RUDZKI

GWIAZDY
I BUDOWA
WSZECHŚWIAT[A]

Inw

Kat

M. P. RUDZKI

GWIAZDY

I BUDOWA WSZECHŚWIATA

KRAKÓW
NAKŁADEM AKADEMII UMIEJĘTNOŚCI
SKŁAD GŁÓWNY W KSIĘGARNI SPÓŁKI WYDAWNICZEJ POLSKIEJ
1912

W drukarni Uniwersytetu Jagiellońskiego, pod zarządem Józefa Filipowskiego.

SPIS RZECZY.

ROZDZIAŁ I.

Niektóre wiadomości wstępne.

ROZDZIAŁ II.

Początki astronomii.

ROZDZIAŁ III.

Systemy geocentryczny i heliocentryczny.

ROZDZIAŁ IV.

Gwiazdy. Budowa wszechświata.

ROZDZIAŁ V.

Gwiazdy podwójne.

DODATEK.

ROZDZIAŁ I.

Niektóre wiadomości wstępne.

§ 1. Miary kątowe.

Ponieważ w dalszym ciągu często wypadnie nam mówić o kątach, więc przypomnimy czytelnikom, że kąt prosty dzieli się na 90 stopni a więc cały obrót na 360 stopni; stopień dzieli się na 60 minut, a jedna miuuta na 60 sekund[1]. W starożytności i średnich wiekach dzielono sekundę na 60 tercyi, tę znowu na 60 kwart i t. d. W nowszych czasach podział ten zupełnie wyszedł z użycia; gdy zachodzi potrzeba, to podajemy ułamki sekundy.

Autorowie francuscy z czasów po wielkiej rewolucyi dzielili kąt prosty na 100 stopni, a więc całkowity obrót na 400 stopni; stopień dzielili na 100 minut a minutę na 100 sekund. Podział ten utrzymał się niedługo, zaczęto go zarzucać już za czasów napoleońskich; Laplace był zdaje się jednym z tych, którzy się go najdłużej trzymali.

Aby dać pojęcie o miarach kątowych, powiemy, że w trójkącie równobocznym, w którym kąt wierzchołkowy równa się sekundzie, ramiona są 206265 razy dłuższe od podstawy. Następnie podamy na samem niebie niektóre wymiary nadające się do porównania. Średnice słońca i księżyca wynoszą trochę więcej jak pół stopnia. Widoma średnica słońca zmienia się w granicach: $31' \, 30''$ w czasie największego oddalenia (*apogaeum*) i $32' \, 36''$ w czasie największego zbliżenia (*perigaeum*). Tak samo średnica księ-

[1] Dla krótkości oznaczamy stopień znakiem $^\circ$, postawionym u góry po prawej stronie cyfry wyrażającej ilość stopni, minutę znakiem $'$ a sekundę znakiem $''$.

życa zmienia się w granicach 28′ 48″ i 33′ 32″. Widoma równikowa[1] średnica Jowisza może dojść do mniej więcej 47″ w czasie, gdy ta planeta znajduje się na najmniejszej odległości od ziemi, ale może też zmniejszyć się do mniej więcej 31″, gdy odległość

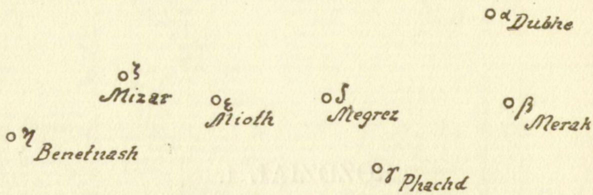


Fig. 1.

między Jowiszem a ziemią jest największa. Odległość kątowa między gwiazdami α i β Wielkiej Niedźwiedzicy, t. j. między tylnemi kołami Wozu wynosi: (obecnie) $5^0\ 22',6$.

§ 2. Wielkości gwiazdowe.

Ponieważ wypadnie nam mówić o wielkościach gwiazd, to wytłómaczymy, co pod tem rozumieć należy. Im gwiazda jest jaśniejsza, tem wydaje się większa. Średnice najjaśniejszych gwiazd, widzianych gołem okiem, pozornie wynoszą po parę minut, a nawet więcej; dopiero patrząc przez lunetę spostrzegamy, że to było złudzenie, bo rozmiary gwiazd nie powiększają się proporcyonalnie do powiększenia lunety. Obecnie wiemy, że rozmiarów gwiazd nie można rozpoznać nawet przez najpotężniejsze lunety; ale w starożytności tego nie wiedziano, pozory brano za rzeczywistość i uważano najjaśniejsze gwiazdy za największe. Starożytni rozróżniali 6 klas: do 1-szej zaliczali najjaśniejsze gwiazdy, do 2-giej mniej jasne i t. d...., najmniej jasne, gołem okiem zaledwo widzialne gwiazdy zaliczali do 6-tej klasy. Ta przez starożytnych astronomów przekazana klasyfikacya nietylko utrzymała się aż do naszych czasów, ale została rozszerzona na gwiazdy teleskopiczne. Rozróżniamy 7-mą, 8-mą i t. d. 14-tą, 15-tą i t. d. wielkości. Co więcej, aby objąć tą samą klasyfikacyą planety i tyle od gwiazd jaśniejsze słońce, umówiono się rozróżniać odjemne wielkości — 1-szą, — 2-gą i t. d. W myśl tej kla-

[1] Jowisz jest znacznie spłaszczony: średnica biegunowa jest prawie o $^1/_{17}$ krótsza od średnicy równikowej.

syfikacyi słońce jest gwiazdą —26,7 wielkości [1]. Wreszcie dla wyrażenia mniejszych stopniowań blasku wprowadzono „wielkości“ ułamkowe np. 0,1, 0,2... i t. d. 1,1, 1,2... i t. d. Klasyfikacya gwiazd wedle „wielkości“ jako oparta na czysto indywidualnej ocenie wydaje się we wysokim stopniu dowolną, jednakże badania fotometryczne pokazały, że stosunek pomiędzy dwoma po sobie następującemi klasami jest prawie stały. Mianowicie jeżeli gwiazda *A* jest wielkości *k*-ej a gwiazda *B* wielkości ($k+1$)-ej, to ilość światła, które otrzymujemy od gwiazdy *A* jest około 2,5 razy większa niż ta, którą otrzymujemy od gwiazdy *B*.

Oczywiście dogodnie jest ustalić ten stosunek przez dobrowolną umowę. Podczas gdy jedni przyjmują liczbę 2,5, której logarytm jest 0,39794, inni za przykładem R. Pogsona [1829—1891] przyjmują liczbę 2,512, której logarytm jest 0,4. Przytoczymy tu wielkości kilkunastu najjaśniejszych gwiazd z obu półkuli [północnej i południowej] wedle „Connaissance des Temps“ na rok 1910, która podaje wielkości wedle fotometrycznych [2] pomiarów E. Pickeringa [3].

Pickering przyjmuje stosunek 2,5 a wielkość t. j. jasność Aldebarana (*α* Tauri) za jedność:

Gwiazda:	Wielkość:	Gwiazda:	Wielkość:
α Canis majoris (Syryusz)	—1,4	*α* Centauri	0,2
α Argus (Canopus) . .	—0,8	*β* Orionis (Rigel) . . .	0,3
α Aurigae (Capella) . .	0,1	*α* Eridani (Achernar) .	0,4
α Lyrae (Wega) . . .	0,2	*α* Canis minoris (Procyon)	0,5
α Bootis (Arcturus) . .	0,2	*β* Centauri	0,7

[1] Przytaczamy tę cyfrę dla przykładu. Z powodu różnych trudności, o których nie możemy się tu rozpisywać, „wielkość“ (gwiazdowa) słońca nie jest ostatecznie ustalona. Można powiedzieć, że „wielkość“ słońca jest prawie o całą jednostkę niepewna. Dla porównania powiemy, że „wielkość“ Marsa w opozycyi t. j. wtedy, gdy znajduje się wprost naprzeciw słońca, wynosi —1,75 a Jowisza także w opozycyi —2,23, księżyców Jowisza: I-go 6,0, II-go 6,1, III-go 5,6, IV-go 6,6 wedle S. Newcomba. (Artykuł „Astronomy“ w X-tem wydaniu Encycl. Brittanica (1902) str. 734). W czasie opozycyi cała tarcza planety jest oświetlona podobnie jak księżyc w pełni.

[2] Wielkości otrzymane drogą fotograficzną nieraz znacznie różnią się od tych, które otrzymujemy drogą fotometryczną, ale to kwestya, która nas na razie wcale nie obchodzi.

[3] Annals of Harvard College. T. XVIII.

Gwiazda:	Wielkość:	Gwiazda:	Wielkość:
α Orionis (Beteigeuze) .	0,9	α Scorpii (Antares) . .	1,2
α Crucis	0,9	α Leonis (Regulus) . .	1,3
α Aquilae (Atair)	0,9	α Piscis australis (Fomalhaut)	1,3
α Tauri (Aldebaran) . .	1,0	α Cygni (Deneb) . . .	1,4
α Virginis (Spica) . . .	1,1	ε Canis maioris . . .	1,5
β Geminorum (Pollux) .	1,2		

Gwiazdy te łatwo znaleść na załączonych na końcu mapkach nieba północnego i południowego. Z powyższej tabliczki zaraz widzimy, że ilość światła, którą np. otrzymujemy od Syryusza jest $(2{,}5)^{1,4} = 3{,}61$ razy większa niż ta, którą otrzymujemy od Aldebarana, a $(2{,}5)^{2,5} = 9{,}66$ razy większa niż ta, którą otrzymujemy od Kłosu (Spica). Natomiast α Crucis przysyła nam tylko $(2{,}5)^{0,1} = 1{,}096$ razy więcej światła niż Aldebaran, a $(2{,}5)^{1,7} = 4{,}75$ razy mniej niż Canopus. Jednem słowem stosunek między ilością światła, którą otrzymujemy od gwiazdy wielkości m-tej a ilością światła, którą otrzymujemy od gwiazdy wielkości n-tej wyraża się liczbą:

$$(2{,}5)^{n-m}.$$

Istnieje zwyczaj oznaczać jaśniejsze gwiazdy konstelacyi greckiemi literami, a więc najjaśniejszą gwiazdę w danej konstelacyi oznaczamy literą α, następną co do jasności przez β, trzecią co do jasności przez γ i t. d... w porządku liter greckiego alfabetu.

§ 3. Współrzędne.

Aby określić położenie punktu w przestrzeni posługujemy się tak zwanemi „współrzędnemi“. Rozmaite są rodzaje „współrzędnych“, ale najczęściej używane są „współrzędne prostokątne“ i „biegunowe“.

Obieramy pewien dowolny punkt za „początek współrzędnych“, pewną płaszczyznę, przechodzącą przez ten punkt, za „płaszczyznę fundamentalną“, wreszcie wyróżniamy w płaszczyźnie fundamentalnej pewną prostą, przechodzącą przez początek współrzędnych. Naprzykład za „początek współrzędnych“ bierzemy środek ziemi, za płaszczyznę fundamentalną płaszczyznę równika, wreszcie w płaszczyźnie równika wyróżniamy tak zwaną „prostą równonocną“, wzdłuż której płaszczyzna równika przecina się z płaszczyzną ekliptyki [1].

Ponieważ tak płaszczyzna równika jak płaszczyzna ekliptyki zmieniają z czasem swe położenie; więc jeżeli natura zadania tego wymaga, można wziąć chwilowe położenie obu płaszczyzn w pewnej chwili czasu za nieruchome i odnieść do niego wszystkie inne.

Jeżeli chcemy użyć współrzędnych prostokątnych, to przez prostą równonocną przeprowadzamy płaszczyznę prostopadłą do płaszczyzny równika, następnie przeprowadzamy przez początek współrzędnych drugą płaszczyznę, do tamtej i do płaszczyzny równika prostopadłą. Najkrótsze odległości danego punktu od tych trzech wzajemnie do siebie prostopadłych płaszczyzn, opatrzone znakami + lub — [2] stosownie do tego, czy punkt leży po jednej lub po drugiej stronie płaszczyzny, to są właśnie „współrzędne prostokątne“ punktu.

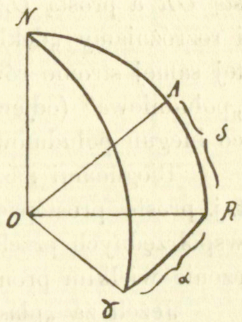


Fig. 3.

Jeżeli chcemy użyć współrzędnych biegunowych, to łączymy dany punkt A z początkiem współrzędnych O prostą. Długość odcinka OA, zwanego „promieniem wodzącym“, i jego kierunek wyznaczają w zupełności położenie punktu A. Kierunek promienia wodzącego wyznaczamy zapomocą dwóch kątów, zwanych „rektascensyą“ i „deklinacyą“. Przez odcinek OA przeprowadzamy

[1] Ekliptyką nazywamy pozorną drogę słońca naokoło ziemi (przyczem pomijamy pewne drobne perturbacye w ruchu słońca, spowodowane przez przyciąganie planet). Gdy słońce przechodzi przez równik; to noc i dzień są na jednym południku ściśle równe. Stąd punkty ♈ i ♎ (zwane także węzłami), w których ekliptyka przecina równik, noszą nazwę „punktów równonocnych“, a prosta łącząca je nazywa się „prostą równonocną“.

[2] Z której strony płaszczyzny ma być + a z której — to zależy od umowy, ale skoro raz stanie umowa, to trzeba stale trzymać się jej.

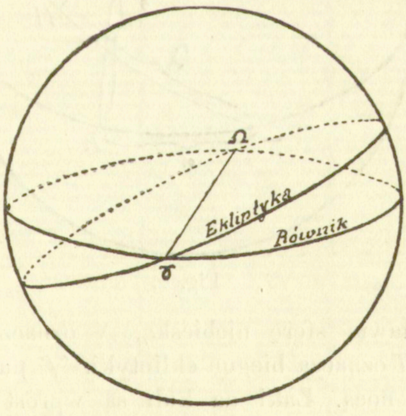


Fig. 2.

płaszczyznę *ONAR* prostopadłą do płaszczyzny równika. Kąt ♈ *OR* pomiędzy prostą *OR*, wzdłuż której płaszczyzna *ONAR* przecina się z równikiem a tą stroną prostej równonocnej, która idzie ku punktowi ♈ wiosennego porównania dnia z nocą, nazywamy „rektascensyą“ [po polsku „wzniesieniem prostem“] a oznaczamy go zazwyczaj przez α (dawniej — a we wielu francuskich książkach jeszcze dotychczas — oznaczano go przez *Æ*). Rektascensya liczy się zawsze od ♈ ku *R* i od zachodu przez południe na wschód, t. j. w kierunku rzeczywistego obrotu ziemi. „Deklinacyą“ nazywamy kąt pomiędzy prostą *OR* a prostą *OA*. Liczymy deklinacyę zawsze od *OR* ku *OA* i rozróżniamy „deklinacyę północną (dodatnią)“, jeżeli *A* leży po tej samej stronie równika co biegun północny *N*, oraz deklinacyę „południową“ (odjemną), jeżeli *A* znajduje się po tej samej stronie co biegun południowy *S*.

Biegunami nazywamy te punkty, w których „oś biegunowa“ t. j. prosta prostopadła do płaszczyzny fundamentalnej w początku współrzędnych przebija sferę niebieską, t. j. kulę zatoczoną nieskończenie wielkim promieniem naokoło początku współrzędnych.

Jeżeli za „płaszczyznę fundamentalną“ przyjmiemy nie płaszczyznę równika a płaszczyznę ekliptyki, to „prostą wyróżnioną“ w płaszczyźnie ekliptyki pozostanie zawsze wspólna obu płaszczyznom (równika i ekliptyki) prosta równonocna, ale „oś biegunowa“ będzie naturalnie inna niż w poprzednim systemie. Kąt odpowiadający rektascensyi nosi w tym nowym systemie nazwę „długości“, a kąt odpowiadający deklinacyi nosi nazwę „szerokości“.

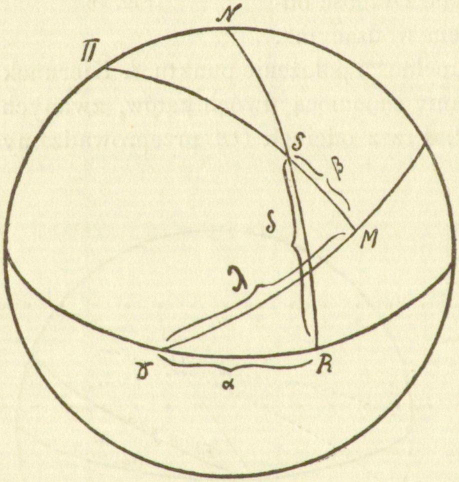


Fig. 4.

Załączony rysunek przedstawia sferę niebieską, *N* oznacza biegun północny osi ziemskiej, *Π* oznacza biegun ekliptyki, ♈ punkt wiosennego porównania dnia z nocą. Łuki na kuli są wprost proporcyonalne do kątów, mianowicie:

$\sqrt{\widehat{\ }}R$ do rektascensyi α
$\sqrt{\widehat{\ }}M$ do długości λ
$\widehat{RS}$ do deklinacyi δ (dodatnia, północna)
$\widehat{MS}$ do szerokości β „ „

W danym razie umieściliśmy początek współrzędnych w środku ziemi, ale tak samo można go pomieścić w środku słońca. Trzeba tylko zamiast płaszczyzny równika wziąć płaszczyznę do niego równoległą a przechodzącą przez środek słońca.

W pewnych zadaniach dogodniej jest posługiwać się heliocentrycznemi współrzędnemi, w innych geocentrycznemi. W zadaniach, odnoszących się do ruchu satelitów naokoło swych planet, najdogodniej jest posługiwać się współrzędnemi, których początek znajduje się w środku danej planety, a więc w środku Jowisza, jeżeli chodzi o satelity Jowisza, w środku Marsa, jeżeli chodzi o satelity Marsa i t. d. Podobnie jak początek współrzędnych, zmieniamy też „płaszczyzny fundamentalne“ i „proste wyróżnione“. Wreszcie stosownie do okoliczności posługujemy się raz współrzędnemi prostokątnemi, drugi raz biegunowemi [1].

Naturalnie ten sam ruch, ta sama orbita wygląda inaczej, gdy odniesiemy go (lub ją) do innego początku współrzędnych. Tak np. droga Wenery naokoło słońca tylko bardzo nieznacznie różni się od słabo wydłużonej elipsy. W pierwszem przybliżeniu można ją uważać za elipsę. Skoro jednak przeniesiemy początek współrzędnych do środka ziemi, to droga Wenery przedstawi się nam jako krzywa wielce zawiła, posiadająca punkty podwójne, wcale nie zamknięta i t. d.

[1] Od szczęśliwego wyboru współrzędnych zależy niekiedy bardzo wiele. Tak np. postępy, osiągnięte w ostatnich czasach w teoryi księżyca, zawdzięczamy w znacznej części wprowadzeniu współrzędnych prostokątnych geocentrycznych, kręcących się za słońcem.

ROZDZIAŁ II.

Początki astronomii.

1. Wstęp.

Wiedząc, że już 4000 lat temu w Babilonii i w Egipcie istniały dobrze urządzone miasta i państwa, wielkie i piękne świątynie, rozwinięty przemysł, rolnictwo i sztuczne nawodnienie, handel, rzemiosła i sztuka — historycy i filolodzy są korzystnie usposobieni dla tych starych kulturalnych ludów i skoro w jakim dawnym napisie napotkają nazwę jakiejś gwiazdy lub konstelacyi, wyobrażają sobie, że te ludy już za czasów Sargona z Agady lub Hammupiego[1] posiadały rozwiniętą astronomię. Tymczasem tak nie było: w owych czasach istniała wprawdzie i to od dawna astrognozya, to jest znajomość gwiazd i konstelacyi, oraz astrologia — [przypominam, że Gudea śni o bogini, która zna „dobre gwiazdy“], ale astronomii właściwej, tej, która zajmuje się zbadaniem praw, rządzących biegiem ciał niebieskich, która przepowiada zaćmienia i inne zjawiska, jeszcze nie było. Rozwinęła się ona znacznie później, dopiero w ostatniem tysiącoleciu przed Chr.

Klasyczni pisarze, którzy zresztą pod astronomią rozumieli jednocześnie astrognozyę i astrologię, po większej części wskazują na Babilonię jako na ojczyznę tej nauki. Są wszakże odmienne wersye. Wedle Diodora[2] (żył za czasów Cezara i Augusta) Rodyjczycy, a wedle Pliniusza starszego (23—79 po Chr.) i Dyonizyusza Periegety (żył za czasów cesarza Hadryana) Fenicyanie

---

[1] Zamiast dawniejszej pisowni Hammurabi piszą teraz Hammurapi.

[2] A. H. Sayce. Tbe astronomy aud astrology of Babylonians. Transactions of the Soc. of Biblical Archeology. Tom III (1874), str. 145—339, spec. str. 145.

utrzymywali, jakoby ich przodkowie zajmowali się astronomią wcześniej aniżeli inne narody. Z drugiej strony Makrobiusz (żył w końcu IV i początku V wieku po Chr.), Klemens aleksandryjski (około 150—200 po Chr.), Laktancyusz (umarł w r. 325 w późnym wieku), Diogenes Laertius (III wiek po Chr.) i Lucyan (około 125—200 po Chr.) przypisują początek tej nauki Egipcyanom.

Przekonamy się w dalszym ciągu, że najbardziej rozprzestrzeniona wersya była słuszną, o ile chodzi o astronomię w ściślejszem, naukowem tego słowa znaczeniu, a także o astrologię. Co zaś do astrognozyi i do niektórych elementarnych pojęć, służących za podstawę kalendarza, to rozstrzygać o pierwszeństwie nie możemy, bo ślady ich zastajemy u wszystkich kulturalnych ludów w najdawniejszych historycznych czasach.

2. Stacye księżycowe i zodyak.

Pomnikami zamierzchłej starożytności są tak zwane „stacye“ czyli „domy księżyca“ i „zodyak“.

Stacye księżycowe dotąd nie wyszły z użycia na Wschodzie. Arabowie nazywają je „manzil“ [liczba mnoga „manazil“], Indusi „nakszatra“, Chińczycy „Siu“. Znają je także Koptowie, Parsowie i inne wschodnie ludy. Aby wytłómaczyć co to są „stacye księżycowe“, musimy przedewszystkiem powiedzieć, że na Wschodzie pojęcie konstelacyi jest różne od europejskiego astronomicznego pojęcia. W europejskiej astronomii konstelacya, to właściwie pewien kawałek nieba (patrz mapki nieba na końcu książeczki). Wszystkie gwiazdy znajdujące się w obrębie przydzielonym pewnej konstelacyi „eo ipso“ do niej należą. Na Wschodzie utrzymało się stare pojęcie konstelacyi, wedle którego konstelacya to grupa kilku, kilkunastu lub wreszcie kilkudziesięciu określonych gwiazd. Inne gwiazdy pomiędzy niemi rozsiane do konstelacyi nie należą. Jest to więc zupełnie to samo pojęcie, które widzimy u ludu. Lud nazywa „Wozem“ tylko 7 najjaśniejszych gwiazd Wielkiej Niedźwiedzicy; innych gwiazd tej konstelacyi do „Wozu“ nie zalicza.

Dla oznaczenia konstelacyi w tem wschodniem znaczeniu będziemy posługiwać się przyjętą w literaturze astronomicznej nazwą „asteryzm“.

Można określić „stacye księżycowe“ jako asteryzmy na drodze księżyca. Droga księżyca pośród gwiazd zmienia się nieco za każdym obiegiem, ale w każdej epoce można wyznaczyć pas, poza który księżyc wcale nie wykracza. Wewnątrz lub w bezpośredniem sąsiedztwie tego pasa można wyszukać asteryzmy tak położone, aby w ciągu kolejnych nocy swej wędrówki księżyc przebywał wśród lub w pobliżu coraz to innych asteryzmów. Ponieważ droga księżyca wśród gwiazd z czasem zmienia się, więc z natury rzeczy wynika, że asteryzmy obrane w pewnej epoce z czasem coraz mniej dobrze odpowiadają swemu celowi.

Widzimy stąd, że „stacye księżycowe“ odgrywają względem księżyca tę samą rolę, którą względem słońca odgrywają konstelacye zodyaku. Zresztą na Wschodzie posługują się niemi nietylko dla wyznaczenia pozycyi księżyca, ale także dla wyznaczenia pozycyi słońca i planet. Mówią np. że słońce w tym a tym dniu znajduje się wśród lub w pobliżu tej a tej stacyi.

Ponieważ księżyc obchodzi niebo w ciągu mniej więcej $27^1/_3$ dni [1], więc powraca do tych samych gwiazd po upływie 27 lub 28 nocy. Odpowiednio do tego liczą 28 stacyi (dawniej w Indyach liczono 27 stacyi).

Podobnie jak my dzielimy ekliptykę na 12 równych między sobą części („znaków“), tak też ludy Wschodu dzielą ekliptykę, równik, lub samą drogę księżyca na pewne części, odpowiadające różnym stacyom. Indusi dzielą na 27 równych części po $13^0\ 20'$ [360 choćby zamienione na minuty i sekundy nie jest podzielne przez 28]. Oprócz tego znają podział na części nierówne po $6^0\ 40'$, $13^0\ 20'$ i 20^0 [2].

Chińskie „Siu“ oznaczają nietylko asteryzmy [3], ale także wycinki nieba, zawarte pomiędzy kołami deklinacyi [4], przechodzącemi przez pierwsze gwiazdy kolejnych asteryzmów. Przeto koła deklinacyi odgraniczają jedne „Siu“ od drugich. Ponieważ same asteryzmy zajmują na niebie bardzo nierówne pola, więc odpowiednie odstępy na równiku są bardzo nierówne. Niektóre obejmują tylko po kilka stopni, inne po kilkanaście, a jest jeden obejmujący prze-

---

[1] Miesiąc gwiazdowy t. j. średni odstęp czasu, w ciągu którego księżyc opisuje 360^0, liczy 27 dni, 7 godzin, 43 min. i 11,4 sek.

[2] F. K. Ginzel. Handbuch der Chronologie I tom (Lipsk 1906) str. 328.

[3] Por. L. de Saussure. Les origines de l'astronomie chinoise. T'oung Pao. Ser. II, tomy X (1909) i XI (1910), osobliwie str. 131 i 141 w tomie X.

[4] Koła deklinacyi są to wielkie koła prostopadłe do równika.

szło 36 stopni. Okoliczność ta spowodowała J. B. Biota[1] [1774—1862] do domysłu, że pierwotnie Siu były to równikowe[2] gwiazdy, służące do wyznaczania czasu, ale że w ciągu wielu wieków pooddalały się od równika wskutek precesyi[3]. Na poparcie swego twierdzenia Biot przytaczał to, że około połowy XXIV wieku przed Chr. Siu leżały znacznie bliżej równika. Jednakże hypoteza Biota nazbyt źle się wiąże ze wszystkiem, co wiemy o stacyach księżycowych, aby można było ją przyjąć.

Indyjskie „nakszatra“ pierwotnie oznaczało gwiazdy lub asteryzmy wogóle. W sanskryckiej literaturze nakszatra-mandala oznacza sferę gwiazd. We Wedach słowo nakszatra bywa używane w związku z księżycem, ale swoją drogą nie znamy takiego ustępu, z którego możnaby napewno wnosić, że już wówczas znano 28 czy 27 stacyi księżycowych. Gdy mowa jest o księżycu i o „nakszatra“, to w taki np. sposób: „taka ofiara ma być składana, gdy pełnia księżycowa nastanie wśród tej a tej „nakszatra“. Ponieważ w ciągu roku bywa 12 lub 13 pełni, więc dla oznaczenia pełni możnaby obejść się trzynastu asteryzmami. Wyobraźmy sobie np. pas ciągnący się naokoło nieba wzdłuż drogi księżyca, podzielony na 13 równych części. W każdej części możnaby znaleść czy to jaśniejszą gwiazdę, czy jakiś dający się łatwo rozpoznać asteryzm i przydzielić mu tę część pasa. Ale jak to było pierwotnie urządzone, nie wiemy. Natomiast wiemy, że w poźniejszych czasach „nakszatra“ oznaczało i obecnie oznacza te asteryzmy, wśród lub w pobliżu których księżyc przebywa w ciągu następujących po sobie nocy. Początkowo Indusi rozróżniali tylko 27 stacyi a potem dodali jeszcze 28-mą (abijit).

Indyjskie, chińskie i arabskie stacye księżycowe nietylko przedstawiają wiele cech wspólnych, ale po części są nawet identyczne. Najczęściej zdarza się tak, że po dwa systemy zgadzają się ze sobą, gdy trzeci odbiega od nich. Z pomiędzy indyjskich nakszatra połowa jest identyczna z chińskiemi Siu.

Niema wątpliwości, że wszystkie trzy systemy pochodzą z jednego źródła. Różnice tłómaczą się przez jakieś reformy, albo przez

---

[1] Études d'astronomie indienne. Paryż 1862 (specyalnie str. 226 i nast.).

[2] Równikowemi nazywamy gwiazdy niekoniecznie położone na równiku — byleby bliskie równika.

[3] Jednocześnie gwiazdy zmieniają swe pozycye także wskutek „ruchów własnych“, ale to są zmiany mniej doniosłe.

zlanie się z jakiemiś innemi koncepcyami astronomicznemi. Ale kto i kiedy przedsiębrał reformy, jakie inne koncepcye miały wpływ na wytworzenie się obecnych systemów, nie wiemy. Wogóle kwestya pochodzenia stacyi księżycowych jest zupełnie niejasną. Pewien mahometański uczony zapewniał J. Bentleya[1] (1752—1835), że Arabowie i Chińczycy wzięli je z Turkestanu, ale trudno polegać na gołosłownem twierdzeniu, niepopartem przez żadne dokumenty. Wiadomo, że ślady „Siu“ w chińskiej literaturze sięgają tylko do III wieku przed Chr., ale niema w tem nic dziwnego, bo około 220 r. przed Chr. cesarz Lu-huang-ti z dynastyi Tsiu kazał spalić wszystkie księgi (ówczesne książki chińskie były spisane na tabliczkach bambusowych) oprócz wróżbiarskich, medycznych i rolniczych. Dopiero później spisywano je na nowo z nielicznych utajonych egzemplarzy i z ustnej tradycyi. O śladach „nakszatra“ w sanskryckiej literaturze mówiliśmy wyżej. Na podstawie wzmianek w starej poezyi arabskiej F. Hommel[2] dowiódł, że Arabowie znali stacye księżycowe już przed czasami Abassydów, — mianowicie z pomiędzy 28 manazil 14 są wymienione po nazwisku.

Sądzono też, że wspomniane w księdze Hioba i w paru innych miejscach Starego Testamentu „mazzaloth“ czy „mazzaroth“ także oznaczają stacye księżycowe. Hommel[3] wywodzi to słowo od tego samego babilońskiego „manzartu“, od którego jakoby pochodzi arabskie „manzil“; ale J. V. Schiaparelli[4] (1835—1910) mocno powątpiewa o trafności tej interpretacyi i sądzi, że „mazzaloth“ raczej oznacza planetę Wenus, albo może którą z jasnych gwiazd. W babilońskich i assyryjskich napisach klinowych dotąd nie znaleziono „stacyi księżycowych“. Zato F. Epping[5] znalazł szereg gwiazd ekliptycznych (dotychczas liczą 33 takie gwiazdy i asteryzmy), do których astronomowie babilońscy za czasów Arsacydów odnosili pozycye planet i słońca. Zapisywano np. obserwacye

---

[1] A historical view of Hindu astronomy. Calcutta 1823, str. 189.

[2] Ueber den Ursprung... der arabischen Sternnamen. Zeitschr. der deutschen morgenländischen Gesellschaft, tom 45 (1891), str. 592—619.

[3] loc. cit., str. 608.

[4] Astronomia nell'antico testamento. Medyolan, 1903, str. 95—111.

[5] Astronomisches aus Babylon. 44 Ergänzungsheft zu den Stimmen aus Maria-Laach. Freiburg, 1889, str. 117—133.

w taki sposób: Dnia... planeta... wzeszła heliakalnie[1] o... „ammat“ (ammat = 2°,5) od gwiazdy... Niektóre z tych „gwiazd i asteryzmów normalnych“ jak je nazwał Epping są identyczne z gwiazdami i asteryzmami należącymi do stacyi księżycowych. Jednakże cały układ „gwiazd normalnych“ nazbyt różni się od „stacyi księżycowych“, aby można było jedne z drugich wyprowadzić[2]. Wobec tego hypoteza A. Webera (1825—1901), że „stacye księżycowe“ pochodzą z Babilonu, stała się po odkryciu „gwiazd normalnych“ mniej prawdopodobną niż poprzednio. Wprawdzie możebną jest rzeczą, że stacye księżycowe znajdą się jeszcze w nieodczytanych dotąd klinowych napisach o treści astrologicznej lub astronomicznej, ale dziwnem jest, że Grecy, którzy z Babilonu zapożyczyli zodyak i wiele innych rzeczy, o stacyach księżycowych nic nie wiedzieli.

Niedawno L. de Saussure[3] wznawiając poniekąd hypotezę Biota twierdził, że stacye księżycowe pierwotnie powstały w Chinach, stamtąd zaś przeszły do Indyi może przez pośrednictwo środkowo-azyatyckich ludów. Hypoteza de Saussure'a nie jest niemożliwą, ale nie wydaje mi się, aby jego dowody były bardzo przekonywające. H. Oldenberg[4] słusznie zarzuca mu nazbyt śmiałe konjektury. Natomiast inny pomnik starożytnej astronomii, czy raczej astrognozyi: zodyak jest prawie napewno babilońskiego pochodzenia. Greckie nazwy znaków zodyaku są wprost tłómaczeniem tych nazw babilońskich, które Epping znalazł tak w tekstach z czasów Arsacydów jak w jednym tekscie z czasów

---

[1] Ponieważ słońce posuwa się po ekliptyce ze zachodu na wschód, więc codzień wschodzi i codzień zachodzi z coraz to innemi gwiazdami. Jeżeli dziś słońce wschodzi razem z jakąś gwiazdą, to naturalnie wschód jej jest niewidzialny, ale jutro gwiazda wschodzi już na kilka minut przed słońcem, pojutrze jeszcze więcej wyprzedza wschód słońca i t. d. aż pewnego dnia wschód jej wśród blasku jutrzenki stanie się widzialnym. Taki pierwszy w roku widzialny wschód gwiazdy nazywa się „heliakalnym wschodem“. Odwrotnie weźmy gwiazdę, która dziś zachodzi po słońcu tak, że jej zachód jest widzialny, za kilka lub kilkanaście dni odstęp czasu między zachodem słońca a zachodem gwiazdy zmniejszy się o tyle, że zachód gwiazdy zniknie wśród zorzy wieczornej. Ostatni jeszcze widzialny zachód gwiazdy nazywa się „heliakalnym zachodem“.

[2] Por. G. Thibaut. On the Hypothesis... Journ. Asiatic Soc. of Bengal. Tom 63 (1894), str. 144—163.

[3] Les origines de l'astronomie Chinoise. T'oung Pao, Ser. II, tomy X (1909) i XI (1910).

[4] Naksatra und Sieou. Göttinger Nachrichten 1909, hist. phil. kl. str. 544—572.

panowania Persów, mianowicie ze 7-go roku panowania Kambyzesa (521 r. przed Chr.). Znaleziono też wizerunki niektórych znaków zodyaku na babilońskich kamieniach granicznych, pochodzących z XII wieku, a może nawet z jeszcze dawniejszych czasów. Sławny egipski zodyak z Dendery, mający zresztą, jak się zdaje, tylko astrologiczne znaczenie, pochodzi z czasów o wiele późniejszych, bo z czasów rzymskiego cesarstwa i zdradza wpływy greckie. Zresztą sama liczba znaków zodyaku — dwanaście — jest w związku ze 60-kowym systemem liczbowym babilońskim.

Konjektury H. Wincklera, F. Hommla i innych co do epoki, w której powstały znaki zodyaku (jakoby w 7-mem tysiącleciu przed Chr.) oraz co do tego, jaki znak zodyaku w różnych epokach odpowiadał początkowi roku, są wysoce niepewne. E. W. Maunder i pani A. S. D. Maunder[1] wykazali, że prawdopodobnie należy poprzesuwać wszystkie daty o parę tysięcy lat naprzód (t. j. bliżej ku naszym czasom).

Idąc wzdłuż ekliptyki ze zachodu na wschód (por. mapki) natrafiamy po kolei na następujące konstelacye zodyaku: 1. Baran (♈), 2. Byk (♉), 3. Bliźnięta (♊), 4. Rak (♋), 5. Lew (♌), 6. Panna (♍), 7. Waga (♎), 8. Niedźwiadek (♏), 9. Strzelec (♐), 10. Koziorożec (♑), 11. Wodnik (♒), 12. Ryby (♓).

Tak zwane „znaki“ [słońce wstępuje w znak Raka i t. d.] nie odpowiadają dzisiejszym pozycyom konstelacyi zodyaku. W dniu wiosennego porównania dnia z nocą słońce wstępuje w znak Barana, ale znajduje się wtedy wśród konstelacyi Ryb. To przesunięcie „znaków“ względem konstelacyi jest konsekwencyą cofania się punktów równonocnych na ekliptyce. Wskutek precesyi punkty równonocne a z nimi i „znaki“ dzielące ekliptykę na 12 równych części obchodzą całe koło w ciągu mniej więcej 26000 lat.

Na tem miejscu warto wspomnieć jeszcze o chińsko-tureckim cyklu 12 zwierząt. U Chińczyków i wogóle u wszystkich ludów, które przyjęły chińską kulturę, każdy rok jest poświęcony jednemu z 12 następujących zwierząt: 1. szczur, 2. wół, 3. tygrys, 4. zając, 5. smok, 6. wąż, 7. koń, 8. koza, 9. małpa, 10. kogut, 11. pies, 12. wieprz. Po dwunastu latach cykl się powtarza. Oczywiście jest to cykl chronologiczny, może będący w związku z 12-letnim pe-

---

[1] Note on the Date of the Passage of the Vernal Equinox from Taurus into Aries. Monthly Notices R. A. S. Tom 64, str. 488—507.

ryodem Jowisza [po mniej więcej 12 latach Jowisz powraca na te same miejsce wśród gwiazd]. Ze zodyakiem słonecznym łączą go tylko pewne zewnętrzne analogie, mianowicie liczba 12 i nazwy zwierzęce [choć same zwierzęta są inne]. Ale podczas gdy zodyak słoneczny składa się z konstelacyi, wśród których słońce przebywa w ciągu kolejnych miesięcy roku, tymczasem w cyklu chińskim — nazwy zwierząt nie oznaczają konstelacyi, tylko z jednej strony symbolizują liczby porządkowe od 1 do 12, a z drugiej mają pewne astrologiczne, wróżbiarskie znaczenie. Cykl 12 zwierząt znany był Chińczykom prawdopodobnie od początku naszej ery, a może i wcześniej, ale ciekawą jest rzeczą, że Teukros z Babilonu, pisarz, który żył co najpóźniej w I-szym wieku po Chr., zna także cykl 12 zwierząt, służący do oznaczania kolejnych lat [*ἡ δωδεκάωρος*]. Zwierzęta cyklu Teukrosa są poczęści identyczne ze zwierzętami chińskiego cyklu, poczęści zaś, jako to: „chrabąszcz, ibis, krokodyl" wskazują na pochodzenie egipskie.

Ponieważ niektórzy chińscy pisarze mówią, że cykl 12 zwierząt nie jest wynalazkiem chińskim i że został zaniesiony z północy; więc E. Chavannes[1] twierdzi, że pochodzi on od ludów tureckich. Jednocześnie J. Halévy[2] na podstawie tego samego materyału, ale kładąc specyalny nacisk na Teukrosa, stanowczo odrzuca hypotezę Chavannes'a i broni swej własnej hypotezy, że cykl ów pierwotnie powstał w Egipcie i że jest dziełem religijnego synkretyzmu, tak silnie rozwiniętego w ostatnich wiekach przedchrześcijańskich i pierwszych chrześcijańskich. Zdaje się, że możemy z całym spokojem pozostawić tę kwestyę w zawieszeniu.

3. Astronomia indyjska.

Mniej więcej sto lat temu panowało mniemanie, że Indusi już w głębokiej starożytności posiadali obszerną i oryginalną matematyczną i astronomiczną wiedzę. Do rozpowszechnienia tego mniemania przyczynił się głównie H. T. Colebrooke (1765—1837), który nazbyt bezkrytycznie traktował indyjskie dzieła, a nawet podobno dawał się wprowadzić w błąd fałszerzom.

---

[1] Le cycle turc des douze animaux. T'oung Pao. Ser. II, tom VII (1906), str. 51—121.

[2] Nouvelles considérations sur le cycle turc des animaux. W tym samym tomie tego samego czasopisma str. 270—295.

Prawdopodobnie samoistnie doszli Indusi do twierdzenia Pitagorasa choć nie w ogólnej formie. Tak zwane Sulvasutry (przepisy co do budowania ołtarzy) pochodzące, jak się zdaje z IV wieku przed Chr. posługują się twierdzeniem Pitagorasa, ale tylko w kilku przypadkach, w których tak przeciwprostokątnia jak obie przyprostokątnie dają się wyrazić przez niektóre liczby całe. Do ogólnego twierdzenia wznieść się nie zdołali, a sposób wyrażania się świadczy, że do poznania tych specyalnych przypadków doszli drogą empiryczną. H. Vogt[1] upatruje w tem dowód, że wynalazek był samoistnym. Twierdzenie Pitagorasa w ogólnym kształcie poznali Indusi znacznie później, gdy poznajomili się z matematyką grecką.

We Wedach i w późniejszych dziełach panuje system sześćdziesiątkowy babiloński. Metoda oznaczania wartości cyfr przez pozycye i wynalazek zera pochodzą ze stosunkowo późnych czasów. M. Cantor[2] twierdzi, że najstarszy napis, w którym figuruje liczba tą metodą pisana, datuje z r. 738 po Chr. G. R. Kaye[3] zaś utrzymuje, że najstarszy i to nie bardzo pewny tekst datuje dopiero z r. 813 po Chr., następny pochodzi już z X wieku, inne podawane przez Indusów za starsze, są sfałszowane.

Największe postępy zrobili Indusi w algebrze, ale także dopiero w późniejszych czasach i po zaznajomieniu się z matematyką grecką.

Mówiąc o stacyach księżycowych, wspomnieliśmy już, że nazwy niektórych z nich bywają wymieniane we Wedach. Prócz tego Wedy zawierają wzmianki dotyczące ówczesnego kalendarza. Ze wzmianek tych wynika, że w owych dawnych czasach Indusi mieli rok 360-dniowy. „U żadnego narodu“ powiada F. K. Ginzel[4] „ślady roku 360-dniowego nie są tak wyraźne jak u Indusów, choć prawdopodobnem jest, że tak jak inne narody początkowo mieli rok księżycowy“. Rzecz prosta, że nie mogli obejść się czy to bez wstawiania dodatkowego miesiąca co kilka lat, czy to kilku dni dodatkowych (epagomenów) co roku, ale jak to robili — nie wia-

---

[1] Haben die alten Inder den pitagoräischen Lehrsatz gekannt? Bibliotheca mathematica. Ser. III, tom VII (1906—1907), str. 6—23.

[2] Vorlesungen über die Geschichte der Mathematik. II-gie wydanie, tom I, str. 563.

[3] The source of Hindu mathematics. Journal of R. Asiatic Soc. 1910, str. 749—760.

[4] Handbuch der Chronologie, I tom, Lipsk, 1906, str. 312.

domo. Skąd wziął się ów rok 360-dniowy? w jakim związku pozostawał ze systemem 60-kowym? też nie wiadomo.

W sposób drastyczny zdradza obce pochodzenie długość najdłuższego dnia w roku, podana w Iyotisza-Vedanga. Jest to dzieło późniejsze niż Wedy — o ile — tego powiedzieć nie umiemy, bo ani wiek Wedów ani wiek Iyotiszy nie jest dokładnie znany. Powszechnie sądzą, że Wedy powstały jeszcze w drugiem tysiącoleciu przed Chr. i zapewne nie odrazu, a w ciągu kilku, nawet kilkunastu pokoleń. Iyotisza zapewne pochodzi także z czasów przed początkiem naszej ery, w każdym zaś razie z przed epoki, w której przyniesiono do Indyi grecką astronomię, co nastąpiło dopiero około II wieku po Chr. (patrz niżej). Otóż Iyotisza powiada, że najdłuższy dzień równa się 18 „muhurtom". Ponieważ doba zawiera 30 „muhurt", więc 18 „muhurt" = 14 godzin i 24 minuty. Jest to dokładnie ta sama wartość, którą przyjmują astronomowie babilońscy II wieku przed Chr. dla Babilonu i którą podaje także P t o l e m e u s z. Właściwie pod szerokością Babilonu (32°,5), przy ówczesnem nachyleniu ekliptyki najdłuższy dzień astronomiczny równał się 14 godz. 10 min., ale data babilońska jest zapewne wzięta z obserwacyi. Otóż rzeczywisty dzień jest dłuższy od astronomicznego 1-mo z powodu refrakcyi, która przyspiesza widomy wschód a opóźnia widomy zachód słońca, 2-do z powodu, że słońce nie jest punktem a ciałem o skończonych rozmiarach, więc górna jego krawędź jest już albo jeszcze widoczną wtedy, gdy środek znajduje się jeszcze albo już pod horyzontem. Oprócz tego wysokie położenie babilońskich obserwatoryów na terasach świątyń przyczyniało się też do przedłużenia dnia.

Wiadomo, że długość dnia wogóle, a więc także długość najdłuższego dnia zależy od geograficznej szerokości. Gdyby wartość podana w Iyotiszy pochodziła z indyjskich obserwacyi, to wielce dziwnem byłoby, aby obserwatoryum znajdowało się właśnie pod szerokością Babilonu; gdyby zaś była obliczona, to byłoby jeszcze dziwniejszem, że ów astronom obliczał ją dla jakiegoś punktu w Kaszmirze czy Tybecie, bo najdłuższy astronomiczny dzień równa się 14 godzinom 24 min. mniej więcej pod szerokością 35°. Oczywiście Indusi poprostu zapożyczyli babilońską datę nie wiedząc o tem, że odnosi się ona tylko do pewnej określonej szerokości. Zupełnie ten sam błąd popełnili także Chińczycy, którzy również i prawdopodobnie za Indusami powtarzają babilońską datę bez żadnej zmiany.

Iyotisza zna już rok słoneczny 366 dniowy, zna także miesiąc gwiazdowy liczący $27^{21}/_{67}$ dni i synodyczny liczący $29^{16}/_{81}$ dni. Pięć lat słonecznych, t. j. 1830 dni tworzą jedną „yugę", ta zaś równa się 67 miesiącom gwiazdowym lub 62 synodycznym (lunacyom). Prócz tego Iyotisza zna jeszcze inne rodzaje roku, których atoli rozważać nie warto, bo żadnego realnego znaczenia nie mają. Ziemię wyobrażali sobie autorzy Iyotiszy jako płaską, pośrodku jej wznosi się góra Meru. Szczyt tej góry odgrywa poniekąd tę samą rolę, co w naszych pojęciach biegun północny. W. J. Maunder[1] przypuszcza, że Indusi oraz inne ludy Wschodu wyobrażali sobie ziemię jako podwójną piramidę. W takim razie góra Meru byłaby wierzchołkiem jednej z piramid; ale jest to bodaj jeden z tych przypadków, w których autor czyta między wierszami starych tekstów.

W pierwszych stuleciach naszej ery następuje nagła i radykalna zmiana. Pojawia się „Surya Siddhanta", dzieło zawierające bez porównania obszerniejsze i dokładniejsze wiadomości astronomiczne i matematyczne, aniżeli te, które znajdują się w dawniejszych dziełach. Późniejsze „Siddhanty" jako to „Arya S., Brama S., Romaka S.[2] i t. d." przedstawiają pewne, ale stosunkowo nieznaczne postępy w porównaniu ze „Suryą S." Właściwie około VI czy VII wieku po Chr. astronomia indyjska dochodzi do swego zenitu. Wszystko co Indusi później pisali, to tylko komentarze, uzupełnienia i przeróbki dawnych dzieł.

„Surya Siddhanta" a tak samo późniejsze „Siddhanty" ma specyficznie indyjską, zawiłą i niejasną formę, ale treść jej zdradza obce pochodzenie. Ks. F. X. Kugler okazał, że miesiąc synodyczny podany w „Suryi S." jest identyczny z babilońskim z III wieku przed Chr., gwiazdowy jest tylko o sekundę krótszy a anomalistyczny o dwie sekundy dłuższy. Najwięcej, bo o kilkanaście sekund różni się miesiąc smoczy[3] (drakoniczny). Mógłby kto powiedzieć,

---

[1] The Earliest Cosmologies. Vide referat Maundera w Observatory. 1910, str. 318—321 i artykuł S. Sitaramaiya. The Hindu Mount Meru w tymże tomie, str. 408.

[2] Romaka = rzymska!

[3] Miesiąc synodyczny jest to średni przeciąg czasu pomiędzy dwoma następującemi po sobie jednakowemi fazami księżyca np. pomiędzy dwoma pełniami. Miesiąc gwiazdowy jest to średni przeciąg czasu, w ciągu którego księ-

że ta zgodność niczego nie dowodzi, bo jeżeli Indnsi mogli zapożyczyć od Babilończyków, to równie dobrze mogli Babilończycy zapożyczyć od Indusów. Zarzut ten mógłby ujść za słuszny, gdyby oprócz tych paru dat nic nie pozostało ze starej babilońskiej i starej indyjskiej astronomii. Ale jeżeli porównamy ogół znanych babilońskich tekstów ze „Suryą Siddhantą“ i innymi pomnikami indyjskiej wiedzy, to zaraz spostrzeżemy, że tamto oryginały a to kopie. W babilońskich tekstach prócz rezultatów widzimy metody i rachunki, za pomocą których je otrzymano, a w indyjskich są przedstawione tak, jak gdyby spadły z nieba. Ostatnią uwagę należy pojmować nietylko w przenośnem, ale i w dosłownem znaczeniu, albowiem autor czy autorzy „Suryi S.“ rzeczywiście przedstawiają jej treść jako „objawioną“ przez słońce.

Nie należy sądzić, aby „Surya S.“ zdradzała tylko wpływy babilońskie; przeciwnie zdradza bezwątpienia i to we wyższym jeszcze stopniu wpływy greckie. Wszystko, co się w niej znajduje, można odszukać w greckich dziełach. Nawet terminy są po części żywcem wzięte z greckiego języka, np. „kentra“ (*τό κέντρον*), „krija“ (*κριός* = baran) i t. d.

Być może, że nawet to, co pochodzi z Babilonu, przyszło do Indyi przez pośrednictwo Greków, bo — jak się zdaje — Surya Siddhanta została napisana między II a IV wiekiem po Chr., t. j. w czasach, gdy helenistyczna kultura panowała na bliższym Wschodzie. Bliżej określić czas jej powstania nie możemy, przytoczymy tylko pewną ważną uwagę Biota. Oto S. Siddhanta nie zna ewekcyi księżyca i niektórych innych rzeczy znanych Ptolemeuszowi. Autor wcześniejszy od Ptolemeusza, albo współczesny mu, albo żyjący nie długo po nim mógł jeszcze nie znać dzieł Ptolemeusza, ale u autora piszącego w paręset lat później taka ignorancya byłaby dziwną, bo, jak wiadomo, — *Μεγάλη Σύνταξις* (Almagest) wprędce wyparła inne starsze kompendya i podręczniki. Być może, że autor czy autorowie Suryi Siddhanty czerpali właśnie z owych przedptolemeuszowych dzieł, które nie dochowały się do naszych czasów, bo ich po Ptolemeuszu już nie przepisywano.

życ opisuje całe koło. Miesiąc anomalistyczny jest to średni przeciąg czasu między dwoma po sobie następującemi apogaeami (największemi oddaleniami księżyca od ziemi). Miesiąc smoczy, to średni przeciąg czasu między dwoma po sobie następującemi przejściami księżyca przez ten sam węzeł. Węzłami zaś nazywamy punkty, w których droga księżyca przecina ekliptykę.

2*

Wspomnieliśmy wyżej, że podane w S. Siddhancie peryody ruchu księżyca są bardzo nieznacznie różne od babilońskich. Warto zaznaczyć, że te peryody są podane w inny sposób, aniżeli my je podajemy. My np. powiadamy, że miesiąc gwiazdowy wedle S. Siddhanty wynosi 27 dni, 7 godz., 43 min. i 13 sek. Liczb tych ani wogóle żadnych podobnych w Siddhantach nie znajdziemy. Natomiast Indusi powiadają, że w ciągu jednej „mahayugi" t. j. w ciągu 4320000 lat księżyc obiega ziemię 57753336 razy i t. p. W naszych oczach ten sposób wyrażania się jest nieracyonalny, bo wiemy, że czasy obiegów ciał niebieskich są niewymierne, ale w praktyce wychodzi to na jedno i to samo, bo gdy dzielna jest tak wielka jak tu, to można zawsze dobrać dzielnik w taki sposób, aby iloraz wyrażał dany peryod z dostateczną dokładnością.

Charakterystycznemi dla indyjskiej astronomii są także urojone konjunkcye[1] wszystkich planet, księżyca i słońca, jakoby powtarzające się co ćwierć „mahayugi"; ale i to w praktyce nie jest szkodliwe, bo wedle S. Siddhanty najbliższa do naszych czasów urojona konjunkcya, jakoby zdarzyła się w r. 3102 przed Chr. na początku obecnego „żelaznego wieku". Inne Siddhanty podają dla tej urojonej konjunkcyi nieco inne daty.

Wreszcie charakterystycznym jest sposób, w jaki Indusi tłómaczą rozmaite osobliwości pozornego ruchu ciał niebieskich, mianowicie tłómaczą zboczenia od średniego, jednostajnego ruchu przez działanie pewnych istot (demonów).

Długość roku gwiazdowego[2] Surya Siddhanta podaje na 365 dni, 6 godz., 12 min., 36,5 sek.[3], inne Siddhanty podają mało

---

[1] Mówimy że dwie planety są w konjunkcyi w rektascensyi, gdy obie jednocześnie przechodzą przez ten sam południk, że są w konjunkcyi w długości, gdy obie jednocześnie przechodzą przez to samo koło szerokości t. j. gdy mają (chwilowo) tę samą długość. Planeta, słońce, księżyc może być także w konjunkcyi z gwiazdą, gdy przechodzi przez koło szerokości gwiazdy. O konjunkcyach gwiazd z gwiazdami nie mówimy, bo byłyby to konjunkcye stałe.

[2] Rok gwiazdowy jest to ten okres czasu, w ciągu którego słońce powraca na to samo miejsce wśród gwiazd. Rok tropiczny jest to średni okres czasu, który upływa między dwoma po sobie następującemi wiosennemi porównaniami dnia z nocą. Jest on krótszy od roku gwiazdowego, bo wskutek precesyi punkty równonocne powoli posuwają się po ekliptyce na spotkanie słońca. Nasze kalendarze stosują się do roku tropicznego a nie do gwiazdowego.

[3] Obecnie przyjęta długość roku gwiazdowego jest: 365 dni 6 godzin 9 min. 10,7 sek.

różne liczby. Długość roku tropicznego podaje tylko jedna Romaka-Siddhanta, mianowicie na 365 dni, 5 godz., 55 min., 12 sek., ale wszystkie Siddhanty wiedzą już, że rok tropiczny jest krótszy od gwiazdowego, t. j. znają precesyę. Warto zauważyć, że długość roku tropicznego w Romaka-Siddhanta jest dokładnie ta sama, co u Hipparcha [180?—125? przed Chr.].

Za naszych czasów w niektórych okolicach Indyi ludność trzyma się roku księżycowego. Rok ten ma albo dwanaście miesięcy księżycowych a wtedy liczy 354 lub 355 dni, albo też trzynaście i wtedy liczy 383, 384 lub 385 dni. W innych okolicach, np. w Bengalu przyjętym jest rok słoneczny liczący 365 lub 366 dni. Reguły rozstrzygające o ilości dni w roku, względnie miesięcy, o ile chodzi o rok księżycowy, a tak samo reguły rozstrzygające o ilości dni w poszczególnych miesiącach są nazbyt zawiłe, aby je można było w krótkości wyłożyć.

Można powiedzieć, że astronomia indyjska zatrzymała się na tym samym stopniu, na którym utknęła astronomia grecka. Wskutek tego choć astronomowie indyjscy mogą przepowiadać zaćmienia, jednakże nie zawsze trafnie, a gdy chodzi o zaćmienie słońca, to nie są w stanie dokładnie oznaczyć ani pasa widzialności, ani pasa całkowitego zaćmienia i t. d. [1]

4. Astronomia egipska.

Jeszcze mniej niż o indyjskiej możemy powiedzieć o astronomii egipskiej. Ślady, które po niej pozostały, świadczą, że zakres jej był bardzo szczupły. Egipcyanom chodziło o cel praktyczny, o kalendarz; zajmowali się astronomią o tyle, o ile to było potrzebne dla kontroli kalendarza. Prócz tego są ślady, że wyznaczali czas z kulminacyi gwiazd. Naturalnie wobec braku dokładnych narzędzi i — dodajmy — dokładnych efemeryd, rezultaty musiały być bardzo niedokładne. Charakterystycznem jest to, że niema śladów obserwacyi zaćmień księżyca i słońca [2]. Widocznie Egipcyanie nie wiedzieli, że to jest najłatwiejsza droga do wykrycia peryodów ruchów księżyca i słońca. Najlepszym dowodem jak ubogą była astronomia

[1] Naturalnie za naszych czasów ratują się w potrzebie zaglądając do naszych kalendarzy astronomicznych.

[2] Zresztą i Indusi w starożytności także nie obserwowali zaćmień.

egipska jest fakt, że Ptolemeusz, który urodził się i żył w Egipcie, mówi tylko o obserwacyach babilońskich i greckich, a o egipskich nawet nie wspomina. Najważniejszemi obserwacyami były obserwacye heliakalnych wschodów Syryusza, które służyły Egipcyanom do wyznaczenia i kontrolowania długości roku gwiazdowego.

Być może, że Egipcyanie początkowo mieli rok księżycowy; ale jeżeli go mieli, to ślady po nim zaginęły. Zresztą jasną jest rzeczą, że wylewy Nilu musiały bardzo wcześnie naprowadzić Egipcyan na rok słoneczny. Przypuszczają także, że przez pewien czas mieli krągły rok 360-dniowy, a to na podstawie następującego argumentu. Miesiące egipskie mają po 30 dni, w końcu roku dodawano pięć dni dodatkowych (epagomenów), które uchodziły za feralne.

Oprócz tego w niektórych napisach, odnoszących się do kalendarza [dekret z Kanopus w sprawie reformy, o której będzie niżej mowa] są zwroty, które przy pewnej dobrej chęci można tak interpretować, jak gdyby owe 5 dni zostały później dodane. Jednakże tak jedno jak drugie daje się wytłómaczyć bezporównania prościej. Licząc dni, które upływały od pewnej fazy wylewu Nilu do tej samej fazy w roku następnym [wyobraźmy sobie np. że liczyli od dnia, w którym Nil pokrywał pewien kamień do dnia, gdy znowu go pokrywał] mogli Egipcyanie już po kilkunastu latach spostrzedz, że wylew powtarza się co okres czasu średnio z pewnością większy niż 360 dni, ale ile dni należy przyjąć ponad 360, tego odrazu określić nie mogli. Wobec tego mogli łatwo wpaść na pomysł, aby podzielić rok na 12 miesięcy po 30 dni[1], a w końcu roku stosownie do potrzeby dodawać kilka dni. Byłby to tedy niestały rok Nilowy, liczący nie mniej jak 360, zazwyczaj więcej, niekiedy 370 i ponadto dni. Dopiero później, może już przy pomocy obserwacyi heliakalnych wschodów Syryusza spostrzeżono, że liczba dni dodatkowych powinna wynosić około pięciu. Wtedy ustalono liczbę dni w roku na 365. Po dalszych paruset latach naturalnie spostrzeżono, że rok 365-dniowy jest za krótki; ale ponieważ nie umiano rozpoznać, o ile jest za krótki, więc nic lepszego nie obmyślono. Były zapewne próby reformy, ale widocznie nieudatne. Niedaremnie przecie (w niektórych przynajmniej epokach)

[1] Czy przytem współdziałały jakie wpływy babilońskie trudno powiedzieć, bo przecie nikt nie wie gdzie i kiedy najpierw wszedł w użycie zwyczaj liczenia na „kopy" (sześćdziesiątki) „pół kopy" (trzydziestki) i t. d.

kapłani odbierali od nowowstępującego na tron faraona przysięgę, że kalendarza zmieniać nie będzie.

Rzecz prosta, że przy takim porządku tak Nowy Rok jak inne święta przypadały na coraz to inne pory roku, np. święto zimowe przesuwało się na jesień, potem na lato i t. d Pisarze starożytni niejednokrotnie podnoszą tę osobliwość, dziwując się, że taki porządek nie wydawał się Egipcyanom niedogodnym, ale ludność tak przyzwyczaiła się do niego, że reforma kalendarza przedsięwzięta — i to przy współudziale kapłanów — przez Ptolemeusza III Euergetesa w 238 przed Chr. (do niej to odnosi się ów dekret z Kanopus) nie powiodła się z powodu oporu ludności. Przeprowadził ją dopiero cesarz August w urzędowych i publicznych stosunkach, w prywatnych trzymano się starego niezmiennego roku jeszcze przez setki lat. Reforma Ptolemeusza III posłużyła za wzór dla tej, którą potem przeprowadził w Rzymie Juliusz Cezar. Polegała ona na tem, aby co cztery lata do pięciu epagomenów dodawać szósty.

W celu rozpoznania długości roku Egipcyanie obserwowali heliakalne wschody Syryusza. Że właśnie Syryusz został obrany za gwiazdę miarodajną, to nic dziwnego, bo jest to najświetniejsza z gwiazd stałych, zatem najlepiej nadająca się do obserwacyi heliakalnego wschodu. Przytem była to gwiazda zdawna poświęcona bogini Izydzie.

Naturalnie tą drogą t. j. przez obserwacye Syryusza Egipcyanie nie mogli dojść do poznania roku tropicznego, od którego zależą pory roku, ani nawet do poznania roku gwiazdowego, tylko do poznania Syryuszowego roku, który jest nieco krótszy od roku gwiazdowego. Nieznaczna różnica między rokiem Syryuszowym a gwiazdowym nie powinna nas dziwić, pochodzi ona stąd, że Syryusz ma ruch własny i że precesya ma niejednakowy wpływ na pozycye różnych gwiazd.

Rok Syryuszowy, t. j. mówiąc inaczej, odstęp czasu między dwoma heliakalnymi [1] wschodami Syryusza, jest obecnie tylko o ja-

---

[1] Ponieważ gwiazdy okrążają ziemię w ciągu czasu krótszego niż ten, w ciągu którego okrąża ją słońce, więc wschód a tak samo zachód gwiazdy przypada na coraz to wcześniejsze godziny. Gwiazda, która wschodzi dziś po słońcu, przez kilka dni będzie wschodzić razem ze słońcem, potem przed słońcem i t. d. Póki wschodzi po lub razem ze słońcem, to naturalnie wschód jest niewidzialny, — pierwszy już widzialny wśród blasków jutrzenki wschód gwiazdy nazywa się „heliakalnym wschodem".

kie $2^3/_4$ minuty dłuższy od roku juliańskiego wynoszącego $365^1/_4$ dni [1], a w XXXIII wieku przed Chr. był mu nawet równy. Jeżeli przyjmiemy $365^1/_4$ dni jako wartość roku Syryuszowego, to okaże się, że 1460 lat Syryuszowych równają się 1461 latom egipskim 365-dniowym. Ten okres czasu, to tak zwany „wielki rok Sothisa", Egipcyanie bowiem nazywali Syryusza „Sopdet", co Grecy przekręcili na „Sothis". Wedle świadectwa Censorinusa, autora z III wieku po Chr. — w 139 roku naszej ery Egipcyanie obchodzili początek nowego „wielkiego roku Sothisa". Nasuwa się pytanie, który wielki rok Sothisa zaczął się w 139 r. po Chr., czy pierwszy, czy drugi, czy trzeci, czy czwarty.

Kapłani egipscy opowiadali Herodotowi (484—406 r. przed Chr.), że od zaprowadzenia roku 365-dniowego Syryusz już cztery razy wschodził heliakalnie 1-go Thoth, t. j. na Nowy Rok egipski. Możnaby stąd wywnioskować, że rok 365-dniowy został zaprowadzony na więcej niż 5701 lat przed Chr. Ale ten wniosek nie jest bynajmniej pewny, bo wedle kalendarza egipskiego (t. j. przy roku 365-dniowym) data heliakalnego wschodu Syryusza przez cztery lata z rzędu stoi na tym samym dniu miesiąca a dopiero w piątym przeskakuje na następny dzień miesiąca. Zatem gdyby rok 365-dniowy zaprowadzono tylko na parę lat przed r. 1321 przed Chr., to możnaby powiedzieć, że od tego czasu heliakalny wschód Syryusza cztery razy przypadał na 1-szy Thoth.

Więc o starożytności ery Sothisa z powyższej wzmianki Herodota nic wywnioskować nie można. Z drugiej strony ani w napisach, ani w papyrusach egipskich, ani u autorów klasycznych niema żadnej wzmianki ani o erze Sothisa, ani o tak dawnej znajomości roku Syryuszowego. Tylko matematyk Theon z Aleksandryi, który żył w IV wieku po Chr., nazywa lata liczone od 1321 przed Chr. „*ἀπὸ Μενοφρέως*" t. j. tak, jak gdyby ten rok właśnie o 1460 lat od r. 139 po Chr. wcześniejszy był początkiem ery. W takim razie atoli w r. 139 po Chr. mielibyśmy koniec nie czwartego a pierw-

---

[1] Th. v. Oppolzer (1841—1886). Über die Länge des Siriusjahres... Sitzb. Wien. Akad. II Abt. Jahr. 1884, str. 557—584, spec. str. 576. — Słusznie podnosi Oppolzer, że rok Syryuszowy był podstawą juliańskiego kalendarze i — dodajmy — poprzedniej reformy Ptolemeusza III Euergetesa. Starożytni z pewnością uważali go za dokładnie równy 365,25 dniom, bo drobnych różnic nie mogli wcale skonstatować. W celu określenia długości roku obserwowano heliakalne wschody Syryusza także w Babilonie.

szego wielkiego roku Sothisa. Zresztą należy zauważyć, że dotąd nie udało się zidentyfikować owego „Menofresa“ ze żadnym z faraonów i że niektórzy podejrzywają, iż owa era „ἀπὸ Μενοφρέως“ to fabrykat późniejszych czasów.

Sceptycy nawet powiadają, że Egipcyanie poznali długość roku Syryuszowego bardzo późno, może dopiero za czasów Ptolemeuszów pod wpływem astronomii greckiej i że ustanowili początek nowego wielkiego roku Syryuszowego na rok 139 po Chr. dlatego, iż wiedzieli z góry, iż w roku tym heliakalny wschód Syryusza w Memphis zdarzy się właśnie w sam dzień Nowego Roku egipskiego.

Być może, że sceptycy mają racyę, ale twierdzić tego nie mogę, bo mamy niewątpliwe ślady obserwacyi egipskich z XIII wieku przed Chr., o których będzie mowa niżej, a z drugiej strony sądzę, że już po kilkudziesięciu lub paruset latach obserwacyi Egipcyanie mogli się przekonać, że data heliakalnego wschodu Syryusza po czterech latach przeskakuje na następny dzień miesiąca, a więc że rok Syryuszowy jest o ćwierć dnia dłuższy od roku 365-dniowego.

W grobach Ramzesa VI i IX w Tebach (XIII wiek przed Chr.) znaleziono napisy, zawierające tablice godzin kulminacyi gwiazd na cały rok w odstępach czasu co 15 dni. Powiadamy „godzin kulminacyi“, bo tablica składa się z takich mniej więcej napisów. „Dnia... o godzinie [1]... gwiazda... pośrodku“, albo „Dnia... o godzinie... gwiazda... nad lewem okiem“ i t. d. Wyrażenia „nad lewem okiem, nad prawem uchem i t. d.“ byłyby zupełnie niezrozumiałe i bezsensowne, gdyby chodziło o wschód lub zachód gwiazdy, natomiast są zupełnie zrozumiałe i sensowne, jeżeli chodzi o kulminacye gwiazdy nad czubkiem głowy, nad lewem okiem, uchem i t. d. pomocnika stojącego opodal od obserwatora na linii południkowej. Prymitywne narzędzia, pochodzące ze VI wieku przed Chr. a służące do wyznaczenia południka i wogóle kierunków, opisał L. Borchardt [2]. Na podstawie rysunku znajdującego się w je-

[1] Egipcyanie znali godziny czasowe (horae temporales) t. j. dzielili dzień na 12 równych części a noc także na 12 równych części. Naturalnie w zimie nocne godziny były dłuższe od dziennych, w lecie odwrotnie.

[2] L. Borchardt. Ein altägyptisches astronomisches Instrument. Zeitschrift f. ägypt. Sprache und Altertumskunde, Tom 37 (1899), str. 10—17.

Romieu. Calcul de l'heure chez les anciens égyptiens. Recueil de travaux relatifs à la philologie et l'archeologie egyptiennes et assyriennes. Tom 24 (1902) str. 135—142.

dnym ze wspomnianych grobów Ramzesów Borchardt opisuje domniemaną metodę obserwacyi samego przejścia gwiazdy przez południk [kulminacya gwiazdy to to samo, co przejście przez południk].

Sam fakt istnienia podobnych tablic dowodzi długoletnich poprzednich obserwacyi, bo wprawdzie materyał potrzebny do ułożenia tablicy można zebrać w ciągu kilkunastu lub nawet kilku lat, ale z pewnością nie mało czasu stracono na nieudatne próby. Zachodzi pytanie, w jaki sposób ówcześni Egipcyanie doszli do świadomości, że odstępy czasu pomiędzy kulminacyami gwiazd *a* i *b*, *b* i *c* i t. d. są równe, względnie nierówne. Na to odpowiemy, że 1-mo mogli mieć wodne klepsydry, t. j. przyrządy mierzące czas (naturalnie niebardzo dokładnie) ilością wyciekającej wody. 2-do Nawet bez klepsydr mogli oceniać odstępy czasu, poprostu licząc własne oddechy lub uderzenia serca. 3-io Mogli oceniać czas przy pomocy gwiazd. Wyobraźmy sobie np. trzy gwiazdy *a*, *b* i *c* na jednym równoleżniku. Założmy, że oceniliśmy „od oka" odległości kątowe pomiędzy *a* i *b*, *b* i *c* i znaleźliśmy, że odległość *ab* jest dwa razy mniejsza od odległości *bc*. Następnie obserwujemy przejście przez południk (np. sposobem opisanym przez Borchardta) gwiazd *a*, *b* i *c*. Wtedy wiemy, że od przejścia gwiazdy *a* do przejścia gwiazdy *b* upłynął czas dwa razy krótszy niż od przejścia *b* do przejścia *c*). Konsekwentnie postępując można tą metodą dojść do podzielenia nocy na 12 równych części. Wprawdzie trudno jest dobrać gwiazdy tak, aby właśnie na koniec każdej godziny przypadało przejście jakiejś gwiazdy przez południk, ale właśnie owe wyrażenia „nad lewem okiem, uchem i t. d." wskazują nam, w jaki sposób radzili sobie Egipcyanie. Mianowicie godzina kończyła się nie wtedy, gdy gwiazda przechodziła przez południk, a wtedy gdy znajdowała się nad okiem, uchem i t. d. pomocnika, t. j. na pewnej odległości od południka.

W gruncie rzeczy Egipcyanie XIII wieku przed Chr. wyznaczali czas tym samym sposobem co i my, tylko narzędzia i metoda były bezporównania mniej dokładne. Owe tablice kulminacyi gwiazd w grobach Ramzesów, to poprzedniczki naszych efemeryd (kalendarzy astronomicznych). Jak na owe czasy, to dużo, ale po tych początkach nie było dalszego ciągu. Swego czasu Grecy np. Eudoxus z Knidos (408—355? przed Chr.) jeździli do Egiptu uczyć się astronomii, ale później zupełnie wyprzedzili swoich mistrzów. Egipcyanie nie wznieśli się nigdy nawet do tego stopnia rozwoju, do którego doszli Babilończycy.

Podobnie jak Chińczykom i wielu innym ludom zbywało im na tej „ciekawości“, która jest koniecznym warunkiem rozwoju nauki, a którą w tak wysokim stopniu odznaczali się Grecy. Dążyli do celów praktycznych, do wyznaczenia długości roku, do mierzenia czasu, ale nie starali się „poznać“ li tylko dla przyjemności poznania. W mnóstwie odczytanych egipskich papyrusów i nadpisów nigdzie nie znaleziono śladów spekulacyi geometrycznych, bez których prawdziwa teorya ruchów planetarnych obejść się nie może. Znane mi ślady jakichkolwiek teoryi ograniczają się do dwóch. Wedle Diodora sycylijskiego Egipcyanie zdawna posiadali system planetarny, w którym najbliższem od ziemi ciałem jest księżyc, potem słońce, Mars, Jowisz i Saturn. Wszystkie te ciała krążą naokoło słońca i dopiero razem z niem poruszają się naokoło ziemi.

Ten sam system propagował potem w Grecyi — Heraklides z Pontu[1] (um. koło 320 r. przed Chr.). Także Martianus Capella [pisarz V wieku po Chr.] porzuca powszechnie panujący wówczas system Ptolemeusza a przyjmuje system w gruncie rzeczy identyczny z egipskim. Czy znał egipski system, nie wiem.

Po drugie w pewnym starym papyrusie egipskim znajduje się wzmianka, że „ziemia swobodnie żegluje“. Jakie konsekwencye można wyciągnąć z tej wzmianki, to się nie da osądzić[2].

Lepsius (1810—1884) sądził, że Egipcyanie znali precesyę, ale to czysta konjektura, której niczem poprzeć nie można. L. tłómaczył sobie w ten sposób niektóre sprzeczności w tradycyach odnoszących się do sfer współśrodkowych Eudoxusa.

5. Początki astronomii babilońskiej.

Astrognozya t. j. znajomość gwiazd i konstelacyi[3] oraz niektóre wiadomości stojące w bezpośrednim związku z kalendarzem

---

[1] G. V. Schiaparelli. Origine del Sistema planetario eliocentrico. Mem. del. R. Istituto Lombardo. Ser. III, tom XVIII, zeszyt 5-ty.

[2] G. V. Schiaparelli. Le sfere omocentriche... Publ. del. Osservatorio di Brera, Nr. IX, Medyolan, 1875, str, 6.

[3] O wizerunkach konstelacyi na kamieniach granicznych mówiliśmy wyżej. Drogę mleczną przedstawia wielki wąż.

istniały wszędzie[1] od najdawniejszych czasów. Wszędzie zjawiska niebieskie służyły za oznakę zbliżania się nowej pory roku, za sygnały do pewnych robót polnych. Heliakalny wschód Syryusza zapowiadał Egipcyanom bliski wylew Nilu, heliakalny wschód Plejad zwiastował Grekom porę żniw, a kosmiczny[2] zachód tejże konstelacyi porę siejby i t. d. Ale podczas gdy wiele ludów nie doszło nigdy do dokładniejszego określenia długości roku i miesiąca, ani do rozpoznania, że gwiazda wieczorna i poranna to w istocie jedna i ta sama planeta Wenus, Babilończycy nietylko doszli do tych wiadomości, ale zrobili dużo więcej, prawda, dopiero w ostatnich kilku wiekach przed Chr. Astronomia ich rozwinęła się z astrologii. Podobnie jak z wyglądu[3] wątroby zwierzęcia ofiarnego, albo z kształtu kropel oliwy lanej na wodę, tak samo wróżyli też ze zjawisk niebieskich i w tym celu pilnie obserwowali i zapisywali zaćmienia, komety, meteoryty, konjunkcye planet, fazy księżyca, jego wygląd i t. d. i t. d. Jednocześnie zapisywali następujące po nich zdarzenia, bo kierując się zasadą „quia post hoc, ergo propter hoc". wierzyli, że gdy powtórzy się zjawisko niebieskie, to powtórzy się też zdarzenie.

Najdawniejszy znany nam traktat astrologiczny jest częścią wielkiego dzieła o wróżbach, pochodzącego z biblioteki assyryjskiego króla Assur-bani-pala (668—626). Zawiera on drobiazgową wróbiarską kazuistykę, bo nie dość na tem, że każde zjawisko niebieskie miało znaczenie jako „omen"; wiele zależało od tego, w jakim miesiącu, w jakim dniu miesiąca, w jakiej porze dnia lub nocy się zdarzyło. Niema wątpliwości, że do traktatu, o którym mówimy, weszły rozmaite dawniejsze, może nawet bardzo dawne składniki, ale ustalić ich wieku niepodobna, bo nigdzie niema dat, zaś częste powoływania się na bohatera wielu legend, napół mitycznego króla Sargona (około 2500 r. przed Chr.) z Agady (Akkad) oraz archai-

[1] Sir Norman Lockyer twierdzi, że Stonehenge i wiele innych megalitycznych pomników w Anglii, Szkocyi, Irlandyi i Bretanii są to właściwie odwieczne obserwatorya z drugiego i trzeciego tysiącolecia przed Chr. Twierdzenie to opiera się jednak na wysoce niepewnych hypotezach. Patrz Nature, tomy od 71 do 80 włącznie, oprócz tomu 76.

[2] Kosmicznym zachodem gwiazdy nazywa się pierwszy w roku zachód, widzialny przed wschodem słońca.

[3] Por. A. Ungnad. Die Deutung der Zukunft bei den Babyloniern und Assyrern. Der alte Orient, tom X, zeszyt 3.

zmy w stylu, w nazwach krajów i miast są oczywiście umyślnie dorobione, względnie zachowane w celu nadania wróżbom większej powagi.

Dochowały się także do naszych czasów raporty astrologów swemu naczelnikowi oraz naczelnika królowi. Niestety daty obserwacyi, z których zdawano sprawę, są niezupełne: miesiąc i dzień miesiąca jest, ale godziny i roku niema. Oznaczano porę dnia: „rano, w południe“ i t. d., a w nocy podawano „straże“. Noc dzieliła się na trzy straże, które naturalnie w zimie były dłuższe a w lecie krótsze. Roku nie zapisywano oczywiście dlatego, że nie miał znaczenia jako „omen“. Zwyczaj zapisywania roku utrwalił się dopiero w późniejszych czasach.

U autorów starożytnych przechowała się tradycya [1] jakoby po zajęciu Babilonu przez Aleksandra macedońskiego Kallistenes przesłał Arystotelesowi obserwacye babilońskie za 1903 lata. Powątpiewano o tem głównie dlatego, że najdawniejsze obserwacye babilońskie, któremi Ptolemeusz się posługuje, są to trzy zaćmienia księżyca z lat 721 i 720 r. przed Chr., zatem tylko o czterysta lat starsze od Aleksandra.

Sam Ptolemeusz powiada tylko, że z dawnych obserwacyi babilońskich wybrał trzy, które wydały mu się najlepszemi; innych szczegółów nie podaje. Być może jednak, że znał a przynajmniej wiedział o istnieniu wieloletnich dawnych obserwacyi, ale skorzystać z nich nie mógł bądź dla braku dat, bądź dlatego, że daty były nazbyt niepewne. Wielce znamienną jest ta okoliczność, że kanon królów babilońskich, perskich i t. d. podany przez Ptolemeusza poczyna się od wstąpienia na tron Nabonassara w r. 747 przed Chr., t. j. od daty tylko o 26 lat wcześniejszej niźli data najstarszego zaćmienia księżyca cytowanego w Almageście. Przypuszczam, że chronologia przed Nabonassarem była nazbyt niepewną. Wszak aż do IV wieku przed Chr. Babilończycy nie posiadali żadnej ery. W trzeciem i drugiem tysiącoleciu przed Chr. oznaczano lata przez ważniejsze zdarzenia, a więc jeden rok był rokiem zburzenia miasta X, drugi rok rokiem założenia świątyni Y i t. d. Posiadamy np. mnóstwo dokumentów [na tabliczkach ceglanych]

---

[1] Podaje to Symplicyusz, który pisał w pierwszej połowie VI wieku po Chr. na podstawie świadectwa Porfiryusza (232 lub 233—304 po Chr.). Należy zauważyć, że w nie wszystkich kodeksach to miejsce brzmi jednakowo. W niektórych stoi 31000 lat (??!!).

i napisów z czasów sumeryjskiej[1] dynastyi z miasta Ur. Znamy nazwiska tych władców i mnóstwo zdarzeń z ich czasów; trudno jednakże ustalić ile lat kto z nich panował, a jeszcze trudniej ustalić epokę. Zdaje się, że panowali między 2400 a 2100 r. przed Chr. W Assyryi od XII wieku przed Chr., a prawdopodobnie i wcześniej istniał zwyczaj oznaczać lata imionami zmieniających się corocznie urzędników, zwanych „limu". Zatem podobnie jak w Rzymie rok np. bitwy kanneńskiej był rokiem konsulów Warrona i Pawła Emiliusza, tak w Assyryi każdy rok był rokiem pewnego eponyma („limu"). Szczątki list eponymów dochowały się do naszych czasów. H. C. Rawlinson (1810—1895) i G. Smith złożyli listę 227 eponymów współczesnych 14 królom a sięgającą od 893 do 666 r. przed Chr. Czy Ptolemeusz, albo — powiedzmy ogólniej — uczeni, z których dzieł czerpał, nie znali list assyryjskich eponymów, czy też były już wówczas w owych listach jakieś luki lub inne powody do wątpliwości, nie wiemy. Faktem jest tylko to, że chronologia Ptolemeusza nie sięga poza rok 747 przed Chr.

Bardzo być może, że Ptolemeusz znał zaćmienie słońca w miesiącu Sivan za eponyma Pur-an-sagale (VIII wiek przed Chr.) i „zaćmienie 26 Sivan 7 roku...", ale nie mógł określić ich daty. Współcześni astronomowie znajdują się w położeniu o tyle lepszem, że mają o wiele dokładniejszą teoryę księżyca niż Ptolemeusz. Zaćmienie za eponyma Pur-an-sagale w Niniwie, zapomocą którego oznaczono zresztą epokę listy eponymów, było to prawie niewątpliwie zaćmienie 15 czerwca [juliańska data] 763 r. Identyfikacya drugiego zaćmienia jest mniej pewną. Odnośny tekst assyryjski pochodzi prawdopodobnie z XI wieku przed Chr. P. H. Cowell[2] twierdzi, że to jest zaćmienie 31 lipca 1063 r. przed Chr., przyczem głównym jego argumentem jest to, że wedle tekstu zaćmienie musiało być całkowitem. Mianowicie tekst powiada wy-

---

[1] W najdawniejszych historycznych czasach północną Babilonię zamieszkiwał semicki lud Akkad, w południowej mieszkali — może tylko jako klasa panująca — Sumerowie. Był to lud nie semicki, ale jakiego szczepu — niewiadomo. Pismo klinowe wynaleźli Sumerowie. Rządy owej dynastyi z Ur oznaczają jakby powrót Sumerów do władzy, ale to kwestya historyczna, która do nas nie należy.

[2] Secular accelerations of the Moon's Longitude and Node. Montlly Notices R. A. S., tom 65, str. 861—867.

On ancient eclipses. To samo czasopismo, tom 66, str. 473—475.

raźnie: „z dnia stała się noc, widziano ogień pośrodku nieba“. Ogień pośrodku nieba, to korona słoneczna widzialna tylko w czasie zaćmień całkowitych. Tymczasem z pomiędzy zaćmień końca XII i pierwszej połowy XI wieku przed Chr. wchodzących w rachubę[1] tylko zaćmienie 1063 r. przed Chr. mogło być w Babilonie, który Cowell uważa za miejsce obserwacyi, całkowitem; inne zaćmienia np. zaćmienia 1124, 1117 i 1070 r. przed Chr. mogły być w Babilonie tylko częściowemi. Być może, że Cowell ma racyę pomimo tego, że miesiąc Sivan odpowiada mniej więcej czerwcowi, albowiem za owych czasów kalendarz był jeszcze źle uregulowany i jeżeli poprzedni rok miał trzynaście miesięcy, to przesunięcie Sivanu o jakie 30 dni[2] było możliwe.

Ptolemeusz nie mógł nawet spróbować takiej identyfikacyi, bo za jego czasów nie umiano obliczać położenia pasów, w których zaćmienie było widzialne, względnie całkowite.

6. Podział dnia i roku. Kalendarz.

Mówiliśmy już poprzednio, że w astrologicznych tekstach nie spotykamy podziału doby na równe między sobą części. Zato w późniejszych astronomicznych tekstach (t. j. takich, w których niema mowy o wróżeniu) spotykamy podział doby na 360 równych części, zwanych usz[3]. Były to więc „stopnie czasu“, zupełnie analogiczne do 360 stopni, na które dzieli się okrąg koła. Tak samo jak stopnie kątowe, dzielili Babilończycy stopnie czasowe na 60 minut, a te na 60 sekund. Niekiedy dzielili dobę na 60 równych części. Podziału na 24 godziny dotąd nie stwierdzono, natomiast bardzo często spotykamy podział na kasbu, które zdaje się były używane nietylko w astronomii, ale i w życiu prywatnem. Kasbu równa się dwom naszym godzinom, więc doba równała się 12 kasbu. Tak samo

---

[1] Wprawdzie co roku bywają co najmniej dwa zaćmienia słońca. ale mało które z nich było widzialne w Babilonii i Assyryi, dalej odpadają zaćmienia przypadające na miesiące zimowe i t. d. Ostatecznie pozostaje ledwo kilka zaćmień do wyboru.

[2] Na poparcie twierdzenia Cowella można powiedzieć, że chaldejscy astronomowie zazwyczaj kładli wiosenne porównanie dnia z nocą za późno. W r. 1063 przed Chr. porównanie dnia z nocą przypadało na 31 marca (wszystkie daty są juliańskie).

[3] A więc usz wynosił 4 nasze minuty.

dwunasta część okręgu koła t. j. 30° nosiła nazwę kasbu [Ptolemeusz, średniowieczni astronomowie powiedzieliby, że kasbu = znakowi (signum), bo znak (zodyaku) obejmuje 30°]. Kasbu jako miara kątowa dzieliło się na 12 ammat (łokci), więc ammat = 2°,5. Ammat dzieliło się na 24 ubanu (cale, digiti), więc ubanu = 6′,25. Rok mieli księżycowo słoneczny [1]. Normalnie rok liczył 12 miesięcy księżycowych. Ponieważ miesiąc synodyczny (lunacya) liczy średnio trochę więcej niż $29^1/_2$ dni, więc wszystkie ludy, które w rachubie czasu stosowały się do księżyca, miały miesiące tak 29 jak 30-dniowe. Tak samo było i w Babilonie. Żadnej stałej reguły co do następstwa miesięcy 29 i 30-dniowych nie było. Podobnie jak dotąd u Mahometan nowy miesiąc zaczynał się tego dnia a raczej tego wieczora, w którym po raz pierwszy po nowiu można było spostrzedz sierp księżyca. Niewątpliwie o początku miesiąca pierwotnie rozstrzygała bezpośrednia obserwacya. Jak sobie radzono, w razie, gdy chmury przeszkadzały obserwacyi, tego nie wiemy, ale można twierdzić, że w żadnym razie nie przeciągano miesiąca poza 30 dni. Później zawczasu obliczano, kiedy pojawi się sierp księżyca i odpowiednio do tego z góry oznaczano ilość dni miesiąca. Zapewne nieraz mylono się, o czem świadczy ta okoliczność, że w księdze o wróżbach pomiędzy złymi prognostykami figuruje także pojawienie się księżyca na trzydziestym dniu miesiąca. Nie mylono się dopiero w czasie rozkwitu babilońskiej astronomii za Seleucydów. W III i II wieku przed Chr. astronomowie babilońscy umieli zupełnie dobrze obliczać moment, w którym nowy księżyc mógł być widziany. — Obserwacye służyły już tylko do kontroli.

W roku zwykłym mogło być 5, 6 lub 7 miesięcy 29-dniowych. Odpowiednio do tego rok zwykły liczył 355, 354 lub 353 dni. Ponieważ rok taki był za krótki, więc co parę lat wstawiano trzynasty miesiąc: drugi Adar lub drugi Elul. W roku trzynastomiesięcznym bywało 385, 384 lub 383 dni. O tem, czy dany rok ma mieć 12 czy 13 miesięcy, pierwotnie rozstrzygano na podstawie stanu wegetacyi (tak samo bywało też u Żydów, jak to widać ze Starego Testamentu). Później istniały także jakieś astronomiczne

---

[1] Poszedłem tu za zdaniem ks. Kuglera, że rok 360-dniowy i miesiące 30-dniowe były używane tylko w stosunkach handlowych, podobnie jak to i dziś jeszcze praktykuje się w bankowych operacyach.

reguły. A. H. Sayce i R. H. M. Bosanquet[1] przetłómaczyli pewien tekst zawierający następującą astronomiczną regułę. „Jeżeli 1-go dnia miesiąca Nisan gwiazda gwiazd jest równoległa do księżyca, to rok jest zwykły, jeżeli zaś jest równoległa do księżyca trzeciego dnia miesiąca Nisan, to jest pełny (t. j. liczy 13 miesięcy)". Nie możemy osądzić, o ile powyższa reguła odpowiadała swemu celowi, bo interpretacya podana przez Sayce'a i Bosanqueta jest silnie zakwestyonowaną, a więc musielibyśmy najpierw ustalić, co to była za „gwiazda gwiazd" [2], oraz co właściwie oznaczało owo słowo, które Sayce i Bosanquet przetłómaczyli przez „równoległą" (parallel). Taką zaś dyskusyę mógłby przeprowadzić tylko fachowy assyryolog. Z jakich czasów pochodzi owa reguła, to trudno powiedzieć, prawdopodobnie jednak nie z przed 2000 lat przed Chr. jak sądził Sayce, bo wtedy miesiące nosiły inne nazwy. „Nisan", „Airu" i t. d... są to nazwy późniejsze. Stałe prawidła co do wstawiania trzynastego miesiąca powstały dopiero w czasach rozkwitu astronomii babilońskiej. W VI wieku przed Chr. próbowano 9-letniego, pono także 27-letniego cyklu, potem 8-letniego, nareszcie spostrzeżono, że najdogodniejszym jest cykl 19-letni. Ten ostatni utrwalił się dopiero w początkach V wieku przed Chr. Od czasu zaprowadzenia ery Seleucydów [są pewne wątpliwości co do początku tej ery, ale astronomiczna kontrola przez zaćmienia zmusza do przyjęcia początku na wiosnę 312 r. przed Chr.] trzymano się następującej reguły. „Liczbę porządkową roku podzielić przez 19; gdy reszta jest: 1, 4, 7, 9, 12, 15 lub 18, to rok ma 13 miesięcy, zresztą 12". Zatem w ciągu 19 lat było 7 lat trzynastomiesięcznych.

Kalendarz babiloński właściwie dotąd nie wyszedł z użycia, bo współczesny kalendarz żydowski ostatecznie ustanowiony w IV wieku po Chr. przez rabina Hillela w Babilonie jest prawie wierną

---

[1] Preliminary Paper on the Babylonian astronomy. Monthly Notices, tom 39 (1879 r.), str. 454—461.

[2] Sayce i Bosanquet sądzili, że „gwiazda gwiazd" (Dil-gan) to α Aurigae (Capella), a pan i pani Maunder (wyżej cytowana rozprawa z Monthly Notices. 64 tom) nawiązali do tego interesującą hypotezę. Atoli Kugler (loc. cit. I, 263) przytacza zupełnie przekonywające dowody, że Dilgan to nie Capella, ale sam zidentyfikować jej nie może.

Sayce wcale nie podaje, skąd wziął ten tekst.

kopią (późniejszego) babilońskiego kalendarza: nawet nazwy miesięcy są po większej części (późniejsze) babilońskie.

7. Rozkwit astronomii babilońskiej.

Kulminacyjny punkt swego rozwoju osiągnęła astronomia babilońska stosunkowo późno, dopiero w II wieku przed Chr., może nawet jeszcze później. Ważniejsze odkrycia porobili astronomowie babilońscy dopiero w ostatnich kilkuset latach przed początkiem naszej ery. Widzieliśmy, że cykl 19-letni, zapomocą którego Meton chciał około 432 r. przed Chr. poprawić kalendarz ateński [1], pochodzi z Babilonu. Wprowadzono go tam tylko na kilkadziesiąt lat przed Metonem, przedtem próbowano cyklu 9 i 8-letniego. Ptolemeusz podaje bardzo dokładne długości miesięcy: synodycznego (lunacyi), gwiazdowego, smoczego i anomalistycznego, które jakoby Hipparch miał obliczyć ze spostrzeżeń babilońskich. Te same długości służą za podstawę babilońskich tablic księżyca ze 133 i 103 r. przed Chr. Ponieważ Hipparch pisał w latach 161 do 126 przed Chr., więc pierwsze tablice są współczesne z nim i trudno rozstrzygnąć, czy Hipparch zapożyczył tylko spostrzeżenia [2], czy też już gotowe długości miesięcy. Możebną jest nawet taka ewentualność, że Hipparch zapożyczył spostrzeżenia, a obliczone rezultaty zakomunikował astronomom babilońskim. Wreszcie nie jest wykluczonem, że znajdą się ślady dowodzące, iż astronomowie babilońscy posiadali owe dokładne wartości już przed Hipparchem. W każdym razie już w III i IV, nawet w V wieku posiadali dość dokładną wartość lunacyi. Niedawno znaleziono w Assuan (Syene) aramejskie papyrusy noszące podwójne daty: egipskie i może niekoniecznie babilońskie [3], ale w każdym razie podane wedle kalendarza wzorowanego na babilońskim. Czas, w którym te papyrusy zostały spisane, obejmuje lata od 471 do 410 przed Chr. Lata są podane jako lata panowania królów perskich. Przez analizę tych dat J. K. Fotheringham [4] doszedł do przekonania, że długość

---

[1] Wprowadzono w życie reformę Metona dopiero później.

[2] Jeżeli materyał był ten sam, to rezultaty musiały być zupełnie zgodne.

[3] Niektórzy sądzą, że w Syene znajdowała się kolonia babilońskich żydów.

[4] Calendar Dates in the Aramaic Papyri from Assuan. Monthly Notices R. A. S. tom 69, str. 13—20, osobliwie str. 19.

lunacyi w owym babilońskim czy podobnym do babilońskiego kalendarzu nie mogła wynosić więcej jak 29 dni, 12 godz., 44 min. i 51 sek., ani mniej jak 29 dni, 12 godz., 43 min., 53 sek., była więc w każdym razie bliska do przypisywanej Hipparchowi długości 29 dni, 12 godz., 44 min., 3,3 sek.

Zresztą wedle słusznej uwagi Fotheringhama wcale dokładną długość lunacyi powinni byli astronomowie babilońscy otrzymać z chwilą, gdy odkryli peryod, po którym powtarzają się zaćmienia czyli tak zwany „Saros“. Saros równa się 223 lunacyom i wynosi 6585,3216 dni. Gdyby babilońscy astronomowie przyjęli długość Sarosu na $6585^1/_3$ dni, to po podzieleniu przez 223 otrzymaliby jako średnią długość lunacyi 29 dni, 12 godzin, 44 minut i 7,5 sek., t. j. tylko o 4,2 sekund więcej niż przed chwilą przytoczona zadziwiająco dokładna wartość znana w II wieku przed Chr. Ze względu na związek między długością lunacyi a Sarosem, warto zastanowić się nad pytaniem, od jakiej epoki Babilończycy znali Saros. Można twierdzić, że znali go już w początku VI wieku przed Chr., bo Thales przepowiedział zaćmienie słońca w 585 r. przed Chr. prawie na pewno na podstawie babilońskiego Sarosu. Dalej wstecz pewnych śladów niema: wiemy tylko, że astronomowie babilońscy próbowali przepowiadać zaćmienia księżyca już w VII a nawet VIII wieku przed Chr. choć niezawsze szczęśliwie. To, że przepowiednie zawodziły, nie świadczyłoby jeszcze przeciw znajomości Sarosu[1], bo do przepowiadania nawet zaćmień księżyca, sama znajomość tego peryodu nie wystarcza. Chodzi przecie o to, czy zamiast zaćmienia nie zdarzy się zwykła opozycya, czy zaćmienie nie przypadnie na godziny dzienne i t. d. Ważniejszą jest pewna inna okoliczność, na którą zwraca uwagę Kugler[2]. Oto przy jednej z owych przepowiedni jest data świadcząca, że przepowiedziano zaćmienie tylko na dwa dni przedtem. Zatem zupełnie możebnem jest, że nie kierowano się Sarosem, a poprostu z pozycyi księżyca na niebie wywnioskowano, że za dwa dni znajdzie się na prostej przechodzącej przez słońce i ziemię. Kugler wprost twierdzi, że w VIII i VII wieku jeszcze nie znano Sarosu, ale swoją drogą na poparcie tego twierdzenia przytacza

---

[1] Wedle świadectwa Diodora sycylijskiego nawet w późniejszych czasach przepowiadanie zaćmień słońca często nie udawało się Chaldejczykom.

[2] loc. cit. Tom II, str. 64.

tylko dowody „ex silentio". Uwaga zaś Kuglera, że odkrycie peryodu nie jest rzeczą łatwą, że wymaga co najmniej kilkudziesięciu lat obserwacyi, jest słuszna, ale niczego nie dowodzi. Po prostu nie można rozstrzygnąć, czy Saros został odkryty na początku VI wieku przed Chr. czy też o 100 lub 200 lat wcześniej.

Długość roku (gwiazdowego) znali Babilończycy mniej dokładnie niż długość lunacyi. Ze wspomnianych wyżej tablic z drugiej połowy II wieku przed Chr. wynika: ze starszej 365 dni, 6 godz., 15 min., 18,8 sek., z nowszej tyleż dni i godzin oraz 13 minut i 43,4 sek. Tak jeden rok jak drugi są za długie: pierwszy o 6, drugi o $4^1/_2$ minuty. Zatem nietylko absolutny ale i względny błąd jest znacznie większy. Rzeczywiście błąd w określeniu lunacyi wynosi tylko około pół sekundy, a więc odpowiedni błąd w określeniu roku, który jest około $12^1/_2$ razy dłuższy od lunacyi, powinien przy tej samej względnej dokładności wynosić nie więcej jak 6 do 7 sekund. Tymczasem wynosi przeszło 50, względnie 40 razy więcej. Skąd pochodzi ta mniejsza dokładność?

Niewątpliwie Babilończycy określili długość roku (gwiazdowego) na podstawie obserwacyi heliakalnych wschodów gwiazd, osobliwie Syryusza, licząc ilość dni, które upłynęły od heliakalnego wschodu w danym roku do hel. wschodu w jednem z lat następnych i dzieląc przez ilość lat upłynionych od jednego terminu do drugiego. Pomijając różne drugorzędne trudności, powiemy, że dla dokładnego określenia roku trzeba, aby odstęp czasu między początkowemi a końcowemi obserwacyami był długi, że trzeba mieć nie jedną a więcej par obserwacyi oraz, że same obserwacye są bardzo trudne. Chodzi przecie o dostrzeżenie pierwszego w roku wschodu gwiazdy przed wschodem słońca, a więc w blaskach jutrzenki. Łatwo go prześlepić, jeżeli jest w powietrzu trochę mgły lub pyłu, a wtedy zamiast — powiedzmy — dziś, jakby być powinno, zobaczymy wschód gwiazdy dopiero jutro, pojutrze lub jeszcze później. Natomiast przy określeniu lunacyi z odstępu czasu pomiędzy zaćmieniami księżyca [przypuszczamy, że chaldejscy astronomowie określili ją właśnie tą metodą] pomyłka w terminie zjawiska o jeden dzień jest absolutnie wykluczoną.

Rok gwiazdowy jest to ten odstęp czasu, w ciągu którego ziemia obiega raz naokoło słońca, ale pory roku są zależne nie od roku gwiazdowego a od roku tropicznego (zwrotnikowego). Rok tropiczny jest to średni[1] odstęp czasu między dwoma po sobie następującemi wiosennemi lub jesiennemi porównaniami dnia z nocą, albo zresztą pomiędzy dwoma letniemi lub zimowemi solstitiami.

Ponieważ wskutek precesyi punkty równonocne posuwają się po orbicie w kierunku przeciwnym kierunkowi obiegu ziemi, to jest jakby idą na jej spotkanie, przeto rok tropiczny jest nieco krótszy od gwiazdowego. Mianowicie 70,5 lata tropiczne są o jeden dzień krótsze od 70,5 lat gwiazdowych.

Roku tropicznego astronomowie chaldejscy nie znali pomimo tego, że obserwowali tak widome jak astronomiczne porównania dnia z nocą. Astronomiczne porównanie jest to ta chwila, w której oś ziemska jest prostopadła do prostej łączącej środki ziemi i słońca. Na południku, który właśnie w tej chwili ma południe, astronomiczny dzień jest ściśle równy astronomicznej nocy, na innych południkach dzień i noc są tylko mniej więcej równe. Widome porównanie dnia z nocą jest to ta doba, w której tak rzeczywisty dzień jak rzeczywista noc są prawie równe. Widome porównanie wiosenne przypada zawsze wcześniej, jesienne zawsze później od astronomicznego, albowiem rzeczywisty dzień jest zawsze dłuższy od astronomicznego (por. str. 17). Różnica między datą astronomicznego a widomego porównania dnia z nocą zależy od szerokości geograficznej i od wielu innych czynników.

Co do widomego porównania dnia z nocą, to mamy niewątpliwe ślady, że babilońscy astronomowie notowali jego datę. Spotykamy mianowicie wzmianki takiej treści: „6 dnia miesiąca Nisan sześć „kasbu“ (kasbu = 2 naszym godzinom) dnia, sześć „kasbu“ nocy“; co zaś do astronomicznego porównania, to niema bezpośrednich wzmianek, ale z różnych astronomicznych rachunków wynika że musieli go w jakiś sposób — mylnie zresztą — obserwować lub obliczać, bo kładą datę wiosennego porównania o kilka dni zapóźno[2]. Tymczasem widzieliśmy przed chwilą, że gdyby przyjmowali datę widomego porównania za datę astronomicznego, to otrzymaliby datę za wczesną (w Babilonie błąd wynosiłby kilka dni). Jak obserwo-

---

[1] Wskutek nutacyi odstępy czasu między jesiennemi i wiosennemi porównaniami i tak samo między solstitiami są to krótsze, to dłuższe. Wskutek tego określamy rok tropiczny jako pewną średnią.

[2] Kugler loc. cit., tom I, str. 175, porów. także E. W. Maunder i A. S. D. Maunder. Note on the Date... Monthly Notices R. A. S., tom 64, str. 488—507.

wali astronomiczne porównanie, nie wiemy. Kugler domyśla się, że zapomocą gnomonu.

Ale wróćmy do roku tropicznego. Dlaczego astronomowie babilońscy nie określili długości roku tropicznego, albo może określiwszy, nie posługiwali się nim, nie wiemy. Z obserwacyi widomych porównań dnia z nocą mogliby jako tako dokładnie określić rok tropiczny dopiero po kilku tysiącach lat, bo odstępy między widomemi porównaniami można wyrazić tylko w dobach, a więc dokładność jest bardzo mała. Z obserwacyi astronomicznych porównań mogli określić rok tropiczny już po paruset latach, bo tak daty jak odstępy pomiędzy astronomicznemi porównaniami mogli podobnie jak Hipparch i Ptolemeusz wyrazić z większą dokładnością, mianowicie aż do godzin włącznie. Ptolemeusz określa długość roku tropicznego na podstawie obserwacyi swoich i wcześniejszych o 285 lat obserwacyi Hipparcha. Bierze on dwie pary: jedno jesienne porównanie Hipparcha i jedno swoje, następnie jedno wiosenne Hipparcha i jedno swoje, odejmuje daty Hipparcha od dat swoich, a różnicę wyrażoną w dniach i godzinach dzieli przez 285. Prócz tego bierze jedno „solstitium“ obserwowane przez Metona w Atenach i jedno swoje (tu odstęp czasu wynosi 571 lat). Na podstawie tych dat znajduje, że rok tropiczny $= 365^1/_4 - {}^1/_{300}$ dni, t. j. 365 dni, 5 godzin, 54,2 minut. Właściwie rok tropiczny wynosił wtedy 365 dni, 5 godzin, 48,9 minut.

Ale już Hipparch nietylko wiedział, że rok tropiczny jest krótszy od gwiazdowego, ale nawet podał tę samą wartość, którą podaje Ptolemeusz. Stąd zrodziło się podejrzenie, że Ptolemeusz umyślnie podobierał (a może nawet pozmieniał) obserwacye, aby otrzymać ten sam rezultat co Hipparch, ale kwestya ta do rzeczy nie należy.

Tedy Hipparch pierwszy rozpoznał różnicę między rokiem tropicznym i gwiazdowym, i w ten sposób pośrednio wykrył precesyę. Prócz tego odkrył ją bezpośrednią drogą. Około roku 300 przed Chr. Aristyllos i Timocharis ułożyli katalog, zawierający pozycye kilkuset gwiazd względem ówczesnego punktu wiosennego porównania dnia z nocą. Otóż Hipparch układając nowy katalog na podstawie własnych obserwacyi, spostrzegł, że wszystkie gwiazdy Aristylla i Timocharisa są przesunięte równolegle do ekliptyki i równomiernie. Ta równomierność spowodowała Hipparcha do przypuszczenia, że nie gwiazdy pozmieniały swe pozycye a poprostu punkty równonocne przesunęły się na ekliptyce. Szacował on jednak to przesunięcie za nisko, bo tylko na 1° w stulecie, podczas gdy wynosi ono faktycznie prawie 1°,4 w stulecie. Tak tedy najważniejsze odkrycie astronomiczne dokonane w starożytności jest zasługą Greków (specyalnie Hipparcha); babilońscy astronomowie nietylko o precesyi nie wspominają, ale także nie wiedzą nic o różnicy między rokiem tropicznym a gwiazdowym, wreszcie w rachunkach swoich [nawet w tych, które pochodzą z II-go wieku przed Chr.] uważają punkty równonocne za nieruchome [1].

Pozorny (widomy) bieg planet, księżyca i słońca znali Babilończyczy bardzo dobrze [2]. Widać przytem, jak ta znajomość z czasem wciąż doskonaliła się. Już w IV i III wieku przed Chr. nietylko znali ale brali w rachubę nierównomierność w ruchu księżyca. W początku II wieku przed Chr. przy obliczeniu zaćmień uwzględniają — chociaż w gruby sposób — główne perturbacye [3], a z lat 133 i 103 przed Chr. mamy stosunkowo wcale dokładne tablice księżyca, o których już kilkakrotnie wspominaliśmy. Tak samo prawdopodobnie już w IV i III wieku a napewno w początku II wieku przed Chr. znali zmienną prędkość słońca i wiedzieli o tem, że pory roku są nierówne. Ze wspomnianych przed chwilą tablic widać, że w różnych częściach ekliptyki przyjmowali różną średnią prędkość słońca, bo nie umieli przedstawić zmiany prędkości słońca w sposób ciągły. W taki sam sposób jak zmienną prędkość słońca uwzględniali też zmienną prędkość księżyca i planet. Oprócz tego obserwowali zatrzymania się i cofania się planet, konjunkcye [4] ich

---

[1] Nie chcę twierdzić, że niczego nie podejrzywali, że niczego nie domyślali się; ale tu chodzi o jasną, świadomą wiedzę a nie o domysły. Tak np. zdaje się, zmieniali od czasu do czasu położenie punktów równonocnych, ale to była empiryczna poprawka i nic więcej.

[2] Np. okresy synodycznego i gwiazdowego obiegu oraz średni ruch Merkurego znali znacznie dokładniej niż Hipparch i Ptolemeusz, a przecie Merkury jest przedmiotem bardzo trudnym do obserwowania. Co do Jowisza, to wartości u Hipparcha są o tyle zgodne z babilońskiemi, że rodzi się podejrzenie, iż Hipparch zapożyczył je z Babilonu.

[3] Ks. F. X. Kugler. Sternkunde und Sterndienst in Babylon. Tom II (Münster 1909), str. 9 i nast. Nie należy sobie wyobrażać, aby znali wszystkie perturbacye w ruchu księżyca, np. ewekcyę odkrył dopiero Ptolemeusz.

[4] Konjunkcyą w długości ciał x i y nazywamy ten moment, w którym tak x jak y mają jednakową długość, opozycyą w długości nazywamy ten moment, gdy długość ciała x jest o 180° większa lub mniejsza od długości

między sobą i z księżycem. Konjunkcyi ze słońcem naturalnie obserwować nie mogli, bo te odbywają się w dzień. Zamiast nich obserwowali heliakalne wschody planet, z których tak samo jak z konjunkcyi można obliczyć okresy synodycznych obiegów. Lecz synodyczne okresy są w szerokich granicach zmienne, bo stanowisko, z którego obserwujemy względne pozyce słońca i planet jest zmienne. Z tego powodu dogodniej jest obliczać średnie synodyczne [1] okresy pośrednio, mianowicie z tych okresów, po których tak słońce jak planeta powracają na to samo stanowisko względem gwiazd. Ściśle biorąc takich okresów niema, bo średnie czasy synodycznych obiegów planet nie są wymierne z rokiem gwiazdowym, ale są okresy mniej lub więcej do owego ideału zbliżone. Okresy nazbyt długie są z praktycznych względów wykluczone, w rachubę mogą wejść tylko okresy obejmujące najwyżej kilkadziesiąt lat. Z tych niezbyt długich okresów najbardziej zbliża się do ideału 83-letni peryod Jowisza, albowiem 83 lata równają się prawie dokładnie 7-miu synodycznym obiegom Jowisza, potem 59-letni peryod Saturna (trochę więcej niż dwa synodyczne obiegi) i 8-letni peryod Wenery (trochę więcej niż 13 synodycznych obiegów).

Kugler [2] okazał, że w drugiej połowie III wieku przed Chr. babilońscy astronomowie stosowali w swych rachunkach i tablicach planet następujące okresy [3]. Dla Jowisza 83 lata i 71 (trochę mniej niż 6 obiegów) lat, dla Wenery 8 lat, dla Merkurego 46 lat (trochę mniej niż 191 obiegów), dla Saturna 59 lat, dla Marsa 79 lat (trochę więcej niż 42 obiegi) i 47 lat (trochę mniej niż 25 obiegów). Dzieląc liczbę lat okresu przez liczbę synodycznych obiegów otrzymamy przybliżony średni okres synodycznego obiegu. Weźmy np. 83 lata i podzielmy je przez 7, a otrzymamy wcale niezłą przybliżoną wartość średniego synodycznego okresu Jowisza.

ciała y. Konjunkcyą w rektascensyi nazywamy moment, w którym rektascensye ciał x i y są jednakowe i t. d. Babilończycy, którzy nie używali tak, jak my, współrzędnych, — oceniali konjunkcyę i opozycyę na oko, t. j. notowali moment, w którym zdawało się, że ciało x znajduje się w pobliżu i wprost nad lub pod ciałem y, oraz moment, w którym zdawało się, że ciała x i y stoją na niebie wprost naprzeciw siebie.

[1] Loc. cit. str. 44.

[2] Synodycznym nazywa się ten okres, po którym planeta powraca do tej samej pozycyi względem słońca.

[3] Niektóre z nich znali już z pewnością w VI wieku przed Chr., a możebną jest rzeczą, że i wcześniej.

Powyższe okresy służyły Babilończykom do przepowiadania pozycyi planet. Weźmy np. najbardziej zbliżony do ideału 83-letni okres Jowisza. Kto w ciągu 83 lat notował pozycye Jowisza na niebie, może przepowiedzieć jego pozycye na następne 83 lata z wielkiem przybliżeniem, na dalsze 83 lata mniej zadawalniająco i t. d.

Wspomnieliśmy już kilkakrotnie, że doszły do nas tablice układane przez babilońskich astronomów. Tablice te odpowiadają mniej więcej naszym efemerydom, t. j. zawierają na kilka i kilkanaście lat naprzód przepowiednie, którego dnia i w jakiem miejscu planeta będzie stacyonarną, t. j. pozornie nieruchomą na niebie, jak długo i daleko będzie się cofać, kiedy nastąpi heliakalny wschód a kiedy heliakalny zachód, kiedy nastąpi opozycya ze słońcem i t. d. Naturalnie tablice te w porównaniu z naszemi są nieraz wielce niedokładne, ale jeżeli uwzględnimy ogromną różnicę między środkami, którymi rozporządzają współcześni astronomowie i tymi, którymi rozporządzali astronomowie babilońscy, jeżeli zważymy, że nie mieli poza sobą doświadczenia dwudziestu pięciu wieków, a wszędzie i we wszystkiem musieli stawiać pierwsze kroki, to będziemy musieli przyznać, że prostymi i stosunkowo niezdarnymi środkami osiągali częstokroć zdumiewającą dokładność. Pomimo, że ich metody rachunkowe były trudniejsze niż nasze, nie umieli bowiem wyrażać wartości liczb przez pozycye, jednakże mylili się w rachunkach bardzo rzadko. Błędy trafiają się przeważnie w tekstach nieoryginalnych, kopiowanych przez niedbałych lub nieumiejętnych kopistów.

Co najciekawsze, ale niezupełnie pewne, bo nie wiemy dobrze w jakich jednostkach są podane odnośne wielkości, — to to, że babilońscy astronomowie wcale dobrze wymierzyli widomą średnicę księżyca[1]. Jeżeli założymy, że przyjęta jednostka wynosi $^1/_4$ część stopnia, to okaże się, że przyjmowali następujące widome średnice księżyca:

	największą:	najmniejszą:	średnią:
	34′ 16″,2	29′ 26″,9	31′ 51″,5
tymczasem przyjmował:			
Ptolemeusz .	35′ 20″	31′ 20″	33′ 20″

---

[1] F. K. Ginzel. Die astronomischen Kenntnisse der Babylonier. Beitr. zur alten Geschichte (Klio). Tom I (1901), str. 208. Zresztą Ginzel opiera się na „Babylonische Mondrechnung“ Kuglera.

	największą:	najmniejszą:	średnią:
Albategni . .	35′ 20″	29′ 30″	32′ 25″
Kopernik . .	35′ 38″	27′ 34″	31′ 36″
Cassini . . .	33′ 38″	29′ 30″	31′ 34″
Lalande . . .	33′ 31″	29′ 22″	31′ 26″
współcześnie przyjmują:	32′ 55″	29′ 30″	31′ 12″,5

Zatem wartości babilońskie byłyby lepsze niż wartości Ptolemeusza, Albategniego i Kopernika.

To naprowadza nas na pytanie, jak dokładnymi były ich pomiary. Kopernik, który miał narzędzia mniej więcej równie dokładne jak Ptolemeusz, powiada, że przy mierzeniu kątów na niebie łatwo jest pomylić się o 10′. Ptolemeusz powiada, że z pomocą astrolabium Hipparcha może zmierzyć kąt w najlepszym razie z dokładnością do 4′. Dopiero Tycho Brahe osiągnął dokładność do 1 lub 2′ a Heweliusz nawet do 0′,5. Ale pierwszy znacznie ulepszył średniowieczne narzędzia [1], a drugi miał wprost olbrzymie aparaty. Chociaż podane przez babilońskich astronomów wartości są z pewnością średniemi z bardzo wielu pomiarów, jednakże musimy przypuścić, że mierzyli co najmniej z tą samą dokładnością co Ptolemeusz. Prawdopodobnie oddzielne pomiary były dokładne do 5′.

Co do tego, jakich narzędzi używali dla mierzenia kątów, — nie mamy absolutnie żadnej wskazówki.

Pozycye planet i księżyca na niebie oznaczali względem niektórych raz na zawsze obranych ekliptycznych gwiazd. Powiadali więc: planeta *u* znajduje się o tyle a tyle „ammat“ i tyle a tyle „ubanu“ nad, pod, przed (albo na zachód), za (na wschód) od gwiazdy *m*.

Tu powstają dwa pytania, pierwsze: jakie kierunki przyjmowali za główne. Otóż z analizy tekstów wynika, że „pod“ i „nad“ odnosi się do kierunku prostopadłego, a „przed“ i „za“ do kierunku równoległego do ekliptyki (nie do horyzontu!).

Ponieważ za pomocą słów „pod“, „nad“ i t. d. można wyrazić tylko położenia na dwóch wzajemnie prostopadłych osiach, przecinających się w gwieździe *m*, więc drugie pytanie jest, jak wyrażali się w takim razie, gdy planeta nie leżała na żadnej z dwóch osi,

[1] Naturalnie nie możemy porównywać babilońskich pomiarów ze współczesnymi.

gdy np. zajmowała położenie takie jak na rysunku (Fig. 5). Wtedy mówili, że planeta *n* znajduje się o tyle a tyle a m m a t i t. d. nad gwiazdą *m*, ale jest posunięta o tyle a tyle a m m a t i t. d. naprzód (na zachód), t. j. mówiąc językiem współczesnej geometryi analitycznej podawali współrzędne prostokątne *mp* i *pn* punktu *n*. Jednakże takie dokładne oznaczenia pozycyi planet pojawiają się dopiero w pierwszych dziesięcioleciach IV wieku przed Chr.; w tablicach planet z 523 r. przed Chr. podana jest zazwyczaj tylko współrzędna [1] równoległa do ekliptyki, a odległości kątowe są podane w całych „ammat". Oczywiście narzędzia, któremi wtedy mierzono odległości kątowe, były jeszcze bardzo niedokładne, być może nawet, że oceniali kąty „od oka".

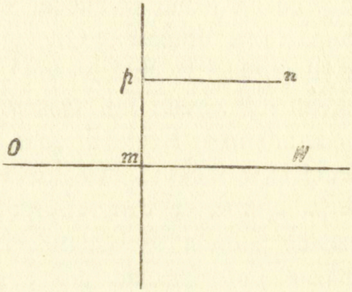


Fig. 5.

J. E p p i n g [2] zidentyfikował 33 ekliptyczne gwiazdy, do których Babilończycy odnosili pozycye planet. E p p i n g nazywa je gwiazdami normalnemi [„Normalsterne"]. Są to swego rodzaju „étoiles de repère". Wszystko to gwiazdy bliskie ekliptyki, należące za wyjątkiem jednej [3] do konstelacyi zodyaku. Z pewnością powymierzali także odległości kątowe pomiędzy normalnemi gwiazdami [raczej współrzędne jednej względem drugiej w podobny sposób jak na wyżej załączonym rysunku], bo w rachunkach z II wieku przed Chr. pojawiają się już „e k l i p t y c z n e w s p ó ł r z ę d n e" t. j. „długości" i „szerokości" planet i księżyca chociaż wyrażone trochę inaczej niż to się praktykuje za naszych czasów [4].

Otóż babilońscy astronomowie II wieku przed Chr. podają długości i szerokości planet w następujący sposób. Obwód ekliptyki dzielą na 12 k a s b u po 30°, z których każda jest przydzielona jednemu ze znaków zodyaku. Podają tedy nazwę tego znaku zodyaku, wewnątrz którego znajduje się planeta i odległość kątową między

---

[1] K u g l e r. loc. cit. I, str. 26.

[2] J. E p p i n g S. J. i J. N. S t r a s s m a i e r S. J. Astronomisches aus Babylon. 44 Ergänzungsheft zu den Stimmen aus Maria-Laach. (Freiburg 1889), str. 117—133).

[3] (δ Ophiuchi).

[4] Por. rozdz. I-szy § 3 Fig. 4.

granicą znaku a planetą [Ptolemeusz i średniowieczni astronomowie mówili, że „długość“ wynosi tyle „znaków“, stopni i t. d. a więc wyrażali się w sposób podobny do babilońskiego]. Ponieważ granice między znakami są punktami idealnymi, nieoznaczonymi przez żadne gwiazdy, więc nie można było wymierzyć odległości wprost od tych punktów. Można było tylko wymierzyć odległości od najbliższych gwiazd normalnych. Trzeba więc było koniecznie znać pozycye gwiazd „normalnych“ względem punktów granicznych. t. j. co na jedno wychodzi względem punktu początkowego, względem zera długości. Czy ten początkowy punkt był identyczny z jaką gwiazdą ekliptyczną [1], czy też był to także punkt idealny, określony w taki np. sposób, że znajduje się na tyle to „ammat“ pod (lub nad) i tyle to „ammat“ na wschód (lub zachód) od pewnej określonej „normalnej“ gwiazdy, to rzecz obojętna, bo czy w jednym czy w drugim przypadku, trzeba było powymierzać współrzędne jednych gwiazd normalnych względem drugich. Inaczej nie można było poznać pozycyi gwiazd normalnych względem zera długości i względem punktów o długości 30°, 60° i t. d.

Za zero babilońscy astronomowie przyjmowali tak jak my punkt wiosennego porównania dnia z nocą, ale uważali ten punkt za nieruchomy. Nie mogąc rozpoznać ruchów własnych gwiazd, ani też powolnych zmian w położeniu ekliptyki, sądzili, że wzajemne pozycye gwiazd oraz pozycye ich względem ekliptyki są zupełnie stałe. Z tego zapewne powodu wyobrażali sobie, że punkty równonocne są nieruchome i choć rozpoznanie precesyi wówczas było już zupełnie możliwe, — odkrycia tego nie zrobili. Sprzeczności, które po pewnym czasie wynikały z powodu nieruchomego zera długości, usuwali przez empiryczne poprawki równoważne jednorazowemu przesunięciu zera na inne miejsce.

Bezpośrednich wskazówek, jakiem narzędziem mierzyli czas, nie posiadamy, — ale wolno przypuszczać, że prócz zegarów słonecznych (kompasów), którymi mogli posługiwać się w dzień, mieli klepsydry wodne. Główną częścią składową klepsydry jest naczynie, z którego woda wypływa pod stałem ciśnieniem. Dlatego

---

[1] Wobec mniejszej niż współczesna dokładności pomiarów i mniejszej ścisłości pojęć jest rzeczą zupełnie możebną, że babilońscy astronomowie uważali jakąś gwiazdę położoną bardzo blisko od ekliptyki za położoną ściśle na ekliptyce.

chodzi o stałe ciśnienie, że właśnie ilość wody wypływającej z naczynia służy za miarę czasu, trzeba więc, aby woda wypływała zupełnie jednostajnie. Aby utrzymać stałe ciśnienie, potrzeba w naczyniu utrzymać stały poziom wody. To zaś łatwo osiągnąć doprowadzając do naczynia wciąż trochę więcej wody niż wypływa przez dolny otwór i odprowadzając nadmiar przez wgłębienie w górnej krawędzi naczynia.

Podobnie jak o gnomonie Ptolemeusz mówi o klepsydrze wodnej jako o rzeczy powszechnie znanej. Wolno stąd wnosić, że została wynaleziona na całe wieki przed jego epoką. Być może, że posiadali ją już autorowie tablic planetarnych z czasów Kambyzesa (z r. 523 przed Chr.), bo trafiają się w nich takie zwroty jak np. „zaćmienie księżyca zaczęło się w $1^2/_3$ „kasbu" po zapadnięciu nocy". Ale twierdzić tego nie możemy, bo na tak grube oznaczenie czasu mogli zdobyć się chociażby tym samym sposobem (z przechodzenia gwiazd przez południk), którym posługiwali się już Egipcyanie w XIII wieku [1].

8. Charakter babilońskiej astronomii. Miary i wagi babilońskie.

Już z tego, co dotychczas było powiedziane, czytelnik zapewne wyprowadził wniosek, że pozostały pomniki po babilońskiej astrologii i astronomii praktycznej, ale nie po astronomii teoretycznej.

Wprawdzie wielu tabliczek klinowych o treści astrologicznej i astronomicznej dotąd nie odczytano, ale, o ile wiadomo, pierwsze zawierają tylko różne „omina" a drugie takie same tablice, efemerydy i rachunki jak te, które stanowią treść odczytanych tekstów. Nie znaleziono żadnej „mechaniki niebieskiej", żadnego tłómaczenia pozornych ruchów planet. Naturalnie nie możemy twierdzić z absolutną pewnością, że nie istniało żadne dzieło teoretycznej treści; ale jeżeli istniało, to bardzo dziwnem wydaje się, że znaleziono tablice astronomiczne, efemerydy, przepisy jak wykonywać rachunki i same rachunki, a nie znaleziono najmniejszego ułamka, żadnego tekstu, świadczącego o próbie jakiejś spekulacyi, jakiegoś tłómaczenia zjawisk.

[1] Porównaj to, co było powiedziane o wyznaczaniu czasu u Egipcyan.

Nie znaleziono też dotąd żadnych śladów trygonometryi, bez której porównanie teoryi z obserwacyami nie jest możliwe. Widzimy tu przeciwieństwo z Grekami: tamci budowali wciąż teorye, choć nie pogardzali obserwacyami; Babilończycy zajmowali się głównie astronomią praktyczną. Obserwowali z pewnością nie gorzej od Greków, a ponieważ zaczęli obserwować wcześniej i obserwowali systematycznie, więc wcześniej doszli do dokładnego wyznaczenia okresu zaćmień, roku gwiazdowego i miesięcy. Ale skoro nawinęło się im zadanie (mówimy tu o precesyi), do rozwiązania którego trzeba było zerwać z utartym szablonem, to choć mieli wszystkie potrzebne dane w ręku, jednakże odkrycia zrobić nie potrafili. Zrobił to Grek Hipparch.

Niema śladu, aby próbowali obliczyć rozmiary ziemi, ocenić odległości słońca, księżyca, planet. Na wszystkie te zadania porywali się Grecy, chociaż przechodziły ich siły równie jak siły Babilończyków. Tylko pierwsze zadanie, (rozmiary ziemi) było w owych czasach dostępne. Wiadomo, że Eratostenes (276—195 przed Chr.) określił różnicę szerokości między Aleksandryą a Syene na $7^{\circ},2$, co jest wcale niezłem przybliżeniem. Trudniej natomiast ocenić dokładność, z którą określił obwód ziemi na 252000 stadyów, bo nie wiemy dobrze jakie to było stadyum. Tymczasem stadya bywały różne.

Odkrycie peryodu zaćmień sami Grecy przypisywali Babilończykom, ale zdaje się, że prócz Sarosu zapożyczyli od Babilończyków także cykl 19-letni przypisywany Metonowi, wartości miesięcy przypisywane Hipparchowi oraz inne okresy astronomiczne. O podziale koła na 360 stopni, stopnia na 60 minut i t. d. niema co mówić, bo to rzecz zdawna znana i uznana, że ten system pochodzi z Babilonu. Niema także wątpliwości, że podział doby na 24 godziny, godziny na minuty i t. d. jest także tylko modyfikacyą babilońskiego podziału.

System babilońskich miar i wag właściwie do naszego tematu nie należy, ale powiemy o nim kilka słów, bo stosunkowo niedawno postawiono hypotezę[1], że Babilończycy świadomie przyjęli za jednostkę miary połowę długości sekundowego wahadła.

---

[1] C. F. Lehmann. Über die Beziehungen zwischen Zeit und Raummessung im babylonischen Sexagesimalsystem. Beiträge z. alten Geschichte. (Klio) tom I, str. 381—400.

Na odwiecznym posągu króla czy też tak zwanego pa-te-si (coś w rodzaju wielkorządcy, wicekróla) z Lagasz — Gudey (czasy około 2300 lat przed lat[1] przed Chr.) znaleziono wyryte miary: ubanu i 6 ubanu, z których wynika, że ubanu (babiloński cal) równał się około 16,5 mm. Ponieważ łokieć babiloński miał 30 a podwójny łokieć 60 cali, więc podwójny łokieć miał około 990 mm., co rzeczywiście jest bliskie do długości sekundowego wahadła, wynoszącej w południowej Babilonii 992,35 mm. Różnica jest mała i daje się więcej niż zadawalniająco objaśnić przez to, że miary wyryte na posągu mogły być niezupełnie dokładne, oraz przez to, że na XXIII wieki przed Chr. przecie nie można było tak dokładnie mierzyć czas i długość jak — powiedzmy — w XX wieku po Chr.

Najzupełniej zgadzam się z Lehmannem w tem, że sam eksperyment z wahającą się kulką na sznurku jest bardzo prosty i w gruncie rzeczy nie trudny; ale nie mogę zrozumieć, jak mogli wykonać go ze zadawalniającym rezultatem ludzie, którzy napewno nie mieli zegarów a prawdopodobnie nawet klepsydr nie posiadali. Powtóre nie mogę zrozumieć, w jaki sposób ludzie, którzy nie mieli jeszcze żadnych teoryi fizycznych, mogli wpaść na pomysł związania jednostek czasu i długości przez pośrednictwo wahadła. Co więcej, tradycya przechowana przez Achillesa Tatiusa (pierwsza połowa V wieku po Chr.) wedle własnej interpretacyi Lehmanna wskazuje na zupełnie inne związki[2]. Wreszcie pomimo wszystkiego, co Lehmann uważa za pewne, wielce wątpię, czy za czasów Gudey już istniał podział doby na równe między sobą części.

Dlatego też sądzę, że przybliżona równość: łokieć babiloński zwyczajny[3] = połowie długości wahadła sekundowego jest zgoła przypadkową.

Podkreślaliśmy kilkakrotnie zależność greckiej astronomii od babilońskiej, wskazywaliśmy na to, że niektóre babilońskie odkrycia już po niewielu latach dochodziły do wiadomości greckich

---

[1] Trzymam się chronologii E. Meyera w drugiem wydaniu jego historyi starożytnej.

[2] Lehmann twierdzi, że 360 łokci babilońskich to jest ta przestrzeń, którą piechur może przejść w ciągu $^1/_{720}$ dnia. $^1/_{720}$ dlatego, że średnica słońca równa się (przybliżenie) $^1/_{720}$ obwodu koła.

[3] Łokieć zwany królewskim był podobno większy w stosunku 10:9.

astronomów. Nasuwa się pytanie, czy zawsze tylko Grecy czerpali z Babilonu, czy nie było jakiego wywzajemnienia się? Jednostronne oddziaływanie bez żadnej wzajemności wydaje się nieco wątpliwem osobliwie w ostatnich paru wiekach przed Chr., gdy cały Wschód był pełen Greków, gdy Grecy mieli już takich genialnych matematyków jak Archimedes (287—212 przed Chr.), astronomów jak Hipparch. Jednakże dotąd wpływu Greków na astronomię babilońską wykazać nie zdołano.

ROZDZIAŁ III.

Systemy geocentryczny i heliocentryczny.

1. Pozorne ruchy planet.

Gwiazdy stałe nie sprawiały starożytnym astronomom trudności. Ich ruchów własnych wykryć nie mogli, wydawało im się, że zajmują niezmienne pozycye na sferze niebieskiej. Pozorny codzienny ruch gwiazd ze wschodu na zachód tłómaczyli sobie przez jednostajny obrót sfery niebieskiej w tym samym kierunku. Niektórzy zresztą domyślali się, że w rzeczywistości nie niebo obraca się ze wschodu na zachód, a ziemia obraca się też jednostajnym ruchem ze zachodu na wschód. Trudniejszym do objaśnienia był pozorny ruch słońca i księżyca, najtrudniejszym zaś ruch pięciu[1] znanych wówczas planet: Merkurego, Wenery, Marsa, Jowisza i Saturna. Wszystkie te ciała wschodzą i zachodzą tak samo jak gwiazdy; tak samo jak gwiazdy zakreślają łuki ze wschodu na zachód, ale ruch ich jest powolniejszy niż ruch gwiazd, więc względem gwiazd poruszają się ze zachodu na wschód. Ten ruch względem gwiazd nie jest jednostajny, ale u księżyca i słońca do cofania się nigdy nie dochodzi; planety zaś od czasu do czasu cofają się, t. j. zamiast posuwać się od gwiazd położonych na zachodzie ku gwiazdom położonym na wschodzie posuwają się od gwiazd wschodnich ku zachodnim. Przytem planety „dolne“ nigdy nie oddalają się od słońca: Merkury więcej nad 32°, Wenus więcej nad 53°, a więc nigdy nie bywają w opozycyi lub kwadraturze ze słońcem[2]. Planety „górne“,

---

[1] Starożytni liczyli siedm planet, bo zaliczali do nich także słońce i księżyc.

[2] Gdy planeta jest w opozycyi ze słońcem, to długość jej jest o 180° różna od długości słońca, w kwadraturze zaś jest o 90° różna.

t. j. Mars, Jowisz i t. d. nie trzymają się słońca, bywają i w opozycyi i w kwadraturach.

Dla przykładu weźmy wraz z p. B. Baillaud[1] pozorny ruch Merkurego od 5 marca 1893 r. do 31 sierpnia tegoż samego roku. Od 5 do 22 marca 1893 r. Merkury tak samo jak słońce posuwał się ze zachodu na wschód; jednakże ponieważ ruch planety był powolniejszy niż ruch słońca, a znajdowała się ona na wschód od słońca t. j. przed słońcem, przeto odległość między słońcem a planetą zmniejszała się. Od 22 marca Merkury cofał się a jednocześnie zbliżał się do słońca. „Dolna“ konjunkcya nastąpiła 31 marca [to znaczy że długości słońca i Merkurego były jednakowe, przyczem słońce znajdowało się poniżej Merkurego]. Po konjunkcyi Merkury cofał się w dalszym ciągu i oddalał się od słońca na zachód. Dnia 14 kwietnia przestał cofać się i znów posuwał się w tym samym kierunku co słońce, ale powolniej od niego, wskutek czego odległość pomiędzy obu ciałami wciąż powiększała się, aż 28 kwietnia Merkury osiągnął największą „zachodnią elongacyę“. Odtąd ruch Merkurego stał się szybszy niż ruch słońca, planeta wciąż zbliżała się do słońca i dognała je 4 czerwca, t. j. tego dnia nastąpiła górna konjunkcya. Potem Merkury wciąż wyprzedzał słońce, aż 11 lipca osiągnął największą wschodnią elongacyę. Odtąd ruch Merkurego stał się powolniejszy niż ruch słońca, odległość między nim a słońcem zmniejszała się i powyżej opisane zjawiska powtórzyły się w tym samym porządku. Co do szerokości; to ta na przemiany powiększała się i zmniejszała się wedle prawa, które nie stoi w bezpośrednim związku z tylko co opisanemi zjawiskami. Cofanie się [ruch wsteczny] Merkurego następuje zawsze w sąsiedztwie dolnych konjunkcyi i trwa 24 dni. Największe elongacye Merkurego nie wynoszą nigdy więcej od 32 stopni. Wenus zaś może oddalić się od słońca aż do 53^0, a okres czasu, w ciągu którego ruch Wenery jest wsteczny, wynosi około 41 dni.

Mieliśmy tu przykład planety dolnej. Weźmy teraz jedną z górnych, weźmy np. ruch Marsa[2] w 1891, 1892 i 1893 roku. Dnia 29 lipca 1891 r. Mars i słońce miały jednakową długość, t. j. były w konjunkcyi, przyczem Mars posuwał się tak samo jak słońce ze zachodu na wschód, ale powolniej od niego, a więc wy-

---

[1] Cours d'Astronomie, tom II (Paryż 1896), str. 119—121.

[2] Loc. cit.

dawało się, że oddala się od słońca na zachód. Dnia 28 marca 1892 r. znalazł się o 90° na zachód od słońca, był zatem z niem w „kwadraturze“. Prędkość jego zmniejszała się coraz bardziej, 4 lipca wydawało się, że jest nieruchomy na niebie. Po 4-tym lipca począł się cofać, a więc wciąż oddalał się od słońca i to w coraz to szybszem tempie. Dnia 3 sierpnia znalazł się opozycyi ze słońcem [różnica dlugości = 180°]. Przestał cofać się 3 września, ale tymczasem słońce zbliżyło się doń od zachodu na 146°. Po 3-cim września 1892 r. Mars począł znowu poruszać się ruchem prostym (t. j. ze zachodu na wschód), ale powolniejszym niż słońce, wskutek czego słońce wciąż go doganiało: 9 grudnia 1892 r. znalazło się w kwadraturze (różnica długości 90°) a 3 marca 1893 r. w konjunkcyi z Marsem. Potem wyżej opisane zjawiska powtórzyły się z małymi waryantami.

Pozorne ruchy innych „górnych“ planet są zupełnie analogiczne, tylko łuki cofania się są mniejsze a okresy cofania się dłuższe, jak to widać ze załączonej tabliczki:

	Łuk cofania się:	Okres cofania się:	Odległość od słońca na początku cofania się:
Mars . . .	18°	73 dni	152°
Jowisz . . .	11°	121 „	128°
Saturn . . .	7°	139 „	121°
Uranus . . .	4°	151 „	115°
Neptun . . .	3°	158 „	102°

Okresy czasu upływające między jedną konjunkcyą[1] a drugą są między sobą nierówne, ale średnio odstęp ten czyli tak zwany „okres synodyczny“ wynosi: dla księżyca (miesiąc synodyczny = lunacyi) 29,53 dni, dokładniej 29 dni, 12 godz., 44 min. i 2,9 sek.,

dla Merkurego (od 106 do 130 dni)	średnio	115,88
„ Wenery	„	583,92
„ Marsa	„	779,94
„ Jowisza	„	398,88
„ Saturna	„	378,09
„ Uranusa	„	369
„ Neptuna	„	368

[1] Samych konjunkcyi planet ze słońcem obserwować nie można, bo trzebaby je obserwować w dzień, ale można oznaczyć ich terminy pośrednio, albo obserwować zjawisko, którego termin różni się o stały lub prawie stały odstęp czasu od terminu konjunkcyi, np. heliakalny wschód planety.

Tak samo odstępy czasu, po których planety powracają do tych samych gwiazd, są między sobą nierówne. Przytem widziane ze ziemi obiegi gwiazdowe „górnych“ planet są „średnio“ równe rzeczywistym czasom obiegu ich naokoło słońca; natomiast średnie okresy obiegów gwiazdowych „dolnych“ planet widziane ze ziemi są zupełnie różne od rzeczywistych czasów obiegu naokoło słońca. Ponieważ „dolne“ planety wciąż trzymają się blisko słońca, więc powracają do tych samych gwiazd „średnio“ po tym samym okresie co słońce, t. j. po roku gwiazdowym wynoszącym 365,26 dni. Tymczasem, okresy ich rzeczywistego obiegu naokoło słońca wynoszą: Merkurego 87,97 a Wenery 223,70 dni. Co do planet górnych, to okresy ich rzeczywistego obiegu są:

u Marsa . . .	686,98	dni
„ Jowisza . .	4332,58	„
„ Saturna . . .	10759,24	„
„ Uranusa . .	30688,39	„
„ Neptuna . .	60181,11	„

Obieg gwiazdowy księżyca trwa średnio 27,32 dni [dokładniej 27 dni, 7 godzin, 43 min., 11,5 sek.]. Nazywamy ten okres miesiącem gwiazdowym (sideralnym). Obieg słońca naokoło ziemi, czyli, co wszystko jedno, obieg ziemi naokoło słońca trwa średnio 365,26 dni [dokładniej 365 dni, 6 godzin, 9 min., 10,7 sek.]. Jest to tak zwany rok gwiazdowy.

Między średnim okresem obiegu synodycznego i średnim okresem rzeczywistego obiegu gwiazdowego istnieje bardzo prosty związek. Jeżeli oznaczymy pierwszy okres przez τ, drugi przez T a rok gwiazdowy przez R; to dla planet „dolnych“:

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{R} + \frac{1}{\tau},$$

a dla „górnych“

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{R} - \frac{1}{\tau}.$$

Starożytni określili najlepiej okresy księżyca, mniej dokładnie okresy słońca i pięciu wówczas znanych planet. Stojąc na gruncie systemu geocentrycznego naturalnie uwzględniali tylko pozorne geocentryczne gwiazdowe czasy obiegów Merkurego i Wenery i wskutek tego przyjmowali, że średnio równają się one rokowi gwiazdowemu.

2. Starożytne tłómaczenia pozornych ruchów planet.

Z punktu widzenia teoryi heliocentrycznej cofanie się planet i inne osobliwości ich (pozornego) ruchu tłómaczą się bardzo łatwo. Weźmy dla przykładu cofanie się. Załóżmy, że w pewnej chwili czasu znajdujemy się w T_0 a planeta w P_0; widzimy ją wtedy w kierunku $T_0P_0G_0$, np. w kierunku pewnej gwiazdy G, którą powinniśmy sobie wyobrazić na bardzo wielkiej odległości. Po upływie pewnego czasu, np. po trzech miesiącach znajdujemy się w T_1 a planeta w P_1; widzimy ją zatem w kierunku T_1P_1 na prawo, t. j. na zachód od gwiazdy G [1] i wydaje się nam, że planeta „cofnęła się“. Z biegiem czasu to cofanie się ustanie i gdy np. po dalszych trzech miesiącach znajdziemy się w T_2 a planeta w P_2; to zobaczymy planetę już na lewo, t. j. na wschód od gwiazdy. Tym więc razem wyda się nam, że planeta przebiegła znaczny odstęp drogi w kierunku zwykłym, t. j. ze zachodu na wschód.

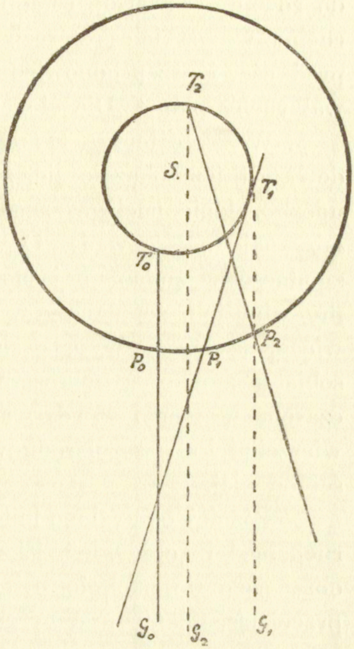


Fig. 6.

Wśród starożytnych tylko niektórzy domyślili się rzeczywistej przyczyny cofania się i innych osobliwości pozornego ruchu planet. Pewne powody, o których będzie mowa niżej, złożyły się na to, że teorya heliocentryczna choć powstała, jednak utrzymać się nie mogła, a geocentryczna utrzymała się i przetrwała nietylko przez starożytność, ale także przez całe wieki średnie.

Pierwszą próbę racyonalnego wytłómaczenia pozornych ruchów planet podjął Eudoxus z Knidos (408? — 355? przed Chr.) zapomocą następującego mechanizmu. Wyobraźmy sobie kulę współśrodkową ze ziemią. Załóżmy, że ta kula obraca się jednostajnym ru-

[1] Kierunki do gwiazdy są prawie równoległe, bo odległość gwiazdy jest bezporównania większa niż odległość planety.

chem razem ze sferą gwiazd. Wewnątrz kuli znajduje się druga, wewnątrz drugiej trzecia, a w tej znowu czwarta. Każda z nich obraca się ze stałą kątową prędkością naokoło osi utwierdzonej w poprzedniej kuli, ale osie obrotu są do siebie pod różnymi kątami nachylone a prędkości obrotu są różne. Planeta jest przymocowana do równika czwartej, ostatniej kuli. Oczywiście ruch jej zależy od ruchu wszystkich czterech kul. Przez odpowiednie kombinacye prędkości i przez odpowiedni dobór osi obrotu Eudoxus naśladował ruchy planet. Dla słońca i księżyca wystarczały mu trzy sfery.

Wszakże teorya Eudoxusa [1] utrzymała się nie długo. Przedewszystkiem okazało się, że nie nadaje się do ulepszeń, bo każde udoskonalenie pociąga za sobą pomnożenie liczby sfer. Ale to byłaby najmniejsza wada. O wiele ważniejszą wadą była rażąca niezgodność ze zmianami jasności planet. Starożytni równie dobrze jak my wiedzieli, że planety w różnych okresach czasu są to mniej, to więcej jasne, że wydają się to mniejsze, to większe i tłómaczyli sobie te zmiany „wielkości" przez zmiany odległości [2] planet. Tymczasem w teoryi Eudoxusa planeta wciąż znajduje się w powierzchni kuli współśrodkowej ze ziemią a więc na stałej odległości od niej.

Później obmyślono inne mechanizmy, mianowicie „ekscentryki ruchome" i „epicykle". Ekscentryk ruchomy jest to poprostu koło obracające się naokoło osi prostopadłej do swej płaszczyzny, ale przechodzącej nie przez środek koła a przez inny punkt T, w którym należy sobie wyobrazić ziemię. Podczas gdy ekscentryk kręci się naokoło T, planeta obiega jego obwód. Starożytni umieszczali punkt T zawsze wewnątrz obwodu ekscentryku, wskutek czego mogli używać go tylko do przedstawienia ruchu planet górnych.

Epicykl jest to koło ruchome, którego środek krąży po innem kole zwanem „kołem unoszącem" [circulus deferens]. Ziemię należy sobie wyobrazić w środku koła unoszącego, planeta zaś krąży po obwodzie epicyklu [3]. Ponieważ za pomocą epicyklów mogli przed-

---

[1] G. V. Schiaparelli. Le sfere omocentriche... Pubbl. R. Osserv. di Brera N. IX (1875 r.).

[2] W rzeczywistości te zmiany „wielkości" planet zależą nietylko od zmian odległości, ale także od faz planet, t. j. od tego, czy cała widzialna ze ziemi tarcza planety jest oświecona przez słońce, czy tylko część.

[3] Należy zauważyć, że starożytni wogóle nie identyfikowali środka epicyklu ze słońcem.

stawić zarówno ruch planet dolnych jak górnych, więc woleli posługiwać się epicyklami niż ekscentrykami. Jednakże w gruncie rzeczy oba mechanizmy są sobie równoważne. Tor planety jest tak w jednym jak drugim przypadku epicykloidą, która okrąża punkt T w podobny sposób, jak pozorna droga planety okrąża ziemię. Zależnie od prędkości kątowej, z którą środek epicyklu (względnie środek ekscentryku) obiega naokoło T, dalej zależnie od prędkości kątowej, z którą planeta obiega epicykl (względnie obwód ekscentryku), krzywa ta przedstawia zawroty i cofania się, zamyka się po jednym, kilku, kilkunastu, lub więcej obiegach, lub nie zamyka się wcale. Przez kombinacyę kilku epicyklów (względnie ekscentryków), t. j. zakładając, że pierwszy epicykl unosi drugi, drugi unosi trzeci i t. d., a dopiero ostatni unosi planetę, wprowadzając pewne modyfikacye, np. przypuszczając, że epicykl nie znajduje się w tej samej płaszczyznie, co koło unoszące, ale jest do niego nachylony, można przedstawić różne osobliwości pozornego biegu planet ze wszelką dokładnością. Naturalnie będą to mechanizmy wielce skomplikowane, ale z punktu widzenia geometrycznego zupełnie poprawne.

Jednakże Grecy znali także system heliocentryczny. Już w IV wieku przed Chr. Heraklides z Pontu twierdził, że „dolne“ planety, t. j. Merkury i Wenus krążą naokoło słońca a z niem razem naokoło ziemi. Istnieje zresztą tradycya, że już Egipcyanie zdawna wpadli na tę myśl; być więc może, że Heraklides zapożyczył swoją teoryę z Egiptu. W sto lat po Heraklidesie — Arystarch ze Samos (III wiek przed Chr.) był w posiadaniu kompletnego systemu heliocentrycznego, t. j. twierdził, że nietylko „dolne“ ale i „górne“ planety krążą naokoło słońca. Schiaparelli przypuszcza, że od systemu Heraklidesa do heliocentrycznego[1] Grecy przeszli przez system, któremu w epoce Odrodzenia hołdował Tycho de Brahe (1546—1601). W systemie tym wszystkie planety oprócz ziemi krążą naokoło słońca, to ostatnie zaś, a z niem i planety krążą naokoło ziemi.

Kwestyi, czy Grecy wpadli na system Tychona de Brahe, nie będziemy rozważać; zato zastanowimy się nad pytaniem, dla-

[1] Origine del sistema eliocentrico presso i Greci. Mem. R. Istituto Lombardo, tom XVIII, zesz. V (1898). Podobnego zdania jest P. Tannery. Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne (Paryż 1893 r.).

czego system heliocentryczny odkryty przez Arystarcha w III w. przed Chr. znalazł niewielu zwolenników i w sto lat później został wyparty przez epicykle Hipparcha[1] i to tak radykalnie, że dochowała się o nim tylko tradycya.

Złożyły się na to dwie przyczyny, dwa błędne mechaniczne pojęcia. Wiadomo, że starożytni nie posiadali dynamiki, zatem takie pojęcia jak ruch bezwładny, siła i t. d. były im nieznane. Rolę naszych zasad dynamiki odgrywały inne pojęcia, przedewszystkiem wyobrażenie, że jednostajny ruch po kole jest najdoskonalszy. Stąd wnosili, że ciała niebieskie nie mogą poruszać się inaczej jak jednostajnym ruchem po kole. To przekonanie zapuściło tak głębokie korzenie w ich umysłach, że robili wszelkie możliwe ustępstwa, byleby się przy niem utrzymać. Zakładali tedy, że ziemia nie znajduje się w środku koła, brali do pomocy epicykle i t. d.; ale zawsze planeta musiała obiegać swój epicykl t. j. koło ruchem jednostajnym, środek epicyklu musiał obiegać jednostajnym ruchem po kole unoszącem i t. d. Słowem każdy elementarny ruch był kolisty i jednostajny[2].

Od tego zasadniczego postulatu nie odstąpił też Arystarch. Podobnie jak w siedemnaście wieków później Kopernik (1472 do 1543 r.) przyjmował on, że planety obiegają słońce ruchem jednostajnym po kołach. Tymczasem w rzeczywistości krążą ruchem niejednostajnym i po elipsach, przyczem słońce znajduje się nie w środku elipsy a w jednem z ognisk; wskutek czego im obserwacye stawały się dokładniejszemi, tem trudniej było pogodzić je z hypotezą orbit kolistych. Chcąc dopasować teoryę do obserwacyi trzeba było założyć, że drogi planet są ekscentryczne, lub wprowadzić epicykle. Przez to zaś teorya heliocentryczna traciła swą główną zaletę: prostotę; stawała się równie zawiłą jak teorya geocentryczna. Lecz gdyby sam Arystarch, lub ktoś z jego zwolenników wpadł na tę samą myśl, na którą ośmnaście wieków później wpadł Kepler (1571—1630), t. j. gdyby zamiast orbit kolistych wziął orbity eliptyczne; to system heliocentryczny byłby się prawdopodobnie utrzy-

---

[1] Schiaparelli sądzi, że pierwszym, kto zastosował epicykle do ruchu planet, był Apolloniusz z Pergi (około 200 r. przed Chr.).

[2] Znamy jednak wyjątek. Ptolemeusz (II wiek po Chr.) w teoryi planet odstąpił od hypotezy, że ruch jest jednostajny, ale pozostał przy hypotezie, że odbywa się po kole.

mał. Jednem słowem Kopernik starożytności Arystarch nie miał swego Keplera i dlatego jego teorya upadła.

Przejdźmy teraz do drugiej przyczyny. Starożytni nie znali praw przyciągania. Zamiast tego wyobrażali sobie, że ciała ciężkie zdążają ku środkowi świata, a lekkie oddalają się od niego. Kamień wyrzucony w górę spada nie dlatego, że przyciąga go ziemia, ale dlatego, że przyciąga go środek świata znajdujący się w środku ziemi. Porzucając hypotezę geocentryczną musieli zatem albo przypuścić, że środek świata krąży wraz ze ziemią naokoło słońca, co słusznie wydawało się im sprzeczne ze samem pojęciem środka świata, albo też musieli przypuścić, że środek świata znajduje się w środku słońca, a wtedy nie mogli zrozumieć, dlaczego kamień rzucony w górę nie leci ku słońcu. Zresztą uważali ziemię za ciało „par excellence“ ciężkie, a słońce i gwiazdy za ciała lekkie, ogniste; przeto zdawało się im koniecznem, aby nie inne ciało a ziemia znajdowała się najbliżej środka świata, aby go ze wszech stron otaczała.

Widzimy stąd, że ze systemem geocentrycznym były związane pewne pojęcia mechaniczne, które trzeba było razem z nim usunąć i zastąpić przez inne. Trzeba było porobić odkrycia analogiczne do odkryć Galileusza (1564—1642) i Newtona (1642—1727), ale na to starożytność się nie zdobyła [1].

P. Tannery dziwi się, że zaprowadzenie chrześcijaństwa nie dopomogło do zreformowania nauki, nie dało impulsu do nowych teoryi, że przeciwnie po zaprowadzeniu nowej religii w naukach zapanował uparty konserwatyzm. Tannery widocznie zapomniał o tem, że do zreformowania nauki potrzeba ludzi z talentem, tymczasem wszystkie zdolności zwróciły się ku teologii.

---

[1] U Plutarcha (50—125 r. po Chr.) w rozprawie pod tyt.: „de facie Lunae“ (o wyglądzie księżyca) są wzmianki, świadczące, że za jego czasów kursowały już pewne pomysły analogiczne do pomysłów Newtona. Np. w jednem miejscu Plutarch powiada, że naturalną drogą ciała nie poddanego obcym wpływom jest linia prosta. Skąd to Plutarch zaczerpnął, niewiadomo.

ROZDZIAŁ IV.

Gwiazdy. Budowa wszechświata.

1. Pojęcie sfery gwiazd w starożytności i we wiekach średnich.

Pojęcie sfery gwiazd jest z pewnością bardzo stare, zapewne istniało już u Babilończyków i Egipcyan, ale wobec tego, że po teoretycznej astronomii tych wschodnich ludów nie pozostały prawie żadne ślady, — nic bliższego powiedzieć nie możemy. Diodor sycylijski (czasy Cezara i Augusta) powiada, że Egipcyanie mieli system planetarny odmienny od systemu Ptolemeusza (patrz wzmiankę na końcu § 4, rozdz. II, str. 27), ale o egipskiej sferze gwiazd nie mówi.

W Grecyi i (w późniejszych czasach) w krajach podlegających wpływowi greckiej kultury pojęcie sfery gwiazd występuje jako coś powszechnie — przynajmniej wsród inteligencyi — znanego i przyjętego. Jak dalece to pojęcie było rozpowszechnione, o tem świadczy wzmianka o trzeciem niebie[1] w II-gim liście św. Pawła do Koryntyan (rozdz. XII, 2). Wyobrażano sobie niebo jako wielką kulę usianą gwiazdami, ziemię pośrodku a pomiędzy ziemią a sferą gwiazd sfery pięciu wówczas znanych planet, księżyca i słońca. Wyobrażano sobie, że sfera gwiazd obraca się naokoło osi przechodzącej przez środek ziemi i w ten sposób tłómaczono sobie codzienny pozorny ruch gwiazd.

Z punktu widzenia teoryi geocentrycznej ta hypoteza była zupełnie logiczną. Jeżeli wszystkie gwiazdy codziennie okrążają zie-

---

[1] Nazwy: pierwsza, druga i t. d.... sfera, pierwsze, drugie... i t. d.... niebo były synonimami. Ósma sfera, ósme niebo to sfera gwiazd stałych. Jako pomnik teoryi sfer w naszym języku pozostało wyrażenie „szczęśliwy jak w siódmem niebie".

mię z jednakową kątową prędkością, to najprostsze, samo przez się narzucające się tłómaczenie jest, że są one jakby przytwierdzone do kuli, kręcącej się naokoło ziemi.

Swoją drogą prawdopodobnie nie wszyscy pojmowali ową sferę gwiazd stałych jako coś materyalnego. Np. u Ptolemeusza[1] niema ani jednego zdania, ani jednego zwrotu, na podstawie którego można byłoby twierdzić, że uważał sferę gwiazd za coś materyalnego. Za to wyraźnie powiada, że wielkości i wzajemne odległości gwiazd stałych zawsze wydają się jednakowe, że obserwacye gwiazd w rozmaitych szerokościach („klimatach“ jak wówczas mówiono) niczem się między sobą nie różnią, że przeto ziemia jest tylko punktem[2] wobec sfery gwiazd stałych. Inaczej mówiąc Ptolemeusz mniemał, że rozmiary sfery gwiazd są nieskończenie wielkie. Zresztą miał w tem poprzedników. O Anaksymandrze (611—547 przed Chr.), Demokrycie z Abdery (460—361 przed Chr.) o Heraklicie z Pontu[3], Arystarchu ze Samos i o innych mędrcach starożytności dochowało się podanie, że uważali odległości gwiazd za niezmierzenie wielkie[4]. Arystarch ze Samos uważał słońce za taką samą gwiazdę jak inne. Że świat jest nieskończony, to podobno zupełnie wyraźnie twierdził tylko Seleukus (pisarz IV albo III wieku przed Chr.). Był on zwolennikiem teoryi heliocentrycznej.

Pojęcie sfery gwiazd stałych, czyli, jak ją wówczas nazywano, „ósmej sfery“ przetrwało przez całe wieki średnie: jeszcze Kopernik [1472—1543] wyraźnie powiada[5] „pierwszą i najwyższą jest sfera gwiazd stałych zawierająca siebie samą i inne sfery, przeto nieruchoma“.

---

[1] Biografia Klaudyusza Ptolemeusza jest prawie nieznana, wiadomo jednak, że mieszkał głównie w Aleksandryi. Dzieło swoje [ἡ μαθηματικὴ Σύνταξις znane pod arabską nazwą Almagestu] napisał w latach 125—150 po Chr.

[2] Almagest. Wydanie Halma i Delambre'a. Tom I (Paryż 1813 r.) str. 13.

[3] G. V. Schiaparelli. Origine del sistema planetario eliocentrico. Mem. Ist. Lombardo. Tom 18, zeszyt 5-ty, str. 4. Heraklides z Pontu umarł koło 320 r. przed Chr.

[4] Z niektórych wzmianek w sanskryckiej literaturze można wnosić, że pojęcie nieskończoności wszechświata nie było obce Indusom. Wiadomość o tem zawdzięczam panu S. Sitaramaiya w Kodaikanal.

[5] Patrz 9 str. drugiego wydania [Bazylea 1566] dzieła „De revolutionibus orbium celestium“.

W „Epitome astronomiae“ [1] w ks. I-szej Kepler [1571—1631] powiada, że słońce znajduje się w środku świata, zaś gwiazdy są rozsiane w kulistej warstwie współśrodkowej ze słońcem. Gwiazdy są podobne do słońca, ale mniejsze od niego. W tejże samej „Epitome“, ale w później napisanej księdze IV-tej Kepler oblicza, że średnica owej kulistej warstwy (która jest oczywiście niczem innem, jak „ósmą sferą“) jest cztery miliony razy większa od średnicy słońca a grubość jej wynosi dwie mile niemieckie [2].

Widzimy stąd, że tak Kopernik jak Kepler jeszcze nie porzucili hypotezy sfer, a jednak sfery wogóle a ósma specyalnie wobec nowego heliocentrycznego systemu ostać się nie mogły. Wszak sfera gwiazd stałych była potrzebna do wytłómaczenia codziennego ruchu gwiazd. Skoro ten ruch został w inny sposób, bo przez obrót ziemi, wytłómaczony, ósma sfera stała się niepotrzebną. Pierwszym, który tę konsekwencyę wysnuł jasno i wyraźnie, był Giordano Bruno [3] [1548—1600]. Wprawdzie już kardynał Cusanus [4] [1401—1464] w XI rozdz. II-giej księgi dzieła „De docta ignorantia“ powiada, że ziemia nie może znajdować się w środku świata, bo świat „niema ani środka, ani granic“, a nawet twierdzi, że ziemia porusza się, ale te swoje poglądy wypowiada mimochodem, bo treść dzieła nie jest bynajmniej astronomiczna: jest to traktat teologiczno-metafizyczny. Tymczasem Bruno [5] zupełnie wyraźnie i wielokrotnie powtarza i uzasadnia twierdzenie, że wszechświat niema granic, że ani ósma, ani wogóle żadne sfery nie istnieją, że gwiazdy to takie same słońca jak nasze, tylko bardziej oddalone, że podobnie jak słońce mają też swoje planety, twierdzi nawet, że niektóre z tych planet są zamieszkane.

Stanowisko Galileusza (1564—1642) poznamy najlepiej z następującego ustępu w dyalogu „De systemate mundi“, gdzie [6] Salvianus i Symplicyusz rozmawiają w następujący sposób: *Salvia-*

---

[1] Patrz VI tom zbiorowego wydania dzieł Keplera przez Dr Frischa.

[2] Podstawy tego rachunku są zupełnie fantastyczne. Kepler był mistykiem a zarazem jakby odrodzonym Pytagorejczykiem.

[3] Właściwie Filip Bruno. Jordan było to imię zakonne.

[4] Właściwie Mikołaj Chrypffs z Cues koło Trewiru.

[5] Zapatrywanie swoje wyłożył Bruno w dyalogach „Cena de le ceneri“ i „De l'infinito universo et mondi“. Bruno był zdecydowanym zwolennikiem kopernikańskiego systemu.

[6] Str. 455, wydanie londyńskie 1633 r.

nus. „Co zrobimy Symplicyuszu z gwiazdami stałemi? Czy rozsypiemy je po niezmierzonych przestworach wszechświata na rozmaitych odległościach od jakiegokolwiek danego punktu, czy też umieścimy je na pewnej kulistej powierzchni otaczającej pewien punkt środkowy w taki sposób, że wszystkie gwiazdy będą znajdować się na jednej i tej samej odległości od owego środka". *Symplicyusz.* „Wolałbym pójść drogą pośrednią i założyć, że gwiazdy opisują swe tory naokoło pewnego środka, oraz że te tory są zamknięte między dwoma powierzchniami kulistemi..." „przypuszczam, że niezliczone mnóstwo gwiazd znajduje się pomiędzy temi dwoma kulami ale na różnych wysokościach [1]. Nazwałbym to sferą wszechświata...".

Podczas gdy Salvianus jasno i trafnie formułuje przeciwieństwo pomiędzy starem a nowem pojęciem budowy wszechświata, Symplicyusz rzeczywiście obiera pośrednią drogę; — bo jeżeli na wzór Keplera założymy, że grubość kulistej warstwy, zawierającej gwiazdy stałe, jest mała, to otrzymamy dawną „ósmą sferę", a jeżeli założymy, że jest wielka, nieskończenie wielka, to otrzymamy nowożytny układ gwiazd, rozrzuconych po nieskończonych przestrzeniach. Z innego ustępu [2] widać, że Galileusz uważał gwiazdy stałe za takie same słońca jak nasze.

Do usunięcia dawnego wyobrażenia o budowie wszechświata przyczynił się bardzo wynalazek lunety. Pierwsze lunety zrobili holenderscy szlifierze okularów w pierwszych latach XVII wieku. Jedną z tych lunet przywiózł Piotr Scholiers [3] do Wenecyi a potem do Rzymu. Posłyszał o niej Galileusz i na podstawie opowiadania zbudował sobie podobną. W pierwszych dniach stycznia 1610 r. odkrył księżyce Jowisza. Wiadomo zresztą, że S. Marius (właściwie Meyer 1570—1624) w Anspachu odkrył księżyce Jowisza jednocześnie z Galileuszem. — Odkrycie księżyców Jowisza, faz Wenery i t. d., wszystko to były argumenty na korzyść teoryi Kopernika; — przedewszystkiem atoli dzięki lunetom zostało usunięte pewne złudzenie popierające dawne pojęcie ósmej sfery.

---

[1] W owych czasach stale mówiono o „wysokości" zamiast o „odległości" gwiazd.

[2] Loc. cit. str. 496.

[3] E. Gerland. „Das Fernrohr" we Valentinera „Handwörterbuch der Astronomie", tom I, str. 701.

„Do wynalezienia lunety“ — powiada Huyghens[1] (1629—1695) — „zdawało się, że jeżeli zaliczymy słońce do gwiazd stałych, to będziemy musieli wyrzec się systemu Kopernika. Rzeczywiście: ponieważ roczny ruch ziemi niema wpływu[2] na widome pozycye gwiazd, więc przyjmując system Kopernika musimy jednocześnie przyjąć, że gwiazdy znajdują się tak daleko, iż cała orbita ziemi w porównaniu z ich odległością może być uważana jako punkt. Tymczasem aż do odkrycia lunet zdawało się, że gwiazdy pierwszej wielkości mają średnice wynoszące około trzech minut kątowych[3]. Stąd wypadałoby, że rzeczywista średnica każdej z gwiazd pierwszej wielkości jest większa niż średnica orbity ziemskiej, co wydaje się niemożebnem. Jest to właśnie zarzut, który Tycho Brahe [1546—1601] podnosił przeciwko systemowi Kopernika“.

Aby wytłómaczyć powyższe słowa Huyghensa przytoczymy w krótkich słowach rachunek Longomontanusa (właściwie Chr. Severin 1562—1647) ucznia Tychona Brahego[4]. Przyjmuje on, że roczna paralaksa gwiazd pierwszej wielkości wynosi najwyżej jedną minutę[5] a średnica gwiazdy pierwszej wielkości średnio dwie minuty. Ponieważ paralaksa roczna jest to kąt, pod którym widać z gwiazdy połowę średnicy orbity ziemskiej, więc cała średnica orbity ziemskiej widziana z gwiazdy wynosiłaby co najwyżej dwie minuty, t. j. byłaby co najwyżej równa średnicy gwiazdy widzianej ze ziemi. Dochodzi tedy do wniosku, że średnica gwiazdy pierwszej wielkości jest co najmniej równa średnicy orbity ziemskiej. Nie chcąc zgodzić się na tak nieprawdopodobny rezultat

---

[1] Traité de la pluralité des Mondes du feu Mr. Chr. Huyghens traduit du Latin par M. D. Amsterdam 1718, str. 246 i nast.

[2] Trzeba pamiętać o tem, że wówczas nie znano ani paralaks rocznych, ani aberracyi.

[3] Wskutek irradyacyi widzimy gwiazdy jakby rogate i ogromnie powiększone.

[4] N. Herz. Allgemeine Einleitung in die Astronomie. Valentinera Handwörterbuch der Astronomie. Tom I, str. 73. Zmieniłem trochę liczby podane przez Herza, bo oczywiście w jednem miejscu niepotrzebnie pomnożył przez 2.

[5] Za owych czasów zupełnie nie znano paralaks gwiazd stałych. Jest to tedy pewna dowolnie przyjęta górna granica paralaksy, przytem ogromnie przesadzona. Paralaksa najbliższej gwiazdy α Centauri wynosi zaledwie $^3/_4$ sekundy.

[6] Swoją drogą szacowano wówczas średnicę orbity ziemskiej tylko na jakie 1200 średnic ziemskich. Nie wiedziano jeszcze, że w rzeczywistości jest przeszło 23.000 razy większa od średnicy ziemi.

Tycho, Longomontanus i inni zupełnie odrzucali system Kopernika i twierdzili, że ruch roczny ziemi nie odbija się[1] na pozycyach gwiazd stałych nie dlatego, że te gwiazdy są bardzo daleko, a dlatego, że go poprostu niema. Swoją drogą Tycho nie wierzył w żadne „sfery“. „Ale“ — powiada Huyghens[2] — „powyższa trudność znikła natychmiast w chwili, w której lunety odjęły gwiazdom promienie, któremi wydają się otoczone, gdy patrzymy na nie gołem okiem“. Rzeczywiście widziane przez lunety gwiazdy wydają się mniejsze niż widziane gołem okiem; zarzut Tychona Brahego i Longomontana upada, założenie, że rozmiary gwiazd są porównywalne z rozmiarami słońca daje się pogodzić ze założeniem, że odległości ich są miliony razy większe niż odległość słońca.

Skoro to przyjmiemy, to przyjdziemy także do wniosku, że gwiazdy świecą własnem światłem, t. j. że to są takie same słońca jak nasze, bo na tak wielkich odległościach ciała świecące światłem odbitem nie byłyby widzialne.

Ale jeżeli gwiazdy są to takie same słońca jak nasze, to odwrotnie słońce jest jedną z gwiazd. Dlaczegóż tylko ono jedno miałoby być oderwane od sfery gwiazd stałych? dlaczego ono jedno miałoby zajmować wyjątkowe położenie we wszechświecie? Mimowoli nasuwa się odpowiedź, że hypoteza sfery gwiazd stałych jest błędna, że w rzeczywistości gwiazdy są to słońca rozrzucone w przestrzeni na najrozmaitszych odległościach od ziemi.

Wogóle wyobrażenia Huyghensa o gwiazdach są podobne do współczesnych. Naturalnie H. nie wie o wielu rzeczach, które dziś są dobrze znane, w zapale swoim dla hypotezy wielości światów zamieszkanych idzie dalej, niż poszedłby współczesny uczony; ale wówczas a tak samo w XVIII wieku „wiara“ we wielość światów zamieszkanych była powszechną. Np. w spekulacyach J. H. Lamberta (1728—1777) przewodnią myślą jest przekonanie[3], że świat jest umyślnie tak urządzony, aby pomieścić jak największą ilość mieszkańców. Twierdzi on, że nawet komety są zamieszkane.

---

[1] Za owych czasów nie znano jeszcze aberracyi.

[2] Loc. cit. str. 247.

[3] Lambert. Système du monde publié par Mérian. II-gie wyd. Berlin i Paryż 1784 r., str. 61 i w innych miejscach.

2. Spekulacye Lamberta i Kanta. Kwestya nieskończoności wszechświata.

Widzieliśmy poprzednio, że nowe pojęcie o rozkładzie gwiazd w przestrzeni powstało i utrwaliło się prawie jednocześnie ze systemem Kopernika. Skoro utrwaliło się, nastała chwila, w której zaczęto rozwijać je dalej drogą spekulacyi. W r. 1750 pojawia się „An original Theory of the Universe" Th. Wright'a (1711—1786), która natchnęła E. Kanta (1724—1804) do napisania dzieła „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels". To ostatnie dzieło wyszło w r. 1755, zaś „Kosmologische Briefe" Lamberta wyszły w r. 1761. We wszystkich tych dziełach powtarza się to samo rozumowanie „per analogiam". Jeżeli księżyce krążą naokoło planet, a planety naokoło słońca, to zapewne słońce i inne gwiazdy krążą naokoło jakiegoś większego ciała. Kant sądzi, że słońce i wogóle wszystkie widzialne gwiazdy należą do systemu drogi mlecznej i przypuszcza, że krążą dokoła Syryusza[1]. Nasza droga mleczna nie jest jedynym systemem tego rodzaju. Widzimy na niebie podługowate mgławice, które nawet w najsilniejszych lunetach nie rozpadają się na gwiazdy[2]. Zapewne są to systemy podobne do systemu drogi mlecznej. Prawdopodobnie droga mleczna i inne podobne do niej systemy krążą naokoło pewnego wspólnego środka i t. d.

Bardzo podobną jest teorya[3] Lamberta; różnice dotyczą tylko szczegółów, nie zasadniczej idei. Lambert przypuszcza, że środkowe ciało, naokoło którego krąży słońce i widome nam gwiazdy, znajduje się w konstelacyi Oriona. Przypuszcza, że mgławica Oriona to właściwie olbrzymie ciało słabo świecące nie własnem a odbitem światłem najbliższych gwiazd.

O ile można wnosić z krótkiej wzmianki w „Exposition du Système des Mondes" (ks. V. rozdz. VI)[4] zapatrywania te podzielał poniekąd Laplace (1749—1827). Powiada on mianowicie: „Słońce

---

[1] Tymczasem z nowszych badań wynika, że Syryusz jest wprawdzie większy od słońca, ale zaledwo kilka razy. O wiele większym jest Aldebaran.

[2] Analiza spektralna była wtedy nieznana i Kant nic nie wiedział o świecących gazach w mgławicach.

[3] Dobre streszczenie pomysłów Kanta i Lamberta znajduje się w „Etudes d'astronomie stellaire" (Petersburg 1847) F. G. W. Struvego.

[4] VI tom (str. 483) zbiorowego wydania dzieł Laplace'a przez Akademię paryską.

wraz z grupą gwiazd, do której należy, krąży naokoło środka ciężkości wszechświata". — Podzielali je też liczni inni astronomowie końca XVIII i pierwszej połowy XIX wieku. J. A. Mädler (1791—1874) sądził, że środkowem ciałem, naokoło którego krążą gwiazdy i słońce, jest gwiazda Alcyone w konstelacyi Plejad. F. W. Argelander [1799—1875] mniemał, że centralne ciało [podobnie jak Lambert, Argelander wyobrażał sobie, że to jest ciało ciemne] znajduje się gdzieś w konstelacyi Perseusza.

Bardzo wyraźnie i bardzo stanowczo wyraża Kant zapatrywanie, że wszechświat jest nieskończony, t. j. że składa się z nieskończonej ilości ciał rozsianych w nieskończonej przestrzeni. Wedle jego mniemania tylko nieskończony świat jest dziełem godnem Boga, skończony — czy to o średnicy równej jednemu calowi, czy równie wielkiej jak średnica drogi mlecznej — nie jest dziełem godnem boskiej wszechmocy.

Przeciw hypotezie nieskończoności świata podnoszono zarzut, że gdyby ilość gwiazd była nieskończona, to całe niebo powinnoby błyszczeć jak słońce[1], bo w każdym kierunku oko natrafiałoby na jakąś gwiazdę. Kto pierwszy podniósł ten zarzut, nie wiem, — ale to wiem, że wedle świadectwa H. W. M. Olbersa[2] (1758—1840) już E. Halley (1656—1742) zwalczał go zresztą dość nieudolnie. Natomiast Lambert, J. P. Loys de Chéseaux (1718—1751), a później tenże Olbers słusznie podnosili, że blask nieba zależy także od pochłaniania światła. Sądzili oni, że sam eter pochłania światło. Prócz tego Lambert mówi o pochłanianiu przez atmosfery gwiazd i planet, a Olbers o pochłanianiu przez meteoryty, pyły i różne mniejsze i większe ciała, unoszące się w przestrzeniach międzyplanetarnych i międzygwiazdowych. Pochłanianie światła przez eter zostawimy lepiej na boku, bo sam eter jest czemś hypotetycznem: lepiej ograniczyć się do nieulegającego wątpliwości pochłaniania (względnie przesłaniania) światła przez większe i mniejsze

[1] Nawet S. Newcomb (patrz dalej) powtarza to samo. Tymczasem skąd pewność, że gdyby całe niebo było pokryte gwiazdami, to błyszczałoby jak słońce. Dlaczego nie silniej, dlaczego nie słabiej niż słońce. Czyż blask gwiazd jest średnio równy blaskowi słońca. W co obróci się powyższy argument, jeżeli procent gwiazd mniej jasnych niż słońce jest większy, aniżeli procent gwiazd jaśniejszych od słońca?

[2] Über die Durchsichtigkeit des Weltraumes. Bode's astron. Jahrbuch f. 1826, str. 110—121.

ciała ciemne. We wszechświecie jest mnóstwo ciał ciemnych, o których istnieniu wcale nie wiemy. Dowiadujemy się o nich tylko w rzadkich przypadkach przez szczególny zbieg okoliczności. Tak np. wiemy, że Algol (β Persei) ma ciemnego towarzysza, bo ten towarzysz zakrywa go w regularnych odstępach czasu. Że Procyon i Syryusz mają ciemnych towarzyszy, to poznano tylko po pewnych ruchach tych gwiazd, które nie dają się inaczej objaśnić jak przez przyciąganie wielkich satelitów. Zresztą towarzysze Syryusza i Procyona, jak to się potem okazało, nie są zupełnie ciemni, można ich niekiedy widzieć przy odpowiednich warunkach przez bardzo silne lunety [1].

Ale oprócz wielkich ciał ciemnych jest mnóstwo drobnych ciał: aerolitów, pyłów kosmicznych i t. d. wędrujących bądź oddzielnie, bądź całymi rojami. Naturalnie drobne te ciała są rozsiane bardzo nierównomiernie: zapewne są skupione dokoła większych ciał; ale tworzą one coś w rodzaju pyłu we wszechświecie. Ten pył, a także gazowe mgławice pochłaniają światło, wskutek czego siła światła zmniejsza się z odległością więcej niż w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości i tło nieba, to jest miejsca zajęte przez dalsze gwiazdy, musi wydawać się mniej jasnem niż bliższe gwiazdy. Wedle Olbersa wystarcza przyjąć takie pochłanianie, aby na odległości Syryusza ginęła $^1/_{800}$ część światła [2].

W ostatnich czasach S. Newcomb [1835—1909] ponowił ów stary przez Halleya i Olbersa zwalczany zarzut, ale w nieco zmodyfikowanej formie.

Oto dosłowny przekład jego wywodu [3]: „Mamy trzy razy tyle gwiazd 7-ej co 6-tej wielkości, tak samo trzy razy tyle 8-mej co 7-mej i t. d. aż co najmniej do 10-tej lub 11-ej wielkości, poza

---

[1] Towarzysza Syryusza zobaczył pierwszy G. A. Clark w r. 1862 a towarzysza Procyona Schäberle w r. 1896. Towarzysz Procyona wygląda jak gwiazda 13-tej wielkości.

[2] G. V. Schiaparelli. [Sulla distribuzione apparente delle stelle visibili a occhio nudo. Publ. Osserv. di Brera, Nr 34, str. 28—29] oblicza, że dla wytworzenia pochłaniania takiego, jakie przypuszczał Olbers, wystarcza, aby w każdym sześciennym kilometrze przestrzeni znajdowało się jedno ciałko o średnicy trochę większej niż dwa mikrony (mikron = jednej tysiącznej milimetra).

Przy tej sposobności zauważymy, że pochłanianie dużo większe od tego, które przypuszczał Olbers, prowadzi do pewnych sprzeczności. Porównaj np. tylko co cytowaną rozprawę Schiaparellego.

[3] Artykuł: Astronomy w 25 tomie (X-te wydanie) Encyclopedia Britannica.

któremi statystyka staje się niepewną. Każda gwiazda danej wielkości daje około 0,4 tego światła, które daje gwiazda o jedną wielkość jaśniejsza. Stąd wynika, że całkowita ilość światła, którą otrzymujemy od wszystkich gwiazd pewnej klasy, wzrasta w miarę tego, jak postępujemy ku coraz to mniej jasnym klasom, albowiem większa ilość gwiazd więcej niż kompensuje mniejszą ilość światła, którą od każdej z osobna otrzymujemy. Gdyby więc te stosunki wciąż dalej i dalej trwały, to ilości światła, otrzymywanego od coraz to dalszych klas, byłyby coraz to większe[1] i całe niebo błyszczałoby tak jak słońce. Ponieważ tak się nie dzieje, to szereg musi gdzieś urywać się. W jakim punkcie urywa się, tego dokładnie powiedzieć nie możemy... Wnosimy stąd, że dostępny naszemu badaniu wszechświat ma jakieś granice“.

Nie widzimy, dlaczego z powyższych faktów ma wynikać, że ilość gwiazd jest w rzeczywistości skończoną. Możebne są bowiem zawsze dwie odpowiedzi: jedna, że rzeczywiście na jakiejś 30 klasie[2] szereg urywa się, że gwiazd 31 i dalszych wielkości wcale niema. Wtedy rzeczywiście możnaby wnosić, że poza tą odległością, która odpowiada 30-tej klasie, jasnych gwiazd już wcale niema. Ale zawsze możebną jest druga ewentualność, mianowicie ta, że wskutek pochłaniania stosunek pomiędzy ilością światła przysyłanego przez gwiazdy $(n+1)$-szej klasy a ilością światła przysyłanego przez gwiazdy n-tej klasy, który u pierwszych kilku wielkości jest większy od 1 a nawet trochę wzrasta[3], — że ten stosunek, powiadamy, — potem, t. j. u dalszych klas, zmniejsza się i to nawet bardzo szybko.

Argument Newcomba jest tylko wysubtelnionym, przyobleczonym w cechy większej ścisłości starym zarzutem, że gdyby ilość gwiazd była nieskończoną, to całe niebo powinnoby błyszczeć „jak słońce“; przeto wszystko, co powiedzieliśmy przeciwko tamtemu zarzutowi, stosuje się także do zarzutu Newcomba.

H. v. Seeliger[4] stawia następujący dylemat: albo suma mas

[1] Mianowicie od danej klasy do następnej średnio w stosunku 1,2 większe.

[2] Mówimy tak dla przykładu.

[3] W rzeczywistości owe wzrastanie u pierwszych kilku klas nie jest bynajmniej tak pewne, jak to powiada Newcomb.

[4] Über das Newton'sche Gravitationsgesetz. Astr. Nachr. tom 137 (1895 r.), str. 129—136 oraz Sitzb. der math. phys. kl. der kgl. bayrischen Akad. der Wiss., tom XXVII (1896 r.).

we wszechświecie jest nieskończona, a wtedy Newtońskie prawo przyciągania nie może być ścisłe; albo prawo Newtona jest ścisłe, a wtedy nieskończona przestrzeń nie może być wypełniona masą o skończonej gęstości[1]. Powodując się tem C. V. L. Charlier[2] obmyślił nawet model wszechświata nieskończonego co do rozmiarów, ale posiadającego nieskończenie małą średnią gęstość. Jest to właściwie dawny model Lamberta, w którym systemy niższego rzędu łączą się w systemy wyższego rzędu, a odległości między kolejnymi systemami coraz to wyższych rzędów szybko wzrastają. Tak np. na podstawie pewnych, dowolnych zresztą, założeń Charlier znajduje, że najbliższe systemy analogiczne do drogi mlecznej powinny wydawać się nam jako gwiazdy 37-mej wielkości, t. j. powinny być zupełnie niewidzialne.

Do postawienia powyższego dylematu skłoniło Seeligera to, że gdy weźmiemy pewne dowolne układy materyalne o skończonych rozmiarach a następnie powiększymy ich rozmiary do nieskończoności, to w nieskończonej odległości od środka układu przyciąganie stanie się nieskończenie wielkiem. Jest to niewątpliwie słuszne, ale zastosowania do realnego świata nie ma, bo skoro wszechświat jest nieskończony, to środka nie posiada: każdy punkt układu może być uważany za środek a do punktów, w których przyciąganie jest nieskończone, nigdy dojść nie możemy.

Gdy idzie o zastosowanie do realnego wszechświata, to nie należy rozważać jakichkolwiek dających się pomyśleć układów materyalnych; należy rozważać tylko układy prawdopodobne. Otóż niewątpliwą jest rzeczą, że w nieskończonych, ale prawdopodobnych układach materyalnych przyciąganie wogóle wszędzie pozostaje skończone. Rzeczywiście wyobraźmy sobie nieskończoną przestrzeń wypełnioną[3] gwiazdami. „Gęstość“ gwiazd może być miejscami większa, miejscami mniejsza, ale należy przypuścić, że zmienia się całkiem nieregularnie i w żadnym razie nie jest funkcyą odległości od ja

---

[1] Można sobie wyobrazić przestrzeń podzieloną na wielkie sześcienne klatki, mające np. po 10 lat światła długości, szerokości i wysokości. Weźmy sumę mas wszystkich ciał zawartych w takiej klatce, podzielmy ją przez objętość klatki, a otrzymamy „gęstość“ materyi ważkiej w danej klatce.

[2] Wie eine unendliche Welt aufgebaut sein kann. Arkiv. för Matematik, tom IV, Nr 24.

[3] Por. A. Svante Arrhenius. Zur Frage der Unendlichkeit der Welt Arkiv. för Matematik... tom V, Nr 12, str. 10 i nast.

kiegoś określonego punktu. Wtedy zaś przyciąganie w jakimkolwiek punkcie przestrzeni powinno być skończone. Przeprowadźmy np. przez dany punkt trzy zresztą zupełnie dowolne, wzajemnie do siebie prostopadłe osie x, y, z i zatoczmy naokoło naszego punktu kulę promieniem równym np. tysiącowi lat światła[1]. Weźmy najpierw wszystkie ciała, zawarte wewnątrz półkuli, położonej powyżej płaszczyzny xy, obliczmy składową przyciągania równoległą do osi z i oznaczmy ją np. przez A_z, następnie weźmy wszystkie ciała zawarte wewnątrz półkuli położonej poniżej płaszczyzny xy, obliczmy składową przyciągania równoległą do osi z i oznaczmy ją przez B_z. Tak A_z jak B_z są skończone, bo ilość ciał przyciągających zawartych tak w jednej jak w drugiej półkuli jest skończona i same ciała mają skończone masy. Oba przyciągania są wręcz sobie przeciwne, a więc wzajemnie neutralizują się albo zupełnie, albo w znacznej części. W każdym razie różnica ich

$$D_z = A_z - B_z,$$

t. j. składowa przyciągania w kierunku z jest skończona. To samo odnosi się do składowych D_y i D_x równoległych do osi y i x.

Powtórzmy teraz tę samą operacyę, ale z kulą o promieniu równym dwom tysiącom lat światła, a otrzymamy składowe przyciągania:

$$D_x^1,\ D_y^1,\ D_z^1,$$

potem powtórzmy ją z kulą o promieniu równym trzem tysiącom lat światła, a otrzymamy składowe przyciągania:

$$D_x^2,\ D_y^2,\ D_z^2$$

i t. d. i t. d. aż do nieskończoności. Gdy tak powiększamy promień naszej kuli, to składowe przyciągania $D_z^k\ D_y^k\ D_z^k$ [gdzie $k = 1, 2 \ldots$ i t. d.], wcale odpowiednio nie wzrastają; przeciwnie im większą bierzemy kulę, tem większe są szanse na to, aby przyciąganie gwiazd znajdujących się, powiedzmy, po dodatniej stronie płaszczyzny xy kompensowało się z przyciąganiem gwiazd leżących po odjemnej stronie tejże płaszczyzny. Jest to prosta konsekwencya praw prawdopodobieństwa. Wnosimy stąd, że nawet wtedy, gdy powiększymy

---

[1] Od najbliższych gwiazd światło biegnie do ziemi po kilka lat.

promień kuli do nieskończoności, to choć A_z^∞ i B_z^∞ staną się nieskończenie wielkie, jednakże różnica ich pozostanie skończoną.

To samo naturalnie stosuje się do składowych przyciągania w dwóch pozostałych kierunkach, a ponieważ obraliśmy kierunki $x\ y\ z$ zupełnie dowolnie, więc rozumowanie nasze jest zupełnie ogólne.

Twierdzimy tedy, że przy każdym prawdopodobnym rozkładzie gwiazd — nawet w nieskończonym wszechświecie przyciągania muszą się w każdym punkcie przestrzeni mniej więcej kompensować i że wypadkowa ich musi być wogóle wszędzie skończoną[1]. Stąd zaś w dalszym ciągu wnosimy, że niema zasadniczej sprzeczności między Newtońskiem prawem przyciągania a założeniem, że wszechświat jest nieskończony.

Twierdzenie to jest czysto negatywne: odpieramy pewien zarzut i nic więcej. Żadnego pozytywnego wniosku na korzyść nieskończoności wszechświata wysnuć nie możemy. Wogóle nie posiadamy żadnego kryteryum, na podstawie którego możnaby było odpowiedzieć na pytanie, czy świat jest skończony czy nieskończony.

Zresztą kwestya ta niema praktycznego znaczenia, bo „poznać“ możemy tylko ograniczoną, skończoną część wszechświata.

3. Badania Herschla.

To, co zazwyczaj podają jako system F. W. Herschla[2] (1738—1822), to jest właściwie treść jego dwóch rozpraw z r. 1784 i 1785 noszących ten sam tytuł: „On the constitution of the Heavens“. Tymczasem Herschel żył potem jeszcze 37 lat, wciąż dalej zajmował się badaniem gwiazd (ogółem Herschel poświęcił

---

[1] Sądzę, że niema potrzeby z góry wykluczać możności istnienia jakichś miejsc, w których przyciąganie staje się nieskończonem. Przecie można zupełnie dobrze wyobrazić sobie funkcyę wszędzie w skończoności skończoną, — a nieskończoną czy to w nieskończoności, — czy to w skończoności w oddzielnych punktach, czy jedno i drugie razem. Chodzi tylko o to, aby pierwsze było regułą, a drugie wyjątkiem.

[2] Prace F. W. Herschla, rozrzucone po starych rocznikach *Philosophical Transactions* są trudno dostępne, trzymam się tu Struvego [Etudes d'astronomie stellaire].

gwiazdom 50 lat pracy) i, jak to niebawem zobaczymy, — zmienił swoje zapatrywania nawet w zasadniczych kwestyach.

Zadanie, które sobie postawił Herschel, dotyczy budowy drogi mlecznej.

Nawet gołem okiem widać, że w okolicach biegunów drogi mlecznej gwiazdy są rzadsze, a im bliżej do drogi mlecznej, tem gęściej po niebie rozsiane. Obserwacye teleskopiczne potwierdzają w zupełności to spostrzeżenie. Jeżeli skierujemy teleskop raz ku okolicy nieba oddalonej od drogi mlecznej, a drugi raz ku samej drodze mlecznej, lub jakiejbądź blizko z nią sąsiadującej okolicy nieba; to w drugim razie prawie zawsze zobaczymy w otworze teleskopu (czyli w tak zwanem „polu widzenia“) o wiele więcej gwiazd niż w pierwszym razie. Herschel kierował swój teleskop ku różnym systematycznie obranym okolicom nieba i liczył gwiazdy w polu widzenia. Całego nieba przejrzeć nie mógł, bo pole widzenia jego teleskopu pokrywało tylko $^1/_{833000}$ nieba, a więc trzebaby było niewiedzieć wielu lat, aby dokonać tej lustracyi. Dokonał on około 3400 liczeń próbnych. Zdarzało się, że nie widział ani jednej gwiazdy w polu widzenia teleskopu, albo też widział jedną, dwie, trzy; ale były też i takie miejsca na niebie, w których widział naraz po kilkaset gwiazd, raz nawet naliczył 588 gwiazd. Na podstawie tych prób Herschel następnie obliczył, ile gwiazd średnio przypada na jednostkę pola w każdej okolicy nieba.

W rozprawach z r. 1784 i 1785 Herschel czyni dwa założenia: I-sze, że zapomocą swego teleskopu rzeczywiście widzi wszystkie gwiazdy należące do systemu drogi mlecznej, czyli, jak sam wyraża się, że wszędzie może wyjrzeć poza granice tego systemu; II-gie, że w przestrzeni gwiazdy są mniej więcej jednakowo gęsto rozmieszczone. Na tem drugiem założeniu właściwie polega jego koncepcya drogi mlecznej. Rzeczywiście, jeżeli założymy, że w przestrzeni gwiazdy są mniej więcej jednakowo gęsto rozmieszczone, to musimy dojść do wniosku, że widome zagęszczenie gwiazd w samej drodze mlecznej jest tylko pozorne. Poprostu patrząc na drogę mleczną natrafiamy wzrokiem na te części przestrzeni, które są zapełnione gwiazdami do bardzo wielkiej odległości; patrząc zaś na stosunkowo puste okolice nieba dochodzimy wzrokiem do granic systemu drogi mlecznej na stosunkowo niewielkiej odległości. Jeżeli gęstość przestrzenna jest stała, to odległość między nami a granicą systemu drogi mlecznej musi być wszędzie mniej więcej proporcyonalna do sześciennego pierwiastka z widomej (powierzchniowej) gęstości gwiazd, albo, co na jedno wychodzi, do sześciennego pierwiastka z ilości gwiazd jednocześnie widzialnych w „polu widzenia“ teleskopu. Kierując się tem prawidłem można wyznaczyć kształt systemu drogi mlecznej. Załączamy tu rysunek przedstawiający jedno z poprzecznych przecięć systemu drogi mlecznej wedle Herschla.

Widzimy z rysunku, że Herschel wyobrażał sobie system drogi mlecznej jako olbrzymi, bardzo nieregularny krążek z rozmaitemi rozgałęzieniami, zagłębieniami i t. d. Słońce ze swojemi planetami znajduje się niedaleko od środka systemu. Grubość krążka

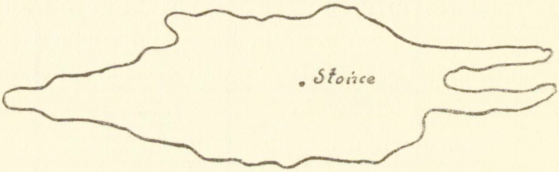


Fig. 7.

jest około pięciu do sześciu razy mniejsza od jego szerokości i długości. Największa średnica drogi mlecznej wynosi około 12920 lat światła [1]. Mgławicę Oriona, Andromedy i kilka innych (razem 10) uważał Herschel za takie same gwiazdozbiory jak nasz system drogi mlecznej, ale prawdopodobnie większe i bezporównania bardziej od nas oddalone niż najdalsze krańce drogi mlecznej.

Atoli później dzięki doświadczeniom fotometrycznym, dzięki nowym obserwacyom, dokonanym z pomocą większego teleskopu, wreszcie wskutek swych własnych odkryć dotyczących gwiazd podwójnych i mgławic Herschel znacznie zmienił swe poglądy na

---

[1] Prędkość światła wynosi prawie 300 000 km. na sek., rok ma około $31\frac{1}{2}$ milionów sekund; więc rok światła równa się około 9 450 000 000 000 km.

[2] Za owych czasów sądzono, że wszystkie mgławice składają się z gwiazd, bo niektóre z nich, widziane przez silne teleskopy, rozpadają się na oddzielne gwiazdy. Dopiero Herschel i to w drugiej połowie swej działalności odkrył parę mgławic, w środku których były widoczne gwiazdy i począł odtąd podejrzywać, że niektóre mgławice składają się z gazów. Że tak jest w istocie, to wykazała w drugiej połowie XIX wieku analiza spektralna. Specyalnie mgławice Oriona i Andromedy składają się z gazów, wśród których są rozsiane gwiazdy. Oprócz tego mgławice zawierają chmury meteorytów.

budowę świata gwiazdowego. W ostatnich swoich pracach zupełnie odrzuca zasadnicze założenia swej teoryi z r. 1784 i 1785, mianowicie wyraźnie powiada, 1) że droga mleczna nie daje się zgłębić, że najsilniejszym teleskopem nie można dotrzeć do jej granic; 2) że przestrzenna gęstość gwiazd nie jest bynajmniej jednostajną. Ale w takim razie nie może być mowy o obliczeniu odległości do granic systemu drogi mlecznej i cała powyższa teorya upada.

Ta zmiana zapatrywań nic Herschlowi nie uwłacza. Zawsze i wszędzie wielcy badacze zmieniali i zmieniają swe poglądy, skoro nowe fakty wyjdą na jaw i skoro się okaże, że dawne tłómaczenie zjawisk utrzymać się nie da.

F. G. W. Struve (1793—1864)[1] sądził, że słońce znajduje się w okolicy, w której gwiazdy są stosunkowo gęsto rozsiane, jednakże środkiem zagęszczenia nie jest, bo wogóle środka zagęszczenia niema. Struve rozróżnia dwie osie: jedną najmniejszej, drugą największej gęstości. Pierwsza jest skierowana od rektascensyi 22° 30′ ku 202° 30′, druga od rektascensyi 100° ku rektascensyi 280°. Tedy obie osie leżą w równiku, ale nie należy przypisywać temu znaczenia, bo dzięki różnym postronnym przyczynom Struve mógł rozpatrywać rozkład gwiazd tylko w pewnej stosunkowo cienkiej warstwie, leżącej po obu stronach równika.

Moglibyśmy długo jeszcze roztrząsać rozmaite badania nad budową wszechświata, ale z braku miejsca pominiemy nawet tak ważne badania jak H. v. Seeligera. Rozpatrzymy tylko stosunkowo zakończoną teoryę Kapteyna, ale zanim do niej przystąpimy, musimy wprzód poznajomić się z ruchem własnym gwiazd.

4. Ruchy własne gwiazd.

Wskutek precesyi i nutacyi[2] pozycye gwiazd na sklepieniu niebieskiem ulegają pewnym zmianom, ale zaraz widać, że to są przesunięcia wspólne wszystkim gwiazdom. Starożytni i średniowieczni astronomowie tłómaczyli precesyę przez ruch samej sfery gwiazd stałych; my tłómaczymy precesyę i tak samo nutacyę przez pewne ruchy ziemi. Oś biegunowa ziemi nie pozostaje do siebie równoległą, ale zmienia swe położenie względem sfery niebieskiej, nam zaś wy-

---

[1] Etudes d'astronomie stellaire, str. 58 i nast.

[2] Nutacyę odkrył J. Bradley (1692—1762) w r. 1748.

daje się, że sfera niebieska wraz ze wszystkiemi gwiazdami wykonuje pewne ruchy. Do precesyi i nutacyi dołącza się aberacya[1], której zasadnicza przyczyna polega na tem, że światło nie rozchodzi się w mgnieniu oka, tylko z prędkością wprawdzie wielką, ale skończoną. Wskutek aberacyi ruch ziemi po orbicie i ruch codzienny odbijają się na pozycyach gwiazd. Np. ruch roczny odbija się w ten sposób, że wskutek aberacyi wszystkie gwiazdy opisują na sklepieniu niebios pewne małe elipsy.

Podczas gdy precesya i nutacya wcale nie zmieniają wzajemnych odległości gwiazd, aberacya ma wprawdzie wpływ na wzajemne odległości, ale sprawia zmiany po pierwsze bardzo drobne, po drugie peryodyczne i tak regularne, że odrazu widać, że przyczyna ich musi być wspólna i od samych gwiazd niezależna.

Tymczasem obserwacya okazuje, że względne pozycye gwiazd nawet bardzo blisko sąsiadujących zmieniają się z czasem. Wogóle konstatujemy różnorodne przesunięcia, których nie można położyć ani na karb precesyi i nutacyi, ani na karb aberacyi. Nazywamy je „ruchami własnymi“ [motus proprii] gwiazd.

Naturalnie konstatujemy tylko ruchy prostopadłe do promienia widzenia. Ruchy wzdłuż promienia widzenia mogą być i bywają wykryte tylko zapomocą obserwacyi spektroskopicznych. Ruchy własne odkrył E. Halley przez porównanie współczesnych mu pozycyi Syryusza (α Canis maioris) i Aldebarana (α Tauri) z pozycyami podanemi przez Ptolemeusza.

Pierwszy katalog ruchów własnych 57 gwiazd ogłosił T. Mayer (1723—1762). Określił on te ruchy przez porównanie swoich własnych obserwacyi z wcześniejszemi o 50 lat obserwacyami O. Römera (1644—1710).

Ale jeżeli gwiazdy poruszają się, to dlaczego nie miałoby

---

[1] Aberacyę odkrył tenże J. Bradley na krótko przed nutacyą. Niema w tem nic dziwnego, że ani w starożytności, ani w średnich wiekach nutacyi i aberacyi nie rozpoznano. Odkrycia te były nawet dla Galileusza technicznie niemożebne pomimo tego, że posiadał już lunetę. Stały się one możebne dopiero wtedy, gdy zaopatrzono lunety w koła z dokładną podziałką pozwalającą dokładnie odczytywać kąty oraz gdy umożliwiono dokładne celowanie wstawiając do rury krzyż z nitek. Dopóki nie wprowadzono tych ulepszeń, to błędy obserwacyi były większe aniżeli przesunięcia gwiazd spowodowane przez nutacyę i aberacyę. Zresztą należy pamiętać, że odkrył tak jedną jak drugą nie kto inny jak właśnie Bradley, który był zupełnie wyjątkowo doskonałym obserwatorem.

poruszać się także słońce? W takim razie atoli tak zwane „ruchy własne“ gwiazd są także po części pozorne, spowodowane poprostu przez to, że nasze stanowisko wobec gwiazd zmienia się z czasem.

Ponieważ wedle zasad mechaniki system tak bardzo oddalony od innych gwiazd, jak nasz system słoneczny, musi poruszać się ruchem prawie ściśle prostoliniowym i jednostajnym; więc warto zastanowić się nad tem, jak powinny wyglądać ruchy pozorne gwiazd, czyli tak zwane „ruchy paralaktyczne“ spowodowane przez ruch prostoliniowy i jednostajny systemu słonecznego.

Wyobraźmy sobie chwilowo, że wszystkie gwiazdy są nieruchome oraz że tylko system słoneczny posuwa się wzdłuż pewnej prostej. Oznaczmy ten punkt na sklepieniu niebios, ku któremu zdążamy, czyli tak zwany „apex“ przez A, a punkt, od którego oddalamy się, czyli tak zwany „antiapex“ przez A_1; otóż będzie się nam wydawać, że każda gwiazda posuwa się po łuku wielkiego koła, przechodzącego przez A, A_1 i przez daną gwiazdę, i to właśnie od A ku A_1, podczas gdy system słoneczny zdąża po prostej AA_1 i to od A_1 ku A. Zatem wydaje się, że gwiazdy odsuwają się od „apex'u“ i płyną ku „antiapex'owi“. Jest to zjawisko zupełnie analogiczne do tego, które obserwujemy z okien wagonu w biegu. Kąt β jest to właśnie „ruch paralaktyczny“ gwiazdy G wyrażony w mierze kątowej.

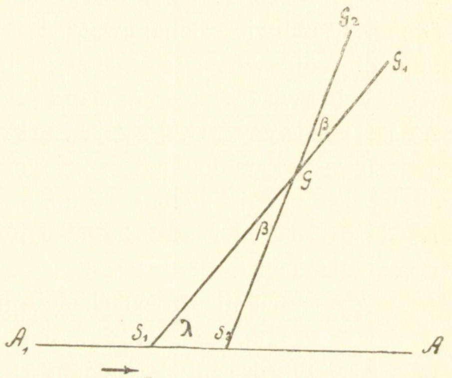


Fig. 8.

Ruchy własne gwiazd nie dają się sprowadzić na sam „ruch paralaktyczny“, ale można je uważać jako wypadkowe ruchu paralaktycznego i ruchu, który dla odróżnienia od ruchu własnego nazywamy „swoistym“ *[motus peculiaris]*.

5. Ruch systemu słonecznego.

Herschel i prawie jednocześnie Prévost[1] (1751—1839) pierwsi spróbowali określić kierunek, w którym podąża system sło-

[1] Tak rozprawa Herschla jak rozprawa Prévosta wyszły w r. 1783,

neczny. Wedle Herschla „apex“ znajduje się w konstelacyi Herkulesa. Ale wnioski Herschla były oparte na tak szczupłym materyale obserwacyjnym, że ówcześni astronomowie, między innymi sławny F. W. Bessel (1784—1846), dali się przekonać dopiero wtedy, gdy F. W. Argelander (1799—1875) stwierdził je na podstawie znacznie obfitszego materyału. Z początku zdawało się, że chodzi tylko o dokładniejsze wyznaczenie pozycyi „apex'u“. W ciągu ostatniej ćwierci XIX wieku [1] kilkakrotnie określano „apex“, jednakże rezultaty oddzielnych obliczeń wciąż okazywały zbyt dużą niezgodność. Kątowe odległości pomiędzy rozmaitemi pozycyami „apex'u“ wynosiły po kilka, kilkanaście lub nawet kilkadziesiąt stopni. Osobliwie godną uwagi jest sprzeczność pomiędzy rezultatami otrzymanymi z tego samego materyału, mianowicie z ruchów własnych gwiazd katalogu Bradleya i A. Auwersa [2]. Metody Argelandera i G. B. Airy'ego (1801—1892) zastosowane do gwiazd tego katalogu dają pozycyę „apex'u“ o przeszło 40° odległą od tej, którą daje metoda Bessla. Zwrócił na to uwagę w r. 1895 H. Kobold, twierdząc, że musi być jakiś zasadniczy błąd w samych metodach [3].

Aby zrozumieć o co chodzi, musimy wniknąć nieco głębiej w naturę zagadnienia. Gdy mówimy o ruchu, to zawsze możemy rozumieć tylko ruch względem czegoś. W systemie heliocentrycznym uważamy słońce za nieruchome, prócz tego uważamy za nieruchome pewne dowolnie obrane płaszczyzny, przechodzące przez słońce np. płaszczyznę równika i płaszczyznę ekliptyki z pewnej epoki. Ruchy gwiazd odniesione do tych płaszczyzn są to właśnie tak zwane „ruchy własne“. Skoro zaś założymy, że i słońce także porusza się, to postąpimy najracyonalniej, jeżeli za przykładem A. Bra-

---

choć tom roczników Akademii berlińskiej [Mémoires de l'Acad. de Berlin], w którym rozprawa Prévosta została wydrukowana, nominalnie odnosi się do r. 1781.

[1] Cf. F. W. Dyson. Systematic motions of the stars. Nature. Tom 82 (1909) str. 11—13.

[2] Tak dla krótkości nazywają katalog gwiazd, obserwowanych około 1750 r. przez Bradleya, powtórnie obserwowanych koło 1860 r., opracowany i wydany przez Auwersa.

[3] Dokładną analizę metod służących do wyznaczenia ruchu systemu słonecznego względem gwiazd podał E. Anding. Kritische Untersuchungen über die Bewegung der Sonne durch den Weltraum. Monachium 1901 i 1910.

vais (1811—1863)[1] przyjmiemy, że nieruchomym jest środek masy gwiazd. Wprawdzie jeżeli wszechświat jest nieskończenie rozległy i ilość gwiazd nieskończona, to środek masy wszechświata jest nieokreślony; ale w praktyce możemy wciągnąć w rachubę tylko ograniczoną ilość gwiazd. System złożony z ograniczonej ilości gwiazd ma zawsze zupełnie określony środek masy, więc powyższa teoretyczna trudność w praktyce nie istnieje. Zato wyłania się inna: oto równania Bravais opierają się na hypotezie, że poza rozważanemi gwiazdami niema wcale materyi przyciągającej; tymczasem w praktyce nie możemy wciągnąć w rachubę nawet wszystkich gwiazd widzialnych przez teleskop. Prócz tego są jeszcze inne okoliczności, z powodu których nie można wyzyskać równań Bravais w całej ścisłości, do której są zdolne. Oto w równania wchodzą masy gwiazd, których za wyjątkiem paru i to niepewnych przypadków zupełnie nie znamy. Aby temu zaradzić, Bravais zakłada, że masy wszystkich gwiazd, w tej liczbie i słońca, są między sobą równe, poczem masy same wypadają z równań. Wreszcie ponieważ za owych czasów [rozprawa została ogłoszona w r. 1843] prędkości gwiazd w kierunku promienia widzenia były zupełnie nieznane, więc Bravais robi pewne dowolne założenia co do ruchów radyalnych. Za naszych czasów znane są prędkości radyalne kilkuset gwiazd. Ograniczając się do tych kilkuset gwiazd można obejść się bez dowolnych założeń, dotyczących ruchów radyalnych i użyć równań (6) na str. 439 rozprawy Bravais, w których figurują ruchy radyalne.

Podczas gdy metoda Bravais zasadniczo jest zupełnie ścisła i dopiero ze względu na brak faktycznych danych wprowadza niektóre dowolne założenia; inne metody, mianowicie metody Argelandera, Airy'ego i Bessla są zasadniczo nieścisłe, bo w samej osnowie ich leżą mniej lub więcej dowolne założenia. Oprócz tego w żadnej z tych metod niema punktu z góry przyjętego za nieruchomy. Wskutek tego otrzymujemy równania w niedostatecznej ilości i, aby doprowadzić zadanie do końca, musimy zrobić pewne dodatkowe założenie co do natury ruchów „swoistych“. Zazwyczaj zakładamy, że „ruchy swoiste“ są zupełnie przypadkowe, t. j. że niema żadnego kierunku, który byłby w porównaniu z innymi

[1] Mémoire sur le mouvement propre du système solaire dans l'espace. Journal des mathématiques pures et appl. Tom VIII (1843 r.), str. 435—488.

w jakikolwiek sposób wyróżniony. Równania, do których dochodzimy, są wogóle i między sobą i od równań Bravais różne; tylko równania Airy'ego są bardzo podobne — wprawdzie nie do ścisłych — ale do zmienionych, do wymagań praktyki przystosowanych równań Bravais, wskutek czego należy się metodzie Airy'ego pierwszeństwo przed metodami Argelandera i Bessla[1].

Co więcej, założenie, że ruchy swoiste są przypadkowe, nie daje się pogodzić z faktami. Okazał to Kapteyn[2] przez następujące proste rozumowanie.

Pomyślmy sobie, jak powinny wyglądać ruchy własne [motus proprii], jeżeli ruchy swoiste (motus peculiares) są przypadkowe. Weźmy ograniczoną część nieba, jednakże o tyle rozległą, aby znajdowało się na niej przynajmniej kilkadziesiąt (lepiej kilkaset) gwiazd o wiadomych ruchach własnych. Wedle założenia ruchy swoiste są przypadkowe, żaden kierunek nie przeważa. Prócz ruchu swoistego każda gwiazda ma ruch paralaktyczny. W ograniczonej części nieba ruchy paralaktyczne są prawie równoległe, skoro więc dodamy (mówimy tu naturalnie o geometrycznem dodawaniu za pomocą równoległoboku prędkości) je do ruchów swoistych, to wszystkie ruchy o kierunku podobnym do kierunku ruchu paralaktycznego zostaną wzmocnione, ruchy o kierunku mniej więcej przeciwnym zostaną osłabione, wskutek czego w ruchach wypadkowych, t. j. w „ruchach własnych" musi okazać się przewaga kierunku właściwego ruchowi paralaktycznemu. Kapteyn wziął 2400 gwiazd z katalogu Auwersa-Bradleya położonych między północnym biegunem a 30^0 deklinacyi[3] południowej i podzielił niebo, właściwie tę jego część, w której znajdują się gwiazdy Auwersa-Bradleya na 28 pól. W razie gdyby założenie co do przypadkowości ruchów swoistych było w rzeczywistości spełnione, to kierunki „średnich" ruchów własnych w każdem z 28 pól powinnyby być mniej więcej identyczne z kierunkami ruchów paralaktycznych w każdem z 28 pól, a zatem powinnyby zbiegać się w jednym punkcie nieba, w „antiapex'ie"; tymczasem w rzeczywistości okazało się, że śre-

---

[1] Stosując poprostu metodę najmniejszych kwadratów otrzymamy także równania identyczne z równaniami Airy'ego. Cf. Anding, loc. supra cit., str. 54.

[2] Star Streaming. Report Br. Ass. South Africa 1905 (Londyn 1906 r.),

[3] Katalog Auwersa-Bradleya nie obejmuje tej części nieba, która leży między południowym biegunem a 30^0 dekl. południowej.

dnie kierunki wcale nie schodzą się w jednym punkcie nieba. Możnaby raczej rozróżnić dwa punkty na niebie, ku którym schodzą się średnie kierunki ruchów własnych w owych 28 polach.

Wobec tego metody określenia „apex'u“, oparte na założeniu, że ruchy swoiste są przypadkowe, tracą grunt pod nogami. Zato tem większe znaczenie powinniśmy przypisywać rezultatom otrzymanym metodą Bravais, jako zupełnie od powyższej hypotezy niezależną.

Uczeń J. C. Kapteyna H. A. Weersma określił niedawno[1] „apex“ metodą Bravais i znalazł następującą pozycyę: rektascensya $267^{\circ},7 \pm 0^{\circ},8$, deklinacya $+31^{\circ},4 \pm 1^{\circ},1$. To znaczy, że chcąc znaleść „apex“ na sferze niebieskiej, trzeba, idąc od zachodu przez południe na wschód, posunąć się na równiku o 267,7 stopni od punktu wiosennego porównania dnia z nocą [t. j. od przecięcia równika z ekliptyką] a potem posunąć się ku północnemu biegunowi o 31,4 stopnie.

Skoro ruchy swoiste nie są przypadkowe, to muszą istnieć pewne uprzywilejowane kierunki, do których „ruchy swoiste“ mają predylekcyę, albo, co na jedno wychodzi, można w „ruchach swoistych“ rozróżnić pewne „prądy“. Kapteyn znajduje, że uprzywilejowanymi są kierunki ku ξ Orionis i wprost przeciwny. Może ta symetrya wyda się komu dziwną tembardziej, że uprzywilejowane kierunki w „ruchach własnych“ nie są wręcz sobie przeciwne, ale tworzą kąt wynoszący około 140°. Symetrya pochodzi z metody analizy, mianowicie stąd, że odnosimy ruchy swoiste do środka masy tych samych gwiazd, które wzięliśmy w rachubę.

6. Niektóre prądy gwiazdowe.

Przy detalicznem badaniu ruchów własnych konstatujemy „miejscowe“ prądy, do których należy po kilka, kilkanaście, lub kilkadziesiąt gwiazd. H. Kobold[3] przytacza 6 gwiazd, których ruchy własne są prawie dokładnie równoległe. Z tych tylko jedna: α Bootis (Wolarza) jest pierwszej wielkości, inne są 5-tej, 6-tej,

[1] A Determination of the Apex. Public. of the Astr. Laboratory Groningen, Nr. 21 [Groningen 1908]. Naturalnie nie można uważać tego określenia za ostateczne.

[2] Przypominamy, że kładziemy wszystkie masy równe sobie.

[3] Der Bau des Fixsternsystems. Brunświk, 1906, str. 222 i nast.

7,5-ej i 8-mej wielkości. Wszystkie poruszają się ku pewnemu punktowi drogi mlecznej, położonemu o 11° na zachód od węzła drogi mlecznej, t. j. od tego punktu w konstelacyi Ophiuchus (Wężownika), w którym droga mleczna przecina równik. Być może, że jest więcej gwiazd, które należą do tego prądu, ale to się okaże dopiero w przyszłości.

Dalej przytacza Kobold grupę pięciu gwiazd poruszających się ku, albo od punktu położonego o $118^1/_2$ stopni na zachód od węzła drogi mlecznej i o $11^1/_3$ stopni na południe od niej, wreszcie grupę dziewięciu gwiazd poruszających się albo od, albo ku punktowi położonemu tylko o 3 stopnie na północ od drogi mlecznej a znajdującemu się o $146^1/_3$ stopni na wschód od jej węzła. Niestety we wszystkich tych trzech przypadkach nie znamy prędkości gwiazd w kierunku promienia widzenia, wskutek czego nie możemy dokładnie rozpoznać naturę tylko co opisanych ruchów, choć wydaje się, że gwiazdy należące do poszczególnych grup rzeczywiście poruszają się równolegle do siebie.

Ale prócz tych przez Kobolda przytoczonych przykładów znamy inne ważniejsze. Podobno R. Proctor (1837—1888) pierwszy zauważył, że z pomiędzy siedmiu głównych gwiazd Wielkiej Niedźwiedzicy (zob. rys. 1 na str. 2) pięć, mianowicie β, γ, δ, ε i ζ posiadają prawie równoległe ruchy własne a zatem prawdopodobnie tworzą jeden system. Po Proctorze kilku astronomów zajmowało się tym systemem. Chodziło im przedewszystkiem o to, aby poznać ruchy radyalne [w kierunku promienia widzenia], bo dopiero kombinując ruchy radyalne z ruchami własnymi, możemy rozpoznać rzeczywisty ruch w przestrzeni (mówimy tu o ruchu względem słońca uważanego za nieruchome).

W ostatnich czasach zajmowali się tą kwestyą K. Ludendorff[1] i E. Hertzsprung[2]. Pomijając niektóre mniej ważne szczegóły przytoczymy, że nietylko wymienione wyżej pięć gwiazd Wielkiej Niedźwiedzicy, ale jeszcze napewno pięć innych, mianowicie: α Canis Maioris (Syryusz), β Aurigae (Woźnicy), α Coronae, δ Leonis (Lwa) i mała gwiazda Nr 37 we Wielkiej Niedźwiedzicy

[1] H. Ludendorff. Über die Radialgeschwindigkeit von β, ε, ζ Ursae maioris... etc.... Astr. Nachr. Tom 180, str. 265—292.

Tenże. Über die Bewegung des... Doppelsterns β Aurigae... Astr. Nachr. T. 183, str. 113—124.

[2] Astrophysical Journal, Tom XXX....

a prawdopodobnie jeszcze trzy, mianowicie β Eridani, 1930 z katalogu Groombridge'a i 78 Wielkiej Niedźwiedzicy poruszają się prawie równolegle. Przytem β Aurigae choć daleka od innych, dalej β, γ, δ, ε, ζ, 37 i 78 Wielkiej Niedźwiedzicy oraz α Coronae borealis są rozłożone prawie na jednej prostej. Średnia odległość gwiazd W. Niedźwiedzicy od nas wynosi około 5 893 000 półosi ziemskiej orbity.

W konstelacyi Byka (Taurus) znajduje się także grupa gwiazd poruszających się równolegle. Grupa ta obejmuje część gwiazd w Hyadach. Lewis Boss[1] wylicza 39 gwiazd, o których można napewno twierdzić, że mają wspólny ruch. Oprócz tego w tejże okolicy nieba wylicza kilkadziesiąt takich, które prawdopodobnie należą do tego samego prądu.

Tak samo większość gwiazd w Plejadach ma wspólny ruch własny[2].

Dalej jest cały szereg gwiazd, których prędkość względem słońca jest równa zeru, albo bardzo mała. Gwiazdy te należą do tego samego prądu co słońce. Stroobant[3] znajduje, że gwiazdy: α Cassiopeiae, β Persei (Algol), α Persei, α Scorpii, γ Cygni, ε Pegasi i α Pegasi mają wszystkie bardzo mały ruch własny i bardzo małą prędkość radyalną, poruszają się zatem prawie równolegle do słońca. Zresztą jeżeli od ruchów własnych przejdziemy do swoistych, to okaże się, że kierunki ruchów tych siedmiu gwiazd są prawie równoległe do kierunku ruchu słońca, ale prędkość liniowa wynosi od 11,3 km. (α Cassiopeiae) do 22,1 km. (ε Pegasi) na sekundę, podczas gdy prędkość liniowa słońca wynosi 19,4 km. na sek. Za wyjątkiem α Scorpii wszystkie te gwiazdy znajdują się mniej więcej w tej samej okolicy, t. j. nie są bardzo odległe od słońca. Stroobant przypuszcza, że jeszcze 11 innych gwiazd[4] należy do tego samego prądu.

---

[1] Convergence of a moving cluster in Taurus. Astr. Journ. Nr 604, T. 26 (1908), str. 31.

[2] F. J. M. Stratton. Memoirs of R. Astr. Soc. Tom LVII (1908).

[3] P. Stroobant. Sur le mouvement de certaines étoiles dans l'espace. Bull. astr. Tom XXVII, str. 433—440.

[4] Mianowicie: γ Pegasi, γ Persei, ζ Geminorum, α Hydrae, ε Leonis, η Leonis, ψ Ursae maioris, η Virginis, γ Aquilae, α Pavonis i η Pegasi.

7. Rozkład gwiazd w przestrzeni. Paralaksy.

Aby poznać budowę wszechświata gwiazdowego, potrzebujemy znać kierunki i odległości gwiazd. Wyznaczenie kierunku gwiazdy za pomocą obserwacyi nie przedstawia żadnych specyalnych trudności, natomiast oznaczenie odległości udaje się tylko wyjątkowo, mianowicie jeżeli dana gwiazda ma dającą się zmierzyć roczną paralaksę.

Paralaksą pewnego punktu nazywamy kąt pomiędzy kierunkami promieni widzenia, idącymi do tego punktu z dwóch różnych stanowisk. Wyobraźmy sobie np. dwa punkty B i C na równiku tak obrane, aby B miał księżyc na horyzoncie a C w zenicie,

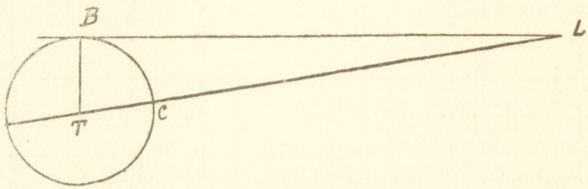


Fig. 9.

t. j. wprost nad głową. Jeżeli L oznacza środek księżyca; to kąt p między kierunkami BL i CL jest to tak zwana „horyzontalna równikowa paralaksa księżyca". Widzimy, że to jest właściwie ten kąt, pod którym ze środka księżyca widać równikowy promień ziemi. Horyzontalna równikowa paralaksa księżyca wynosi średnio 57′ i 2″,3 (57 minut i 2,3 sekundy kątowe), paralaksa słońca średnio 8″,8 (8,8 sekund kątowych), paralaksy[1] dalszych planet są jeszcze mniejsze. Paralaksy gwiazd są tak małe, że nie możemy ich zmierzyć. Możemy — i to tylko dla bliższych gwiazd — zmierzyć „paralaksy roczne". Co to jest „paralaksa roczna", zaraz wytłómaczymy. Połączmy gwiazdę G ze słońcem S odcinkiem prostej SG, następnie nakreślmy w płaszczyźnie orbity ziemskiej prostą T_1T_2 prostopadłą do SG. Przetnie ona orbitę w punktach T_1 i T_2. Przez T_1 i przez G poprowadźmy prostą T_1G_1, a przez T_2 i przez G_2 prostą T_2G_2. Gdy ziemia znajduje się w T_1, to widzimy gwiazdę G w kierunku T_1G_1;

[1] Paralaksy planet zmieniają się w szerokich granicach, bo odległości ich od ziemi są w szerokich granicach zmienne.

a gdy ziemia w pół roku później znajduje się w T_2, to widzimy ją w kierunku T_2G_2. Kąt T_1GS to „paralaksa roczna" gwiazdy G. — Jest to ten sam kąt, pod którym widzielibyśmy z gwiazdy połowę średnicy orbity ziemi. Ponieważ połowa średnicy orbity [1] jest przeszło 23 tysiące razy większa niż połowa średnicy samej ziemi, przeto „paralaksa roczna" jest przeszło 23 tysiące razy większa niż paralaksa zwyczajna i niema nic dziwnego, że możemy zmierzyć pierwszą wtedy, gdy druga pozostaje zupełnie nieuchwytną. „Pa-

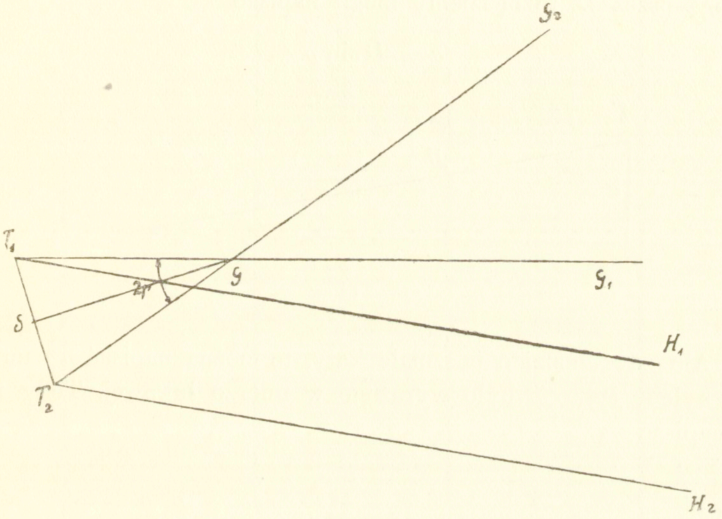


Fig. 10.

ralaksę roczną", a raczej dwa razy większy kąt T_1GT_2 możemy zmierzyć pośrednio w następujący sposób. Wyobraźmy sobie gwiazdę H położoną prawie w tym samym kierunku co G, ale nieskończenie odległą. Gdy ziemia znajduje się w T_1, to widzimy gwiazdę H w kierunku T_1H_1; gdy zaś znajduje się w T_2, to widzimy ją w kierunku T_2H_2. Ponieważ kierunki T_1H_1 i T_2H_2 są równoległe, przeto kąt $2p$ równa się różnicy [2] kątów $G_2T_2H_2$ i $G_1T_1H_1$. Kąt $G_1T_1H_1$ możemy zmierzyć, gdy ziemia znajduje się w T_1; a kąt $G_2T_2H_2$ możemy zmierzyć, gdy ziemia znajduje się w T_2. W rzeczywistości gwiazda H użyta do porównania, zawsze znajduje się

[1] W teoryi paralaksy można śmiało uważać orbitę ziemską za koło.

[2] Gdyby T_1H_1 przecinało się z T_2G_2, a T_2G_2 z T_1H_1, to kąt $2p$ byłby równy sumie kątów $H_1T_1G_1$ i $H_2T_2G_2$.

także na skończonej odległości, ale jeżeli odległość jej jest przynajmniej kilkanaście razy większa niż odległość gwiazdy G, to kąt pomiędzy kierunkami T_1H_1 i T_2H_2 jest wobec kąta $2p$ nieznaczny i wolno uważać kierunki T_1H_1 i T_2H_2 za równoległe.

Zaraz widać, że paralaksa jest odwrotnie proporcyonalna do odległości gwiazdy. W trójkącie prostokątnym T_1SG przyprostokątnia T_1S wyobraża połowę średniej orbity, a przeciwprostokątnia T_1G odległość ziemi od gwiazdy. Jeżeli oznaczymy pierwszą przez a, a drugą przez D, to będziemy mogli napisać

$$a = D \sin p.$$

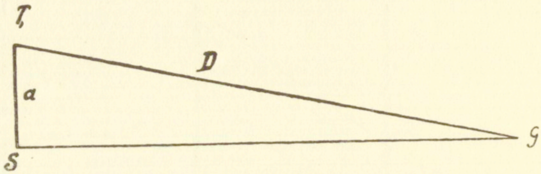


Fig. 11.

Ale gdy chodzi o tak małe kąty, to można napisać p zamiast $\sin p$, byleby tylko p było wyrażone w mierze łukowej. Tedy można napisać

$$p = \frac{a}{D}.$$

Ponieważ a jest zawsze jednakie, więc paralaksy p są odwrotnie proporcyonalne do odległości D i skoro znamy pierwsze, to możemy obliczyć drugie. Jeżeli p równa się jednej sekundzie kątowej ($p = 1''$), to D jest 206265 razy dłuższe niż a. Stąd wynika, że np. odległość α Centauri, której paralaksa wynosi $0'',72$, jest $^{206265}/_{0,72} = 286500$ razy większa niż połowa średnicy orbity ziemskiej. Wszystkie inne gwiazdy mają mniejsze paralaksy.

Łatwo zrozumieć z jak ogromnemi trudnościami jest połączone mierzenie tak drobnych kątów i nic dziwnego, że znamy paralaksy tylko niewielu gwiazd.

Kapteyn[1] zestawił listę 363 paralaks [Publ. Astr. Laboratory Groningen Nr 24 (1910 r.)], pomiędzy któremi jest 89 większych niż $0'',1$. Znaczna większość tych paralaks jest zupełnie niepewna.

[1] Zob. także listę G. Bigourdana w Bull. astr. Tom XXVI (1909 r.).

Co znaczy te kilkaset znanych paralaks wobec tysięcy i milionów nieznanych.

Trudno mierzyć paralaksy dlatego, że są nazbyt małe, małe zaś są dlatego, że średnica ziemskiej orbity jest mała w porównaniu z odległościami gwiazd. Gdyby np. ziemia krążyła po orbicie równie wielkiej jak orbita Neptuna, to odległość między skrajnemi stanowiskami, z których możnaby celować do gwiazd, byłaby około trzydziestu razy większa, roczne paralaksy byłyby również w tymże samym stosunku większe i możnaby zmierzyć mnóstwo paralaks, które obecnie zupełnie uchylają się od pomiaru.

Ale gdyby chodziło tylko o to, aby odległość pomiędzy skrajnemi stanowiskami, z których celujemy do gwiazd, była jak największą; — to łatwo byłoby temu zaradzić. Nasz system słoneczny przenosi się z miejsca na miejsce: zamiast porównywać kierunki idące ku gwiazdom z dwóch przeciwległych końców średnicy orbity ziemskiej, możnaby porównywać kierunki idące od różnych punktów drogi systemu słonecznego[1].

Dokładne obserwacye pozycyi gwiazd datują tylko od czasów Bradleya, t. j. mniej więcej od połowy XVIII wieku. Ponieważ prędkość ruchu systemu słonecznego wynosi około 20 km. na sek., t. j. około $^1/_{15000}$ prędkości światła, więc w ciągu tych 150 lat, które upłynęły od czasów Bradleya, system słoneczny musiał przebiedz około jednej setnej roku światła. Z drugiej strony ponieważ światło przebiega średnicę orbity ziemskiej w ciągu trochę więcej niż 16 minut, więc droga, którą system słoneczny przebiegł w ciągu 150 lat, jest przeszło 300 razy dłuższa niż średnica orbity ziemskiej, a kąty pomiędzy prostemi idącemi ku gwiazdom od punktów końcowych odcinka przebieżonego w ciągu 150 lat mogą być do trzechset razy większe niż roczne paralaksy. Niestety nie możemy z tego skorzystać, bo gwiazdy nie są nieruchome i jeżeli z obu końców odcinka poprowadzimy proste ku danej gwiaździe, to otrzymamy nie trójkąt, a czworobok (w dodatku wogóle nie płaski), w którym znamy tylko jeden bok i dwa kąty, a to nie wystarcza, aby obliczyć pozostałe boki.

Zdawałoby się, że ta sama trudność powinna zachodzić także przy określeniu rocznej paralaksy. Rzeczywiście zachodzi, ale dzięki

---

[1] Cf. J. C. Kapteyn. Recent researches in the Structure of the Universe. Smithsonian Report for 1908, str. 301—319.

specyalnym warunkom zadania mamy możność wykluczyć ruch własny[1] gwiazdy. Aby się o tem przekonać, rozpatrzmy następującą figurę. Przeprowadźmy płaszczyznę przez prostą[2] $G_1 G_2 G_3$, wzdłuż której porusza się gwiazda, i przez słońce S. Płaszczyzna ta przetnie orbitę ziemską wzdłuż pewnej średnicy $T_1 T_2$. Znajdując się w T_1 określamy kierunek $T_1 G_1$, znajdując się w T_2 określamy kierunek $T_2 G_2$, wreszcie wróciwszy po roku do T_1 określamy kierunek $T_1 G_3$. W ten sposób przez bezpośrednią obserwacyę otrzymujemy kąty β i α. Ale w trójkącie $R T_2 G_1$

I $$m = \beta + 2p,$$

a w trójkącie $T_2 L G_3$

II $$\alpha = m + 2p.$$

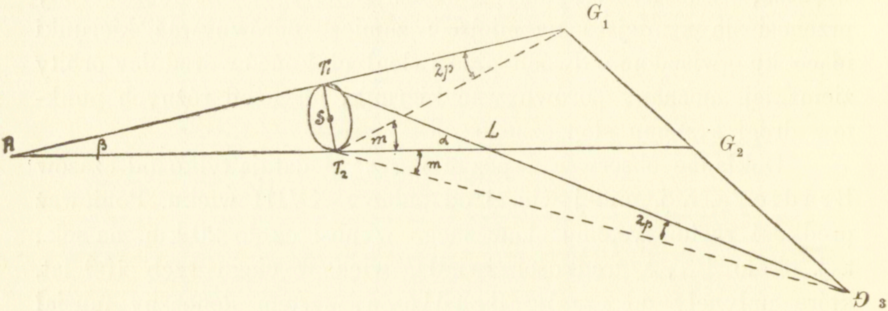


Fig. 12.

Założyliśmy, że kąty $T_1 G_1 T_2$ i $T_2 G_3 T_2$ są między sobą równe a zarazem równe podwójnej paralaksie. Oba założenia są dozwolone, albowiem różnice pomiędzy powyższymi kątami są w praktyce zupełnie znikome. Tak samo dozwolonem jest założenie, że kąty $G_1 T_2 G_2$ i $G_2 T_2 G_3$, które oznaczyliśmy przez m, są między sobą równe i że przedstawiają ruch własny gwiazdy w ciągu półrocza. Rugując m z równań I i II zaraz otrzymamy:

III $$p = \tfrac{1}{4}(\alpha - \beta)$$

---

[1] Przy określeniu rocznej paralaksy wchodzi w rachubę ruch własny, bo uważamy słońce za nieruchome. W poprzednim przypadku uważaliśmy system słoneczny za ruchomy, a więc w rachubę wchodził „ruch swoisty“ gwiazd.

[2] Ruch gwiazdy można zawsze uważać za prostoliniowy i jednostajny, a orbitę ziemską za koło. Rzut tego koła na płaszczyznę $SG_1 G_2 G_3$ jest elipsą, której wielka oś leży właśnie w płaszczyźnie $SG_1 G_2 G_3$.

a zatem otrzymamy paralaksę roczną pomimo tego, że gwiazda jest ruchomą. Tymczasem w przypadku, gdy przyczyną zmiany stanowiska wobec gwiazd jest ruch postępowy systemu słonecznego, zadanie geometryczne przedstawia się inaczej i nie ma możności wydzielić paralaksę z ruchu własnego gwiazdy.

Ale jeżeli metoda nie daje się stosować do jednej gwiazdy, to można stosować ją do wielu gwiazd. Możnaby „dobrać“ pewną ilość gwiazd w taki sposób, aby środek ich masy nie posiadał wcale „ruchu swoistego“. W takim razie całkowite przesunięcie środka masy pochodziłoby tylko z ruchu paralaktycznego i powyższa trudność odpadłaby zupełnie. Mielibyśmy wprawdzie pewną inną trudność z tem, że środek masy jest punktem idealnym, że przeto jego przesunięcie nie daje się obserwować. Ale byłaby to najmniejsza trudność, bo możnaby obliczyć przesunięcie środka masy z ruchów samych „dobranych“ gwiazd. Niestety nie posiadamy żadnego kryteryum, na podstawie którego możnaby „dobierać“ gwiazdy wedle powyższego programu. Musimy poprostu „próbować“ i — jak to zwykle przy próbach bywa, — zadawalniać się przybliżonymi rezultatami.

Na czem polega „próba“?

Gdyby pewne punkty A, B, C... i t. d. były nieruchome jedne względem drugich, to wyznaczywszy kierunek ruchu systemu słonecznego względem A, względem B, względem C i t. d. powinnibyśmy otrzymać kierunki ściśle zgodne. Zatem odwrotnie, jeżeli okaże się, że kierunki[1] ruchu systemu słonecznego względem punktu X, względem punktu Y i t. d. są między sobą zgodne, to wnosimy stąd, że punkty X, Y, Z i t. d. są jedne względem drugich nieruchome. Otóż doświadczenie poucza, że jeżeli określimy kierunek ruchu systemu słonecznego względem gwiazd drugiej wielkości, potem względem gwiazd trzeciej wielkości, dalej względem gwiazd czwartej, piątej i t. d. wielkości, to znajdziemy niezłą zgodność. Wnosimy stąd, że środki mas gwiazd drugiej, trzeciej i t. d. wielkości posiadają tylko nieznaczny ruch jedne względem drugich, że zatem w braku czegoś lepszego możemy je uważać za nieruchome jedne względem drugich.

---

[1] Mówimy tylko o kierunkach, bo liniowej prędkości ruchu nie możemy określić, dopóki nie znamy odległości.

8. Wielkości gwiazdowe. Ruchy własne.

Definicyę „wielkości" gwiazdy podaliśmy w § 2. Zastanówmy się teraz nad pytaniem, od czego zależy „wielkość". Gdyby gwiazdy nie były tak bardzo od nas odległe, gdyby podobnie jak słońce, księżyc i większe planety przedstawiały się nam jako krążki o skończonych rozmiarach, to moglibyśmy oddzielnie ocenić pozorne rozmiary a oddzielnie blask; lecz ponieważ nawet w najpotężniejszych teleskopach gwiazdy przedstawiają się nam jako błyszczące punkty, przeto możemy ocenić tylko sumę światła otrzymywanego od gwiazdy. Dwa czynniki: pozorne rozmiary i blask składają się na jedno wrażenie większej lub mniejszej jasności, które — idąc za dawną tradycyą — nazywamy „wielkością" gwiazdy. Ale pozorne rozmiary zależą znowu od dwóch czynników: od rzeczywistych rozmiarów i od odległości; więc ostatecznie na to, co nazywamy „wielkością" gwiazdy, składają się t r z y czynniki: 1-mo rzeczywiste rozmiary, 2-do odległość, 3-tio blask rzeczywisty. To znaczy, że z pomiędzy dwóch gwiazd o jednakowych rozmiarach, położonych na jednakowej odległości, — jaśniejszą, większą wydaje się nam ta, która ma silniejszy blask, t. j. ta, u której każdy metr kwadratowy powierzchni w ciągu minuty wysyła większą ilość energii świetlnej. Tak samo z dwóch gwiazd znajdujących się na jednakowej odległości i jednakowo błyszczących, — jaśniejszą, większą wydaje się ta, która ma większe rozmiary. Wreszcie z dwóch gwiazd jednakowych rozmiarów i obdarzonych jednakowym blaskiem, jaśniejszą, większą wydaje się ta, która jest bliżej położona.

Wobec tego jasnem jest, że jeżeli z pomiędzy gwiazd — powiedzmy — trzeciej wielkości weźmiemy jedną, np. gwiazdę *A* i jeżeli z pomiędzy gwiazd czwartej wielkości weźmiemy też jedną, np. gwiazdę *B*, to bardzo łatwo może się zdarzyć, że właśnie gwiazda *A* jest znacznie dalsza niż *B*. Pomimo to możemy twierdzić, że ś r e d n i a odległość gwiazd czwartej wielkości jest większa niż ś r e d n i a odległość gwiazd trzeciej wielkości, bo właśnie w ś r e d n i c h odległościach wpływy innych czynników muszą się zrównoważyć, a wpływ odległości musi wyjść na jaw.

Tak samo rzecz się ma z „ruchami własnymi". „Ruch własny" to jest kątowe przesunięcie gwiazdy po sklepieniu niebieskiem zależy przedewszystkiem od prędkości liniowej jej ruchu względem systemu słonecznego. Następnie zależy on od kąta między kierunkiem ruchu gwiazdy a promieniem widzenia. Jeżeli gwiazda porusza się ściśle w kierunku promienia widzenia, to „ruchu własnego“ niema. Wreszcie „ruch własny“ zależy od odległości, bo jeżeli odległość jest dwa, trzy, cztery i t. d. razy większa; to widzimy to samo liniowe przesunięcie pod kątem dwa, trzy, cztery i t. d. razy mniejszym. A więc pomimo tego, że z dwóch oddzielnych gwiazd właśnie dalsza może posiadać większy „ruch własny“; jednakże możemy twierdzić, że średnia odległość gwiazd posiadających „ruch własny“ 1″—2″ na stulecie jest mniejsza aniżeli średnia odległość gwiazd o „ruchu własnym“ 2″—3″, tych zaś mniejsza niż średnia odległość gwiazd o ruchu własnym 3″—4″ i t. d. Widzimy stąd, że tak „wielkość“ jak „ruch własny“ mogą być użyte jako kryteryum do oceny średnich odległości. Są wprawdzie pewne wątpliwości i trudności, ale w braku czegoś pewniejszego musimy zadowolnić się tem, co dostępne i wykonalne. Ponieważ zaś mamy jednocześnie dwa kryterya, więc najpraktyczniej, najlepiej jest uważać średnie odległości za funkcye dwóch zmiennych: wielkości i ruchu własnego.

9. Rozkład gwiazd w przestrzeni wedle J. C. Kapteyna.

Metoda Kapteyna[1] jest statystyczna, dotyczy zaś

46	gwiazd	2-iej	wielkości
134	„	3-ciej	„
458	„	4-tej	„
1476	„	5-tej	„
4842	„	6-tej	„
15042	„	7-ej	„
44576	„	8-ej	„

Jak widzimy, statystyka Kapteyna nie obejmuje gwiazd 1-szej wielkości pomimo tego, że wiemy o nich więcej niż o innych gwiazdach. Powód jest łatwo zrozumiały. Gwiazdy pierwszej wielkości są nazbyt nieliczne, aby można było do nich stosować metodę statystyczną, w której operujemy średniemi z wielkiej ilości

[1] Publications of the astronomical Laboratory Groningen, osobliwie Nr 8, 11, 19, 20. Die mittlere Geschwindigkeit der Sterne... Astr. Nachr. Tom 146 (1898 r.), str. 97—114. Recent Researches in the Structure of the Universe. Smithsonian Report za 1908 r., str. 301—319.

przypadków. Z drugiej strony statystyka Kapteyna nie obejmuje gwiazd 9-tej i dalszych wielkości, ale dla wręcz przeciwnego powodu. Gwiazdy dalszych wielkości, jako liczniejsze, doskonale nadają się do statystycznego badania, ale za to wiadomości, które o nich posiadamy, są nazbyt skąpe. Tak np. nie jesteśmy w stanie rozklasyfikować gwiazd 9-tej i dalszych wielkości wedle ruchów własnych, tymczasem ta klasyfikacya odgrywa w rozumowaniu Kapteyna bardzo ważną rolę. Każdą z powyższych klas dzieli Kapteyn na podklasy wedle ruchu własnego, następnie zaś oznacza średnią odległość[1] gwiazd każdej oddzielnej podklasy zapomocą empirycznych wzorów kształtu

I $$D = F(m, \mu),$$

gdzie D oznacza odległość, m „wielkość“ a μ „ruch własny“ gwiazd danej podklasy.

Powyższe empiryczne wzory wyprowadził Kapteyn kombinując ze sobą materyał dwojakiego rodzaju. Z jednej strony miał sto kilkadziesiąt[2] gwiazd, których indywidualne paralaksy i naturalnie także „wielkosci“ i „ruchy własne“ były znane, z drugiej zaś obliczył średnie odległości gwiazd katalogu Bradleya-Auwersa drugiej, trzeciej i t. d. „wielkości“ z ich ruchu paralaktycznego. Jest to właśnie ta nieco nieścisła metoda, o której mówiliśmy w poprzednim paragrafie. Skoro raz otrzymał wzory kształtu I, to obliczenie średniej odległości gwiazd danej podklasy było rzeczą łatwego rachunku.

Weźmy np. gwiazdy piątej wielkości[3]. Jest ich razem 1476, z tego

gwiazd:	o ruchu własnym: $''$ $''$	znajdują się średnio na odległości lat światła:
90	0—1	1670
194	1—2	633
177	2—3	435
188	3—4	341
93	4—5	286

[1] Właściwie średnią paralaksę, ale to wychodzi na jedno.

[2] Jedną listę 58 gwiazd zestawił sam, do drugiej liczącej 75 gwiazd weszły paralaksy określone przez A. S. Flinta.

[3] Por. Recent Researches... str. 30.

gwiazd:	o ruchu własnym: ″ ″	znajdują się średnio na odległości lat światła:
86	5— 6	248
77	6— 7	220
71	7— 8	198
45	8— 9	182
54	9— 10	168
152	10— 15	139
79	15— 20	110
73	20— 30	85
43	30— 40	67
18	40— 50	56
7	50— 60	48
7	60— 70	43
5	70— 80	38
2	80— 90	35
2	90—100	33
5	100—120	30
2	120—140	26
0	140—160	24
0	160—180	22
2	180—200	20
0	200—300	16
0	300—400	13
2	400—500	11

Weźmy teraz jakąkolwiek podklasę, np. dwunastą. Obejmuje ona 79 gwiazd o ruchu własnym 15″ do 20″ na stulecie i średniej odległości 110 lat światła. Trzeba dowiedzieć się, ile w tej podklasie jest gwiazd, których odległość jest równa średniej, ile takich, których odległość jest w stosunku 1,1, 1,2, 1,3 i t. d. większa od średniej, a ile takich, których odległość wynosi 0,9, 0,8, 0,7 i t. d. średniej odległości. Zadanie jest możebne, bo indywidualne paralaksy, a więc także odległości niektórych gwiazd — należących zresztą do rozmaitych klas i podklas — są znane. Na każdej z nich można sprawdzić, w jakim stosunku znajduje się rzeczywista odległość do średniej odległości tej podklasy, do której dana gwiazda należy. W ten sposób dowiemy się, ile wśród — powiedzmy — stu gwiazd o znanych indywidualnych paralaksach jest takich, których rzeczywista odległość wynosi 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 1,1, 1,2 i t. d. średniej odległości. Uzyskane w ten sposób rezultaty przenosimy na wszystkie gwiazdy. Jeżeli np. wśród stu gwiazd o znanych paralaksach jest pięć takich, których rzeczywista odległość jest półtora raza większa niż średnia odległość, to przyjmujemy, że wśród wszystkich gwiazd jedna dwudziesta ma rzeczywiste odległości półtora raza większe niż średnie.

Stosując tę zasadę do gwiazd drugiej, trzeciej i t. d. wielkości Kapteyn oblicza, ile w każdej klasie jest gwiazd oddalonych o 100, 110 i t. d. lat światła. Następnie przechodzi od „wielkości“ widomych do absolutnych. Pod „wielkością absolutną“ należy rozumieć wielkość w zwykłem znaczeniu astronomicznem, a więc zależną od jasności, ale nie tę, którą widzimy, a tę, którą widzielibyśmy, gdyby gwiazda znajdowała się na pewnej, zresztą dowolnie obranej „normalnej“ odległości. Jako normalną odległość K. przyjmuje 326 lat światła. Inaczej mówiąc, wyobraża sobie wszystkie gwiazdy przesunięte do odległości 326 lat światła i te wielkości, które gwiazdy miałyby na normalnej odległości, nazywa „absolutnemi“. Dla przykładu powiemy, że nasze słońce przesunięte do normalnej odległości wyglądałoby jak gwiazda 5,5 wielkości, zatem „absolutna wielkość“ słońca jest 5,5. Weźmy teraz jakąkolwiek klasę, np. gwiazdy szóstej wielkości. Załóżmy, że jest wśród nich x gwiazd o odległości mniej więcej normalnej. Będą to gwiazdy szóstej absolutnej wielkości. Załóżmy, że jest wśród nich y gwiazd o odległości 1,5848 [1] większej niż normalna (około 517 lat światła). Gwiazdy te przesunięte do odległości normalnej wydałyby się nam gwiazdami piątej klasy, a więc to są gwiazdy piątej absolutnej wielkości i t. d. i t. d. Jednem słowem możemy obliczyć, wiele w każdej klasie jest gwiazd pierwszej, drugiej i t. d. absolutnej wielkości.

Następnie K. wyobraża sobie kule współśrodkowe zatoczone naokoło słońca: pierwsza promieniem wynoszącym 21 lat światła, druga promieniem wynoszącym 33 lat światła, trzecia promieniem wynoszącym 51 lat światła. Promień czwartej ma 82, piątej 130, szóstej 206, siódmej 326, ósmej 517, dziewiątej 819, dziesiątej 1300, jedenastej 2060, dwunastej 3260 lat światła. Wogóle promień każdej kuli jest w stosunku 1,5848 większy niż promień poprzedniej. Ponieważ, o ile nie uwzględniamy pochłaniania, natężenie światła zmniejsza się odwrotnie proporcyonalnie do kwadratów odległości, więc przez

[1] Liczba której logarytm jest 0,2. Porównaj § 2.

przesunięcie od jednej kuli do następnej gwiazda traci dokładnie jedną wielkość[1]. Łatwo przekonać się, że objętość każdej warstwy zawartej pomiędzy dwoma po sobie następującemi kulami jest w stosunku $(1{,}5848...)^{3/2} = 3{,}9810$ większa niż objętość poprzedniej.

Wiedząc wiele jest gwiazd drugiej, trzeciej i t. d. pozornej wielkości posiadających pewne określone odległości, wiemy też, wiele gwiazd drugiej, trzeciej i t. d. pozornej wielkości znajdzie się w przestrzeni objętej przez pierwszą kulę, wiele znajdzie się w przestrzeni zawartej pomiędzy pierwszą a drugą kulą, wiele w przestrzeni zawartej między drugą a trzecią kulą i t. d. i t. d.... Jednocześnie wiadomo, wiele z pomiędzy gwiazd drugiej, trzeciej i t. d. pozornej wielkości posiada pierwszą, drugą, trzecią i t. d.... absolutną wielkość; a zatem biorąc odpowiednie procentowe ilości gwiazd z każdej klasy i sumując liczby gwiazd posiadających jednakowe absolutne wielkości obliczymy, wiele gwiazd pierwszej, drugiej, trzeciej i t. d. absolutnej wielkości znajduje się wewnątrz pierwszej kuli, wiele w przestrzeni między pierwszą a drugą kulą, wiele w przestrzeni między drugą a trzecią kulą i t. d.

10. Ilości gwiazd różnej absolutnej wielkości.

Wszystkich tych liczb podawać nie będziemy. Żeby jednak dać pojęcie, jak gwiazdy są rozdzielone pomiędzy różne absolutne wielkości, powiemy, wiele jest gwiazd pierwszej, drugiej, trzeciej i t. d. absolutnej wielkości wewnątrz kuli zatoczonej dokoła słońca promieniem równym 555 latom światła. Zamiast jednak podawać liczby odnoszące się do absolutnych wielkości podamy nieco inną, tamtej równoważną statystykę.

Mianowicie Kapteyn porównuje jasność (t. j. absolutną wielkość) innych gwiazd z jasnością (absolutną wielkością) słońca i dochodzi do następującego rezultatu. Wewnątrz kuli zatoczonej dokoła słońca promieniem równym 555 latom światła jest

1	gwiazda	10000	do	100000	razy	jaśniejsza	niż	słońce
46	gwiazd	1000	„	10000	„	jaśniejszych	„	„
1300	„	100	„	1000	„	„	„	„

[1] T. j. liczba porządkowa oznaczająca wielkość powiększa się o jednostkę, np. gwiazda piątej wielkości staje się gwiazdą szóstej wielkości i t. d.

22000	gwiazd	10	do	100	razy	jaśniejszych	niż	słońce
140000	„	1	„	10	„	„	„	„
430000	„	0,1	„	1	„	„	„	„
650000	„	0,01	„	0,1	„	„	„	„

Stąd wynika, że liczba gwiazd rośnie w miarę tego, jak przechodzimy od gwiazd jaśniejszych do mniej jasnych. Naturalnie należy pamiętać, że ponieważ Kapteyn wykluczył tylko wpływ odległości, więc pozostałe dwa czynniki: rozmiary geometryczne i blask obliczony na metr kwadratowy powierzchni nie zostały od siebie oddzielone. Tedy gwiazdy jaśniejsze to są zarówno gwiazdy obdarzone silniejszym blaskiem niż słońce, jakoteż gwiazdy większe od słońca (albo też jedno i drugie razem). Gwiazdy mniej jasne od słońca są to gwiazdy albo mniejsze od słońca, albo obdarzone mniejszym blaskiem, albo jednocześnie mniejsze i mniej błyszczące.

Mimowoli nasuwa się wniosek, że gdybyśmy mogli rozszerzyć naszą statystykę na ciała słabo świecące i ciemne, to znaleźlibyśmy jeszcze większe liczby, t. j. znaleźlibyśmy, że ilość ciał ciemnych i małych jest znacznie większa niż ilość ciał jasnych i wielkich. Zresztą ostatni wniosek jest wielce prawdopodobny z różnych innych powodów od powyższej statystyki zupełnie niezależnych.

11. Gęstość gwiazd.

Gdyby gwiazdy były mniej więcej jednakowo rozłożone w przestrzeni, t. j. gdyby gęstość ich była mniej więcej jednostajna, to w każdej warstwie kulistej, zawartej między dwoma po sobie następującemi kulami, ilość gwiazd powinnaby być około 3,98 razy — powiedzmy przybliżenie — 4 razy większa niż w poprzedniej, bo każda nowa warstwa kulista ma objętość 3,98 razy większą niż poprzednia. Nie możemy sprawdzić tej reguły na wszystkich gwiazdach, bo dla łatwo zrozumiałych powodów statystyka nasza jest — odnośnie do gwiazd mniej jasnych — niekompletna. Możemy ją jednak sprawdzić na oddzielnych kategoryach gwiazd, mianowicie na gwiazdach różnej absolutnej wielkości. Weźmy np. dziewiątą i dziesiątą warstwę kulistą. W dziewiątej mamy 49 gwiazd 2,5 wielkości (t. j. o absolutnej wielkości 2 do 3). Wobec tego należałoby się spodziewać, że dziesiąta warstwa będzie zawierać 194 gwiazdy o absolutnej wielkości 2—3; tymczasem naliczymy tylko 140 takich gwiazd, a zatem rzeczywista gęstość tych gwiazd tak się odnosi do gęstości oczekiwanej jak 140:194. Mniej więcej to samo otrzymamy z porównania ilości gwiazd o absolutnej wielkości 3—4, 4—5 i t. d. Tylko stosunki otrzymane z porównania ilości gwiazd o wielkości absolutnej 0—1 i 1—2 odskakują od pozostałych, ale to było do przewidzenia, bo ilość gwiazd pierwszej i drugiej wielkości jest mała, zatem w znacznym stopniu zależna od różnych przypadkowych okoliczności. Jeżeli w podobny sposób jak powyżej porównamy liczby gwiazd różnej absolutnej wielkości w pierwszej i drugiej, drugiej i trzeciej, trzeciej i czwartej i t. d. warstwach; to znajdziemy, że poczynając od pierwszej aż do szóstej warstwy włącznie, gęstość gwiazd jest prawie stała a przytem taka, że sześcian, którego wymiary wynoszą sto lat światła, zawiera średnio około dwóch tysięcy gwiazd. Pod gwiazdami rozumiemy tu tylko ciała wysyłające co najmniej jedną setną światła, wysyłanego przez słońce, a więc małe i ciemne ciała nie są tu wliczone. Poza szóstą warstwą gęstość gwiazd zmniejsza się do tego stopnia, że w jedenastej warstwie wynosi tylko około 30% tej gęstości, która panuje w najbliższem otoczeniu słonecznego systemu. Co do dalszych okolic, to nie możemy orzec nic stanowczego z powodu braku faktycznego materyału. Ruchy własne bardzo dalekich gwiazd są nazbyt małe, aby z obserwacyi obejmujących 150 lat można było określić je z jakiemkolwiek zadawalniającem przybliżeniem. Wydaje się, że gęstość gwiazd zmniejsza się w dalszym ciągu poza granicami jedenastej warstwy, Kapteyn przypuszcza nawet, że nasz[1] system gwiazdowy kończy się na odległości 30000 lat światła.

Naturalnie owo zmniejszanie się gęstości w miarę oddalenia od słońca może być w gruncie rzeczy pozornem, bo w międzygwiazdowych przestrzeniach są z pewnością rozsiane różne drobne ciała, pyły kosmiczne, roje meteorytów, rozrzedzone gazy i t. d., które absorbują światło.

Zanim zakończymy ten rozdział, musimy omówić jeszcze jedną kwestyę, której dotąd nie poruszaliśmy. Zapewne spostrzegli czytelnicy, że Kapteyn traktuje gęstość gwiazd jako niezależną od kierunku. Tymczasem jeden rzut oka na drogę mleczną wystarczy, aby przekonać nas, że rozkład gwiazd jest niejednakowy w różnych kierunkach. Ta okoliczność była naturalnie równie dobrze wiadoma

[1] K. jest zwolennikiem hypotezy, że wszechświat jest nieskończony.

Kapteynowi jak nam i jeżeli K. nie uwzględnia ją, to tylko dlatego, że szczupły faktyczny materyał, zaledwo wystarczający w przypadku, gdy pomijamy zależność gęstości od kierunku, okazałby się zgoła niedostatecznym, gdybyśmy zechcieli uwzględnić różnice pomiędzy rozmaitymi kierunkami.

Dotknęliśmy tu tylko małej części problemów dotyczących rozkładu gwiazd w przestrzeni. Jest wiele faktów dotychczas zupełnie niewyjaśnionych, zagadkowych. Tak np. istnieje z pewnością jakiś związek między wielkością ruchu własnego a typem spektralnym gwiazdy.

Znaczenie tego faktu zrozumiemy zaraz, skoro sobie przypomnimy, że typ widma danej gwiazdy zależy prawdopodobnie w pierwszej linii od tego stadyum rozwoju, w którem dana gwiazda się właśnie znajduje. Z drugiej strony gwiazdy o większym ruchu własnym są to gwiazdy albo bliżej nas położone, albo rzeczywiście lecące przez przestwory niebieskie z wielką prędkością.

---

[1] Lewis Boss. Precession and Solar Motion. The Astronomical Journal. Nr 623 i 624.

ROZDZIAŁ V.

Gwiazdy podwójne.

1. Odkrycie gwiazd podwójnych.

Gwiazdy podwójne poznano dopiero po wynalezieniu lunet. Widziane gołem okiem przedstawiają się one jako pojedyńcze, bo gołe oko nie rozróżnia, nie „oddziela“, jak mówią astronomowie, dwóch punktów, jeżeli odległość między nimi jest mniejsza od jednej minuty kątowej[1]. Tymczasem niema ani jednej pary, w której odległość między składowemi dochodziłaby do tej granicy.

Pierwszą gwiazdą rozpoznaną jako podwójna była α Centauri odkryta przez Feuillée'go (1660—1732) w r. 1709. — Z początku sądzono, że pomiędzy obu gwiazdami tworzącemi parę niema żadnego fizycznego związku, że to są gwiazdy może bardzo odległe jedna od drugiej, tylko przypadkowo położone prawie w tym samym kierunku. Dopiero gdy W. Herschel przedłożył angielskiemu królewskiemu Towarzystwu katalog 269 gwiazd podwójnych, J. Michell[2] (1730?—1793) zauważył, że tak wielka ilość gwiazd podwójnych nie daje się pogodzić z prawami prawdopodobieństwa twierdząc, że to są pary gwiazd rzeczywiście blisko siebie położonych i krążących jedna naokoło drugiej wedle praw przyciągania.

Po Herschlu, który całe lata poświęcił badaniu gwiazd podwójnych, zajmowali się niemi różni astronomowie. Trudno nawet wyliczyć wszystkich, bo mało jest działów w astronomii, w których

---

[1] Oddzielny nieświecący przedmiot daje się rozróżnić, jeżeli kąt, pod którym go widzimy, dochodzi do pół minuty kątowej.

[2] Odnośna jego rozprawa wyszła w r. 1783 we „Philosophical Transactions“.

byłoby więcej pracowników. Wymienimy tylko jednego Polaka, J. J. Jędrzejewicza (1835—1887) i jednego Włocha o polskiem nazwisku, H. Dembowskiego (1812—1881).

Ilość dotychczas znanych gwiazd podwójnych jest już ogromna, a wciąż odkrywają nowe. Gwiazdy widziane w słabszych lunetach jako pojedyńcze okazują się podwójnemi, gdy skierują na nie silniejsze instrumenty. Niekiedy, ale bardzo rzadko wykrywa je fotografia, mianowicie obraz gwiazdy podwójnej na płytce fotograficznej nie jest krągły a trochę podługowaty. Częściej — o czem niżej będzie mowa — wykrywa gwiazdy podwójne spektroskop albo badanie fotometryczne.

Oprócz gwiazd podwójnych odkryto także gwiazdy potrójne, poczwórne, nawet systemy pięciu, sześciu ciał, — ale liczba ich w stosunku do liczby systemów podwójnych jest dość mała. Zauważyć jednak należy, że niektóre systemy podwójne mogą być w istocie potrójnymi, poczwórnymi i t. d., może się bowiem zdarzyć, że owo trzecie, czwarte i t. d. ciało systemu jest za mało jasne, aby można było je dostrzedz.

2. Główne cechy systemów podwójnych.

W systemach podwójnych jedno ciało krąży naokoło drugiego, albo raczej oba ciała krążą naokoło wspólnego środka masy. Jest to zatem stosunek podobny do tego, który zachodzi między słońcem a planetą, bo i one także krążą naokoło wspólnego środka masy. Ale orbity słońc w systemach podwójnych są więcej wydłużone aniżeli orbity planet słonecznego systemu. Znamy przypadki, w których większa oś jest przeszło dwa razy dłuższa od małej. Np. w systemie γ Andromedae większa oś jest 2,105 razy dłuższa, a w systemie γ Virginis w jeszcze większym stosunku dłuższa. Ponieważ słońce, dokoła którego krąży drugie (jest to stosunek wzajemny, ale gdy dowolnie obierzemy jedno ciało za centralne, to możemy wyrażać się o drugiem tak, jakby o jego satelicie), znajduje się w jednem z ognisk elipsy, więc wzajemna odległość zmienia się w szerokich granicach przechodząc przez minimum wtedy, gdy towarzysz znajduje się w „periastrum“ P a przez maximum wtedy, gdy znajduje się w „apastrum“ A. Np. w przypadku γ Virginis odległość w apastrum jest prawie 8 razy większa niż w periastrum. Bądź co bądź we wszystkich znanych przypadkach rozmiary orbit są porówny-

DODATEK.

Niektóre daty odnoszące się do większych ciał systemu słonecznego.

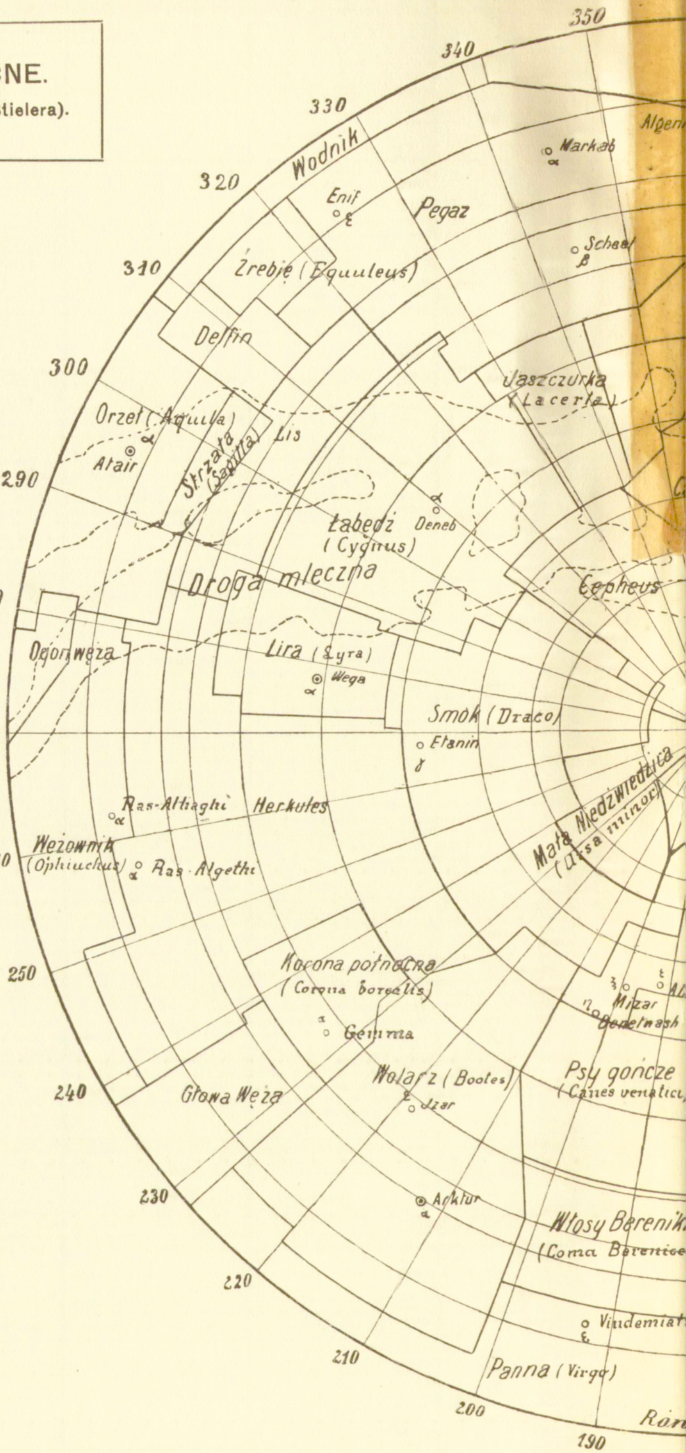
Wedle Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1911.

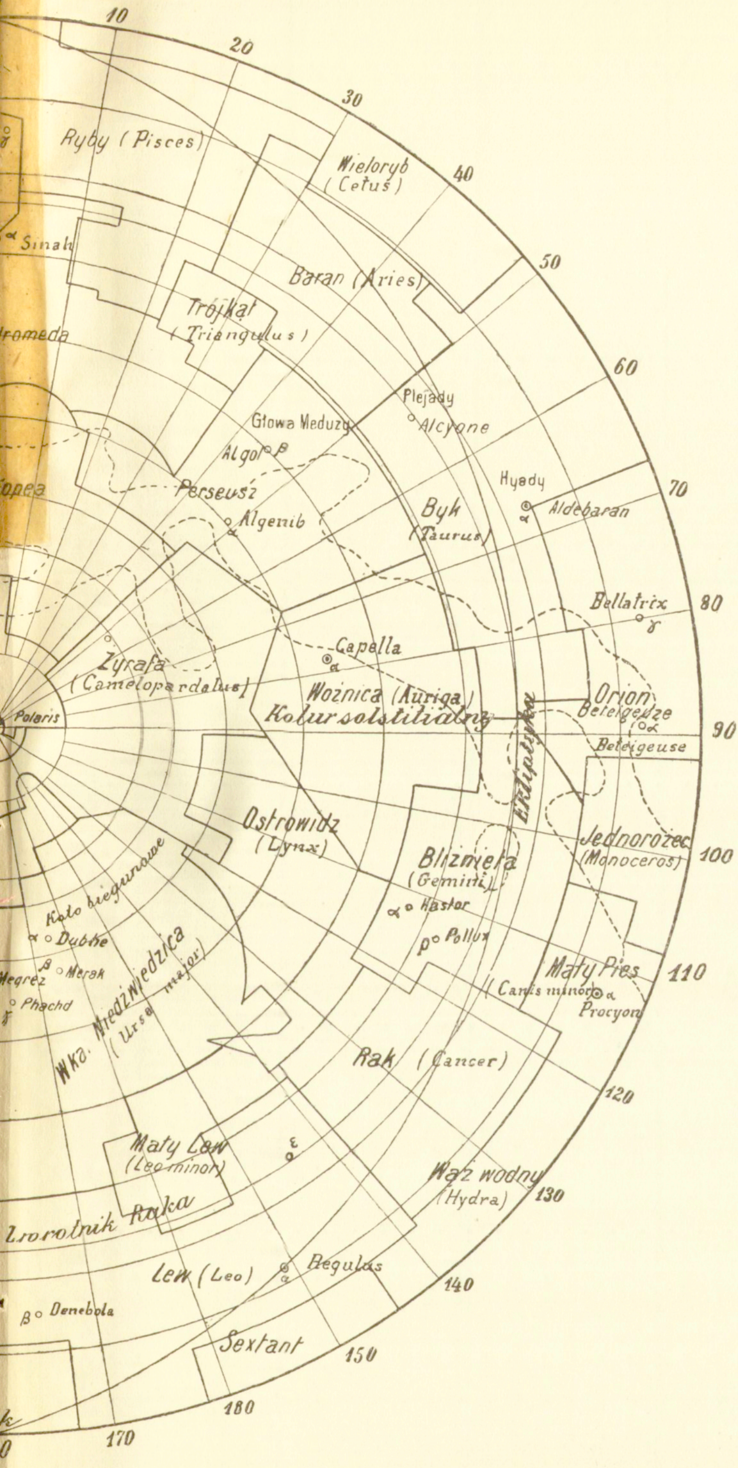
	Średnica w stosunku do średnicy ziemi	Objętość w porównaniu z objętością ziemi	Masa w stosunku do masy słońca	Masa w stosunku do masy ziemi	Gęstość w porównaniu z gęstością ziemi	Gęstość w porównaniu z gęstością wody
Merkury . .	0,376	0,053	$\frac{1}{4300000}$	0,061	1,149	6,32
Wenus . . .	0,997	0,995	$\frac{1}{412150}$	0,787	0,791	4,35
Ziemia . . .	1,000	1,000	$\frac{1}{324439}$	1	1,000	5,50
Mars . . .	0,531	0,150	$\frac{1}{3093500}$	0,105	0,697	3,83
Jowisz . . .	11,136	1305,760	$\frac{1}{1047,2}$	309,816	0,237	1,30
Saturn . . .	9,362	733,688	$\frac{1}{3529,6}$	91,919	0,125	0,69
Uranus . .	4,263	70,663	$\frac{1}{24000}$	13,518	0,191	1,05
Neptun . .	3,823	56,087	$\frac{1}{19700}$	16,469	0,294	1,62
Słońce . . .	109,298	1310157,	1	333432	0,248	1,36
Księżyc . .	0,273	0,020	$\frac{1}{26442000}$	0,012	0,601	3,30

	Okres obiegu gwiazdowego		Połowa wielkiej osi orbity w jednostkach astronomicznych	Czas obrotu naokoło osi
	w latach gwiazdowych	w latach juliańskich i dniach		
Merkury . .	0,24084	87^d,96926	0,387098	88 dni?
Wenus . .	0,61519	224 ,70080	0,723330	225 dni?
Ziemia . .	1.00000	1 rok 0^d,00637	1,000001	23 godz. 56 m. 4 sek.
Mars . . .	1,88082	1 „ 321^d,72982	1,523678	24 „ 37 „ 23 „
Jowisz . .	11,86177	11 lat 314 ,83817	5,202555	9 „ 55 „ 37 „
Saturn . .	29,45664	29 „ 166 ,97634	9,554747	10 „ 14 „ 24 „
Uranus . .	84,01887	84 „ 7 ,4263	19,21814	(nieznany)
Neptun . .	164,76436	164 „ 280 ,2340	30,10957	(nieznany)

I. NIEBO PÓŁNOCNE.

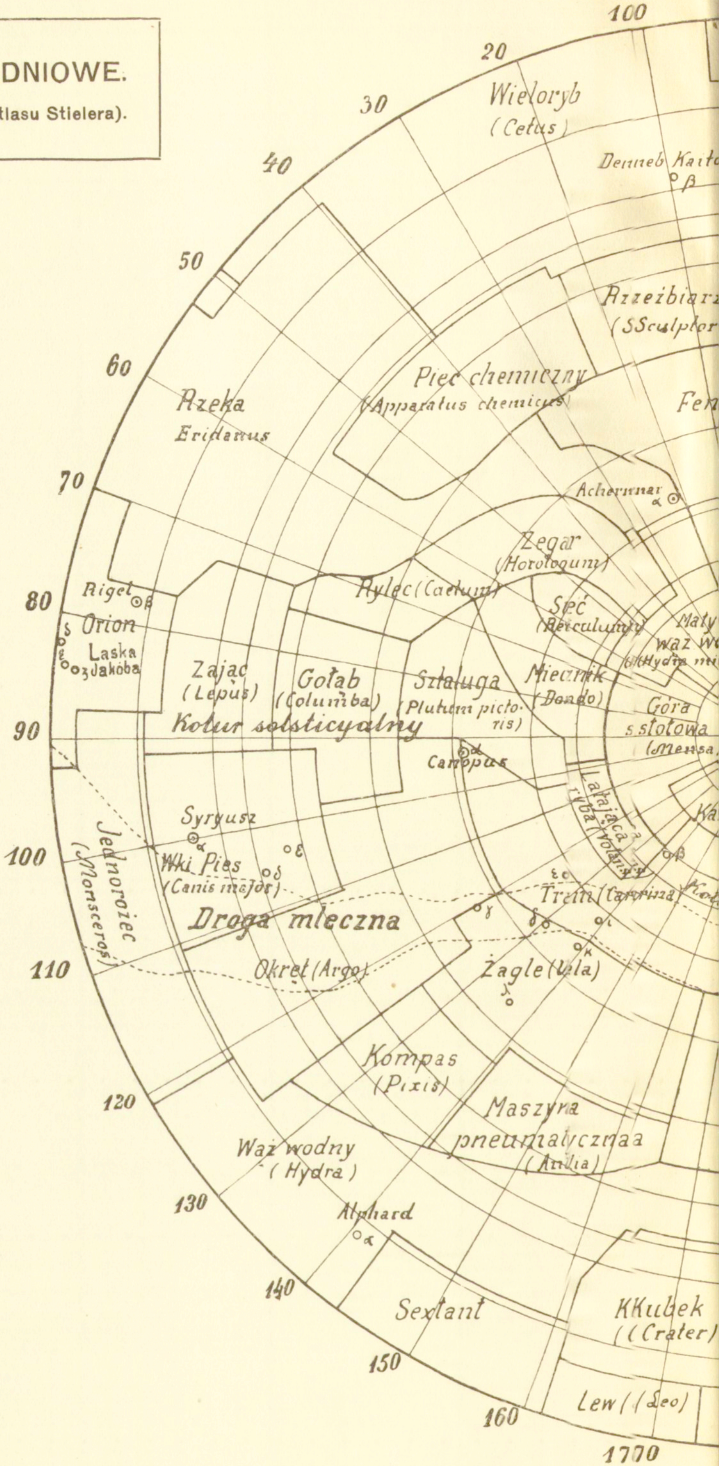
(Według 9-go wydania atlasu Stielera).

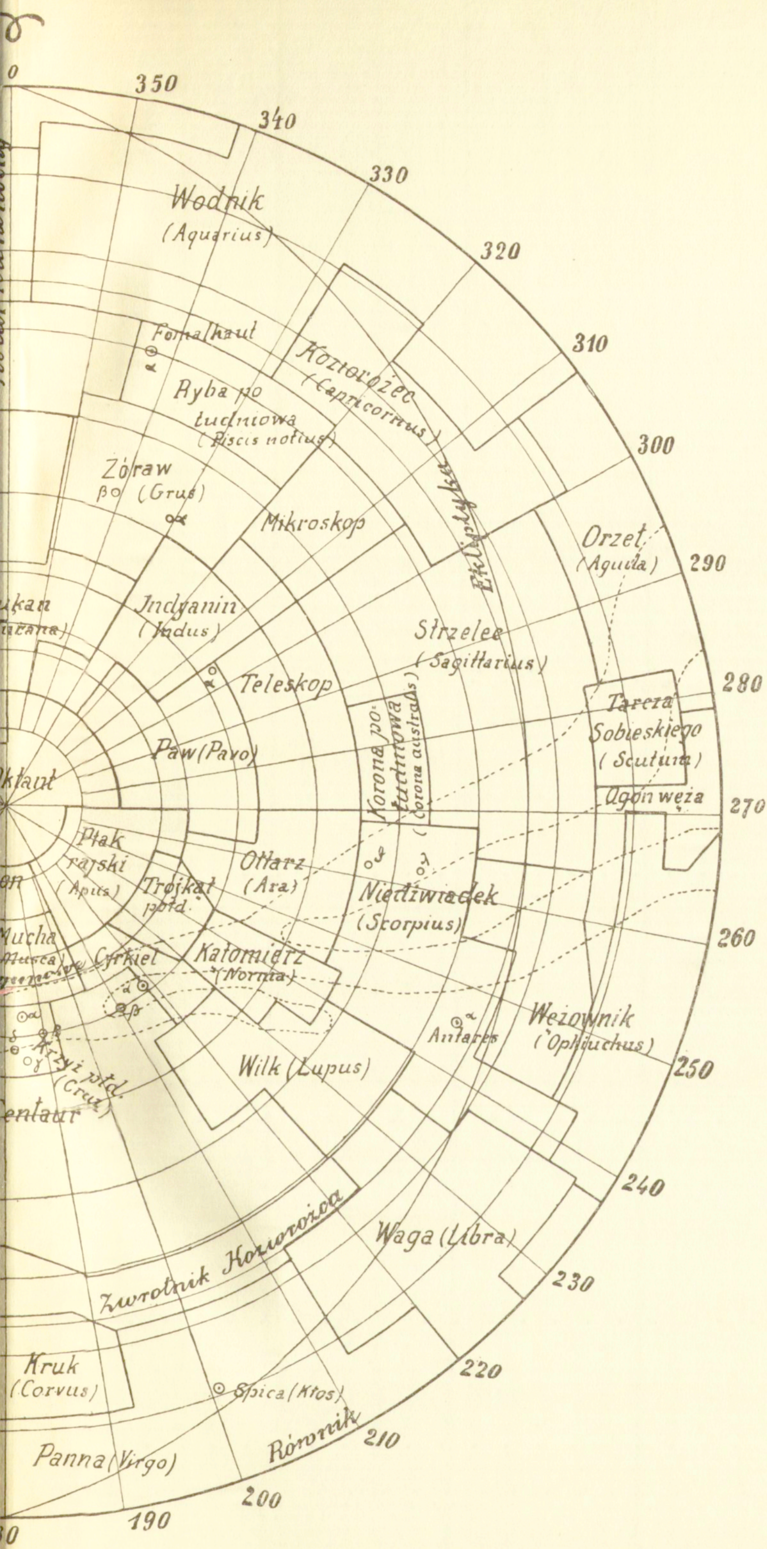



10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
170
Ryby (Pisces)
Wieloryb (Cetus)
Baran (Aries)
Trójkąt (Triangulus)
Plejady
Alcyone
Głowa Meduzy
Algol
Perseusz
Algenib
Hyady
Aldebaran
Byk (Taurus)
Bellatrix
Capella
Żyrafa (Camelopardalus)
Polaris
Woźnica (Auriga)
Kolur solstitialny
Ekliptyka
Orion
Beteigeuze
Beteigeuse
Ostrowidz (Lynx)
Jednorożec (Monoceros)
Bliźnięta (Gemini)
Kastor
Pollux
Koło biegunowe
Dubhe
Merak
Megrez
Phachd
Wka. Niedźwiedzica (Ursa major)
Mały Pies (Canis minor)
Procyon
Rak (Cancer)
Mały Lew (Leo minor)
Wąż wodny (Hydra)
Zwrotnik Raka
Lew (Leo)
Regulus
Denebola
Sextant

II. NIEBO POŁUDNIOWE.

(Według 9-go wydania atlasu Stielera).





350
340
330
320
310
300
290
280
270
260
250
240
230
220
210
200
190
Wodnik
(Aquarius)
Fomalhaut
Koziorożec
(Capricornus)
Ryba po
łudniowa
(Piscis notius)
Żóraw
(Grus)
Mikroskop
Ekliptyka
Orzeł
(Aquila)
Indyanin
(Indus)
Strzelec
(Sagittarius)
Teleskop
Korona po-
łudniowa
(Corona australis)
Tarcza
Sobieskiego
(Scutum)
Paw (Pavo)
Ogon węża
Ptak
rajski
(Apus)
Ołtarz
(Ara)
Trójkąt
płd.
Niedźwiadek
(Scorpius)
Cyrkiel
Katomierz
(Norma)
Antares
Wężownik
(Ophiuchus)
Wilk (Lupus)
Krzyż płd.
(Crux)
Waga (Libra)
Zwrotnik Koziorożca
Kruk
(Corvus)
Spica (Kłos)
Równik
Panna (Virgo)

walne z rozmiarami orbit dalszych planet jak Uranus lub Neptun, mianowicie połowy większych osi orbit wynoszą po kilkanaście i kilkadziesiąt astronomicznych jednostek [1].

Odpowiednio do rozmiarów orbit także czasy obiegu są porównywalne z czasami obiegu dalszych planet, t. j. wynoszą po kilkanaście, kilkadziesiąt i kilkaset lat Tak np. czas obiegu w systemie δ Equulei [2] wynosi 6 lat, w systemie $\varkappa$ Pegasi 11 lat, Syryusza 49 lat, 61 Cygni (Łabędzia) 783 lat. Są nawet jeszcze dłuższe, ale stosunkowo niepewne peryody obiegu.

Tak czasy obiegu, jak rozmiary orbit są w bezporównania szerszych granicach niepewne aniżeli czasy obiegu i rozmiary orbit planetarnych. Inaczej być nie może. Weźmy najpierw czasy obiegu. Ponieważ obserwacye obejmują ledwo kilkadziesiąt, najwyżej sto lat, więc jest mnóstwo systemów, które od czasu, gdy je obserwujemy, wykonały zaledwie małą część obiegu, tymczasem dla określenia czasu obiegu właściwie trzeba mieć obserwacye za przeciąg czasu przynajmniej trochę dłuższy niż sam czas obiegu. Po drugie przy pomiarach tak malutkich wielkości, jakiemi są względne współrzędne jednej składowej [3] systemu względem drugiej, błędy obserwacyi są w stosunku do samych mierzonych wielkości bardzo znaczne. Stąd pozycye jednego ciała względem drugiego są wielce niepewne. Wydaje się nam np., że w pewnej chwili czasu t_2 ciało A powróciło do tej samej pozycyi na orbicie, w której znajdowało się w pewnej poprzedniej chwili czasu t_1. Wnosimy stąd, że czas obiegu $= t_2 - t_1$, tymczasem w rzeczywistości w chwili t_2 ciało A może już dawno minęło ten punkt, przez który przechodziło w chwili t_1, a więc w ciągu czasu $t_2 - t_1$ opisało nie 360 stopni, a kilka lub kilkanaście stopni więcej.

Obliczenie rozmiarów liniowych orbity jest wogóle możebne tylko w takim razie, gdy paralaksa (t. j. odległość) systemu jest znana; inaczej bowiem nie możemy zamienić miar kątowych na liniowe. Ale paralaksy są także niepewne: jest mnóstwo paralaks niepewnych o czwartą, trzecią część swej wartości, o połowę i więcej. Tedy błąd paralaksy dołącza się do błędów popełnionych przy

---

[1] Astronomiczną jednostką jest połowa większej osi orbity ziemi.

[2] Źrebięcia.

[3] Aby dać pojęcie o tem, jak małe wielkości musimy mierzyć, powiemy, że w orbicie 61. Cygni, która ma największe „widome“ rozmiary, większa oś ma tylko 59″ długości.

pomiarze kątowych odległości, choć może się zdarzyć i zdarza się nieraz, że jeden błąd częściowo znosi się z drugim i że z niepewnych pomiarów „bezwiednie“ otrzymujemy wcale udatny rezultat.

Jeżeli weźmiemy kolejno obserwowane pozycye satelity na orbicie i spróbujemy przeprowadzić przez nie linię ciągłą, to otrzymamy krzywą dziwacznie pokrzywioną i pogiętą. Pomimo tego zakładamy, że orbita ma kształt elipsy, że drugie ciało znajduje się w jednem z jej ognisk, a owe załomy i zagięcia traktujemy jako rezultat błędów obserwacyi.

W ten sposób robimy aż dwie hypotezy. Pierwszą, że do systemów podwójnych stosuje się Newtonowskie prawo przyciągania, drugą, że system składa się rzeczywiście tylko z dwóch ciał. Pierwszą hypotezę można przyjąć z całym spokojem, bo choć nie mamy bezpośrednich na to dowodów, jednakże możemy twierdzić, że wedle wszelkiego prawdopodobieństwa prawo Newtona stosuje się do tych ciał tak samo jak do ciał systemu słonecznego. Druga hypoteza jest o wiele mniej pewna. Któż zaręczy, że ten lub ów system nie zawiera ciał ciemnych, lub bardzo bladych, a zatem niewidzialnych. Znamy przecie systemy złożone z trzech, czterech i więcej ciał jasnych. W niektórych przypadkach już wykazano, że zboczenia jednego z ciał dają się objaśnić przez przyciąganie niewidzialnego ciemnego ciała. Tak np. potrójny system ζ Cancri prawdopodobnie zawiera czwarte ciało ciemne. Bardzo być może, że we wielu przypadkach zboczenia od orbity eliptycznej, które kładziemy na karb błędów obserwacyi, są „po części“ [1] spowodowane przez przyciąganie ciał ciemnych mniejszych, lub większych należących do systemu.

Potrąciliśmy tu o bardzo interesującą kwestyę, mianowicie o kwestyę, czy systemy podwójne, potrójne i t. d. oprócz wielkich ciał mniej więcej równych między sobą tak co do rozmiarów, jak co do masy, zawierają także stosunkowo małe ciała t. j. planety. Naturalnie nie możemy twierdzić, że posiadają planety, bo widzieć ich nie możemy, a perturbacye sprawione przez przyciąganie małych ciał muszą być z konieczności zupełnie niedostrzegalne, ale negować ich istnienia nie możemy. Wszelako w systemach podwój-

[1] Powiadamy „po części“, bo z pewnością większa część owych zboczeń istotnie tłómaczy się przez błędy obserwacyi.

nych warunki istnienia planet są nieco odmienne niż w naszym systemie słonecznym. Są tam pewne przestrzenie, w których ruch planety nie mógłby być stałym; zato są inne, w których ruch jest stałym. Mianowicie planety bliskie jednego z ciał głównych mogą mieć ruch stały, tak samo mogą mieć stały ruch planety bardzo odległe, krążące naokoło środka ciężkości systemu daleko poza obrębem obu ciał głównych.

Proszę sobie wyobrazić warunki życia na planecie krążącej naokoło i w pobliżu jednego słońca a jednocześnie zdala oświecanej przez drugie słońce, które w dodatku w ciągu pewnego krótszego, lub dłuższego okresu czasu zbliża się, a potem oddala, należy bowiem pamiętać o tem, że we większości przypadków tor drugiego słońca naokoło pierwszego jest dosyć wydłużoną elipsą.

3. Gwiazdy podwójne typu Algola. Gwiazdy podwójne spektroskopiczne.

Oprócz gwiazd podwójnych teleskopicznych t. j. takich, które możemy „oddzielić“ zapomocą lunet, są z pewnością liczne inne systemy podwójne, których nie możemy „oddzielić“ bądź dlatego, że są nazbyt dalekie, bądź dlatego, że są nazbyt małe. Jednakże wiele z nich rozpoznano jako podwójne drogą pośrednią. Przedewszystkiem wedle wszelkiego prawdopodobieństwa gwiazdy zmienne typu Algola są w rzeczywistości gwiazdami podwójnemi.

Najlepiej znanym, najlepiej zbadanym jest sam Algol (*β* Persei). Normalnie jest to gwiazda 2,3 wielkości. W ciągu 59 godzin i 33 minut świeci ze stałą jasnością. Potem blednie i po 4 godzinach i $37^1/_2$ minutach schodzi do 3,5 wielkości, poczem znowu w ciągu 4 godzin i $37^1/_2$ minut powraca do pierwotnej jasności [1] i znowu świeci przez 59 godzin i 33 minuty jako gwiazda 2,3 wielkości.

Tego rodzaju peryodyczne, w stałych odstępach czasu powtarzające się zmiany jasności można tłómaczyć na różne sposoby, ale najprostszem, najprawdopodobniejszem jest przypuszczenie, że przyczyną zjawiska są regularnie co każdy obieg powtarzające się zaćmienia gwiazdy przez wielkiego bądź jasnego, bądź ciemnego towarzysza. Rzeczywiście wyobraźmy sobie system podwójny, to jest dwie gwiazdy krążące jedna naokoło drugiej. Jeżeli wspólna pła-

[1] Niektóre niezupełnie jeszcze wytłómaczone szczegóły pomijamy.

'zczyzna obu orbit tworzy dostatecznie mały kąt z promieniem widzenia, to jedna gwiazda może zakrywać drugą za każdym obiegiem. Jeżeli przytem odległość pomiędzy obu gwiazdami jest w porównaniu do odległości od ziemi nazbyt mała, to nie możemy „oddzielić" jednej gwiazdy od drugiej nawet zapomocą najpotężniejszych teleskopów, a więc nie możemy widzieć, jak jedna gwiazda nasuwa się na drugą, lecz możemy skonstatować zmiany blasku spowodowane przez zaćmienia. We wszystkich fazach, w których żadna z dwu gwiazd nie zakrywa drugiej, suma światła pochodzącego od obu jest stała, bo wprawdzie wskutek ruchu po orbicie to jedna, to druga gwiazda zbliża się, lub oddala się od nas, ale pochodzące stąd zmiany sumy światła są zanadto drobne, aby je można było dostrzedz. Natomiast w czasie, gdy jedna z gwiazd zakrywa częściowo lub zupełnie drugą, suma światła masi oczywiście być mniejszą. Spostrzegamy zaraz, że jeżeli obie gwiazdy są jasne, to w ciągu każdego obiegu muszą być dwa zmniejszenia jasności: jedno, gdy G_1 zakrywa G_2, drugie, gdy G_2 zakrywa G_1. Te zmniejszenia jasności muszą być wogóle nierówne, bo zazwyczaj tak rozmiary, jak blask jednej i drugiej gwiazdy są nierówne: — chyba zupełnie wyjątkowo mogłoby się zdarzyć, żeby obie gwiazdy miały jednakowe rozmiary i jednakowy blask. Ale jeżeli jedna z gwiazd jest całkiem ciemna, to niema mowy o zmniejszeniu jasności wtedy, gdy ciemna gwiazda zostanie zakryta przez jasną. Zmniejszenie blasku t. j. zaćmienie częściowe, lub całkowite może nastąpić tylko wtedy, gdy ciemna gwiazda zakrywa jasną, a więc w czasie każdego obiegu może nastąpić tylko jedno zaćmienie. Zresztą całkowite zaćmienie może nastąpić tylko w takim razie, gdy rozmiary ciemnej gwiazdy są większe niż rozmiary jasnej oraz gdy wspólna płaszczyzna obu orbit przechodzi przez ziemię. Jest to oczywiście przypadek bardzo rzadki, może nigdzie we wszechświecie nie zrealizowany.

Wogóle szanse na to, abyśmy mogli odkryć system podwójny dzięki zaćmieniu jednej gwiazdy przez drugą, są niewielkie. Jeżeli jedna gwiazda zakrywa tylko skrawek drugiej, to zmiana jasności będzie nazbyt nieznaczna, aby ją można było dostrzedz. Szanse zaś, aby zakryła dużą część gwiazdy są wogóle tem mniejsze, im rozmiary systemu są większe. Wyobraźmy sobie, że płaszczyzna papieru jest identyczna z płaszczyzną prostopadłą do płaszczyzny orbit danego systemu podwójnego a przechodzącą przez środek masy systemu podwójnego i przez środek ziemi. (Że taką płaszczyznę można zawsze przeprowadzić, to zupełnie oczywiste). Niech *AB* będzie ta prosta, wzdłuż której pomieniona płaszczyzna prostopadła przecina płaszczyznę orbity. W chwili zaćmienia środki obu ciał znajdują się właśnie w płaszczyźnie prostopadłej. Z rysunku zaraz widać, że przy tym samym kącie pomiędzy promieniem widzenia a płaszczyzną orbit i przy tych samych rozmiarach obu ciał zaćmienie jest na ziemi widzialne, albo niewidzialne zależnie od tego, czy ciało zakrywające wchodzi, lub nie wchodzi w stożek *RTS*. Z rysunku widać, że jeżeli środek ciała zakrywającego znajduje się pomiędzy *F* i ciałem zakrywającem, to zaćmienie jest widzialne, a przytem tem większe, im ciało zakrywające jest bliżej ciała za-

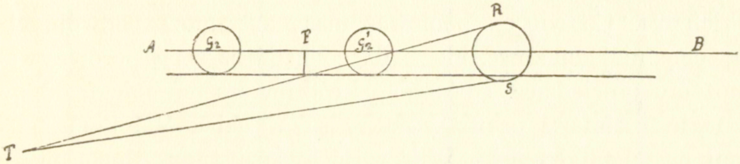


Fig. 13.

krywanego, jeżeli zaś środek ciała zakrywającego jest poza *F*, to zaćmienie jest na ziemi niewidzialne.

Z powyższych rozważań jasno wynika, że im rozmiary orbity są większe, tem wzajemnie kąt pomiędzy promieniem widzenia a płaszczyzną orbity musi być mniejszy, inaczej bowiem towarzysz nie zakryje gwiazdy przed naszemi oczami. Możemy przeto powiedzieć, że szanse na to, aby zaćmienie było na ziemi widzialne, są „ceteris paribus“ tem mniejsze im rozmiary orbity są większe. P. Stroobant[1] oblicza stosunek między ilością systemów, w których zaćmienia są widzialne a ogólną ilością systemów o tych samych rozmiarach orbity. Przytem Stroobant zakłada, że oba ciała mają jednakowe rozmiary. W razie, gdy średnica orbity jest 8 razy większa od średnicy ciał, to powyższy stosunek wynosi 1 : 7 . 7 albo 1 : 11,1 stosownie do tego, czy towarzysz jest zupełnie ciemny, czy też jasność jego równa się połowie jasności głównej gwiazdy.

[1] Note sur le nombre probable d'étoiles du type d'Algol. Bull. belge d'Astronomie 1909. 329—333.

Z drugiej strony jasnem jest, że zaćmienia powtarzające się po długich odstępach czasu łatwiej mogą ujść uwagi niż zaćmienia często powtarzające się, a więc łatwiej wykryć system o krótkim niż o długim peryodzie obiegu.

Ale obie cechy: czas obiegu i rozmiary orbity są w ścisłym ze sobą związku. Wedle trzeciego prawa Keplera

$$T^2 = C \cdot \frac{a^3}{m + m_1},$$

gdzie T oznacza czas obiegu, a połowę wielkiej osi elipsy, m i m_1 masy obu ciał systemu podwójnego a C pewną stałą. Widzimy stąd, że jeżeli w dwóch systemach podwójnych sumy mas są jednakowe, to kwadraty czasów obiegu są wprost proporcyonalne do trzecich potęg wielkich osi. Co więcej, ponieważ masy systemów podwójnych są wprawdzie niejednakowe, ale bądź co bądź ze sobą porównywalne, to możemy powiedzieć, że wogóle krótkim czasom obiegu odpowiadają małe rozmiary orbity [1]. Fakty są w najzupełniejszej zgodzie z tymi postulatami teoryi. Większość gwiazd typu Algola ma bardzo krótkie peryody zmian jasności, znamy zaledwo kilka takich, u których peryod zmian wynosi kilkadziesiąt dni, tylko jedną (RZ Ophiuchi) (Wężownika), u której peryod dochodzi do 262 dni. Rozmiary orbit są także bardzo niewielkie, zaledwo kilka, lub kilkanaście razy większe od liniowych rozmiarów samych ciał.

Oczywiście tedy tylko stosunkowo nieliczne systemy podwójne mogą zdradzić się przez zaćmienia, t. j. przez peryodyczne zmiany jasności. Ale jest jeszcze pewna inna metoda, która pozwala rozpoznać jako podwójną gwiazdę, która nawet w najsilniejszych teleskopach przedstawia się jako pojedyncza. Mówimy tu o metodzie spektroskopicznej.

Z przesunięcia linii widmowych można nietylko rozpoznać, czy gwiazda zbliża się, lub oddala od ziemi, ale można nawet zgruba określić prędkość jej w kierunku promienia widzenia. Tymczasem obie gwiazdy tworzące system podwójny powinny w czasie

---

[1] Gdyby np. w systemie Algola suma mas była równa masie słońca, to wielka oś orbity względnej jego towarzysza byłaby przeszło 25 razy mniejsza od wielkiej osi orbity ziemskiej.

Na podstawie pewnych nieco dowolnych założeń obliczają, że masa systemu Algola wynosi około $^3/_4$ masy słońca, a wielka oś orbity wynosi okoio $^1/_{28}$ wielkiej osi orbity ziemskiej.

każdego obiegu naprzemiany to zbliżać się, to oddalać od ziemi. Jeżeli prędkość postępowa całego systemu przemaga nad prędkością obiegu po orbicie, to może się zdarzyć, że wypadkowa prędkość, [którą właśnie możemy obliczyć ze spostrzeżeń spektroskopicznych] nie zmienia znaku i obie gwiazdy systemu wciąż oddalają się, względnie obie wciąż zbliżają się. Jednakże w prędkości ich będą pewne fluktuacye, prędkość będzie peryodycznie to zmniejszać się, to zwiększać się, a więc linie widmowe będą peryodycznie to odsuwać się od, to przysuwać się do swej normalnej pozycyi.

Obserwacye tego rodzaju nie są łatwe: specyalną trudność sprawia to, że widma obu gwiazd zlewają się ze sobą; ale jeżeli jedna z gwiazd jest znacznie jaśniejsza od drugiej, to widmo jej przemaga nad widmem tamtej i można „stosunkowo“ nietrudno dostrzedz przesunięcia linij widmowych jaśniejszej gwiazdy.

Pierwszy E. Pickering w r. 1889 zauważył, że ζ Ursae maioris (Wielkiej Niedźwiedzicy) peryodycznie co mniej więcej 20 dni zbliża się i oddala. Wkrótce potem H. C. Vogel (1841—1907) stwierdził, że Algol (właściwie jaśniejsza gwiazda tego systemu)[1] przed każdem zmniejszeniem jasności oddala się od nas, a po każdem zmniejszeniu jasności zbliża się do nas. To odkrycie potwierdziło — i to bardzo dobitnie — już wyżej podane tłómaczenie, mianowicie że Algol jest systemem podwójnym a zmiany jasności są spowodowane przez peryodyczne zaćmienia. Ale odwrotnie sprawdziwszy naszą hypotezę na przypadku Algola i innych gwiazdach tego typu, możemy z tem większem prawem twierdzić, że gwiazdy nie okazujące peryodycznych zmian jasności, ale okazujące peryodyczne przesunięcia linij widmowych są w rzeczywistości systemami podwójnymi. Wykryto już takich systemów niemało, nazywamy je „gwiazdami podwójnemi spektroskopicznemi“, zaś gwiazdy typu Algola możemy uważać za specyalny przypadek gwiazd spektroskopicznych.

Jednakże są z pewnością systemy podwójne, których nietylko innemi drogami, ale także przez obserwacye spektroskopiczne wykryć nie można. Wyobraźmy sobie np. system czy to nazbyt mały, czy to nazbyt daleki, aby można było „oddzielić“ jego składowe od siebie a jednocześnie załóżmy, że płaszczyzna orbit jest mniej więcej prostopadła do promienia widzenia. Że w tych warunkach

[1] Towarzysz Algola jest także jasny, ale blask jego jest znacznie słabszy od blasku głównej gwiazdy.

zaćmienia nie mogą być widzialne, tego chyba dowodzić nie potrzeba, ale tak samo drogą spektroskopiczną nic nie wykryjemy, bo w tych warunkach ruch po orbicie nie ma wpływu na prędkość w kierunku promienia widzenia, a spektroskop tylko tę prędkość wykryć może.

Ze wszystkiego tego wynika, że chociaż są aż trzy drogi prowadzące do odkrycia gwiazd podwójnych, jednakże w niektórych przypadkach żadna z nich do pożądanego celu doprowadzić nie może. Często zdarza się, że z powodu tych, lub owych trudności i komplikacyi rzecz pozostaje wątpliwą. Wreszcie jest wiele gwiazd podwójnych, których dlatego tylko nie rozpoznano, że nikt ich dotąd w tym kierunku nie badał.

W każdym razie ilość gwiazd podwójnych musi być bardzo znaczna. Wciąż odkrywają nowe systemy podwójne i z pewnością wiele jeszcze odkryją. A wiele jest takich, których nigdy nie uda się wykryć? Wielu astronomów przypuszcza, że liczba gwiazd podwójnych jest dużo większa niż liczba gwiazd pojedynczych w rodzaju naszego słońca.

Poznaliśmy poprzednio spekulacye Lamberta i Kanta, które w gruncie rzeczy polegają na uogólnieniu stosunków, panujących w systemie słonecznym. Jakże wygląda to uogólnienie wobec rezultatów nowszych badań, które pokazały, że sam system słoneczny bodaj należy do wyjątkowych?

4. Porównanie gwiazd podwójnych i gwiazd wogóle ze słońcem.

Sądzimy tedy, że istnieją rozmaite systemy podwójne, jedne o krótszych czasach obiegu i mniejszych rozmiarach orbit, inne o dłuższych czasach obiegu i większych rozmiarach orbit. Wiemy już, że w tych ostatnich systemach orbity są więcej wydłużone aniżeli orbity planet słonecznego systemu, że zatem w ciągu każdego obiegu wzajemna odległość obu ciał należących do systemu zmienia się w dość szerokich granicach. O kształcie orbit w systemach podwójnych spektroskopicznych nie wiemy prawie nic pozytywnego. W tych systemach, w których możemy „oddzielić“, t. j. zobaczyć jedną gwiazdę oddzielnie od drugiej, wprawdzie jasność obu gwiazd nigdy nie bywa jednakową, ale z drugiej strony nie bywa na tyle różną, abyśmy musieli uważać jedno z ciał za dużo mniejsze od drugiego. Przeciwnie tak na podstawie jasności, jak na podstawie innych wskazówek częstokroć dochodzimy do wniosku, że jaśniejsze ciało posiada rozmiary co najwyżej kilka, lub kilkanaście razy większe od rozmiarów mniej jasnego. Np. jeżeli gwiazdy typu Algola są gwiazdami podwójnemi, to obie składowe systemu muszą mieć rozmiary mniej więcej porównywalne, bo przecie małe ciało nie mogłoby sprawić zaćmienia widzialnego na ziemi. Jeżeli zaś rozmiary obu ciał są porównywalne, to i masy są zapewne porównywalne.

Niestety, te dane, któremi zazwyczaj rozporządzamy, nie wystarczają do określenia absolutnych mas gwiazd. Tylko uboczną drogą, na podstawie pewnych konjektur możemy dojść do przybliżonej oceny mas. Otóż godną uwagi jest ta okoliczność, że ilekroć można przeprowadzić taką ocenę, to zawsze otrzymujemy masy porównywalne z masą słońca. Że nie odkrywamy mas tysiące razy mniejszych od słońca, to nic dziwnego. Przedewszystkiem mamy wszelką podstawę do przypuszczenia, że wszystkie, albo prawie wszystkie małe ciała są ciemne; powtóre gdyby nawet istniały małe ciała [powiedzmy, tych rozmiarów co planety] świecące własnem światłem, to moglibyśmy je widzieć tylko jako gwiazdy dalszych wielkości, które łatwo mogą ujść naszej uwagi. Natomiast fakt, że dotąd nie natrafiono na ciało posiadające masę kilkaset razy większą od masy słońca jest w wysokim stopniu godny uwagi. Największe, najbardziej błyszczące gwiazdy pierwszej wielkości mają masę nie dużo większą od masy słońca, np. masę Syryusza szacują co najwyżej na cztery masy słońca. Być może, Capella i Arktur mają masy znacznie większe od masy słońca, wedle niektórych oszacowań może kilkadziesiąt razy większe. Widocznie istnieje jakaś przyczyna, która wyklucza możność istnienia mas tysiące razy większych od masy słońca. Czy to jest przyczyna termodynamicznej, czy mechanicznej, czy innej natury — nie wiemy.

Rozumie się, że jeżeli masy gwiazd są porównywalne z masą słońca, to rozmiary ich są także porównywalne z rozmiarami słońca. W systemach podwójnych typu Algola można ocenić rozmiary i masy. Tak jedne, jak drugie wypadają zawsze porównywalne z rozmiarami i masą słońca. Niedawno Ch. Nordmann[1] oceniał

[1] Sur les diamètres effectifs des étoiles. Comptes Rendus. Tom 152 (1911), str. 73—74.

„efektywne“ rozmiary gwiazd z temperatury i wielkości gwiazdowej. Znalazł, że Syryusz ma średnicę tylko 1,13 razy większą niż słońce, zato Aldebaran (α Tauri) ma 13 razy większą średnicę. Większa jasność Syryusza objaśnia się znacznie wyższą temperaturą. Nordmann umyślnie używa przymiotnika „efektywny“ na znak, że to są rozmiary obliczone na podstawie pewnych hypotez i być może od rzeczywistych dość znacznie różne.

A. Hnatek[1] znajduje, że średnica α Lyrae (Wega) jest 6,1 razy, α Aquilae (Atair) 1,9 razy, α Cephei 5,1 razy, β Persei (Algol) 2,1 razy, α Andromedae 3,1 razy większa od średnicy słońca.

Ciekawem jest to, że gęstość gwiazd typu Algola jest z reguły bardzo nieduża. E. Zinner[2] oblicza, że z 84 systemów podwójnych tego typu ani jeden nie posiada gęstości większej niż gęstość słońca, a wiele jest takich, których gęstość wynosi tylko $^1/_{10}$ albo $^1/_{20}$ gęstości słońca.

Naturalnie wszystkie te liczby są niepewne, bo metody, na podstawie których oceniamy masy, rozmiary i t. d. są nieścisłe, — ale aby były wręcz fałszywe, ze rzeczywistością sprzeczne, tego przypuścić nie można.

5. Domniemana ewolucya systemów podwójnych.

Można rozklasyfikować systemy podwójne wedle rozmiarów orbity. Na jednym końcu szeregu będą systemy o najmniejszych, na drugim o największych orbitach. Skoro je tak rozklasyfikujemy, to zaraz nasunie się nam pytanie, czy różne członki tego szeregu nie przedstawiają różnych faz rozwoju. Istnieje hypoteza, że systemy podwójne powstały przez rozpadnięcie się pojedynczych ciał na dwie części. Po rozpadnięciu się oba ciała pozostają z początku blisko siebie, muszą przeto wzbudzać jedno w drugiem przypływy i odpływy.

Byłyby to zatem przypływy analogiczne do przypływów ziemskich, t. j. do peryodycznych deformacyi ziemi sprawionych przez przyciąganie księżyca (i słońca), które wykazano dopiero w ostatnich czasach zapomocą delikatnych horyzontalnych wahadeł. Nie

---

[1] Bestimmung einiger effektiven Sterntemperaturen. Astr. Nachrichten. Tom 187, str. 369—382.

[2] Untersuchungen über die Algolsterne. Astr. Nachrichten. Tom 187, str. 177—187.

spostrzegamy ich nie tyle z powodu małej amplitudy, jak dla całkiem innej przyczyny. Obserwator jest względem przypływów ziemskich zupełnie w tem samem położeniu, co marynarze na otwartem morzu względem przypływów morskich. W otwartem morzu zupełnie nie spostrzegamy przypływów, bo fala przypływowa jest bardzo długa a stosunkowo niska. Długość jej jest wielkością tego samego rzędu co liniowe rozmiary oceanu, a więc wynosi tysiące kilometrów, tymczasem wysokość wynosi tylko kilkadziesiąt centymetrów. Wskutek tego nachylenie powierzchni wody, względnie nachylenie okrętu jest zupełnie niedostrzegalne.

Fala przypływowa staje się widoczną dopiero u wybrzeży, gdzie konstatujemy różnice między odkształceniem wód i stałego lądu. Zresztą wskutek spiętrzenia fali w płytkich przybrzeżnych wodach i wielu innych okoliczności, które musimy pominąć, jako nazbyt odległe od naszego tematu, przypływy morskie u wybrzeży są zazwyczaj większe niż w otwartym oceanie a prócz tego przybierają różne cechy, rzucające się w oczy obserwatora.

Podobnie jak w systemie ziemia-księżyc, tak samo w obu gwiazdach systemu podwójnego muszą istnieć przypływy. Wyobraźmy sobie dwa wielkie ciała, dwa słońca obdarzone ruchem obrotowym. Wyobraźmy sobie, że te ciała są blisko siebie położone, że np. odległość między ich środkami jest mniej więcej taka jak odległość między środkami słońca i Merkurego. Wzajemne przyciągania tych ciał są bezporównania większe niż wzajemne przyciąganie ziemi i księżyca, a różnice między przyciąganiami ciała A na różne punkty ciała B (i wzajemnie) są większe niż różnice między przyciąganiami księżyca na różne punkty ziemi, bo rozmiary samych ciał w porównaniu ze wzajemną odległością ich środków są większe niż w systemie ziemia-księżyc. Dodajmy do tego, że oba ciała są ciekłe, względnie gazowe, zatem łatwo poddają się siłom odkształcającym, a dojdziemy do wniosku, że przypływy słońc składających system podwójny muszą być ogromne. Stąd w dalszym ciągu wnosimy, że tarcie wewnętrzne towarzyszące przypływom musi być znaczne. Lecz wskutek tarcia energia ruchu rozprasza się, prędkość obrotu zmniejsza się, jednocześnie zaś zmniejsza się prędkość obiegu a powiększa się odległość między ciałami.

O ile sama koncepcya powyżej naszkicowanej teoryi jest prostą, o tyle jej d o k ł a d n e analityczne opracowanie przedstawia ogromne a dotąd nieprzełamane trudności. Naturę tych trudności tłómaczyć nie możemy, — jednej tylko, ale bodaj najważniejszej poświęcimy parę słów.

Powiedzieliśmy, że teorya ewolucyi systemów podwójnych wychodzi ze założenia, że masa pierwotnie pojedyncza rozpada się na dwie części. Na poparcie tego założenia przytaczają jedno z odkryć, które H. Poincaré zrobił w teoryi figur równowagi ciał ciekłych jednorodnych, obdarzonych ruchem obrotowym. Ale odkryta przez Poincarégo gruszkowata figura równowagi jest prawdopodobnie figurą równowagi niestałej; więc ciało jednorodne przy wciąż wzrastającej prędkości obrotu nie mogłoby przejść przez fazę gruszkowatą, lecz musiałoby już przedtem rozpaść się niewiadomo jak i na wiele części.

Zresztą gwiazdy są ciałami niejednorodnemi, z pewnością znacznie zagęszczonemi ku środkowi, więc teorya figur równowagi cieczy jednorodnej do nich się nie stosuje; trzeba traktować zadanie z punktu widzenia teoryi równowagi ciał ciekłych niejednorodnych, tymczasem ta teorya jest ogromnie zawiła i prawie zupełnie niewyrobiona. Widzimy tedy, że nawet pierwsza faza domniemanej ewolucyi systemów podwójnych nie jest analitycznie zbadana a wskutek tego zupełnie nie wiemy, czy jest mechanicznie możliwą czy nie.