

Nova metoda određivanja Sunčeve paralakse

Prijevod originalnog članka u kojemu je Edmond Halley predložio metodu određivanja udaljenosti Sunca opažanja Venerina prolaza ispred Sunca.

Izvor:

PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS VOL. XXIX (1716) Nova metoda određivanja Sunčeve paralakse, ili njegove udaljenosti od Zemlje; napravio Dr. Halley, Sec. R. S. NO 348, p.454.

Poznato nam je da su razni astronomi, svaki drugačije, procijenili udaljenost od Sunca do Zemlje. Ptolemej i njegovi sljedbenici, a također i Kopernik i Tycho Brahe izračunali su je na 1200 polumjera Zemlje, Kepler na skoro 3500 polumjera; Riccioli je udvostručio ovu udaljenost, a Hevelius izračunao samo upola manju. S vremenom, promatrajući teleskopom prolaska Venere i Merkura ispred Sunčeve ploče, primijećeno je da je prividni promjer planeta puno manji nego što se smatra. Tako Venera viđena sa Sunca ima polumjer od samo 15"; Merkurov polumjer isto kao i Saturnov na prosječnoj udaljenosti od Sunca opaža se pod kutom od samo 10", dok se polumjer Jupitera koji je najveći kod svih planeta, gledan sa Sunca je vidi pod kutom od 20". Sukladno tome neki moderni astronomi zaključili su da je polumjer Zemlje viđen sa Sunca negdje između veličine Jupiterovog polumjera i polumjera Saturna i Merkura, a jednak onom od Venere tj. od 15". Iz tog se može zaključiti da je udaljenost od Sunca do Zemlje skoro 14 tisuća Zemljina polumjera. Još je jedna postavka utjecala da autori pretpostave veću udaljenost Sunca. S obzirom da je Mjesečev promjer nešto veći od četvrtine promjera Zemlje, a ukoliko je Sunčeva paralaksa pretpostavljena na 15", sam Mjesec bi bio veći od Merkura, tj. satelit bi bio veći od planeta, što je prisililo astronome da pretpostave veću udaljenost od Zemlje do Sunca kako bi bila sukladna simetriji Zemaljskog sustava. Nasuprot tome, čini se da se to teško slaže s analognim razmjerima, jer bi Venera kao donji planet i bez i jednog satelita bila veća od Zemlje, koju prati tako izuzetan satelit. Pretpostavljajući da je polumjer Zemlje viđen sa Sunca, ili isto što i Sunčeva horizontalna paralaksa, jednak 12,5", Mjesec bi bio manji od Merkura, a Zemlja veća od Venere, a Sunčeva udaljenost od Zemlje odgovarala bi iznosu od otprilike 16500 polumjera Zemlje. Trenutačno ću prihvatiti ovu udaljenost, dok se ne poveća preciznost metodom koju predlažem; ne poštujući značaj ovakvog postavljanja Sunca na tako beskrajno veliku udaljenost, te oslanjajući se na opažanje njihala koja izgleda da nisu dovoljno precizna da se mogu određivati kutovi veličine minute; na kraju, upotrebom te metode ponekad se paralaksa dobije nula, ili čak i negativna, tj. udaljenost će biti beskonačna ili veća od beskonačnosti što je apsurdno. Jedva je moguće da je bilo tko precizno odredi, rabeći instrumente, kako god precizne, preciznosti jedne sekunde, ili čak 10 sekundi; i stoga uopće nije iznenađujuće su pokušaji zbunjivali i genijalne poznavaoce.

Dok sam promatrao s otoka Sv. Helene, prije 40 godina, zvijezde u okolici južnog pola, slučajno sam primijetio, s velikom pozornošću, kako Merkur prolazi ispred Sunčeve ploče; i suprotno očekivanjima, vrlo točno sam odredio, s dobrim teleskopom od 24 stope, sam trenutak u kojem Merkur uzlazi na Sunčev rub. Čini se kada ga dodiruje iznutra, kao i kada izlazi, da formira kut prema unutaršnjem kontaktu. Dakle, otkrio sam precizni iznos vremena koje je potrebno cijelom tijelu Merkura da se pojavi unutar Sunčeve ploče, i to bez greške od jedne sekunde vremena. Zraka Sunčeve svjetlosti, prekinuta između skrivenog ruba planeta i svijetlog ruba Sunca, iako izvanredno tanka, utjecala je na moj vid i u treptaju oka nestalo je nazubljenje napravljeno na Sunčevom rubu od Merkura koji ulazi u njega, a ono napravljeno od izlaska, nastaje. Opažajući ovo, odmah sam zaključio, da Sunčeva paralaksa može biti izuzetno točno određena ovakvim promatranjima, ukoliko Merkur, jer je bliži od Zemlje, ima veću paralaksu kada se gleda sa Sunca. Prema tome prolazak predstavlja dobar pokušaj, s obzirom da se Merkur jako često vidi unutar Sunčeve ploče; te nam može dobro poslužiti za sadašnju svrhu.

Stoga, ostaje nam prolazak Venere preko Sunčeve ploče, čija će paralaksa, koja je skoro 4 puta veća od Sunčeve, uzrokovati osjetljivu razliku između vremena u kojima će Venera prividno proći preko Sunčeve ploče gledajući sa različitih dijelova Zemlje. Iz ovih razlika, valjano promatrajući, može se odrediti Sunčeva paralaksa, čak do malih dijelova sekunde; i bez bilo kojeg drugog instrumenta osim teleskopa i dobrog običnog sata, i bez bilo kakve stručnosti opažача osim vjernosti i marljivosti, s malo iskustva u astronomiji. Ne moramo biti vrlo točni kod određivanja geografske širine mjesta opažanja ili u preciznom određivanju sati u odnosu na meridijan. Dovoljno je, ako je vrijeme procijenjeno sa urama, doista izmijenjeno u odnosu na okretanje neba, od totalnog ulaska Venere na Sunčevu ploču do početka njezinog izlaska s ploče, kada njezina tamna kugla počinje doticati svijetli rub Sunca; čije vrijeme, kao što sam odredio iz iskustava, može biti opaženo na malom dijelu sekunde vremena.

Ali zbog ograničenih zakona kretanja, Venera se rijetko vidi ispred Sunčeve ploče. U razmaku od 120 godina, pa i dalje, nije viđena kako prolazi preko Sunčeve ploče nijednom od 1639. godine, kada je g. Horrocks promatrao prvi puta od početka svijeta i kada je imao povoljne uvjete opažanja, pa sve do 1761. godine; kada će prema teorijama i promatranjima neba Venera proći preko Sunčeve ploče 26. svibnja u jutarnjim satima; tako (*Phil. Trans. NO 193*) da će u Londonu oko 6 sati ujutro, biti u sredini Sunčeve ploče, a 4 minute kasnije više južno od središta ploče. Trajanje ovog tranzita biti će skoro 8 sati; od 2 do 10 sati ujutro. Prema tome, početak neće biti viđen iz Engleske; a Sunce će u to vrijeme biti 16° od Blizanaca i skoro 23° sjeverne deklinacije, i sukladno tome stanovnici obalnog područja Norveške, sve do sjeverne granice iza grada Drontheima, moći će vidjeti ulazak Venere na Sunčevu ploču; a možda za izlaska Sunca i stanovnici sjeverne Škotske i Zetlanda. Kada Venera bude blizu središta Sunčeve ploče, biti će okomito na

sjevernu obalu i zaljev Gange, tj. u kraljevstvu Pegu; i sukladno tome u susjednim državama, gdje će Sunce biti skoro 4 sata udaljeno od istoka za vrijeme ulaska Venere na Sunčevu ploču. Prividno gibanje Venere preko Sunčeve ploče biti će 2 puta brže nego kao što je horizontska paralakse Venere od Sunca; zato što se Venera u to vrijeme giba retrogradno sa istoka na zapad, dok se za opažača na Zemlji oko giba u suprotnom smjeru, od zapada prema istoku.

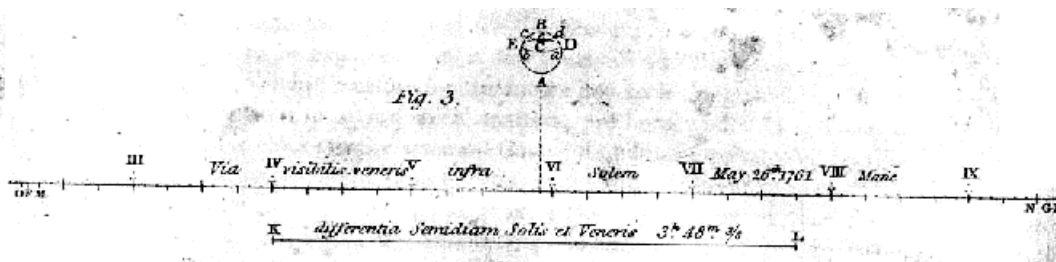
Pretpostavimo li da je paralaksa Sunca, kao što je već rečeno, $12\frac{1}{2}$ sekundi, paralaksa Venere biti će 43 sekunde. Znači da će preostati barem pola minute horizontske paralakse Venere od Sunca pa će njezino gibanje biti ubrzano za $\frac{3}{4}$ minute zbog te paralakse, prilikom tranzita ispred Sunčeve ploče, promatramo li blizu tropske obratnice, a još više će se ubrzati idemo li prema ekvatoru. Tada će Venera opisivati 4 minute u satu po Sunčevoj ploči, te će barem 11 vremenskih minuta (za koliko će se trajanje pomrčine Venere skratiti zbog paralakse) odgovarati $\frac{3}{4}$ minute. Smanjenje pomrčine može poslužiti za pouzdano određivanje paralakse, uz uvjet da znamo točne vrijednosti Sunčeva polumjera i Venerine latituda, koje su nam zasada još nedovoljno točno poznate da bismo ih koristili u računu.

Stoga nam je potrebno još promatranja, i to ukoliko je moguće u položaju u kojem je Venera u središtu Sunca u ponoć, odnosno na suprotnom meridijanu, dakle 6 sati ili 90° zapadno od Londona, a također i kada Venera ulazi u Sunčevu ploču malo prije njena zalaza i napuštamlo nakon njena izlaza, što će se dogoditi na zadanom meridijanu na otprilike 56° sjeverne geografske širine, u Nelsonovoj luci Hudsonova zaljeva. U okolinim mjestima paralaksa Venere će produljiti trajanje tranzita za najmanje 6 minuta, zbog toga jer se Sunce gledano sa Zemljine površine prividno giba sa zapad na istok, a ova mjesta će se na Zemljinoj površini gibati u suprotnom smjeru prema zapadu, što je u suprotnosti sa stvarnim gibanjem Venere, pa stoga će se činiti da se Venera giba sporije preko Sunčeve ploče i time produžava svoj boravak u njemu.

Ako su promatranja na oba mjesta provedena savjesno i od strane pouzdanih osoba jasno je da će predstava biti duža za punih 17 minuta u Nelsonovoj luci nego u Istočnoj Indiji (nije bitno da li su promatranja obavljena u utvrđi St. George, poznatija kao Maderas, ili na Bencoolenu na zapadnoj obali otoka Sumatra, blizu ekvatora). Ako bi Francuzi odlučili obaviti promatranja, Pondicherry na zapadnoj obali zaljeva Gange, na 12° geografske visine, bilo bi pravo mjesto za to. U slučaju Nizozemaca, to mjesto bilo bi čuvena carska rezidencija Batavia. Zapravo, rado bih imao više promatranja iste pojave obavljenih na različitim lokacijama, kako za dodatnu potvrdu događaja tako i zbog opasnosti da se zbog oblaka ne zabilježi događaj za koji ne znamo hoće li se ponoviti u naše doba ili u bliskoj budućnosti. Stoga je potrebno pronaći odgovarajuće i primjereno rješenje o kojem ovisi ovaj težak i plemenit zadatak. Tako ja opet i opet od srca preporučujem svim znatiželjnicima da se posvete promatranju ovog fenomena.

Ovakvim promatranjima, paralaksa Sunca može se odrediti do točnosti od 5 posto što će se nesumnjivo činiti iznenađujućim za neke, ali ipak ako imamo točna promatranja na oba gore spomenuta mjesta, kao što je već pokazano, trajanja pomrčina Venere će se razlikovati za 17 minuta, uz pretpostavku da je Sunčeva paralaksa $12\frac{1}{2}$ sekundi. Ako se promatranjem pronađe da je ta razlika veća ili manja, Sunčeva paralaksa će biti približno veća ili manja u istom razmjeru. Obzirom da 17 minuta vremena odgovara $12\frac{1}{2}$ sekundi Sunčeve paralakse, za svaku sekundu paralakse Sunca biti će porast razlike za 80 sekundi vremena. Ako je to točno, te ako se ta razlika može odrediti unutar 2 sekunde vremena, iznos Sunčeve paralakse će biti unutar 40-og dijela sekunde, a iznos Sunčeve udaljenosti unutar 2 promila, ukoliko moje procjene Sunčeve paralakse nisu bile točne; $40 \cdot 12\frac{1}{2}$ je 500.

Nisam obraćao pažnju na latitudu planeta, da bih izbjegao komplicirane račune koje bi učinile zaključak manje očiglednim, kao i također na gibanje Venerinih čvorova koje se može pouzdano odrediti ovakvim konjunkcijama planeta sa Suncem, kao što je ova. Na temelju pretpostavke, da ravnina Venerine orbite je nepomična u odnosu na zvijezde, te da će njezini čvorovi biti na istim mjestima kao što su bili 1639. godine, zaključeno je da će Venera proći $4'$ ispod Sunčevog centra. Ali ako bi 1761. godine prošla južnije, bilo bi jasno da je došlo do pomicanja čvorišta unazad, a ako bi prošla sjevernije, došlo bi pomicanja čvorišta unaprijed. Za svaku minutu pomaka putanje Venere od središta Sunca, od već rečenih $4'$ udaljenosti, značit će $5\frac{1}{2}'$ minuta pomaka čvorišta u 100 Julijanskih godina. Ali razlika u trajanju ovih pomrčina biti će nešto manja nego 17 minuta zbog južnih latituda Venere, a veća ako sa pomicanjem čvorišta prođe sjevernije iznad Sunčeva centra.



Slika 1

Radi onih što nisu upoznati sa detaljima paralaksi, u nastavku ću objasniti s preciznijim izrazima i računima. Stoga, pretpostavljajući da će u Londonu 25. svibnja 1761. godine u 17h55min Sunce biti na $15^{\circ}37'$ u Blizancima, te stoga da je njegovo središte sjeverno od ekliptike za kut od $6^{\circ}10'$, i da će vidljivi dio staze Venere unutar Sunčeve ploče u to vrijeme biti spušte prema jugu zatvarajući tvoreći kut od $8^{\circ}28'$ prema ekliptici; tada će putanja Venere težiti prema jugu u odnosu na ekvator sijekući deklinacijske paralele pod kutem od $2^{\circ}18'$. Pretpostavljajući iz prethodnog, Venera će biti blizu centra u rečeno vrijeme na udaljenosti prema jugu od 4 minute, opisivati će retrogradno gibanje po Sunčevoj ploči od 4 minute po satu. Polumjer Sunca

biti će blizu $15'51''$, a Venerin otprilike $37,5''$. Pretpostavljajući, zbog pokušaja, da je razlika horizontskih paralaksi Venere i Sunca $31''$, kao što je po pretpostavci i Sunčeva paralaksa $12\frac{1}{2}''$. Stoga neka mali krug $AEBD$, slika 1., pl. 5, s središtem C , čiji će polumjer biti $31''$, predstavlja Zemljinu ploču, a u njemu elipse $DabE$ i cde paralele na 22 i 56° sjevernih lat., na isti način kao što astronomi danas prikazuju pomrčinu Sunca. Te neka je BCA meridijan u kojem je Sunce, na koju je pod određenim kutem od $2^\circ 18'$ linija FHG koja predstavlja putanju Venere, čija udaljenost od središta C je 240 takvih dijelova kao što je udaljenost BC koja je 31; i neka od C je postavljena linija CH okomita na FG . Pretpostavljajući da je planet u točki H u $17h55min$, ili u $5h55min$ ujutro, i neka pravac FHG , bude podijeljen u satnu liniju s oznakama $III, IV, V, VI, VII, VIII$ i IX ; čija je udaljenost jednaka duljini linije CH tj. 4 minute. Također, neka je pravac KL jednak razlici prividnih polumjera Sunca i Venere ili $15'13\frac{1}{2}''$. Onda krug opisan s polumjerom KL , iz bilo koje točke unutar malog kruga, predstavlja Zemljinu ploču kao središte, će se sresti s linijom FG u točki koja pokazuje koliko je sati u Londonu, kada će Venera dotaći Sunčev rub pod određenim kutem unutarnjeg kontakta, u tom mjestu na površini Zemlje koje leži ispod pretpostavljene točke na ploči. I ako krug opisan iz središta C s polumjerom KL dotiče liniju FG u točkama F i G , HG će iznositi $14'41''$ koju će Venera prijeći u $3h$ i 40 minuta. Prema tome točka F će pasti u $2h5min$ u Londonu a G u $9h$ i $35min$ ujutro. Očito je da, ukoliko bi Zemljina veličina isčezavala u točku, što se zbog velike međusobne udaljenosti i događa, ili bi napuštajući svoje dnevno gibanje trebala uvijek imati Sunce okomito na istu točku C , čitava predstava pomrčine bi trajala ukupno $7\frac{3}{4}$ sati. Ali u međuvremenu će zbog suprotnog gibanja Zemlje i Venere kroz 110° lon., čitava pomrčina će biti kraća za, pretpostavimo, 12 minuta. Dakle, ukupno će trajati $7h$ $8min$, ili 107° .

Na samom meridijanu Venera će biti blizu centra Sunca na istočnim ustima Gangesa, gdje je visina pola oko 22° . Stoga će to mjesto biti jednako udaljeno od Sunca u oba slučaja, u trenucima ulaska i izlaska planeta, naime na $53\frac{1}{2}^\circ$ tj. u točkama a i b na velikoj paraleli $DabE$. Ali promjer AB će se odnositi prema duljini ab kao kvadrat polumjera pravokutnika pod sinusima od $53\frac{1}{2}^\circ$ i 68° , što odgovara $1'2''$ prema $46'13''$. Nakon odgovarajuće proračuna, našao sam da se kružnica opisana polumjerom KL od centra a spaja sa dužinom FH u točki M , u $2h20min40s$, gledamo li na to iz središta b , ona susreće HG u N , u $9h29min22s$, u Londonu. Zbog toga cijela Venera bit će vidljiva na obalama Gangesa, unutar Sunčeve ploče u trajanju od $7h8min42s$. Zato smo ispravom predvidjeli trajanje od $7h8min$, sa zadovoljavajućom točnošću.

Primjenjujući račun za područje Nelsonove luke, našao sam da će Venera proći preko Sunčeve ploče u trenutku njegova zalaska, i izaći iz njega u neposredno poslije njegova izlaza. Mjesto promatranja će se u međuvremenu pomicati polutkom suprotno od Sunca od c do d , suprotstavljajući se gibanju Venere. Zato će predstava Venere unutar Sunčeve ploče biti duža zbog paralakse, pretpostavljeno za 4 minute, i tako u potpunosti $7h24min$ ili 111°

ekvatora. A kako je širina mjesta 56° , kvadrat polumjera odnosit će se prema pravokutniku pod sinusima od $55\frac{1}{2}^\circ$ i 34° , tj. kao $AB=1'2''$ prema $cd=28'33''$. Savjesno izveden račun pokazuje da će kružnica okisana oko središta c i polumjera KL dodirnuti pravac FH u O , u $2h12min45s$, ali gledano iz središta d , dotaknut će HG u P , u $9h36min37s$. Stoga će trajanje predstave u Nelsonovoj luci biti $7h23min52s$, tj. duže nego na ustima Gangesa za $15min10s$. Prođe li Venera bez latitude, rečena razlika postat će $18min40s$, a ukoliko bi bila 4 minute sjevernije od središta Sunca, razlika bi porasla na $21min40s$ te bi i dalje rasla sa povećanjem planetne sjeverne latitude.

Iz iznesene hipoteze slijedi da će se gledano iz Londona Venera uzdizati kada uđe na Sunce, i u $9h37min$ ujutro za njena izlaska dodirivati iznutra Sunčev rub i u potpunosti napustiti Sunčevu ploču ne prije $9h56min$.

Iz iste hipoteze je očito da bi Venera svojim središtem trebala dodirnuti krajnji sjeverni rub Sunca 23. svibnja 1769. godine u $11h$, pa će zbog paralakse, cijelo njezino tijelo biti vidljivo u sjevernim predjelima Norveške, unutar Sunčeve ploče, dok će se na obalama Perua i Čilea činiti da sjedi svojim manjim dijelom na Sunčevoj ploči za zalaza Sunca. Slično će se vidjeti na Molucca otocima i okolici za izlaza Sunca. Ali ukoliko čvorovi Venere budu odstupali, na što upućuju posljednja opažanja, tada će cijelo njezino tijelo biti vrlo dobro viđeno na Sunčevoj ploči. Najveće će razlike pomrčina dati još jasniji dokaz Sunčeve paralakse.

Tranzit Venere 1761. godine pokazao se mnogo manje plodnim za svrhu koju je Dr. Halley previdio. Gibanja Venerinih čvorova nisu bila dovoljno dobro poznata u to vrijeme, tako da je Venera prošla mnogo bliže Sunčevom središtu nego što je bilo pretpostavljeno. Time su se predviđena opažачka mjesta pokazala nedovoljno dobrima za promatranje ukupnog trajanja tranzita. Ulazak Venere u Sunčevu ploču nije bio vidljiv iz Hudsnowog zaljeva. Također je pogriješio u svojim računima uzimajući zbroj umjesto razlike kuteva ekliptike prema paraleli ekvatora i kuta Venerine putanje.