

BORIS FRANUŠIĆ

## Kratka povijest astronomske navigacije

### U V O D

Osnovni zadatak navigacije, kao znanstvene grane i vještine sigurnog vođenja broda morskim prostranstvima, je taj da se u svako doba i na svakom mjestu zemljine površine zna odrediti geografske koordinate položaja broda. Taj zadatak pogotovo se nameće pomorcu onda kada se nađe van domašaja vidljivosti obale. Sve do naših dana jedino čime je pomorac mogao određivati i kontrolirati svoj položaj na otvorenom moru, bila su nebeska tijela: Mjesec, Sunce, četiri sjajna planeta, te pedesetak najsajajnijih zvijezda.

Dio navigacije koji se bavi metodama određivanja položaja broda pomoću nebeskih tijela zove se astronomska navigacija. To je u stvari jedna mala grana velikog stabla znanosti koju zovemo astronomija.

Astronomija proučava nebeska tijela, tj. njihov položaj, kretanje, zakone po kojima se ta kretanja vrše, njihove oblike, dimenzije, daljine, veličine i mase, fizičku prirodu i kemijski sastav, njihovu prošlost i budućnost.

Dio astronomije koji se bavi mjerenjem neba zove se astrometrija koja se opet sastoji od sferne astronomije, praktične astronomije i pozicijske astronomije, koja se bavi određivanjem položaja opažaca na zemlji pomoću opažanja nebeskih tijela. Prema tome astronomska navigacija pripada pozicijskoj astronomiji i koristi njene metode, i to u specifičnim uvjetima na pokretnom brodu. Zbog tih uvjeta za potrebe astronomske navigacije razvile su se i specifične metode i specifični instrumenti.

### NAVIGACIJA U STAROM VIJEKU

Danas živimo u plimi znanstvenih otkrića. Opažaću na bilo kojem mjestu Zemlje, bilo da miruje ili se giba, plovi, roni ili leti omogućeno je da preciznim instrumentom u svakom trenutku i pod bilo kojim uvjetima odredi svoj položaj s točnošću 1 metra. Međutim, nije tako uvijek bilo. Prvi koraci u znanosti napravljeni su pred nekoliko tisuća godina. Ovi prvi nesigurni koraci počeli su astronomijom. Zato astronomiju zovu pramajkom svih znanosti. Ona se nametnula čovjeku u počecima rađanja civilizacije. To su ona znanja koja je čovjek empirijski stekao promatrajući gibanje Sunca, Mjeseca i planeta. Pomoću tih znanja on se mogao orijentirati, mjeriti protok vremena i uočiti vezu između godišnjih doba i pomicanja Sunca među zvijezdama.

Nije trebalo puno vremena da ti naši davni preci, kada su opazili da drvo pluta, iz-

dubu to drvo i koristeći veslo kao polugu zaplove površinom rijeke, jezera ili mora. To nije bila znanost, već umijeće koje je počelo pred 6 do 8 tisuća godina. Ubrzo je čovjek usavršavajući oruđe usavršio i brod na koji postavlja jedro i sve više se usuđuje udaljiti od početne točke prema drugoj strani vidljive obale.

Od starih naroda poznato je da su Feničani poduzimali velika morska putovanja kroz Crveno more i Mediteran, ali nijesu ostavili nikakve zapise, da bi tako sačuvali tajnost svojih pomorsko-trgovačkih puteva.

Otac povijesti Herodot (484—424 p. n. e) spominje da su Feničani oplovili Afriku u zapadnom smjeru oko 610. godine p. n. e. Oni su iz Crvenog mora preko Afrike došli u Mediteran ploveći 3 godine, i pri tom otkrili Karnarske otoke. (/1./str. 149) (/2./str. 2) Povijesno to nije dokazano.

Novija povijesna istraživanja navode da su prije Feničana, koji su plovili već u 9. stoljeću p. n. e., prodirali narodi u Istočni Mediteran i Egipat također morskim putem već u 12. stoljeću p. n. e. Postoje dokazi, koji potkrepljuju gledišta, da su neki od američkih Indijanaca isto tako morskim putem došli do obala Amerike. Prva od nekoliko grupa vjerojatno je došla oko 2.200 godine p. n. e., a to je otprilike vrijeme kada je došlo do općeg seljenja naroda iz jednog centra u jugozapadnoj Aziji. To je po prilici vrijeme kada je sagrađena Babilonska kula. (/3./str. 1)

Većina tih plovidbi vršila se od jedne do druge vidljive točke na kopnu, ali sigurno da su ovakva putovanja vodila i preko otvorenog mora, pa se smjer držao ili po stalnom vjetru, ili čak prema Suncu i nekim zvijezdama.

U Indijskom oceanu, zbog stalnog smjera monsunu, bilo je moguće prevaliti i veće udaljenosti izvan vidika obale, ploveći tim vjetrom (/4./str. 429)

U Bibliji je prvi put zabilježeno o dugom pomorskom putovanju kad Tirski kralj Hiram odgovara Salamonu na njegovu poruku ovako: »Primio sam tvoju poruku. Ispunit ću u svemu tvoju želju glede drva cedrova i drva čempresova. Moje će ih sluge dopremiti s Libanona na more, složiti ću ih u splavi i pustiti ih morem do mjesta koje ćeš mi označiti, ondje ću ih razložiti i ti ćeš ih uzeti...« (/5./str. 274)

Salamonova mornarica, kako se vjeruje, vršila je putovanja u Ophir, za koji se misli

da je bio na Ceylonu, odakle se donosilo zlato, srebro, drvo i drago kamenje. Takvo putovanje trajalo bi oko 3 godine.

Ti događaji stavljaju se u vrijeme 1.000 godina prije n. e.

Ljudi nenaviknuti na more morali su za takva putovanja imati neko znanje o navigaciji. Nije nam jasno zašto Nordijci i Polinežani nijesu ostavili ništa, osim konfliktnih tradicija njihovih metoda. Duljina putovanja, koja su oni pravili, navodi nas na zaključke da su morali poznavati naprednije navigacijske metode nego što to bilješke pokazuju. Vjerojatno su razvili moć opažanja do takve mjere da je za njih navigacija bila veliko umijeće, i više stvar instinkta nego znanosti.

U starom Babilonu zabilježene su mjesечеve pomrčine u 18. stoljeću prije nove ere. Promatrana su gibanja Mjeseca i periodično pomicanje među zvijezdama. Poznavali su trajanje godine prema povratku Sunca istim zvijezdama. Bilježili su točke izlaza i zalaza Sunca. Prema tim spoznajama sastavili su kalendar i uskladili svoj praktični život, a ujedno ne poznavajući uzroke, prepuštali se mistici i tako stvorili bazu za lažnu znanost atrologiju koja se kasnije razvila. (/6./str. 33)

Od Feničana potiče gnomon i podjela dana na 12 djelova. Podjela kruga na 360 djelova bila je naprije načinjena vjerojatno prije 5.000 godina, po približnom trajanju godine. Tako je bio uveden sexsagesimalni sistem mjerenja. (/7./str. 17)

330 godine p. n. e. Aleksandar Veliki je osvojio Babilon i osnovao Aleksandriju, koja postaje duhovnim centrom stare Grčke i uop-

će starog svijeta. Odatle potječe izravni utjecaj Babilonaca na grčku znanost. Tako stari Grci počinju znanstveno istraživati uzroke nebeskih fenomena. Koristeći se rezultatima ranijih babilonskih i egipatskih astronoma, postaju osnivači naučne astronomije.

Zvijezde su prije 4.000 godina grupirane u zvijezda, pa je grčki pjesnik Homer (oko 800 godina p. n. e), u svom čuvenom spjevu »Odiseja«, ovako opjevao zvijezde i plovidbu:

»Veseo napne ODYSSEY na vjetru jedra,  
i on ravnaše vješto na kormilu sjedeći

i tad

Nikako ne padoše mu na trepavice sanak,  
Motrio bio je Plejade, Boota, kaj zahodi

kasno,

Pa i Medvjeda — koga nazivaju takođe

Kola,

On se okreće tu. Oriona neprestano motri,  
Nikad ne zalazi, da u Okeanu okupa sebe.

Njemu je rekla Kalypsa, međ boginjam

boginja

Da od Medvjeda ploveć po pučini lijevo

pravac drži.

Tako po pučini on sedamnaest plovljaše

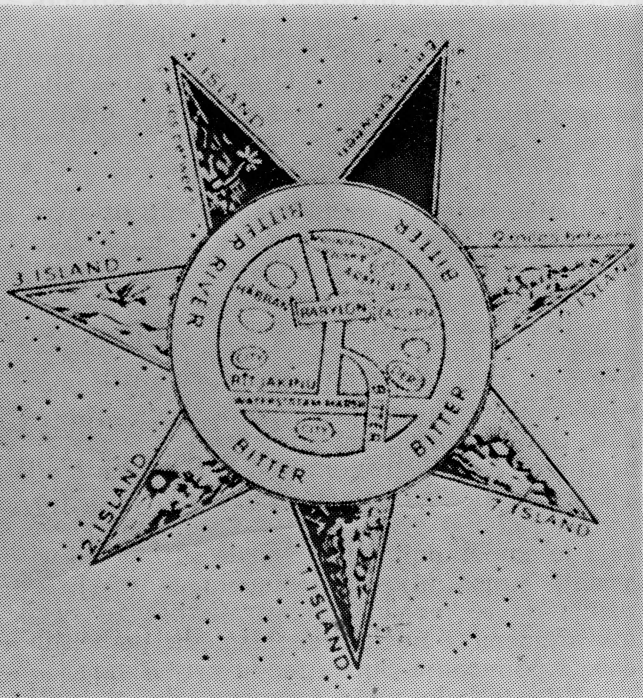
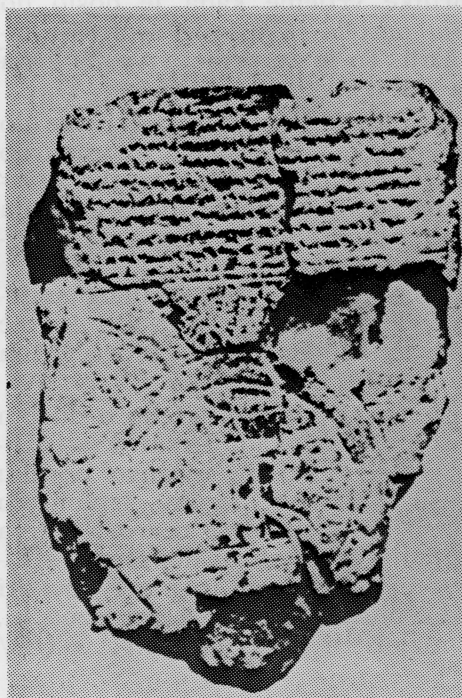
dana,

A osamnaesti već se sjenovita pomole

brda.« (/8./)

Iz ovog zaključujemo da je već u to vrijeme (između 12. i 7. stoljeća p. n. e) bio poznat način plovidbe po otvorenom moru, ravnajući se po zvijezdama.

Upravitelj Aleksandrijske biblioteke Eratosten (276—196 p. n. e) približno točno izračunao je veličinu Zemlje i maksimalnu veličinu deklinacije Sunca.

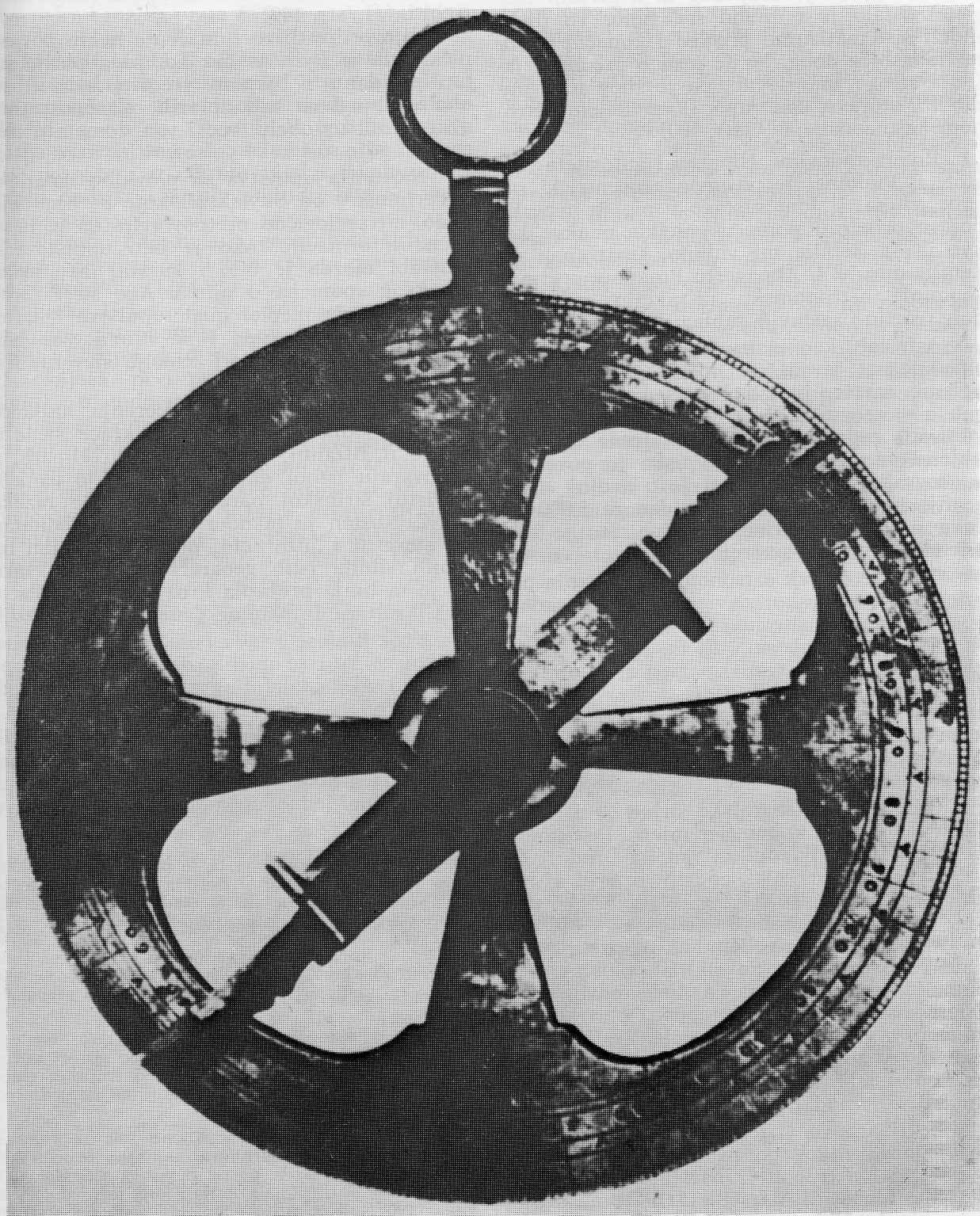


Slika 1. Reprodukcijska karte svijeta Babilonaca (oko 500 g. p. n. e)

Od starih Grka potiče definicija ekliptike i njene podjele, počevši od proljetne ekvino- cijalne točke.

Hiparh, najveći grčki astronom — opažać, u 3. stoljeću p. n. e. sastavlja prvi katalog od 850 zvijezda s nebesko ekvatorskim koordinatama rektascenzije i deklinacije na nebeskoj sferi, kojima odgovaraju geografska dužina i širina na Zemlji.

Određivanje geografske dužine bilo je u to vrijeme nepoznato, ali je Hiparh prvi predla- gao da bi se to moglo izračunati na temelju pomrčina Mjeseca, računajući za tih pojava vrijeme meridijana opažaća i vrijeme jednog drugog određenog meridijana, čija bi razlika vremena dala geografsku dužinu. Hiparh je prvi otkrio pojavu precesije (uspoređivao svo- je koordinate zvijezda s popisom od Timoha-



Slika 2. Astrolab

risa i Aristila od 150 godina ranije) i trajanje tropske godine. Također je definirao nagnutost od  $5\frac{1}{4}^{\circ}$  Mjesečeve staze prema ekliptici, te pomicanje njegovih čvorova. Odbacio je Aristarhove tvrdnje o heliocentru.

Ptolomej je posljednji veliki astronom aleksandrijskog doba (živio u 2. st. n. e). Njegovo glavno djelo »Veliki zbornik astronomije« ili »Velika Sintaksa« nazvano kasnije »Almagest« (spajanje arapskog al s grčkim megiste) ostalo je potpuno sačuvano. To djelo sadrži sistematizirani pregled i konačni rezultat tadašnjeg doba, jer je pisano precizno, jasno i strogo znanstveno, pa je zbog toga punih 13. stoljeća smatrano »Evandjeljem astronomske znanosti«. (/9./str. 100)

Prema radovima Hiparha i autoriteta Aristotela, Ptolomej je postavio geocentrički sustav svijeta. U tom sustavu uspio je nebeske pojave prikazati pomoću epicikla onakve kakve ih sa Zemlje mi vidimo, smatrajući da Zemlja miruje. U Almagestu Ptolomej prvi put spominje astronomsku refrakciju, za koju daje teoriju i sastavlja tablicu.

Astrolab, kao instrument za mjerenje visine, poznat je još u Hiparha, ali Ptolomej opisuje savršeniji astrolab, s kojim je mogao u stereografskoj projekciji nebeske sfere rješavati zadatke grafički iz sferne astronomije. Pomorska navigacija usko je povezana s geografijom, a Ptolomej je u svojoj »Geografiji«, uz nekoliko karata, dao za 5.000 točaka geografske širine i dužine, što je bilo od velike koristi pomorcima.

Tako je čovjek astronomska saznanja primjenio u pomorskoj navigaciji, te od tada i počinje naučna astronomska navigacija. Upoznavši položaj nebeskih tijela, njihovo kretanje i neposrednu vezu opažanja na Zemlji s koordinatama nebeskih tijela, čovjek je mogao odrediti svoj položaj na Zemlji. U početku je to bilo približno točno, jer su i instrumenti i koordinate nebeskih tijela davali približne vrijednosti.

Određivanje geografske širine Grci su vršili uglavnom na kopnu, jer mjerni instrumenti nijesu bili prikladni za rad na brodu. Oni su, ploveći prema Aleksandriji, mjerili visinu najdonje zvijezde u Velikom Medvjedu, u njejoj donjoj kulminaciji. Kada je ta visina, na primjer, iznosila veličinu za tri prsta ispružene ruke, znali su da su na polovini svog puta. Ploveći iz Rodosa za Aleksandriju mjerili su visinu zvijezde Canopus u gornjoj kulminaciji i po toj visini procjenjivali udaljenost, jer u tom položaju zvijezda Canopus je na Rodosu bila u južnom horizontu, a u Aleksandriji  $5^{\circ}$  iznad horizonta. (1./str. 150)<sup>1)</sup>

U Hiparhovo vrijeme javlja se i prvi zapis jednog velikog putovanja morem koje je izveo grčki astronom i navigator Pytheas iz Massilie (današnji Marseille). On je na svojoj čuvenoj plovidbi prema Sjevernoj Evropi do-

spio do sjevernog polarnog kruga, određujući geografske širine mjesta do kojih je stigao pomoću zvijezde Sjevernjače, koja je onda bila zvijezda Kochab, i pomoću meridijanske visine Sunca. On je već tom metodom odredio geografsku širinu svog rodnog mjesta  $43^{\circ} 03'$  sjever, što je samo  $14'$  južnije od točne vrijednosti. Međutim, sva ta njegova mjerenja vršena su na kopnu, jer se instrumenti za mjerenje visine na brodu nisu mogli upotrebiti. (/1./str. 149)

Nije prihvatljivo tumačenje nekih povjesničara da je Pytheas bez kompasa plovio samo po danu i lijepom vremenu, držeći se obale. Mnogi su tako plovili, ali neustrašivi nisu puzali uz obalu, već i van dometa obale, znajući gdje su i kako će se vratiti.

Najranija uputstva za plovidbu nalazimo u Periplusu<sup>2)</sup> od Skylaksa<sup>3)</sup> koje Pytheas nije imao, ali se logično pretpostavlja da je imao slične informacije. Ako je bilo uputstava o plovidbi možda je bilo i karata, iako nema nikakvog spomena o njima. Ako su Pytheas i njegovi suvremenici imali uputstva i karte, one nisu bile opsežne i na njima nisu bila otočja Velike Britanije i zemalja sjeverne Evrope. (/3./str. 2)

Na temelju Pytaesova mjerenja, najkraće sjene u podne u Massili i najkraće sjene u podne u Bizantu, koju je mjerio Hiparh, a odgovaraju istom danu, utvrđeno je da leže na istoj širinskoj paraleli (točna je razlika  $2^{\circ}$ ). Eratosten je također podijelio Mediteran na sjeverni i južni dio, postavivši jednu od svojih »linija istih geografskih širina«, tako da je ta linija prolazila kroz Rodos, a išla je od Gibraltara do planine Taurus u Maloj Aziji.

Kroz Rodos je tada položen i početni meridijan za koji se mislilo da prolazi još kroz Bizant i Aleksandriju (greška je bila  $2^{\circ}$ , odnosno  $1^{\circ}$ ).

Tako se astronomska navigacija u starih Feničana i Grka nazire u svom rudimentalnom obliku. Za svaku se važniju luku Mediterana znala visina jedne cirkumpolarne zvijezde u

<sup>1)</sup> Po nekim izvorima ta je udaljenost bila 4000, a po nekim 5000 stadija. Duljina stadija nije točno definirana. Vjeruje se da je stadij bila dužina stadijona na Olimpu, koja iznosi 600 grčkih noga (607,9 engleskih noga), što odgovara  $1/10$  nautičke milje. Udaljenost Rodosa i Aleksandrije je 330 Nm, pa kada bi uzeli gornju vrijednost stadija, onda bi za 4000 stadija ta udaljenost iznosila 400 Nm, a to nije mala greška.

<sup>2)</sup> Grčki izraz za plovidbu duž neke obale i opis te plovidbe. Kod tih opisa pisac govori uglavnom samo o obali i daje podatke o trajanju putovanja ili u udaljenostima u stadijima, između pojedinih mjesta na obali.

<sup>3)</sup> Pseudoskilaks je izmišljeno ime nepoznatog grčkog pisca autora Periplusa, napisana između 339. i 335. p. n. e. Djelo se nekad pripisivalo Skylaksu iz Kariande u Kariji (Mala Azija), koji je međutim živio čitavo stoljeće prije nego je Periplus sastavljen. (10.<sup>3</sup>str. 425)

donjoj kulminaciji, a po njoj i geografska širina te luke. Pomorci su ploveći s otvorenog mora mjerili visinu te zvijezde u donjoj kulminaciji i tako procjenjivali svoj položaj. Pretpostavlja se po tome, jer se ta visina mjerila uglavnom pomoću prsta i šake ispružene ruke. Poznato je da debljina srednjeg prsta predstavlja 2° na nebeskoj sferi, širina pesnice 8°, razmak između vrhova raširenog palca i kažiprsta 15°, a razmak između vrhova raširenog palca i malog prsta 22°.

#### NAVIGACIJA U SREDNJEM VIJEKU

U srednjem vijeku ništa nije napravljeno za poboljšanje mjernih instrumenata na brodu, pa je sve do 15. stoljeća u Evropi navigacija vođena onim istim vještinama koje su bile poznate i u starom vijeku. Međutim, iz zapisa onih koji su plovili Indijskim oceanom i kineskim vodama, zna se da su primjenjivali metodu određivanja geografske širine visinom Sjevernjače. Jedan takav zapis potiče od Marka Pola (1254. do 1324).

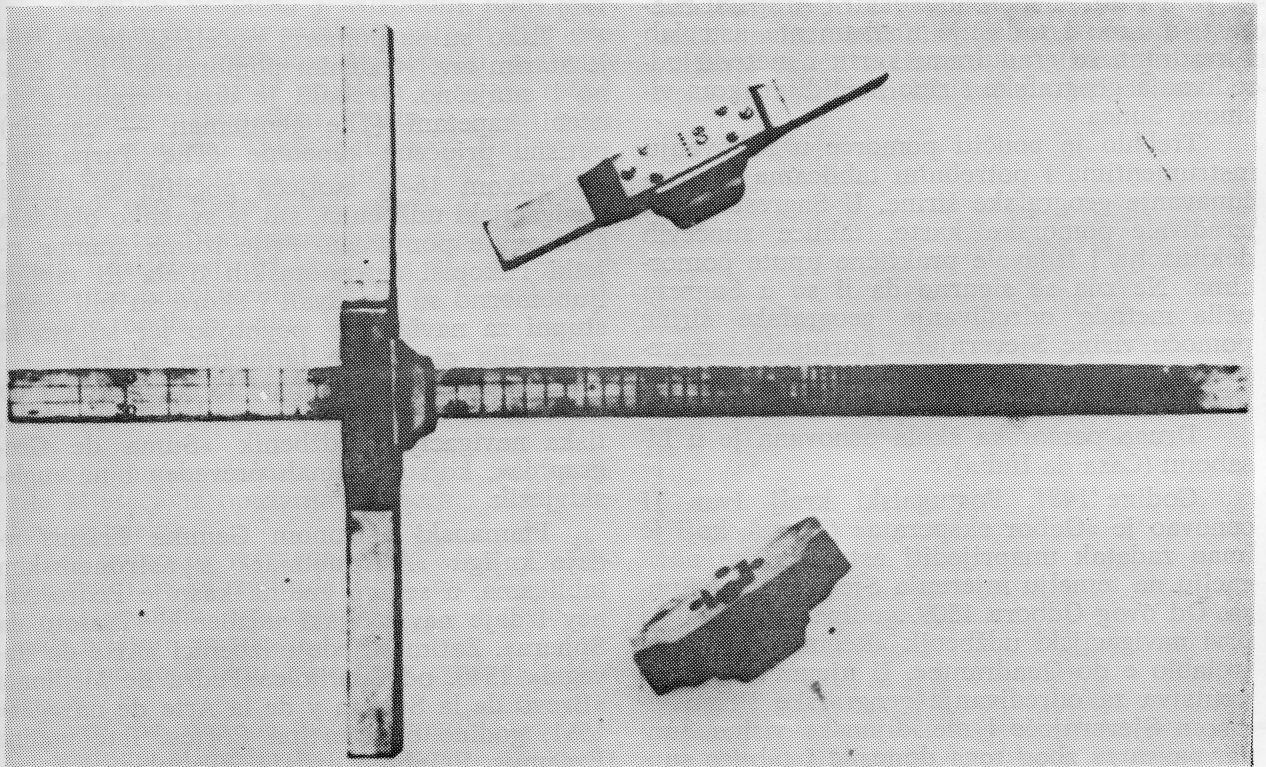
Preko Grka i Arapa, koji su grčka djela prevodili, astronomija je prešla u srednjovjekovnu Evropu, kad su Portugalci, početkom 15. stoljeća, prvi počeli primjenjivati astronomske metode u pomorskoj navigaciji. Oni su, tražeći pomorski put za Daleki istok, dolazili do zapadne obale Afrike i koristili zvijezdu Sjevernjaču (onda udaljenu oko 4° od pola) za određivanje geografske širine, a za područje oko Ekvadora i južnije, primjenjivali su metodu određivanja geografske širine meridijskim visinama Sunca. (/1./str. 151)

Vrlo je vjerojatno da su već u 14. stoljeću problem određivanja geografskih koordinata pomoću astronomskih opažanja rješavali pomorci Indijskog oceana.

Prvi instrument na brodu koji se upotrebljavao za mjerenje visine bio je najvjerojatnije astrolab. Njega je Raimundus Lullus (1234—1315) preuzeo od Arapa i upotrebljavao ga za određivanje vremena. Ovi su astrolabi bili jednostavne izrade od drva, velikog promjera i obješeni o nogare.

Martin Bahain (oko 1459—1507) je predložio da se za potrebe na brodu koriste mali metalni astrolabi, koje je konstruirao njegov učitelj Johanes Muller (1434—1476), poznatiji kao Regiomontanus (/11./str. 1).

Vasco da Gama je na putovanju 1497—1498. ponio sa sobom uz male i velike stare astrolabe. Upoređujući mjerenja izvršena po moru s onim izvršenim na otoku Sv. Jelena, došao je do zaključka da su mjerenja s malim astrolabima isto tako točna kao i s velikim. Osim toga, u kontaktu s pomorcima Indijskog oceana, doznao je od njih mnoge navigacijske vještine, među kojima je bio i arapski kamal, kako se zvala njihova sprava za mjerenje visine nebeskih tijela. Taj je instrument sličan tzv. Jakobljevu štapu, pa se dugo vremena držalo da ga je Vasco da Gama donio iz Indije. Međutim, Jakobljev štap (dobio je svoje ime po izumiocu Jakob Ben Makir-u koji je živio u 13. stoljeću), po nekim istraživanjima bio je poznat u Evropi po Regiomontanesu pod nazivom »radius astronomicus«. Jakobljev štap koji se još zvao i Ba-



Slika 3. Jakobljev štap

lestra (od balla stella) sastojao se iz četverostrane palice duge oko 75 cm, na koju je bio nataknut pomični križ. Podjela je bila proračunata po kotangesima polovine visine. Uz svaku palicu išla su obično četiri križa razne dužine. Za svaki križ nalazila se posebna podjela na jednoj strani četverostrane palice. (/12./str. 96)

Poznat je bio i kvadrant od Georg van Peurbach (1423—1461).

Glasoviti engleski pomorac i istraživač John Davis u svojoj knjizi »The Seaman's secrets« 1594. godine opisao je instrument koji je mjerio visinu Sunca. To je bio tzv. »back staff« (leđni štap), a naziv je dobio po tome jer je navigator kod mjerenja visine stajao okrenut leđima nebeskom tijelu. Takav instrument su pomorci sporo prihvaćali, jer je mjerenje bilo dosta nezgodno, pa je Davis taj instrument usavršio izrađivši novi koji se po njemu zove Davisov kvadrant. (/13./str. 70).

U Evropi i za navigaciju u Atlantskom oceanu najviše je zasluga stekao portugalski princ Henrik (1394—1360) kojeg su zbog ljubavi prema moru, navigaciji i pomorskim istraživanjima nazvali Henrik Pomorac (Henrique El Navegador). Kad se 1438. povukao iz javnog života u svoj zamak Sagres u blizini rta St. Vicent, pozvao je tamo najbolje astronome, matematičare, kartografe, geografe, kapetane i izrađivače karata iz čitavog portugalskog kraljevstva i osnovao prvu Nautičku školu.

Upravitelj škole Jacobo de Minorca, suradnici Regiomontanus, Martin Behain i drugi, poznavali su Aleksandrijsku i Arapsku znanost, a time i tadašnje instrumente astrolab i kvadrant, te građuiranu kartu i metodu određivanja geografske širine meridijanskom visinom Sunca.

Trebalo je poučiti pomorce u rukovanju instrumentima i potrebnim tablicama za izračunavanje geografske širine. U Sagresu su se izrađivale pomorske karte, tablice sunčevih deklinacija i izdavale praktične upute pomorcima. Ne zna se sigurno da li se u Sagresu učila metoda određivanja geografske širine pomoću visine Sjevernjače. Portugalski moreplovci tog vremena nisu je izgleda upotrebili, iako je na kopnu već bila poznata.

Druga pomorska škola osnovana je u Lisabonu (Casa da India).

Godine 1481. Portugalski kralj Ivan II osnovao je »Odbor eksperata« (Junta), koji je imao zadatak unaprijediti astronomsku navigaciju na temelju mjerenja Sjevernjače i Sunca. Od ovog Odbora 1509. godine proizašao je prvi navigacijski udžbenik »Regimento do Astrolabio e do Quadrante«. U njemu se nalaze uputstva za određivanje geografske širine visinom Sjevernjače i meridijanske visine Sunca, pa su se zbog toga donosile i tablice sunčevih deklinacija, koje je Abraham Zacuto iz-

dao nešto ranije u Almanach Perpetuum (1496. g), namijenjenih specijalno za upotrebu u pomorskoj navigaciji. Deklinacija Sunca u tim tablicama proračunata je u stupnjevima i minutama za svaki dan u podne za Lisabon. Tu se također nalaze i podaci geografske širine i meridijanske visine Sunca za pojedine dane nekih važnijih punktova na zapadnoj obali Afrike. To je bilo neobično važno onim navigatorima koji još nisu znali koristiti tablice, a ni računati, već su mjerili meridijansku visinu Sunca i uspoređivali s onim tabeliranim pa su tako procjenjivali svoju geografsku širinu.

U Junti su učili kako se određuje geografska dužina iz kursa kompasa i geografske širine. Geografska dužina, pomoću rijetkih astronomskih opažanja pomrčina ili konjunkcija planeta, mogla se odrediti specijalnom metodom, što je Kolumbo primijenio prilikom otkrića novih krajeva, ali bez točnih rezultata.

U Toledu je kralj Alfons X (1221—1284) imao Astronomsku akademiju, gdje su nastale poznate Alfonsove tablice s podacima Sunca, Mjeseca i planeta prema meridijanu Toleda. Još 1080. godine izdane su Toledske tablice, na kojima su se kasnije temeljile Alfonsove, a ove je Peurbach i Regiomontanus 1457. ispravio i ponovno izdao.

Španjolska kraljica Kastilska 1509. je zaduzila svog glavnog pomorskog inspektora Ameriga Vespucci-a (1451—1512) da organizira stručne tečajeve za španjolske kapetane, pa je tako i nastala »Casa da Contlatacion« — poznata pomorska škola u Sevilli. (/1./str. 153)

Tako su se pomorci počeli školovati, što je starim tzv. »rođenim pomorcima« bilo čudno i smiješno. Trebalo je dosta vremena da učeni kapetani (The gentleman — captain) potisnu priučene kapetane (The Tarpaulin).

Tokom 16-og stoljeća počinju se tiskati navigacijski udžbenici, što je svakako olakšalo školovanje pomoraca. Prije izuma štampe rijetki rukopisi astronomskih djela ili tablica ljubomorno su se čuvali i skoro su bili nedostupni za navigatore, pogotovo jer su sva ta djela bila pisana na latinskom jeziku.

Po uzoru na portugalski »Regimento do Astrolabio« španjolac Fernando Elisaco 1519. tiska navigacijski udžbenik »Suma de Geographia«, koji je odmah preveden i na engleski jezik.

Flamanski astronom Gemma Frisius izdaje knjigu »Astronomiae« s astronomskim tablicama, a sedam godina kasnije Pedro Nunez izdaje navigacijski udžbenik »Tratato da Sphera«. Zatim slijede udžbenici »Arte de Navegal« 1545. od Španjolca Pedra de Medina i »Brevo de la Sphera y de la Arte de navegar« 1551. godine od Martina Cortes. Iste godine Erasmus Reinhold izdaje »Tabulae Prutenicae« a to su ujedno bile i prve astronomske

tablice računata po Kopernikovom sustavu.

Godine 1600. John Tapp izdaje »The Seaman's Calendar«, koji je sadržavao efemeride za Sunce, Mjesec i najsjajnije zvijezde. To je bio prvi pokušaj da se astronomske tablice izdaju redovno svake godine za potrebe astronomske navigacije. (/1./str. 159)

Zanimljivo je da u biblioteci Oxfordskog sveučilišta postoje »Zadarske astronomske tablice«, u okviru kalendara koji datira iz 13. stoljeća, a izrađen je u skriptorijumu samostana sv. Krševana u Zadru. Između ostalog donosio je meridijanske visine Sunca i dnevni iznos deklinacije Sunca.

Kako smo vidjeli, metoda određivanja geografske dužine još nije bila poznata. Taj nedostatak u početku nije mnogo smetao portugalskim pomorcima, jer se njihova plovidba većinom vršila duž Afričke obale, t.j. u smjeru meridijana. Poslije otkrića Amerike 1492, kada je bila postavljena demarkaciona linija, koja je dijelila španjolske posjede od portugalskih, nastala je potreba da se linija unese u kartu. Isto tako vođenje navigacije u novootkrivene krajeve na zapadu, te Molucche (Celebes — Nova Gvineja) na istoku, zahtijeva pronalaženje neke metode za određivanje geografske dužine.

Sin Kolumba Don Fernando, Gemma Frius i Alfonso de Santa Crus predložili su 1530. godine metodu određivanja geografske dužine kao razliku vremena broda i vremena jednog unaprijed određenog meridijana na Zemlji. Predložili su upotrebu sata klesidre (na vodu) ili ampole (na pijesak), jer druga konstrukcija sata još nije bila napravljena.

Amerigo Vespucci i astronom John Werner iznijeli su prvu zamisao određivanja geografske dužine metodom Mjesečevih udaljenosti. Međutim ovaj je problem sa svom točnošću riješio matematičar Morin u prvoj polovini 17. stoljeća. Tako je Eduard Halley, poznati engleski astronom (1656—1742) prvi primijenio ovu metodu na moru. (/11./str. 3)

Iako teorijski jednostavna, metoda Mjesečevih udaljenosti iziskivala je napor mnogih glasovitih znanstvenika da bi se u praksi navigacije mogla pravilno koristiti.

Bilo je i drugih prijedloga metoda za određivanje geografske dužine:

- pomoću vremena Mjesečevih kulminacija,
- pomoću računa longitude i rektascenzije Mjeseca iz opažanja Mjeseca i nekog nebeskog tijela,
- pomoću vremena istodobnog prolaza Mjeseca i neke zvijezde kroz meridijan,
- pomoću opažanja Mjeseca i neke zvijezde u istom vertikalu,
- pomoću okultacije neke zvijezde s Mjesecom.

Sve ove metode, više ili manje, svode se na metodu Mjesečevih udaljenosti, pa je svima zajednički nedostatak bio nepoznavanje

pouzdanih efemerida Mjeseca. Zbog toga je engleski kralj Charles II osnovao 1675. astronomsku opservatoriju u Greenwichu, a njen upravitelj astronom Flamsteed dobio je dužnost da iz točnih opažanja Mjeseca izračuna njegove nove efemeride.

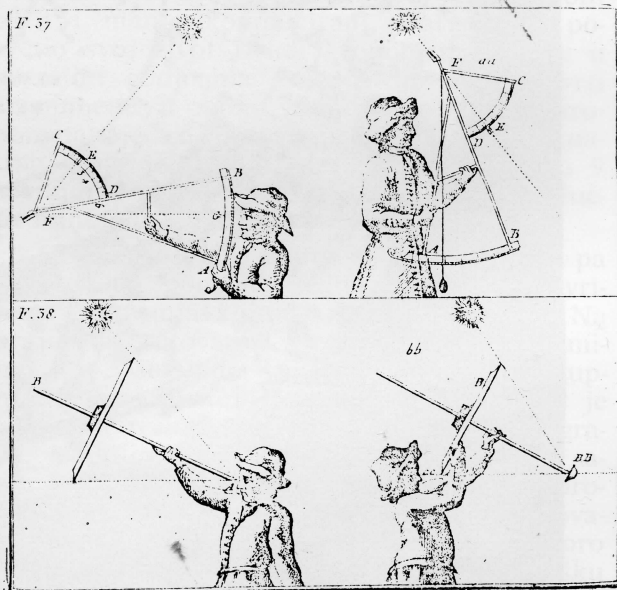
Međutim, osim pokušaja određivanja geografske dužine opažanjem Mjeseca, bilo je i drugih prijedloga. Tako je na primjer Galileo Galilei (1564—1642) predlagao vladarima Španjolske, Francuske i Nizozemske način određivanja geografske dužine pomoću pomrčine Jupiterovih satelita. Na temelju tog prijedloga su 1650. godine Jean Dominique Cassini i Olaf Romer izradili posebne tablice pomrčine Jupiterovih satelita.

Fizičar Gilbert predlaže određivanje geografske dužine pomoću magnetske deklinacije (varijacije), pa je već spomenuti Halley početkom 18. stoljeća konstruirao prvu kartu izogona.

Nizozemski znanstvenik Christian Huygens (1625—1695) vratio se na određivanje geografske dužine pomoću razlike vremena, nakon što je konstruirao sat na njihalo. Ipak njegov sat, iako obješen o kardanski sistem, nije mogao na brodu održavati vrijeme jednog meridijana. (11)

## RAZVOJ SEKSTANTA I KRONOMETRA

Za mjerenje visina nebeskih tijela na moru, poznato je da su stari narodi upotrebljavali astrolabe i kvadrante. Konstrukcija manjih astrolaba i Jakobljevog štapa olakšala je mjerenje visina na brodovima, ali je točnost bila daleko od zadovoljavajuće, jer su ti nautički instrumenti bili još neusavršeni, a jako valjanje broda otežavalo je rukovanje, pa su rezultati astronomskih računa bili osjetno po-

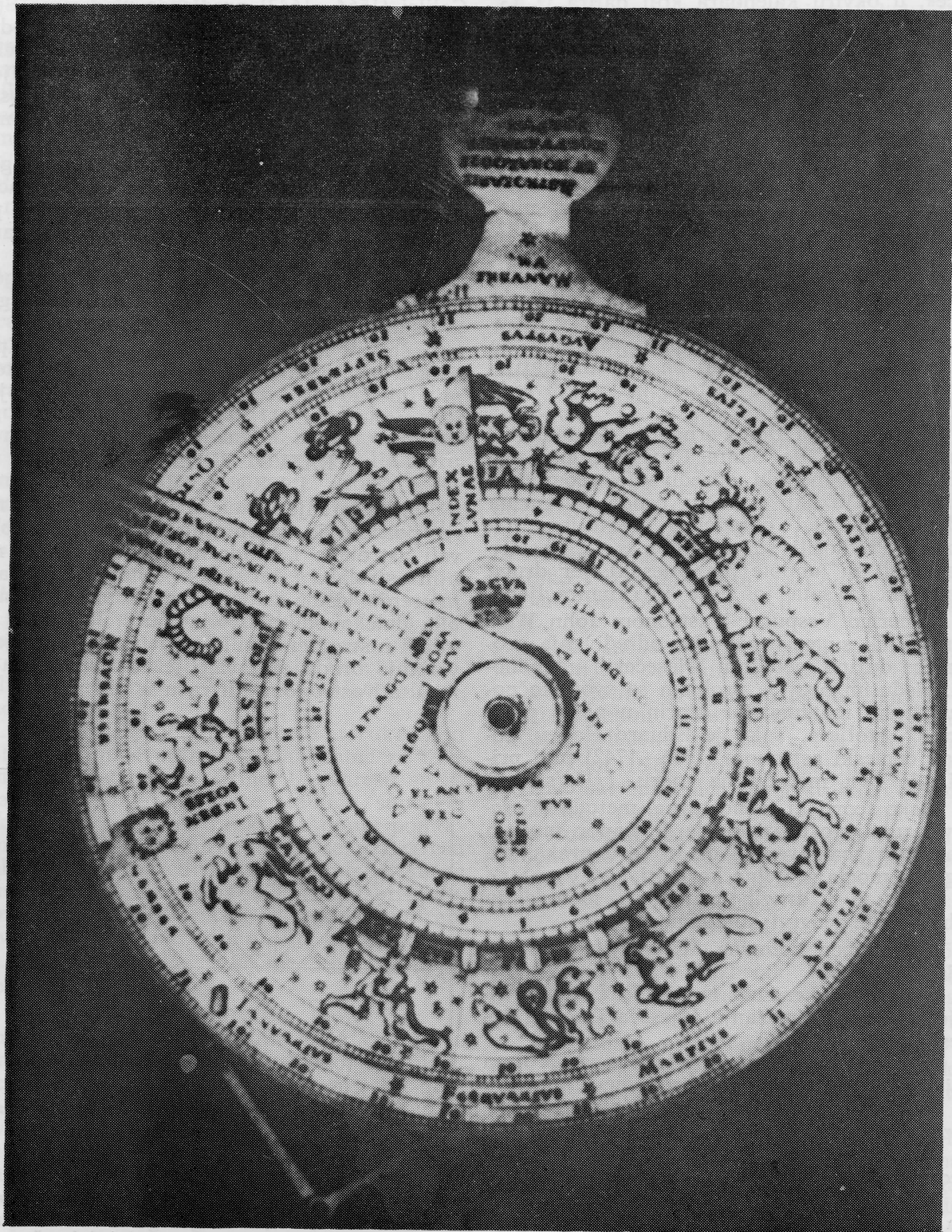


Slika 4. Mjerenje s Davisovim kvadrantom Jakobljevim štapićem i leđnim štapićem

grešni. U Kolumbovom dnevniku iz 1493. godine piše: »Visina Polarne zvijezde astrolabom danas se nije mogla mjeriti zbog jakog vjehtra i valjanja broda«. (/1./str. 145)

Davisov kvadrant bio je prihvaćen pod kraj 17. stoljeća, ali mu je bio nedostatak što u niskim geografskim širinama nije mogao mjeriti veće visine Sunca.

Stari kvadranti i astrolabi držali su se vertikalno kod mjerenja pomoću olovnog viska, a za opažanja s njima trebala su dva ili tri čovjeka. Astrolabom se snimalo tako da bi opažatelj namjestio pomični štap u smjeru zvijezde i tada bi se na skali pročitala zenitna daljina.



Slika 5. Nokturnal



Jakobljev štap je bio prvi instrument koji je koristio vidljivi horizont za opažanje. Navigator bi pričvrstio potreban okomiti križ na glavni štap i držeći glavni štap kod oka namjestio bi okomiti križ tako, da donji njegov kraj bude na horizontu, a gornji na tijelu.

Davisov leđni štap (morski kvadrant) upotrebljavao se na taj način da bi opažatelj okrenuo leđa Suncu i njegovu sjenu doveo u pokriće s horizontom. Leđni štap je imao dva luka, i kada se zbroje vrijednosti na oba, dobije se zenitna daljina Sunca. Kasnije je na instrument dodano ogledalo, da bi se mogla opažati i druga nebeska tijela.

Za opažanje Sjevernjače upotrebljavao se specijalni instrument pod imenom nokturnal, koji je u Evropi bio poznat otprilike kad i Jakobljev štap. Sjevernjača se promatrala kroz rupu u centru instrumenta, a pomični štap se namještao tako da bude uperen prema zvijezdi Kochabu i tada se mogla očitati korekcija s instrumenta, a pomoću te korekcije određivala se visina Sjevernjače. Neki nokturnali su imali dodatni disk na kojem su bili označeni dani i mjeseci u godini, i podešavanjem ovog diska opažatelj je mogao ujedno odrediti i sunčevo vrijeme.

Tyho Brahe (1546—1601) je izumio nekoliko instrumenata s lukom od  $60^\circ$ , koji su imali pomičnu alhidadu, i dao im ime sekstant.

Američki optičar Thomas Godfray angažirao se za problem mjerenja visine i Mjesečeve udaljenosti na moru, pa je izradio instrument nazvan Mariners bow ili Godfrayev kvadrant. Taj se prvi odrazni instrument, što ga Amerikanci smatraju prototipom modernog sekstanta, održao do druge polovine 18. stoljeća, a nakon toga je sve više bio u upotrebi Hadleyev kvadrant veoma slične izradbe. Englezi smatraju da je John Hadley prvi konstruktor reflektivnog instrumenta, ali je činjenica da je Britanskom kraljevskom društvu, prije Hadleyeva izvještaja 1731. godine, bio poznat opis Godfrayevog kvadranta. Nakon smrti Issaca Newtona otkriveno je da je on prije svih konstruirao svoj sekstant na dvostrukom refleksiju. Ipak je Hadleyev kvadrant stekao veću popularnost i on je zapravo prethodio modernom sekstantu.

Pomorski sekstant, zbog dvostruko reflektirajućih ogledala, mjeri kuteve do  $120^\circ$ . Prije su ovakvi instrumenti imali luk osmog dijela kruga pa su se zbog toga zvali oktant. Takav oktant konstruirao je Hadley, ali je trebalo 20 godina da bi ga pomorci prihvatili u praksi. Pierre Vernie je 1638. godine opisao konstrukciju jednog malog graduiranog luka, koji se dodavao na glavni luk sekstanta, s kojim se visina nebeskih tijela mogla mjeriti vrlo precizno. Taj mali luk zove se Nonius, po Pedru Nunesu (1492—1577), jer je on prvi pronašao skalu za precizno čitanje manjih kuteva na takvim instrumentima.

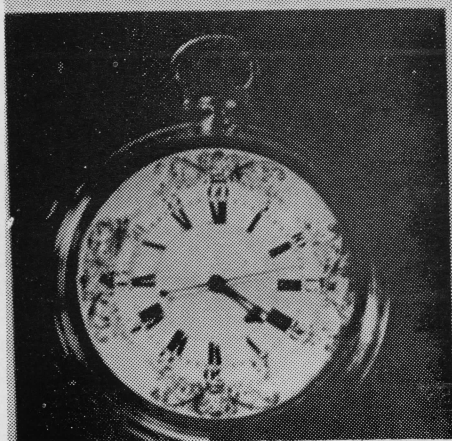
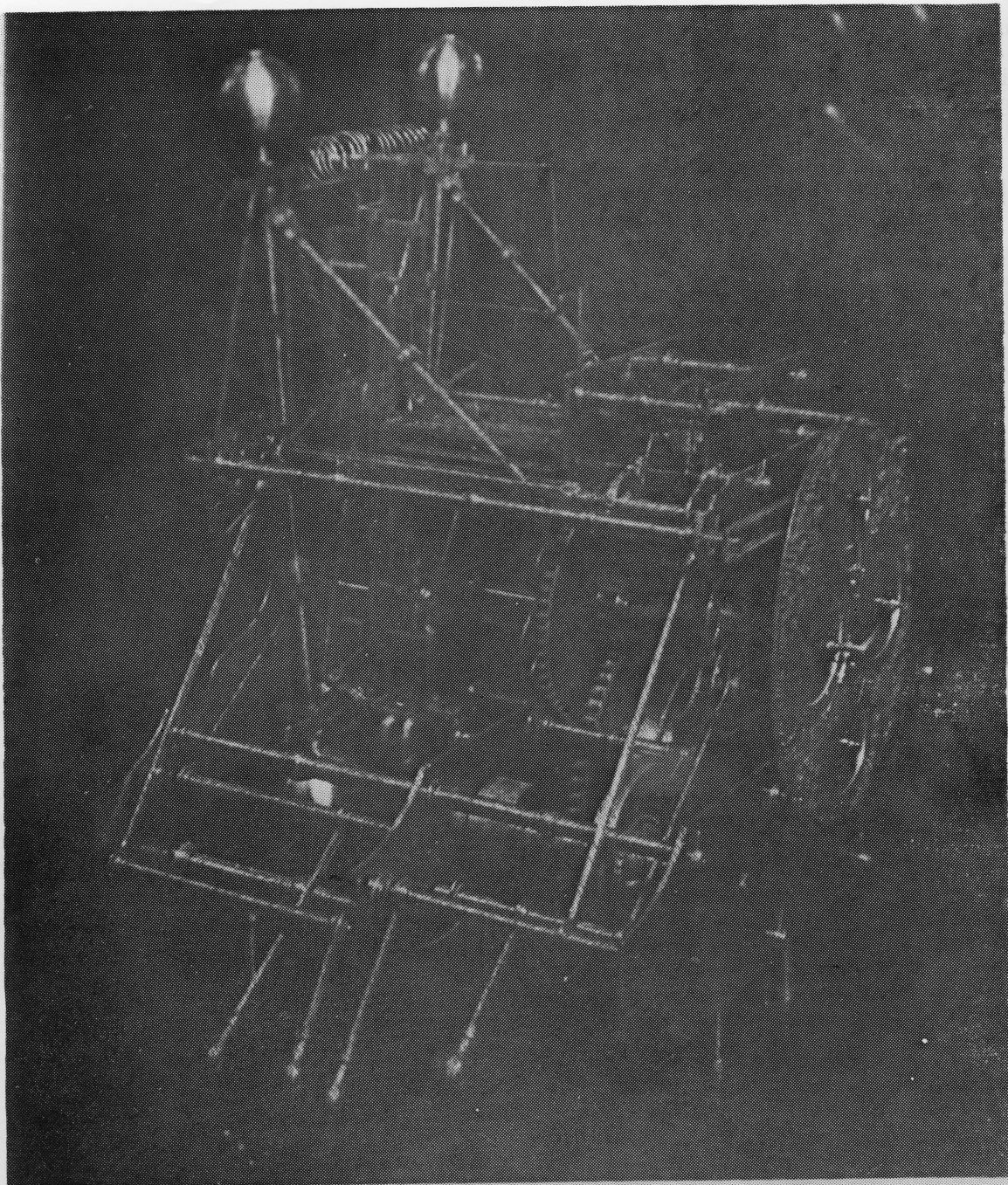
Današnji pomorski sekstanti čitaju kut na djelove lučnog minuta pomoću bubnjića, a može se snimiti kut i do  $150^\circ$ .

Metoda Mjesečevih udaljenosti, koja se upotrebljavala do početka 19. stoljeća, nije u potpunosti zadovoljavala. Zbog nemogućnosti određivanja geografske dužine često su nestajali brodovi, teret i ljudski životi. Kada je u maglovitoj noći 1707. godine 2.000 ljudi izgubilo svoje živote nasukanjem britanske eskadrile, komanda Engleske ratne mornarice obratila se Parlamentu s molbom da pokrene akciju. Sedam godina nakon te katastrofe Parlamentu je podnesena predstava koju su potpisali pomorski kapetani, brodovlasnici i londonski trgovci, u kojoj se obrazlaže važnost i potreba određivanja geografske dužine za navigaciju i pomorsku trgovinu. Te iste 1714. godine Parlament je osnovao »Odbor za geografsku dužinu« (Board of Longitude), tijelo koje je za 114 godina svog postojanja kontroliralo razvoj kronometra. Izglasano je Zakon po kome su određene nagrade od 10, 15 i 20 tisuća funti šterlinga onome koji pronađe sredstvo da se odredi geografska dužina broda, s točnošću od  $1^\circ$ ,  $3/4^\circ$  i  $1/2^\circ$  poslije šest tjedana putovanja. Koliko je problem određivanja geografske dužine bio važan vidi se i po ovoj visokoj nagradi.

John Harison je 1735. godine napravio svoj prvi kronometar. Odbor za geografsku dužinu dozvolio je ispitivanje ovog kronometra na brodu koji je putovao do Lisabona i natrag. Na kraju putovanja greška u geografskoj dužini iznosila je 3', što je zapanjilo članove Odbora. Ali kronometar je bio nezgrapčan i težak, sav ugrađen u staklo, te mu je Odbor izglasao 500 funti za usavršavanje i konstrukciju praktičnijeg kronometra.

U nekoliko slijedećih godina on je konstruirao dva druga kronometra, koji su bili bolji i manje komplicirani. Harison je posvetio svoj život izradi kronometra, pa je u kasnijim godinama konstruirao svoj četvrti kronometar, u obliku veće džepne ure. Taj kronometar je na putovanju za Jamaiku i natrag, koje je trajalo 81 dan, kasnio samo 9 sekundi, što odgovara greški od 2 i  $1/2$  lučne minute u geografskoj dužini.

Odbor još nije vjerovao u tu točnost, pa je izvršena ponovno jedna provjera za vrijeme putovanja koje je trajalo 147 dana. Na kraju tog putovanja greška je iznosila 1 minut i 54,5 sekunda, što je manje od  $1/2$  stupnja u geografskoj dužini, a to znači da je Harisonu trebalo isplatiti maksimalnu nagradu. Međutim, Odbor je Harisonu isplatio samo 5.000 funti, insistirajući na daljnjoj provjeri, pa je 1764. godine ponovno na putovanje za Barbados i natrag, u vremenu od skoro četiri mjeseca, kronometar pokazivao grešku samo 54 sekunde ili 13,5' geografske dužine. Astronomi u Odboru za geografsku dužinu nerado su se složili u izjavi da je Harisonov



1771. When after our having been in the latitude of 29. 30. N  
 we got the time at Port. the watch was at 11. 3. 11.  
 and continued to go fast till we had sailed 100 leagues  
 for the Indies and so on  
 1772. We made the Land about 11. 1/2. We had a hard  
 at 5 o'clock and after noon had 11. 11. 11. and  
 of course the time was not so good. Since that the  
 error of the watch was 11. 11. 11. which was the farthest it  
 ever was for 100 leagues.

*Jam Cook*

Slika 6. Harrisonov prvi kronometar (gore) i Kendalova kopija njegovog četvrtog kronometra s primjedbom kapetana Cooka o njegovoj pouzdanosti (dolje)

sat prešao sva očekivanja, ali mu još nisu isplatili punu nagradu, već samo novih 5.000 funti, pod uvjetom da se posveti konstrukciji sličnog kronometra. Čak je i ovo napravio pa je 1772. godine na brodu, kojim je zapovijedao glasoviti istraživač Cook, kronometar pokazao potpuni uspjeh, a tek godinu dana kasnije, osamdeset godišnjem Harisonu je isplaćen ostali dio pune nagrade, na osobnu intervenciju kralja.

Od toga vremena nastaje stalno usavršavanje kronometra, kojim je potpuno riješeno pitanje geografske dužine. Tako kronometar postaje važan instrument u astronomskoj navigaciji.

### NAVIGACIJA DO OTKRIĆA LINIJE POLOŽAJA

Kako smo vidjeli, primjena astronomske znanosti na moru ograničavala se dugo vremena samo na određivanje geografske širine, dok se geografska dužina mogla samo procjenjivati na temelju kursa i brzine, nakon što se kompas, kao navigacijski instrument, uveo i u Evropi u 12. stoljeću. Kod povoljnih vremenskih prilika iskusni opažatelj je mogao odrediti geografsku širinu na moru s točnošću 1–2 stupnja (na kopnu do 0,5 stupnja). U doba kada su brodovi bili jako nezgrapni i padali u zanos, iako su magnetski kompasi bili nepouzdana zbog nepoznavanja točne varijacije, a i morske struje nepoznate, ipak i

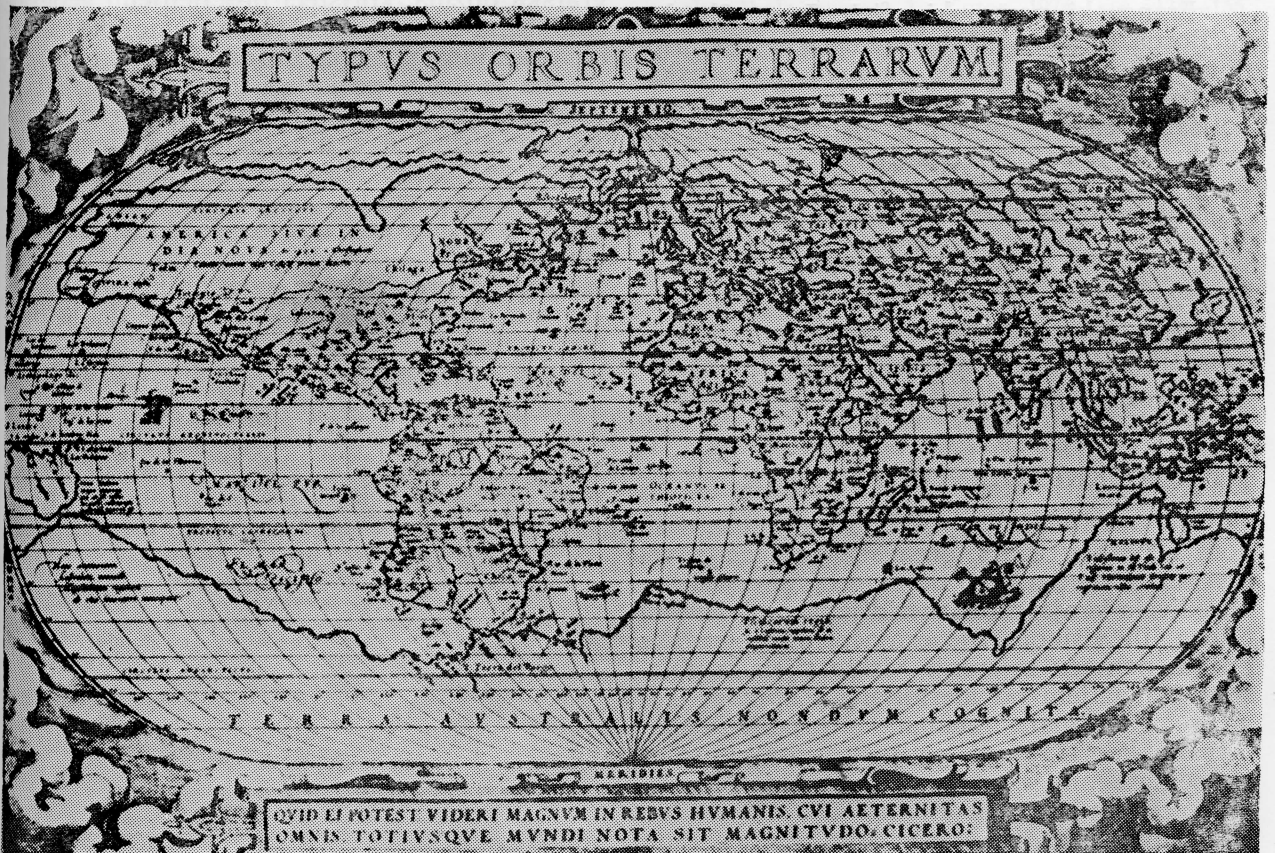
takva točnost, za određivanje geografske širine, bila je zadovoljavajuća.

Zbog svega ovoga oceanska navigacija se dugo vremena vodila po širinskom paralelu. Kapetan bi svoj brod, najkraćim putem (najčešće plovidbom po meridijanu), doveo do širinske paralele luke odredišta, pa je u plovidbi po ovoj paraleli na istok ili zapad, koliko su to vjetrovi dozvoljavali, lako bilo kontrolirati geografsku širinu, i sigurno dovesti brod do luke odredišta. Ovakav put bio je svakako duži, ali zato sigurniji, jer su inače brodovi kod ateriranja znali pogriješiti i za više desetaka nautičkih milja, a takve greške su ponekad bile i kobne.

Napretkom nauke i tehnike počela se popravljati i situacija kapetana. Nakon što su dobili bolje instrumente, karte i tablice, točnost određivanja pozicije na otvorenom moru bila je sve bolja, a izumom broskog kronometra mogla se određivati i geografska dužina.

No sve te novine nijesu se odmah primjenjivale na brodu, jer su pomorci po prirodi jako konzervativni i teško prihvaćaju nove metode. Ako im je pred ateriranje geografska dužina bila sumnjiva, zbog nepouzdanog »stanja kronometra« (razlika vremena početnog meridijana i vremena što ga pokazuje kronometar), brzo bi se vraćali na plovidbu po paraleli.

Sami kapetani morali su se školovati i na kopnu, a ne kao do tada priučavati na



Slika 7. Karta svijeta iz 1570. godine

brodu. Mnoge pomorce moralo se čak i prisiljavati da pohađaju kurseve ili netom uspostavljene pomorske škole. Trebalo je vremena dok je prevladalo uvjerenje da je znanje jednako neophodno kao i iskustvo kako bi navigacija dobila na svojoj sigurnosti. U to doba stari su kapetani svoje mlađe kolege, koji su na brodove dolazili iz škola, podrugljivo zvali »Star shooter« (pucači na zvijezde), aludirajući na njihove nove metode određivanja pozicije broda, pomoću snimanja visine Sunca i zvijezda.

Astronomska navigacija, iako teško i polagano, probija svoj put, pa će i stari neškolorani kapetani početi i sami uzimati u ruke astrolabe, kvadrante ili Jakobljev štap, da i sami postali »pucači na zvijezde«.

U 17. stoljeću, nakon otkrića Keplerovih zakona, usavršile su se tablice deklinacije Sunca, te rektascenzije i deklinacije zvijezda. Prvi nautički almanah (publikacija o podacima nebeskih tijela koji se upotrebljavaju u astronomskoj navigaciji) izdala je Pariška opservatorija 1679. godine. (/1./str. 160)

British Nautical Almanac počeo je izlaziti 1767. godine i bio je najbolji priručnik navigatorima. Prve točne korekture visine Sjevernjače, za određivanje geografske širine, donosi 1834. godine. U njemu se nalaze i tablice pomrčine Jupiterovih satelita i tablice Mjesečevih udaljenosti, radi određivanja geografske dužine. Zanimljivo je da su ove druge tablice prestale izlaziti tek 1908. godine.

Francuski pomorski oficir Jean Charles de Borda (1733—1799) u svom radu »Description et Usage du Cercle de Reflexion«, tiskanom u Parizu 1787. godine, dao je opis poboljšanja rada s mjernim instrumentima na brodu, ali je za nas zanimljivije što je u tom radu dao matematičku metodu određivanja geografske dužine, računajući vrijeme broda. Ta, po njemu nazvana Bordina formula, bila je vrlo popularna u prvoj polovini 19. stoljeća. (/2./str. 247)

Tako smo došli do 19. stoljeća u kojem su se najviše razvile metode astronomske navigacije, pa se zbog toga kaže da je to »zlatno doba astronomske navigacije«.

## OTKRIĆE LINIJE POLOŽAJA

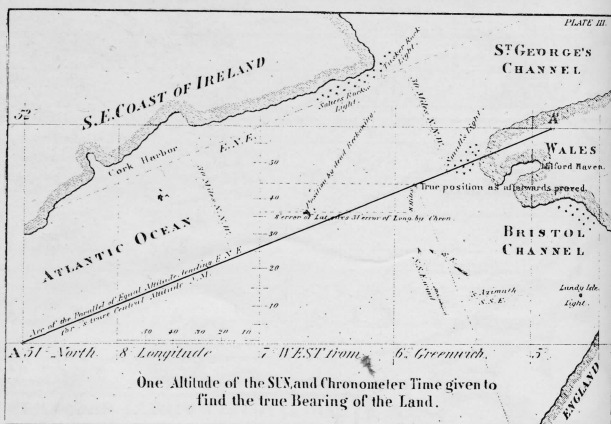
Do otkrića linije položaja izmjerene visinom nebeskog tijela, oceanska navigacija vodila se uglavnom tako da se geografska širina određivala izmjerenom meridijanskom visinom Sunca, ili visinom Sjevernjače, a geografska dužina pomoću mjerenja visine tijela u položaju što daljem od meridijana. Zapravo, jedna se koordinata računala s procijenjenom drugom koordinatom, pa je točnost računate koordinate bila u ovisnosti o točnosti procijenjene koordinate. Koncem 1837. godine pronađena je linija ili pravac položaja (position line), u našoj terminologiji nazvan stajnica.

Američki kapetan Thomas Sumner, šest godina nakon što je otkrio i u praksi provjerio stajnicu, objavio je to u knjizi »A new method of Finding Ship's Position at Sea by Projection on Mercator's Chart« (Boston). Njegov vlastiti opis tog događaja iz te knjige glasi: »Isplovili smo 23. studenog 1837. godine iz Charlestona za Grenock. Niz oluja sa zapada nagovještavale su brzu traversadu. Poslije prolaska Azora vladao je južni vjetar s tmurnim vremenom. Po prelazu meridijana 21° W nije bilo moguće vršiti astronomska opažanja sve do ispod samog kopna, već se na osnovu mjerenja dubina moglo pretpostavljati da se brod nalazi u blizini ruba pomorskih pličina. Vrijeme je bilo olujno, vjetar je još uvijek puhao s juga.

17. prosinca 1837. godine u pola noći, kada se brod po procjeni nalazio udaljen 40 Nm od svjetionika Tusker, skrenuo je vjetar na SE, te nam je time Irska obala došla pod vjetar. Brod je stavljen pod vjetar u zavlacenju, da bi se do zore zadržao što više na mjestu. Kad se razdanilo i ništa nije bilo na vidiku, brod je postavljen s podvezanim je drima u kurs ENE, koji je držan usprkos teških oluja. Oko 10 sati a.m. opazi se jedna visina Sunca i zabilježi vrijeme na kronometru. Pošto se dugo plovilo bez ikakvog opažanja, jasno je bilo da je procijenjena širina bila vrlo pogrešna i da nije bilo moguće osloniti se u potpunosti na nju.

S ovim opažanjem Sunca određena je geografska dužina, koristeći procijenjenu geografsku širinu i zabilježena je na pomorskoj karti odgovarajuća pozicija broda. Poslije toga određena je druga pozicija i to na osnovu širine koja je bila za 10' sjevernije od prve procijenjene širine, a zatim još jedna treća s širinom za još 10' više prema sjeveru.

Pošto su sve tri pozicije unesene u kartu, opaženo je, da one leže na jednom pravcu u smjeru ENE — WSW. Opaženo je i to da taj pravac prolazi kroz svjetionik Smalls. Ključak do koga sam došao bio je da je opažena visina u istom trenutku bila jednaka na sve tri pozicije, na Smalls lightu i na



Slika 8. Slika prve stajnice iz Summerove knjige

brodu, i prema tome da iako je stvarna pozicija broda bila neodređena, pravi smjer na Smalls light bio je točan, pod pretpostavkom da je kronometar točan. Uvjeren u ispravnost svojih zaključaka zadržao sam brod u kursu ENE i nakon nepunog sata vožnje pojavio se na vidiku Smalls light u smjeru ENE 1/2 E i blizu broda«.

Ustanovilo se, da je procijenjena širina bila za 8' pogrešna. Tom širinom računata dužina po kronometru dala bi poziciju, koja bi 31' bila suviše prema zapadu, a 8' prema jugu od pozicije koju je brod u tom momentu imao.

Iz ovog je vidljivo, da se svako opažanje koje se vrši u bilo koje doba dana i u bilo kom azimutu može korisno upotrebiti, pod pretpostavkom da je kronometar pouzdan.« (2./str. 276, 277) (/11./str. 6)

Eto tako je pravac položaja pronađen od jednog običnog, ali pronicljivog kapetana — zapovjednika trgovačkog jedrenjaka, koji je bez većeg matematičkog znanja odmah shvatio da je taj pravac »geometrijsko mjesto broda«, pa se po njemu još zove i Summnerova linija.

Summnerova linija bila je u stvari sekanta na kružnici položaja, koja je bila određena izmjerenom visinom nebeskog tijela. Morale su se računati dvije točke da se povuče pravac kroz njih tj. s dvije procijenjene širine računale su se dvije dužine, što je za današnje pojmove dug postupak, ali za ono vrijeme neusporediva prednost pred nesigurnim točkama, a pogotovo metodi Mjesečeve udaljenosti. Linija je davala siguran podatak da se negdje na njoj nalazi brod, pa se iz toga već moglo zaključiti da li je brod mnogo zanesen od svog kursa, što je bio veliki napredak u sigurnosti vođenja broda. Što više, s mjerenjem visine dva nebeska tijela, čija je razlika azimuta bila što bliže pravom kutu, mogla se odrediti točka broda u presjeku dvaju pravaca položaja.

Nakon izvjesnog vremena došlo se do saznanja da je pravac položaja okomit na azimut nebeskog tijela, pa se onda računala samo jedna točka pravca položaja i azimut. Kroz tu točku na karti crtao se pravac okomit na smjer izračunatog azimuta.

Ta Summnerova metoda izazvala je čitav niz imitatora, koji su s više ili manje vještine prekrajali original. Ipak nijesu dali ništa novo,

a pomorci su je prihvaćali sporo i pored nje-ne očite prednosti.

Nakon što je 1843. godine Summner objavio svoju metodu dobijanja stajnice mjerenjem visine nebeskog tijela, već 1875. godine francuski pomorski oficir Marq de St. Hilaire objavio je novu metodu, po kojoj se iz razlike opažene i računate visine, te računatog azimuta nebeskog tijela, dobivala točka na karti, kroz koju se povlačila stajnica okomito na azimut.

U to vrijeme počinju se tabelirati poznate ABC tablice za računanje azimuta.

Dok se metoda dužine potpuno odbacila iz prakse, metoda Marq de St. Hilaire, koja se još zove i visinska metoda, još je i danas u upotrebi, i nije ništa mijenjano osim relacija za računanje visine i azimuta. Ali ni ova metoda nije odmah prihvaćena izvan Francuske, pa je trebalo vremena da i ostali navigatori odbace stare metode i prihvate ovu kao najbolje rješenje.

Mnogo je autora u svijetu nastojalo tabelirati rješenje ove metode na brz i jednostavan način, ali da zadovoljava točnost novih brzih brodova, a u našem stoljeću i aviona. Nekoliko naših ljudi uspješno je dalo svoj doprinos tom rješenju.

#### LITERATURA

1. Ivo Hekman: Kratak povijesni pregled razvitka tablica deklinacije Sunca s naročitim osvrtom na nedavno pronađene »Zadarske astronomske tablice« iz XIII stoljeća. Zbornik Više pomorske škole svezak 1. Kotor 1974. str. 139—166
2. Charles H. Cotter: A History of Nautical Astronomy. Izdanje American Elsevier Publishing Company inc. New York 1968. g.
3. American Practical Navigator, Bowditch, Izdanje 1977. godine.
4. Pomorska enciklopedija. Izdanje Jugoslavenskog leksikografskog zavoda, br. 5. Zagreb 1958. g.
5. Biblija. Izdanje Stvarnost, Zagreb 1968. g.
6. Žarko Dadić: Razvoj matematike. Ideje i metode egzaktnih znanosti u njihovu povijesnom razvoju. Izdanje Školska knjiga, Zagreb 1975. g.
7. Fred Hoyle: Astronomija. Izdanje Mladost, Zagreb 1971. g.
8. Homer: Odiseja. Prijevod Toma Maretić. Izdanje Matica Hrvatska, Zagreb 1882. godine.
9. Milutin Milanković: Kroz carstvo nauka. Izdanje Naučna knjiga, Beograd 1950. godine.
10. Pomorska enciklopedija br. 6. Zagreb, 1960. g.
11. Frano Simović: Nautička astronomija II (skripta) Izdanje Viša pomorska škola, Rijeka 1952. g.
12. Ivo Šišević: Nautička rasprava anonimnog autora. Zbornik Više pomorske škole, Kotor, svezak 3—4. Kotor 1976—77. str. 95—104.
13. Pomorska enciklopedija br. 7. Zagreb, 1961. g.

