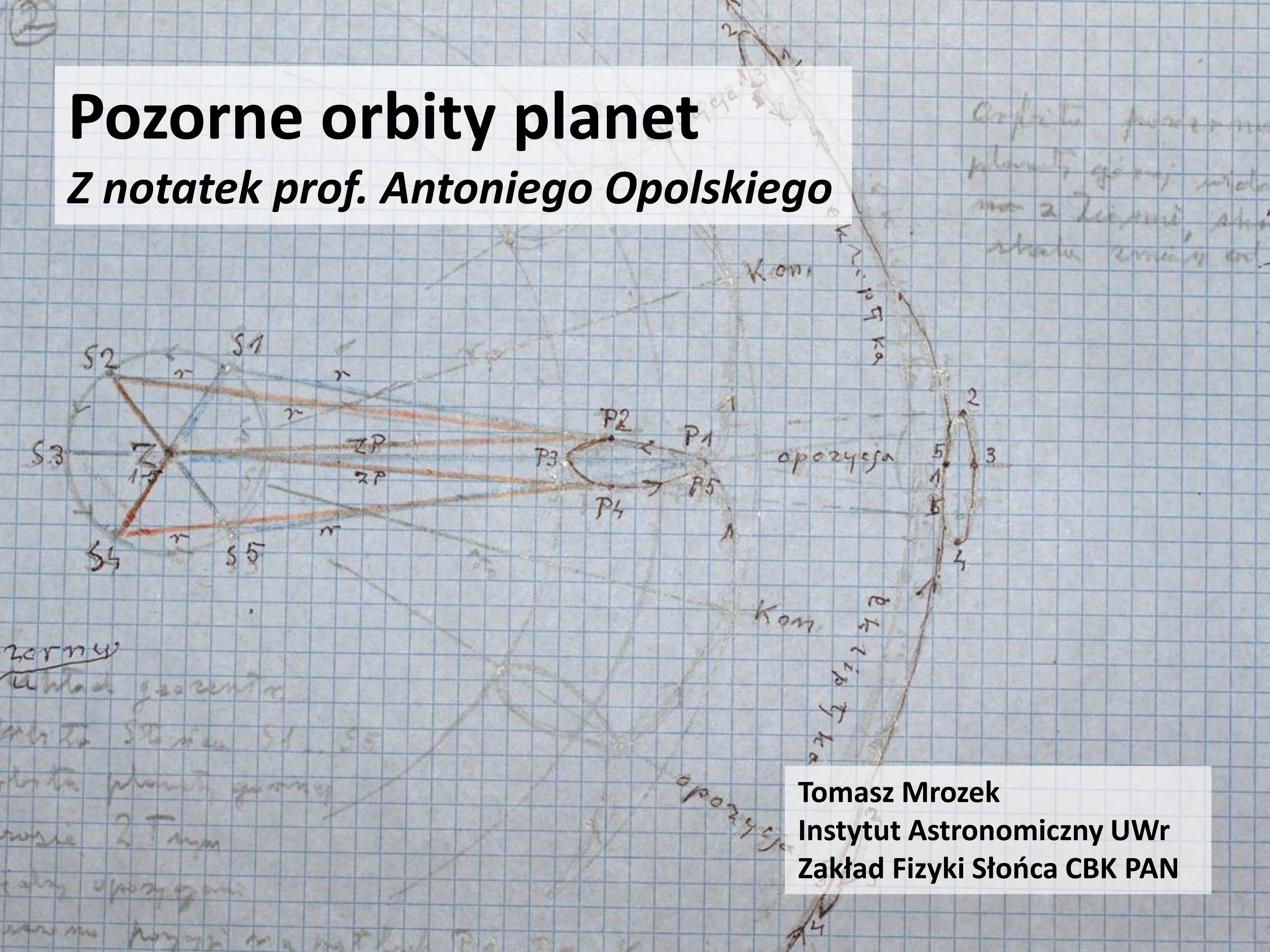
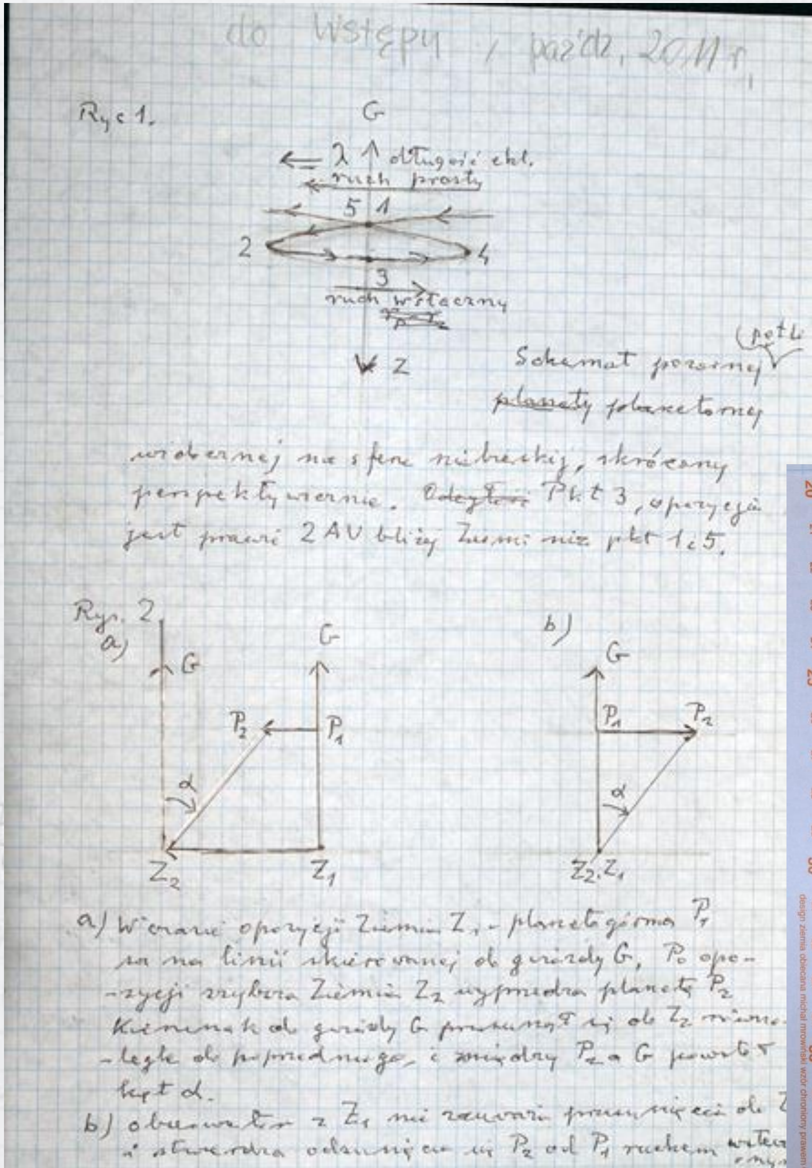
Pozorne orbity planet

Z notatek prof. Antoniego Opolskiego



Tomasz Mrozek
Instytut Astronomiczny UWr
Zakład Fizyki Słońca CBK PAN

Początek



do wstępu / paźdz. 2011 r.

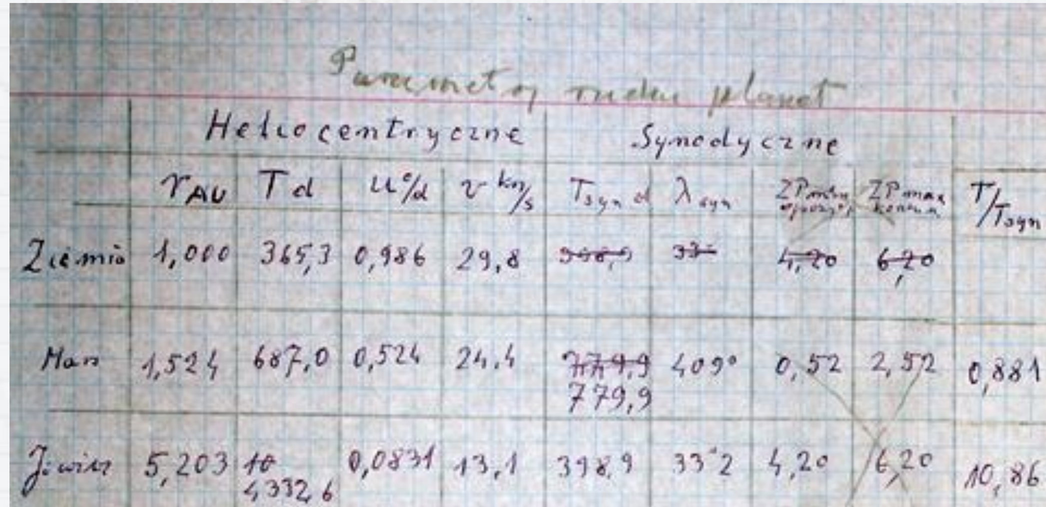
Ryc 1.

Schemat pozornej (pętli) planety planetarnej widzianej na sferze niebieskiej, skrócony perspektywicznie. ~~Odcinek~~ Pkt 3, opozycja jest prawie 2 AU bliżej Ziemi niż pkt 1 i 5.

Ryc. 2

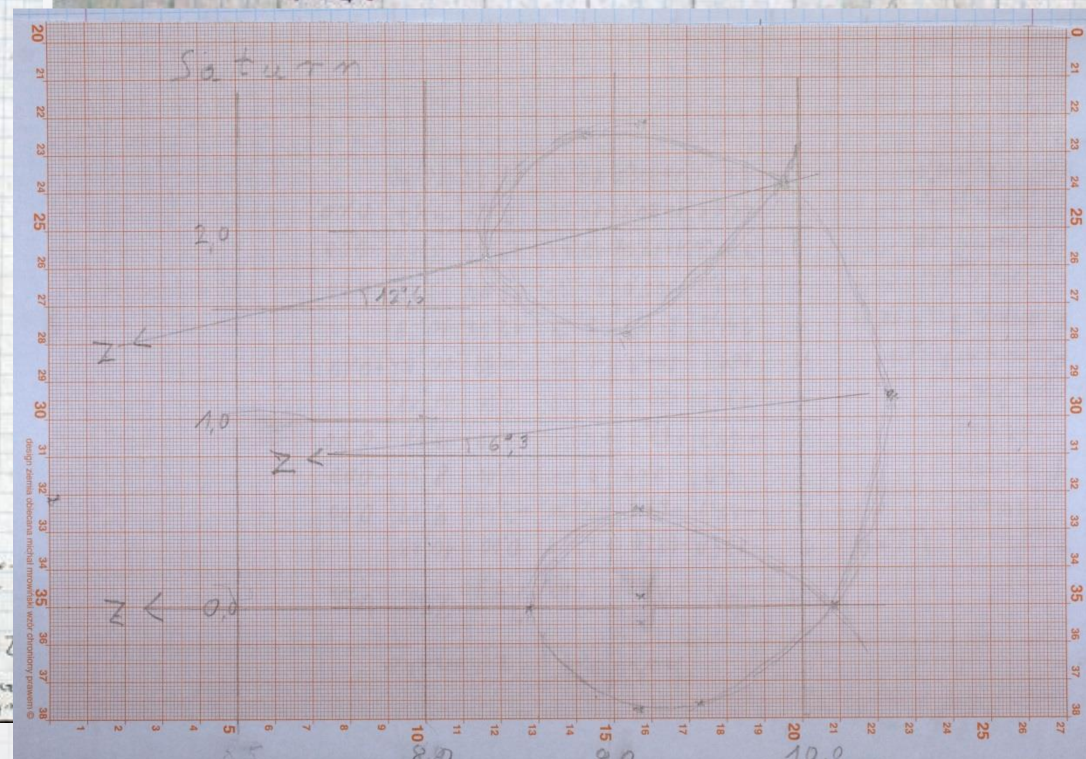
a) W czasie opozycji Ziemia Z_1 - planeta górna P_1 są na linii skierowanej od gwiazdy G. Po opozycji szybsza Ziemia Z_2 wyprzedza planetę P_2. Kierunek od gwiazdy G przesunął się od Z_2 równolegle do poprzedniego, i między P_2 a G powstał kąt α.

b) obserwator z Z_1 nie zauważa przesunięcia od Z... i stwierdza odsunięcie się P_2 od P_1 ruchem wstecznym.



Parametry ruchu planet

	Heliocentryczne				Synodyczne				
	r_{AU}	T d	u °/d	v km/s	T_{syn} d	λ_{syn}	ZP min opozycji	ZP max koniun.	T/T_{syn}
Ziemia	1,000	365,3	0,986	29,8	~~366,0~~	~~32~~	~~4,20~~	~~6,20~~	
Mars	1,524	687,0	0,524	24,4	~~779,9~~ 779,9	40,9°	0,52	2,52	0,881
Jowisz	5,203	~~10~~ 4332,6	0,0831	13,1	398,9	33°2	4,20	6,20	10,86



Młody miłośnik astronomii patrzy w niebo…

Młody miłośnik astronomii patrzy w niebo…

URANJA

CZASOPISMO
TOWARZYSTWA MIŁOŚNIKÓW ASTRONOMJI

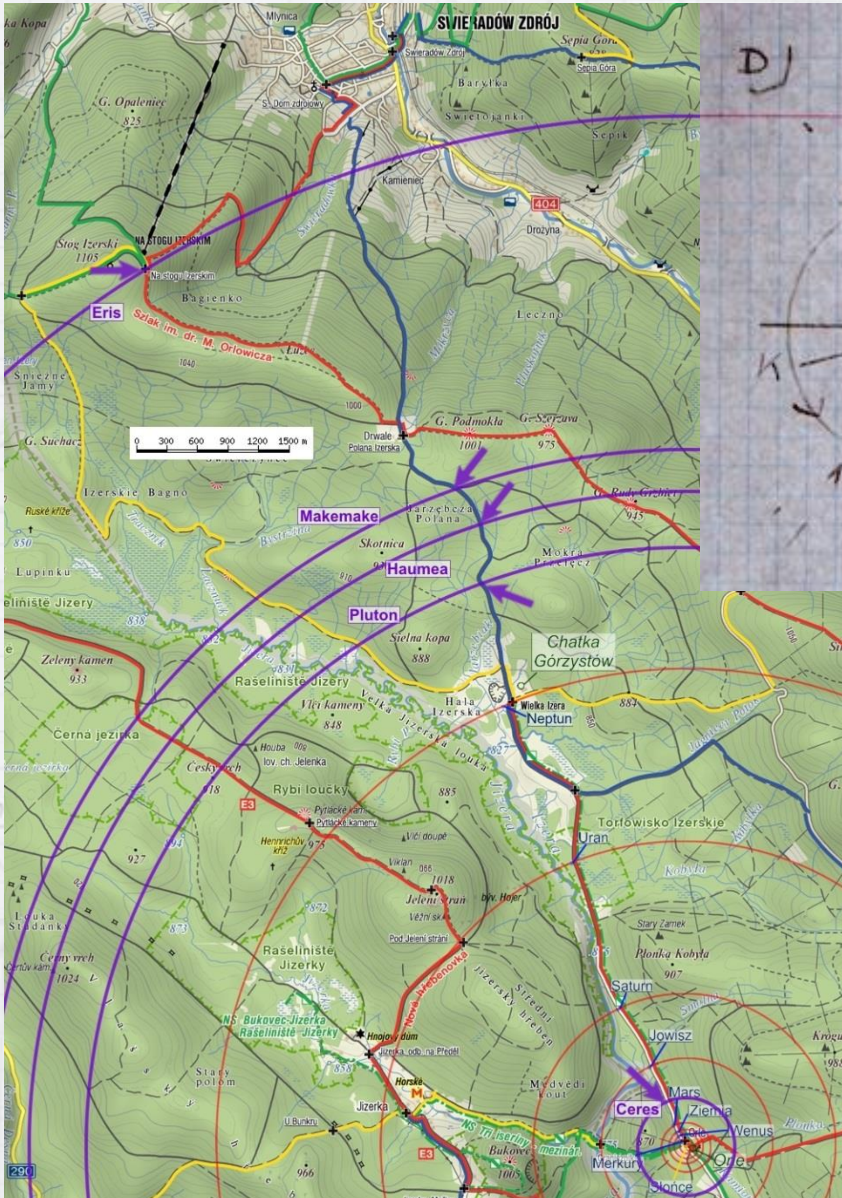
ROK II — № 1 (5)

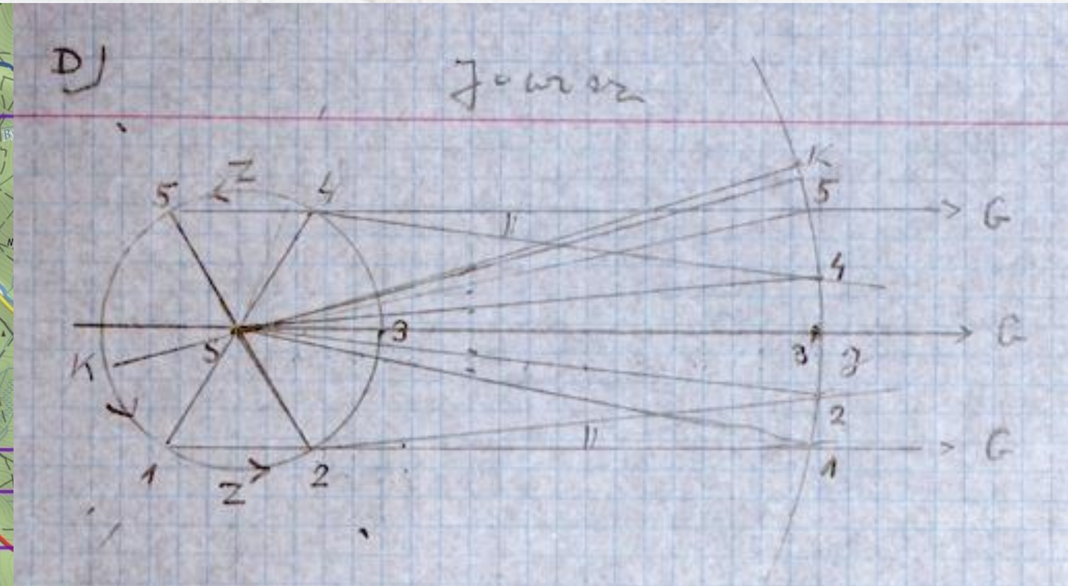
TREŚĆ ZESZYTU:

WARSZAWA
1923

Dlaczego na mapie nieba nie ma zaznaczonych pozycji planet?

Pozycja względem gwiazd

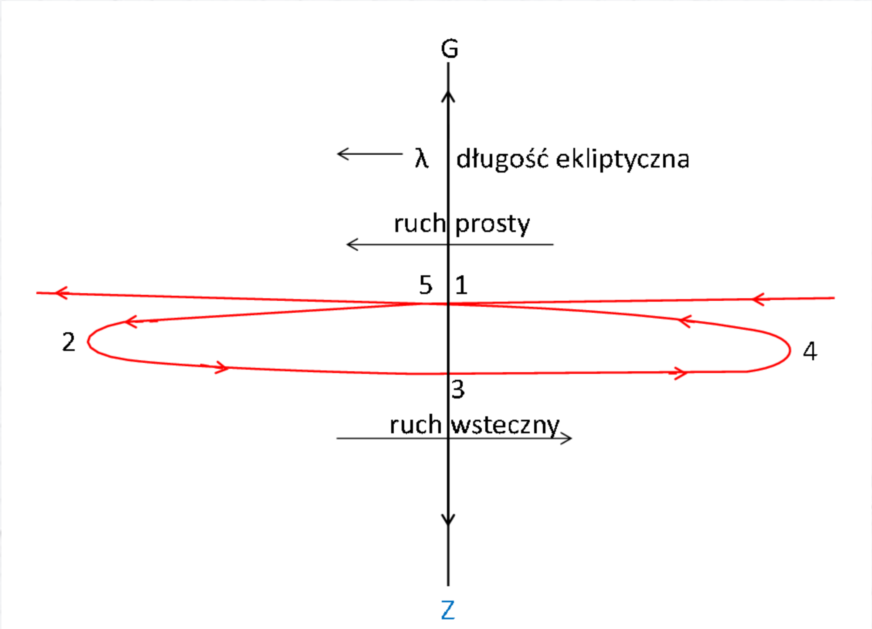




Planety zmieniają swoje położenie na tle „sąsiednich” gwiazd, ale chodzi tutaj bardziej o bliskość kierunków do planety i gwiazd.

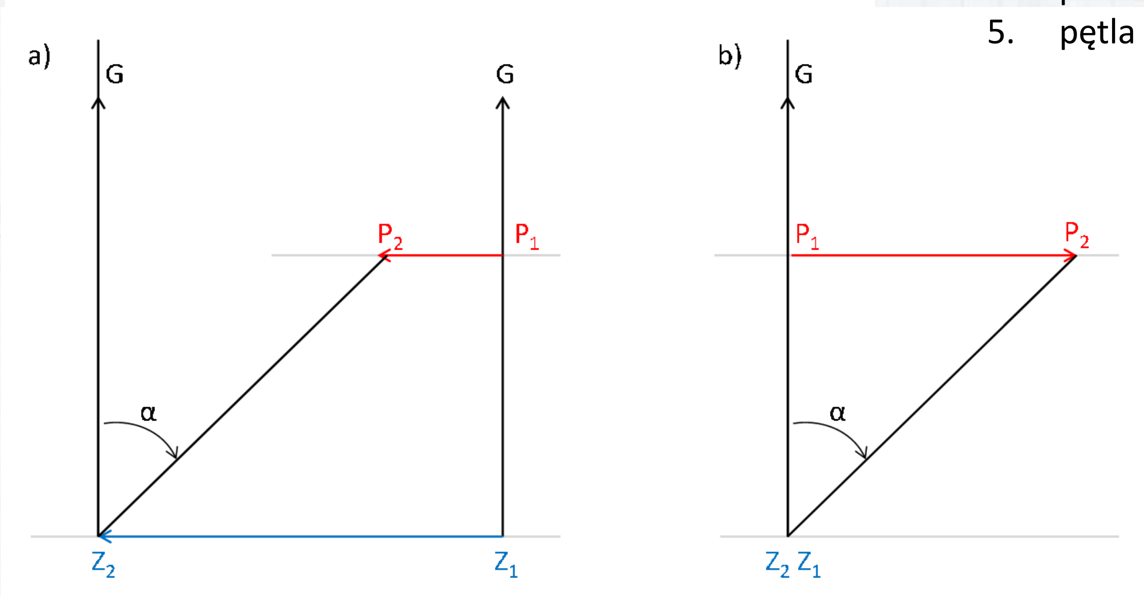
Dlaczego planeta zmienia swoje położenie na niebie, a gwiazda (w porównywalnym okresie czasu) nie? – Bo są dużo dalej.

Skąd się biorą pętle?



Planeta obserwowana z Ziemi zakreśla pętlę

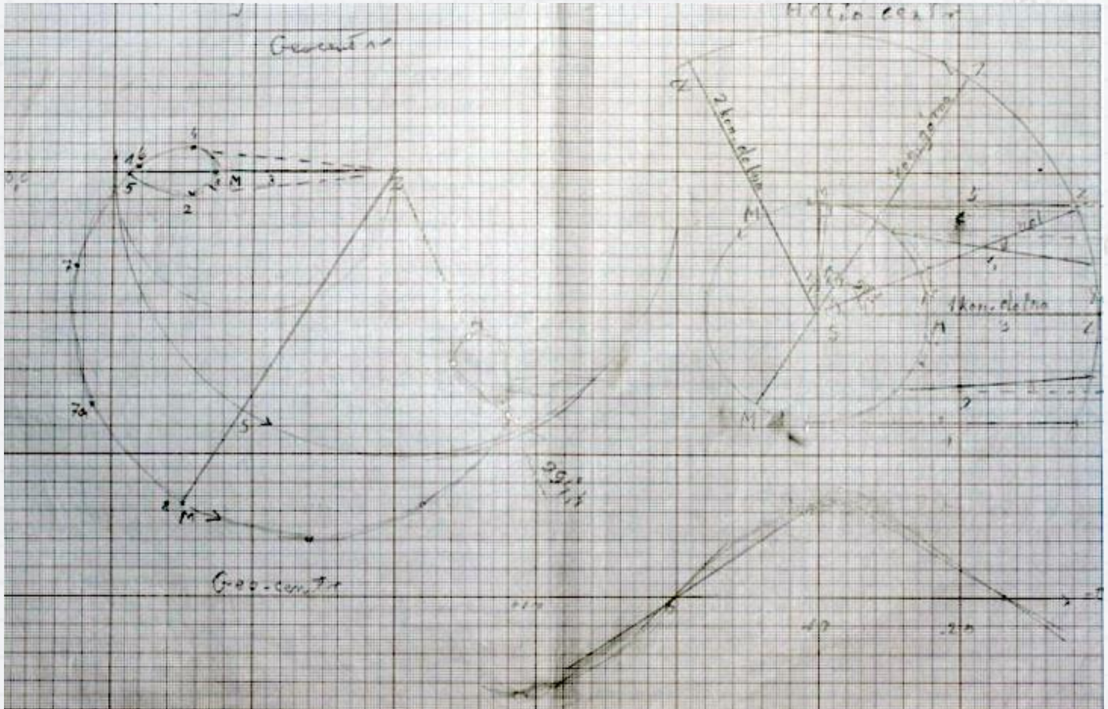
1. początek pętli, planeta przesuwa się ruchem prostym;
2. ruch prosty ustaje, planeta chwilowo zatrzymuje się i jest stacjonarna, po czym zaczyna się ruch wsteczny;
3. ruch wsteczny trwa, Ziemia znajduje się na jednej linii między Słońcem a planetą, która znajduje się wówczas najbliżej Ziemi, w odległości równej różnicy promieni orbit planety r_p i Ziemi r_Z;
4. koniec ruchu wstecznego, stacjonarność, a potem początek ruchu prostego;
5. pętla się zamknęła.

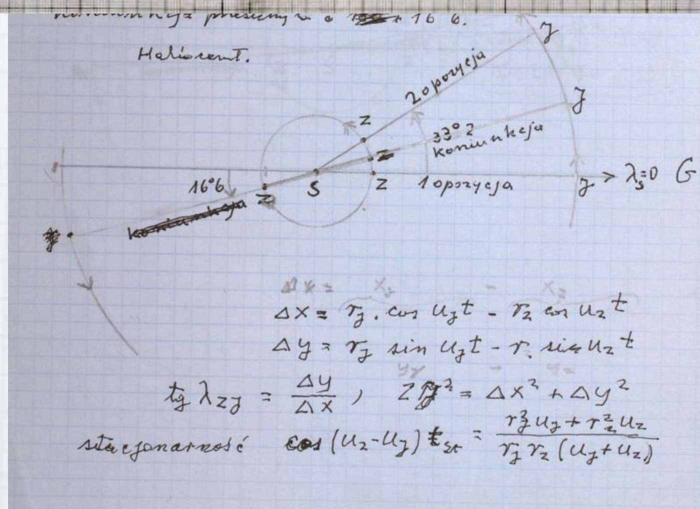


Z_1P_1 – opozycja
Ziemia przemieszcza się szybciej
Kąt między kierunkiem do gwiazdy, a Z_2P_2 zmienia się.

Obserwator ziemski nie czuje przemieszczenia się Ziemi i widzi cofającą się planetę

Założenia



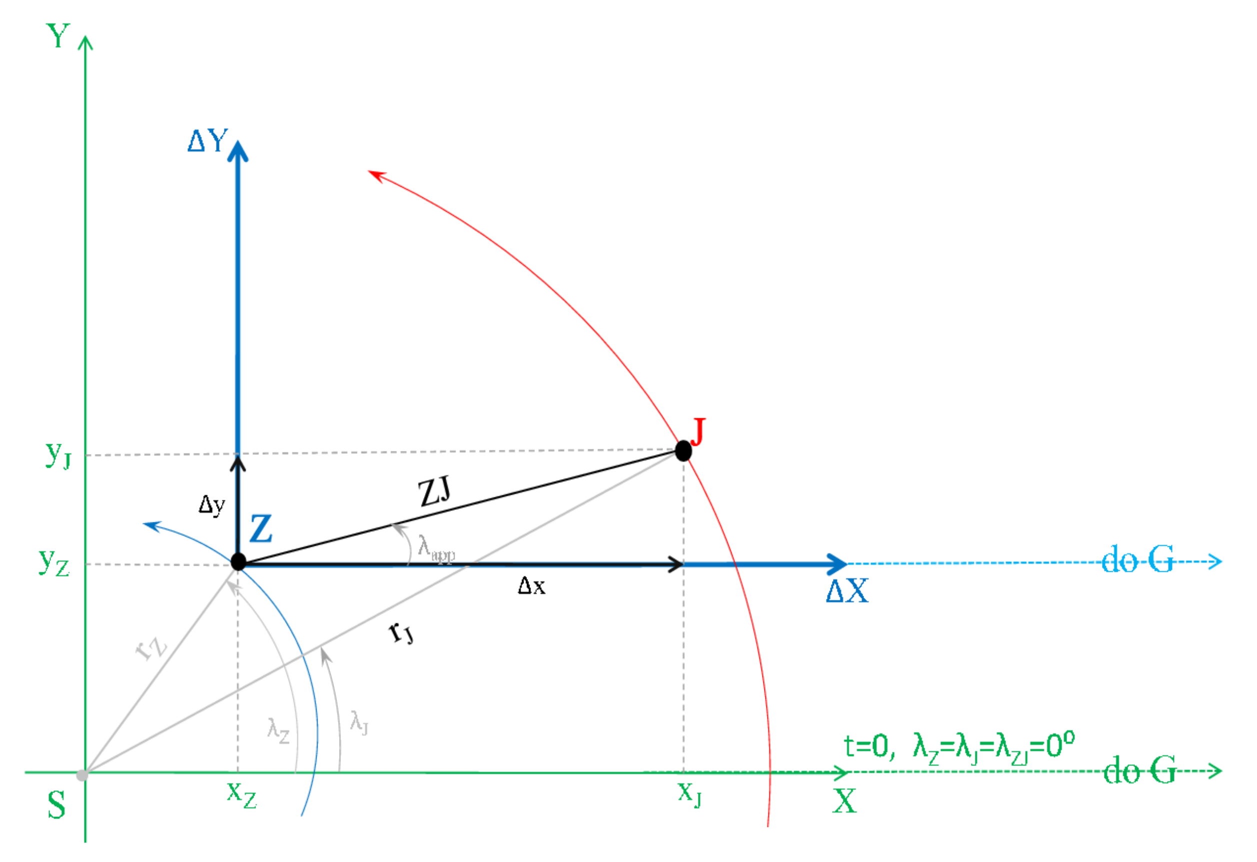


Planety krążą w jednej płaszczyźnie, po kołowych orbitach o wspólnym środku (Słońce)

Obiegi planet dokoła Słońca opisują ich okresy gwiazdowe T_p - interwały czasu, w których planeta wykonuje pełny obieg wokół Słońca.

Prędkość kątowa tego ruchu jest stała i wynosi $u_p = 360°/T_p$.

Układ współrzędnych heliocentrycznych



Opozycja wyznacza oś X i początek skali czasu

u_Z, u_J – prędkości kątowe Ziemi i Jowisza w ruchu po ich orbitach

Promienie wodzące zakreślają kąty (długości ekliptyczne tych planet): $\lambda = ut$

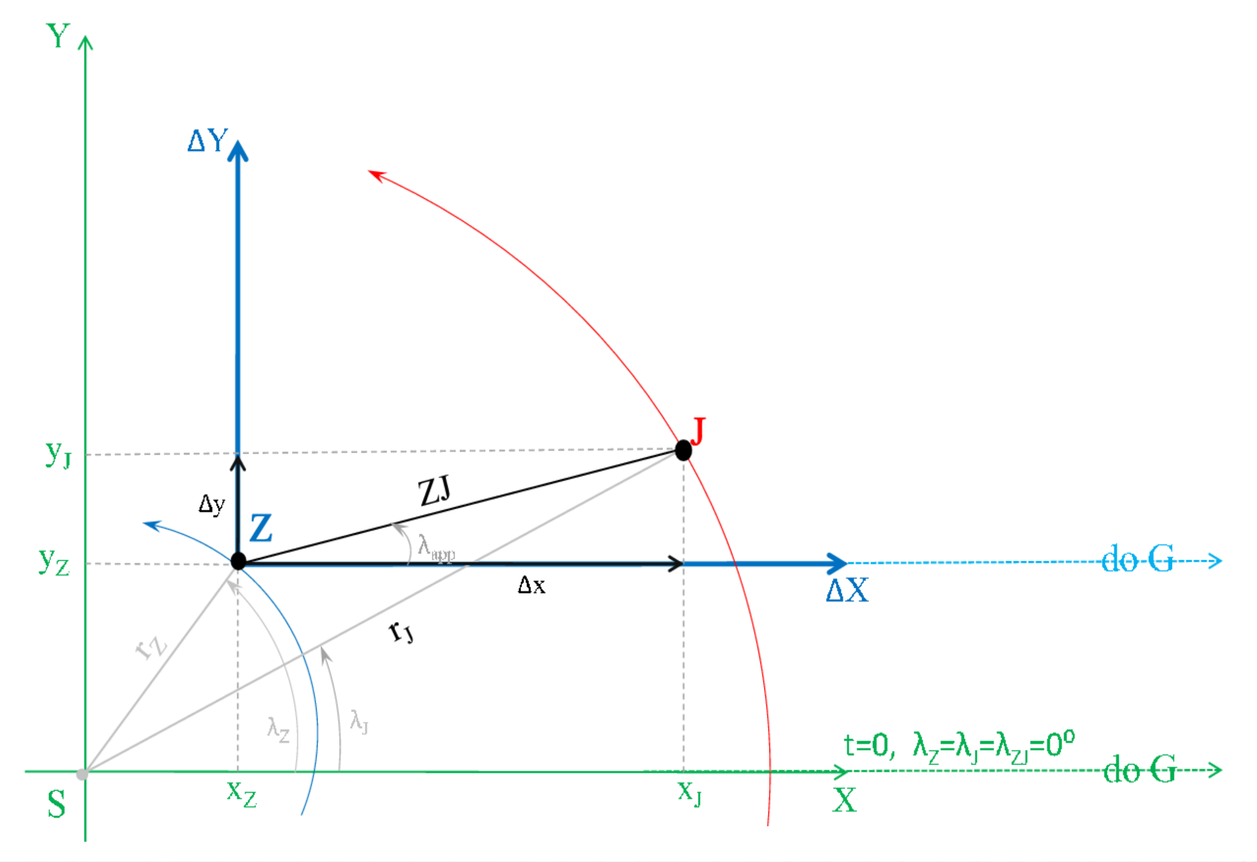
Związki między tymi współrzędnymi biegunowymi (długości heliocentryczne λ i promienie orbit r) a prostokątnymi:

$x_Z = r_Z \mathit{cos}\ \lambda_Z = r_Z \mathit{cos}\ u_Z t$ $\qquad$ $y_Z = r_Z \mathit{sin}\ \lambda_Z = r_Z \mathit{sin}\ u_Z t$

Układ współrzędnych ziemski

Współrzędne Jowisza względem Ziemi ustalimy wprowadzając układ współrzędnych ziemski:

- środkiem tego układu jest punkt obserwacyjny na Ziemi,
- oś ΔX jest równoległa do osi X układu heliocentrycznego (skierowana do gwiazdy G),
- układ ten porusza się wraz z Ziemią w jej ruchu orbitalnym dokoła Słońca.



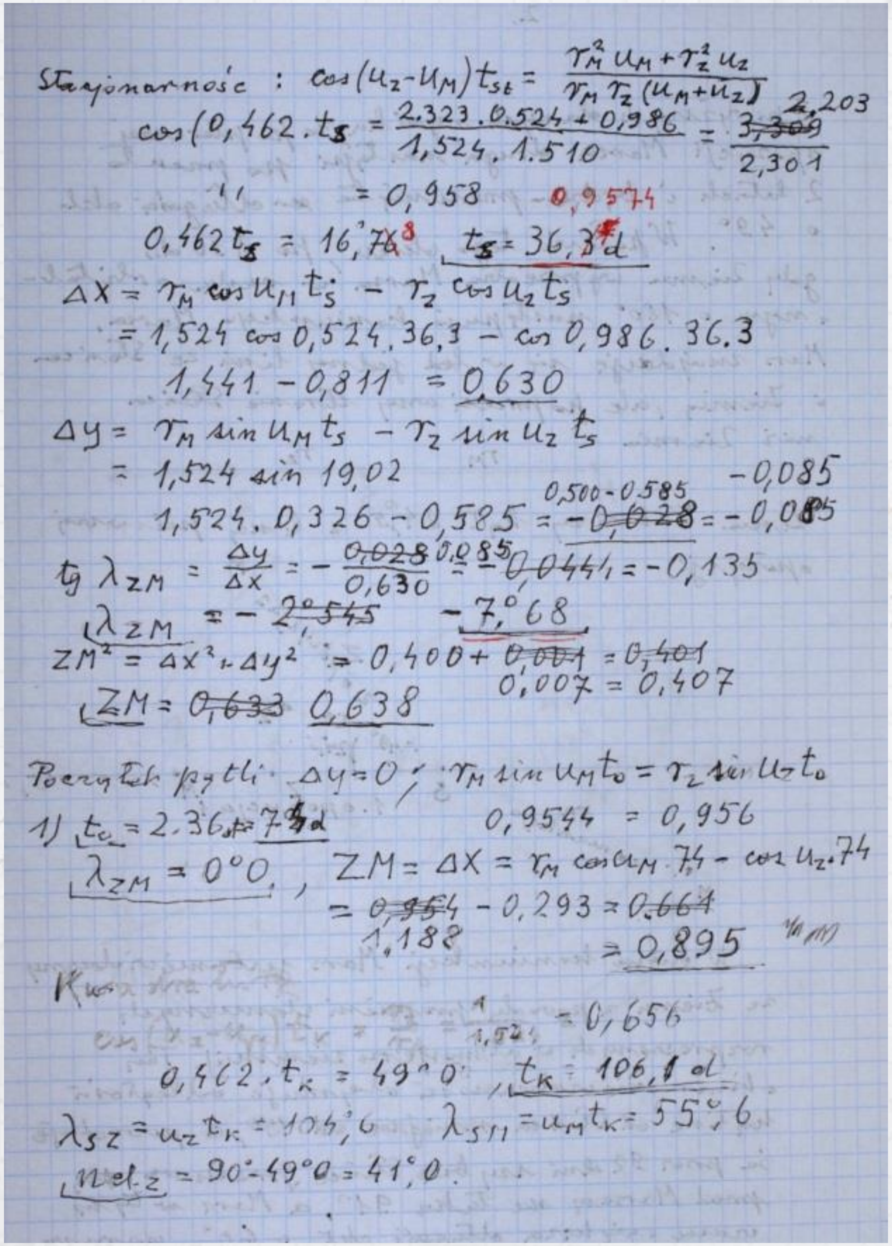
Współrzędne prostokątne Jowisza względem Ziemi:

$\Delta x = x_J - x_Z = r_J \cos u_J t - r_Z \cos u_Z t$
$\Delta y = y_J - y_Z = r_J \sin u_J t - r_Z \sin u_Z t$

Współrzędne biegunowe Jowisza względem Ziemi :

λ_{app} - pozorna długość ekliptyczna
ZJ - odległość od Ziemi do Jowisza

Przejście między układami



Dla dalszych rozważań konieczne jest przejście od współrzędnych heliocentrycznych do ziemskich.

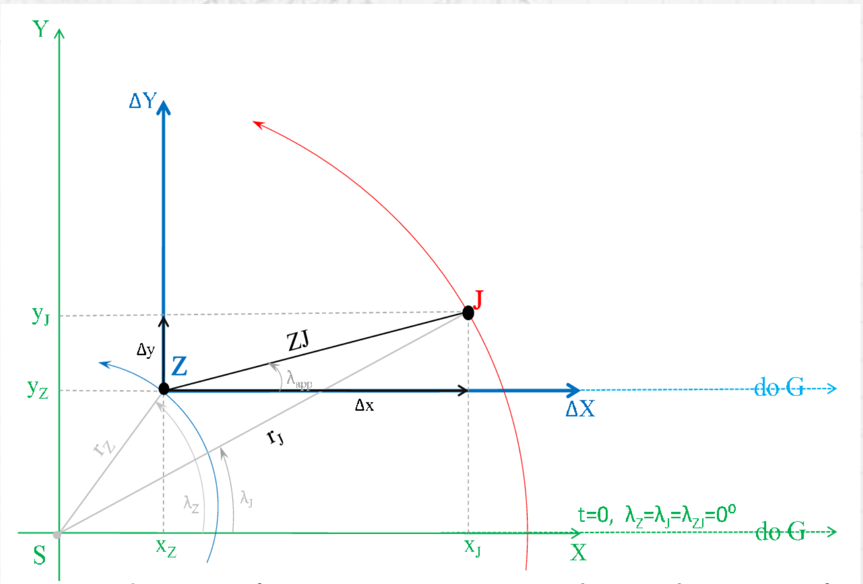
Związki między tymi wielkościami są następujące:

$\Delta x = ZJ \cos \lambda_{app}$

$\Delta y = ZJ \sin \lambda_{app}$

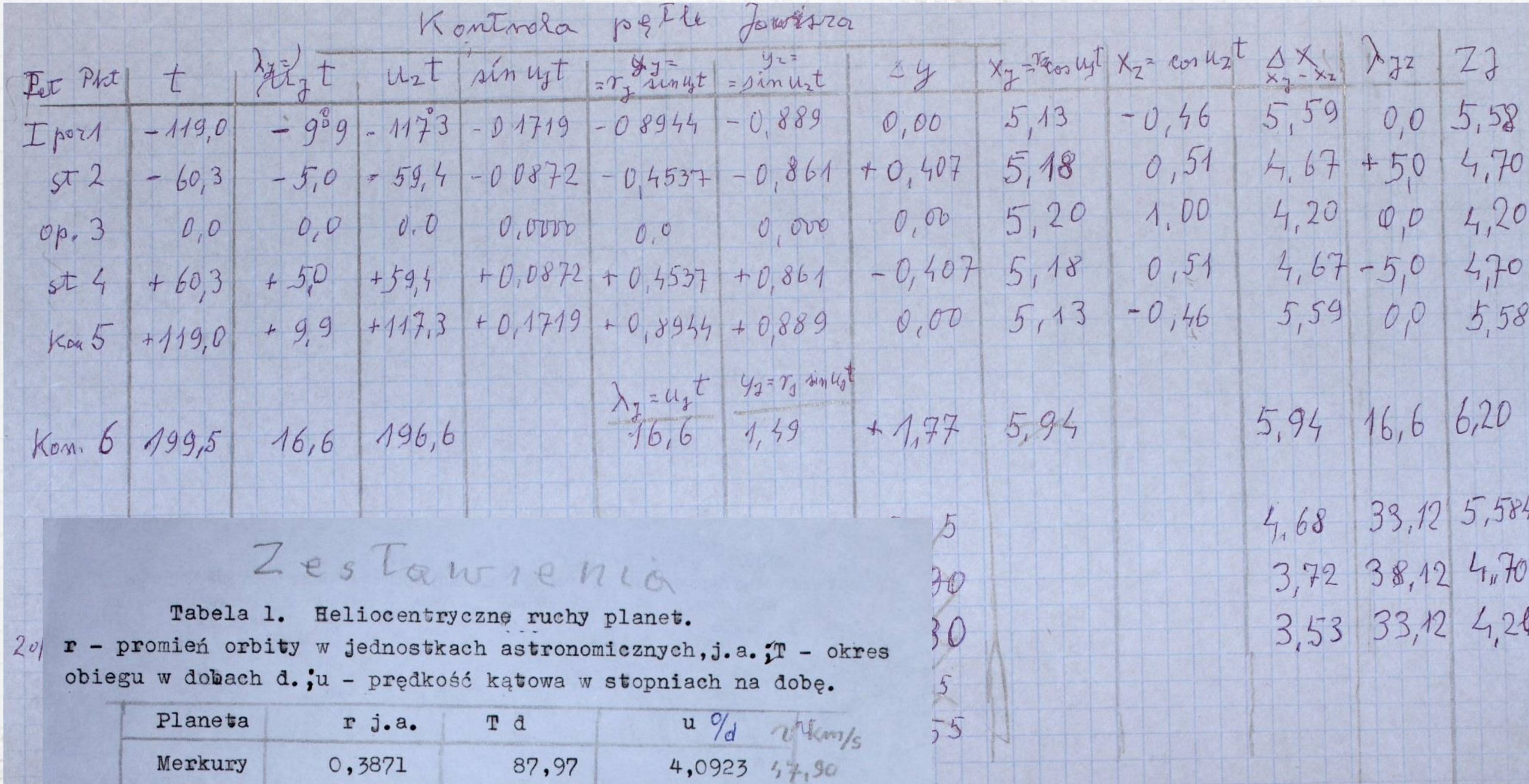
$\mathrm{tg}\, \lambda_{app} = \Delta y / \Delta x$

$(ZJ)^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$



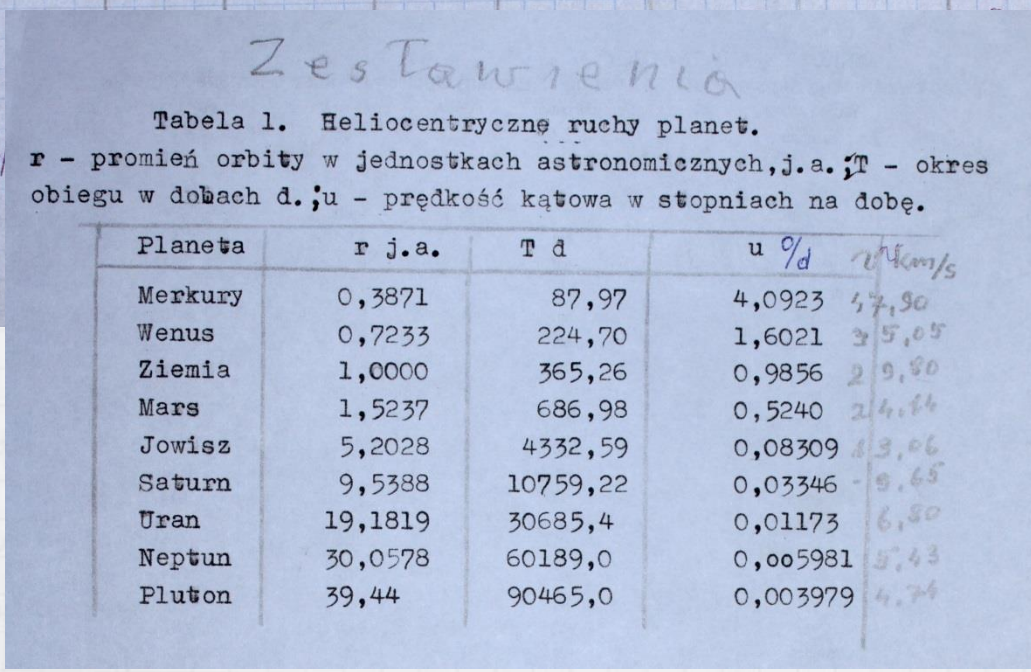
Wprowadzone równania stanowią komplet wzorów do obliczenia λ_Z , λ_J , λ_{app} i ZJ dla dowolnego momentu czasu.

Jowisz



Kontrola pętli Jowisza

Et Pkt	t	$\lambda_J = u_J t$	$u_Z t$	$\sin u_J t$	$y_J = r_J \sin u_J t$	$y_Z = \sin u_Z t$	Δy	$x_J = r_J \cos u_J t$	$x_Z = \cos u_Z t$	ΔX $x_J - x_Z$	λ_{JZ}	ZJ
I pozł 1	−119,0	−9°9	−117°3	−0 1719	−0 8944	−0,889	0,00	5,13	−0,46	5,59	0,0	5,58
st 2	−60,3	−5,0	−59,4	−0 0872	−0,4537	−0,861	+0,407	5,18	0,51	4,67	+5,0	4,70
op. 3	0,0	0,0	0.0	0,0000	0.0	0,000	0,00	5,20	1,00	4,20	0,0	4,20
st 4	+60,3	+5,0	+59,4	+0,0872	+0,4537	+0,861	−0,407	5,18	0,51	4,67	−5,0	4,70
Kon 5	+119,0	+9,9	+117,3	+0,1719	+0,8944	+0,889	0,00	5,13	−0,46	5,59	0,0	5,58
					$\lambda_J = u_J t$	$y_J = r_J \sin u_J t$						
Kon. 6	199,5	16,6	196,6		16,6	1,49	+1,77	5,94		5,94	16,6	6,20
										4,68	33,12	5,584
										3,72	38,12	4,70
										3,53	33,12	4,20



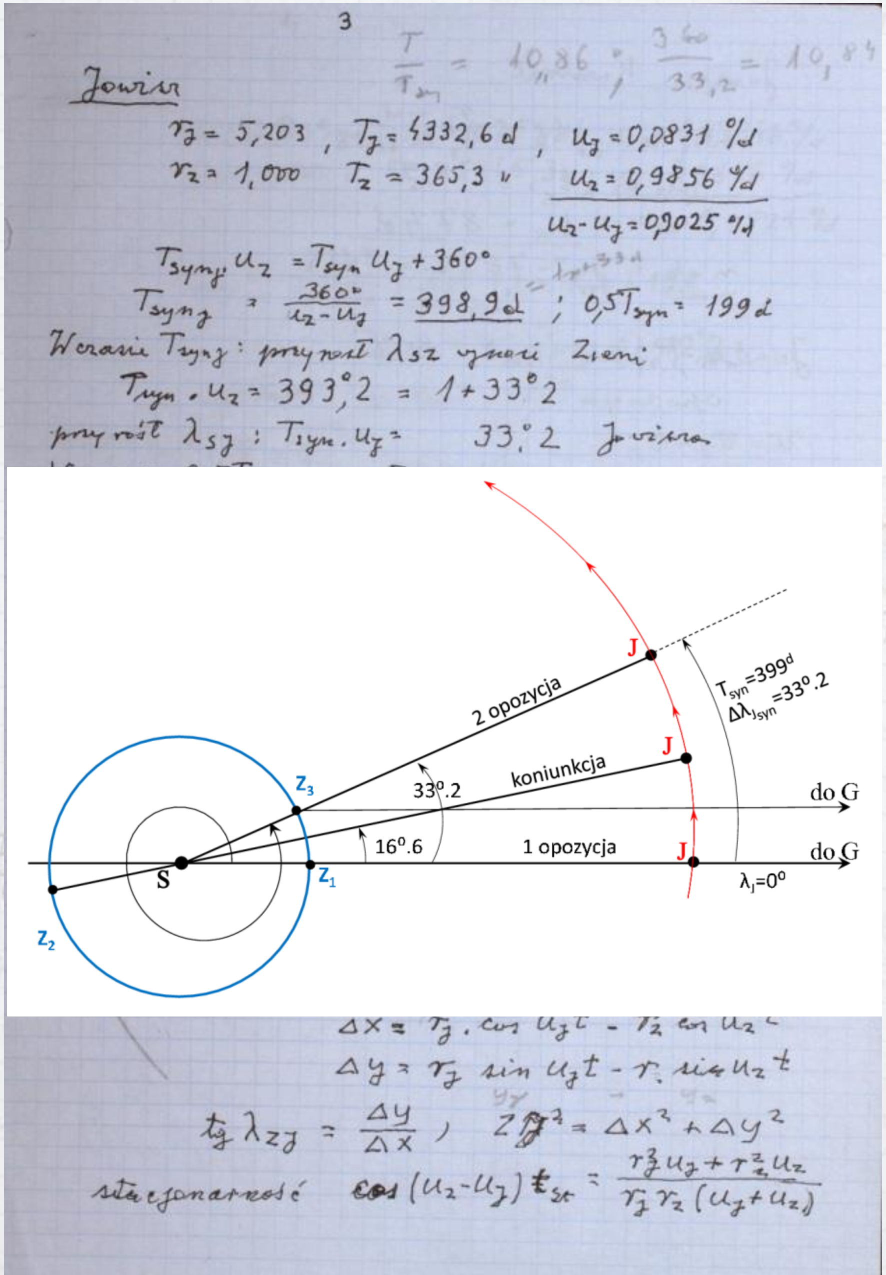
Zestawienia

Tabela 1. Heliocentryczne ruchy planet.
r – promień orbity w jednostkach astronomicznych, j.a.; T – okres obiegu w dobach d.; u – prędkość kątowa w stopniach na dobę.

Planeta	r j.a.	T d	u °/d	u km/s
Merkury	0,3871	87,97	4,0923	47,90
Wenus	0,7233	224,70	1,6021	35,05
Ziemia	1,0000	365,26	0,9856	29,80
Mars	1,5237	686,98	0,5240	24,14
Jowisz	5,2028	4332,59	0,08309	13,06
Saturn	9,5388	10759,22	0,03346	9,65
Uran	19,1819	30685,4	0,01173	6,80
Neptun	30,0578	60189,0	0,005981	5,43
Pluton	39,44	90465,0	0,003979	4,74

Używając prostego zestawu wzorów możemy przeanalizować ruch planety w układzie współrzędnych ziemskim.

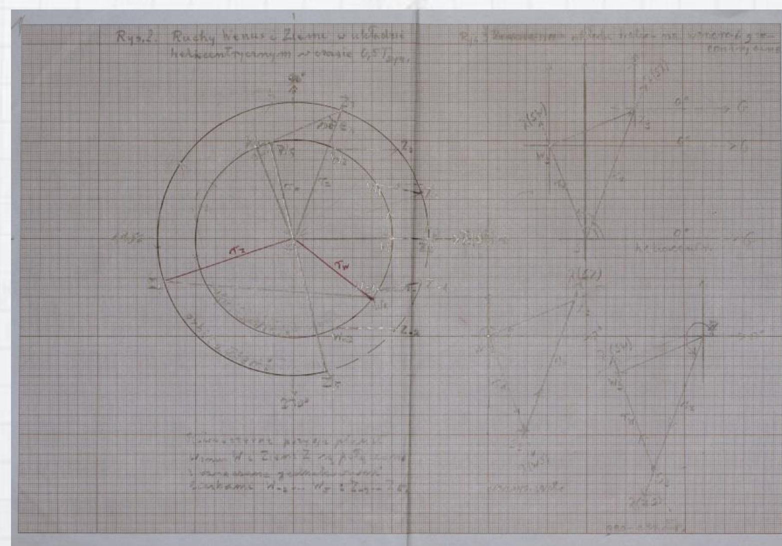
Jowisz



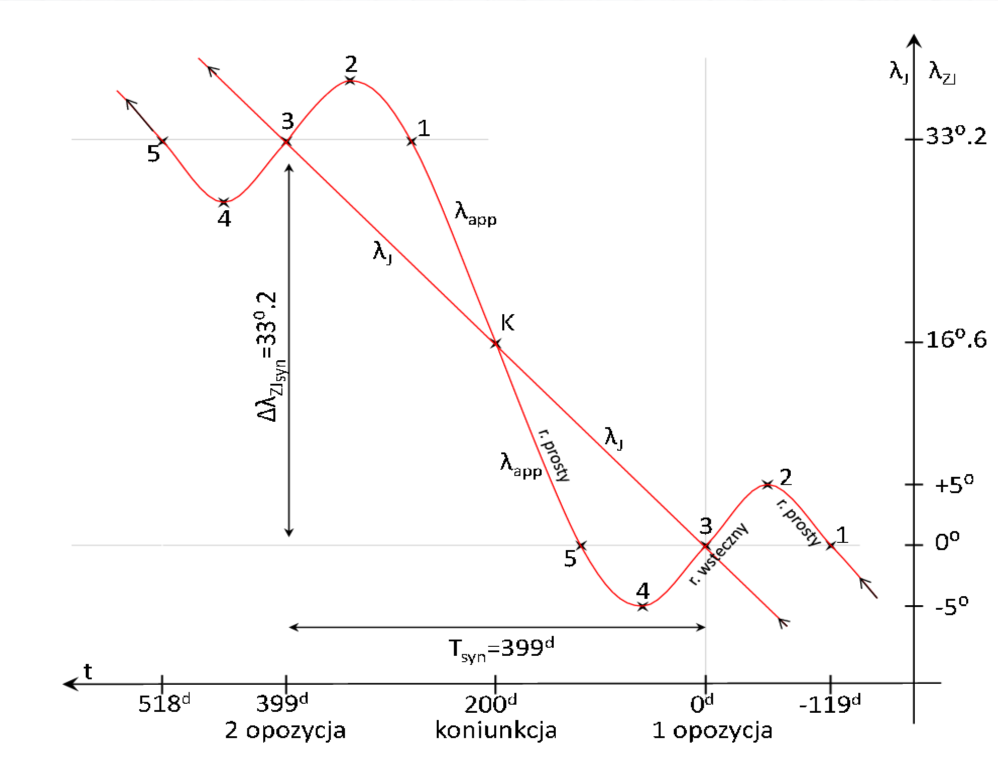
Konfiguracje Słońca, Ziemi i Jowisza pojawiają się w ustalonym porządku i powtarzają z okresem (synodycznym).

Po czasie równym okresowi synodycznemu T_{syn} następuje druga opozycja, ale tym razem Ziemia jest w punkcie Z_3.

W połowie okresu synodycznego, gdy Ziemia wyprzedza Jowisza o 180°, powstaje druga konfiguracja liniowa, zwana koniunkcją albo złączeniem. Ziemia znajduje się na jednej linii z Jowiszem i Słońcem, ale na pozycji Z_2.



Jowisz



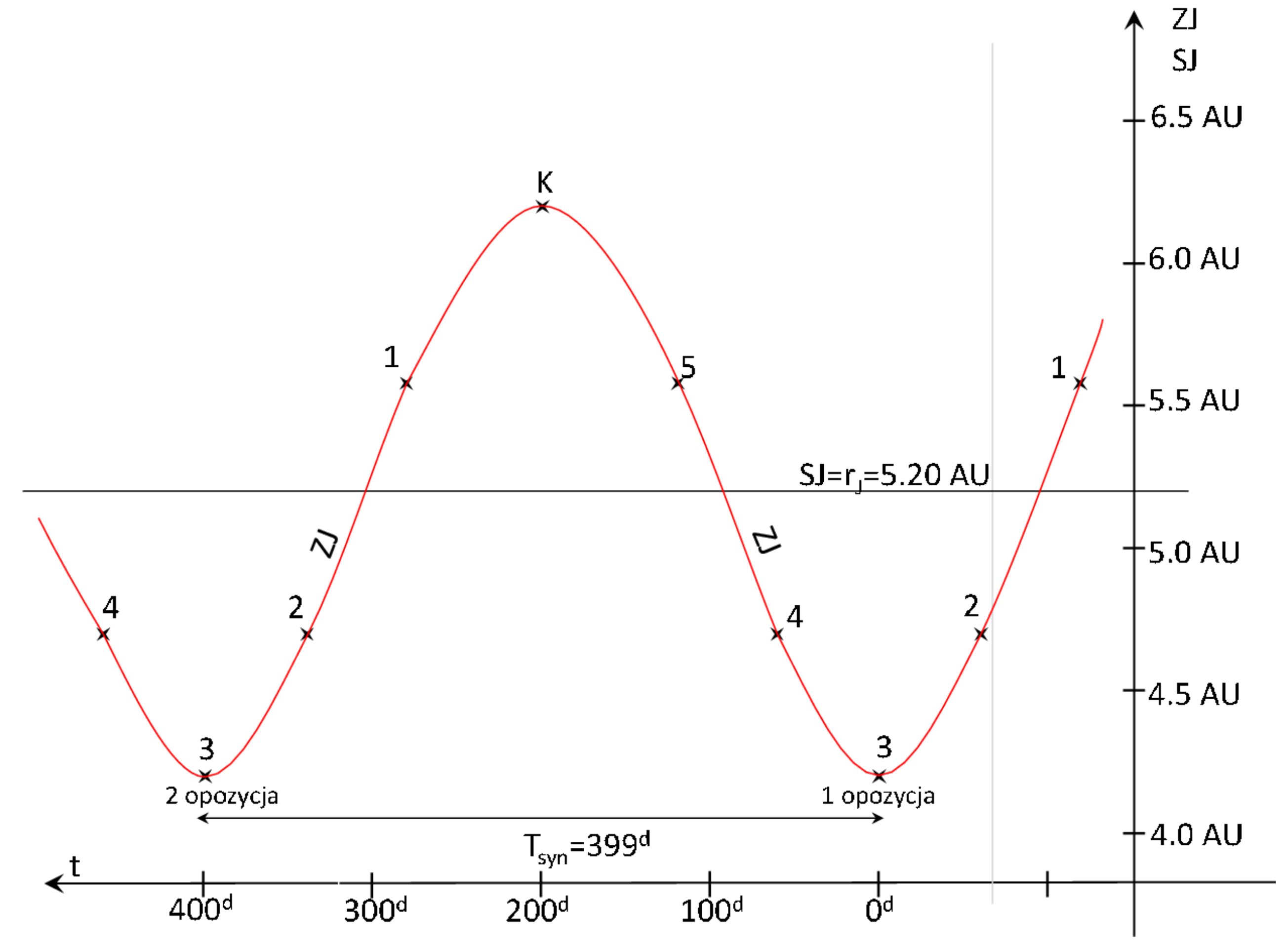
Długości ekliptyczne Jowisza λ_{app} w zależności od czasu.

Widoczne są epizody ruchu wstecznego.

Okres synodyczny kończy druga opozycja o współrzędnych $t = T_{syn} = 399^d$, $\lambda_{app}=33{,}2°$ z zespołem punktów charakterystycznych, analogicznym do tych przy pierwszej opozycji.

Przebieg heliocentrycznej długości ekliptycznej Jowisza λ_J - linia prosta o nachyleniu odpowiadającym stałej wielkości prędkości kątowej $u_J=0{,}083°/d$.

Jowisz

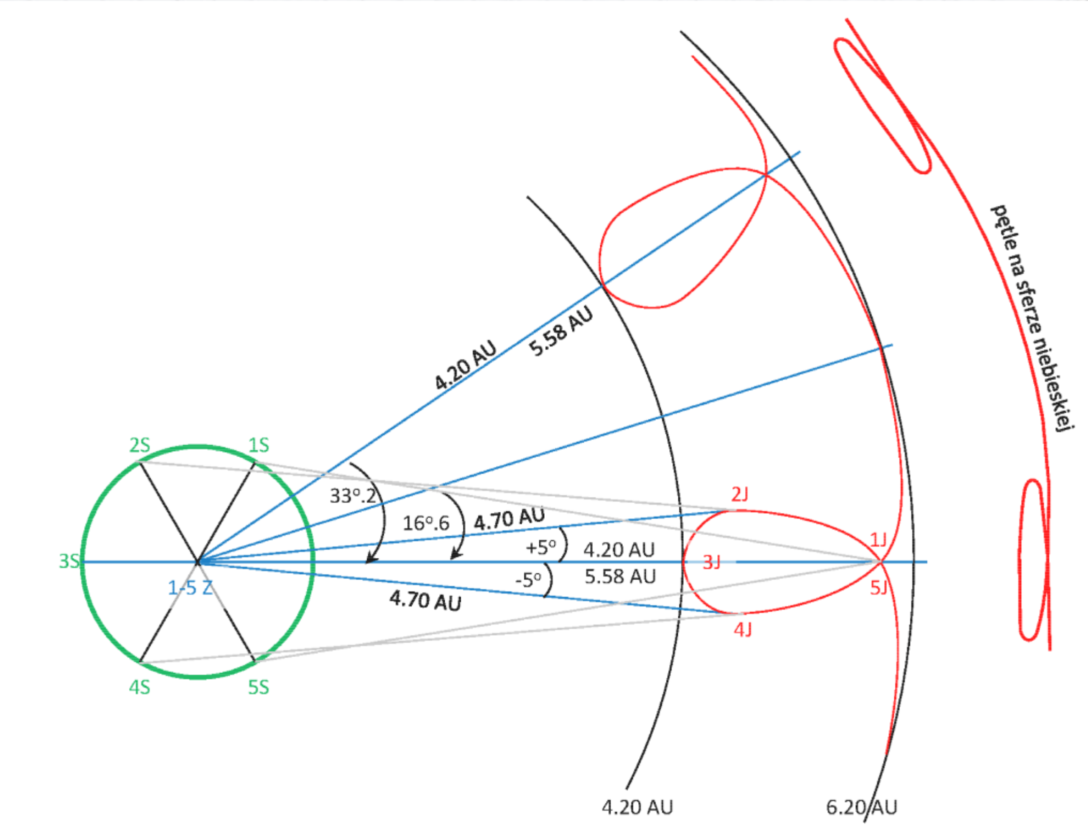


Przebieg czasowy odległości Jowisza od Ziemi, ZJ.

Widoczne są dwa minima w czasie dwóch sąsiednich opozycji, oraz środkowe maksimum w czasie koniunkcji.

Zaznaczono też położenie ustalonych poprzednio punktów 1 – 5, oraz średnią odległość Jowisza od Słońca.

Jowisz



Przy założeniu nieruchomości Ziemi ruch Jowisza komplikuje się.

Przyjmujemy stałą pozycję Ziemi i łączymy z Jowiszem zgodnie z obliczonymi współrzędnymi: długościami λ_{app} i odległościami ZJ.

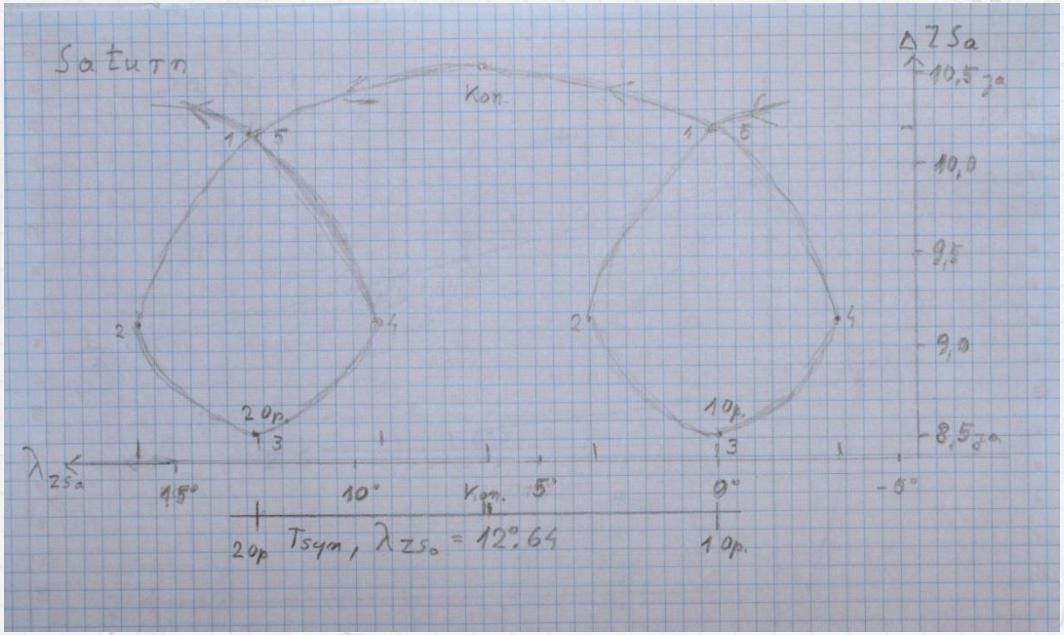
Tak wyznaczone pozycje Jowisza J_1 - J_5, połączone, kolejno utworzą pozorną pętlę o długości $J_1 – J_3$ wynoszącej 1,38 j.a. i szerokości $J_2 – J_4$ równej 0,82 j.a..

Odległość Jowisza od Ziemi zmienia się od 4,20 j.a. w opozycji do 6,20 j.a. w koniunkcji.

Przyrost długości w czasie między kolejnymi opozycjami wynosi $\Delta\lambda_{app}$=33°12'.

Mało zmiennym elementem pętli jest długość łuku ruchu wstecznego. Dla Jowisza: 10°.

Jowisz



Stosunek okresów T_J / T_{syn} równa się stosunkowi przyrostów odpowiednich długości:

$$\frac{T_J}{T_{syn}} = \frac{\Delta\lambda_{SJ}}{\Delta\lambda_{app}} = \frac{360°}{33°12'} = 10{,}9$$

Z tego wynika, że gdy w ruchu heliocentrycznym Jowisz wykonuje spokojnie cały obieg dookoła Słońca, w układzie ziemskim wykonałby prawie 11 skomplikowanych cykli ruchów w okresach synodycznych. Może to miał na myśli Kopernik, gdy przedstawił prostotę i harmonię ruchów planet w układzie heliocentrycznym w porównaniu z ich ruchami wokół nieruchomej Ziemi?

W granicy - paralaksa

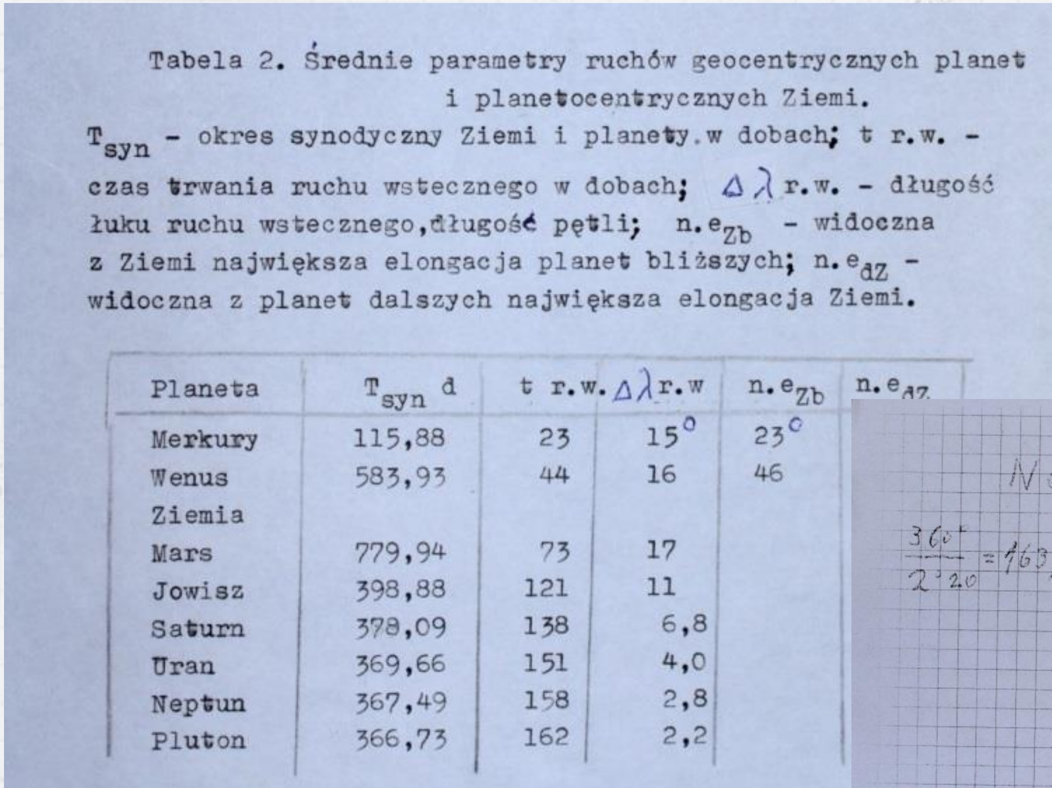


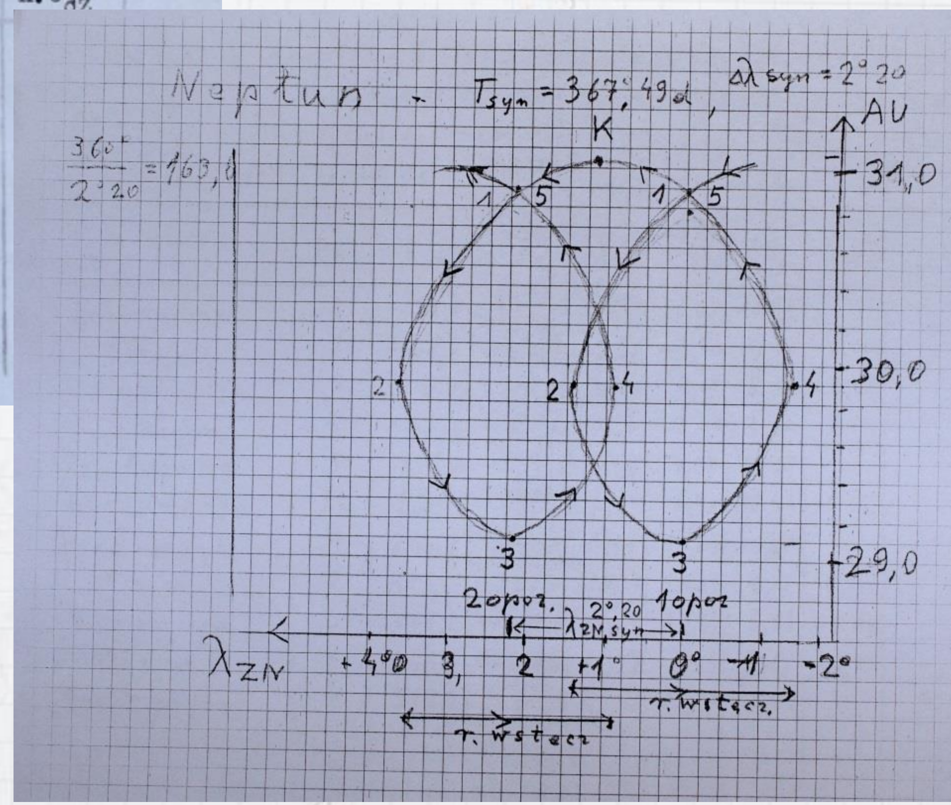
Tabela 2. Średnie parametry ruchów geocentrycznych planet i planetocentrycznych Ziemi.

T_{syn} - okres synodyczny Ziemi i planety w dobach; t r.w. - czas trwania ruchu wstecznego w dobach; $\Delta\lambda$ r.w. - długość łuku ruchu wstecznego, długość pętli; $n.e_{Zb}$ - widoczna z Ziemi największa elongacja planet bliższych; $n.e_{dZ}$ - widoczna z planet dalszych największa elongacja Ziemi.

Planeta	T_{syn} d	t r.w.	$\Delta\lambda$ r.w	$n.e_{Zb}$	$n.e_{dZ}$
Merkury	115,88	23	15°	23°	
Wenus	583,93	44	16	46	
Ziemia					
Mars	779,94	73	17		
Jowisz	398,88	121	11		
Saturn	378,09	138	6,8		
Uran	369,66	151	4,0		
Neptun	367,49	158	2,8		
Pluton	366,73	162	2,2		

Inne miejsca w Układzie Słonecznym

Inne układy planetarne



W granicy: 1 rok ½ roku paralaksa roczna

Zakończenie?