ASTRONOMJA ŻEGLARSKA

Stanisław Witold.

ANTONI LEDÓCHOWSKI

ASTRONOMJA
żeglarska

Z 37 rysunkami w tekście

Nakładem Ministerstwa Przemysłu, Handlu i Żeglugi
Dział Spraw Morskich
LONDYN 1942

Printed by
F. MILDNER & SONS
Herbal Hill, London, E.C.

DRUKARNIA MILDNERA
W LONDYNIE

I 12223

Treść.

CZĘŚĆ I.

Wstępne wiadomości z astronomji.

Rozdział I. Układy współrzędnych i ruchy ciał niebieskich.

1) Kula niebieska 9
2) Linja pionu i horyzont 10
3) Oś świata i równik 10
4) Południk świata 11
5) Układ horyzontu 11
6) Układ równika 14
7) Rektascenzja 15
8) Ruchy ciał niebieskich 16
9) Trójkąt biegunowy 17
10) Wysokość biegunowa 18
11) Rozpatrywanie ruchu dziennego 18
12) Ruch dzienny na biegunie i na równiku 21
13) Podział ciał niebieskich i prawa Keplera 22
14) Ruch własny słońca 22
15) Wytłumaczenie ruchu własnego słońca 23
16) Pory roku i strefy 23
17) Gwiazdy stałe 26
18) Ruchy gwiazd stałych 27
19) Planety 31
20) Księżyc 33

Rozdział II. Nauka o czasie.

1) Pojęcie czasu 36
2) Zależność czasu od długości geograficznej 38
3) Czas gwiazdowy i czas słoneczny 39
4) Słońce średnie i czas średni 41
5) Rok zwrotnikowy i kalendarz 42
6) Strefy godzinne 43
7) Granica daty 44
8) Rocznik astronomiczny 45
9) Zależność pomiędzy czasem gwiazdowym a czasem jakiegoś ciała niebieskiego 46
10) Zamiana czasów 47

11) Obliczanie momentu kulminacji słońca i gwiazd stałych 50
12) Obliczanie momentu kulminacji księżyca i planet .. 51

CZĘŚĆ II.

Mierzenie kątów.

Rozdział I. Sekstans.

1) Teorja sekstansu 54
2) Opis sekstansu 56
3) Odczytywanie odmierzonych kątów 59
4) Błędy sekstansu 60
5) Obchodzenie się z sekstansem 67
6) Mierzenie kątów sekstansem 68

Rozdział II. Poprawianie odmierzonych wysokości.

1) Wstęp 72
2) Głębokość widnokręgu 73
3) Refrakcja astronomiczna 74
4) Paralaksa 75
5) Promień 76
6) Całkowita poprawka 77

CZĘŚĆ III.

Rozwiązywanie trójkąta biegunowego.

1) Wstęp 78
2) Obliczanie wysokości w wypadku ogólnym 78
3) Dokładność obliczonej wysokości 79
4) Obliczanie wysokości w momencie kulminacji 82
5) Obliczanie azymutu w wypadku ogólnym 83
6) Szybkość zmiany azymutu 86
7) Obliczanie azymutu gwiazdy polarnej 88
8) Obliczanie azymutu w czasie wschodu lub zachodu .. 89
9) Obliczanie kąta godzinnego w wypadku ogólnym .. 89
10) Dokładność obliczonego kąta godzinnego 90
11) Obliczanie kąta godzinnego w czasie wschodu lub zachodu 91
12) Obliczanie momentów wschodu i zachodu ciał niebieskich 94

13) Obliczanie kąta godzinnego w czasie najszybszej zmiany wysokości 96
14) Identyfikacja gwiazd 97

CZĘŚĆ IV.

Określanie pozycji na morzu.

1) Wstęp 101
2) Chronometr 101
3) Określanie szerokości w momencie kulminacji c. n. .. 105
4) Obliczanie szerokości z obserwacji c. n. w pobliżu kulminacji 106
5) Obliczanie szerokości z obserwacji gwiazdy polarnej .. 108
6) Obliczanie długości z chronometru 110
7) Linja pozycyjna 113
8) Rzut gwiazdy. Koło pozycyjne 114
9) Wykreślanie linji pozycyjnej na mapie morskiej 115
10) Metoda długościowa 116
11) Metoda szerokościowa 117
12) Metoda wysokościowa 117
13) Dokładność linji pozycyjnej 119
14) Praktyczne wskazówki przy określaniu pozycji astronomicznej na morzu 123
15) Obliczanie współrzędnych punktu przecięcia się dwóch linij pozycyjnych 125

Ważniejsze skrócenia i oznaczenia.

φ — szerokość geograficzna
λ — długość
δ — deklinacja
α — rektascenzja
p — odległość biegunowa
h — wysokość
z — odległość zenitowa
H — wysokość w czasie kulminacji
z' — odległość zenitowa w czasie kulminacji
ω — azymut
ν — kąt paralaktyczny
Z — czas według zegara obserwacyjnego
Ch — „ „ chronometru
cp — całkowita poprawka
g — kąt godzinny
T — czas jakiegoś ciała niebieskiego
P — czas słońca prawdziwego
M — czas słońca średniego
G — czas gwiazdowy
e — równanie czasu
C_0 — czas średni w Gryniczu w momencie kulminacji księżyca lub planety w Gryniczu
v — akceleracja wzgl. retardacja księżyca (planety)
h_s — wysokość odmierzona sekstansem i poprawiona
h_z — „ obliczona dla pozycji zliczonej
i — błąd indeksu.

Ponadto czas albo kąt godzinny ze wskaźnikiem $_0$ oznacza czas gryniczowski, a ze wskaźnikiem λ czas miejscowy.

Do rektascenzji α i deklinacji δ dodane są czasami wskaźniki według znaków konwencjonalnych ciał niebieskich.

Część I.

Wstępne wiadomości z astronomji.

ROZDZIAŁ I.

Układy współrzędnych i ruchy ciał niebieskich.

1. Kula niebieska. Patrząc z jakiegokolwiek punktu obserwacyjnego na niebo, ulega się mimowolnie złudzeniu, jakoby wszystkie ciała niebieskie znajdowały się na wewnętrznej powierzchni wielkiej półkuli, której środkiem jest obserwator.

Złudzenie powyższe powstaje stąd, że odległość najbliższych nawet ciał niebieskich jest tak wielka, iż oko ludzkie nie jest w stanie jej ocenić ; z tego powodu odległość wszystkich ciał niebieskich wydaje się jednakowa.

Miejscem geometrycznem wszystkich punktów równoodległych od jednego punktu jest powierzchnia kuli. Pozorna powierzchnia kuli, na której widoczne są ciała niebieskie, nazywa się sferą albo kulą niebieską.

W rzeczywistości odległości poszczególnych ciał niebieskich są bardzo rozmaite, jednak w astronomji żeglarskiej odległości te, z wyjątkiem bardzo nielicznych wypadków, nie mają znaczenia.

W astronomji żeglarskiej ma znaczenie tylko położenie ciała niebieskiego na pozornej kuli niebieskiej. Położeniem ciała niebieskiego na kuli niebieskiej nazywa się rzut danego ciała niebieskiego z punktu obserwacyjnego na powierzchnię kuli o dowolnie wielkim promieniu, względnie o promieniu tak wielkim, aby kula obejmowała wszystkie istniejące ciała niebieskie.

Położenie ciała niebieskiego na kuli niebieskiej wyznaczone jest kierunkiem na dane ciało niebieskie. Chcąc temu kierunkowi nadać określoną wartość, należy ustalić kąt, jaki ten kierunek tworzy z znanemi płaszczyznami lub kierunkami.

W powyższem znaczeniu dwie gwiazdy, widziane na kuli niebieskiej jedna obok drugiej, mogą być w rzeczywistości w bardzo wielkiej odległości od siebie.

2. Linja pionu i horyzont. Jednym takim stałym kierunkiem, względem którego można określać kierunek ciała niebieskiego, jest kierunek działania siły ciężkości, czyli t. zw. linja pionu. Przedłużenie linji pionu przechodzi przez środek ziemi i przecina się z kulą niebieską w dwóch punktach, z których górny nazywa się *zenitem*, a dolny *nadirem*.

Płaszczyzna, prostopadła do linji pionu i przechodząca przez oko obserwatora, nazywa się *pozornym horyzontem*, a płaszczyzna, prostopadła do linji pionu i przechodząca przez środek ziemi, nazywa się *prawdziwym* albo *astronomicznym horyzontem*. Pozorny horyzont ma zastosowanie w nawigacji, a prawdziwy w astronomji. Płaszczyzna horyzontu astronomicznego przecina się z kulą niebieską po kole wielkiem, które również nazywa się horyzontem.

Jeżeli odległość obserwowanego ciała niebieskiego jest tak wielka, że promień ziemski jest znikomo mały w porównaniu z tą odległością, wtedy niema praktycznie różnicy pomiędzy pozornym a rzeczywistym horyzontem. Środkiem kuli niebieskiej może być zarówno punkt obserwacyjny jak i środek ziemi. Używając horyzontu astronomicznego, przyjmuje się środek kuli niesbiekiej w środku ziemi.

Płaszczyzna horyzontu dzieli kulę niebieską na dwie połowy: na półkulę widoczną z zenitem i na półkulę niewidoczną z nadirem. Swobodna powierzchnia cieczy, a zatem i powierzchnia morza jest równoległa do płaszczyzny horyzontu.

3. Oś świata i równik. Drugim podstawowym kierunkiem jest przedłużenie osi ziemskiej, czyli t. zw. oś świata. Punkty przecięcia się przedłużonej osi ziemskiej, czyli osi świata, z kulą niebieską nazywają się *biegunami niebieskiemi*.

Płaszczyzna, prostopadła do osi świata i przechodząca przez środek ziemi, nazywa się *płaszczyzną równika*. Płaszczyzna równika przecina się z powierzchnią ziemi po kole wielkiem, które nazywa się *równikiem ziemskim*, a z kulą niebieską po kole, które nazywa się *równikiem niebieskim*. Równik dzieli kulę niebieską na półkulę północną

z biegunem północnym i na półkulę południową z biegunem południowym.

Gdyby w środku ziemi znajdował się punkt świecący, wtedy cień równika ziemskiego padłby na równik niebieski, cień bieguna ziemskiego na biegun niebieski, a cień punktu obserwacyjnego na powierzchni ziemi na zenit. W tem znaczeniu mówi się, że równik niebieski jest rzutem równika ziemskiego, biegun niebieski jest rzutem bieguna ziemskiego, a zenit jest rzutem pozycji.

4. Południk świata. Koło wielkie, przechodzące przez bieguny niebieskie oraz przez zenit i nadir, nazywa się południkiem świata. Południk świata jest rzutem południka geograficznego, przechodzącego przez punkt obserwacyjny. Płaszczyzna południka świata jest wyznaczona osią świata i linją pionu i jest przedłużeniem płaszczyzny południka geograficznego.

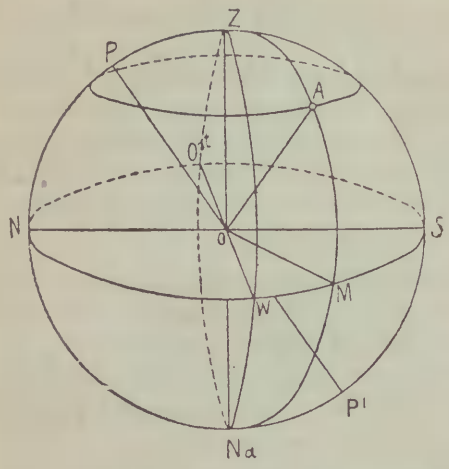
Linja pionu dzieli południk świata na dwie połowy, z której jedna nazywa się północną, a druga południową częścią południka świata. Biegun północny znajduje się na północnej części południka świata, a biegun południowy na południowej.

Oś świata dzieli również południk świata na dwie połowy, na górną i dolną połowę. Górną połową nazywa się ta połowa, na której znajduje się zenit, a dolną ta, na której znajduje się nadir.

5. Układ horyzontu. Koła wielkie, przechodzące przez zenit i nadir, nazywają się *kołami wierzchołkowemi*. Płaszczyzny kół wierzchołkowych przechodzą przez linję pionu i są prostopadłe do horyzontu.

Koła małe, równoległe do horyzontu i prostopadłe do kół wierzchołkowych, nazywają się *równoleżnikami wysokości*. Przez każdy punkt na kuli niebieskiej można przeprowadzić koło wierzchołkowe i równoleżnik wysokości. Położenie ciała niebieskiego na kuli niebieskiej jest wyznaczone, jeżeli znane jest położenie jego równoleżnika wysokości względem horyzontu, oraz odchylenie jego koła wierzchołkowego od dowolnie obranego koła wierzchołkowego. Położenie ciała niebieskiego na kuli niebieskiej wyznacza się względem horyzontu i linji pionu, analogicznie jak w geografji wyznacza się położenie miejscowości względem równika i osi ziemskiej.

Na rys. 1. *NWMS* jest horyzontem, *NaOZ* jest linją pionu, a *A* jest dowolnym punktem na kuli niebieskiej. *ZAMNa* jest kołem wierzchołkowem, przechodzącem przez ten punkt.



Rys. 1.

Położenie równoleżnika punktu A względem horyzontu mierzy się łukiem na kole wierzchołkowem, zawartym pomiędzy horyzontem a równoleżnikiem, czyli na rysunku łukiem MA, albo kątem środkowym, odpowiadającym temu łukowi, czyli kątem AOM, t. j. kątem, zawartym pomiędzy płaszczyzną horyzontu a kierunkiem na punkt A.

Powyższa wartość nazywa się wysokością i oznacza się literą h. Wysokość mierzy się w stopniach, minutach i sekundach od horyzontu począwszy do 90°. Wysokości, liczone od horyzontu ku zenitowi, mają znak dodatni, a wysokości, liczone ku nadirowi (niewidoczne), mają znak ujemny.

Zamiast wysokości używa się często dopełnienia wysokości, czyli t. zw. odległości zenitowej z. Odległość zenitowa jest to łuk na kole wierzchołkowem, zawarty pomiędzy zenitem a danym punktem (na rys. ZA), albo kąt zawarty pomiędzy linją pionu a kierunkiem na dany punkt (na rys. $\sphericalangle\ ZOA$).

Miejscem geometrycznem wszystkich punktów o jednakowej wysokości jest równoleżnik wysokości. Aby określić położenie punktu na kuli niebieskiej jednoznacznie, należy jeszcze ustalić położenie jego koła wierzchołkowego względem dowolnie obranego koła wierzchołkowego. Tem dowolnie obranem kołem wierzchołkowem jest koło wierzchołkowe, przechodzące przez bieguny czyli południk świata. (na rys. $ZPNNaP'S$).

Położenie koła wierzchołkowego, przechodzącego przez punkt A, względem południka świata mierzy się łukiem na horyzoncie, zawartym pomiędzy południkiem świata, a danem kołem wierzchołkowem (na rys. łuk NM albo SM), albo kątem sferycznym, zawartym pomiędzy południkiem świata, a kołem wierzchołkowem.

Powyższa wartość nazywa się *azymutem* i oznacza się grecką literą ω.

Linja przecięcia się płaszczyzny horyzontu z płaszczyzną południka świata nazywa się *linją północno-południową* albo linją NS. Koło

wierzchołkowe, tworzące z południkiem świata kąt prosty, nazywa się *pierwszym wertykałem*. Linja przecięcia się horyzontu z płaszczyzną pierwszego wertykału nazywa się *linją wschodnio-zachodnią* albo linją *OW*.

Linja *NS* i prostopadła do niej linja *OW* dzielą horyzont na cztery ćwiartki, a mianowicie na ćwiartkę *NO*, ćwiartkę *SO*, ćwiartkę *SW* i na ćwiartkę *NW*.

Linja przecięcia się płaszczyzny horyzontu z płaszczyzną dowolnego koła wierzchołkowego jest poziomym kierunkiem wszystkich punktów, leżących na tem kole wierzchołkowem. Na rys. 1. prosta *OA* jest kierunkiem na punkt *A*, a *OM* jest poziomym kierunkiem punktu *A*, czyli rzutem ogólnego kierunku na horyzont. W powyższem znaczeniu linja *NS* jest poziomym kierunkiem biegunów, a azymut jest kątem pomiędzy linją *NS* a poziomym kierunkiem na dany punkt. Azymut jest tem samem, co w nawigacji peleng.

Azymut liczy się w stopniach w trojaki sposób: albo od *N* począwszy przez *O* do 360°, albo od *N* i *S* począwszy do 90° na *O* i na *W* (system ćwiartkowy), albo wreszcie od widocznego bieguna począwszy do 180° na *O* i na *W*. Najczęściej używanym sposobem jest ćwiartkowy system liczenia.

Wszystkie ciała niebieskie, znajdujące się na południku świata, mają azymut *N* albo *S*, a wszystkie ciała niebieskie, znajdujące się na pierwszym wertykale, mają azymut *O* albo *W*. Południk świata jest granicą azymutów wschodnich i zachodnich, a pierwszy wertykał jest granicą azymutów północnych i południowych.

Wysokość i azymut wyznaczają położenie ciała niebieskiego na kuli niebieskiej i nazywają się *współrzędnemi w układzie horyzontu*.

Współrzędne horyzontu ciała niebieskiego zależą od pozycji obserwatora i od momentu. Układ horyzontu, t. j. linja pionu i płaszczyzna horyzontu, związany jest z pozycją obserwatora. Każda miejscowość na powierzchni ziemi posiada inną linję pionu, a tem samem inny horyzont; wobec tego współrzędne pewnej gwiazdy w danym momencie są dla każdej miejscowości inne.

Dla tej samej miejscowości współrzędne horyzontu zmieniają się również z powodu obrotu ziemi dookoła swej osi. Linja pionu i horyzont obserwatora obraca się razem z ziemią, a tem samem zmienia swoje położenie względem ciał niebieskich. Obserwatorowi wydaje się, że ciała niebieskie zmieniają położenie względem horyzontu. Współrzędne horyzontu wyznaczają wzajemne położenie ciał niebieskich względem siebie tylko w połączeniu z momentem i pozycją.

6. Układ równika. Koła wielkie, przechodzące przez bieguny niebieskie, nazywają się *kołami godzinnemi*. Koła godzinne przecinają się na osi świata i są prostopadłe do równika. Każde koło godzinne jest rzutem jakiegoś południka geograficznego ze środka ziemi na kulę niebieską.

Koła małe, równoległe do równika, nazywają się *równoleżnikami deklinacyjnemi*. Każdy równoleżnik deklinacyjny jest rzutem jakiegoś równoleżnika szerokości geograficznej. Przez każdy punkt na kuli niebieskiej można przeprowadzić równoleżnik deklinacyjny i koło godzinne.

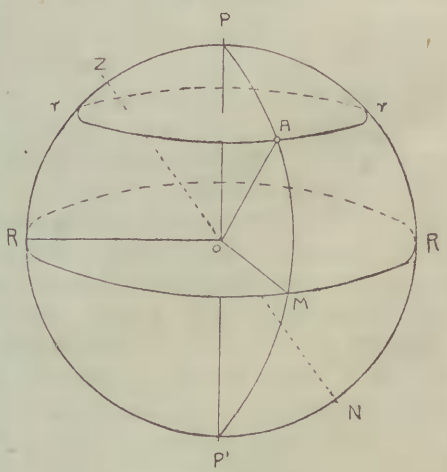
Na rys. 2. $PAMP'$ jest kołem godzinnem, a rr równoleżnikiem deklinacyjnym punktu A, RR jest równikiem, PP' osią świata, a ZN linją pionu. Łuk MA na kole godzinnem, zawarty pomiędzy równikiem a danem ciałem niebieskiem, albo kąt AOM, zawarty pomiędzy płaszczyzną równika a kierunkiem na dane ciało niebieskie, nazywa się *deklinacją*.

Deklinację oznacza się grecką literą δ i liczy się w stopniach, minutach i sekundach od równika począwszy do 90°. Deklinacja może być północna N czyli dodatnia, albo południowa S czyli ujemna, w zależności od półkuli, na której znajduje się ciało niebieskie.

Zamiast deklinacji używa się częstokroć dopełnienia deklinacji. czyli t. zw. *odległości biegunowej p.* Odległość biegunowa jest łukiem na kole godzinnem pomiędzy biegunem a ciałem niebieskiem (na rys. łuk PA) albo kątem, zawartym pomiędzy osią świata a kierunkiem na ciało niebieskie.

Początkiem układu dla drugiej współrzędnej jest koło godzinne, przechodzące przez zenit, czyli południk świata. Południk świata jest zatem początkiem układu zarówno w układzie horyzontu jak i w układzie równika. Południk świata jest równocześnie kołem wierzchołkowem i kołem godzinnem.

Płaszczyzna południka świata jest prostopadła do płaszczyzny horyzontu i do



Rys. 2.

płaszczyzny równika, wobec tego linja przecięcia się horyzontu z równikiem jest prostopadła do linji *NS*, t. j. do linji przecięcia się horyzontu z południkiem świata.

Linja prostopadła do *NS* jest linją *OW*; jest ona równocześnie linją przecięcia się równika z horyzontem. W punktach *O* i *W* przecinają się zatem trzy charakterystyczne koła wielkie: równik, horyzont i pierwszy wertykał.

Łuk na równiku *RM*, zawarty pomiędzy południkiem świata i kołem godzinnem danego ciała niebieskiego, albo kąt sferyczny pomiędzy południkiem świata a kołem godzinnem danego ciała niebieskiego nazywa się *kątem godzinnym* i oznacza się literą *g*.

Kąt godzinny liczy się od górnego południka począwszy do 12 godzin na *O* i do 12 godzin na *W*. Do liczenia kąta godzinnego używa się miary czasowej, przyczem:

$$24^h = 360^\circ$$

$$1^h = 15^\circ \qquad 1^\circ = 4^m$$

$$1^m = 15' \qquad 1' = 4^s$$

$$1^s = 15'' \qquad 1'' = {}^1/_{15}{}^s.$$

(Koło godzinne, prostopadłe do południka świata, nazywa się *kołem sześciogodzinnem*).

Deklinacja jest niezależna od pozycji obserwatora i od obrotu ziemi dookoła swej osi, ponieważ liczy się od równika, natomiast kąt godzinny zmienia się z pozycją obserwatora i z momentem, ponieważ kąt godzinny liczy się od południka świata, a południk świata obraca się razem z ziemią i jest dla każdej miejscowości inny.

7. Rektascenzja. Chcąc otrzymać w układzie równika drugą współrzędną, która jest podobnie jak deklinacja niezależna od obrotu ziemi i pozycji, należy przyjąć za początek układu koło godzinne, przechodzące przez stały punkt na kuli niebieskiej. Punktem tym jest *punkt wiosenny*. O punkcie wiosennym będzie szczegółowo mowa w następnych ustępach, narazie wystarczy wiedzieć, że punkt wiosenny leży na równiku niebieskim i jest na kuli niebieskiej punktem stałym.

Łuk na równiku pomiędzy punktem wiosennym a kołem godzinnem danego ciała niebieskiego nazywa się *rektascenzją*, albo wznoszeniem prostem i oznacza się grecką literą α. Rektascenzję liczy się w mierze czasowej od punktu wiosennego począwszy, w kierunku przeciwnym do kierunku pozornego ruchu dziennego ciał niebieskich do 24 godzin.

Rektascenzja i deklinacja są właściwemi współrzędnemi w układzie równika i nie zależą ani od pozycji obserwatora, ani od obrotu ziemi dookoła swej osi.

W astronomji używany jest jeszcze trzeci układ współrzędnych, którego podstawową płaszczyzną jest płaszczyzna ekliptyki, czyli płaszczyzna toru ziemskiego. Przecięcie się płaszczyzyny ekliptyki z kulą niebieską jest kołem wielkim, które również nazywa się ekliptyką. Współrzędne w układzie ekliptyki nazywają się szerokością i długością i nie mają zastosowania w astronomji żeglarskiej.

8. Ruchy ciał niebieskich. Ruchy ciał niebieskich dzielą się na ruch dzienny i na ruchy własne.

Ruchem dziennym nazywa się pozorny ruch, któremu ulegają wszystkie ciała niebieskie z powodu obrotu ziemi dookoła swej osi. Obrót ziemi dookoła swej osi w kierunku z zachodu na wschód wywołuje złudzenie, jakoby cała kula niebieska obracała się dookoła osi świata w kierunku przeciwnym, czyli w kierunku ze wschodu na zachód.

Okres czasu, w którym ziemia wykonuje całkowity obrót dookoła swej osi, nazywa się *dobą*. W ciągu jednej doby każde ciało niebieskie wykonuje pozornie całkowity obrót z całą kulą niebieską z wschodu na zachód. Osią tego obrotu jest oś świata. Tor, zatoczony przez ciało niebieskie w ciągu jednej doby, jest równoległy do równika, czyli jest równoleżnikiem deklinacyjnym. Każde ciało niebieskie opisuje pozornie w ciągu doby równoleżnik deklinacyjny. Gwiazda, znajdująca się na biegunie niebieskim, nie zmienia w ciągu doby swego położenia, a gwiazda o deklinacji zero opisuje w ciągu doby równik.

Ruchowi dziennemu ulegają wszystkie ciała niebieskie, przyczem wzajemne ich położenie nie ulega zmianie.

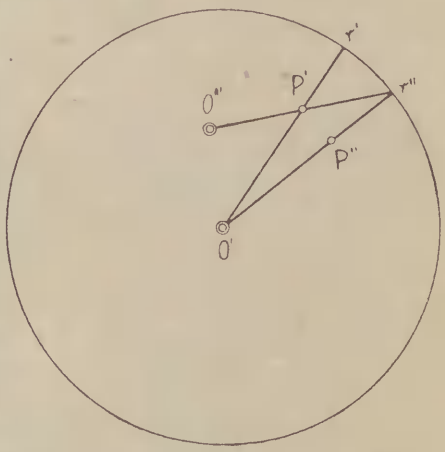
Stosunkowo niewielka ilość ciał niebieskich posiada *ruch własny*. Ciała niebieskie, które ruchu własnego nie mają, nazywają się *gwiazdami stałemi*. Ruch własny polega zatem na zmianie położenia danego ciała niebieskiego względem gwiazd stałych.

Z powyższego określenia ruchu własnego wynika, że ciało niebieskie, posiadające ruch własny, zmienia swoją rektascenzję i deklinację. W rocznikach astronomicznych podane są rektascenzje i deklinacje wszystkich ciał niebieskich, nadających się do obserwacyj na morzu. Współrzędne tych ciał niebieskich, które posiadają szybki ruch własny, podane są w mniejszych odstępach czasu, a współrzędne ciał niebieskich, posiadających wolniejszy ruch własny, podane są w większych odstępach czasu.

Ruch własny może być prawdziwy albo pozorny. Ruch własny nazywa się prawdziwym, jeżeli jest spowodowany rzeczywistem poru-

szaniem się ciała niebieskiego w przestrzeni, a pozornym, jeżeli jest spowodowany poruszaniem się ziemi w przestrzeni.

Jeżeli ziemia znajduje się w punkcie O' (Rys. 3), wtedy gwiazda P' zajmuje na kuli niebieskiej położenie r', jeżeli natomiast gwiazda poruszy się z punktu P' do P'', wtedy położenie jej na kuli niebieskiej również przesunie się do r''. Ruch taki nazywa się ruchem prawdziwym. Gdyby gwiazda P' nie zmieniła swego położenia w przestrzeni, natomiast ziemia przesunęła się z O' do O'', wówczas pozorne położenie gwiazdy na kuli niebieskiej również przesunęłoby się z r' do r''; ruch taki nazywałby się pozornym.



Rys. 3.

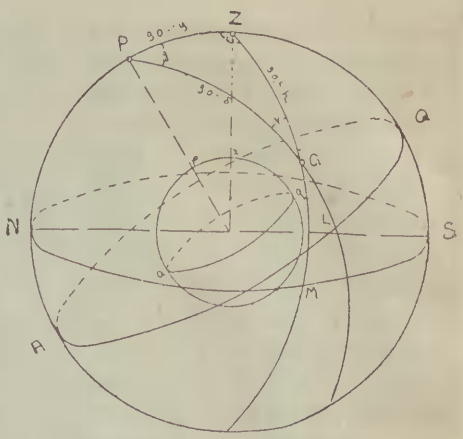
Ruchy własne ciał niebieskich są przeważnie kombinowane, t. j. częściowo spowodowane ruchem ziemi w przestrzeni, a częściowo ich rzeczywistym ruchem w przestrzeni. W astronomji żeglarskiej jest rzeczą obojętną, czy ruch danego ciała niebieskiego jest prawdziwy czy pozorny, rozpatruje się zatem ruchy takie, jak się pozornie przedstawiają oku obserwatora na pozornej kuli niebieskiej.

9. Trójkąt biegunowy. Południk świata, koło godzinne i koło wierzchołkowe, przechodzące przez gwiazdę G, tworzą trójkąt sferyczny ZPG, uwidoczniony na rys. 4. Trójkąt ten nazywa się trójkątem biegunowym albo paralaktycznym danego ciała niebieskiego.

Wierzchołkami trójkąta paralaktycznego są: zenit, biegun i ciało niebieskie. Kąt przy zenicie, czyli kąt, zawarty pomiędzy południkiem świata a kołem wierzchołkowem, jest azymutem. Kąt przy biegunie, czyli kąt, zawarty pomiędzy południkiem świata a kołem godzinnem, jest kątem godzinnym. Kąt przy gwieździe, czyli kąt, zawarty pomiędzy kołem godzinnem a kołem wierzchołkowem, nazywa się *kątem paralaktycznym*, który oznacza się grecką literą ν. Bok na kole wierzchołkowem pomiędzy zenitem a gwiazdą jest odległością zenitową czyli dopełnieniem wysokości, a bok na kole godzinnem pomiędzy biegunem

a gwiazdą jest odległością biegunową, czyli dopełnieniem deklinacji. Bok na południku świata pomiędzy zenitem i biegunem jest dopełnieniem szerokości geograficznej pozycji obserwatora, gdyż łuk *PZ* jest rzutem łuku południka ziemskiego *pz*, zawartego pomiędzy biegunem ziemskim a pozycją obserwatora.

Wszelkie zagadnienia w astronomji żeglarskiej polegają na rozwiązywaniu powyższego trójkąta biegunowego.



Rys. 4.

10. Wysokość biegunowa. Łuk *ZQ* (Rys. 4) na południku świata, zawarty pomiędzy zenitem a równikiem, równa się szerokości geograficznej, gdyż zenit jest rzutem pozycji, a równik niebieski jest rzutem równika ziemskiego, podobnie jak południk świata jest rzutem południka geograficznego.

Łuk *PN* na południku świata pomiędzy biegunem a horyzontem nazywa się *wysokością biegunową* i równy jest łukowi *ZQ* czyli szerokości geograficznej, *NP* jest bowiem dopełnieniem łuku *PZ*, a łuk *PZ* jest dopełnieniem szerokości.

Powyższa okoliczność ma zastosowanie przy określaniu szerokości geograficznej na morzu przy pomocy gwiazdy polarnej.

11. Rozpatrywanie ruchu dziennego. Na rys. 5. przedstawiona jest kula niebieska z linją pionu *ZNa*, horyzontem *NOSW*, osią świata *PP'* i równikiem *RR*. Wszystkie ciała niebieskie wykonują w ciągu jednej doby całkowity obrót po równoleżnikach deklinacyjnych. Na rysunku przedstawione są cztery równoleżniki deklinacyjne, które są torami pozornego ruchu dziennego czterech gwiazd o rozmaitych deklinacjach.

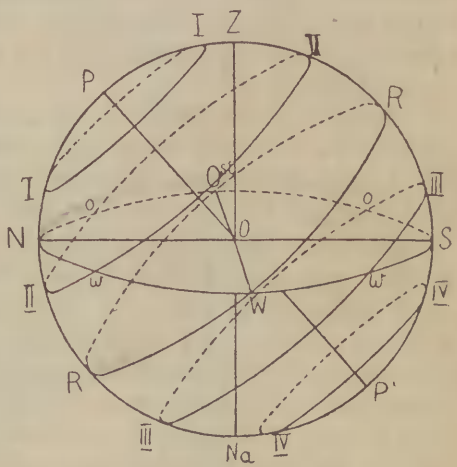
Z rysunku widać, że każda gwiazda przechodzi dwa razy na dobę przez południk świata, a mianowicie raz przez górny, a drugi raz przez dolny. Moment przejścia ciała niebieskiego przez południk świata nazywa się *kulminacją*. Przejście przez górny południk świata nazywa się górną kulminacją albo górowaniem, a moment przejścia przez dolny południk nazywa się dolną kulminacją albo dołowaniem. W czasie

górnej kulminacji kąt godzinny gwiazdy wynosi $0^h\ 0^m\ 0^s$, a w czasie dolnej kulminacji $12^h\ 0^m\ 0^s$.

W czasie dolnej kulminacji wysokość gwiazdy jest najmniejsza, względnie ujemna wartość wysokości największa. W czasie górnej kulminacji wysokość jest największa, względnie ujemna wartość wysokości najmniejsza. Od dolnej kulminacji do górnej wysokość ustawicznie wzrasta, a od górnej do dolnej wysokość ustawicznie maleje.

W momencie kulminacji azymut jest albo *N* albo *S*. Od dolnej kulminacji do górnej azymut i kąt godzinny ciał niebieskich jest *O*, a od górnej do dolnej kulminacji azymut i kąt godzinny jest *W*.

Ciała niebieskie przechodzą przez górny południk, albo pomiędzy równikiem i zenitem (II), albo pomiędzy horyzontem i równikiem (III), albo pomiędzy zenitem i biegunem (I). W specjalnym wypadku gwiazda kulminuje w zenicie albo na równiku.



Rys. 5.

Z rysunku jest widoczne, że gwiazda kulminuje pomiędzy horyzontem a równikiem, jeżeli jej deklinacja jest przeciwnego znaku niż widoczny biegun, czyli przeciwnego znaku niż szerokość. Pomiędzy równikiem a zenitem kulminuje taka gwiazda, której deklinacja jest tego samego znaku co szerokość, ale mniejsza od łuku *ZR*, czyli mniejsza od szerokości. Jeżeli deklinacja jest tego samego znaku co szerokość, lecz większa od szerokości, wtedy gwiazda kulminuje pomiędzy biegunem i zenitem, przyczem azymut takiej gwiazdy w czasie kulminacji jest równoimienny z widocznym biegunem. Równoleżnik deklinacyjny gwiazdy kulminującej pomiędzy zenitem i biegunem nie przecina się z pierwszym wertykałem, a azymut jest w ciągu całej doby równoimienny z widocznym biegunem. Gwiazda, której deklinacja równa jest szerokości, kulminuje w zenicie, a gwiazda, której deklinacja wynosi zero, kulminuje na równiku.

W czasie kulminacji wszystkie trzy wierzchołki trójkąta biegunowego leżą na południku świata. Zależność pomiędzy bokami widoczna jest z rysunku, a mianowicie dla gwiazdy II:

$$ZR = ZII + IIR.$$

czyli $$\varphi = (90 - h) + \delta.$$

Punkty przecięcia się równoleżnika deklinacyjnego z horyzontem nazywają się *punktami wschodu i zachodu* (na rys. *o* i *w*). Punktem wschodu jest ten punkt, w którym gwiazda wschodzi, a punktem zachodu ten punkt, w którym gwiazda zachodzi.

Część równoleżnika deklinacyjnego, która znajduje się nad horyzontem, nazywa się *łukiem dziennym*, a część, znajdująca się pod horyzontem, łukiem *nocnym*.

Łuk na horyzoncie, zawarty pomiędzy punktem wschodu a punktem *O*, nazywa się *amplitudą wschodnią*, a pomiędzy punktem zachodu i punktem *W* amplitudą *zachodnią*. Amplituda wschodnia równa się amplitudzie zachodniej i jest dopełnieniem azymutu w czasie wschodu lub zachodu.

Gwiazda, której deklinacja równa jest zeru, zatacza w ciągu doby równik *RR*, przyczem łuk dzienny równy jest łukowi nocnemu, gdyż dwa koła wielkie zawsze się przepoławiają. Punkt wschodu schodzi się z punktem *O*, a punkt zachodu z punktem *W*.

Jeżeli deklinacja jest tego samego znaku co widoczny biegun, czyli tego samego znaku co szerokość (równoleżnik II II), wtedy łuk dzienny jest większy od łuku nocnego, a amplituda leży w ćwiartce równoimiennej z deklinacją. Jeżeli deklinacja ma znak przeciwny niż szerokość (równoleżnik III III), wtedy łuk dzienny jest mniejszy od łuku nocnego, a amplitudy leżą również w ćwiartce równoimiennej z deklinacją.

Gwiazda, której cały równoleżnik deklinacyjny znajduje się ponad horyzontem, czyli gwiazda, której cały równoleżnik deklinacyjny jest widoczny (równoleżnik I I), nazywa się *gwiazdą kołobiegunową*. Gwiazda, której cały równoleżnik deklinacyjny znajduje się pod horyzontem (równoleżnik IV IV), nazywa się gwiazdą *przeciwkołobiegunową*. Gwiazdy kołobiegunowe i przeciwkołobiegunowe nie wschodzą i nie zachodzą.

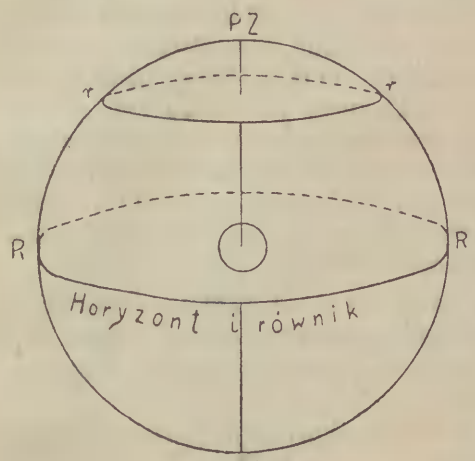
Gwiazda jest wtedy kołobiegunowa, jeżeli jej najmniejsza wysokość jest jeszcze dodatnia, a zatem jeżeli gwiazda w czasie dolnej kulminacji znajduje się powyżej horyzontu. Z rysunku widać, że najmniejsza wysokość wtedy jest dodatnia, jeżeli

$$PI < PN,$$

przyczem *PI* jest odległością biegunową, *PN* wysokością biegunową, czyli szerokością, a zatem: Gwiazda jest kołobiegunowa, jeżeli jej odległość biegunowa jest mniejsza od szerokości i tego samego znaku co szerokość. Jeżeli odległość biegunowa jest mniejsza od szerokości

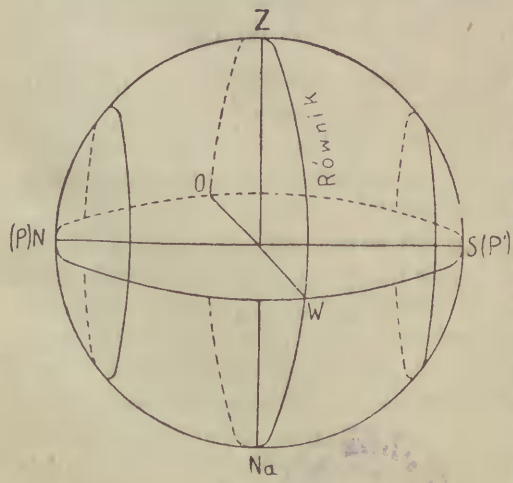
ale przeciwnego znaku, wtedy gwiazda jest przeciwkołobiegunowa.

12. Ruch dzienny na biegunie i na równiku. Dla obserwatora, znajdującego się na biegunie, linja pionu zlewa się z osią świata, a tem samem zenit z biegunem, horyzont z równikiem i wogóle cały układ horyzontu z układem równika (Rys. 6). Ruch dzienny odbywa się po równoleżnikach deklinacyjnych, które są równocześnie równoleżnikami wysokości. Wysokość ciał niebieskich zmienia się tylko pod wpływem ruchu własnego. Azymut i kąt godzinny jest nieoznaczony, gdyż każde koło wierzchołkowe, względnie każde koło godzinne przechodzi równocześnie przez biegun i zenit i może być uważane za południk świata. Wszystkie gwiazdy są kołobiegunowe, albo przeciwkołobiegunowe w zależności od tego, czy ich deklinacja jest równoimienna lub różnoimienna z biegunem.



Rys. 6.

Dla obserwatora, znajdującego się na równiku (Rys. 7), linja pionu leży w płaszczyźnie równika, a oś świata zlewa się z linją *NS*. Wysokość biegunowa wynosi zero, wobec tego biegun północny leży w punkcie *N*, a biegun południowy w punkcie *S*. Równik zlewa się z pierwszym wertykałem, a płaszczyzny równoleżników deklinacyjnych są prostopadłe do płaszczyzny horyzontu. Łuki dzienne są równe łukom nocnym. Amplitudy wschodnie i za-



Rys. 7.

chodnie równe są deklinacji. Gwiazd kołobiegunowych albo przeciwkołobiegunowych niema na równiku.

13. Podział ciał niebieskich i prawa Keplera. Rozróżnia się następujące ciała niebieskie: słońce, planety, księżyce i gwiazdy stałe.

Planetami nazywają się ciała niebieskie, które obiegają słońce po torach eliptycznych, podobnie jak ziemia, a księżycami nazywają się ciała niebieskie, obiegające planety. Oprócz planet, obiegających słońce po torach eliptycznych, zbliżonych bardzo do kół, istnieją jeszcze ciała niebieskie, obiegające słońce po bardzo wydłużonych elipsach albo po hiperbolach. Takie ciała niebieskie nazywają się kometami i nie mają zastosowania w żeglarstwie. Komety o torach eliptycznych ukazują się perjodycznie, komety zaś o torach hiperbolicznych ukazują się jednorazowo.

Słońce, planety i księżyce należą do t. zw. systemu słonecznego. Wszystkie inne ciała niebieskie nazywają się gwiazdami stałemi.

Sławny astronom Kepler ujął ruchy planet w trzy prawa, a mianowicie:

1) Planety poruszają się po torach eliptycznych, których jednem wspólnem ogniskiem jest słońce.

2) Promienie wodzące planet zakreślają w jednakowych jednostkach czasu jednakowe powierzchnie. (Promieniem wodzącym jest prosta, łącząca planetę ze słońcem).

3) Kwadraty czasów obiegu planet dookoła słońca mają się do siebie jak sześciany ich średnich odległości od słońca.

14. Ruch własny słońca. Ruchu własnego słońca nie można bezpośrednio zauważyć, gdyż gwiazdy nie są za dnia widoczne. Obserwując pierwsze gwiazdy, ukazujące się po zachodzie słońca na zachodnim firmamencie, można tylko z pewnym przybliżeniem stwierdzić zmianę położenia słońca względem tych gwiazd.

Chcąc wyznaczyć dokładny tor ruchu własnego słońca między gwiazdami stałemi, postępuje się w następujący sposób: codziennie zapisuje się dokładny moment górnej kulminacji słońca, następnie obserwuje się w nocy taką gwiazdę, względnie taki punkt, który kulminuje dokładnie 12 godzin później, aniżeli słońce i na tej samej wysokości. Punkt ten ma oczywiście deklinację równą deklinacji słońca, a rektascenzję różniącą się o 12 godzin. Tym sposobem można codziennie wyznaczyć na globusie, albo na mapie nieba położenie słońca, a tem samem otrzymuje się tor pozornego ruchu własnego słońca.

Okazuje się, że słońce porusza się pomiędzy gwiazdami stałemi po kole wielkiem, które jest nachylone do równika pod kątem $23^1/_2$ stopni i które nie zmienia swego położenia względem gwiazd stałych. Koło to nazywa się ekliptyką.

Słońce porusza się po ekliptyce w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu dziennego, t. j. od zachodu na wschód. Okres całkowitego obiegu słońca po ekliptyce nazywa się *rokiem zwrotnikowym* i wynosi 365,2422 dni. Punkty przecięcia się ekliptyki z równikiem nazywają się *punktami zrównania dnia z nocą*, przyczem ten punkt, przez który słońce przechodzi z półkuli południowej na północną, nazywa się punktem *wiosennym*, a punkt, przez który słońce przechodzi z półkuli północnej na południową, nazywa się punktem *jesiennym*.

Już w starożytności podzielono gwiazdy, znajdujące się w pobliżu ekliptyki, na 12 gwiazdozbiorów, czyli t. zw. konstelacyj. Nazwy tych konstelacyj są następujące:

Baran	Waga
Byk	Niedźwiadek
Bliźnięta	Strzelec
Rak	Koziorożec
Lew	Wodnik
Panna	Ryby

Co miesiąc słońce schodzi się z inną konstelacją.

15. Wytłumaczenie ruchu własnego słońca. Ruch własny słońca jest ruchem pozornym, spowodowanym obrotem ziemi dookoła słońca. Ziemia obraca się — według praw Keplera — podobnie jak inne planety dookoła słońca.

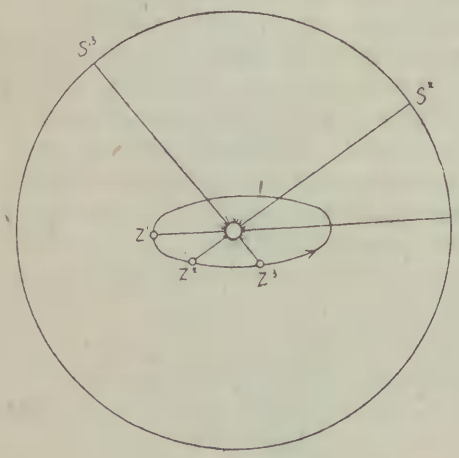
Na rys. 8 przedstawione jest słońce, tor ziemski w postaci przesadnie wydłużonej elipsy i kula niebieska. Jeżeli ziemia znajduje się w pewnym momencie w położeniu z^1, wtedy słońce widziane jest na kuli niebieskiej w punkcie S^1, czyli słońce nakrywa gwiazdę, znajdującą się w punkcie S^1. Po pewnym czasie ziemia znajduje się w położeniu z^2, a słońce widziane jest w punkcie S^2, analogicznie z położenia z^3 słońce widziane jest w punkcie S^3.

Słońce porusza się pozornie po kole wielkiem $S^1\,S^2\,S^3$ w tym samym kierunku i z taką samą szybkością kątową, z jaką ziemia obraca się dookoła słońca. Koło wielkie $S^1\,S^2\,S^3$, czyli ekliptyka, jest przecięciem się kuli niebieskiej z płaszczyzną toru ziemi, który również nazywa się ekliptyką.

16. Pory roku i strefy. Słońce poruszając się po ekliptyce zmienia ustawicznie rektascenzję i deklinację. Na rys. 9 koło *RR* jest

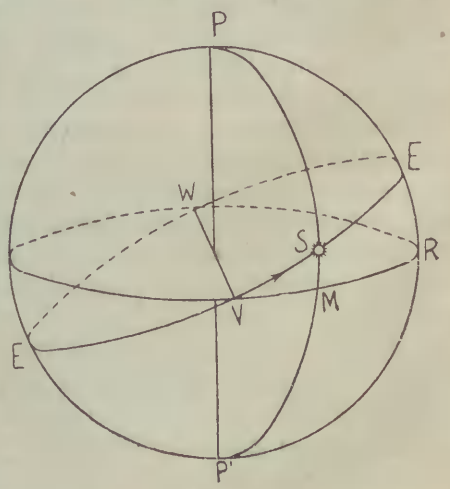
równikiem, a koło *EE* ekliptyką, *V* jest punktem wiosennym, a *W* punktem jesiennym.

Dnia 21-go marca słońce znajduje się w punkcie wiosennem, a rektascenzja i deklinacja jego wynosi wtedy zero. Od punktu wiosennego począwszy rektascenzja i deklinacja słońca wzrastają. Po pewnym czasie słońce znajduje się w punkcie *S*, jego deklinacja wynosi wtedy *SM*, a rektascenzja *VM*. Po upływie ćwierć roku od przejścia przez punkt wiosenny, t. j. dnia 21-go czerwca, słońce znajduje się w punkcie *E* i osiąga największą północną deklinację, t. j. $+23^1/_2$ stopnia, rektascenzja zaś jego wynosi 6 godzin. Od 21-go czerwca począwszy deklinacja znowu maleje, rektascenzja zaś wzrasta dalej, wreszcie w punkcie jesiennym *W* deklinacja wynosi znowu zero, a rektascenzja 12 godzin.



Rys. 8.

W punkcie jesiennym znajduje się słońce dnia 23-go września i przechodzi w tym dniu z półkuli północnej na południową. Od tej chwili począwszy południowa deklinacja wzrasta i osiąga dnia 21-go grudnia największą wartość, t. j. $-23^1/_2$ stopnia, a rektascenzja wynosi wtedy 18 godzin, potem południowa deklinacja maleje aż do 21-go marca, w którym to dniu rektascenzja i deklinacja znowu wynoszą zero.



Rys. 9.

Ruch własny słońca powoduje ustawiczny wzrost rektascenzji oraz wahanie się deklinacji pomiędzy $+23^1/_2°$ i $-23^1/_2°$.

Zmiana deklinacji słońca jest powodem zmiany pór roku. Słońce zatacza ruchem dziennym codziennie inny równoleżnik deklinacyjny, gdyż codziennie ma inną deklinację, względnie, ponieważ zmiana deklinacji jest ciągła, przeto słońce opisuje w ciągu roku linję spiralną od równoleżnika deklinacyjnego $+23^1/_2°$ do $-23^1/_2°$.

Dnia 21 marca deklinacja słońca wynosi zero, przeto w tym dniu łuki dzienne i nocne słońca są na całej kuli ziemskiej równe. Dzień ten jest dla półkuli północnej początkiem wiosny, a dla półkuli południowej początkiem jesieni.

Od dnia 21 marca począwszy słońce zbliża się do bieguna północnego ; wobec tego na półkuli północnej łuki dzienne wzrastają, a nocne maleją ; wysokość słońca w czasie kulminacji staje się coraz większa. Na półkuli południowej jest odwrotnie (zob. rys. 5). Dnia 21 czerwca łuk dzienny jest na półkuli północnej najdłuższy, a na półkuli południowej najkrótszy. Wysokość w czasie kulminacji jest na półkuli północnej największa, a na półkuli południowej najmniejsza. W związku z tem dzień 21 czerwca jest dla półkuli północnej najgorętszy, a dla półkuli południowej najzimniejszy.

Dzień 21 czerwca uważany jest na naszej półkuli za początek lata, a na półkuli południowej za początek zimy. W tym dniu słońce zatacza ruchem dziennym równoleżnik deklinacyjny $+23^1/_2°$. Równoleżnik deklinacyjny $+23^1/_2°$ nazywa się, podobnie jak równoleżnik szerokości geograficznej $+23^1/_2°$ *zwrotnikiem Raka.* (Zwrotnik niebieski jest rzutem zwrotnika ziemskiego ze środka ziemi na kulę niebieską).

Od dnia 21 czerwca począwszy deklinacja słońca znowu maleje ; tem samem u nas dnie stają się krótsze, a na półkuli południowej dłuższe.

Dnia 23 września deklinacja słońca wynosi znowu zero, przeto na całej kuli ziemskiej łuk dzienny równy jest nocnemu. Słońce przechodzi w tym dniu z półkuli północnej na południową, wobec czego dzień ten jest dla północnej półkuli początkiem jesieni, a dla południowej półkuli początkiem wiosny.

Dnia 21 grudnia deklinacja ujemna jest największa. Słońce zatacza w tym dniu równoleżnik deklinacyjny $-23^1/_2°$, czyli t. zw. *zwrotnik Koziorożca.* Na półkuli północnej łuk dzienny jest w tym dniu najkrótszy, a wysokość w czasie kulminacji najmniejsza, na półkuli południowej jest oczywiście odwrotnie. Dzień ten jest dla naszej półkuli początkiem zimy, a dla południowej półkuli początkiem lata.

Pas ziemi, zawarty pomiędzy zwrotnikami Raka i Koziorożca, czyli pomiędzy równoleżnikami szerokości geograficznej $+23^1/_2°$ i $-23^1/_2°$, nazywa się *strefą gorącą*. W strefie gorącej słońce może kulminować w zenicie oraz w azymucie równoimiennym z widocznym biegunem, gdyż tylko w strefie gorącej deklinacja może być równa albo większa od szerokości.

W strefie gorącej niema zjawiska czterech pór roku tak jak u nas, lecz są dwie gorące pory i dwie umiarkowane. Na równiku słońce kulminuje w zenicie dnia 21 marca i dnia 23 września i wtedy na równiku jest najgoręcej. W miarę oddalania się od równika momenty gorących pór zbliżają się do siebie i tak np. na szerokości 20° *N* słońce kulminuje w zenicie kilka dni przed 21 czerwca i kilka dni po 21 czerwca, gdyż wtedy deklinacja słońca wynosi +20°. W międzyczasie słońce kulminuje po stronie widocznego bieguna. Na zwrotnikach obydwie gorące pory zlewają się i od zwrotników począwszy mamy normalne zjawisko czterech pór roku.

Równoleżniki szerokości geograficznej $66^1/_2°$ *N* i $66^1/_2°$ *S* nazywają się *kołami podbiegunowemi* i stanowią granicę pomiędzy strefą umiarkowaną a strefą zimną. W strefie zimnej słońce może być kołobiegunowe albo przeciwkołobiegunowe, gdyż najmniejsza odległość słońca od bieguna wynosi $66^1/_2$ stopnia, t. j. wtedy, gdy deklinacja jest największa i wynosi $23^1/_2°$. Warunkiem, aby ciało niebieskie było koło- albo przeciwkołobiegunowe jest, aby odległość biegunowa była mniejsza od szerokości, jest to zatem dla słońca możliwe tylko na szerokościach większych od $66^1/_2°$.

17. Gwiazdy stałe. Gwiazdy stałe są to ciała niebieskie, świecące własnem światłem, podobnie jak słońce, i znajdujące się w tak wielkiej odległości od ziemi, że obserwowane przez najsilniejsze nawet teleskopy, powiększające kilka tysięcy razy, przedstawiają się zawsze tylko jako świecące punkciki.

Odległość gwiazd stałych mierzy się w latach świetlnych. Najbliższą ziemi jest gwiazda α Centauri, odległość jej bowiem wynosi $3^1/_2$ lat świetlnych, co oznacza, że gdyby ta gwiazda nagle wygasła, zauważonoby to na ziemi dopiero po upływie $3^1/_2$ lat. Światło rozchodzi się w przestrzeni z szybkością 300 000 km na sekundę. Od słońca do ziemi światło przechodzi w przeszło 8 minut, a od księżyca około $1^1/_3$ sekundy.

Ogromne odległości gwiazd są powodem, dla którego gwiazdy prawie nie zmieniają położenia względem siebie. W rzeczywistości

gwiazdy poruszają się w przestrzeni, podobnie jak słońce z całym swym systemem planetarnym, lecz z powodu ogromnej odległości, dzielącej nas od gwiazd, ruchy te ledwie są dostrzegalne i wynoszą najwyżej kilka sekund rocznie. Dla tych samych powodów poruszanie się ziemi w przestrzeni również ledwo dostrzegalnie wpływa na pozorną zmianę położenia gwiazd na kuli niebieskiej.

Dla łatwiejszy orjentacji na niebie podzielono gwiazdy stałe na gwiazdozbiory czyli konstelacje. O dwunastu takich konstelacjach była już mowa przy omawianiu ruchu własnego słońca. Poszczególne gwiazdy każdej konstelacji nazwane są literami greckiego alfabetu, względnie łacińskiemi literami lub liczbami. Zazwyczaj najjaśniejsza gwiazda konstelacji oznaczona jest literą α, druga z rzędu β i t. d. Ważniejsze gwiazdy posiadają oprócz tego swoje nazwy i tak np.: α Orionis nazywa się Beteigeuze, β Orionis = Rigel, α Ursae minoris jest gwiazdą polarną, odległą o 1,1° od bieguna północnego i t. d.

Najważniejsze konstelacje są następujące: Wielka Niedźwiedzica (Ursa major), Mała Niedźwiedzica (Ursa minor), Cassiopeja, Orion, Wielki Pies (Canis major), Krzyż Południowy i t. d.

Według jasności dzielą się gwiazdy na gwiazdy pierwszej, drugiej, trzeciej i t. d. wielkości. Gwiazdy szóstej wielkości są to takie gwiazdy, które można jeszcze gołem okiem widzieć, o ile noc jest pogodna i nieksiężycowa. W żegludze nadają się do oberswacji tylko gwiazdy pierwszej i drugiej wielkości, a bardzo rzadko gwiazdy trzeciej wielkości. Najjaśniejszą gwiazdą na firmamencie niebieskim jest α Canis majoris czyli Syrjusz.

18. Ruchy gwiazd stałych. W poprzednich ustępach ruchem własnym nazwano ruch, polegający na zmianie położenia ciał niebieskich względem gwiazd stałych, przyczem gwiazdy stałe były uważane, jak sama ich nazwa wskazuje, za niezmieniające swego położenia na kuli niebieskiej, czyli za ciała niebieskie, ulegające tylko ruchowi dziennemu.

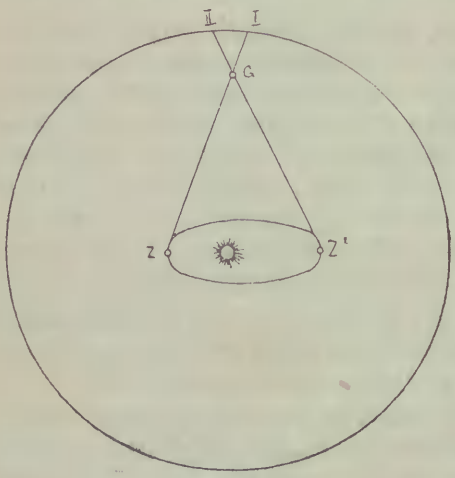
W rzeczywistości gwiazdy stałe również mają swoje ruchy własne, przeważnie ruchy pozorne, jednakże ruchy te są tak powolne w porównaniu do ruchów własnych słońca, planet i księżyca, że z przybliżeniem można było uważać je za stałe. Ruch własny gwiazd stałych polega zatem na bardzo powolnej zmianie współrzędnych w układzie równika, t. j. rektascenzji i deklinacji.

Ruch własny gwiazd stałych jest spowodowany:

1) roczną paralaksą,
2) precesją i nutacją,

3) aberacją,
4) prawdziwym ruchem gwiazd w przestrzeni.

Ad 1. — Kąt Z^1GZ^2 (Rys. 10), o jaki kierunek gwiazdy zmienia się w przeciągu pół roku z powodu przesunięcia się ziemi w przestrzeni z punktu Z^1 do Z^2, nazywa się roczną paralaksą.



Rys. 10.

Roczna paralaksa jest miarą odległości gwiazd i jest tem mniejsza, im większa jest odległość gwiazdy od ziemi. Dla najbliższej gwiazdy α Centauri roczna paralaksa wynosi $^3/_4''$.

Z powodu obiegu ziemi po ekliptyce gwiazdy zataczają pozornie małe elipsy na kuli niebieskiej. Im bliżej ekliptyki leży gwiazda, tem bardziej jest ta elipsa spłaszczona. Gwiazda, znajdująca się na biegunie ekliptyki, zatacza małe koło, a gwiazda, znajdująca się na ekliptyce, zakreśla mały łuk.

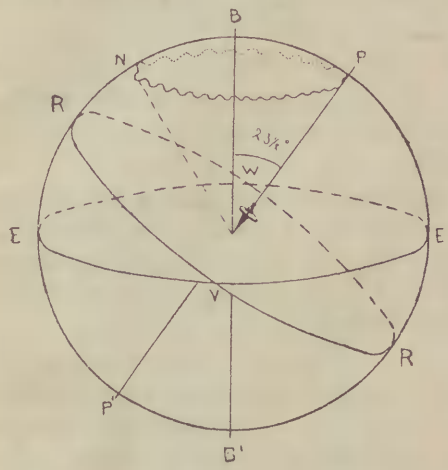
Roczna paralaksa jest tak mała, że w astronomji żeglarskiej nie odgrywa roli.

Ad. 2. — Ziemia jest bryłą kształtu elipsoidy obrotowej, obracającą się stale dookoła swej najmniejszej osi. Oś ziemska wykazuje zatem wszelkie własności osi bąka. Siła przyciągająca słońca działa na ziemię w ten sposób, że stara się ustawić oś ziemską prostopadle do płaszczyzny ekliptyki, tymczasem oś ziemska odchyla się według praw bąka w kierunku prostopadłym do działania tej siły, opisując w rezultacie pobocznicę stożka.

Ziemia zachowuje się podobnie jak bąk wirujący na ziemi z osią nachyloną pod pewnym kątem do pionu. Siła grawitacyjna stara się przechylić oś takiego bąka w płaszczyźnie pionowej, tymczasem oś bąka odchyla się stale w kierunku prostopadłym do tej siły, opisując w rezultacie bocznicę stożka, którego osią jest pion. Ruch taki nazywa się *ruchem precesyjnym.*

Ziemia jest podobnym bąkiem, przyczem płaszczyzna ekliptyki odpowiada w powyższym przykładzie poziomowi, a oś ekliptyki linji pionu.

Na rys. 11 przedstawiona jest ziemia w postaci bąka, wirującego na płaszczyźnie ekliptyki *EE*. Oś ziemska, względnie oś świata PP^1, nachylona jest do osi ekliptyki BB^1 pod kątem $23^1/_2{}^\circ$ i opisuje bocznicę stożką, przyczem biegun zatacza na kuli niebieskiej równoleżnik *PN* w układzie ekliptyki. W tym samym czasie punkty przecięcia się równika z ekliptyką wykonują całkowity obrót po ekliptyce. Okres jednego całkowitego obiegu punktu wiosennego po ekliptyce, względnie bieguna po równoleżniku *PN*, nazywa się *rokiem platonicznym* i wynosi około 26 000 lat.



Rys. 11.

W okresie jednego roku platonicznego istniałyby cztery pory roku niezależnie od obiegu ziemi dookoła słońca.

Obecnie biegun północny wskazuje na punkt, oddalony o przeszło jeden stopień od gwiazdy α Ursae minoris, która z tego powodu nazwana jest gwiazdą polarną. Chwilowo biegun zbliża się jeszcze trochę do gwiazdy polarnej, lecz za jakie 12 000 lat rolę gwiazdy polarnej będzie odgrywała α Lirae (Wega), a za 26 000 lat α Ursae minoris będzie znowu gwiazdą polarną.

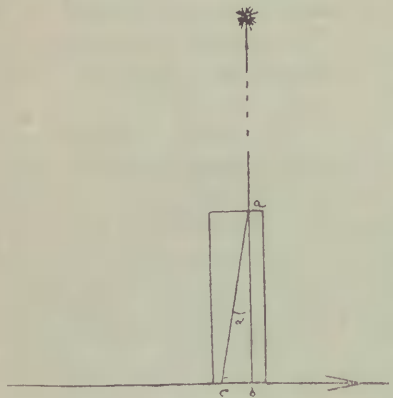
Punkt wiosenny porusza się mniejwięcej z szybkością 50″ rocznie. Przed 2200 laty punkt wiosenny przypadał na konstelację Barana, dziś punkt wiosenny przypada już na konstelację Ryb. Mimo to punkt wiosenny oznacza się nadal znakiem konwencjonalnym Barana. Podobnie zwrotnik Raka powinien dziś nazywać się zwrotnikiem Bliźniąt, a zwrotnik Koziorożca zwrotnikiem Strzelca.

Pod wpływem działania siły przyciągającej księżyca ruch precesyjny ziemi nie jest regularny, lecz biegun opisuje na niebie linję falistą, tak jak naznaczono na rysunku. Powyższe zjawisko nazywa się *nutacją*. Z powodu nutacji nachylenie osi ziemskiej do ekliptyki ulega małym perjodycznym zmianom, a szybkość posuwania się punktu wiosennego jest w tych okresach niejednostajna. Okres jednego takiego wahnięcia wynosi 18,6 lat.

Zmiana kierunku osi świata w przestrzeni, a tem samem zmiana położenia płaszczyzny równika powoduje zmiany współrzędnych gwiazd stałych w układzie równika. W przeciągu jednego roku platonicznego rektascenzje wszystkich gwiazd zmieniają się o 24 godzin.

Ad 3. — Aberacją nazywa się pozorne odchylenie kierunku na gwiazdę, spowodowane tą okolicznością, że szybkość, z jaką ziemia porusza się w przestrzeni, nie jest znikomo mała w porównaniu do szybkości rozchodzenia się światła.

Na rys. 12 przedstawiona jest luneta, której oś jest równoległa do rzeczywistego kierunku na gwiazdę X. Luneta i obserwator poruszają się w przestrzeni razem z ziemią, np. w kierunku prostopadłym do kierunku na gwiazdę z szybkością v. Przeciętna szybkość obiegu ziemi po ekliptyce wynosi $v = 30$ km/sek.



Rys. 12.

Promień świetlny wpada do lunety w punkcie a, a po krótkim czasie Δt wyszedłby z lunety z punktu b, gdyby luneta była w spoczynku; tymczasem w czasie Δt luneta również przesunęła się np. w prawo o małą wartość cb. Należy zauważyć, że na rysunku luneta jest narysowana w momencie wpadania promienia świetlnego do lunety w punkcie a. Po czasie Δt luneta jest przesunięta w prawo o wartość cb. Kierunek posuwania się światła względem poruszającej się lunety jest ac i tworzy z osią lunety kąt α.

Kierunek ba jest faktycznym kierunkiem na gwiazdę, natomiast ca jest kierunkiem posuwania się promienia świetlnego względem poruszającej się ziemi, a zatem i pozornym kierunkiem widzenia gwiazdy.

Kąt α nazywa się aberacją i oblicza się z trójkąta abc, przyczem bok ab jest drogą, przebytą przez światło w czasie Δt, a bc drogą, przebytą w tym samym czasie przez ziemię, zatem

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{30 \ \Delta t}{300\,000 \ \Delta t} = \frac{1}{10\,000},$$

stąd

$$\alpha = 20''.$$

Aberacja polega zatem na pozornem przesunięciu się gwiazdy o 20″ w kierunku ruchu ziemi. W powyższym przykładzie aberacja została obliczona dla wypadku, kiedy kierunek ruchu ziemi jest prostopadły do kierunku na gwiazdę. W każdym innym wypadku aberacja jest mniejsza. W specjalnym wypadku, jeżeli ziemia porusza się w kierunku zgodnym lub przeciwnym do kierunku na gwiazdę, aberacja wynosi zero.

Oczywistą jest rzeczą, że aberacja nie ma nic wspólnego z lunetą, o której była poprzednio mowa tylko dla wytłumaczenia samego zjawiska.

Z powodu aberacji wszystkie gwiazdy stałe zataczają w okresie jednego roku pozornie małe elipsy na niebie. Oś wielka tych elips wynosi około 40″. Im bliżej ekliptyki znajduje się gwiazda, tem bardziej ta elipsa jest spłaszczona. Gwiazda, znajdująca się na biegunie ekliptyki, zatacza koło, a gwiazda, znajdująca się na ekliptyce, zakreśla łuk = 40″.

Ad 4. — Rzeczywisty ruch gwiazd w przestrzeni ma ledwie dostrzegalny wpływ na zmianę ich kierunku, a to z powodu ogromnych odległości, w jakich się od nas znajdują. Najszybszy zaobserwowany rzeczywisty ruch gwiazd nie przekracza kilku sekund rocznie.

19. Planety. Planety są to ciała niebieskie w mniejszym lub większym stopniu wygasłe, świecące zatem światłem odbitem, podobnie jak księżyc. Płaszczyzny torów obiegów poszczególnych planet dookoła słońca nachylone są do płaszczyzny ekliptyki pod bardzo małemi kątami. Z pewnym przybliżeniem można w niektórych wypadkach przyjmować, że wszystkie planety obracają się dokoła słońca w płaszczyźnie ekliptyki.

Wszystkie planety obracają się dokoła słońca w tym samym kierunku, co ziemia, t. j. od zachodu na wschód.

Razem z ziemią jest ośm planet. Nazwy tych planet są następujące: Merkury, Venus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uranus i Neptun. Najbliższą słońca jest planeta Merkury, a najdalszą Neptun.

Do obserwacji na morzu nadają się tylko cztery planety odpowiadające jasnością gwiazdom pierwszej i drugiej wielkości, a mianowicie: Venus, Mars, Jowisz i Saturn.

W drugostronnej tabeli zestawione są ważniejsze dane, dotyczące tych planet:

Nazwa	Czas obiegu dookoła słońca w latach	Średnia odległość słońca, wyrażona odległością ziemi od słońca	Nachylenie toru do ekliptyki	Masa w porównaniu do masy ziemi	Ilość księżyców
Venus	0,62	0,72	3°24′	0,82	—
Ziemia	1,—	1,—	0°	1,—	1
Mars	1,88	1,52	1°51′	0,11	2
Jowisz	11,86	5,2	1°18′	318,—	9
Saturn	29,46	9,54	2°30′	95,—	10

Merkury, leżący najbliżej słońca, może być czasami przed wschodem lub po zachodzie widziany jako gwiazda 6-tej wielkości.

Pomiędzy torami Marsa i Jowisza odkryto cały szereg pomniejszych ciał niebieskich, które nazwano *asteroidami* lub *planetoidami*. Największy z nich Ceres ma średnicę, wynoszącą około 700 km.

Jowisz odznacza się tem, że ma największą masę, większą od masy wszystkich innych planet razem.

Saturn otoczony jest całym systemem pierścieni, których istota nie została dotychczas zbadana.

Najdalszą planetą od słońca jest Neptun, odkryty w r. 1846. Czas obiegu tej planety dookoła słońca wynosi 164,76 lat, czyli od czasu odkrycia Neptun zdołał wykonać pół obrotu dookoła słońca. Neptun podobnie jak Uranus nie jest widoczny gołem okiem.

Planety dzielą się na *górne* i *dolne*. Górnemi nazywają się te planety, których odległość od słońca jest większa, aniżeli odległość ziemi od słońca. Tory obiegu górnych planet obejmują ekliptykę ziemską, a tory dolnych planet znajdują się wewnątrz ekliptyki ziemskiej, czyli odległość dolnych planet od słońca jest mniejsza od odległości ziemi od słońca. Merkury i Venus są dolnemi planetami, a wszystkie inne planety są górnemi planetami.

Różnica długości (w układzie ekliptyki) pomiędzy słońcem a planetą nazywa się *elongacją* tej planety. Gdyby płaszczyzny torów planet zlewały się zupełnie z płaszczyzną ekliptyki, wówczas elongacja równałaby się odległości kątowej pomiędzy słońcem i planetą.

Jeżeli elongacja wynosi zero, wówczas powiada się, że planeta jest w *konjunkturze*, a jeżeli elongacja wynosi 180°, wówczas planeta znajduje się w *opozycji*. Elongacja, wynosząca 90° albo 270°, nazywa się *kwadraturą*.

Dolna planeta może być dwa razy w konjunkturze, raz pomiędzy słońcem a ziemią, drugi raz po przeciwnej stronie słońca. W pierwszym

wypadku konjunktura nazywa się dolną, w drugim nazywa się górną. Górna planeta może być oczywiście tylko w górnej konjunkturze.

Dolna planeta nie może być nigdy ani w opozycji ani w kwadraturze. Poprowadziwszy z ziemi styczną do toru dolnej planety, otrzymuje się kierunek tej planety w czasie największej elongacji. Największa elongacja Merkurego wynosi około 23°, to znaczy, że odległość kątowa Merkurego od słońca nie może przekroczyć wartości 23°; dlatego też Merkury może być widoczny gołem okiem tylko w najkorzystniejszych warunkach, o ile ma wielką elongację.

Największa elongacja Venus wynosi około $46^1/_2°$, dlatego Venus jest widziana zawsze w pobliżu słońca, albo krótko po zachodzie, albo krótko przed wschodem i nazwana jest w zależności od tego gwiazdą wieczorną, albo gwiazdą poranną. W czasie dolnej konjunktury Venus i Merkury widoczne są czasami na tarczy słonecznej w postaci małych czarnych punkcików.

Ruch własny planet jest dosyć skomplikowany. Planety opisują pomiędzy gwiazdami stałemi linje nieregularne z bardzo zmienną szybkością. Powodem tych nieregularnych ruchów planet jest to, że ruch własny planet jest spowodowany zarówno ich rzeczywistym ruchem w przestrzeni, jak również ruchem ziemi w przestrzeni. Ruch własny planet jest częściowo prawdziwy, częściowo pozorny.

20. Księżyc. Księżyc znajduje się w porównaniu z innemi ciałami niebieskiemi bardzo blisko ziemi. Średnia odległość księżyca od ziemi wynosi około 60 promieni ziemskich, czyli między ziemią a księżycem zmieściłoby się 30 kul ziemskich.

Księżyc jest ciałem zupełnie wygasłem, obracającem się dookoła ziemi podobnie jak planety dookoła słońca. Tor obiegu księżyca nachylony jest do ekliptyki pod kątem 5°. Okres całkowitego obiegu wynosi 27,3 dni i nazywa się *miesiącem syderycznym.*

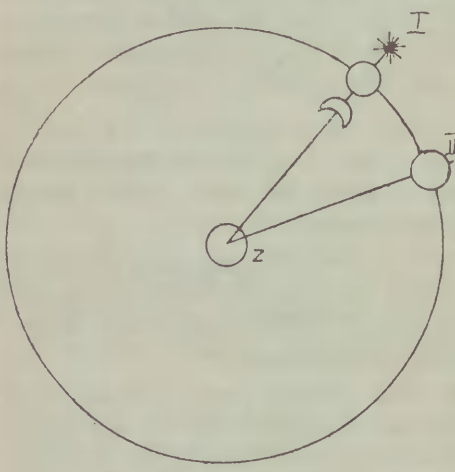
Z powodu obiegu dookoła ziemi księżyc zmienia ustawicznie swoje położenie względem gwiazd stałych, opisując na kuli niebieskiej koło wielkie w kierunku przeciwnym do ruchu dziennego, t. j. od zachodu na wschód. Ruch własny księżyca jest zatem ruchem prawdziwym.

Tor księżyca nachylony jest do ekliptyki pod kątem 5°. Punkty przecięcia się toru księżycowego z ekliptyką nazywają się węzłami. Węzły wędrują powoli po ekliptyce, podobnie jak punkt wiosenny. Okres całkowitego obiegu węzłów po ekliptyce wynosi 18,6 lat. (Porównaj z nutacją str. 29).

Z powodu nachylenia toru księżycowego do ekliptyki pod kątem 5° deklinacja księżyca waha się w okresie jednego miesiąca syderycznego pomiędzy $+28^1/_2°$ i $-28^1/_2°$ albo $+18^1/_2$ i $-18^1/_2$, w zależności od chwilowego położenia węzłów względem punktu wiosennego i jesiennego.

Okres czasu, jaki upływa od konjunktury księżyca do następnej konjunktury, względnie okres czasu, po którym księżyc zajmuje takie same położenie względem słońca, nazywa się *miesiącem synodycznym* i wynosi 29,5 dni. Miesiąc synodyczny jest przeszło dwa dni dłuższy od miesiąca syderycznego czyli od okresu czasu, po którym księżyc zajmuje takie same położenie względem gwiazd stałych.

Na rys. 13 księżyc znajduje się w konjunkturze i jest widziany w jednym kierunku *ZI* ze słońcem i z jakąś gwiazdą. Płaszczyzna rysunku przedstawia płaszczyznę toru księżycowego, przyczem kierunek ruchu własnego księżyca przyjęty jest zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówki zegara. Po upływie jednego miesiąca syderycznego księżyc wykona całkowity obrót dookoła ziemi i nakryje się ponownie z tą samą gwiazdą stałą, ale już nie ze słońcem. Słońce ma bowiem również ruch własny w tym samym kierunku co księżyc, lecz ruch słońca jest wolniejszy. Słońce zmienia swoje położenie pomiędzy gwiazdami stałemi o niespełna 1° dziennie (360° : 365 dni), a księżyc zmienia swoje położenie pomiędzy gwiazdami stałemi o przeszło 13° dziennie (360° : 27,3 dni).



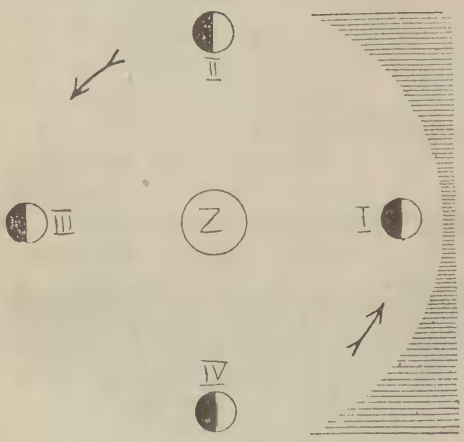
Rys. 13.

W tym czasie, w którym księżyc wykonał całkowity obrót dokoła ziemi, t. j. w 27,3 dniach, słońce przesunęło się mniejwięcej o 27° w tym samym kierunku i znajduje się obecnie w położeniu II. Zanim księżyc dogoni słońce, upłynie jeszcze przeszło 2 dni, a zatem od jednej konjunktury księżyca do następnej upływa 29,5 dni.

Fazy księżyca zależą od jego położenia względem słońca. Na rys. 14 uwidocznione są cztery fazy księżyca w zależności od położenia

jego względem słońca, które znajduje się z prawej strony w tak wielkiej odległości, że promienie słoneczne można uważać za równoległe do siebie.

W czasie konjunktury (położenie I) księżyc jest w nowiu i jest niewidoczny, gdyż po pierwsze część, oświetlona przez słońce, jest całkowicie od ziemi odwrócona, a powtóre księżyc znajduje się w bezpośredniej bliskości słońca. Po upływie jednej czwartej miesiąca synodycznego, t. j. po upływie mniejwięcej jednego tygodnia, elongacja księżyca wynosi 90°, czyli księżyc znajduje się w pierwszej kwadrze (położenie II). Z ziemi widziana jest tylko połowa oświetlonej przez słońce części księżyca, a mianowicie na półkuli północnej w kształcie litery D, a na półkuli południowej w kształcie litery C. Po upływie dalszego tygodnia elongacja księżyca wynosi 180°, czyli księżyc jest w pełni. Z ziemi widoczna jest cała strona, oświetlona światłem słonecznem (położenie III). Wreszcie, jeżeli zachodnia elongacja wynosi 90° (położenie IV), księżyc znajduje się w drugiej kwadrze, a z ziemi znowu jest widoczna tylko połowa oświetlonej części, lecz tym razem na północnej półkuli w kształcie litery C, a na południowej półkuli w kształcie litery D. W pobliżu równika księżyc wygląda jak czółno, zwrócone dnem na dół albo dnem do góry.



Rys. 14.

Okres czasu, jaki upłynął od ostatniej pełni albo nowiu do danej chwili, nazywa się *wiekiem księżyca.*

Zaćmienie słońca powstaje wtedy, gdy ziemia, księżyc i słońce znajdują się na jednej prostej, czyli wtedy, gdy księżyc znajduje się na węźle w chwili nowiu; zaćmienie zaś księżyca powstaje wtedy, gdy księżyc znajduje się na węźle w chwili pełni. Zaćmienia słońca i księżyca nie powtarzają się perjodycznie, gdyż okres obiegu księżyca po swym torze i okres obiegu węzłów po ekliptyce nie są współmierne.

Normalnie w czasie nowiu księżyc, z powodu nachylenia jego toru do ekliptyki, znajduje się nieco powyżej albo poniżej słońca, przyczem odległość jego od słońca nie przekracza wtedy 5 stopni.

Księżyc obraca się dookoła swej osi w tym samym kierunku i z taką samą szybkością kątową, z jaką obraca się dookoła ziemi i dlatego zwrócony jest stale tą samą stroną do ziemi.

ROZDZIAŁ II.

Nauka o czasie.

1. Pojęcie czasu. Podstawą mierzenia czasu jest jednostajny obrót ziemi dookoła swej osi. Obrót ziemi dookoła swej osi jako taki nie jest widoczny, natomiast widoczny jest ruch dzienny ciał niebieskich, t. j. ruch ciał niebieskich po równoleżnikach deklinacyjnych, który jest odbiciem obrotu ziemi dookoła swej osi.

Każde ciało niebieskie można uważać za koniec wskazówki zegara, którego tarczą jest równoleżnik deklinacyjny tego ciała niebieskiego. Ciało niebieskie, nieposiadające innego ruchu prócz ruchu dziennego, porusza się po równoleżniku deklinacyjnym z jednostajną szybkością, zmieniając ustawicznie kąt godzinny o równe wartości w równych jednostkach czasu. Kąt godzinny ciała niebieskiego jest zatem miarą czasu.

Czas może być słoneczny, gwiazdowy, księżycowy i t. d. w zależności od tego, czy mierzy się kątem godzinnym słońca, gwiazdy, księżyca lub innego ciała niebieskiego.

Czas zaczyna się liczyć od przejścia ciała niebieskiego przez dolny południk i liczy się w kierunku ruchu dziennego do 24 godzin. Jeżeli równoleżnik deklinacyjny przedstawia obwód tarczy zegara, wówczas należy podzielić go na 24 godzin, pisząc 0^h względnie 24^h w punkcie przecięcia się równoleżnika deklinacyjnego z dolnym południkiem, a 12^h w punkcie przecięcia się z górnym południkiem.

W czasie dolnej kulminacji czas danego ciała niebieskiego wynosi 0^h względnie 24^h, a w czasie górnej kulminacji 12^h.

Należy odróżniać pojęcie okresu czasu od pojęcia momentu i tak np. dolna kulminacja jest momentem, od którego zaczyna się liczyć czas. Druga godzina jest również momentem, podobnie jak trzecia, czwarta i t. d. Moment wyznacza się okresem czasu, jaki upłynął od momentu dolnej kulminacji do danego momentu. Ten okres czasu mierzy się łukiem na równoleżniku deklinacyjnym pomiędzy dolnym południkiem a ciałem niebieskiem w danym momencie.

Mówiąc np. „trzecia godzina", ma się na myśli moment, odpowiadający pewnemu ściśle określonemu położeniu ciała niebieskiego na równoleżniku deklinacyjnym. Mówiąc „trzy godziny", ma się na myśli pewien przeciąg czasu, trwający tak długo, ile dane ciało niebieskie potrzebuje dla przybycia po swoim równoleżniku deklinacyjnym: $3^h = 45°$.

Od momentu dolnej kulminacji do momentu „trzeciej godziny" upłynął okres czasu, wynoszący „trzy godziny".

Miarą czasu jest kąt godzinny. Kąt godzinny liczy się od górnej kulminacji do 12^h na *Ost* i do 12^h na *West*, a czas liczy się od dolnej kulminacji przez *Ost*, t. j. w kierunku ruchu dziennego do 24^h. Jeżeli kąt godzinny oznaczymy przez g, a czas przez T, wówczas:

$$T = 12^h - g \text{ Ost} \quad \text{albo} \quad T = 12^h + g \text{ West},$$
$$g \text{ Ost} = 12^h - T \quad \text{albo} \quad g \text{ West} = \text{T} - 12^h.$$

W życiu codziennem liczy się czas według słońca. W momencie dolnej kulminacji kąt godzinny wynosi 12 godzin, a czas jest 0^h względnie 24^h czyli jest północ. Po upływie jednej godziny kąt godzinny wynosi 11^h *Ost*, a czas jest 1^h, po upływie dalszej godziny kąt godzinny wynosi 10^h *Ost*, a czas jest 2^h i t. d. W czasie górnej kulminacji jest południe, kąt godzinny wynosi 0^h, a czas 12^h, po upływie jednej godziny kąt godzinny wynosi 1^h *West*, a czas 13^h i t. d.

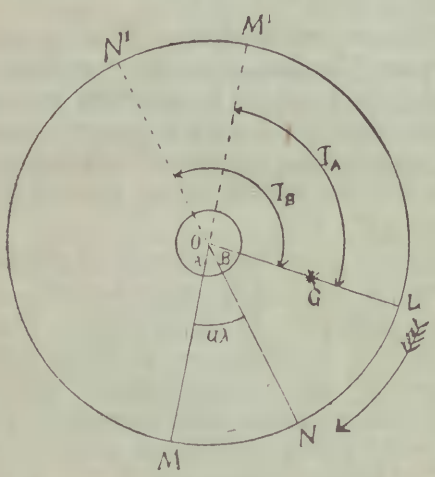
W życiu „cywilnem" liczy się czas przeważnie tylko do 12 godzin, aczkolwiek system liczenia czasu do 24 godzin coraz bardziej się rozpowszechnia. Tarcze zegarów podzielone są na 12 godzin. Wyrażając czas cywilnie, należy dopisać *a. m.* albo *p. m.*, to znaczy ante meridiem przed południem) i post meridiem (po południu). Przed południem czas cywilny zgodny jest z czasem astronomicznym, po południu czas astronomiczy jest o 12 godzin większy od czasu cywilnego: Np. $8^h\ 24^m$ *a. m.* $= 8^h\ 24^m$ astronomicznie, a $8^h\ 24^m$ *p. m.* $= 20^h\ 24^m$ astronomicznie.

Okres czasu, jaki upływa od dolnej kulminacji ciała niebieskiego do następnej dolnej kulminacji tego ciała niebieskiego, nazywa się dobą. Doba jest okresem czasu, odpowiadającym całkowitemu obiegowi ciała niebieskiego po równoleżniku deklinacyjnym. Doba takiego ciała niebieskiego, które oprócz ruchu dziennego innego ruchu nie posiada (gwiazdy stałe), odpowiada ściśle okresowi całkowitego obrotu ziemi dookoła swej osi. Doba dzieli się na 24 godzin, godzina na 60 minut, a minuta na 60 sekund. Godzina jest okresem czasu, w którym ciało niebieskie zatacza na równoleżniku deklinacyjnym łuk, wynoszący $1^h = 15°$.

Doba może być słoneczna, gwiazdowa, księżycowa lub planetarna, w zależności od tego, które ciało niebieskie jest podstawą mierzenia czasu.

2. Zależność czasu od długości geograficznej. Czas danego ciała niebieskiego w danym momencie jest różny dla rozmaitych miejscowości, gdyż czas liczy się od południka świata, który jest rzutem południka geograficznego i jest dla każdej długości geograficznej inny.

Na rysunku 15. przedstawiona jest kula niebieska oraz kula ziemska, widziane od strony bieguna północnego. OM jest górnym, a OM' jest dolnym południkiem świata dla miejscowości A, natomiast ON jest górnym, a ON' jest dolnym południkiem świata dla miejscowości B. OL jest kołem godzinnem, przechodzącem przez dowolną gwiazdę G.



Rys. 15

Kąt $N'OL$ względnie łuk $N'L$ jest czasem tej gwiazdy dla miejscowości B, a kąt $M'OL$ względnie łuk $M'L$ jest czasem tej gwiazdy dla miejscowości A. Oznaczywszy czas dla miejscowości B przez T_B, a czas dla miejscowości A przez T_A, otrzymuje się:

$$T_B - T_A = M'N' = MN = u\lambda.$$

Słowami: różnica czasów danego ciała niebieskiego w danym momencie dla dwóch rozmaitych miejscowości równa się różnicy długości pomiędzy temi miejscowościami.

Z rysunku widać, że miejscowość B, leżąca bardziej na wschód, ma czas późniejszy (większy) od miejscowości A, leżącej więcej na zachód.

Gdyby miejscowość A była Gryniczem, a miejscowość B dowolną miejscowością o długości λ, wówczas

$$T\lambda - T_0 = \lambda,$$

gdzie $T\lambda$ oznacza czas dla miejscowości o długości λ, czyli t. zw. *czas miejscowy*, a T_0 czas dla południka gryniczowskiego, czyli t. zw. *czas gryniczowski*.

Znając czas miejscowy oraz długość geograficzną, oblicza się czas gryniczowski z wzoru:

$$T_0 = T\lambda - \lambda.$$

Odwrotnie: znając czas gryniczowski oraz długość geograficzną pewnej miejscowości, oblicza się czas miejscowy z wzoru:

$$T\lambda = T_0 + \lambda.$$

Powyższe wzory odnoszą się nietylko do długości wschodnich, ale również i do zachodnich, o ile uwzględnia się znaki algebraiczne długości λ. Przed zamianą czasu miejscowego na gryniczowski, lub odwrotnie, należy długość geograficzną wyrazić miarą czasową.

3. Czas gwiazdowy i czas słoneczny. Czas gwiazdowy możnaby zasadniczo liczyć według dowolnej gwiazdy stałej, jednak ze względów praktycznych wybrano dla mierzenia czasu gwiazdowego nie jakąś gwiazdę stałą, lecz punkt wiosenny, który podobnie jak gwiazdy stałe nie zmienia swego położenia na kuli niebieskiej. Czasem gwiazdowym nazywa się zatem czas punktu wiosennego.

Zapisując codziennie dokładny moment kulminacji jakiejkolwiek gwiazdy stałej według dokładnego chronometru, można się przekonać, że wszystkie doby gwiazdowe są sobie zawsze równe, a więc zarówno doby w odniesieniu do rozmaitych gwiazd, jak i poszczególne po sobie następujące doby jednej i tej samej gwiazdy.

Przy przeprowadzaniu podobnej obserwacji ze słońcem okazuje się, że doba słoneczna trwa niespełna 4 minuty dłużej od doby gwiazdowej, ponadto poszczególne po sobie następujące doby słoneczne nie są sobie równe.

Słońce posiada oprócz ruchu dziennego jeszcze ruch własny w kierunku przeciwnym do ruchu dziennego, przyczem słońce porusza się pomiędzy gwiazdami o $360 : 365^1/_4 =$ niespełna $1°$ albo 4^m. Wypadkowa szybkość słońca jest mniejsza od szybkości gwiazd stałych a wskutek tego doba słoneczna trwa dłużej od doby gwiazdowej.

Jeżeli słońce kulminuje pewnego dnia razem z gwiazdą, to po upływie całkowitego obrotu ziemi dookoła swej osi gwiazda znowu będzie kulminowała, a słońce jeszcze nie, gdyż słońce przesunęło się w tym czasie o $1^\circ = 4^m$ wstecz, kulminacja słońca nastąpi zatem dopiero po upływie 4 minut.

Wartość, o którą doba słoneczna jest dłuższa od doby gwiazdowej, równa jest wartości, o jaką rektascenzja słońca zmieniła się w przeciągu jednej doby. (Zmiana deklinacji nie wpływa na zmianę czasu). Jeżeli poszczególne doby słoneczne nie są sobie równe, to dzienne zmiany rektascenzji słońca również nie są równe, czyli słońce zmienia swoją rektascenzję z szybkością niejednostajną.

Rektascenzja słońca zmienia się z szybkością niejednostajną dla dwóch powodów.

1) Z pierwszych dwóch praw Keplera wynika, że pozorny ruch słońca po ekliptyce nie odbywa się ruchem jednostajnym, gdyż szybkość kątowa pozornego ruchu słońca po ekliptyce równa jest szybkości kątowej obiegu ziemi dookoła słońca, a szybkość kątowa ziemi dookoła słońca jest niejednostajna, bo ziemia obraca się po torze eliptycznym, a nie po torze kolistym. Z drugiego prawa Keplera wynika, że szybkość kątowa ziemi jest tem większa, im bliżej słońca znajduje się ziemia.

2) W większej mierze wpływa na niejednostajność zmiany rektascenzji ta okoliczność, że słońce porusza się po ekliptyce, a rektascenzję liczy się na równiku. Gdyby nawet ruch słońca po ekliptyce był jednostajny, rektascenzja słońca, liczona na równiku, zmieniałaby się niejednostajnie.

W pobliżu punktu wiosennego i jesiennego zmiana rektascenzji słońca jest mniejsza od zmiany długości, liczonej na ekliptyce, a w pobliżu zwrotników jest odwrotnie. Przeciętna wartość dziennej zmiany rektascenzji wynosi niespełna $4^m = 24^\circ : 365^1/_4$.

Słońce nie nadaje się do mierzenia czasu, gdyż czas słoneczny względnie kąt godzinny słońca zmienia się z szybkością niejednostajną. W astronomji używa się często czasu gwiazdowego, lecz dla życia codziennego czas gwiazdowy nie nadaje się, gdyż życie codzienne zanadto jest związane z ruchem dziennym słońca. Jedna i ta sama godzina gwiazdowa przypada w ciągu jednego roku kolejno na wszystkie pory dnia. Jedynie 21 marca czas gwiazdowy odpowiadałby warunkom życiowym.

4. Słońce średnie i czas średni. Chcąc mieć czas, odpowiadający życiowym warunkom, a przytem liczony według ciała niebieskiego, zmieniającego kąt godzinny z szybkością jednostajną, zaprowadzono fikcyjne słońce, czyli t. zw. słońce średnie.

Celem słońca średniego jest wskazywanie czasu, możliwie zbliżonego do czasu prawdziwego słońca, z tem, aby kąt godzinny względnie rektascenzja słońca średniego zmieniała się jednostajnie.

W tym celu możnaby z punktu wiosennego puścić w ruch słońce średnie jednocześnie ze słońcem prawdziwem, nadając mu jednostajną szybkość po równiku. Szybkość słońca średniego po równiku musi być taka, aby po upływie jednego roku zwrotnikowego słońce średnie zeszło się znowu ze słońcem prawdziwem w punkcie wiosennym.

Czas, liczony według słońca średniego, mało różni się od czasu prawdziwego, a zmienia się przytem jednostajnie. Czas, liczony według słońca średniego, nazywa się *czasem średnim*, a czas, liczony według słońca prawdziwego, nazywa się *czasem prawdziwym*. Różnica pomiędzy czasem średnim a czasem prawdziwym w danym momencie nazywa się *równaniem czasu*. Równanie czasu otrzymuje się z właściwym znakiem, odejmując czas prawdziwy od czasu średniego, albo rektascenzję słońca średniego od rektascenzji słońca prawdziwego.

Oznaczając czas średni literą M, czas prawdziwy literą P, a równanie czasu literą e, otrzymuje się:

$$e = M - P,$$

albo

$$e = \alpha_{pr} - \alpha_{śr.}.$$

Znając równanie czasu oraz czas średni, oblicza się czas prawdziwy z wzoru:

$$P = M - e,$$

a znając czas prawdziwy i równanie czasu, oblicza się czas średni z wzoru:

$$M = P + e.$$

Gdyby słońce średnie puszczono w ruch równocześnie ze słońcem prawdziwem z punktu wiosennego, wówczas równanie czasu wynosiłoby dnia 21 marca zero, największa ujemna wartość równania czasu dochodziłaby do -24^m, a największa dodatnia wartość do $+7^m$. W rzeczywistości słońce średnie puszcza się ze wspólnego koła godzinnego ze słońcem prawdziwem dnia 24 grudnia, a tem samem uzyskuje się, że maksymalne wartości dodatnie i ujemne równania czasu są w przybliżeniu równe i wynoszą około 16 minut. Czas średni różni się w najgorszym wypadku o 16 minut od czasu słońca prawdziwego, co nie odgrywa roli w życiu codziennem.

Równanie czasu wynosi cztery razy do roku zero, zmieniając za każdym razem znak. Jednym takim dniem jest 24 grudnia, przyczem słońce prawdziwe znajduje się na ekliptyce, a słońce średnie na równiku, lecz na wspólnem kole godzinnem.

5. Rok zwrotnikowy i kalendarz. Rok zwrotnikowy, czyli okres czasu, upływający od jednego przejścia słońca przez punkt wiosenny do następnego, wynosi 365,2422 dni słonecznych lub 366,2422 dni gwiazdowych. Rok zwrotnikowy ma w sam raz jeden dzień gwiazdowy więcej, aniżeli dni słonecznych, gdyż w okresie jednego roku zwrotnikowego słońce wykonuje całkowity obrót po ekliptyce w kierunku przeciwnym do ruchu dziennego.

Gdyby rok cywilny wynosił stale 365 dni, wówczas przejście słońca przez punkt wiosenny przypadałoby co roku o niespełna ćwierć doby, czyli o niespełna 6 godzin później, a po upływie 4 lat przejście słońca przez punkt wiosenny przypadałoby na 22 marca.

Pierwszą reformę w systemie liczenia dni kalendarzowych zaprowadził Juljusz Cezar w 47 r. przed Chr. Przejście słońca przez punkt wiosenny przypadało wtedy na dzień 24 marca. Chcąc, aby wiosenne zrównanie dnia z nocą stale przypadało w przyszłości na 24 marca, Juljusz Cezar zaprowadził lata przestępne, włączając co czwarty rok jeden dzień dodatkowy. Tym sposobem zrównanie dnia z nocą przypadałoby stale na ten sam dzień, gdyby rok zwrotnikowy równy był dokładnie 365,25 dni; tymczasem rok zwrotnikowy wynosi 365,2422 dni.

System kalendarza Juljańskiego popełnia błąd, wynoszący rocznie $365{,}25 - 365{,}2422 = 0{,}0078$ dni. Powyższy błąd wzrósł do r. 1582 po Chr. o wartość równą $(1582+47)\ 0{,}0078 = 12{,}7$ dni, tak, że w r. 1582 wiosenne zrównanie dnia z nocą przypadało na dzień 11 marca.

W r. 1582 papież Grzegorz XIII ponownie zreformował kalendarz, który jest używany po dziś dzień i nazywa się kalendarzem Gregorjańskim. Chodziło przedewszystkiem o to, aby zapobiec na przyszłość wzrostowi błędu kalendarza Juljańskiego, wynoszącego 0,0078 dni rocznie, względnie 3,12 dni na 400 lat. W tym celu Grzegorz XIII zarządził, że co 400 lat trzy lata przestępne mają być opuszczane. Oprócz tego Grzegorz XIII zarządził, aby po dniu 4 października nastąpił bez zmiany dni w tygodniu dzień 15 października. Tem jednorazowem przesunięciem kalendarza o 10 dni uzyskał, że wiosenne zrównanie dnia z nocą przypadało jak po dziś dzień na 21 marca.

W kalendarzu Gregorjańskim co czwarty rok, t. j. każdy rok podzielny przez cztery, jest rokiem przestępnym, z wyjątkiem tylko

tych stuleci, które nie są podzielne przez 400, a które według kalendarza Juljańskiego również miały być przestępne.

System gregorjański wyrównuje w przeciągu 400 lat 3 dni zamiast 3,12 dni, a zatem pozostaje jeszcze błąd, wynoszący 0,12 dni na 400 lat. Według kalendarza Gregorjańskiego przesunięcie się zrównania dnia z nocą o jeden dzień następuje dopiero po upływie przeszło 3000 lat.

Dzisiaj kalendarz Gregorjański (inaczej nazwany kalendarzem nowego stylu) różni się od juljańskiego o 13 dni, t. j. o owych 10 dni, o które kalendarz został w roku 1582 jednorazowo przesunięty, więcej trzy dni, spowodowane tem, że lata 1700, 1800 i 1900 według starego stylu juljańskiego były przestępne, a według nowego stylu nie.

6. Strefy godzinne. Używanie w życiu codziennem czasu, liczonego od miejscowego południka, czyli t. zw. czasu miejscowego byłoby bardzo niedogodne i nieracjonalne, szczególnie wobec silnie rozwiniętych środków komunikacyjnych. Wzajemne porozumiewanie się byłoby bardzo utrudnione, gdyby każda miejscowość używała innego czasu, a jadąc np. pociągiem należałoby na każdej stacji przestawiać zegary o kilka minut albo sekund. Używanie jednolitego czasu, np. czasu dla południka gryniczowskiego, nie odpowiadałoby również warunkom życiowym, gdyż jedna i ta sama godzina przypadałaby na rozmaite pory dnia w zależności od długości geograficznej. Jedynie te miejscowości, które leżą w pobliżu południka gryniczowskiego miałyby czas, odpowiadający warunkom życiowym.

Chronometry okrętowe wskazują stale czas średni gryniczowski, natomiast inne zegary, według których odbywa się służba na statku, zmiany wacht i t. d. wskazują czas, różniący się od miejscowego czasu nie więcej jak pół godziny.

Aby otrzymać czas, któryby z jednej strony odpowiadał warunkom życiowym, a z drugiej strony nie był dla każdej miejscowości inny, zaprowadzono t. zw. *system strefowy*. Całą kulę ziemską podzielono południkami na 24 równe strefy godzinne. Każda strefa używa jednolitego czasu, liczonego dla południka środkowego. Czas taki nazywa się czasem strefowym i przy ścisłem zachowaniu granic różni się on od czasu miejscowego najwyżej o pół godziny, co nie odgrywa roli w życiu codziennem.

Pierwsza strefa godzinna leży pomiędzy południkiem $7^1/_2{}^\circ$ *O* i $7^1/_2{}^\circ$ *W* i używa czasu południka zerowego czyli gryniczowskiego. Strefa ta nazywa się strefą zachodnio-europejską, a czas gryniczowski

czasem zachodnio-europejskim. Druga strefa leży pomiędzy południkiem $7^1/_2{}^\circ$ *O* i $22^1/_2{}^\circ$ *O* i używa czasu południka 15° *O*, a zatem czasu o jedną godzinę późniejszego od czasu gryniczowskiego i nazywa się strefą środkowo-europejską. Następna strefa t. j. od $22^1/_2{}^\circ$ do $37^1/_2{}^\circ$ *O* nazywa się strefą wschodnio-europejską i używa czasu dla południka 30° *O*, czyli czasu o 2 godziny późniejszego od czasu zachodnio-europejskiego i t. d.

W praktyce nie zachowuje się ściśle granic pomiędzy strefami, lecz dostosowuje się je do warunków geograficznych i tak np. w Polsce używany jest wszędzie czas środkowo-europejski, aczkolwiek dosyć wielka część Polski leży w strefie wschodnio-europejskiej. Przed rokiem 1922 używano w Polsce przez pewien czas czasu wschodnio-europejskiego.

Czas strefowy ma tę zaletę, że różnica czasów w poszczególnych strefach jest zawsze wartością zaokrągloną na pełne godziny. Niektóre państwa używają t. zw. czasu państwowego, t. j. czasu, liczonego od południka przechodzącego np. przez stolicę. Czas państwowy ma tę niedogodność, że różnica pomiędzy czasami, używanemi w państwach ościennych, jest wartością niezaokrągloną.

Na morzu przestawia się przeważnie zegary o jedną godzinę po przebyciu każdych 15° długości, a mianowicie idąc kursem *O*, przestawia się wskazówki zegara co 15° długości o jedną godzinę naprzód, a idąc kursem *W* odwrotnie.

7. Granica daty. Jeżeli w Gryniczu jest w danym momencie godzina 8 rano, to na długości 15° *O* jest godzina 9 rano, na długości 30° *O* godzina 10 i t. d., a na długości 180° godzina 8 wieczorem czyli godzina 20-ta. W tym samym momencie na długości 15° *W* jest 7^h rano, na długości 30° *W* 6^h rano i t. d., a na długości 180° jest godzina 20-ta, ale dnia poprzedniego.

Z powyższego widać, że zbliżając się do południka 180° kursem *Ost*, zastaje, się tam czas o 12 godzin późniejszy od czasu gryniczowskiego, a zbliżając się do południka 180° kursem *West*, zastaje się czas o 12 godzin wcześniejszy od czasu gryniczowskiego.

Południk 180° stanowi naturalną granicę daty. W jednym i tym samym momencie data po jednej stronie tego południka różni się o jeden dzień od daty po drugiej stronie południka. W praktyce granica daty nie zlewa się wszędzie z południkiem 180°, lecz jest dostosowana do warunków geograficznych.

Statek, mijając granicę daty, zmienia datę, a mianowicie idąc kursem wschodnim, cofa datę o jeden dzień wstecz, a idąc kursem zachodnim, przesuwa datę o jeden dzień naprzód. W praktyce zachowuje się przeważnie starą datę do północy, a dopiero następnego dnia zapisuje się do dziennika okrętowego przesuniętą datę, a mianowicie idąc wschodnim kursem, zapisuje się następnego dnia do dziennika okrętowego ten sam dzień tygodnia i miesiąca po raz drugi, a idąc kursem zachodnim opuszcza się jeden dzień.

Przykład I. Statek mija południk 180° w sobotę dnia 4 lutego, idąc kursem *O*. Następnego dnia zapisuje się do dziennika okrętowego: Sobota dnia 4 lutego.

Przykład II. Statek mija południk 180° w sobotę dnia 4 lutego, idąc kursem *W*. Następnego dnia zapisuje się do dziennika: Poniedziałek dnia 6 lutego.

Żeglarz, który objechał ziemię dookoła kursem *Ost*, przesunął w czasie swej podróży wskazówki zegara o 24 godzin naprzód, t. j. o całą dobę, gdyby mijając granicę daty nie cofnął daty o jeden dzień wstecz, wówczas powróciłby do miejscowości, z której wyszedł, z datą przesuniętą o jeden dzień naprzód. Analogicznie żeglarz, objeżdżający ziemię dookoła kursem *West*, powróciłby z podróży z datą o jeden dzień wcześniejszą od rzeczywistej daty.

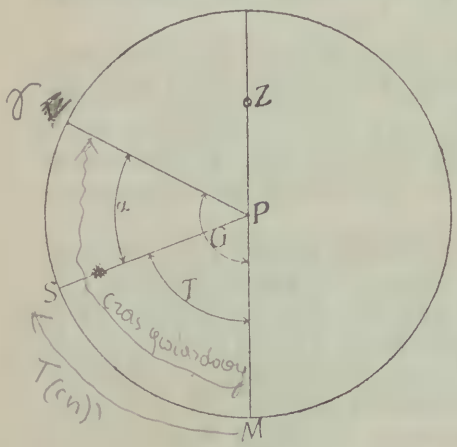
8. Rocznik astronomiczny. Wszelkie wartości, zmieniające się zczasem, nazywają się *efemerydami*. W morskich rocznikach astronomicznych podane są wszystkie efemerydy, które mają zastosowanie w astronomji żeglarskiej. Najważniejszemi efemerydami są współrzędne ciał niebieskich w układzie równika, t. j. rektascenzja i deklinacja oraz równanie czasu.

Efemerydy podane są w rocznikach w odstępach czasu, zależnych od szybkości i jednostajności, z jaką się one zmieniają; tak np. współrzędne gwiazd stałych, które ulegają bardzo powolnym zmianom, podane są w odstępach kwartalnych, przyczem interpolacja jest zbyteczna. Współrzędne planet podane są w odstępach dobowych, a dla ułatwienia interpolacji podane są zmiany na godzinę. Dla słońca wystarczyłoby, gdyby jego współrzędne były również podane w odstępach dobowych ze zmianami na godzinę, jednak ze względu na to, że współrzędne słońca są najczęściej używane, podane są w odstępach dwugodzinnych, tak iż interpolacja jest prawie zbyteczna.

Współrzędne księżyca, którego ruch własny jest najszybszy, podane są w odstępach godzinnych ze zmianami na minutę.

Morskie roczniki astronomiczne dzielą się na dwie części. Pierwsza część czyli właściwy rocznik jest kalendarzem i zawiera wszelkie efemerydy, natomiast druga część zawiera rozmaite tablice i spis sygnałów czasowych.

9. Zależność pomiędzy czasem gwiazdowym a czasem jakiegoś ciała niebieskiego. Na rys. 16. przedstawiona jest kula niebieska widziana od strony bieguna *P*. ♈ jest punktem wiosennym, a *PV* jest kołem godzinnem, przechodzącem przez punkt wiosenny. *PS* jest kołem godzinnem, przechodzącem przez dowolne ciało niebieskie. Punkt *Z* jest zenitem, a *PM* dolnym południkiem świata. Według poprzednich określeń kąt *VPM*, względnie łuk *VM*, jest czasem gwiazdowym *G*, kąt *SPM* względnie łuk *SM* jest czasem danego ciała niebieskiego *T*, a kąt *VPS*, względnie łuk *VS*, jest rektascenzją tego ciała niebieskiego α_*.



Rys. 16.

Z rysunku widoczna jest zależność:

$$G = T + \alpha_*,$$

albo

$$T = G - \alpha_* \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{I.}$$

Słowami: Dodając do czasu jakiegokolwiek ciała niebieskiego jego rektascenzję, otrzymuje się czas gwiazdowy, a odejmując od czasu gwiazdowego rektascenzję jakiegokolwiek ciała niebieskiego, otrzymuje się czas tego ciała niebieskiego.

Stosując powyższą zależność do specjalnego wypadku, w którym danem ciałem niebieskiem jest słońce średnie, otrzymuje się:

$$G = M + \alpha_\odot,$$

albo

$$M = G - \alpha_\odot \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{II.}$$

Powyższe wzory służą do zamiany czasu jakiegokolwiek ciała niebieskiego na czas gwiazdowy lub odwrotnie, albo do zamiany czasu średniego na gwiazdowy lub też odwrotnie.

Odejmując stronami równości I i II, otrzymuje się:

$$M - T = \alpha_* - \alpha_\odot,$$

albo

$$M = T + (\alpha_* - \alpha_\odot) \quad \ldots\ldots\ldots \text{III.}$$

Wzór ten mógłby służyć do zamiany czasu dowolnego ciała niebieskiego na czas średni lub odwrotnie, w praktyce jest jednak wygodniej zamieniać kolejno najpierw czas danego ciała niebieskiego na czas gwiazdowy, a dopiero potem czas gwiazdowy na czas średni.

Stosując równanie III do wypadku, kiedy danem ciałem niebieskiem jest słońce prawdziwe, otrzymuje się:

$$M = P + (\alpha_{pr} - \alpha_{śr}),$$

albo

$$M = P + e,$$

gdyż różnica rektascenzji słońca prawdziwego i słońca średniego jest równaniem czasu. (Por. str. 41).

10. Zamiana czasów. Prawie we wszystkich zagadnieniach astronomicznych na morzu należy na podstawie znanego z chronometru czasu średniego gryniczowskiego M_0, oraz długości geograficznej λ, obliczyć miejscowy kąt godzinny danego ciała niebieskiego $g\lambda$, albo odwrotnie, na podstawie znanego z trójkąta biegunowego miejscowego kąta godzinnego i długości geograficznej obliczyć czas średni w Gryniczu. Powyższe zamiany przeprowadza się na podstawie zależności, poznanych w poprzednich ustępach.

Sposób postępowania:

a) Zamiana czasu średniego w Gryniczu na miejscowy kąt godzinny słońca.

1) Czas średni w Gryniczu zamienia się na astronomiczny system liczenia, t. j. do 24 godzin, o ile czas był podany cywilnym sposobem liczenia.

2) Dla danego czasu średniego w Gryniczu wyszukuje się w roczniku astronomicznym równanie czasu, które odjęte algebraicznie od czasu średniego daje czas prawdziwy P_0.

3) Długość geograficzną wyraża się w mierze czasowej, następnie dodawszy ją algebraicznie do prawdziwego czasu gryniczowskiego, otrzymuje się miejscowy czas prawdziwy $P\lambda$.

4) Miejscowy czas prawdziwy zamienia się na miejscowy kąt godzinny $g\lambda$ według wzoru:

$$g\lambda Ost = 12^h - P\lambda$$
$$g\lambda West = P\lambda - 12^h.$$

Przykład: Obliczyć miejscowy kąt godzinny słońca dnia 15 lipca 1928 r. na długości geograficznej $\lambda = 28°\ 13{,}4'\ W$, o godzinie $M_0 = 3^h\ 14^m\ 37^s$ *p. m.*

Rozwiązanie:

$$\begin{array}{rl} & M_0 = 3^h\ 14^m\ 37^s\ p.\ m. \\ - & \left[\begin{array}{l} M_0 = 15^h\ 14^m\ 37^s \text{ astronomicznie} \\ e = +\ 5^m\ 47^s \end{array}\right. \\ \hline + & \left[\begin{array}{l} P_0 = 15^h\ 8^m\ 50^s \\ \lambda = -1^h\ 52^m\ 54^s \end{array}\right. \\ \hline & P\lambda = 13^h\ 15^m\ 56^s \\ & g\lambda = 1^h\ 15^m\ 56^s\ West \end{array}$$

b) Zamiana miejscowego kąta godzinnego słońca na czas średni w Gryniczu.

1) Miejscowy kąt godzinny słońca zamienia się na miejscowy czas słońca prawdziwego według wzoru:

$$P\lambda = 12 - g\lambda\ Ost$$
$$P\lambda = 12 + g\lambda\ West.$$

2) Odejmując algebraicznie od miejscowego czasu prawdziwego długość geograficzną, wyrażoną w mierze czasowej, otrzymuje się czas prawdziwy w Gryniczu.

3) W roczniku astronomicznym wyszukuje się równanie czasu, uważając poprzednio otrzymany czas prawdziwy za czas średni. Wszak wiadomo, że czas prawdziwy różni się od czasu średniego najwyżej o 16 minut, a różnica czasu, wynosząca 16 minut, nie ma praktycznie znaczenia przy wyszukiwaniu równaniu czasu.

Równanie czasu, dodane algebraicznie do czasu prawdziwego, daje czas średni.

4) Otrzymany czas średni w Gryniczu można ewentualnie zamienić na cywilny system liczenia.

Przykład: Dnia 3. października 1928 r. na długości $\lambda = 13^\circ\ 15{,}3'\ O$ kąt godzinny słońca wynosi $3^h\ 47^m\ 13^s\ Ost$. Obliczyć, jaki jest czas średni w Gryniczu?

Rozwiązanie:

$$\begin{array}{rl} & g\lambda = 3^h\ 47^m\ 13^s\ Ost \\ - & \left[\begin{array}{l} P\lambda = 8^h\ 12^m\ 47^s \\ \lambda = \quad 53^m\ 1^s \end{array}\right. \\ \hline + & \left[\begin{array}{l} P_0 = 7^h\ 19^m\ 46^s \\ e = -10^m\ 53^s \end{array}\right. \\ \hline & M_0 = 7^h\ 8^m\ 53^s \text{ astronomicznie} \\ & M_0 = 7^h\ 8^m\ 53^s\ a.\ m. \text{ cywilnie.} \end{array}$$

c) Zamiana czasu średniego w Gryniczu na miejscowy kąt godzinny dowolnego ciała niebieskiego.

1) Czas M_0 wyraża się astronomicznie.

2) Dla czasu M_0 wyszukuje się rektascenzję słońca średniego $\alpha_\odot$, która dodana do M_0 daje czas gwiazdowy G_0.

3) Dla czasu M_0 wyszukuje się w roczniku rektascenzję danego ciała niebieskiego α_*, która odjęta od czasu gwiazdowego daje czas danego ciała niebieskiego w Gryniczu T_0.

4) Do znalezionego T_0 dodaje się algebraicznie długość geograficzną, wyrażoną w mierze czasowej i otrzymuje się miejscowy czas danego ciała niebieskiego $T\lambda$.

5) Czas $T\lambda$ zamienia się na kąt godzinny $g\lambda$ według wzoru:

$$g\lambda \text{ Ost} = 12^h - T\lambda$$
$$g\lambda \text{ West} = T\lambda - 12^h.$$

Uwaga. Jeżeli w punkcie 2-gim otrzymany czas gwiazdowy jest większy od 24 godzin, wówczas należy odjąć od niego 24 godzin. Jeżeli w punkcie 3-cim czas gwiazdowy jest mniejszy od rektascenzji ciała niebieskiego, wówczas należy czas gwiazdowy powiększyć o 24 godzin.

Przykład: Obliczyć miejscowy kąt godzinny księżyca dnia 11 czerwca 1928 r. na długości $\lambda = 137^\circ\ 24'\ W$, o godzinie $M_0 = 1^h\ 27^m\ 43^s\ p.\ m.$

Rozwiązanie:

$$\begin{array}{rl} & M_0 = 1^h\ 27^m\ 43^s\ p.\ m. \\ + & \left[\begin{array}{l} M_0 = 13^h\ 27^m\ 43^s \\ \alpha_\odot = 5^h\ 18^m\ 33^s \end{array}\right. \\ \hline - & \left[\begin{array}{l} G_0 = 18^h\ 46^m\ 16^s \\ \alpha_\mathfrak{D} = 23^h\ 47^m\ 31^s \end{array}\right. \\ \hline + & \left[\begin{array}{l} T_0 = 18^h\ 58^m\ 45^s \\ \lambda = -9^h\ 9^m\ 36^s \end{array}\right. \\ \hline & T\lambda = 9^h\ 49^m\ 9^s \\ & g\lambda = 2^h\ 10^m\ 51^s\ Ost. \end{array}$$

d) Zamiana miejscowego kąta godzinnego dowolnego ciała niebieskiego na czas średni w Gryniczu.

1) Miejscowy kąt godzinny zamienia się na czas według wzoru:

$$T\lambda = 12 - g\lambda\ Ost$$
$$T\lambda = 12 + g\lambda\ \text{West}.$$

2) Od $T\lambda$ odejmuje się algebraicznie długość geograficzną, wyrażoną w mierze czasowej i otrzymuje się T_0.

3) W roczniku astronomicznym wyszukuje się rektascenzję danego ciała niebieskiego α_*, która dodana do T_0 daje G_0.

O ile danem ciałem niebieskiem jest gwiazda stała, wyszukanie dokładnej rektascenzji nie sprawia trudności, gdyż dla wyszukania jej wystarcza w zupełności znajomość daty. Jeżeli danem ciałem niebieskiem jest planeta albo księżyc, wówczas, o ile przybliżony czas średni w Gryniczu nie jest znany, możliwe jest tylko wyszukanie przeciętnej wartości rektascenzji dla danego dnia.

4) Od czasu G_0 odejmuje się rektascenzję słońca średniego i otrzymuje się żądany czas średni w Gryniczu M_0.

Powyższym sposobem otrzymuje się przybliżoną wartość M_0, gdyż zarówno rektascenzja ciała niebieskiego jak i rektascenzja słońca średniego była niedokładna. Chcąc otrzymać dokładny czas M_0, należy rachunek drugi raz, ewentualnie trzeci raz, powtórzyć. Podobne wypadki nie zdarzają się w praktyce, gdyż przybliżony czas M_0 jest zawsze znany.

Przykład: Dnia 10 grudnia 1928 r. na długości $\lambda = 18° 25'$ *Ost*, kąt godzinny Syriusza (α Canis maioris) wynosi $2^h\ 15^m\ 17^s$ *West*. Obliczyć czas średni w Gryniczu.

Rozwiązanie:

	$g\lambda$ =	$2^h\ 15^m\ 17^s$	*West*
−	$T\lambda$ =	$14^h\ 15^m\ 17^s$	
	λ = +	$1^k\ 13^m\ 40^s$	
	T_0 =	$13^h\ 1^m\ 37^s$	
+	α_* =	$6^h\ 42^m\ 2^s$	
	G_0 =	$19^h\ 43^m\ 39^s$	
−	$\alpha_\odot$ =	$17^h\ 16^m$	przybliżona wartość
	M_0 =	$2^h\ 27^m$	przybliżony czas
	$\alpha_\odot$ =	$17^h\ 14^m\ 18^s$	dokładna rektascenzja dla $M_0 = 2^h\ 27^m$
	M_0 =	$2^h\ 29^m\ 21^s$	dokładny czas.

11. Obliczanie momentu kulminacji słońca i gwiazd stałych. W momencie górnej kulminacji ciała niebieskiego jego miejscowy kąt godzinny wynosi $0^h\ 0^m\ 0^s$, a miejscowy czas wynosi $12^h\ 0^m\ 0^s$. W czasie dolnej kulminacji miejscowy kąt godzinny wynosi $12^h\ 0^m\ 0^s$, a czas wynosi $0^h\ 0^m\ 0^s$.

Obliczanie momentu kulminacji ciała niebieskiego polega na zamianie znanego czasu miejscowego na żądany czas. (Żądanym czasem jest przeważnie czas strefowy).

P r z y k ł a d I. Obliczyć, o której godzinie słońce góruje na długości geograficznej $\lambda = 27° \; 36' \; W$ dnia 5 maja 1928 roku.

R o z w i ą z a n i e:

$$
\begin{array}{rl}
- & \left[\begin{array}{l} P\lambda = 12^h \; 0^m \; 0^s \\ \lambda = -1^h \; 50^m \; 24^s \end{array}\right. \\
\hline
+ & \left[\begin{array}{l} P_0 = 13^h \; 50^m \; 24^s \\ e = - \quad 3^m \; 23^s \end{array}\right. \\
\hline
 & M_0 = 13^h \; 47^m \; 1^s
\end{array}
$$

$M_{0-2} = 11^h \; 47^m \; 1^s$ *a. m.* według czasu strefowego.

P r z y k ł a d II. Obliczyć, o której godzinie góruje Regulus (α Leonis) na długości geogr. $\lambda = 12° \; 53' \; O$ dnia 7 kwietnia 1928 r.

R o z w i ą z a n i e:

$$
\begin{array}{rll}
- & \left[\begin{array}{l} T\lambda = 12^h \; 0^m \; 0^s \\ \lambda = + \quad 51^m \; 32^s \end{array}\right. & \\
\hline
+ & \left[\begin{array}{l} T_0 = 11^h \; 8^m \; 28^s \\ \alpha_* = 10^h \; 4^m \; 33^s \end{array}\right. & \\
\hline
- & \left[\begin{array}{l} G_0 = 21^h \; 13^m \; 1^s \\ \alpha_\bigcirc = 1^h \; 2^m \end{array}\right. & \text{niedokładna wartość} \\
\hline
 & M_0 = 20^h \; 11^m & \text{niedokładny czas} \\
 & \alpha_\bigcirc = 1^h \; 3^m \; 23^s & \text{dokładna rektascenzja dla } M_0 = 20^h \; 11^m \\
\hline
 & M_0 = 20^h \; 9^m \; 38^s & \\
 & M_{0+1} = 9^h \; 9^m \; 38^s & p. \; m. \text{ czas strefowy cywilny.}
\end{array}
$$

12. Obliczanie momentu kulminacji księżyca i planet. Zasadniczo możnaby obliczać moment kulminacji księżyca tym samym sposobem co moment kulminacji słońca lub gwiazd, jednak ten sposób byłbv niewygodny, gdyż nie znając czasu średniego w Gryniczu, możnaby tylko z wielkiem przybliżeniem wyszukać rektascenzję księżyca, a następnie należałoby rachunek powtarzać dwa albo nawet trzy razy.

W roczniku astronomicznym podany jest dla każdego dnia moment górnej i dolnej kulminacji księżyca (planet) w Gryniczu według czasu średniego gryniczowskiego z dokładnością na pełne minuty. Obliczanie momentów kulminacji z dokładnością na pełne minuty jest dla celów żeglarskich zupełnie wystarczające.

Jeżeli księżyc kulminuje w Gryniczu o godzinie C_0, to na długości λ *Ost* księżyc kulminuje o λ godzin księżycowych wcześniej, a na długości λ *West*, o λ godzin księżycowych później. W powyższem znaczeniu czas kulminacji księżyca w Gryniczu dnia następnego może być uważany za czas kulminacji księżyca na miejscowości o długości 360° *Ost*, a czas kulminacji księżyca dnia poprzedniego za czas kulminacij księżyca na długości 360° *West*.

Przy porównaniu czasów kulminacji księżyca w Gryniczu dla poszczególnych dni okazuje się, że doba księżycowa jest przeciętnie o 50 minut dłuższa od doby słońca średniego. Powstaje to stąd, że księżyc ma o wiele szybszy ruch własny od słońca w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu dziennego. Jeżeli pewnego dnia księżyc kulminuje w Gryniczu o godzinie C_0 według czasu średniego, to następnego dnia księżyc kulminuje około 50 minut później; doba księżycowa, wyrażona czasem średnim, wynosi zatem około $24^h\ 50^m$.

Ilość minut, o którą doba księżycowa, wyrażona czasem średnim, jest dłuższa od doby średniej, nazywa się *retardacją dobową*. Retardacja dobowa, podzielona przez 24, nazywa się retardacją *godzinną* i wynosi przeciętnie nieco więcej niż 2 minuty. Piętnasta część retardacji godzinnej względnie 360-ta część retardacji dobowej nazywa się retardacją *stopniową*. W roczniku astronomicznym podana jest drobnym drukiem obok momentu kulminacji księżyca w Gryniczu C_0 retardacja ~~stopniowa~~ dobowa.

Chcąc obliczyć czas średni gryniczowski kulminacji księżyca na długości λ *Ost*, należy od średniego czasu gryniczowskiego kulminacji księżyca w Gryniczu odjąć λ godzin księżycowych. Ponieważ nie można od czasu średniego odejmować okresu czasu księżycowego, przeto należy poprzednio okres czasu księżycowego λ zamienić na odpowiadający mu okres czasu średniego. Oznaczywszy retardację stopniową literą v, a okres czasu średniego przez λ_1, otrzymuje się:

$$\lambda_1 = \lambda + \lambda v.$$

Moment kulminacji księżyca na długości λ według czasu średniego gryniczowskiego wynosi zatem:

$$M_0 = C_0 - (\lambda + \lambda v).$$

Jeżeli długość geograficzna jest zachodnia, wówczas

$$M_0 = C_0 + (\lambda + \lambda v).$$

P r z y k ł a d: Obliczyć czas strefowy górnej kulminacji księżyca na długości geograficznej $\lambda = 36°\ 24'\ W$ dnia 10 marca 1928 roku.

Rozwiązanie:

$$+\begin{bmatrix} C_0 = 2^h\ 47^m \\ \lambda_1 = 2^h\ 30^m \end{bmatrix} \qquad \begin{matrix} v = 0{,}12^m \\ \lambda = 36{,}4^\circ \end{matrix}$$

$$M_0 = 5^h\ 17^m \qquad +\begin{bmatrix} v\lambda = 4{,}4^m \\ \lambda = 2^h\ 25{,}6^m \end{bmatrix}$$

Czas stref. cyw. $M_{0-2} = 3^h\ 17^m$ *a. m.* $\qquad \lambda_1 = 2^h\ 30^m$

W taki sam sposób oblicza się momenty kulminacji planet, tylko że doba planety jest czasami krótsza od doby średniej i wtedy v ma znak ujemny i nazywa się *akcelaracją*. W podobnym wypadku okres czasu planety, wyrażony czasem średnim, wynosi:

$$\lambda_1 = \lambda - \lambda v.$$

Retardacja lub akcelaracja planet jest tak mała, że najczęściej można jej nie uwzględniać, przyjmując okres czasu planety równy okresowi czasu średniego. Jedynie przy bardzo wielkich długościach należy uwzględniać retardację względnie akceleracyę.

Przy planetach retardacja wzgl. akceleracja nie jest podana, należy ją zatem obliczyć. Różnica pomiędzy czasem dzisiejszej kulminacji planety a czasem jutrzejszej kulminacji planety równa jest retardacji względnie akceleracji dobowej. Jeżeli kulminacja planety następnego dnia przypada na godzinę późniejszą, wtedy, różnica czasów jest retardacją, jeżeli na wcześniejszą, wtedy różnica czasów jest akceleracją.

Przy planetach oblicza się przeważnie retardację godzinną, a nie stopniową, albo oblicza się wartość $v\lambda$ z proporcji.

Przykład: Obliczyć moment kulminacji Jowisza dnia 9-go września 1928 r. na długości $\lambda = 162^\circ$ *Ost.*

Rozwiązanie:

$$C_0 = 3^h\ 22^m \text{ dnia } 9/IX$$
$$C_0 = 3^h\ 26^m \text{ dnia } 8/IX$$

Akceleracja dobowa 4^m

$$v\lambda = \frac{4^m.\ 162^\circ}{360^\circ} = 1{,}8^m$$

$$-\begin{bmatrix} \lambda = 10^h\ 48^m \\ v\lambda = 1{,}8^m \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 = 10^h\ 46{,}2^m \qquad +\begin{bmatrix} C_0 = 3^h\ 22^m \\ \lambda_1 = 10^h\ 46^m \end{bmatrix}$$

$$M_0 = 16^h\ 36^m \text{ dn. } 8/IX$$

Czas strefowy cyw. $M_{0+11} = 3^h\ 36^m$ *a. m.* 9/IX

Część II.

Mierzenie kątów.

ROZDZIAŁ I.

Sekstans.

1. Teorja sekstansu. Prosta, łącząca oko obserwatora z jakimś punktem w przestrzeni, nazywa się kierunkiem tego punktu. Kąt, zawarty pomiędzy kierunkami na dwa punkty, nazywa się kątem widzenia tych punktów. Płaszczyzna, wyznaczona kierunkami na dwa punkty, nazywa się płaszczyzną kąta widzenia. Płaszczyzna kąta widzenia wyznaczona jest również dwoma obserwowanemi punktami oraz okiem obserwatora.

Przyrząd, służący do pomiarów kątów widzenia w żegludze, nazywa się sekstansem. Sekstans używany jest najczęściej do mierzenia wysokości ciał niebieskich. Wysokość ciała niebieskiego jest kątem widzenia pomiędzy tem ciałem niebieskiem a punktem przecięcia się jego koła wierzchołkowego z horyzontem. Przy odmierzaniu wysokości płaszczyzna kąta widzenia zlewa się z płaszczyzną koła wierzchołkowego, jest zatem prostopadła do horyzontu.

Przy pomocy sekstansu odmierza się kąty widzenia niezależnie od ruchów i kołysania się statku.

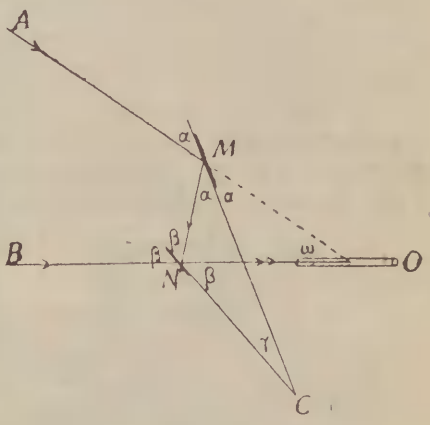
Zasada sekstansu jest następująca:

Na płaszczyznie przyrządu, która musi się zlewać z płaszczyzną kąta widzenia, przymocowane są dwa lusterka, których płaszczyzny są prostopadłe do płaszczyzny przyrządu. Jedno z tych lusterek przymocowane jest nieruchomo do płaszczyzny przyrządu (na rys. 17

lusterko N), a drugie lusterko (M) przymocowane jest w ten sposób, że może się obracać dookoła prostopadłej osi, przechodzącej przez środek lusterka. Pierwsze lusterko jest mniejsze i nazywa się małem, a drugie nazywa się dużem lusterkiem.

Naprzeciwko małego lusterka przymocowana jest w płaszczyźnie przyrządu luneta, której oś skierowana jest na małe lusterko i tworzy z nim kąt β. Kąt β jest dla danego sekstansu wartością stałą i wynosi około 75°.

Patrząc przez lunetę, widać małe lusterko oraz przedmiot B, znajdujący się na przedłużeniu osi lunety, gdyż małe lusterko zasłania tylko połowę pola widzenia w lunecie.



Rys. 17

Prosta MN, łącząca środki obu lusterek nachylona jest do małego lusterka również pod kątem β, a do dużego lusterka pod zmiennym kątem α. Kąt α zależy od chwilowego położenia dużego lusterka, które może się obracać dookoła osi prostopadłej do płaszczyzny przyrządu.

Obserwator, patrzący przez lunetę, widzi dwa nakrywające się punkty; jednym z tych punktów jest punkt B, leżący na przedłużeniu osi lunety, a drugim jest punkt A, którego kierunek nachylony jest do płaszczyzny dużego lusterka pod kątem α.

Droga, jaką promień świetlny, wychodzący z punktu A, zakreśla, jest $AMNO$. Promień świetlny, wychodzący z punktu A, wpada do oka obserwatora po dwukrotnem odbiciu się o lusterka, równolegle z promieniem punktu B, czyli punkt A i punkt B nakrywają się w polu widzenia.

Kąt $AOB = \omega$ jest kątem widzenia punktów A i B, a kąt $MCN = \gamma$ jest kątem, który tworzą płaszczyzny obu lusterek.

Z trójkąta NMO wynika:

$$2\beta = 2\alpha + \omega \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{I.}$$

a z trójkąta NMC wynika:

$$\beta = \alpha + \gamma,$$

albo

$$2\beta = 2\alpha + 2\gamma \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{II.}$$

Z porównania zależności I i II otrzymuje się:

$$\omega = 2\gamma, \text{ albo } \gamma = \frac{\omega}{2}.$$

Jeżeli dwa punkty nakrywają się w polu widzenia lunety, wówczas położenie dużego lusterka musi być takie, aby kąt, zawarty pomiędzy płaszczyznami lusterek, równy był połowie kąta widzenia obu punktów Kąt γ pomiędzy płaszczyznami lusterek jest miarą kąta widzenia.

Mierzenie kątów widzenia polega na obracaniu dużego lusterka tak długo, aż dwa punkty *A* i *B* nakryją się w polu widzenia i na odczytaniu kąta γ. Płaszczyzna przyrządu musi w czasie pomiaru ściśle zlewać się z płaszczyzną kąta widzenia.

2. Opis sekstansu. Sekstans składa się z następujących istotnych części składowych:

1) Rama przyrządu z limbusem,
2) Alhidada z nonjuszem,
3) Lusterka,
4) Luneta i nośnik lunety,
5) Szkła przyćmiewające.

Ad. 1. — Rama przyrządu ma kształt wycinka kolistego o kącie środkowym, wynoszącym w przybliżeniu 60°, t. j. $^1/_6$ część okręgu, stąd też pochodzi nazwa sekstans. Dawniej używano podobnych przyrządów, których rama była wycinkiem kolistym o kącie środkowym, wynoszącym około 45°; przyrząd taki nazywał się oktantem.

Do jednej strony ramy przytwierdzone są trzy nogi, na których przyrząd spoczywa, o ile nie jest w użyciu, ponadto przymocowana jest po tej samej stronie drewniana rączka, za którą się trzyma sekstans w czasie pomiarów.

Po drugiej stronie ramy przymocowane są: aldhiada, lusterka, nośnik lunety z lunetą i szkła przyćmiewające.

Na łuku wycinka kolistego zrobiona jest srebrna podziałka stopniowa. Zero podziałki znajduje się w pobliżu prawego końca. Główna podziałka idzie zatem od kreski zerowej w lewą stronę. Podziałka ta nazywa się *limbusem*. Z prawej strony punktu zerowego zrobiona jest również podziałka, sięgająca tylko do kilkudziesięciu minut.

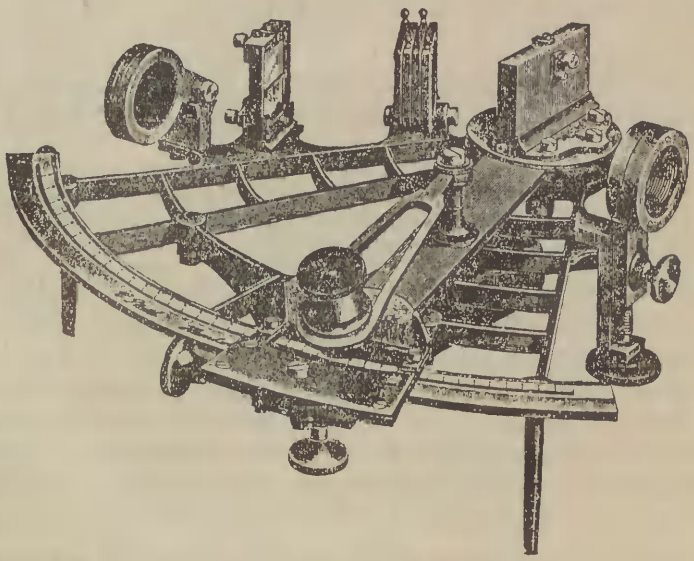
Ad 2. — Alhidada jest linjałem, obracającym się w płaszczyźnie przyrządu dookoła osi, prostopadłej do płaszczyzny przyrządu i przechodzącej przez środek koła, wyznaczonego łukiem limbusa. W tym

celu na jednym końcu alhidady znajduje się czop, obracający się w łożyku, znajdującym się w ramie.

Drugi koniec alhidady zakończony jest czworokątną ramą, ślizgającą się po łuku limbusa. Wewnątrz tej ramy znajduje się również srebrna podziałka, przylegająca do podziałki limbusowej, czyli t. zw. *nonjusz*.

Na ramie alhidady znajdują się dwie śrubki; jedna z nich, t. zw. zaciskowa, służy do przymocowania alhidady do limbusa, a druga, t. zw. mikrometyczna, służy do wykonywania precyzyjnych obrotów alhidady przy zaciśniętej śrubce zaciskowej.

Nad nonjuszem i limbusem znajduje się lupa, służąca do odczytywania kątów. Lupa przymocowana jest do jednego końca ramienia,



Rys. 18.

którego drugi koniec obraca się dookoła pionowej, osi nad alhidadą.

Na przedniej części wycięcia alhidady umieszczone jest matowe szkiełko, które chroni podziałkę limbusa i nonjusza od refleksów świetlnych w czasie odczytywania kątów.

Ad 3. — Duże lusterko przymocowane jest do alhidady w ten sposób, że płaszczyzna jego jest prostopadła do płaszczyzny przyrządu i przechodzi przez oś obrotu alhidady. (Płaszczyzna przyrządu wyznaczona jest łukiem limbusa). Duże lusterko obraca się razem z alhidadą.

Małe lusterko przymocowane jest do ramy sekstansu w ten sposób, że płaszczyzna jego jest również prostopadła do płaszczyzny przyrządu, ponadto położenie jego musi odpowiadać teoretycznym warunkom z poprzedniego ustępu. Małe lusterko wypełnia tylko połowę ramy lusterka, a mianowicie połowę bliższą ramy przyrządu ; druga połowa jest albo zwyczajną szybą szklaną, albo jest zupełnie wycięta.

Ad 4. — Luneta przyśrubowana jest do nośnika lunety. Nośnik lunety ma kształt pierścienia z gwintem wewnątrz. Pierścień ten przymocowany jest do pionowego słupka, przechodzącego przez ramę sekstansu. Na dolnym końcu słupka znajduje się śrubka, przy pomocy której można nośnik razem z lunetą podnosić lub zniżać. Oś lunety skierowana jest na linję, odgraniczającą małe lusterko od wycięcia.

Każdy sekstans ma trzy rodzaje lunet, które można wkręcać do nośnika, a mianowicie : lunetę astronomiczną, lunetę ziemską i nocną lunetę albo zwyczajny wziernik.

Luneta astronomiczna jest zwyczajną lunetą Keplera, powiększającą 7 do 9 razy i dającą obraz odwrócony. W polu widzenia zrobione są dwie pionowe i dwie poziome kreski.

Luneta terestryczna powiększa tylko 2 do 3 razy i daje obraz prosty nieodwrócony, a używana jest przeważnie przy obserwacjach objektów lądowych.

Nocna luneta ma bardzo duży objektyw, a wskutek tego jasne pole widzenia, nadaje się zatem specjalnie do nocnych obserwacyj. W braku nocnej lunety używa się czasami zwyczajnego wziernika. Jest to zwyczajna rura z małym otworem przy okularze i służy wyłącznie do wyznaczania osi optycznej.

Ad 5. — Każdy sekstans ma dwie grupy po 3 do 4 kolorowych szkieł przyćmiewających. Jedna grupa leży na linji *MN* (Rys. 17) i jest do tej linji prostopadła, a druga grupa leży za małem lusterkiem prostopadle do przedłużonej osi lunety. Obie grupy szkieł przyćmiewających są w ten sposób urządzone, że można każde szkło zosobna obracać dookoła poziomej osi, włączając je w ten sposób, lub wyłączając z drogi promieni świetlnych.

Pierwsza grupa służy do zaćmiewania obrazu odbitego, druga grupa do zaćmiewania obrazu, widzianego wprost. Jeżeli obydwa obrazy wymagają jednakowego zaćmienia, wtedy przykręca się do okularu lunety wspólne szkło przyćmiewające.

Sekstans przechowuje się w specjalnej kasetce z drzewa mahoniowego. W tej kasetce znajduje się oprócz sekstansu lunety pędzelek do czyszczenia sekstansu i igła do obracania śrubek korekcyjnych.

3. Odczytywanie kątów odmierzonych. Podziałka limbusowa zrobiona jest w ten sposób, że w pobliżu prawego jej końca znajduje się kreska zerowa. Od tej kreski począwszy zrobione są co 10′ kreski, przyczem co szósta kreska jest dłuższa od pozostałych. Odstęp pomiędzy dłuższemi kreskami odpowiada zatem jednemu stopniowi. Cyframi oznaczona jest tylko co piąta dłuższa kreska, a zatem co 5 stopni.

Kreska zerowa na podziałce nonjusza znajduje się również w pobliżu prawego końca. Kreska ta nazywa się *indeksem* i oznaczona jest albo zerem albo gwiazdką. Indeks jest wskazówką, według której odczytuje się kąt na limbusie z dokładnością na pełne dziesiątki minut. Do dokładniejszego odczytania kątów służy podziałka na nonjusza.

Miarą kąta widzenia ω jest kąt γ, zawarty pomiędzy przedłużonemi płaszczyznami obu lusterek. Jeżeli kąt widzenia wynosi zero, wtedy i kąt γ wynosi zero, czyli lusterka muszą być do siebie równoległe. Z chwilą, kiedy indeks wskazuje na kreskę zerową limbusa, lusterka powinny być do siebie równoległe. Jeżeli odczytany kąt wynosi γ. wówczas lusterka tworzą ze sobą również kąt γ, a kąt widzenia wynosi wobec tego 2γ. Chcąc otrzymać prawidłowy kąt widzenia, należałoby zatem odczytany kąt pomnożyć przez dwa. Aby tego uniknąć, podziałka na limbusie jest tak wykonana, że odczytuje się na niej odrazu kąt podwójny. Jeden stopień na podziałce limbusa odpowiada zatem łukowi limbusa, wynoszącemu $^1/_2$ stopnia. Tym sposobem podziałka limbusa doprowadzona jest do 130 — 150 stopni.

Podziałka nonjusza podobna jest do podziałki limbusa, tylko odstępy pomiędzy poszczególnemi kreskami na nonjuszu są nieco mniejsze od odstępów kresek limbusa, a mianowicie, jeżeli odstęp dwu sąsiednich kresek na limbusie oznaczymy przez L, a odstęp dwóch sąsiednich kresek na nonjuszu prze N, to

$$60N = 59\,L,$$

czyli

$$N = \frac{59}{60}L = \frac{60-1}{60}L,$$

albo

$$N = L - \frac{1}{60}L.$$

Ponieważ L wynosi 10′, przeto $\frac{1}{60} L$ wynosi 10″, czyli N jest o 10″ mniejsze od L.

Niektóre sekstansy mają t. zw. *podwójny nonjusz*, przy którym

$$60\,N = 119\,L,$$

czyli

$$N = 2\,L - 10''.$$

Odstęp pomiędzy kreskami nonjusza jest zatem o 10″ mniejszy, aniżeli dwa odstępy na limbusie. Odczytywanie kątów w obu wypadkach odbywa się zupełnie jednakowo.

Przypuśćmy, że indeks wskazuje dokładnie na którąkolwiek kreskę limbusową, wówczas pierwsza kreska nonjusza z lewej strony indeksu nie zlewa się zupełnie z następną kreską limbusową, lecz odstaje od niej o 10″, druga zrzędu kreska nonjusza odstaje od następnej kreski limbusowej o 20″, trzecia o 30″ i t. d., a n-ta kreska nonjusza odstaje o $n \times 10''$ od najbliższej kreski limbusowej z lewej strony. Gdybyśmy przesunęli alhidadę w lewo o $n \times 10''$, tak aby n-ta kreska nonjusza wskazywała dokładnie na kreskę limbusową, wówczas indeks nie wskazywałby na kreskę limbusową, na którą poprzednio wskazywał, lecz przesunąłby się również w lewo o $n \times 10''$. Jeżeli n-ta kreska nonjusza schodzi się dokładnie z jakąkolwiek kreską limbusa, wtedy odległość indeksu od najbliższej kreski limbusowej z prawej strony wynosi $n \times 10''$.

Odczytywanie kątów odbywa się w następujący sposób: Najpierw odczytuje się według indeksu na podziałce limbusa kąt z dokładnością na dziesiątki minut, odczytując np. 34° 40′, następnie liczy się kreski nonjusza aż do tej kreski, która się najdokładniej zlewa z którąkolwiek kreską limbusa. Przypuśćmy, że tych kresek naliczono 37, to znaczy, że odległość indeksu od najbliższej kreski limbusowej w prawo wynosi $370'' = 6'\ 10''$. Odczytany kąt wynosi zatem 34° 46′ 10″.

Aby ułatwić liczenie kresek na nonjuszu, co szósta kreska jest dłuższa od poprzednich i oznaczona jest kolejno cyframi 1, 2, 3 i t. d. do 10. Cyfry te oznaczają minuty, a poszczególne odstępy kresek pomiędzy niemi oznaczają dziesiątki sekund. Przy pomocy nonjusza odczytuje się kąty z dokładnością na dziesiątki sekund.

Jeżeli na nonjuszu zlewa się kilka kresek, wtedy odczytuje się według środkowej kreski.

4. Błędy sekstansu. Kąty, odmierzone sekstansem, są tylko wtedy wolne od błędów, gdy sekstans odpowiada ściśle teoretycznym warunkom, omawianym w pierwszym ustępie tego rozdziału.

Błędy sekstansu dzielą się na błędy niezmienne i na błędy zmienne.

A. *Błędy niezmienne* są to takie błędy, których usunąć nie można. Błędy te są zatem błędami fabrykacji i świadczą o jakości przyrządu.

Błędy niezmienne są następujące:

1) Fałszywa podziałka limbusa i nonjusza;
2) Pryzmatyczność szkieł przyćmiewających;
3) Pryzmatyczność szkieł lusterkowych;
4) Niedobrze oszlifowana powierzchnia lusterek;
5) Błąd ekscentryczności, czyli błąd, polegający na tem, że oś obrotu alhidady nie przechodzi przez środek koła, wyznaczonego limbusem.

Badanie błędów niezmiennych należy do specjalnie do tego powołanych instytucji. Po zbadaniu sekstansu instytucja taka wydaje certyfikat, który się następnie przylepia wewnątrz pokrywki kasetki. Na certyfikacie podana jest firma i numer sekstansu oraz ocena poszczególnych części sekstansu, ponadto zrobiona jest czasami mała tabela, z której odczytuje się błędy ekscentryczności dla poszczególnych odmierzonych kątów. Błędy podane są z takim znakiem, z jakim należy je dodać do odczytanego kąta, aby otrzymać prawidłowy.

Błędy ekscentryczności są przeważnie tak małe, że w praktyce nie są uwzględniane.

O ile błędy niezmienne są wielkie, wtedy można również z pewnym przybliżeniem samemu stwierdzić istnienie tych błędów.

Badanie podziałki limbusa. Jeżeli indeks wskazuje dokładnie na kreskę zerową limbusa, wtedy 60-ta kreska nonjusza powinna zlewać się z 59-tą kreską limbusa, czyli kreska nonjusza, oznaczona dziesiątką, powinna wskazywać na 9° 50′. Jeżeli indeks wskazuje na 10′, wtedy powinna ona wskazywać na 10° i t. d. Wogóle jeżeli indeks wskazuje na jakąkolwiek kreskę limbusa. wtedy 60-ta kreska nonjusza (t. j. kreska, oznaczona 10-ką) powinna również zlewać się z jakąś kreską na limbusie. Nastawiając indeks kolejno na wszystkie kreski limbusa, sprawdza się powyższe. W razie dodatnich wyników podziałka limbusa jest dobra.

Badanie podziałki nonjusza. Podziałkę nonjusza należy zbadać po zbadaniu podziałki limbusa. Do którejkolwiek kreski limbusa przykłada się kolejno wszystkie kreski nonjusza. Jeżeli podziałka nonjusza jest prawidłowa, wówczas odstępy sąsiednich kresek

nonjusza od sąsiednich kresek limbusa powinny się stopniowo i równomiernie zwiększać.

Badanie szkieł przyćmiewających. Chcąc zbadać, czy dane szkło przyćmiewające jest pryzmatyczne, odmierza się jakikolwiek kąt dwa razy, raz przy włączonem, drugi raz przy wyłączonem szkle przyćmiewającem. Jeżeli wyniki pomiarów w obu wypadkach są jednakowe, wtedy szkło nie jest pryzmatyczne.

Odczytywanie kątów jest zbyteczne, wystarczy doprowadzić dwa punkty do nakrycia się i zbadać, czy po włączeniu szkła przyćmiewającego punkty te nakrywają się nadal. Tym sposobem należy kolejno zbadać wszystkie szkła obydwu grup.

Badanie lusterek. Badane lusterko należy tak trzymać, aby w lusterku widoczny był odbity obraz słońca i aby promienie słoneczne padały na lusterko możliwie jak najuskośniej. Przyśrubowawszy do lunety astronomicznej szkło przyćmiewające, obserwuje się w lusterku obraz słońca. Jeżeli kontury obrazu słońca nie są ostre i regularne, wtedy powierzchnia zwierciadlana nie jest gładka, jeżeli zaś zamiast jednego słońca widoczne są dwa słońca, wtedy szkiełko lusterka jest pryzmatyczne.

Badanie błędu ekscentryczności. Badanie błędu ekscentryczności można przeprowadzać po zbadaniu i usunięciu względnie uwzględnieniu wszystkich innych błędów, a zatem i tych błędów, o których będzie mowa w punkcie B.

Błąd ekscentryczności jest wartością zmienną, wzrastającą z odmierzonym kątem. Znając błąd ekscentryczności dla dwóch dowolnych kątów, można obliczyć błędy dla pozostałych kątów.

Zasada oznaczania błędu ekscentryczności polega na odmierzaniu dokładnie znanego kąta. Różnica pomiędzy tym kątem a odmierzoną wartością jest błędem ekscentryczności.

Na morzu można obliczyć dokładną odległość kątową dwu gwiazd, a następnie odległość tę zmierzyć, przyczem należy wybierać dwie gwiazdy, których odległość jest możliwie wielka, ale nie większa od 120°.

Błędy ekscentryczności sekstansów są zazwyczaj tak małe, że powyższy sposób nie daje przktycznych rezultatów, gdyż niedokładności obserwacji są przeważnie większe od samych błędów ekscentryczności.

B. *Błędy zmienne* są to takie błędy, które można samemu usunąć; nie polegają one zatem na błędnej fabrykacji, lecz na błędnem nastawieniu niektórych części. Do błędów zmiennych należą:

1) Błąd pionowości dużego lusterka ;
2) Błąd pionowości małego lusterka ;
3) Błąd indeksu ;
4) Błąd równoległości osi lunety.

Badanie i usuwanie tych błędów należy przeprowadzać w podanej kolejności.

Ad 1. — Aby zbadać, czy płaszczyzna dużego lusterka jest prostopadła do płaszczyzny przyrządu, przymocowuje się alhidadę mniejwięcej w połowie limbusa, następnie trzyma się sekstans poziomo na wysokości oczu, tak, aby duże lusterko było po stronie oka, a limbus po przeciwnej stronie. Celując jednem okiem przez wewnętrzną krawędź lusterka na prawy koniec limbusa, czyli na ten koniec, na którym znajduje się kreska zerowa, widzi się równocześnie w lusterku obraz odbity drugiego końca limbusa.

Jeżeli płaszczyzna dużego lusterka jest prostopadła do płaszczyzny limbusa, wówczas część limbusa, widziana w lusterku, tworzy niejako dalszy ciąg limbusa widzianego wprost. Jeżeli limbus, widziany w lusterku, jest nieco wyżej albo niżej, wtedy duże lusterko nie jest pionowe.

Za lusterkiem, na jego oprawie znajduje się mała mosiężna śrubka. Przy pomocy specjalnej igły, dołączonej do każdego sekstansu, obraca się tę śrubkę tak długo, aż lusterko ustawi się pionowo do płaszczyzny przyrządu.

Ad 2. — Badanie pionowości małego lusterka polega na porównywaniu jego położenia względem dużego lusterka, a zatem może być przeprowadzone dopiero po poprawieniu położenia dużego lusterka.

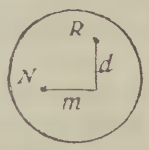
Badanie pionowości małego lusterka przeprowadza się równocześnie z badaniem błędu indeksu. Błędem indeksu nazywa się błąd, polegający na tem, że lusterka nie są do siebie równoległe w chwili, kiedy indeks wskazuje na zero.

W polu widzenia lunety widoczne są równocześnie dwa obrazy ; jeden widziany jest wprost przez wycięcie małego lusterka, a drugi przez odbicie się najpierw o duże, a potem o małe lusterko. Przy poruszaniu alhidadą pierwszy obraz pozostaje nieruchomy, a drugi porusza się, a przy dalszem obracaniu alhidadą wychodzi zupełnie z pola widzenia ; dlatego pierwszy obraz nazywa się *obrazem nieruchomym*, a drugi obrazem *ruchowym*.

Dla zbadania położenia małego lusterka nastawia się indeks na zero, następnie wkręciwszy lunetę astronomiczną, obserwuje się wyraźny, ostro zarysowujący się i odległy punkt, np. gwiazdę.

Obraz ruchomy i nieruchomy jednego i tego samego punktu przy alhidadzie, nastawionej na zero, powinny się teoretycznie nakrywać, tymczasem najczęściej tak nie jest.

W polu widzenia widoczne są dwie gwiazdy tak jak na rys. 19. Przy obrcaniu śrubki mikrometrycznej ruchoma gwiazda *R* porusza się w płaszczyźnie przyrządu, a zatem o ile sekstans trzymany jest pionowo, to po linji *d*. Tym sposobem można gwiazdę *R* doprowadzić do jednego poziomu z gwiazdą nieruchomą *N*. Indeks oczywiście już nie będzie wskazywał na zero, a odległość ruchomej gwiazdy od nieruchomej będzie wynosiła *m*.



Rys. 19.

Chcąc, aby gwiazda ruchoma nakryła gwiazdę nieruchomą, należy ustawić małe lusterko pionowo, a uskutecznia się to przez obracanie małej mosiężnej śrubki, znajdującej się za lusterkiem na jego oprawie w pobliżu środkowego punktu górnej krawędzi. (Czasami są dwie śrubki pod lusterkiem, t. j. na przeciwnej stronie ramy przyrządu). Przez odpowiednie obracanie tej śrubki szpilką można gwiazdę *R* przesunąć w kierunku poziomym o wartość *m* tak, aby się nakrywała z gwiazdą *N*.

Gdyby obecnie nastawiło się indeks ponownie na zero, wówczas ruchoma gwiazda znowu podniosłaby się o wartość *d*, leżąc jednakże obecnie na jednej pionowej linji z gwiazdą nieruchomą.

Z teorji sekstansu wynika, że lusterka wtedy powinny być do siebie równoległe, gdy obraz ruchomy i nieruchomy jednego i tego samego punktu nakrywają się; gdy zatem indeks wskazuje na zero pomimo tego, że te obrazy się nie nakrywają, to położenie małego lusterka jest fałszywe. Małe lusterko powinno być na tyle przekręcone dookoła pionowej osi, aby gwiazdy się nakryły, czyli aby małe lusterko było równoległe do dużego. Powyższe można uskutecznić, obracając śrubkę, znajdującą się również za lusterkiem na jego oprawie, lecz niżej i więcej z boku.

Odstęp *d* na rys. 19 spowodowany jest błędem indeksu i może być wyrównany albo przez obracanie śrubki mikrometrycznej, t. j. przez poruszanie alhidady, albo przez obracanie małego lusterka dookoła pionowej osi. Odstęp *m* spowodowany jest błędem pionowości małego lusterka i może być usunięty przez obracanie małego lusterka dookoła poziomej osi.

Błąd pionowości lusterek należy jak najdokładniej usuwać i sprawdzać przed każdą obserwacją, szczególnie błąd pionowości małego lusterka, którego konstrukcja nie jest tak silna, jak konstrukcja dużego lusterka i którego położenie może wskutek tego łatwiej ulec zmianie.

Ad 3. — Błąd indeksu usuwa się tylko wtedy, gdy jest bardzo wielki. Mniejsze błędy indeksu uwzględnia się rachunkowo, wyznaczywszy każdorazowo ich wartość (t. j. przed każdą obserwacją).

Dokładne usuwanie błędu indeksu nie jest racjonalne, gdyż na wartość tego błędu wpływa również ewentualna pryzmatyczność szkieł przyćmiewających, a uwzględnianie i wyznaczanie błędu indeksu jest łatwe i wygodne.

Jak wyżej wspomniano, błąd indeksu może być uwzględniony w dwojaki sposób, a mianowicie albo przez obracanie małego lusterka dookoła osi pionowej, albo przez obracanie dużego lusterka również dookoła osi pionowej, t. j. przez poruszanie alhidady. W pierwszym wypadku błąd indeksu zostaje usunięty, w drugim wypadku błąd indeksu zostaje oznaczony. W obu wypadkach błąd pionowości małego lusterka musi być poprzednio usunięty.

Doprowadziwszy oba obrazy do nakrycia się przy pomocy śrubki mikrometrycznej, odczytuje się kąt. Kąt ten jest błędem indeksu. Błąd indeksu otrzymuje taki znak, aby dodany do odczytanego kąta dał kąt prawidłowy.

Gdy po doprowadzeniu do nakrycia się obrazu ruchomego z obrazem nieruchomym jednego i tego samego punktu indeks leży z prawej strony kreski zerowej, wówczas wszystkie odczytywane kąty będą o błąd indeksu za małe, błąd indeksu otrzymuje zatem znak dodatni; w przeciwnym wypadku błąd indeksu otrzymuje znak ujemny.

Błąd indeksu należy wyznaczyć przed każdą obserwacją, używając przytem wedle możności tych samych szkieł przyćmiewających, które mają być używane w czasie obserwacji, gdyż ewentualna pryzmatyczność szkieł przyćmiewających przechodzi na błąd indeksu.

Odczytując dodatni błąd indeksu, czyli kąt po prawej stronie kreski zerowej, należy pamiętać, że wartość, odczytana na nonjuszu, odpowiada odstępowi indeksu od najbliższej kreski limbusa, leżącej po jego prawej stronie: zatem do wartości, odczytanej na limbusie z dokładnością na dziesiątki minut, należy dodać 10′ mniej wartość odczytana na nonjuszu.

Inny sposób odczytywania dodatnich błędów indeksu polega na tem, że kreskę zerową uważa się za 360°, następną kreskę w prawo za 359° 50′ i t. d. Odczytany kąt, odjęty od 360°, jest kątem żądanym.

W dzień oznacza się błąd indeksu przy pomocy słońca; w tym celu doprowadza się dwa razy ruchomy obraz słońca do styczności z nieruchomym, raz w ten sposób, aby ruchomy obraz był u góry, a drugi raz tak, aby ruchomy obraz był u dołu.

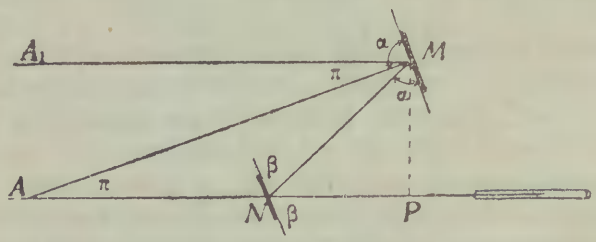
Gdyby błędu indeksu nie było, wówczas numeryczne wartości odczytanych kątów musiałyby być w obu wypadkach równe sobie i równałyby się średnicy słońca. Z powodu błędu indeksu jedna wartość jest o błąd indeksu za duża, druga za mała. Numeryczna różnica obu odczytanych wartości równa jest zatem podwójnemu błędowi indeksu.

Aby otrzymać błąd indeksu, dzieli się numeryczną różnicę odczytanych kątów przez dwa, przyczem błąd indeksu jest dodatni, jeżeli większy jest kąt, odczytany z prawej strony, a ujemny, jeżeli większy jest kąt, odczytany z lewej strony.

Nadając kątom, odczytanym z prawej strony, znak dodatni, a kątom, odczytanym z lewej strony, znak ujemny, otrzymuje się błąd indeksu z prawidłowym znakiem, dzieląc sumę algebraiczną odczytanych wartości przez dwa.

Suma numerycznych wartości odczytanych kątów, względnie różnica algebraiczna, podzielona przez 4, równa jest promieniowi słońca. Promień słońca, otrzymany powyższym sposobem, porównuje się z promieniem, podanym w roczniku astronomicznym. Różnica, większa od 5″, świadczy o niedokładnej albo mylnej obserwacji. W podobnym wypadku należy obserwację powtórzyć.

Błąd indeksu można mniej dokładnie oznaczyć przy pomocy widnokręgu, albo jakiegokolwiek przedmiotu o wyraźnych konturach, o ile odległość tego przedmiotu jest większa od jednej mili morskiej.



Rys. 20.

Oznaczając błąd indeksu przy pomocy przedmiotu, którego odległość jest mała, popełnia się t. zw. błąd paralaksy. Z rys. 20 widać, że obraz ruchomy i nieruchomy jednego i tego samego punktu A nakrywają się, o ile lusterka

są równoległe, a odległość punktu A jest tak wielka, że kierunek promienia MA może być uważany za równoległy do AN; w przeciwnym wypadku powstaje błąd paralaksy π, przyczem

$$\operatorname{tg} \pi = \frac{MP}{AP},$$

gdzie MP jest dla danego sekstansu wartością stałą i wynosi około 5 cm, a AP jest odległością obserwowanego przedmiotu.

Jeżeli π ma być mniejsze od 5″, wtedy $AP > MP \operatorname{ctg} 5''$.

Błąd paralaksy wpływa również na dokładność mierzonych kątów, o ile przedmiot obrazu ruchomego znajduje się blisko, a kąt widzenia jest mały.

Przy mierzeniu pionowych kątów objektów lądowych (latarń morskich) uwzględnia się błąd indeksu, tworząc średnią arytmetyczną pomiędzy numeryczną wartością dodatniego i ujemnego kąta, t. j. kąta, odczytanego z prawej i z lewej strony kreski zerowej. W tym celu ustawia się raz obraz ruchomy powyżej obrazu nieruchomego, a drugi raz odwrotnie.

Ad 4. — Nierównoległość osi lunety do płaszczyzny przyrządu ma naogół bardzo mały wpływ na dokładność odmierzonych kątów. Błąd, spowodowany nierównoległością osi lunety, wzrasta z odmierzonym kątem.

O nierównoległości osi lunety można się przekonać, mierząc możliwie duży kąt widzenia, np. pomiędzy dwoma gwiazdami. Okular lunety astronomicznej należy tak przekręcić, aby dwie nitki leżały równlegle do płaszczyzny przyrządu. Doprowadziwszy obraz ruchomy do nakrycia się z obrazem nieruchomym na tle jednej nitki, przechyla się sekstans w ten sposób, aby obrazy znajdowały się na tle drugiej nitki. Jeżeli obrazy nadal się nakrywają, wtedy oś lunety jest równoległa; jeżeli w miarę przechylania sekstansu obrazy się rozchodzą. wówczas oś lunety nie jest równoległa do płaszczyzny przyrząsdu.

Na pierścieniu nośnika lunety znajdują się dwie śrubki, przy pomocy których koryguje się położenie lunety.

5. Obchodzenie się z sekstansem. Sekstans jest przyrządem precyzyjnym i wymaga odpowiedniego obchodzenia się z nim. Przedewszystkiem należy ochraniać sekstans od wszelkich uderzeń i wstrząśnień.

Po obserwacji należy sekstans natychmiast włożyć do kasetki, przytwierdzając go do niej drewnianią zakrętką. Przed włożeniem sekstansu do kasetki należy szkła przyćmiewające przekręcić nawew-

nątrz, aby nie uderzały o brzegi kasetki, a alhidadę należy przymocować śrubką zaciskową, aby nie mogła się poruszać. Lunety należy wkładać do odpowiednich gniazd, przytwierdzając je ewentualnie zakrętkami.

Chcąc wyjąć sekstans z kasetki chwyta się lewą ręką ramę sekstansu, odkręciwszy uprzednio zakrętkę, następnie chwyta się prawą ręką za rączkę sekstansu. Nie należy nigdy podnosić sekstansu, chwytając za alhidadę lub inną część, jak np. lusterko lub nośnik lunety.

Po rozluźnieniu śrubki zaciskowej nie należy doprowadzać alhidady do położenia krańcowego, gdyż alhidada uderza wtedy czasami o nośnik lunety, względnie o ramę małego lusterka, a tem samem położenie tych części może ulec zmianie.

W razie potrzeby czyści się sekstans specjalnym pędzelkiem, dołączonym do każdego sekstansu. Ewentualną wilgoć usuwa się przy pomocy skórki zamszowej albo szmatki flanelowej.

Sekstans należy wedle możności jak najmniej wystawiać na działanie światła słonecznego, szczególnie, jeśli części szklane lub srebrna podziałka są wilgotne, gdyż wtedy powstają żółte plamy, które potem nie schodzą. Nie należy nigdy dotykać palcami lusterek i srebrnej podziałki.

Śrubkę zaciskową i mikrometryczną oraz gwinty lunety należy co pewien czas lekko naoliwić, używając do tego oliwy, wolnej od kwasów.

Naprawy sekstansu nie powinno się podejmować samemu, lecz należy ją powierzać specjalnym, powołanym do tego mechanikom.

Śrubkami korekcyjnemi należy jak najmniej manipulować, a zatem tylko w razie koniecznej potrzeby, gdyż przez częste obracanie tych śrubek rozluźnia się zczasem cały system; dlatego lepiej jest błąd indeksu każdorazowo oznaczyć, a nie usuwać.

6. Mierzenie kątów sekstansem. Przy mierzeniu kątów pionowych kieruje się lunetę na dolny przedmiot, a przy mierzeniu kątów poziomych na lewy przedmiot. Wedle możności należy posługiwać się lunetą astronomiczną, która powiększa najsilniej; jedynie wtedy, gdy pole widzenia jest zbyt słabo oświetlone, używa się nocnej lunety, albo przeprowadza się obserwację nawet bez lunety. Kąt widzenia można tem dokładniej nastawić i odmierzyć, im silniej luneta powiększa. Do obserwacji objektów lądowych, przy których wielka dokładność nie jest potrzebna, używa się lunety terestrycznej, która powiększa tylko 2 — 3 razy, ale nie odwraca obrazu.

Przy kątach pionowych dolny punkt jest obrazem nieruchomym, a górny ruchomym, przy kątach poziomych lewy przedmiot jest obrazem nieruchomym, a prawy ruchomym.

Zwróciwszy lunetę na dolny, względnie na lewy przedmiot, należy sekstans trzymać jak najdokładniej w płaszczyźnie kąta widzenia, w przeciwnym wypadku doprowadzenie obrazu ruchomego do nakrycia się z nieruchomym jest niemożliwe. Poruszając alhidadą i równocześnie balansując nieco sekstansem dookoła osi lunety, staramy się obraz ruchomy i nieruchomy możliwie do siebie zbliżyć, t. j. przynajmniej na tyle, aby oba punkty widziane były równocześnie w polu widzenia lunety.

Uzyskawszy to, przymocowuje się alhidadę śrubką zaciskową, a sekstans wprawia się w lekki ruch wahadłowy dookoła osi lunety, przyczem obraz ruchomy zakreśla łuk. Śrubką mikrometryczną należy tak manipulować, aby powyższy łuk przechodził przez punkt nieruchomy. Po osiągnięciu powyższego sekstans jest nastawiony na żądany kąt widzenia.

Jeżeli obraz ruchomy widziany jest słabiej od nieruchomego, wtenczas należy lunetę zniżyć, t. j. przybliżyć do ramy przyrządu, przy pomocy śrubki, znajdującej się pod nośnikiem lunety. Jeżeli obraz nieruchomy widziany jest słabiej, wtenczas należy lunetę podnieść.

Mierząc kąt widzenia pomiędzy jaśniejszym i ciemniejszym przedmiotem, należy tak uregulować odległość lunety od płaszczyzny przyrządu, aby oba obrazy widziane były jak najwyraźniej.

Bardzo ważną jest rzeczą nastawienie okularu lunety na ostre widzenie. Najlepiej nastawia się lunetę na ostre widzenie przed wkręceniem do nośnika, obserwując jakikolwiek odległy przedmiot.

Odmierzanie wysokości ciał niebieskich jest trudniejsze, gdyż po pierwsze wysokość ustawicznie się zmienia, wobec czego dla każdej odmierzonej wysokości należy dokładnie zanotować czas, a powtóre punkt przecięcia się koła wierzchołkowego z widnokręgiem nie jest wprost widoczny.

Do odmierzania wysokości ciał niebieskich potrzeba dwóch obserwatorów. Jeden mierzy wysokość, a drugi patrzy przez ten czas na zegarek i liczy na głos sekundy od zera do dziesięciu, zaczynając następnie znowu liczyć od 1, a nie od 11. Pierwszy obserwator wywołuje odnośną cyfrę w chwili, kiedy wysokość jest najdokładniej nastawiona albo woła wtedy „stop.” Drugi obserwator zapisuje na przygotowanej karteczce dokładny czas, zaczynając od sekund, a kończąc

na godzinach, następnie zapisuje kąt, odczytany przez pierwszego obserwatora.

Do zapisania momentu używa się specjalnych zegarków obserwacyjnych, u których wskazówka sekundowa musi ściśle odpowiadać położeniu wskazówki minutowej.

Do obserwacji słońca używa się prawie zawsze lunety astronomicznej, następnie dobiera się odpowiednie szkła przyćmiewające dla obrazu ruchomego, t. j. dla słońca, ewentualnie też dla widnokręgu. Lunetę skierowuje się na punkt widnokręgu, leżący możliwie pionowo pod słońcem, następnie trzymając sekstans możliwie jak najbardziej pionowo, posuwa się powoli alhidadę do góry, aż słońce ukaże się w polu widzenia w pobliżu widnokręgu.

Jeżeli wysokość słońca wzrasta (przed południem), wtenczas należy obraz słońca nieco do wody zanurzyć, jeżeli wysokość słońca maleje po południu), wtedy należy pomiędzy słońcem a widnokręgiem pozostawić małą wolną przestrzeń. Należy pamiętać, że przy obserwacji przez lunetę astronomiczną woda widziana jest u góry, a niebo u dołu.

Przymocowawszy alhidadę śrubką zaciskową, wprawia się sekstans w lekki ruch wahadłowy dookoła osi lunety, przyczem obraz ruchomy, t. j. słońce, zatacza łuk. Wysokość słońca jest prawidłowo nastawiona, jeżeli powyższy łuk jest styczny do linji widnokręgu.

Ruchomy obraz tarczy słonecznej może być styczny do widnokręgu przy ukośnem położeniu płaszczyzny sekstansu, lecz wtedy odmierzony kąt również nie leży w płaszczyźnie koła wierzchołkowego, jest zatem większy od wysokości. Przy wyprostowaniu sekstansu obraz słońca zanurza się do wody, zataczając łuk. Dla powyższych powodów wprawianie sektsansu w ruch wahadłowy dookoła osi lunety jest nieodzownym warunkiem prawidłowych pomiarów wysokości, przyczem wysokość jest tylko wtedy prawidłowo nastawiona, gdy łuk, który słońce przytem zatacza, jest styczny do widnokręgu.

Powyższym sposobem mierzy się wysokość górnej albo dolnej krawędzi słońca. Odmierzony kąt różni się od wysokości astronomicznej, o czem będzie szczegółowo mowa w następnym rozdziale.

U słońca mierzy się przeważnie wysokość dolnej krawędzi, przyczem słońce widoczne jest wtedy na tle nieba. Jeżeli dolna krawędź słońca zakryta jest chmurami, wtedy odmierza się wysokość górnej krawędzi, przyczem słońce widoczne jest na tle wody.

Przy księżycu mierzy się wysokość górnej lub dolnej krawędzi w zależnosci od tego, która krawędź jest oświetlona.

Obserwując wysokość ciała niebieskiego w azymucie *Ost*, czyli w czasie wzrastającej wysokości, należy alhidadę przymocować w takiem położeniu, aby łuk, zatoczony przez to ciało niebieskie, zanurzał się nieco do wody, następnie balansując sekstansem dookoła osi lunety, odczekuje się chwilę, w której ten łuk będzie styczny do widnokręgu. Przy obserwacjach ciał niebieskich o azymucie *West* postępuje się odwrotnie.

Dobrze jest robić kilka obserwacyj zrzędu w możliwie krótkich odstępach czasu, a następnie utworzyć średnią arytmetyczną odczytanych wysokości i odpowiadających im czasów. Im więcej robi się obserwacyj, tworząc następnie średnie wartości, tem dokładniejszy jest rezultat obserwacyj. Średnia arytmetyczna nieskończenie wielkiej ilości obserwacyj wolna jest teoretycznie od t. zw. przypadkowych błędów. Pomimo tego nie należy robić więcej aniżeli 5 obserwacyj zrzędu, gdyż wysokość nie zmienia się proporcjonalnie do czasu, a zatem średnia wartość odmierzonych wysokości nie odpowiada ściśle średniej wartości zapisanych momentów.

Nastawiając wysokość gwiazd tym samym sposobem co wysokość słońca lub księżyca, nie miałoby się nigdy pewności, że gwiazda, doprowadzona do widnokręgu, jest rzeczywiście tą gwiazdą, którą się chce obserwować.

Nastawianie wysokości gwiazd przeprowadza się zatem w następujący sposób:

Nastawiwszy indeks na zero, skierowuje się lunetę na obserwowaną gwiazdę. W polu widzenia widoczny jest obraz ruchomy i nieruchomy tej gwiazdy. Przy powolnem posuwaniu alhidady naprzód ruchomy obraz zaczyna się poruszać. Nachylając stopniowo lunetę wraz z sekstansem za oddalającą się ruchomą gwiazdą, doprowadza się ją tym sposobem aż do widnokręgu. Należy przytem w miarę powolnego posuwania alhidady równocześnie nachylać lunetę tak, aby ruchomej gwiazdy nie stracić z pola widzenia. Doprowadziwszy tym sposobem ruchomy obraz gwiazdy do widnokręgu, przymocowuje się alhidadę śrubką zaciskową. Dalszy ciąg obserwacji odbywa się tak samo, jak u słońca.

Obserwator, który nie ma spokojnej ręki, może łatwo w czasie tej manipulacji stracić ruchomą gwiazdę z pola widzenia i musi całą manipulację rozpocząć od początku.

Inny sposób przybliżonego nastawiania wysokości gwiazdy polega na tem, że sekstans bierze się do lewej ręki, trzymając go limbusem do góry, a dużem lusterkiem na dół. Lunetę skierowuje się

na gwiazdę, która jest obecnie obrazem nieruchomym, a poruszając alhidadę, sprowadza się widnokrąg do gwiazdy, przyczem widnokrąg jest obrazem ruchomym.

Doprowadziwszy tym sposobem widnokrąg do gwiazdy, przymocowuje się alhidadę śrubką zaciskową, a następnie odwraca się sekstans, biorąc go znowu do prawej ręki. Dokładne nastawianie wysokości odbywa się, jak w poprzednich wypadkach.

Przy nocnych obserwacjach wskazane jest, aby obserwator, odmierzający wysokości, sam nie odczytywał kątów, gdyż oko jego musi być przyzwyczajone do ciemności.

Dokładność odmierzonych kątów zależy od powiększenia lunety, od wyrazistości obserwowanych przedmiotów i od wprawy obserwatora. Jeżeli kontury przedmiotów są wyraźne, wówczas błąd w obserwacji, przy użyciu astronomicznej lunety, powiększającej 7—9 razy, nie powinien przekraczać 30″.

ROZDZIAŁ II.

Poprawianie odmierzonych wysokości.

1. Wstęp. Wysokość, odmierzona sekstansem, równa jest kątowi, zawartemu pomiędzy pozornym kierunkiem na ciało niebieskie, a pozornym kierunkiem na widnokrąg. Wysokość astronomiczna różni się od wysokości, odmierzonej sekstansem, gdyż wysokość astronomiczna równa jest kątowi, zawartemu pomiędzy prostą, łączącą gwiazdę (środek ciała niebieskiego) ze środkiem ziemi, a horyzontem astronomicznym.

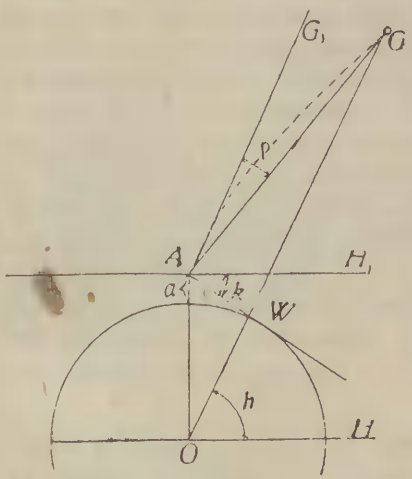
Promień świetlny, łączący gwiazdę z okiem obserwatora, przechodzi z próżni w coraz to gęstsze warstwy powietrza, załamując się skutkiem tego ustawicznie do pionu. Droga, jaką promień świetlny zakreśla, jest przeto linją krzywą. Obserwator widzi gwiazdę w kierunku stycznym do tej krzywej w punkcie ocznym.

Na rys. 21 AG jest rzeczywistym kierunkiem na gwiazdę, AG_1 jest pozornym kierunkiem na gwiazdę.

Dla tych samych powodów pozorny kierunek na widnokrąg jest inny, aniżeli rzeczywisty kierunek na widnokrąg, co na rysunku nie jest uwydatnione.

Na rys. 21 kąt G_1AW jest kątem, odmierzonym sekstansem, a kąt GOH jest wysokością astronomiczną h. Chcąc wysokość, odmierzoną sekstansem, zamienić na wysokość astronomiczną, należy uwzględnić szereg poprawek według poniżej podanej kolejności.

2. Głębokość widnokręgu. Kąt, zawarty pomiędzy pozornym horyzontem a kierunkiem na widnokrąg, nazywa się głębokością widnokręgu. Na rysunku kąt $H_1AW=k$ jest głębokością widnokręgu.



Rys. 21.

Odejmując od odmierzonego kąta G_1AW głębokość widnokręgu, otrzymuje się kąt G_1AH_1, czyli kąt, zawarty pomiędzy pozornym kierunkiem na gwiazdę a pozornym horyzontem. Głębokość widnokręgu jest zatem pierwszą poprawką, która ma znak ujemny.

Głębokość widnokręgu zależy od wzniesienia oka nad poziomem morza, czyli od t. zw. wysokości ocznej a, oraz od załamywania się promienia świetlnego na drodze WA.

Załamywanie się promieni świetlnych zależy od różnicy temperatury wody i powietrza. W tablicach morskich podane są średnie wartości głębokości widnokręgu dla poszczególnych wysokości ocznych.

Średnia głębokość widnokręgu odpowiada jednakowej temperaturze wody i powietrza. W innej tablicy odnajduje się poprawkę, jaką należy dodać do średniej głębokości widnokręgu, aby otrzymać dokładną. Argumentem do tej tablicy jest wysokość oczna oraz różnica temperatury wody i powietrza. W praktyce używa się przeważnie tylko średniej głębokości widnokręgu.

Z powodu zmienności warunków atmosferycznych głębokość widnokręgu jest najniedokładniejszą poprawką odmierzonych wysokości. Czasami warunki załamywania się światła mogą być tak anormalne, że widnokrąg widziany jest powyżej pozornego horyzontu. W podobnym

wypadku głębokość widnokręgu miałaby znak dodatni. Różnica pomiędzy średnią a rzeczywistą głębokością widnokręgu może czasami dochodzić do kilku minut.

Im wyżej jest punkt oczny, tem dokładniejszą otrzymuje się głębokość widnokręgu, dlatego zaleca się przeprowadzać obserwacje z jak najwyższego punktu; jedynie w tych wypadkach, kiedy widnokrąg jest nieco zamglony i niewyraźny i zachodzi obawa nieodróżnienia linji widnokręgu, lepiej jest obserwować z mniejszej wysokości ocznej. Obserwacje takie należy traktować z odpowiedniem zastrzeżeniem.

Najdokładniejszą głębokość widnokręgu otrzymuje się, mierząc ją specjalnemi przyrządami. Najczęściej używanym przyrządem do mierzenia głębokości widnokręgu jest przyrząd Pulfrich'a, polegający na systemie całkowicie odbijających pryzmatów.

Czasami można zmierzyć głębokość widnokręgu sekstansem, o ile widoczne jest jakieś ciało niebieskie, kulminujące na wysokości nie mniejszej niż 60°. Mierząc sekstansem wysokość tego ciała niebieskiego w dwóch przeciwnych do siebie azymutach, otrzymuje się dwie wartość, które w sumie wynoszą 180° plus podwójna głębokość widnokręgu. Wysokość ciała niebieskiego musi być większa od 60°, w przeciwnym wypadku wysokość, odmierzona w odwrotnym azymucie, przekroczyłaby wartość 120°, a tem samem nie mogłaby być odmierzona sekstansem*).

3. Refrakcja astronomiczna. Kąt, zawarty pomiędzy rzeczywistym a pozornym kierunkiem na gwiazdę, czyli na rysunku kąt $GAG_1=\rho$, nazywa się kątem refrakcyjnym. Z powodu załamywania się promieni świetlnych gwiazda widziana jest pozornie wyżej.

Odjąwszy od kąta G_1AH_1 kąt refrakcyjny, otrzymuje się kąt GAH_1, czyli kąt, zawarty pomiędzy rzeczywistym kierunkiem na gwiazdę z pozornym horyzontem. Kąt refrakcyjny uwzględnia się również ze znakiem ujemnym.

Refrakcja astronomiczna zależy od wysokości ciała niebieskiego, od ciśnienia atmosferycznego i od temperatury. Refrakcja przy średniem ciśnieniu (760 mm słupka rtęci) i średniej temperaturze nazywa się *refrakcją średnią*. Refrakcja średnia zależy tylko od wysokości ciała niebieskiego.

Jeżeli ciało niebieskie znajduje się w zenicie, wówczas kąt refrakcyjny wynosi zero, gdyż promienie świetlne padają prostopadle na

*) Sposób obliczania głębokości widnokręgu podany jest w podręczniku Nawigacji.

warstwy powietrzne. Największa refrakcja jest wtedy, gdy ciało niebieskie znajduje się w pobliżu horyzontu.

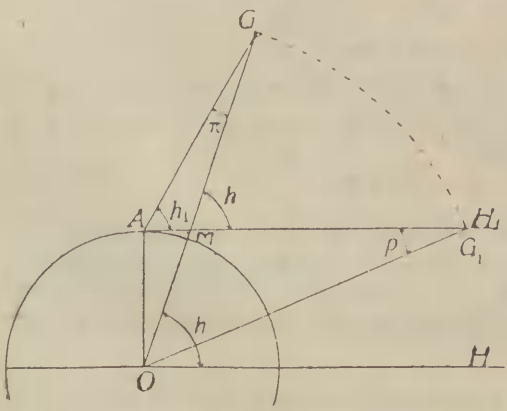
Z powodu wielkiej refrakcji na małych wysokościach nie należy naogół obserwować ciał niebieskich, których wysokość jest mniejsza od 10 stopni. Im mniejsza jest wysokość, tem niedokładniejsza jest średnia refrakcja.

W tablicach morskich podane są średnie refrakcje dla poszczególnych wysokości. W innej tablicy podane są poprawki, jakie należy dodać do średniej refrakcji, aby otrzymać dokładną. Argumentem do tej tablicy jest wysokość, temperatura i ciśnienie atmosferyczne. W praktyce uwzględnia się przeważnie tylką średnią refrakcję.

Pionowa średnica słońca (księżyca) ulega z powodu refrakcji pozornemu skróceniu, gdyż kąt refrakcyjny dla dolnej krawędzi jest większy, aniżeli dla górnej. Powyższe zjawisko jest w czasie wschodu i zachodu tak silne, że może być gołem okiem zaobserwowane.

4. Paralaksa. Po uwzględnieniu głębokości widnokręgu i refrakcji astronomicznej otrzymuje się kąt $GAG_1 = h_1$ (Rys. 22), czyli kąt pomiędzy rzeczywistym kierunkiem na gwiazdę a horyzontem pozornym. Wysokość astronomiczna równa jest kątowi $GOH = h$, a kąt GOH równy jest kątowi GMG_1. Kąt GMG_1 jest kątem zewnętrznym w trój kącie AGM przeto :

$$h = h_1 + \pi.$$



Rys. 22.

Kąt π, czyli kąt zawarty pomiędzy prostą, łączącą obserwatora z gwiazdą, a prostą, łączącą środek ziemi z gwiazdą, nazywa się paralaksą. Chcąc otrzymać wysokość astronomiczną należy do h_1 dodać paralaksę.

Paralaksa jest największa, jeżeli gwiazda znajduje się na horyzoncie w punkcie G_1 i nazywa się wtedy paralaksę poziomą.

Poziomą paralaksę oblicza się z trójkąta G_1AO, a mianowicie :

$$\sin p = \frac{r}{OG_1},$$

przyczem OG_1 jest odległością ciała niebieskiego od ziemi, a r jest promieniem ziemskim. Im większa jest odległość ciała niebieskiego, tem mniejsza jest paralaksa pozioma. Paralaksa gwiazd stałych jest tak mała, że nie wchodzi zupełnie w rachubę. Pozioma paralaksa słońca wynosi niespełna 9″, a pozioma paralaksa księżyca wynosi prawie jeden stopień.

Ponieważ księżyc obraca się dookoła ziemi po torze eliptycznym, przeto odległość księżyca od ziemi, a tem samem paralaksa pozioma jest zmienna. W roczniku astronomicznym podana jest dla każdego dnia wartość poziomej paralaksy księżyca. Dla planet podane są poziome paralaksy dla każdego miesiącia.

Paralaksę π dla pewnej wysokości oblicza się z trójkąta GAO, stosując wzór sinusowy

$$\frac{AO}{OG} = \frac{\sin \pi}{\sin (90 + h_1)},$$

albo

$$\frac{r}{OG} = \frac{\sin \pi}{\cos h_1},$$

stąd

$$\sin \pi = \frac{r}{GO} \cos h_1,$$

a ponieważ

$$\frac{r}{OG} = \frac{r}{OG_1} = \sin p,$$

przeto

$$\sin \pi = \sin p \cos h_1.$$

Ze względu na to, że największa pozioma paralaksa księżyca prawie nie przekracza jednego stopnia, można z wystarczającą dla praktyki dokładnością napisać

$$\pi = p \cos h_1.$$

Z powyższego wzoru widać, że paralaksa wynosi zero, jeżeli ciało niebieskie znajduje się w zenicie, a osiąga największą wartość, jeżeli gwiazda znajduje się na horyzoncie. W tablicach morskich wyszukuje się paralaksę, wchodząc do odpowiedniej tablicy z wysokością i poziomą paralaksą.

5. Promień. Przy pomiarach wysokości słońca i księżyca należy jeszcze uwzględnić promień, gdyż wysokość astronomiczna odnosi się do środkowego punktu ciała niebieskiego, a sekstansem mierzy się wysokość dolnej albo górnej krawędzi.

Promień słońca i księżyca jest wartością zmienną z powodu eliptycznych torów ciał niebieskich. Promień słońca podany jest

w roczniku astronomicznym w odstępach dziesięciu dni, a promień księżyca podany jest dla każdego dnia.

Przy obserwacjach górnych krawędzi należy oczywiście odjąć promień, a przy obserwacjach dolnych krawędzi należy dodać promień.

6. Całkowita poprawka. W wypadkach, kiedy średnia głębokość widnokręgu i średnia refrakcja daje wystarczająco dokładne wyniki, nie uwzględnia się poszczególnych poprawek zosobna, lecz wyszukuje się w specjalnej tablicy t. zw. całkowitą poprawkę. Całkowita poprawka jest sumą algebraiczną poszczególnych poprawek.

Dla wyszukania całkowitej poprawki istnieje osobna tablica dla słońca, osobna dla gwiazd i osobna dla księżyca.

Argumentem do pierwszych dwóch tablic jest wysokość odmierzona i wysokość oczna. Do tablicy z całkowitą poprawką dla księżyca jest jeszcze trzeci argument, a mianowicie paralaksa pozioma.

Na pełnem morzu używa się prawie zawsze tablic z całkowitą poprawką.

Część III.

Rozwiązywanie trójkąta biegunowego.

1. Wstęp. Prawie wszystkie zagadnienia astronomiczne w żeglarstwie polegają na rozwiązywaniu trójkąta biegunowego. Trójkąt sferyczny wyznaczony jest jakimikolwiek trzema elementami. Znając zatem trzy dowolne elementy trójkąta biegunowego, można zawsze obliczyć pozostałe elementy.

W poniższych ustępach omawiane będą tylko te wypadki rozwiązywania trójkąta biegunowego, które mają zastosowanie w astronomji żeglarskiej.

2. Obliczanie wysokości w wypadku ogólnym. Współrzędne horyzontu, a zatem i wysokość, są wartościami, zależnemi od momentu i pozycji. Dla obliczenia wysokości ciała niebieskiego musi być zatem znana pozycja obserwatora i moment.

Dokładny moment otrzymuje się z chronometru, t. j. z dokładnego zegara, wskazującego czas średni w Gryniczu, pozycję natomiast odczytuje się z mapy.

Z tych danych otrzymuje się pośrednio trzy elementy trójkąta biegunowego, potrzebne do obliczenia wysokości, a mianowicie : znając czas średni w Gryniczu M_0, oraz długość geograficzną, oblicza się miejscowy kąt godzinny danego ciała niebieskiego (St. 47—50) i otrzymuje się tym sposobem jeden element trójkąta biegunowego $g\lambda$; następnie wyszukuje się w roczniku astronomicznym deklinację ciała niebieskiego dla danego czasu M_0 i otrzymuje się drugi element δ, wreszcie szerokość geograficzna φ, odczytana z mapy, jest trzecim elementem.

Obliczanie wysokości na podstawie znanej pozycji i znanego momentu jest zatem równoznaczne z obliczaniem wysokości z elementów : kąt godzinny $g\lambda$, szerokość φ i deklinacja δ.

W trójkącie biegunowym znane są dwa boki i kąt między niemi zawarty, a szukany jest trzeci bok h, który otrzymuje się z wzoru cosinusowego:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos g\lambda.$$

Wzór ten jako nielogarytmiczny jest niewygodny i dlatego przekształca się go na dwa wzory logartytmiczne w następujący sposób:

Podstawiając $\cos g\lambda = 1-2 \sin^2 \frac{g\lambda}{2}$, czyli $\cos g\lambda = 1-2 \operatorname{sem} g\lambda$, otrzymuje się:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta - 2 \operatorname{sem} g\lambda \cos \varphi \cos \delta,$$

a po przekształceniu

$$\sin h = \cos (\varphi - \delta) - 2 \operatorname{sem} g\lambda \cos \varphi \cos \delta \quad . \quad . \quad . \quad \text{I.}$$

Wprowadzamy kąt pomocniczy x, któryby zadośćuczynił takiemu równaniu:

$$2 \operatorname{sem} x \cos (\varphi - \delta) = 2 \operatorname{sem} g\lambda \cos \varphi \cos \delta,$$

czyli

$$\operatorname{sem} x = \operatorname{sem} g\lambda \cos \varphi \cos \delta \sec (\varphi - \delta) \quad . \quad . \quad \text{II.}$$

Obliczywszy tym sposobem pomocniczy kąt x, można w I równaniu podstawić $2 \operatorname{sem} x \cos (\varphi - \delta)$ zamiast drugiego wyrazu i otrzymuje się:

$$\sin h = \cos (\varphi - \delta) - 2 \operatorname{sem} x \cos (\varphi - \delta),$$

albo

$$\sin h = \cos (\varphi - \delta) (1 - 2 \operatorname{sem} x):$$

a że $1-2 \operatorname{sem} x = \cos x$, przeto

$$\sin h = \cos (\varphi - \delta) \cos x \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{III.}$$

Mamy zatem dwa wzory logarytmiczne dla obliczania wysokości. Najpierw oblicza się z wzoru II kąt pomocniczy x, a następnie z wzoru III oblicza się wysokość.

Przy obliczaniu kąta pomocniczego wykluczone jest, aby kąt ten był urojony, z III równania wynika bowiem, że

$$\cos x = \frac{\sin h}{\cos (\varphi - \delta)},$$

a że $(\varphi - \delta)$ jest odległością zenitową ciała niebieskiego w chwili kulminacji (str. 19 i 20), czyli dopełnieniem wysokości w czasie kulminacji H, zatem

$$\cos x = \frac{\sin h}{\sin H};$$

ponieważ $H > h$, przeto $\cos x < 1$, czyli kąt x jest zawsze możliwy.

3. Dokładność obliczonej wysokości. W zadaniach astronomji żeglarskiej nie wystarcza umiejętność obliczania pewnej wartości,

lecz niemniej ważną jest rzeczą zdawanie sobie sprawy ze stopnia dokładności przeprowadzonych obliczeń.

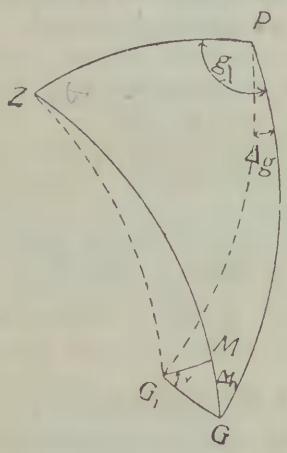
Przy obliczaniu wysokości dokładność wyniku zależy od dokładności tych elementów, z których wysokość została obliczona, a więc od dokładności szerokości, deklinacji i kąta godzinnego.

W zadaniach astronomji żeglarskiej błędy szerokości i deklinacji są praktycznie wykluczone, gdyż szerokość można odczytać z mapy, a deklinację wyszukuje się z rocznika z dokładnością, która dla celów żeglugi jest w każdym wypadku zupełnie wystarczająca. Jedynie w kącie godzinnym może tkwić większy błąd, gdyż kąt godzinny otrzymuje się pośrednio z chronometru, wszelki zatem błąd chronometru przechodzi całą swoją wartością na kąt godzinny.

Błąd chronometru, względnie błąd kąta godzinnego, oznaczamy przez Δg, a błąd wysokości, spowodowany tym błędem, oznaczamy przez Δh.

Na rys. 23 ZPG jest bezbłędnym trójkątem biegunowym. Chcąc zbadać wpływ błędu kąta godzinnego na wysokość, należy skonstruować nowy trójkąt, w którym φ i δ pozostają bez zmiany, a kąt godzinny różni się o małą wartość Δg. Różnica wysokości, względnie odległości zenitowej, w błędnym i prawidłowym trójkącie jest szukaną wartością Δh.

Trótkąt ZPG_1 jest tym błędnym trójkątem, przyczem $PG = PG_1$, a zatem łuk GG_1 jest łukiem równoleżnika deklinacyjnego.



Rys. 23.

W obu trójkątach jest zatem jednakowa deklinacja i jednakowa szerokość ($PZ = PZ$), tylko kąty godzinne różnią się o Δg, a tem samem muszą się różnić i wysokości, względnie odległości zenitowe.

Poprowadziwszy równoleżnik wysokości przez G_1, tak, aby $ZG_1 = ZM$, otrzymuje się różnicę odległości zenitowych

$$\Delta h = ZG - ZG_1,$$

albo $$\Delta h = ZG - ZM,$$

albo $$\Delta h = MG.$$

Trójkąt MGG_1 można z powodu małych jego rozmiarów uważać za trójkąt płaski z kątem prostym przy M.

W tym trójkącie bok $MG = \Delta h$, a bok $GG_1 = \Delta g \cos \delta$, podobnie jak w nawigacji zboczenie $a = u\lambda \cos \varphi$. Kąt MG_1G równy jest kątowi paralaktycznemu ν, gdyż ramiona jego są wzajemnie prostopadłe do ramion kąta paralaktycznego.

Z powyższego trójkąta wynika:

$$\sin \nu = \frac{\Delta h}{\Delta g \cos \delta},$$

czyli $$\Delta h = \Delta g \cos \delta \sin \nu \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{I.}$$

Z wzoru sinusowego mamy:

$$\frac{\cos \delta}{\cos \varphi} = \frac{\sin \omega}{\sin \nu}$$

czyli $$\cos \delta \sin \nu = \cos \varphi \sin \omega;$$

podstawiwszy to do I. wzoru, otrzymuje się

$$\Delta h = \Delta g \cos \varphi \sin \omega \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{II.}$$

Dyskusja nad wzorami I i II: Największy nawet błąd chronometru nie ma żadnego wpływu na obliczoną wysokość, jeżeli szerokość geograficzna, albo deklinacja ciała niebieskiego wynosi 90°, czyli jeżeli obserwator albo gwiazda znajduje się na biegunie, gdyż $\cos 90° = 0$.

Powyższą okoliczność można było zgóry przewidzieć, bo wiadomo, że: 1) Ciała niebieskie nie zmieniają wysokości dla obserwatora, znajdującego się na biegunie, a zatem wysokości są tam niezależne od czasu; 2) Wysokość biegunowa, czyli wysokość gwiazdy, znajdującej się na biegunie, jest dla danej miejscowości wartością stałą, czyli niezależną od czasu.

W miarę tego, jak szerokość lub deklinacja maleje, wpływ błędu Δg na Δh staje się coraz większy, a największy jest przy $\varphi = 0$ i $\delta = 0$.

Podobnie błąd chronometru nie ma wpływu na obliczoną wysokość, jeżeli albo azymut albo kąt paralaktyczny $= 0°$ lub 180°, t. j. w czasie górnej lub dolnej kulminacji, gdyż $\sin 0° = 0$.

W czasie kulminacji wysokość jest największa, względnie najmniejsza, a zatem jest to moment, kiedy wysokość przestaje wzrastać, a zaczyna opadać (lub odwrotnie). W momencie samej kulminacji wysokość się nie zmienia, gdyż kierunek ruchu dziennego jest wtedy równoległy do horyzontu.

Im większy jest azymut, względnie kąt paralaktyczny, czyli im dalej jest ciało niebieskie od południka świata, tem większy jest wpływ błędu Δg na Δh.

Błąd w kącie godzinnym ma największy wpływ na wysokość wtedy, gdy azymut albo kąt paralaktyczny $= 90°$, czyli, gdy ciało niebieskie znajduje się na pierwszym wertykale, lub w największej dygresji. (Moment, w którym kąt paralaktyczny $= 90°$, nazywa się największą dygresją. W późniejszych ustępach wykaże się, że te ciała niebieskie, które mogą być w największej dygresji, nie mogą przechodzić przez pierwszy wertykał i odwrotnie).

Z powyższych wzorów wynika również, że błąd kąta godzinnego w najgorszym wypadku przechodzi całą swoją wartością na błąd w wysokości, t. j. wtedy, gdy $\varphi = 0°$, a $\omega = 90°$, albo gdy $\delta = 0°$, a $\nu = 90°$, w każdym innym wypadku $\Delta h < \Delta g$, gdyż sinus i cosinus jest zawsze mniejszy od jedności.

Wzór $\Delta h = \Delta g \cos \varphi \sin \omega = \Delta g \cos \delta \sin \nu$ można przedstawić również w takiej postaci:

$$\frac{\Delta h}{\Delta g} = \cos \varphi \sin \omega = \cos \delta \sin \nu.$$

przyczem wyrażenie $\frac{\Delta h}{\Delta g}$ przedstawia stosunek dowolnie małej zmiany wysokości do odpowiadającej jej zmiany w kącie godzinnym, względnie w czasie.

Zaznaczyć należy, że Δh i Δg niekoniecznie należy pojmować jako błędy, ale wogóle jako odpowiadające sobie dowolnie małe przyrosty zmiennych h i g, przyczem inne elementy uważane są za wartości stałe. Stosunek $\frac{\Delta h}{\Delta g}$ dowolnie małego przyrostu wysokości do odpowiadającej mu zmiany czasu wyraża zatem szybkość, z jaką się zmienia wysokość w danej chwili.

Szybkość zmiany wysokości równa jest zatem zeru, gdy $\varphi = 90°$, $\delta = 90°$ albo $\omega = 0°$, $\nu = 0°$. Wysokość zmienia się najszybciej, gdy $\varphi = 0°$, $\delta = 0°$, $\omega = 90°$ albo $\nu = 90°$.

4. Obliczanie wysokości w momencie kulminacji. Obliczanie wysokości w momencie górnej kulminacji jest bardzo łatwe, gdyż kąt godzinny równy jest wtedy zeru, czyli do wzoru

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos g\lambda.$$

podstawia się $\cos g\lambda = 1$. Oznaczywszy wysokość w momencie kulminacji przez H, otrzymuje się:

$$\sin H = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta,$$

albo

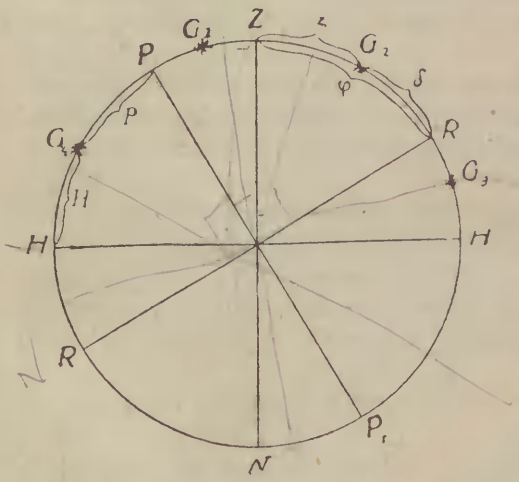
$$\sin H = \cos (\varphi - \delta).$$

Oznaczywszy zaś odległość zenitową w czasie kulminacji przez $z' = 90 - H$, otrzymuje się:

$$\cos z' = \cos(\varphi - \delta),$$

stąd $$z' = \varphi - \delta.$$

Do tego samego rezultatu można dojść prostszym sposobem drogą rysunku. Na rys. 24 przedstawiony jest południk świata, równik RR z osią świata PP' i horyzont HH z linią pionu ZN. Gwiazda może przechodzić przez górny południk świata, albo pomiędzy biegunem i zenitem, albo pomiędzy zenitem i równikiem, albo pomiędzy równikiem i horyzontem. (Mowa jest jedynie o widocznej półkuli).



Rys. 24.

Gwiazda G_2 kulminuje pomiędzy zenitem z równikiem, przyczem łuk$ZR = \varphi$, łuk $G_2R = \delta$, a łuk$ZG_2 = z'$ czyli $z^1 = \varphi - \delta$. Ta zależność ważna jest również dla gwiazdy G_1 i G_3, jeśli uwzględnia się odpowiednio znaki algebraiczne poszczególnych wartości.

Z rysunku widać, że odległość zenitowa gwiazdy G_1 ma znak odwrotny, niż odległość zenitowa gwiazdy G_2, a deklinacja gwiazdy G_3 jest przeciwnego znaku, niż deklinacja gwiazdy G_2.

Jeżeli przyjęto deklinacje N-owe za dodatnie, a S-owe za ujemne, to konsekwentnie należy odległość zenitową uważać za dodatnią, jeżeli ciało niebieskie kulminuje w azymucie S, a za ujemną, jeżeli ciało niebieskie kulminuje w azymucie N.

Ogólnie: $z' > 0$, jeżeli $\varphi > \delta$.

Analogiczną zależność otrzymuje się dla dolnej kulminacji, a mianowicie (zob. rys.):

$$H = \varphi - p.$$

5. Obliczanie azymutu w wypadku ogólnym. Azymut zależy, podobnie jak wysokość, od pozycji i momentu. Dla obliczenia azymutu musi być znana pozycja i moment, czyli pośrednio kąt godzinny, szerokość i deklinacja.

W trójkącie biegunowym znane są zatem dwa boki i kąt między niemi zawarty, a szukany jest drugi kąt.

Dla rozwiązania powyższego problemu istnieją rozmaite wzory trygonometryczne. W praktyce oblicza się azymut przeważnie przy pomocy specjalnych tablic.

Znajomość azymutu ciał niebieskich potrzebna jest w astronomji żeglarskiej najwyżej z dokładnością na $^1/_2$ stopnia, dlatego wystarczają całkowicie tablice o argumentach φ, δ i $g\lambda$, w których argumenty te podane są w odstępach od jednego do jednego stopnia, względnie w odstępach 4 minut czasowych, a w których wynajduje się azymuty zaokrąglone na pełne stopnie. Tablice takie obliczone są przeważnie na podstawie wzorów Nepera (angielskie tablice Burdwood'a, niemieckie Ebsen'a i inne).

Na specjalną wzmiankę zasługują t. zw. tablice *ABC*, przy pomocy których odnajdywanie azymutu jest wprawdzie nieco uciążliwsze, lecz zato tablice te mają zastosowanie w wielu innych zagadnieniach żeglarskich.

Tablice *ABC* obliczone są na podstawie wzoru cotangensowego:

$$-\operatorname{tg}\varphi \operatorname{ctg} g + \operatorname{tg}\delta \operatorname{cosec} g = \sec\varphi \operatorname{ctg}\omega,$$

przyczem

$$-\operatorname{tg}\varphi \operatorname{ctg} g = A,$$

$$\operatorname{tg}\delta \operatorname{cosec} g = B,$$

a

$$\sec\varphi \operatorname{ctg}\omega = C,$$

czyli

$$A + B = C.$$

Tablice składają się z trzech osobnych tablic: z tablicy *A*, z tablicy *B* i z tablicy *C*.

Argumentem do tablicy *A* jest szerokość φ i kąt godzinny *g*, a wartość tablicowa równa jest $A = -\operatorname{tg}\varphi \operatorname{ctg} g$.

Do tablicy *B* wchodzi się z deklinacją i kątem godzinnym, a znajduje się $B = \operatorname{tg}\delta \operatorname{cosec} g$.

Analogicznie urządzona jest tablica *C*, której argumentami są szerokość i azymut, a wartość tablicowa jest $C = \sec\varphi \operatorname{ctg}\omega$.

Chcąc przy pomocy tablic *ABC* otrzymać azymut wyszukuje się najpierw w tablicy *A* wartość *A*, wchodząc do niej z szerokością i kątem godzinnym, następnie wyszukuje się w tablicy *B* wartość *B*, wchodząc do niej z deklinacją i kątem godzinnym. Po dodaniu wyszukanych wartości *A* i *B* (z uwzględnieniem znaków algebraicznych) otrzymuje się wartość *C*. Z tą wartością oraz z szerokością wchodzi się następnie do tablicy *C* i odnajduje się odpowiedni azymut.

Przy wyszukiwaniu wartości z tablic *ABC* należy uważać na znaki algebraiczne, a mianowicie: *A* ma znak dodatni, jeżeli kąt

godzinny jest większy od 6^h; B jest dodatnie, jeżeli deklinacja i szerokość mają znaki jednakowe. Jeżeli suma algebraiczna z A i B czyli C ma znak dodatni, wtedy azymut leży w ćwiartce równoimiennej z szerokością, jeżeli natomiast C jest ujemne, wtedy azymut leży w ćwiartce o znaku przeciwnym niż szerokość.

Powyższe prawidła wynikają z prawideł o znakach funkcyj trygonometrycznych, przyczem szerokość przyjmuje się zawsze za dodatnią, a konsekwentnie do tego deklinację przyjmuje się za dodatnią, jeżeli jest tego samego znaku, co szerokość i odwrotnie.

Na szerokościach N-owych azymut jest zatem N, jeżeli C jest dodatnie, a S, jeżeli C jest ujemne. Na szerokościach S-owych jest oczywiście odwrotnie.

Azymut otrzymuje się zawsze w postaci kąta ostrego, a zatem należy jeszcze rozstrzygnąć, czy azymut jest O lub W. Rozstrzyga o tem kąt godzinny. Ponieważ południk świata jest równocześnie granicą azymutów O-wych i W-wych oraz kątów godzinnych O-wych i W-wych, przeto azymut jest O, jeżeli kąt godzinny jest O i odwrotnie.

Przy astronomicznem określaniu pozycji znana jest w trójkącie biegunowym, oprócz elementów φ, δ i $g\lambda$, również wysokość h, odmierzona sekstansem; w podobnym wypadku zamiast używać tablic można azymut również obliczyć z wzoru sinusowego:

$$\frac{\cos \delta}{\cos h} = \frac{\sin \omega}{\sin g}$$

stąd

$$\sin \omega = \sin g \cos \delta \sec h.$$

przyczem wystarcza w zupełności wypisywać logarytmy funkcyj trygonometrycznych z dokładnością na trzy miejsca dziesiętne, gdyż dokładność azymutu potrzebna jest tylko na $^1/_2$ stopnia.

Używanie wzoru sinusowego dla obliczania azymutu zaleca się specjalnie przy małych azymutach, względnie przy małych kątach godzinnych, t. j. w pobliżu kulminacji, gdyż używanie tablic jest wtedy niewygodne z powodu wielkich różnic tablicowych i zawiłej interpolacji.

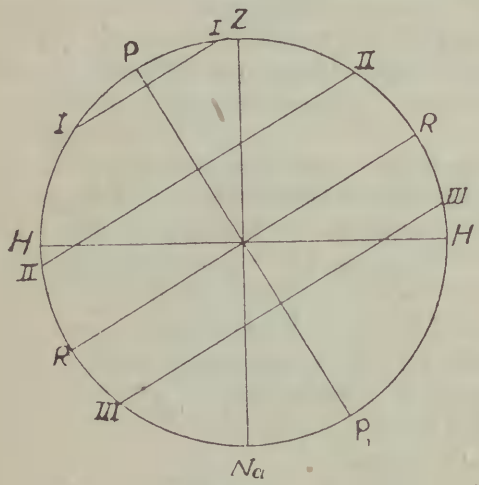
Obliczywszy azymut wzorem sinusowym, otrzymuje się zawsze kąt ostry, należy zatem rozstrzygnąć, w jakiej ćwiartce leży obliczony azymut.

O tem, czy azymut jest O lub W, rozstrzyga kąt godzinny, względnie wzrastająca lub malejąca wysokość. Jeżeli kąt godzinny jest *Ost*, albo jeżeli wysokość wzrasta, wtedy azymut jest O, jeżeli zaś kąt godzinny jest *West*, lub wysokość maleje, wtedy azymut jest W.

O tem, czy azymut jest N lub S, rozstrzyga następujące rozumowanie:

1) Jeżeli deklinacja jest tego samego znaku co widoczny biegun i większa od szerokości, wtedy równoleżnik deklinacyjny I I (Rys. 25) nie przecina się z pierwszym wertykałem *ZN* i leży cały po stronie widocznego bieguna, azymut jest zatem zawsze tego samego znaku co szerokość.

2) Jeżeli deklinacja jest przeciwnego znaku niż szerokość, wtedy widoczna część równoleżnika deklinacyjnego III III znajduje się cała po stronie niewidocznego bieguna. Widoczny azymut jest w każdym razie przeciwnego znaku, niż szerokość.



Rys. 25.

3) Jeżeli deklinacja jest tego samego znaku co szerokość, ale mniejsza od szerokości (równoleżnik II II) wtedy równoleżnik deklinacyjny przecina się z pierwszym wertykałem nad horyzontem, czyli azymut może być *N* albo *S*.

Między punktami przecięcia się równoleżnika deklinacyjnego z pierwszym wertykałem a górną kulminacją azymut ma znak przeciwny niż szerokość, a po przeciwnej stronie pierwszego wertykału azymut ma jednakowy znak z szerokością.

W tablicach morskich jest osobna tabela o argumentach: szerokość φ i deklinacja δ, w której podane są kąty godzinne w momencie przejścia ciała niebieskiego przez pierwszy wertykał.

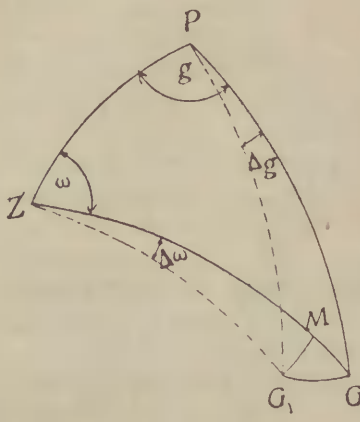
Jeżeli chwilowy kąt godzinny jest większy od kąta godzinnego w momencie przejścia przez pierwszy wertykał, wtedy, jak widać z rysunku, azymut jest równoimienny z szerokością; jeżeli chwilowy kąt godzinny jest mniejszy, wtedy azymut jest znaku przeciwnego niż szerokość.

W praktyce przybliżony peleng kompasowy rozstrzyga najczęściej o ćwiartce azymutowej.

6. Szybkość zmiany azymutu. Zależność pomiędzy przyrostem azymutu $\Delta\omega$ a odpowiadającym mu przyrostem kąta godzin-

nego Δg, względnie szybkość zmiany azymutu $\frac{\Delta\omega}{\Delta g}$, oblicza się podobnie, jak szybkość zmiany wysokości.

Trójkąt ZPG (Rys. 26) jest trójkątem biegunowym ciała niebieskiego w pewnym momencie, a trójkąt ZPG_1 w następnym momencie, różniącym się od pierwszego o małą wartość Δg. W tym czasie Δg gwiazda poruszyła się po swoim równoleżniku deklinacyjnym o wartość $GG_1 = \Delta g \cos \delta$ (analogicznie jak na str. 81). Wskutek tego azymut zmienił się o wartość $\Delta\omega$.



Rys. 26.

Przeprowadziwszy przez G_1 równoleżnik wysokości, otrzymuje się łuk $G_1M = \Delta\omega \cos h$ (analogicznie jak zboczenie w nawigacji).

Trójkąt GG_1M można z powodu małych rozmiarów uważać za trójkąt płaski z kątem prostym przy M, przyczem $\sphericalangle MG_1G = \nu$.

Z powyższego trójkąta otrzymuje się:

$$\cos \nu = \frac{\Delta\omega \cos h}{\Delta g \cos \delta},$$

czyli

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta g} = \cos \delta \cos \nu \sec h.$$

Dyskusja: Szybkość zmiany azymutu zależy od deklinacji, kąta paralaktycznego i wysokości.

Jeżeli deklinacja $= 90°$, wtedy azymut nie zmienia się, gdyż $\cos 90° = 0$. Wiadomo zresztą, że azymut bieguna nie zmienia się, a gwiazda o deklinacji 90° leży na biegunie. Im mniejsza jest deklinacja, tem szybciej zmienia się azymut.

Jeżeli kąt paralaktyczny równy jest 90°, czyli w czasie największej dygresji, azymut również się nie zmienia, gdyż $\cos 90° = 0$.

W czasie największej dygresji koło godzinne jest prostopadłe do koła wierzchołkowego, kierunek ruchu dziennego jest zatem w tym momencie prostopadły do horyzontu.

Azymut zmienia się najszybciej, jeżeli $\nu = 0$, czyli w czasie kulminacji, a zatem w czasie, kiedy kierunek ruchu dziennego jest równoległy do horyzontu.

W zależności od wysokości szybkość zmiany azymutu jest najmniejsza, jeżeli $h = 0$ (sec $0° = 1$), t. j. w czasie wschodu lub zachodu, a największa, jeżeli $h = 90°$, t. j. jeśli ciało niebieskie znajduje się w zenicie; wtedy szybkość jest teoretycznie nieskończenie wielka (sec $90° = \infty$), gdyż ciało niebieskie, przechodząc przez zenit, zmienia momentalnie azymut o 180°.

Obliczanie azymutu ma najczęstsze zastosowanie przy określaniu całkowitej poprawki kompasu. Dla określenia całkowitej poprawki kompasu korzystna jest powolna zmiana azymutu, dlatego też do określania całkowitej poprawki nadaje się specjalnie gwiazda polarna ($\delta = 98{,}9°$), oraz słońce w czasie wschodu lub zachodu.

7. Obliczanie azymutu gwiazdy polarnej. Gwiazda polarna, której odległość biegunowa wynosi około 1,1°, zmienia azymut naogół bardzo powoli i dlatego nadaje się specjalne do określania całkowitej poprawki kompasu w nocy.

Ze względu na powolną zmianę azymutu można, obliczając azymut, wprowadzić pewne uproszczenia, a mianowicie do wzoru sinusowego

$$\sin \omega = \sin g\lambda \cos \delta \sec h$$

podstawia się $\sin p$ zamiast $\cos \delta$, a zamiast $\sec h$ podstawia się $\sec \varphi$, gdyż wysokość gwiazdy polarnej mało się różni od wysokości biegunowej, czyli od szerokości. Otrzymuje się:

$$\sin \omega = \sin g\lambda \sin p \sec \varphi;$$

a ponieważ azymut gwiazdy polarnej i odległość biegunowa p są małemi wartościami, przeto przyjmuje się $\sin \omega = \omega°$ $\sin 1°$, podobnie $\sin p = p°$ $\sin 1°$. Podstawiając to do poprzedniego wzoru i skracając stronami przez $\sin 1°$, otrzymuje się:

$$\omega = p \sin g\lambda \sec \varphi.$$

Na podstawie tego wzoru obliczona jest tabela, znajdująca się w roczniku astronomicznym. Argumentem do tej tabeli są: miejscowy czas gwiazdowy i szerokość geograficzna. Azymuty obliczone są z dokładnością na 0,1°.

Dla obliczenia azymutu gwiazdy polarnej wystarczy obliczyć miejscowy czas gwiazdowy z dokładnością na 0,1 godziny i znać szerokość z dokładnością na pełne stopnie.

Gwiazda polarna nadaje się do określania całkowitej poprawki kompasu oczywiście tylko na półkuli północnej i tylko do niezbyt wielkich szerokości, gdyż ze wzrastającą szerokością powyższy sposób olbiczania azymutu staje się niedokładny, a pelengowanie gwiazdy o wielkiej wysokości jest ze względów technicznych trudne do przeprowadzenia.

8. Obliczanie azymutu w czasie wschodu lub zachodu. Jeszcze lepiej, niż gwiazda polarna, nadaje się do określania całkowitej poprawki kompasu słońce w czasie wschodu lub zachodu, gdyż wtedy pelengowanie jest najłatwiejsze, a azymut słońca zmienia się najwolniej. Inne ciała niebieskie nie wchodzą w rachubę, gdyż w czasie wschodu lub zachodu są przeważnie niewidoczne.

Azymut oblicza się z wzoru cosinusowego

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos \omega,$$

przyczem $\sin h = 0$, a $\cos h = 1$

zatem $\sin \delta = \cos \varphi \cos \omega$,

skąd $\cos \omega = \sin \delta \sec \varphi$;

a ponieważ azymut w czasie wschodu lub zachodu jest dopełnieniem amplitudy A, przeto:

$$\sin A = \sin \delta \sec \varphi.$$

W tablicach morskich jest osobna tabela o argumentach φ i δ, w której odnajduje się azymut w czasie wschodu lub zachodu.

Znak azymutu zależy tylko od deklinacji, gdyż sec φ jest zawsze dodatni, niezależnie od znaku szerokości, a zatem: Jeżeli deklinacja jest N, to azymut jest również N, jeżeli deklinacja jest S, to azymut jest również S. (Por. str. 20).

Chcąc prawidłowo otrzymać całkowitą poprawkę kompasu, należy spelengować słońce w momencie astronomicznego wschodu lub zachodu, czyli w momencie, kiedy wysokość astronomiczna równa jest zeru. W momencie astronomicznego wschodu lub zachodu dolna krawędź słońca wznosi się mniejwięcej o $^2/_3$ swej średnicy ponad widnokręgiem.

9. Obliczanie kąta godzinnego w wypadku ogólnym. Kąt godzinny oblicza się najczęściej z elementów: szerokość φ, deklinacja δ i wysokość h. W trójkącie biegunowym znane są zatem trzy boki, a szukany jest jeden kąt.

Do obliczania kąta godzinnego używa się wzoru połówkowego, który otrzymuje się, przekształcając odpowiednio wzór cosinusowy:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos g\lambda,$$

albo $$\sin h = \cos (\varphi - \delta) - 2 \operatorname{sem} g\lambda \cos \varphi \cos \delta.$$

Zamiast $\sin h$ pisze się $\cos z$, a zamiast $\cos (\varphi - \delta)$ pisze się $\cos z'$, następnie wyznacza się $\operatorname{sem} g\lambda$:

$$\operatorname{sem} g\lambda = \frac{\cos z' - \cos z}{2 \cos \varphi \cos \delta};$$

przekształcając trygonometrycznie różnicę cosinusów, otrzymuje się:

$$\operatorname{sem} g\lambda = \frac{2 \sin \frac{z+z'}{2} \sin \frac{z-z'}{2}}{2 \cos \varphi \cos \delta},$$

ostatecznie $$\operatorname{sem} g\lambda = \sin \frac{z+z'}{2} \sin \frac{z-z'}{2} \sec \varphi \sec \delta.$$

10. Dokładność obliczonego kąta godzinnego. Dokładność obliczonego kąta godzinnego zależy od dokładności elementów φ, δ i h.

Zależność pomiędzy błędem wysokości, a błędem kąta godzinnego jest znana, a mianowicie:

$$\Delta h = \Delta g \cos \varphi \sin \omega,$$

czyli $$\Delta g = h \, \Delta \sec \varphi \operatorname{cosec} \omega.$$

D y s k u s j a: Błąd w wysokości przechodzi w najkorzystniejszym wypadku całą swoją wartością na błąd w kącie godzinnym, w każdym innym wypadku $\Delta g > \Delta h$, gdyż funkcje secans i cosecans są zawsze większe od jedności.

Najkorzystniejszy wypadek dla dokładnego obliczenia kąta godzinnego jest wtedy, gdy $\varphi = 0°$, a $\omega = 90°$, to znaczy, gdy obserwator jest na równiku i obserwuje ciało niebieskie na pierwszym wertykale, wtedy bowiem $\Delta g = \Delta h$.

Jeżeli obserwator znajduje się na biegunie ($\varphi = 90°$), albo jeżeli ciało niebieskie kulminuje ($\omega = 0°$), wtedy teoretycznie $\Delta g = \infty$, czyli obliczanie kąta godzinnego z wysokości jest niemożliwe. Przeprowadź anologiczną dyskusję dla wzoru $\Delta g = \Delta h \sec \delta \operatorname{cosec} \nu$).

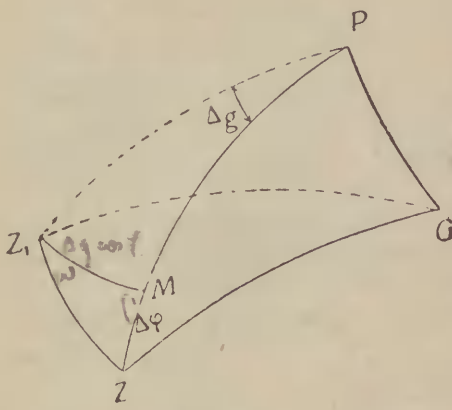
Wpływy błędów szerokości i deklinacji na kąt godzinny mają mniejsze znaczenie praktyczne; wyrażają się one wzorami:

$$\Delta g = \Delta \varphi \sec \delta \cot \omega,$$
$$\Delta g = \Delta \delta \sec \delta \cot \nu.$$

Z powyższych wzorów widać, że błąd w szerokości nie ma wpływu na dokładność kąta godzinnego, o ile ciało niebieskie znajduje się na pierwszym wertykale, a błąd w deklinacji nie ma wpływu na dokładność kąta godzinnego, jeżeli ciało niebieskie znajduje się w największej dygresji.

Korzystne dla dokładnego obliczenia kąta godzinnego są: mała szerokość, mała deklinacja, duży azymut, względnie duży kąt paralaktyczny. Jeżeli φ albo $\delta = 90°$, albo jeżeli ω lub $\nu = 0°$, wtedy obliczanie kąta godzinnego jest niemożliwe.

Wyprowadzenie wzoru $\Delta g = \Delta \varphi \sec \varphi \cot \omega$. — Na rysunku 27 PZG jest prawidłowym trójkątem, a Z_1PG jest fałszywym trójkątem biegunowym, przyczem $GZ = GZ_1$, a $PZ_1 = PM$. ZZ_1 jest



Rys. 27.

łukiem, zatoczonym z punktu G promieniem sferycznym $= GZ$, a łuk Z_1M jest równoleżnikiem w układzie równika. $ZM = \Delta g$ jest błędem szerokości, a $\sphericalangle Z_1PM$ jest odpowiadającym mu błędem kąta godzinnego Δg.

Z trójkąta ZZ_1M, w którym kąt przy Z_1 równy jest azymutowi, otrzymuje się

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta g \cos \varphi},$$

czyli $\Delta g = \Delta\varphi \sec \varphi \operatorname{ctg} \omega$

Zupełnie analogicznie można wykazać, że $\Delta g = \Delta\delta \sec \delta \operatorname{ctg} \nu$.

11. Obliczanie kąta godzinnego w czasie wschodu lub zachodu. Rozróżnia się prawdziwy albo astronomiczny wschód i zachód, oraz pozorny albo widoczny wschód i zachód.

Moment, w którym środek ciała niebieskiego znajduje się na astronomicznym horyzoncie, względnie moment, w którym wysokość astronomiczna równa jest zeru, nazywa się *prawdziwym* lub *astronomicznym wschodem* lub *zachodem*.

Moment, w którym górna krawędź ciała niebieskiego ukazuje się, względnie znika za widnokręgiem, nazywa się *widocznym* albo *pozornym wschodem*. Pozorny wschód i zachód odpowiada momentowi, w którym wysokość górnej krawędzi, odmierzona sekstansem, wynosiłaby zero. Wysokość astronomiczna w czasie pozornego wschodu lub zachodu równa się zatem całkowitej poprawce, jakąby należało dodać do wysokości górnej krawędzi, odmierzonej sekstansem, gdyby ta wysokość wynosiła 0°.

a) Obliczanie kąta godzinnego prawdziwego wschodu.

Kąt godzinny prawdziwego wschodu oblicza się z wzoru cosinusowego:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos g,$$

przyczem $\sin h = 0$, a zatem

$$\cos g = \frac{-\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta},$$

czyli

$$\cos g = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta.$$

Dyskusja: Jeżeli φ i δ mają znaki jednakowe, wtedy $\cos g < 0$, czyli $g > 6^h$, jeżeli φ i δ mają znaki przeciwne, wtedy $\cos g > 0$, czyli $g < 6^h$.

Kąt godzinny wschodu lub zachodu jest połową łuku dziennego, a zatem jeżeli φ i δ mają znaki jednakowe, wtedy łuk dzienny jest większy od 12^h, a jeżeli φ i δ mają znaki przeciwne, wtedy łuk dzienny jest mniejszy od 12^h. (Porównaj str. 20).

Jeżeli szerokość albo deklinacja równe są zeru, wtedy $\cos g = 0$, czyli $g = 6^h$, a łuk dzienny wynosi 12^h i wobec tego równy jest łukowi nocnemu.

Zamiast $\cos g = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta$ można napisać $\cos g = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} p$ albo

$$\cos g = -\frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} p}.$$

Jeżeli odległość biegunowa p jest mniejsza od szerokości, wtedy bezwzględna wartość cosinusa kąta godzinnego jest większa od jedności, czyli kąt godzinny jest urojony. Gwiazda taka nie wschodzi i nie zachodzi, jest zatem koło- albo przeciwkołobiegunowa. (Porównaj str. 20).

Dla wyszukania kąta godzinnego w czasie prawdziwego wschodu lub zachodu zrobiona jest osobna tabela w tablicach morskich. Argumentami do tej tabeli są szerokość i deklinacja. Kąt godzinny podany jest z dokładnością na minuty.

Wszystkie wartości tablicowe są albo mniejsze albo większe od 6^h, należy przeto w zależności od znaków φ i δ brać czasami spełnienie wartości tablicowej do 12^h.

Chcąc otrzymać czas prawdziwego wschodu lub zachodu, zmienia się obliczony powyższym sposobem miejscowy kąt godzinny na żądany czas, przeważnie więc na czas strefowy.

b) Obliczanie kąta godzinnego pozornego wschodu lub zachodu.

W praktyce chodzi przeważnie o obliczenie momentu, a tem samem i kąta godzinnego pozornego wschodu*), przyczem wysokość astronomiczna ciała niebieskiego równa jest całkowitej poprawce, jaką należałoby uwzględnić, odmierzywszy sekstansem wysokość górnej krawędzi nad widnokręgiem $\odot = 0^\circ\ 0'\ 0''$.

Dla słońca całkowita poprawka przy $\odot = 0^\circ\ 0'\ 0''$ wynosi około $-56'$, czyli wysokość astronomiczna słońca wynosi wtedy $h = -56'$.

Dla księżyca całkowita poprawka przy $☽ = 0^\circ\ 0'\ 0''$ mało różni

*) Spuszczanie bandery odbywa się w czasie pozornego zachodu słońca.

się od zera, gdyż wielka wartość paralaksy (o znaku dodatnim) równoważy się z refrakcją, głębokością widnokręgu i promieniem (o znaku ujemnym), a zatem momenty prawdziwego i pozornego wschodu i zachodu księżyca praktycznie zlewają się.

Różnica pomiędzy prawdziwym a pozornym wschodem lub zachodem gwiazd i planet nie wchodzi w rachubę, bo gwiazdy i planety widoczne są naogół dopiero na wysokościach, większych od 5°.

Obliczanie momentu (kąta godzinnego) pozornego wschodu i zachodu ma zatem zastosowanie tylko dla słońca. Dla innych ciał niebieskich oblicza się momenty prawdziwego wschodu i zachodu.

Kąt godzinny pozornego wschodu i zachodu słońca oblicza się z ogólnego wzoru

$$\text{sem } g\lambda = \sin \frac{z+z'}{2} \sin \frac{z-z'}{2} \sec \varphi \sec \delta$$

przyczem $z = 90° 56'$, a $z' = \varphi - \delta$.

Na podstawie tego wzoru sporządzone są tablice o argumentach φ i δ, z których otrzymuje się kąt godzinny pozornego wschodu lub zachodu słońca.

Inny sposób otrzymywania kąta godzinnego pozornego, w. lub z. słońca polega na tem, że najpierw oblicza się, względnie wyszukuje się w tablicach kąt godzinny prawdziwego w. lub z., a następnie oblicza się różnicę w kącie godzinnym pomiędzy prawdziwym i pozornym w. lub z.

Ta różnica Δg jest okresem czasu, w którym wysokość słońca zmienia się o 56′, t. j. od zera do −56′, a zatem

$$\Delta g' = 56' \sec \varphi \operatorname{cosec} \omega,$$

a w mierze czasowej $\Delta g^m = 3{,}7^m \sec \varphi \operatorname{cosec} \omega$,

albo podstawiając $\operatorname{cosec} \omega = \operatorname{cosec} g \sec \delta \sec h$ (wzór sinusowy),

$$\Delta g = 3{,}7 \operatorname{cosec} g \sec \varphi \sec \delta \sec h;$$

a ponieważ w czasie wschodu i zachodu $\sec h = 1$, przeto ostatecznie

$$\Delta g = 3{,}7 \operatorname{cosec} g \sec \varphi \sec \delta.$$

Powyższą poprawkę odnajduje się w specjalnej tabeli o argumentach φ i δ (kąt godzinny jest również zależny od φ i δ).

Poprawkę Δg należy zawsze dodać do kąta godzinnego prawdziwego wschodu lub zachodu, gdyż mniejszej wysokości odpowiada zawsze większy kąt godzinny. Czas pozornego wschodu jest o Δg wcześniejszy od czasu prawdziwego wschodu, a czas pozornego zachodu jest o Δg późniejszy od czasu prawdziwego zachodu.

12. Obliczanie momentów wschodu i zachodu ciał niebieskich. Momenty wschodu i zachodu ciał niebieskich oblicza się z dokładnością na pełne minuty, gdyż większa dokładność nie ma praktycznego znaczenia, przyczem dla słońca oblicza się moment pozornego w. i z., a dla innych ciał niebieskich moment prawdziwego w. i z.

a) Słońce.

1) Wyszukuje się w roczniku astronomicznym deklinację słońca z dokładnością na 0,1° i równanie czasu z dokładnością na $0{,}1^m$. Jeżeli deklinacja w danym dniu zmienia się szybko, należy poprzednio obliczyć w pamięci przybliżony czas w. lub z., aby wiadome było w przybliżeniu, dla jakiego czasu należy wyszukać deklinację, albo można też obliczyć najpierw czas w. i z. na podstawie mniej dokładnej deklinacji, a następnie cały rachunek powtórzyć.

2) Wyszukuje się w tablicy dla kątów godzinnych pozornego w. i z. słońca wartość tablicową przy pomocy deklinacji i szerokości geograficznej, zaokrąglonej na 0,1°.

W braku takiej tablicy wyszukuje się kąt godzinny prawdziwego w. i z., a następnie w innej tablicy wyszukuje się Δg. Argumentem do obu tych tablic jest φ i δ. Dodawszy do kąta godzinnego prawdziwego w. lub z. Δg, otrzymuje się kąt godzinny pozornego w. lub z.

W braku jednej i drugiej tablicy przeprowadza się obliczenia logarytmicznie według wzorów z poprzedniego ustępu, przyczem wystarcza wypisywać logarytmy z dokładnością na trzy miejsca dziesiętne.

3) Otrzymany miejscowy kąt godzinny zamienia się na żądany czas, t. j. przeważnie na czas strefowy.

P r z y k ł a d: Obliczyć czas zachodu słońca w San Francisco ($\varphi = 37° 47'$ *N*, $\lambda = 122° 25'$ *W*) dnia 17 listopada 1928 r.

Przybliżony czas zachodu $M\lambda = 17^h$, czyli $M_0 = 1^h$ dnia 18/XI.

Z rocznika: $\delta = -19{,}1°$ $\quad e = -14{,}9^m$

z tablic $+ \begin{cases} g\lambda = 4^h\ 57{,}7^m \\ \Delta g = \quad 5{,}2^m \end{cases}$

$g\lambda = 5^h\ 2{,}9^m$ *West*

$- \begin{cases} P\lambda = 17^h\ 2{,}9^m \\ \lambda = -8^h\ 9{,}7^m \end{cases}$

$+ \begin{cases} P_0 = 1^h\ 12{,}6^m \\ e = -14{,}9^m \end{cases}$ dnia 18/XI.

$M_0 = 0^h\ 57{,}7^m$

O d p o w i e d ź: $M_{0-8} = 16^h\ 58^m = 4^h\ 58^m$ *p. m.* dnia 17/XI.

b) *Gwiazdy.*

1) Wyszukuje się deklinację gwiazdy z dokładnością na pełne stopnie i rektascenzję na pełne minuty.

2) W tablicy odnajduje się kąt godzinny prawdziwego w. lub z.

3) Kąt godzinny zamienia się na żądany czas.

c) *Księżyc.*

1) Oblicza się moment górnej kulminacji księżyca dla danej miejscowości według czasu średniego gryniczowskiego.

2) Wschód księżyca przypada około 6 godzin przed kulminacją, a zachód około 6 godzin po kulminacji. Porównując deklinację księżyca w danym dniu z szerokością geograficzną, można przewidzieć, czy kąt godzinny wschodu lub zachodu jest wiele większy lub mniejszy od 6 godzin.

Jeżeli φ i δ mają znaki przeciwne i są wielkie, wtedy kąt godzinny jest o wiele mniejszy od 6^h, jeżeli φ i δ mają znaki jednakowe i są wielkie, to kąt godzinny jest o wiele większy od 6^h.

W ten sposób można się zgrubsza orjentować, dla jakiej godziny należy wyszukać deklinację. O ile po skończonym rachunku okaże się, że deklinacja została wyszukana dla fałszywego momentu, wówczas należy rachunek powtórzyć. Deklinację wystarczy wypisać z dokładnością na stopnie.

3) Dla φ i δ wyszukuje się w tablicy kąt godzinny prawdziwego wschodu lub zachodu.

4) Kąt godzinny w. lub z., który wyraża okres czasu księżycowego, zamienia się na okres czasu średniego według wzoru :

$$g\lambda' = g\lambda + g\lambda\, v,$$

przyczem v jest retardacją księżyca.

5) Przy obliczaniu wschodu należy powyższy okres czasu odjąć od momentu kulminacji, a przy obliczaniu zachodu należy go dodać

6) Otrzymawszy tym sposobem czas średni gryniczowski w. lub z., sprawdza się, czy deklinacja, wyszukana poprzednio, zgodna jest z deklinacją dla obliczonego momentu (w zaokrągleniu na stopnie). Jeżeli tak nie jest, wówczas należy rachunek powtórzyć.

7) Otrzymany czas gryniczowski zamienia się na czas strefowy lub inny.

P r z y k ł a d : Obliczyć czas wschodu księżyca dnia 7/V. 1928 r. dla pozycji : $\varphi = 38°\ N$, $\lambda = 18°\ O$.

Obliczanie momentu kulminacji

$C_0 = 2^h\ 25^m$ dnia 8/V. $\quad \lambda = 1^h\ 12^m$

$\lambda_1 = 1^h\ 14{,}5^m$ $\quad \lambda v = 2{,}5^m$

$M_0 = 1^h\ 10{,}5^m$ dnia 8/V. $\quad \lambda_1 = 14{,}5^m$

Przybliżony czas wschodu $M_0 = 20^h$ dnia 7/V.

z rocznika: $\delta = -24°$

z tablic $+ \begin{cases} g\lambda = 4^h\ 39^m \\ g\lambda v = 10^m \end{cases}$

$g\lambda' = 4^h\ 49^m$

$- \begin{cases} M_0 = 1^h\ 11^m \\ g\lambda' = 4^h\ 49^m \end{cases}$

$M_0 = 20^h\ 22^m$ dnia 7/V

Odpowiedź: $M_{0+1} = 21^h\ 22^m = 9^h\ 22^m$ *p. m.*

d) Planety.

Czas wschodu lub zachodu planet oblicza się albo tak jak u gwiazd, albo tak jak u księżyca.

13. Obliczanie kąta godzinnego w czasie najszybszej zmiany wysokości. Szybkość zmiany wysokości ma wielkie znaczenie w astronomji żeglarskiej, często więc potrzebna jest znajomość chwili, w której dane ciało niebieskie najszybciej zmienia swoją wysokość.

Z wzoru $\frac{\Delta h}{\Delta g} = \cos\varphi \sin\omega$, albo $\frac{\Delta h}{\Delta g} = \cos\delta \sin\nu$ wynika, że najszybsza zmiana wysokości danej gwiazdy na danej miejscowości przypada w momencie przejścia ciała niebieskiego przez pierwszy wertykał ($\omega = 90°$) względnie w czasie największej dygresji ($\nu = 90°$).

Chodzi więc o obliczenie kąta godzinnego w momencie, kiedy $\omega = 90°$, albo $\nu = 90°$. W obu wypadkach trójkąt biegunowy jest trójkątem prostokątnym, a zatem dla rozwiązania tych trójkątów stosuje się prawidła pięcioboku Nepera.

Otrzymuje się:

dla pierwszego wertykału $\cos g = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\varphi}$,

dla największej dygresji $\cos g = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\delta}$.

Z powyższych wzorów widać, że ciało niebieskie nie może przechodzić przez pierwszy wertykał, jeżeli $\delta > \varphi$, gdyż wtedy $\cos g = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\varphi} > 1$ (Por. str. 19), a w największej dygresji nie może być takie ciało niebieskie, którego $\delta < \varphi$, gdyż $\cos g = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\operatorname{tg}\delta} > 1$.

Pomijając specjalny wypadek, kiedy szerokość równa się deklinacji (kulminacja w zenicie), ciało niebieskie, które przechodzi przez pierwszy wertykał, nie może być w największej dygresji ($\varphi < \delta$), a ciało niebieskie które jest w największej dygresji, nie może przechodzić przez pierwszy wertykał ($\varphi < \delta$).

W tablicach morskich istnieje osobna tablica o argumentach φ i δ, w której podane są kąty godzinne w momencie najszybszej zmiany wysokości, bez względu na to, czy to jest w momencie największej dygresji, czy w chwil przejścia przez pierwszy wertykał. Kąty godzinne podane są z dokładnością na $0{,}1^h$.

Z pięcioboku Nepera oblicza się również wysokość w momencie najszybszej zmiany wysokości, a mianowicie:

$$\text{dla pierwszego wertykału } \sin h = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi},$$

$$\text{dla największej dygresji } \sin h = \frac{\sin \varphi}{\sin \delta}.$$

Z tych wzorów wynika również, że przejście przez pierwszy wertykał jest niemożliwe, jeżeli $\delta > \varphi$, a największa dygresja jest niemożliwa, jeżeli $\delta < \varphi$. Poza tem wynika z tych wzorów, że, jeżeli φ i δ mają znaki różne, wtedy $\sin h < 0$, czyli wysokość jest ujemna. Obserwacja takich ciał niebieskich w chwili najszybszej zmiany wysokości jest niemożliwa.

Dla otrzymania wysokości w momencie najszybszej zmiany wysokości zrobiona jest również tablica o argumentach φ i δ, podobnie jak dla kątów godzinnych.

14. Identyfikacja gwiazd. Orjentowanie się w konstelacjach i nazwach gwiazd stałych jest czasami dosyć trudne i wymaga pewnej praktyki, szczególnie, jeżeli część nieba zasłonięta jest chmurami.

Czasami może się zdarzyć, że nazwa widocznej i nadającej się do obserwacji gwiazdy nie jest obserwatorowi znana, wówczas należy tę gwiazdę zidentyfikować, czyli ustalić jej nazwę.

Do identyfikacji gwiazd służą rozmaite mapy nieba i globusy, można jednak również bez tych środków pomocniczych zidentyfikować gwiazdę drogą rachunkową.

Zasada identyfikacji rachunkowej jest następująca: Obserwując gwiazdę nieznanej nazwy, odmierza się sekstansem jej wysokość, a przy pomocy kompasu i pelengatora wyznacza się przybliżony jej azymut.

W trójkącie biegunowym znane są zatem z pewnem przybliżeniem trzy elementy, a mianowicie: wysokość, odmierzona sekstansem,

azymut z pelengu i szerokość geograficzna, odczytana z mapy. Powyższe elementy znane są tylko z przybliżeniem.

Azymut, otrzymany z kompasu, może być 2—3 stopni fałszywy, szczególnie, jeżeli wysokość gwiazdy jest wielka, gdyż wtedy pelengowanie jest trudne ; ponadto na niedokładność pelengu wpływa błąd całkowitej poprawki kompasu.

Szerokość, odczytana z mapy, jest szerokością pozycji zliczonej, gdyż prawdziwą pozycję chcemy dopiero przy pomocy tej gwiazdy oznaczyć, a zatem szerokość ta może się od prawdziwej różnić $^1/_2$ — 1 stopnia.

Jedynie wysokość, odmierzona sekstansem ,jest dokładna.

Na podstawie tych trzech elementów h, ω i φ oblicza się deklinację i kąt godzinny, względnie deklinację i rektascenzję tej gwiazdy, gdyż rektascenzja równa się miejscowemu czasowi gwiazdowemu mniej czas tej gwiazdy.

Powyższym sposobem obliczona deklinacja i rektascenzja gwiazdy może się od rzeczywistej wartości różnić o kilka stopni, gdyż elementy ω i φ również były znane tylko z wielkiem przybliżeniem, mimo to jednak dokładność ta zawsze wystarcza, aby stwierdzić w roczniku astronomicznym nazwę tej gwiazdy.

W roczniku podane są gwiazdy w kolejności według wzrastających rektascenzyj. Najpierw oblicza się rektascenzję, a następnie szuka się w roczniku takiej gwiazdy, której rektascenzja najbardziej jest zbliżona do obliczonej wartości. Jeżeli obliczona rektascenzja przypada właśnie pomiędzy dwie sąsiednie gwiazdy, albo wogóle, jeżeli jest wątpliwość, wtedy wartość obliczonej deklinacji rozstrzyga zawsze jednoznacznie o nazwie gwiazdy.

Gwiazd, nadających się do obserwacji na morzu, jest stosunkowo mało i są one w takiej od siebie odległości, że powyższy sposób indentyfikacji nigdy nie daje wyników dwuznacznych.

Obliczanie kąta godzinnego z wysokości, szerokości i azymutu jest równoznaczne z obliczaniem azymutu na podstawie znanej szerokości, deklinacji i kąta godzinnego. W jednym i drugim wypadku dane są dwa boki i kąt, między niemi zawarty, a szukany jest drugi kąt.

Do obliczania kąta godzinnego służą zatem tablice *ABC*, przyczem należy odpowiednio zmienić znaczenia elementów, a więc zamiast kąta godzinnego należy wstawić azymut, a zamiast azymutu kąt godzinny, oraz zamiast deklinacji wysokość ; tylko szerokość zachowuje pierwotne

znaczenie. (Właściwe znaczenie elementów otrzymuje się, zmieniając w trójkącie biegunowym biegun z zenitem).

Sposób postępowania jest następujący: Azymut wyraża się systemem liczenia od widocznego bieguna do 180°, następnie wyraża się ten azymut w mierze czasowej. Dla tego azymutu i dla szerokości wyszukuje się w tablicy A wartość $A = -\operatorname{tg}\varphi \operatorname{ctg}\omega$. Potem wyszukuje się dla tego samego azymutu oraz wysokości w tablicy B wartość $B = \operatorname{tg} h \operatorname{cosec}\omega$, przyczem B otrzymuje zawsze znak dodatni.

Po utworzeniu sumy algebraicznej wyrazów A i B, t. j. po otrzymaniu wartości C, otrzymuje się w tablicy C kąt godzinny w podobny sposób, jak poprzednio otrzymywało się azymut. Tym sposobem otrzymany kąt godzinny wyrażony jest miarą stopniową, należy go przeto zamienić na miarę czasową, przyczem, jeżeli C miało znak ujemny, wówczas prawidłowy kąt godzinny jest spełnieniem wyszukanej wartości do 12^h.

Wyszukany kąt godzinny zmienia się na czas, odejmując, albo dodając go do 12^h w zależności od tego, czy kąt godzinny jest *Ost* czy *West*. Odjąwszy następnie ten czas od obliczonego poprzednio miejscowego czasu gwiazdowego, otrzymuje się przybliżoną rektascenzję gwiazdy.

O ile rektascenzja nie rozstrzyga z wszelką pewnością o nazwie gwiazdy, wówczas należy obliczyć jeszcze deklinację. Do obliczenia deklinacji służą również tablice ABC, lecz w ich pierwotnem znaczeniu.

Najpierw wyszukuje się przy pomocy azymutu (wyrażonego systemem ćwiartkowym) oraz szerokości wartość $C = \sec\varphi \operatorname{ctg}\omega$, przyczem C otrzymuje znak dodatni, jeżeli azymut jest równoimienny z szerokością. Następnie wyszukuje się w tablicy A dla znanej szerokości i obliczonego poprzednio kąta godzinnego wartość $A = -\operatorname{tg}\varphi \operatorname{ctg} g$.

Odjąwszy A od C, otrzymuje się B. W tablicy B szuka się deklinacji, odpowiadającej danemu kątowi godzinnemu, oraz otrzymanej wartości B, przyczem deklinacja ma ten sam znak co szerokość jeżeli B jest dodatnie, a przeciwny znak, niż szerokość, jeżeli B jest ujemne.

O ile w spisie gwiazd niema takiej gwiazdy, któraby odpowiadała otrzymanym rezultatom, wówczas należy zobaczyć do planet.

Przykład: Dnia 18 sierpnia 1928 roku o godzinie $M_0 = 4^h\ 27^m\ 13^s$ *a. m.* obserwowano gwiazdę, której nazwę należy ustalić. Odmierzona wysokość wynosi $h = 49°\ 56'$. Peleng prawdziwy wynosi $\omega = S\ 66°\ O$. Współrzędne pozycji zliczonej są: $\varphi = 36°N$, $\lambda = 32°\ W$.

Rozwiązanie:

Obliczanie miejscowego czasu gwiazdowego

$M_0 = 4^h\ 27^m\ 13^s$
$\alpha_\odot = 9^h\ 45^m\ 11^s$
$G_0 = 14^h\ 12^m\ 24^s$
$\lambda = \nu 2^h\ 8^m$
$G\lambda = 12^h\ 4^m\ 24^s$
$T\lambda = 9^h\ 32^m$
$\alpha = 2^h\ 32^m$

Obliczanie kąta godzinnego

$\omega = 114^\circ\ O$
$\omega = 7^h\ 36^m$
$A = +0{,}32$
$B = +1{,}30$
$C = +1{,}62$
$WT = 37^\circ$
$g\lambda = 2^h\ 28^m\ Ost$
$T\lambda = 9^h\ 32^m$

Obliczanie deklinacji

$C = -0{,}55$
$A = -0{,}96$
$B = +0{,}41$
$\delta = +14^\circ$

Odpowiedź: Jupiter.

Część IV.

Określanie pozycji na morzu.

1. Wstęp. Podobnie jak w nawigacji przybrzeżnej obserwuje się przedmioty, znajdujące się na lądzie, tak samo na pełnem morzu, chcąc otrzymać prawdziwą pozycję statku, obserwuje się ciała niebieskie, mierząc ich wysokość.

Wiadomo, że wysokość i azymut danego ciała niebieskiego wyznaczone są momentem i pozycją, a zatem znając wysokość, azymut i moment, możnaby zasadniczo obliczyć pozycję.

Powyższy sposób praktycznie nie jest wykonalny, gdyż środki techniczne pozwalają tylko na dokładne pomiary wysokości, natomiast azymutu dokładnie zmierzyć nie można. (Azymut, otrzymany z pelengu kompasowego, jest dla celów określania pozycji zbyt niedokładny).

Odmierzona wysokość w połączeniu z momentem daje w rezultacie nie pozycję statku, lecz miejsce geometryczne punktów, z których ciało niebieskie widziane jest w danym momencie na danej wysokości, czyli t. zw. *linję pozycyjną*.

Do określania astronomicznej pozycji konieczna jest zatem dokładna znajomość czasu, dlatego też chronometr jest, obok sekstansu, nieodzownym środkiem orjentacji na pełnem morzu.

2. Chronometr. Celem chronometru jest wskazywanie jakiegokolwiek dokładnego czasu. Tym czasem jest najczęściej średni czas gryniczowski, aczkolwiek niektóre chronometry wskazują czas gwiazdowy gryniczowski.

Chronometr jest specjalnie skonstruowanym, dokładnie idącym zegarem, którego chód jest możliwie uniezależniony od wszelkich wpływów zewnętrznych.

Nawet najidealniejszy chronometr nigdy nie idzie z szybkością, odpowiadającą dokładnie szybkości ruchu dziennego słońca średniego, dlatego nastawienie jego wskazówek dokładnie na czas gryniczowski jest iluzoryczne.

Chcąc otrzymać z chronometru czas średni w Gryniczu, musimy znać różnicę pomiędzy czasem gryniczowskim a czasem, wskazanym przez chronometr ; różnica ta nazywa się *stanem chronometru*. Jeżeli czas, wskazany przez chronometr, oznaczymy przez *Ch*, a stan przez *St*, to

$$St = M_0 - Ch.$$

Stan chronometru otrzymuje się z prawidłowym znakiem, odejmując od średniego czasu gryniczowskiego czas, wskazany przez chronometr.

Dodając do czasu, odczytanego na chronometrze, jego stan, otrzymuje się czas średni w Gryniczu.

Jeżeli, jak już wyżej było wspomniane, chronometr nie idzie z szybkością, ściśle odpowiadającą ruchowi dziennemu słońca średniego, wówczas stan chronometru nie jest wartością stałą, lecz ustawicznie się zmienia.

Ilość sekund, o którą stan chronometru zmienia się w przeciągu jednej doby, względnie ilość sekund, o jaką chronometr w jednej dobie przyspiesza albo opóźnia się względem słońca średniego, nazywa się *dziennym chodem chronometru*.

Jeżeli chronometr idzie z szybkością jednostajną, wtedy dzienny chód jest wartością stałą i może być rachunkowo uwzględniany, choćby był dosyć znaczny, o ile zaś chronometr idzie z szybkością niejednostajną, wartość dziennego chodu jest zmienna i nie może być rachunkowo uwzględniona. Dobroć chronometru zależy zatem nietyle od uregulowania jego szybkości, ile od jednostajnego jego chodu.

Dla otrzymania czasu średniego w Gryniczu konieczna jest znajomość stanu chronometru oraz jego dziennego chodu.

Stan chronometru otrzymuje się przy pomocy sygnałów czasowych. Najczęściej używanemi sygnałami czasowemi w dobie obecnej są sygnały radjotelegraficzne. Spis wszystkich sygnałów czasowych, nadających się do oznaczenia stanu chronometru, podany jest w rocznikach astronomicznych.

Radjotelegraficzne sygnały czasowe, niewymienione w roczniku astronomicznym, nie nadają się do oznaczania stanu chronometru, gdyż są zbyt niedokładne i niepewne.

Oznaczywszy stan chronometru St_1, a po n dniach znowu stan St_2, można obliczyć dzienny chód g, gdyż

$$St_2 = St_1 + ng,$$

skąd

$$g = \frac{St_2 - St_1}{n}.$$

Dzienny chód równy jest różnicy stanów, podzielonej przez ilość dni.

Przed wyruszaniem w dalszą podróż należy powyższym sposobem obliczyć kilka razy dzienny chód chronometru, dla sprawdzenia jednostajności chodu, względnie dobroci chronometru. Na pełnem morzu otrzymuje się stan chronometru albo z sygnałów radjotelegraficznych, albo dodając codziennie do wczorajszego stanu chronometru jego dzienny chód.

Dawniej, kiedy sygnałów radjotelegraficznych jeszcze nie było, można było tylko tym ostatnim sposobem otrzymywać stan chronometru na pełnem morzu, a ponieważ znajomość dokładnego czasu jest jedynym i nieodzownym środkiem otrzymywania długości geograficznej, przeto statki miewały najczęściej trzy chronometry, aby mieć z jednej strony kontrolę, a z drugiej strony, aby nie być pozbawionym możliwości określania długości w razie zepsucia się jednego chronometru.

Ponieważ niezawsze można liczyć na sygnały radjotelegraficzne, szczególnie będąc daleko od lądu, dlatego wskazane jest prowadzenie dziennika chronometrowego, w którym zapisuje się codziennie nowy stan chronometru, dodając do wczorajszego stanu dzienny chód ; a że dzienny chód zależny jest od temperatury, przeto należy wedle możności uwzględnić wpływ temperatury.

Chronometry okrętowe mają wprawdzie t. zw. kompenzację temperatury, czyli mechanizm, czyniący chód chronometru prawie niezależnym od temperatury, pomimo tego kompenzacja ta nie jest zupełna i chód jest mniej lub więcej zależny od zmian temperatury.

Do każdego chronometru powinna być dołączona tabela, lub wykres, z którego można dla danej temperatury odczytać poprawkę, jaką należy dodać do średniego chodu, aby otrzymać dzienny chód. Średnim chodem nazywa się chód dla pewnej dowolnie obranej średniej temperatury.

Wypełniając codziennie dziennik chronometru, odczytuje się termometr maximum-minimum, znajdujący się w pobliżu chronometru i średnią arytmetyczną odczytanych wartości uważa się za tempera-

turę, która w ciągu ubiegłej doby panowała. Dla tej temperatury wyszukuje się poprawkę, tę poprawkę dodaje się do średniego chodu, a otrzymany tym sposobem dzienny chód do stanu wczorajszego.

Prowadząc powyższym sposobem skrupulatnie dziennik chronometrowy, można na dłuższy czas uniezależnić się od sygnałów czasowych.

Chronometr należy przechowywać w odosobnionej kabinie, do której załoga nie ma dostępu. Chronometr(y) znajduje(ą) się w specjalnej szafce, z której wyjmować go (ich) nie należy. Każdy chronometr należy codziennie regularnie o tej samej porze nakręcać i porównać z innemi chronometrami i zagarami. Równocześnie wypełnia się dzienniki chronometrowe. Należy uważać na to, aby temperatura w kabinie była możliwie zawsze ta sama, aby powietrze było suche i aby w pobliżu chronometru nie było magnesów lub czegokolwiek, coby mogło wytworzyć pole magnetyczne. Wskazówek chronometru nie należy przestawiać i wogóle nie należy przeprowadzać żadnych manipulacyj z chronometrem. Wszelkie naprawy powierza się tylko specjalnie powołanym do tego mechanikom. Przynajmniej raz na 3 lata należy chronometry oddawać do oczyszczenia i naoliwienia.

Czasu obserwacyj, robionych sekstansem, nie zapisuje się według chronometru, lecz według dokładnego zegarka sekundowego. Przed i po obserwacji należy przeto zegarek obserwacyjny porównać z chronometrem, określając wartość $Ch - Z$, przyczem Z jest czasem, wskazywanym przez zegar.

Jako zegar obserwacyjny może również służyć dobry zegar kieszonkowy, posiadający wskazówkę sekundową, należy tylko uprzednio przekonać się, czy wskazówka sekundowa zgadza się ze wskazówką minutową.

Porównanie chronometru z zegarem robi się w następujący sposób: Na karteczce przygotowuje się schemat:

$$\begin{array}{r} Ch = \\ Z = \\ \hline Ch - Z = \end{array}$$

Przy Ch pisze się czas chronometru, zaokrąglony na pełną ilość dziesiątek sekund, mający nastąpić niewcześniej, jak za 20 do 30 sekund. Najlepiej zapisać czas, zaokrąglony na pełne minuty. 20 sekund przed tym terminem liczy się według chronometru na głos sekundy, licząc od jednego do dziesięciu, a potem zaczynając znowu od jednego, a nie od jedenastu. Chronometr bije wyraźnie pół sekundy, co wielce

ułatwia to liczenie, a po odpowiedniem wsłuchaniu się w takt tych uderzeń umożliwia dalsze liczenie sekund według słuchu bez patrzenia na chronometr.

10 sekund, a najpóźniej 5 sekund przed terminem należy liczyć według słuchu, wpatrując się we wskazówkę sekundową zegara tak, aby dokładnie odczytać jej położenie w oznaczonym momencie, t. j. w chwili wywołania liczby 10, względnie zero.

Czas, odczytany na zegarze, zapisuje się pod Z, zaczynając od sekund, a kończąc na godzinach. Różnica $Ch - Z$ nazywa się *porównaniem zegarów*. Porównanie zegarów, dodane algebraicznie do czasu zegarowego, daje czas chronometru.

Porównanie zegara z chronometrem należy robić przed i po obserwacji i w razie różniących się wyników należy utworzyć średnią arytmetyczną.

3. Określanie szerokości geograficznej w momencie kulminacji ciał niebieskich. Szerokość geograficzną otrzymuje się najdokładniej i w najprostszy sposób, odmierzając wysokość jakiegokolwiek ciała niebieskiego w momencie jego kulminacji, gdyż w momencie przejścia ciała niebieskiego przez południk świata istnieje prosta zależność pomiędzy szerokością, deklinacją i wysokością, a mianowicie:

$$z' = \varphi - \delta,$$

albo $$\varphi = z' + \delta,$$

a dla dolnej kulminacji $$H - p = \varphi$$ (zob. str. 83).

Sposób postępowania:

1) Oblicza się przybliżony czas kulminacji, aby na czas rozpocząć obserwację.

2) Kilka minut przed kulminacją zaczyna się obserwację, nastawiając ustawicznie sekstans na wysokość danego ciała niebieskiego, dopóki wysokość wzrasta (przy dolnej kulminacji dopóki maleje).

3) Z chwilą, kiedy wysokość maleje, odczytuje się na sekstansie kąt (przy dolnej kulminacji z chwilą, kiedy wysokość wzrasta). Tym sposobem otrzymuje się największą (względnie najmniejszą) wysokość, a zatem wysokość kulminacyjną.

Zakładamy przytem, że największa, względnie najmniejsza wysokość jest w momencie przejścia ciała niebieskiego przez południk świata; założenie to jest wtedy tylko ścisłe, gdy zmiana wysokości spowodowana jest tylko ruchem dziennym. W rzeczywistości na zmianę wysokości wpływa również zmiana deklinacji lub zmiana szerokości, a więc ruch własny ciała

niebieskiego lub szybki bieg statku w kierunku $N — S$. Powyższa okoliczność nie ma praktycznego znaczenia z powodu stosunkowo powolnej zmiany deklinacji lub szerokości w porównaniu z ruchem dziennym; jedynie przy księżycu, którego deklinacja zmienia się czasami bardzo szybko, może to mieć znaczenie, dlatego wysokość kulminacyjną księżyca należy odmierzać według czasu, a nie według maksymalnej wysokości.

4) Uwzględniwszy błąd indeksu oraz całkowitą poprawkę, tworzy się dopełnienie wysokości, czyli odległość zenitową, przyczem należy pamiętać, że odległość zenitowa jest ujemna, jeżeli azymut w czasie kulminacji jest N, a dodatnia, jeżeli azymut jest S.

5) W roczniku astronomicznym wyszukuje się deklinację ciała niebieskiego i dodawszy ją algebraicznie do odległości zenitowej z', otrzymuje się szerokość geograficzną z właściwym znakiem.

Powyższa obserwacja jest bardzo łatwa i dokładna, gdyż robiona jest niezależnie od chronometru, a ponieważ wysokość bardzo powoli się zmienia, przeto można odmierzać wysokość z wielką dokładnością.

Punkty 4 i 5 tyczą się tylko górnej kulminacji. W dolnej kulminacji obserwuje się bardzo rzadko.

P r z y k ł a d : Dnia 10 marca 1928 r. odmierzono wysokość dolnej krawędzi słońca w czasie kulminacji $\odot = 69^\circ\ 3'\ 10''$ w azymucie N. Długość zliczona wynosiła $\lambda = 53^\circ$ *Ost*. Wysokość oczna $a = 7$ m. Błąd indeksu $i = -\ 1'\ 50''$.

R o z w i ą z a n i e :

$$\begin{array}{rl} \odot = & 69^\circ\ 3'\ 10'' \\ i = & -\ 1'\ 50'' \\ \hline \odot = & 69^\circ\ 1'\ 20'' \\ cp = & +\ 10{,}8' \\ \hline H = & 69^\circ\ 12{,}1' \\ z' = & -20^\circ\ 47{,}9' \\ \delta = & +23^\circ\ 0{,}5' \\ \hline \varphi = & +\ 2^\circ\ 12{,}6'. \end{array}$$

4. Obliczanie szerokości z obserwacji ciała niebieskiego w pobliżu kulminacji. Jeżeli ciało niebieskie jest w momencie samej kulminacji zakryte chmurami, albo jeśli dla jakichkolwiek przyczyn obserwacja w czasie kulminacji nie mogła być przeprowadzona wtedy można również otrzymać szerokość z obserwacji ciała niebieskiego, znajdującego się w pobliżu kulminacji.

Zasada tej metody polega na tem, że oblicza się różnicę pomiędzy wysokością kulminacyjną a chwilową wysokością. Dodawszy tę różnicę Δh do chwilowej (odmierzonej) wysokości, otrzymuje się wysokość kulminacyjną. Dalsze postępowanie jest takie same, jak przy obliczaniu szerokości z kulminacji.

Wartość Δh otrzymuje się z specjalnej tablicy o argumentach: kąt godzinny, szerokość (przybliżona t. j. zliczona) i deklinacja.

Ponieważ wysokość zmienia się w pobliżu kulminacji bardzo powoli, przeto wartość Δh oblicza się sposobem uproszczonym, dającym wystarczająco dokładne wyniki tylko do pewnych granic. W innej tablicy podane są zatem największe dopuszczalne kąty godzinne dla powyższej metody. Argumentem do tej tablicy jest szerokość i deklinacja. Zapamiętać można, że im mniejsza jest wysokość w czasie kulminacji, względnie im większa jest odległość zenitowa $(\varphi - \delta)$, tem większy może być kąt godzinny.

Z pewnem przybliżeniem wystarcza reguła pamięciowa: Kąt godzinny, wyrażony w minutach, musi być mniejszy od $z' = \varphi - \delta$ w stopniach.

Różnicę Δh pomiędzy wysokością kulminacyjną a wysokością w danym momencie oblicza się uproszczonym sposobem w następujący sposób. We wzorze

$$\text{sem } g\lambda = \sin \frac{z+z'}{2} \sin \frac{z-z'}{2} \sec \varphi \sec \delta$$

$z = 90 - h$, a $z' = 90 - H$, zatem $z - z' = \Delta h$, a $z + z' = 2z' + \Delta h$,

czyli $$\text{sem } g\lambda = \sin \left(z' - \frac{\Delta h}{2} \right) \sin \frac{\Delta h}{2} \sec \varphi \sec \delta,$$

skąd $$\sin \frac{\Delta h}{2} = \text{sem } g\lambda \operatorname{cosec} \left(z' - \frac{\Delta h}{2} \right) \cos \varphi \cos \delta$$

albo, ponieważ $\frac{\Delta h}{2}$ jest zawsze małe,

$$\frac{\Delta h}{2} \sin 1' = \text{sem } g\lambda \operatorname{cosec} z' \cos \varphi \cos \delta,$$

czyli $$\Delta h = 2 \text{ sem } g\lambda \operatorname{cosec} (\varphi - \delta) \cos \varphi \cos \delta \operatorname{cosec} 1'.$$

Na podstawie tego wzoru obliczone są tablice, w których odnajduje się Δh.

Sposób postępowania:

1) Obserwuje się wysokość, notując czas według zegara obserwacyjnego.

2) Z zapisanego czasu i długości zliczonej oblicza się miejscowy kąt godzinny, wyszukawszy poprzednio w roczniku deklinację i rektascenzję danego ciała niebieskiego (wzgl. równanie czasu, o ile danem c. n. jest słońce).

3) Dla tego kąta godzinnego oraz dla deklinacji i szerokości wyszukuje się w tablicy Δh. Dodawszy następnie Δh do odmierzonej i poprawionej wysokości, otrzymuje się wysokość kulminacyjną H.

$$H = h + \Delta h.$$

Następnie postępuje się według punktu 4 i 5 poprzedniego ustępu.

P r z y k ł a d : Dnia 7 lipca 1928 r. obserwowano wysokość dolnej krawędzi księżyca $\mathbb{C} = 38^\circ\ 23'\ 30''$ o godzinie $Z = 3^h\ 27^m\ 50^s$ *a. m.* Porównanie zegara z chronometrem $Ch - Z = -1^h\ 23^m\ 43^s$. Stan chronometru $M_0 - Ch = +0^h\ 24^m\ 3^s$. Wysokość oczna $a = 10^m$. Błąd indeksu $i = +2'\ 30''$. Pozycja zliczona : $\varphi = 36^\circ\ N$, $\lambda = 18^\circ\ O$. Obliczyć szerokość geograficzną.

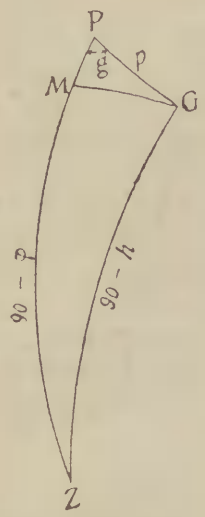
R o z w i ą z a n i e :

Z =	$3^h\ 27^m\ 50^s$
$Ch - Z$ =	$-1^h\ 23^m\ 43^s$
Ch =	$2^h\ 4^m\ 7^s$
$M_0 - Ch$ =	$+\ 24^m\ 3^s$
M_0 =	$2^h\ 28^m\ 10^s$
$\alpha_\odot$ =	$6^h\ 59^m\ 15^s$
G_0 =	$9^h\ 27^m\ 25^s$
$\alpha_\mathbb{D}$ =	$22^h\ 22^m\ 27^s$
T_0 =	$11^h\ 4^m\ 58^s$
λ =	$1^h\ 12^m$
$T\lambda$ =	$12^h\ 16^m\ 58^s$
$g\lambda$ =	$0^h\ 16^m\ 58^s$ *West*

$\mathbb{C}$ =	$37^\circ\ 23'\ 30''$
i =	$+\ 2'\ 30''$
$\mathbb{C}$ =	$37^\circ\ 26'$
cp =	$+\ 53{,}8'$
h =	$38^\circ\ 19{,}8'$
Δh =	$9{,}3'$ z tablic
H =	$38^\circ\ 29{,}1'$
z_1 =	$+51^\circ\ 30{,}9'$
δ =	$-15^\circ\ 40{,}5'$
φ =	$+35^\circ\ 50{,}4'$

5. Obliczanie szerokości z obserwacji gwiazdy polarnej. Obliczanie szerokości z gwiazdy polarnej polega na zasadzie, że wysokość biegunowa równa jest szerokości. Gdyby gwiazda polarna znajdowała się dokładnie na biegunie, wówczas odmierzona wysokość równałaby się szerokości, ponieważ jednak gwiazda polarna oddalona jest od bieguna o mniejwięcej 1,1°, przeto wysokość gwiazdy polarnej naogół różni się od szerokości o pewną wartość, która nie przekracza nigdy wartości $1{,}1^\circ = p = 90 - \delta$. Chodzi zatem o obliczenie tej różnicy.

Na rys. 28 przedstawiony jest trójkąt biegunowy dla gwiazdy polarnej. Zatoczywszy z punktu Z promieniem sferycznym ZG łuk, otrzymuje się mały trójkąt MPG z kątem prostym przy M, przyczem $ZG = ZM = 90 - h$.



Rys. 28.

Bok MP jest właśnie tą różnicą pomiędzy wysokością gwiazdy polarnej a szerokością, gdyż $MP = PZ - MZ = (90 - \varphi) - (90 - h) = h - \varphi$, stąd $\varphi = h - MP$.

MP oblicza się z trójkąta PMG, który z powodu małych rozmiarów można uważać za płaski, a mianowicie $MP = p \cos g\lambda$, czyli ostatecznie

$$\varphi = h - p \cos g\lambda.$$

Z tego wzoru wynika, że w czasie górnej kulminacji $\varphi = h - p$, a w czasie dolnej kulminacji $\varphi = h + p$. Jeżeli kąt godzinny wynosi 6^h, wtedy $\varphi = h$. Jeżeli kąt godzinny jest większy od 6 godzin, wtedy poprawkę należy do wysokości dodać, jeżeli zaś kąt godzinny jest mniejszy od 6 godzin, wtedy należy poprawkę odjąć.

W praktyce otrzymuje się tę poprawkę z tablicy, umieszczonej w roczniku astronomicznym. Argumentem do tej tablicy jest miejscowy czas gwiazdowy, t. j. miejscowy czas punktu wiosennego. Poprawki podane są z dokładnością na 0,1′ i z właściwym znakiem.

Oprócz powyższej poprawki można jeszcze wyszukać w tablicach, znajdujących się obok, drugą i trzecia poprawkę, jednakże poprawek tych nie potrzeba uwzględniać, gdyż wartości ich są mniejsze od błędów samej obserwacji.

Druga poprawka uwzględnia nieścisłość, popełnioną założeniem, że trójkąt PMG (Rys. 28) jest płaski i prostokątny; argumentem do tej poprawki jest miejscowy czas gwiazdowy oraz szerokość, względnie wysokość gwiazdy polarnej.

Trzecia poprawka uwzględnia zmianę rektascenzji i deklinacji gwiazdy polarnej, argumentem do tej poprawki jest oprócz miejscowego czasu gwiazdowego data.

Sposób postępowania:

1) Obserwuje się wysokość gwiazdy polarnej, zapisując moment z dokładnością na $0{,}1^m$.

2) Zapisany moment zamienia się na miejscowy czas gwiazdowy z dokładnością na $0{,}1^m$, a wysokość odmierzoną poprawia się na astronomiczną.

3) W roczniku astronomicznym wyszukuje się pierwszą (ewentualnie drugą i trzecią) poprawkę, którą się dodaje do wysokości astronomicznej z uwzględnieniem znaku, podanego w tablicy.

Określając szerokość z gwiazdy polarnej, można równocześnie przeprowadzić kontrolę dewiacji.

Przykład: Dnia 24 lutego 1928 r. o godzinie $Z = 4^h\ 27{,}3^m$ *a. m.* zaobserwowano wysokość gwiazdy polarnej $* = 52^\circ\ 12'\ 10''$. Długość zliczona wynosiła $\lambda = 42^\circ\ W$. Błąd indeksu $i = -40''$. Wysokość oczna $a = 6m$.

Porównanie zegara z chronometrem $Ch - Z = +2^h\ 50^m\ 13^s$. Stan chronometru $M_0 - Ch = -0^h\ 2^m\ 36^s$. Obliczyć szerokość geograficzną.

Rozwiązanie:

Z	$= 4^h\ 27{,}3^m$	$*$	$= 52^\circ\ 12'\ 10''$
$Ch - Z$	$= +2^h\ 50{,}2^m$	i	$= -\quad 40''$
Ch	$= 7^h\ 17{,}5^m$	$*$	$= 52^\circ\ 11'\ 30''$
$M_0 - Ch$	$= -\ 2{,}6^m$	cp	$= -\ 5{,}2'$
M_0	$= 7^h\ 14{,}9^m$	h	$= 52^\circ\ 6{,}3'$
$\alpha_\odot$	$= 22^h\ 11{,}7^m$	Ip	$= +\ 62{,}2'$
G_0	$= 5^h\ 26{,}6^m$	φ	$= 53^\circ\ 8{,}5'$
λ	$= -2^h\ 48^m$	IIp	$=\quad 0{,}0'$
$G\lambda$	$= 2^h\ 38{,}6^m$	$IIIp$	$= +\ 0{,}2'$
		φ	$= 53^\circ\ 8{,}7'\ N$

6. Obliczanie długości z chronometru. Chcąc określić długość geograficzną na morzu, należy poprzednio określić dokładną szerokość jednym z powyższych sposobów, gdyż nie znając szerokości, nie można określić długości.

Zasada określania długości polega na tem, że w pewnym momencie obserwuje się wysokość ciała niebieskiego, zapisując dokładny moment obserwacji. Dla powodów, o których później będzie mowa, należy obserwację taką przeprowadzić w czasie, w którym ciało niebieskie możliwie szybko zmienia wysokość, a zatem w pobliżu pierwszego wertykału.

Po odmierzeniu wysokości i zanotowaniu dokładnego czasu znane są w trójkącie biegunowym trzy elementy, a mianowicie φ, δ i h.

Znając trzy boki, oblicza się wzorem trygonometrycznym miejscowy kąt godzinny, a tem samem miejscowy czas tego ciała niebieskiego $T\lambda$. Chronometr wskazuje czas średni gryniczowski, a pośrednio i czas danego ciała niebieskiego w Gryniczu T_0, a zatem

$$\lambda = T\lambda - T_0.$$

Sposób postępowania:

1) Oblicza się przybliżony czas i wysokość w momencie najszybszej zmiany wysokości, aby wiedzieć, kiedy najkorzystniej obserwację przeprowadzać i czy obserwacja wogóle jest możliwa.

2) Mierzy się wysokość ciała niebieskiego, zapisując dokładny czas.

3) Odmierzoną wysokość poprawia się na astronomiczną, a zapisany czas zamienia się na czas gryniczowski danego ciała niebieskiego, wyszukawszy poprzednio efemerydy danego ciała niebieskiego.

4) Po utworzeniu wartości $z = 90 - h$ i $z' = \varphi - \delta$, a następnie $\frac{z+z'}{2}$ i $\frac{z-z'}{2}$ oblicza się miejscowy kąt godzinny z wzoru

$$\text{sem } g\lambda = \sin \frac{z+z'}{2} \sin \frac{z-z'}{2} \sec \varphi \sec \delta.$$

5) Otrzymany kąt godzinny $g\lambda$ zamienia się na $T\lambda$, dodając lub odejmując od 12^h w zależności od tego, czy kąt godzinny jest zachodni lub wschodni. Odejmując T_0 od $T\lambda$, otrzymuje się długość w mierze czasowej, którą zamienia się następnie na miarę stopniową.

Przykład: Dnia 10 grudnia 1928 r. obserwowano o godzinie $Z = 7^h\ 18^m\ 32^s$ wysokość Venus $* = 32°\ 4'\ 5''$. Szerokość geograficzna wynosi $\varphi = 12°\ 23'\ S.$ Stan zegara $M_0 - Z = -0^h\ 2^m\ 9^s$. Wysokość oczna $a = 8$ m. Błąd indeksu $i = -0'\ 30''$.

Rozwiązanie:

Z	$= 7^h\ 18^m\ 32^s$
$M_0 - Z$	$= -\ 2^m\ 9^s$
M_0	$= 7^h\ 16^m\ 23^s$
$\alpha_\odot$	$= 17^h\ 15^m\ 5^s$
G_0	$= 24^h\ 31^m\ 28^s$
α_*	$= 20^h\ 1^m\ 48^s$
T_0	$= 4^h\ 29^m\ 40^s$

φ	$= -\ 12°\ 23'$
δ	$= -\ 22°\ 42{,}6'$
z'	$= 10°\ 19{,}6'$

$*$	$= 32°\ 4'\ 5''$
i	$= -\ 30''$
$*$	$= 32°\ 3'\ 35''$
cp	$= -\ 6{,}5'$
h	$= 31°\ 57{,}1'$
z	$= 58°\ 2{,}9'$
z_1	$= 10°\ 19{,}6'$
$z+z_1$	$= 68°\ 22{,}5'$
$\frac{z+z_1}{2}$	$= 34°\ 11{,}3'$
$\frac{z-z_1}{2}$	$= 23°\ 51{,}6'$

$$\log \sin \frac{z+z'}{2} = \bar{1},74967$$

$$\log \sin \frac{z-z'}{2} = \bar{1},90692$$

$$\log \sec \varphi = 0,01022$$

$$\log \sec \delta = 0,03505$$

$$\log \operatorname{sem} g\lambda = \bar{1},40186$$

$g\lambda = 4^h\ 1^m\ 12^s$ *West*
$T\lambda = 16^h\ 1^m\ 12^s$
$T_0 = 4^h\ 29^m\ 40^s$

$\lambda = 11^h\ 31^m\ 32^s$ *O.*
$\lambda = 172^\circ\ 53'$ *O.*

Dokładność powyższego sposobu zależy od dokładności $T\lambda$ i T_0. Dokładność T_0 zależna jest od dokładności chronometru, czyli błąd chronometru przechodzi pełną swoją wartością na błąd długości. Jeżeli stan chronometru jest 4^s fałszywy, to długość otrzymuje się o $1'$ fałszywa ($4^s = 1'$).

Dokładność $T\lambda$ względnie $g\lambda$ zależy od dokładności tych elementów, z których oblicza się $g\lambda$, t. j. od dokładności h, φ i δ.

Wpływ błędu w odmierzonej wysokości na obliczony kąt godzinny wyraża się wzorem

$$\Delta g = \Delta h \sec \varphi \operatorname{cosec} \omega = \Delta h \sec \delta \operatorname{cosec} \nu.$$

Błąd w odmierzonej wysokości przechodzi przeto w najkorzystniejszym wypadku całą swoją wartością na błąd w długości, t. j. wtedy, gdy obserwację przeprowadza się w momencie najszybszej zmiany wysokości; w każdym innym wypadku błąd w długości jest większy od błędu wysokości, gdyż funkcja secans i cosecans jest zawsze większa od jedności.

Zamiast $\Delta g = \Delta h \sec \varphi \operatorname{cosec} \omega$ można również napisać $\Delta\lambda = \Delta h \sec \varphi \operatorname{cosec} \omega$, gdyż błąd w kącie godzinnym przechodzi pełną wartością na błąd długości. W praktyce większe znaczenie ma błąd w zboczeniu, aniżeli błąd w długości, gdyż błąd w długości, wynoszący jedną minutę, odpowiada na równiku jednej mili morskiej, a na szerokości 60° odpowiada tylko pół mili morskiej. Jeżeli do poprzedniego podstawimy $\Delta\lambda = \Delta a \sec \varphi$, wówczas otrzymamy:

$$\Delta a = \Delta h \operatorname{cosec} \omega,$$

Wpływ błędu szerokości na błąd długości wyraża się wzorem:

$$\Delta g = \Delta\varphi \sec \varphi \operatorname{ctg} \omega.$$

Błąd w szerokości nie ma żadnego wpływu na dokładność długości, jeżeli $\omega = 90^\circ$, t. j. jeżeli ciało niebieskie znajduje się na pierwszym wertykale, gdyż $\operatorname{ctg} 90^\circ = 0$, a zatem w tym wypadku pierwszy wertykał jest również najkorzystniejszy dla określania długości.

Wpływ błędu deklinacji ma mniejsze znaczenie i wyraża się wzorem:

$$\Delta g = \Delta\delta \sec \delta \operatorname{ctg} \nu,$$

czyli błąd deklinacji nie wpływa na błąd długości, o ile obserwację przeprowadza się w czasie największej dygresji; ponadto korzystniejsze są ciała niebieskie o małej deklinacji, gdyż secans małych kątów jest mniejszy.

7. Linja pozycyjna. Do nie tak dawnych czasów jedynym sposobem otrzymywania pozycji astronomicznej na morzu było oddzielne określanie szerokości jednym z omawianych sposobów, a następnie na podstawie znanej szerokości wyznaczanie długości geograficznej przy pomocy chronometru.

Szerokość można było zatem w dzień oznaczać tylko w południe, a długość można było oznaczyć tylko wtedy, gdy poprzednio zdołano określić szerokość, przyczem od chwili określenia szerokości do chwili określenia długości niedokładność szerokości stawała się coraz większa z powodu błędów w zliczaniu.

Racjonalne wykorzystywanie odmierzonych wysokości ciał niebieskich datuje się od czasu, kiedy kapitan Sumner wykazał, że każda obserwacja wysokości ciała niebieskiego, czy jest zrobiona w czasie kulminacji, czy w pobliżu pierwszego wertykału, daje w rezultacie zawsze linję pozycyjną, podobnie jak każda obserwacja objektów na lądzie daje w nawigacji również linję pozycyjną.

Astronomiczna linja pozycyjna jest zatem miejscem geometrycznem wszystkich punktów na powierzchni ziemi, z których dana gwiazda widziana jest w danym momencie na jednakowej wysokości. Chodzi tylko o znalezienie tej linji pozycyjnej i o wykreślenie jej na mapie.

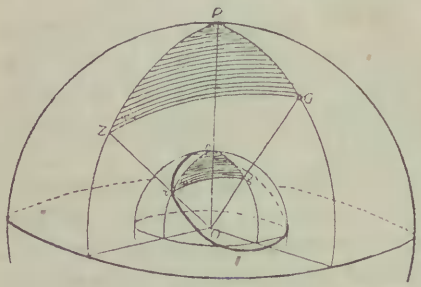
Sumner doszedł do tego rezultatu drogą przypadku, a mianowicie w roku 1837 jadąc z Charlestonu do Greenock, miał z powodu sztormu *SO*, który trwał kilka dni, tylko bardzo niedokładną pozycję zliczoną. Według zliczenia musiał już być niedaleko wybrzeży Anglji, gdy 17-go grudnia udało mu się po raz pierwszy odmierzyć przed południem wysokość słońca.

Nie znając prawdziwej szerokości, przeprowadził Sumner trzy jednakowe obliczenia długości, a mianowicie jedną długość obliczył dla szerokości zliczonej i dwie długości dla dwóch innych szerokości, mało różniących się od poprzedniej. Tym sposobem Sumner otrzymał trzy punkty. Po oznaczeniu tych punktów na mapie okazało się, że leżą one na jednej linji prostej, której przedłużenie przechodziło przypadkowo przez latarnię Smalls.

Sumner wyciągnął z tego słuszny wniosek, że jego statek musi się na tej linji znajdować, a zatem, że sterując po tej linji, musi

wkrótce zobaczyć Smalls-Light w kierunku kursu. Rzeczywiście po upływie godziny ujrzano zprzodu Smalls.

8. Rzut gwiazdy. Koło pozycyjne. Na rys. 29 przedstawiona jest kula niebieska z kulą ziemską w środku. *P* jest biegunem niebieskiem, a *p* biegunem ziemskim, *Z* jest zenitem, a *z* jest pozycją. *G* jest jakąś gwiazdą, a *g* jest punktem przecięcia się powierzchni ziemi z prostą, łączącą środek ziemi *O* z gwiazdą *G* i nazywa się dlatego rzutem gwiazdy.



Rys. 29.

Z rysunku jest widoczne, że gwiazda i rzut gwiazdy są w takiej samej od siebie zależności, jak biegun niebieski i ziemski, albo zenit i pozycja. Trójkąt sferyczny *zpg* na kuli ziemskiej jest rzutem trójkąta biegunowego *ZPG*. Oba trójkąty mają zatem wszystkie elementy równe, między innemi $ZG = zg$.

Słowami: Odległość zenitowa gwiazdy równa jest odległości po ortodromie pomiędzy pozycją obserwatora a rzutem gwiazdy. Odległość gwiazdy od zenitu $(90 - h)$, wyrażona w minutach, równa się odległości pozycji obserwatora od rzutu gwiazdy w milach morskich.

Odmierzanie wysokości, względnie odległości zenitowej ciała niebieskiego, jest równoznaczne z odmierzaniem odległości przedmiotu, znajdującego się na rzucie gwiazdy *g*.

Miejscem geometrycznem wszystkich punktów, z których gwiazda *G* widziana jest w jednakowej odległości zenitowej, względnie miejscem geometrycznem wszystkich punktów, jednakowo odległych od rzutu gwiazdy, jest koło, zakreślone dookoła rzutu gwiazdy promieniem sferycznym, równym odległości zenitowej.

Koło pozycyjne, jak widać z rysunku, jest prostopadłe do ortodromy, łączącej pozycję z rzutem gwiazdy. Kąt, zawarty pomiędzy miejscowym południkiem a tą ortodromą, równy jest kątowi *PZG*, t. j. azymutowi gwiazdy.

Najprostszy sposób wykorzystania obserwacji ciała niebieskiego byłby teoretycznie następujący: Mając globus, łatwo można na nim odnaleźć rzut gwiazdy, gdyż szerokość geograficzna rzutu gwiazdy równa jest jej deklinacji, a długość geograficzna równa jest jej chwilowemu kątowi godzinnemu dla południka gryniczowskiego (Zobacz rysunek).

Oznaczywszy tym sposobem rzut gwiazdy na globusie, możnaby następnie dookoła tego rzutu zakreślić koło o promieniu sferycznym, równym odmierzonej odległości zenitowej. Koło to byłoby linją pozycyjną.

Chcąc otrzymać pozycję, należałoby zrobić drugą obserwację, t. j. wykreślić drugie takie koło pozycyjne. Na jednym z punktów przecięcia się obu kół byłaby pozycja statku.

Powyższy sposób otrzymywania pozycji jest technicznie niewykonalny. Aby otrzymać pozycję z wystarczającą dokładnością, należałoby mieć taki globus, na którym mila morska jest niewiele mniejsza od jednego milimetra, a średnica takiego globusa wynosiłaby prawie 7 metrów.

Specjalnym rodzajem kół pozycyjnych są równoleżniki szerokości, a mianowicie wtedy, gdy obserwowana gwiazda leży na biegunie niebieskim. Biegun ziemski byłby rzutem takiej gwiazdy. Równoleżniki byłyby miejscem geometrycznem wszystkich punktów, z których ta gwiazda widziana jest na jednakowej wysokości. (Wszak wiadomo, że szerokość równa się wysokości biegunowej).

Obserwator, znajdujący się na rzucie gwiazdy, widzi gwiazdę w zenicie. Im większa jest wysokość gwiazdy, względnie im mniejsza jest odległość zenitowa, tem mniejszy jest promień koła pozycyjnego. Jeżeli wysokość wynosi zero, wtedy koło pozycyjne jest kołem wielkiem, jeżeli zaś wysokość równa się 90°, wtedy koło pozycyjne jest punktem.

9. Wykreślanie linji pozycyjnej na mapie morskiej. Koła pozycyjne przedstawiają się na mapie Merkatora w postaci linij krzywych, podobnych bądź do elipsy, bądź do hiperboli, bądź do sinusoidy, w zależności od położenia rzutu gwiazdy i promienia koła pozycyjnego. Wykreślanie całych kół pozycyjnych na mapie morskiej połączone byłoby zatem z wielkiemi trudnościami.

W praktyce znana jest zawsze pozycja ze zliczenia, a zatem w rachubę wchodzi nie całe koło pozycyjne, tylko stosunkowo mała jego cząsteczka. Mała część koła pozycyjnego może być na mapie morskiej zastąpiona linją prostą na tej zasadzie, że łuk każdej linji krzywej może być zastąpiony prostą, o ile ten łuk jest odpowiednio mały.

Część koła pozycyjnego, zastąpiona na mapie morskiej linją prostą, nazywa się *astronomiczną linją pozycyjną*.

Aby wykreślić linję pozycyjną na mapie, muszą być znane albo współrzędne dwóch punktów, leżących na linji pozycyjnej, albo współ-

rzędne jednego tylko punktu oraz kierunek linji pozycyjnej. W pierwszym wypadku linja pozycyjna jest sieczną właściwego koła pozycyjnego, w drugim styczną.

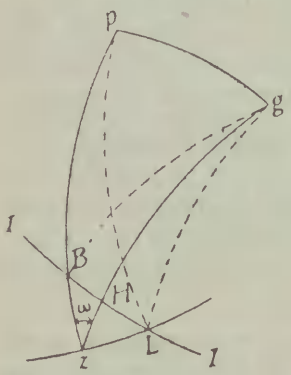
Wykreślanie linji pozycyjnej pierwszym sposobem nazywa się *metodą siecznej*, a wykreślanie drugim sposobem nazywa się *metodą stycznej*. Sposób, jakim Sumner otrzymał linję pozycyjną, był zatem metodą siecznej. Dzisiaj używana jest przeważnie metoda stycznej, gdyż wymaga ona najmniej rachunku.

Współrzędne dowolnego punktu, leżącego na linji pozycyjnej, można otrzymać trzema sposobami:

a) metodą długościową,
b) metodą szerokościową,
c) metodą wysokościową.

Kierunek linji pozycyjnej otrzymuje się, obliczając azymut gwiazdy, styczna bowiem do koła pozycyjnego jest prostopadła do ortodromy, łączącej punkt styczności z rzutem gwiazdy, kierunek jej jest zatem prostopadły do azymutu (zobacz rys. 30).

10. Metoda długościowa. Metoda długościowa polega na obliczaniu długości geograficznej punktu przecięcia się koła pozycyjnego z dowolnym równoleżnikiem o szerokości φ. Na rys. 30 I I jest częścią koła pozycyjnego, zatoczonego dookoła rzutu gwiazdy g promieniem $gL=gH=gB=$ odmierzonej odległości zenitowej. Punkt L jest punktem przecięcia się koła pozycyjnego z dowolnym równoleżnikiem, np. z równoleżnikiem pozycji zliczonej z. Poprowadziwszy przez L południk, a przez L i g koło wielkie, czyli ortodromę, otrzymuje się trójkąt sferyczny pLg, w którym bok $pL=90-\varphi$, bok $pg=90-\delta$ a bok $gL=z=90-h$. W tym trójkącie znane są zatem wszystkie boki.



Rys. 30.

Rozwiązując ten trójkąt, oblicza się miejscowy kąt godzinny dla punktu L, a tem samem i długość geograficzną.

Obliczanie współrzędnych punktu metodą długościową jest równoznaczne z określaniem długości przy pomocy chronometru. Gdyby szerokość φ była prawdziwą, a nie zliczoną, wówczas punkt L byłby nietylko punktem, leżącym na linji pozycyjnej, ale wprost pozycją statku.

Właściwa metoda Sumnera, a zatem metoda, którą swego czasu Sumner otrzymał linję pozycyjną, polega zatem na obliczaniu współrzędnych punktów metodą długościową i wykreślaniu linji pozycyjnej metodą siecznej.

11. Metoda szerokościowa. Metoda szerokościowa polega na obliczaniu współrzędnych punktu przecięcia się koła pozycyjnego z dowolnym południkiem. Na rys. 30 punkt B jest punktem przecięcia się koła pozycyjnego z południkiem pozycji zliczonej z. Połączywszy punkt B z rzutem gwiazdy ortodromą, otrzymuje się trójkąt sferyczny pgB, w którym bok $Bg=z=90-h$, bok $pg=90-\delta$, a kąt Bpg równy jest miejscowemu kątowi godzinnemu dla danej długości. Z tych trzech elementów można obliczyć bok $pB=90-\varphi$, czyli szerokość geograficzną punktu B.

Metoda szerokościowa nie ma zupełnie w praktyce zastosowania, jedynie obliczanie szerokości z obserwacji ciała niebieskiego w pobliżu kulminacji jest do pewnego stopnia zastosowaniem tej metody.

12. Metoda wysokościowa. Prawie powszechnie używana jest dzisiaj metoda wysokościowa. Polega ona na obliczaniu współrzędnych punktu przecięcia się koła pozycyjnego z ortodromą, łączącą pozycję zliczoną z rzutem gwiazdy (Na rys. 30 punkt H).

Aby otrzymać na mapie punkt H, należy z pozycji zliczonej z wykreślić część ortodromy zg i na tej ortodromie odmierzyć odcinek zH.

Pozycja zliczona jest w praktyce zawsze na tyle zbliżona do linji pozycyjnej, że odcinek zH, który jest właściwie łukiem koła wielkiego, można wykreślić jako prostą, t. j. jako loksodromę. Kąt, jaki ta prosta tworzy z południkiem, równy jest azymutowi ciała niebieskiego.

Pozostaje jeszcze do obliczenia odcinek zH. Jak widać z rysunku $zH=zg-Hg$, przyczem zg jest odległością zenitową gwiazdy dla obserwatora, znajdującego się w punkcie z. Ponieważ współrzędne pozycji zliczonej są znane, a moment obserwacji również przeto można tę odległość zenitową obliczyć: Hg natomiast jest dopełnieniem wysokości odmierzonej sekstansem, gdyż punkt H leży na kole pozycyjnem.

Jeżeli przez h_z oznaczymy wysokość, obliczoną dla pozycji zliczonej, a przez h_s wysokość astronomiczną, otrzymaną z obserwacji, wówczas:

$$zg = 90-h_z, \qquad a \quad Hg = 90-h_s$$

czyli

$$zH = zg-Hg = (90-h_z) - (90-h_s) = h_s-h_z-\Delta h.$$

Odległość punktu H od pozycji zliczonej, wyrażona w milach morskich, równa jest różnicy wysokości, odmierzonej sekstansem, i wysokości, obliczonej dla pozycji zliczonej.

Jeżeli $h_s > h_z$, wtedy $\Delta h > 0$.
Jeżeli $h_s < h_z$, wtedy $\Delta h < 0$.

Jeżeli Δh jest ujemne, wówczas odmierza się Δh mil morskich w kierunku przeciwnym do azymutu gwiazdy.

Otrzymawszy tym sposobem punkt H, kreśli się przez niego prostopadłą do azymutu (t. j. do ortodromy). Ta prostopadła jest linją pozycyjną, otrzymaną metodą stycznej.

Metoda wysokościowa nazwana jest również od jej wynalazcy metodą Marcq St. Hilaire'a.

Zamiast używania sposobu wykreślnego można również otrzymać współrzędne punktu H zapomocą zliczania. Punkt z uważa się za punkt wyjścia, Δh jest odległością, a azymut, względnie odwrotny azymut, jest kursem.

Sposób postępowania:

1) Odmierza się wysokość ciała niebieskiego, zapisując dokładny moment.

2) Odmierzoną wysokość poprawia się na astronomiczną, a zapisany moment zamienia się na kąt godzinny dla długości pozycji zliczonej, wyszukawszy poprzednio efemerydy danego ciała niebieskiego.

3) Oblicza się trygonometrycznie wysokość dla pozycji zliczonej z wzoru:

$$\sin h = \cos x \cos (\varphi - \delta),$$
$$\text{sem } x = \text{sem } g\lambda \cos \varphi \cos \delta \sec (\varphi - \delta).$$

Następnie wyszukuje się w tablicach azymut, albo oblicza się z wzoru:

$$\sin \omega = \sin g\lambda \cos \delta \sec h.$$

4) Oblicza się Δh, odejmując od poprawionej wysokości sekstansu obliczoną wysokość.

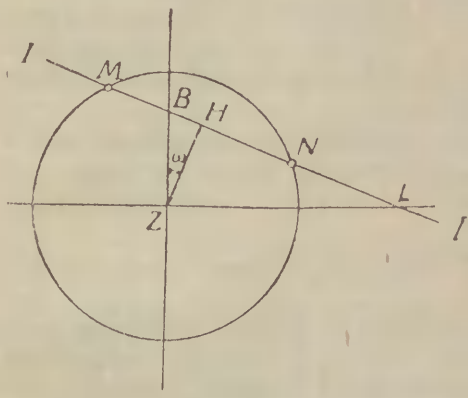
5) Z pozycji zliczonej wykreśla się prostą w kierunku, zgodnym lub przeciwnym do kierunku azymutu, w zależności od tego, czy Δh jest dodatnie lub ujemne, i na tej prostej odcina się Δh mil morskich. Przez otrzymany punkt H prowadzi się prostopadłą do kierunku azymutu i ta prosta jest linją pozycyjną. (Patrz przykłady na końcu).

Chcąc otrzymać pozycję statku, należy zrobić dwie takie obserwacje.

Każda obserwacja daje linję pozycyjną. W punkcie przecięcia się dwóch linij pozycyjnych znajduje się prawdziwa pozycja statku.

13 Dokładność linji pozycyjnej. Z wszystkich powyżej opisanych sposobów otrzymania linji pozycyjnej na mapie najlepszym i najprostszym sposobem jest metoda wysokościowa Marcq St. Hilaire'a.

Pozycja statku znajduje się zawsze wewnątrz koła, zatoczonego dookoła pozycji zliczonej *Z* promieniem, równym maksymalnemu przypuszczalnemu błędowi w zliczeniu. Jeżeli prosta I I (Rys. 31) jest linją pozycyjną, otrzymaną z obserwacji, wówczas pozycja statku może się znajdować tylko na cięciwie *MN*. Środkiem tej cięciwy, a zatem punktem linji pozycyjnej, leżącym najbliżej pozycji zliczonej, jest punkt *H*, czyli punkt przecięcia się linji pozycyjnej z ortodromą, łączącą pozycję zliczoną z rzutem gwiazdy.



Rys. 31.

Przyjmując w braku drugiej linji pozycyjnej pozycję statku w punkcie *H*, prawdopodobieństwo popełnienia dużego błędu jest najmniejsze. W najgorszym bowiem wypadku odległość prawdziwej pozycji statku od punktu *H* równa jest połowie cięciwy *MN*. Przyjmując pozycję statku w każdym innym punkcie linji pozycyjnej, można popełnić większy błąd.

Dla powyższych powodów punkt *H* nazywany jest „prawdopodobną pozycją statku" i jeżeli dwie obserwacje nie mogą być równocześnie przeprowadzone, wtenczas ten punkt uważa się za tymczasową pozycję statku i z tego punktu prowadzi się dalszą nawigację aż do chwili otrzymania drugiej linji pozycyjnej.

Gdybyśmy chcieli punkt *L* albo punkt *B* uważać za tymczasową pozycję statku, to prawdopodobieństwo popełnienia wielkiego błędu byłoby o wiele większe. Jak widać z rysunku, punkt *B* i punkt *L* (punkty przecięcia się linji pozycyjnej z południkiem i równoleżnikiem pozycji zliczonej) mogą leżeć nawet poza obrębem koła, zawierającego prawdziwą pozycję statku.

Przy małych azymutach punkt L przypada bardzo daleko, a przy dużych azymutach punkt B przypada daleko, podczas gdy punkt H zawsze znajduje się wewnątrz koła i jest najbliższy pozycji zliczonej.

Punkt H otrzymuje się zawsze z przecięcia się dwu prostych, prostopadłych do siebie, natomiast punkt B i L otrzymuje się z przecięcia się prostych, nachylonych do siebie pod pewnym kątem.

Dokładność punktu przecięcia się prostych jest tem większa, im bardziej kąt między temi prostemi zbliżony jest do 90°. Punkt L jest tem dokładniejszy, im azymut bardziej jest zbliżony do 90°, a punkt B jest tem dokładniejszy, im azymut jest bardziej zbliżony do 0°. Punkt H jest zawsze jednakowo dokładny, niezależnie od azymutu obserwowanego ciała niebieskiego.

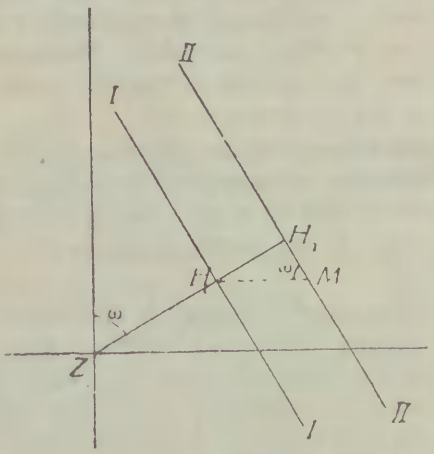
Niedokładności samej linji pozycyjnej mogą być spowodowane:

a) Błędem wysokości, obliczonej dla pozycji zliczonej,
b) Błędnie odmierzoną wysokością,
c) Błędem w azymucie,
d) Niedokładnością, polegającą na zastąpieniu linji pozycyjnej prostą,
e) Niedokładnością, polegającą na zastąpieniu azymutu prostą.

Ad a). Błąd w obliczonej wysokości może być spowodowany błędem chronometru, błędem szerokości i błędem deklinacji. Błąd szerokości nie wchodzi w rachubę, gdyż pozycja zliczona jest do pewnego stopnia dowolna, tak samo błąd deklinacji nie ma praktycznego znaczenia, gdyż deklinację otrzymuje się z wystarczającą dokładnością z rocznika astronomicznego; jedynie błąd chronometru, względnie błąd kąta godzinnego, ma wpływ na dokładność obliczonej wysokości. Jeżeli błąd chronometru oznaczymy przez Δg, a błąd w obliczonej, wysokości, spowodowany błędem chronometru, przez Δh, to

$$\Delta h = \Delta g \cos \varphi \sin \omega.$$

Błąd wysokości powoduje przesunięcie się linji pozycyjnej w kierunku azymutu o wartość tego błędu.



Rys. 32.

Na rys. 32 linja I I jest

bezbłędną linją pozycyjną, a linja II II jest fałszywą, linją pozycyjną, przyczem $HH_1 = \Delta g \cos \varphi \sin \omega$. Poprawdziwszy przez punkt H równoleżnik, otrzymujemy trójkąt HH_1M, w którym kąt $H_1MH = \omega$, a kąt przy H_1 jest kątem prostym. W tym trójkącie

$$HM = HH_1 \operatorname{cosec} \omega,$$

albo podstawiając $HH_1 = \Delta g \cos \varphi \sin \omega$, otrzymujemy

$$HM = \Delta g \cos \varphi.$$

Odległość punktów H i M wynosi zatem $\Delta g \cos \varphi$ mil morskich, czyli różnica długości pomiędzy temi punktami wynosi Δg (gdyż $\Delta g \cos \varphi$ jest zboczeniem).

Odcinek HM jest wartością przesunięcia linji pozycyjnej w kierunku $O-W$, spowodowanym błędem chronometru Δg. Z powyższego widać, że błąd chronometru powoduje równoległe przesunięcie linji pozycyjnej w kierunku $O-W$ o tyle minut długościowych, ile wynosi błąd chronometru.

Pozycja, otrzymana z przecięcia się dwóch linij pozycyjnych, obarczona jest błędem w długości geograficznej, równym błędowi chronometru. Wogóle błąd chronometru wpływa zawsze pełną swoją wartością na błąd długości, a nie ma wpływu na szerokość pozycji statku.

Ad b). Podobnie jak błąd w obliczonej wysokości, również błąd odmierzonej wysokości powoduje równoległe przesunięcie się linji pozycyjnej w kierunku azymutu o wartość, równą temu błędowi.

Błędy odmierzonej i obliczonej wysokości mogą się częściowo znosić, lub mogą się potęgować, w każdym razie należy przyjmować maksymalny przypuszczalny błąd, równy sumie tych błędów. Obserwacja daje zatem w rezultacie nie linję pozycyjną, tylko pas pozycyjny. Grubość tego pasa równa jest podwójnej sumie maksymalnych przypuszczalnych błędów wysokości obliczonej i odmierzonej. Ze względu na to, że kierunek błędu nie jest znany, należy przesunąć otrzymaną linję pozycyjną w obie strony o maksymalny przypuszczalny błąd w wysokościach. W tem znaczeniu dwie obserwacje nie dają w rezultacie punktu, lecz równoległobok pozycyjny.

Wielkość przypuszczalnego błędu w wysokości, odmierzonej sekstansem, zależy przedewszystkiem od warunków, w jakich przeprowadzono obserwację. W dzień, jeżeli widnokrąg zarysowuje się ostro, jeżeli morze jest spokojne, największy przypuszczalny błąd nie powinien przekraczać $^1/_2$ minuty.

Nocne obserwacje są naogół o wiele niedokładniejsze od dziennych, gdyż w nocy widnokrąg przeważnie bardzo słabo się zarysowuje i albo

gwiazdy są wyraźne, a widnokrąg niewyraźny, albo widnokrąg jest wyraźny, a gwiazdy są niewyraźne.

Gwiazdy można obserwować przeważnie tylko krótko po zachodzie lub krótko przed wschodem, albo w noce księżycowe. Dokładność nocnych obserwacyj gwiazd jest zatem bardzo mała i maksymalny przypuszczalny błąd obserwacji wynosi 3—4 minut.

Największy błąd w odmierzonej wysokości polega nietyle na błędnym względnie niedokładnym pomiarze, ile na błędzie w całkowitej poprawce, a w szczególności na błędzie w głębokości widnokręgu.

W całkowitej poprawce odmierzonej wysokości uwzględniona jest tylko średnia głębokość widnokręgu i średnia refrakcja, tymczasem wiadomo, że w zależności od różnicy temperatury wody i powietrza rzeczywista głębokość widnokręgu może się znacznie różnić od średniej wartości. Różnica pomiędzy średnią głębokością widnokręgu a rzeczywistą może dochodzić do kilku minut, szczególnie w pobliżu gór lodowych, nad ranem i wieczorami.

Chcąc otrzymać dokładną linję pozycyjną, należy głębokość widnokręgu odmierzyć, a następnie uwzględniać pokolei poszczególne poprawki. Do odmierzania głębokości widnokręgu służą specjalne przyrządy (przyrząd Pulfrich'a); czasami można zmierzyć sekstansem głębokość widnokręgu.

Pewne wytyczne co do dokładności samych pomiarów można otrzymać, robiąc szybko kilka obserwacyj zrzędu i badając następnie zmiany wysokości w zależności od zmian zapisanych momentów. Przy prawidłowych pomiarach zmiany poszczególnych wysokości powinny być proporcjonalne do odpowiadających odstępów czasu.

Ad c). Jeżeli azymut jest o $\Delta\omega$ fałszywy, wtedy kierunek linji pozycyjnej jest również o $\Delta\omega$ fałszywy, a tem samem linja pozycyjna zamienia się na pewnego rodzaju snop pozycyjny. Błąd w azymucie nie ma praktycznego znaczenia, gdyż azymut można obliczyć zawsze z wystarczającą dla praktyki dokładnością; jedynie przy bardzo wielkich wartościach Δh błąd azymutu mógłby mieć znaczenie.

Ad d). Nieścisłość, popełniona zastąpieniem łuku koła pozycyjnego prostą na mapie, czyli loksodromą, jest tem większa, im większa część linji pozycyjnej zastąpiona jest prostą i im mniejszy jest promień krzywizny koła pozycyjnego.

Wielkość łuku koła pozycyjnego, wchodzącego w rachubę przy określaniu pozycji, zależy od dokładności pozycji zliczonej, względnie od wielkości Δh, a promień krzywizny koła pozycyjnego zależy od

wysokości ciała niebieskiego. Im większe jest Δh, tem większa część koła pozycyjnego wchodzi w rachubę, a im większa jest wysokość ciała niebieskiego, tem mniejszy jest promień krzywizny koła pozycyjnego.

Dla powyższych powodów metoda Marcq St. Hilaire'a staje się niedokładna, jeżeli błąd pozycji zliczonej jest wielki, szczególnie jeżeli wysokość ciała niebieskiego jest również wielka.

Chcąc otrzymać linję pozycyjną z obserwacji ciała niebieskiego, którego wysokość jest bardzo wielka (np. większa od 80°), należy obliczyć metodą długościową, albo szerokościową współrzędne trzech punktów, leżących na kole pozycyjnem. Te punkty, wyrysowane na mapie, wskażą do jakiego stopnia linja pozycyjna na mapie może być zastąpiona loksodromą, względnie wskazują one krzywiznę linji pozycyjnej na mapie.

Jeżeli obserwowana wysokość jest bardzo wielka, wówczas można również otrzymać dokładne koło pozycyjne na mapie, wykonanej według rzutu stereograficznego. Wiadomo, że rzut stereograficzny ma tę własność, iż każde koło na powierzchni ziemi, a zatem i koło pozycyjne, przedstawia się na tym rzucie również jako koło. Wyszukawszy na takiej mapie rzut gwiazdy, zatacza się dookoła tego rzutu koło o promieniu, wynoszącym tyle mil morskich, ile minut wynosi odmierzona odległość zenitowa. Koło to jest dokładną linją pozycyjną.

Ad e) Nieścisłość popełniona zastąpieniem azymutu, t. j. ortodromy, loksodromą, zależy również od wielkości Δh i od azymutu. Przy azymutach N i S ortodroma i loksodroma zlewają się, a w azymutach O i W różnica między ortodromą i loksodromą jest największa*).

14. Praktyczne wskazówki przy określaniu astronomicznej pozycji na morzu. Przy określaniu pozycji z dwóch obserwacyj należy wybierać dwa ciała niebieskie, których azymuty tworzą kąt, możliwie zbliżony do 90°, gdyż wtedy kąt pomiędzy linjami pozycyjnemi również jest zbliżony do 90°, a dokładność punktu przecięcia się dwóch linij jest tem większa, im bardziej kąt między temi linjami zbliżony jest do 90°.

Obserwując trzy ciała niebieskie, wybiera się takie, których azymuty różnią się o 60°, względnie 120°.

W dzień można przeważnie robić tylko jedną obserwację naraz, gdyż w dzień widoczne jest przeważnie tylko słońce. Stosunkowo

*) Dla powodów, przytoczonych w punktach d) i e) używanie metody Marcq St. Hilaire'a jest niedopuszczalne, o ile błąd pozycji zliczonej jest większy od 30 mil morskich, albo wysokość ciała niebieskiego większa od 80 stopni.

rzadko słońce i księżyc są widoczne równocześnie na wysokościach, nadających się do obserwacji.

Jeżeli deklinacja słońca jest tego samego znaku, co szerokość (lato), wówczas najlepiej można obserwować słońce nad ranem w pobliżu pierwszego wertykału. Otrzymawszy prawdopodobną pozycję, prowadzi się dalszą nawigację od tej pozycji aż do południa, względnie aż do następnej obserwacji. W południe określa się szerokość, czyli otrzymuje się linję pozycyjną, równoległą do równoleżników. Astronomiczną pozycję statku otrzymuje się w punkcie przecięcia się drugiej linji pozycyjnej z pierwszą, przesuniętą równolegle do siebie, o drogę statku, przebytą według zliczenia od chwili pierwszej obserwacji do drugiej. Po południu można znowu obserwować słońce w pobliżu pierwszego wertykału.

Jeżeli deklinacja słońca jest przeciwnego znaku, niż szerokość (zima), wtedy obserwacja w pobliżu pierwszego wertykału jest niemożliwa. Obserwację słońca można rozpocząć w chwili, kiedy wysokość jest dla obserwacji dostatecznie wielka. Następną obserwację należy przeprowadzić dopiero wtedy, gdy azymut dostatecznie się zmienił. Linje pozycyjne nie powinny przecinać się pod kątem mniejszym niż 25°.

W nocy można przeprowadzać dwie, trzy i więcej obserwacyj równocześniej, względnie tak szybko jedną po drugiej, że droga statku przebyta w międzyczasie, może być pominięta.

Trzy lub więcej linij pozycyjnych daje nietylko pozycję statku, lecz równocześnie kontrolę dokładności obserwacji. Teoretycznie wszystkie linje pozycyjne powinny przecinać się w jednym punkcie, w rzeczywistości z powodu błędów w obserwacji powstaje zawsze większy lub mniejszy trójkąt błędów.

Dla uproszczenia rachunku dobrze jest wybierać jedną gwiazdę w czasie kulminacji, lub w pobliżu kulminacji, albo obserwować gwiazdę polarną i określić tym sposobem szerokość. Wybrawszy drugą gwiazdę w pobliżu pierwszego wertykału, oblicza się długość. Sposób ten wymaga najmniej rachunku i nie potrzeba przytem wykreślać linji pozycyjnej na mapie.

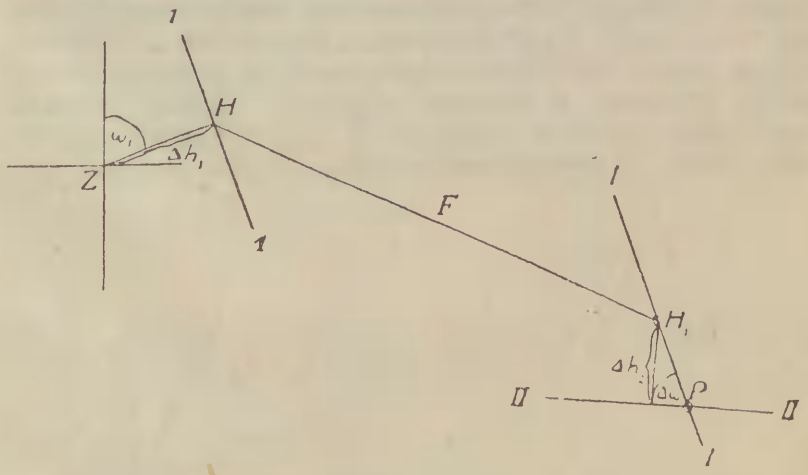
Linje pozycyjne, otrzymane z nocnych obserwacyj, są naogół o wiele niedokładniejsze od linij pozycyjnych z dziennych obserwacyj, gdyż w nocy widnokrąg jest przeważnie bardzo niewyraźny, a zatem odmierzone wysokości są o wiele mniej dokładne od dziennych obserwacyj słońca. Nocne obserwacje mają w porównaniu do dziennych tylko tę zaletę, że można robić dwie lub więcej obserwacyj naraz,

w dzień zaś upływa pomiędzy pierwszą a drugą obserwacją kilka godzin, w czasie których pierwsza linja pozycyjna traci na swej dokładności z powodu błędów w zliczaniu kursów.

Jedną dokładną linję pozycyjną, jaką można otrzymać z dziennej obserwacji, lepiej można wykorzystać dla bezpiecznego prowadzenia nawigacji, aniżeli niedokładną pozycję statku, otrzymaną z dwu lub więcej obserwacyj nocnych ; i tak np. dokładna linja pozycyjna, albo linja równoległa do niej, może wskazywać bezpieczną drogą, prowadzącą pomiędzy dwa niebezpieczne miejsca. Dokładna linja pozycyjna, albo równoległa do niej może być linją odgraniczającą niebezpieczny rejon, którego przekroczyć nie należy, wreszcie linja pozycyjna, albo jej równoległa może poprowadzić statek wprost do celu, albo do widocznego objektu na lądzie i t. p.

15. Obliczanie współrzędnych punktu przecięcia się dwóch linij pozycyjnych. Współrzędne punktu przecięcia się dwóch linij pozycyjnych otrzymuje się albo sposobem wykreślnym, albo przez zliczanie.

Na rys. 33. *Z* jest pozycją zliczoną, *H* jest prawdopodobną pozycją, a I I jest pierwszą linją pozycyjną. Z punktu *H* wykreślona jest droga statku *F*, przebyta pomiędzy pierwszą a drugą obserwacją. H_1 jest



Rys. 33.

zatem przesuniętą pozycyją prawdopodobną, a I I jest przesuniętą pierwszą linją pozycyjną. Punkt H_1 jest dla drugiej obserwacji pozycją zliczoną, z tego zatem punktu wykreśla się ω_2 i Δh_2. Prawdziwa

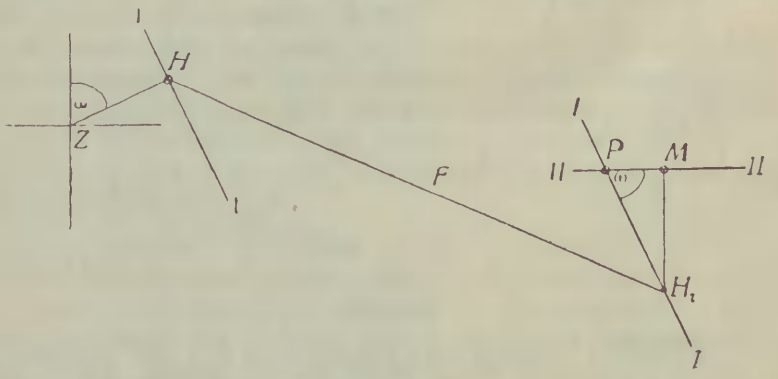
pozycja statku w chwili drugiej obserwacji znajduje się w punkcie P, t. j. w punkcie przecięcia się przesuniętej pierwszej linji pozycyjnej z drugą linją pozycyjną.

Chcąc otrzymać współrzędne punktu P sposobem rachunkowym, należy zliczyć trzy drogi, uważając pozycję zliczoną Z za punkt wyjścia. Pierwsza droga równa jest Δh_1, a kurs równy jest azymutowi ω_1, drugą drogą jest droga F, przebyta przez statek pomiędzy pierwszą a drugą obserwacją, a trzecią drogą jest H_1P. Kurs tej drogi jest prostopadły do azymutu pierwszej obserwacji, gdyż H_1P leży na równolegle przesuniętej pierwszej linji pozycyjnej, a zatem kurs wynosi $\omega_1 \pm 90°$.

O tem, czy do pierwszego azymutu należy dodać lub odjąć $90°$, rozstrzyga odręczny szkic, który zawsze należy zrobić.

Odległość $H_1P = \Delta h_2 \operatorname{cosec} (\omega_1 - \omega_2)$, gdyż kąt pomiędzy dwoma linjami pozycyjnemi równy jest kątowi pomiędzy azymutami ciał niebieskich, linje pozycyjne są bowiem prostopadłe do azymutów. H_1P otrzymuje się z tablic do zliczania, wchodząc z Δh_2 do różnicy szerokości i z różnicą azymutów do kursu; szukaną odległość H_1P otrzymuje się pod odległością.

Jeżeli dwie obserwacje przeprowadzono równocześnie, wtedy odpada zliczanie pływania F w międzyczasie. Należy o tem pamiętać, że używając sposobu wykreślnego, można dla obu obserwacyj przyjmować ten sam punkt za pozycję zliczoną, a przy sposobie rachunkowym pozycją zliczoną dla drugiej obserwacji musi być pozycja prawdopodobna, otrzymana z pierwszej obserwacji. (Zobacz przykłady). Jeżeli druga obserwacja robiona jest w czasie kulminacji (Rys. 34), wtedy oblicza się najpierw współrzędne przesuniętej prawdopodobnej



Rys. 34.

pozycji statku H_1, podobnie jak poprzednio, t. j. zliczając najpierw ω i Δh, a potem drogę statku F, przebytą w międzyczasie.

Po obliczeniu szerokości, względnie po otrzymaniu linji pozycyjnej II II oblicza się różnicę długości pomiędzy punktem H_1 i P z trójkąta PMH_1, w którym H_1M równa się różnicy szerokości pomiędzy określoną szerokością a szerokością punktu H_1, kąt przy P równy jest azymutowi z pierwszej obserwacji, a PM równa się zboczeniu, czyli $u\lambda \cos \varphi$, skąd

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{u\varphi}{u\lambda \cos \varphi}$$

albo

$$u\lambda = u\varphi \sec \varphi \operatorname{ctg} \omega.$$

Wyrażenie $\sec \varphi \operatorname{ctg} \omega$ jest wyrazem C z tablic ABC, a zatem jest już znaną wartością, o ile poprzednio obliczono azymut przy pomocy tablic ABC. Mnożąc zatem różnicę szerokości pomiędzy H_1 i P przez C, otrzymuje się różnicę długości. O znaku różnicy długości rozstrzyga szkic odręczny. (Zobacz przykłady).

Istnieją rozmaite tablice, ułatwiające rachunkowe obliczanie współrzędnych punktu przecięcia się dwóch linij pozycyjnych, jednak najprostszym i najwygodniejszym sposobem jest zawsze sposób wykreślny, tem bardziej, że w braku mapy o odpowiedniej skali można konstrukcję przeprowadzić na zwyczajnym papierze milimetrowym albo kratkowanym, przyjmując odpowiednią jednostkę za milę morską.

Przykłady.

Przykład I. Dnia 23 maja 1928 r. o godzinie $Z=7^h\ 53^m\ 24^s$ *a. m.* obserwowano $\odot=32°\ 6'\ 35''$, do południa statek odbył drogę 52 mil morskich kursem prawdziwym *S* 75° *W*. W czasie kulminacji obserwowano $\odot=62°\ 17'\ 30''$. Obliczyć pozycję statku (φ i λ) w chwili drugiej obserwacji. Wysokość oczna $a=6$ m, błąd indeksu $i=+1'\ 20''$. Stan zegara obserwacyjnego $M_0-Z=+3^h\ 2^m\ 43^s$. Współrzędne pozycji zliczonej: $\varphi=48°\ 20'\ N$, $\lambda=49°\ 10'\ W$.

Rozwiązanie:

Z	=	7^h	53^m 24^s
M_0-Z	= +	3^h	2^m 43^s
M_0	=	10^h	56^m 7^s
e	= −		3^m 25^s
P_0	=	10^h	59^m 32^s
λ	= −	3^h	16^m 40^s
$P\lambda$	=	7^h	42^m 52^s
$g\lambda$	=	4^h	17^m 8^s *Ost*

$\odot$	$= 32°\ 6'\ 35''$
i	$= +\ 1'\ 20''$
$\odot$	$= 32°\ 7'\ 55''$
cp	$= +\ 10'$
h_s	$= 32°\ 17{,}9'$
h_z	$= 32°\ 11{,}1'$
Δh	$= +\ 6{,}8'$

φ	$= +48°\ 20'$
δ	$= +20°\ 34{,}8'$
z'	$= 27°\ 45{,}2'$

log sem $g\lambda$	$= \overline{1}{,}45\ 185$
log cos φ	$= \overline{1}{,}82\ 269$
log cos δ	$= \overline{1}{,}97\ 136$
log sec z'	$= 0{,}05\ 307$
log sem x	$= \overline{1}{,}29\ 897$
log cos x	$= \overline{1}{,}77\ 952$
log cos z'	$= \overline{1}{,}94\ 693$
log sin h	$= \overline{1}{,}72\ 645$
h	$= 32°\ 11{,}1'$

$$A = -0{,}54$$
$$B = +0{,}41$$
$$C = -0{,}13$$

$$\omega = S\ 85°\ O$$

Zliczanie drogi ZH HH_1.

$$\begin{aligned} u\varphi' &= -\ 0{,}6 \\ u\varphi'' &= -13{,}5 \\ \hline u\varphi &= -14{,}1 \\ u\lambda &= -65{,}1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a' &= +\ 6{,}8 \\ a'' &= -50{,}2 \\ \hline a &= -43{,}4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_z &= +48^\circ\ 20' \\ u\varphi &= -\ \ 14{,}1' \\ \hline \varphi_1 &= +48^\circ\ 5{,}9' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_z &= -49^\circ\ 10' \\ u\lambda &= -\ \ 65{,}1' \\ \hline \lambda_1 &= -50^\circ\ 15{,}1' \end{aligned}$$

Współrzędne punktu H_1:

$$\varphi_1 = 48^\circ\ 5{,}9'\ N$$
$$\lambda_1 = 50^\circ\ 15{,}1'\ W$$

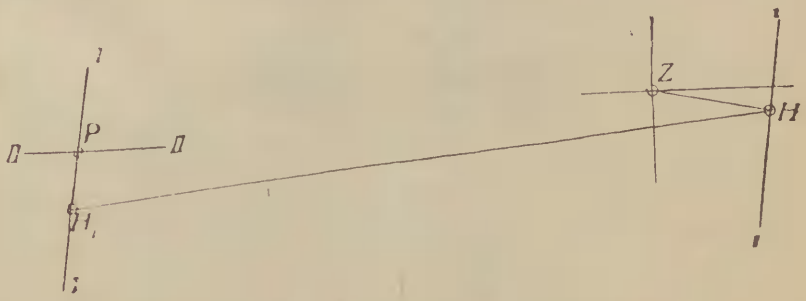
$$\begin{aligned} \bigcirc &= 62^\circ\ 17'\ 30'' \\ i &= +\ \ 1'\ 20'' \\ \hline \bigcirc &= 62^\circ\ 18'\ 50'' \\ cp &= +\ \ 11' \\ \hline H &= 62^\circ\ 29{,}8' \\ z' &= 27^\circ\ 30{,}2' \\ \delta &= +20^\circ\ 36{,}9' \\ \hline \varphi_p &= +48^\circ\ 7{,}1' \\ \varphi_1 &= +48^\circ\ 5{,}9' \\ \hline u\varphi &= \ \ 1{,}2 \end{aligned}$$

$u\varphi \times C = 1{,}2 \times 0{,}13 = 0{,}2'$ <

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -50^\circ\ 15{,}1' \\ u\lambda &= +\ \ 0{,}2' \\ \hline \lambda_p &= -50^\circ\ 14{,}9' \end{aligned}$$

Odpowiedź:

$$\varphi_p = 48^\circ\ 7{,}1'\ N$$
$$\lambda_p = 50^\circ\ 14{,}9'\ W$$



Szkic do pierwszego przykładu.

Przykład II. Dnia 8 lutego 1928 r. o godzinie $Z = 10^h\ 27^m\ 16^s$ *a. m.* obserwowano $\underline{\odot} = 36°\ 32'\ 50''$, do następnej obserwacji statek przebył drogę 37,5 mil morskich kursem prawdziwym $S\ 17°\ W$. O godzinie $Z = 2^h\ 57^m\ 23^s$ *p. m.* zaobserwowano $\underline{\odot} = 34°\ 3'\ 15''$. Obliczyć spółrzędne pozycji statku w chwili drugiej obserwacji. Wysokość oczna $a = 9$ m, błąd indeksu $i = -50''$. Stan zegara obserwacyjnego $M_0 - Z = +1^h\ 13^m\ 25^s$. Współrzędne pozycji zliczonej: $\varphi = 28°\ 40'\ N$, $\lambda = 22°\ 30'$ W.

Rozwiązanie:

$$
\begin{array}{rcl}
Z & = & 10^h\ 27^m\ 16 \\
M_0 - Z & = & +\ 1^h\ 13^m\ 25^s \\
\hline
M_0 & = & 11^h\ 40^m\ 41^s \\
e & = & +\ \ \ 14^m\ 17^s \\
\hline
P_0 & = & 11^h\ 26^m\ 24^s \\
\lambda & = & -\ 1^h\ 30^m \\
\hline
P\lambda & = & 9^h\ 56^m\ 24^s \\
g\lambda & = & 2^h\ \ 3^m\ 36^s\ Ost
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{rcl}
\underline{\odot} & = & 36°\ 32'\ 50'' \\
i & = & -\ \ \ \ \ \ \ \ 50'' \\
\hline
\underline{\odot} & = & 36°\ 32' \\
cp & = & +\ \ 9{,}6' \\
\hline
h_s & = & 36°\ 41{,}6' \\
h_z & = & 36°\ 50{,}8' \\
\hline
\Delta h_1 & = & -\ \ 9{,}2'
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{rcl}
\varphi & = & +28°\ 40' \\
\delta & = & -15°\ 17{,}7' \\
\hline
z' & = & 43°\ 57{,}7'
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{rcl}
\log \operatorname{sem} g\lambda & = & \bar{2}{,}85\ 106 \\
\log \cos \varphi & = & \bar{1}{,}94\ 321 \\
\log \cos \delta & = & \bar{1}{,}98\ 434 \\
\log \sec z' & = & 0{,}14\ 279 \\
\hline
\log \operatorname{sem} x & = & \bar{2}{,}92\ 140 \\
\log \cos x & = & \bar{1}{,}92\ 071 \\
\log \cos z' & = & \bar{1}{,}85\ 721 \\
\hline
\log \sin h & = & \bar{1}{,}77\ 792 \\
h & = & 36°\ 50{,}8'
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{rcl}
A & = & -0{,}92 \\
B & = & -0{,}53 \\
\hline
C & = & -1{,}45
\end{array}
$$

$$\omega_1 = S\ 38°\ O$$

Zliczanie drogi ZH i HH_1:

$u\varphi' = +7{,}3$
$u\varphi'' = -35{,}9$
$u\varphi = -28{,}6$
$u\lambda = -19$

$\varphi_z = +28^\circ\ 40'$
$u\varphi = -\ 28{,}6'$
$\varphi_1 = +28^\circ\ 11{,}4'$

$Z = 2^h\ 57^m\ 23^s$ *p.m.*
$M_0 - Z = +1^h\ 13^m\ 25^s$
$M_0 = 4^h\ 10^m\ 48^s$ *p.m.*
$M_0 = 16^h\ 10^m\ 48^s$
$e = +\ 14^m\ 17^s$
$P_0 = 15^h\ 56^m\ 31^s$
$\lambda = -1^h\ 31^m\ 16^s$
$P\lambda = 14^h\ 25^m\ 15^s$
$g\lambda = 2^h\ 25^m\ 15^s$ *West*

$a' = -\ 5{,}7$
$a'' = -11$
$a = -16{,}7$

$\lambda_0 = -22^\circ\ 30'$
$u\lambda = -\ 19'$
$\lambda_1 = -22^\circ\ 49'$

$\odot = 34^\circ\ 3'\ 15''$
$i = -\ 50''$
$\odot = 34^\circ\ 2{,}4'$
$cp = +\ 9{,}6'$
$h_s = 34^\circ\ 12'$
$h_z = 34^\circ\ 8'$
$\Delta h_2 = +\ 4'$

$\varphi_1 = +28^\circ\ 11{,}4'$
$\delta = -15^\circ\ 14{,}2'$
$z' = 43^\circ\ 25{,}6'$

$\log \text{sem}\ g\lambda = \bar{2}{,}98\,722$
$\log \cos \varphi = \bar{1}{,}94\,516$
$\log \cos \delta = \bar{1}{,}98\,446$
$\log \sec z' = 0{,}13\,891$
$\log \text{sem}\ x = \bar{1}{,}05\,575$
$\log \cos x = \bar{1}{,}88\,796$
$\log \cos z' = \bar{1}{,}86\,109$
$\log \sin h = \bar{1}{,}74\,905$
$h = 34^\circ\ 8'$

$\log \sin g\lambda = \bar{1}{,}773$
$\log \cos \delta = \bar{1}{,}984$
$\log \sec h = 0{,}082$
$\log \sin \omega = \bar{1}{,}839$
$\omega_2 = S\ 43^1/_2\ W.$

Zliczanie drogi H_1P

$$H_1P = \Delta h_2 \operatorname{cosec} (\omega_2 - \omega_1)$$
$$H_1P = 4 \operatorname{cosec} 82^1/_2{}^\circ = 4$$

Kurs drogi H_1P: $\varepsilon = S\ 52^\circ\ W$

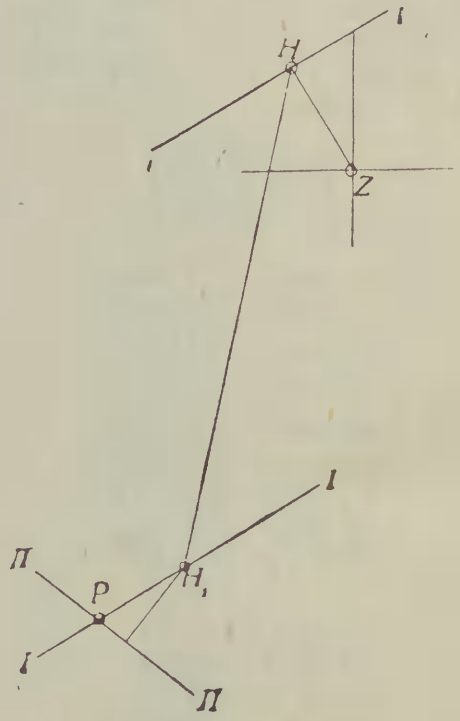
$a = -3{,}2$ $\quad u\varphi = -2{,}5$

$u\lambda = -3{,}6$

$\varphi_1 = +28^\circ\ 11{,}4'$	$\lambda_1 = -22^\circ\ 49'$
$u\varphi = -\ \ 2{,}5$	$h\lambda = -\ \ 3{,}6'$
$\varphi_p = +28^\circ\ 8{,}9'$	$\lambda_p = -22^\circ\ 52{,}6'$

Odpowiedź:

$$\varphi_p = 28^\circ\ 8{,}9'\ N$$
$$\lambda_p = 22^\circ\ 52{,}6'\ W$$



Szkic do drugiego przykładu.

Przykład III. Dnia 12 marca 1928 r. o godzinie $Z=8^h\ 2^m\ 19^s$ *p.m.* obserwowano gwiazdę α Aurigae (Capella) $*=63°\ 0'\ 30''$, a o godzinie $Z=8^h\ 3^m\ 49^s$ *p.m.* obserwowano gwiazdę α Leonis (Regulus) $*=41°\ 35'\ 5''$. Obliczyć spółrzędne pozycji statku w chwili obserwacji. Wysokość oczna $a=10$ m, błąd indeksu $i=0$. Stan zegara obserwacyjnego $M_0-Z=+1^h\ 28^m\ 16^s$. Współrzędne pozycji zliczonej: $\varphi=53°\ 47'\ N$, $\lambda=14°\ 20'\ W$.

Rozwiązanie:

$Z = 8^h\ 2^m\ 19^s$ *p. m.*
$M_0-Z = +1^h\ 28^m\ 16^s$
$M_0 = 9^h\ 30^m\ 35^s$ *p. m.*
$M_0 = 21^h\ 30^m\ 35^s$
$\alpha_\odot = 23^h\ 21^m\ 6^s$
$G_0 = 20^h\ 51^m\ 41^s$
$\lambda = -\ 57^m\ 20^s$
$G\lambda = 19^h\ 54^m\ 21^s$
$\alpha_* = 5^h\ 11^m\ 21^s$
$T\lambda = 14^h\ 43^m$
$g\lambda = 2^h\ 43^m$ *West*

$* = 63°\ 0'\ 30''$
$i = 0'\ 0''$
$* = 63°\ 0'\ 30''$
$cp = -\ 6{,}1'$
$h_s = 62°\ 54{,}4'$
$h_z = 63°$
$\Delta h_1 = -\ 5{,}6'$

$\varphi = +53°\ 47'$
$\delta = +45°\ 55{,}8'$
$z' = 7°\ 51{,}2'$

$\log \text{sem}\ g\lambda = \bar{1}{,}08\ 357$
$\log \cos \varphi = \bar{1}{,}77\ 147$
$\log \cos \delta = \bar{1}{,}84\ 232$
$\log \sec z' = 0{,}00\ 409$
$\log \text{sem}\ x = \bar{2}{,}70\ 145$
$\log \cos x = \bar{1}{,}95\ 397$
$\log \cos z' = \bar{1}{,}99\ 591$
$\log \sin h = \bar{1}{,}94\ 988$
$h = 63°$

$A = -1{,}58$
$B = +1{,}58$
$C = 0{,}00$

$\omega_1 = 90°\ W$

Zliczanie drogi ZH:

$u\varphi$	$= 0$	a	$= +5{,}6$
$u\lambda$	$= +9{,}5$		
φ_z	$= +53^\circ\ 47'$	λ_z	$= -14^\circ\ 20'$
$u\varphi$	$= 0^\circ\ 0'$	$u\lambda$	$= +\ 9{,}5'$
φ_1	$= +53^\circ\ 47'$	λ_1	$= -14^\circ\ 10{,}5'$

Współrzędne punktu H:

$$\varphi_1 = 53^\circ\ 47'\ N$$
$$\lambda_1 = 14^\circ\ 10{,}5'\ W$$

Z	$= 8^h\ 3^m\ 49^s$ *p. m.*
$M_0 - Z$	$= +1^h\ 28^m\ 16^s$
M_0	$= 9^h\ 32^m\ 5^s$ *p. m.*
M_0	$= 21^h\ 32^m\ 5^s$
$\alpha_\odot$	$= 23^h\ 21^m\ 6^s$
G_0	$= 20^h\ 53^m\ 11^s$
λ	$= -\ 56^m\ 42^s$
$G\lambda$	$= 19^h\ 56^m\ 29^s$
α_*	$= 10^h\ 4^m\ 33^s$
$T\lambda$	$= 9^h\ 51^m\ 56^s$
$g\lambda$	$= 2^h\ 8^m\ 4^s$ *Ost*

$*$	$= 41^\circ\ 35'\ 5''$
cp	$= -\ 6{,}7'$
h_s	$= 41^\circ\ 28{,}4'$
h_z	$= 41^\circ\ 25{,}2'$
Δh_2	$= +\ 3{,}2'$

$$\varphi_1 = +53^\circ\ 47'$$
$$\delta = +12^\circ\ 19{,}2'$$
$$z' = +41^\circ\ 27{,}8'$$

log sem $g\lambda$	$= \bar{2}{,}88\,112$
log cos φ	$= \bar{1}{,}77\,147$
log cos δ	$= \bar{1}{,}98\,988$
log sec z'	$= 0{,}12\,530$
log sem x	$= \bar{2}{,}76\,777$
log cos x	$= \bar{1}{,}94\,588$
log cos z'	$= \bar{1}{,}87\,470$
log sin h	$= \bar{1}{,}82\,058$
h	$= 41^\circ\ 25{,}2'$
log sin $g\lambda$	$= \bar{1}{,}724$
log cos δ	$= \bar{1}{,}990$
log sec h	$= 0{,}125$
log sin ω	$= \bar{1}{,}839$

$\omega_2 = S\ 43^1/_2\ O.$ $\qquad \omega_1 - \omega_2 = 46^1/_2{}^\circ.$

Zliczanie drogi HP

$$HP = \Delta h_2 \operatorname{cosec} (\omega_2 - \omega_1) = 4{,}4$$

$$a = 0 \qquad u\varphi = -4{,}4 \qquad u\lambda = 0$$

$$\varphi_1 = +53^\circ\ 47' \qquad u\varphi = -\ 4{,}4'$$

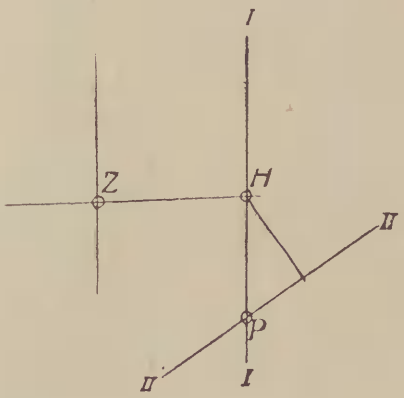
$$\varphi_p = +53^\circ\ 42{,}6'$$

$$\lambda_1 = -14^\circ\ 10{,}5' \qquad u\lambda = 0{,}0'$$

$$\lambda_p = -14^\circ\ 10{,}5'$$

Odpowiedź:

$$\varphi_p = 53'\ 42{,}6'\ N$$
$$\lambda_p = 14^\circ\ 10{,}5'\ W$$



Szkic do trzeciego przykładu.

BIBLIOTEKA
Centralnego
Muzeum
Morskiego
w Gdańsku

I 12223