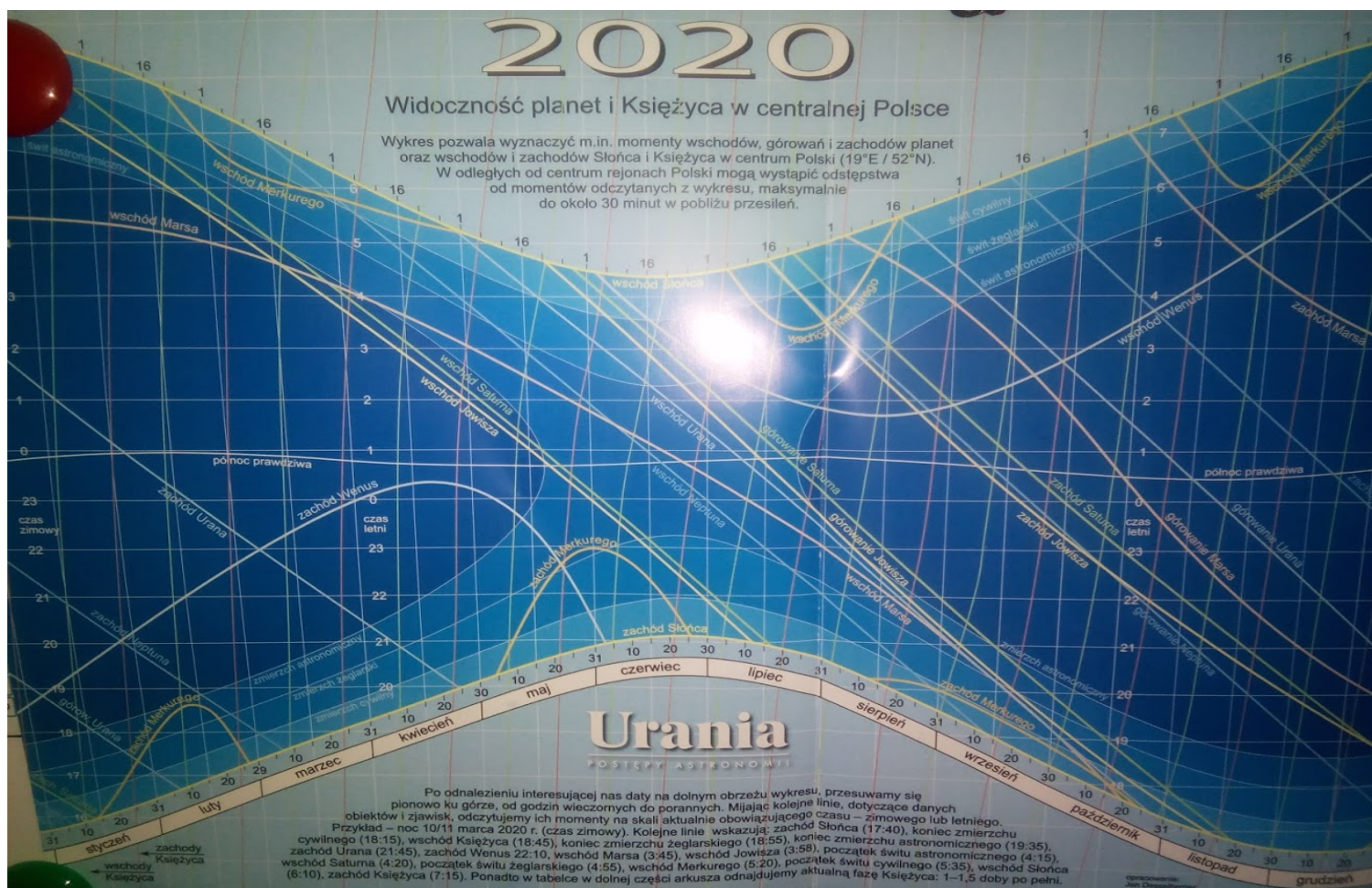


Ruchy i widoczność planet

- **Zmieniają położenie na niebie**

Tzw. gwiazdy błędzące w Starożytności. W różnych miesiącach wschodzą, zachodzą, górują w innym czasie nocy. Obecnie np. dobrze Widać Wenus bliską opozycji, ale nie Marsa czy Merkurego.



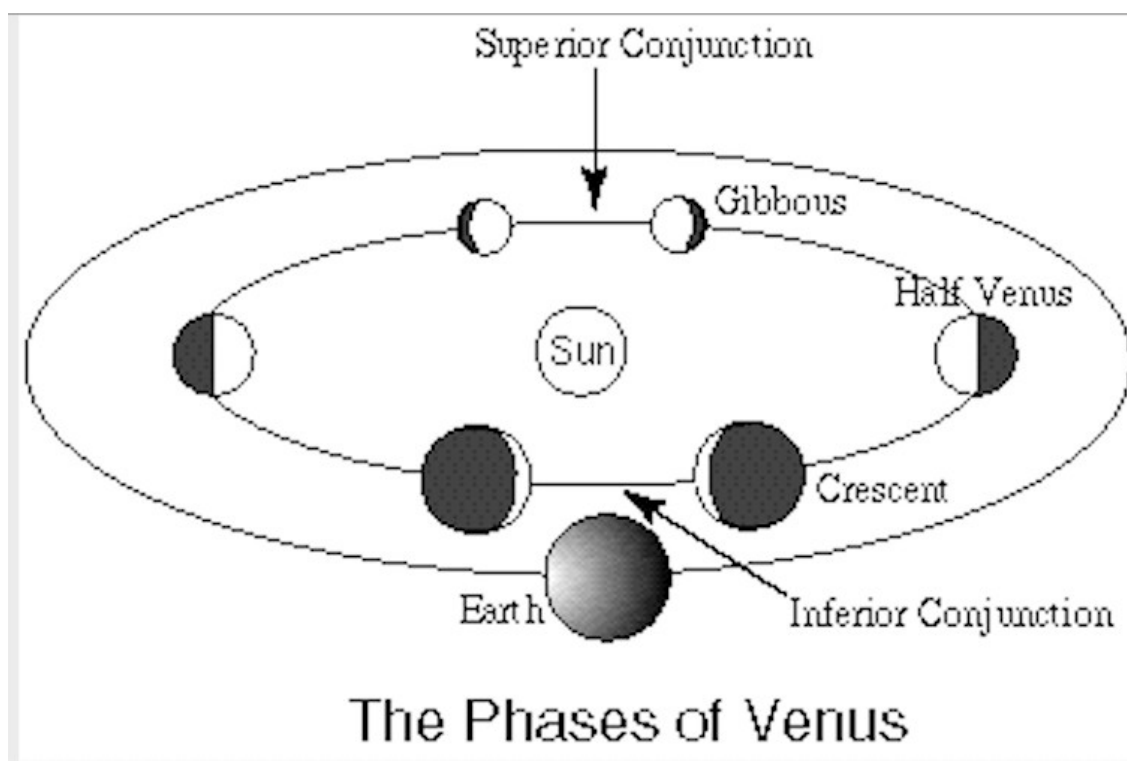
After a close encounter with the moon on Sunday (April 26), Venus will be at its greatest brightness of the year on Tuesday (April 28).

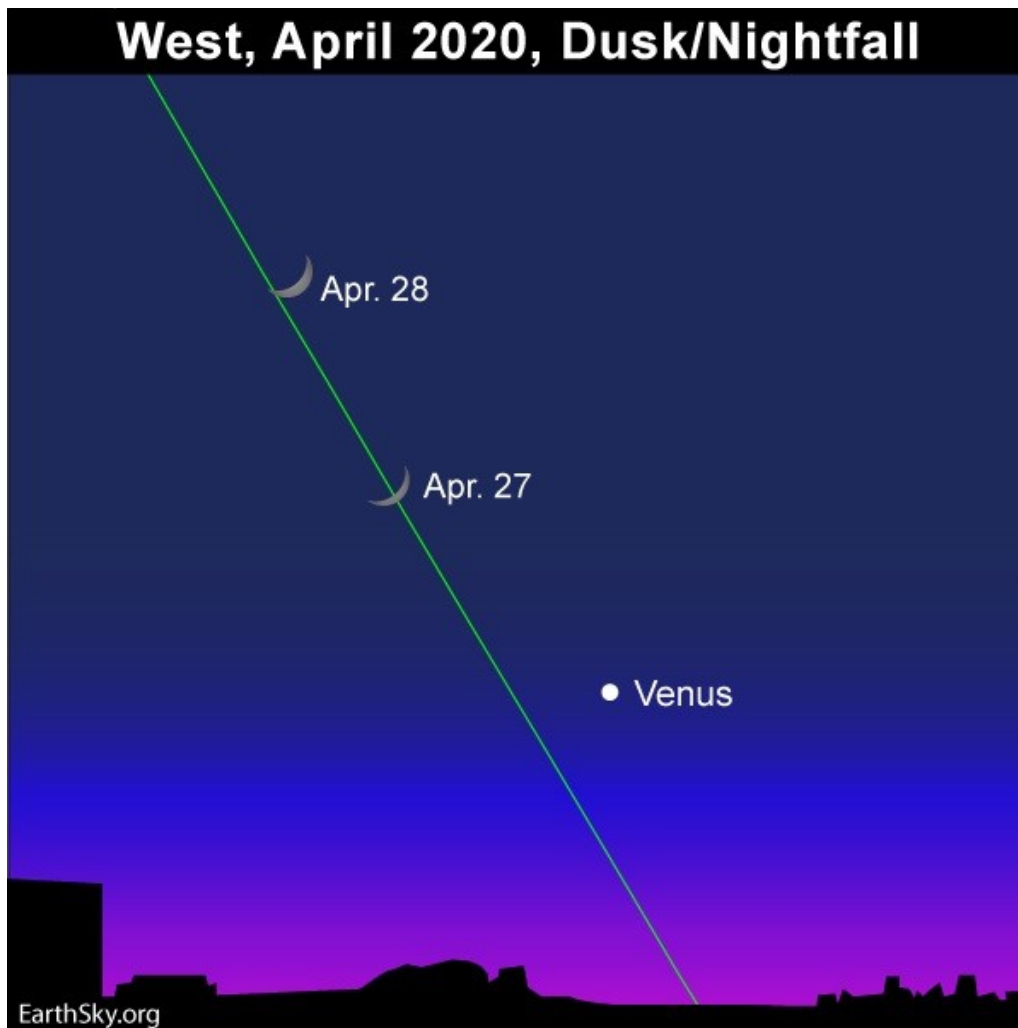
      [Comments \(0\)](#)



You can see Venus and the moon in the "horns" of Taurus, the bull, on April 26, 2020. (Image credit: [SkySafari app](#))

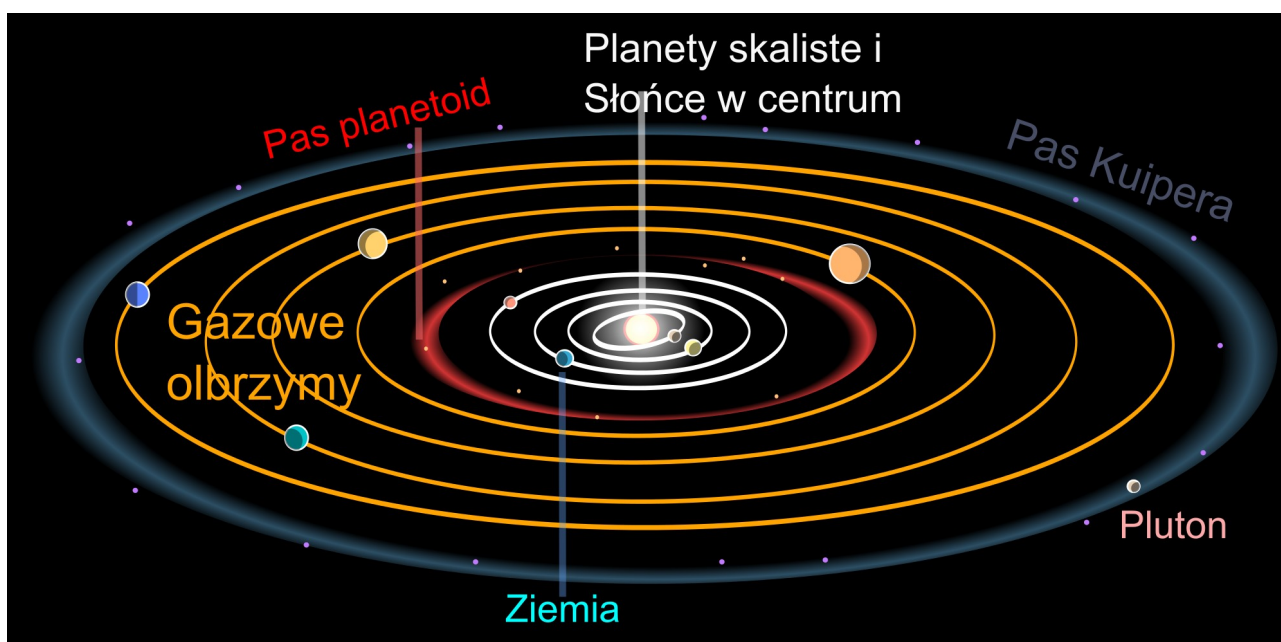
<https://www.space.com/bright-venus-moon-conjunction-april-2020.html>



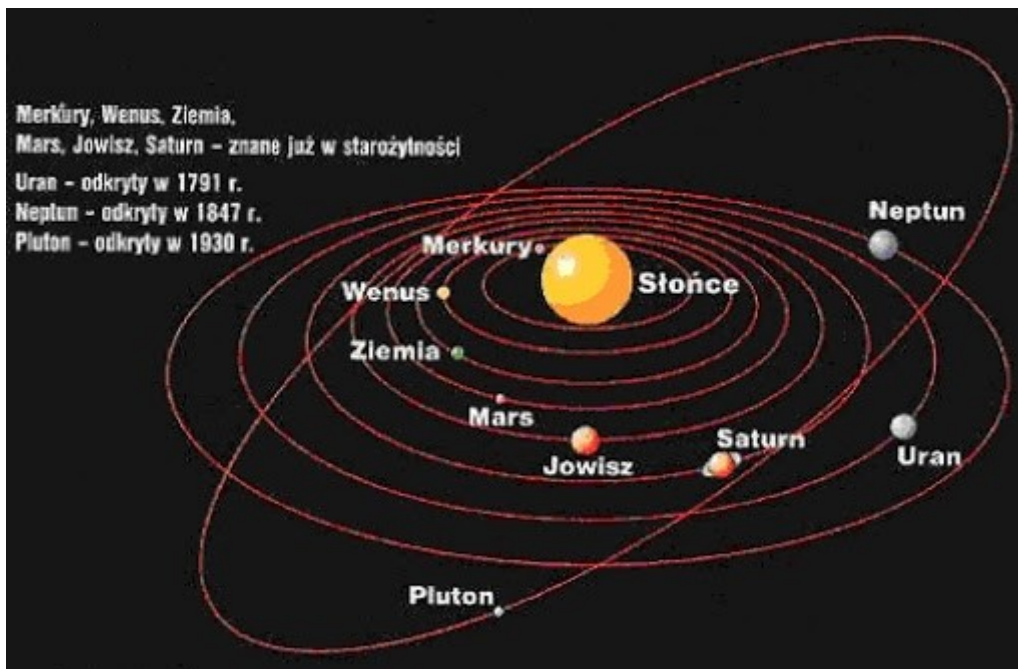


<https://earthsky.org/?p=327496>

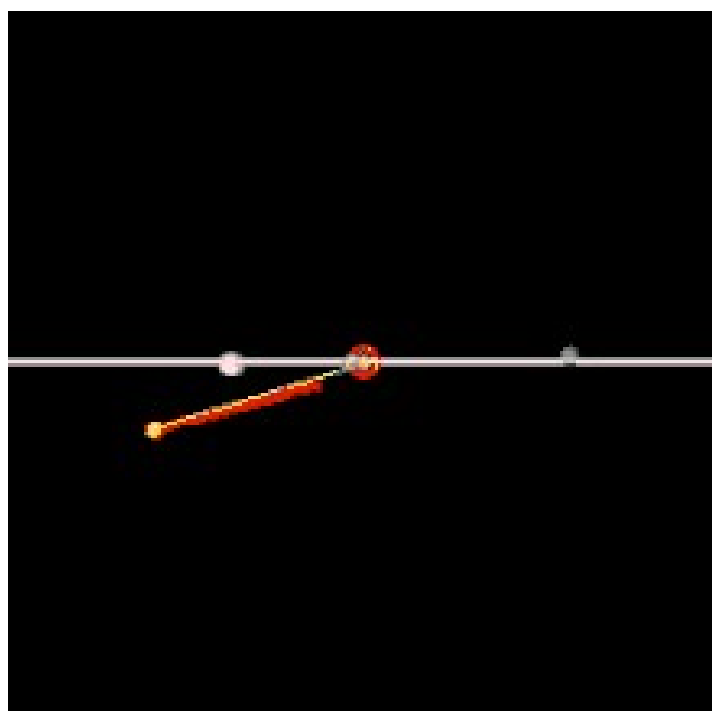
- **Są zawsze w pobliżu ekliptyki!** (bo są zawsze blisko Słońca)



- Z czego wynika, że planety naszego Układu Słonecznego za wyjątkiem Plutona poruszają się w uproszczeniu po orbitach leżących z niewielkimi odchyleniami w jednej płaszczyźnie?-Obłok materii z której powstał Układ Słoneczny był spłaszczony wskutek wirowania wokół środka masy. Dlatego planety powstałe z niego także zachowały w przybliżeniu ruch materii, z której powstały.



Średnia odległość Plutona od Słońca wynosi 39,5 au ($5,9 \times 10^9$ km), jednak silnie ekscentryczna orbita o mimośrodku 0,2488 sprawia, że podczas największego zbliżenia znajduje się on w odległości 29,7 au od gwiazdy, czyli bliżej niż Neptun. Wynikać może stąd przekonanie, że orbity Neptuna i Plutona przecinają się. Jednak jest ono błędne, jako że opiera się na wyobrażeniu ruchu tych ciał w jednej płaszczyźnie. W rzeczywistości orbita Plutona jest nachylona 17° do ekliptyki.

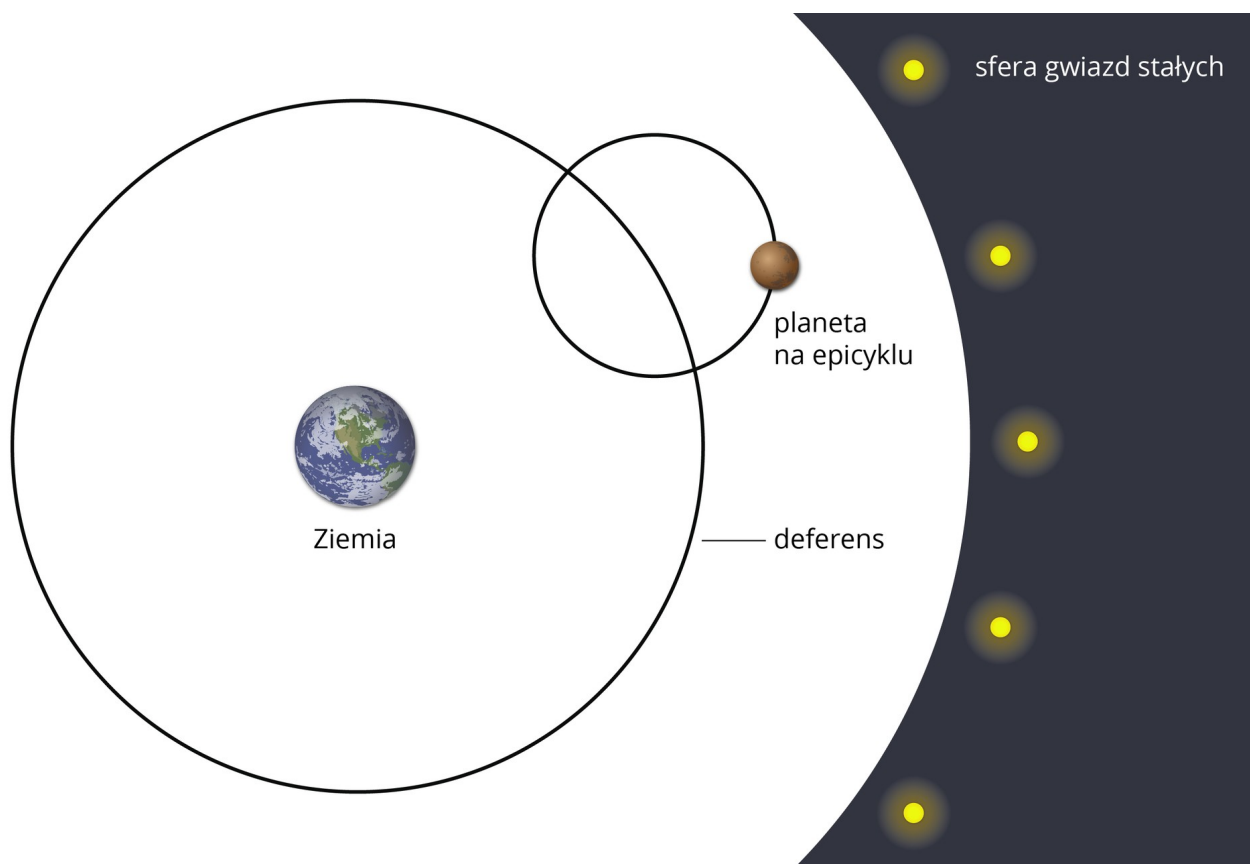


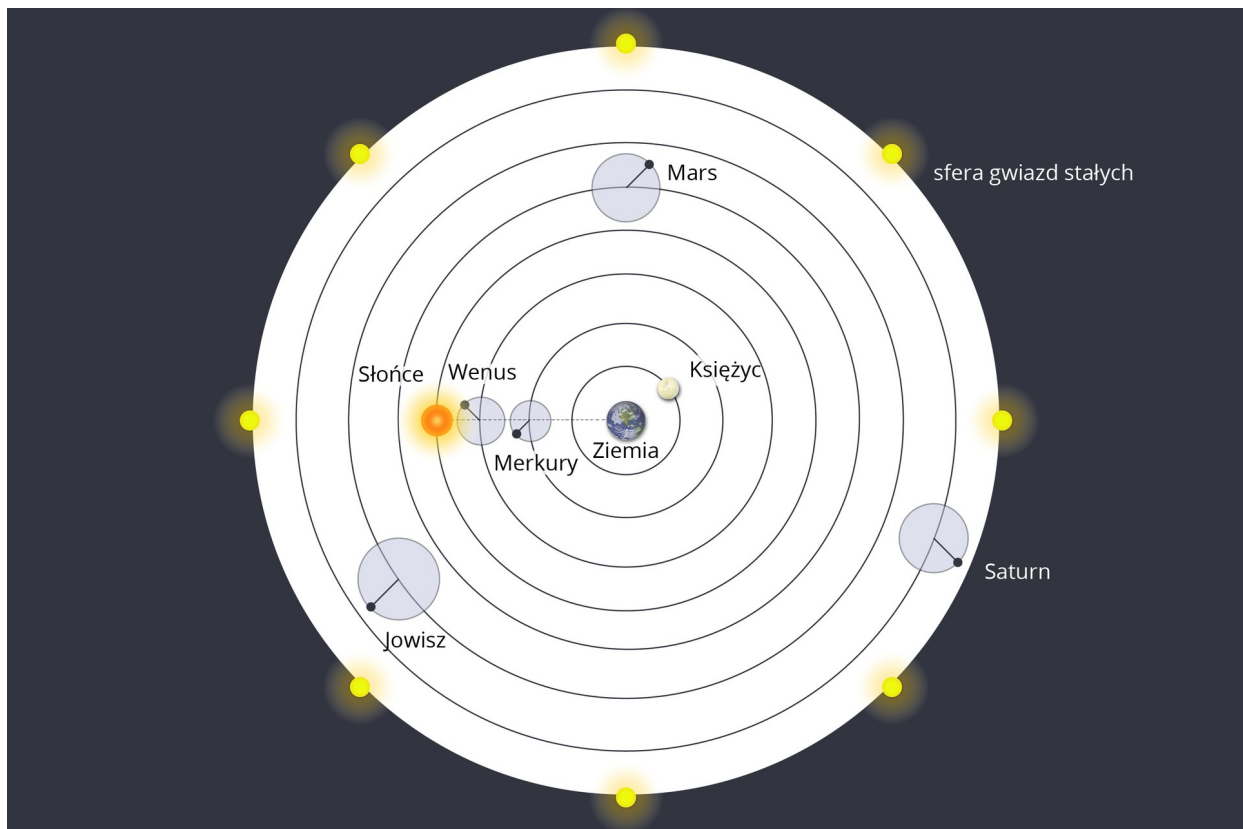
[https://pl.wikipedia.org/wiki/\(134340\)_Pluton#/media/Plik:Plutoorbit1.5sideview.gif](https://pl.wikipedia.org/wiki/(134340)_Pluton#/media/Plik:Plutoorbit1.5sideview.gif)

- **Poruszają się ruchem prostym i wstecznym (retrogradacja)**

Retrogradacja (z łac. *retro* 'wstecz', *gradatio* 'stopniowanie' od *gradus* 'stopień') – ruch ciała niebieskiego, które pozornie obraca się lub porusza po orbicie w kierunku przeciwnym, niż większość ciał w danym układzie orbitalnym. W Układzie Słonecznym ruch wsteczny ma kierunek przeciwny względem ruchu Ziemi wokół Słońca. Ruch wsteczny można zaobserwować śledząc zmiany położenia na niebie jasnych planet zewnętrznych – Marsa, Jowisza lub Saturna w ciągu kilku miesięcy przed i po opozycji. Notując ich położenia względem okolicznych gwiazd można zauważyć, że zakreślają one charakterystyczne pętle na niebie nałożone na ich średni ruch. Ruch wsteczny wykazują również planety wewnętrzne – Merkury i Wenus, lecz w tym czasie znajdują się na niebie w pobliżu Słońca i ich obserwacja jest utrudniona.

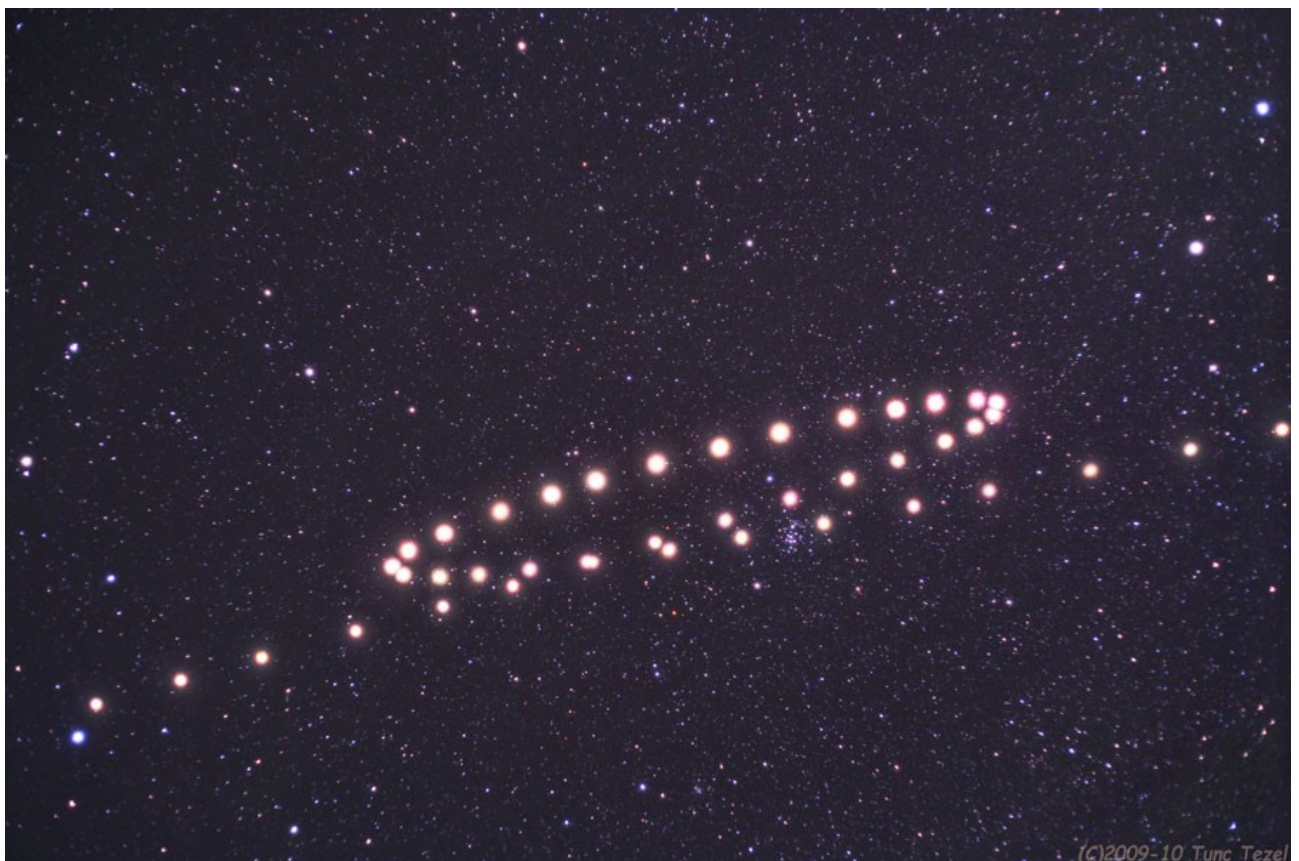
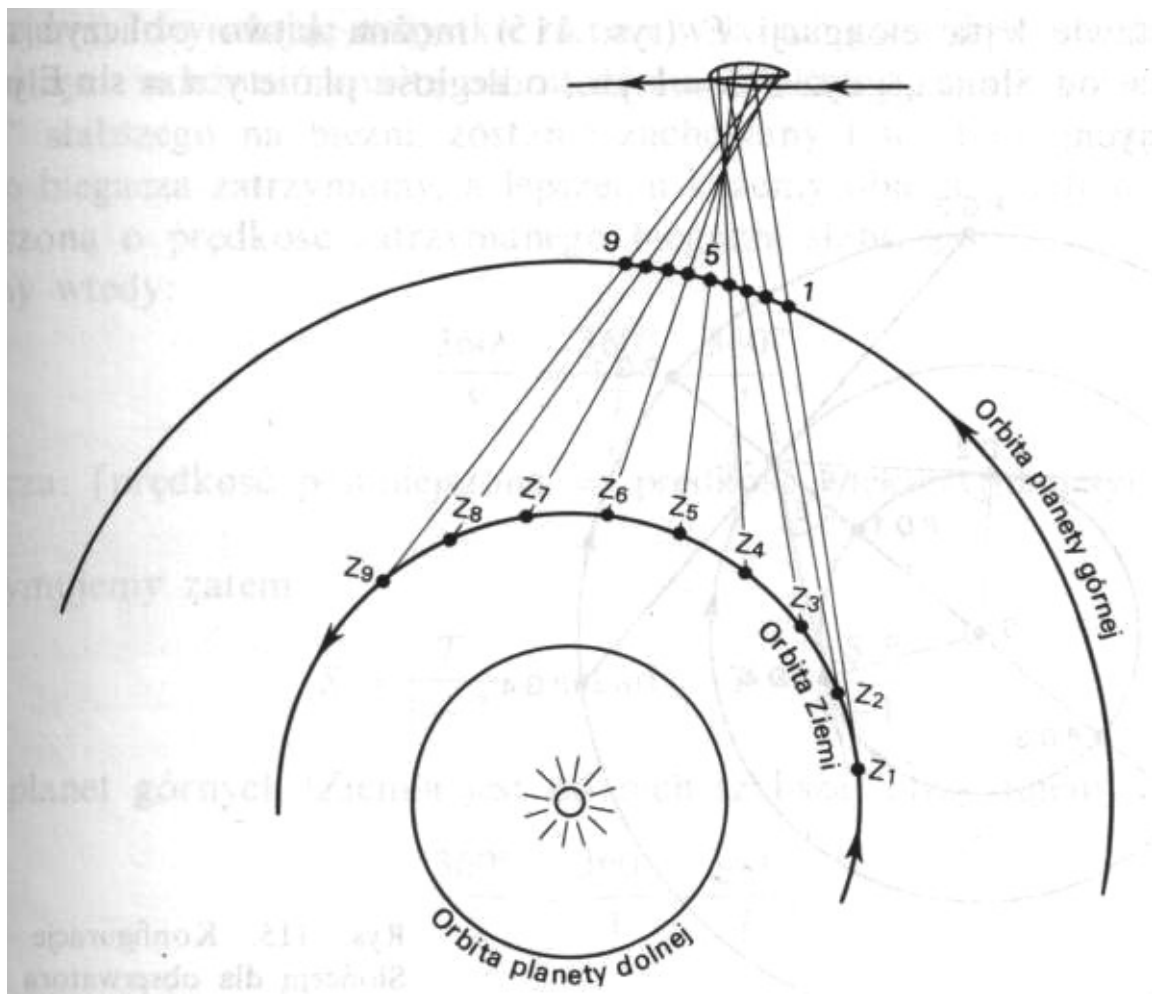
Pętle te tłumaczone były w starożytności skomplikowanym systemem sfer, deferensów i epicykli, znacznie uproszczonym przez wprowadzenie systemu heliocentrycznego przez Kopernika, a następnie wprowadzeniem pojęcia orbit eliptycznych przez Keplera.





W rzeczywistości:

- Planeta stosunkowo szybko przemieszcza się z prawej strony na lewą, następnie zwalnia i zaczyna poruszać się wstecz (z lewej strony na na prawą), a potem znowu szybko z prawej strony na lewą. Jak widać, ruch planet na niebie nie jest ruchem po okręgu i nie odbywa się ze stałą prędkością. Jak sobie poradzili z tym starożytni uczeni? Przyjmowano system wielu sfer lub okręgów, po których poruszały się planety. Te największe i główne nazywano deferensami (lub deferentami), te mniejsze – epicyklami.
- Początkowo obiekt porusza się po sferze niebieskiej dla obiektu Z (Ziemia) ruchem prostym. Ziemia obiegająca centrum Słońca szybciej niż ciało w pewnym momencie znów znajduje się w punkcie, w którym linia łącząca ją z ciałem na sferze niebieskiej jest styczna do orbity ego ciała – wyznacza to koniec ruchu wstecznego ciała na niebie. W tym samym czasie również Ziemia na niebie ciała porusza się ruchem wstecznym
- **Prawdziwy ruch wsteczny (obrót wsteczny)** – ruch obiegowy obiektu, okrążającego większe ciało niebieskie, w kierunku przeciwnym do ruchu obrotowego większego ciała. W Układzie Słonecznym ruchem wstecznym poruszają się liczne księżyce nieregularne planet-olbrzymów. Są to przeważnie małe planetoidy przechwycone grawitacyjnie przez planetę, ale ruchem wstecznym porusza się także Tryton, największy księżyc Neptuna. Uważa się, że jest to przechwycony obiekt. Niewielki odsetek planet pozasłonecznych porusza się w przeciwnym kierunku niż gwiazdy, wokół których orbitują. [Pierwszymi odkrytymi planetami na orbitach wstecznych były WASP-17b\[2\] i HAT-P-7b \(2009 r.\).](#) Jedną z teorii tłumaczy ich ruch wsteczny zderzeniem z inną planetą.



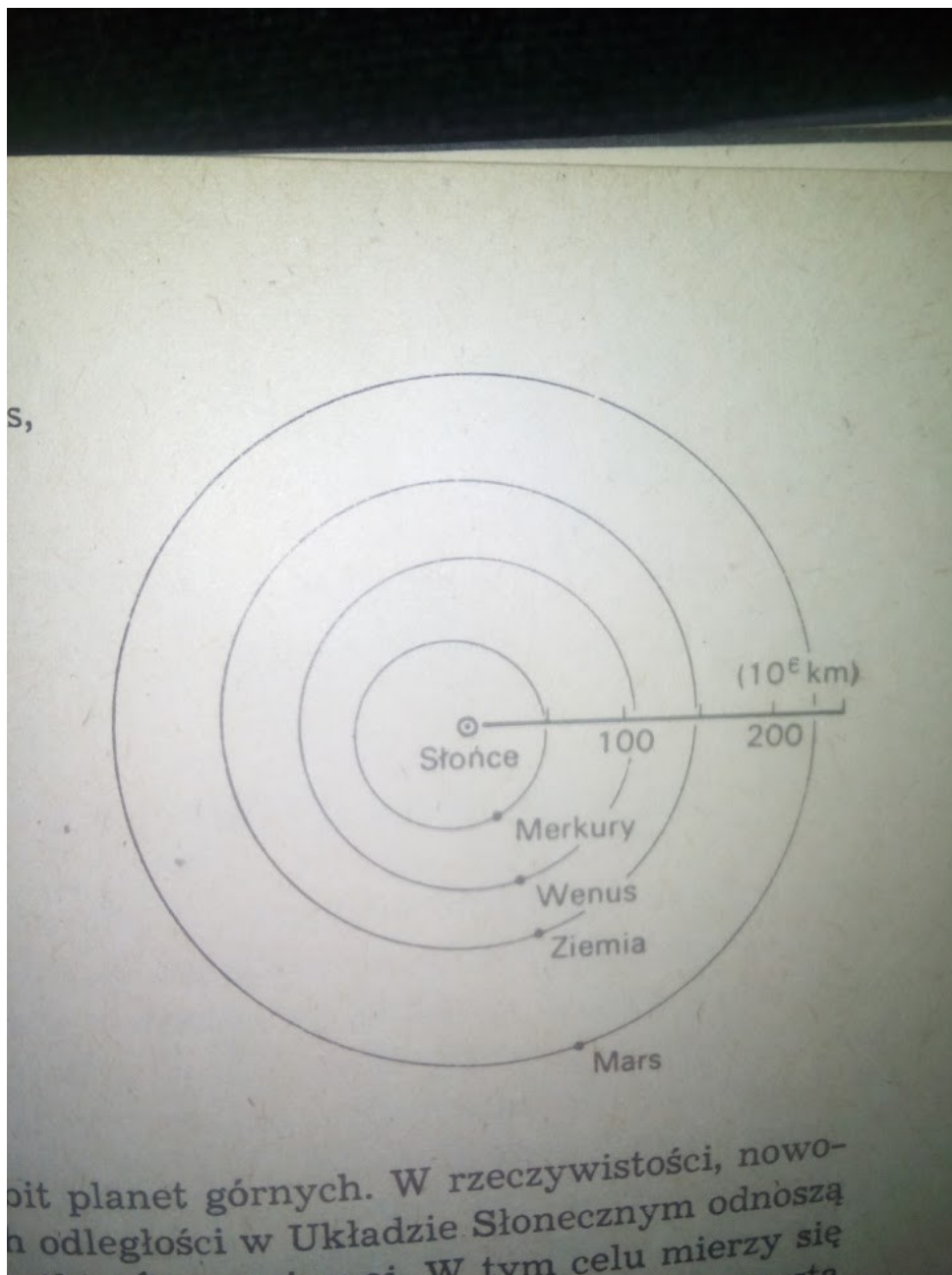
Dlaczego Mars zdaje się poruszać do tyłu? Przez większość czasu widomy ruch Marsa na ziemskim niebie odbywa się w jednym kierunku, wolno, lecz stabilnie na tle odległych gwiazd. Jednak co dwa lata Ziemia wyprzedza Marsa w ruchu orbitalnym wokół Słońca. Podczas ostatniego takiego wyprzedzania, Mars jak zwykle ukazał się szczególnie duży i jasny (opozycja). W tym samym czasie Mars wydawał się poruszać do tyłu po niebie uczestnicząc w zjawisku nazywanym ruchem wstecznym. Powyżej pokazano serię zdjęć nałożonych cyfrowo tak, by gwiazdy wypadły w tym samym miejscu. Pokazany na nich Mars zakreśla pętlę na niebie. Na szczycie pętli Ziemia wyprzedziła Marsa, a prędkość ruchu wstecznego była największa. Ruch wsteczny można zobaczyć także dla innych planet Układu Słonecznego.

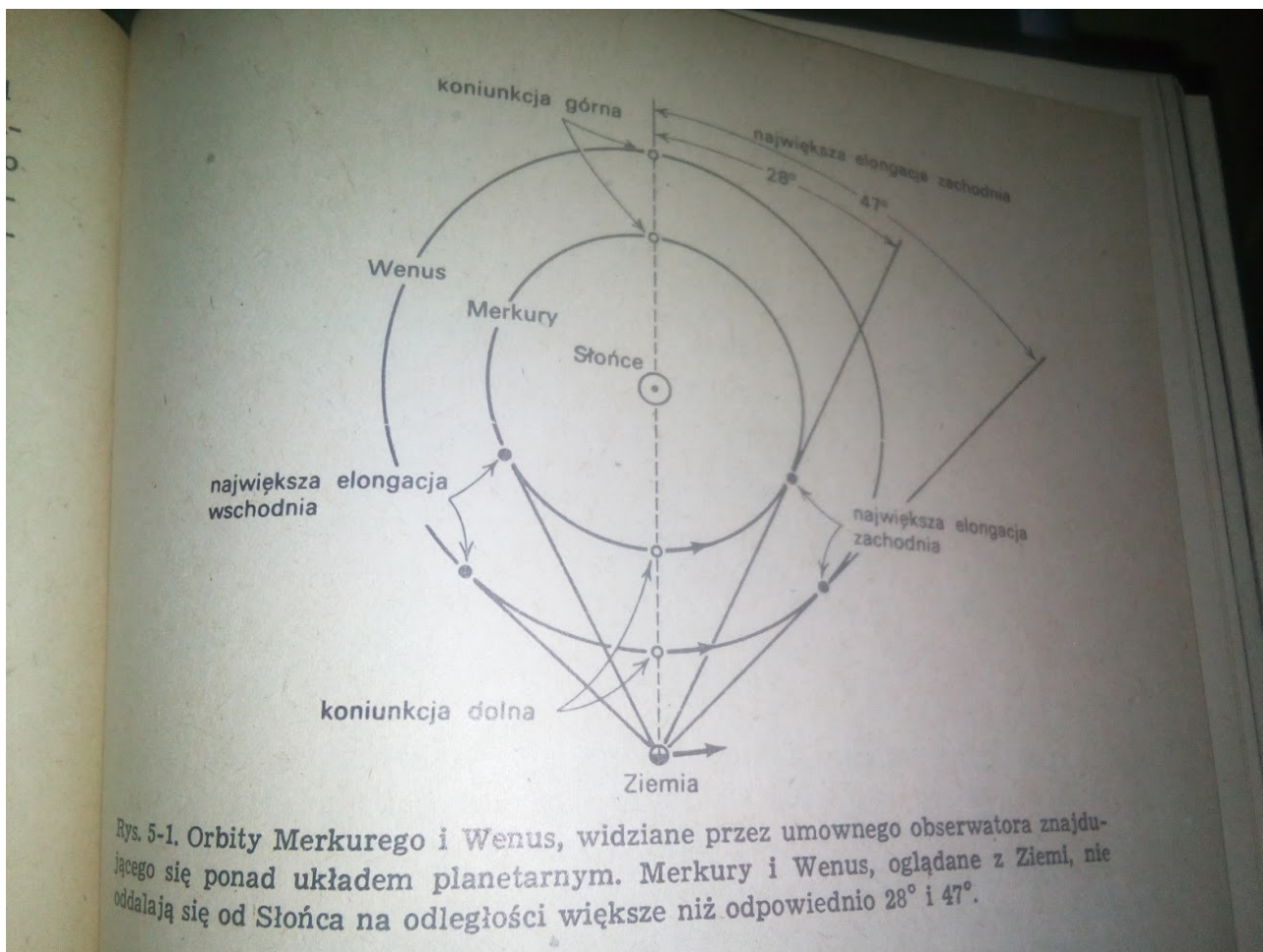
Źródło: <http://www.apod.pl/apod/ap100613.html>

<https://www.khanacademy.org/computer-programming/distance-between-earth-and-mars/5145009707810816>

- **Planety dolne – dwa złączenia (koniunkcje) i dwie maksymalne elongacje**

Merkury, Wenus





Kiedy Wenus znajduje się między Ziemią a Słońcem, w położeniu znanym jako złączenie dolne (**koniunkcja dolna**), jest planetą najbliższą Ziemi, *odległą średnio o 41 milionów km. Osiąga to położenie co 584 dni.*

Elongacja - odległość kątowa pomiędzy środkiem tarczy Słońca a planetą na sferze niebieskiej. W praktyce jest to różnica długości ekliptycznych Słońca i planety. Rozróżnia się:

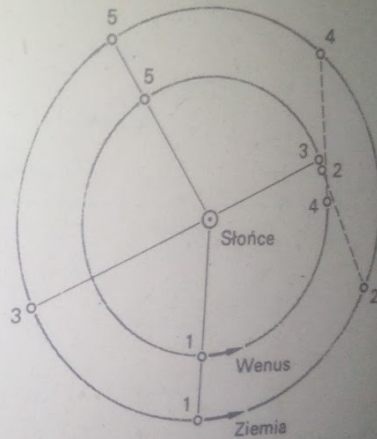
- elongację zachodnią (ujemną; np.: elongacja Merkurego wynosi -15° , kiedy planeta znajduje się 15° na zachód od Słońca);
- elongację wschodnią (dodatnią; planeta jest po wschodniej stronie Słońca).

Elongacja 0° oznacza koniunkcję dolną lub górną (w zależności od tego czy planeta jest za czy przed Słońcem). Elongacja o wartości 90° i 270° nosi nazwę kwadratury (stąd określenia kwadr Księżycy: elongacja 90° to I kwadra, natomiast 270° III kwadra); elongacja 180° to opozycja.

Kwadratura – położenie ciała niebieskiego względem Ziemi, w którym jego długość ekliptyczna różni się od długości ekliptycznej Słońca o 90° lub o 270° [1].

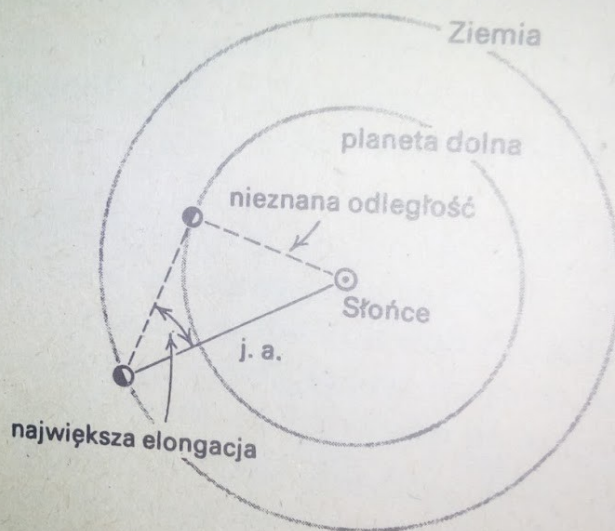
Więcej: <http://astro.unl.edu/naap/ssm/modeling2.html>

Rys. 5-4. Orbitalne ruchy Ziemi i Wenus, widziane przez obserwatora znajdującego się nad płaszczyzną ekliptyki. Położenia 1 i 5 — koniunkcje dolne; położenie 2 — największa elongacja zachodnia; położenie 3 — koniunkcja górna; położenie 4 — największa elongacja wschodnia. Między położeniami 1 i 3 Wenus jest gwiazdą poranną, natomiast między położeniami 3 i 5 — gwiazdą wieczorną.

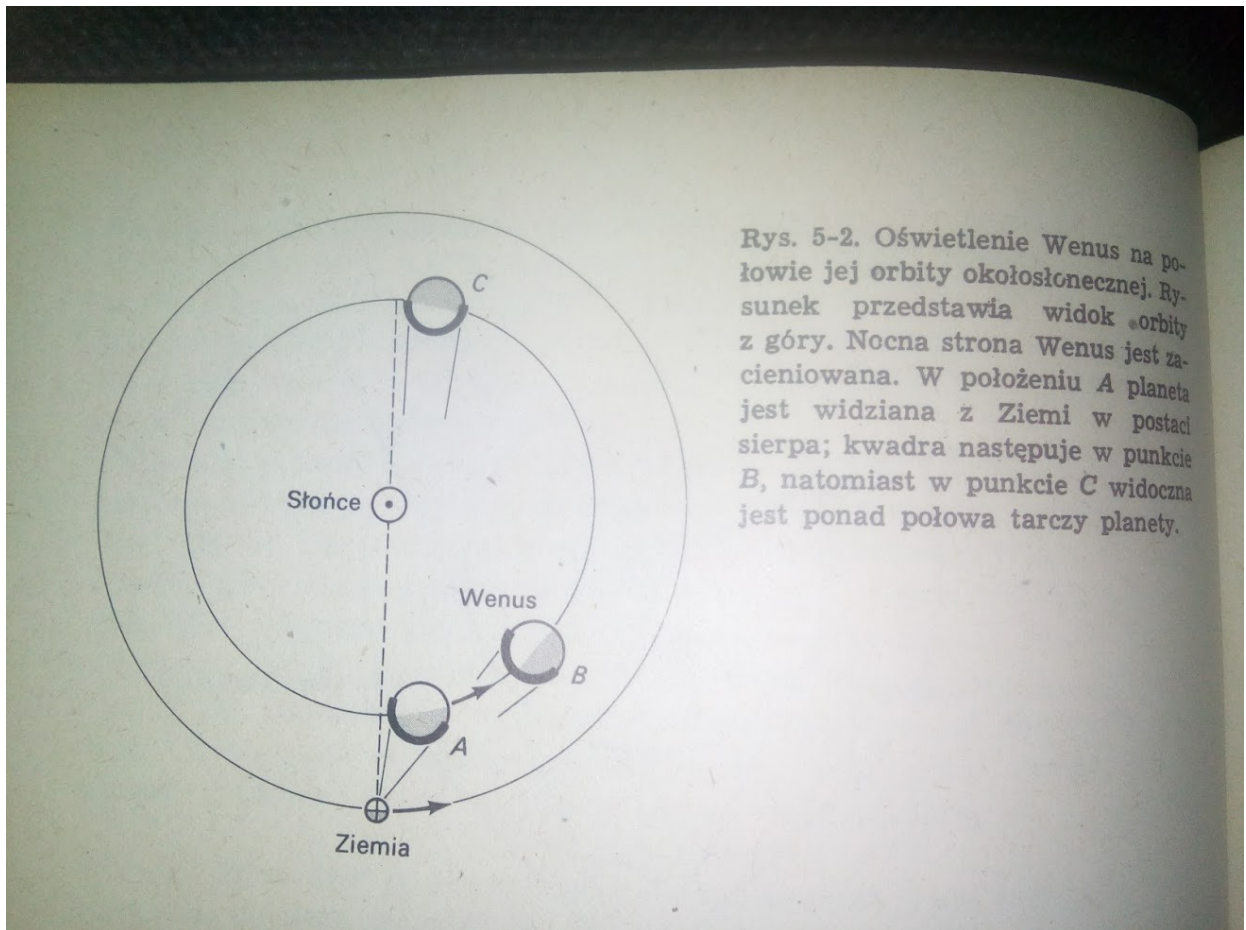


Sydeeryczny i synodyczny okres obiegu. W wypadku Wenus różnica między długością obiegu sydeerycznego (225 dni ziemskich) i synodycznego (około 580 dni) jest bardzo wyraźna. Jak pamiętamy obieg sydeeryczny (określony przez gwiazdy stałe) jest zawsze taki sam, natomiast synodyczny zależy od okresu obiegu Ziemi i Wenus.

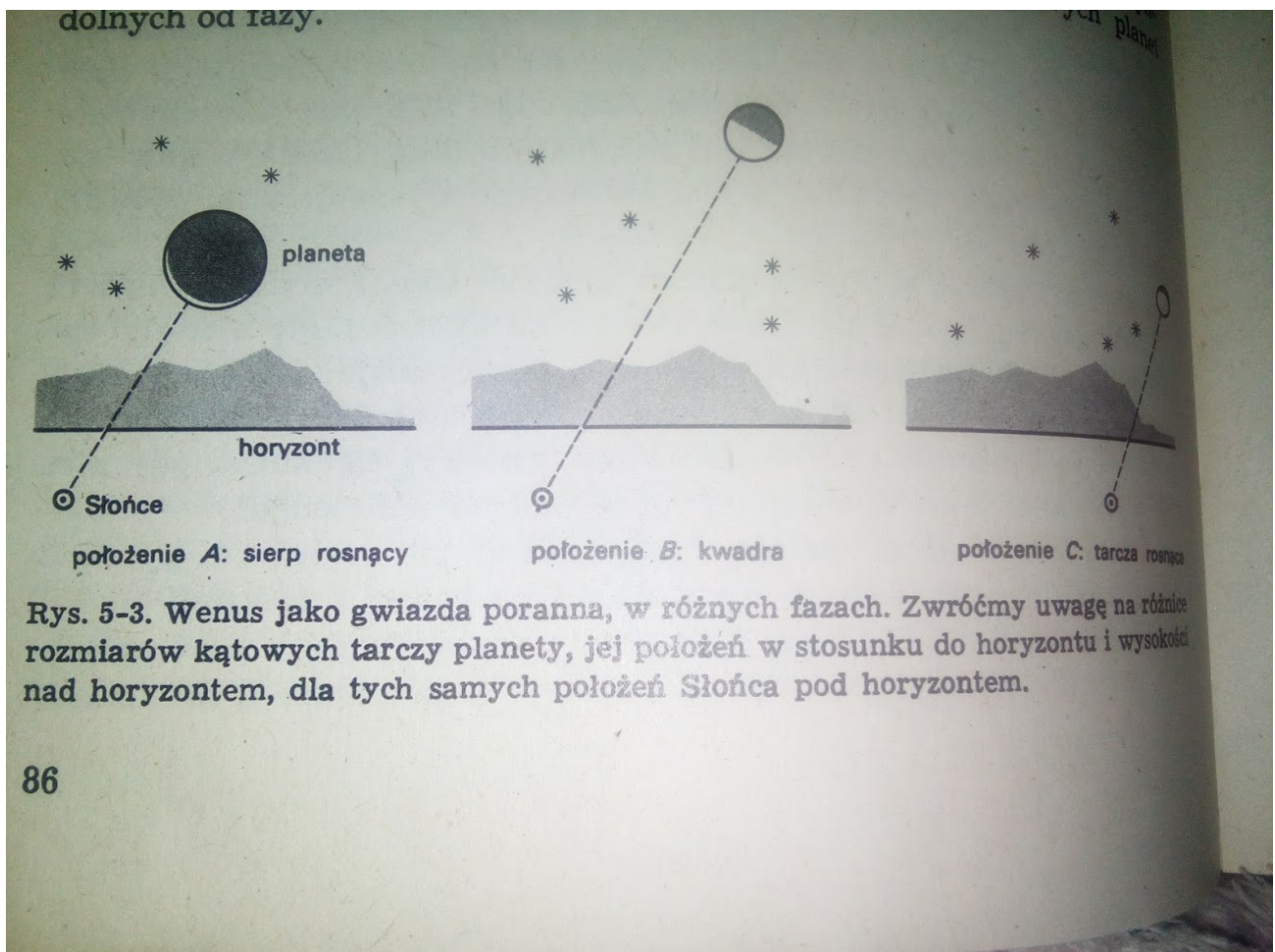
nieznana odległość (j. a.)
 Bezwzględne rozmiary orbit możemy wyznaczyć w jednostki astronomicznej (150 mln. km). Podobnie



Rys. 5-6. Wyznaczenie bezwzględnych rozmiarów orbit planet dolnych. Wyznaczenie odległości i obliczenie największej elongacji i odległości od Słońca w jednostkach astronomicznych.



Rys. 5-2. Oświetlenie Wenus na połowie jej orbity okołosłonecznej. Rysunek przedstawia widok orbity z góry. Nocna strona Wenus jest zacieniowana. W położeniu A planeta jest widziana z Ziemi w postaci sierpa; kwadra następuje w punkcie B, natomiast w punkcie C widoczna jest ponad połowa tarczy planety.





<http://apod.pl/apod/ap181005.html>



Fazy Wenus i zmiany jej obserwowanej średnicy

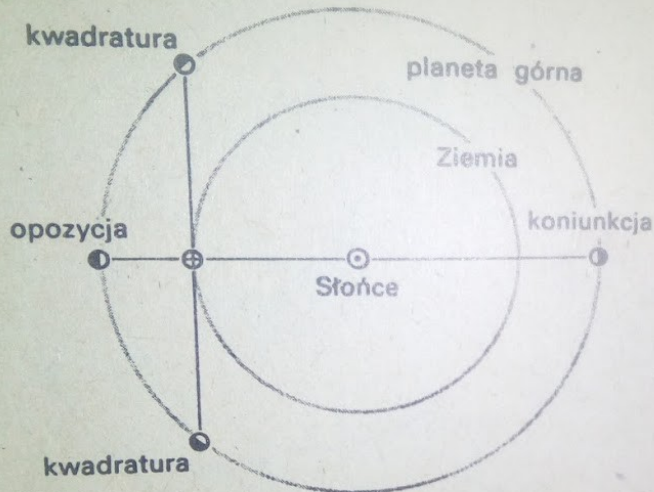
Wenus ma „pełnię”, gdy jest po przeciwnej stronie Słońca niż Ziemia; ma też wtedy najmniejszą obserwowaną średnicę. Jasność następnie rośnie i osiąga maksimum w „kwadrze”, gdy elongacja jest największa. Później zamienia się w coraz węższy sierp, jednocześnie zwiększając swoje obserwowalne rozmiary. Gdy znajduje się między Ziemią a Słońcem, jest w „nowiu”.

Orbita Wenus jest lekko nachylona w stosunku do ziemskiej, dlatego gdy przechodzi ona między naszą planetą a Słońcem, zwykle nie przesłania jego tarczy. Przejście Wenus na tle tarczy Słońca (tranzyt Wenus) ma miejsce, gdy jej koniunkcja ze Słońcem wypada w momencie przejścia przez płaszczyznę orbity Ziemi. Takie tranzyty powtarzają się w cyklach trwających 243 lata. **W trakcie każdego cyklu są cztery tranzyty, w odstępach 121,5, 8, 105,5 i 8 lat. Ostatnie dwa tranzyty nastąpiły w 8 czerwca 2004 i w 6 czerwca 2012.**

Wenus „dogania” Ziemię na orbicie wokół Słońca co 584 dni, zmienia się wtedy z „gwiazdy wieczornej” widocznej po zachodzie Słońca, w „gwiazdę poranną” widoczną przed wschodem. Wenus jest bardzo łatwo zauważalna na niebie. Planetę dolną podczas zachodniej elongacji obserwuje się zawsze przed wschodem Słońca na południowo-wschodnim niebie, natomiast podczas wschodniej elongacji planeta widoczna jest po zachodzie Słońca na południowo-zachodnim nieboskłonie.

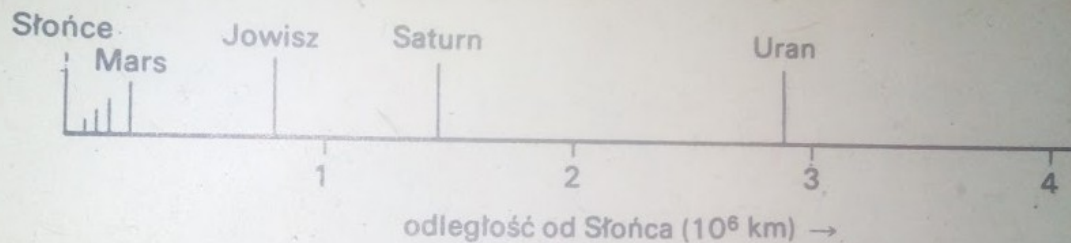


- **Planety górne – złączenie, opozycja (przeciwstawienie) i kwadratury (stanowiska) wschodnie i zachodnie** (Mars, Jowisz, Saturn, Uran, Neptun)



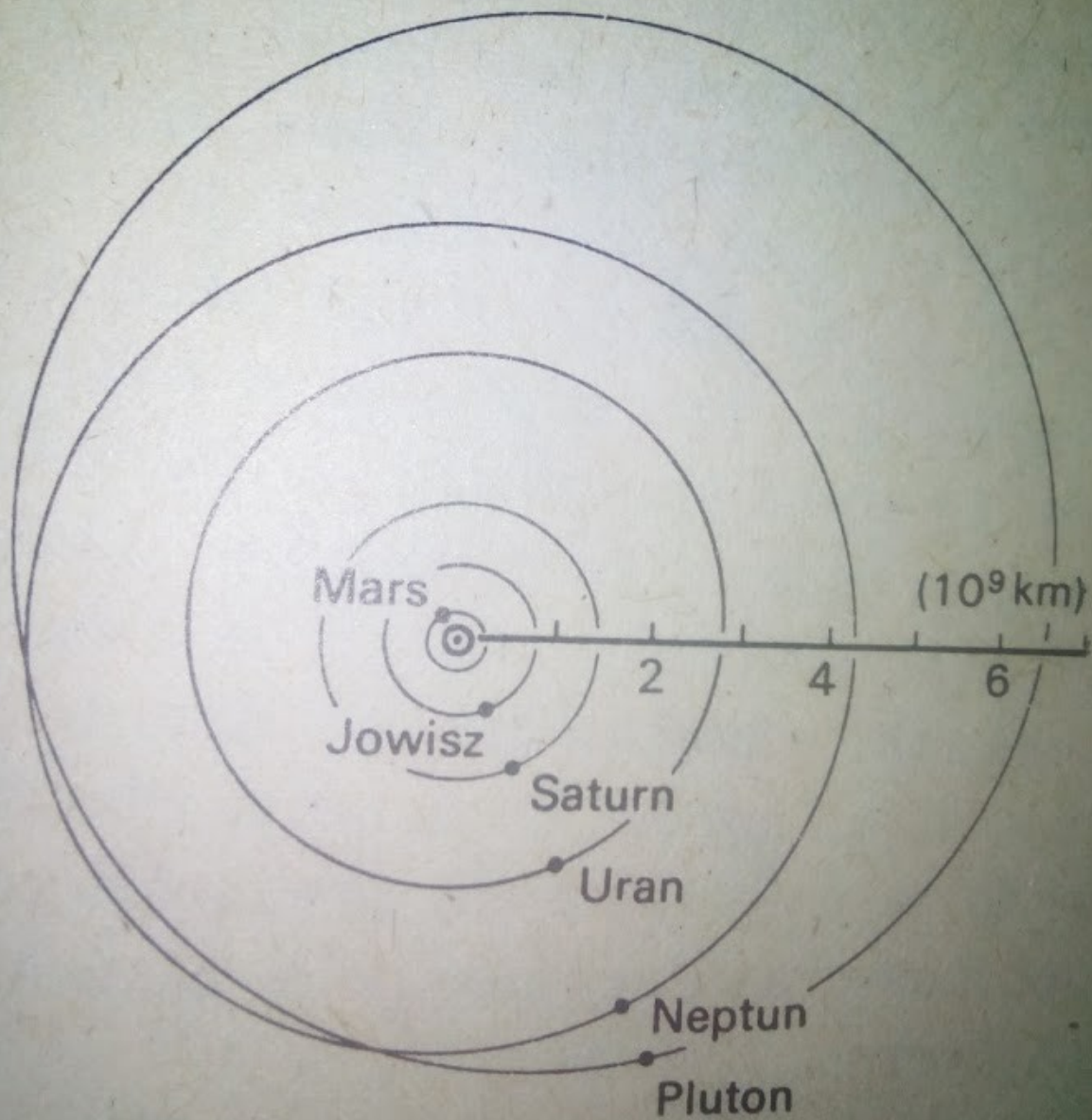
Rys. 5-5. Orbita planety górnej; umowny obserwator znajduje się nad płaszczyzną orbity. W opozycji i koniunkcji, Słońce, Ziemia i planeta znajdują się na jednej linii; w kwadraturze, Słońce, Ziemia i planeta tworzą trójkąt prostokątny.

Planety górne, obiegające Słońce po orbitach większych od orbity Ziemi nie wykazują tak wyraźnych faz jak planety dolne. Niemniej jednak, w pobliżu kwadratur (rys. 5-5) powinniśmy widzieć również wąski sierp nieoświetlonej tarczy planety. W praktyce, zjawisko takie obserwuje się tylko w przypadku Marsa; pozostałe planety górne są zawsze „w pełni”. Na rys. 5-5 zaznaczone są również koniunkcja (oczywiście — górna)

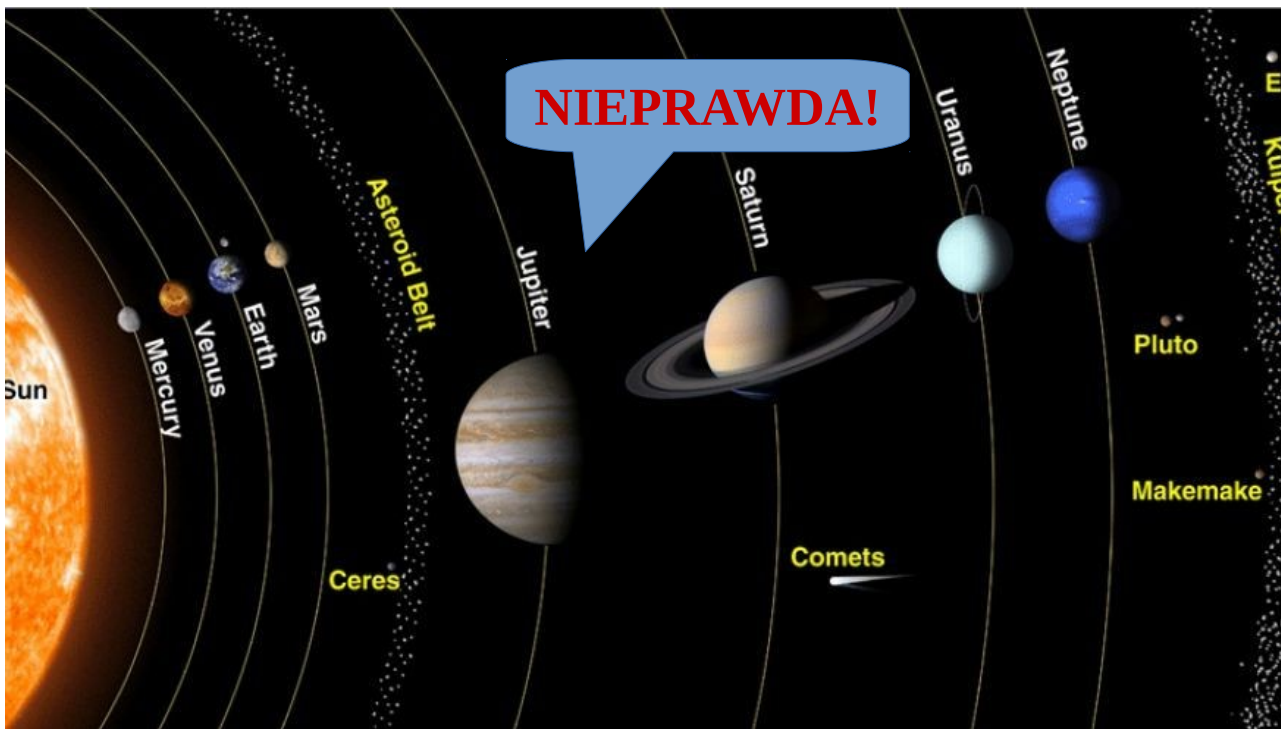
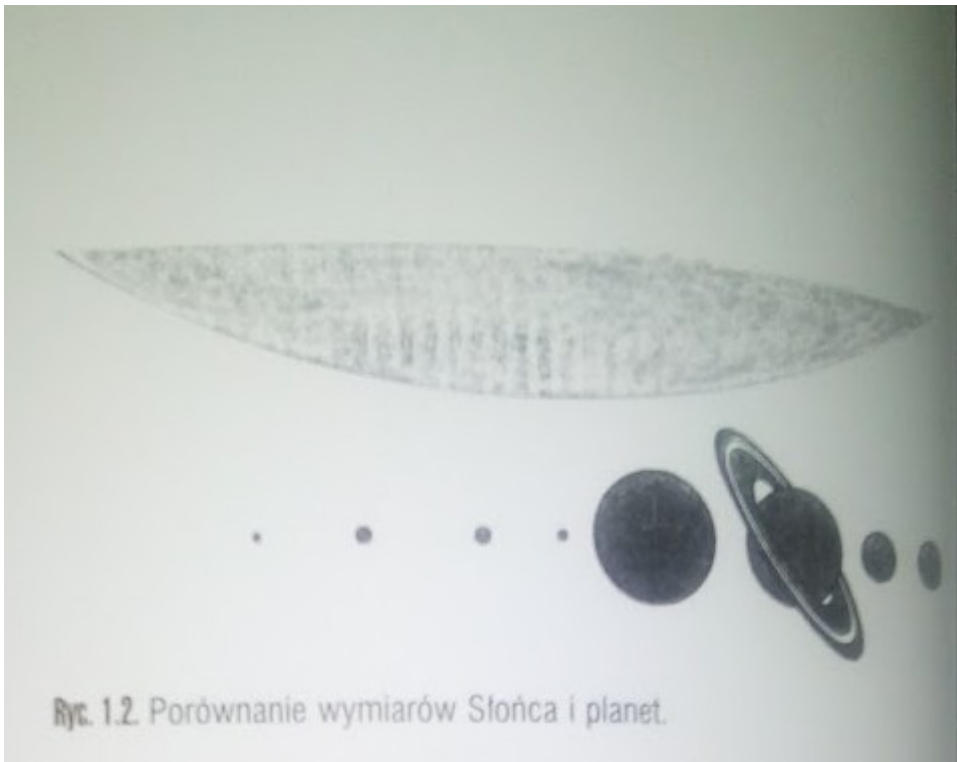


Rys. 5-9. Odległości planet od Słońca.

... — wielkości półosi wielkich
mu „brakującej” planety powrócimy



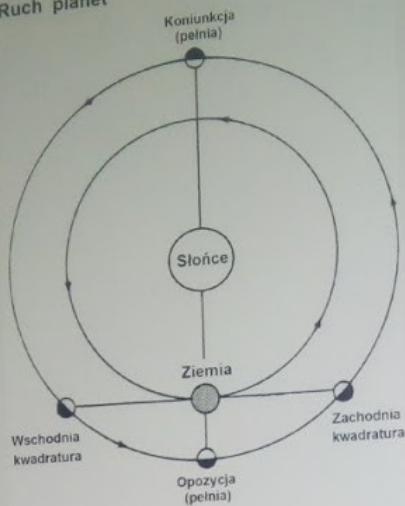
Rozmiary orbit planet



<http://www.distancetomars.com/>

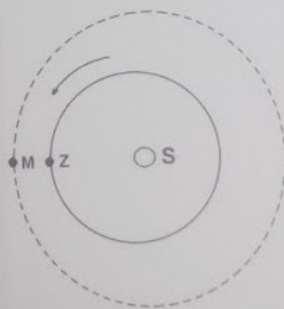


Ruch planet

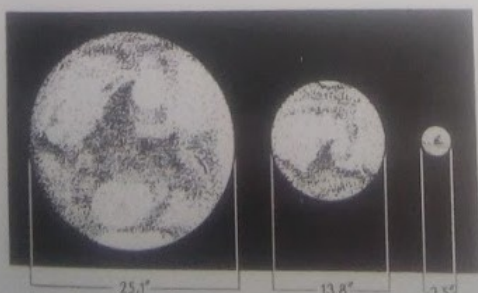


Ryc. 1.4. Warunki faz Marsa.

W aphelium odległość Marsa od Słońca wynosi 249,1 milionów km, a w perihelium 206,7 milionów km. Dlatego nie podczas każdej opozycji warunki do obserwacji planety są porównywalne. W opozycji tzw. helialnej Mars, Ziemia i Słońce znajdują się na jednej prostej i wtedy



Ryc. 1.5. Orbits Ziemi i Marsa.



1"	270 km	500 km	2000 km
0,2"	54 km	100 km	400 km

Ryc. 1.6. Widoczna średnica Marsa.

odległość Marsa od Ziemi wynosi tylko około 55 milionów km, gdy w koniunkcji aż 377 milionów km. Powoduje to oczywiście znaczne zmiany obserwowanej jasności planety i wielkości widzianego krążka.

Na rycinie 1.6 przedstawiono średnicę Marsa. Gdy opozycja przypada w perihelium, średnica tarczy na niebie wynosi około 25", gdy w aphelium, wynosi ona zaledwie 14" i w koniunkcji niecałe 4". Jasność planety w opozycji perihelialnej wynosi $-2,8^m$, w przeciętnej opozycji $-1,8^m$ (dla porównania jasność Wenus wynosi $-4,2^m$, a Jowisza $-2,2^m$). W koniunkcji jasność Marsa jest o ponad 4 wielkości gwiazdowe mniejsza i wynosi $+1,6^m$.

Okres „gwiazdowy” obiegu Marsa wokół Słońca na tle gwiazd wynosi 687 dni, natomiast okres synodyczny, czyli od opozycji do opozycji średnio 780 dni. Duże zmiany jasności i czerwona barwa to te cechy, które wyróżniają Marsa wśród wszystkich planet.

Parametry orbitalne i fizyczne przedstawiają tabele I i II.

Tabela I. Parametry orbitalne Marsa.

Półosć wielka	$a = 1,52366$ j.a. = 227 940 000 km
Ekscytryczność	$e = 0,0934$
Nachylenie równicy do płaszczyzny	$i = 1,8504^\circ$
Diagonalna półosi wielkiej	$\Omega = 49,59^\circ$
Długość dnia	$335,94^h$
Średnia prędkość orbitalna	24,13 km/s
Średnia prędkość wzdłuż osi	0,5204"/dzień
Średni okres gwiazdowy	686,98 dni = 669,60 dni marsjańskich
Średni okres synodyczny	779,94 dni

Tabela II. Parametry fizyczne Marsa.

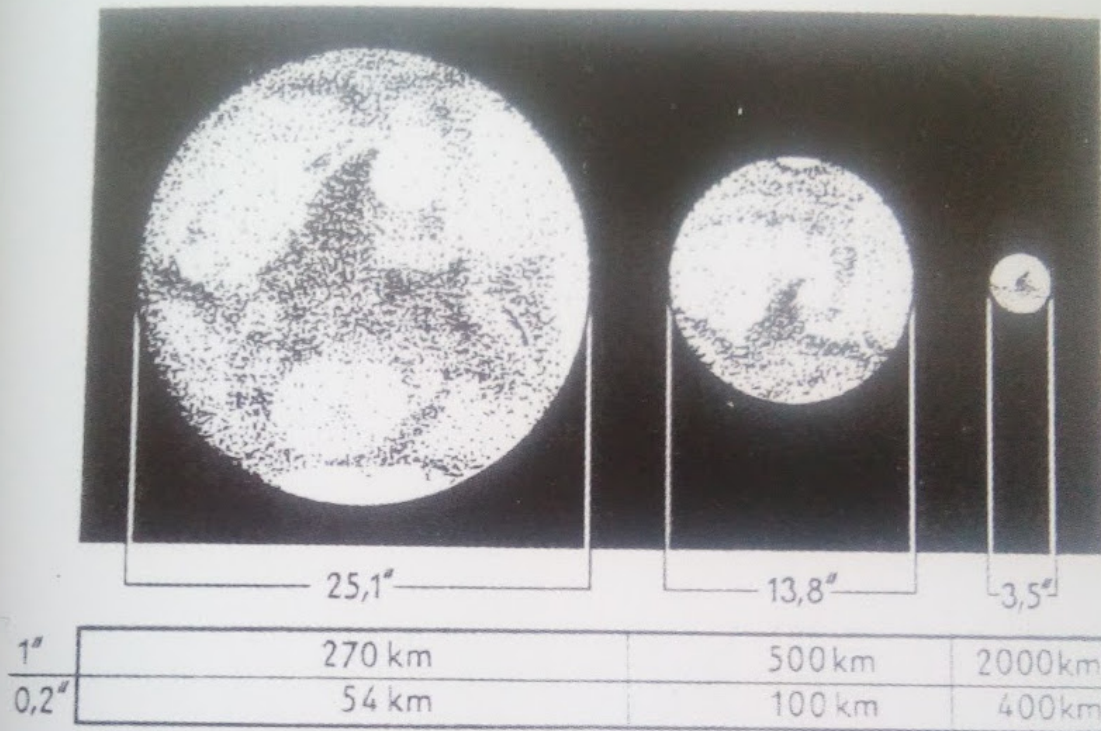
Średnica	6779,84 km
Nachylenie osi	$25,19^\circ$
Doba gwiazdowa	$24^h37^m22,66^s$
Kompresja biegunowa (spłaszczenie)	0,006
Objętość (Ziemia = 1)	0,1504
Masa (Ziemia = 1)	0,1074
Gęstość (woda = 1)	$3,93 \text{ g/cm}^3$
Prędkość ucieczki	5,027 km/s

W tabeli III zestawiono opozycje od roku 2007 do 2035.

Mars posiada dwa małe księżycy Fobos i Deimos, które są nieforemne, a ich wymiary nie przekraczają trzydziestu kilometrów. Okres obiegu Marsa przez Fobosa wynosi 7,5 godziny. Dla obserwatora na Marsie wschodzi on na zachodzie i zachodzi na wschodzie.

Być może, podobnie jak w przypadku niektórych małych księżyców dużych planet, że są one przechwyconymi przez Marsa małymi planetami.

Ryc. 1.5. Orbity Ziemi i Marsa.



Ryc. 1.6. Widoczna średnica Marsa.

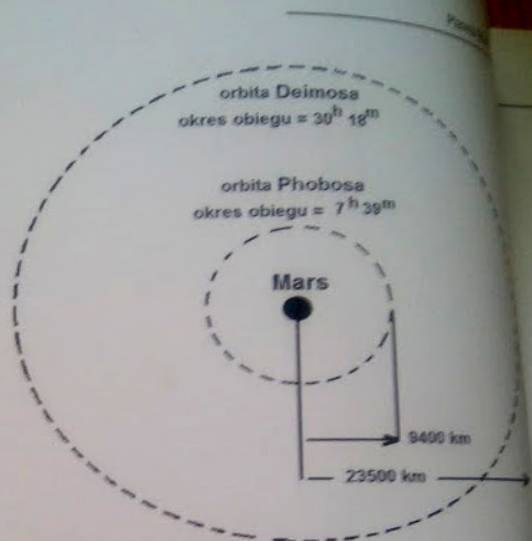
Satelite Marsa

Tabela III. Opozycje do roku 2035.

Data	α	δ	średnica	odległość
2007 12 28	06 ^h 12 ^m	+26°46'	15,5"	0,600 j.a.
2010 01 29	08 ^h 54 ^m	+22°09'	14,0"	0,664 j.a.
2012 03 03	11 ^h 52 ^m	+10°17'	14,0"	0,674 j.a.
2014 04 08	13 ^h 14 ^m	-05°08'	15,1"	0,621 j.a.
2016 05 22	15 ^h 58 ^m	-21°39'	18,4"	0,509 j.a.
2018 07 27	20 ^h 33 ^m	-25°30'	24,1"	0,386 j.a.
2020 10 13	01 ^h 22 ^m	+05°26'	22,3"	0,419 j.a.
2022 12 08	04 ^h 59 ^m	+25°00'	16,9"	0,550 j.a.
2025 01 16	07 ^h 56 ^m	+25°07'	14,4"	0,643 j.a.
2027 02 19	10 ^h 18 ^m	+15°23'	13,8"	0,678 j.a.
2029 03 25	12 ^h 23 ^m	+01°04'	14,4"	0,649 j.a.
2031 05 04	14 ^h 46 ^m	-15°29'	16,9"	0,559 j.a.
2033 06 27	18 ^h 30 ^m	-27°50'	22,0"	0,427 j.a.
2035 09 15	23 ^h 43 ^m	-06°01'	24,5"	0,382 j.a.

Tabela IV. Parametry księżyców Marsa.

	Fobos	Deimos
Wymiary	27·22·18 km	15·12·11 km
Średnia odległość od planety	9378 km	23459 km
Gwiazdowy okres okrążenia	7 ^h 39 ^m 13,84 ^s	30 ^h 17 ^m 54,87 ^s
Ekscentryczność orbity	0,0152	0,0002
Nachylenie płaszczyzny orbity	1,03°	1,83°



Ryc. 1.7. Orbity księżyców Marsa.

Satelite Marsa

1. Mars w Układzie Planetarnym



Deimos (Mars Reconnaissance Orbiter; NASA/JPL-Caltech/University of Arizona).



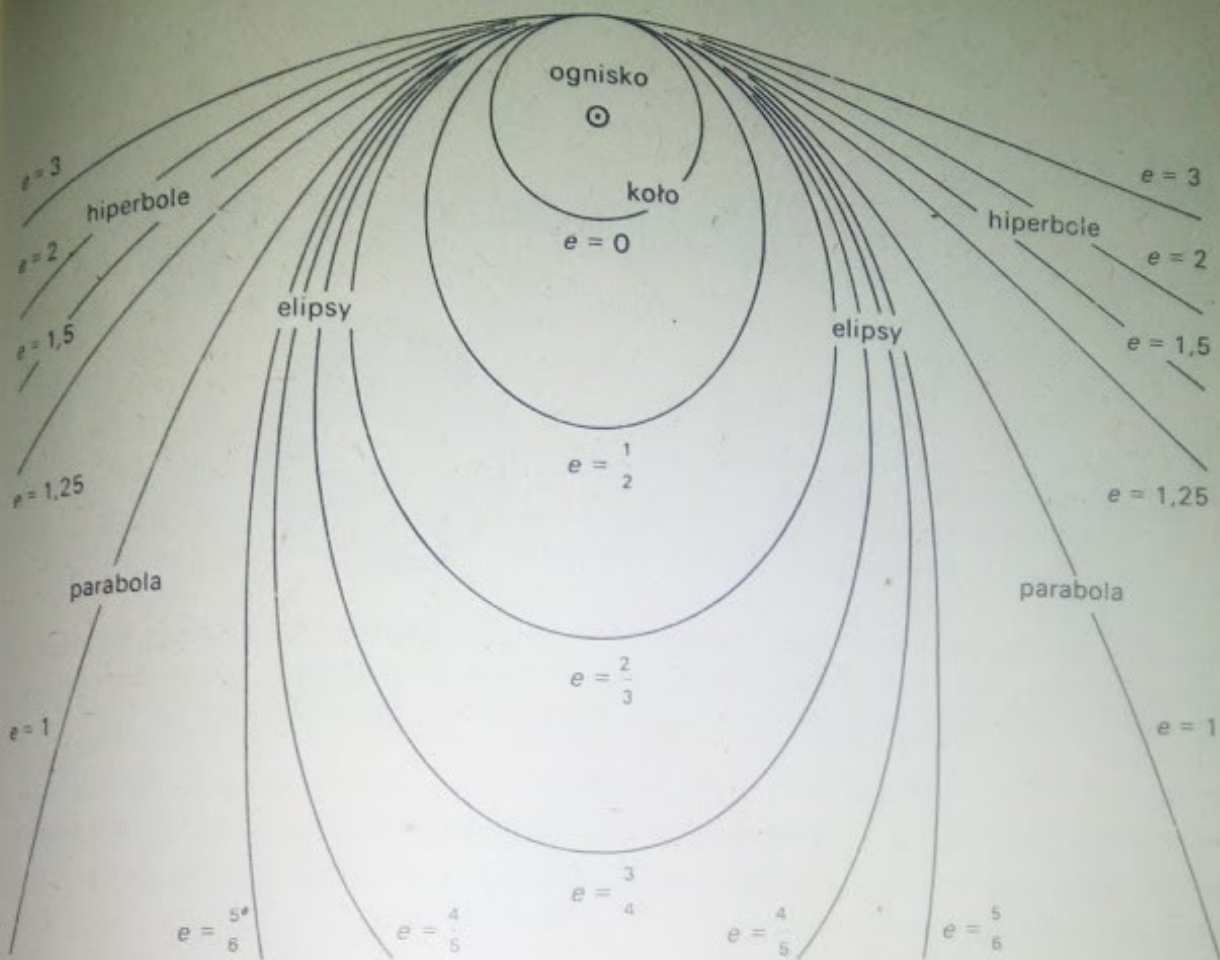
Fobos (HiRISE, MRO; LPL (University of Arizona)/NASA).



Źródło obrazków i literatura

1. **Hieronim Hurnik, Planeta Mars (2018)**
2. **Ludwig Oster, Astronomia Współczesna (1986)**
3. <https://www.uahirise.org/catalog/>





Rys. 5-10. Rozwiązania równań ruchu dwóch ciał: orbity eliptyczne, paraboliczne i hiperboliczne. Planety krążące po orbitach eliptycznych są związane grawitacyjnie ze Słońcem. Ciała poruszające się po orbitach hiperbolicznych wbiegają do Układu Słonecznego z zewnątrz, a następnie oddalają się na zawsze. Orbita paraboliczna stanowi granicę między orbitami eliptycznymi i hiperbolicznymi.

Środek masy (barycentrum). Dotychczas przyjmowaliśmy, że Słońce jest nieruchome w przestrzeni. W rzeczywistości Słońce wykonuje pewien ruch w układzie zewnętrznym w stosunku do układu planetarnego. Pomijając na razie rotację Galaktyki (paragraf 17.2) i „ruch własny” (paragraf 9.2), periodyczny ruch planet wokół Słońca sprawia, że Słońce zakreśla orbitę eliptyczną wokół **środka masy** Układu Słonecznego. Ponieważ o ruchu Słońca wokół środka masy decyduje przede wszystkim Jowisz, najmasywniejsza planeta układu, barycentryczny ruch Słońca możemy sprowadzić do prostego przypadku ruchu dwóch ciał. Środek masy dwóch ciał leży na linii łączącej ich środki, bliżej ciała o większej masie. Jeżeli masy obu ciał są równe, środek masy wypada dokładnie w połowie odległości między nimi. Ogólnie mówiąc, położenie środka masy zależy od ich odległości

Rodzaje orbit

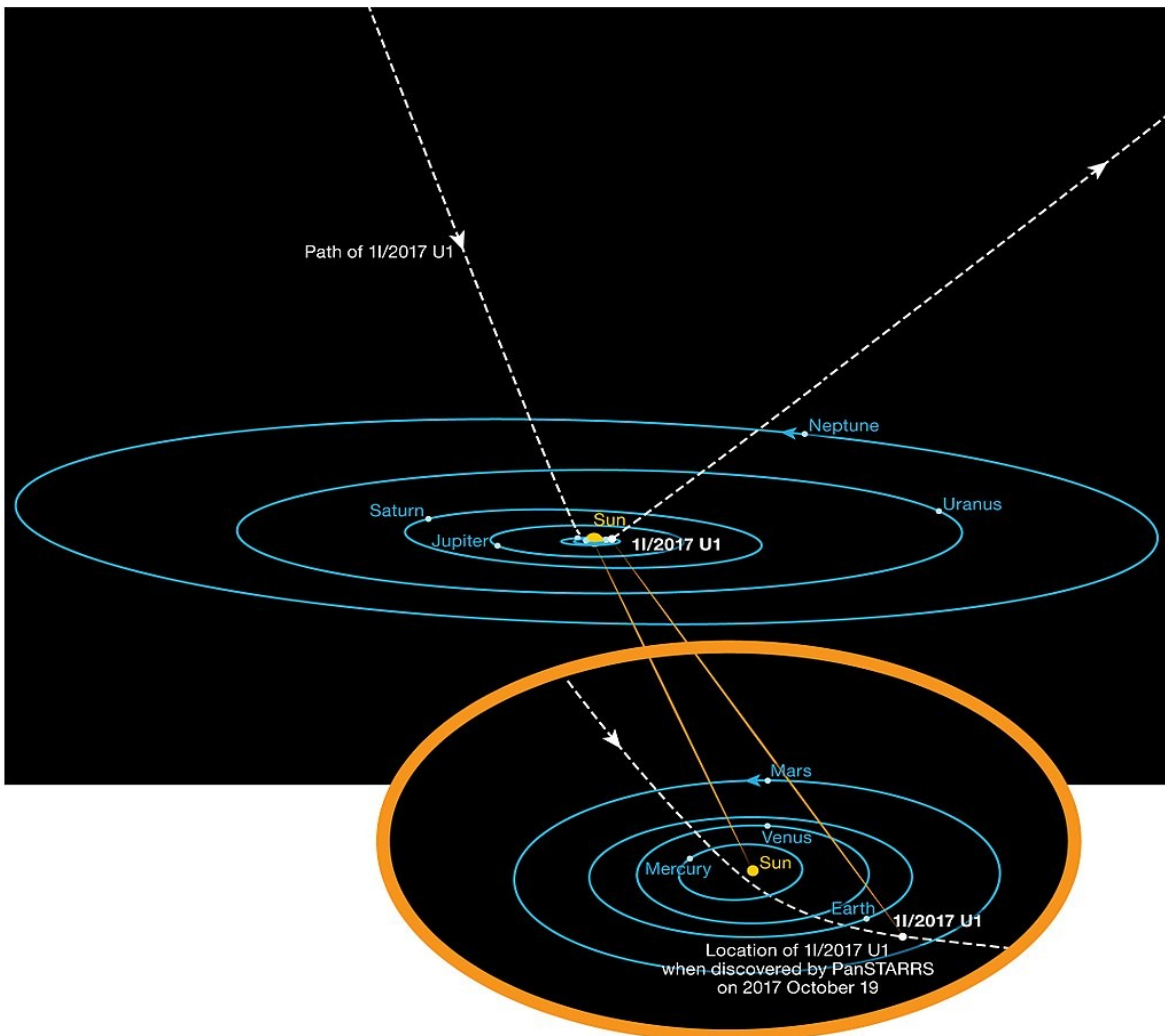
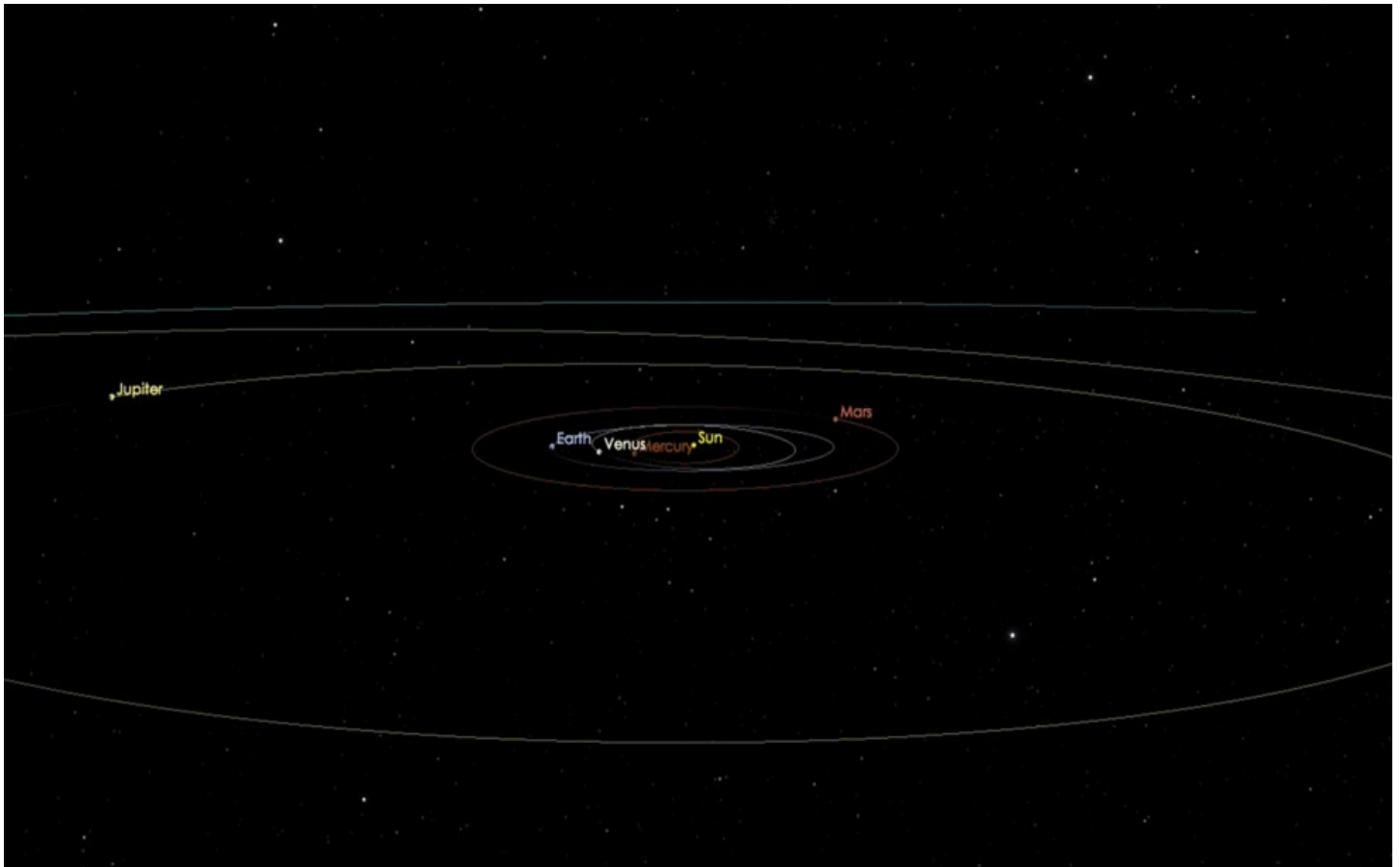
- **Elipsa (o. eliptyczne)** - planety, komety okresowe (trwale związane grawitacyjnie z gwiazdą)
- **Parabola** – komety nieokresowe. Komety te pojawiają się w centrum układu planetarnego tylko raz, poruszając się po torach parabolicznych lub hiperbolicznych i potem opuszczają układ planetarny na zawsze
- **Hiperbola**- komety pozasłoneczne. Współczesne obserwacje pozwoliły na wykrycie kilku komet poruszających się po hiperbolach, jeżeli komety dotarły do Układu Słonecznego z przestrzeni międzygwiazdnej, powinny poruszać się z prędkościami typowymi dla względnego ruchu gwiazd (dziesiątki kilometrów na sekundę). Takie obiekty mają dodatnią całkowitą energię mechaniczną i poruszają się po szczególnie wydłużonych torach hiperbolicznych.

1I/Oumuamua – małe ciało niebieskie, obiekt pozasłoneczny, który przelatuje przez Układ Słoneczny. Odkrył go 19 października 2017 roku na hiperbolicznej orbicie Robert Weryk; udało się to dzięki obserwacjom programu Pan-STARRS, [gdzie obiekt znajdował się 0,2 au \(30 mln km\) od Ziemi.](#)

Planetoida czy kometa?

Obiekt intensywnie badany w Obserwatorium Uniwersytetu Jagiellońskiego





Kalendarz maksymalnych wschodnich i zachodnich elongacji
planety Wenus:

Data (UT)	Kąt między Słońcem a planetą	Elongacja
2010 Sierpień 20	45° 57'	Wschodnia
2011 Styczeń 08	46° 57'	Zachodnia
2012 Marzec 27	46° 02'	Wschodnia
2012 Sierpień 15	45° 48'	Zachodnia
2013 Listopad 01	47° 04'	Wschodnia
2014 Marzec 22	46° 33'	Zachodnia
2015 Czerwiec 06	45° 23'	Wschodnia
2015 Październik 26	46° 26'	Zachodnia
2017 Styczeń 12	47° 08'	Wschodnia
2017 Czerwiec 03	45° 51'	Zachodnia
2018 Sierpień 17	45° 55'	Wschodnia
2019 Styczeń 06	46° 57'	Zachodnia
2020 Marzec 24	46° 04'	Wschodnia
2020 Sierpień 13	45° 47'	Zachodnia
2021 Październik 29	47° 02'	Wschodnia
2022 Marzec 20	46° 35'	Zachodnia
2023 Czerwiec 04	45° 23'	Wschodnia
2023 Październik 23	46° 24'	Zachodnia
2025 Styczeń 10	47° 10'	Wschodnia
2025 Czerwiec 01	45° 52'	Zachodnia
2026 Sierpień 15	45° 53'	Wschodnia
2027 Styczeń 03	46° 57'	Zachodnia
2028 Marzec 22	46° 07'	Wschodnia
2028 Sierpień 10	45° 46'	Zachodnia
2029 Październik 27	47° 01'	Wschodnia
2030 Marzec 17	46° 36'	Zachodnia