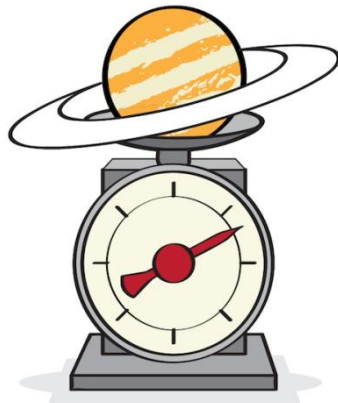
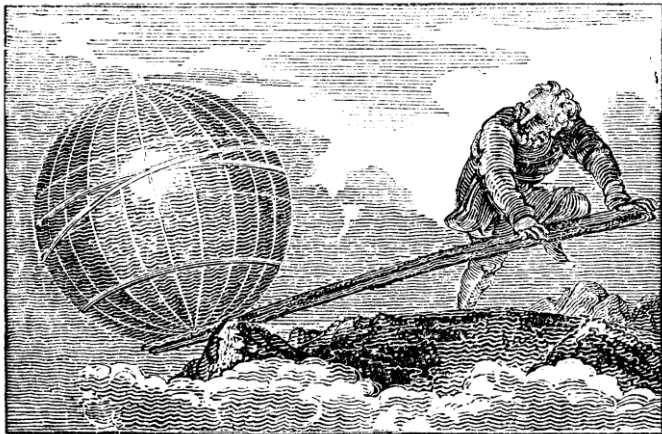




Temat: Jak zważyć Ziemię?

dr Krzysztof Rochowicz, UMK Toruń 2025

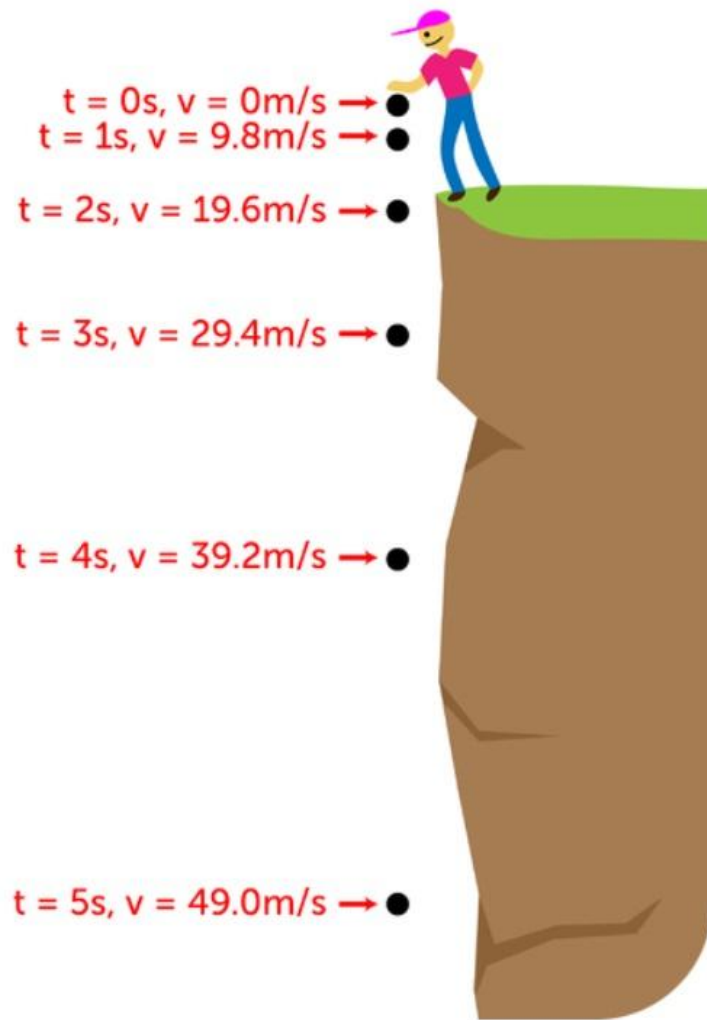
Kup najlepszą wagę i wejdź na możliwie dużą wysokość...

LET'S BEGIN

STEP 1:

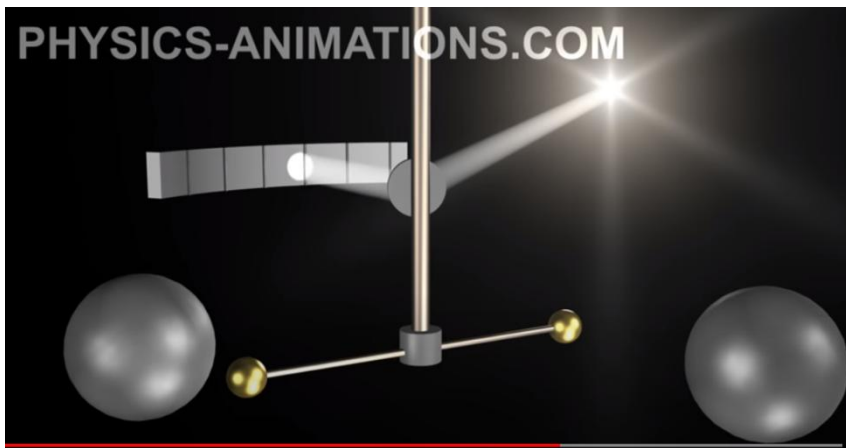


- zmierz tę wysokość h oraz czas spadania t
- dla ruchu przyspieszonego $s = at^2/2$, czyli $h = gt^2/2$ możesz więc określić g zależne od masy Ziemi, czyli określisz też jej masę!



Czym jest g ?

- Tak jak każde przyspieszenie: określa przyrost prędkości w czasie;
- Określa m.in., jak odbywa się spadanie swobodne w danym miejscu (Wszechświata)
- Wzór: ciężar = siła grawitacji



Doświadczenie Cavendisha (1798)

Wynik: gęstość Ziemi jest 5,5 razy większa
od gęstości wody (stąd masa Ziemi!)

A czym jest G ?

- To stała grawitacji – uniwersalna liczba, charakteryzująca siłę oddziaływania grawit.
- Np. dwa ciała o masie 1kg z odległości 1m przyciągają się siłą...

$$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N}$$

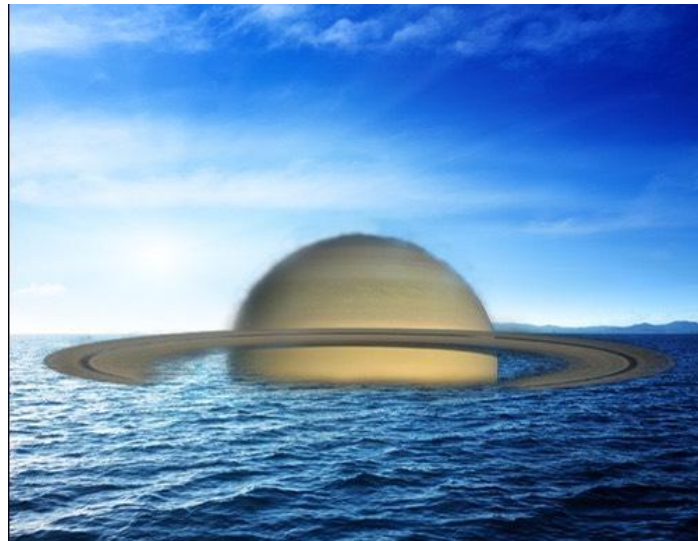
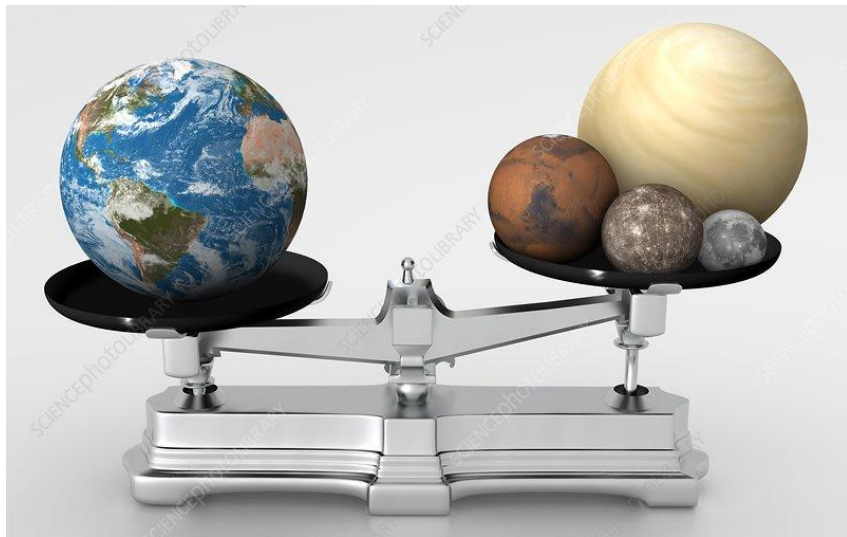
Wyznaczymy g badając okres drgań wahadła matematycznego

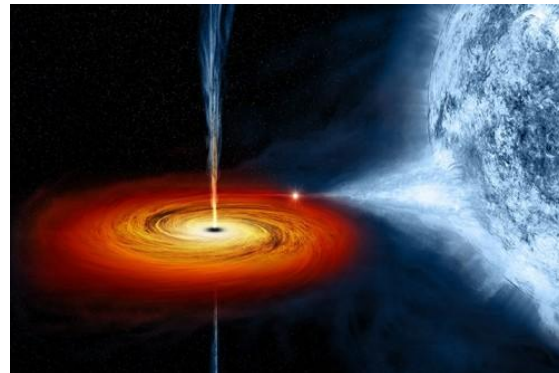
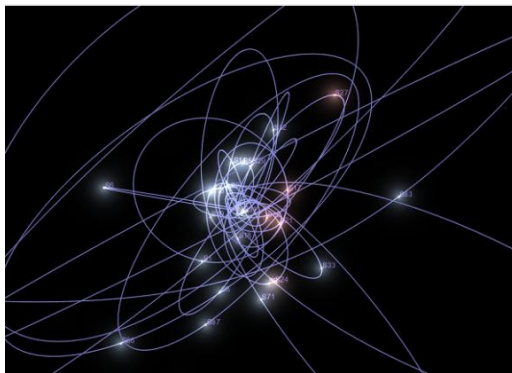
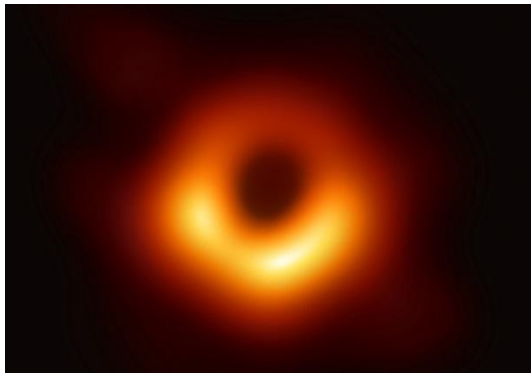


Zależność okresu od długości
(można wyprowadzić)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

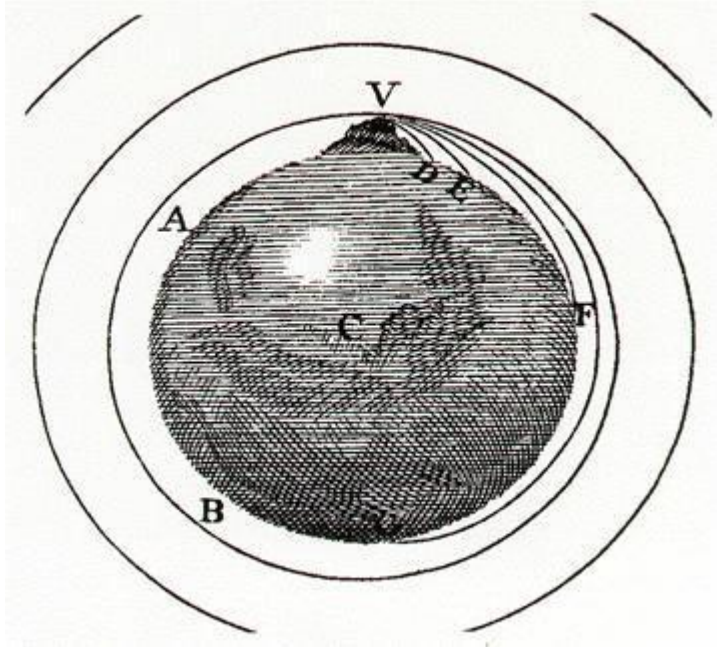
Jaka jest masa Ziemi?





Czarne dziury – najciemniejsza
z tajemnic Wszechświata

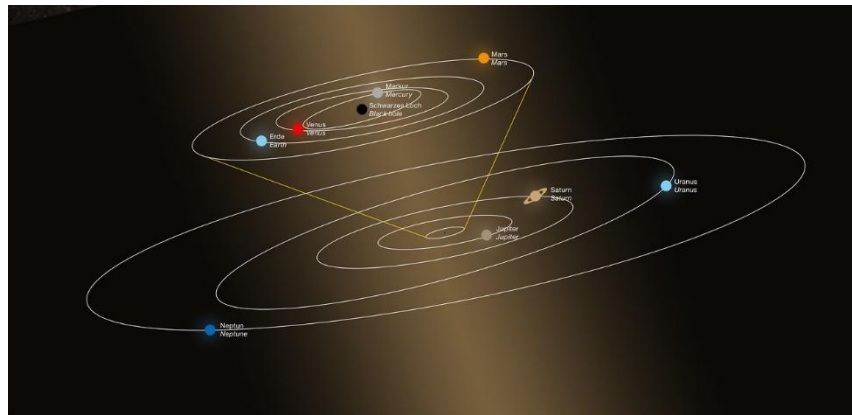
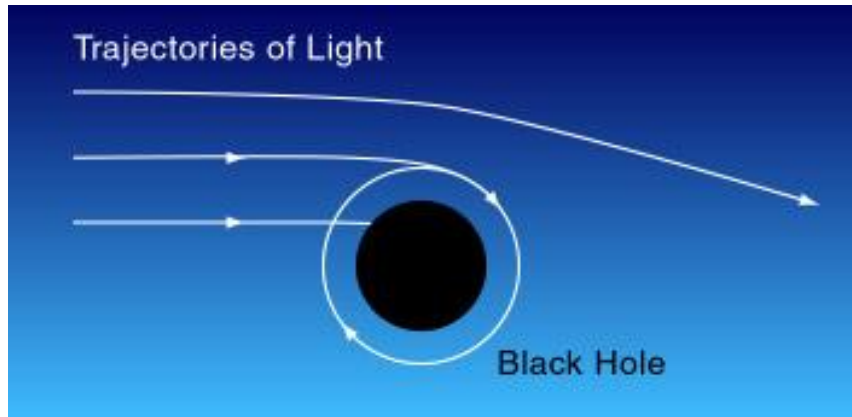
Dlaczego Ziemia (i każde ciało niebieskie) jest więzieniem?...



- Góra Newtona – spadanie, przy dużej prędkości (7.9 km/s) – orbitowanie; to tzw. I prędkość kosmiczna
- II prędkość kosmiczna – dla Ziemi 11,2 km/s – ogólnie określona wzorem

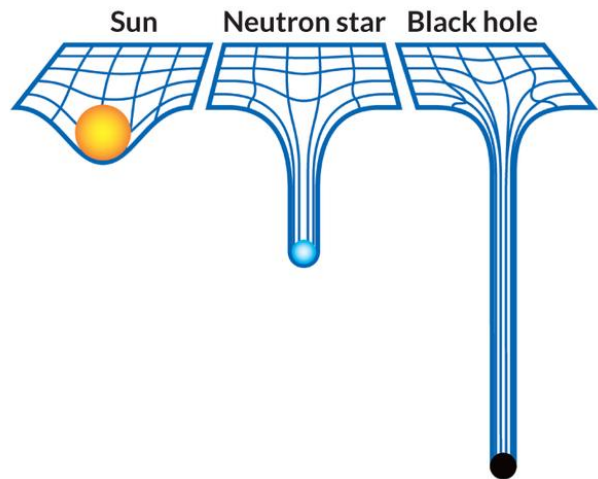
$$v^2 = 2GM/R$$

- J. Mitchell (1783), P.S. Laplace (1796-99) – pomysły na „ciemną gwiazdę”



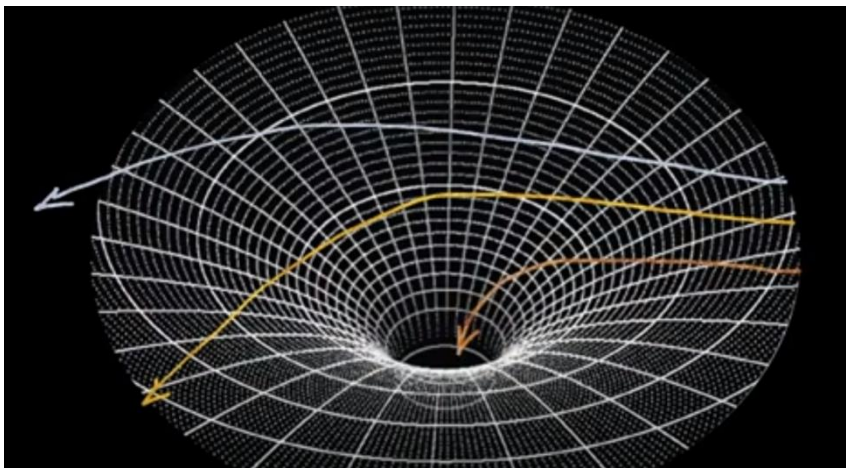
Czym jest czarna dziura?

- Obiekt tak gęsty, że nawet światło nie może się z niego wydostać
- Ze wzoru $R = 2GM/c^2$ obliczamy:
dla Ziemi – ok. 9 mm,
dla Słońca 3,3 km



Lejek grawitacyjny

- to obrazowe wyjaśnienie wpływu masy na cechy przestrzeni: im bardziej zwarty (gęsty) obiekt, tym silniej zakrzywia przestrzeń
- model pozwala wyjaśnić obserwowany charakter ruchu np. komet w U.S.

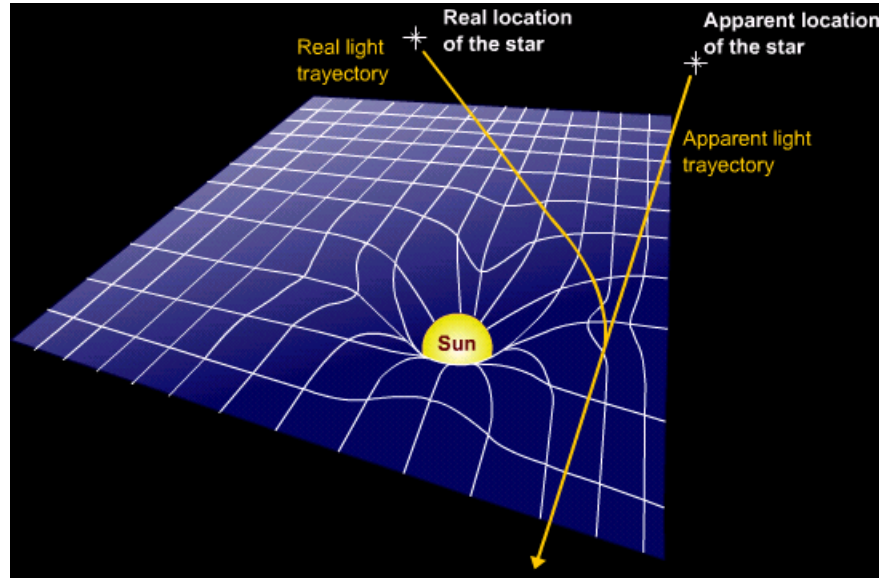




Nie tylko materia,
również pozbawione
masy fotony!

*„Materia mówi przestrzeni jak się wygiąć;
przestrzeń mówi materii, jak się poruszać.”*

John Archibald Wheeler
– propagator określenia „czarna dziura”

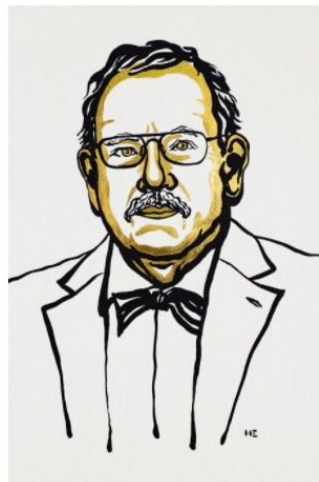


[animacja](#)

Nobliści Fizyka 2020



© Nobel Media. Ill. Niklas
Elmehed.
Roger Penrose



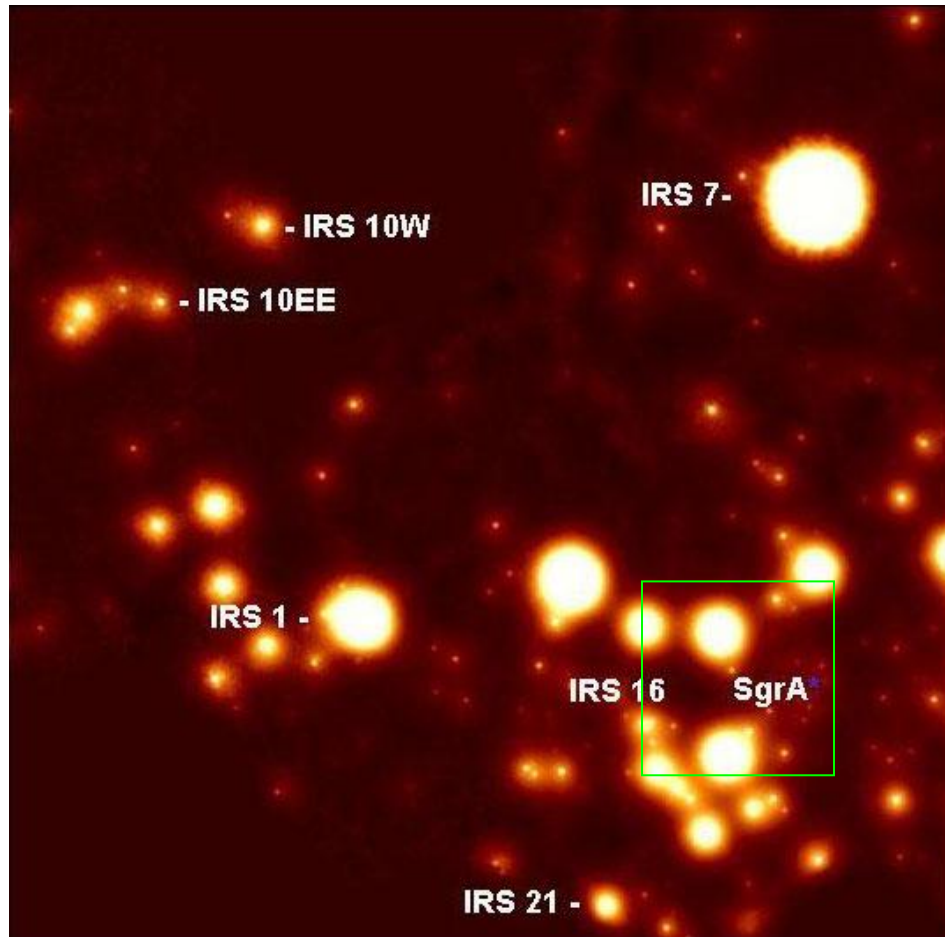
© Nobel Media. Ill. Niklas
Elmehed.
Reinhard Genzel



© Nobel Media. Ill. Niklas
Elmehed.
Andrea Ghez

- Za odkrycie, że powstawanie czarnych dziur jest niepodważalnym przewidywaniem ogólnej teorii względności
- Za odkrycie supermasywnego obiektu zwartego w centrum naszej Galaktyki – Drogi Mlecznej

1 rok świetlny – 62 000 j.a.



Co się kryje w centrum Drogi Mlecznej?

Zdjęcie w podczerwieni
Obserwatorium Kecka

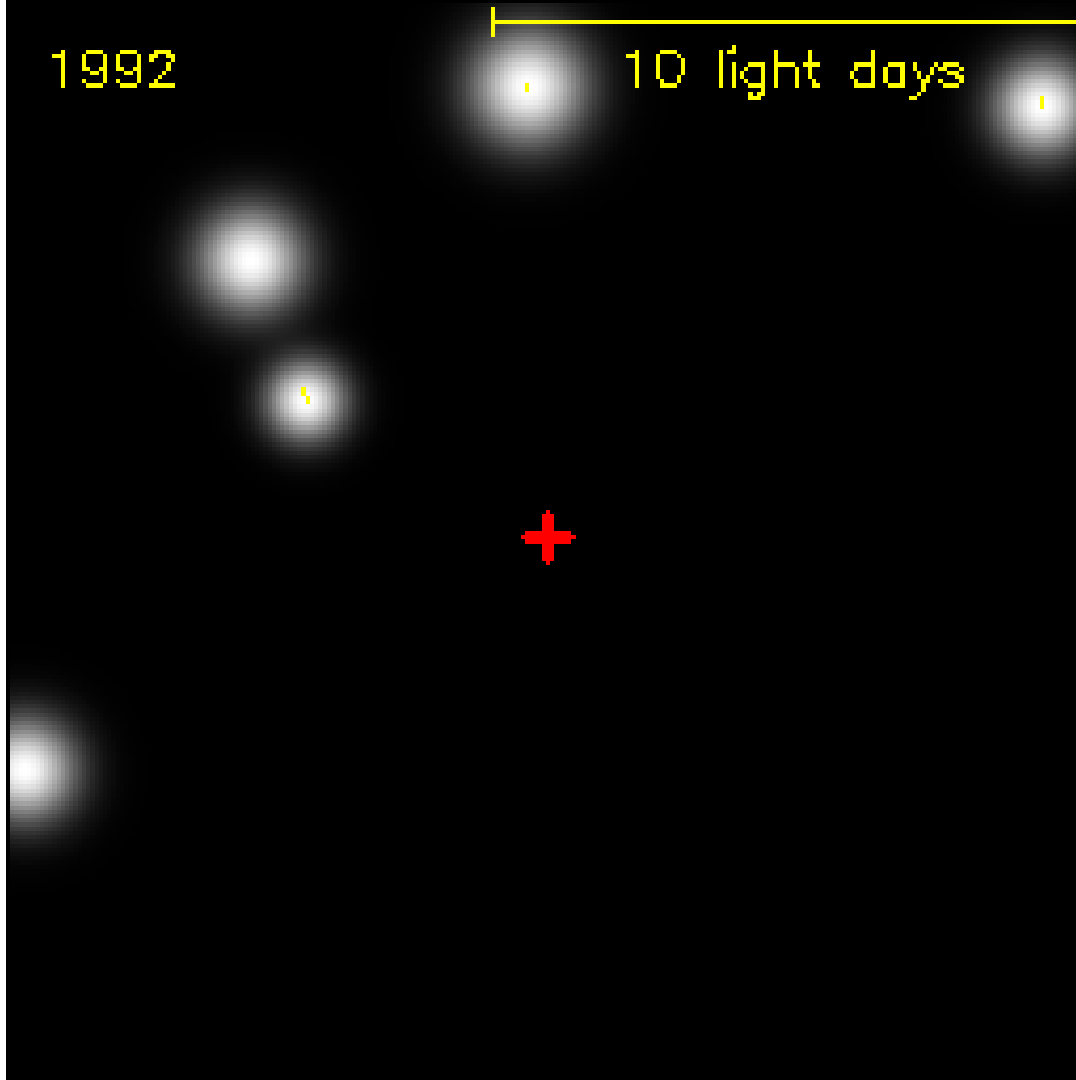
Tysiące gwiazd
w objętości
1 roku świetlnego

Centrum Galaktyki:

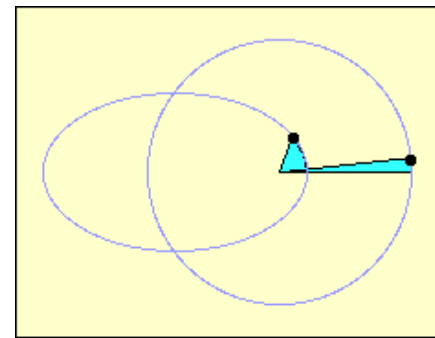
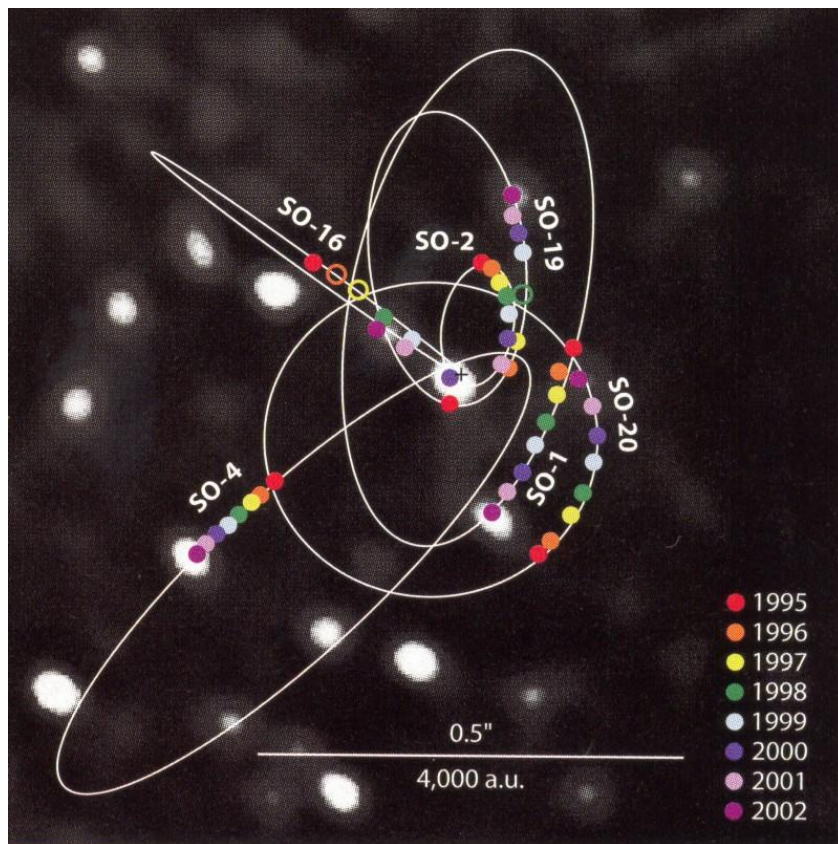
*ruch gwiazd
po eliptycznych
orbitach
keplerowskich*

1992

10 light days



8 000 j.a.

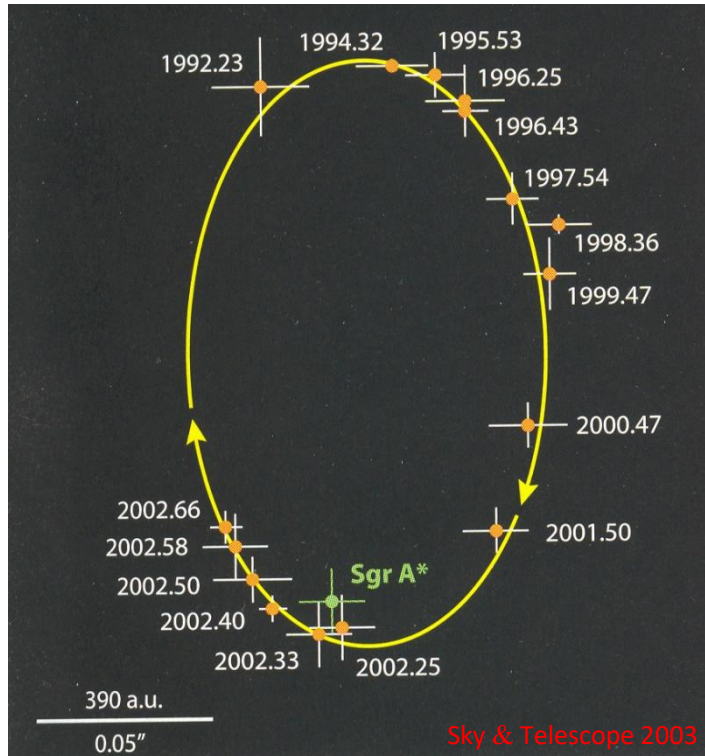


Pozycje 6 gwiazd wokół
Centrum Galaktyki

Okres obserwacji - 8 lat
Dokładność pomiaru
0.002 sekundy łuku

Obserwatorium Kecka

1300 j.a.



Dokładność pomiaru
0.002 sekundy łuku
Okres obiegu $P=15$ lat
Półoś wielka $a = 850$ j.a.

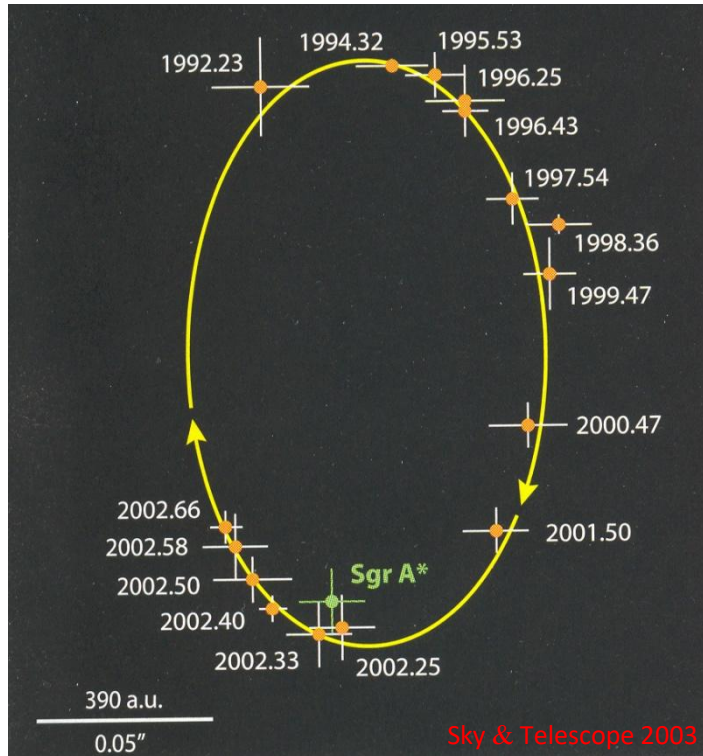
Okres obiegu Słońca wokół centrum
Galaktyki to 220 mln lat

Jaka jest masa obiektu w centrum ?

1300 j.a.

Okres obiegu $P=15$ lat

Półś wielka $a = 850$ j.a.

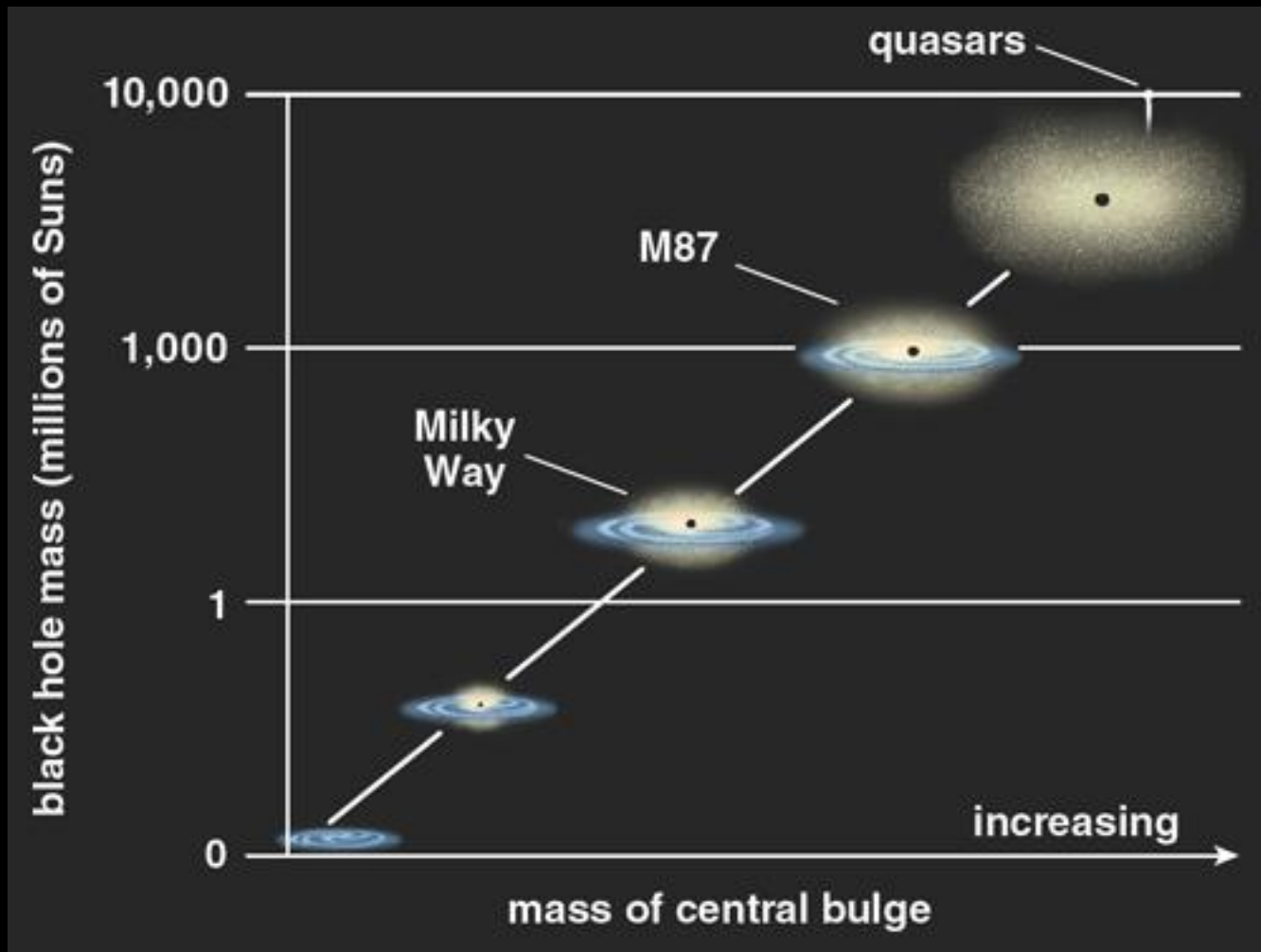


III Prawo Keplera

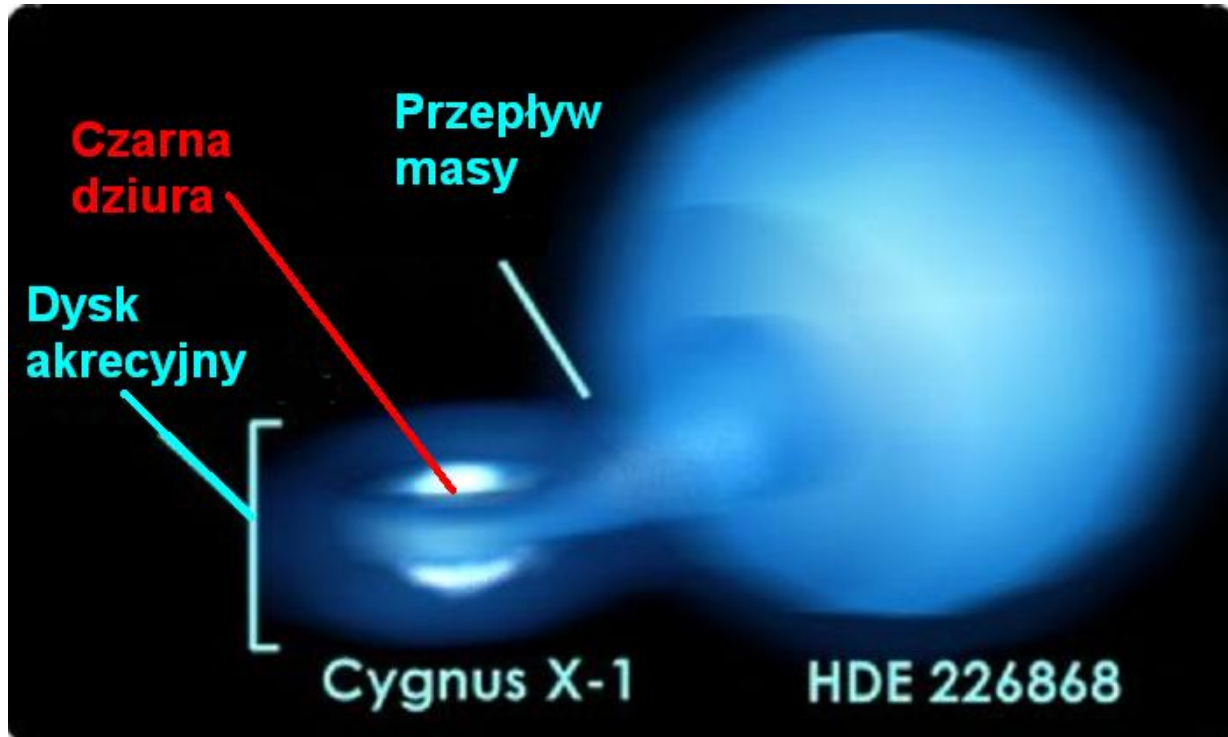
$$(M_C + m_g) = \frac{a^3}{P^2}$$
$$= \frac{(850)^3}{(15)^2} = 2.7 \times 10^6 M_S$$

$M_C \sim 3$ miliony mas Słońca
w objętości kilku Słońc

Supermasywne czarne dziury



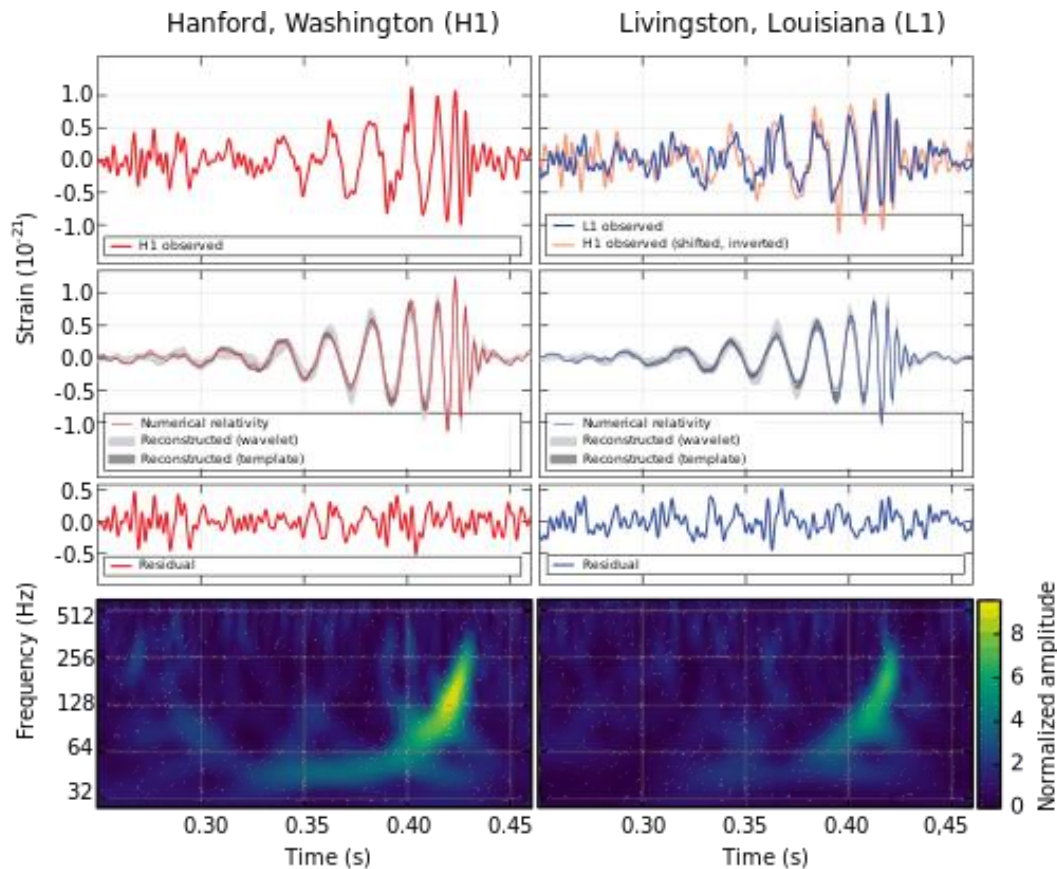
- # Inny rodzaj czarnych dziur
- powstaje w wyniku ewolucji masywnych gwiazd



A long time ago in a galaxy far,
far away....

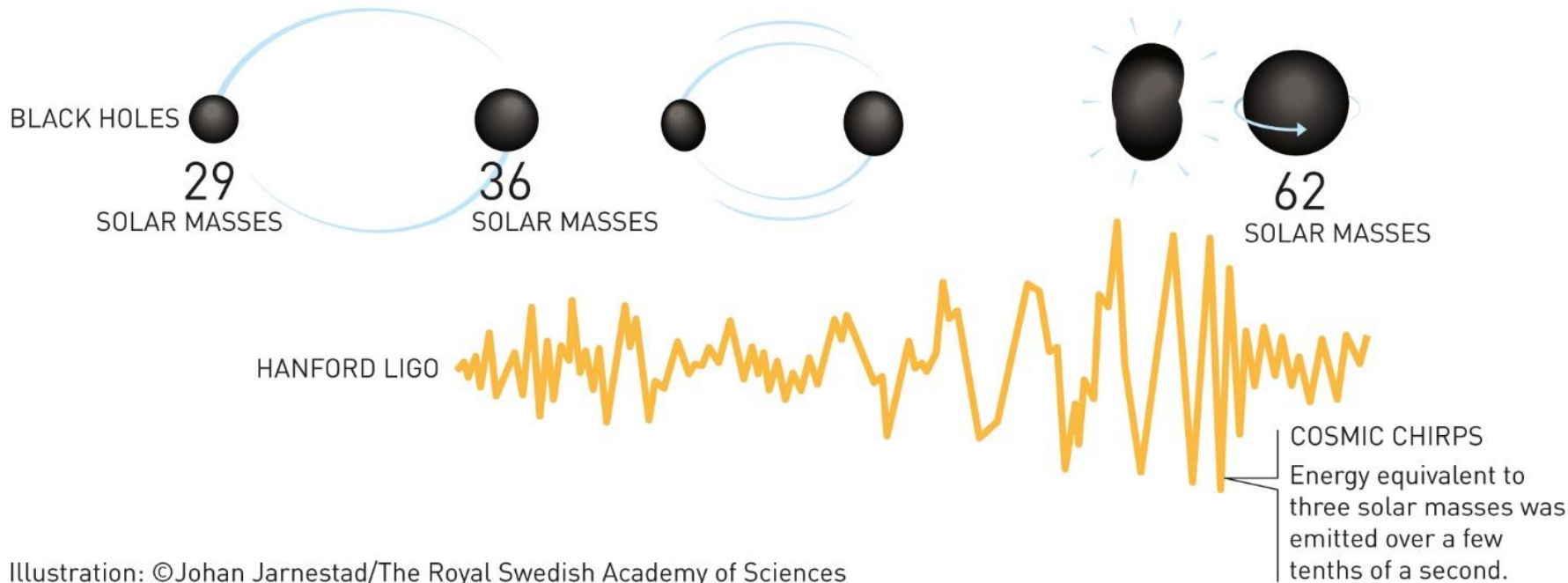


Sygnal zarejestrowany 14.09.2015



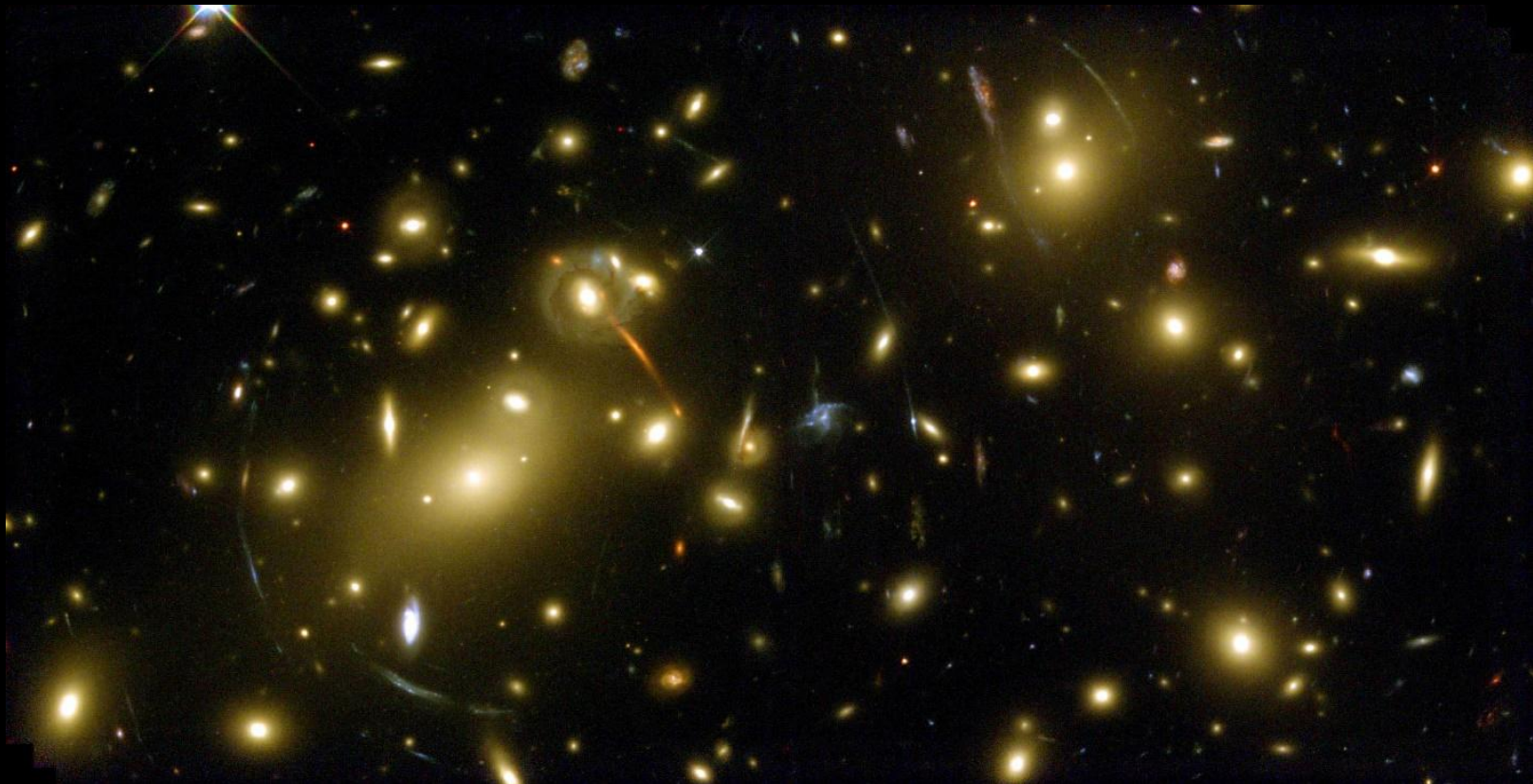
„Zlewające się” czarne dziury i fale grawitacyjne (Nagroda Nobla 2017)

GRAVITATIONAL WAVES FROM
COLLIDING BLACK HOLES

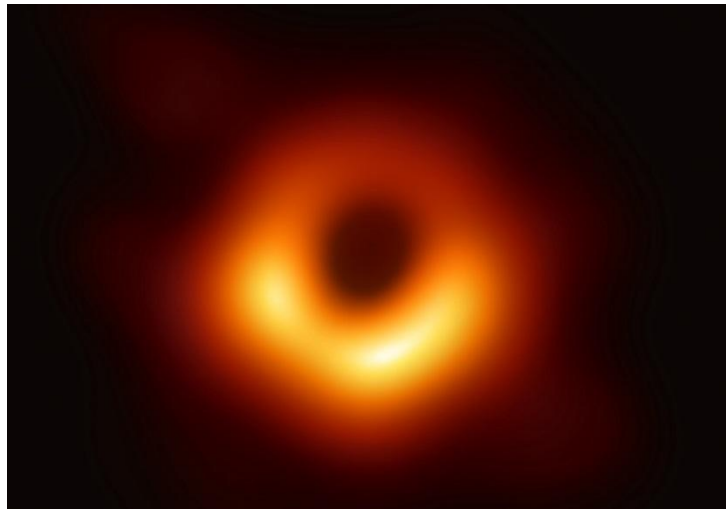


*Wszechświat jest ogromny. Do bólu piękny. Zdumiewająco prosty
pod pewnymi względami, a pod innymi – misternie złożony.*

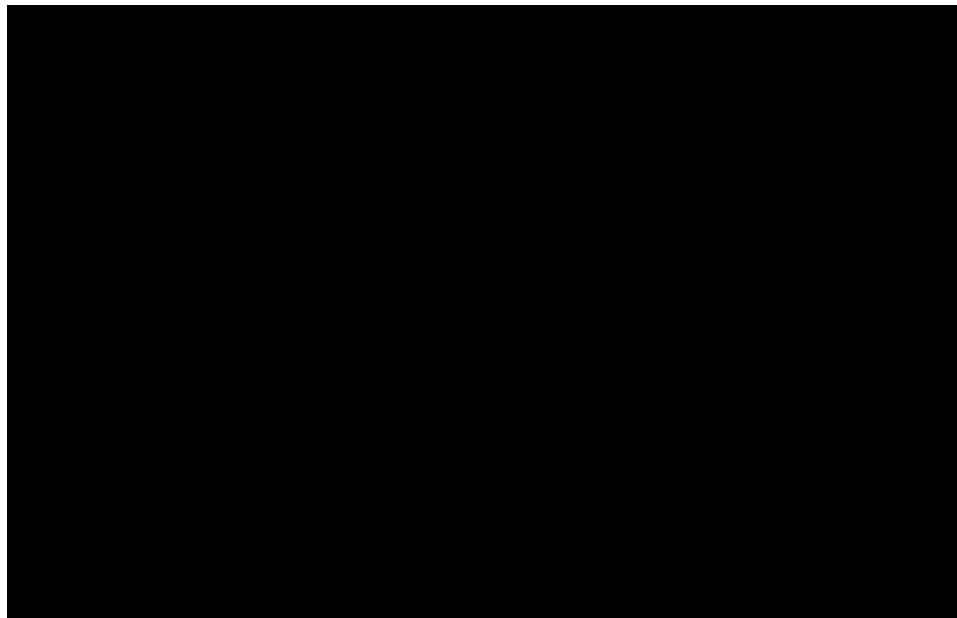
Kip Thorne



„Cień” supermasywnej
czarnej dziury
w galaktyce M87 (2019)



Z ostatniej chwili!!!
Najlepsze zdjęcie czarnej dziury:



; -)

Planety innych słońc



Aktualne źródła informacji:

planeta pozasłoneczna
www.wikipedia.pl

encyklopedia pozasłonecznych
układów planetarnych
exoplanet.eu

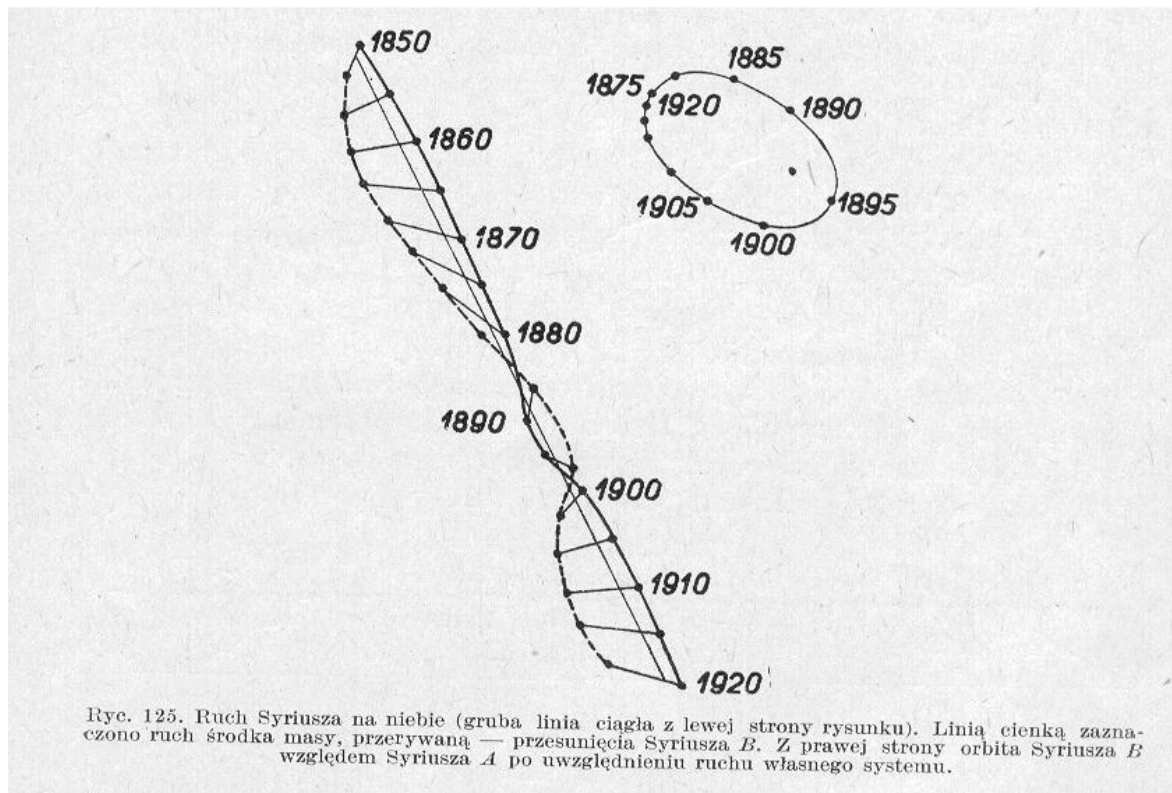
Główne sposoby wykrywania układów planetarnych

Metoda	Założenie	Wymagania obserwacyjne ^a	Wykrywane planety	Zastosowania
Astro-metryczna	ciężka planeta przyciąga gwiazdę, która wskutek tego nie jest nieruchoma	orbita odpowiednio ułożona, dokładny pomiar prędk. radialnej (10 m/s ^{bc})	masywne, krążące blisko gwiazdy	główna metoda odkrywania planet, można ocenić tylko ich masę i orbitę
		dokładny pomiar położenia gwiazdy (0,0001")		pierwsze udane zastosowania w roku 2000
Foto-metryczna	planeta, która przechodzi na tle gwiazdy, zasłania część jej tarczy	orbita planety odpowiednio nachylona, dokładny pomiar wahań jasności (0 ^m ,0001)	o dużych średnicach	krzywa zmian blasku i obserwacja zmian widma gwiazdy daje dodatkowe informacje ^c
Foto-graficzna	planeta odbija światło i zmienia położenie względem gwiazdy	możliwość zarejestrowania obiektu 22–25 ^m blisko (0,1–10") od gwiazdy jasności 3–10 ^m	o dużych średnicach i dużym albedo	na razie poza zasięgiem możliwości astronomów, sytuacja wkrótce może się zmienić

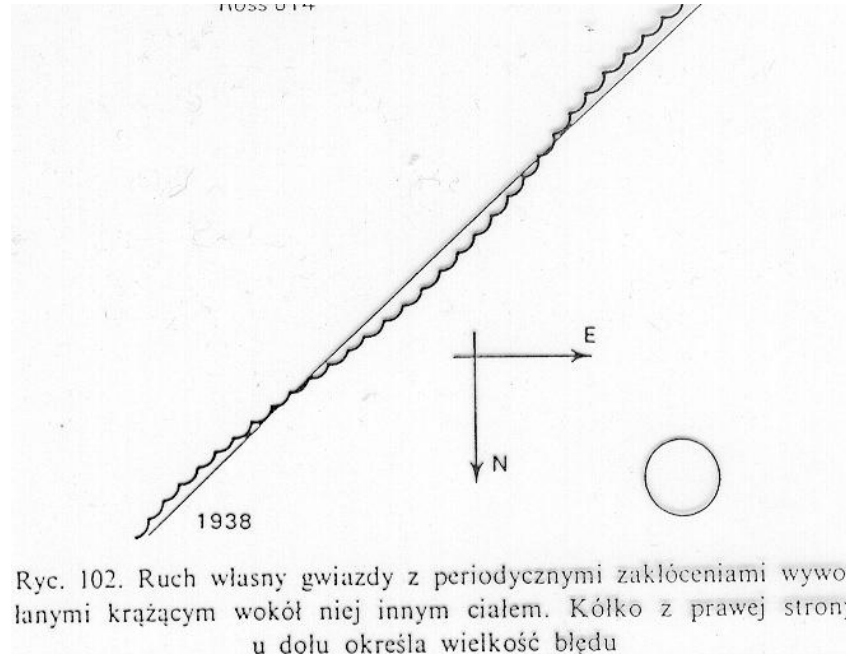
^a Dane orientacyjne; ^b tzn. zmiana długości fali linii widmowej rzędu 0,00001%; ^c średnica gwiazdy i planety, ewentualna obecność dużych satelitów planety, obecność atmosfery i jej skład.

Uwaga: układy planetarne można też wykryć w zakresie radiowym (np. wokół pulsarów) i przez obserwacje w podczerwieni (emisja wskazująca na świecenie dużych rozgrzanych ciał i obecność dysków protoplanetarnych).

Metoda astrometryczna - odkrycie białych karłów



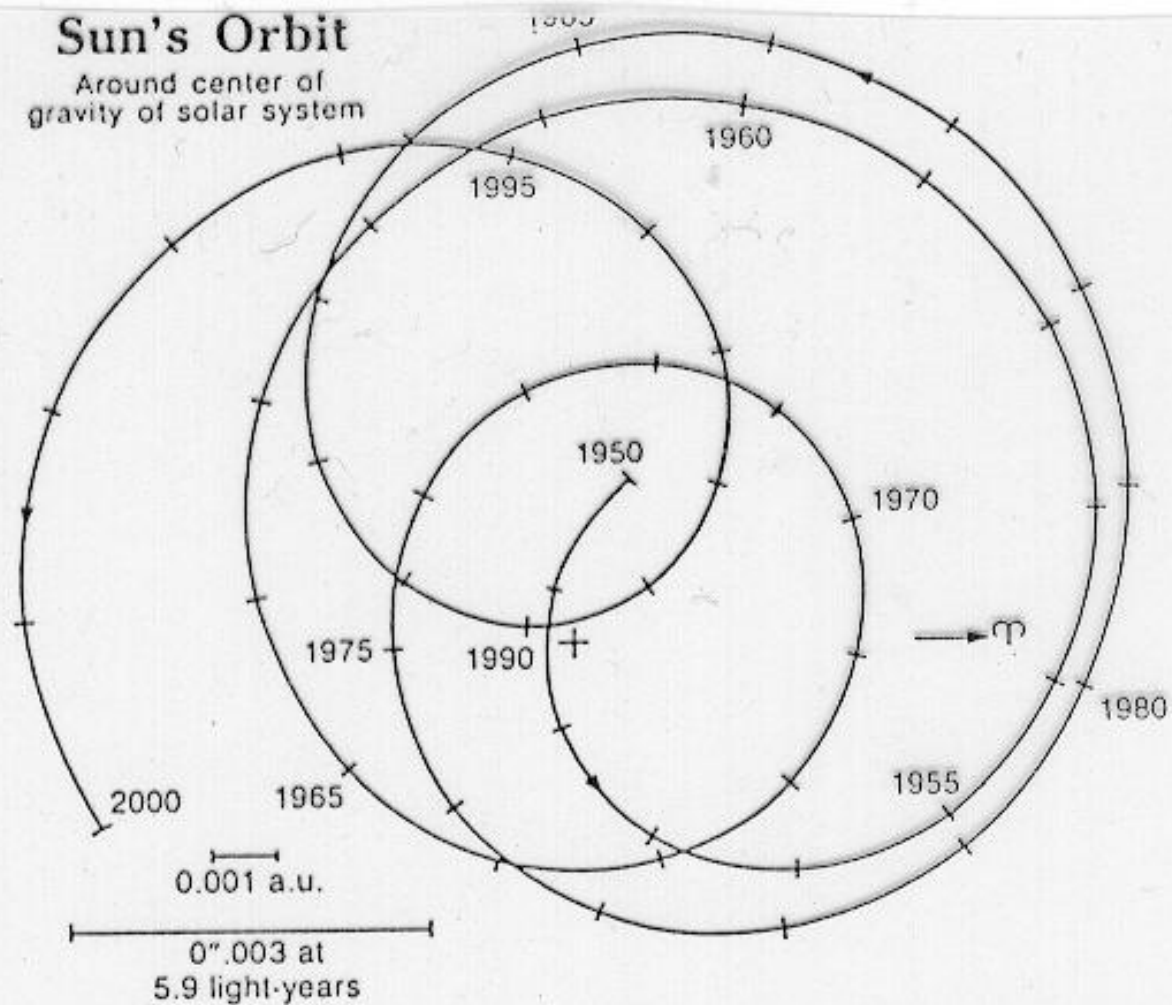
Metoda astrometryczna - poszukiwanie niewidocznych towarzyszy



Gwiazda	Odleg- łość (lata światl- ne)	Okres obiegu (lata)	Wielka półoś (j.a.)	Mimo- śród orbity	Masa ($M_{\odot}$)
<i>Iul 21185</i>	8,04	8,0		0,3	0,01
<i>ε Eridani</i>	10,69	25	7,9	0,5	$0,006 \div 0,05$
<i>61 Cygni A</i>	11,17	4,8	2,4	0	0,008
<i>Krüger 60</i>	12,84	16	4,1	0,3	$0,009 \div 0,025$
<i>BD + 5°1668</i>	12,64	6			0,002
<i>BD + 68 946</i>	15,76	24,5	5,65	0,90	0,026
<i>o² Eridani A</i>	15,86	2,99			0,029
<i>BD + 20 2465</i>	16,15	0	3,0		$0,01 \div 0,02$
<i>70 Ophiuchi</i>	16,73	9,80	4,4		$0,012 \div 0,015$
<i>BD + 43 4305</i>	16,90	28,9		0,44	$0,01 \div 0,03$
<i>η Cassiopeae</i>	19,19	18	6,7		0,04
<i>Ross 986</i>	19,30	18	4,0		0,13?

Sun's Orbit

Around center of gravity of solar system

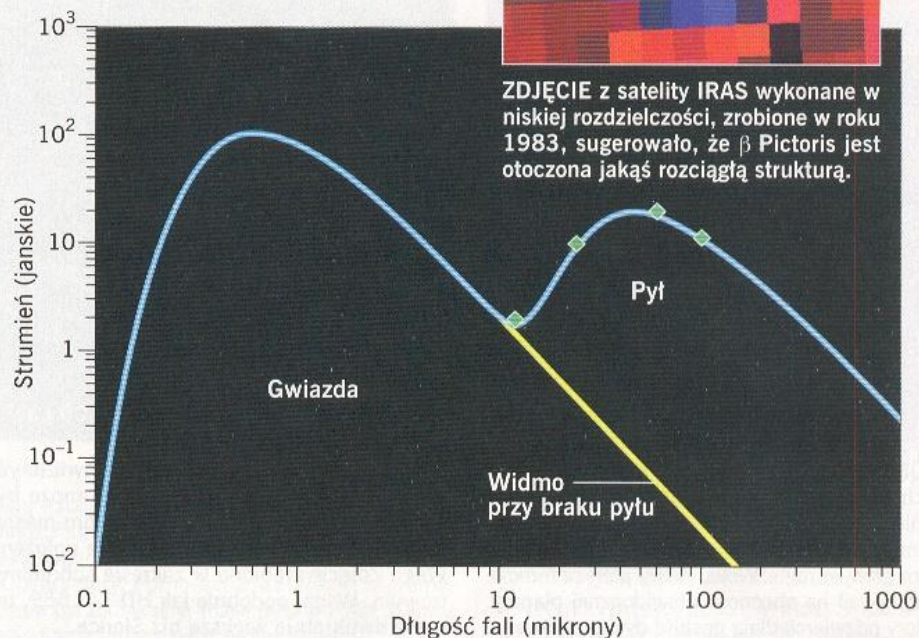


β PICTORIS

DYSK PYŁOWY wokół gwiazdy β Pictoris, która leży w odległości 63 lat świetlnych od Słońca, jest najlepiej przebadanym dyskiem poza Układem Słonecznym.



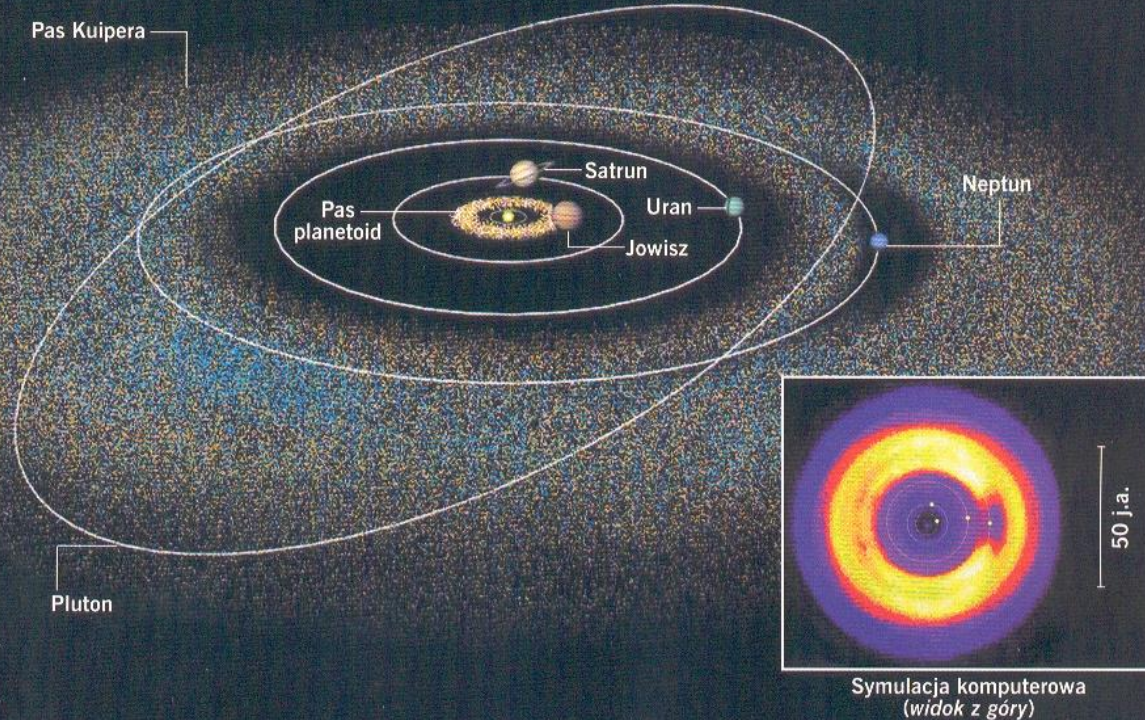
ZDJĘCIE z satelity IRAS wykonane w niskiej rozdzielczości, zrobione w roku 1983, sugerowało, że β Pictoris jest otoczona jakąś rozciągłą strukturą.



WIDMO β PICTORIS różni się od widma zwykłej gwiazdy. Nadwyżka w zakresie podczerwonym jest wymowną oznaką obecności pyłu. Rombami oznaczono wartości zmierzone przez satelitę IRAS.

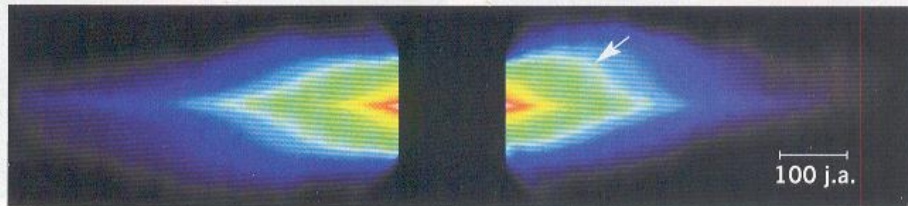
WYRZEŻBIONE PRZEZ PLANETY

WOKÓŁGWIAZDOWY PYŁ nie tylko wskazuje na istnienie planetoid i komet, może też zdradzić obecność planety. W Układzie Słonecznym grawitacja wielkich planet prawdopodobnie „rzeźbi” wzory w pyłe Pasa Kuipera. Zewnętrzny obserwator zobaczyłby przerwy i zgęszczenia, z których mógłby wydedukować obecność Neptuna (*wstawka*). Podobne struktury widać wokół innych gwiazd.

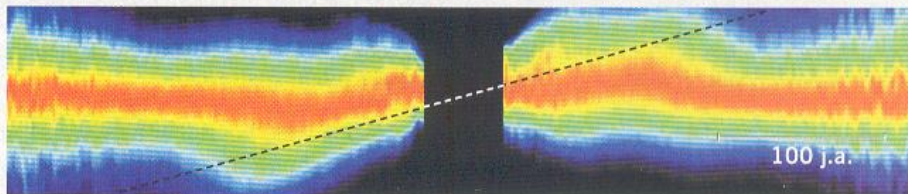




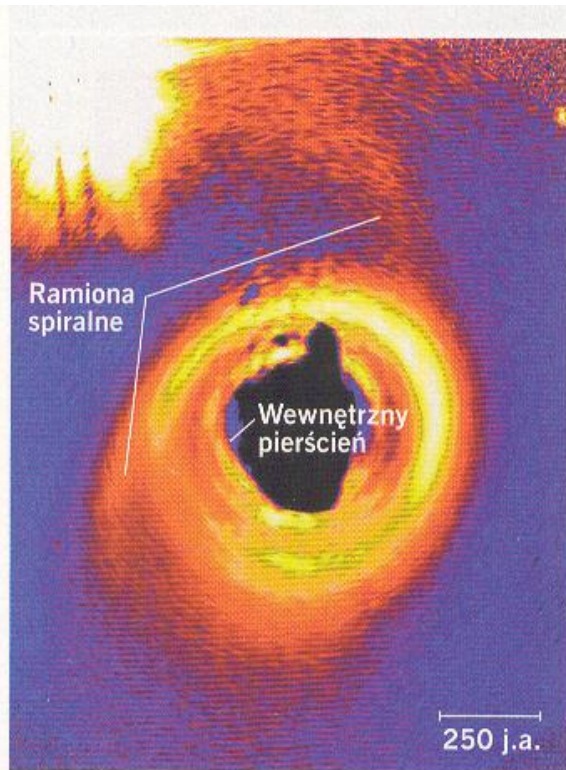
ZDJĘCIE W ŚWIECIE WIDZIALNYM, które wykonano w 1984 roku, ukazało dysk ustawiony do nas bokiem. Proste linie i pierścienie to ślady pozostawione przez urządzenie blokujące światło gwiazdy.



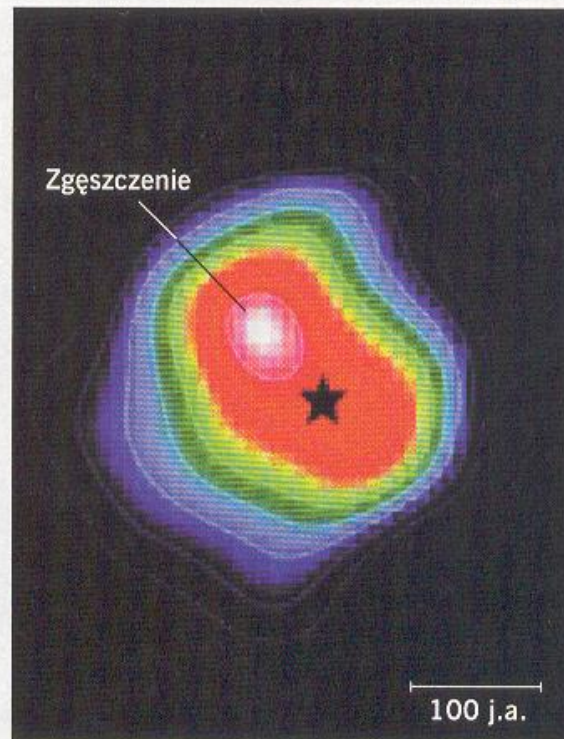
NA ZDJĘCIU w świetle widzialnym, które otrzymano w 1995 roku za pomocą Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, widać wybrzuszenie dysku (*strzałka*). Taka deformacja mogła zostać spowodowana przez brązowego karła lub gwiazdę przelatującą w pobliżu dysku. Kolory odzwierciedlają jasność dysku.



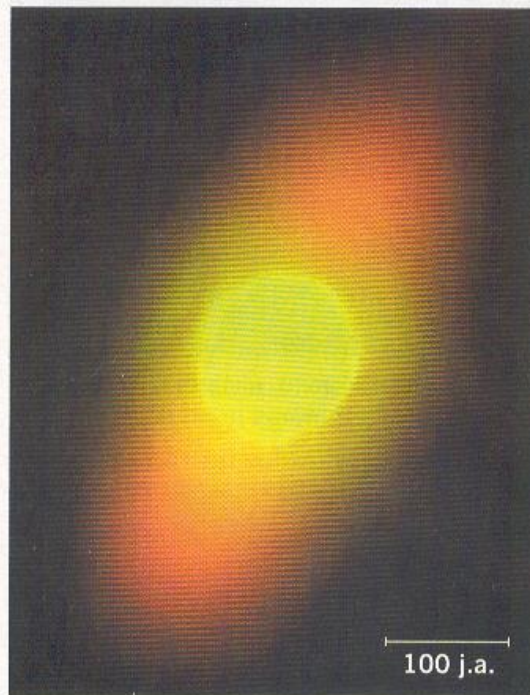
KOLEJNE ZDJĘCIE, wykonane przez teleskop Hubble'a w 1997 roku, ujawniło wygięcie w wewnętrznej części dysku. Takie wygięcie wskazuje na obecność wielkiej planety krążącej po orbicie nachylonej do płaszczyzny dysku.



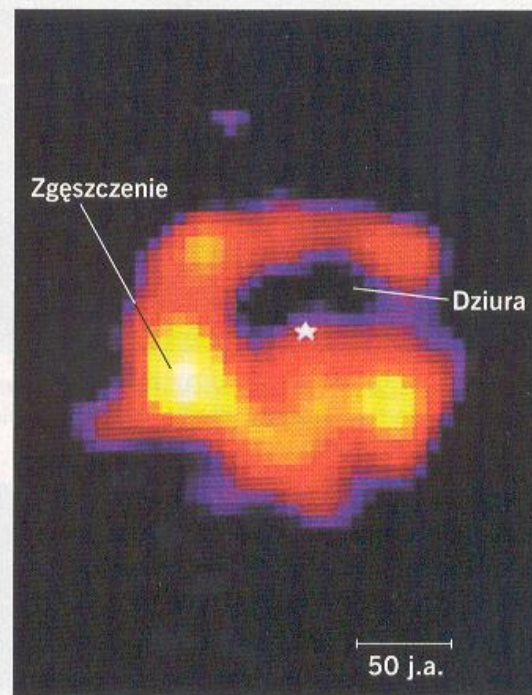
ZDJĘCIE PYŁU wokół odległej o 330 lat świetlnych gwiazdy HD 141569 ukazuje dwa wielkie ramiona spiralne. Mogły one powstać pod działaniem grawitacyjnych sił gwiazdy widocznej w lewym górnym rogu. Wewnętrzny pierścień może wskazywać na obecność niewidocznej planety. Kolory odzwierciedlają gęstość dysku pyłowego.



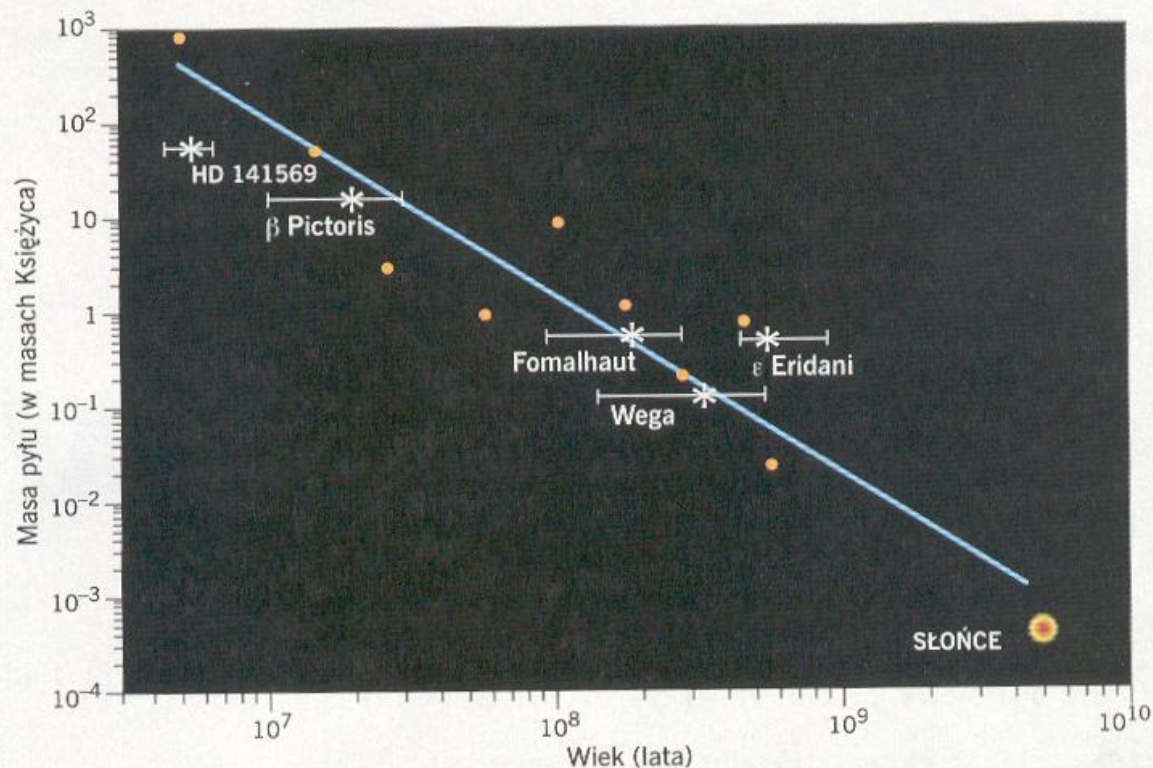
PYŁOWY DYSK odległej o 25 lat świetlnych Wegi ma jasne zgęszczenie, które może być śladem planety o masie równej dwóm masom Jowisza. Czarna gwiazdka pokazuje położenie Wegi. Zdjęcie zrobiono w zakresie submilimetrycznym. Wega, podobnie jak HD 141569, ma masę dwukrotnie większą niż Słońce.



DYSK FOMALHAUTA, gwiazdy oddległej o 25 lat świetlnych. Jego lewa dolna strona jest jaśniejsza od prawej górnej – być może niedawno doszło tam do zderzenia planetoid. W bliskim otoczeniu Fomalhauta znajduje się ciepły pył (żółty), który może być odpowiednikiem pyłu zodiakalnego w Układzie Słonecznym. Zdjęcie zrobiono w dalekiej podczerwieni.

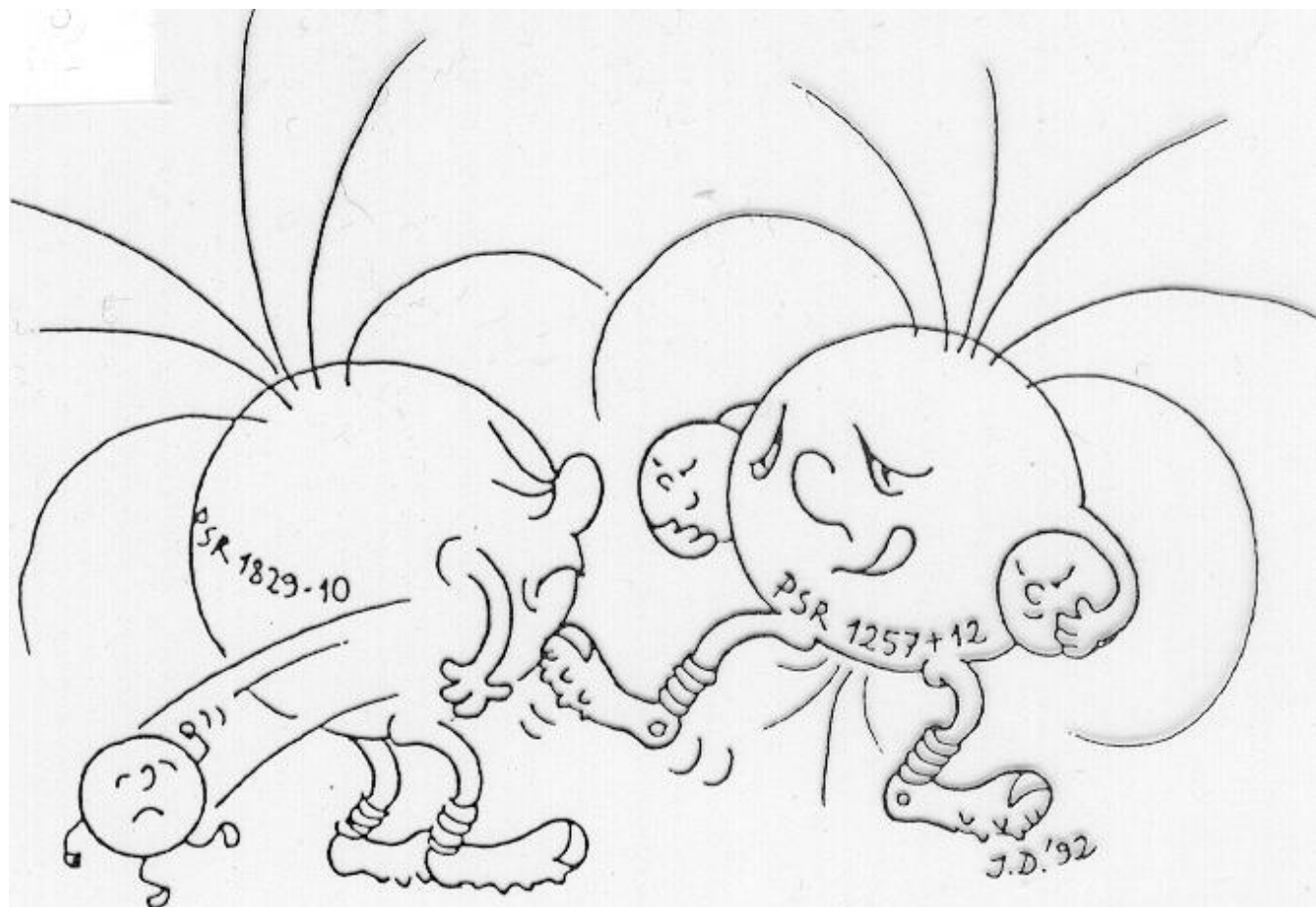


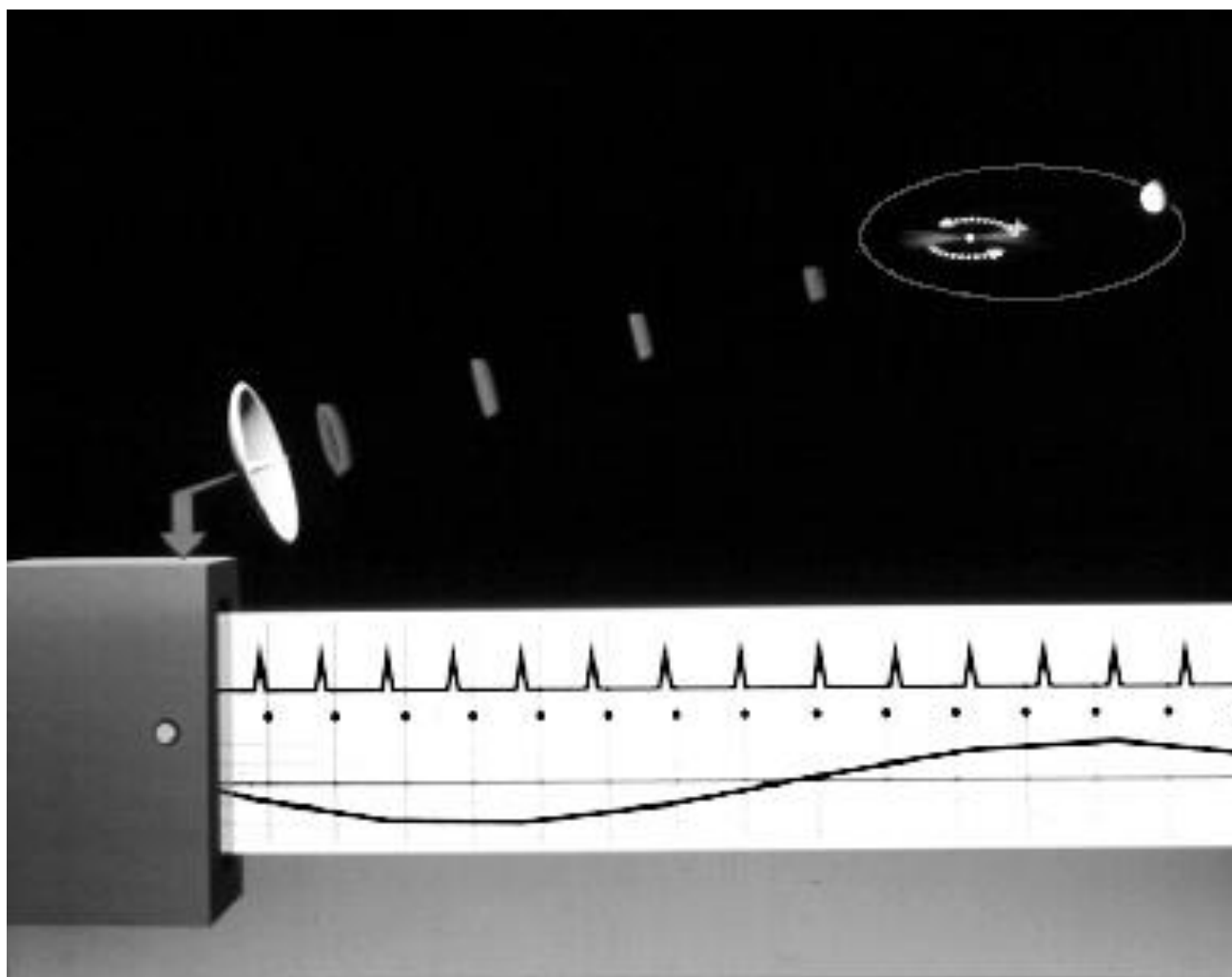
DYSK GWIAZDY ϵ ERIDANI oddległej o 10 lat świetlnych ma zgęszczenia i dziury. Prawdopodobnie jest to ślad planety o masie Saturna, która porusza się po wydłużonej orbicie. Niezależne (na razie niepotwierdzone) dane widmowe wskazują na istnienie drugiej planety krążącej bliżej gwiazdy. Zdjęcie wykonano w zakresie submilimetrowym.

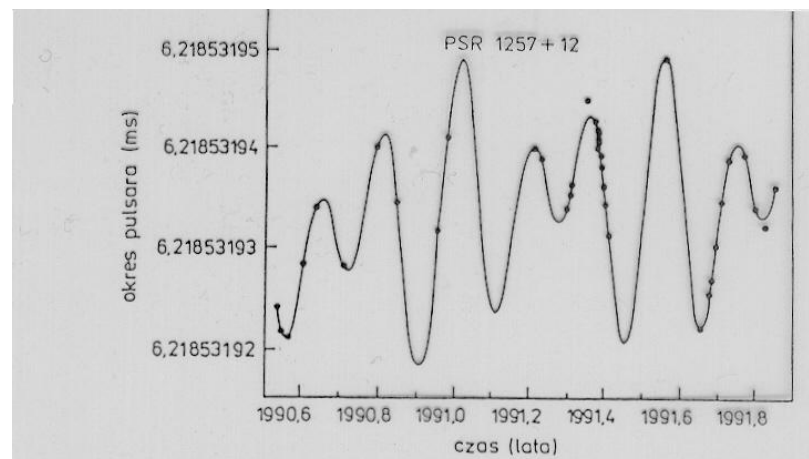


Z UPŁYWEM CZASU dyski pyłowe stopniowo zanikają – najprawdopodobniej dlatego że planetoidy i komety, z których pochodzi pył, są stopniowo niszczone. Zależność masy dysku od jego wieku jest obarczona sporym rozrzutem, niemniej jednak sugeruje, że wszystkie układy ewoluują w podobny sposób. Dane pochodzą z Infrared Space Observatory. Pomarańczowe kropki to gromady gwiazd. Punkt opisany jako Słońce reprezentuje jedynie pył zodiakalny; masa pyłu w Pasie Kuipera nie jest znana (może być nawet dziesięciokrotnie większa od masy pyłu zodiakalnego).





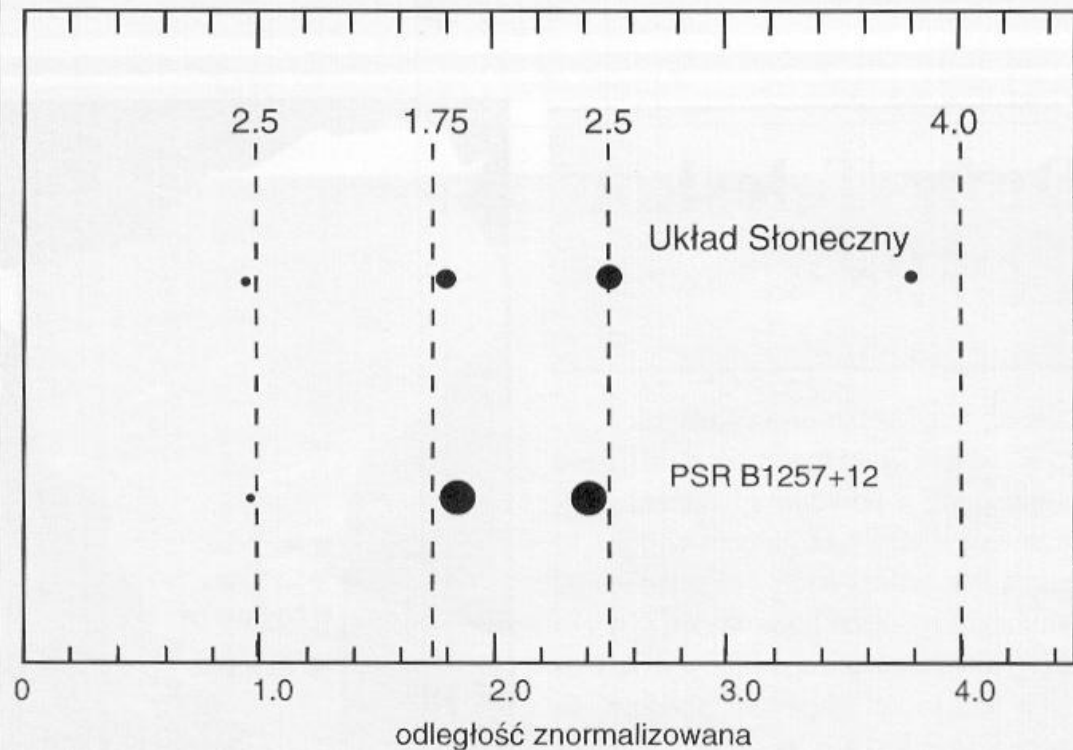




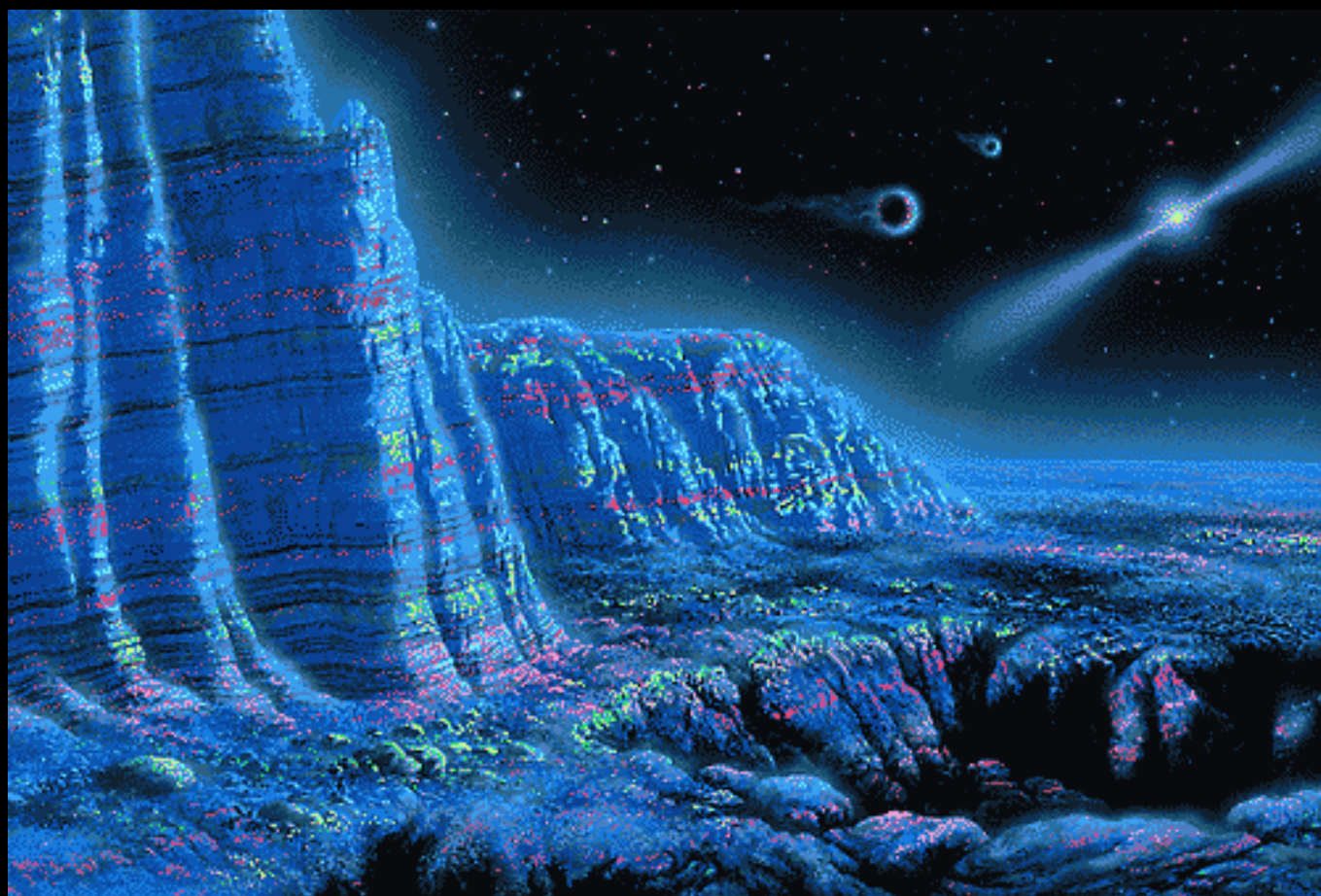
Rys. 11.1. Zmiany okresu pulsara PSR 1257+12 w latach 1990–1991 pretowane jako efekt Dopplera pod wpływem ruchu orbitalnego dwóch z okresami 66,6 i 98,2 dni

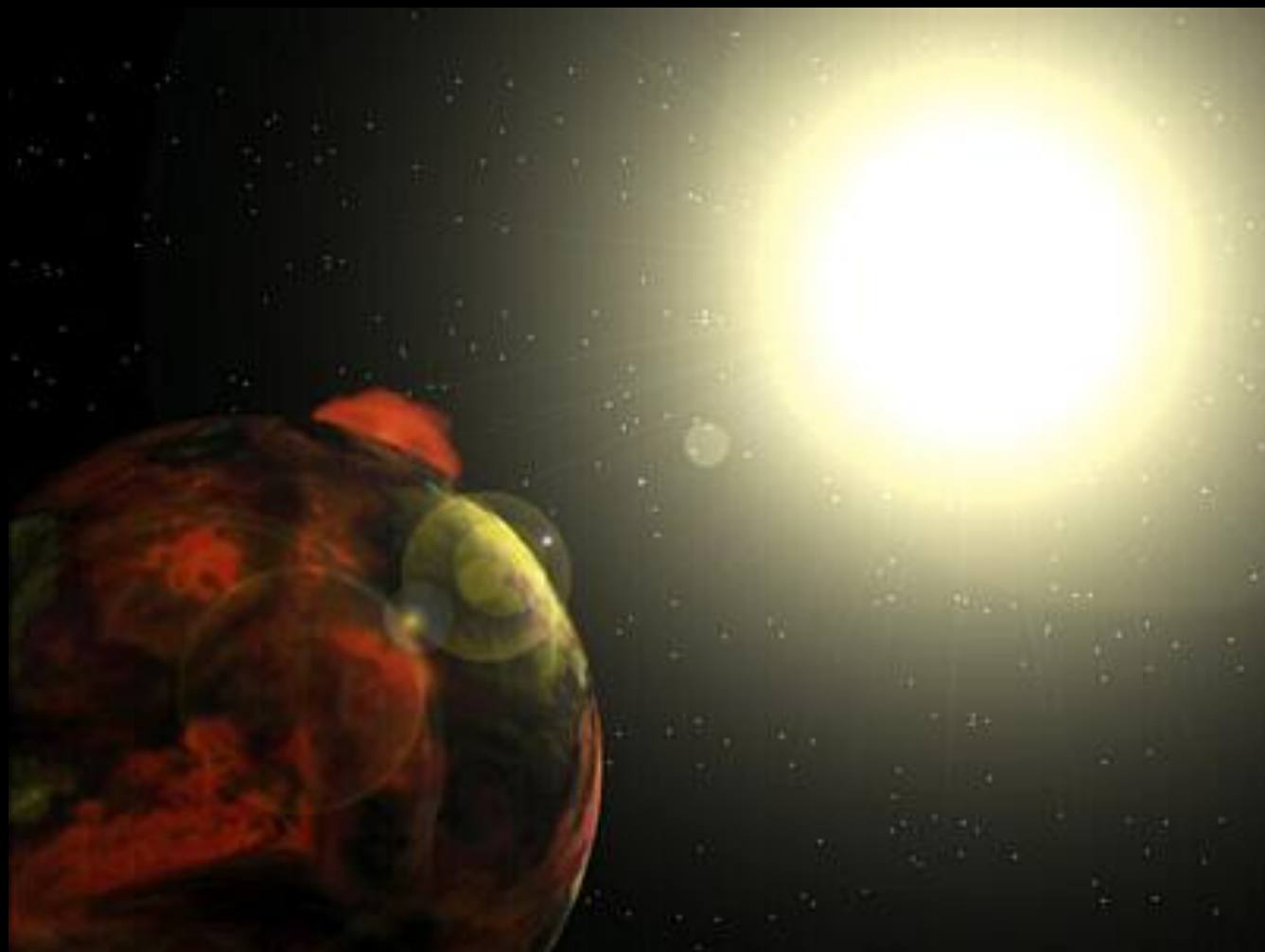
Tabela 11.1. Dane o dwóch planetach pulsara PSR 1257+12

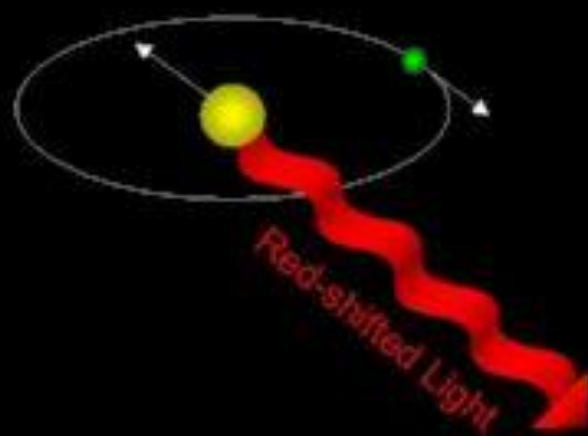
Dane	Planeta 1	Planeta 2
P	66,6 dni	98,2 dni
a	0,36 j.a.	0,47 j.a.
e	$0,022 \pm 0,007$	$0,020 \pm 0,006$
ω	252°	107°
m	$3,4 M_Z / \sin i$	$2,8 M_Z / \sin i$
r_L	$0,0048(\sin i)^{-1/3}$ j.a.	$0,0059(\sin i)^{-1/3}$ j.a.
$\sin i$	$> 1/180$	$> 1/180$



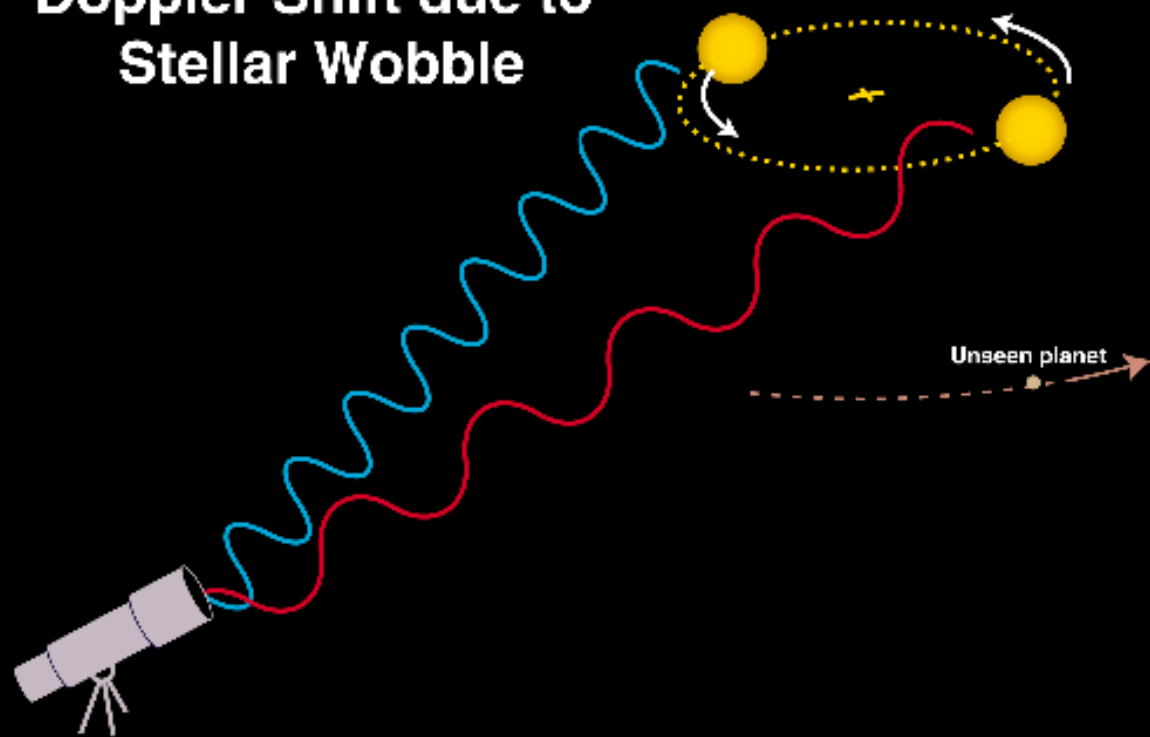
Rys. 2. Porównanie względnych odległości wewnętrznych planet Układu Słonecznego i planet pulsara PSR B1257+12 od ich odpowiednich ciał centralnych z przewidywaniami prawa Titiusa-Bodego. Znormalizowane przewidywane odległości oznaczone są pionowymi liniami przerywanymi. Rozmiary symboli planet są proporcjonalne do ich mas, zakładając, że posiadają one identyczne gęstości.



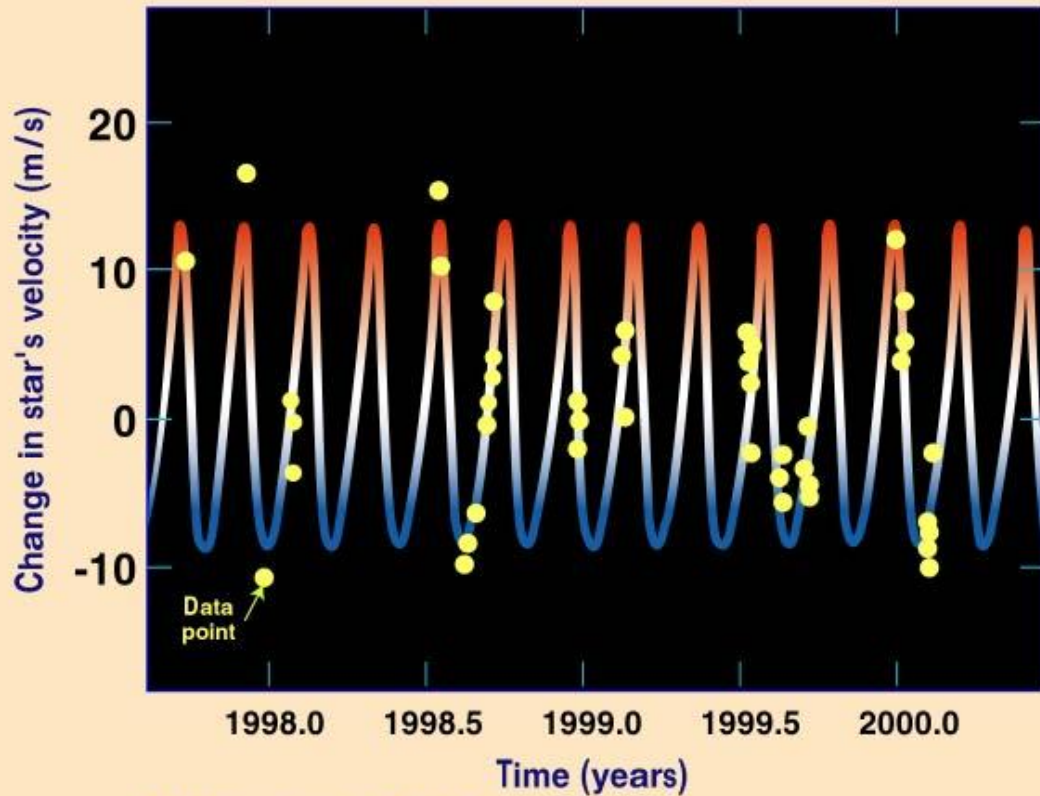




Doppler Shift due to Stellar Wobble



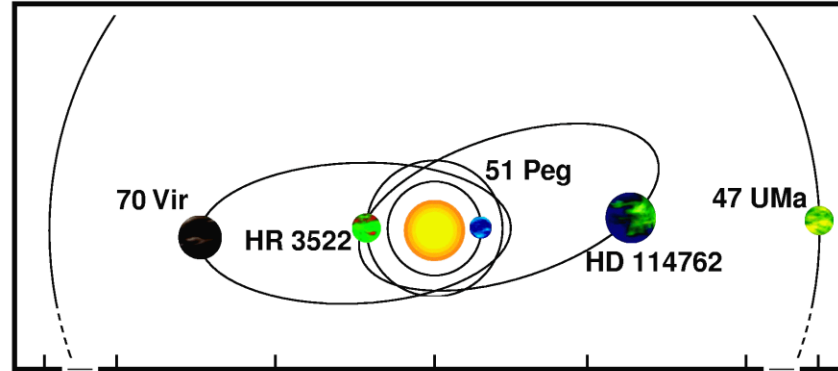
Planet Orbiting Star 79 Ceti



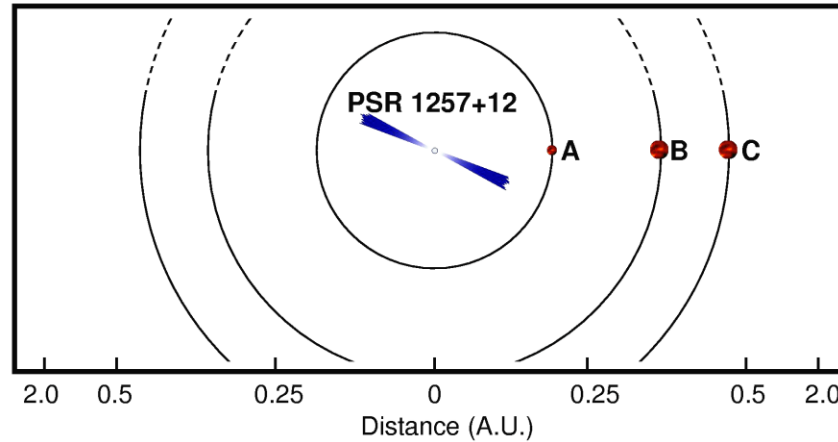
Orbital period = 75.91 days

Orbiting planet = 67% of Saturn's mass

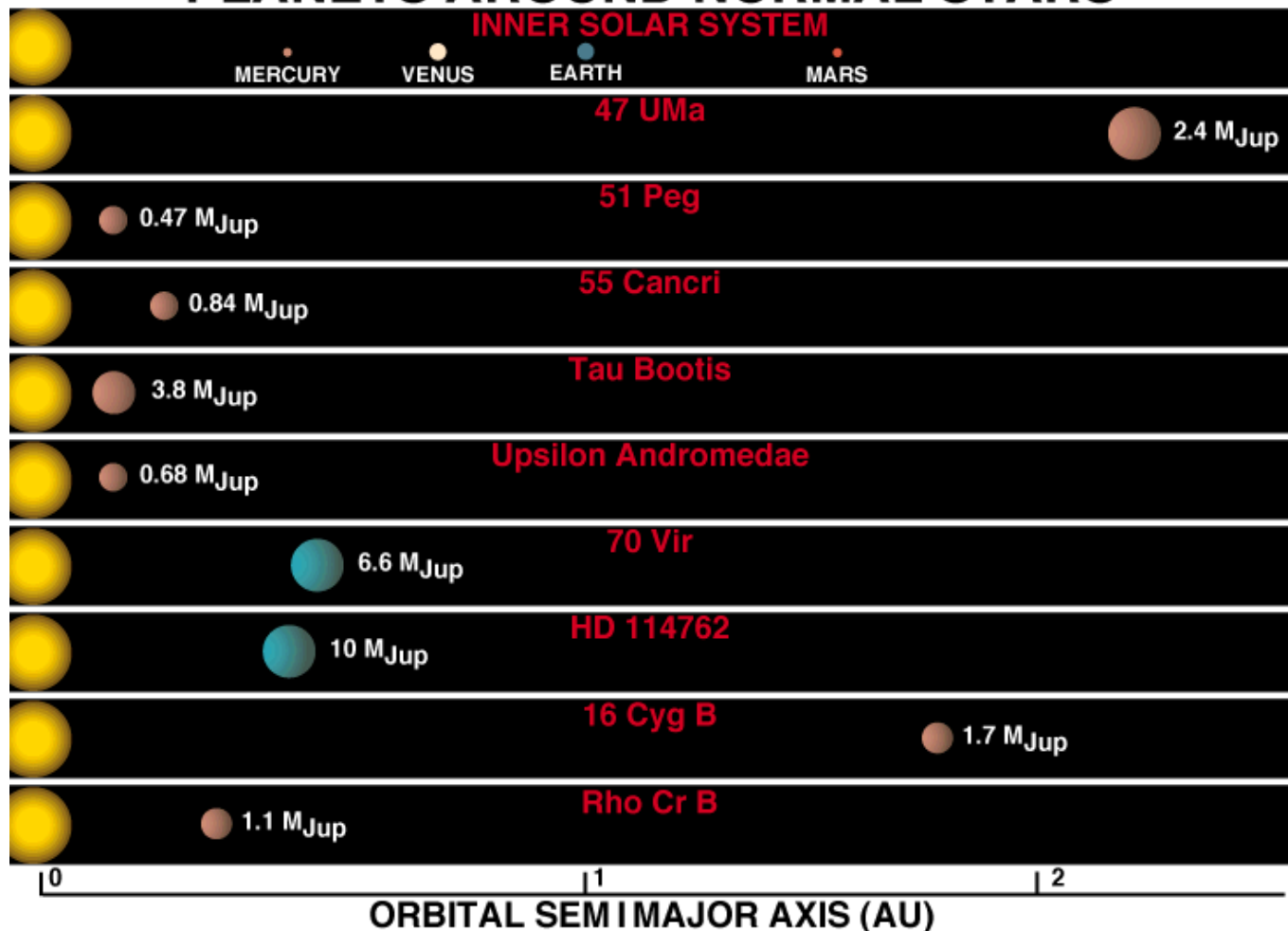
Giant planets around solar-type stars



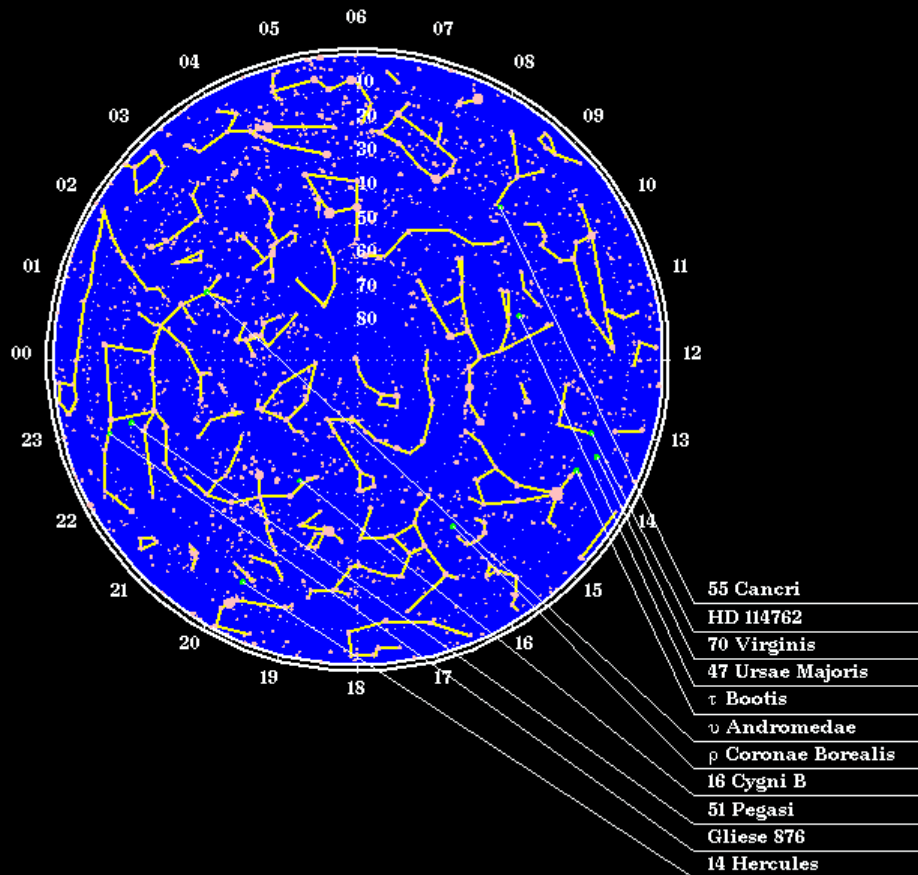
Earth-mass planets around a neutron star



PLANETS AROUND NORMAL STARS



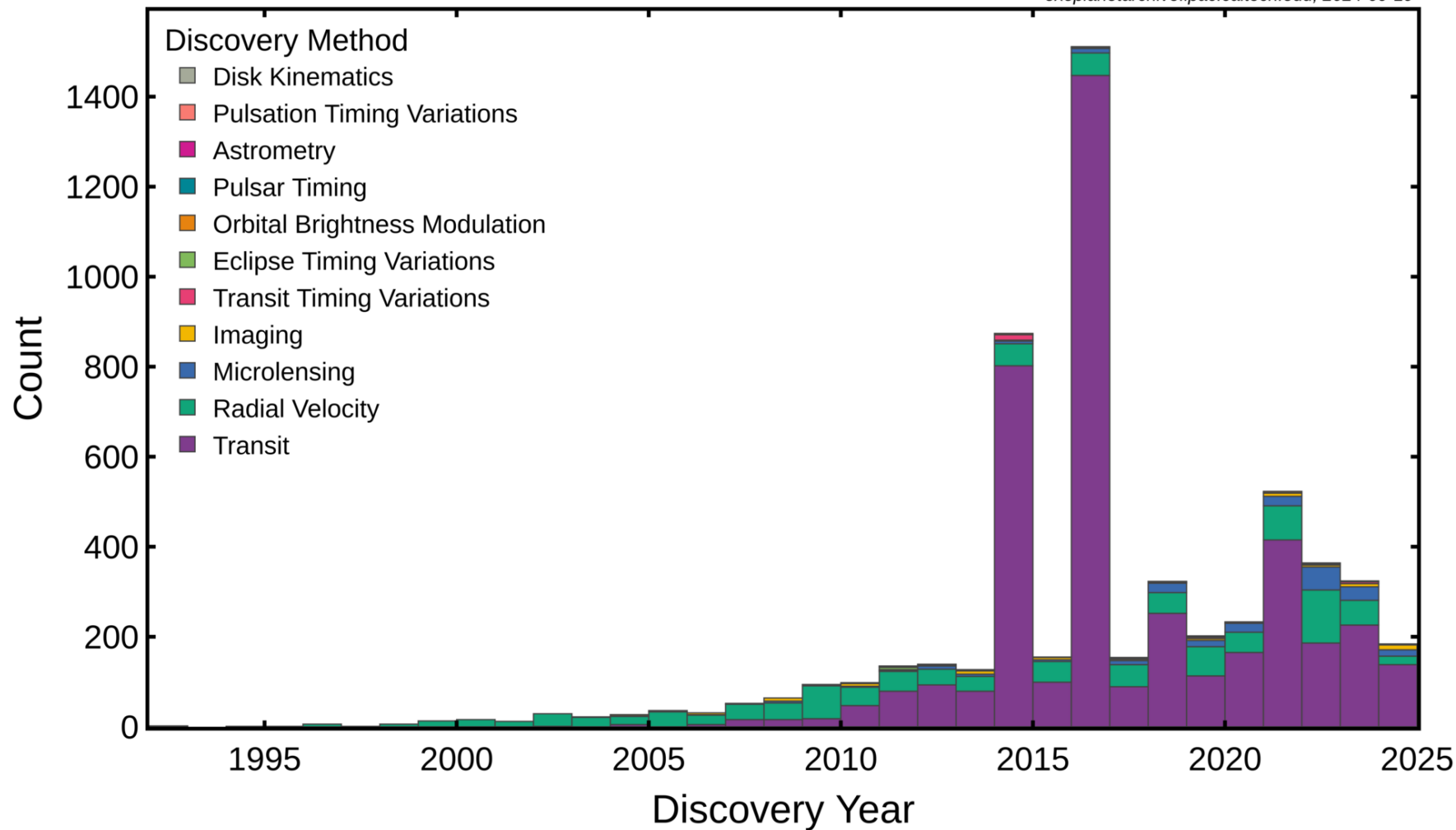
They are everywhere!

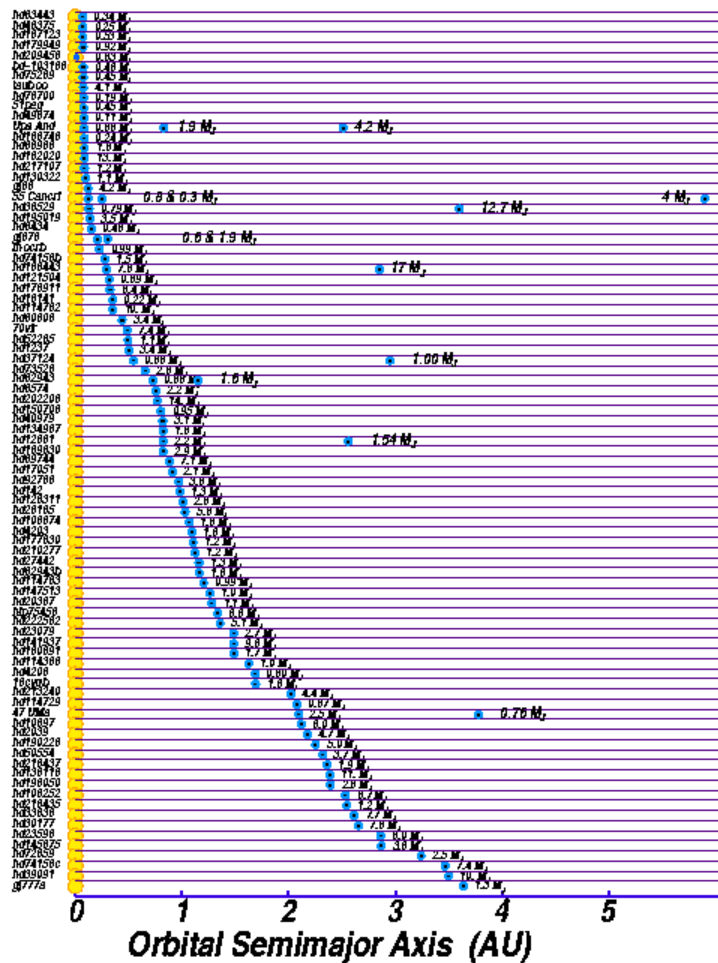


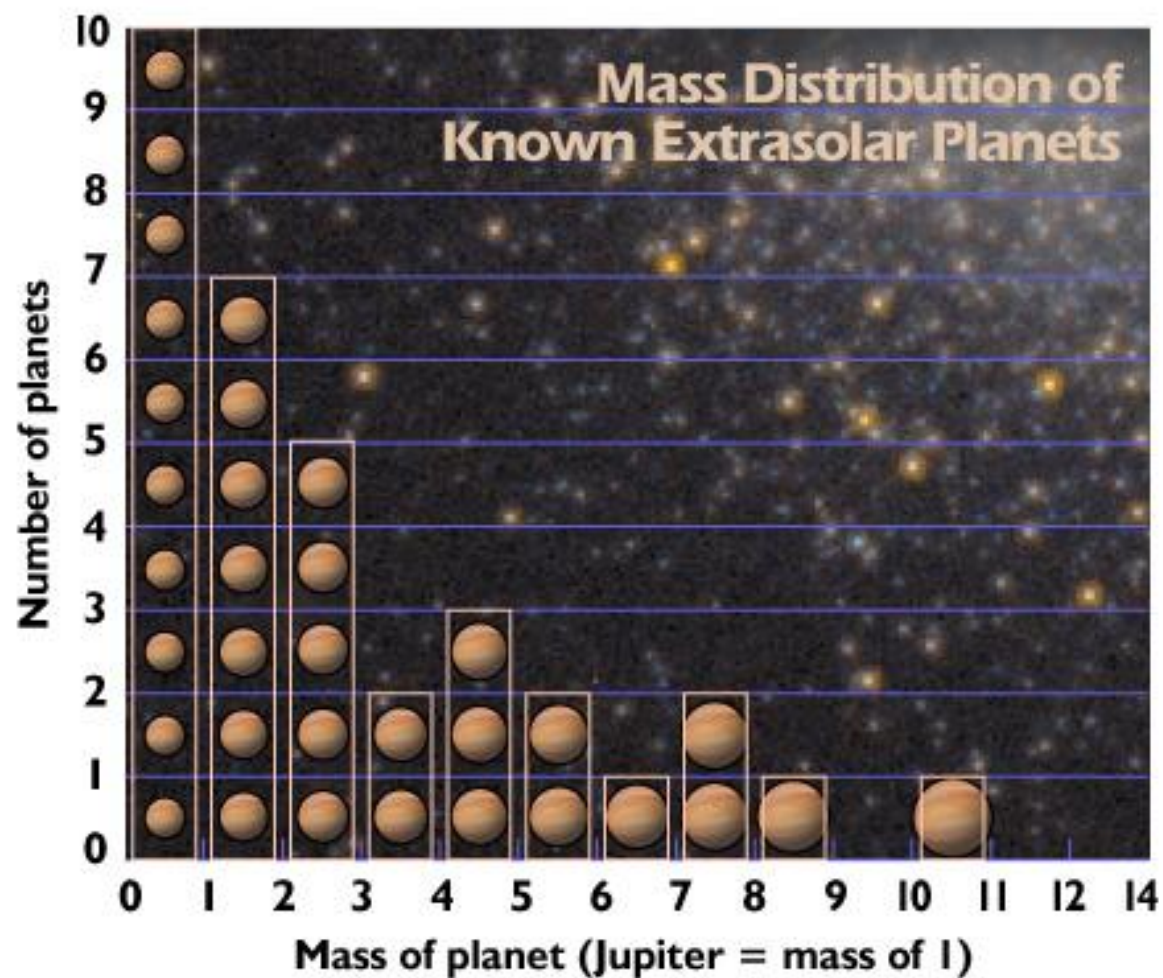


Counts vs Discovery Year

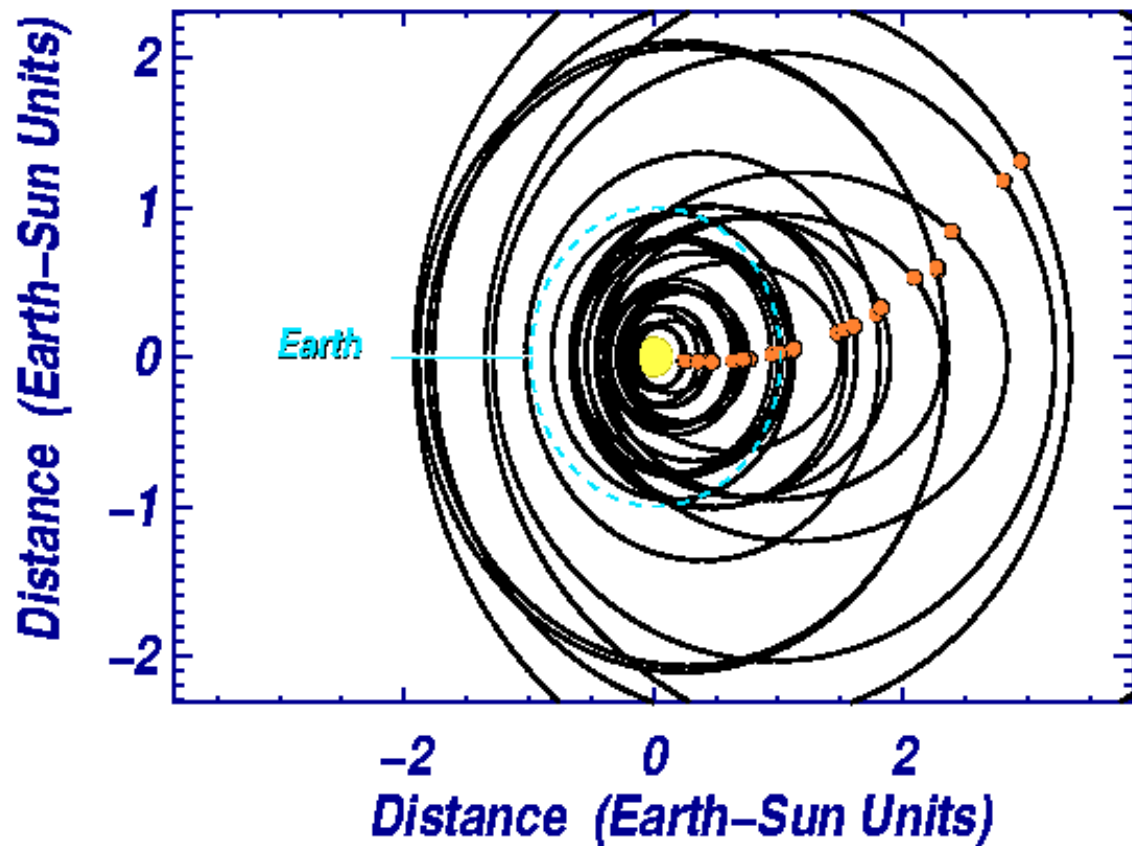
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu, 2024-09-19

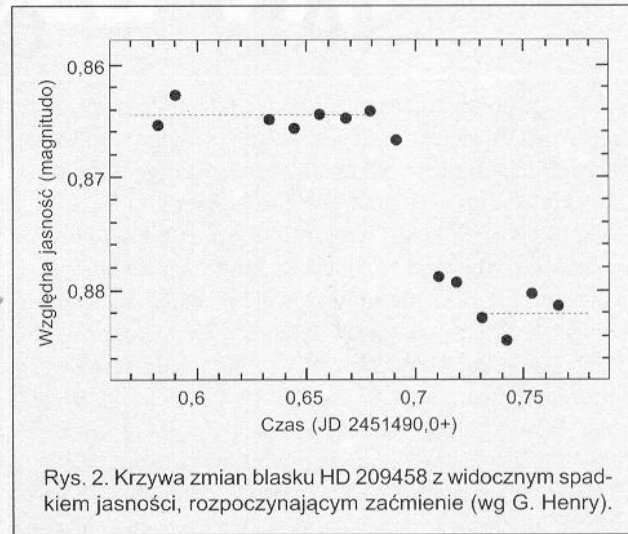
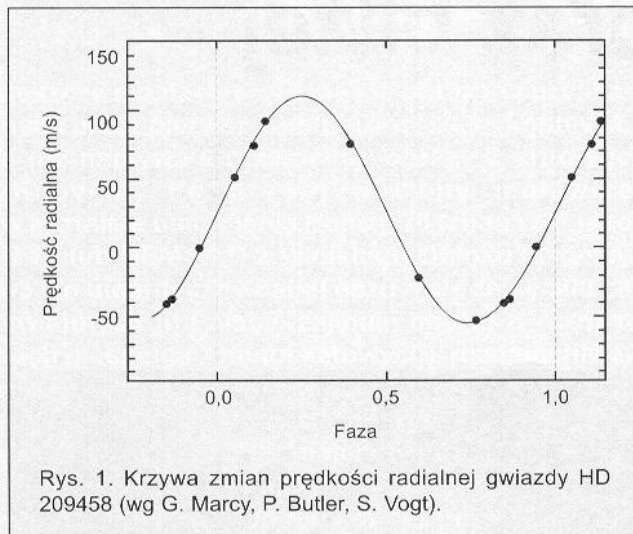






Orbits of Extrasolar Planets

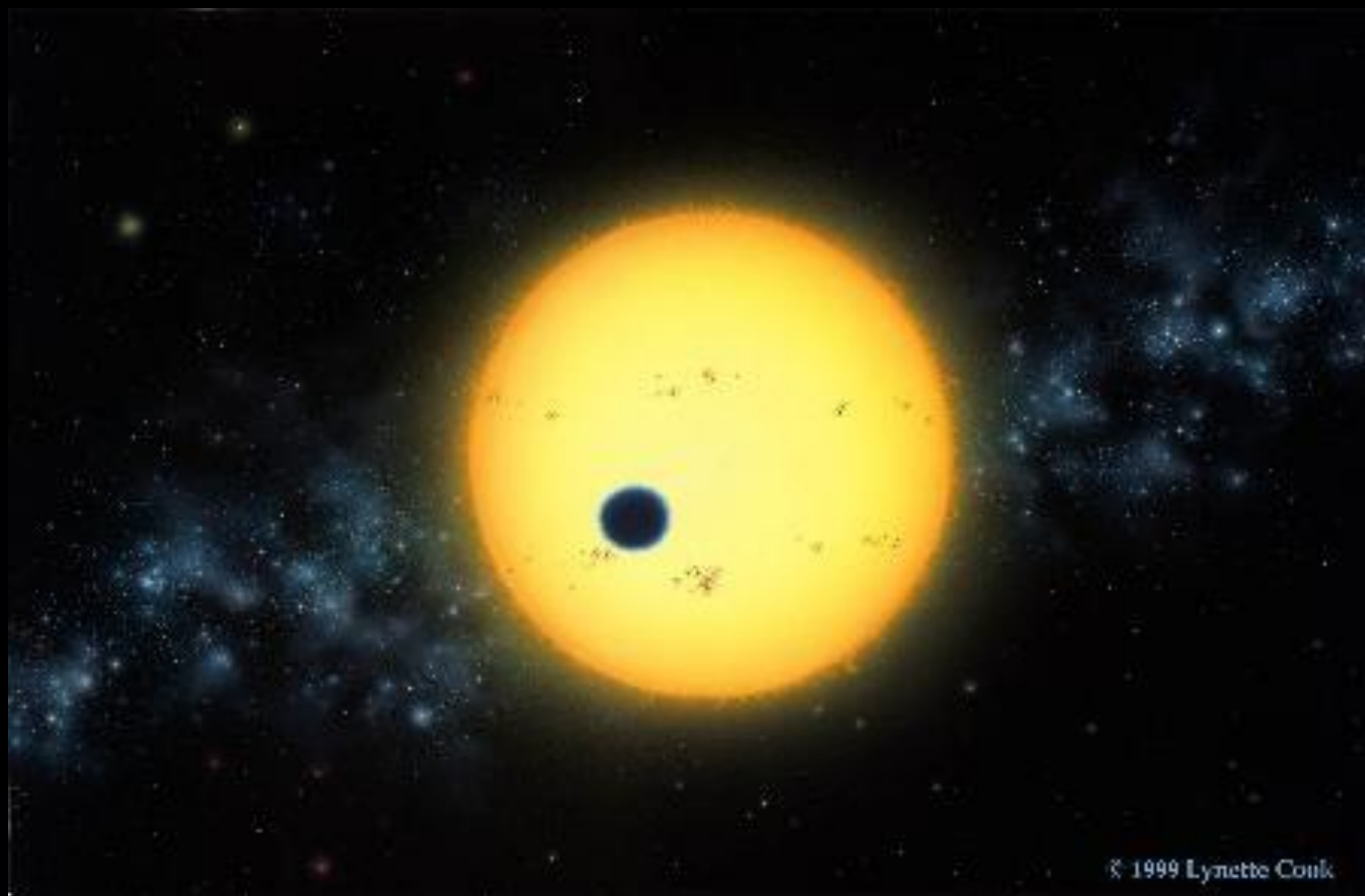




Tab. 2. Porównanie gwiazdy HD 209458 i Słońca

Parametr	Słońce	HD 209458
Temperatura powierzchni [K]	5780	6000
Jasność absolutna V [mag]	4,79	4,29
Typ widmowy	G2V	F8V
Przysp. grawit. ($\log g$) [cm/s^2]	4,45	4,31
Okres rotacji na równiku [dni]	25,4	~30
Prędkość rotacji $V \sin i$ [km/s]	1,8	3

HD 209458:
pierwszy
tranzyt



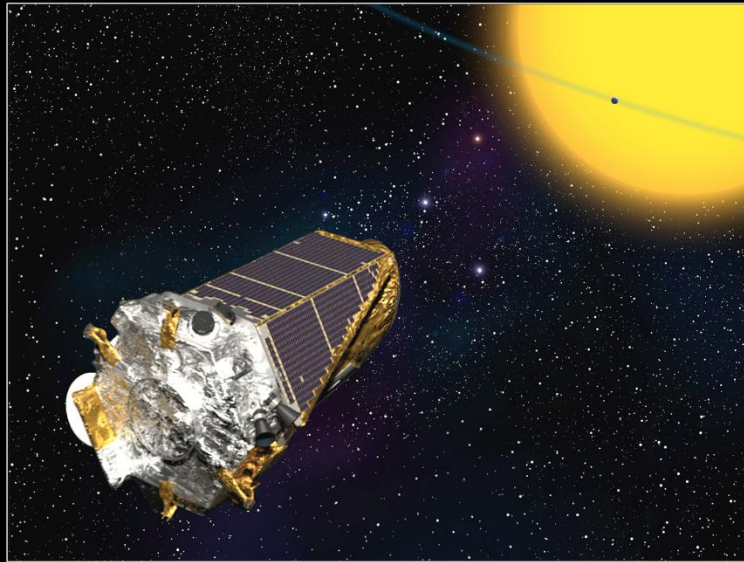
© 1999 Lynette Cook

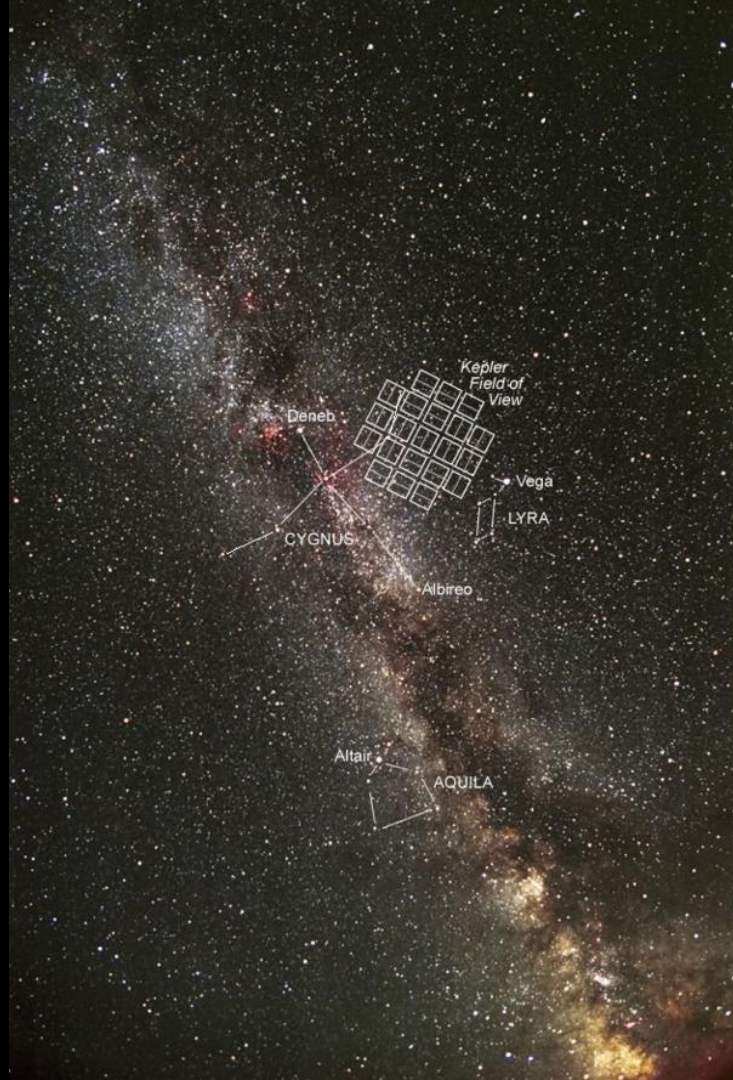
A digital illustration of a celestial scene. On the left, a large, bright red star with a soft glow. In the center, two small, dark planets or moons are visible against the starry background. In the foreground on the right, a large, reddish-brown, cratered celestial body, likely a moon, curves across the frame. The background is a deep blue-black space filled with numerous small, distant stars.

Kepler odkrywa planety

NASA's Kepler Mission

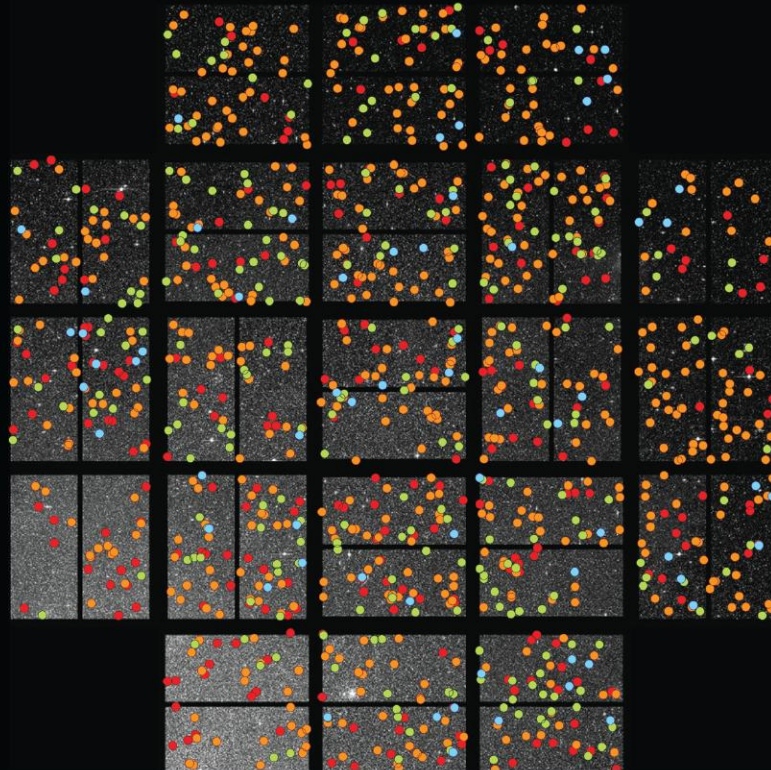
- Determine the frequency of Earth-size and larger planets in the habitable zone of sun-like stars
- Determine the size and orbital period distributions of planets





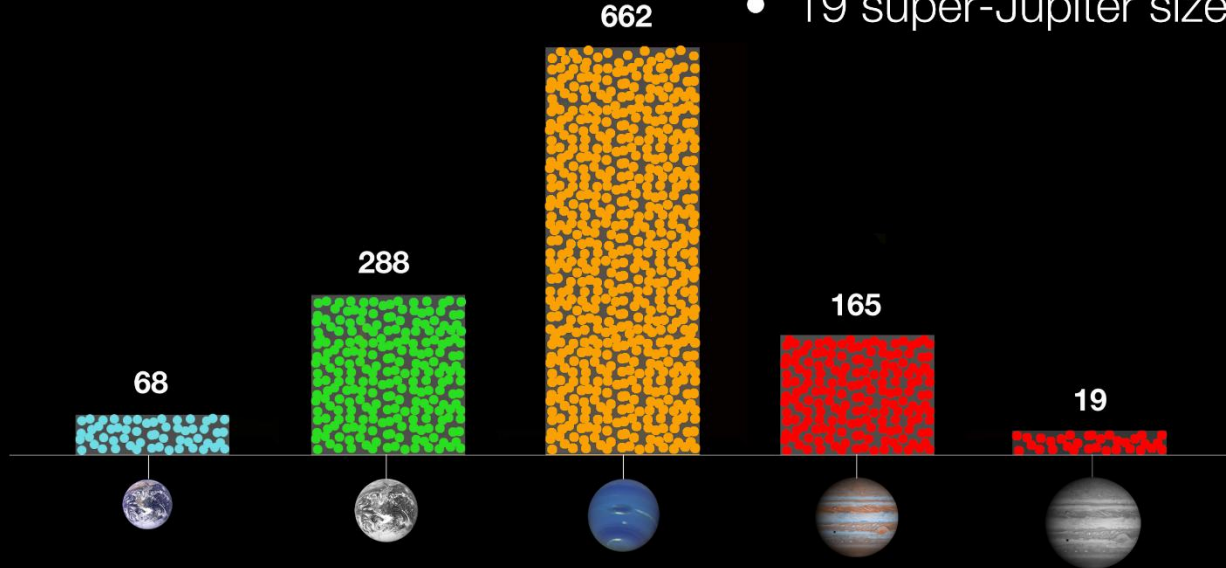
Locations of Kepler Planet Candidates

- Earth-size
- Super-Earth size
1.25 - 2.0 Earth-size
- Neptune-size
2.0 - 6.0 Earth-size
- Giant-planet size
6.0 - 22 Earth-size

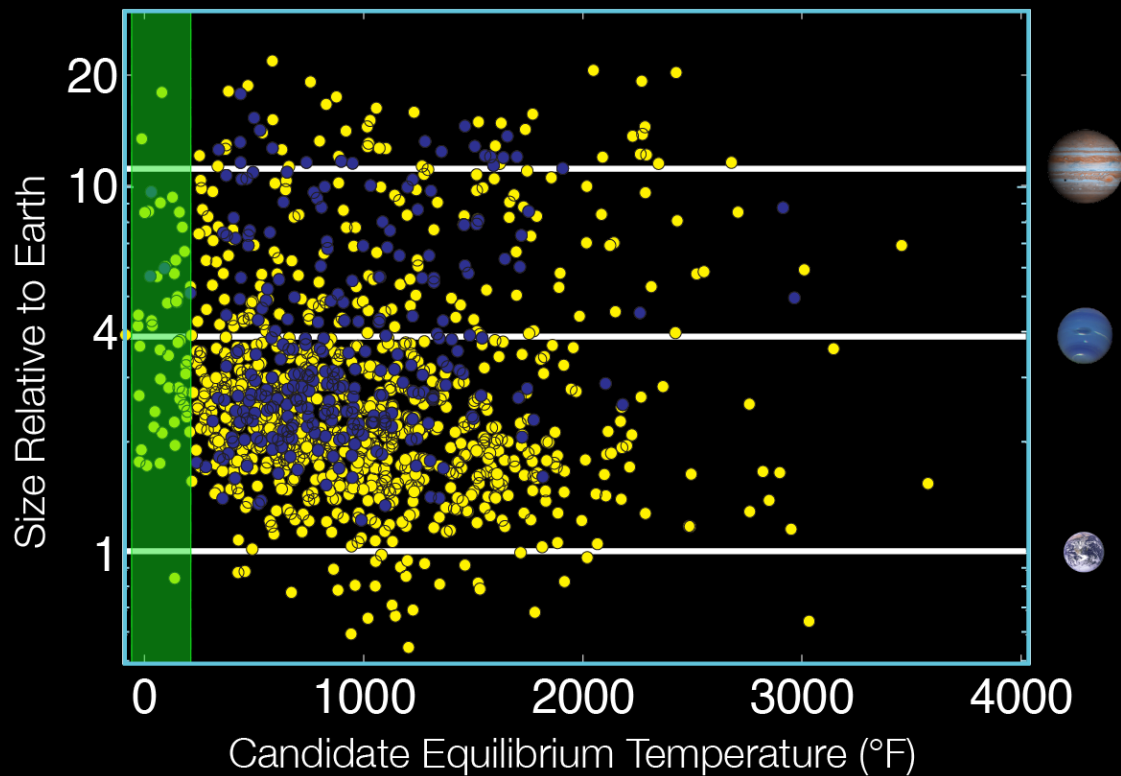


Numbers of Planet Candidates

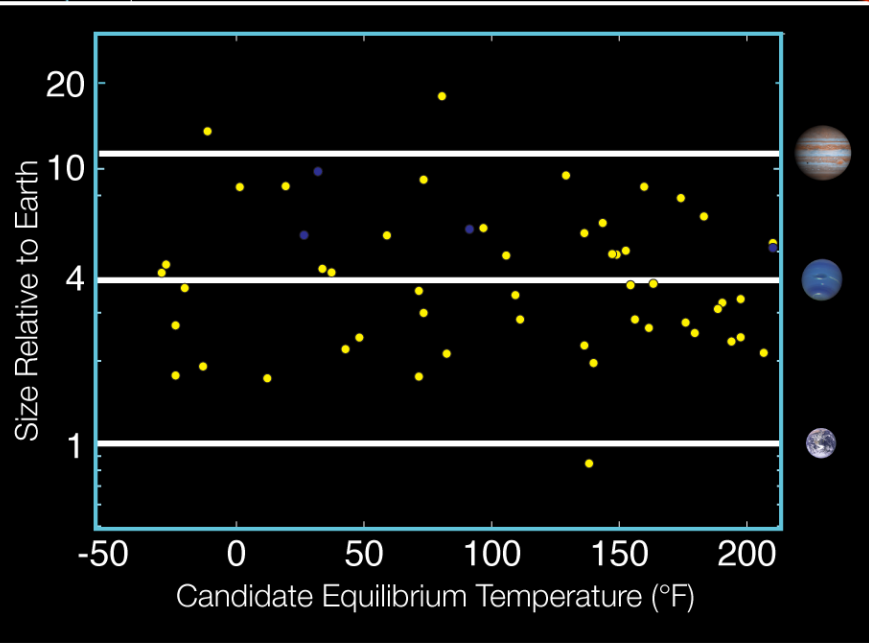
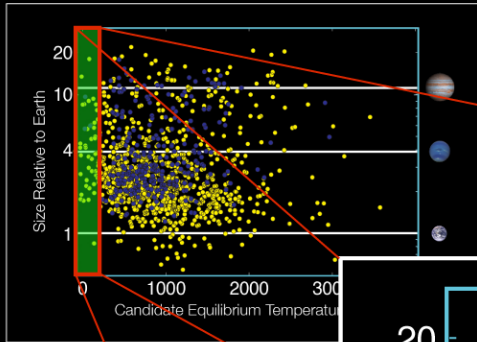
- 68 Earth-size
- 288 super-Earth size
- 662 Neptune size
- 165 Jupiter size
- 19 super-Jupiter size



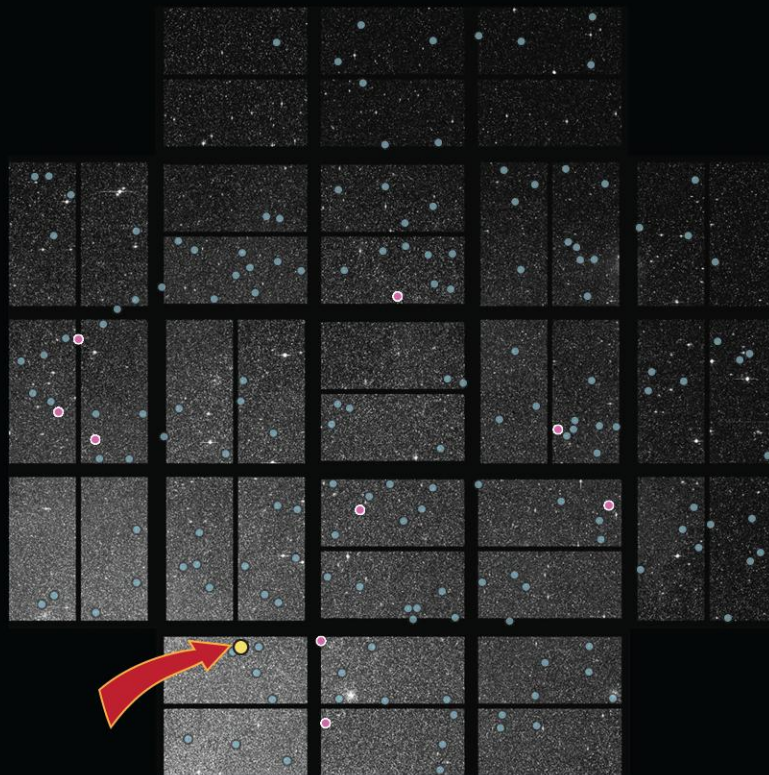
Kepler Candidates as of February 1, 2011

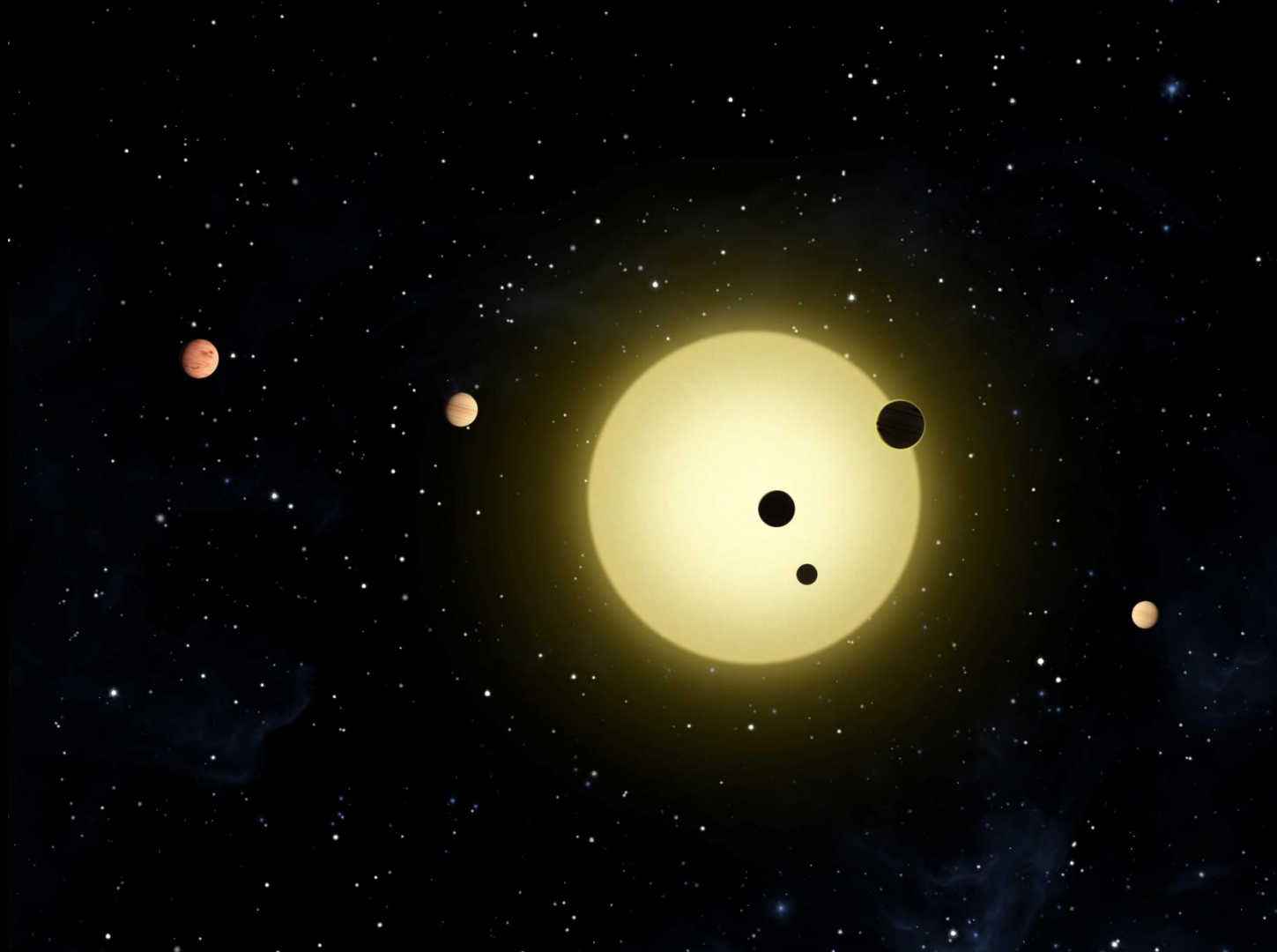


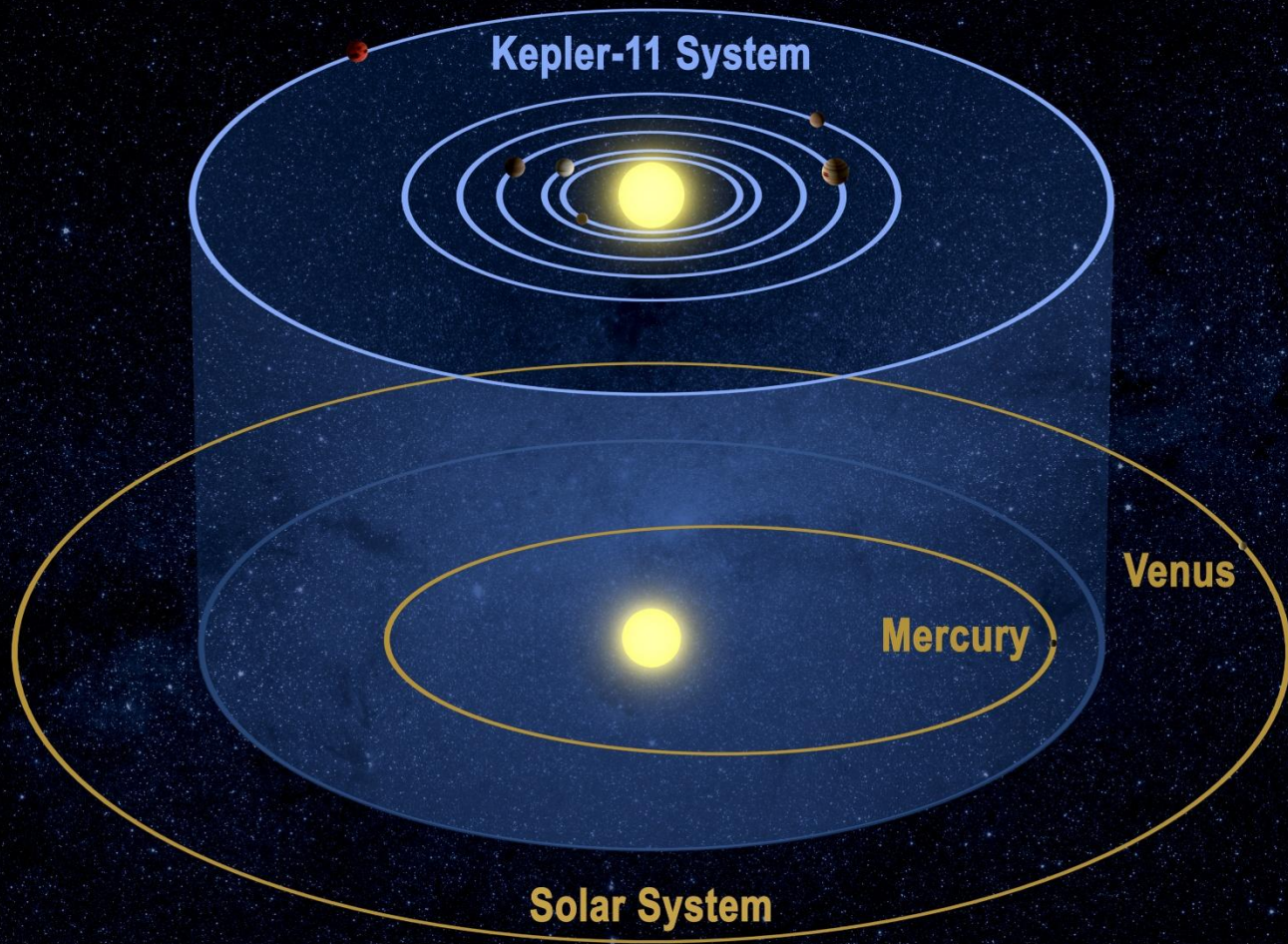
Kepler Planet Candidates In the Habitable Zone



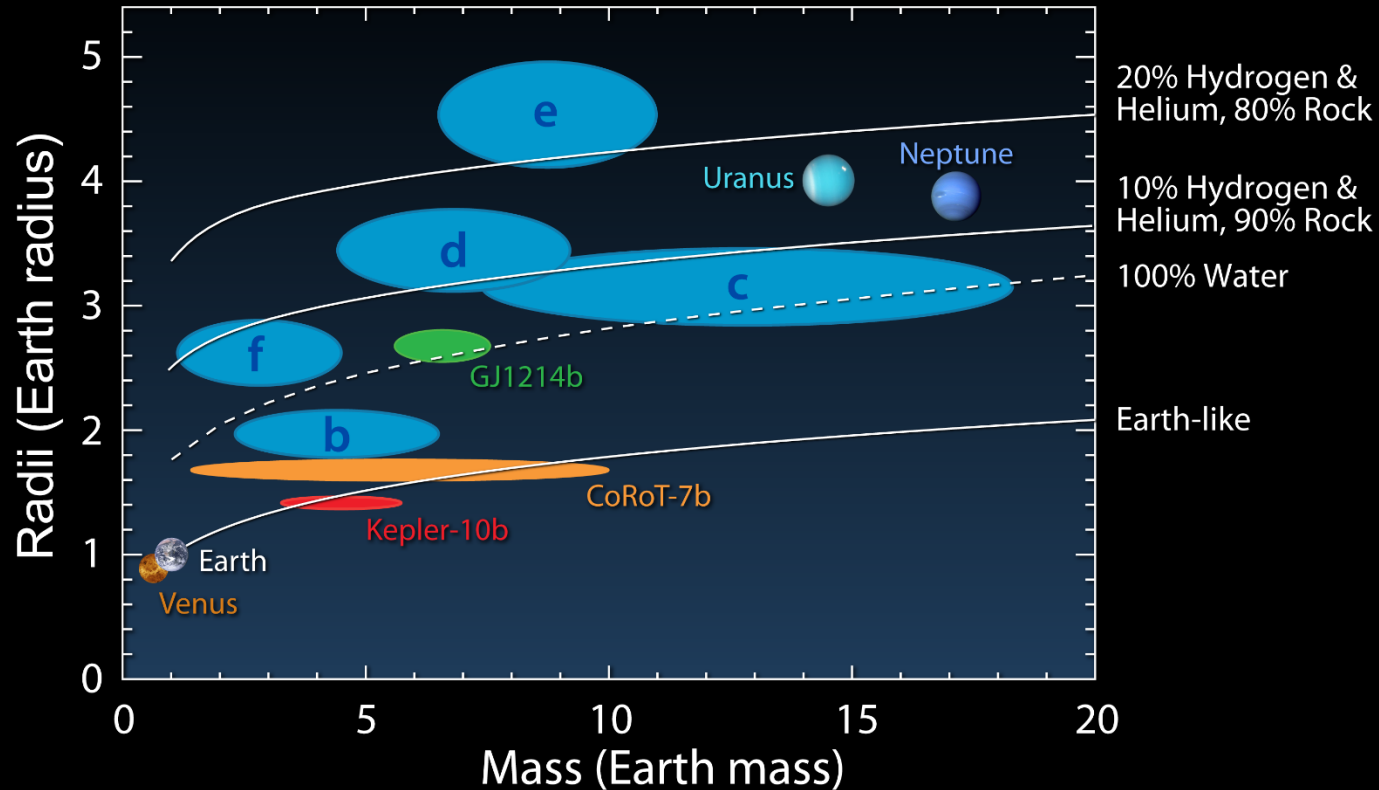
Kepler-11: Six Planets



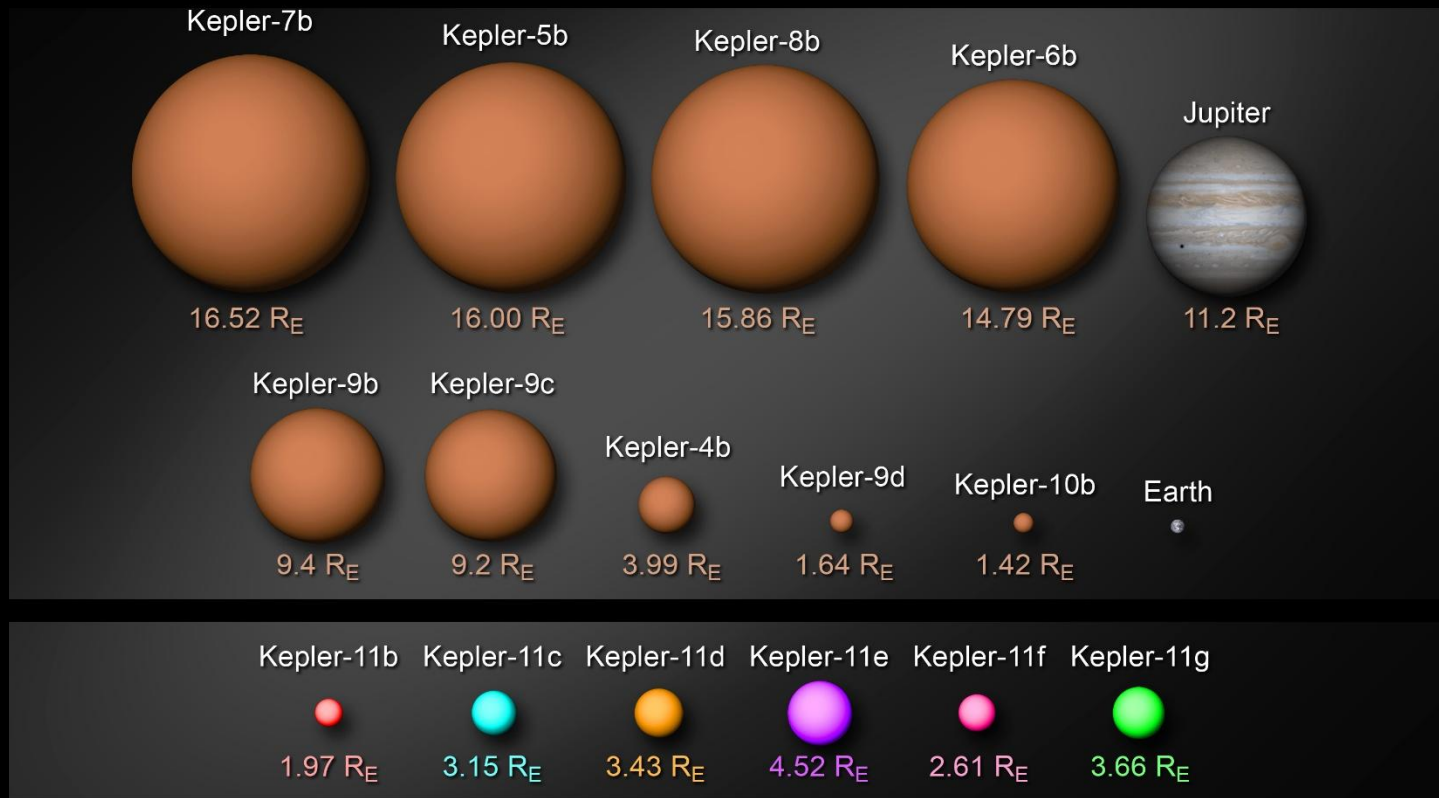




Composition of Kepler-11 Planets

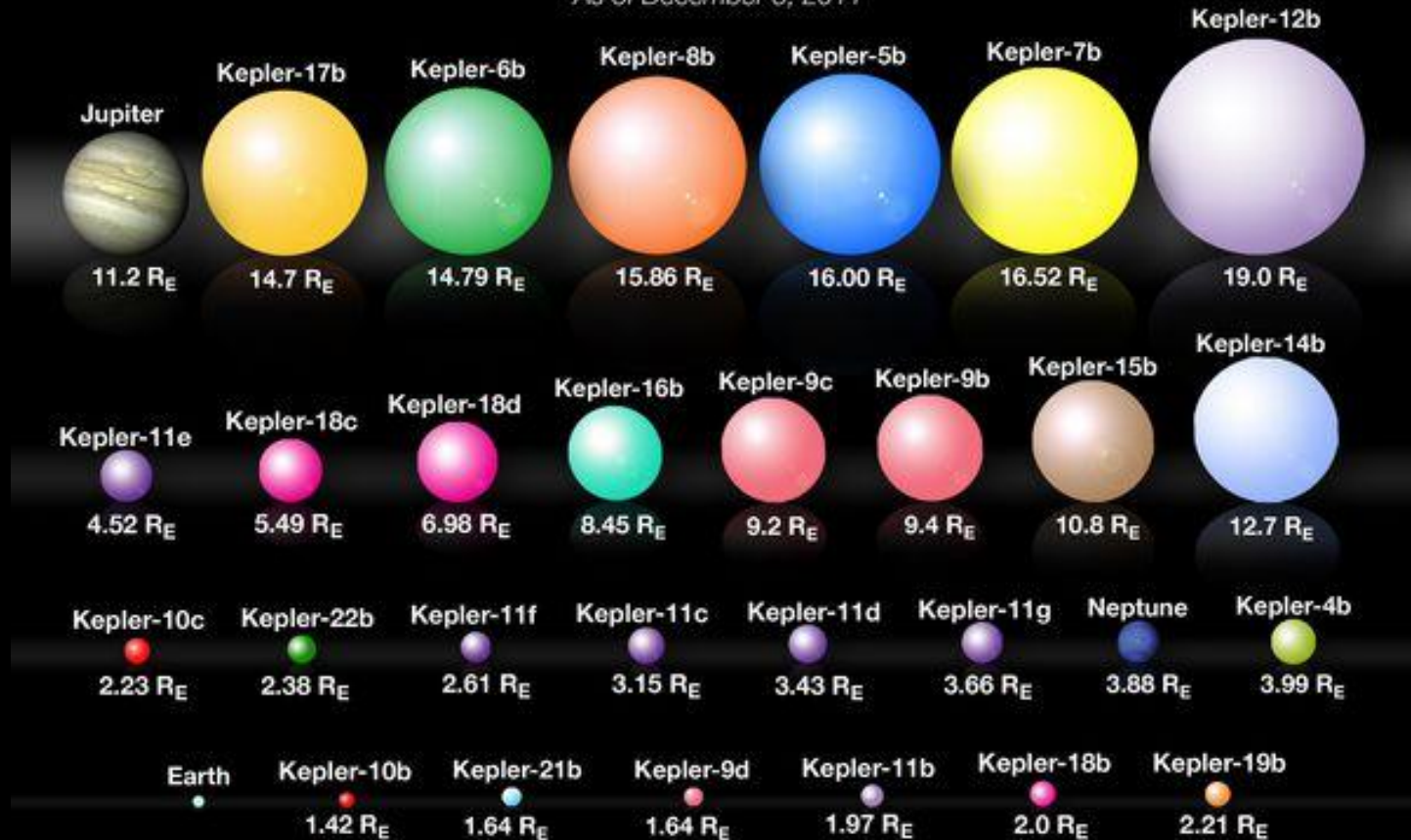


Planet Sizes

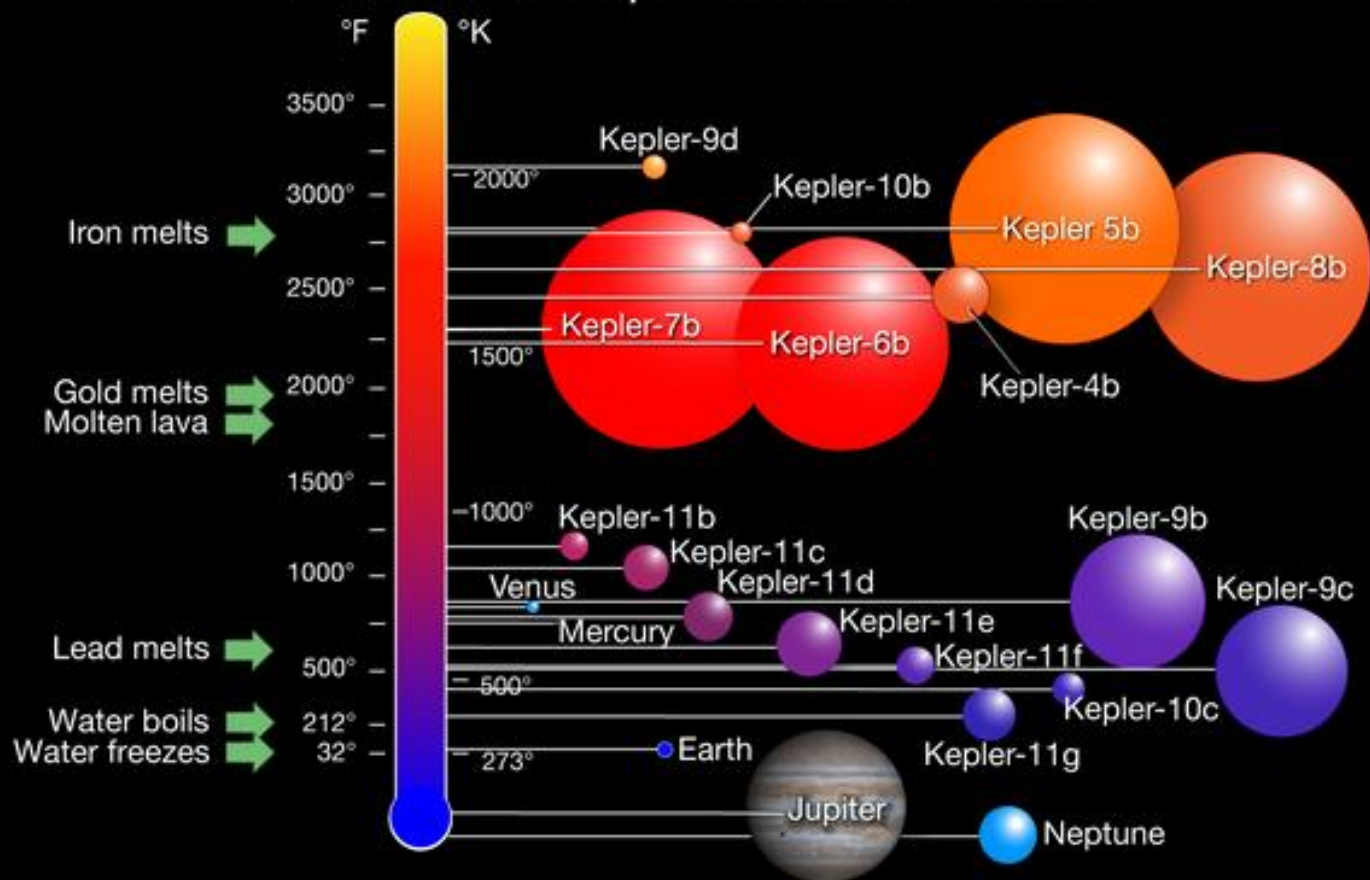


Kepler Planets

As of December 5, 2011



Planet Temperature & Size



Kepler-22 System

Solar System

Habitable Zone



Kepler-22b

Mercury



Venus



Earth



Mars

Planets and orbits to scale

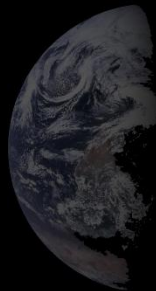
Kepler-20e



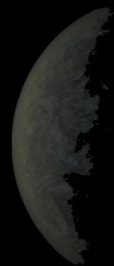
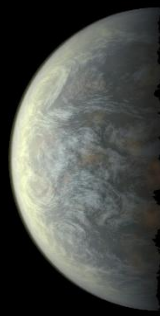
Venus



Earth



Kepler-20f



Mars



KOI-
961.03



KOI-
961.02



KOI-
961.01



Kepler-20e



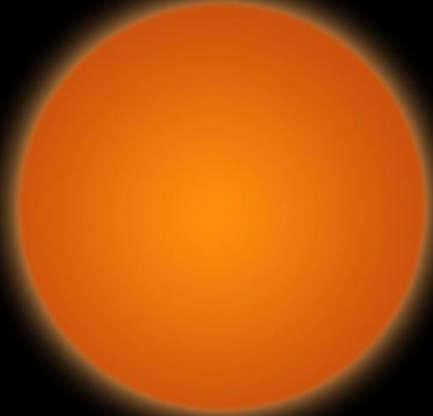
Earth



Kepler-20f



KOI-961 and Its 3 Known Planets



02

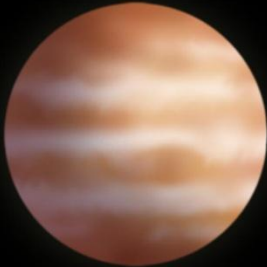


01



03

Jupiter and Its 4 Largest Moons



Io



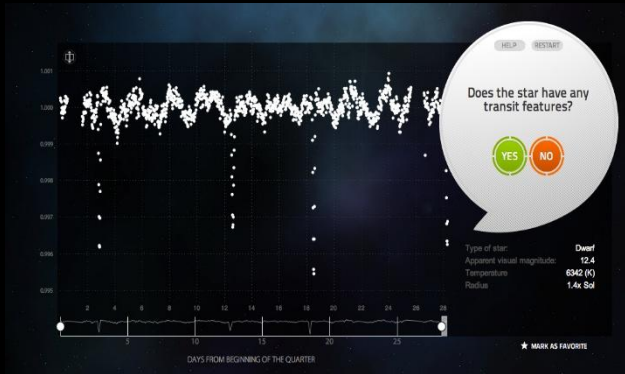
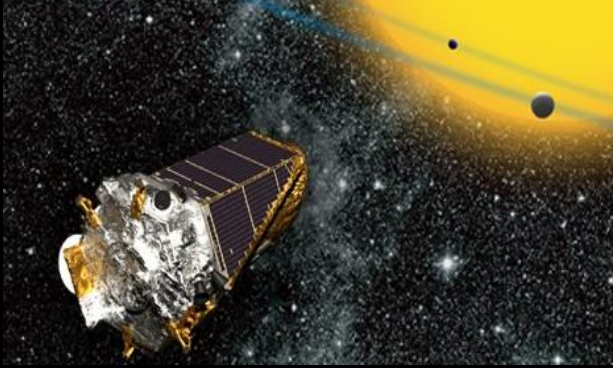
Europa



Ganymede



Callisto



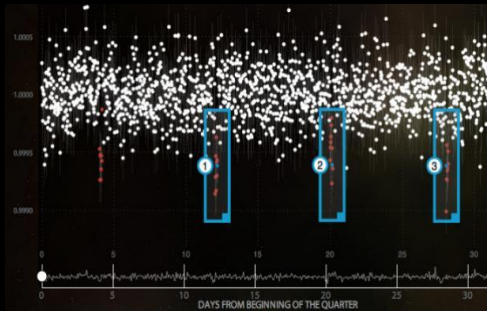
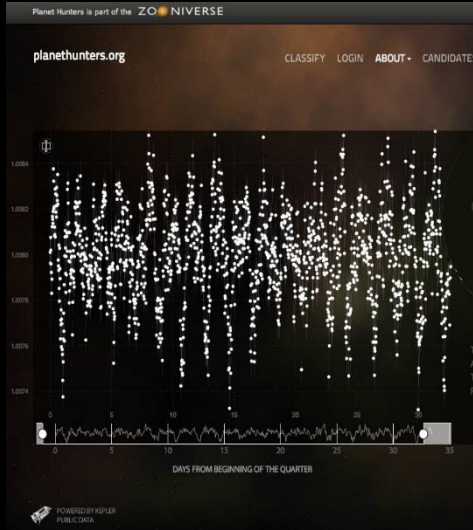
Odkrywcy planet

www.odkrywcyplanet.pl

- Projekt Planet Hunters to wynik współpracy Yale University oraz Zooniverse.
- Wykresy krzywych blasku przedstawione na stronie pochodzą z ogólnodostępnych danych NASA uzyskanych podczas misji Kepler.

Odkrywcy planet - klasyfikacja

- Pytania do krzywych blasku:
 - Czy gwiazda jest stała / zmienna?
 - Czy zmienność ma charakter regularny / pulsujący / nieregularny?
 - Czy na wykresie widać tranzyty?



ZOONIVERSE – nauka w internecie

AllSpaceClimateHumanitiesNature

Space

Sort byCategory



How do galaxies form?
NASA's Hubble Space Telescope archive provides hundreds of thousands of galaxy images.

GALAXY ZOO



Explore the surface of the Moon
We hope to study the lunar surface in unprecedented detail.

MOON ZOO



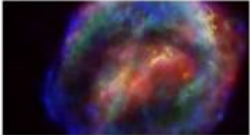
Study explosions on the Sun
Explore interactive diagrams to learn out about the Sun and the spacecraft monitoring it.

SOLAR STORMWATCH



How do galaxies merge?
One important area of research in astronomy studies the role of interacting galaxies.

GALAXY ZOO



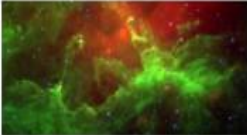
Search for exploding stars
Help to find Supernovae, astronomers are ready to follow up.

GALAXY ZOO



Find planets around stars
Lightcurve changes from the Kepler spacecraft can indicate transiting planets.

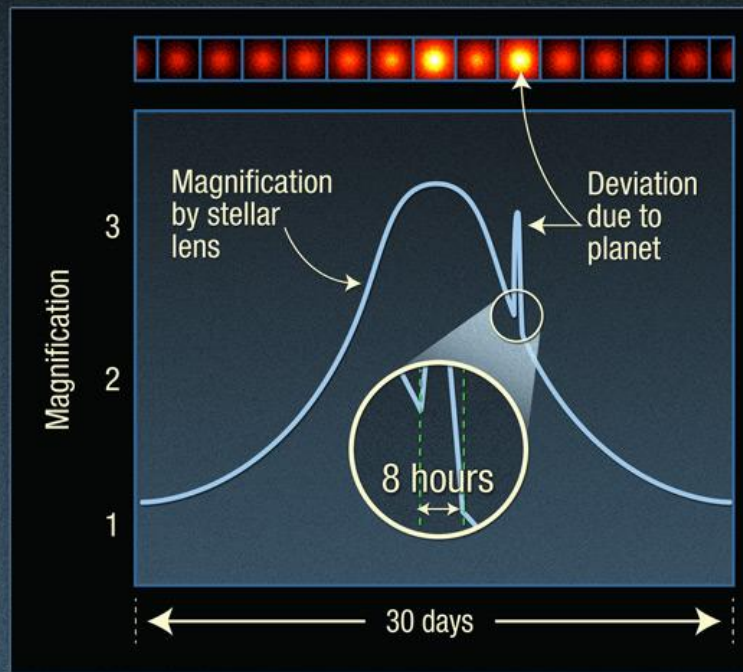
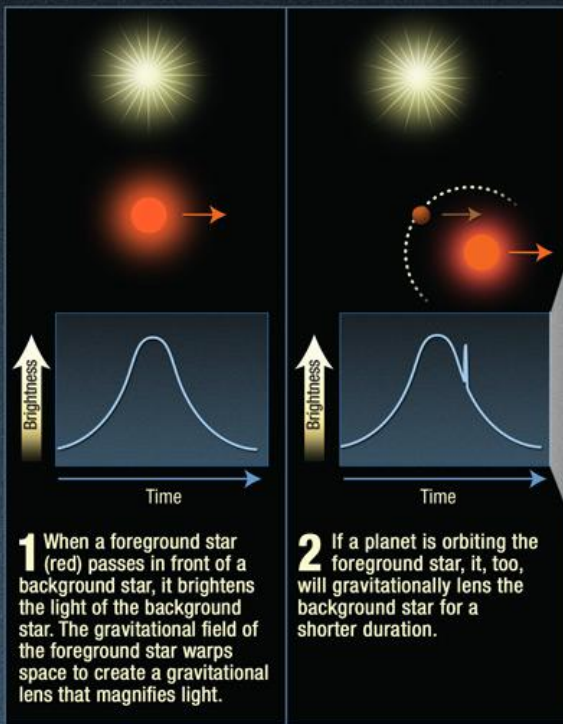
planethunters.org



How do stars form?
We're asking you to help us find and draw circles on infrared image data from the Spitzer Space Telescope.

THE MILKY WAY PROJECT

Extrasolar planet detected by gravitational microlensing



<https://www.youtube.com/c/AlexHarrisonParker>



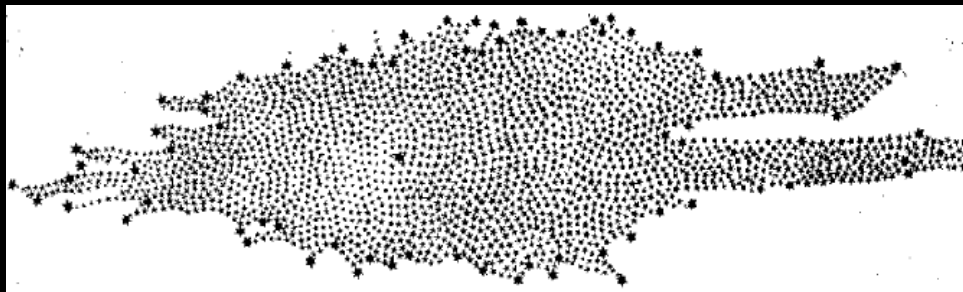
© Alex Parker



Świat według Hubble'a

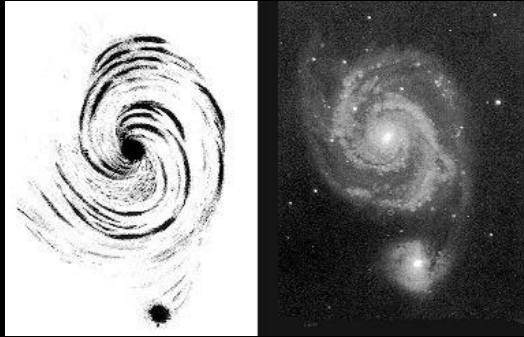


Droga Mleczna wg Herschela



- 1785: system ma w przekroju kształt eliptyczny, dłuższy wymiar wzdłuż płaszczyzny ok. pięciokrotnie większy od krótszego wymiaru, System Słoneczny położony blisko środka

Mgławice spiralne



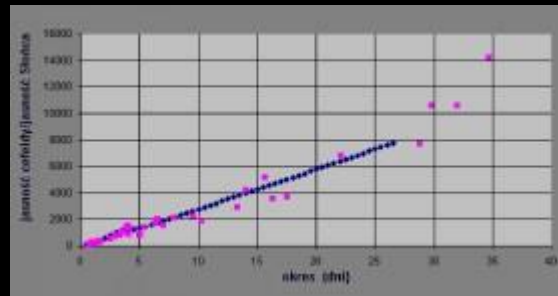
- Połowa wieku XIX – szkice mgławic (M 51, lord Rosse)
- 1912 – Vesto Slipher mierzy prędkość radialną M 31
- 1917 – Heber Curtis odkrywa gwiazdy nowe w Mgławicy (Galaktyce?) Andromedy
- 1920 – Wielka Debatę dotycząca rozmiarów Wszechświata

Pracowite Panie



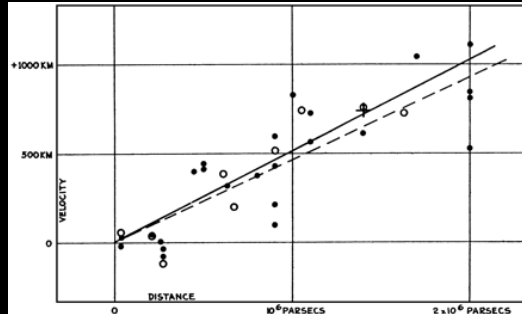
Harvard College Observatory, 13.05.1913

- Williamina Fleming,
Annie Jump Cannon,
Henrietta Swan
Leavitt
- 1912-13: odkrycie
zależności okres –
jasność dla cefeid



Edwin Hubble

- 1919 – przybywa do obserwatorium Mt. Wilson wraz z uruchomieniem teleskopu o średnicy 2,5 metra
- 1922-23 – badania cefeid w M31 i M33, wyznaczenie odległości tych „mgławic” (m.in. *New York Times* 23.11.1924)
- 1929 – przesunięcia w widmach galaktyk

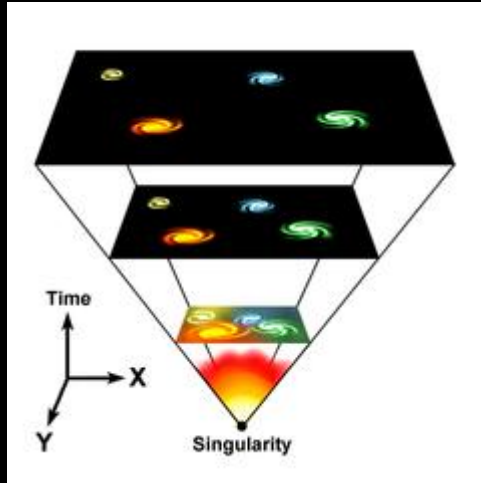




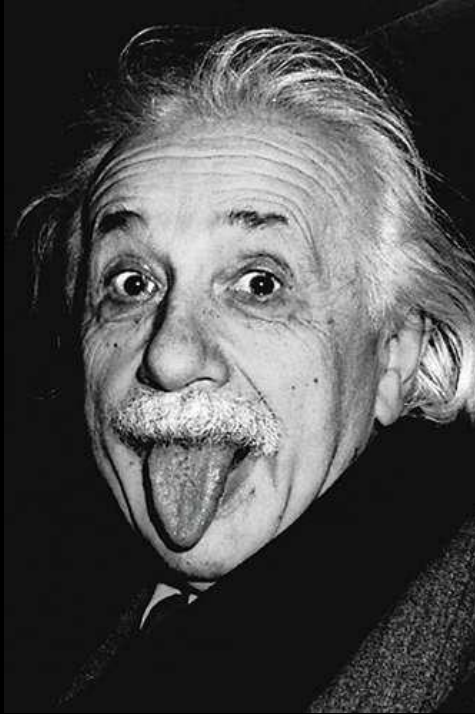
Belgijski ksiądz i astronom

Georges Lemaître:

- 1927 - praca *Wszechświat jednorodny o stałej masie i rosnącym promieniu, wyjaśniający prędkość radialną mgławic pozagalaktycznych*
- Hipoteza Pierwotnego Atomu



Wszechświat wg Einsteina



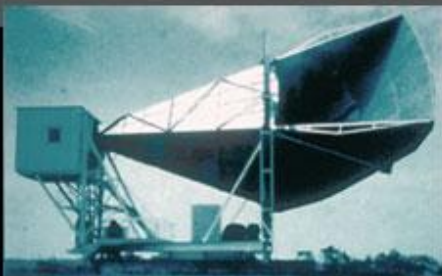
- 1917 – zastosowanie OTW do modelowania struktury Wszechświata
- Założenie statycznej przestrzeni – stała kosmologiczna
- Po odkryciu Hubble’a: „największa pomyłka życia”

Tajemniczy szum

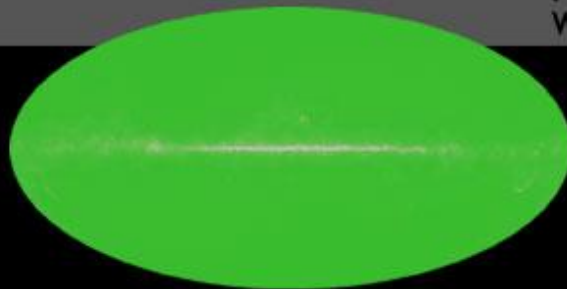


- 1964-65 – Arno Penzias, Robert Wilson – równomierny sygnał mikrofalowy
- Potwierdzenie przewidywań z lat 40-tych (George Gamow), krytykowanych m.in. przez Freda Hoyle'a (*big bang*)

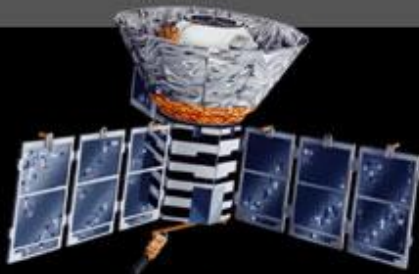
1965



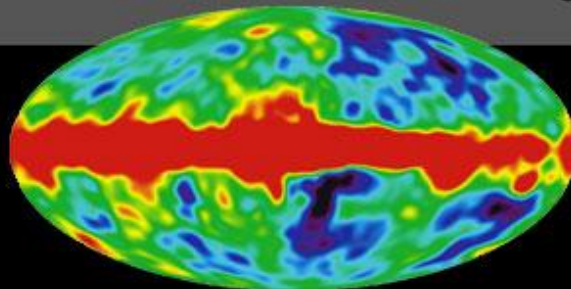
Penzias and
Wilson



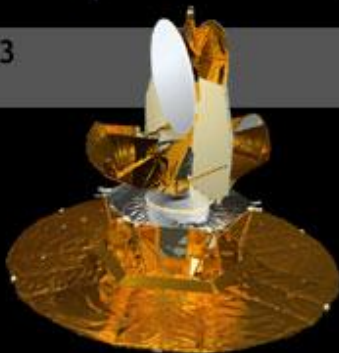
1992



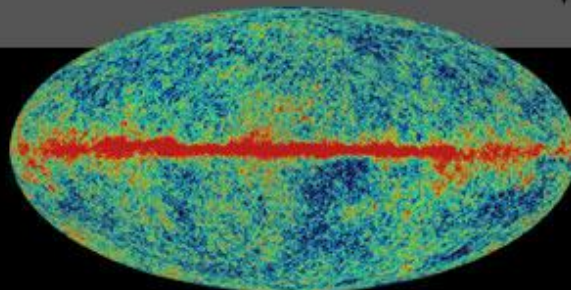
COBE



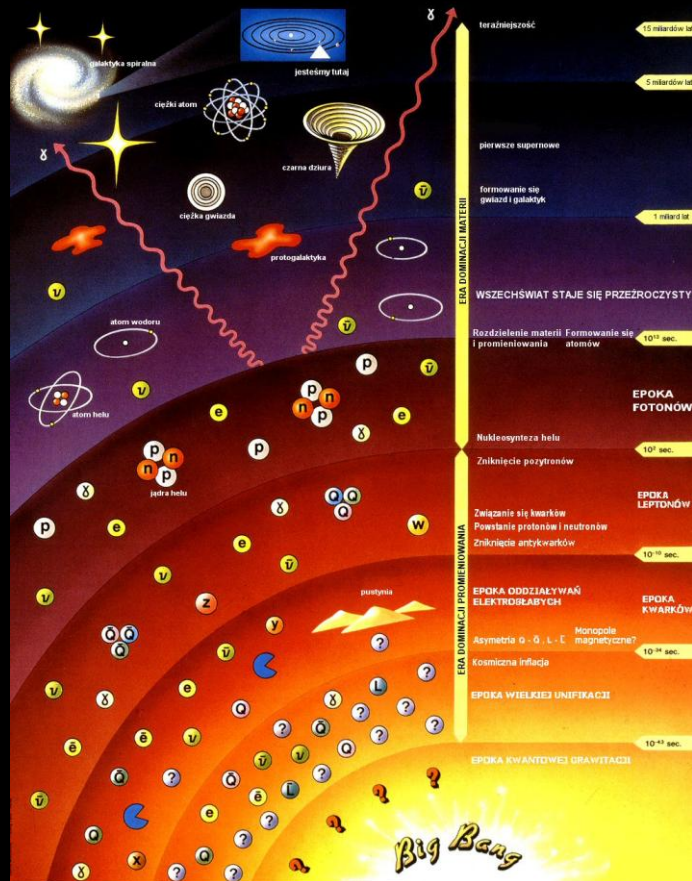
2003



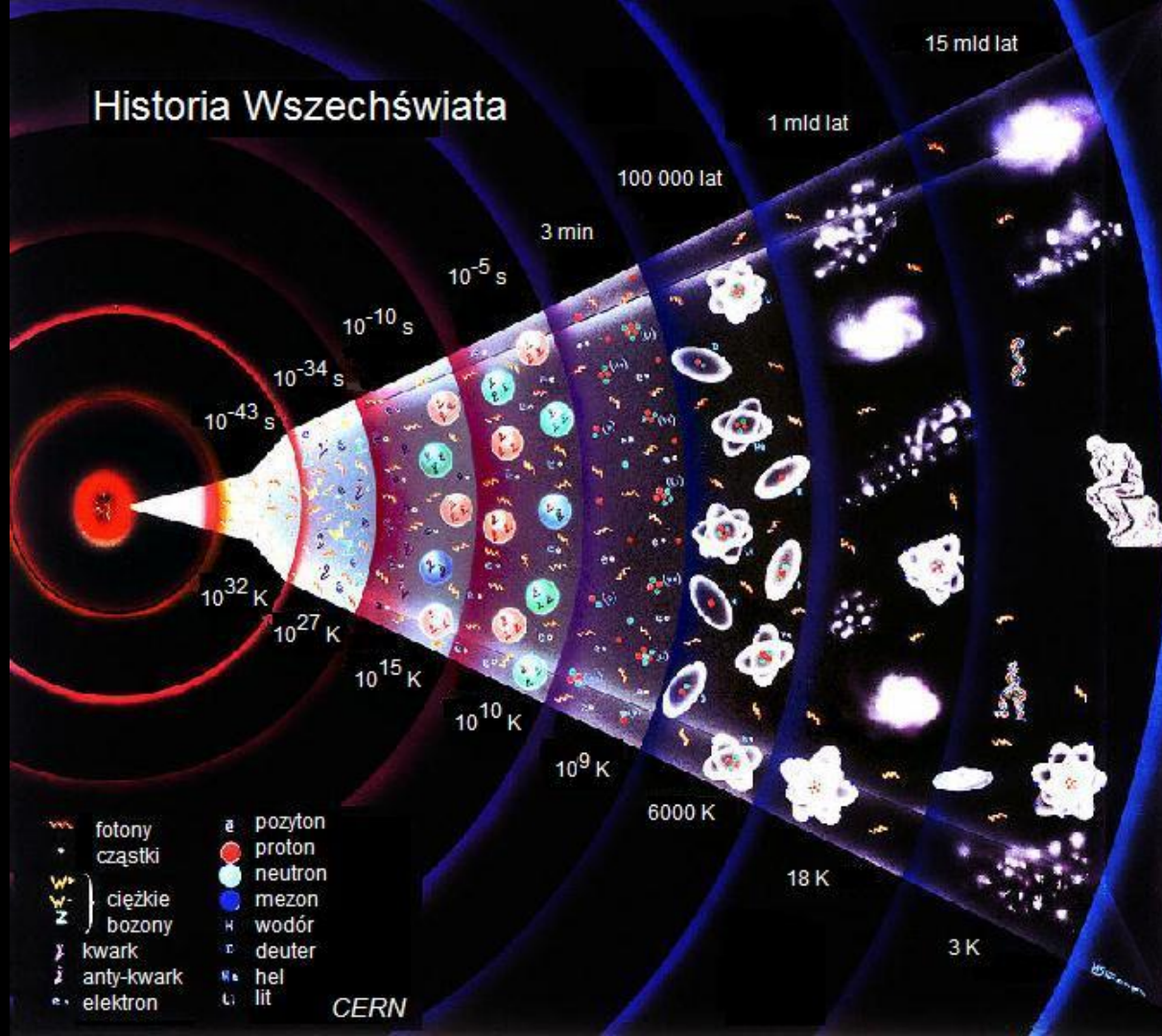
WMAP



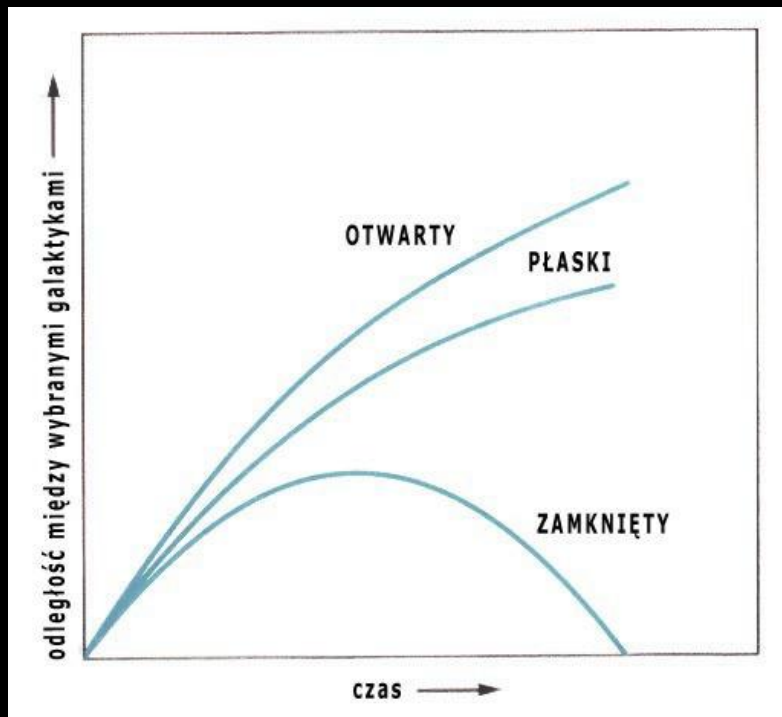
HISTORIA WSZECHŚWIATA



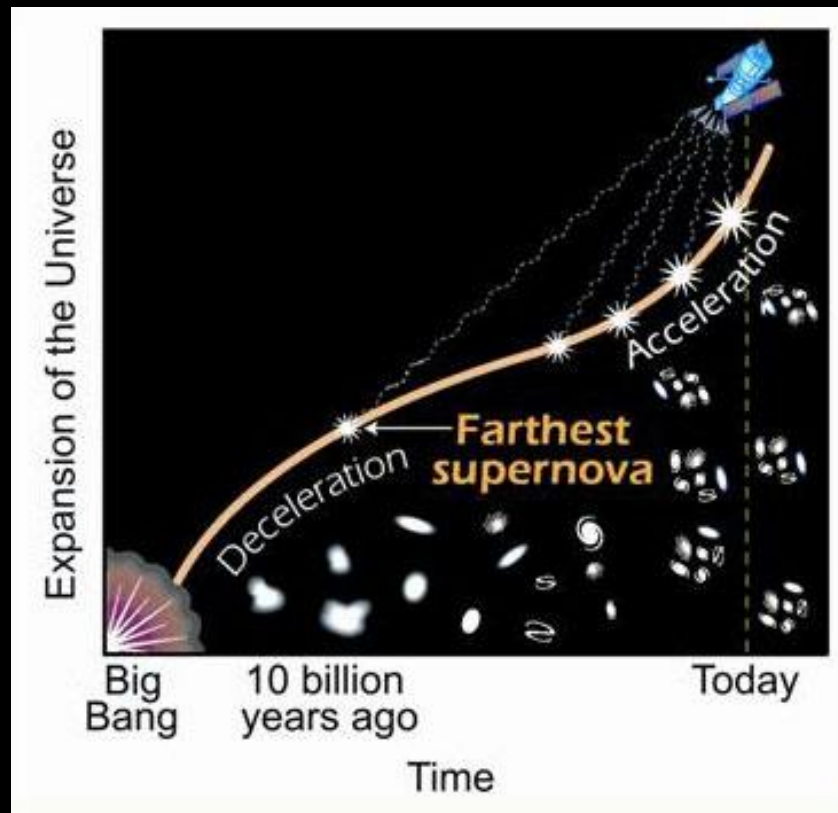
Historia Wszechświata



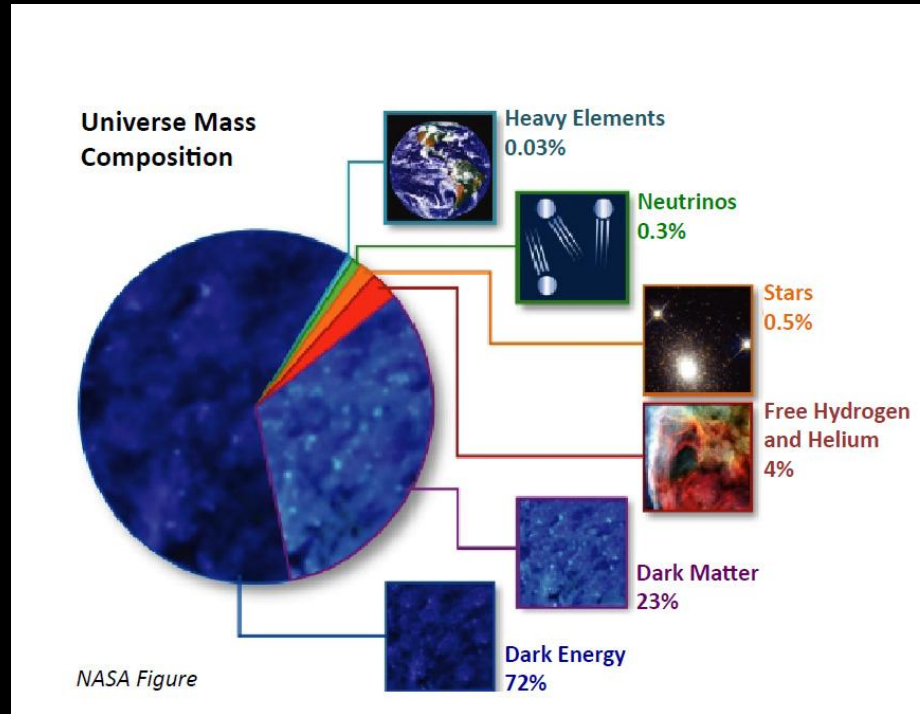
Możliwe dalsze losy Wszechświata



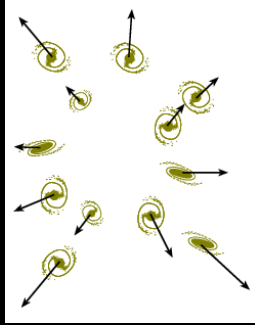
Dokładniejsze badania: supernowe



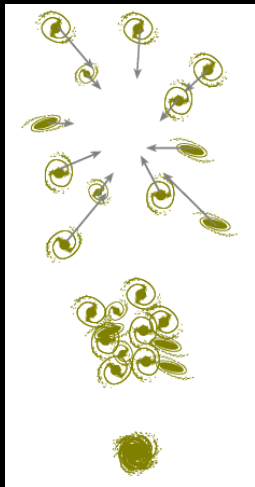
Składniki Wszechświata



Stała Hubble'a i wiek Wszechświata



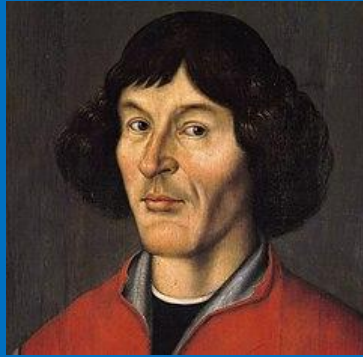
Stała Hubble'a informuje nas o tempie rozszerzania się Wszechświata.



Możemy jednak spojrzeć wstecz...

W takim obrazie wiek Wszechświata to odwrotność stałej Hubble'a:

$$T = 1/H$$



1473-1543



Od Kopernika do Einsteina

dr Krzysztof Rochowicz



UMK Toruń



Cóż piękniejszego nad niebo...?

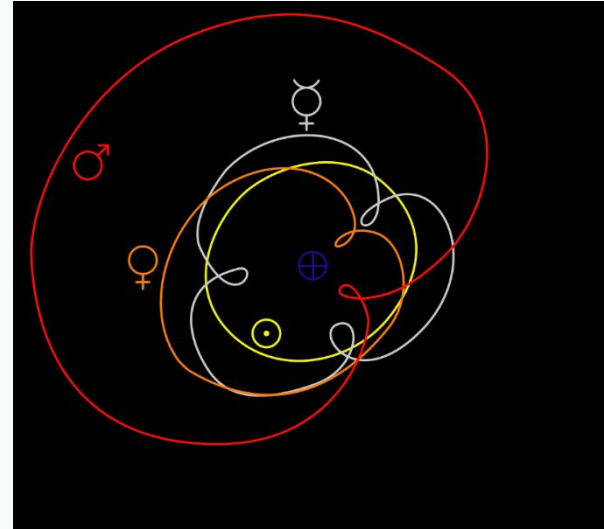
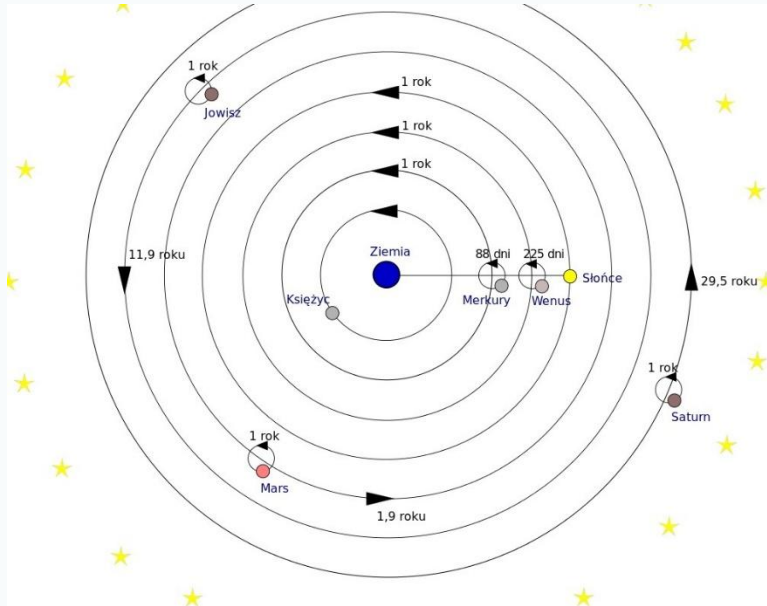


Nicolaus Copernicus
Thorunensis.
Terrae motor, Solis Caelique
stator.

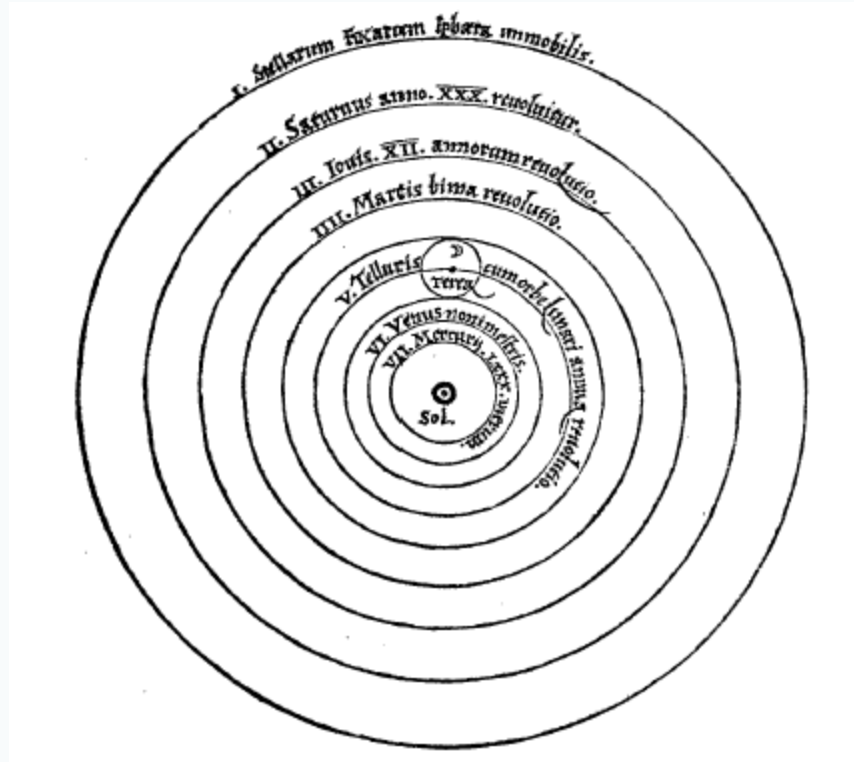
Rudolf Brohm

Spośród licznych i różnorodnych sztuk i nauk, budzących w nas zamięrowanie, tym – według mego zdania – przede wszystkim poświęcić się należy, które obracają się w kręgu rzeczy najpiękniejszych i najbardziej godnych poznania. Takimi zaś są nauki, które zajmują się cudownymi obrotami we wszechświecie i biegami gwiazd, ich rozmiarami i odległościami, ich wschodem i zachodem oraz przyczynami wszystkich innych zjawisk na niebie, a w końcu wyjaśniają cały układ świata.

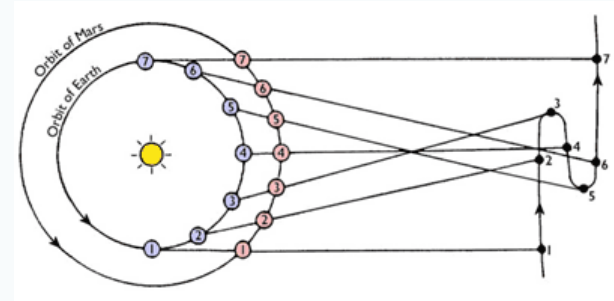
Układ geocentryczny



Układ heliocentryczny



- Słońce, 6 planet, sfera gwiazd (które się przesuwają??)
- Orbity są okręgami (ale konieczne były poprawki!)



Rewolucyjne znaczenie



- Ziemia nie zajmuje w kosmosie miejsca centralnego, jest jedną z planet
- A może jest ich więcej? (Giordano Bruno)
- Kopernik – prekursor nauki współczesnej (opartej na obserwacji)

Pierwsze obserwacje



Zakrycie Aldebarana
9.03.1497

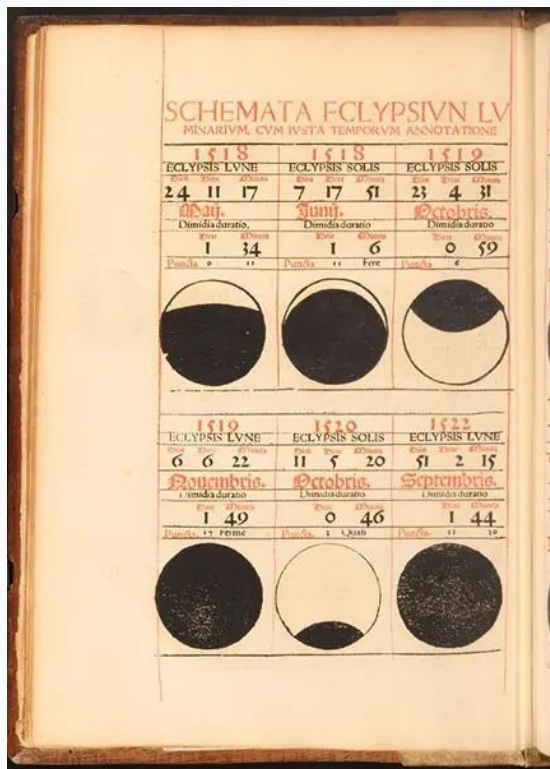


Kopernik jako obserwator

Wg Birkenmajera (1900)
zachowały się 63 zapiski (15
Słońce, 12 Księżyc, 29 planety,
3 Kłos Panny, 3 wyznaczanie
szerokości, 1 kometa 1533) – 51
z Warmii, 9 z Italii, 3 z Krakowa.

Pozycja 5 to np. obserwacje
nachylenia ekliptyki do równika
w latach 1497-1500

Kopernik obserwator – c.d.



Stoffler (1518) – *Calendarium Romanum magnum* (Uppsala) –
odręczne notatki Kopernika;
15 zaćmień Słońca i Księżycy;
W Księdze III: ...przez częste,
od 30 lat prowadzone
obserwacje ustaliłem 23 stopnie
i 28 i dwie piąte prawie minuty
(nachylenie ekliptyki do
równika)

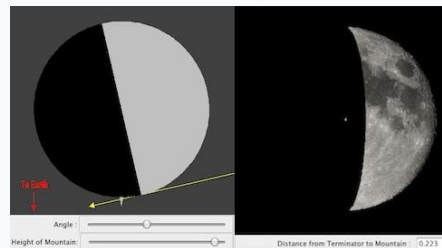


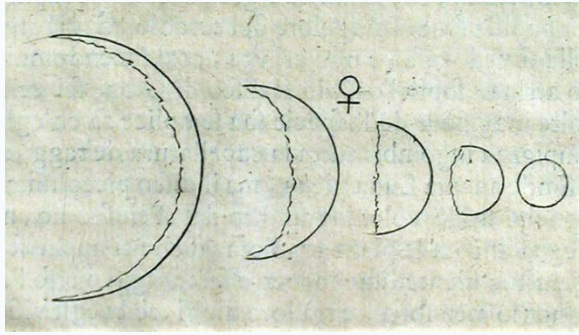
Galileusz i jego odkrycia

- Księżycy okraczające Jowisza
- Góry na Księżycu
- Plamy na Słońcu
- „Uszy” Saturna
- Dużo, dużo gwiazd...

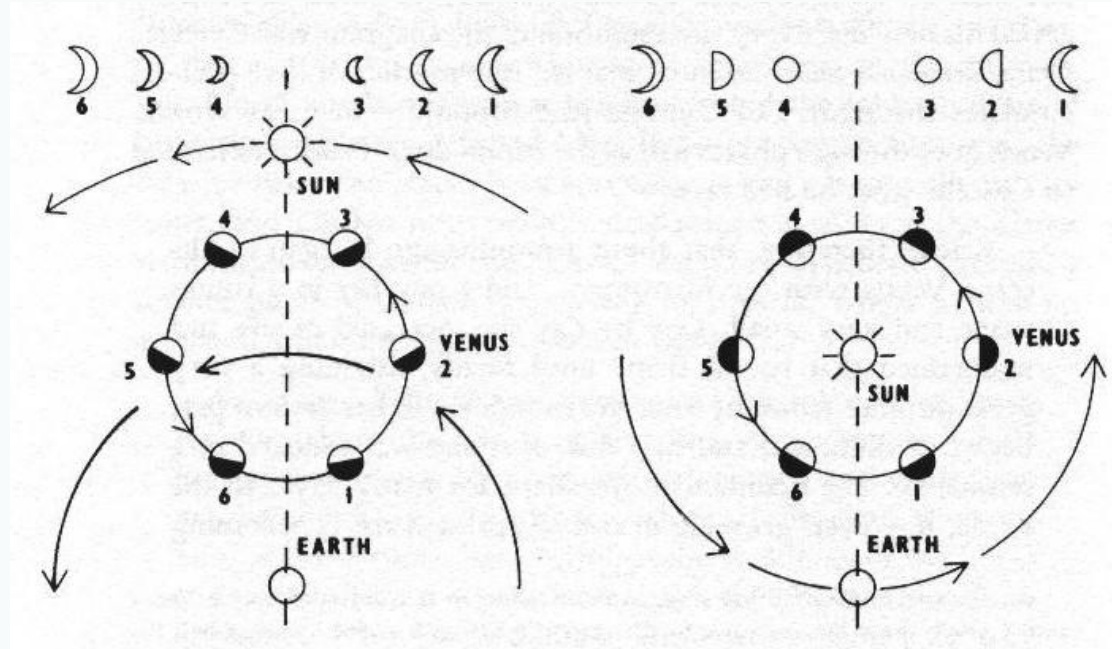
Observations of Jupiter
1610

2. J. Jovis. marc H. 12	○ * *
30. marc	* * ○ *
2. apr.	○ * * *
3. marc	○ * *
3. Ho. r.	* ○ *
4. marc.	* ○ * *
6. marc	* * ○ *
8. marc H. 13.	* * * ○
10. marc.	* * * ○ *
11.	* * ○ *
12. H. 4. wejd.	* ○ *
13. marc	* * ○ *
14. marc.	* * * ○ *

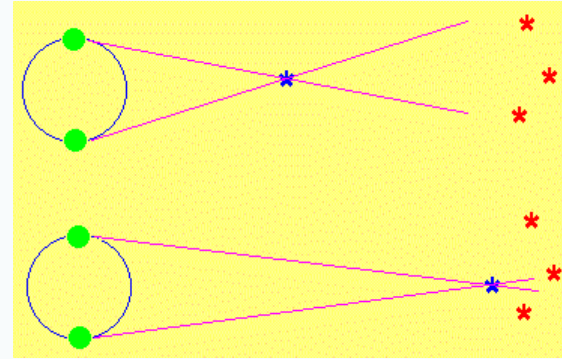




Galileusz: fazy Wenus

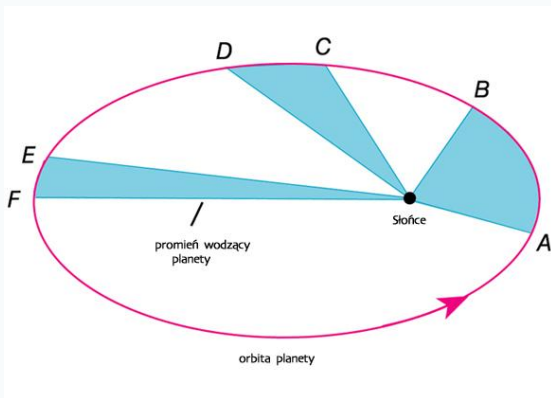


Sprawdzanie Kopernika



Paralaksę
heliocentryczną odkryto
dopiero w r. 1839!

Kepler: prawa ruchu planet

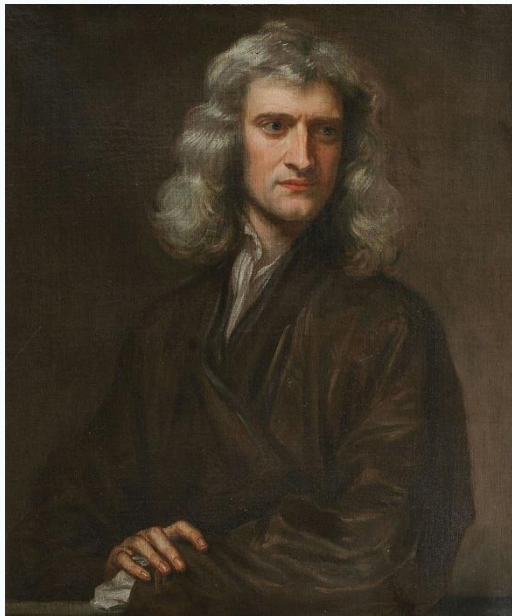


- Odległość Marsa od Słońca: 207-249 mln km

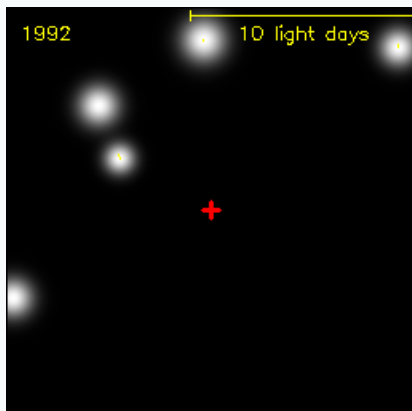
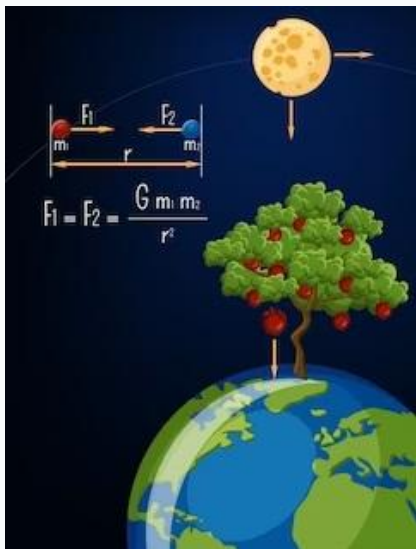
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$$

Planet	T(yrs)	R(au)
Venus	0.62	0.72
Earth	1.00	1.00
Mars	1.88	1.52
Jupiter	11.86	5.20

Dlaczego tak jest?



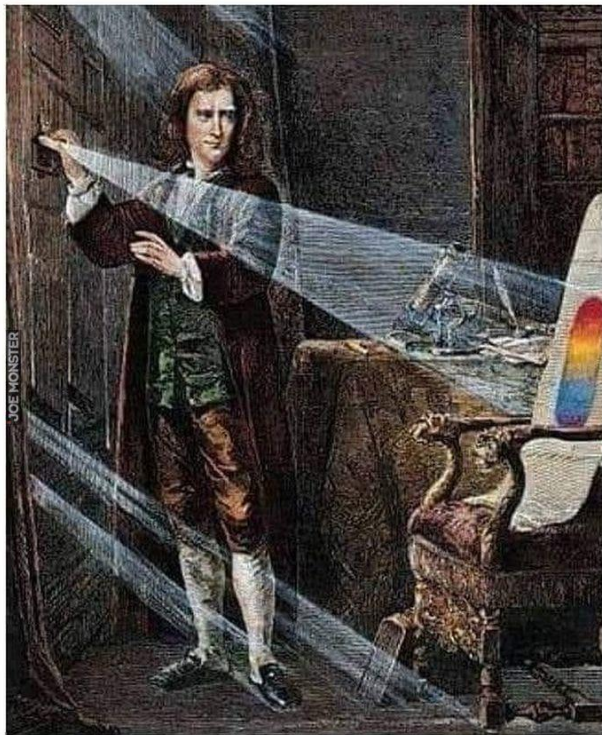
- Czym różni się opis ruchu w kosmosie od ruchu wokół nas? (brak tarcia)
- Ciało wprowadzone w ruch może się poruszać bez końca (po linii prostej) – zasada BEZWŁADNOŚCI



Odpowiedź

- Spadające jabłko i Księżyc na orbicie wprawia w ruch ta sama siła;
- Badając ruch ciała obiegającego coś w kosmosie, wyznaczymy masę tego „czegoś”
- Czarna dziura w centrum DM – ponad 4 mln mas Słońca

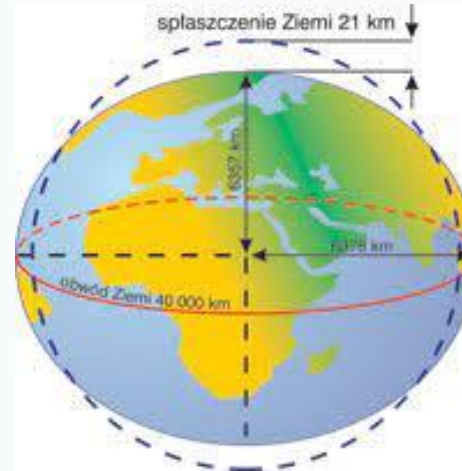
Co jeszcze odkrył Newton?



- **Rozszczepienie światła** pozwala badać widma, określać cechy gwiazd
- Katalog widm gwiazd HD

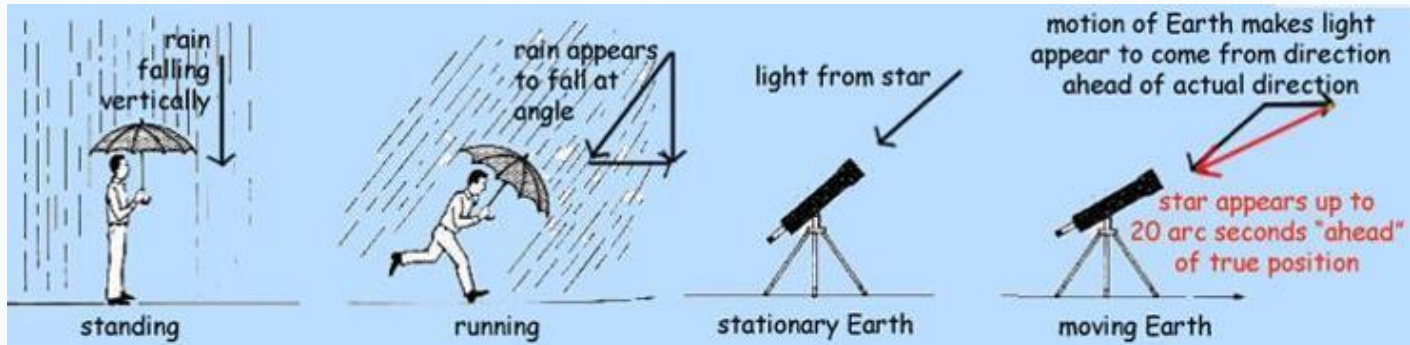


A jednak się kręci!



- Wahadło Foucaulta (1851)
- Spłaszczenie planet

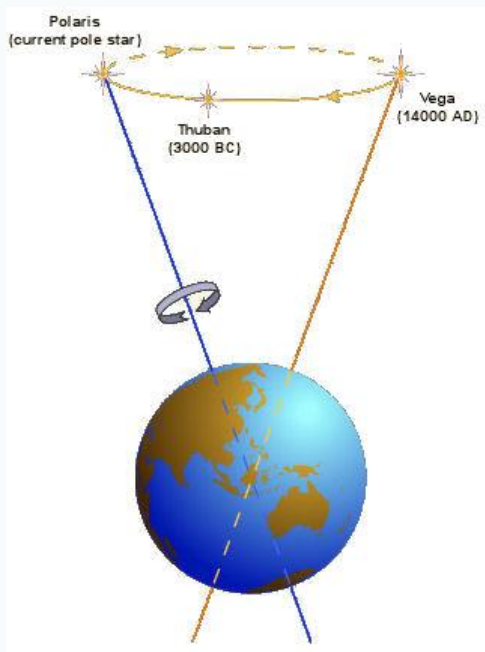
A jednak obiega Słońce!



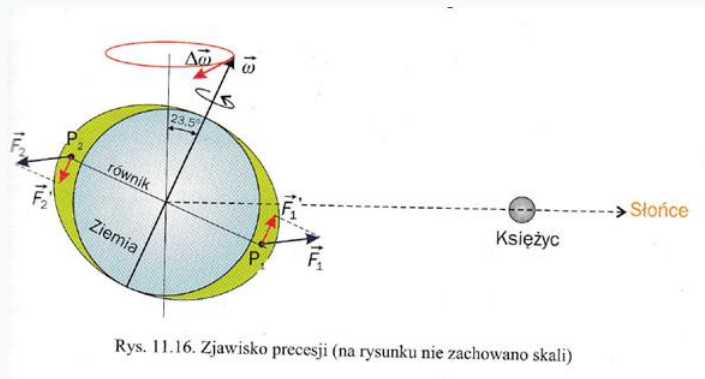
Zjawisko aberracji światła – Bradley 1725-28

Paralaksa heliocentryczna - 1839

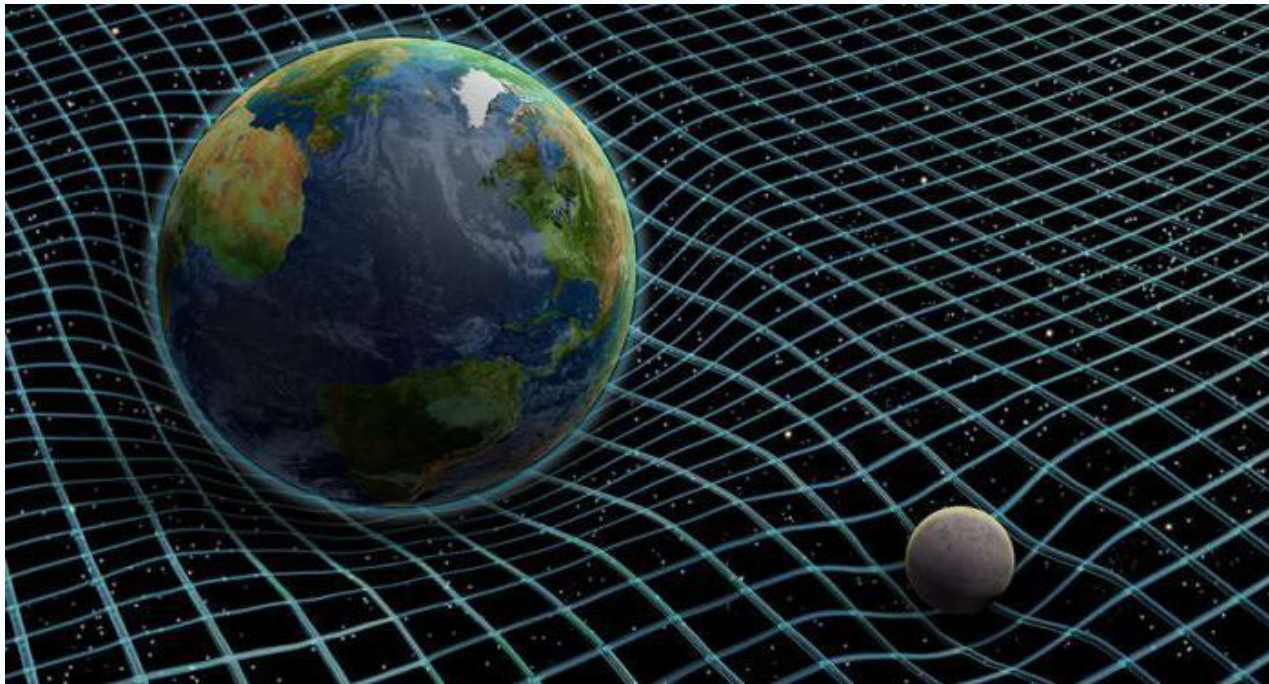
Kopernik: ruch precesyjny Ziemi



- 25816 lat (MK, 1543)
- oddziaływanie Słońca i Księżyca

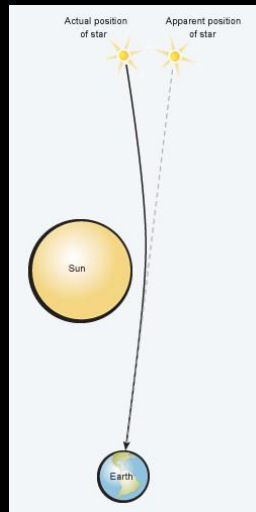


Einstein – inny opis grawitacji



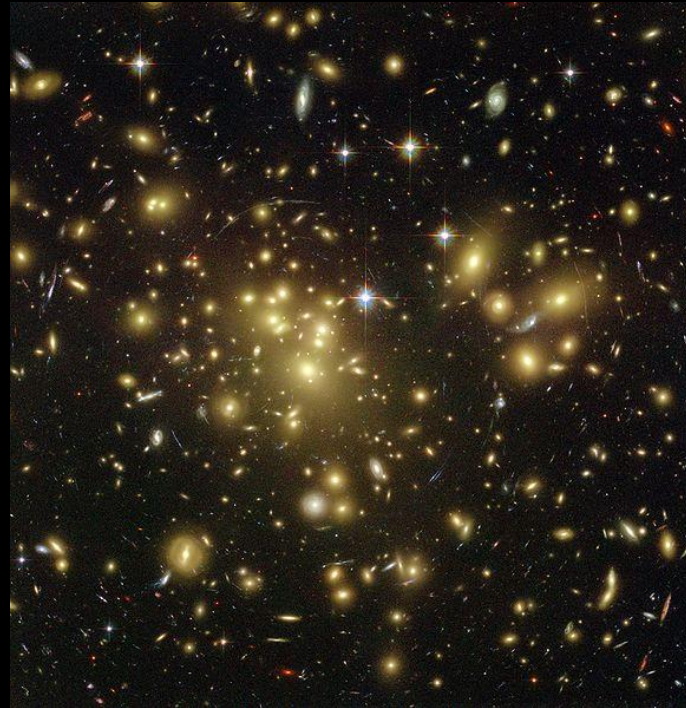
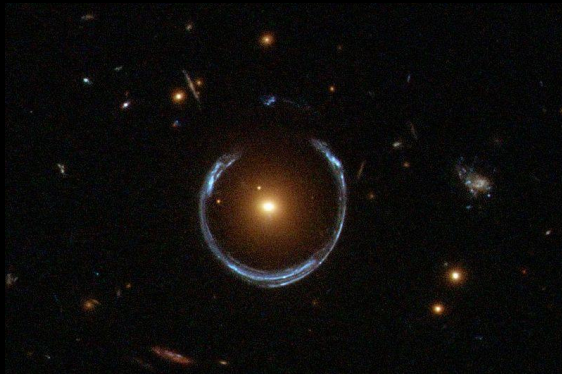
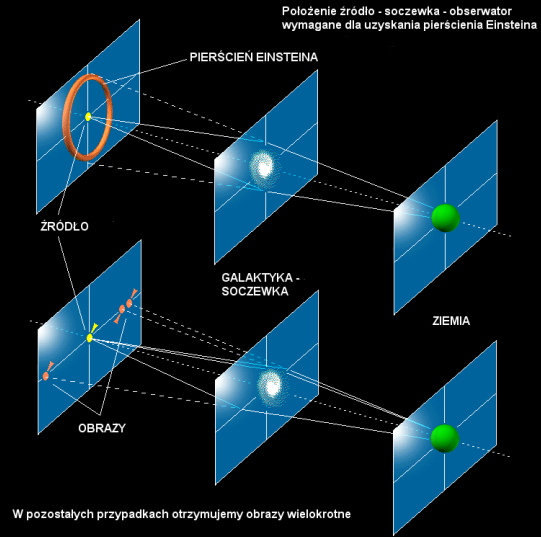


Potwierdzenie OTW

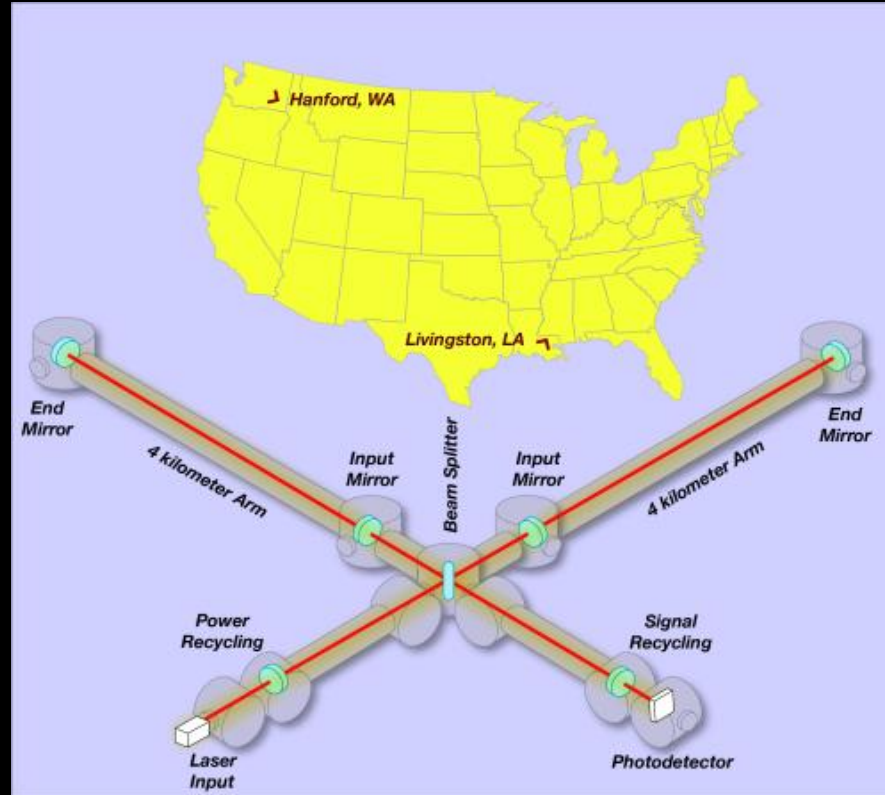


- Wyprawa Eddingtona na Wyspę Księżęcą w celu obserwacji całkowitego zaćmienia Słońca
- Publiczne ogłoszenie: 6.11.1919 na posiedzeniu *Royal Society*
- *The Times: Rewolucja w nauce*

Soczewki grawitacyjne



LIGO – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory



Observatorium EGO - Virgo

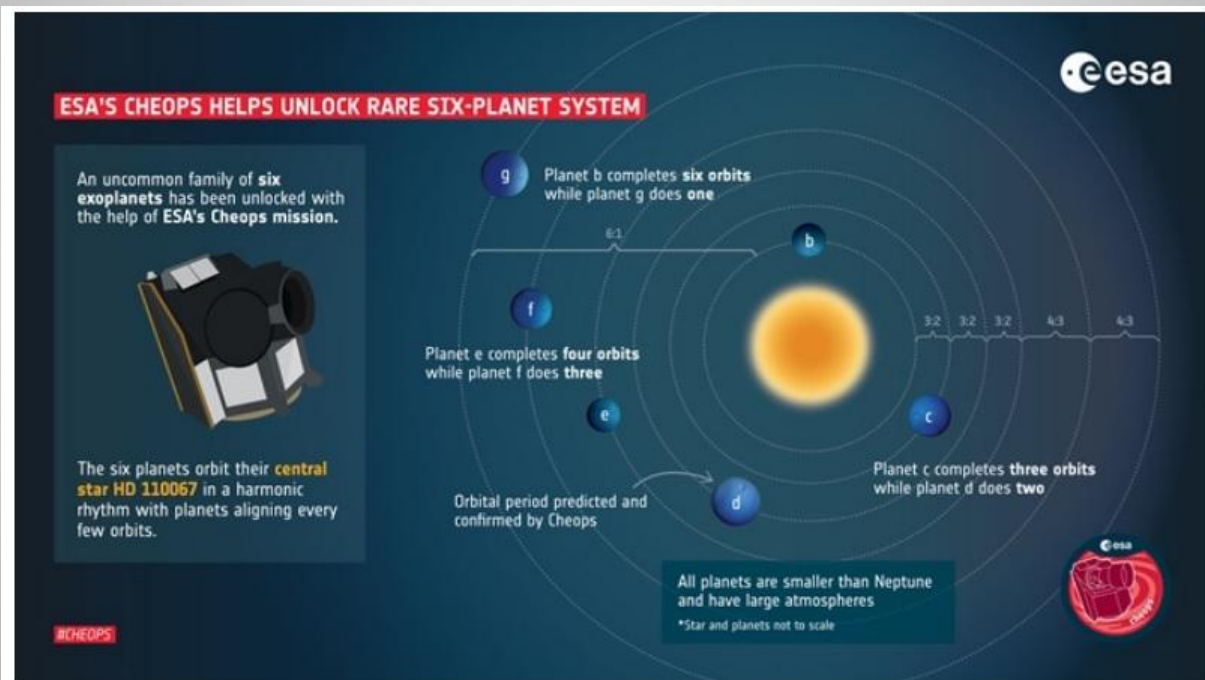


Skąd pochodzimy?...

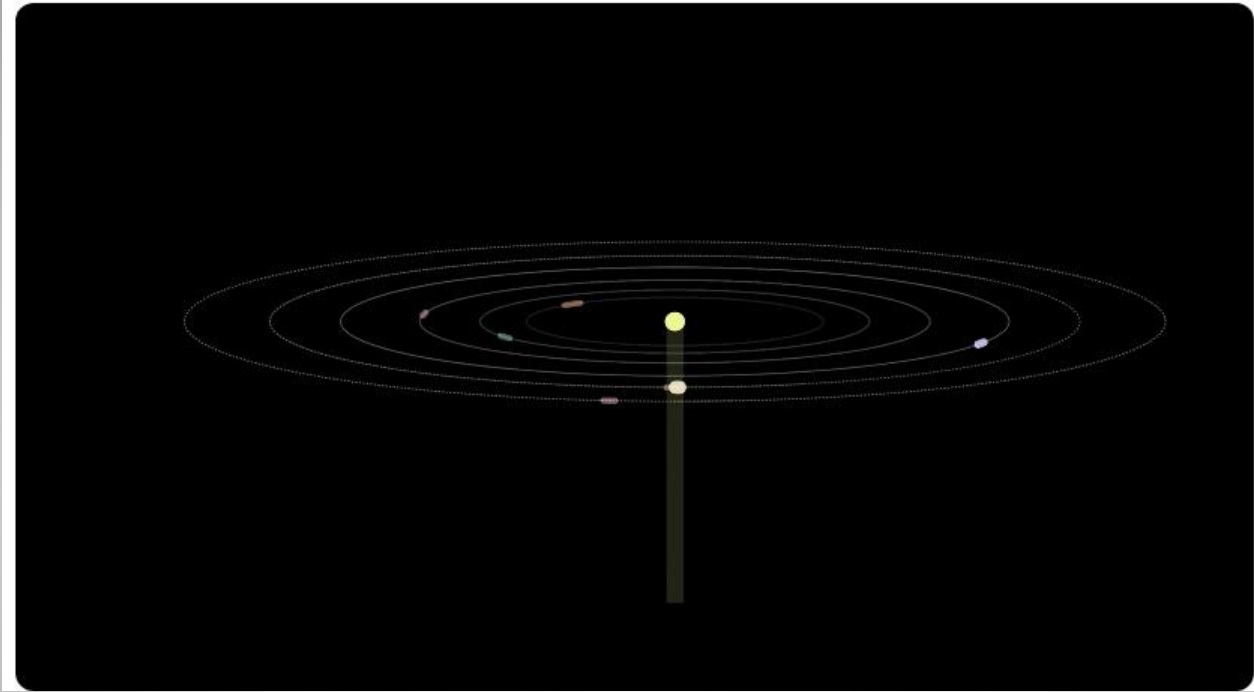
The Origin of the Solar System Elements

1 H		big bang fusion 					cosmic ray fission 					2 He																						
3 Li	4 Be	merging neutron stars 					exploding massive stars 					5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne																	
11 Na	12 Mg	dying low mass stars 					exploding white dwarfs 					13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar																	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr																	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe																	
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																	
87 Fr	88 Ra																																	
																		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
																		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U													

O nieskończoności Wszechświata i światów... (Bruno, 1584)

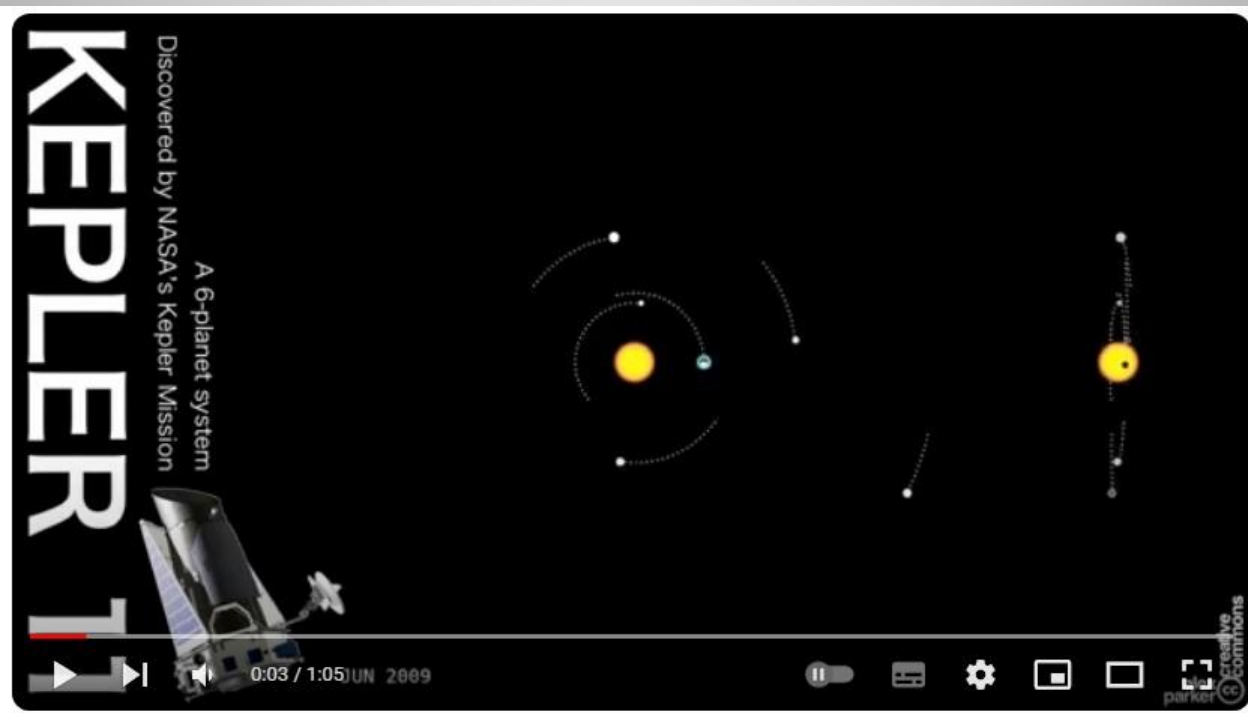


W czasie gdy planeta najbliższa gwiazdy robi trzy pełne obroty – druga robi dwa. Taki ruch nazywa się rezonansem 3:2. Sześć planet tworzy łańcuch rezonansowy o wartościach wynoszących w poszczególnych parach 3:2, 3:2, 3:2, 4:3 i 4:3. Cheops potwierdził czas potrzebny trzeciej planecie na wykonanie jednego obrotu, co było kluczem do ustalenia rytmu całego układu.



Youtube: [An astronomical waltz reveals a sextuplet of planets](#)

Kepler-11: A six planet sonata



KEPLER 11
A 6-planet system
Discovered by NASA's Kepler Mission

0:03 / 1:05 JUN 2009

Kepler 11: A Six-Planet Sonata

Alex Harrison Parker
134 subskrybentów

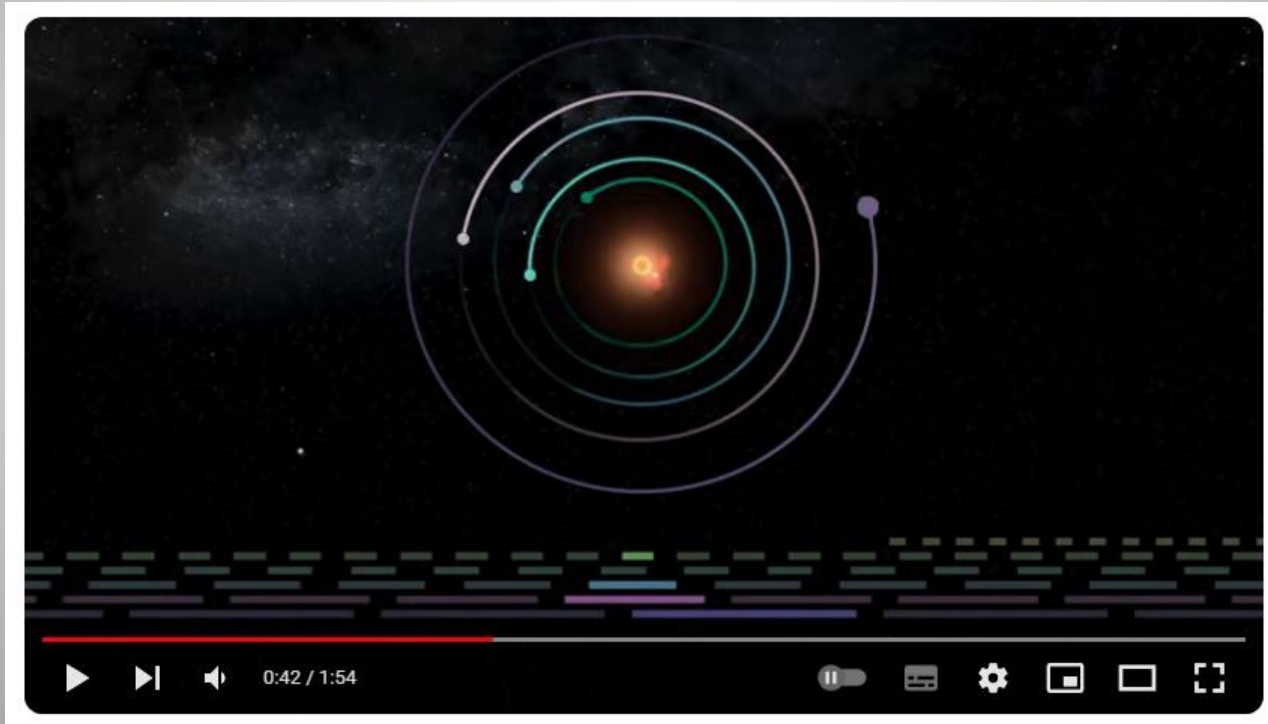
Subskrybuj

129

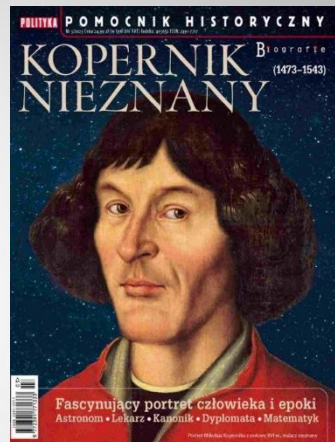
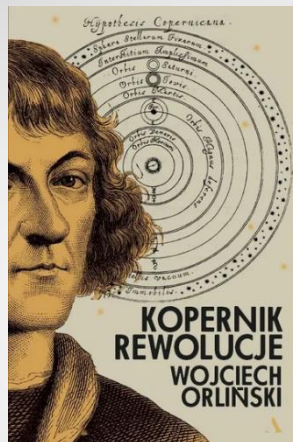
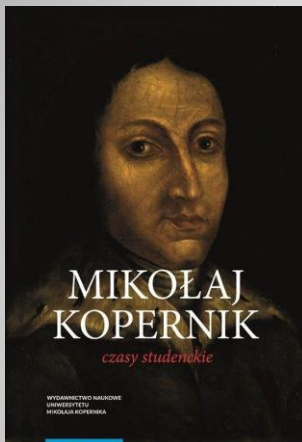
Udostępnij

Zapisz

TRAPPIST-1 Planetary System Translated Directly Into Music



Co zostanie po Roku Kopernika?



Prywatny świat
Mikołaja
Kopernika

Wieża Kopernika, wystawa
stała



Co jeszcze zostanie po Roku Kopernika?



- NCT – [portal](#) w nowej wersji
- [astroturystyka.pl](#) + przewodnik
- Youtube.com: [UMK TV](#) – relacje z Kongresu, shorts (prof. Mikulski)
- Astronarium – [De Revolutionibus](#) (odc. 163); 158 – [Rewolucja kopernikańska](#)
- TVP Nauka – [Ten, co wstrzymał Słońce](#) (sezon 1 - 12 odc.)

Krótkie podsumowanie

- Choć opisany na kartach *De Revolutionibus* model U.S. został zastąpiony przez prace pokoleń kolejnych badaczy, idea opisana przez Kopernika jest nadal żywa.
- Prof. W. Zonn: *To, co kopernikańskie, przetrwało.*
To, co kopernikowskie, zniknęło.
- To, co **kopernikowskie**, to model matematyczny Kopernika, który został zastąpiony przez model matematyczny Keplera, Newtona i Einsteina.
- To, co **kopernikańskie**, czyli zrównanie naszej planety z wszystkimi innymi planetami, zostało z nami do dziś i zostanie na wieki.

Ćwiczenia na platformie ZPE

- Co mówi III prawo Keplera? [1-4](#)
- Jaka jest nasza Galaktyka? [Gra edukacyjna](#)
- Co to jest prawo Hubble'a? [1-5](#)

...oraz [arkusze maturalne 2025](#)



Dziękuję za uwagę!