

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

ЗБИРКА АСТРОНОМСКО-НУМЕРИЧКИХ РАДОВА

Књига XIII

ГОДИШЊАК НАШЕГ НЕБА

ЗА

1962

XXVI

УРЕДНИК

академик В. В. МИШКОВИЋ

Примљено на VI скуп, од 9 јуна 1961,
Одељења природно-математичких наука

Научно дело

ИЗДАВАЧКА УСТАНОВА
СРПСКЕ АКАДЕМИЈЕ НАУКА И УМЕТНОСТИ

Слог: Штампарија „Научно дело“, улица Вука Караџића бр. 5
Штампа и повез: Графичко предузеће „Академија“, Космајска улица бр. 28
БЕОГРАД 1961

БЕОГРАД
1961

Тако је, пре више од сто година, у ствари отворено ново поглавље науке о Вавиону: Астрономије невидљивих тела. Што, нарочито, при томе не треба заборавити то је да су и Bessel-ови први успеси, а и ови што их данас постижемо, као и они што ће тек будућност у овој области остварити, успеси — Положајне астрономије!

*

На крају желим да изразим захвалност професору В. В. Мишковићу, који ме је упозорио на ову стогодишњицу и помогао ми да овај чланак буде публикован.

Ј. Л. СИМОВЉЕВИЋ

ИСТОРИЈА ОДРЕЂИВАЊА СУНЧЕВЕ ДАЉИНЕ ОД ЗЕМЉЕ

Даљина Земље од Сунца је основна мера за даљине у Астрономији. То је *астрономска јединица** (скраћено *a. j.*), са којом се често среће и читалац *Годишњака нашег неба*.

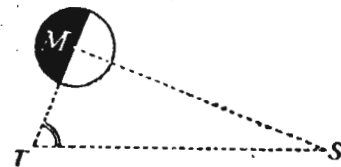
Одређивање ове даљине има за собом дугу историју. Вековима су се астрономи трудили да је што тачније измере. Напредак и теорије и посматрачке технике — у вези са изградњом све савршенијих инструмената — огледао се и у све тачнијим одређивањима ове основне даљине. У овом чланку ћемо приказати укратко историјат одређивања Сунчеве даљине од Земље.

*

Први податак о одређивању Сунчеве даљине потиче од *Аристарха* са Самоса, славног грчког астронома Александриске школе (друга половина III века пре н. е.). Кажемо славног, јер је Аристарх давно пре Коперника и тврдио и доказивао да се Земља креће око Сунца; њега с правом смемо сматрати оснивачем хелиоцентричког система света.

Поменути податак о даљини налазимо у његову сачуваном спису „*О величинама и даљинама Сунца и Месеца*“. Идеја на којој је заснована Аристархова метода за одређивање Сунчеве даљине од Земље сасвим је једноставна. Ево у чему се састоји.

Ако се са Земље (*T* на сл. 16) измери угловно растојање између Сунца (*S*) и Месеца (*M*) — дакле угао *MTS* — у тренутку *дихономије*, кад је осветљена тачно половина Месечева котура (дакле у време прве или последње четврти), биће познати сви углови у троуглу који чине ова три небеска тела. Наиме, кад се Месец у тим положајима нађе, угао *TMS* постаје прав, једнак



Сл. 16. — Шематски приказ принципа Аристархове методе за одређивање Сунчеве даљине

* Строго узев, астрономска јединица је изведена из средње вредности даљине од Сунчева средишта до тежишта система Земља-Месец.

90°. Са слике видимо да је тада $\cos MTS = TM : TS$, што ће рећи да Сунчеву даљину добивамо ако Месечеву даљину поделимо косинусом измереног угла MTS . У ствари добивамо само колико је пута Сунце од Земље даље но Месец.

Аристарх је одредио угао MTS и нашао да износи 87°. Са том вредношћу нашао је да је Сунце 19 пута од Земље даље него Месец. У ствари је — 400 пута даље!

Аристарх је, како и сам наслов поменутог списа каже, измерио и даљину Месеца од Земље, користећи се тада познатим чињеницама о помрачењима Сунца и Месеца. Резултат његових мерења и рачуна је био да Месечева даљина од Земље одговара 81 полупречнику Земље. Према томе, изражена у истим јединицама, Сунчева даљина би износила 1539 Земљиних полупречника. Дакле, 9.8 милиона километара!

Није тешко видети да је Аристархов резултат грубо погрешан: он је добио једва шеснаестину стварне Сунчеве даљине. Објашњење овоме треба тражити у два чињеницама.

Прво, није лако одредити угао MTS , а ни кад је тачно осветљена Месечева половина. Осим тога, Аристарх није располагао инструментом који би тај угао могао одредити довољно тачно. А овде би угао, који је близак 90° и чији косинус улази у образац, морао бити познат до извесног степена тачности. Већ и мала грешка у овом углу повлачи за собом велику грешку у даљини. Ово лепо илуструје таблица:

Угао MTS	$\cos MTS$	Сунчева даљина	
		у јединицама Месечеве даљине	у ми ионима километара
87°	0.05 234	19.1	7.3
88	0.03 490	28.7	11.0
89	0.01 745	57.3	22.0
89°10'	0.01 454	68.8	26.4
89 20	0.01 164	85.9	33.0
89 30	0.00 873	114.6	44.0
89 40	0.00 582	171.9	66.0
89 50	0.00 291	343.8	132.0
89 51	0.00 262	382.0	146.7
89 52	0.00 233	429.7	165.0

Друго: Аристарх је из посматрања потпуних помрачења Сунце својих претходника правилно закључио да су привидни полупречници Сунца и Месеца врло приближно једнаки. Али је, мерењем, добио за ове пречнике четири пута већу вредност но што им је стварна. Због тога је и испала погрешна Ме-

ΑΡΙΣΤΑΡΧΟΥ ΣΑΜΙΟΥ

Περὶ μεγέθων ἔξ ἀποστημάτων Ἡλίου ἔξ Σελήνης,

ΒΙΒΛΙΟΝ.

ΠΑΠΠΟΥ ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΩΣ

Τῆς ἱ Συναγωγῆς ΒΙΒΛΙΟΥ Β'

Ἀπόσπασμα.

ARISTARCHI SAMII

De Magnitudinibus & Distantiis Solis & Lunae,

LIBER.

Nunc primum Graece editus cum Federici Com-
mandini versione Latina, notisque illius & Editoris.

PAPPI ALEXANDRINI

SECUNDI LIBRI

MATHEMATICAE COLLECTIONIS,

Fragmentum,

Hactenus Desideratum.

E Codice MS. edidit, Latinum fecit,
Notisque illustravit

JOHANNES WALLIS, S. T. D. Geometrix
Profector Savilianus; & Regalis Societatis
Londini, Sodalis.

OXONIÆ,

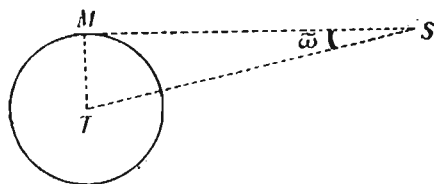
E THEATRO SHELDONIANO,

1688.

сечева даљина (81 уместо 60 Земљиних полупречника). Касније је поправио вредност привидних полупречника Сунца и Месеца на 1/720-ти део пуног угла, дакле на пола степена, што се добро слаже са стварном вредношћу.

Свакако је значајно да је онај главни део нетачности овог резултата потицао не од Аристархове методе већ од „недораслости“ средстава за примену методе. А то стање ствари није се мењало у Астрономији читав низ векова и после Аристраха.

Око 150 година после Аристарха знамо да је *Хипарх*, највећи јелински астроном, написао два дела о одређивању паралакса, дакле даљина Сунца и Месеца. Од Хипарха потиче и сам назив „*паралакса*“, за угао под којим би се, са дотичног небеског тела, видео Земљин полупречник. Паралакса Сунца (ω на сл. 18) била би, дакле, угао MST . Означимо ли Земљин полупречник



Сл. 18. — Паралакса и даљина Сунца

(MT) са R , а Сунчеву даљину (TS) са D , биће $\sin \omega = R : D$. Према томе, познавање паралаксе Сунца непосредно нам омогућује да израчунамо и његову даљину; наравно, опет у јединицама Земљина полупречника $D = R : \sin \omega$.

У Хипархову поступку за одређивање Сунчеве даљине нема, колико видимо, ничег битно

новог, различитог од Аристархова. Он је, сем тога, потврдио поправљену Аристархову вредност привидних полупречника Сунца и Месеца и одредио, врло тачно, Месечеву даљину: 59 Земљиних полупречника. Са овом вредношћу је добио за даљину Сунца од Земље, у округлом броју, 1200 Земљиних полупречника (дакле 7.6 милиона km). Изгледа да је користио, без поправке, Аристархов износ сферне даљине Сунца и Месеца у време дихотомије.

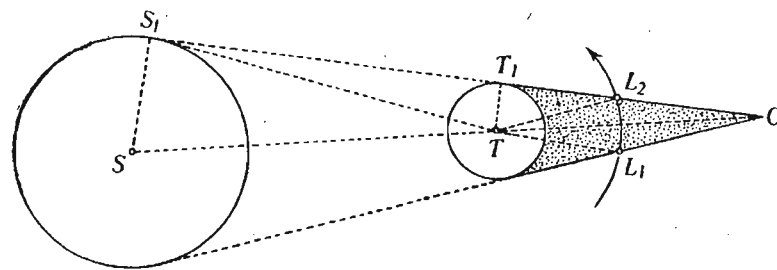
У петој књизи „Великог зборника“ („*Алмагест*“) *Клаудија Птолемеја* (средина II века н. е.), можда најзаслужнијег јелинског астронома, говори се и о даљинама Сунца и Месеца. Пошто је приказао нову методу за одређивање Месечеве паралаксе, Птолемеј израчунава њоме и налази, врло приближно, Хипархову вредност за ту даљину. А поступак за израчунавање Сунчеве паралаксе био би онда у овом.

Нека на сл. 19 S представља средиште Сунца, T Земље, а C врх конуса Земљине сенке. L_1L_2 нека је део Месечеве путање око Земље који, при Месечевим помрачењима, пролази кроз Земљину сенку.

Ако се сад зна Месечева даљина ($TL_1 = TL_2$) и усвоји Земљин полупречник (TT_1) за јединицу дужине, могу се одредити сви елементи правоуглог троугла TT_1L_2 (са правим углом код T_1); дакле, може се одредити и његов угао T_1TL_2 . С друге стране, ако се — поред Месечеве даљине — зна и трајање његова обиласка око Земље, а, сем тога, измери трајање Месечеве помрачења, долази се и до вредности угла L_1TL_2 , или његове половине — угла L_2TC .

А онда је познат и угао T_1TC , у правоуглом троуглу T_1TC . Но овај угао је, уједно, и елемент троугла CS_1T , чији је један спољашњи угао познат: S_1TS , привидни Сунчев полупречник. Дакле, може се одредити и други унутрашњи угао тог троугла, тј. угао CS_1T . А то је — тражена паралакса Сунца.

Ово је, наравно, само принцип методе. Да би се она могла и искористити, потребан је низ услова: прво, да је позната Месечева даљина (паралакса) у часу помрачења, а не нека средња; друго, да буду прецизно одређени тренуци почетка и свршетка помрачења, како би његово трајање било тачно одређено; треће, да је позната тачна вредност Сунчева привидног полупречника, пошто грешка ове величине улази са пуним износом у добивену паралаксу; итд. Сви ти услови, из разумљивих разлога, у оно време нису могли бити испуњени.



Сл. 19. — Шематски приказ принципа методе за одређивање Сунчеве паралаксе

То се, уосталом, и на резултату показало. И морало показати, јер се радило о одређивању врло малог угла.

Описаним поступком Птолемеј је за Сунчеву паралаксу добио $2'50''$, значи за даљину TS нашао је 1210 полупречника Земље (7.7 милиона km). Ова вредност, коју налазимо у *Алмагесту*, служила је пуних 1500 година, ма да је, у ствари, била — свега двадесети део стварне даљине Сунца од Земље!

*

Напредак у овом погледу и правцу није се могао остварити без знатно прецизнијих инструмената од дотле расположивих. *Tycho Brahe* (друга половина XVI-ог века) је у конструисању астрономских инструмената остварио напредак. Но он нити је посумњао у тачност Птолемејева податка, нити покушавао да га провери, нити предузимао да тачнији одреди.

Његов ученик, славни *Кеплер*, међутим, који се — као што знамо — дуго година бавио проучавањем кретања планете Марса, дошао је до закључка да Птолемејева вредност паралаксе Сунца не може бити тачна. Кеплер је знао да је Марс, у доба опозиција са Сунцем, око 2,5 пута ближи Земљи но што је Сунце. Значи, тада му паралакса мора бити, приближно, толико пута већа. Ако је Птолемејева вредност, од $3'$, тачна, Марсова паралакса би у време његове опозиције са Сунцем достигала $8'$. А то је, у то време,

могло мерењима бити установљено. Но Кеплер у Марсовим положајима није могао открити никакво паралактичко померање (које би било последица посматрања овог тела са разних места на Земљи). И тако је извео, сасвим тачан, закључак — да вредност Сунчеве паралаксе мора бити мања од Птолемејева. Другим речима, Сунчева даљина мора бити знатно већа од 1200 Земљиних полупречника. У свом делу „*Eritome Astronomiae Copernicanae*“ (1618—1621) Кеплер долази до закључка, на основи својих расуђивања о хармонији свемира, да Сунчева паралакса мора износити око $1'$ (што би за даљину дало 21.9 милиона km ; још увек једва седмину стварне вредности!). Ово би се прилично слагало и са чињеницом што Марсово паралактичко померање није примећено чак ни у положајима које је одредио Тихо Брахе, у чије је посматрачке способности Кеплер имао неограничено поверење.

Двадесет година после Кеплерове смрти, дакле 1650, поновљено је Аристархово посматрање са циљем да се одреди Сунчева даљина од Земље. Извео га је *Wendelin*, употребивши притом астрономски дурбин на свом угломерном инструменту. За сферну даљину Сунца и Месеца у тренутку дихотомије добио је $89^{\circ}45'$ — што је за паралаксу Сунца дало $14''$ (за даљину, дакле, 93.8 милиона km — приближно $2/3$ стварне вредности). Додајмо да је, у то време, и Месечева даљина била већ доста тачно позната. Ово *Wendelin*-ово одређивање Сунчеве паралаксе, и поред своје ниске прецизности, може се сматрати као прекретница у историји одређивања астрономске јединице.

*

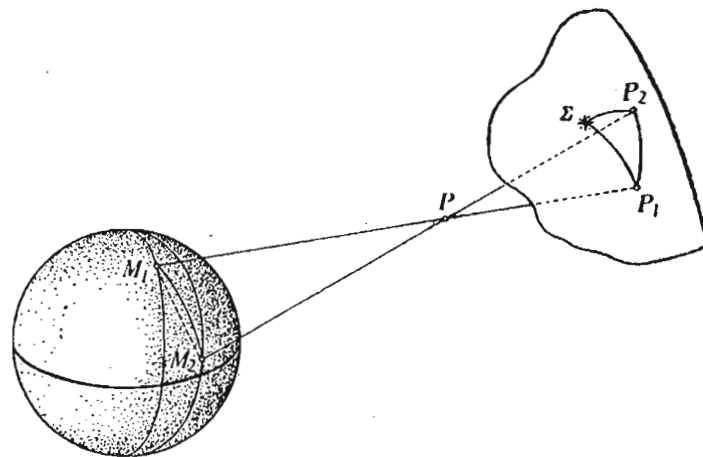
Пред тим резултатом нису научни кругови могли остати равнодушни, јер Сунчева даљина, *Wendelin*-овим мерењем, није била поправљена за неку занемарљиву величину: њена вредност се одједном, као што видимо, показала преко дванаест пута већа, него што се дотада сматрало. Зато је париска Академија наука, убрзо затим, предузела да се ова даљина поново одреди, користећи у ту сврху и боље инструменте и тачније методе.

Принцип методе за извођење Сунчеве паралаксе из посматрања паралактичких померања положаја „блиског“ небеског тела, посматраног једновремено са два разна места на Земљи, састоји се у овом.

Посматрано са места M_1 на Земљи (сл. 20), небеско тело P се види у правцу M_1P , што ће рећи да му је привидни положај, на небеској сфери, тачка P_1 . Посматрано из места M_2 , исто небеско тело види се у правцу M_2P , тј. на небеској сфери — у тачки P_2 . Разлика у овим правцима, дакле угао $M_1PM_2 = P_1PP_2$, назива се *паралактичко померање* тела P . Оно је резултат промене места посматрања на Земљи. Зато се и лук P_1P_2 на небеској сфери зове — паралактичко померање привидних положаја тела P . Оно је тим веће што је небеско тело ближе Земљи.

Ако су у питању некретнице, онда се — због њихових огромних даљина од Земље — њихово паралактичко померање практично не може ни приметити. Другим речима, њихови привидни положаји на небеској сфери не мењају се са променом места посматрача на Земљи.

То значи да ће посматрач из M_1 видети небеско тело P на сферној даљини ΣP_1 од некретнице Σ , а посматрач из M_2 — на сферној даљини ΣP_2 . Мерећи, дакле, координате тачака P_1 и P_2 (у пракси — у односу на блиску, тзв. „упоришну“, некретницу Σ), може се одредити њихова сферна даљина, то јест лук P_1P_2 . Овај одговара углу под којим би се, са небеског тела P , видела тетива M_1M_2 . Знајући географске координате њених крајева, посматрача, може се израчунати и угао под којим би се, са тела P , видео Земљин полупречник. Тај угао је — паралакса тела P . А из ове, применом Трећег Кеплерова закона, добива се и паралакса Сунца.



Сл. 20. — Шематски приказ промена у правцима небеског тела посматраног са две разне тачке на Земљиној површини (паралактичко померање)

Додајмо, узгред, да се, у случају ако се оба посматрача налазе на истом меридијану, одређивање паралактичког померања посматраног тела своди на мерење разлике његових меридијанских висина.

Организатор тог потхвата био је тадањи и први управник париске астрономске опсерваторије *J. D. Cassini*. А искоришћена је у ту сврху — велика Марсова опозиција од 1672. Објаснићемо зашто се зове „велика“.

Због прилично ексцентричне хелиоцентричне своје путање Марс се при пролазу кроз перихел налази приметно ближе Сунцу но иначе. Догоди ли се да се тада нађе и у опозицији са Сунцем, за посматраче са Земље ће се тада наћи на најмањој могућој даљини од Земље: око 55 милиона km . Ове, назване *велике* или *перихелске*, опозиције понављају се у размацама од око 15

година. Тада се Марс налази у најповољнијем положају за посматрање са Земље.*

Поменута таква Марсова опозиција искоришћена је за одређивање прво, његове, а, помоћу ове — Сунчеве паралаксе, о којој је и реч. У ту сврху, Cassini и Picard из Париза, а Richer и Meurisse са острва Cayenne, посматрају једновремено разлике у меридијанским висинама Марса и исте блиске некретнице. За разлику у посматраним висинама, или, како се стручно то каже, за паралактичко померање, нађено је $15''$. То значи да би се са планете Марса даљина (тетива) Париз—Cayenne видела под углом од $15''$. Према томе, Земљин полупречник са планете Марса, у истом тренутку, видео би се (што није тешко израчунати) под углом од $25''$.³

С друге стране, на основи теорије планетских кретања није тешко било наћи да је, у то време, однос Марсове даљине (d) од Земље према средњој даљини (D) Сунца од Земље износио

$$d : D = 3 : 8.$$

А како су паралаксе (због своје незнатности) обрнуто сразмерне даљинама, дакле

$$\bar{\omega}_d : \bar{\omega}_D = D : d,$$

то јест

$$25'' \cdot 3 : \bar{\omega}_D = D : d,$$

налазимо одавде за Сунчеву паралаксу

$$\bar{\omega}_D = \frac{3 \times 25'' \cdot 3}{8} \approx 9'' \cdot 5,$$

што одговара даљини од 159.9 милиона *km*. Тако је, видимо, разлика између стварне и мерене Сунчеве даљине од Земље сведена на „свега“ десет милиона километара, или на петнаестину њене вредности.

*

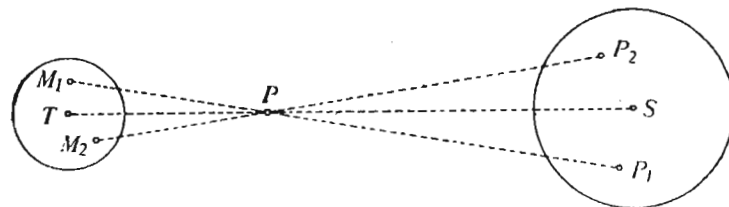
У то време, некако, предложена је и нова метода за одређивање и проверавање већ одређене Сунчеве паралаксе, метода заснована на посматрањима пролаза унутрашњих планета, дакле Меркура и Венере, испред Сунца. Да се могу поменуте појаве у ову сврху користити знао је и писао о томе и Кеплер, а потпуније и J. Gregory (1663). На идеју о истој методи дошао је, касније, и E. Halley, приликом посматрања Меркурова пролаза испред Сунца 1677.

Принцип методе, у најкраћим цртама, састајао би се у овом. Због релативне близине Земљи, унутрашња планета (P на сл. 21), за време њена пролаза испред Сунца, пројектоваће се — за два довољно удаљена посматрача (M_1 и M_2) — на различитим местима Сунчева привидног контура (P_1 и P_2). Угао

*) J. Л. Симовљевић — Марсова улога у развоју Астрономије, Г. н. и. књ. XXII, за 1958, стр. 148—149.

**) J. Дазовић — Стогодишњица једног неоствареног проналаска, Г. н. и. књ. XXV, за 1961, стр. 124—126.

P_2PP_1 , који зависи како од даљине TP , тако и од даљине PS , може бити одређен из посматрања. Како је, опет, збир тих даљина једнак даљини Сунца од Земље, то се стварно има посла само са овом једном даљином; даљина унутрашње планете (PS) може се, применом Трећег Кеплерова закона, једноставно елиминисати из рачуна. Принцип методе је, дакле, истоветан са оним раније методе, која Сунчеву даљину изводи из мерења Марсових паралактичких



Сл. 21. — Шематски приказ принципа методе за одређивање Сунчеве паралаксе из посматрања пролаза унутрашњих планета испред Сунца

померања. Само што је овде Сунце позадина на коју се пројектује планета. — Међутим, ова метода се може прерадити (стварно је у таквом облику и била коришћена) тако да се Сунчева даљина изведе из два посматрања планете са истог места на Земљи. Но за њену примену је било потребно познавање приближне вредности Сунчеве паралаксе.

За примену методе помоћу пролаза погоднија је Венера од Меркура; и због свог већег привидног пречника, а и због веће близине Земљи (дакле, већег угла P_2PP_1). Но Венерини пролази испред Сунца су ређи од Меркурових; у овом столећу их, например, уопште неће бити.

Халеј је, 1691, своју методу детаљно приказао у уверењу и тврдећи да се њоме може одредити Сунчева даљина тачно до на 500-ти део њена износа. Подаци на којима се заснивала метода и које је требало из посматрања добити, били су трајања (за сваког од посматрача) прелаза Венере преко Сунчева привидног диска. А иста се одређују разликама тренутака додира планетиних и Сунчевих рубова, то јест свршетка и почетка пролаза.

За примену ове Халејеве методе, то јест до првог Венерина пролаза, требало је причекати скоро читаво столеће: а наилазила су два пролаза, у размаку од осам година — 1761 и 1769. Додајмо да је, у том ишчекивању, неколико астронома изразило сумњу у онако високу тачност методе, како је Халеј тврдио. И били су у праву — како ћемо видети.

За први Венерин пролаз испред Сунца, од 6 јуна 1761, извршене су велике припреме. Организоване су биле четири експедиције и отпремљене у врло удаљене крајеве, што је, за ондашње саобраћајне прилике, било повезано са огромним тешкоћама. Довољно ће бити да напоменемо да је један француски астроном, који је разним непредвиђеним околностима био спречен

да посматра први Венерин пролаз из Индије, како је намеравао, одлучио да се не враћа, већ онде остане и причека онај други пролаз, осам година касније!

Користећи се искуствима стеченим у току посматрања овог првог пролаза, за посматрање оног другог, од 3 јуна 1769, извршене су још обимније припреме и број посматрачких експедиција је још знатно повећан. Први пут су, том приликом, европски астрономи вршили прецизна посматрања и са западне хемисфере.

Но када се приступило обради и анализи посматрачког материјала, показало се да су били у праву они који нису делили Халејево мишљење о нарочитој предности и високом степену тачности његове методе. За Сунчеву паралаксу изведене су из ових посматрања вредности:

$$\text{из пролаза } \begin{cases} 1761: 8'' - 10'', \\ 1769: 8'' - 9''. \end{cases}$$

Средња вредност Сунчеве даљине, изведена из ових посматрања, разликовала се од стварне за око 1/10 свога износа. Тачност је, дакле, била округло педесет пута мања од оне коју је Халеј предвиђао и очекивао.

Разлога је за ово било више. Пре свега, тренуци додира дискова Венере и Сунца, како спољашњих, тако и унутрашњих, рђаво су дефинисани, дакле само приближно уочљиви и, због тога, оцењивани знатно грубље (непрецизније) него што се предвиђало. Скоро ће невероватно изгледати да су посматрачи, са скоро истог места, сличним инструментима, тренутке додира дискова оцењивали са разликама од преко 20 секунда. Но, ипак, ово не треба да нас много изненади, ако се узме у обзир да се при овим појавама посматра додир рубава малог црног Венерина диска и сјајног Сунчевог диска, чији је руб у непрекидном треперењу.

А примећено је том приликом нешто што нико није очекивао. У тренуцима унутрашњих додира, кад се Венерин диск већ скоро сав пројцирао на сјајну Сунчеву површину, место тренутног одвајања, односно додира, између Венерина и Сунчевог руба образовала се, неочекивано, тако звана „црна каи“ (сл. 22)! Та појава је потпуно онемогућавала тачно оцењивање трелука унутрашњих додира.

Неколико деценија касније је *J. F. Encke*, директор берлинске опсерваторије, познат у ширим круговима по краткoпериодичној комети која носи његово име, сав овај посматрачки материјал подвргао свестраној анализи (1824 и 1835). И нашао је за средњу Сунчеву паралаксу 8.''571, што за велику полуосу Земљине хелиоцентричне путање даје 153.2 милиона *km*. Други астрономи су, међутим, из истих посматрања — обрађујући их само на други начин — добивали за Сунчеву средњу паралаксу вредности које су се кретале између 8.''8 и 8.''9. Дакле, још и средином прошлог века питање одређивања тачне вредности Сунчеве паралаксе није било, ни могло бити, сматрано решеним.

Захваљујући напретку оствареном током XIX-ог века, како у теорији тако и посматрачкој техници, дошло се и до потпуно нових и принципа и метода за одређивање Сунчеве даљине. Једна од тих је произилазила из компликоване анализе још компликованија Месечевог кретања, која је, од средине XVIII-ог века, била у средишту пажње астронома-теоретичара. Једна врста поремећаја у кретању Месеца, звана „*паралакитичка неједнакост*“, могла је бити одређена из посматрања, а зависила је — поред других величина — и од односа даљина Сунца и Месеца од Земље. Како је, међутим, Месечева



Сл. 22. — Шематски приказ изгледа Венере на Сунчеву диску у тренутку унутрашњих додира: а) очекивани, б) посматрани („црна каи“)

даљина већ била довољно тачно позната, из поменутог односа могла је бити изведена Сунчева даљина.

Ако, наиме, са P означимо паралакитичку неједнакост, са μ однос Земљине масе према Месечевој, а са ω паралаксу Сунца, између ових величина постоји однос

$$\mu P = k \omega$$

где је k позната константа. Ова једначина омогућује да се, ако су познате Месечева маса и паралакитичка неједнакост, дође до Сунчеве паралаксе.

Сличне „неједнакости“, чије познавање омогућује да се дође до Сунчеве паралаксе, нађене су и у кретањима Земље, Венере и Марса. Ту је, међутим, ствар била компликована, нарочито код последње две платене, утолико што је требало познавати тачне вредности њихових маса. Па ипак је више познатих астронома покушало и тим — дужим и заобилазним — путем да одреди Сунчеву паралаксу. Поменућемо само најпознатије од њих: *P. S. Laplace* (крајем XVIII-ог и почетком XIX-ог века), *P. A. Hansen* (1854), *U. J. J. Leverrier* (1858, 1861, 1872). Но иако су се њихови резултати међу собом разликовали, сви су се они слагали у томе да Енкеову вредност Сунчеве паралаксе треба променити, заменити тачнијом.

Приметимо да, од средине прошлог века, велика полуоса Земљине путање око Сунца (дакле средња даљина Земља—Сунце), строго узев, није једнака астрономској јединици.

Да би одредио вредност константе гравитације, k , славни немачки математичар и астроном *C. F. Gauss* је израчунао њену вредност из Трећег Кеплерова закона

$$4 \pi^2 a^3 = k^2 T^2 (M + m + m_{\zeta}),$$

то јест из

$$[k = 2 \pi a^{3/2} T^{-1} (M + m + m_{\zeta})^{-1/2}]$$

где је a велика полуоса Земљине путањске елипсе, T трајање њена (сидеричког) обиласка око Сунца, M маса Сунца, m маса Земље, m_{ζ} маса Месеца. Стављајући овамо $T = 365.256 3835$ средњих дана, $m + m_{\zeta} = 1/354 710$ масе Сунца (како су у то време ове вредности биле познате), $a = 1$ а.ј., $M = 1$, Гаус је за вредност константе k добио

$$k = 0.017 202 098 95.$$

Касније су добивене тачније вредности за масу система Земља—Месец и Земљину сидеричку револуцију. Њихове промене су, наравно, за собом повлачиле и промену фундаменталне астрономске константе k , назване *Гаусовом константом*.

У међувремену су, са првобитном вредношћу Гаусове константе, обрађена многа питања из теорије планетских кретања и извршене многе примене истих. Добивени резултати не би више вредели, или би их све требало мењати ако би се вредност Гаусове константе променила. Да би се избегла ова замашна прерачунавања и исправке, одлучено је да се вредност Гаусове константе задржи како је Гаус израчунао, а да се промени вредност велике полуосе Земљине путање, за одговарајући — у осталом, врло мали — износ. Тим пре што је ова и онако произвољно усвојена за јединицу даљина. Таквим поступком је добивено да је

$$a = 1.0000 0023 \text{ а. ј.}$$

Разлика између астрономске јединице и средње даљине Сунца од Земље је, дакле, 34 километра, што се — за небеска растојања — скоро увек може сматрати занемарљивом величином!

*

Још једна метода, различита од поменутих, заслужује да на овом месту буде поменута. Познато је да посматрач са Земље небеско тело не види у правцу у којем се оно стварно налази, већ у правцу одређеном резултатом његова кретања (дакле кретања Земље око Сунца и око њене осе) и кретања зрака светлости са тог небеског тела. То је тзв. појава *аберације светлости* (годишње и дневне). „Годишња аберација“, тј. привидно одступање положаја небеског тела од свог правог, услед годишњег кретања посматрача (тј. Земље) око Сунца, изражава се помоћу тзв. *константе годишње аберације*. Ова величина се може одредити из посматрања, а зависи од брзина кретања светлости и посматрача. Дакле, посредно, и од даљине Земље од Сунца.

Ако са R означимо Земљин полупречник, са c брзину светлости, са n средње (сидеричко) дневно кретање Земље око Сунца — које се изводи из трајања Земљине револуције, тј. дужине сидеричне године — константа годишње аберације, A , биће

$$A = \frac{206 265 n R}{86 400 c \bar{\omega} \sin \varphi};$$

φ је позната величина, тзв. угао ексцентричности Земљине путање. Уносећи на десној страни за поједине величине њихове познате вредности добијамо између константе аберације и Сунчеве паралаксе везу

$$\bar{\omega} A = 180.245.$$

Видимо, дакле, да се Сунчева паралакса може једноставно одредити, ако се из посматрања изведе вредност константе годишње аберације.

Овде треба да напоменемо да је брзина светлости, први пут, одређена из астрономских посматрања (*Roemer*, 1675), која су захтевала познавање Земљине даљине од Сунца. Међутим, 1849 је *H. L. Fizeau* измерио ову брзину у лабораторији, независно од посматрања небеских тела, у чију би обраду улазила и Земљина даљина од Сунца. Касније је брзина светлости све тачније одређивана лабораториским поступцима што је, најзад, дозволило да се за одређивање Сунчеве паралаксе искористи поменута једначина.

Но ни класичне астрономске методе, за одређивање Сунчеве паралаксе, нису ипак напуштане. У ту сврху су искоришћаване Марсове „велике“ опозиције од 1849, 1862, 1877, 1892 и 1924. Исто тако и Венериним пролазима испред Сунца — 9 децембра 1874 и 6 децембра 1882, последњим у овом миленијуму — била је посвећена велика пажња, међународних размера, и поред тога што нико више није од њих очекивао неке интересантније резултате — и поред напретка посматрачког прибора и технике.

1877, *Gill* је у исту сврху применно нову методу при посматрањима Марса. Раније методе су, како рекосмо, биле истоветне геодетском начину за одређивање даљине неког неприступачног предмета, из посматрања са две тачке, довољно удаљене и познате даљине. По новој методи (коју су уосталом, предлагали већ *Flamsteed*, у XVIII-ом, и *Airy*, у XIX-ом веку, нису неопходна посматрања са два разна места, са две удаљене опсерваторије. Довољно је да један посматрач изврши два посматрања у размаку од неколико часова: Земљина ротација ће га, за то време, „однети“ довољно далеко у простору од првог места посматрања. Наравно, ова метода долази у обзир само ако се посматрају „блиска“ тела, као што је Марс у време своје велике опозиције. Тада је ова база, са чијих се крајева посматра, довољно дуга. — Сва каснија посматрања за одређивање Сунчеве паралаксе, и Марса и других небеских тела, обављана су овом методом.

У предност ове над ранијим методама свакако треба убројати и чињеницу што се посматрања врше истим инструментом — и врши их исти посматрач. Али су потребна два посматрања, у размаку од неколико часова. Стг

су она најчешће груписана у две серије: вечерњу и јутарњу. Ту су се, опет, јављале нове тешкоће. Атмосферски и други услови посматрања могли су да буду, у ове две серије, врло различити, што је могло условити нове и случајне и систематске грешке. А могло је да се и то догоди, током ноћи, и догађало се, да се небо наоблачи и онемогући јутарња посматрања. Тада су и успешно извршена вечерња посматрања изгубљена!

*

У другој половини прошлог века искоришћавана су, за одређивање Сунчеве даљине од Земље, по први пут и „нова“ небеска тела — Земљи блиске мале планете. Иако их је велика већина, и у свом најповољнијем положају за посматрање, даље од Земље но Марс, ипак оне представљају погодније објекте од Марса за одређивање Сунчеве паралаксе. Због своје сићушности, оне — и у дурбину, и на фотографској плочи — представљају само светле тачке, чији се положај далеко прецизније одређује, него ли положај Марсова, релативно великог, котура.

Тако је, на *Hill*-ову иницијативу, 25 опсерваторија узело учешћа у систематском посматрању (меридијанским кругом или хелиометром — специјалним инструментом за прецизно мерење малих сферних даљина), 1888 и 1889, трију малих планета: 7 *Iris*, 12 *Victoria* и 80 *Sappho*. А пред крај прошлог века откривена је (*Witt*, 1898) мала планета 433 *Eros*, која се убрзо показала као идеалан објект баш за одређивање Сунчеве паралаксе. Она, у време перихелске опозиције, прилази Земљи ближе но Марс (сл. 23).

Да се не бисмо задржавали на сваком поједином од ових одређивања, поменућемо да је, 1895, амерички астроном *S. Newcomb* објавио свој, и данас још класични, рад* посвећен основним астрономским константама. Поред осталог, он је веома детаљно и савесно обрадио и сва важнија одређивања Сунчеве паралаксе — даљине од Земље. Главне његове резултате даћемо у следећем приказу. Он обухвата цео XIX век, а одређивања — са назнаком методе, односно поступка, којима је одређивање извршено — сложена су по све већим паралаксама (тј. све мањим даљинама).

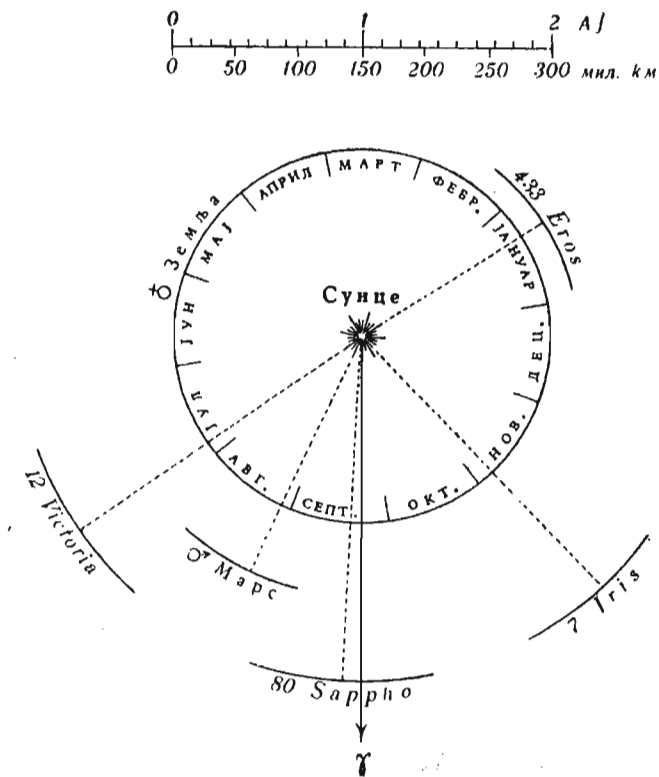
1 — Секуларне промене путања Меркура, Венере, Земље и Марса (<i>Newcomb</i>)	8".759
2 — Посматрања Марса (<i>Gill</i> , 1877)	8.780
3 — Константа аберације и брзина светлости (<i>Џуковски астрономи</i>)	8.793
4 — Венерини пролази испред Сунца (1761, 1769, 1874 и 1882; <i>разни аутори</i>)	8.794
5 — Паралактичка неједнакост у Месечеву кретању (<i>разна Месечева посматрања у Гриничу, Вашингтону и Берлину</i>)	8.794
6 — Константа аберације и брзина светлости (<i>разна одређивања током XIX-ог века</i>)	8.806
7 — Посматрања малих планета 7 <i>Iris</i> , 12 <i>Victoria</i> и 80 <i>Sappho</i> (<i>разна посматрања и аутори</i>)	8.807

* *S. Newcomb* — *Fundamental Constants of Astronomy*, Washington, 1895.

8 — Посматрања мале планете 3 <i>Juno</i> (<i>Gill</i> , 1874)	8.815
9 — Поремећаји у Земљину кретању (<i>Newcomb</i>)	8.825
10 — Венерини пролази испред Сунца (1874 и 1882; <i>Todd, Harkness, Auwers</i>)	8.857
11 — Посматрање мале планете 8 <i>Floa</i> (<i>Galle</i> , 1875)	8.873

Графички приказ ових паралакса и даљина које им одговарају дат је на сл. 24.

Из дискусије ових података *Newcomb* је извео за највероватнију вредност Сунчеве паралаксе $8''.797$. Зато је на међународној конференцији, 1896



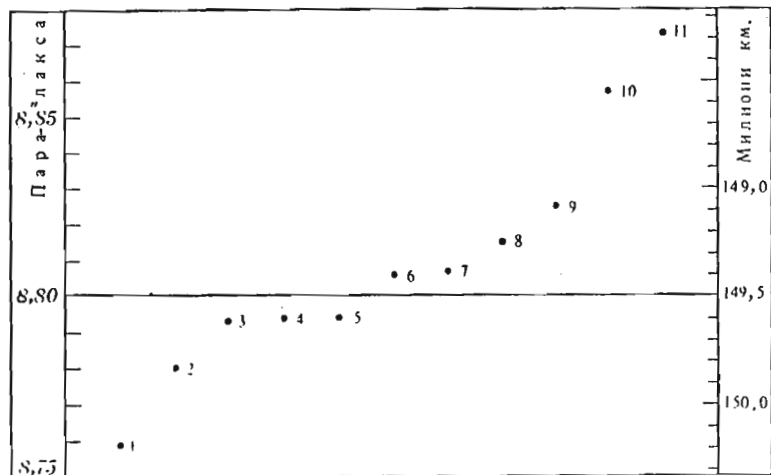
Сл. 23. — Перихелски делови путања Марса и малих планета *Iris*, *Victoria*, *Sappho* и *Eros*

у Паризу, усвојена за средњу вредност паралаксе Сунца $8''.80$; њој одговара средња даљина Сунца од Земље — дакле велика полуоса Земљине хелиоцентричне путање — астрономске јединице од $149\,504\,000\text{ km}$.

*

Тако је, после двадесет два века, усвојена — не кажемо одређена! — као тачна вредност за даљину Сунца од Земље 149.5 милиона *km*. Сматрало се да усвојена вредност Сунчеве паралаксе, $8''.80$, не одступа од стварне вредности више од $0''.005$. А то значи да је даљина Сунце—Земља тачна до на око 13.5 Земљиних полупречника, тј. 85 хиљада *km* — дакле до на 1/1700 део износа даљине.

Проблем одређивања Сунчеве паралаксе није, међутим, тиме још коначно био решен. И касније је искоришћавана свака повољна прилика да



Сл. 24. — Графички приказ вредности паралаксе Сунца, одређиваних на разне начине (в. преглед на стр. 132-133), које је Newcomb искористио за извођење давашње вредности Сунчеве паралаксе

се она поново одреди, тј. усвојена вредност провери. Тим пре што је било познато да везе Сунчеве паралаксе са другим астрономским константама нису биле задовољене како се то желело (на пр. константа аберације, масе неких великих планета итд.).

Прве године новог века започела је, опет у међународним размерама, велика кампања посматрања новопронађене мале планете Ерос, у време њене перихелске опозиције са Сунцем (1900—1901). Појединачне резултате је обрадио и објавио *K. Hinks*, 1910. Ево његових резултата: сва визуална посматрања су за Сунчеву паралаксу дала $8''.806$, а фотографска (више од 1500 снимка!) — $8''.807$. Међутим, ове вредности, које се врло лепо слажу, само су средње, изравнате; поједине вредности су се кретале чак између $8''.769$ и $8''.845$.

Зато је велика опозиција Марса од 1924 дочекана са великим припремама, да се опет искористи за мерење Сунчеве даљине, тим пре што је тада Марсова паралакса достигала скоро $24''$. Нажалост, ова планета је тада била у повољном положају за посматрање само са јужне Земљине хемисфере. Зато су обимна посматрања (астрографом и хелиометром) била изведена само на опсерваторији Рт Добре Наде (Јужна Африка).

Снимање велике планете заједно са околним звездама, од којих се она знатно разликовала и изгледом и сјајем и бојом, поставило је пред посматраче низ неочекиваних и не лаких проблема. Ни визуална мерења привидних даљина Марса од околних звезда хелиометром нису била сасвим једноставна: ту је требало доводити до поклапања ликове Марса и изабраних околних звезда, који су се, како рекосмо, знатно разликовали. Зато су, при овој другој врсти посматрања, коришћени органи и средства за слабљење планетина сјаја.

А то се и у резултату осетило. Док је из фотографских посматрања за Сунчеву паралаксу изведена вредност $8''.809$, дотле су визуална, хелиометарска, довела до — $8''.758$! За оволику разлику нађено је више објашњења. С једне стране, Марсов привидни котур није свуда исте боје: светлост са различитих делова његове површине прелама се, у Земљиној атмосфери, под нешто различитим угловима. Та околност, опет, комбинована са посматрачевом неједнаком осетљивошћу на боје обично изазива код овога систематску грешку код одређивања положаја средишта планетина диска, у који треба да доведе лик звезде. С друге стране, осетног утицаја на све ово имало је и вештачко слабљење сјаја планете. — И тако, ма колико сами по себи били мали, ти разни утицаји постају осетни кад се ради о стотим и хиљадитим деловима секунде.

И ова посматрања, као и из њих изведени резултати, потврдили су још једном више да су мале планете неупоредиво погодније од Марса за одређивање Сунчеве даљине. Специјално планетонд 433 Ерос, који још и ту предност има што се у оне повољне положаје — у близину Земље — враћа периодично: у циклусима од по 6 и 31 године. 1894 (кад још није био откривен, али је био посматран) пришао је Земљи на 0.15 астрономских јединица (22.4 милиона *km*), па му је паралакса износила читавих $58''$. То је, уједно, и његова најмања даљина од Земље. — Даљине од Земље и паралаксе ове мале планете, у њеним наредним перихелским опозицијама — које, како са сл. 23 видимо, падају током јануара — дајемо у таблници:

Опозиција	Даљина од Земље		
	у а. ј.	у мил. км.	Паралакса
1900	0.40	77.8	28''
1931	0.21	31.4	50
1937	0.30	44.8	38
1968	0.26	38.9	42

1931 је Ерос, у време опозиције, био скоро два пута ближе Земљи но што Марс може да јој приђе. И положај на небеској сфери му је био погодан за посматраче са обе Земљине хемисфере, пошто му се деклинација кретала између $+44^\circ$ и -26° . Са каквим интересовањем је овај догађај очекиван у астрономским круговима и какве су припреме за ту прилику предузете довољно илуструје чињеница да је припремљен и посебан каталог врло прецизних положаја великог броја упоришних звезда. Од свих астрономских посматрања, усмерених једном циљу, ово је свакако био досад највећи подухват.

Ерос је посматран са четрнаест опсерваторија; добивено је укупно 2847 снимака. Сви су они обрађивани јединственим поступком, а обрада је захтевала читаву деценију. Резултате је објавио *H. Spencer-Jones*, директор гриничке опсерваторије, 1942. Као највероватнија вредност Сунчеве паралаксе, добивена је из обраде овог посматрачког материјала $8''.790$.

Но погрешно би било мислити да су, за одређивање Сунчеве даљине, коришћена била само она Еросова посматрања која су припадала истој опозицији. Сунчева даљина, као и низ других астрономских података, извођена је и из дугогодишњих посматрања овог планетоида. Ево, уосталом, неких најглавнијих одређивања:

Аутор	Посматрања Ероса	Сунчева паралакса
G. Witt, 1905	1893—1903	$8''.794$
E. Noteboom, 1921	1893—1914	8.799
G. Witt, 1933	1893—1931	8.799
E. Rabe, 1950	1926—1945	8.798

1950 је *D. Brouwer*, директор Yale опсерваторије, на једном међународном астрономском састанку, приказао своје резултате обраде Месечевих посматрања, из којих је извео и нову вредност Месечеве паралактичке неједнакости. При томе су Месечеви положаји извођени из посматраних окултација, тј. заклањања сјајнијих звезда од стране Месеца, и то великог броја окултација посматраних у размаку од 1932 и 1942. А уједно су, у исту сврху, коришћена и Месечева меридијанска посматрања, обављена у размаку између 1925 и 1948. Прва од поменутих група посматрања дала је за паралаксу Сунца $8''.792$, а друга $8''.798$.

*

Од посматрања Венериних пролаза испред Сунца у XVIII-ом веку до данас Сунчева паралакса је одређивана, на разне начине, око 160 пута. Од тих смо овде поменули само она најважнија. Она довољно јасно показују да се тачна вредност ове величине мора налазити између $8''.79$ и $8''.80$. У питању је данас — трећа децимала Сунчеве паралаксе. Како ће она бити одређена,

то је питање будућности. Али та нова вредност моћи ће бити усвојена само ако истовремено задовољи и све релације преко којих је Сунчева паралакса повезана са осталим, основним, астрономским величинама.

Осим везе која постоји између паралаксе Сунца и константе годишње аберације, поменимо и једначину која повезује Сунчеву паралаксу са масама Сунца, Земље и Месеца. Наиме, Трећи Кеплеров закон даје

$$4 \pi^2 a^3 = k^2 T^2 (M + m + m_\mu),$$

где је a велика полуоса Земљине путање, k константа гравитације, T трајање Земљине сидеричке револуције; у загради је збир маса Сунца, Земље и Месеца. Велику полуосу можемо заменити Сунчевом паралаксом, а константу гравитације изразити помоћу убрзања Земљине силе теже. Тако поменута једначина постаје

$$\bar{\omega} \sqrt{\frac{1}{\mu}} = 607''.052,$$

где је μ маса система Земља+Месец, изражена у јединицама Сунчеве масе. Тако повезаност Сунчеве паралаксе са константом аберације, с једне стране, и масом Земље и Месеца, с друге, можемо приказати таблицом:

С у н ч е в а		Конст. абер.	Реципрочна вредност масе Земље у јед. Сунчеве
паралакса	даљина у мил. km		
$8''.780$	149.85	$20''.529$	330 514
8.785	149.76	20.517	329 951
8.790	149.67	20.506	329 388
8.795	149.59	20.494	328 827
8.800	149.50	20.482	328 266
8.805	149.42	20.471	327 705
8.810	149.34	20.459	327 144

Међутим, и паралакса Сунца, и константа аберације, и маса Земље, могу да се одреде независним методама. Зато је веома важно питање њиховог међусобног слагања.

Поменути Newcomb-ов рад, са краја прошлог века, био је први у којем се покушало да се све основне астрономске величине, међу којима и паралакса Сунца, повежу у један складан систем, *систем фундаменталних констаната Астрономије*. У томе систему имала је, како већ напомену смо, Сунчева паралакса вредност $8''.797$. Тај износ је тада најбоље одговарао осталим величинама.

Нови, поправљени, систем основних астрономских констаната дали су *De Sitter*, холандски астрофизичар, и *Brouwer*, 1938. Од Newcomb-ова вре-

мена су неке астрономске величине тачније одређене (константа аберације, брзина светлости, масе великих планета, . . .), а морало се повести рачуна и о новим чињеницама до којих је, у међувремену, дошла наука (ротација Галаксије, кретање Земљиних полова, . . .). У овом новом систему је Сунчева паралакса добила вредност $8''.803$.

Но и у овом систему је било тачака по којима сви астрономи нису били сагласни. Десет година касније, 1948, предложио је *G. M. Clemence*, директор *American Ephemeris*-а, поправљени систем константи. За Сунчеву паралаксу је дата вредност $8''.790$; одавде излази да је велика полуоса Земљине путањске елипсе $149\,670\,000\text{ km}$. Но овај износ још није усвојен: „званични“ је још увек онај *Newcomb*-ов — $8''.80$.

*

На крају овог приказа морамо поменути и могућност не посредног одређивања Сунчеве даљине методом која је данас у развоју, али која обећава да ће у догледном времену постати стварност. Мислимо, наиме, на употребу радара у Астрономији. Слање високофреквентних импулса, дакле радиоталаса врло мале таласне дужине, краткотрајних али велике енергије, успешно је до данас остварено и на велике даљине. С друге стране, ови импулси се могу, захваљујући посебно конструисаним антенама предајника и пријемника, прилично тачно слати у жељеном правцу, односно примати из жељеног правца. Све ово оправдава наду да ће се Сунчева даљина моћи — можда и не у далекој будућности — одређивати битно новом методом: једино ће требати забележити тренутке емисије радарског сигнала и пријема на Земљи одбијеног сигнала са Сунца. Из познате брзине простирања (одласка и повратка) овог сигнала моћи ће се непосредно добити Сунчева даљина. Можда ће баш радарска метода бити та која ће нам одлучити о трећој децимали у вредности Сунчеве паралаксе!

В. В. МИШКОВИЋ

ПОТПУНО СУНЧЕВО ПОМРАЧЕЊЕ ОД 15 ФЕБРУАРА 1961. РЕЗУЛТАТИ И УТИСЦИ

У В О Д

15 фебруара прошле године имали смо прилике и ми — први пут, а и последњи, у овом столећу — да видимо помрачено Сунце. Потпуно је помрачено било — и то свега нешто преко две минуте — само за један део наше земље: за један појас од око 240 км ширине (између $42^{\circ}20'$ и $44^{\circ}30'$ северне географске ширине) и око 650 км дужине. Призор је, дакле, кратко трајао, али је величанствен био! Тихо време и ведро небо који су га пратили, бар на првој половини пута којим је прошао, допринели су да незабораван остане код свих који су га посматрали.

У Анале посматраних помрачења ући ће прошлогодишње фебруарско, пре свега, већ и због изузетно повољних атмосферских услова под којима је протекло; услова неочекиваних за доба и године и дана у која је код нас наишло. Као изузетно ће ући и због врло погодних општих околности под којима се одиграло и одиграло. Ретко погодни су били, јер је познато да, у великој већини случајева, експедиције које одлазе да посматрају ове појаве морају своја посматралишта* да подижу по пустим, каткад тешко и приступачним, острвима или ненасељеним пределима, понекад лишеним и најбитнијих услова за опстанак људства које их сачињава. Овога пута, међутим, појас тоталитета пружао се преко густо насељених, махом и живописних, а, делом, и преко раскошно уређених крајева света.

Идеално повољне услове за посматрање имале су, наравно, астрономске опсерваторије преко којих је прешао конус Месечеве сенке. На том трагу, на такозваном појасу тоталитета, налазиле су се, од познатих, опсерваторије: С. Мишел, Пино Торинезе, Ђенова, Арчетри-Фиренце, Болоња, Софија, Букурешт, Симеиз, Партизанскоје. Ове опсерваторије, као и многобројне стране и домаће еклипсне експедиције које су се на том појасу биле распоредиле, имале су на располагању за остварење својих посматрачких програма, поред повољних и топографских и атмосферских услова, још и све тесковине савремене технике: од комуникационих — жичну и бежичну телеграфију и телефонију; од сао-

* в. сл. 25. на Прилогу I, спрам стр. 145