej małego księżycy o nazwie Daktyl,
- lipiec 1994: obserwacje komety Shoemaker-Levy 9 podczas zderzenia z Jowiszem,
- grudzień 1995: wejście na orbitę wokół Jowisza, zrzucenie próbnika atmosferycznego,
- wrzesień 1996: obserwacje księżycy Europa i odkrycie wody pod jego powierzchnią,
- wrzesień 1997: obserwacje aktywności wulkanicznej na księżycu Io,
- grudzień 2000: spotkanie z sondą kosmiczną Cassini,
- 21 września 2003: spalenie sondy Galileo w atmosferze Jowisza – koniec misji.

Misja trwała 14 lat, w czasie której sonda Galileo przeleciała w sumie 4 631 778 000 km.



Rys. 2. Przebieg misji z zaznaczoną trajektorią lotu oraz punktami zbliżeń (ang. flybys) do poszczególnych ciał niebieskich. W czasie przelotu na orbicie nr 5 oraz E13 nie nastąpiło zbliżenie do żadnego z księżyców. Natomiast w momencie wejścia na pierwszą orbitę wokół Jowisza sonda zbliżyła się do księżycy Io.

Misja początkowo miała zakończyć się już w roku 1997. Jednak, dzięki zapasom paliwa oraz nieuszkodzonym instrumentom badawczym, przedłużono ją. Druga faza miała na celu głównie badanie księżycy Jowisza – Europy. W tym czasie cały czas analizowano atmosferę Jowisza i zjawiska atmosferyczne. Sukces drugiej fazy misji Galileo spowodował, że w 2000 roku rozpoczęto trzecią fazę, nazwaną Galileo Millenium. Pod koniec grudnia 2000 roku, kiedy sonda Galileo znajdowała się w pobliżu przelatującej w stronę Saturna sondy Cassini, przeprowadzono podwójne badania promieniowania. Były to pierwsze w historii wspólne badania planety gazowej dwóch sond kosmicznych. Niestety, w tej fazie sonda Galileo była bardzo narażona na promieniowanie słoneczne, co uszkodziło część urządzeń. Podczas zbliżenia do Amaltei (orbita A34) nie udało się wykonać obserwacji powierzchni tego księżycy. Zmierzono jednak gęstość. Okazało się, że średnia gęstość tego księżycy jest znacznie mniejsza, niż przypuszczano i wynosi około $0,86 \text{ g/cm}^3$.

Decyzję o zakończeniu misji Galileo podjęto z powodu wyczerpujących się zapasów paliwa. Podejrzewano, że po całkowitym wyczerpaniu się paliwa sonda spadnie z ogromną prędkością na powierzchnię księżycy – Europę. Obawiano się, że upadek zmieni warunki panujące na jej powierzchni. Naukowcy NASA skierowali silniki tak, by sonda weszła na orbitę kolizyjną z Jowiszem. Podczas wejścia w atmosferę sonda miała prędkość $48,2 \text{ km/s}$. Prawdopodobnie spaliła się w atmosferze lub jej elementy zostały zgniecione pod wpływem ciśnienia.

Dziesięć najważniejszych osiągnięć naukowych misji kosmicznej Galileo:

1. Próbnik atmosferyczny wypuszczony przez sondę zbadał dokładnie skład atmosfery Jowisza oraz rozkład pierwiastków składowych w zależności od głębokości, na jakiej się

znajdował. Pozwoliło to przeanalizować historię ewolucji Jowisza. Na podstawie tych danych stwierdzono, że planeta częściowo składa się z pierwiastków pochodzących z dalszych regionów Układu Słonecznego. Świadczy to o znaczących zmianach ewolucyjnych Jowisza na przestrzeni 4,6 mld lat od powstania Układu Słonecznego z pierwotnej mgławicy.

- Galileo dokonał pierwszej obserwacji obłoków amoniakalnych w atmosferze planety zewnętrznej. Atmosfera zdaje się tworzyć cząstki lodu amoniakowego z materiału z niższych warstw atmosfery (inaczej mówiąc, na większych głębokościach atmosferycznych), ale tylko w „świeżych” chmurach. Ustalono, że w kolejnych warstwach atmosfery są silne prądy, które powodują napływanie chłodnych i suchych gazów z wyższych warstw.
- Rozległa aktywność wulkaniczna Io może być 100 razy większa niż na Ziemi. Ciepło wewnętrzne i częstotliwość wybuchów przypominają zjawiska fizyczne mające miejsce we wczesnych etapach istnienia Ziemi. Pod powierzchnią Io znajduje się warstwa magmy o grubości przekraczającej 50 km.
- Istnieje złożone połączenie [plazmy](#) pomiędzy Io a Jowiszem. Plazma ta tworzy zamknięty obwód, który przewodzi prąd elektryczny o natężeniu około 5 mln amperów.
- Pomiary potwierdzają teorię, że pod lodową powierzchnią Europy istnieją oceany składające się z płynnej wody. Powierzchnia księżycy jest popękana, a małe fragmenty powierzchni są przesunięte względem siebie – podobnie jak kry na zamrożonym jeziorze.
- Ganimedes jest pierwszym satelitą, o którym wiadomo, że posiada własne dipolowe pole magnetyczne oraz magnetosferę.
- Istnienie indukowanego pola magnetycznego wokół księżyców Europa, Ganimedes i Kallisto sugerują, że księżyce te mają pod powierzchnią warstwę cieczy – słonej wody. Prądy słonej wody napędzają to pole magnetyczne. Takie samo bardzo słabe indukowane pole magnetyczne obserwuje się na Ziemi głównie nad oceanami.
- Nad Europą, Ganimesem i Kallisto istnieje cienka warstwa atmosferyczna znana jako „egzosfera związana z powierzchnią”.
- Układ pierścieniowy Jowisza powstaje z pyłu wyrzucanego podczas zderzeń międzyplanetarnych meteoroidów z czterema małymi wewnętrznymi księżycami planety. Zewnętrzny pierścień to tak naprawdę dwa pierścienie, jeden osadzony z drugim.
- Galileo był pierwszym statkiem kosmicznym, który wystarczająco długo przebywał w magnetosferze gigantycznej planety, by zidentyfikować jej globalną strukturę i zbadać jej dynamikę.

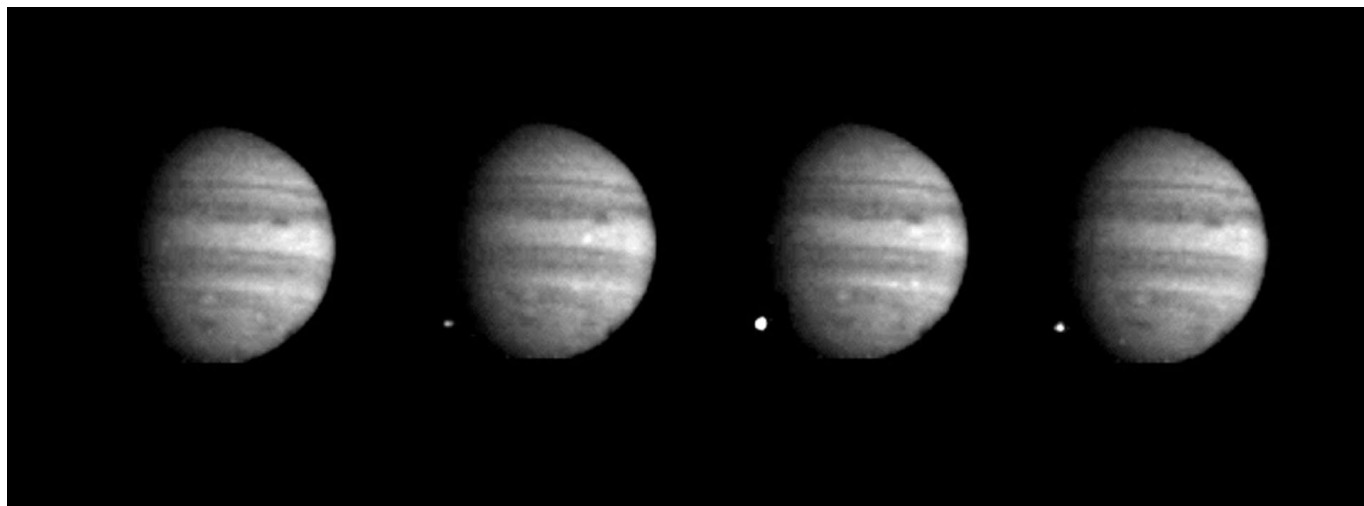
Ponadto Galileo był pierwszą sondą kosmiczną, która:

- wykonała zdjęcia podczas bliskiego przelotu obok planetoid,
- odkryła pierwszy w historii astronomii księżyc planetoidy,

- bezpośrednio obserwowwała i wykonała zdjęcia uderzenia komety w gazową planetę.



Rys. 3. (a) Kompozycja zdjęć wykonanych przez teleskop Hubble'a komety Shoemaker-Levy 9 i Jowisza. Na tarczy planety widać cień rzucany przez księżyc.



Rys. 3. (b) Moment uderzenia jednego z fragmentów komety zarejestrowany przez Galileo.

Sonda Galileo była jedynym narzędziem astronomicznym umożliwiającym bezpośrednie obserwacje uderzenia fragmentów komety Shoemaker-Levy 9 w atmosferę Jowisza. Pierwsze bezpośrednie obserwacje kolizji dwóch ciał w Układzie Słonecznym umożliwiły szersze badania. Uderzenie było tak silne, że wewnętrzne warstwy atmosfery zostały wypiętrzone na zewnątrz. To umożliwiło analizę składu chemicznego głębszych warstw atmosfery Jowisza. Dzięki badaniom próbnika atmosferycznego wiadomo, że takie zderzenia nie mają wpływu na skład chemiczny Jowisza.

Misja kosmiczna Galileo była przełomową misją w rozwoju kosmicznej technologii umożliwiającej eksplorację kosmosu. Jako jedna z nielicznych sond kosmicznych dokonała w ciągu 14 lat trwania misji badań na bardzo szeroką skalę. Sonda Galileo podczas przelotów obok Ziemi dokonywała badań mających na celu sprawdzenie, czy na danej planecie istnieje

życie. Obecnie metody te wykorzystywane są powszechnie w celu poszukiwania życia poza Układem Słonecznym.

Zarówno czas trwania misji, jak i osiągnięcia były spektakularne jak na tamte czasy. W 2018 roku, po ponad 20 latach od przelotu obok Europy, powrócono do danych zebranych przez Galileo. Naukowcy dzięki najnowszym metodom analizy danych mogli na nowo spojrzeć na dane dostarczone przez sondę Galileo. Skupiono się na pomiarach związanych z księżycem Europą. Połączono pomiary magnetosfery z badaniami składu powierzchni lodowego księżyca. Nowoczesne symulacje 3D potwierdziły istnienie pióropuszy wodnych na Europie. Po kilkunastu latach od zakończenia misji Galileo „pomaga” w najnowszych badaniach mających na celu znalezienie oznak życia lub warunków do życia na innych ciałach niebieskich Układu Słonecznego.

Słowniczek

orbiter

(ang. *orbiter*) - część sondy kosmicznej, która znajduje się na orbicie wokół badanego ciała niebieskiego. Orbiter bada ciało z pozycji orbity oraz przekazuje sygnał od lądownika lub próbnika na Ziemię.

próbnik atmosferyczny

(ang. *probe*) - fragment sondy kosmicznej, który jest zrzucany w atmosferę badanego ciała niebieskiego. Wyposażony jest w system hamujący (zazwyczaj jest to silnik i spadochron), system nadawczy oraz urządzenie dokonujące pomiarów atmosfery.

plazma

(ang. *plasma*) - zjonizowana materia o stanie skupienia przypominającym gaz, którym znaczna część cząstek jest naładowana. We współczesnej fizyce plazmą określa się czwarty stan skupienia.

Gra edukacyjna

Pobaw się i sprawdź swoje wiadomości o sondzie kosmicznej Galileo

Gra edukacyjna, którą masz przed sobą, przypomina wirtualną podróż statkiem kosmicznym. Jako młody kosmonauta przemierzasz przestrzeń kosmiczną naszego Układu Słonecznego. Odpowiadając poprawnie na kolejne pytania przemieszczasz się w dalsze jego zakątki.

W trakcie podróży zdarza się, że statek ulega awarii i jako kosmonauta musisz go naprawić, prawidłowo odpowiadając na pytanie związane z problematyką lotu. W każdej chwili możesz skorzystać z podpowiedzi wciskając guzik „Houston, mamy problem”.

Za każdą poprawną odpowiedź zdobywasz 1 punkt. Jeżeli jednak korzystasz z podpowiedzi przed wybraniem odpowiedzi, zyskujesz 0,5 pkt. Jeżeli raz poprawiasz odpowiedź, dostajesz o 0,25 pkt mniej, lecz po drugiej poprawce przechodzisz do następnego pytania bez dopisania punktów.

Gra składa się z trzech etapów, każdy kolejny jest trudniejszy i dotyczy innych zagadnień:

1. Start i pierwszy etap podróży sondy Galileo.
2. Lot od Ziemi do Jowisza.
3. Badania Jowisza i jego księżyców.



Do następnego etapu możesz przejść tylko wtedy, gdy osiągniesz minimalną, wyświetlaną w komunikacie liczbę punktów. Jeśli masz ich mniej – rozpoczynasz grę od początku.

Życzymy powodzenia i miłego lotu!



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D18C4aYQx>

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



W którym roku wyniesiono w przestrzeń kosmiczną sondę Galileo?

1989

1998

1898

Ćwiczenie 2



Ile trwała misja sondy Galileo?

14 lat

3 lata

7,5 roku

Ćwiczenie 3



Co było głównym celem badawczym misji Galileo?

komety

planetoidy

Jowisz

Wenus

księżycy Jowisza

Ćwiczenie 4



Z jakich części badawczych składała się sonda Galileo?

orbiter

wahadłowiec sterujący

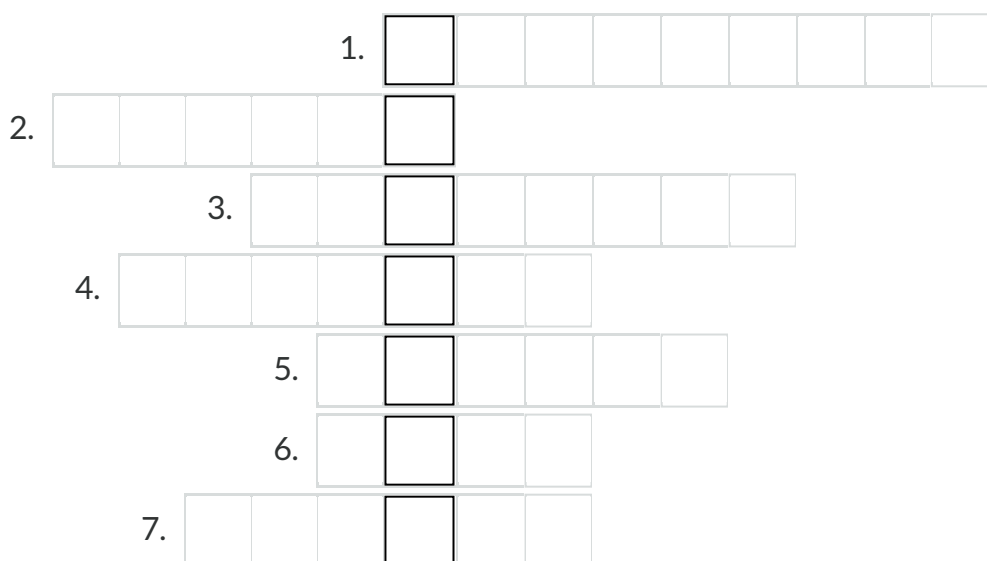
próbnik atmosferyczny

łazik

Ćwiczenie 5

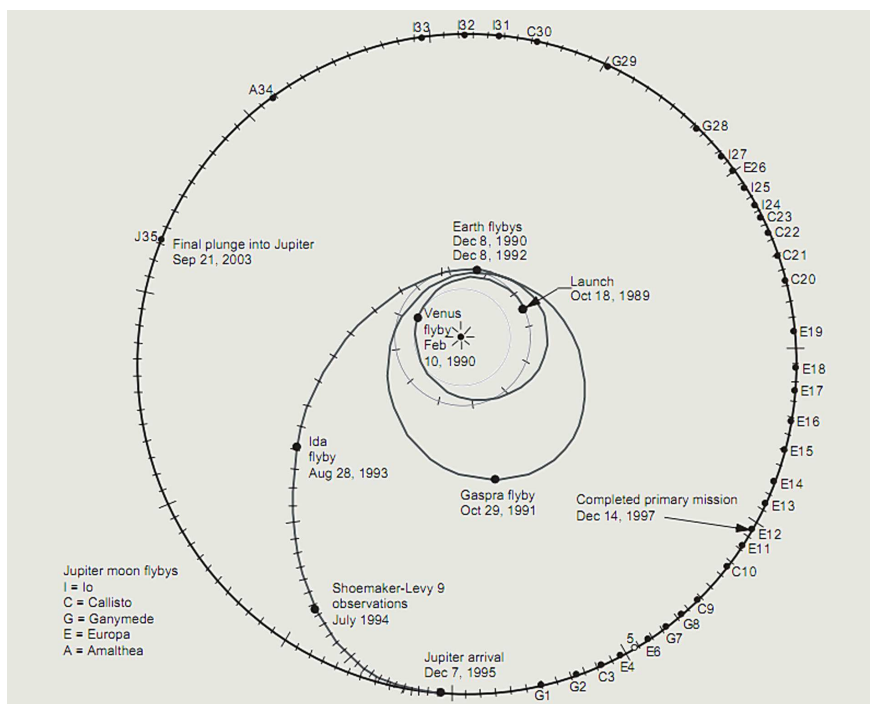


Rozwiąż krzyżówkę.



1. Jest pierwszym satelitą, o którym wiadomo, że posiada własne dipolowe pole magnetyczne oraz magnetosferę.
2. Grawitacyjna - metoda zmiany prędkości i kierunku lotu kosmicznego przy użyciu pola grawitacyjnego dużego ciała niebieskiego.
3. Wahadłowiec, który wyniósł sondę Galileo na orbitę.
4. Sonda współpracująca z sondą Galileo w pobliżu Jowisza.
5. Zjonizowana materia o stanie skupienia przypominającym gaz, w którym znaczna część cząstek jest naładowana.
6. Współodkrywca komety, której zderzenie z Jowiszem obserwował Galileo.
7. Dzięki badaniom sondy Galileo potwierdzono, że pod powierzchnią tego ciała niebieskiego znajduje się wodny ocean.

Ćwiczenie 6



Źródło: dostępny w internecie:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_spacecraft_trajectory_and_key_mission_events.png [dostęp 13.05.2022], domena publiczna.

Korzystając z mapy przelotu sondy Galileo oraz zdobytej wiedzy, przyporządkuj liczby odpowiadające ilości zbliżeń do danego ciała niebieskiego. Niektóre liczby można wykorzystać więcej niż raz. [źr.: NASA]

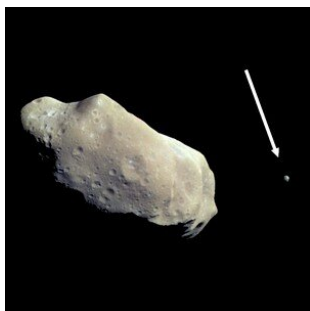
Ziemia	Wenus	Ida	Gaspra	Io	Kallisto
□	□	□	□	□	□

- 1 6 1 11 1 1 7 2 8

Ćwiczenie 7



Dopasuj nazwy do odpowiednich zdjęć.



Wenus

Gaspra

Jowisz

Daktyl

Źródło: 2005 Mattias Malmer, from NASA/JPL data, NASA/JPL, domena publiczna.

Ćwiczenie 8



Oblicz średnią prędkość sondy kosmicznej Galileo. Przyjmij, że 1 rok ma 8766 h. Odpowiedź podaj w km/h, wynik zaokrąglając do wartości całkowitych.

Odpowiedź: $v =$ km/h

Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Monika Sitek
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Co nowego odkryła sonda kosmiczna Galileo?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowej:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>18) przedstawia własnymi słowami główne tezy tekstu popularnonaukowego z dziedziny fizyki lub astronomii.</p> <p>IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:</p> <p>9) opisuje budowę Układu Słonecznego i jego miejsce w Galaktyce.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,• kompetencje cyfrowe,• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. charakteryzuje sondę kosmiczną Galileo, 2. wymienia najważniejsze osiągnięcia misji kosmicznej Galileo, 3. opisuje przebieg misji i trajektorię lotu sondy Galileo.
Strategie nauczania:	Game-based learning
Metody nauczania:	<ul style="list-style-type: none"> - pokaz multimedialny, - analiza pomysłów.
Formy zajęć:	praca w parach
Środki dydaktyczne:	Urządzenia multimedialne umożliwiające uczniom rozgrywki gry edukacyjnej.
Materiały pomocnicze:	E-materiały: „Dlaczego Wenus jest najjaśniejszą planetą?“, „Co wiesz o Ziemi jako planecie?“, „Z czego zbudowany jest Jowisz?“, „Co wiemy o księżycach Jowisza?“.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel pyta uczniów, czy znają postać Galileusza. Jeżeli nie, to w trzech zdaniach przedstawia sylwetkę naukowca, ale jeżeli chociaż jeden z uczniów wie, kim był Galileusz, to ten uczeń udziela odpowiedzi.</p> <p>Nauczyciel wyjaśnia, czym jest sonda kosmiczna, płynnie przechodząc do sondy Galileo. Nauczyciel wprowadza tym samym uczniów w temat lekcji. Nauczyciel pyta uczniów, co chcieliby wiedzieć o sondzie Galileo oraz jakie cele chcieliby osiągnąć na tej lekcji. Cele zostają zapisane na tablicy.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Uczniowie w parach rozgrywają grę edukacyjną z tego e-materiału. Każda para musi zanotować swój wynik i czas przebiegu gry. Nauczyciel tworzy ranking: wygrywa para, która miała najwięcej punktów i najlepszy czas. Nauczyciel kontroluje każdy etap gry i tworzy zestawienie zagadnień, z którymi uczniowie radzili sobie najsłabiej. Można zrobić to zestawienie na podstawie opinii samych uczniów.</p> <p>Nauczyciel przeprowadza krótką pogadankę połączoną z dyskusją na tematy, które najbardziej zaniepokoiły uczniów oraz rozbudowuje wiedzę zdobytą w grze o szczegóły przebiegu misji Galileo. Uczniowie biorą czynny udział w dyskusji, sami stawiają pytania i jeżeli to możliwe wzajemnie sobie na nie odpowiadają.</p>	
Faza podsumowująca:	

Każdy z uczniów zapisuje trzy pytania związane z Galileo i podaje je osobie siedzącej obok. Druga osoba odpowiada na pytania. Następnie kartki przekazywane są do trzeciej osoby. Osoba ta sprawdza czy pytania były jasno sformułowane, a udzielone odpowiedzi były pełne.

Nauczyciel podsumowuje najważniejsze fakty i ciekawostki związane z sondą kosmiczną Galileo w oparciu o pytania, jakie konstruowali uczniowie. Pyta uczniów, czy osiągnęli postawione na początku lekcji cele. Każdy e-materiał o planetach zawiera gry edukacyjne bazujące na pytaniach i odpowiedziach. Nauczyciel może połączyć rozgrywki gry o Galileo z grami edukacyjnymi o Jowiszu i księżycach galileuszowych.

Praca domowa:

Zadania sprawdzające z tego e-materiału w celu utrwalenia wiadomości.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:

Gra edukacyjna może również służyć uczniom do powtórzenia i utrwalenia wiadomości o sondzie Galileo.