

Scenariusz lekcji

Czas trwania: jedna jednostka lekcyjna (45 min)

Przedmiot nauczania: **Fizyka**

Dział programowy: Grawitacja

Temat: Prawa Keplera

Klasa I liceum – zakres rozszerzony

Zgodność z podstawą programową **FIZYKA**

ROZPORZĄDZENIE MEN z dnia 23 grudnia 2008 r. Dz. U. nr 4 2009r., Załącznik nr 4
IV etap edukacyjny – zakres rozszerzony:

1. Treści nauczania – wymagania szczegółowe

Punkt załącznika 4.7 oblicza okres ruchu satelitów bez napędu wokół Ziemi, 4.8 oblicza okres obiegu planet i ich średnie odległości od gwiazdy, z wykorzystaniem III prawa Keplera dla orbit kołowych, 4.9; oblicza masę ciała niebieskiego na podstawie obserwacji ruchu jego satelity.

Cele zajęć:

- ogólne:

I. znajomość i umiejętność wykorzystania pojęć i praw poznanych na lekcji z dynamiki ruchu jednostajnego po okręgu do opisu ruchów planet, przyswojenie przez UU określonego zasobu wiedzy na temat praw Keplera.

II. Analiza tekstów popularnonaukowych i ocena treści: na podstawie fragmentów książki: David L. Goodstein, Judith R. Goodstein, *Zaginiony wykład Feynmana: ruch planet wokół Słońca*, przełożyli Ewa L. Łokas i Bogumił Bieniek, Prószyński i Ska, Warszawa 1997.

III. Przetwarzanie informacji zapisanych w postaci tabel i wykresów;

IV. Budowa modeli matematycznych opisu zjawisk

- operacyjne:

a) zapamiętanie (U. oblicza okres ruchu satelitów bez napędu wokół Ziemi; oblicza okres obiegu planet i ich średnie odległości od gwiazdy, z wykorzystaniem III prawa Keplera dla orbit kołowych; oblicza masę ciała niebieskiego na podstawie obserwacji ruchu jego satelity);

b) rozumienie (umie uzasadnić wzór na prędkość i przyspieszenie w ruchu jednostajnym po okręgu, rozumie różnicę między siłą dośrodkową a odśrodkową) oblicza parametry ruchu jednostajnego po okręgu;

c) stosowanie wiadomości w sytuacjach typowych (wyznaczanie parametrów ruchu)

d) stosowanie wiadomości w sytuacjach problemowych.

- **wychowawcze** (zaangażowanie UU w zdobywanie wiedzy, współdziałanie w grupie, uniwersalność praw przyrody, dokładne wykonywanie obliczeń, staranne sporządzanie wykresów, bezpieczeństwo lotów kosmicznych, duma z osiągnięć polskiej nauki.

Metody nauczania: pogadanka, wykład, ćwiczenia rachunkowe, wspomaganie komputerowe;

Formy pracy: praca indywidualna, w grupach wspomagana przez N.

Pomoce dydaktyczne: komputer, rzutnik multimedialny.

Przebieg lekcji

Faza wstępna:

Sprawy porządkowe

Krótkie omówienie własności elipsy. Przypomnienie wiadomości o ruchu jednostajnym po okręgu, o polu ciężkości, przypomnienie pojęcia momentu pędu, przypomnienie drugiej i trzeciej zasady dynamiki.

.

Ruch po okręgu

Koło o promieniu R ma obwód $2\pi R$. Po okręgu ruchem jednostajnym porusza się niewielki (punktowy) przedmiot. Jeśli okres pełnego obiegu jest T , szybkość przedmiotu w ruchu po kole wynosi

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \omega R$$

Tutaj ω oznacza prędkość kątową obiegu

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Przyspieszenie a w ruchu jednostajnym po okręgu powstaje wskutek zmiany kierunku prędkości ruchu. Wektor prędkości dokonuje (w przestrzeni prędkości) pełny obrót podczas okresu T . Taki sam okres T potrzebny jest przedmiotowi na pełny obrót w przestrzeni położeń. Zatem

$$a = \frac{2\pi v}{T} = \omega v = \omega^2 R = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$$

Przyspieszenie a skierowane jest wzdłuż promienia R , do środka koła.

Siła powszechnego ciążenia

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

Siła z jaką dwa ciała o masach m i M przyciągają się wzajemnie jest wprost proporcjonalna do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu wzajemnej odległości r . Współczynnik proporcjonalności G nosi nazwę stałej grawitacji, $G \approx 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$.

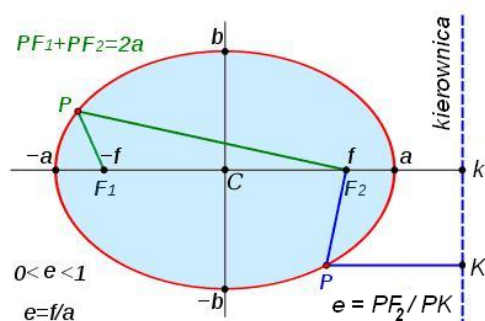
Podanie tematu i omówienie celów lekcji.

Faza realizacji:

N. Jak planety poruszają się wokół Słońca?

N omawia pokrótce własności elipsy.

Elipsa



Rysunek 1 Elipsa i jej własności geometryczne: a , b półosi wielka i mała, e – mimośród, F_1 i F_2 ogniska, $f = CF_1 = CF_2$, $2f = F_1F_2$.

Ważnym pojęciem jest mimośród (ekscentryczność) elipsy

$$e = \frac{f}{a} < 1$$

Ocena mimośrodu orbity Ziemi

Od równonocy wiosennej do równonocy jesiennej upływa 186 dni, a od równonocy jesiennej do równonocy wiosennej tylko 179 dni. To spostrzeżenie wskazuje na to, że mimośród orbity Ziemi nie jest dokładnie równy zero.

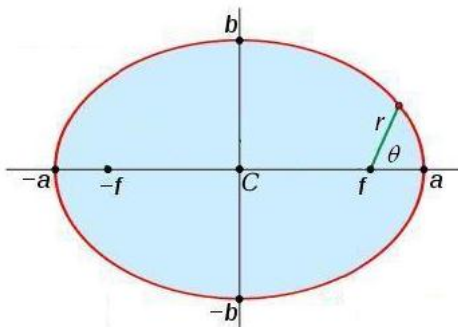
Równik niebieski przecina orbitę Ziemi na dwie części o długościach w proporcji 186 do 179. Mimośród Ziemi jest w przybliżeniu

$$e \approx \frac{\pi \cdot 186 - 179}{4 \cdot 186 + 179} \approx 0,015$$

Mimośrodny planet i innych ciał układu słonecznego

Prawa Keplera dotyczą nie tylko planet, ale i innych ciał układu słonecznego. W przypadku orbity Ziemi, odległość $2f$ między ogniskami stanowi około 1% średnicy orbity, w przypadku Marsa 9%, w przypadku Merkurego ponad 20%.

Ciałami o dużej mimośrodowości okazały się komety i asteroidy, wykryte już po czasach Keplera. Kometa Halleya ma spłaszczoną orbitę eliptyczną: odległość między ogniskami wynosi 97% wielkiej osi orbity. Karłowata planeta Pluton (obecnie formalna nazwa 134340 Pluto) wykryta w roku 1929 ma duży mimośród: 0,246.



Rysunek 2 Równanie elipsy we współrzędnych biegunowych r , θ

Równanie elipsy we współrzędnych biegunowych r , θ , porównaj rys. 2,

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$$

Przy tym tzw. parametr ogniskowy

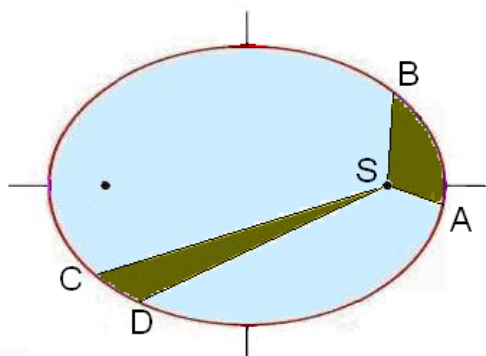
$$p = \frac{b^2}{a}$$

jest wartością promienia r dla kąta $\theta = \pi/2$, tzn. jest długością połowy cięciwy przechodzącej przez jedno z ognisk prostopadle do osi wielkiej.

Dwa pierwsze prawa Keplera

Dwa pierwsze prawa Keplera opisują ruch planety po orbicie wokół Słońca.

1. Orbita każdej z planet jest elipsą; w jednym z dwu ognisk elipsy znajduje się Słońce.
2. Linia łącząca planetę i Słońce (tzw. promień wodzący planety) w jednakowych odstępach czasu zmiata obszary o jednakowej powierzchni.

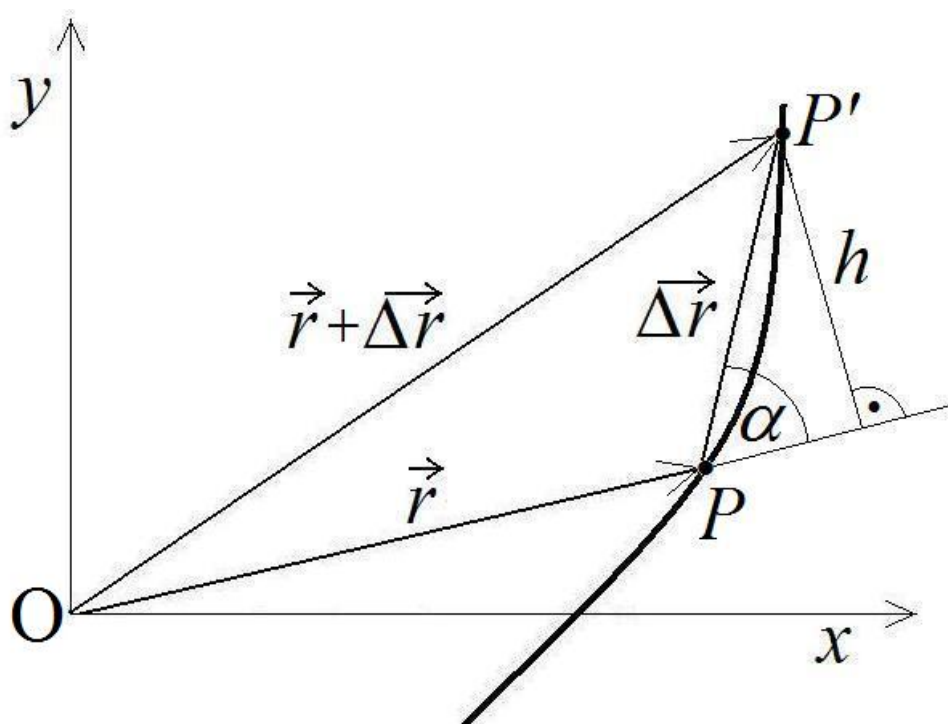


Rysunek 3 Objaśnienie II prawa Keplera. Planeta porusza się szybciej w pobliżu Słońca (S) niż na większych odległościach; w ten sposób obszar zataczany w danym czasie ma zawsze tę samą powierzchnię (powierzchnia krzywoliniowego trójkąta SAB = powierzchni trójkąta SCD). W znaczeniu mechanicznym jest to prawo zachowania momentu pędu: tam gdzie ramię pędu jest większe, tam pęd jest mniejszy.

Ponieważ pierwsze prawo głosi, że planeta porusza się po orbicie eliptycznej, planeta zmienia swą odległość od Słońca. Prędkość liniowa planety w punkcie przysłonecznym, peryhelium jest największa, w punkcie odsłonecznym, aphelium – najmniejsza. Gdy jest bliżej Słońca musi się poruszać szybciej, po to by zamieść promieniem wodzącym obszar o tej samej powierzchni.

Założmy, że planeta potrzebuje pewnego czasu τ na przejście po orbicie od punktu A do punktu B, patrz rys. 3. Linie poprowadzone od Słońca do punktów A i B (to znaczy promienie wodzące) wraz z wycinkiem orbity AB tworzą figurę (krzywoliniowy trójkąt SAB) o pewnym określonej powierzchni P . Promień wodzący planety będzie zakreślał obszar o tej samej powierzchni P w czasie τ na różnych innych odcinkach orbity, niezależnie od tego, gdzie planeta znajduje się na orbicie; może to być np. trójkąt krzywoliniowy SCD.

Prawo zachowania momentu pędu



Rysunek 4 Elementy toru punktu materialnego P , gdy centrum przyciągania grawitacyjnego znajduje się w punkcie O (u nas jest to element toru planety w ruchu około Słońca). Litera P oznacza położenie punktu w chwili czasu t , zaś P' – to położenie tego punktu w chwili $t + \Delta t$.

Można pokazać, że prędkość powierzchniowa jest proporcjonalna do momentu pędu.

Rzeczywiście, prędkość polowa wynosi

$$\dot{S} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{1}{2} r \cdot \Delta r \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} r v \sin \alpha$$

Z drugiej strony wiemy, że moment pędu punktu względem punktu O wynosi

$$L = r m v \sin \alpha = 2 m \dot{S}$$

i jest proporcjonalny do prędkości polowej. Jeśli prędkość polowa jest stała, to moment pędu jest stały.

Tak więc drugie prawo Keplera jest stwierdzeniem o zachowaniu momentu pędu.

Trzecie prawo Keplera w ruchu po okręgu

Przypuśćmy, że orbita planety jest kołowa. Wtedy siła dośrodkowa utrzymująca planetę na orbicie wywołwana jest przez siłę ciążenia powszechnego

$$F = G \frac{mM}{R^2}$$

Mamy zatem

$$ma = G \frac{mM}{R^2}$$

lub

$$m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 R = G \frac{mM}{R^2}$$

Po uproszczeniu

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} R^{3/2} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 = \frac{GM}{R^3}$$

Wzór ten charakteryzuje ruch po orbicie kołowej, gdy siła dośrodkowa jest siłą ciężkości. Wynika z niego, że

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} R^{3/2}$$

Czas potrzebny planecie do obiegu Słońca po orbicie kołowej jest proporcjonalny do promienia orbity podniesionego do potęgi 3/2.

Jeśli mamy ruch dwu planet 1 i 2 po dwu okręgach o promieniach R_1 i R_2 , to zachodzą równania

$$\left(\frac{2\pi}{T_1} \right)^2 = \frac{GM}{R_1^3} \quad \text{oraz} \quad \left(\frac{2\pi}{T_2} \right)^2 = \frac{GM}{R_2^3}$$

Stąd otrzymujemy

$$\left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^3 \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^3$$

Jest to trzecie prawo Keplera wyprowadzone dla ruchu po okręgu.

W przypadku ruchu dwu planet 1 i 2 po dwu elipsach o wielkich osiach a_1 i a_2 prawo to ma postać

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$$

Trzecie prawo Keplera, ogłoszone przez niego w roku 1619 wiąże odległość planety od Słońca z okresem obiegu po orbicie. Trzecie prawo nazywane jest nieraz prawem harmonicznym, ponieważ Kepler uważał, że wyraża ono muzykę sfer.

Trzecie prawo, jak widzieliśmy na przykładzie ruchu po okręgach podaje związek między odległością planet od Słońca a ich okresami obiegu Słońca. Mówi ono, że im są dalej od Słońca tym planety poruszają się wolniej po swoich orbitach.

Podział UU na grupy.

N. rozdaje karty pracy monitoruje pracę UU.

Karta pracy grupy uczniów nr 1

Na podstawie przedstawionej w czasie lekcji tabeli sprawdź słusność III prawa Keplera dla planet: Ziemia i Jowisz. Dla Merkurego $(0,387)^3 = (0,24)^2 = 0,058$.

Karta pracy grupy uczniów nr 2

Oblicz masę Ziemi na podstawie danych o ruchu Księżyca. Przyjmuj dla uproszczenia, że odległość Ziemia – Księżyc wynosi 400 tysięcy kilometrów.

Karta pracy grupy uczniów nr 3

Oblicz odległość od środka Ziemi satelity geostacjonarnego.

Karta pracy grupy uczniów nr 4

1. Obejrzyć, zrozumieć i pokazać innym UU filmik o ruchu planety zewnętrznej (na przykład Marsa) oglądany z Ziemi.
2. Na załączonym rysunku nałożone są trajektorie planety Wenus i Ziemi oglądane z zewnątrz Układu Słonecznego. Objasnij ten rysunek.

Obejrzyć film wydawnictwa MicroStation o orbicie Wenus
Astronomy with MicroStation Orbit of Venus Dance of Planets

https://www.youtube.com/watch?v=_aocKBYyjM0

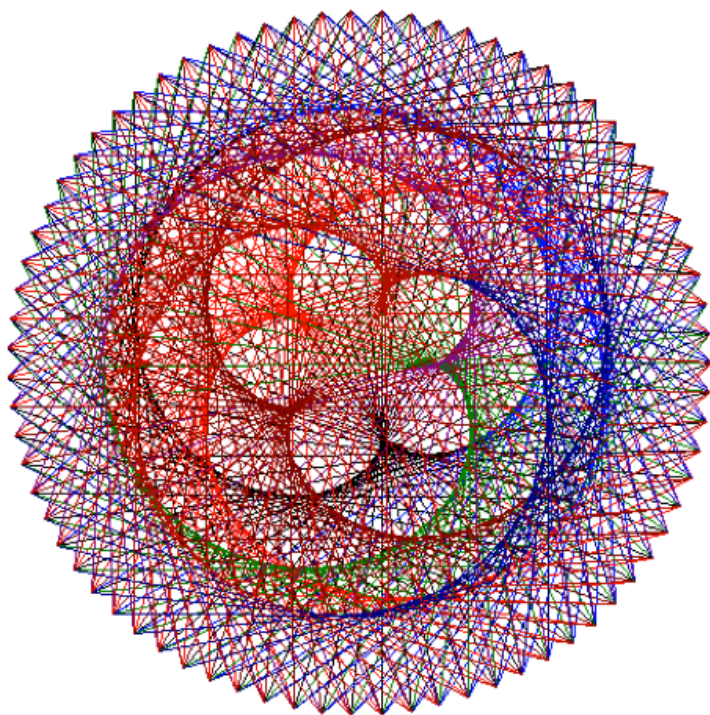
Film pokazuje ruch pojedynczej planet Wenus wokół Słońca. Zastosowano przybliżenie, które daje 13 orbit Wenus w ciągu 8 lat ziemskich. W przybliżeniu takim rok ziemski skrócony został o około 2 godziny i 42 minuty.

Karta pracy grupy uczniów nr 5

Obejrzyj film pt. „Tango Ziemi i Wenus wokół Słońca. Po jego obejrzeniu wyjaśnij załączony rysunek.

Earth Venus Tango round the Sun

<https://www.youtube.com/watch?v=4cgQNUhtmHM>



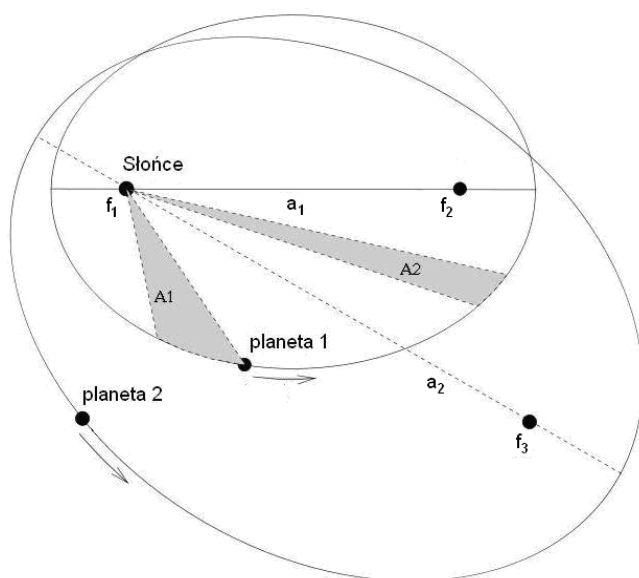
Prezentacja wyników pracy i ich ocena.

Podsumowanie

N. W astronomii prawa Keplera dają przybliżony opis ruchu planet około Słońca. Zebrane razem prawa Keplera są:

1. Orbita każdej z planet jest elipsą; Słońce znajduje się w jednym z dwu ognisk elipsy.
2. Linia łącząca planetę i Słońce (tzw. promień wodzący) zakreśla pola o jednakowej powierzchni w jednakowych odstępach czasu.
3. Kwadrat okresu obiegu planety po orbicie jest proporcjonalny do sześciannu większej osi orbity.

Wyprowadzenie tych praw z prawa ciążenia powszechnego, dla elipsy o dowolnym mimośrodku jest trudniejsze niż dla orbity kołowej i wymaga rachunku wyższego.



Rysunek 5 Przedstawienie trzech praw Keplera na przykładzie dwu orbit planetarnych.

- I. Orbity planet są elipsami, o ogniskach f_1 i f_2 dla orbity pierwszej planety, oraz f_1 i f_3 dla orbity drugiej planety. Słońce znajduje się w ognisku f_1 .
- II. Dwa zacieniowane wycinki A_1 i A_2 mają tę samą powierzchnię, zaś czas potrzebny na to by promień wodzący planety 1 zakreślił wycinek A_1 jest taki sam jak czas potrzebny na to by promień wodzący planety 2 zakreślił wycinek A_2 .
- III. Całkowite orbitalne czasy obiegu planet 1 i 2 mają się do siebie jak $a_1^{3/2} : a_2^{3/2}$.

Zbierzemy teraz w tabeli charakterystyki orbit planetarnych.

Elementy orbit planet Układu Słonecznego

Planeta	Wielka półoś orbity w stosunku wielkiej półosi orbity Ziemi	Mimośród orbity	Okres obiegu planety w latach ziemskich	Średnia prędkość planety na orbicie w km/s
Merkury	0,387	0,2056	0,241	48,89
Wenus	0,723	0,0068	0,615	35,00
Ziemia	1,000	0,0167	1,000	29,77
Mars	1,524	0,0933	1,881	24,22
Jowisz	5,203	0,0484	11,862	13,07
Saturn	9,539	0,0558	29,457	9,65
Uran	19,191	0,0471	84,012	6,80
Neptun	30,071	0,0086	164,782	5,43
Pluton	39,518	0,2468	248,421	4,74

Przypuśćmy dla przykładu, że planeta B jest 4 razy dalej od Słońca niż planeta A, por. rys. 4. Wtedy planeta B musi przebyć po pełnej orbicie odległość 4 razy większą niż planeta A na swojej orbicie. Co więcej okazuje się, że planeta B musi posuwać się po orbicie z prędkością dwa razy mniejszą niż planeta A, po to by być w równowadze ze zmniejszoną siłą dośrodkową. W ten sposób planeta B potrzebuje $4 \times 2 = 8$ razy więcej czasu na wykonanie pełnego obiegu po orbicie niż potrzebuje go planeta A, w zgodzie z trzecim prawem Keplera ($8^2 = 4^3$).

Istotnie, z powyższej tablicy widzimy, że Mars krąży wokół Słońca w odległości około 4 razy większej niż Merkury, natomiast okres obiegu Marsa jest około 8 razy większy od okresu obiegu Merkurego.

N. podaje informację o starcie satelity „Heweliusz”

Zauważmy, że prawa Keplera są prawami kinematycznymi, mówią o ruchu, ale nie mówią o siłach, które ruch wywołują. Dynamikę planet wykrył Izaak Newton i on objaśnił znaczenie fizyczne praw Keplera, dlaczego tak się dzieje.

Praca domowa

Na początku XVII wieku, Jan Kepler wykrył, że orbity wzdłuż których planety poruszają się wokół Słońca są elipsami. Pod koniec tego samego wieku Izaak Newton wyjaśnił, że prawa Keplera wynikają z prawa powszechnego ciążenia.

Porównaj prawa Keplera z układem Kopernika

Prawa Keplera udoskonalają założenia układu Kopernika. Jeżeli mimośród orbity jest zero, prawa Keplera przyjmują postać kopernikańską:

1. Orbita planety jest kołem, ze Słońcem w środku koła.
2. Szybkość planety na orbicie jest stała
3. Kwadrat okresu obiegu (okres gwiazdowy czyli syderyczny) jest proporcjonalny do sześcienu odległości od Słońca.

Poprawki Keplera do modelu kopernikańskiego nie są całkiem oczywiste:

1. Orbita planety nie jest kołem, lecz elipsą. Słońce nie jest w środku, ale w ognisku.
2. Ani szybkość liniowa ani prędkość kątowna nie są na orbicie stałe; stała jest tylko prędkość powierzchniowa.
3. Kwadrat okresu obiegu (okres gwiazdowy) jest proporcjonalny do sześcienu średniej między odległością maksymalną i minimalną od Słońca.

Prawa Keplera opisują w przybliżeniu ruch dowolnych dwu ciał po orbicie jednego wokół drugiego. Stwierdzenie w pierwszym prawie o ognisku jest tym bardziej ściśle im masa jednego z ciał jest mniejsza w porównaniu z masą drugiego.

Również wtedy gdy jest więcej ciał, stwierdzenia praw Keplera są tym bardziej ściśle im mniejsze są masy tych ciał w porównaniu z masą wybranego jednego ciała (masą Słońca w naszym układzie planetarnym). Wtedy można zaniedbać zaburzenia ruchu jednej planety przez ruchy innych planet.

Masy dwu ciał mogą być porównywalne, jak np. gwiazdy podwójne, mogą być w małym stosunku, np. Charon – Pluton ($\sim 1:10$), Księżyc – Ziemia ($\sim 1:100$), lub w bardzo małym stosunku, np. Merkury – Słońce ($\sim 1:10\,000\,000$).

W ogólności, w przypadku ruchu dwu ciał obrót zachodzi wokół środka masy tych ciał; żadne z nich nie ma środka masy dokładnie w jednym z ognisk elipsy. Tym niemniej obie orbity są elipsami o jednym z ognisk w środku masy układu dwu ciał. Im większa jest jedna masa w stosunku do drugiej, tym bardziej położenie środka większej masy zbliża się do środka masy układu.

W przypadku Układu Słonecznego największą masę mają Jowisz i Saturn, odpowiednio ($1/1047$) i ($1/3498$) masy Słońca. W związku z tym środek masy Układu Planetarnego wychodzi nieraz poza obszar Słońca, nawet o całą średnicę Słońca od jego środka. W ten sposób pierwsze prawo Keplera, chociaż zupełnie niezłe jako przybliżenie, nie opisuje ściśle ruchu planet po orbitach.

Kepler odnosił swoje wyniki tylko do Słońca i jego planet, i być może nie zdawał sobie sprawy z ich znacznie szerszego znaczenia.

W czasach Keplera jego prawa były radykalnym wyzwaniem rzuconym nauce, wtedy gdy przeważał jeszcze starożytny pogląd o kołowych orbitach planet. Jednocześnie obserwacje Keplera pogłębiały pogląd Kopernika. Okrąg jest szczególnym przypadkiem elipsy, o zerowym mimośrodku. Orbity większości planet mają niskie wartości mimośrodu, co stanowi wytłumaczenie dla tak długo panującego przesądu.

Jakie jest znaczenie odkryć Keplera dla fizyki?

Prawa Keplera, jak to później, w 60 lat po ich podaniu pokazał Newton, stanowią klucz do zrozumienia Wszechświata. To na ich podstawie zostało wykryte prawo powszechnego ciążenia.

Prawie 300 lat później, w roku 1909 Hans Geiger i Ernest Marsden kierując się sugestią Ernesta Rutherforda odkryli, że dodatnio naładowane cząstki alfa (jądra atomu helu) rozpraszają się na folii ze złota znacznie silniej do tyłu niż przewidywano. Rutherford wywnioskował, że silne zawrócenie biegu cząstek wskazuje na to, że atom jest prawie pusty i że ładunek dodatni atomów złota skupiony jest w obszarze niewielkim wobec rozmiarów atomu. Tak wykryto jądro atomowe. Wystarczyło zamiast pola grawitacyjnego podstawić pole elektryczne, i zamiast mas planet ładunki jąder, jak to jest w analogii prawo powszechnego ciążenia Newtona – prawo elektryczne Coulomba. Następnie, obraz ten przyjął Niels Bohr, który w roku 1913 dokonał kwantowej modyfikacji modelu Rutherforda i z powodzeniem objaśnił formułę Rydberga częstości emisyjnych linii widmowych atomu wodoru.

Przeczytajcie książkę: D. Goodstein, J. Goodstein, *Zaginiony wykład Feynmana : ruch planet wokół Słońca*

Noty biograficzne

Po sprawdzeniu, że rzeczywiście orbita Marsa jest elipsą, Kepler natychmiast rozszerzył swoje spostrzeżenie: wszystkie planety poruszają się po elipsach, ze Słońcem w jednym z ich ognisk. Jest to pierwsze prawo Keplera. Wyniki swoje ogłosił Kepler dopiero po 4 latach, w 1609 roku w dziele *Astronomia nova*.

W 10 lat po ogłoszeniu pierwszego i drugiego prawa elips, w roku 1619 Kepler opublikował kolejne dzieło: *Harmonices mundi (Harmoniki świata)*, w którym ogłosił nowe prawo, znane dziś jako trzecie prawo Keplera.



Tycho Brahe i Jan Kepler



Tycho Brahe i Jan Kepler na pomniku w Pradze.

Lektura uzupełniająca:

David L. Goodstein, Judith R. Goodstein, *Zaginiony wykład Feynmana : ruch planet wokół Słońca*, przełożyli Ewa L. Łokas i Bogumił Bieniek, Prószyński i Ska, Warszawa 1997

● [Informacja o starcie satelity BRITE-PL "Heweliusz"](#)

● Dnia **19 sierpnia 2014 roku**, planowo o godz. 3:15:00 czasu UTC czyli o 5:15:00 czasu polskiego (środkowoeuropejskiego CET) chińska rakiet Long March-4B wyniosła na orbitę okołozemską drugiego satelitę naukowego BRITE-PL **"Heweliusz"**. Rakiet Long March-4B została wystrzelona z kosmodromu Taiyuan Satellite Launch Center, 600 km na południowy zachód od stolicy Chin.

● Satelita **"Heweliusz"** dołączył do znajdującej się na orbicie konstelacji satelitów astronomicznych BRITE, złożonej z dwóch satelitów austriackich: "TUGSAT-1" i "UniBRITE", jednego satelity kanadyjskiego "Toronto" i polskiego satelity naukowego **"Lem"**. Na zdjęciu obok widoczne są osłony zdjęte 3 godziny przed startem z anten odbiorczych "Heweliusza".

● Teleskopy satelitów konstelacji BRITE mają aperturę 30 mm i uznawane są za najmniejsze naukowe teleskopy na orbicie okołozemskiej. **"Heweliusz"** różni się od pozostałych satelitów konstelacji BRITE kilkoma istotnymi szczegółami: zaprojektowanym w CBK teleskopem oraz eksperymentalnym ładunkiem technologicznym, złożonym z urządzeń, które konstruktorzy CBK zaprojektowali z myślą o przyszłych misjach kosmicznych. Są to m.in. mały wysięgnik antenowy oraz mechanizm służący do zabezpieczania i zwalniania podsystemów satelitarnych.

● Na "Heweliuszu" zainstalowano także osłonę przeciwpromienną ochraniającą światłoczułą matrycę teleskopu przed szkodliwym promieniowaniem kosmicznym. Osłonę zaprojektowano przy współpracy z naukowcami z Politechniki Gliwickiej, Narodowego Centrum Badan Jądrowych w Świerku oraz Instytutu Fizyki Jądrowej z Krakowa. Radioamatorzy na całym świecie będą mogli śledzić "Heweliusza" na orbicie, dzięki sygnałowi identyfikującemu nadawanemu przez satelitę na częstotliwości radioamatorskiej i przekazywanemu za pomocą dedykowanego nadajnika radiowego.

Uzupełniania historyczne (dla nauczyciela)

Jan Kepler (Johannes Kepler, 27 grudnia 1571 – 15 listopada 1630) był umysłem wszechstronnym. Już od młodości próbował znaleźć klucz geometryczny do budowy Wszechświata. Teoria muzyki, w której ciągi dźwięków opisywane są przez ciągi liczb była dla niego zachętą. W traktacie *O sześciu rogach płatków śniegu* (*De nive sexangula*) (1611) jako pierwszy rozważał symetrie kryształów lodu. Odkrył geometrie upakowania kul: upakowanie gęste, sześciokątne i sześciennie. Dziś wiadomo, że zasada upakowania jest podstawą krystalografii. Badał także symetrie wzrostu roślin.

Od 1599 roku w miejscowości Benátky nad Jizerou (nieдалeko Pragi) astronom i matematyk cesarski, znany z ekstrawagancji, Tycho Brahe (14 grudnia 1546 – 24 października 1601), korzystając z opieki cesarza Rudolfa II i pomocy finansowej wielkich panów Cesarstwa budował nowe obserwatorium astronomiczne. Już wcześniej, w roku 1576, Tycho Brahe zbudował obserwatorium Uraniborg na duńskiej wyspie Hven. Tam napisał poemat łaciński poświęcony wielkości Mikołaja Kopernika: *Męża takiego nie wydała Ziemia na której zawiść zabija wszystko co najlepsze, gwiazdy przyniosły go w darze w tysięcznym obrocie obrotów...* Podobnie jak wcześniej czynił to Kopernik, Tycho wszystkie instrumenty do obserwacji nieba wykonywał sam. Sam też drukował wszystkie swoje książki. Współcześni słusznie uważali, że pomiary Tychona są najbardziej dokładne w historii astronomii. Właśnie w Benátkach, dnia 4 lutego 1600 roku Kepler odwiedził Tychona. Sławny astronom zaciekawiony był ideami matematycznymi Keplera i po rozmowie zatrudnił go jako swojego asystenta.

W ramach obowiązków Kepler miał analizować przeprowadzone przez Tychona obserwacje ruchu Ziemi i Marsa wokół Słońca. W roku 1601 Tycho Brahe nagle zaniemógł i w wieku 55 lat zmarł po tajemniczej chorobie. Jego ostatnie, wypowiedziane w gorączce słowa brzmiały: *Möge ich nicht vergebens gelebt haben* (*Obym nie żył na próżno*). Po śmierci Tychona Kepler zdołał uzyskać nominację na matematyka cesarskiego. W końcu 1602 roku Kepler opisał szybkość ruchu planet wokół Słońca za pomocą geometrycznej proporcji: planety zamiatają jednakowe obszary w jednakowych czasach. Spostrzeżenie to znane jest dziś jako drugie prawo Keplera.

Na początku 1605 roku, po prawie 40 różnych próbach Kepler wpadł na myśl, że badana przez niego orbita Marsa jest elipsą (myśl tę odrzucał wcześniej jako zbyt prostą).

Swoje nieudane próby odgadnięcia trajektorii Marsa Kepler ujął cytatem z III Eklogi Wirgiliusza:

Malo me Galatea petit, lasciva puella,
et fugit ad salices et se cupit ante videri.

Jabłkiem we mnie dziś Galatea rzuciła swawolna
W gaj wierzbowy ucieka, a pragnie bym dojrzał ją przedtem.

Publius Vergilius Maro, Bukoliki Ekloga III, 64-65

Przekł. Zofia Abramowiczówna, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław,
1953

Widać, że znane później jabłko Newtona, jest naprawdę jabłkiem swawolnej
Galatei, i ma stary wirgiliański rodowód.