

Tad. BANACHIEWICZ.

## Zakrycie przez Jowisza gwiazdy w Wodniku

(Bonner Durchmusterung — 6<sup>o</sup>N 6191, wielkość 6.5)

w dniu 19 września 1903 r.

### I DOMNIEMANA ZMIENNOŚĆ GWIAZDY.

---

W wędrówkach swych po sklepieniu niebieskiem planety od czasu do czasu napotyka ją po drodze gwiazdy i zakrywają je. Dla większych gwiazd, które w pobliżu planety nie toną w jej blasku, zjawiska takie, z powodu powolnych ruchów a małych tarcz planet, zachodzą dosyć rzadko; wynika to zarówno z obserwacji, jak i z przybliżonych wzorów H. Seeliger a („Astronomische Nachrichten“, rok 1880, № 2388 i 2398).

Dość złożone wzory swoje zastosował Seeliger do Wener i Saturna; dla tego ostatniego okazało się, że zakrywa on gwiazdę dla danego na kuli ziemskiej punktu przeciętnie raz na  $\frac{2782}{A}$  dni, gdzie  $100000 \times A$  oznacza całkowitą liczbę gwiazd rozpatrywanej wielkości na niebie.

Liczba gwiazd, widzialnych<sup>1)</sup> okiem nieuzbrojonym na obu półkulkach nieba, wynosi 4303 (według Schiaparelliego), zatem zakrycie takiej gwiazdy przez Saturna zdarza się raz na  $\frac{2782}{0.04303}$  dni = 177 lat. Zważywszy, że płat nieba, pokrywanego w ciągu roku

---

<sup>1)</sup> bez trudności.

przez Jowisza, jest  $4\frac{1}{2}$  razy większy niż takiż płat dla Saturna, otrzymalibyśmy, że Jowisz zakrywa w danej miejscowości jasną gwiazdę raz na  $\frac{177}{4\frac{1}{2}} = 39$  lat. Seeliger nie uwzględnia wszakże tej okoliczności, że zakrycia, przytrafiające się w dzień, nie mogą być dostrzegane; wskutek tego nawet dla górnych planet — nie mówiąc już o dolnych — okres, w przeciągu którego można oczekiwać jednego zakrycia, jest przeszło dwa razy dłuższy: prawdopodobieństwo, że zakrycie pwiądzy przez górną planetę zdarzy się w dzień, jest większe od prawdopodobieństwa, że zajdzie ono w nocy, gdyż w bliskości (pozornej) słońca planety poruszają się najprędzej. Prócz tego okres Seeligera przedłuża się w zależności od stosunku, zachodzącego w danej miejscowości pomiędzy liczbą nocy pochmurnych i pogodnych.

Chcąc otrzymać minimum okresu czasu, w którym rzeczywiście można w Warszawie dostrzegać jedno zakrycie jaśniejszej gwiazdy przez Jowisza, uciekliśmy się do następującego rachunku.

W ciągu roku Księżyc 13.37 razy obiega niebo; średnia średnica jego jest 1866". Jowisz zaś przebiega w ciągu roku  $48^{\circ} 7'$ , t. j. 0.135 okręgu koła (ruchem prostym  $39^{\circ} 5'$  i wstecznym  $9^{\circ} 2'$ ). Średnicę biegunową Jowisza przyjmiemy równą  $35'' 5$ .

Z przytoczonych liczb wynika, że na jedno zakrycie gwiazdy przez Jowisza przypada  $\frac{13.37}{0.135} \times \frac{1816}{35.5} =$  około 5200 zakryć gwiazd przez Księżyc, taki jest przynajmniej stosunek pól części nieba, pokrywanych przez dwa te ciała. Rachunek wykonany jest zresztą tylko grubo przybliżony; nie wzięto w nim pod uwagę, pomiędzy innymi, zależnego od szerokości geograficznej wpływu paralaksy Księżyca na długość łuku, zakreślanego przez towarzysza Ziemi na niebie, a również drugiego, kompensującego do pewnego stopnia powyższy, wspomnianego już wpływu niejednakowej szybkości Jowisza przy różnych elongacyach od słońca.

Na podstawie kilkoletnich własnych obserwacyj zakryć gwiazd przez Księżyc uważać musimy za zgoła nieprawdopodobne, ażeby przeciętnie w ciągu roku można było w Warszawie dostrzegać 36 zakryć gwiazd do wielkości 7.0 włącznie: wyjątkowe są miesiące, w których uda się zaobserwować 3 zakrycia, a nieraz, wskutek pochmur-

nego nieba, przejdzie kilka miesięcy bez żadnej obserwacji <sup>1)</sup>. Jeżeli pomimo to przyjmujemy, że 36 jest normalna dla Warszawy liczba zakryć przez Księżyc gwiazd do siódmej wielkości, to otrzymujemy, że jedno zakrycie takiej gwiazdy przez Jowisza może być w Warszawie zaobserwowane raz na  $\frac{5200}{36} = 144$  lata (prawdopodobnie wiele rzadziej).

W pozornej sprzeczności z tym rezultatem wydaje się być fakt, że w ubiegłym trzydziestoleciu obserwowano trzy zakrycia jaśniejszych gwiazd przez Jowisza <sup>2)</sup>; tłumaczy on się tem, że zakrycia gwiazd przez planety, podobnie jak zaćmienia słońca (choć z innych przyczyn), zdarzają się wiele razy częściej na całej kuli ziemskiej, niż w pewnym, z góry oznaczonym, jej punkcie.

Dopiero *W i n n e c k e*, po przypadkowo przez siebie dostrzeżeniem w roku 1881 zakryciu gwiazdy przez Wenerę, zwrócił uwagę astronomów na pożytek, jaki mogą przynieść tego rodzaju obserwacje. Jeżeli zakrycie jest dostrzegane w dwóch miejscowościach, a różnica momentów bezwzględnych, w których następowały zjawiska, jest dostatecznie wielka w porównaniu z błędami obserwacji, to rachunek da odległość planety od ziemi, a więc również paralaksę Słońca (odległość planety od Ziemi w jednostkach odległości Ziemi od Słońca jest znana), i to w sposób, w którym niema obawy o błędy systematyczne. W obserwowanym przypadku zakrycia gwiazdy przez Jowisza w d. 19 września 1903 r. paralaksa jego u poziomu wynosiła  $2''.2$ , a ponieważ na sekundę przenosił się Jowisz o  $0''.00544$ , więc w dwóch odpowiednio dobranych stacyach momenty zaćmienia różniły się o czas, przez który Jowisz przechodzi  $2''.2 \times 2 = 4''.4$ , t. j. o  $\frac{4''.4}{0''.00544} = 810$  sekund (przy dokładniejszym rachunku różnica

<sup>1)</sup> Zastępowany dyrektor obserwatorium w Krakowie, *W e i s s e*, który z zamiłowaniem dostrzegał zakrycia (A. N. 273), mógł tam w roku 1833 zaobserwować, z powodu niepogody, jedno tylko (A. N. 261).

<sup>2)</sup> a mianowicie: 14 września 1879 zakrycie 64 Wodnika, 7 listopada 1882 zakrycie 4 Bliźniąt (A. N. 2741), i 9—10 czerw. 1888 zakrycie 47 Wag (A. N. 2856, 2868).

810' uległaby nieznacznemu zmniejszeniu, gdyż należałoby wybrać miejscowości, w których zjawisko zachodzi w nocy; jeżeliby za to nie krępować się warunkiem, iżby na obydwóch stacyach zjawiska były dostrzegane w tych samych punktach obwodu planety, koniecznym dla wyliczeń przy obserwacjach tylko wejścia, lub tylko wyjścia, gdy kształtu i wymiarów planety nie chcemy uważać za wiadome, to łatwo by ją było kilkakrotnie powiększyć). Gdyby zakrycie dało się obserwować z dokładnością do 1', to paralaksa Słoń a otrzymana by została z błędem, nie przewyższającym  $\frac{2 \times 1'}{810'} = \frac{1}{405}$  jej wartości, co, nawet dzisiaj, byłoby, bądź co bądź, nie zbytecznym sprawdzeniem tej podstawowej dla nas stałej układu słonecznego. Tu dodać trzeba, że zakrycia gwiazd przez Jowisza wogóle mniej się kwalifikują do wyznaczenia jej, niż zakrycia gwiazd przez Wenerę (o których jedynie myślał W i n n e c k e) i, zwłaszcza, przez Marsa, głównie dlatego, że dostrzeżenia przy samym brzegu olśniewającej swym blaskiem a nie przedstawiającej wyczuwalnej fazy tarczy Jowisza są trudne.

Momenty wejścia i wyjścia gwiazdy z za planety pozwalają wyliczyć długość cięciwy, łączącej punkt pierwszego i punkt ostatniego zetknięcia się gwiazdy z planetą, o ile zaś wyznaczona jest, np. przy pomocy obserwacji mikrometrycznych, odległość tej cięciwy od środka planety, to rachunek daje jej promień. Ten użytek zakryć jest szczególnie ważny, gdyż średnice planet znane są bardzo niedokładnie, a pomnażanie szeregów pomiarów mikrometrycznych tarcz planet jest bezcelowe z powodu niemożliwości wyrugowania z nich grubych błędów systematycznych, czego najlepszym dowodem są zestawienia pomiarów.

Wziąwszy średnicę i kształt planety za dane, można z momentów wejścia i wyjścia wyznaczyć spólrzędne planety względem gwiazdy w epoce blizkiej do chwili połączenia. Sam proces znikania i zjawiania się gwiazdy przy zakryciu rzuca światło na uwarstwienie i gęstość atmosfery planety.

Wobec tak wielorakich i cennnych, przynajmniej a priori, zastosowań ciekawych tych zjawisk, B e r b e r i c h począł w roku 1888 ogłaszać w „Astr. Nachr.“ przepowiednie blizkich połączeń (nie zakryć, jak je tytułował) Wenerę, Marsa, Jowisza i Saturna z gwiazdami Bonner Durchmusterung; przy niektórych połączeniach następowało za-

ćmienie gwiazdy, w przeważającej jednak większości przypadków planeta przesuwiała się w bliskości gwiazdy, nie sprawiając zakrycia, a następując tylko dogodną okazyę do wyznaczenia jej położenia przy pomocy mikrometru czy kamery fotograficznej. Po roku 1894 Berberich zaniechał swych wyliczeń może dlatego, że w ciągu sześćdziesięciu lat 1889—1894 nie zaobserwowano ani jednego zakrycia (o ile nam wiadomo). Pytanie o pożytku dostrzeżeń zakryć pozostawało prawie nietknięte z powodu niewystarczającego materiału obserwacyjnego.

Zakrycie gwiazdy B. D. —  $6^{\circ}.6191$  przez Jowisza w dniu 19 września 1903 r. (w Warszawie od godz. 7 min. 44 do godz. 9 min. 26 wieczorem) jest pierwszym, o ile nam wiadomo, zakryciem gwiazdy przez planetę, którego całkowity przebieg był dostrzegany w więcej niż jednym obserwatorium. Dotychczas ogłoszono spostrzeżenia z następujących miejscowości (A. N. 3903—3916): Bonn (obserwator F. Küstner), Kiel (H. Kobold), Königstuhl (M. Wolf), Królewiec (H. Struve, F. Cohn, O. Braun), Monachium (H. Seeliger), Pułkowo (Renz, Kostinskij), Strassburg (C. W. Wirtz), Warszawa (T. Banachiewicz), Upsala (M. C. Dunér).

Obserwatoria w Niemczech otrzymały telegram z przepowiednią zjawiska dopiero w godzinach popołudniowych dnia 19-go września; do obserwatorium w Greenwich doszedł on 20 września, a więc już po zjawisku. To samo odnosi się prawdopodobnie i do obserwatoryów w Państwie rosyjskiem, w którym jedno tylko Pułkowo odbiera telegramy wprost z Centralnej stacyi astronomicznej w Kiel, innym zaś treść telegramów astronomicznych komunikuje Pułkowo. Telegram z przepowiednią przeleżał przypuszczalnie kilka godzin na Stacyi centralnej, gdyż nadany został w Warszawie dnia 19 września (18-go według rachuby astronomicznej) o 4-ej rano.

Można wątpić, czy telegram nie dotarł zapóźno do obserwatorium na przykładu Dobrej Nadziei, a szkoda: obserwacje zjawiska na półkuli południowej, połączone z obserwacjami na północnej, dałyby dokładne równanie warunkowe pomiędzy osią wielką i spłaszczeniem planety.

Najszczegółowiej przebieg zakrycia opisał Hermann Struve, który obserwował je w Królewcu przy pomocy 13-calowego refraktora z powiększeniem 200 razy. Podajemy niektóre jego uwagi.

czas gwiazd. Królew.				
	godz.	min.	sek.	
Wejście.	19	30	46	Gwiazda wydaje się mniejsza.
"	"	31	18	Około tego czasu nastąpiło, jak się zdaje, znaczne zmniejszenie się jasności.
"	"	31	50	Słaba, ale jeszcze dostrzeżona.
"	"	32	3	Gwiazdy nie można dostrzedz.
Wyjście.	21	13	43	( $-5^s-10^s?$ ). Gwiazda?
"	"	13	53	Gwiazdę widać z pewnością; po kilku jeszcze sekundach bardzo wyraźnie.

Struve przyjmuje:

wejście gwiazdy godz. 19 min. 31 sek.  $57 \pm 7^s$  czas gwiazd. Królew.  
 wyjście " " 21 " 13 "  $43 \pm 7^s$  " " "

Gwiazda nie zniknęła ani nie ukazała się nagle w pełnym blasku (jak to bywa przy zakryciach przez Księżyc); przeciwnie — przy wejściu niewątpliwie miało miejsce powolne zmniejszanie się wielkości, a i przy wyjściu potrzeba było 10 sekund, ażeby zostało potwierdzone pierwsze, niepewne jeszcze, spostrzeżenie. Trudno rozstrzygnąć, jaką w tem rolę grała atmosfera planety, a jaką jasność tła nieba w sąsiedztwie z nią. Odniosłem wrażenie, powiada Struve, że podane przezemnie momenty wejścia nie mogłyby być chyba błędne więcej niż o 7—10 sekund.

Ani F. Cohn (sześciocalowy heliometr), ani O. Braun (czterocalowa luneta) nie byli w stanie bliżej określić chwili zniknięcia z powodu małej siły optycznej lunet i niespokojności powietrza. Wyjście gwiazdy zauważył O. Braun w 37 sekund po Struvem. Zauważymy, że obserwacje dokładne do minuty dają w rozpatrywanym przypadku różnicę długości planety i gwiazdy dokładnie do  $0''.3=0^s.02$ , t. j. z mniejszym błędem niż najlepsze obserwacje w południku.

W Warszawie wyjście dostrzegł E. Schönberg przy pomocy pięciocalowej wprawdzie, ale nieco trzęsącej się lunety wileńskiej (dr. Sablera) o 3 minuty zapóźno (Obserw. uniwersyteckie).

W dalszym ciągu swego artykułu Struve wyprowadza wzory, które stosować można w celu wyznaczenia z obserwacji zakrycia poprawek promienia planety i jej spólrzędnych względem gwiazdy, mającej tę wyższość nad innymi, że przy liczeniu według nich otrzymuje się wyraźny obraz zgody spostrzeżeń, poczynionych w różnych obser-

watoryach. Początek spólrzędnych umieszcza *Struve* w gwieździe zakrywanej, za oś *U* bierze prostą, równoległą do osi wielkiej elipsy, którą przedstawia obwód planety, i za oś *V* prostą, równoległą do osi małej, przyczem pierwszą oś kieruje ku wschodowi, drugą ku północy.

Używając tych wzorów, *Struve* przenosi momenty wejścia i wyjścia na Królewiec i otrzymuje tabelkę następującą (momenty są zredukowane na aberrację planetarną).

Miejscowość.	Średnica soczewki w calach.	Dostrzeżony moment. 1903. Wrzesień 19.		
		godz.	min.	czas śr. Berl.
Wejście. Królewiec	13	6	40.63	czas śr. Berl.
Pułkowo	10	6	40.57	” ” ”
”	15	6	40.55	” ” ”
Upsala	14	6	40.43	” ” ”
Wyjście. Królewiec	13	8	22.11	” ” ”
Pułkowo	10	8	22.00	” ” ”
Warsz., Obs. Jędrz. 6		8	22.71	” ” ”
Bonn	15	8	23.29	” ” ”

Obserwacje, w których czas, jak to zaznaczyli sami obserwatorowie, był niedokładnie dostrzeżony, zostały w tem zestawieniu pominięte.

Późne dostrzeżenie wyjścia w Bonn tłumaczy się tem, że nie obserwowano tam wejścia, skutkiem czego ani czas, ani miejsce ukazania się gwiazdy nie były dobrze wiadome.

Oznaczywszy przez  $u_0$  i  $v_0$  „rzeczywiste“ geoc. spólrzędne planety o godzinie 7 min. 30 czasu śr. Berl. i przez  $da$  poprawkę wartości osi wielkiej tarczy planety, przyjętej w efemerydach *Crommelina* (*Ephemeris for physical observations of Jupiter—Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*), otrzymuje *Struve* z powyższych obserwacyj (po odrzuceniu obserwacji w Bonn i uwzględnieniu warszawskiej z wagą, równą połowie wagi innych):

$$\begin{aligned} u_0 &= + 1''.293 + 0.059 da \\ v_0 &= + 19''.576 + 1.253 da. \end{aligned} \quad (1)$$

## Z oddzielnie wziętych obserwacji wypadła:

w Pułkowie	$u_0 + 1''.267,$
	$v_0 + 19''.604,$
i w Królewcu	$u_0 + 1''.295,$
	$v_0 + 19''.598.$

Metoda zakryć daje więc bez wątpienia bardzo dokładne rezultaty; różnica pomiędzy  $u_0$  wyliczonym z obserwacji w Królewcu, a  $u_0$  wypływającym z obserwacji w Pułkowie jest  $0''.028$ , którą to wielkość kilkakrotnie przewyższają błędy pierwszorzędných wyznaczeń miejsc planet wielkich w odniesieniu do gwiazd. Różnica pomiędzy  $v_0$  Królewieckim i Pułkowskim wynosi ledwie  $0''.006$ ! Wprawdzie  $v_0$ , wypośredkowane ze wszystkich obserwacji różni się od Pułkowskiego o  $0''.028$ , pochodzi to jednak głównie z uwzględnienia warszawskiej obserwacji wyjścia, późniejszej o 43 sekundy od Pułkowskiej. Wydawałoby nam się, że obserwację warszawską należy przy tym rachunku odrzucić, a przynajmniej nie łączyć z przeczącymi jej obserwacjami w Pułkowie i Królewcu; nie może być przecież wątpliwości, że w Warszawie, z powodu małych wymiarów lunety, „wyjście“ zaobserwowano zapóźno <sup>1)</sup>.

Wartości  $u_0$  i  $v_0$  zależą od niewiadomej poprawki  $da$  (wzór 1); nie zmniejsza to ważności zjawiska dla astronomów przyszłości, którzy będą znali  $da$ . Ażeby wszakże dokładność spólrzędnych  $u_0$  i  $v_0$  nie została stracona, należy obecnie postarać się o precyzyjne wyznaczenie pozycyi gwiazdy zaćmionej.

W celu wyznaczenia poprawki  $da$ , Struve i Postelmann mierzili w Królewcu mikrometrem nitkowym odległości planety od

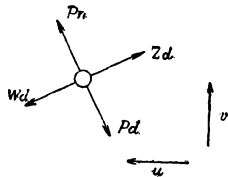
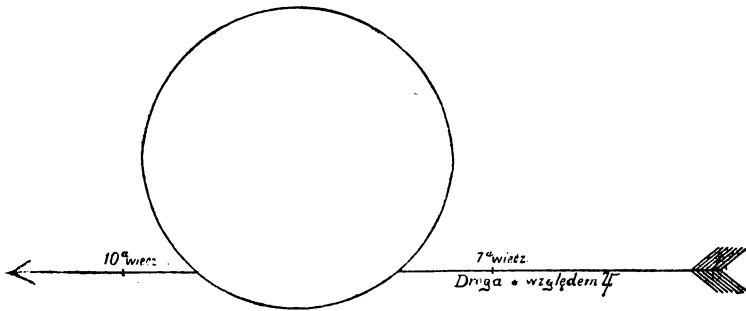
<sup>1)</sup> W Europie znajduje się przeszło 30 refraktorów (wédług spisu w kalendarzu „Knowledge“ na r. 1904), których soczewki mają powierzchnię co najmniej 6 razy większą, niż najsilniejsze lunety w kraju naszym. Wielkość lunety nie jest naturalnie nieodzownym warunkiem użyteczności dokonywanych przy pomocy niej dostrzeżeń, ale dla wielu celów jest bardzo pożądana, jak poucza chociażby przypadek opisywanego zakrycia, przy którym, z powodu zbyt późnego dostrzeżenia wyjścia, nie mogły być dokonane zamierzone a ważne obserwacje zmian blasku gwiazdy.



gwiazdy i jej kąty pozycyjne. Z pomiarów tych wynikają następujące wartości na  $u_0$  i  $v_0$ :

$$\begin{aligned} u_0 &= + 1''.64 & (Struve), & \quad i \quad u_0 = + 1''.12 & (Postelmann). \\ v_0 &= + 19''.08 & & \quad v_0 = + 19''.34 & \end{aligned}$$

Umyślnie przytaczamy rezultaty obydwóch obserwatorów, aby czytelnik mógł porównać dokładność pomiarów mikrometrycznych z dokładnością wyników obserwacji zakrycia. Źródłem znacznych



Przebieg zakrycia w Warszawie.

różnic pomiędzy obserwatorami są błędy najszkodliwsze, bo systematyczne. Z obserwacji tych wypadło ostatecznie:

$$u_0 = + 1''.41 \quad , \quad v_0 = + 19''.20. \quad (2)$$

Równania (2), w połączeniu z (1), dają równania warunkowe:

$$\begin{aligned} 0.06 da &= + 0''.12, \\ 1.25 da &= - 0''.38, \end{aligned} \quad (3)$$

z których

$$da = - 0''.30.$$

Można uważać za rzecz prawie pewną, konkluduje Struve, że przyjęta w „Monthly Notices“ wartość połowy pozornej osi wielkiej Jowisza,  $a_0$ , równa  $19''.21$  (w średniej odległości), którą można uważać jako wartość średnią z nowych pomiarów przy pomocy wielkich refraktorów, wymaga zmniejszenia, zbliżającego ją do wyniku pomiarów mikrometrami dwuobrazowymi (Doppelbildmikrometer; mowa o pomiarach heliometrycznych Bessela, Winneckego, Schura i innych, które dały  $a_0$  w granicach  $18''.60 - 18''.84$ ).

W Strassburgu wyjście, odniesione do Królewca, nastąpiło, według obserwacji Wirtza, o godz. 6 min. 41.49 (refraktor 18-calowy, czas jak wyżej), t. j. o minutę (??) później, niż według zgodnych ze sobą innych obserwacji, poczynionych przy pomocy refraktorów o niejednakowej sile. Ciekawa jest uwaga obserwatora Wirtza, który rozporządził największą lunetą, że „wyjście, jak tego można było oczekiwać, przepadło w blasku planety“.

Czy Wirtz był w stanie w ciągu minuty śledzić gwiazdę, gdy dla innych obserwatorów była ona już niedostrzegalnym, wskutek swej małości, punkcikiem (patrz niżej o wpływie atmosfery na Jowiszu na przebieg zakryć), czy też zaszła po prostu pomyłka o minutę? Kwestya wymaga wyjaśnienia.

W Pułkowie dostrzeżono wejście i wyjście z dokładnością do sekundy, jak oceniają obserwatorowie, prócz tego wykonano sześć zdjęć fotograficznych zjawiska, które posłużą do wyznaczenia spólrzędnej  $u_0$  i  $v_0$ , a więc z równań (1) i poprawki  $da$ . Sądząc z dokładności niedawno ogłoszonych przez Renza pomiarów fotograficznych satelitów Jowisza, należałoby się spodziewać, że  $da$  byłoby wyznaczone z dokładnością do jakichś  $0''.05$ <sup>1)</sup>, gdyby z zakryć można było otrzymać  $a$  wolne od błędów systematycznych. Tak nie jest, gdyż Jowisz niewątpliwie posiada atmosferę, która zmienia trwanie zakrycia.

---

<sup>1)</sup> Prawdopodobny błąd jednego pomiaru różnicy spólrzędnych Jowisza i satelity, wyliczony ze zgody oddzielnych pomiarów zdjęć jedncgo wieczorem wynosił (w Pułkowie) około  $\pm 0''.05$  (F. Renz.—Positionen der Jupiterstrabanten nach photographischen Aufnahmen: II część str. XVII—Mém. de Ac. Imp. d. Sc. de St. Pé.)

Zjawiska zniknięcia i ukazania się gwiazdy przy zakryciu jej przez planetę, otoczoną atmosferą, wcale nie są jednocześnie z wejściem gwiazdy za tarczę i wyjściem z za niej, w geometrycznym rozumieniu tych terminów: załamane w atmosferze planety promienie gwiazdy mogą dochodzić do obserwatora, gdy gwiazda jest za planetą. Jeżeli na planecie zakrywającej refrakcja u poziomu przewyższa połowę promienia pozornego planety, co, wobec drobnych wymiarów tarcz planet, zawsze prawdopodobnie zachodzi dla obserwatora na Ziemi, to, obiektywnie, podczas „zakrycia“ (geometrycznego) gwiazda nie znika, wskutek wspomnianego zbaczania jej promieni. Może jednak podczas „zakrycia“ nastąpić takie zmniejszenie się blasku, że w pewnej chwili, zależnej od instrumentu i obserwatora, przestaje ona być widzialna. Jeżeli gwiazda szybko maleje i szybko wzrasta, czasy „wejścia“ i „wyjścia“, dostrzeżone przez różnych obserwatorów, nieznacznie będą się różniły pomiędzy sobą; w każdym razie, dla wyliczenia momentów istotnego „wejścia“ i „wyjścia“ gwiazdy (które są konieczne dla wyznaczenia poprawki  $a$ ) z zaobserwowanych momentów „wejścia“ i „wyjścia“ — albo, jak właściwiej należałoby mówić: „początku“ i „końca zaćmienia“ — trzeba znać zmiany blasku gwiazdy podczas zakrycia.

Wydawałoby się na pierwszy rzut oka, że zagaśnięcie gwiazdy wywołane bywa pochłanianiem światła przez atmosferę planety. Że tak nie jest, i że, co więcej, absorbująca nie gra najczęściej żadnej roli w zmniejszaniu się jasności gwiazdy, wyjaśnił to Antoni Pannekoeck z Lejdy w interesującym artykule, poświęconym rozstrząsaniu zmian blasku gwiazd podczas zakryć ich przez planety, otoczone atmosferą (Astr. Nachr. № 3913; powyżej streszczony artykuł Struvego z № 3915 Astr. Nachr. napisany był wcześniej).

Jak wykazuje Pannekoeck, blask gwiazdy maleje wskutek rozpraszania się promieni po przebyciu atmosfery planety. Dla wyjaśnienia tego weźmy małą wiązkę promieni gwiazdy, padających na atmosferę planety. Każde dwa promienie tej wiązki, leżące w jednej płaszczyźnie, przechodzącej przez gwiazdę  $S$  i środek planety  $P$ , po przejściu przez atmosferę z równoległych stają się rozbieżnymi, gdyż dolny — w odniesieniu do powierzchni planety — załamuje się bardziej niż górny; przeciwnie, dwa promienie, biegnące przez jednakowo wysokie warstwy atmosfery, po przejściu jej schodzą się (z początku),

przecinając się na prostej  $SP$ . Z małej wiązki równoległych przed planetą promieni tworzy się więc z drugiej jej strony taka wiązka, że w pewnych, równoległych do siebie płaszczyznach, promienie rozpraszają się, a w prostopadłych do nich skupiają. Póki obserwator  $O$  nie znajduje się zbyt blisko prostej  $SP$ , rozproszenie przeważa, albo, innymi słowy, przekrój wiązki promieni w punkcie  $O$ , prostopadły do ich kierunku, jest większy od przekroju tejże wiązki przed planetą, blask zaś gwiazdy mniejszy. Im przez głębsze warstwy atmosfery promienie przedostawać się muszą, tem zmniejszenie się to jest większe; w końcu gwiazda może zniknąć. Nastąpi to zwykle, zanim da się uczuć wpływ absorbcyi, który nie powinien być znaczny nawet w środkowej chwili centralnego zakrycia, bo i wtedy promienie, dostające się do obserwatora na Ziemi, przechodzą przez rzadkie warstwy atmosfery, sprawiające załamanie o kilka czy kilkanaście sekund.

Rozumowania swoje opiera P a n n e k o e k na przypuszczeniu, że w górnych warstwach atmosfery planety, od których wyłącznie zależą zmiany blasku, temperatura jest stała  $=\tau$ ;  $\tau$  jest temperatura bezwzględna, wyrażona w jednostkach normalnej temperatury  $283^{\circ}$  w używanych tablicach refrakcyi astronomicznej ( $=+10^{\circ}\text{C}$ ).

Nazywając przez  $a$  promień liniowy planety, wyrażony w promieniach Ziemi, przez  $\delta$  jej promień w sekundach łuku, przez  $\gamma$  przyspieszenie siły ciężkości na planecie w jednostkach przyspieszenia  $g$  ziemskiego i przez  $\eta$  kąt załamania w atmosferze planety promieni, dochodzących do obserwatora, otrzymuje P a n n e k o e k w sposób pomyślowy wzór przybliżony, który wypisujemy z drobną modyfikacją:

$$\text{Blask gwiazdy w jednostkach blasku przed zakryciem} = \frac{1}{1+A\frac{\eta}{\delta}} \cdot \frac{1}{\left|1-\frac{\eta}{\delta}\right|}, \quad (4)$$

gdzie  $A = 800 a \frac{\gamma}{\tau}$ ,  $\left|1-\frac{\eta}{\delta}\right|$  oznacza moduł wielkości  $\left(1-\frac{\eta}{\delta}\right)$ .

Czynnik  $\frac{1}{1+A\frac{\eta}{\delta}}$  wyraża rozproszenie się promieni w płasz-

czyźnie  $SP$ , czynnik zaś  $\frac{1}{\left|1-\frac{\eta}{\delta}\right|}$  skupienie się ich w płaszczyźnie

prostopadłej do poprzedniej.

Dla planet  $A$  nie jest znane, gdyż zależy od niewiadomej temperatury atmosfery  $\tau$ . Ażeby uchwycić ogólny charakter przebiegu zakrycia, zakłada Pannek o  $\tau$  dowolnie  $\tau = \frac{1}{2}$  (t. j. około  $-130^{\circ}\text{C}$ ).

Podajemy tabelkę jego, dającą  $\delta$ ,  $A$  i jasność gwiazdy przy  $\eta = 0''.1$  i  $\eta = 1''.0$ , wyliczoną przy pomocy wzoru (4), kiedy  $\tau = \frac{1}{2}$ .

Planeta.	Przyjęte $\delta$	$A$	Blask * w jednostkach blasku przed zakryciem.		Zmniejszenie się blasku * w klasach.	
			$\eta = 0''.1$	$\eta = 1''.0$	$\eta = 0''.1$	$\eta = 1''.0$
Merkury	4''	260	$\frac{1}{7.3}$	$\frac{1}{50}$	2.1	4.2
Wenus	10''	1280	$\frac{1}{13.7}$	$\frac{1}{116}$	2.8	5.1
Księżyc	1000''	74	—	$\frac{1}{1.073}$	—	0.1
Mars	10''	320	$\frac{1}{4.2}$	$\frac{1}{30}$	1.6	3.7
Jowisz	25''	40000	$\frac{1}{160}$	$\frac{1}{1537}$	5.5	8.0

Zatrzymując się na Jowiszu i na naszym zakryciu, widzimy, iż już gdy  $\eta$  równało się  $0''.1$  (kiedy gwiazda znajdowała się w odległości  $0''.1$  od najniższej warstwy atmosfery Jowisza, o którą ocierał się jej promień, dochodzący do obserwatora), spadały ona do  $6.5 + 5.5 = 12$  wielkości, nie mogłaby przeto być dostrzegana w blasku planety. Chociażby gwiazda zniknęła dopiero wtedy, to i tak promień Jowisza, wyśrodkowany z zakrycia, nie mógłby być za mały, z przyczyny atmosfery jego, nawet o  $0''.1$ . O maximum dodatniego błędu promienia trudno coś powiedzieć.

Z dalszych nieco niejasnych wywodów i nawet rezultatów<sup>1)</sup> Pann

<sup>1)</sup> Aby ułatwić czytelnikowi, któryby chciał studyować artykuł Panneka, zrozumiemy go, objaśniamy, że w dwóch ostatnich tabelkach (których nie podajemy), czas, ich argument, jest uważany tak: 1<sup>s</sup> odpowiada chwili, kiedy załamanie promieni w atmosferze planety wynosi tyle sekund łuku, wiele planeta przechodzi w ciągu sekundy (czasu), 1<sup>s</sup> +  $\alpha^s$  chwili o  $\alpha^s$  późniejszej i t. d.

nekoeka wpływa, że gwiazda przesuwana się ku środkowi planety w rzeczywistości (pozornie tkwiąc przy jej brzegu)

$$o \quad \eta'' - \eta_0'' + \frac{\delta''}{A} \log \text{nat} \frac{\eta''}{\eta_0''},$$

kiedy załamanie promieni wzrasta z  $\eta_0''$  do  $\eta''$ .

Położywszy  $\eta_0'' = 0''.001$ ,  $\eta'' = 0''.010$  i wzięwszy pod uwagę, że przy wejściu gwiazda zbliżała się do brzegu Jowisza z szybkością  $0''.0037$  na sekundę, otrzymamy, że w ciągu

$$\frac{0''.009 + \frac{25''}{40000} \log \text{nat} 10}{0''.0037} = 2.8 \text{ sekund,}$$

kiedy załamanie promieni wzrosło z  $0''.001$  do  $0''.010$ , blask gwiazdy zmniejszyłby się, według (4), 6.5 razy ( $\tau = 1/2$ ), czyli o 2 wielkości. Taki dość gwałtowny (choć dla innych planet powolniejszy) spadek blasku zawsze zachodzi na początku zakrycia, skoro tylko promienie gwiazdy musną o „gęstsze“ warstwy atmosfery; odpowiada mu równie nagły wzrost blasku w końcu zakrycia.

Czy obserwacje zakrycia z d. 19 września 1903 nie dają wskazówek, kiedy to nastąpiło? Zobaczmy.

Oprócz Struvego nikt nie ogłosił spostrzeżeń blasku gwiazdy w chwilach bardzo bliskich zakrycia. Struvementu zaś wydało się, iż na 39 sekund w przybliżeniu przed dostrzeżeniem przez niego wejściem blask znacznie zmalał; w Warszawie dostrzeżono przy pomocy małych lunet (w obserwatorium im. Jędrzejewicza dwaj obserwatorowie!) w wyjściu gwiazdy o 36 sekund (po zredukowaniu) później, niż w Królewcu Struve, w tymże Królewcu Braun dostrzega gwiazdę o 37 sekund, a w Kiel<sup>1)</sup> H. Kobold o 41 sekund później niż Struve.

<sup>1)</sup> Przy rachunku przeoczył pierwotnie Struve obserwację wyjścia gwiazdy, dokonaną w Kiel; moment wyjścia, zredukowany jak wyżej, jest godz. 8 min. 22.80 (refraktor 8-calowy). Struve robi uwagę, że późne dostrzeżenie gwiazdy w Kiel objaśnia się prawdopodobnie tem, że w Kiel, podobnie jak w Bonn, nie obserwowano wejścia. Tymczasem w Kiel nie zauważono tylko do końca dni czasu wyjścia, lecz obserwowano je, jak świadczą słowa Kobolda: „Der Eintritt ist nicht gesehen. Die Ursache lag wohl in der Unruhe der Bilder bei der sehr geringen Höhe Jupiters“ (A. N. 3903).

Jeżeli za miarodajne przyjmiemy lepsze może obserwacje w Pułkowie, to otrzymujemy: przy wejściu spadek blasku na 35 sekund przed początkiem zaćmienia, przy wyjściu gwiazda dostrzeżona w 43, 44, 48 sekund po końcu. Tu zauważyć trzeba, iż na 35 (35.4) sekund przed początkiem zaćmienia gwiazda była w takiej odległości od brzegu Jowisza, jak w 36 sekund po końcu (stosunek szybkości przybliżania się do oddalania był 1.01). Koincydencja dostrzeżonego przez Struvego momentu spadku blasku i czasów pojawienia się gwiazdy, według różnych obserwatorów, — gwiazdy łatwo było nie spostrzedz w ciągu kilku sekund po ukazaniu się subiektywnem, — nasuwa myśl, która wydawała się godna zaznaczenia, że nastąpiła wtedy istotnie większa zmiana blasku wskutek pierwszego, względnie ostatniego zetknięcia się promieni gwiazdy z atmosferą Jowisza.

Blask gwiazdy jest najmniejszy, kiedy  $\eta = \frac{1}{2} \delta$  (w przybliżeniu), t. j. gdy gwiazda znajduje się na połowie drogi pomiędzy środkiem planety a jej obwodem, i równa się, w jednostkach jak wyżej,  $\frac{4}{A}$ ; w przypadku zakrycia przez Merkurego byłby więc  $\frac{1}{65}$ , przez Marsa  $\frac{1}{80}$ , co odpowiada zmniejszeniu się wielkości o 4.5, względnie 4.8 klas. Wynikałoby stąd, że jasna gwiazda, zakrywana przez Merkurego albo Marsa, nie znikałaby całkowicie, lecz przesunąłaby się pozornie wzdłuż brzegu planety od punktu pierwszego do punktu ostatniego zetknięcia się z nią. Gdy  $\eta = \delta$  blask gwiazdy, według (4) jest nieskończenie wielki (?) <sup>1)</sup>.

Zmiany blasku gwiazdy podczas zakrycia, ujęte w liczby przy pomocy pomiarów, dostarczyłyby materiału do badania temperatu-

<sup>1)</sup> Dlaczego podczas przejść satelitów za tarczą Jowisza nie widać ich przy brzegu, skoro przez pewien czas znajdują się one wciąż (na sferze) w środku koła krzywizny dla jakiegoś punktu na obwodzie planety ( $\eta = \delta$ )? Wartoby rozciągnąć wzory P a n n e k o e k a na wypadek zmiennego  $\tau$  i powierzchni, świecącej w skończonej odległości i rozpatrywanej przez atmosferę ciała niebieskiego. Potrzebne to jest dla zbadania zjawisk, dostrzeganych podczas przejść planet przed słońcem, zaćmień księżyców i t. p. W szczególności jasność i zabarwienie towarzysza Ziemi podczas zaćmień od dawna napraszają się o rozpatrzenie matematyczne.

ry <sup>1)</sup> najwyższych (tylko!) warstw atmosfery (w wypadku zakrycia 19 września załamujących nie więcej niż o  $0'' . 1$ , jeżeli  $\tau = \frac{1}{2}$ ), i bardziej bezpośrednio do badania zależności refrakcyi poziomowej na planecie w tychże warstwach od wysokości. Najlepiej przysłużyć się mogą tutaj zakrycia, kiedy szybkość planety (pozorna) jest mała; przepowiadanie ich byłoby dlatego, zdaniem P a n n e k o e k a, bardzo ważne. Zakrycia większych gwiazd są rzadkie; przy dzisiejszych wielkich refraktorach możnaby jednak śledzić przynajmniej te zjawiska podczas zakryć drobnych gwiazdek, które zachodzą przy nieoświetlonym brzegu planety. Dla średnich refraktorów 10–15 calowych przy zjawisku na jasnym brzegu gwiazda 7-ej, wreszcie może 8-ej wielkości, jest graniczna.

O samej zaś gęstości, albo raczej wysokości atmosfer, mogłyby zakrycia powiedzieć coś jedynie przy dokładnej znajomości wymiarów planet <sup>2)</sup>, na co zapewne długo czekać przyjdzie <sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> W ostatniej chwili przed oddaniem artykułu do druku spostrzegłem że wyprowadzenie wzorów Pannekoeka wymaga nieujawnionego warunku, ażeby gęstość gazu, z którego składa się atmosfera planety, równała się przy danem ciśnieniu i temperaturze gęstości powietrza. Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, wzory pozostają w swej mocy, tylko wielkość  $A$  otrzymuje inne znaczenie, a mianowicie:  $A = 800 . a . \frac{\gamma}{\tau} . d$ , gdzie  $d$  jest stosunek gęstości gazu do gęstości powietrza. Tabelka podana i wnioski są prawdziwe dla  $\frac{\tau}{d} = \frac{1}{2}$ . Odpowiednio do tej poprawki zakrycia mogą służyć (obecnie) nie do badania wielkości  $\tau$  lecz  $\frac{\tau}{d}$ .

<sup>2)</sup> Ale nie w sposób, który zastosował B e s s e l do oznaczenia górnej granicy gęstości atmosfery na Księżycu (Astr. Nachr. rok 1834, N<sup>o</sup> 263; porówn. również bardzo ciekawy z różnych względów odczyt tegoż autora: „Ueber die physische Beschaffenheit der Himmelskörper“ w zbioru „Populäre Vorlesungen“); znana zasada B e s s e l a mieści się w słowach: „... wäre eine Strahlenbrechung am Rande des Mondes vorhanden, so müsste die zweite Bestimmung (z trwania zakrycia) den Halbmesser um das doppelte kleiner ergeben, als die erste (przy pomocy bezpośrednich pomiarów).“ Zasada ta może być stosowana, jeśli a priori wiadomo, że gęstość atmosfery na Księżycu (mutatis mutandis na planecie) jest niewielka, tak iż Pannekoekowskie rozproszenie nie może spowodować zniknięcia gwiazdy. Tego naturalnie o atmosferach planet twierdzić nie można; w przeciwnym zaś razie obecność atmosfery na planecie, czy na Księżycu, mogłaby przedłużyć trwanie zakrycia.

<sup>3)</sup> Na nieporozumieniu polega wniosek co do atmosfery na Marsie, wy-



Wiedząc o ważności obserwacji blasku gwiazdy podczas zakrycia, zamierzaliśmy poczynić je w d. 19 września przy pomocy cztero-  
oalowego heliometru Repsolda, pożyczonego na kilka lat z Pułkowa  
przez Obserwatorium uniwersyteckie w Warszawie. Niestety, już na  
trzy kwadrans przed zakryciem gwiazda mignęła tylko od czasu do  
czasu w polu widzenia heliometru, a naogół była niewidzialna (po-  
łówki przeciętej soczewki heliometrów dają gorsze obrazy, niż równej  
wielkości całkowite soczewki; zresztą gwiazda była nisko). Heliometr  
doskonale daje się użyć do porównań blasku bliskich gwiazd według  
sposobu Argelandra, gdyż można zawsze w jego polu widzenia  
dowolnie blisko i w dowolnym kierunku umieścić porównywane gwiazdy,  
byleby tylko odległość pomiędzy nimi nie przewyższała dwóch stopni,  
w heliometrach Repsolda „nowej“ konstrukcji <sup>1)</sup>.

Gwiazda B.D.—6°. 6191 nosi № 5870 w Katalogu warszawskim <sup>2)</sup>  
Dr. J. Kowalczyka; dostrzegana była w ciągu dwudziestu lat

prowadzony przez A. M. Clerkę z obserwacji zakrycia drobnej gwiazdki przez  
tę planetę w wyśmienitem dziele: „History of astronomy during the XIX century“.  
Autorka (4 wyd. Hist. o. astr. str. 276) powiada: „...the extensive Martian atmo-  
sphere .... vanished before the sharp occultation of a small star in Leo, witnes-  
sed by Sir James South in 1822.“ Wiemy, że gwiazda równie prędko zniknę-  
łaby przy zakryciu, czy refrakcja u poziomym na Marsie byłaby, dajmy na to:  
1°, czy 450 razy mniejsza i równa 8'', gdyż warstwy atmosfery, w których pro-  
mień załamałby się więcej niż o 16'', nie mogą wpłynąć na szybkość znikania  
gwiazdy przy zakryciu jej przez Marsa (średnica pozorna Marsa w maximum jest  
< 32''). Nikt nie badał, czy przy tej ostatniej gęstości atmosfery na Marsie nie  
mogłoby nastąpić „raptowna okultacja“; zresztą A. M. Clerkę daleka jest od  
myśli, żeby przeczyć istnieniu na Marsie atmosfery o 8'' refrakcji u poziomym.

<sup>1)</sup> Dzięki pryzmatowi, który się przytwierdza do okularu heliometru,  
można dowolnie zmieniać pozorny kąt pozycyjny gwiazd, dostrzeganych w polu  
widzenia; daje to łatwy sposób zapobiegnięcia złudzeniu, skutkiem którego, przy  
jednakowym obiektywnie blasku gwiazd, niższa wydaje się znacznie jaśniejsza.  
Z porównań naszych wypada, że przy uwidocznionej na rysunku zmianie o 180°  
kąta pozycyjnego gwiazd 6—7 wielkości, dostrzeganych jednocześnie w malej  
od siebie odległości:

$$\begin{array}{cc} & * a \\ \text{1-e położenie} & * b, \\ & * a \\ & * b \end{array}, \quad \begin{array}{cc} & * b \\ \text{2-e położenie} & * a, \\ & * b \\ & * a \end{array}$$

względny blask gwiazd zmienia się (pozornie) w przybliżeniu o 0.6 mag.; jeżeli  
w pierwszym położeniu  $* a = * b$ , to w drugim  $* a = * b + 0.6$  wielkości.

<sup>2)</sup> W druku na ukończeniu.

5 razy: raz jako gwiazda szóstej, dwa razy jako gwiazda siódmej, i dwa razy jako gwiazda ósmej wielkości. Przy obserwacjach w południku, mających na celu wyznaczenie pozycji gwiazdy, wielkość jej ocenia obserwator na oko, na zasadzie spamiętanego wyobrażenia o jasności gwiazdy danej wielkości. Ponieważ blask gwiazdy zależy od zmiennej przezroczystości atmosfery, od jasności oświetlenia pola widzenia lunety (pozornie), od spokoju obrazów i t. d. oceniania takie, rozumie się, są tylko mniej albo więcej błędnymi przybliżeniami. Kiedy jednak chodzi o obserwacje, czynione tak starannie jak obserwacje dr. K o w a l c z y k a, wahań dostrzeganego blasku w granicach dwóch klas nie należy pozostawiać bez rozpatrzenia: stałość blasku gwiazdy jest podejrzana.

Przypuszczenie, iż gwiazda jest zmienna, wypowiedzieliśmy w № 3909 Astr. Nachr., gdzie podaliśmy kilka porównań gwiazdy z IV księżycem Jowisza, najbardziej zbliżonym swą jasnością do gwiazdy (najmniejszym); przeprowadziliśmy je, z wyjątkiem jednego przy pomocy heliometru. Nie można z nich wysnuć żadnego pewnego wniosku co do zmienności gwiazdy, tembardziej, że sam IV księżyc Jowisza jest zmienny w niewielkich granicach.

Następnie porównywaliśmy B.D.—6<sup>o</sup>.6191 z sąsiednimi gwiazdami. Obserwacj, z powodu niesprzyjającej pogody, poczyniliśmy mało; będą one czynione w dalszym ciągu, skoro w lecie Wodnik wyrzy się z promieni słońca.

Dostrzeżenia blasku według sposobu *Argelander*a<sup>1)</sup> mogą być dokonywane z korzyścią dla nauki przez miłośników astronomii, rozporządzających najbardziej skromnymi narzędziami. Dla ułatwienia ich względem B.D.—6<sup>o</sup>.6191, umieścimy w „Wiadomościach matem.“, mapkę nieba w okolicy tej gwiazdy. Spółrzędne jej są:  $\alpha = 23^h 15^m 44^s$ ,  $\delta = -6^o 26'$ , równ. 1904.0 r.

<sup>1)</sup> Patrz *M. Ernst* „Astronomia gwiazd statych“ str. 76 i 212.