

ИСТОРИЈА АСТРОНОМСКЕ НАУКЕ

ОД ЊЕНИХ ПРВИХ ПОЧЕТАКА ДО 1727

II издање

МИЛУТИН МИЛАНКОВИЋ
професор Универзитета

Београд, 1979

ПРЕДГОВОР ДРУГОМ ИЗДАЊУ

Астрономска наука раширила је наш видокруг до несхватљивих даљина и упознала нас са законима којима се покорава цела васиона. Она нам, у овом садашњем стању, показује висину до које се људски ум њоме попео, а њена историја оне степенице преко којих се пењао. Та њена историја је једна од најсветлијих страна историје човечанства.

Свака поједина наука може се у потпуности схватити и прозрети тек када се упозна како је постала и развијала се у току векова. То ме је определило да својим предавањима на Универзитету обухватим и историју астрономске науке. Тако је у уџбенике Универзитета у Београду ушао и мој уџбеник астрономске науке. Он је, према наставном плану, обухватио период астрономске науке од најстаријих времена до 1727, године Њутнове смрти, а објављен 1948 године. То прво издање мога уџбеника је потпуно распродато, а не може се набавити ни антикварно. Зато се показала потреба овог другог издања његовог. Оно се разликује од првог издања што сам у њему испустио нека математичка извођења која се налазе у моме уџбенику Небеске механике.

Београд, 23 новембра 1953.

М. Миланковић

Глава прва

ПРВИ ПОЧЕЦИ АСТРОНОМСКЕ НАУКЕ

Астрономија је наука о небеским појавама. Неке од тих појава неизбежно су упадљиве, као привидно дневно кретање Сунца, оно што изазива непрестану смену дана и ноћи, па годишње кретање Сунца по својој привидној путањи, еклиптици, нагнутој према небеском екватору, из чега опет следује узастопност годишњих доба. Те две природне појаве намећу нам цео наш начин живота, а управљају и целом осталом органском природом. Под ударом тих појава стајао је примитивни човек далеко више него ми данас. Голорук и без крова, изложен стихијама природе, трепо је пред њима, сматрао их за божанства, клањао им се и подао се празноверици из које га је могла спасити једино наука. Таква наука почела је да се постепено развија тек када је човек дорастао да пажљивије посматра природу, када је, стекавши прве појмове о писму, броју и геометриским облицима, могао да пребројава дане и године, да се разазнаје на звезданом небу и прибележава његове најупадљивије појаве. Зато је астрономским звањима морало претходити познавање бројева и писма.

Сматра се да су називи за поједине бројеве настали већ при самом развиту језика појединих народа, јер се тај развитак могао пратити бас помоћу бројевних назива тих народа, а исто тако је и практична примена бројева врло стара, јер чим је човек постао одгајивач и власник стоке, морао ју је пребројавати. Као помоћно средство при том пребројавању послужили су му прсти његових руку. Са њима може човек да броји само до десет, а кад хоће да броји даље, мора запамтити да је своје прсте већ једанпут употребио. То памћење може се уштедети кад се узме у помоћ још неко други који ће уздигнутим прстима означавати колико пута је први бројач својим бројањем исцрпео све прсте својих руку. Онда сваки прст другог бројача представља десетице, а кад се бројањем пређе преко стотине, мора се узети у помоћ и трећи бројач који ће својим прстима обележавати стотине. Тако некако развио се наш децимални бројни систем који има број десет за основицу.

Када је човек поцео да садржај говора предочава видљивим знацима и да ствара писмо, добили су и бројеви своја обележја, али је, као што ћемо видети, требало још много векова док се дошло до нашег садашњег обележавања бројева. Но кад су се, и примитивним средствима, могли прибележавати догађаји и бројеви, били су испуњени први услови за развитак астрономске науке чији почеци леже у давној прошлости и зато их је тешко сагледати. О њима знамо врло мало, но ипак толико да можемо отприлике одредити старост астрономске науке. Знамо да су скоро три хиљаде година пре наше ере Кинези посматрали и прибележавали небеске појаве, јер су већ 2697 године забележили једно помрачење

Сунца. У делима која се приписују Конфуцију прича се да су два кинеска дворска астронома платила главом што нису претказала једно помрачење Сунца године 2137 Средствима науке могло се израчунати да се једно тотално помрачење Сунца, заиста, десило у главном граду Кине 22 октобра поменуто године што даје извесну веродостојност оној кинеској белешци.

Већ од онога доба Кинези су водили тачне прибелешке и о појавама звезда репатица. Када су се те прибелешке прикупиле, добио се цео каталог са око 400 таквих кинеских посматрања. Помоћу њега могле су се пратити пуне три хиљаде година унатраг узастопне појаве Халејеве комете чија је периодичност утврђена и одређена тек 1705 године.

Кинези се нису бавили само хронолошким прибележавањем небеских појава, већ су их одређивали и мерењем. На том пољу допрли су доста далеко. Године 1100 пр. н. е. измерили су нагиб еклиптике према екватору и нашли да мери $23^{\circ} 52'$. Значи да је тај нагиб био осетно већи него што је сада, што се слаже са учењима Небеске механике. То мерење Кинеза може се, дакле, сматрати као емпириски доказ тог учења, бар у квалитативном смислу. Но оно нас задивљује и својом квантитативном тачношћу, јер уобичајени образац Небеске механике за израчунавање промена нагиба еклиптике даје за ону годину кинеског премеравања, дакле за 3000 година пре године 1900 нагиб еклиптике од $23^{\circ} 51'$.

Те тековине кинеске астрономије нису у своје време допрле до Европе. Одвојени огромним планинама и пустим пределима од осталог света, Кинези су живели својим засебним животом па је требало дуго времена док су се западни народи могли да користе понеком тековином њихове културе. Наведимо о томе један пример. Кинези су се већ пре једно три хиљаде година служили компасом. Тај њихов проналазак стигао је тек године 380 до обала Индије и западне Африке. Арапи су се поцели служити њиме године 854 а у западну Европу стигао је тек 1181 године да би онде дошао у сталну употребу тек око године 1300.

Астрономија антике, из које се развила цела наша модерна астрономија, не води своје порекло из Кине, већ је изникла на источној страни Средоземног мора, у Египту и Месопотамији.

Египатска култура можда је старија и од кинеске, јер већ за време прве династије (3315-2895 године п. н. е.) стајао је материјални уређај египатске државе на високом ступњу. За време четврте династије (2840-2680 године п. н. е.) подигнуте су велике пирамиде код Гизеа, дела техничке вештине и геометриског знања. Египат је био колевка геометриске науке, а да је то постао, има нарочити узрок. Онде скоро и нема кише, и цео тај крај био би пустиња као и други делови северне Африке кад га Нил не би наводњавао. Та силна река излива се сваке године из свог корита, плави сву околину и оставља на њој плоносан талог који обећава богату жетву. Но пре но што се приступи сејању, било је одувек потребно да се замуљене или разлокане границе поједи-

них имања успоставе и предаду опорезаним поседницима на обраду, а тај посао разграничавања и обележавања имања могућан је само помоћу геометрије. Из те потребе родила се у Египту геометрија као неопходна практична наука и развила се у хиљадугодишњој примени.

Геометриска знања су предуслов за виши степен астрономске науке и зато је удео Египћана у развоју астрономије веома значајан. Он је могао бити правилно оцењен тек када се дошло до писмених сведочанстава о египатској математици и геометрији, а то је било тек недавно. У британском музеју у Лондону чува се један стари папирос којег Енглези означавају са именом Пепајрес Рајнд по његовом проналазачу Рајнду који га је пронашао 1862 године. Када године 1875 дешифроваше, преведоше и објавише садржај тог папироса, видело се да га је написао краљев писар Ахмес и да је математичког садржаја. Написан је 1750 године пр. н. е. Прво што нам при читању тог списка пада у очи, је старост египатске научне литературе, јер се писац позива на још старије математичке списе, писане неколико стотина година пре њега. Ту старост посведочава и један надгробни запис код Гизеа који саопштава да је покојни живео око 2220 године пр. н. е. и био, по свом звању, управник библиотеке. Старост египатске научне литературе посведочавају и папироси пронађени 1889 и 1890 године код Кахума, који су старијег датума од Пепајреса Рајнда.

Из садржаја Ахмесовог списка види се да су Египћани његовог доба знали вешто рачунати са разломцима, да су познавали аритметичке и геометриске прогресије, умели израчунавати површине и запремине и да су са неочекиваном тачношћу извршили квадратуру круга (са $\pi=3,16$ место $\pi=3,14$). Они су имали прве појмове гониометрије, а за косинус угла имали су посебан назив: сект. Та своја знања примењивали су при грађењу својих пирамида и дали им геометриски потпуно сличан облик тиме што су стране тих пирамида нагнули према основици под углом од 52. Не зна се тачно шта их је определило за избор тог угла. Знали су да је троугао са странама 3, 4, 5 правоугаон, па су ту његову особину искоришћавали при својим геодетским радовима и при извођењу свих својих великих грађевина. Те грађевине, пирамиде и храмове, управљали су тачно према небеским правцима, било према меридијану, било према једној одређеној тачки хоризонта, онамо где се рађа Сунце за време летњег солстиција, или онамо где излази звезда Сиријус. То сведочи да су се бавили посматрањем неба, а још више то што су имали у Дендери, Мемфису и Хелиополису уређене звездаре. Ту су посматрали звезде и правили о томе своје прибелешке и табеле од којих су се сачували само незнатни остаци.

Сви ови послови били су поверени свештенству којему је стављено у дужност да уређује календар и да тачно прибележава историске догађаје, а нарочито владавине краљевских династија. Од доба оснивача прве династије, од краља Менеса, тј. од 3315 године пр. н. е. па до Алексан-

дровог освајања Египта, године 333 пр. н. е, одменила се на египатском престолу тридесет и једна династија. О том целом временском размаку египатске историје сачуване су безбројне прибелешке, поглавито у хијероглифима исклесаним на зидовима храмова и гробоца египатских владара, том кодексу од камена. Тим интервалом и својом тачношћу надмашила је египатска хронологија све остале старога века.

Својом хронологијом обухватили су Египћани интервал од 3000 година служећи се календаром који је, за разлику од календара осталих народа, имао за основну јединицу годину која је имала сталну дужину од 365 дана. У доба када је тај календар дошао у примену, наступале су поплаве Нила баш у оно време када се звезда Сириус показивала први пут у години на источном небу, пре изласка Сунца. Та појава названа је касније хелиакичним излазом те звезде. Како су поплаве Нила биле најзначајнија природна појава целе египатске државе, јер је од тих поплава зависио њен живот и напредак, одлучили су Египћани да почну бројати године свога календара од једног таквог хелиакичног излаза Сириуса. То је спочетка ишло врло добро, али како је година њиховог календара била за четвртину дана краћа од стварне Сунчеве године, померао се дан хелиакичног излаза Сириуса у њиховом календару сваке четири године за један дан, да би за 4×365 година, прошетавши се кроз тај календар, дошао на своје старо место. То су Египћани својим посматрањима тачно установили, а тај интервал од 1460 година назвали су, по Сириусу кога су они звали Сопд, Сотисовим периодом. Тиме што су одредили дужину те Сотисове периоде, Египћани су, у ствари, измерили и дужину сидеричне године, па, у границама те тачности, и дужину тропске године којој се покоравала ток природе. Сотисова периода постала је виша јединица њиховог календара па су њоме могли и да одреде како се у њиховом уобичајеном календару постепено померао хелиакични излазак Сириуса, а са њиме, са мање тачности, и почетак поплава Нила. Својом календарском годином од 365 дана и својом Сотисовом периодом, Египћани су свој календар довели у тачан однос са Сунчевом годином и са током природе, што није иначе ниједном народу старога века пошло за руком. Да свој календар доведу у још тешњу везу са природним појавама и да, користећи се Сотисовом периодом која им је показала да њихов календар заостаје сваке четири године за један дан, тај заостатак придодаду свом календару сваке четири године, они нису хтели или смели да учине, па оставише, као што ћемо видети, Александринцима да изврше ту значајну календарску реформу.

Сачувала се једна прибелешка да је 19 јула 139 године нове ере, дакле за време римске владавине, египатско свештенство прославило онај дан када се довршила трећа Сотисова периода њиховог календара, тј. када је он достигао старост од 3×1460 , тј. од 4380 година. Одузмемо ли од овог броја оних 139 година којима је зашао у нову календарску еру, добивамо да је почетак египатског календара пао на 19 јули 4241 године

п.н.е. То би био најстарији датум историје, и неки историчари сматрали су га почетним даном светске историје који је одваја од преисторије. Међутим, није вероватно да су Египћани већ тако рано били стварно увели свој календар; то је могло бити тек 1460 година доцније, дакле тек 2781 године п. н. е.

Већ око године 2000 п.н.е., постао је Египат велика сила, раширио своје границе до у предњу Азију и дошао у додир са вавилонским царством. Тиме је дошло до размене културних добара како то показују плочице, пронађене године 1888 код Тел-ел-Амарне у средњем Египту, исписане клинастим писмом, које се сада чувају у музејима Каира, Лондона и Париза. Одмах ћемо видети од коликог значаја је било то писмо за историју астрономске науке.

★

У Месопотамији, на доњем току река Еуфрата и Тигриса, развила се, независно од египатске, друга култура коју сада називамо вавилонском. Благодарнећи тим двома рекама и вестчком наводњавању којем су оне служиле, био је у давној прошлости тај крај плоднији од самог Египта, па су га зато и звали баштом света. Но, незаштићен са свих страна, био је стално изложен најездама својих суседа. У њему су се одмењивале разноимене државе, сумерска, старовавилонска, асирска, нововавилонска или халдејска, док, напослетку не постаде саставним делом великог персијског царства. Но поред свих тих политичких и етничких промена, култура земље била је у сталном напредовању. О историји њеној сачувало се мање материјалних сведочанстава него о историји Египта. Вавилонско-асирска архитектура била је много мање монументална него египатска, већ због тога што им је недостајао материјал потребан за монументалне грађевине; они су их зидали сушеном, а тек изузетно печеном циглом, па су зато њихове зграде пропале у току векова. Од великих градова Месопотамије, као што су били Ур, Лагаш, Нипур, Вавилон и Нинива, остали су само земљани брегови. Свештеници тих градова бавили су се, као што нам причаху Грци, и астрономијом, а Александринци су се, као што ћемо видети, користили њиховим знањима. Но због тога што су се ти, као што су их Грци звали, халдејски свештеници бавили првенствено астрологијом, повезало се њихово име за ту вештину да је име Халдејац значило доскора исто толико колико и небески врач. Због тога се и њихова астрономија сматрала до недавна науком ниже врсте, па је историци астрономије не хтедоше ставити у ред наука.

Тек у новије доба наступио је у том схватању велики преокрет када се отпочело са ископавањем остатака вавилонско-асирске културе који су вековима лежали на местима старих вавилонских градова, сравњених са земљом, а заборављени од целога света.

У својим записима служили су се Асирци и Вавилонци клинастим писмом, пронађеним још од старих Сумераца, урезаним понајчешће у

плочице од замешане иловаче које су после тога сушене, печене и стављане у њихове библиотеке. Када се, почетком деветнаестог века, почела обрађати пажња тим документима старе прошлости, успели су европски научници да прочитају са њих прве речи. Од оног доба развила се нова наука, асириологија, која је до данас толико напредовала да се могао прочитати, разумети и објавити садржај тих списа. Са тим у вези приступило се и систематском ископавању тих важних историских докумената. Том приликом пронађене су целе библиотеке таквих старих записа, нарочито у рушевинама Нипура и Ниниве, а данас се у разним музејима Европе и Северне Америке налазе стотине хиљада таквих плочица са клинастим писмом од којих многе нису још прочитане и објављене. Но већ из онога што се до сада дознало, добила се много потпунија слика о асирско-вавилонској астрономији. Она показује да је колевка наше садашње астрономске науке стајала, заиста, у Месопотамији.

Истина је, свештеници Месопотамије били су, у првом реду, небески врач и дворски астролози. У свима напоменутим градовима Месопотамије подигнуте су високе куле као што је био и вавилонски торањ који се напомиње у Библији, а са врхунца тих грађевина посматрали су ти свештеници све небеске појаве и прорицали будућност. Ниједан важнији државни посао није предузиман док они нису упитани за савет и пристанак. Могуће је, а и вероватно, да су они, продавајући будућност другима, осигурали себи угодну садашњицу, али, поред свега тога, њихов рад представља прве почетке астрономске науке и вештине. Тумачење небеских појава изискива два разна посла, први, посматрање небеских појава, а други, тумачење њихово. Онај први посао је чиста наука, па су зато ти астролози постали очевима астрономије, исто онако као што су и њима сродни алхемичари постали оснивачима хемије. Ти астролози посматрали су небеске појаве систематски, хиљадама година. У том непрекидном раду прикупили су цео низ неоспорних чињеница о небеским појавама, из којих се постепено развила астрономска наука.

Да набројимо те чињенице. Већ у самом почетку свога рада, у трећој хиљади година п.н.е., уверили су се вавилонски посматрачи неба да звезде што их на њему видимо, са малим изузецима, о којима ће одмах бити говора, не мењају свој међусобни положај, већ да изгледају као приковане на шупљој љусци небеског свода која се као што се то види у току ноћи, обрће од истока према западу. То обртање следује око привидне једне осе која пролази кроз стајалиште посматрача и кроз једну тачку на небу која једина изгледа непомицна. Та тачка, северни небески пол, налазила се у оно доба између звезда које данас зовемо „бета“ Малог Медведа и „дзета“ Великог Медведа. Те звезде које не мењају свој међусобни положај, а које, због тога, добише име некретница, груписали су вавилонски астрономи у поједина јата или сазвезђа и наденули им имена. Тиме су извршили прво каталогизирање неба.

То привидно свакодневно кретање звезданог неба, са његовим непо-

кретним звездама и његовим потпуно правилним обртањем, не пружа ослонаца претказивању будућих догађаја. Зато су се Вавилонци обратили посматрању и проучавању кретања покретних небеских тела. Најупадљивија појава неба је Сунце које, чим се појави над обзорјем, својим сјајем гаси светлост свих тих звезда и онда учествује, као што се види, у дневном кретању неба, од истока ка западу. Да би стварно кретање Сунца тачније одредили, посматрали су Вавилонци нарочитом пажњом оне звезде које се рађају на западу одмах по заласку Сунца и оне које се гасе на истоку пред његов излазак. Тиме добише прву ориентацију о кретању Сунца по звезданом небу и увидеше да се оно, учествујући у дневном кретању неба од истока према западу, помера из дана у дан, помало према истоку. Тим померањем, оно се опшета за годину дана по небеској сфери звезда непокретница по својој привидној кружној путањи, коју су Грци назвали касније еклиптиком, но која не стоји управно на оси обртања небеске сфере, због чега дани дужају и краћају и тиме стварају годишња доба.

Први календар Вавилонца имао је, као што изгледа, 12 месеци од по 30 дана. Они су, ваљда због тога, путању Сунца по небеској сфери поделили у дванаест домова и дали им називе који су још у употреби. Тек касније систематичкијим посматрањем годишњег померања Сунца одредили су тачно дужину године. Но већ пре тога вековно посматрање небеске сфере, од које се на географској ширини Вавилонца појављује изнад хоризонта више од девет десетина, показало им је да звездано небо није непомични свод, како се то замишљало, већ да његова, по њиховом мишљењу, покретна сфера обухвата Земљу са свих страна. То је противуречило њиховим традиционалним верским схватањима, према којима је небо имало облик звона које је Земљу покривало. Зато се не усудише да саопште оно што су својим очима сагледали, па препустише слободоумнијим Грцима да то учине.

Вавилонци су пажљиво посматрали и кретање Месеца по небеској сфери, што је ишло много лакше због тога што он не гаси светлост звезда. Исто тако су пратили и кретање покретних звезда, планета, од којих су познавали њих пет, Меркур, Венеру, Марс, Јупитер и Сатурн, јер да је Земља планета, то нису, наравно, ни слутили. Са Сунцем и Месецом, чини тих пет планета седам покретних небеских тела. Они су их сматрали за божанства, и сваком од њих су посветили по један дан да би то бесконачно понављали. Тиме су створили и наш непрекидни низ седмица, недеља. Из садашњих европских назива седмичних дана јасно се види којем је небеском божанству који седмични дан био посвећен. По немачком сонтаг или енглеском санди, види се да је недељни дан био посвећен Сунцу. По талијанским називима (а и сличним француским) лунеди, мартеди, мерколеди, ђоведи, венерди види се да је понедеоник био посвећен Месецу, уторник Марсу, среда Меркуру, четвртак Јупитеру-Јовусу, петак Венери, а по енглеском сатурди, субота Сатурну.

Кажу да су и астрономске куле Вавилонаца имале седам спратова.

Права астрономска наука могла се тек онда развити када се располагало поузданим писмом и бројевним знаковима и када се могло мерити време и углови. Рекли смо да су већ први, историски утврђени житељи Месопотамије, Сумерци, пронашли клинасто писмо. Плочице, ископане из рушевина града Урука, исписане тим писмом око 3300 година пре почетка наше ере, посведочавају старост тог писма од преко 5200 година. Упоредо са клинастим писмом развио се у Месопотамији, поред децималног бројног система, сексагезимални систем којем је основа 60.

Тај сексагезимални систем настао је, по свој прилици, из геометриских расуђивања и астрономских потреба, када је ваљало приступити мерењу углова и кружних лукова. Када су се ти геометриски појмови довољно развили и пречистили, увидело се да се полупречником круга, као тетивом, периферија круга може тачно поделити у шест једнаких делова. Стојећи при посматрању небеских тела пред задатком да кружне лукове премеравају једном одређеном јединицом, Вавилонци су, имајући у виду да Сунце своју привидну путању, еклиптику, обиђе за округло 360 дана, колико их је бројао њихов стари календар, шестину кружне периферије поделили су у 60 јединица, а целу периферију у 360 таквих јединица које касније добише име степена или гради. Сваки степен би подељен у 60 делова које сада називамо минутима, а свака таква минута у 60 делова које називамо секундама. То је тачно и нас данашњи бројни систем за мерење лукова и углова. Он је далеко савршенији од децималног система, јер је његова основа 60 дељива са 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, док је 10 дељиво само са 2 и 5. Да децимални систем није згодан за мерење углова, показало се кад се он, у том смислу, увео у Француској за време револуције, да би касније био напуштен.

Свој сексагезимални бројни систем употребљавали су Вавилонци и за мерење времена. Они су дужину дана и ноћи поделили у 12 часова које данас зовемо дуплим часовима, јер сада рачунамо са њих 24. Исти тај однос важи и за њихове временске минуте које су два пута веће од наших.

Сексагезимални систем, подешен за тачно премеравање лукова и времена могао се развити и усавршити само ако је био стварно примењиван. Његове појединице, минуте и секунде, имају само онда свој значај ако се имају у рукама инструменти са којих се оне могу прочитати. Сама егзистенција тих ситних јединица говори о тачности вавилонских посматрања неба, а и о томе да су ти посматрачи морали имати и геометриских знања потребних за свој посао. Како, каквим инструментима и којом тачношћу су вршили своја посматрања неба, како су их прибележавали и искоришћавали, о томе свему су наша знања још прилично оскудна, но она ће се убрзо проширити. У рушевинама Нипура ископано је 50.000 таблица, исписаних клинастим писмом, а у рушевинама Ниниве њих 25.000, међу којима 4000 таблица са астрономским прибелешкама.

Оне сачињавају библиотеку краља Асурбанипала (Сарданпала) који је владао од 668 до 626 године пр. н. е. У њој су сачуване и прибелешке које иду унатраг чак до године 1900 пр. н. е. Нипурске таблице настале су од 2200 до 1350 године пр. н. е., а међу њима налазе се и неке са математичким садржајем. Тек кад се све те таблице, а и многе друге које су се нашле и још увек проналазе, буду проучене, добиће се потпунија слика о астрономским знањима Вавилонца, прикупљеним у току векова. Но већ је сада неоспорно да су месопотамски посматрачи неба - иако су били астролози, или баш због тога - били неуморни и пажљиви посматрачи. Њихов приоритет у открићу неких важних астрономских чињеница већ је сада довољно осигуран. Они су познавали тачну дужину године и упознали неједнаке дужине годишњих доба, о чему ће касније још бити говора. Кретање планета пратили су у стопу и одредили велике периоде њиховог обилажења неба. Већ две хиљаде година пр. н. е. били су начисто да су зорњача и вечерњача једна те иста звезда, што су Грци увидели тек петнаест векова доцније.

О њиховом систематском посматрању неба сведочи и ова чињеница. Помрачења Сунца могу се десити онда кад Месец ступи између Земље и Сунца. Ставимо ли се на геоцентричко становиште, као што су га они узимали, онда можемо да кажемо да тотално помрачење Сунца наступа када се Сунце и Месец у исти мах нађу у пресеку њихових привидних путања на небеском своду. Ти пресеци, тачке небеске сфере које се у астрономији зову чворовима Месечеве путање, немају сталан положај, већ се због поремећаја Месечеве путање селе по еклиптици која и сама није непроменљива, и обилазе је за 6793 дана. Због те променљивости чворова његове путање, обилазак Месеца око ње, сидерични месец, није временски једнак са интервалом што га Месец потребује да, пошавши из једног од тих чворова, врати се опет у њега (драконистички месец), а није ни једнак оном интервалу што га Месец потребује за своје мене, лунације (синодички месец). Јасно је још да обилажење Сунца по својој путањи од чвора Месецевог па до њега (драконистичко обилажење Сунца) није једнако ни сидеричкој ни тропској години. Вавилонски астрономи су све то добро знали и измерили изванредном тачношћу дужине свих тих временских интервала па нашли да се 242 драконистичка месеца или 223 синодичка поклапају скоро сасвим са 19 драконистичких обилажења Сунца или 6585 дана, тј. 18 година и 11 дана. Тај временски интервал назвали су Сарос. Он има овај изванредан значај. Када се деси тотално помрачење Сунца, онда ће се оно поновити иза протекла Саросовог интервала, пошто ће се и Сунце и Месец поново наћи у пресеку својих привидних путања по небеској сфери, а Месец ће посматрачу са Земље заклонити Сунце. Исти такав период узастопности важи, као што је лако увидети, и за помрачења Месеца. Та периодичност Сунчевих, а и Месечевих помрачења, одржава се, са извесним отстапањима, преко 1000 година, да би затим уступила место једном новом циклусу. Проналазак

тог циклуса је један од најлепших плодова вавилонске астрономије. Она је имала и других и после саме пропасти вавилонског царства. О њима ћемо говорити доцније, у вези са астрономијом Александринаца.

Стара вавилонска култура доживела је у доба владавине асирских краљева своју ренесансу, а нарочито за владе споменутог Асурбанипала II који је био последњи велики владар асирског светског царства. После његове смрти ослободише се Вавилонци и основаше нововавилонску, халдејску, државу и поделише велико асирско царство између себе и Медејаца. Велика медејска држава, захватајући целу садашњу Персију, ширила се на исток све до Индуса, а на запад до половине Мале Азије до реке Халиса, данашњег Кисил-Ирмака. Нововавилонска држава била је, углавном, на Месопотамију и на Сирију. Преостали део Мале Азије заузимала је држава Лидијаца.

Године 585 пр. н. е. сукобише се Медејци и Лидијци на реци Халису. Изненадно тотално помрачење Сунца, које се десило у самом почетку боја, ули обема борбеним странама толики страх да тек започету битку прекинуше и мир склопише. Тако је лидиска држава могла да још неко време одржи своју експанзију и да под Крезом (560-546) овлада свим грчким варошима малоазиске обале са јединим изузетком града Милета. Малоазиским Грцима, поданицима лидиске државе, отвори се пут кроз Малу Азију све до некадањих центара вавилонске културе.

Ни лидиска, ни медејска, ни нововавилонска држава не беху дугог века. Већ 550 године пр. н. е. завлада перисиски кнежевић Кирос медејском, 546 године лидиском, а 539 године вавилонском државом. На рушевинама тих старих држава подиже се ново светско царство, персиско, које се распростре и над самим Египтом. Оно је, допревши до Индуса, обухватило све земље у којима се развила култура Еуфрата и Нила и спремало се да завлада насељима Грка, распарчаним у ситне државице. Но Грци одржаше своју слободу, пресадише клице старе вавилонске и египатске културе у своје крајеве, подигоше величанствену културу Антике и освојише, под Александром Великим, све државе персиског царства.

Глава друга

АСТРОНОМИЈА СТАРИХ ГРКА ДО СМРТИ АРИСТОТЕЛА

У почетку шестог века пр. н. е. пресађена су нека од геометриских и астрономских знања Египћана и Вавилонаца у Грчку. Талес Милетанин (око 630-540) био је тај који их је први донео у своју постојбину. Његови родитељи водили су своје порекло из Феникије, а настанили су се у Милету, слободном старогрчком, јонском, трговачком граду који је слао своје лађе у Егејско и Црно море и имао онде својих колонија. У Милету је и Талес живео, трговао уљем и соли, и путовао тим својим послом у Египат а вероватно и у предњу Азију. На својим путовањима упознао се, било у Египту камо је оно допрло, било другде, са халдејским учењем о периодичности Сунчевих помрачења. Само помоћу тога могао је предсказати оно помрачење Сунца које се десило 585 године пр. н. е., за време битке која се како смо чули, водила на реци Халису између Медејаца и Лидијаца. Средствима Небеске механике могло се израчунати да се то помрачење заиста ту десило и то 28 маја речене године. Претсказивање тог помрачења разнело је Талесову славу широм постојбина грчког народа који га уврсти у својих дванаест мудраца. То предсказивање било је једно од његових знања астрономије. Но он их је морао имати и више. Нека сведочанства старих писаца говоре да је знао да небеска сфера обухвата Земљу са свих страна, а то би такође посведочило његово познавање халдејске астрономије. Прича се да је умео да измери висину које египатске пирамиде из дужине њене сенке и истовремене сенке вертикалног стапа одређене дужине а одстојање лађе од морске обале, мерењем базе правоуглог троугла и оштрог угла на тој бази. Све то говори да је имао основних знања геометрије и да се бавио том науком. Био је први учитељ геометрије и астрономије међу Грцима и тиме заслужио назив мудраца.

Талесов ученик и пријатељ Анаксимандрос (611-547) учио је да небо има облик лопте а Земља, коју је замишљао у облику бубња, лебди у средишту лопте. Кажу да је изумео „гномон” вертикални високи стуб који баца сенку из чије дужине се може одредити висина Сунца над хоризонтом. Но тај најстарији астрономски инструмент био је већ одавно познат у Вавилонији, а Кинези су се њиме служили већ 1100 године п.н.е. када су онако тачно одредили нагиб еклиптике према небеском екватору. Анаксимандрова заслуга била је што је са тим инструментом упознао своје земљаке.

Већ идуће генерације стиглоше нова знања источне културе у грчке крајеве. Пред обалом Мале Азије, недалеко од града Милета где се налазила школа мудрог Талеса, лежи једно од великих острва грчког архипелага, Самос, које је како ћемо видети дало грчкој астрономији њене највеће представнике. Праседеоце тог острва, Каријце, заменили

су јонски Грци и подигли га већ у седмом веку п.н.е. до високог степена културе, искоришћујући његова рудна блага, развијајући металургију, бродограђу и трговину у толикој мери да су први од свих Грка, прошли кроз Херкулове стубове и допрли у Атлански Океан. Вредно је напоменути да је истоимени главни град острва био снабдевен изворском водом која се доводила тунелом, саграђеним већ у шестом веку п.н.е. Острво је очувало дуго своју независност и достигло врхунац своје моћи за време Поликрата (540-523), и тек његовом смрћу потпало под персиско царство, да би, победом Грка код Микале (479), дошло у састав атичког савеза.

У ондашњем независном граду Самосу родио се око године 580 п.н.е. велики грчки научник Питагора, син трговца Мнезарха. У доба Питагорине младости живео је у близини, у Милету, Талес у својој пуној снази и слави. Тешко је замислити да Питагора, жедан науке, није отишао до тог највећег грчког научника онога доба и да од њега није дознао да је Египат колевка геометрије. Но било то тако или не, сигурно је да је Питагора у својим младим годинама боравио у Египту, јер то посведочавају, више но извештаји његових биографа, његова властита учења. А биле су и остварене све могућности да мали Самнићанин стигне у земљу фараона. Од 569 године, када је Питагора навршио своју десету годину, па све до 526 године, када је прешао своју педесету, владао је у Египту фараон Амазис. Он је био велики пријатељ Грка. Ожењен двома Гркињама, Лаодиком и Себастом, живео је по грчком начину и обичају, и био окружен војском грчких најамника. Грчки трговци и насељеници долазаху без престанка у варош Наукратис на западном рукаву Нилове делте, где процвета прави бујни грчки живот. И у оно доба злато је било уредна путна исправа за све државе, а злата је било на Самосу. И зато младом Питагори не беше тешко да стигне у земљу Нила, да помоћу своје изванредне бистрине своје злато претвори у знање и да га пренесе у своју отаџбину. Ту је провео још неко време, и у својим старијим годинама пошао у аристократску грчку варош Кротон, у јужној Италији, на Јонском Мору.

Апенинско полуострво било је у оно доба још на ниском степену културе, а Рим у добу нејаког детињства, али јужне обале тога полуострва и целу Сицилију населише Грци и оденуше их плаштом грчких колонија, Посидоније, Елеје, Кротона, Сибариса, Тарента, Сиракузе, Акрагаса и Селинунта. У Елеји је вршњак Питагорин, Ксенофанес, основао филозофску школу Елеата, а његов ученик Парменидес стајао је у вези са Питагорејцима. Тако називамо ученике Питагорине школе у Кротону, која је, поред научних циљева, имала и других и била нека врста етичке заједнице. Њен основатељ, Питагора, није ништа написао већ се задовољавао усменим, строго поверљивим, саопштењима, због чега је сада тешко одредити која учења те школе су била чедо Питагорина, а која његових ученика. Сигурно је да је наука геометрије, изграђена у тој

школи, сазидана на темељу оних знања што их је Питагора донео из Египта. То важи, пре свега, за Питагорино правило. Он је у Египту сазнао да је троугао са странама 3, 4, 5 правоугаон и увидевши да је збир квадрата првих двају тих бројева једнак квадрату трећег, поставио питање да ли постоје и други цели бројеви који задовољавају тај услов, и да ли су троугли, оличени тим бројевима, правоугли. Тај проблем решен је у Питагориниј школи и нађено је опште правило за изналажење таквих бројева који су касније названи питагорејским бројевима. Кад се увидело да су троугли, оличени тим бројевима, заиста правоугли, доказано је Питагорино правило и за све друге правоугле троуглове. У случају равнокраког правоуглог троугла може се Питагорино правило доказати на најједноставнији начин, јер чим се повуку по једна дијагонала у квадратима над катетама, а обе дијагонале у квадрату над хипотенузом види се да су она прва два квадрата рашчлањена у по два, а онај трећи у четири троугла који су сви међусобно конгруентни, тако да је Питагорино правило очигледно.

Но баш тај најједноставнији случај доказа Питагориног правила довео је Питагорејце до једног новог сазнања кад су се упитали у којој размери стоје катета и хипотенуза тог равнокраког троугла и када су доказали да се та размера не може изразити ни целим бројем ни разломком.

Да се зауставимо на овом једном примеру да видимо колика је разлика између геометриског знања што га је Питагора донео из Египта и знања створених у његовој школи.

Египатска геометрија била је практична вештина, стечена хиљадугодишњим искуством, Питагора и његови ученици начинили су је науком. Својим слободним и смелим духом имали су Грци изванредну способност апстракције, дубоког научног размишљања и дедукције. Само тим својим особинама успели су да докажу инкомензурабилност катете и хипотенузе равнокраког правоуглог троугла. До тог сазнања не би се ничим и никада могло доћи практичним искуством. Грци су се од египатског емпиризма успели до рационалне науке; нису премеравали већ размишљали, постављали опште априористичке ставове и из њих изводили логициним путем своје закључке.

Све се то види и из осталих геометриских учења Питагорејаца. Они су схватили апстракцију неименованог броја, начинили су га симболом и принципом стварности, а његову теорију развили без циља практичне примене. Увидели су да се збировама целих бројева $1+2+3+4\dots$ добијају бројеви 3, 6, 9... који се могу оличавати троугластим распоредом, а да се збиром непарних бројева $1+3+5+7\dots$ добијају редом сви квадрати 1, 4, 9, 16... целих бројева. Познавали су аритметичке и геометриске редове, хармоничне размере и нашли их остварене у хармонији звукова. Познавали су основне особине паралелних линија и троуглова, нашли су, саставили и проучили све паралелне полиедре, док су источни наро-

ди познавали само коцку, тетраедар и октаедар. Све своје геометриске ставове изводили су расуђивањем и доказивали логичким разлозима.

Питагорејци су се бавили и астрономијом. И ту су били чисти рационалисти. Увидевши да је лопта најсавршенији геометриски облик на којем се ниједна тачка површине ничим не одликује од осталих, учили су да је небески свод лоптастог облика, а исто тако и наша Земља, па и планете. Смело су повукли и све конзеквенције из тога учења: да се у простору васионе не може поставити питање шта је горе, шта је доле, да Земља лебди у том простору, да је насељена унаоколо, да постоје, дакле, антиподи. По њиховом првобитном схватању, Земља заузима средиште васионе; око тог средишта обрће се кристална сфера звезда некретница, а у овој се, повлачене том сфером, обрћу седам даљих концентричних сфера од којих свака носи по једно од седам покретних небеских тела: Месец, Меркур, Венеру, Сунце, Марс, Јупитер и Сатурн. Тим небеским телима наденули су грчка имена својих богова, која су касније замењена римским, како их сада употребљавамо. Та лоптаста небеска тела крећу се равномерном брзином по кружним путањама, јер само круг и лопта су довољно савршени да одговоре божанској природи тих небеских тела и њиховом вечитом једноликом кретању. Питагорејци су још учили да полупречници оних кристалних сфера стоје у једноставним, хармоничким, размерама, а да једна, нама нечујна, музика сфера употпуњава ову хармонију васионе, назване лепим именом „Космос”.

Тај Питагорејски систем света био је, пошто је ставио Земљу у средиште васионе, геоцентричан. Но већ у самој тој школи, прогнаној из Кротона и растушеној у разне крајеве Грчке, отпоче постепени развитак тог система у правцу ка хелиоцентричном. Филолаос, Питагорејац, који је пред крај петог века п.н.е. живео у Теби, померио је Земљу из средишта васионе да би у њ ставио нејасно дефинисану Централну Ватру, а друга два Питагорејца, Хикетас Сиракузанин и Екфантос, учили су да се Земља обрће око своје осе, чиме изазива смену дана и ноћи, и услед чега, дотле замишљено, обртање сфере звезда некретница постаје непотребно, па је зато треба сматрати непомичним.

Учења Питагорејаца стиглоше у Атену у најсјајније доба њено, у доба Периклово. Баш онда би уређен и грчки календар који је дотле био у великом нереду. Грци су, као многи стари народи, удешавали свој календар према Месечевим менама, као што то цине још и сада Мухамеданци и Јевреји. Ипак се код њих показала потреба да се тај Месечев календар доведе у склад или у одређен однос са тропском годином. Но то није лака ствар. Дужина једног синодичног месеца, од мене до мене, износи $29^d 12^h 44^m 3^s$, па је било потребно наћи један одређен збир тих синодичних месеца који би био једнак једном целом броју дана и целом броју тропских година. То питање решио је, користећи се вероватно искуствима Халдејаца, атењанин Метон на овој бази. 235 синодичних месеци дужи су само за $2^h 5^m 43^s$ од 19 тропских година, због чега се после

истека од 19 година добије нова подударност између Месечевих мена и Сунчевог тока. У том интервалу, који се зове Метонов циклус, могли су се распоредити месеци и године, па га онда бескрајно пута понављати. Тај циклус очувао се и у нашем црквеном календару где се број 19 зове златним бројем и употребљава за одређење датума Ускрса.

Учитељ Периклов, Анаксагора из Клазомене (око 500-428), најстарији атенски филозоф, много је путовао и упознао Атењане са науком Питагорејаца и учио још да Месец захваљује Сунцу своју светлост и своје мене. Оптужен због оваквог учења за кривобоштво, спасао се смртне казне само на заузимање Перикла.

И велики филозоф Платон (429-348), из старе атенске породице, познавао је учења Питагорејаца. Прича се да је списе Филолаоса набавио за тешке паре, а зна се да је био двапут на Сицилији и у Јужној Италији где је ступио у везу са Питагорејцима, а нарочито са Архитасом, најистакнутијим од њих. Ваљда се и због тога бавио у својим списима и питањем кретања небеских тела и најважнијим од њих: да ли Земља мирује или се креће. Бас у том питању он је толико нејасан да се филозофи, филолози и астрономи већ више од сто година узалудно препиру о томе ста је Платон уствари мислио о непокретности или о кретању Земље. Изгледа да, намерно нејасан, није хтео да саопшти своје право мишљење, ако га је уопште имао, да га не би стигла судбина Анаксагоре и Сократа.

И Платонов ученици бавили су се питањем кретања небеских тела. Платонов и Аритасов ђак Еудоксос са Книда (409-356) који се на својим путовањима упознао и са астрономијом источних народа, увидео је да је пажљиво посматрање кретања небеских тела - посао што га је Платон омаловажавао - први предуслов за упознавање система света. Прикупивши о том кретању података у Египту и вршећи сам посматрања, увидео је да осам концентричних сфера Питагорејаца не могу растумачити кретања планета која показују велике неправилности и мењају за дуже или краће време правац свог уобичајеног хода. Да би та компликована кретања геометриски предочио и растумачио, увећао је Еудоксос број Питагорејских сфера, тиме ш је свакој планети доделио, место једне, више таквих сфера које су имале заједнички центар у средишту Земље. Једна од тих сфера уочене планете обртала се око небеских полова и предочавала дневно кретање неба, идућа сфера, смештена у тој првој, предочавала је кретање планете у њеној путањи, које је било противног смисла кретању прве сфере; трећа сфера предочавала је синодично кретање планете итд. Евдоксов систем имао је 27 таквих хомотричних сфера и био неко време на добром гласу, али кад су га Калипос, а затим Аристотелес употпунили новим сферама, тако да их је при крају било 49, постала је извештаченост тог система очигледна.

Други један Платонов ученик Хераклеидес Понтикос (око 390-310) је учио, као и напоменуто два Питагорејца Хикетас и Екфантос, да се

Земља обрће око своје осе, и тиме изазива промену дана и ноћи, да око ње обилази Месец и Сунце, а око Сунца да се крећу остале планете или бар Меркур и Венера, које се на небу никада не удаљују много од Сунца, већ врдају око њега. То учење Хераклеида претставља први одлучни корак од геоцентричног система Атенске школе у правцу ка хелиоцентричном. Но развитак науке о васиони би пресечен држањем трећег Платоновог ученика, славног Аристотела.

Аристотелес се родио 384 године пр. н. е у Стагири од оца Никомаха, дворског лекара македонског краља Аминта II. После смрти свога оца дошао је као 17-годишњи младић у Атену да ступи у Платонову школу, али је морао ту да чека док се Платон није вратио из Сиракузе, где је поново, но узалудно покушавао да спроведе у живот своје принципе о најбољем уређењу државе. Седамнаест година био је Аристотелес ученик Платонов. После смрти свог учитеља оде у Атарнеус, а затим у Митилену. Ту доби од македонског краља Филипа позив да буде васпитач његовог сина. Четири године био је учитељ Александров. Кад овај поста пунолетан, оста Аристотелес још три године на краљевском двору у Пели. За то време изгубише Грци, битком код Хајронеје, своју независност, Филип би убијен, Александар се попе на краљевски престо и пође, као врховни вођ Македонаца и Грка, на свој велики поход у Азију и Африку. Док је он онде стварао своје велико царство, створио је Аристотелес у Атини своју школу, у Ликејону, тако названом по суседном храму Аполона Ликејона. Ту је, шетајући се по њој горе доле, учио своје ђаке, због чега се та школа назива перипатетичком. Ту је написао своја дела о спознању света. Само дванаест година држао је Аристотелес своја предавања, јер чим стигне у Атену глас о смрти његовог питомца Александра, мораде он, оптужен од својих завидљиваца и непријатеља, напустити незахвалну варош, да се она, као оно са Сократом, не би поново огрешила о филозофију. Умро је у Халкију, на Еубоеји, 322 године.

Скоро две хиљаде година био је Аристотелес највећи научни ауторитет, Сунце науке, које је својим светлом надасјало све остале њене звезде. Зато је и његово мишљење о положају и о кретању Земље у васиони било вековима пресудно. Он се, без икаквог околишења, определио за геоцентрични систем, са непомичном Земљом у средини васионе. То своје мишљење образлажавао је овако. Да се Земља налази у средишту васионе, на то нас упућује, пре свега, појава теже. Све што је тешко, тежи ка центру света, а и сама Земља стремилa би онамо кад се не би већ онде налазила. Налазећи се онде, Земља мирује, јер када би се обртала или иначе кретала у простору, мењало би се наше отстојање од појединих звезда, па би се некимa од њих приближавали, а од неких удаљавали. А то би се одражавало у њиховом привидном положају који би се морао мењати услед тог нашег кретања.

Ово учење великог филозофа којим је пресекао започету изградњу

хелиоцентричног система, не смемо, ипак, огласити за ненаучно. Не, већ због тога што је Аристотелес, у опреци са мистичким расуђивањима Питагорејаца, цео проблем облика и кретања небеских тела ставио на чисто научну основу. Он је, пре свега, убедљивим научним разлозима доказао да је Земља, заиста округла, позивајући се на то да је, при сваком по-мрачењу Месеца, Земљина сенка, бачена на Месец, ограничена кружном линијом, што је могуће само при лоптастом облику саме Земље. Овом доказу додао је још један. Из појаве звезда над хоризонтом следује да је Земља округла и да није баш претерано велика, јер кад пођемо ка југу или ка северу, мења се изглед звезданог неба над хоризонтом осетно, тако да звезде које су пролазиле кроз теме небеског свода туда више не пролазе. Исто тако виђају се у Египту или на Кипру многе јужне звезде које се у севернијим крајевима никад не појављују на небу, а друге, на северу посматране звезде, остају стално изнад хоризонта, док у јужним крајевима оне залазе под хоризонт као и остале.

И ово сазнање Аристотелово било је врло значајно. Оно омогућава да се из њега одреди величина наше Земље. Њиме се, две стотине година доцније, послужио Родијак Посејдонис (135-51), учитељ Цицеронов. Видећи да се најсјајнија звезда јужне хемисфере, Канопис, таман још појављује над хоризонтом Родоса, на којем је Посејдонис вршио своја посматрања, а знајући да се она у Александрији уздиже за 48-ми део пунога круга изнад хоризонта, он је из отстојања Родоса од Александрије, које износи 5000 стадија, израчунао да је опсег Земљиног меридијана једнак $48 \times 5000 = 240.000$ стадија. То израчунавање Посејдонијево, које овде узгред спомињемо, извршено је после Ерастотеновог премеравања Земље о којем ће још бити говора. Ваљда се и сам Аристотелес послужио оним својим расуђивањем кад је саопштио да Земљина лопта има опсег од 400.000 стадија, тј. каквих 74.000 километара. Како стварни опсег Земљиног меридијана мери 40.000 километара, не може се Аристотелов број сматрати тачним, али он је дао прву позитивнију претставу о величини наше Земље, а из ње су се развијали нови погледи на свет и нови закључци. Један од њих, који се наметао сам од себе, био је овај. Кад би се Земља заиста обртала из дана у дан око своје осе, свако место њене површине учествовало би у том кретању. Чим се добила прва, ма и приближна, слика о величини Земље, следовало је обичним рацуном да би брзина којом би се тле кретало од запада ка истоку била толико огромна да би оно при сваком нашем скоку увис истрчало испод наших ногу, а сваки предмет би у свом паду на Земљу заостао далеко према западу док би стигао до тла. Ово, на први поглед сасвим исправно, расуђивање створило је други јак аргуменат против могућности кретања Земље.

Тако се, већ при првом дубљем размишљању о могућности кретања Земље појавише два силна аргумента против те могућности. Један од њих о којем ћемо доцније још говорити, а који се оснивао на томе да

се међусобни положај звезда, како га са Земље виђамо, не мења и није се у току дугих векова, од халдејских времена, никако променио, зове се, научно, одсуство годишње паралаксе звезда некретница. Таква паралакса није, поред свих напора астронома, могла бити констатована све до у деветнаести век наше ере. Други од аргумената против кретања Земље могао се обеснажити тек постављањем принципа инерције, а то је учињено тек у седамнаестом веку. Зато је Аристотелово мишљење одговарало, не само ондашњем стању науке, већ и њеном стању дуго иза њега. Његова је заслуга што је проблем о кретању Земље бар јасно формулисао, а то је био први основ за његово касније решење.

Аристотелес је имао и других заслуга за развитак астрономске науке. Његов учитељ Платон, претеран рационалиста, живецу у свету идеја и презирући све што је материјално, имао је чудне појмове о позиву астронома. О томе је, између осталог, рекао ово: „За праве астрономе не сматрам оне који, као Хезиод и други надриастрономи, посматрају излазе и залазе звезда и небеске појаве тому сличне, већ оне који су открили небеске сфере и њихову хармонију, што је једино, достојно човека, просвећеног духом богова”.

Искуство, материјална стварност и њено проучавање нису, по мишљењу Платона, били достојни правог филозофа. То његово мишљење било је прихваћено од многих и дуго се одржало. Плутархос је, на пример, морао да, у неку руку, извињава Архимеда што се, као инжињер, бавио материјалним стварима, говорећи да је то чинио само онако узгред. Платонов став био би кобан по развитак науке да се његов ученик није еманциповоао од тог једностраног мишљења свог учитеља и изобразио се од чистог филозофа и за природњака. Аристотелес је увидео вредност посматрања испитивања природних појава и у области астрономије. Свом унуку Калистену, који је са Александром Великим пошао у Азију, наредио да у Вавилону прикупи записе о астрономским записима Халдејаца. Прича се да су ти записи уручени Александру када је свечано ушао у Вавилон, а оданде су стигли у александријску библиотеку. Ти записи били су један од темеља славне александријске библиотеке о којој ћемо сада говорити.

Глава трећа

АЛЕКСАНДРИСКА ШКОЛА
ДОБА АРИСТАРХА И АПОЛОНИЈА

Када је Александар Велики освојио персиско царство подигао је 332. године пр. н. е на морској обали Египта нову једну варош која доби његово име. Када је, девет година иза тога, занавек склопио своје очи, распаде се његова огромна држава коју његове војсковође поделише између себе као какав ратни плен. Најпросвећенији од њих, Птолемајос, син Лагија, доби при тој деоби Египат, узео краљевску титулу и одабра Александрију за своју престоницу. Она за сто година постаде најлепсом вароши, трговачким и духовним центром старог света.

Владавине првих трију Птолемајоваца - сви наследници првог носили су његово име - Птолемаја I, названог Сотер (323-285). Птолемаја II, названог Филадельфос (285-247) и Птомелаја III, названог Евергетес (247-222), обухватиле су цео један век и претстављале златно доба александриско. Док су остале државе дијадоха, наследника Александрових, биле постресане грађанским борбама и ратовима, Птолемајовски Египат уживао је, скоро без прекида, све благодети мира, материјалног богатства у духовног развоја. Александрија поста копач између истока и запада, не само као пристаниште у којем се укрштала трговина старог света, већ и као зборно место научника. Беспрекидним немирима по осталим покрајинама Александровог царства протерани са својих огњишта, нађоше они уточиште и гостољубив дом у александриском Музејону. Основао га је већ Птолемајос Сотер, а његов син Филадельфос знатно га је проширио, снабдео зградама за боравак и рад научника, где су се они, ослобођени свих материјалних брига, могли потпуно посветити великом циљу да Александрију начине духовним средиштем држава дијадоха. У том Музејону подигао је Филадельфос и велику александриску библиотеку у којој се, у току трију векова, прикупљаху сва духовна блага не само грчког, већ и осталих културних народа старог века. Било је ту око пола милиона труба рукописа, плочица, таблица и пергамената. Грчка научна и лепа литература била је потпуно заступљена, било у оригиналима, било у преписима. У каталогу библиотеке прибележено је 146 списа Аристотелових. У њој се налазиле и прибелешке о астрономским посматрањима Вавилонца, па су се њима могли користити александриски астрономи. Колико је далеко ишло настојање руковођа библиотеке да у њој прикупе духовне тековине свих народа истока, види се и по томе што је за време владавине Филадельфоса стари тестамент Јевреја помоћу седамдесет преводиоца преведен на грчки језик, добио по том броју преводиоца назив септуагинте и постао саставни део хришћанске црквене литературе.

Сви услови за плодно научни рад били су остварени у александриском Музејону, библиотека, скуп првокласних научника, њихова осигу-

гурана егзистенција, њихова размена мисли, сарадња, па и узајамно такмичење. Ти научници могли су се непосредно користити и, као што ћемо видети, служили су се знањима Египћана и Вавилонца, јер је стари Вавилон дошао под власт Селеуковаца, наследника једног од војсковођа Александрових, а са том државом стајала је Александрија у живом трговачком и духовном саобраћају. Поход Александра на Индију довео је државе диадоха у везу и са Индијцима и њиховим знатним тековинама на пољу математике и астрономије. Нас садашњи начин писања бројева, који се зове арапским, индиског је порекла. Зато је ученост Александријаца добила значај светске учености и зато је могла да прикупи знања старог света и да се успне до неочекиване висине.

Александрински Музејон имао је, као скуп научника, карактер насих садашњих Академија наука, а као васпиталиште млађих, задатак наших Универзитета. Узме ли се у обзир временски размак који нас дели од Александријаца, може се, без претеривања, рећи да је он својим космополитским замахом и својим научним тековинама надмашавао све наше Академије и Универзитете. Већ у самом свом почетку, стајао је на таквој висини. Међу првим наставницима те високе школе, још за време владавине првог Птолемаја, налазио се и геометричар Еуклид. О његовом животу знамо, иначе, врло мало; не знамо где и када се родио и када је умро. Али је сигурно да је био ђак Платонове Академије. У њој је геометрија стресла са себе све своје некадање емпиријске елементе и, тако пречишћена, постала априористичка наука, сазирана на неколицини опште признатих ставова, аксиома. У том духу написао је Еуклид своје „Елементе” а дефиниције које се налазе у самом почетку њиховом, сачинио је већ сам Платон. Својим „Елементима”, систематским уџбеником који је обухватио сва дотадања знања геометрије, постао је Еуклид учитељем те науке и свима потоњим нараштајима, јер ниједан од удџбеника геометрије, написаних пре њега, није се могао одржати, а после њега није учињен ни покушај да се другом којом књигом прикупе елементи грчке геометрије. Више од 1700 издања Еуклидових „Елемената” изашло је до данас из штампе, а нова издања још увек придолазе. Такав успех није имало до сада још ниједно научно дело. Више од две хиљаде година били су Еуклидови „Елементи” еванђеље елементарне геометрије, а у конзервативној Енглеској то су још и сада. Сам Исак Нјутн васпитао се на њима и они су му били узор и када је писао своје бесмртно дело. То нам најочигледније предочава високи степен Велике Школе александриске, већ у самом њеном почетку.

Но не само геометрија, него и астрономија стајала је у александриској школи на високом ступњу већ у доба њеног оснивања. Еуклидови савременици, астрономи Тимохарис и Аристил, отпочеше посматрањем неба, систематичније но што се пре њих икада чинило у грчким крајевима. Нарочитим астрономским инструментима, такозваним армилама, одређивали су положаје звезда на небеској сфери и саставили каталог

тих звезда по њиховим сферним координатама. Инструменат којим су се служили, начин премеравања сферних координата звезда, које су се односиле на небески екватор и на пролетњу тачку, показује да је рад ових двају Александријаца био, уствари, наставак рада старих Халдејаца, тачност коју су при своме послу постигли била је толика да се, као што ћемо видети, из њиховог каталога могло касније установити постепено померање равнодневица.

За време владавине Птолемаја II Филаделфа предавао је и александриској школи, посматрао небо и писао своја научна дела највећи астрономски геније старог века Аристархос са Самоса. О његовом животу знамо врло мало, а ево шта. Зато што су га звали Самнићанином, сигурно је да се родио на оном истом острву грчког архипелага на којем је и Питагора угледао свет. Диогенес Лаертиус извештава да је Аристархос био ученик Стратона из Лампсака. Знамо да је Стратон, непосредно после смрти Аристотеловог ученика и наследника Теофраста, преузео управу атенске перипатетичке школе око године 284 пр. н. е. Пошто Клаудиос Птолемајос напомиње и употребљава у свом великом астрономском делу, о којем ћемо касније говорити, и једно Аристархово посматрање неба, извршено после године 280 у Александрији, и пошто том приликом говори и о школи Аристарховој, сигурно је да је те године Аристархос, као млади наставник, онде од недавна боравио, поучавао и бавио се посматрањем неба. Како је, напоследку, Клеантес своју историски утврђену оптужбу против Аристарха, о којој ћемо још говорити, подигао као управник атенске филозофске школе стоичара, а он је на тај положај дошао тек око године 264, могао се тај његов испад против Аристарха десити тек те године или нешто доцније. Зато се све што се зна о животу великог астронома александриског изражава укратко овом реченицом: „Аристархос са Самоса, рођен после 310 године пр. н. е. живљао и дејствовао у Александрији између година 280 и 260 пр. н. е.; не зна се где је и када је умро”.

То је све што знамо о животу Аристарховом. Но о његовом научном раду знамо много више.

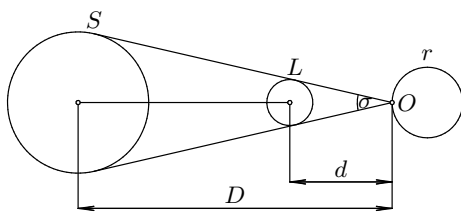
Од списка Аристархових сачувало се у потпуности једно мало, али значајно делце „О отстојањима Сунца и Месеца”, благодарећи томе што је ушло у збирку уџбеника александриске Велике Школе, па је због тога и било много пута преписивано. Први пут отштампано године 1499, доживело је оно, у латинским, енглеским и немацким преводима, више издања.

Садржај овог списка Аристарховог изложићемо најочигледније помоћу приложене три слике, служећи се при томе нашим данашњим математичким језиком. У тим сликама предочени су Земља T , Месец L и Сунце S у три разна међусобна положаја. У слици 1 предочени су они у оном положају у којем се та три небеска тела налазе при тоталним помрачењима Сунца. Како таква помрачења трају само неколико мину-

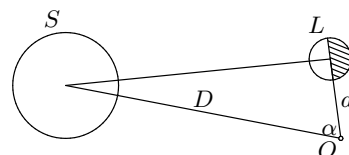
та, конус сенке што је Месец баца на Земљу таман да додирује Земљину површину, како је то на слици предочено. То значи да Сунце и Месец имају исти привидни пречник σ , што се може доказати и директним визуелним премеравањем њихових привидних пречника. Означимо ли, дакле, стварни пречник Сунца са S , а његово отстојање од Земље са D , стварни пречник Месеца са L а његово отстојање од Земље са d , онда следује из слике

$$S : L = D : d.$$

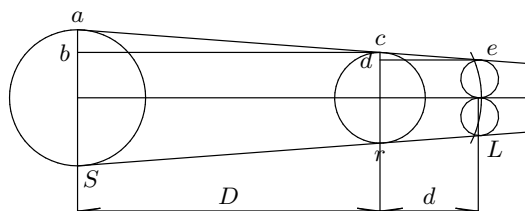
У слици 2 претстављени су Сунце, Месец и Земља у оном међусобном положају у којем је Месец осветљен Сунчевим зрацима тачно



Сл. 1



Сл. 2



Сл. 3

до своје половине. У том случају стоје праве које спајају Месец са Земљом, односно са Сунцем, управо једна на другој. Троугао, ограничен овим небеским телима је правоугли, а његов прави угао лежи на Месецу. Ова чињеница изражена је нашим садашњим математичким језиком једначином

$$d : D = \cos \alpha$$

где је α онај угао што га затварају зраци повучени из места посматрачевог према Сунцу односно Месецу. Тај угао претставља и лучно отстојање Сунца и Месеца у уоченом тренутку.

На слици 3 предочени су Сунце, Земља и Месец у оном међусобном положају при којем се дешава тотално централно помрачење Месеца,

када Месец пређе кроз осу конуса Земљине сенке како је то на слици претстављено. Аристархос је, посматрајући такво помрачење Месеца, измерио време које је било потребно да се Месец потпуно замрачи, тј. да уђе у Земљину сенку, а затим је измерио и време боравка Месечевог у тој сенци. Нашао је да су та два времена међусобно једнака. Одатле је следовало да је пречник попречног пресека Земљине сенке, на оном месту на којем је Месец, при свом тоталном и централном помрачењу, кроз ту сенку прошао, два пута толико колики је пречник самог Месеца. Због великог отстојања Земље од Сунца, конус Земљине сенке толико је шиљаст да је пречник његовог пресека на овом месту где тај конус додирује Земљу скоро сасвим једнак пречнику T Земље, а онде где додирује Сунце, једнак пречнику S Сунца. Из свега овога и из слике следује из сличности троугла abc и cde ова једначина

$$(T - 2L) : (S - T) = d : D.$$

Аристархос је измерио и онај угао који смо означили са α исто тако и привидни пречник σ Сунца, односно Месеца. Тај, лучном мером мерени, пречник је изванредно мален, због чега је:

$$\sigma = S : D.$$

Добијене су, дакле, четири предње једначине у којима су A и B одређени мерењем, па се дужине D , d , S , L могу изразити (помоћу пречника T Земље.

На тај начин је Аристархос пронашао исправан геометрички метод да се Земљиним пречником премере отстојања Сунца и Месеца и величине тих небеских тела.

Практично искоришћење ове генијалне замисли Аристархове налази на огромне тешкоће са којима ћемо се упознати кад будемо говорили о измеравању Сунчеве паралаксе које је потпуно успело тек крајем деветнаестог века када су астрономи располагали довољним техничким средствима за такав подухват. Но у доба Аристархово то, није био случај. Голим оком, без догледа, без хронометра и без инструмената за тачно премеравање углова, није се могла измерити та паралакса. Без тих средстава Аристархос није био у стању да тачно одреди овај тренутак када је Месец био напола осветљен или како је он то казао, када се налазио у дихотомiji, да би баш у том тренутку одредио лучно отстојање Сунца и Месеца на небеској сфери. Премеравање тог отстојања испало му је прилично нетачно (87° уместо $89^\circ 51'$), а исто тако и премеравање привидног пречника Сунчевог (2° уместо $32'$, да би касније, као што то Архимедес саопштава, нашао скоро тачан резултат од $30'$).

Но поред свих тих материјалних препрека на које је Аристархос наишао при том првом стварном премеравању космичких тела и дистанци, његови резултати су били од изванредног значаја, јер су превазишли далеко све дотадање претставе о величинама и отстојањима небеских тела.

Они су показали да је Месец велико космичко тело, 22-и део Земљиног, а његово отстојање од Земље да мери 81 полупречника Земљине кугле, казивали су још и то да је Сунце далеко веће од Земље, бар 312 пута толико, а његово отстојање од Земље да мери 1550 полупречника Земљине лопте. Земља је дошла на нижи ранг међу небеским телима, далеко нижи него што се то до тада мислило. А Аристархос је био ум да из тих нових сазнања извуче још далеко замашније закључке, да смисли и сазида свој хелиоцентрични систем света.

Од списка којима је Аристархос поставио и образложио тај свој систем није се очувао ни сам наслов, но о њему нас извештавају неколико старих писаца са толико појединости да га можемо не само реконструисати, већ и уживети се у Аристархов ток мисли при изради тог система.

Он је, премеривши космичке дистанце, могао да ка крилима свога генија полети у васиону, да остави далеко за собом Земљу, Месец, Сунце и све покретне звезде. Да види малу Земљину куглу и стотинама пута веће Сунце које се, према дотадањим схватањима, кретало у кругу око Земље. И у његовој глави синула је силна замисао: Не обилази Сунце око Земље, већ Земља око Сунца.

Аристархос је помно испитао то своје хелиоцентрично становиште да провери да ли се оно може довести у сагласност са посматраним чињеницама. Уверио се да, уз претпоставку да Сунце мирује, а да се Земља креће око њега у кругу, опет се све дешава како то посматрамо у току године. Заиста, ако се Земља креће око Сунца, онда се Сунце мора у току године кретати привидно по небу, јер ми га, обилазећи са Земљом око њега, виђамо у току године на разним местима звезданог неба.

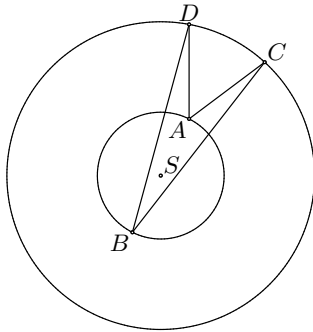
При овом свом обилажењу око Сунца, Земља се обрће од запада према истоку, како су то учили Питагорејци Хикетас и Екфантос. Услед тог обртања чини нам се да се небеска сфера обрће свакодневно од истока према западу. То кретање небеске сфере само је привидно. Та сфера је, уствари, непомична.

Ускоро му поста јасно да се и сам ток годишњих доба, проузрокован нагибом еклиптике према небеском екватору, може неусиљено објаснити његовом хелиоцентричном замисли. Јер ако Земљин екватор затвара са равни Земљине путање угао једнак нагибу еклиптике, онда из те претпоставке произилази цео механизам смене годишњих доба.

Но Аристархос се није зауставио на овим расуђивањима. Он је увидео, а вероватно и од других познавао, онај силни аргуменат против могућности кретања наше Земље, који је никао у Аристотеловој школи: Када би се наша Земља, заиста, кретала у простору, то би се неминовно морало одражавати на међусобном положају звезда некретница.

Зауставимо се на овом аргументу и прихватимо при томе схватање старога света, различито од нашег садашњег, да се звезде некретнице налазе причвршћене на њиховој сфери. Нека нам у слици 4 спољни круг CD претставља ту сферу некретница, у чијем се средишту, према

Аристарховом схватању, налази непомично Сунце S . Унутарњи круг AB нека нам претставља кружну путању Земље око Сунца.



Сл. 4

би се одражавати кретање Земље око Сунца, а то није био случај.

Обдарен ненадмашном интуицијом, Аристархос је обеснажио тај јаки аргуменат против хелиоцентричног система генијалном замисли да се најудаљенија небеска тела, звезде некретнице, налазе у толико огромном отстојању да је полупречник Земљине путање око Сунца бесконачно мален према полупречнику сфере звезда некретница, па да због тога не виђамо у току године те звезде у разним привидним међусобним отстојањима.

Због пресудне важности онога што смо до сада изложили о Аристарховом учењу, потребно је да дословце саопштимо и сва до сада очувана сведочанства о томе.

Једно од тих сведочанстава налази се у Плутарховом спису „De facie in orbe lunae”. Оно има овај текст. Немој драги мој, да нам обесиш о врат парницу због безверја као што је то некад учинио Клеантес, позивајући целу Грчку да оптужи Аристарха Самнићанина због тога што је хтео да помери свети центар васионе и, да би објаснио небеске појаве, зауставио небо звезда некретница, а нашу Земљу упутио да се креће по кругу, нагнутом према небеском екватору, и да се у исти мах, обрће око своје осе”. Овде је, у једној реченици, садржана суштина Аристарховог хелиоцентричног система. Шта је овде још недовољно изражено, допуњено је другим важним сведочанством великог геометра Архимеда, млађег савременика Аристарховог. У Архимедовом спису „Псамит” (Рачун о зрнцима песка) налази се ово место. „Ти знаш, краљевићу Гелоне, да астрономи васиону сматрају лоптом чији центар лежи у средишту наше Земље, а чији пречник је једнак отстојању Сунца. То је уобичајено учење, како га познајеш из дела астролога. Али Аристархос Самнићанин извео је из својих претпоставки да је свет много већи но што се мисли. Јер он претпоставља да су све звезде некретнице, па и само Сунце, непомични, да се Земља креће око Сунца као центра, и да је сфера звезда некретница, чији центар лежи такође у Сунцу, толико огромна да крут што га Земља описује стоји према њој у истој размери као средиште

једне лопте према њеној површини”. Из ових сведочанства следује да је Аристархос учио: - да (је сфера звезда некретница непомична, а њено средиште да лежи у Сунцу, - да се око Сунца креће Земља по кружној путањи, - да се Земља обрће око своје осе, - да је та оса нагнута према равни Земљине путање, - да је полупречник сфере звезда некретница бесконачно велики према полупречнику Земљине путање око Сунца.

У овим сведочанствима не говори се о кретању планета, али је несумњиво да је Аристархос, пошто је ставио Сунце у центар васионе, морао претпоставити да се и планете крећу по кружним путањама око тог средишта, тим пре што је већ Хераклеидес Понтикос то претпостављао у погледу Меркура и Венере. Из ових сведочанстава видимо да је Аристархос знао за аргуменат Аристотеловаца против хелиоцентричног система и обеснажио га својом тврдњом: При упоређењу са димензијама сфере некретница, Земљина путања обична је тачка.

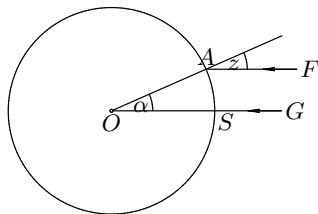
Овим речима Аристархос са Самоса обухватио је и објавио бесконачност васионе. Две хиљаде година требало је човечанству да те речи схвати и њихову истинитост докаже. Није, дакле, чудо што га његови савременици не разумеше, како нас о томе извештава Плутархос: Клеантес позва целу Грчку да се дигне против Аристарха. Шта се после тога са њим догодило, како је свршио, не зна се.

Аристархос имађаше, ипак, својих присталица и следбеника. О једном од њих, Селеуку из Селеукије, који је живео око половине другог века пр. н. е., каже се да је не само прихватио, већ и доказао Аристархов систем. Како се његови списи нису очували, не знамо којим новим аргументима је подупро хелиоцентрични систем. Интересантно је да Селеунос не беше Грк, већ Халдејац. Живео је у Халдеји ка персијском заливу и имао онде прилике да посматра плим и осеку мора, која се иначе једва опажа на Средоземном Мору. Учио је да Месец обилази око Земље и ствара плим, што је, уствари, тачно.

Александријској школи припада и слава првог премеравања Земљине лопте. Извршио га је Ератостенес (276-194), управник александриске библиотеке. Родио се у Кирени, учио у Александрији и Атени, одакле га Птолемајос Филадельфос позва у Александрију. Бавио се и математиком, астрономијом, хронологијом и географијом. Премеравање Земље извршио је на овај начин.

У Сијени, данашњем Асуану у јужном Египту, налазио се дубоки један бунар у којем се Сунце огледнуло само једанпут у години, о подне најдужега дана. Оно се у том тренутку попело у сам зенит тога места и његови зраци били су тада управљени тачно према центру Земље, како је то предочено у приложеној слици 5, где S означава положај Сијене на Земљиној кугли. У Александрији, северно од Сијене, предоченој у слици тачком А, Сунце се никад не пење до зенита, већ се у свом највишем положају, о подне најдужега дана, види удаљено од александриског зенита за угао z који се у астрономији зове зенитским отстојањем. Како је,

као што је Аристархос доказао, отстојање Сунца од Земље преко хиљаду пута веће од полупречника OA Земље, а још далеко веће од отстојања AS Сијене од Александрије, то су праве AF и SG које спајају Александрију односно Сијену са Сунцем скоро сасвим паралелне, јер затварају сасвим сићушан угао. Због тога је зенитско отстојање z Сунца када је оно у Александрији најближе зениту, једнако углу α што га међусобно затварају полупречници Земље OA и OS повучени према Александрији односно Сијени. Измери ли се, дакле, угао $z = \alpha$ и отстојање AS Сијене од Александрије, може се израчунати опсег Земље; он је толико пута већи од отстојања AS колико је пута пуни угао већи од угла z .



Сл. 5

Ератостену је било познато отстојање Сијене од Александрије, измериле су га краљевске путовође и нашли да има дужину од 5000 стадија. За мерење зенитског отстојања z стајала су му потребна средства на расположењу. У звездарници Музејона употребљавао се при мерењу зенитског отстојања Сунца један мали

дрвени инструмент, назван скафион. Конструисао га је још Аристархос, а изгледао је као издубљена чинија, чија шупљина је образовала тачну полукуглу. Са дна те чиније па до центра полукугле издизао се вертикално у вис мали штапић; на унутрашњој површини чиније били су урезани хоризонтални упоредни кругови, а бројевима је било назначено њихово лучно отстојање од подножја штапића. Тај број упоредника кугле до којег је стизала сенка штапића давао је, дакле, зенитско отстојање Сунца. Ератостенес је имао, дакле, само да прочита то отстојање о подне најдужега дана у Александрији. Нашао је да оно мери $7^{\circ} 10'$ или педесети део пуног угла. Одатле је следовао опсег Земље од $50 \times 5000 = 250.000$ стадија. Ератостеново премеравање опсега Земље имало је и овај значај. Његов савременик Архимедес, о којем ћемо још говорити, успео је да геометријским расуђивањем одреди однос између пречника и опсега круга, тј. да израчуна број π . Зато је Ератостеновим премеравањем опсега био дат и полупречник Земљине лопте, а тиме су се Аристархова израчунавања космичких дистанција, које је он изразио Земљиним полупречницима, могла дати и у њиховој стварној мери. Ератостеново премеравање Земље задивљава својом једноставношћу. Оно није захтевало никаквог труда. Он није, вероватно, ни видео онај бунар у Сијени, није лично премерио његово отстојање од Александрије, није ни конструисао онај инструмент којим је извршио своје мерење, већ је само упро поглед у њега. То је било довољно да изведе своје велико дело, које није захтевало ни муке, ни труда, већ само - генијалности.

У доба Ератостеново, неколико година пре његова доласка у Александрију, извршена је онде реформа старог египатског календара у којем је, као што смо чули, свака година имала по 365 дана. Да је таква ре-

форма тог старог календара већ онда извршена, дознало се тек када је Лепсиус године 1867 пронашао и прочитао један запис у камену, исписан у два језика, а назван Канопским едиктом. Тај запис саопштава да је 7 марта 238 пр. н. е. египатско свештенство одлучило да свака четврта година њиховог календара буде преступна, са 366 дана. Духовни оци те реформе били су александриски научници; њено правило извели су из староегипатске периоде Сотис. Двеста година доцније пресадио га је Александринац Сосигенес у Јулијански календар, у којем се одржало до наших дана. У доба владавине Птолемаја II и Птолемаја III живео је и највећи геометар старога века Архимедес (287-212). Родио се у Сиракузи, био на студијама у Александрији, и остао целог свог живота у вези са александриским научницима. Њима је слао и посвећивао све своје списе и стајао са њима у размени духовних добара. Зато се и он убраја у круг александриске школе.

Над Сиракузом и пространом њеном околином владао је од 269 до 215 године краљ Хијерон II, са којим је Архимедес био у сродству. За време дуге и мудре владавине Хијеронове постала је Сиракуза најлепша и највећа варош целе Сицилије. Њене лађе обављале су жив трговачки саобраћај са свима лукама Средоземног Мора, а нарочито са Александријом. Па као што је Архимедес стајао у другарском односу према научницима Александрије, тако је Хијерон стајао у пријатељским везама са Птолемајом II Филадельфом, па су државе тих двају владара чиниле неку врсту духовне заједнице. У том срећном добу хеленистичке културе створио је Архимедес своја велика дела. У својим младим годинама бавио се науком механике, решио проблем полуге, а са тим у вези и цео низ техничких проблема. Створио је нова средства технике, пронашао разне зупчанике, завртње и чекрке. Смишљеном комбинацијом тих елемената успео је да конструише разне машине, да унапред израчуна њихово дејство и да га по вољи увећа.

Архимедес је имао прилику да оствари своје техничке проналаске када је на захтев Хијерона саградио највећу лађу старога века, „Александрију“, поклоњену Птолемају Филадельфу, и када је Хијеронов арсенал снабдео убојним справама које су, при опсади Сиракузе, уливале страх и трепет римској војсци.

Хијерон је Архимеду поверио још један практичан задатак да одреди да ли у круни, порученој од сувога злата, има примешаног сребра. Решавајући то питање Архимедес је пронашао основни закон хидростатике који се сада зове његовим именом.

У својим старијим годинама Архимедес се све више посвећивао проблемима геометрије. Извршио је квадратуру параболе и пужасте криве, Архимедове спирале. Пошло му је за руком да у произвољној тачки те спирале конструише њену тангенту. Извршио је квадратуру круга и доказао да је површина лопте једнака четворострукој површини њеног највећег пресека. Приступио је израчунавању запремина разних геоме-

триских тела и доказао је да запремине купе, полукугле и облице, исте основице и исте висине стоје у размери 1:2:3. Сви ови проблеми које је Архимедес решио залазе већ у област више математике, инфинитезималног рачуна, пронађеног тек деветнаест векова доцније, којим је створен општи метод да се такви проблеми реше по једној заједничкој схеми. Такав циљ лебдео је и Архимеду пред очима, и он му се био приближио. То доказује његово недовршено, или, можда, само окрњено, дело „Ефодос” чији су остаци тек недавно пронађени. Не зна се тачно докле је Архимедес стигао на том путу, јер су његови списи, као и он сам, пропали када је Сиракуза, после двогодишње опсаде, пала Римљанима у руке.

Непосредније од Архимеда утицао је на развитак астрономске науке његов млађи савременик Аполониос Пергејски (око 265-170), поред Архимеда највећи геометар старога века. Рођен у Перги у Памфилији, дошао је као млад човек у Александрију и ту се васпитао код ученика Еуклидових. Ту је написао своје дело о коничним пресецима, величанствени споменик александриске науке. Онда се, на позив краља Аталоса, преселио у Пергамон где је умро у дубокој старости. Поред свог главног дела, од чијих осам књига је једна загубљена, написао је Аполониос још цео низ списа, пропалих скоро без остатка. А баш једно од њих је од нарочите важности за историју астрономије. Очувао му се само наслов и једна његова теорема, саопштена у Птолемајовом „Зборнику”. Видећемо да помоћу те теореме можемо реконструисати и постанак и главни садржај тога дела. Но за то је потребно да се уживимо у доба Аполонијевог боравка у Александрији.

Када је Аполониос онамо стигао, не беше више Аристарха у Музејону, али је онде било још његових ученика и следбеника. О томе постоје и извесна сведочанства код Стобејона, Секстуса и једног анонимног сколиаста Аристотелових списа. Но, што је најважније, некако у оно доба стигао је у Александрију и спис Архимедов „Псамит”, јер знамо да је Архимедес слао све своје списе у Александрију и посвећивао их тамошњим научницима. У томе спису говори, као што смо видели, Архимедес о Аристарховом систему и узима га за полазну тачку свог рачуна о зрнцима песка. Тиме је несумњиво појачан дотле угрожени положај Аристархових присталица, јер су се његови противници, геоцентричари, дотле стално позивали на ауторитет Аристотела, противника хелиоцентричног система. Сада су се хелиоцентричари могли позивати на Архимеда који је уживао неограничени углед у александриском Музејону.

У чијем се табору Аполониос тада налазио, не зна се, јер је његов спис о томе изгубљен, али се, као што смо рекли, из оне теореме коју нам је Клаудиос Птолемајос саопштио, може реконструисати садржај тога списа. У њему је - то је ван сваке сумње, а показали смо и непосредан повод томе - Аполониос поставио самом себи ово питање: Како се одигравају небеске појаве ако, усвајајући Аристархов систем, замислимо да се са нашом Земљом крећемо око Сунца и са тог покретног

стајалишта посматрамо планете које такође обилазе око Сунца? Аполониос је био у стању да одговори на ово питање - он је решио много теже и компликованије проблеме. Пут којим је при решењу овог проблема пошао био је, отприлике, овај. Нека нам у слици 6 тачка S претставља центар Сунца, а тачка T_1 центар Земље која, према Аристарховој науци, обилази равномерном брзином око Сунца по кругу радијуса $ST_1 = K$. Нека нам P_1 претставља једну планету, рецимо Венеру, која око Сунца описује равномерном брзином кретања круг радијуса $ST_1 = R$. Претпостављамо, једноставности ради, да обе ове путање леже у равни слике. Уочени почетни положаји тих трију небеских тела нека буду, дакле, S , T_1 и P_1 . Смисао обилажења Земље и планете око Сунца означен је на слици стрелицом. Ако са T_0 означено време обилажења Земље око Сунца, мерено данима, а са T време обилажења планете око Сунца, онда нам

$$\omega_0 = \frac{360^\circ}{T_0} \qquad \omega = \frac{360^\circ}{T}$$

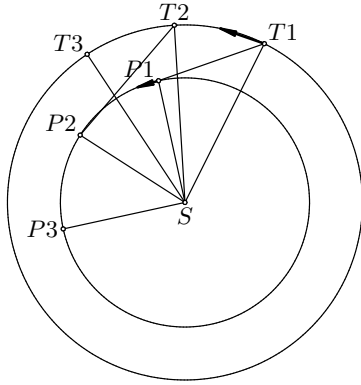
тстављају средња дневна кретања тих небеских тела, мерена лучним степенима. Зато ће се n дана иза почетног положаја Земља налазити у положају T_2 , а планета у положају P_2 , при чему је

$$\angle T_1ST_2 = n\omega_0 \qquad \angle P_1S_1P_2 = n\omega$$

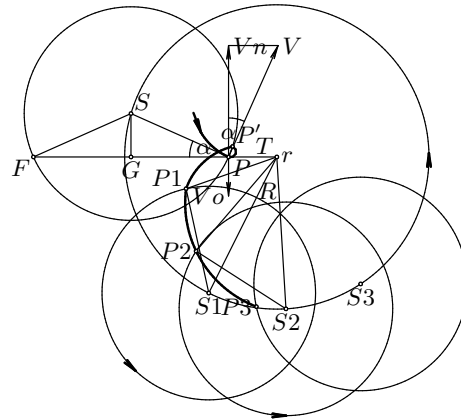
За даљих n дана стићи ће Земља у положај T_3 , а планета у положај P_3 при чему је

$$\angle T_2ST_3 = n\omega_0 \qquad \angle P_2SP_3 = n\omega$$

Посматрана са Земље, та кретања изгледаће овако. Нека нам у слици 7 тачка T претставља Земљу коју сада замишљамо непомићном, јер хоћемо да опишемо кретање Сунца и уочене планете релативно према њој. Релативни положај Сунца и планете према Земљи у почетном моменту добићемо ако нацртамо троугао TP_1S_1 паралелан и конгруентан троуглу T_2P_2S слике 6. Значи да се у том моменту Сунце налазило релативно према Земљи у положају S_1 , а планета у положају P_1 . Да добијемо релативни положај Сунца и планете према Земљи n да на иза почетног положаја, нацртаћемо троугао TP_2S_2 паралелан и конгруентан троуглу T_2P_2S слике 6. Понављајући тај поступак добићемо релативне положаје Сунца и планете према Земљи и за све даље такве временске размаке.



Сл. 6



Сл. 7

На тај начин можемо конструисати произвољан број тачака релативних путања Сунца и планета према Земљи, као месту посматрача. Да не бисмо нашу слику сувише компликовали, задовољимо се са неколико таквих тачака, довољних да нам даду јасну слику о релативним путањима Сунца и планете. Заиста, ако упоредимо обе наше слике, видимо да су у слици 7 дужине $TS_1 TS_2 \dots$ једнаке дужинама $ST_1 ST_2 \dots$ слике 6, тј. да сви релативни положаји $S_1 S_2 \dots$ Сунца према Земљи леже на кругу, описаном око Земље радијусом R . Из конгруентности одговарајућих троуглова слике 6 и слике 7 видимо да, пошто су углови $T_1ST_2 T_2ST_3$ слике 6 међусобно једнаки, њима су једнаки и углови $S_1T_2 S_2T_3$ слике 7. Зато се, релативно према Земљи, Сунце креће по својој привидној кружној путањи $S_1 S_2 S_3$ средњим дневним кретањем ω_0 у правцу означеном на слици 7 стрелицом. Путања планете је компликованија. Из конгруентности троугла нацртаних у сликама 6 и 7 следује да је дуж S_1P_1 слике 7 једнака дужи SP_1 слике 6, тј. радијуса r планетске путање око Сунца, а исто то важи и за дуж S_2P_2 слике 7. Ако, дакле, у тој слици из тачке S_1 као центра опишемо круг радијуса r , он ће проћи кроз тачку P_1 ; исто ће тако круг описан из тачке S_2 радијусом r проћи кроз тачку P_2 . Повучемо ли у слици 7 из S_2 радијус S_2R , паралелан радијусу S_1P_1 , то из упоредности зрака S_2R и S_2P_2 са зрацима SP_1 и SP_2 слике 6 следује да је угао $RS_2S_1 = n\omega$. Планета је, према томе, из свог релативног положаја P_1 према Земљи дошла за време од n дана у положај P_2 једним сложеним кретањем које се може описати овим речима: По периферији круга $S_1S_2S_3$ названог концентар - његов центар лежи у центру Земље - путује, средњим дневним кретањем, ω_0 , центар другог једног круга, названог епицикл, а радијуса r , а по периферији тога круга креће се планета средњим дневним кретањем ω . Планета описује при томе, релативно према Земљи, криву $P_1P_2P_3\dots$. Та крива зове се

еписцикличном кривом. Да не бисмо нашу слику сувише компликовали, у слици 7 предочен је само један део те криве. О таквим еписцикличним кривама написао је Аполониос засебно дело које се није очувало. Из његове садржине сачувала се једна теорема, саопштена у деветнаестој књизи Птолемајовог „Зборника”. Она се бави питањем у којим положајима своје путање планете обрну правац свог кретања према Земљи. Два таква положаја виде се у слици 7. Она су означена са P и P' . Када планета на својој релативној путањи стигне у тачку P , онда, посматрана са Земље, изгледа као да је застала, јер је у том положају правац њеног кретања уперен према Земљи, пошто ту права TP , повучена од Земље ка планети, додирује њену еписцикличну путању. Прошавши кроз ту тачку привидног застоја, планета се на свом даљем делу пута креће ретроградно, тј. обрнуто главном смеру свог кретања, да би, прошавши кроз тачку P' , кренула опет у директном правцу. Питајмо сада где се налазе тачке P и P' привидног застоја планетиног. На то питање одговоримо, служећи се вашим данашњим математичким језиком, најбрже на овај начин. Кретање планете према Земљи је, као што смо видели, сложено кретање. Привидни застој планете деситиће се онда када обе компоненталне брзине тог сложеног кретања, нормалне на радијусвектор TP , буду једнаке, а противног правца. Услед кретања центра еписцикловог по центру има планета у положају P брзину V_0 . Она је нормална на радијусвектор TP , наперена у смеру директног кретања планете и једнака

$$V_0 = \omega_0 TP.$$

Услед кретања по еписциклу има планета, у сваком свом положају брзину $V = \omega$ наперену у смислу њеног кретања по еписциклу у правцу тангенте на еписцикл. Овде смо, место ω , ставили ω_s где нам оно претставља средње дневно синодично кретање планете које се односи на праву T_s што спаја Земљу са Сунцем. Оно је, ако нам S претставља синодично обилажење планете у односу са Земљом, дато изразом $\omega_s = 360^\circ/S$, при чему је $\omega_s = \omega - \omega_0$. Означимо са α оштри угао што га тангента затвара са нормалом на радијусвектор TP , како је то у слици 7 назначено. Онда ће компонента V_n те брзине у правцу нормале бити

$$V_n = V \cos \alpha = r \omega_s \cos \alpha.$$

Спустимо ли из центра S еписцикловог нормалу SG на радијусвектор TP , продужен до његовог пресека F са еписциклом, то је, пошто је

$$r \cos \alpha = \overline{PG},$$

$$V_n = \omega_s \overline{PG}$$

Брзине V_0 и V_n , су, као што се види из слике, противног правца. Када оне буду по својој апсолутној величини једнаке, наступа привидни застој планете. Зато је услов за тај застој дат једначином

$$\omega_0 \overline{TP} = \omega_s \overline{PG}$$

или

$$\overline{PG} : \overline{TP} = \omega_0 : \omega_s.$$

Ова сразмера, изражена уз припомоћ приложених слика речима, поклапа се тачно са Аполонијевом, саопштеном у Птолемајовом „Зборнику”. И та подударност показује нам пут којим је Аполониос дошао до својих епицикала. Они су производ његовог размишљања о Аристарховом систему. Тако је Аполониос успео да геометриским средствима предочи кретање планета како га пратимо својим очима и астрономским справама. Својим епициклима тставио га је дакле боље, једноставније и убедљивије него атенски астрономи својим безбројним хомоцентричним сферама. Да ли је Аполониос усвојио Аристархов систем света? Неки од историчара астрономске науке мисле да јесте, позивајући се на то да га стари писац Хиполитос напомиње непосредно уз Аристарха. Но овај разлог није убедљив, вероватније је да се Аполониос није определио ни за хелиоцентрични ни за геоцентрични систем. Он је нашао одлично геометријско средство да претстави кретање планета како их видимо, па можда није ни питао за крајње њихове узроке. Он је био, пре свега, геометар, а не астроном. Својом геометријском теоријом дао је астрономима оно што су тражили, па можда није, и из личне сујете, хтео да саопшти да му је Аристархов систем послужио као радна хипотеза, а астрономи нису га за то ни питали. Да је у свом спису о епициклима Аполониос заузео одлучан став у корист Аристарховог система, не би тај систем дошао у заборав.

Глава четврта

АЛЕКСАНДРИСКА ШКОЛА
ДОБА ХИПАРХА И ПТОЛЕМАЈА

Први век александриске школе, обележен именом Еуклида, Аристароса, Ератостена, Архимеда и Аполонија, био је век смелих мислилаца, теоретичара. Но већ онда почела је александриска школа и са систематским посматрачким радом, ослањајући се при томе на тековине халдејске астрономије и усавршавајући техничка средства за такав посао. Технички геније Архимедов прокрчио је, својом науком механике и својим механичким проналасцима, потоњим поколењима пут за успешан рад на том пољу. У александриској школи почеше се неговати и техничке вештине и у њој се развила нека врста политехнике. Најистакнутији претставници њени били су Ктесибиос и Херон Александриски. Ктесибиос је живео око 270 године пр. н. е. Конструисао је часовнике, покретане водом и снабдевене казаљкама, помоћу којих се могло мерити време тачније него пре њега. Херон је, као што су то утврдила тек новија испитивања историчара, живео око 100 године пр. н. е., оставивши иза себе читав низ списа, насталих вероватно из предавања држаних на александриској школи, која показују високи степен њеног техничког факултета. Он је био геометар, геодет и физичар. Његово правило за израчунавање површине троугла из трију страница опште је познато, исто тако и његов пнеуматски апарат. Конструисао је још и аутомате, таксаметре, справе које су показивале дужину преваљеног пута. Својим диоптером, апаратом за тачно визирање, усавршио је знатно геодетска и астрономска средства за мерење углова и одређивање позиција. То усавршавање материјалних средстава за астрономска посматрања отворило је нову еру александриске астрономије; теоретичаре су одменили практичари, а рационализму је следовао емпиризам. У почетку тог доба живео је највећи практични астроном александриски, Хипархос из Никеје. О Хипархосовој личности знамо врло мало, а и сви његови списи, сем једног, пропали су у току времена, али му је Клаудиос Птолемајос својим „Зборником” подигао достојан споменик, спомињући га у њему око сто пута, набрајајући његове списе и користећи се њима. Из тога извора сазнајемо да је Хипархос, вршећи посматрања у александриској звездари, одредио 24. марта 146 пр. н. е. време равнодневница. Птолемајос нам даље саопштава да је Хипархос година 141, 128 и 126 пр. н. е. вршио своја посматрања на острву Родосу. Познати грчки географ Страбон, који је за време Октавијаиа Аугуста живео у Риму, извештава да је Хипархос вршио астрономска посматрања и у Сиракузи и Вавилону. Према свему томе изгледа доста сигурно да је Хипархос мењао поприште свога рада, као да се највише задржавао у Александрији, где је добио своју изобразбу за астронома, и на Родосу, где је имао и своју

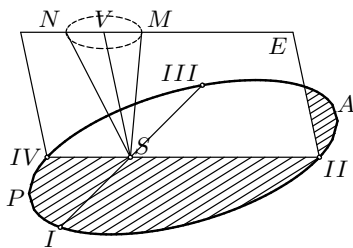
добро уређену звездару. Када се родио, где и када је умро, не зна се. Зауоставимо се, пре но што почнемо говорити о научном раду Хипарховом, на овим подацима о добу његова живота и о попрштту његове делатности. Грчки историчар Суидас саопштава да се Хипархос родио у Никеји, а он сам се звао Битинијац. Значи да се родио у малоазијској покрајини између Црнога и Мраморног Мора. За време Хипарха, Никеја је била друга престоница краљева Битиније, државице која је, поред других, настала на рушевинама Александровог царства, постала самостална 297 године пр. н. е., да би 74 пре н. е. ушла у састав римске државе. У њој је, за све то време, а и касније, владао грчки дух и култура. Исто је то био случај и са осталим наследним државама Александровог царства, Пергамском, Понтиском, Кападокијском и још другим ситнијим државицама, а нарочито са великом државом Селеуковаца, све оне сачињавале су велику заједницу хеленистичке културе. Та чињеница подупире Страбоново саопштење да је Хипархос био и у Вавилону, некадашњем средишту халдејске астрономије, а о томе сведочи и цео рад Хипархов. Тај његов рад моћи ћемо потпуно разумети ако се опет вратимо астрономији Халдејаца и наставимо онде где смо стали при крају првог поглавља, говорећи о томе како је вавилонска држава ушла у састав великог персиског царства. У њему је она остала до Александра Великог, а после њега постала саставни део хеленистичке државе Селеуковаца, док је године 140 пр. н. е. не освојише Парти, а три и по века доцније не утону у персиску државу Сасанида и би дефинитивно одвојена од културе Запада. Када је Александров војсковођа Селеукос, дотле управитељ Вавилоније, основао независну државу Селеуковаца која се простирала од Тауруса до Индуса, увео је онде године 312 пр. н. е. нову календарску еру, еру Селеуковаца, сазидао два нова града, Антиохију на Оронту и Селеукију на Тигрису. Убрзо је Сеулекија са својих 600.000 становника, одменила стари Вавилон који нестане заувек са лица Земље. Но за све време персиске и хеленистичке државе халдејски астрономи обављали су своје послове, посматрали и претсказивали небеске појаве и служили тиме напретку астрономске науке. О томе нам говоре сведочанства из почетка персиског царства, из доба Камбиза, и из другог века пре наше ере, из доба Селеуковаца и доба Хипарха. Та сведочанства, пронађена тек недавно, иако непотпуна, говоре врло много. Она сведоче да су, у међувремену између шестог и другог века пре наше ере, халдејски астрономи пронашли све важније неједнакости кретања Сунца, Месеца и планета. Они су увидели да се Сунце по својој привидној путањи не креће равномерном угловном брзином. Та брзина је, као што знамо, најмања када се Сунце налази у апогеуму, а највећа када се оно налази у перигеуму. О тој неједнакости водили су халдејски астрономи све више рачуна, а њихов најславнији астроном, кога Страбон и Плиниус старији спомињу под именом Киденас, а чије је право име било Кидину, успео је да их стави у рачун. Сличне неједнакости

појављују се и у кретању Месеца. Халдејци су открили не само те неједнакости, већ и неједнакости привидног пречника Месечевог и нашли да тај пречник варира између граница од $29' 27''$ и $34' 16''$. Како стварне границе те варијације леже код $29' 30''$ и $32' 55''$, видимо да су им Халдејци дошли доста наблизо. Није нам познато да ли су Халдејци знали да се слична варијација привидног пречника појављује и код Сунца; за сада се као први проналазач те варијације сматра Сосигенес, о којем ћемо још говорити. Кидину је умео да унапред израчунава помрачење Месеца, а вероватно и Сунца, рачуном сличним какав се данас употребљава за тај посао. Напоменули смо да су већ у доба Талесово Халдејци познавали доста тачно дужине синодичног, сидеричног и драконистичног месеца. Кидину је ту тачност подигао дотле да се његови бројеви за дужине тих месеца разликују од њихових стварних дужина за 0,4; 2,5 односно за 0,2 временске секунде. Толика изванредна тачност мора нас задивљавати. Халдејски астрономи су, као што смо већ рекли, пратили пажљиво и истрајно привидно кретање планета. То је кретање, због властитог кретања наше Земље, веома компликовано. Вековним праћењем тог кретања Халдејци су успели да одреде оне периоде после којих се планете враћају у исти положај према звездама некретницама и према Сунцу, тј. она времена када, после целог броја година, поједине планете заузимају исти положај међу звездама некретницама. Тако су, спочетка, нашли да после пуних 12 година планета Јупитер изврши 11 синодичких обилажења. Касније су, са још већом тачношћу, нашли да она за пуну 71 годину изврши 65 синодичних обилажења, а напослетку, још тачније, да за пуне 83 године изврши 76 синодичних обилажења. Нашавши ову последњу најтачнију периоду од 83 године, могли су да је употребе за израду врло тачних ефемерида Јупитера, а сличним поступком да израде и ефемериде осталих планета. Очувале се такве њихове ефемериде за године 523, 208, 192, 123, 118 и 111 пре наше ере. За датирање ових ефемерида, сем прве од њих, служили су се ером Селеуковаца. Из ових, још врло непотпуних података о раду халдејских астронома видимо да су у прикупљању података о кретању небеских тела дошли врло далеко. Они нису тражили тумачење, геометријску и механичку интерпретацију тих кретања, већ су били чисти, но првокласни емпиричари. Прикупивши драгоцене податке о томе кретању, препустили су Грцима да им даду геометријску интерпретацију. Може се очекивати да ће се наше знање о астрономији Халдејаца знатно употпунити када се прочитају све таблице клинастог писма које су до сада прикупљене и које ће се још пронаћи. Но већ ово што је овде речено мења из основа слику коју су до сада историчари имали о астрономији Халдејаца. А и слику коју су имали о раду и значају Хипарха. Вратимо се њему!

О научном раду Хипарховом знамо, благодаревши Птолемајовом „Зборнику” више него о његовом животу. Он је увео у сталну примену разделу круга у 360 степена, а ове делио у минуте и секунде. То је халдејски

начин, а и све остало у Хипарховом раду показује да је био добро познат са халдејском астрономијом, њоме се служио у пуној мери, али ју је у неким стварима превазишао. Коментатор Птолемаја, Теон Александриски, саопштава да је Хипархос написао 12 књига о тетивама кругова и њиховим централним угловима. Зато се Хипархос сматра оснивачем гониометрије и тригонометрије. И ту се, како то показују најновија испитивања асириолога, користио тековинама вавилонске геометрије, но још није тачно одређено у којој мери.

Рекли смо да су вавилонски астрономи знали - ваљда већ у четвртом веку пре наше ере - да годишња доба нису међусобно једнака по својој дужини. Због важности те појаве морамо се на њој мало задржати. При том ћемо заузети наше хелиоцентрично гледиште у којем смо васпитани и на које смо се навикли. Нека нам у слици 8 тачка S претставља центар Сунца, а елипса $P I A III P$ годишњу путању Земље око Сунца. Замислимо ли у тачки S на раван Земљине путање подигнуту нормалу SV и повучену праву SN паралелну оси Земљине ротације, онда нам угао VSN претставља нагиб Земљине осе или косину еклиптике. Раван E положена кроз праве SV и SN стоји нормално на равни Земље и сече је дуж праве $II IV$. Тачке II и IV претстављају, као што је лако увидети солстицијалне положаје Земље на њеној путањи, док права повучена у равни те путање нормално на праву $II IV$ пресеца ту путању у тачкама I и III које нам предочавају екваторске положаје Земље, тј. оне положаје у којима су дан и ноћ међусобно једнаки, што зовео равностивницама.



Сл. 8

Временски интервали који протекну између пролаза Земљиних кроз четири кардиналне тачке I , II , III , IV њене путање, зову се астрономска годишња доба; интервал пута $I II$ одговара астрономском пролећу, интервал $II III$ лету, интервал $III IV$ јесени, а интервал $IV I$ зими. Интервал $I II III$ одговара летњој, а интервал $III IV I$ зимској полугодини.

Нама, упућеним у садашње стање астрономске науке, сада је јасно ово. Земља се креће око Сунца по својој путањи тако да радијусвектор повучен од Сунца ка Земљи пребрисава у једнаким временима једнаке површине, па како сектори $ISII$, $IIIII$, $IIISIV$, $IVSI$ елипсе Земљине путање, нису међусобно једнаки, нису ни дужине годишњих доба једнаке. Тако су садашње дужине T_s и T_w летње односно зимске полугодине северне хемисфере ове

$$T_s = 186 \text{ дана } 10 \text{ сати}$$

$$T_w = 178 \text{ дана } 20 \text{ сати.}$$

Летња полугодина је, дакле, за 7 дана и 14 сати дужа од зимске. На јужној хемисфери је обрнут случај. Та осетна разлика у дужини годи-

шњих доба била је одавно позната халдејским астрономима, а у Александрији су, можда још пре Хипарха, предузели да тачно измере дужине тих доба. Из Птолемејевог „Зборника” знамо да се у александриској звездари, у њеној квадратичној дворани, налазио један инструменат помоћу којег се одређивало време пролаза Сунчевог кроз небески екватор, тј. време равнодневица. То је био један метални прстен положен тачно у раван привидног небеског екватора. Док се Сунце, пре наступа пролетње равнодневице, налазило јужно од тог екватора, осветљавало је оно конкавну, унутарњу површину стражње половине тог прстена од доле, но кад се оно примакло небеском екватору, почела је та половина да улази у сенку док год није сасвим потамнила и показивала само на оба своја обода светле рубове. То је, дакле, било доба пролаза Сунца кроз небески екватор у време пролетње равнодневице. Пре јесење равнодневице, Сунце је осветљавало стражњу половину прстенову од горе, па је онда у доба те равнодневице дошла у пуну сенку. Тим начином су Александринци у току дугог низа година одређивали доба равнодневице и, нагомилавањем тих посматрања, одређивали све већом тачношћу и дужину тропске године, важан податак за астрономију и хронологију. Када се, претпостављајући константност тропске године, њена дужина одреди дугогодишњим посматрањем, онда се грешка коју би имало једно једино посматрање смањује на онолики део колико година обухвата низ посматрања. Зато се дужина тропске године како су је одредили александриски астрономи разликује само за 6 минута од њене стварне дужине. Хипархос је питању дужине годишњег доба и тропске године посветио нарочиту пажњу и о томе је, како нас извештава Птолемејос, написао једно засебно дело. У њему саопштава ове, заокругљене, дужине годишњих доба: пролеће 94,5 дана, лето 92,5, јесен 88, зима 90 дана, да би помоћу тих бројева решио један нов проблем пред којим се нашао. Сви грчки и александриски астрономи, без изузетка, веровали су да небеска тела могу вршити само кружна и униформна кретања, јер само она имају у себи услове вечитости. И Хипархос је тако мислио и, као убеђени геоцентричар, веровао да се Сунце креће око Земље по кругу равномерном брзином. Но када би се Земља налазила у центру тога круга, годишња доба морала би бити по својој дужини међусобно једнака, а и принудно кретање Сунца према сфери звезда некретница ишло би увек истом брзином, док је, као што смо видели, пажљиво праћење Сунчевог кретања показало да се његова брзина мења у току године. Нашавши се пред овим тешким питањем, Хипархос га је решио, неотступајући никако од кружних униформних кретања, на тај начин што је узео да се Сунце креће равномерно по кружној путањи, али да центар те путање не лежи у средишту Земље већ изван њега. Успео је да из дужине годишњих доба одреди тај положај центра Сунчеве путање; он лежи, померен за једну двадесетчетвртину радијуса, у правцу шестог степена Близанаца. Из тога свега следовала је важна конзеквенција да се у Сун-

чевој путањи налази тачка када је оно најближе Земљи, и тачка када је оно најудаљеније од Земље. Те тачке назване су перигеум и апогеум, а права која спаја те две дијаметралне тачке добила је име апсидне линије. Та линија одговара, према нашим данашњим схватањима, великој оси елипсе што је описује Сунце у свом релативном кретању према Земљи. Зато Хипархова теорија претставља први корак ка Кеплеровој елипси. Помоћу ње, а служећи се и подацима халдејске астрономије, Хипархос је израдио ефемериде Сунца, таблице које унапред одређују положаје Сунца на небу. Исто то средство ексцентричне кружне путање употребио је Хипархос и у својој теорији кретања Месеца, служећи се, при томе, халдејским посматрањима тог кретања. Хипархос је, следујући и овде примеру Халдејаца, одређивао положаје звезда некретница помоћу еклиптичних координата, лонгитуде и латитуде, док су се њихови претходници у александриској школи служили екваторијалним координатама, ректасцензијом и деклинацијом. Оба та координатна система имају заједнички почетак, пролетњу тачку. Хипархос је израдио и цео један каталог који је, како је то тек недавно (1898) Бол утврдио, садржавао 850 звезда некретница са њиховим еклиптичним координатама. Када је тај свој каталог упоредио са оним што су га век и по пре њега, саставили Тимохарис и Аристил, нашао је да су се од доба његових претходника па до његовог координате звезда систематски нешто измениле. Одстојање тих звезда од еклиптике, њихове латитуде, остале су непромењене, али су се њихове лонгитуде толико смањиле као да су се еквинокцијалне тачке, пресеци еклиптике и небеског екватора, помериле у ретроградном смислу сваке године за стоти део лучног степена. Ту чињеницу Хипархос је саопштио са извесном резервом, али ју је, као што ћемо видети, Птолемајос дефинитивно утврдио, истина, само као емпиријски фактор, јер суштину те појаве објаснио је тек Њутн. Неправедно би било славу проналаска померања еквинокцијалних тачака доделити у целини само Хипарху, јер на њу имају своје право и поменути два претходника његова, пошто без њиховог каталога звезда, он не би могао приметити то померање, а поред ове двојице има и Птолемајос својих заслуга за дефинитивно утврђивање те појаве.

Хипархос је написао две књиге о израчунавању паралакса, тј. о величинама и отстојањима небеских тела. Из оног што знамо о том делу, видимо да је познавао спис Аристархов о том предмету, јер се њиме послужио, прихватио Аристархов резултат премеравања лучног отстојања Месеца од Сунца у доба дихотомије, а на осталим резултатима извршио мале исправке. Не знамо да ли је у том спису Хипархос говорио и о Аристарховом хелиоцентричком систему света. Вероватно да је прошао поред њега ћутећи, а можда га је и ниподаштавао, јер иначе не би тај систем остао у забраву. Сигурно је да Хипархос није схватио замах великих полета александриске школе, па није, поред свих својих заслуга за практичну астрономију, учествовао у њима. Зато његово доба не

преставља кулминацију, већ декаденцију александриске науке.

У његово доба, налазила се и египатска држава Птолемајоваца у наглom опадању. После прва три велика владара те династије отпоче непрекидан ред неспособних наследника њихових. Сви они носили су додуше, име оних првих али уколико је њихов редни број био већи, утолико је њихова владалачка способност бивала све мања. Услед уобичајених женидби са својим рођеним сестрама, дегенерисао је њихов сој. Тек када се Птолемајос XII оженио странкињом, процвао је на исцрпелом стаблу Птолемајоваца један свеж пупољак, Клеопатра, последња владарка птолемајског Египта. Она је одрасла у друштву научника и књижевника александријског Музејона, и била најизображенија жена старога века. Те високе духовне способности биле су удружене са свима женским чарима. Њима је подлегао и сам Јулиус Цезар. Када се он, у потери за својим побеђеним противником Помпејом Великим, искрцао у Александрији са својом малом, али одабраном војском, затекао је египатску краљевину у стању расула. Син Птолемаја XII, Птолемајос XIII, није хтео да призна за сувладарку своју сестру и супругу Клеопатру, као што је то захтевао тестамент његовог оца, већ јој је радио о глави. Цезар, очаран њеном лепотом, стаде на страну Клеопатре, уништи њеног брата и врати је на краљевски престо. У тим борбама о власти задесила је александриски Музејон тешка несрећа, његова славна библиотека изгоре године 47 пр. н. е. до последње трубе папироса. Но и после те несреће одржа александриска школа своју надлежност у астрономској науци. Јер када се Цезар вратио у Рим, а и Клеопатра пошла са њиме, предузе он да римски календар, који је био сасвим у нередy, реформише и даде му сталан облик. У самоме Риму не би се нико нашао ко би био довољно упућен у астрономију, јер Римљани су били велике незналице у егзактним наукама. Зато је била права срећа да се у Клеопатриној пратњи налазило и неколико научника александриског Музејона, а међу њима и астроном Сосигенес. Њему је Цезар поверио реформу календара. Сосигенова календарска одредба у погледу распореда преступних година идентична је са одредбама Канопског едикта. Зато је у Јулијанском календару свака четврта година преступна. Седми месец у години добио је, у почасти Јулију Цезару, назив Јулиус, а касније је таква почасти учињена и Аугустусу, називајући осми месец његовим именом, а дајући и њему дужину од 31 дана. Зато је месец фебруар остао толико окрњен. Када се, после смрти Цезарове, Клеопатра вратила у Александрију и када су отпочеле борбе између Антонија и Октавијана, није она, ни у тим данима, изгубила из вида ојађени Музејон. У оно доба била је малоазијска пергамонска државица у саставу велике римске државе. У њеном главном граду Пергамону налазила се његова чувена библиотека коју је основао Еугменес, син онога Аталоса који је некад позвао к себи славног александриског геометра Аполонија. Та библиотека била је онда највећа на свету, а Антониус је даде, Клеопатри за љубав, пренети

целу у Александрију, где је смештена у Серапејон, храм посвећен грчко-египатском богу Серапису. То се десило дванаест година иза пожара старе александриске библиотеке. Тиме је био унеколико очуван континуитет александриске школе. Но већ пет година доцније, 30 године пр. н. е., уђе, преко лешева Антонија и Клеопатре, победоносни Октавијан у Александрију, и Египат поста провинцијом великог римског царства. Све ове догађаје који су потресли стари свет ваља имати у виду при оцени последњег великог астронома александриског, Клаудија Птолемеја. О његовом животу знамо врло мало, тек толико да је живео око половине другог века нове ере, дакле у доба римског господарства над Египтом. Али нам је његово главно дело „Велики Зборник Астрономије” или „Велика Синтакса” које је касније, стапајући арапско „ал” са грчким „мегисте”, названо „Алмагест”, остало потпуно сачувано и дочекало своје штампање са великим бројем рукописних кодекса. У том погледу стоји Птолемејос у завидном положају изнад свих астронома старога века. То дело је систематски скуп целокупног астрономског знања завршног периода александриског, зборник у пуном смислу речи. Писано одличним стилем, каквог касније вековима није било, прецизно, јасно, одмереног хода, књижевно и строго научно, оно је последњи, сјајни, одблесак велике александриске школе. Птолемејов „Зборник” подељен је у две свеске и тринаест књига. Прва књига служи као увод у којем су изложени основни погледи на састав васионе и саопштена потребна знања геометрије са тригонометријским таблицама којима су дате тетиве лукове од 0° па до 180° за сваку лучну минуто тог интервала. Друга књига посвећена је, углавном, математичкој географији и мерењу времена. Трећа књига бави се кретањем Сунца, четврта и пета кретањем Месеца, а шеста помрачењима Сунца и Месеца. У петој књизи описана је и конструкција астрономских инструмената, која се од Херона па надаље врло усавршила. У тој књизи говори се и о величинама и отстојању Сунца и Месеца. Друга свеска „Зборника”, суштина свега, како је Птолемејос сам назива, посвећена је, са својих седам књига, звездама некретницама и кретањима пет старих планета. У седмој књизи обрађена је темељно појава прецесије са неким последицама, и у њој саопштен каталог звезда некретница северне небеске хемисфере. Осма књига садржи каталог звезда јужне хемисфере и све остало о звездама некретницама. Целокупни каталог звезда садржи еклиптичне координате 1022 звезде. Остали део „Зборника”, од девете до закључно тринаесте књиге, посвећен је теорији кретања планета коју је писац врло опширно обрадио, ослањајући се при томе на своје претходнике, али властитом својом снагом и великом математичком вештином и довитљивошћу. Као што се види већ из овог кратког прегледа његовог садржаја, дело Птолемејево је, заиста, прави зборник знања славног александриског доба астрономије. У њему је, ослањајући се у том сасвим на Хипарха, Птолемејос заузео геоцентричко становиште, што се види већ из основних ставова изложених у почетку дела. То

су ови: 1. Небески свод има облик лопте и обрће се као она. 2. По свом облику, сматрана као целина, наша Земља такође је округла. 3. Својим положајем, наша Земља заузима, као какав центар, средиште целокупног небеског свода. 4. Својом величином и отстојањем, наша Земља стоји према сфери звезда некретница у односу једне тачке. 5. Земља нема кретања које би изазивало промену њеног положаја. Ови ставови су образложени и уздигнути изнад сваке сумње аргументима од којих смо неке већ упознали говорећи о Аристотелу. Птолемајос је додао још неке нове, мање значајне, аргументе но што су они који се тичу принципа инерције и годишње паралаксе звезда некретница; о њима ћемо говорити доцније. Доказујући да Земља заузима централни положај у васиони, како то захтева његов трећи став, Птолемајос каже да, кад то не би био случај, онда би, при ексцентричном положају наше Земље, дневно обртање сфере звезда некретница било праћено дневном паралаксом звезда некретница. А што се таква паралакса не испољава ни при централном положају Земље у васиони, узрок је у томе то што је, како је то наведено у четвртом ставу, Земља бесконачно малена према сфери звезда некретница. Основну идеју тога става изрекао је, као што смо видели, већ Аристархос са том разликом што је казао да је и Земљина путања бесконачно малена према сфери звезда некретница. Образлажући своје ставове, Птолемајос узгред напомиње и противно мишљење неких филозофа који су сматрали небеску сферу непомићном и замишљали да се Земља обрће од запада према истоку. Говорећи о томе, Птолемајос не спомиње имена тих филозофа, па ни самог Аристарха, иако се његовом генијалном замисли послужио у свом четвртом ставу. Исто тако, без података о пореклу, Птолемајос употребљава једну несумњиво Аристархову геометријску теорему и његов начин премеравања отстојања Сунца и Месеца. Само приликом израчунавања дужине тропске године спомиње једно Аристархово посматрање, но са слабом оценом. И геометар Менелаос, чијом се науком Птолемајос служио, напомиње се само као посматрач неба. Па и самог Аполонија, творца теорије епицикла, на којој је Птолемајос изградио своје дело, напомиње само приликом Аполонијевог теорема о положајима застоја планета, да га, одмах иза тога, остави у дубокој тами пред сјајем своје властите личности. Као што се види из ових неколико примера, Птолемајос не признаје радо заслуге других. У целом свом делу он не саопштава ниједно научно дело или расправу било којег год другог научника сем Хипарха којег ставља изнад свих осталих астронома, изузимајући себе самога, јер покаткад говори и о Хипарху са извесне висине. Иначе увек савесно наводи извор када искоришћава туђа посматрања неба. У свом делу Птолемајос се користио посматрањима ових астронома: Агрипе, Аристарха, Аристила, Дионизија, Ератостена, Хипарха, Менелаја, Метона, Теона и Тимохарија; сем тога је употребио седам халдејских посматрања из раздобља од 721 до 383 године пр. н. е. Са наведених десет имена исцрпљен је цео списак научне литературе ко-

јом се Птолемајос послужио по овом властитом признању. Тај емпиријски материјал допунио је Птолемајос својим властитим посматрањима неба. Прикупивши тако податке о кретању небеских тела, а владајући одлично оруђем геометрије, у којој је, својом познатом теоремом о тетивном четвороуглу, заузео угледно место, пошло му је за руком да све посматране небеске појаве опише језиком математике, боље и тачније, него ико пре њега и хиљаду година после њега. При том свом подухвату, Птолемајос се ослонио, пре свега, на Хипарха, заузевши неотступно геоцентричко становиште и дозвољавајући само униформна кретања по круговима, „јер само таква кретања одговарају природи небеских бића, којима је неправилност и неједнакост страна”, па таквим кретањима тумачи и предочава ове неједнакости хода небеских тела. У својој теорији кретања Сунца Птолемајос усваја Хипархову ексцентричну путању Сунца која доби име ексцентра, а касније, у улози носача епицикла, име деферента. У својој теорији Месеца узима да се центар тог деферента ретроградно креће по једном даљем кружном носачу. У теорији тих двају небеских тела прибегава алтернативно и епициклима. У својој теорији кретања планета којом је далеко отскочио изнад свих својих претходника, Птолемајос употребљује епицикле још много издашније и постиже њима изванредно подударње између теорије и опажања. То подударње постаје нам објашњиво чим се сетимо како су створени ти епицикли: из основне замисли Аристарховог система. Зато се језгро Птолемајовог начина геометријског претстављања кретања планета ослања на стварну чињеницу. Но то Птолемајос није ни слутио, већ је епцикле сматрао само као геометријско средство без икакве стварне егзистенције. Усавршавајући то своје средство, увећавајући број епицикла, давајући им нагибе према еклиптици да би тиме могао да претстави кретања планета у ширину, и замењујући - да не би радијус епицикла испао већи од радијуса деферента - код оних планета које се крећу изван Земљине путање, међусобно ексцентар са епициклом, што не мења коначни ефекат тог сложеног кретања, Птолемајос је тим, са математичког гледишта потпуно оправданим, средствима прикрио стварни постанак епицикала и пут на хелиоцентричном систему. Теорија епицикла, изникла из Аристархове хелиоцентричке науке, њено чедо, када је одрасла, убила је своју рођену мајку. Имамо ли права да због ове трагичне судбине хелиоцентричног система бацимо сву одговорност на Клаудија Птолемаја? Он је живео пуна четири века иза Аристарха, а у самој половини тог времена размака десио се пожар библиотеке александриског Музејона. Ми, који смо у нашим данима доживели такве несреће, знамо какав прелом научног рада изазивају уништења научнога блага. Зато је вероватно да Птолемајос није познавао, ни имао у рукама, списе Аристархове и његових присталица о хелиоцентричном систему, већ се служио списима његових противника, у првом реду Хипарха. Као што је речено, Птолемајос је у свом „Зборнику” саопштио и свој каталог звезда некретница.

Упоредљујући га са каталозима својих претходника, Хипарха, Аристила и Тимохарија, а и са посматрањима Агрипе и Менелаја, дефинитивно се уверио да полови небеског екватора у току интервала од 36.000 година описују потпуни круг око полова еклиптике. Радијус тога круга, мерен у лучној мери, једнак је нагибу еклиптике. Равнодневичке тачке обиђу за то време целу еклиптику, померају се, дакле, за сто година за један степен. Та брзина померања равнодневица једнака је оној коју је Хипархос био саопштио. Из тог подударања извели су Делаамбр, Танери и други француски историчари погрешан закључак да је Птолемајос свој каталог звезда извео из Хипарховог обичном екстраполацијом. Тек када је пронађен Хипархов каталог и када се видело да се он, по броју својих 850 звезда, а и иначе, разликује од Птолемајовог, увидело се да је неоправдана оптужба француских историчара, подигнута против Птолемаја. Великих заслуга стекао је Птолемајос и као географ. Његов уџбеник географије који се, сем својих географских мапа, очувао и који је последњи пут, 1883-1901 године, отштампан у три свеске, био је до у ново доба главно дело античке географије. То дело је, као што ћемо видети, играло важну улогу при открићу Америке. У том свом делу Птолемајос саопштава географске координате од 5000 тачака целог онда познатог дела Земљине површине и то не само координате појединих градова, већ и ушћа река и врхунаца брегова. Није вероватно да су координате свих тих тачака одређиване астрономским начином, већ су многе од њих одређене интерполацијом. Саопштени подаци о географским ширинама одликују се добром тачношћу, што није ни чудо, јер се географска ширина места могла лако и добро одређивати гномоном или скафом. Код одређивања географских дужина, то није случај. Оне се, како је то већ Хипарх чинио могу израчунати само ако се који тренутни космички догађај, нпр. почетак или свршетак помрачења Месеца, посматра са два разна места Земљине површине и тачно одреди локално сунчево време тих места у тренутку догађаја. Та времена су за два места, која имају различите географске дужине, неједнака, и из те неједнакости израчунава се разлика њихових географских дужина. Тачност таквог одређивања географских дужина знатно је мања од тачности одређивања географских ширина. Зато се десило да су географске мапе, нацртане помоћу Птолемајових координата места, у правцу меридијана биле добре, али у правцу упоредника испале су знатно издужене преко стварности.

Могућност одређивања географских дужина послужила је Птолемају за један нови доказ за облину Земље. Њему је додао још и овај. Када се са морске пучине приближавамо каквој бреговитој обали, онда, видимо прво врхове брегова, па тек онда њихову трупину. То је знао и Архимедес, а вероватно и други пре њега, јер кад се, већ од доба Питагоре, а још више у доба Аристотела, почело говорити о облини Земље, морала је споменута појава упасти у очи пажљивим морепловцима.

Птолемајос је обогатио и оптику значајним сазнањем. Он је експерименталним путем испитао како се прелама светлосни зрак при прелазу из ваздуха у воду и одредио, за сваки десети степен интервала од 0° до 80° упадног угла, одговарајући угао преламања. Ти његови резултати објављени су у потпуности тек 1885. године. Упореди ли се они са резултатима модерне физике, види се да грешка његових мерења не прелази $34'$. Иако му није пошло за руком да пронађе математичку везу између упадног угла и угла преламања - њу је пронашао тек Холандез Снелиус 1618 године - његов експеримент је значајан и због тога што је, поред пнеуматичких експеримената Херонових, један од оно мало физикалних експеримената што су их Грци извршили. Сазнање до којег је дошао тим експериментом, употребио је Птолемајос и у астрономији, увидевши да се светлосни зраци небеских тела, при улазу у атмосферу Земље, преламају на доле, па да је услед те атмосферске рефракције измерено поларно отстојање звезда при њиховом излазу и залазу мање него у доба њихове кулминације. Као што смо већ напоменули, неки историчари астрономске науке потцењивали су заслуге Птолемаја и неправедно га оптуживали да би тиме, и у моралном погледу, створили што већи размак између њега и Коперника, и овога уздигли до небеса. Истина је да је Птолемајос био убеђен геоцентричар, али то му се не сме уписати у грех. Указали смо колики га временски размак одваја од Аристарха колико је подлегао ауторитету Хипархову. Но ваља имати у виду да се хелиоцентрични систем није могао доказати и одржати без принципа инерције. Зато је био само верни израз тадашњег стања науке када је, говорећи о немогућности обртања Земље, Птолемајос расуђивао овако, Када би се претпоставило да се Земља, као што су учили неки филозофи, обрће тако огромном брзином од запада према истоку, то би све што није на њој причвршћено, сваки облак, сваки предмет бачен у ваздух, морао заостајати према западу, јер би Земљино тло стално истрчавало испред њега. Тако је, као што ћемо видети, расуђивало велики астроном Тихо Брахе који је живео после Коперника, а четрнаест векова иза Птолемаја. Својом генијалном замисли Аристархос је истрчао пуних осамнаест векова испред свог времена, па га нису могли разумети не само његови савременици, већ и дуги низ каснијих поколења. Птолемаја су осуђивали и због његове сујете и самохвалисања. Но његов добар суд о самом себи не беше без ослонца, јер три века пре њега не беше астронома који би се са њим могао и упоредити, а камоли мерити, а више од тринаест векова протекло је после њега док је његов систем замењен новим. За време тих многих векова био је Птолемајов „Зборник” кодекс астрономске науке.

Александриски астрономи који су живели после Птолемаја не беху друго до учени коментатори његовог дела. Међу њима нарочито се истиче Папос Александриски, познат и као математичар, који је живео крајем трећег века. Он је пронашао правило о површинама и запреминама ротационих тела које је касније, незаслужено, названо Гулдиновим

правилом, по језуити Гулдину, професору Универзитета у Бечу и Грацу, који га је из Папосовог математичког дела „Синагоге” присвојио себи.

Други значајни коментатор Птолемаја био је Теан Александриски који је живео пред крај четвртог века. У томе веку завладала је хришћанска црква и Александријом која је, поред Рима, постала њен најважнији центар. Тиме је и александриски Музејон дошао под власт цркве, а њен поглавица, архиепископ александриски, није се устручавао да га растури и његове научнике разјури. За време цара Јулијана Апостате (361-363) они се вратили у свој дом, но за кратко време, јер тада поче велико уништавање свих тековина јелинске културе. О томе се говори са похвалом и у делима апостоловим, где у деветнаестој књизи стоји ово: „А многи сабраше књиге и спалише их пред свима; тако здраво растијаше реч Господња”. У томе верском покрету пропала је и друга велика александриска библиотека, чувана у Серапејану, последњем прибежишту александриске науке. Руља, фанатизована од архиепископа Теофила, разорила ју је године 342., растурила и попалила њене списе. Последњи научници Александрије и сви они који су још живели у старом грчком духу и образовању окупише се у дому учене Хипатије, кћерке поменутог Теона, но године 415 нападе руља Хипатију на улици, одвуче је у цркву и каменова је онде. Александрија престаде да буде расадник науке која није више могла да рашири своја крила ни другде, па ни у источноримском царству, у Византији, где је Грчка просвећеност таворила још хиљаду година, без плодова, јер је цар Јустинијан године 529 затворио атинску Академију и забранио учење паганске филозофије. Грци су били учитељи Римљана, али њихови ученици не достигоше ни издалека своје учитеље; најбољи од њих били су само талентовани љубитељи науке. А нису имали ни времена, ни потребе да се њом озбиљно баве, јер огромна империја римска, господарица света, обезбеђивала је, у својој управи и својој војсци, свима образованим Римљанима завидније и уносије положаје но што им их је могао пружити сиротињски научнички позив.

Глава пета

СРЕДЊИ ВЕК

Када се хришћанство распростраило по целом римском царству, постало државном вером у свим његовим покрајинама, а затим у свим његовим државама наследницама, па и у осталим деловима Европе, одбачени су сви плодови грчке учености и песништва да би били замењени једном једином књигом, Светим писмом. Она је садржавала откровења божје милости и показивала пут на спасењу душе. А то је, по мишљењу онога доба, једино било од важности. Црква предузе да своје верне поведе у небеско царство. Сви је послушаше и покорише јој се без поговора, па и они сурови народи који надираху са севера на римско царство који створише, у тој великој сеоби народа, своје властите државе. Тако је цело европско човечанство стављено у службу цркве и признало јеванђеље за врховни закон свог мишљења и деловања. Све што је Светом писму противуречило, сматрано је за погрешно. Без оклевања се посумњало да је Земља округла и да је небески свод обухвата са свих страна, како су то учили стари Грци. Не може, мислило се, бити ни антипода, јер они се не спомињу у Светом писму међу потомцима праоца Адама. Црпећи из Светог писма сва знања о свету и природи, пошло је човечанство у познавању васионе унатраг, верујући да је Земља плочастог облика са Јерусалимом у средини, заплускивана са свих страна океаном. На другој, источној, обали његовој налазило се царство блажених, а тај рај распростирао се и изнад неба, где су анђели управљали кретањем небеских тела; при томе је Сунце за време ноћи вођено око основице неба до његовог изласка. За време зиме, када Сунце дубље силази, тај подземни пут Сунчев је дужи но у летње доба; зато су зимске ноћи дуге.

То је, углавном, била слика света раног Средњег века, изложена и „Хришћанској теологији” око 547 године. Чудна је подударност што је њен писац, калуђер Кузман, назван Индијопловац, рођен у Александрији, дакле баш у оној вароши одакле је Ератостенес, посматрајући небо, измерио пречник Земљине лопте, а Аристархос величине и отстојања небеских тела.

Загосподаривши жариштем старе науке, црква је и свуда другде ставила у своју службу науку, песништво и уметност. Наставни план преудешен је у том смислу. У државама европског запада учило се у школама седам вештина. У нижим разредима, у такозваном тривиуму, учила се граматика, дијалектика и реторика, а у вишим разредима, у квадривиуму, учила се аритметика, геометрија, музика и астрономија, све на црквеном, латинском, језику. Те вештине служиле су једино томе да славе Бога, па су обухватале само оно што је служило том задатку. Граматика се учила због знања црквеног језика, дијалектика и реторика, да се њим свевишњи хвали, математика и астрономија, да се саставља

хришћански календар, музика, због пјенија Богу. Колико је тај наставни план био нижи од наставног плана грчких филозофских школа и александриског Музејона! Некадашње велике филозофе и научнике заменили су наставници слабог образовања. Они нису, примера ради, били у стању да унапред израчунају када ће се десити пуни Месец. А, по правилима Светог писма, Ускрс се треба празновати оне недеље која је следовала првом пуном Месецу иза пролетње равнодневице. Да би се о томе добили потпуни подаци, одашиљани су поклисари у Шпанију да на тамошњим арапским школама затраже потребна обавештења. Јер Арапи су били наследници грчке учености, док је хришћанска црква забранила учење старих, паганских, класика, бојећи се да оно не уздрма схватање о свету које је одговарало хришћанском веровању. Презрена и одбачена од западних народа, грчка наука нашла је уточиште код Арапа који је узеше као посвојче и неговаше је све до краја тринаестог века, када ју је опет прихватио европски запад. Зато, саопштавајући историју астрономије тог раздобља средњег века, говорићемо, углавном, о историји Арапа и њиховој учености. Чудан је то био народ, ти Арабљани! Као да су са неба бачени, појавише се они изненада на попришту светске историје, пошто су пре тога, одвојени од осталог света, живели као номади пастири на свом огромном пустом полуострву, камо није крочио ниједан освајач. Историја Арабљана почиње тачно утврђеним даном 16 јула 622 године, од којег они броје свој календар. То је био дан Хеџре, иселења Мухамедовог из Меке у Медину. Када се он, десет година иза тога, вратио у слављу у Меку као пророк Алахов и признати вођ свога народа, дао је својим земљацима нову једну веру у једног Бога, „Ислам”, коју они прихватише. Његови наследници, калифе, а нарочито Омар, раширише ту нову веру огњем и мачем, освојише Сирију, Палестину и Египат. Дамаскус, Антиохија и Јерусалим (638) паде им у руке, а године 642 и Александрија. Годину дана иза тога били су у Триполису, а године 650 била је цела персиска држава покорена. До године 710 била је освојена цела северна Африка, године 711 пређоше код Гибралтара у Европу и освојише за кратко време цело Иберијско полуострво до у саме Пиринеје. Да се зауставимо један тренутак на поменутом освојењу Александрије. У многим делима која говоре о том догађају каже се да су том приликом Арапи спалили велику александриску библиотеку. О томе се препричавају и интересантне појединости. Када је, веле, Омаров војсковођа Амру освојио Александрију, питао је тог калифа, шта да уради са александриском библиотеком, а овај му је одговорио: „Ако се у тим књигама налази што и у курану пише, не морамо их читати, а ако оне садрже нешто противно Мухамедовој речи, не смемо их читати.” Са тим упутством, Амру даде спалити александриску библиотеку. Ова легенда, која је, на жалост, ушла и у многе средњошколске уџбенике, појавила се тек шест векова иза освајања Александрије; њен аутор био је сиријски хришћански владика Абулферагиус, назван, по свом оцу, Бар

Хебреус. Ниједан од очевидаца који су оставили писмених прибележака о освајању Александрије, не спомиње ниједном речи уништавање какве библиотеке. Знатнијих библиотека и не беше више у Александрији, јер су, као што смо већ саопштили, њене две велике библиотеке већ одавно биле разорене. У најгорем случају по Арапе, могло се, дакле, радити само о остацима библиотека, каквих је, вероватно, још било у Александрији. Но ни у том случају не бисмо смели осуђивати Арапе што су, можда, урадили оно што су Хришћани, два и по века пре њих, учинили, сигурно и са предумишљањем. У својој новој држави, боље рећи државама, јер се она убрзо распала у више њих, дођоше Арапи у духовни додир са подјармљеним становништвом некадашњих расадника културе старог света. Сами по себи непросвећени, но жељни знања, Арапи дођоше у школу тих староседеоца, научише од њих што се научити дало, па приступише списима старих грчких научника, које пронађоше у својој новој постојбини, запрашене, заборављене и од одавна недодирнуте, а набавише, као што ћемо видети, такве списе и из иностранства. Први учитељи Арапа били су сиријски хришћани, названи несторијанцима. Прогоњени од државне хришћанске цркве, нађоше они гостољубив пријем у персиској држави, па када Арабљани освојише и Персију, упознаше их они са списима грчке учености, чија су велика дела превели на свој матерњи, сиријски, језик. Арапи почеше да се све више интересују за грчку науку, па када, у другој половини осмог века, калифа Алманзур начини Багдад престоницом династије Абасида, позва он онамо несторијанске научнике да преведу те списе и на арапски језик. У време калифе Харуна ал Рашида, савременика Карла Великог, постаде Багдад средиштем арапске науке и уметности. Онда би основана Висока школа, а онде беше много јаких и приватних библиотека, а преко сто књижара. У европском западу биле су онда такве установе скоро непознате, а свемоћни владар његов, Карло Велики, научио је да пише тек у својој старости. Још више заслуга за развитак арапске науке стекао је Харунов наследник Алмамум који побеђеном цару Византије, Михаилу II, стави мировним уговором у дужност да му преда драгоцене грчке рукописе. Он их даде превести на арапски језик, учествујући лично у раду ученог колегијума којему беше поверио то превођење. На заповест Алмамума премерен је у равници Синеар, северно од Еуфрата, меридијански лук, дуг два степена, чиме је установљено да степен меридијана мери $56\frac{2}{3}$ арапских миља, а тиме је премерен и цео опсег меридијана и полупречник Земљине лопте. Потстрек и упутство за ово премеравање добили су Арапи из списка грчких астронома, али су те своје учитеље наткрилили у вештини астрономских посматрања, јер су располагали бољим справама за тај посао, а своју звездару у Багдаду снабдели веома скупоценим астрономским инструментима. У то доба живео је у Багдаду астроном Алфергани, а сто година доцније живео је и посматрао у Дамаску највећи арапски астроном Албатани. И за време династије Бујида,

који су одменили Абасиде, настављен је астрономски рад у Багдаду. Израђени су нови, скупоценији, астрономски инструменти, а руковаће њима би поверено Персијанцу Абул Вефи. После смрти тог одличног астронома наступило је нагло малаксавање научног рада у Багдаду, да би он добио новог полета у Каиру, главном граду египатског калифата Фатимида. Онде је, на брегу Алјорефу, подигнута велика звездара и основана је велика библиотека, по угледу на стару александриску. Ту је живео и радио Ибн Јунис (умро 1008), велики арапски астроном, који је израдио нове планетске таблице, посвећене калифу Хакему, по којем се још и сада зову. Арабљанска ученост проширила се и у подјармљену Шпанију и онда почела да се самостално развија када се, године 755, искрцао на обали Андалузије Омајад Абдерахман, да завлада Шпанијом, баштином својих предака, да онде оснује кордовски калифат. Владавине Абдерахмана III и његовог сина Хакама II биле су златно доба арабљанске Шпаније. Хакам основа у Кордови Високу школу и прикупи онде огромну библиотеку од 600.000 манускрипти. Сам каталог те библиотеке имао је 44 свеске. И у другим градовима арабљанске Шпаније, у Гранади, Саламанки, Севиљи и Толеду, отворене су високе школе, основане библиотеке, подигнуте звездаре. У те школе долажаху ученици и из хришћанских држава, јер су те арапске школе стајале на далеко вишем степену но све друге школе у Европи. у Шпанији није материјална култура никад стајала на тако високом ступњу као у доба Арапа, који је претворише у праву башту. Исто је било и са Сицилијом кад је Арапи освојише. Арапи су превели на свој језик сва знатна дела грчких научника, Аристотела, Еуклида, Архимеда, Аполонија, Птолемеја и других. Птолемејов „Зборник”, који је, као што смо већ рекли, добио по њима своје име „Алмагест”, превели су неколико пута. Од његових првих превода на арапски језик сачувала су се њих два, један из године 827, који се чува у универзитетској библиотеци у Лајдену, а други, који је за 30 година млађи, налази се у француској народној библиотеци, а има их још и много других. Арапски астрономи узели су Птолемејов „Зборник” за основу целе своје астрономије. Они нису доводили у сумњу ниједан његов основни став, већ су се задовољили тиме да то дело потпуно разумеју, по његовим прописима врше своја астрономска посматрања, допуњавају га и усавршавају га њима. Знатан напредак постигли су у конструкцији астрономских инструмената, у чему су били велики мајстори. Напредак технике и усавршавање њених средстава помогао их је у томе, не мање велика материјална средства која су им стављена на расположење. Због тога је прецизност њихових астрономских посматрања надмашила тачност посматрања Александринаца. Зато је њихово премеравање Земље било сигурно тачније од премеравања Ератостена и Посејдона, но не знамо тачно у којој мери, јер немамо тачнијих података о дужним јединицама свих тих мерења. И своје таблице којима су настојали да што тачније претставе кретања покретних небеских тела, израђивали су

на темељу својих властитих посматрања. То им је омогућило да открију неке важне особине тог кретања које су Птолемеају биле непознате. Једна од тих тиче се постепеног померања апсидне линије привидне Сунчеве путање. Открио га је њихов највећи астроном Мухамед ибн Џабир ал Батани, назван од његових латинских преводаца Албатегниус. Родио се половином деветог века у Батану у Месопотамији, а умро 929 или 930 године. Другу, не мање важну појаву, трећу велику неједнакост у кретању Земљиног Месеца, која се зове варијација, открио је поменути Абул Вефа (940-998). Албатани и Абул Вефа стекли су великих заслуга и за развитак тригонометрије, јер су, место Птолемејових тетива, увели у ту науку тригонометријске функције синус, косинус, тангенс и њихове реципроке.

Свој траг у науци астрономије оставили су Арапи и својим називима неколицине понајвише сјајних звезда некретница, као што су: Алдебаран, Алгол, Алкор, Бетајтеза, Денеб, Етанин, Фомалхаут, Мизар, Ригел, Вега. Арапски научници дошли су у везу и са науком Индијаца, у којој су, већ у оно доба, математика и геометрија стајале на високом ступњу. Од њих су примили и њихове цифре и начин писања бројева, који су, пад именом арапских бројева, касније пресађени у западну Европу. После свог наглог и бујног процвата поче арабљанска култура нагло опадати. Велики багдадски калифат распаде се у мање државе које подлегоше, у тринаестом столећу, најезда Монгола. У осталим подручјима, у Сирији, Египту и Шпанији, арапска култура животарила је још неко време, док се и ту није угасила.

Још док је арабљанска ученост била на својој висини, отпочео је, крајем једанаестог века, двовековни период крсташких ратова. Побожно човечанство Запада стави се у покрет да ослободи свети гроб, непрегледне гомиле пучанства и силне војске витезова кренуше ка истоку. Капије Истока беху насилно отворене, а кроз њих дуну свеж ваздух у атмосферу Запада, замагљену тамјаном. Крсташки ратови нису имали никаквих научних циљева, али њима дођоше европски народи у додир са арапском културом, па неке њене плодове донесоше коморције крсташке војске у Европу. Главну корист тих похода убраше велики трговачки градови Италије, Венеција, Ђенова и Пиза. Старајући се за превоз и снабдевање хришћанских војски, они основаше на обалама Азије и Африке своја стоваришта, па донесоше оданде, поред своје трговачке робе, и по коју научну тековину. Они су, већ пре тог похода, ступили на јужним обалама Италије и на Сицилији у додир са Арапима, научили њихов језик и умели читати њихове списе, Из тих списа највише их је интересовало оно што је било у вези са њиховом струком: трговачка рачуница. Није им било тешко увидети колико су арапске цифре, а нарочито нула, спретније од незграпних и непрегледних римских бројева. И тако дођоше те цифре и начин рачунања са њима у Италију и изазваше онде нагли развитак аритметике. Камен темељац за ту изградњу математике поло-

жио је Пизанац Леонардо, син Боначија, назван Фибоначи, (1180 - 1250) својим латински писаним делом „Liber abaci”. Њим отпочиње нова епоха математичке науке у Европи. Поред арапских цифара, дођоше у употребу не само знакови + и -, већ и употреба слова за опште означавање бројева, а то изазва развитак алгебре са њеним бесконачним могућностима и новим проблемима. Тај полет математике показао је шта се све може научити из арапских списа, а ови су довели Европу до праизвора науке, до списа Антикe, које су Арапи били превели на свој језик. Тако је почело превођење арапских списа грчких филозофа на латински језик, па се створише праве школе које су обављале то превођење. Најважније од њих биле су преводачке школе у Палерму и Толеду. У ранијем средњем веку били су у Европи познати само неки од Аристотелових списа у рђавим латинским изводима, у тринаестом веку упознао се европски запад са целокупном филозофијом Аристотела. Она је далеко надмашила сва дотадања знања Запада и одблеснула толиком светлошћу да је надасјала сву западњачку науку. Та Аристотелова филозофија постаде главни предмет свих Универзитета који се, убрзо један за другим, основаше у напредним градовима Европе, у Болоњи (1158), Паризу (1206), Падови (1221), Напуљу (1224), Оксфорду (1249), Прагу (1348), Кракову (1364), Бечу (1365) и Лајпцигу (1409). Следбеници и предавачи Аристотелове науке, схоластичари, били су, у неку руку, сродни теолозима раног средњег века, јер као што су се ти црквени писци држали слепо Светог писма, тако су и схоластичари сматрали Аристотелове списе за једини извор знања. Они не доведоше у сумњу ниједно учење Аристотелово, већ га прихватише неограниченом педантеријом, са свим његовим недостацима и погрешкама. Из тог ропског стања, које је онемогућавало сваки њен напредак, спасли су науку природњаци. Као што смо видели, Арапи су превели на свој језик све знаменитије списе грчких научника. Што се европски запад упознао и са тим делима антике, највећа је заслуга толеданске школе преводаца, због чега је потребно да и о њој кажемо коју реч. Мале хришћанске државе које су се, у северним крајевима Иберијског полуострва, одупрле арапској најезди почеше у десетом и једанаестом веку да се уједињују у веће и да своје границе шире према југу. Године 1085 краљ Алфонзо од Кастилије оте Арапима Толедо и начини га својом престоницом. Од 1126. до 1151. године био је надбискуп толедски просвећени и учени Рајмондо. Он прикупи све арапске списе које су се при освајању Толеда онде нашли и оне које је и другде набавио, начини од њих уређену библиотеку и приступи превођењу њиховом и на латински језик. Главне личности толеданске школе преводаца били су Јеврејин Јован из Севиле и Герардо из Кремоне (1114-1187). За нас је од нарочитог интереса овај други. Рођен у Кремони, студирао је медицину, по свој прилици, на онда најславнијој таквој школи у Салерну, где је дошао у додир са арапском науком, био је лични лекар и астролог цара Фридриха Барбаросе, отишао је 1134. у

Толедо, где је, изгледа, остао до своје смрти. Превео је 92 дела са арапског на латински, међу њима Еуклида, Архимеда и Птолемаја (1175). Тај огроман број Герардових превода сведочи да је томе послу посветио цео живот. Боље од свих, он је увидео неоцењену вредност дела која је преводио, а још више опасност која им је претила. Заиста, чим је умро просвећени Рајмондо, његови наследници на надбискупској столици не показаше никаквог интересовања за те списе пагана и неверника, па зато поче толеданска школа преводилаца кубурити, живећи само од своје властите зараде; онда је од својих превода правила преписе и продавала их по разним варошима Европе. Благодарећи тој трговини, упознала се и остала Европа са тим списима. Ипак је верски фанатизам толедских надбискупа и шпанске католичке цркве убрзо пресекао рад толеданске школе. А томе су следовали и други важни историјски догађаји. Године 1236., 26 јуна, освојила је војска Фердинанда Кастилског Кордову, некадашње средиште арапске учености. Том приликом изгорела је и њена велика библиотека о којој смо већ говорили. Изгледа да је Герардо предвидео тај ток догађаја, док је без предаха радио да од арапске литературе спасе што се још могло спасти. У томе лежи његова велика заслуга за науку. Књиге толеданске преводилачке школе стигосе у све научне центре Европе. На њеним Универзитетима поста астрономија цењеним наставним предметом. Школски програм прашког Универзитета за годину 1366., обавештава нас да су предавања о Птолемајевом „Зборнику“ трајала онде годину дана и да се за њих плаћала већа школарина но за остале предмете. Путем Птолемајевог дела упознала се западна Европа са астрономијом Антике и примила уз то дело, без поговора и икакве сумње, геоцентрички систем света. Птолемајева наука обухватила је и све практичне примене астрономије, њом се могло пратити кретање Сунца, Месеца и планета, претсказивати помрачења Сунца и Месеца и одређивати географске координате. За такву примену астрономске науке стекли су нарочитих заслуга Георг Пурбах (1423-1461) и његов ученик Јохан Милер Региомонтанус (1436-1476). Обојица беху добри познаваоци александриске науке, усавршише астрономске инструменте, а Региомонтанус основа прву звездару хришћанске Европе. Радио је са великим успехом и на изградњи тригонометрије и израчунавао астрономске ефемериде које су добиле велики значај у морепловству. У оно доба кренуше португалски морепловци Атлантским океаном дуж западне обале Африке, опловише године 1434. рт Бојадор, а године 1488. стиже Вартоломеј Диас до јужног краја Африке. Нагли развитак морепловства захтевао је добро познавање астрономских средстава наутике и потребу и израду географских мапа. И у томе су Александринци били учитељи тадашњих картографа који се васпитаваху Птолемајевим уџбеником географије. Један од њих, Флорентинац, лекар Паоло Тосканели (1397-1482), нацртао је једну такву мапу, донекле сличну Меркаторовој, са свима тада познатим старим континентима. Она се није очувала,

али њене главне линије познате су нам по глобусу космографа Мартина Бехајма (1459-1507), рођеног у Нирнбергу, а умрлог у Лисабону. На том глобусу види се како су стари континенти Европа и Азија прекрили знатан део Земљине северне хемисфере тако да би пренесено то у стварност, источна обала Азије са својим великим острвом Ципангом, како се по географу Марку Полу онда називао Јапан, допирала до онде где се, уствари налази западна обала американског континента. Да такав континент постоји, није се ни слутило, нити се знало да постоји Пацифички Океан. На темељу те своје мапе Тосканели је тврдио да се до Индије може брже и лакше доћи пловећи Атлантским Океаном право према западу, но око Африке. То мишљење прихватили су географи који, васпитани у школи Птолемеја, нису више сумњали да је Земља заиста округла. И Ђеновац Кристофоро Колумбо (1446-1506) или, како се касније звао, Кристобал Колон прихватио је мишљење Тосканелијево, ступио са њим у везу и добио од њега уз пропратно писмо и његову мапу. Користећи се њом и неким другим подацима, израчунао је да отстојање од Канарских Острва, одакле је намеравао да пође на пут преко океана, па до Ципанга није веће од 90 степена Земљиног упоредника. Тај погрешни, но зато срећни резултат његовог рачуна настао је, поред осталог, и због тога што је, као што смо чули, Птолемејос сматрао Средоземно Море за дуже но што је уствари, и што се Колумбо при израчунавању Земљиног опсега послужио Алмамуновим премеравањем Земље, а дужну јединицу, примењену при том премеравању, арапску миљу, сматрао једнаком талијанском миљом. Због тога му је опсег Земље испао за скоро једну петину мањи но што је уствари. Ослањајући се на тај свој рачун, Колумбо се смео одлучити на свој пут. Године 1492., 12. октобра, искрцао се на острву Гуаханију и открио је нови континент, Америку. Али Колумбо није то ни слутио и умро је 14 година доцније, мислећи да је нашао само један нови трговачки пут до источне обале евроазијског континента. У исто доба када се Колумбо, пошавши са Гуаханија даље, искрцао и на другим Антилским острвима, уништени су и последњи остаци некадашње моћне арапске државе на Иберијском полуострву. Војске шпанских владара Фердинанда Арагонског и Изабеле Кастилске освојише године 1492., 2. јануара, главни град маварске државе, Гранаду, који је имао 400.000 становника, и за неколико година потиснуше Арапе сасвим из Шпаније или их силом преведоше у хришћанство. Исто онако хитро као што се на њој појавише, Арапи нестадоше са позорнице светске историје.

Глава шеста

ПРЕПОРОД АСТРОНОМСКЕ НАУКЕ

Никола Коперник

Плодови јелинске културе, сачувани и достављени западној Европи посредством Арапа, а прихваћени са великим интересовањем, дали су јак потстрек развоју науке. И као што је упознавање Европе са том старом културом изазвало ренесансу, препород књижевности и уметности, оно је исто тако изазвало препород науке. И као што је упознавање Европе са том старом културом изазвало ренесансу, препород књижевности и уметности оно је исто тако изазвало препород науке. Колевка тог препорода била је Италија, где се најјаче тежња да се што пре стигне до правих извора античке културе. Европски научници, упознавши се путем арапских превода, са делима грчке науке, увидеће да су ти преводи непотпуни и непоуздани, што није било никакво изненађење кад се узео у обзир њихов постанак. Ти преводи настали су из сиријских превода а при преводу њиховом на латински језик, њихови преводиоци, недовољно упознати са арапским језиком морадоше звати у помоћ Мориске, покрштене шпанске Арапе. Тај заобилазни пут унаказио је у великој мери те латинске преводе. Увидела се потреба непосредних превода са грчког на латински, књижевни језик онога доба.

Описаћемо овде на неколико конкретних примера како се дошло до тих нових превода, а отпочећемо са једном интересантном личношћу која већ обележава прелаз од средњовековних схватања ка новом добу. То је био Никола Кребс, син рибара Јохана Кребса, који се по свом родном месту, Куесу на Мозели, звао Никола Кузанус (1401-1464). Добро школован, знао је сва три стара језика, грчки, латински и јеврејски, а имао је и изразитог математичког талента. Зато је био, боље но ико други, у стању да правилно оцени вредност античке науке и да поради на томе да се европски запад упозна потпуније са њом. За време својих студија у Италији упознао се и спријатељио се са споменутиим Тосканелијем који га је увео у математику и астрономију. Кузанус је био одличан говорник и дијалектичар, и све то допринело је да се у свом свештеничком позиву убрзо попне на високе положаје. Већ као архиђакон учествовао је у концилу у Базелу, а године 1438 послао га је папа Јевђеније IV у Цариград да пред све већом опашношћу од турског надирања које је угрозило престоницу Византије, поради на измирењу и спајању источне и западне хришћанске цркве. У тој мисији Кузанус није успео, али је видео да се у Цариграду налази огромна ризница неоцењеног блага старих грчких рукописа који су, заборављени и неупотребљавани, лежали онде вековима, па није пропустио да неке од тих рукописа набави и понесе са собом у Италију. У Цариграду се упознао и са Висарионом, владиком

Никејским, определио га да пређе на католичку веру и пође у Италију где постаде кардинал. Тако је Кузанус, поред грчких рукописа довео са собом и доброг познаваоца грчког језика.

Године 1447 био је болоњски бискуп Томазо Парентучели изабран за папу Николу V. У оно доба стигосе у Италију прве избеглице из угроженог Цариграда и из оних земаља источно-римског царства које су Турци били освојили. Године 1453 паде и сам Цариград Турцима у руке и онда се изли права бујица таквих избеглица по целој Италији. Међу њима налазило се и научника који донесоше са собом старих грчких рукописа и раширише онде знање старогрчког језика. Сви они нађосе код Николе V гостољубиво уточиште. Изванредно просвећен, стекао је он нарочитих заслуга за процват науке што је, не штедећи материјалних жртава, набавио око 3000 старих рукописа и њима положио темељ ватиканској библиотеци која данас има 53.000 старих рукописа и њиховим бројем заостаје само иза париске националне библиотеке. Но Никола V није се задовољио само тиме да те рукописе само набави, већ је прикупио и познаваоце грчког језика да би се ти списи превели на латински језик. Прве помагаче имао је у Кузанусу и Висариону, а није се устручавао да и једног Грка постави за апостолског секретара. То беше Георгије Трапезунциус (1396-1484) рођен на Крети, који је већ 1420 дошао у Италију и био онде учитељ грчког језика у разним њеним варошима. Међу његовим многобројним ђацима налазио се и поменути астроном Региомонтанус. Тако су били остварени услови за успешан рад. А њима се придружио још један нови не мање значајан. Године 1450 усавршио је Гутенберг, после разних покушаја свујих претходника, начин штампања књига покретним словима у толикој мери да већ 1455 ступи пред јавност својим првим штампаним књигама. Та вештина раширила се врло брзо и по другим европским земљама. У Риму је отворена прва штампарија године 1464, а у Венецији су, убрзо иза тога, створене штампарије светског гласа. До године 1500 одштампано је у Европи преко 30.000 књига, а међу њима и дела антике. Те године дошао је у Рим будући реформатор астрономске науке, Никола Коперник.

Никола Коперник родио се у пољском граду Торунју 19 фебруара 1473, по јулијанском календару, а умро у Фрауенбургу 24 маја 1543. И отац му се звао Никола. Године 1491 уписао се на Јагелонски Универзитет у Кракову и остао је онде до године 1495. У оно доба био је Краковски Универзитет најбоља астрономска школа целе Европе, имао је две редовне професуре и неколико доцентура за астрономске предмете. Међу тим наставницима налазио се и Алберт Бруцевски, ученик Региомонтанов, добар познавалац грчке науке. На том Универзитету положио је Коперник темељ свом каснијем широком образовању и остао са њим у вези целог свог живота. Кадгод је путовао у Италију или се враћао оданде, свратио је у Краков, дописивао се са тамошњим наставницима, а онде је штампао и свој превод једног грчког дела.

Године 1496 дошао је Коперник у Болоњу и уписао се онде у правни факултет, али се више бавио астрономијом и помагао у његовим астрономским посматрањима тамошњег познатог астронома Доменика Марија Навару. Године 1500 боравио је Коперник у Риму и држао онде предавања из астрономије. Године 1501 био је у отаџбини, али се оданде брзо вратио у Италију да у Падови студира медицину. Ту се, усавршивши се код једног Грка у грчком језику, упознао и са делима Хипократа и Галена, ту се спријатељио са Луком Гауриком, издавачем латинских превода Архимедових списа. Године 1503 промовисан је на Универзитету у Ферари за доктора црквеног права, а онда се вратио у отаџбину на свој свештенички положај на који га је био поставио већ 1497 његов ујак Лука Вацелрод, епископ Ермланда, саставног дела пољске државе. Од године 1505 па до 1512 бавио се на владичанском двору свога ујака, да би после његове смрти провео остатак живота у својој парохији у Фрауенбургу. Ту је био угледна, учена и активна личност свештенства бискупије, али се поред својих редовних дужности бавио до своје смрти реформом астрономске науке.

Још док беше на Универзитету у Кракову, Коперник је наишао на велики проблем којему је посветио цео свој живот. Ту се упознао са Птолемејевим „Зборником” и оним местом у њему где се говори о мишљењу неких филозофа да се Земља креће. Коперников учитељ Бруцевски држао је од године 1490 предавања о списима Аристотела па, вероватно, напоменуо и коментар Томе Аквинског о Аристотеловом спису „О небу и свету” у којем се говори о могућностима других система света, различити од геоцентричног, а можда и коментар Николе Орезма који је ту могућност још јаче истакао. Зато ја Коперник, још пре свог полазак у Италију, сагледао на обзорју свог духовног вида руменило зоре које је препородило астрономску науку. Отоме нас и он сам извештава у посвети свога дела папи Павлу III, углавном овим речима. „Потрудио сам се, што сам више, да поново прочитам све књиге старих филозофа, до којих сам могао доћи, да видим да ли је когод други био различитог мишљења о кретању небеских тела но што се то сада учи у школама математичких наука. Тако сам нашао код Цицерона да је Хикетас Сиракужанин” - Коперник га зове погрешно Никетас - „веровао да се Земља креће. После нађох и код Плутарха да су и други били истог мишљења”.

На овом месту своје посвете Коперник напомиње још и Филолаоса, Хераклида Понтикоса и Екфанта, а и не спомиње, ни овде, ни на којем другом месту штампаног издања свога дела, Аристарха. Зато се дуго мислило да Коперник није познавао учење Аристархово. На такво схватање одбацио је већ Александар Хумболд у своме „Космосу”, свеска 2, страна 349, овим речима:

„Често се говорило да Коперник није познавао учење Аристарха са Самоса о непомичном Сунцу и покретној Земљи због тога што су „Псамит” и остала дела Архимедова објављена тек годину дана иза Ко-

перникове смрти, пун век иза проналаска штампе, али се при томе предвиђа да Коперник у посвети свог дела папи Павлу III наводи из Плутарховог дела „О мишљењима филозофа” (III, 13) једно подуже место о Филоласу, Екфанту и Хераклеиду Понтикосу и да је у томе истом делу (II, 24) могао прочитати како је Аристархос са Самоса сматрао Сунце непомичним”.

Хумболтоново мишљење да је Коперник познавао Аристархово учење показало се као тачно када је у самом рукопису Коперниковог дела, чуваног у грофовској фамилији Ностица у Прагу, на крају њеног II поглавља, пронађено ово место:

„Па ако дозволимо да се кретање Сунца и Месеца може објаснити и при непомичности Земље, то није ниуколико случај код осталих покретних звезда. Вероватно је да је Филолаос из сличних разлога претпоставио да се Земља креће, коју претпоставку је учинио и Аристархос, као што то неки извештавају”.

Овде, као што видимо, Коперник говори о некима, дакле бар бо двојици, који нас извештавају о Аристарховом систему, а то су могли бити само Плутархос и Архимедес, јер друга сведочанства и не постоје. Одатле закључујемо да је Коперник познавао оба цитата која смо навели говорећи о Аристарху. Коперник се, дакле, упознао са Аристарховим системом путем Плутарха, што би уосталом, било довољно, но вероватно и путем Архимеда, зашта ћемо касније навести и још један доказ.

Коперник је провео пуних седам година у Италији. Онде је, као што сам каже, учинио све што је могао да дође до свих списа старих филозофа који су били различитог мишљења од геоцентричара о кретању Земље. А сви ти списи налазили су се, било у грчком оригиналу, било у латинском преводу у ватиканској библиотеци, препуној таквих списа. Онде се налазио и превод Архимедових списа што их је Јаков из Кремоне превео око године 1450 на латински језик на захтев папе Николе V. Чули смо да је године 1500 Коперник био у Риму па је, као каноник и нећак угледног бискупа, имао приступа у ватиканску библиотеку. После онога што он сам каже, тешко је замислити да није искористио ту прилику да се упозна са делима Архимедовим. А наредни издавач Архимедових списа, Лука Гаурикус, био је колега и пријатељ Коперников. Зато налазимо да је потпуно оправдан суд француског историчара Дихема који каже да је Аристархос био не само претеча већ и инспиратор Коперника.

Но све то не умањује ниуколико велико дело Коперниково. И други научници онога доба су знали за Аристархово знање хелиоцентричног система које је лежало порушено, а на његовом месту била подигнута величанствена зграда Клаудија Птолемеја која је блистала у пуном сјају скоро четрнаест векова. Ниједан од тих научника није се усудио да на Птолемејевој згради измени и један камен. Зато је дело Коперниково, који је порушио ту зграду, и на њеном месту васпоставио ону стару, било дело титана. Он га је извршио својим бесмртним делом

„*De revolutionibus orbium coelestium*. 1543.”

Коперникова зграда васионе има свој распоред. Непомична сфера звезда некретница спољна је граница те зграде. Корачајући према њеној унутрашњости наилазимо прво на кружну путању Сатурна који је обилази за тридесет година, даље на путању Јупитера са дванаестогодишњим обилажењем затим на путању Марса, који је обилази за две године. На четвртном месту налази се годишња путања Земље са епицикличком путањом Месеца. На петом месту кружи Венера за девет месеци, шесто место заузима Меркур који у осамдесет дана обилази своју путању. У средини целе васионе стоји Сунце, јер „где би било за њ лепшег места у овом дивном храму... Тако управља Сунце седећи на свом краљевском престолу својом породицом звезда”.

По Копернику врши наша Земља три разна кретања:

1. Дневно обртање око своје осе од запада према истоку, из којег следује привидно дневно кретање свих звезда од истока према западу.
2. Годишње кретање око Сунца од запада према истоку, из које следује привидно годишње кретање Сунца, истог смера обилажења.
3. Годишње конично кретање Земљине осе око нормале, уздигнуте на раван Земљине путање, које следује у обратном смеру првих двају кретања Земље.

Како је Коперник, без икакве потребе, претпоставио да би, иначе, Земљина оса стајала у чврстој вези са правом што спаја Земљу са Сунцем, ово треће кретање треба, са једне стране, да осигура скоро непромењену оријентацију Земљине осе у простору за време њеног обиласка око Сунца, а с друге стране, да тиме што периоде ових двају кретања нису потпуно једнаке, растумачи прецесију равнодневница. Од овог трећег кретања остало је данас, као прихваћено, само лагано прецесионо кретање Земљине осе, пошто се увидело да слободно тело које ротира око своје осе одржава непромењену оријентацију те осе у простору.

Као што из саопштеног следује, Коперников систем је, у свим својим основним цртама, идентичан хелиоцентричном систему Аристарховом. И разлози које Коперник употребљава за доказ свога система налазе се, углавном, у списима његових претходника. Одсуство годишње паралаксе звезда некретница тумачи Коперник тиме што узима да је полупречник Земљине путање бесконачно мален према одстојању звезда некретница, дакле исто онако као и Аристарх, о чему нас је Архимедес, својим „Псамитом”, известио. И то је доказ да је Коперник познавао то дело Архимедово.

Аргуменат у корист хелиоцентричног система да се Меркур и Венера никада не удаљују на небу много од Сунца, а да нам остале планете изгледају најближе када се налазе у опозицији према Сунцу налази се саопштен у једном делу Мартиануса Капеле из петог века, које се употребљавало као уџбеник квадравијума.

Релативну природу сваког кретања објаснио је јасно Никола Кузанус.

У свом делу „Учено незнање” каже он: „Земља је звезда и налази се у кретању као и све остало у природи. Јасно је дакле, да се Земља стварно креће, иако то не примећујемо, јер се кретање може само онда константовати ако га упоредимо са нечим непомичним...Кад когод не би знао да река тече, а не би видео њену обалу, како би у лађи, коју река носи, могао сазнати да се лађа покреће. Исто ће тако сваком ко се налази на Земљи или на којој другој звезди изгледати да се он налази у непокреном средишту, а да се све око њега налази у покрету”.

Широко образован снабдевен темељним знањем грчког и латинског језика, Коперник је познавао сву античку научну литературу, и за време свог боравка у Италији био у стању да до ње дође. Зато му није умакло ништа што се односило на проблем кретања Земље. Но велики број његових класичних претходника не умањује ниуколико величанственост његовог дела, јер он је све појаве које се тичу кретања Земље прозрео дубље но све његове претече и сложио их у логичну целину, па тиме створио потпуни један систем, који се са правом зове његовим именом. Он је - што нико пре њега није учинио - размрсио клупче епицикала и открио њихову везу са хелиоцентричним системом. Аполониос је као што смо видели, дошао до епицикала, полазећи од хелиоцентричног система, а Коперник је пошао противним путем. Он је полазећи од епицикала продро до хелиоцентричног система. Сада нам је јасно како је то учинио. Јер као што смо из слике 6 која нам је предочавала кретања у хелиоцентричном систему, извели слику 7 која нам је представљала епицикличко кретање планета релативно према Земљи, тако је Коперник могао из те слике 7 да изведе слику 6, а њоме кретања у хелиоцентричном систему. Ту је наишао само на једну потешкоћу. Александринци су, код планета које се крећу изван Земљине путање, без уштрба на коначни ефекат кретања, заменили међусобно концентар и епицикл. Коперник је то увидео, па растумачио и доказао да код планета које круже у унутрашности Земљине путање, кретање по концентру не представља ништа друго до кретање Земље око Сунца, а кретање по епициклу стварно кретање планете око Сунца. Код осталих планета обрнут је случај. Увидевши то, Коперник је могао из бројева што их је саопштио Птоломајос у своме делу, а који су давали размеру полупречника епицикла о концентру, да прочита размере полупречника планетских путања и да их изрази помоћу полупречника Земљине путање, одабраног за јединицу дужине, на тај начин добио је Коперник ове бројеве за одстојања планета од Сунца:

Меркур . . .	$a = 0,375$
Венера . . .	$a = 0,720$
Земља . . .	$a = 1,000$
Марс . . .	$a = 1,52$
Јупитер . . .	$a = 5,21$
Сатурн . . .	$a = 9,18$

Стварна одстојања планета од Сунца, изражена истом мером, дата су, место предњим, овим бројевима:

0,387; 0,723; 1,000; 1,524; 5,203; 9,55

Ти бројеви показују колико је драгоценог емпириског материјала лежало скривено у Птолемејевом Зборнику. Да би из саопштених релативних бројеба одстојања нашао стварне, узео је Коперник за полупречник Земљине путање Птолемејов број од 1210 полупречника Земљине лопте који далеко заостаје иза стварности. но упркос томе, међусобне пропорције разних отстојања у Сунчевом систему остале су недодирнуте, само њихово мерило било је нетачно. Коперников систем био је геометријски сличан правој стварности. Због тога је Коперник и смео да каже: „Они који си смислили епицикличне кругове нису били у стању да нађу, а камо ли да израчунају, омо што је најважније, облик света и сигурну симетрију његових делова”. - Он ју је, заиста, нашао и израчунао.

Природно је да је и Коперников систем имао својих недостатака, астрономских и физикалних. Коперник је, као и Александринци, дозвољавао само кружна равномерна кретања, па се због тога морао послужити и епициклима да би растумачио поједине неједнакости планетског кретања. Ни он није познавао физикални закон инерције да би њиме оборио Птолемејов аргуменат против кретања Земље, но он је Птолемејово тврђење да би се Земља, када би се заиста обртала морала распасти, обеснажио тиме да би таква опасност угрозила у далекој већој мери сферу некретница која би се, по Птолемеју, морала обртати невероватном брзином. Томе је додао ово: „Ако узмемо у обзир бесконачно отстојање звезда некретница, онда смо једва у стању да замислимо да би оне биле у стању да превале своју огромну путању за 24 часа. А и зашто би се бесконачна васиона обртала око сићушне Земље”. - Ово је убедљив разлог високог духа, конгенијалног Аристарху, који је био у стању да космички мисли.

Недостатци Коперниковог система могли су бити уклоњени само помоћу две научне тековине, постављањем принципа инерције и сазнањем да се планете не крећу по кружним путањама, већ по елипсама. Те две основне чињенице пронашли су так велики наследници Коперникови.

Како по свему изгледа, Коперник је разрадио основне линије свог система још док је био у Италији, када је онде прикупио све податке о хелиоцентричном систему старих Грка. То посведочава његов спис „*De hypothesibus motorum coelestium a se constitutis commentariolus*”, назван укратко „Коментариолус”. Прву редакцију тога списка написао је одмах иза свог повратка из Италије. У њему је, по примеру старих Грка, поставио ових седам основних ставова:

1. Сва небеска тела или сфере имају своје средиште.
2. Средиште Земље није средиште света, већ само теже и Месечеве путање.

3. Сва небеска тела круже око Сунца које се налази у средишту света.

4. Отстојање између Сунца и Земље је, у размери према даљини, висини неба, мање него размера полупречника Земљине лопте према њеном отстојању од Сунца, у толикој мери да се не може ни изразити.

5. Штогод од кретања видимо на небу не потиче од таквог кретања већ од кретања Земље. Јер Земља се, са свим својим саставним деловима, обрне свакодневно око своје осе, која задржава своју оријентацију у простору. При томе небо остаје непомично.

6. Оно што нам изгледа као кретање Сунца није последица његовог властитог кретања, већ кретања Земље и њене сфере са којом обилазимо око Сунца као и свака друга планета. Земља врши, дакле, више кретања.

7. Оно што нам изгледа као застајкивање и ретроградно кретање планета није последица њиховог властитог кретања, већ кретања Земље. Њиме се могу објаснити све неједнакости кретања небеских тела.

У овим ставовима садржане су главне црте хелиоцентричног система; у њима се само још не говори о прецесији и о вези између епицикала и кружног кретања планета и Земље око Сунца. Ову везу нашао је Коперник, вероватно тек касније, а проблем прецесије није уопште успео да правилно реши. Можда је и то био узрок што између рукописа његовог Коментариолуса и његовог каснијег дела, које је у оном рукопису ставио у изглед, лежи размак од скоро тридесет година. Но он је своју науку саопштавао својим пријатељима. Када је, године 1509, боравио у Кракову, саопштио ју је својим тамошњим пријатељима Ваповском и Мијехову, у каталогу библиотеке овог потоњег нашао се прибележен један спис који говори о кретању Земље и непокретљивости Сунца, а то може бити само Коперников спис.

Мало помало почела је и јавност да дознаје понешто о Коперниковом систему. Историчари астрономије, а међу њима и Немац Рудолф Волф, извештавају да се по Немачкој прочуло како неки пољски астроном учи нов један систем света. Но Коперник је још увек оклевао да га објави. Вероватно да га је у томе определила и бојазан да својим револуционарним идејама не уздрма ауторитет католичке цркве. Покрет против те цркве увелико је био отпочео, а реформација је била у пуном јеку. Чудновата је ствар да је католичка црква била онда толерантнија према његовој науци него Лутер и његова околина који је одбацише. Можда је баш то супарништво било повод што се католичка црква заузео за Коперникову науку када се о њој у Немачкој прочуло. Тада се Коперник по савету својих пријатеља, међу којима су се налазиле високе црквене поглавице, а на изричну жељу кулмског бискупа Тидемана Гизеа, године 1542 одлучи да своје дело штампа, пошто му је претходно додао предговор и посвету римском папи.

Надзор над штампањем дела поверен је витебершком професору

Георгу Јоакиму Ландену који се по својој постојбини звао Ретикус. Он ја пре тога боравио две године у Фрауенбургу ког Коперника онде је темељно проучио његово дело, начинио из њега један опширнији извод и објавио га под насловом „*Narratio prima*”. Ретикус донесе рукопис Коперниковог дела у Нирнберг и отпоче са његовим штампањем. Но у то умре Коперник; не беше му суђено да своје дело види одштампано, али је кажу његове прве штампане табаке дочекао на својој самртничкој постељи.

Тман је штампамје Коперниковог дела било у пуном јеку, мораде Ретикус напустити Нирнберг и поћи у Лајпциг. Зато повери свом другу Андрији Хосману, названом Озиандер, старање око штампања Коперниковог дела.

У току штампања Озиандер ја својевољно извршио неке значајне и судбоносне промене на Коперниковом рукопису. Делу је, пре свега, дао дужи наслов: „*Nicolai Copernici Torinensis de revolutionibus orbitum coelestium*” и додао му свој, непотписани предговор који је носио натпис „О хипотезама свог дела”. У њему је садржај дела претставио као голу хипотезу.

Тај самовласни предговор сигурно није одговарао правом схватању Николе Коперника. Не зна се шта је Озиандера определило на тај корак. Можда и страх од одговорности за револуционарни садржај дела.

Још једна важна измена десила се при штампању Коперникова дела, из њега је испало оно место рукописа где Коперник напомиње Аристарха. Питање, дали се то десило кривицом Озиандера или је одговарало намери Коперника, није пречишћено. Брисање имена Аристархова имало је, као што смо већ напоменули за последицу да је међусобни однос двају оснивача хелиоцентричног система, Аристарха и Коперника, остао нерасветљен све до година 1873. када је Максимилијан Курце приредио ново издање Коперниковог дела, израђено према његовом оригиналном спису.

Својим епохалним делом, красним здањем ренесансе, Коперник је подигао изнова стару порушену зграду, хелиоцентричног система. Јер да се се радило само о њеној обнови, то су знали савременици Коперникови, а његови следбеници то су изрично признали. Један од њих Еразмо Рајнхолд, који је написао један врло цењени коментар Коперниковом делу, а своје таблице кретања планета израчунао, усвајајући Коперников систем, говори о томе: „Морамо бити дубоко благодарни Копернику што је васпоставио праву науку о кретању небеских тела”. Па и сама католичка црква признала је приоритет Грка у том учењу. Она је са великим задоцњењем, 5 марта 1616 године, ставила Коперниково дело у списак забрањених, па се у том решењу каже ово:

„Света Конгрегација сазнала је да се јеритичка, светом писму противуречна, наука Питагорејаца о кретању небеских тела, како је проповедају Коперник и неки други, сада шири и од многих прихвата. Да

се такво учење ни би укоренило на штету католичке истине, одлучила је Света Конгрегација да се дела Коперникова, и свих осталих што уче исто, забране до год се не исправе. Због тога се сва та дела овим указом забрањују и анатемишу.

Више од две стотина година католичка црква није се усудила признати да је Коперник био у праву. Тек године 1822 дозволила је изрично да се у Риму штампа једна књига о хелиоцентричном систему, а године 1835 скинула је забрану са дела Коперниковог и дела његових следбеника Кеплера и Галилеја.

Глава седма

БОРБА ОКО КОПЕРНИКОВОГ СИСТЕМА

Тихо Брахе и Галилео Галилеји

После крсташких ратова распрострањена се вештина прорицања судбина из звезда, преко Египта, Грчке и Италије и по осталим крајевима напредне Европе. У V и VI веку биле су све те земље преплављене астролозима и астролошким списима. Владари, војсковође па и римске папе имали су своје астрологе. На двору француских владара, од Фрање I до Луја IV, стално су боравили астролози. Најпознатији међу њима беше Михаило Нострадамус (1503-1566) чијим се пророчанствима толико веровало да их је папска курија морала године 1781 забранити, јер су прорицала пропаст папске власти. Када је супруга Луја III, Ана Аустриска, рађала свог сина, касније Луја IV, налазио се у соби породице и астролог Морен да би, у тренутку порођаја, одредио констелацију звезда и саставио хороскоп новорођенчета. Озбиљни астрономи од струке почеше се бавити астрологијом и на Универзитетима у Болоњи и Падови основане су нарочите катедре за ту науку. То се показало потребно због тога да би се онде учио рачун како се израчунава констелација звезда, тј. хороскоп за један давно протекли моменат, као што је то било обично потребно кад се хороскоп израчунавао одраслима, дуго иза његова рођења. Такво израчунавање је, заиста, чист научни посао, тек читање судбине из хороскопа било је враџбина и шарлатанство.

За састављање хороскопа потребно је познавање кретање небеских тела и његовог израчунавања, па су у доба процвата астрологије постали сви списи о кретању небеских тела, и стари и нови, тражена роба. То је дало полета и астрономској науци која је као што смо чули, постала помоћно средство и морепловаца. А убрзо иза открића Америке следоваше и открића великих прекоморских путева. Године 1498 опловио је Васко да Гама Африку и стигао у Индију, а Магеланове лађе опловише и годинама 1519-1522 целу Земљу.

Но да севратимо астрологији из које је никао највећи практички астроном оног времена, Тихо Брахе.

Потомак старе шведске породице, Тихо Брахе (1546-1601) родио се у Кнудstrupу, малом местанцету најјужнијег дела скандинавије који је онда припадао Данској. Студирао је права у Лајпцигу, али се постепено посветио астрономији, особито кад је посматрао једно унапред предсказано помрачење Сунца. Касније је студирао још у Витембергу и Ростоку, где се бавио и алхемијом. Када је ту, у једном двобоју, изгубио предњи део носа, био је уверен да му је тај губитак био досуђен већ самом констелацијом звезда у часу његова рођења, у којој је положај звезде Марса наслућивао некакво унакарање лица. Када се затим вратио у отаџбину и у дому свог ујака уредио астрономску опсерваторију, опазио је нову

једну звезду некретницу која се изненада појавила у јату Касиопеје, а својим светлом надасјала све остале звезде па се у току од године и по постепено угасила. Тихо је о тој небеској појави објавио опширан извештај и постао тиме позната личност у научном свету. Позван на Универзитет у Копенхагену да онде предаје астрономију, није се онде дуго задржао, већ је пошао у Немачку где се упознао са хесенским владаром Виљемом ИВ који је имао своју звездару. Он га топло препоручи данском краљу Фридриху III, а овај га позва да му чита судбину из звезда. Тихо га убеди да је за такво прорицање потребно пратити кретање звезда, тј. имати велику уређену звездару. Краљ му понуди неограничена средства за тај подухват, дадему у властелинство острво Хвен у Ересунду са свим приходима, а Тихо подиже на њему своју звездару, коју назва „Ураниенборг”. Њој је у присуству француског посланика на данском двору, свечано положен темељ 8 августа 1576, а крајем те године већ се отпочело са првим посматрањем неба. У току године 1580 била је звездара потпуно довршена.

У својој звездари посматрао је Тихо кретање звезда и прочитао из њих судбину краља и његова три сина која се родише један за другим. Чим су се родили Тихо им састави хороскоп или нативитет, како га он назва. Та три нативитета, одлично опремљена, и луксузно повезана налазе се, још и данас, у збирци данског краљевог двора. Она, а нарочито први трећи, сведоче да је Тихо у претсказивању судбине био невероватно срећне руке. Но то је за историју астрономије само у толико од интереса што су та претсказивања била основ великог угледа Тиховог, а и његовог богатства, које је ставио на услугу астрономској науци. Он сам био је, како то показује његово приступно предавање на Универзитету у Копенхагену, убеђен у могућност прорицање судбине из констелација звезда, па је употребио сву своју снагу, знања и умешност да усаврши сва средства за проучавање небеских појава. У томе послу био је чист научник и нанадмашан посматрач неба.

Тихо је своју звездару уредио што је боље могао. Она је као што ћемо сазнати, била доста кратког века и нестала је без трага, али су се сачувале неке савремене слике и друга сведочанства која нам омогућавају да је у мислима реконструишемо. Њена главна зграда имала је два спрата и два торња, висока 75 стопа; имала је и своје подземне просторије. Нузгредне зграде служиле су за хемијску лабораторију и штампарију. Сачуване су и слике инструмената који су били постављени у тој звездари. Тим инструментима биле су заступљене сва њихове врсте, од најстаријих па до оних који је сам Тихо изумео и конструисао великом вештином. Неколицину тих инструмената видимо предочене на слици 9, на којој видимо и један део саме звездаре, Тиха и његове помоћнике.

На отвореној галерији звездаре, у позадини слике, видимо, означене бројевима 1, 2, 3, 4 ове инструменте: Пурбахов квадратум геометрикум,

армиларну сферу, паралактични лењир и Тихов велики секстант, а савим напред, уоквиравајући целу слику, Тихов зидани квадрант, са своја два часовника. То је био највећи астрономски инструменат Тихове звездаре. Сазидан глачаним тесаником, обухватао је пуни квадрант круга са полупречником од десет стопа. На његовој површини која је ограничавала шушљину тог кружног квадранта била је урезана лучна мера на којој је свакој минути одговарала дужина једног милиметра, тако да су се те минуте могле прочитати голим оком. Преко те лучне раздеобе померао се мали прозорчић са рупицом кроз коју је посматрач упирао свој поглед на посматрану звезду. Поред оног краја квадрантовог где му се налазила његова најнижа тачка уздизао се вертикални стуб који је на свом горњем крају, баш онде где се налазио центар квадрантовог круга, имао прозорче са значкама које су обележавале тај центар круга. Вертикална раван кружног квадранта што га је описивала рупица покретног прозорчета при његовом померању положена је тачно у раван меридијана ураниенборшке звездаре. Када се посматрана звезда приближила тој равни, ваљало је учинити све припреме да се тачно ухвати и одреди време пролаза те звезде кроз меридијан и њена висина изнад хоризонта. Зато се јадан од помоћника Тихових, онај што га видимо баш на самом десном рубу слике, примакао покретном прозорчету и померао га дуж лучне раздеобе толико, да гледајући кроз његову рупицу, опази звезду у тренутку њеног пролаза кроз значку у центру круга квадрантовог. Чим је тај моменат добро ухватио, дао је уговорени знак другом једном помоћнику који је оштро посматрао часовнике, намештене поред квадранта. У том магневењу прочитано је време које су ти часовници показивали, а прочитан је и положај на којем се покретно прозорче нашло на лучној раздеоби. Та оба читања, од којих је прво казивало време пролаза звезде кроз меридијан, а друго одговарајућу висину звезде изнад хоризонта, забележио је један трећи помоћник и записник. Из тих података могао се израчунати, ако се тицало звезде некретнице, њен стални положај у екваторијалном или елиптичком координатном систему небеске сфере, а ако се тицало планете, њен тренутни положај у једном или другом од тих координатних система.

Слични послови обављали си се и на осталим инструментима звездаре. Сваке ведре ноћи распоредио је Тихо своје помоћнике око тих инструмената, управљао њиховим радом или га само надзирао. Тако је то ишло скоро сваке ноћи, записници звездаре пунили су се бројевима.

У својој звездари проживео је Тихо, у кругу своје многобројне породице и својих ученика, двадесет година. Краљеви, кнежеви и научници из целог света, посећиваху га, посведочавајући му своје поштовање. За то време утрошена је за подизање и уређење звездаре и рад у њој, како кажу, једна тона злата. Тај податак можда је и претеран, али је као што ћемо видети, научна вредност звездариног рада вредела бар толико.

Када, године 1588, умре краљ Фридрих II, настадоше за Тиха цр-

ни дани. Нови властодршци почеше да га киње и прогањају па му на послетку одузеше имање, звездару и новчану помоћ. Он мораде, 1597 године напустити своју отаџбину. Тек после великих мука и лутања доби код немачког цара Рудолфа II, краља Мађарске и краља Чешке, чија је престоница била у Прагу, достојно намештење као царев астроном, астролог и алхемичар. Тај цар, саможивац, чудак, полунаучењак и астролог, са којим се Тихо упознао приликом царевог крунисања у Регенсбургу, врло је ценио Тихову вештину прорицања, па му даде годишњу плату од 3000 златних форинта поклони му дворач Бенатек и 2000 дуката за уређење своје звездаре у Прагу. У њој је Тихо отпочео са својим посматрачким радом 1 фебруара 1601 али га већ 24 октобра те године затече смрт. Сахрањен је у цркви Св. Тина у Прагу. Његова напуштана звездара на Хвену брзо је пропала, а када ју је онде потражио француски астроном Пикар, године 1671, не нађе од ње ни трага. Од многобројних астрономских инструмената што их је Тихо саградио сачувао се један једини који се чува у Прагу, Али су прибелешке о његовим посматрањима неба остале сачуване, и из њих су, као што ћемо видети изведени закони о кретању планета.

Главне заслуге Тиха Брахеа леже у усавршавању астрономских посматрања и у драгоценом материјалу који је прикупио таквим својим систематским посматрањем. Он је увидео да све до тада израђене астрономске таблице, Птоломејове, арапске, шпанске, израђене за време кастилског краља Алфонза у сарадњи арапских јеврејских и хришћанских астронома а објављене године 1252 под именом Алфонзинских таблица, па таблице што их је, ослањајући се на Коперников систем, израдио напоменути Рајнхолд и које су у част пруског краља назване прутензиским, а које су штампане 1551, показују све од реда, велика одступања од стварности. Све је то изазивало сумњу не само у исправност Птоломејава већ и Коперникова система. Тихо Брахе је увидео да се питање о саставу Сунчева система може решити у потпуности тек кад се буде тачно познавало кретање небеских тела у њему. Том задатку посветио је цео свој рад и обилна материјална средства која су му била стављена на расположење. Као посматрач неба Тихо Брахе је био, као што га је велики немачки астроном Басел назвао, први краљ свих астронома. Прву бригу обратио је астрономским инструментима. Инструменти који су се пре њега употребљавали, почев од прастарог гномона, од александријских армиларних сфера које су имале за основу раван небески екватор и којима се мерила ректасцензија и делинација звезда, од астролабија којима се мерена лонгитуда и латитуда звезда и сви остали, усавршавали су се постепено већ у рукама Арапа и каснијих астронома но мерење њима није достигало тачност већу од 10 лучних минута. Тихо Брахе је својим инструментима достигао тачност од једне минуте, дакле удесетостручио ју је. Испитао је и систематске грешке својих инструмената и елиминисао их, обратио пажњу на правилно посматрање инструмената,

на утицај атмосфере и на што тачније одређивање времена. Тим начином могао је, пре свега, да открије и уклони неке заблуде свијих претходника. Показао је, на пример, да је такозвано подрхтавање, трепидација, равноднаница само привидно, изазвано нетачним посматрањем, па је доказао да се равноднанице померају сасвим равномерно и нашао је да се сваке године помере за $51''$, што је већ веома тачан резултат. Доказао је да је варијација, неједнакост Месечева кретања, она коју је као што смо чули, први спазио Абул Фефа, реална појава. Исто су тако важни резултати Тихових посматрања комета од којих се у његова доба појавише њих шест на звезданом небу. Он је показао да се све те комете крећу далеко ван Месечеве путање и да оне нису, кап што их је Аристотелес замишљао, продукти Земљине атмосфере, већ самостална небеска тела.

У Копернику и Тиху Брахеу оличена су два класична типа, Коперник је био Аристархос, а Тихо Брахе био је Хипаркос новог века. Ненадмашив посматрач неба, Тихо Брахе није, као ни његов класични претеча веровао у могућност кретања Земље и зато је поред свег дубоког поштовања које је посведочио сени Коперника, одбацио његов систем. Земља је Тиху изгледала сувише тешка и гломазна, а да би се могла обртати или иначе кретати, а томе су противуречила не само наша свакидашња опажања, већ и Свето писмо. Зато је Коперников систем заменио својим, Тихонским. У томе систему мировала ја Земља непомично у његовом средишту. Месец и Сунце кружили су око Земље, а око Сунца све остале планете. Цео тај систем обухваћен је сфером звезда некретница која се за 24 сата обрне око свије осе, повлачећи тиме и остала небеска тела, у каја није урачунавао непомичну Земљу. Физикална апсурдност тог система није му пала у очи, јер је мислио да су сва небеска тела етерична као комете.

Ова заблуда Тихо Брахеа умало да није била кобна за васпостављање хелиоцентричног система, јер као што је Хипаркос својим неограниченим ауторитетом утишао науку Аристархову, био је ауторитет Тихо Брахеа исто толико опасан по учење Коперниково. Зато је неко време изгледало да ће се и у новом веку поновити стара судбина хелиоцентричног система, јер се против њега дигла и католичка црква.

У доба Тихо Брахеа и његових великих савременика Галилеја и Кеплера извршена је реформа календара западних цркава. Видели смо како је из египатског календара посредством александријске школе створен Јулијански календар који је, као државни календар, ступио у важност у свим покрајинама огромног римског царства, дозвољавајући ипак и друге црквене календаре. Када је хришћанска црква постала државном црквом римског царства, прихватила је она све одредбе Јулијанског календара, распоред преступних година поделу године у месеце њихове називе и датуме. Радило се још само о томе, од када ће се те године почети бројати. То бројање везује се обично на дан којег изванредног историског догађаја који се зове „ера”. Било је много таквих ера.

Римљани су као такву еру одабрали оснивање свије вароши, а у хришћанском календару уведен је око године 630 обичај да се године броје од стварање света. То створење стављано је у годину 5508 пре наше садашње ере. Тај почетак нема, разуме се, никакве везе са својим обележјем јер знамо да је само наша Земља срара неколико милијарди година, но јасно је да се сваки произвољни временски тренутак, може употребити као ера, тј. као почетак временске скале календара. Напоменута ера, која се зове и византијском ером света, одржала се доста дуго у употреби. У Русији ју је укинуо Петар Велики 1 јануара 1700 године, а код Грка и Срба одржала се још дуже. Иначе, и то прво у Енглеској године 704 а од римских папа године 1431, уведен је обичај да се године броје од Христовог рођења, за које важи исто оно што смо рекли о византијској ери, са том разликом од ова, како се сада назива, нова или наша ера има ту незгоду што тај календарски почетак пада дубоко и касно у другу половину светске историје, па се због тога одржаше још доста дуго и оне старије ере да би се крајем осамнаестог века, по примеру енглеских научника, за старије догађаје почело рачунати од нове ере унатраг.

Црквени сабор одржан у Никеји за време владавине цара Константина 325 године, усвајајући Јулијански календар, одредио је и то да се први дан Ускрса празнује оне недеље која следује после првог пуног Месеца иза пролећне равнодневнице. Та одредба није довољно тачна, јер није одређено на који се Земљин меридијан односи, а на разним меридијанима дани почињу у разна доба, па тиме и она недеља о којој се овде говори. Касније се казало да се при томе мисли на меридијан који пролази кроз Јерусалим. Но још већа незгода било је ово. Да би се могла унапред одредити она недеља када ће се празновати Ускрс, било је потребно знати када ће се после пролећне равнодневнице Месец испунити до потпуности. У том циљу израђена су у крилу источне, а касније и у крилу западне цркве извесна правила која се зову рачун пасхалија. Оба рачуна, иако нетачна, употребљавају се и данас, поред свега тога што је астрономска наука у стању да тачно одреди времена Месечевих мена. Но за науку и истирију календара важнија је ова ствар. У доба Никејског сабора падала је пролетња равнодневница на 21 март. Но како је дужина године Јулијског календара, за 11 минута и 14 секунди већа од тропске године. од пролећне равнодневнице до наредне, падала је пролећна равнодневница на све раније датуме хришћанског календара и у петнаестом веку истрчала је већ за девет дана. Видели смо већ како је египатски календар дугогодишњом применом испољио своју нетачност, а то је био случај и са хришћанским календаром. Конзеквентна примена и једног и другог омогућила је тачнију одредбу, дужине тропске године. Источна хришћанска црква није видела о томе рачуна, али научници запада упозорили су на то своју цркву. После многих претходних покушаја да се календар реформише и исправи, и по предлогу Луиђа Лилија и једне стручне комисије која је тај предлог проучила, спровео је папа Глиго-

рије III својом наредбом од 24 фебруара 1582 године ову календарску реформу.

Нагомилана грешка у календару која је онда била нарасла на 10 дана исправиће се на тај начин што ће, одмах иза 4 октобра, следовати 15 октобар 1582. Да би се дужина календарске године довела у склад са дужином тропске године биће у будуће од секуларних година (оне које свршавају са две нуле) преступне смо оне чији је број векова дељив са четири (1600, 2000, 2400. . .). Остале секуларне године (1700, 1800, 1900, 2100...) неће бити преступне и разликоваће се тиме од Јулијанског календара.

Ова календарска реформа спроведена је у католичким земљама доста брзо, а у протестанским полако и са натезањем; у Енглеској тек године 1752. У научној литератури уведен је обичај да се дани иза 4-X-1582 датирају по грегоријанском календару. На тај календар или како се зове, нови стил, односи се и дан смрти Тихо Брахеа, саопштен у овој књизи, а тако ће бити и са осталим временским подацима.

Већ приликом старијих покушаја католичке цркве да се календар исправи, помињано је име Коперниково. У доба заседања Латеранског концила (1512-1517) који се такође бавио реформом календара, био је Коперник позван да о томе даје своје мишљење, а када је одговорио да о дужини тропске године не постоје још довољно тачни подаци, скинуто је то питање са дневног реда. При израђивању Грегоријанске реформе календара послужила се католичка црква Прутензиским таблицама које су, као што смо видели израђене на основу Коперниковог система. Католичка црква није, дакле ни том приликом, заузела непријатељски став према Копернику и његовом учењу. То је било тек доцније, када се Коперниково учење проширило на шири круг присталица. Један од њих био је Ђордано Бруно (1548-1600), велики филозоф противник схоластичара, а оштри критичар црквене власти и учења. Родио се у Ноли, избегао је из доминиканског манастира у Напуљу, лутао по свету, био у Швајцарској, Француској, Енглеској и Немачкој где је држао јавна предавања на разним универзитетима, у сталној борби против схоластике и цркве. Он је прихватио Коперников систем и учио да и ван наше Земље има живота. Када се, на своју несрећу, вратио у Италију, паде у руке римској инквизицији, која га после седмогодишње тамнице осуди, како лицемерно изрече, на благу казну без проливања крви и спали га на тргу Кампофиори на ломачи 17 фебруара 1600.

Слична судбина стигла је и нашег земљака Марка Господнетића (1566-1634), познатог у науци под именом Дедоминис великог физичара који, је први правилно објаснио појаву дуге а којега као свог предходника, Њутн спомиње са великим поштовањем. Рођен је на острву Рабу, васпитан од језуита показао је већ у својој младости велике способности да је касније постао сењски бискуп, а затим надбискуп сплитски. Чим поче да испољава своју слободоумност, позван је пред инквизиторски

суд и строго укорен. Позван поново онамо избеже у Енглеску где је као приповедач у Виндзору, оштро нападао католицизам. Домамљен преко шпанског посланика у Рим, паде у руке инквизицији и умре у мукама у тамници. Његово тело и његови списи бише спаљени и бачени у Тиберу.

У то доба била су времена Николе В прохујала, а римске папе окомише се на науку и сукобише се у тој борби са највећим научником што га је Италија родила. О њему ћемо сада да говоримо.

Галио Галилеји (15-II-1564 до 8-I-1642) родио се у Пизи као син сиромашног, али ученог музичара. Своје детињство провео је у Фиренци, камо су се његови родитељи преселили, а додине 1581 уписао се на Универзитет у Пизи. Ту је, још као студент, посматрајући у цркви њихање полелеја и мерећи га својим билом, увидео да трајање сваког њихања остаје непромењено и онда када се његова амплитуда постепено смањује. Тиме је, као први константовао изохронизам клатна. Увидео је и то да се клатна једнаке дужине њишу истом периодом. У Пизи је требало, да по жељи свог оца, студира медицину, али га математичке науке, чим се њима упознаде, привукоше толиком снагом да им се сасвим посвети. Тиме је много допринео и Гвидо Убалди дел Монте (1545-1607), одлични познавалац и преводилац Архимедових списа и аутор једног дела о механици којим није, као ни Архимедес, прекорачио област статике. Тај одлучни корак у развоју те науке учинио је тек Галилеји, и то у својим младим годинама, можда још пре него што је на заузимање Убалдија, постао 1589 године професор математике на Универзитету у Пизи. О том првом, но врло значајном периоду научничког рада Галилеја нису се очували поуздани подаци, јер се не зна када је написао своје прво дело из механике „*Sermones de motu gravium*”, објављено тек 1854 године, а његово славно дело механике, у којем је прикупио све резултате свога рада на том пољу, објавио је тек пред своју смрт. Но знамо да се већ у својој младости упознао са динамиком Аристотела, да је проницљивим погледом увидео све њене недостатке, заблуде и грешке и да је у својим предавањима храбро иступио против Аристотелових учења, на велико огорчење схоластичара.

Аристотелес је тврдио да тела, уколико су тежа, утолико брже падају. Галилеји је иступио против таквог учења оштроумним, рационалистичким расуђивањима али кад није успео да њима разувери своје противнике, приступио је очигледном експерименту. Са врхунца косог торња у Пизи, који је као створен за такав експеримент, бацио је, у исти мах, две камене кугле. Једна од њих имала је добрих сто фуната, а друга ни фунту тежине. И обе кугле стигосе скоро у исти мах до подножја торња. Тим својим експериментом задао је Галилеји, како се говорило, смртни ударац Аристотеловој динамици.

Галилеји је увидео да она, једва приметна, разлика у трајању падања оних двеју кугала потиче од отпора ваздуха; кад га не би било - тако је он закључивао генијалном интуицијом - сва тела падала би једнако

брзо. Но та брзина није за време пада једна те иста, она почиње, при слободном паду, са нулом, да би достигла свој максимум на крају свог пута. Галилеји предузе да, и расуђивањем и експерименталним путем, одреди постепени прираштај брзине тела у слободном паду.

Прво питање које је поставио било је, по којем математичком закону расте брзина падујећег тела. Она расте и са преваљеним путем и са протеклим временом падања. Зато је могуће представити ту брзину као функцију пута и као функцију времена. Означимо ли, дакле брзину са v , превељени пут од почетног положаја слободног падања са s , а протекло време од почетног положаја са t , онда бисмо, нашим данашњим математичким језиком, казали да је

$$v = f_1(s) \qquad v = f_2(t)$$

Требало је расуђивањем поставити или извести те функционалне зависности, а онда их проверити експериментом.

Наишавши на првој од постављених могућности на непремостиве тешкоће, Галилеји се обратио другој функционалној зависности, стављајући брзину пропорционалну времену тј.

$$v = pt,$$

где је p једна константа.

Тим начином дошао је до појма убрзавања при равномерно убрзаном кретању као квоцијента.

$$p = \frac{v}{t}$$

и поверио га својим експериментима. Тај појам био је од фундаменталног значаја и дао се касније уопштити за произвољно праволинијско кретање за које је, као што знамо, то убрзање дато изводом брзине по времену тј. изразом.

$$p = \frac{dv}{dt}$$

Он је аналоган изразу за брзину која је дата изводом пута по времену, тј. изразом

$$v = \frac{ds}{dt}$$

Из предњих једначина следује

$$\frac{ds}{dt} = pt$$

тј.

$$ds = pt dt.$$

Интегрисањем ове диференцијалне једначине, а уз уговорене иницијалне услове $t = 0; s = 0$, добива се

$$s = \frac{1}{2}pt^2$$

Овај образац даје нам преваљени пут као функцију времена. До њега је дошао Галилеји, не интегрисањем које му је било непознато, већ елементарним расуђивањима која су се сводила на исто, пошто интеграл који се горе појавио, ако га напишемо у облику

$$\int_0^X px dx,$$

претставља површину троугла, ограниченог апсцисном осом, правом $y = px$ и ординатом у тачки x . Тај интеграл могао је Галилеји израчунати и обрасцем за површину троугла $\frac{1}{2}x \cdot px$.

Својим обрасцима $v = pt$ и $s = \frac{1}{2}pt^2$ могао је Галилеји да реши и проблем пада на стрмој равни који је аналоган слободном паду, са том разликом да је његово убрзање, место p једнако $p \sin a$, где a означава нагиб стрме равни. Нашавши у таквој стрмој равни средство да убрзање падања смањи и учини га приступачним посматрању Галилеји је експериментом одредио нумеричку вредност убрзања слободног пада, тј. Земљине теже и нашао да оно износи округло 30 стопа у секунди.

Галилеји је решио и проблем косог хитца. Зауоставимо се на оном најједноставнијем случају где је почетна брзина c баченог тела хоризонтална. Онда то тело врши састављено кретање, креће се хоризонтално брзином c , а пада вертикално на доле брзином $v = pt$. Узмимо почетни положај тог тела за почетак ортогоналног координатног система, а наперимо његову осу y у правцу почетне брзине c , а осу x вертикално надолу, то ће координате x и y тога тела, по истеку времена t бити дате овим обрасцима

$$x = \frac{1}{2}pt^2 \qquad y = ct$$

Елиминисамо ли из ових двеју једначина време t , долазимо до једначине

$$y^2 = 2\frac{c^2}{p}x$$

која нам представља једначину трајекторије што је тело описује. То је Аполонијева парабола вертикалне осе, а параметра $\frac{c^2}{p}$.

Већ из овог кратког извештаја којим смо зашли у област историје механике где се не можемо дуже задржавати, произилази ово. Оборивши застарела и погрешна учења схоластичара, а служећи се и експериментом и рационалистичким расуђивањима, помогнутим геометријом и математичким обрасцима, Галилеји је створио нов метод за испитивање природних појава.

Истина, Грци су својим генијалним погледом и својим рационализмом положили темеље нашим наукама и неке од њих, као геометрију и астрономију, довели до високог ступња. Они су испитивали и природне појаве, онако како су им се оне указивале, али су само изузетно покушавали да експериментом стварају појединачне такве појаве, да би њиме, као што се каже, стављали одређена питања природи. Тек Галилеји створио је тај метод и створио нову епоху природних наука.

Грци су, делима Архимеда, створили само једну област механике, статику, али на пољу динамике, којом се додуше Аристотелес бавио, нису далеко дошли, као ни Аристотелови следбеници, схоластичари. Ту нову област механике створио је Галилеји. Он је је, као што смо чули, изграђивао постепено и завршио пред крај свог живота. У немогућности да га, у оквиру овога дела, пратимо корак у корак, задовољимо се тиме да овде укратко набројимо главне тековине његовог рада на том пољу.

Први од свих, Галилеји је увео у науку појам убрзања, у најједноставнијем облику његовом, када је оно, оличено убрзањем што га изазива Земљина тежа, константно и када ствара, у отсуству свих других утицаја, равномерно убрзано праволинијско кретање. Једанпут створен, тај појам могао се генерализовати и применити на неравномерно убрзано праволинијско, а затим и на криволинијских кретања, дакле на најопштије случајеве, као што су учинили Галилејеви велики наследници Хајгенс и Њутн.

Испитивајући кретања тела баченог у хоризонталном правцу, Галилеји је, као што смо видели ту хоризонталну брзину додељену телу, сматрао за константну за време целог кретања и то равномерно кретање комбиновао са слободним падом тела, последицом привлачног дејства Земљине теже. У сазнању константности оне хоризонталне брзине садржан је принцип инерције, а у састављању оних двају компоненталних кретања, управних једно на друго, садржано је и састављање сила, управних једна на другу, по закону правоугла. Проширивши своја испитивања и на случај када почетна брзина баченог тела није хоризонтална, Галилеји је саставио та кретања по закону паралелограма, па тиме прокрчио пут ка закону састављања сила.

При својим испитивањима закона падања тела на стрмој равни, Галилеји се јошвише приближио закону инерције, да би га тек пред крај живота, схватио у његовој опћенитости.

Сва су то била сазнања генија који се далеко уздигао изнад својих претходника и савременика.

Овде нас интересује у првом реду Галилејев рад на пољу астрономије, зато је потребно да, пре свега, испричамо како се Галилеји нашао на том пољу.

Године 1592 добио је Галилеји од млетачке републике позив да буде професор математике на Универзитету у Падови. Прихватио га је оберучке због високог ранга тог Универзитета, познатог у целој Евро-

пи, због својих непријатеља, схоластичара, у Пизи, а и због тога што је на том млетачком Универзитету имао потпуну слободу предавања. Млетачка република протерала је језуите из својих земаља, и у Падови стајао је Галилеји изван домашаја римске инквизиције.

Своје приступно предавање на Падовском Универзитету одржао је Галилеји 7. децембра 1592, и за кратко време окупио је око себе толики број слушаоца да му је слушаоница постала сувише мала да их све прими. Из свих крајева Европе долазили су млади људи, жељни праве науке, међу њима шведски престолонаследник, каснији слободоумни краљ Густав Адолф, па два каснија пријатеља Галилејева, Венецијанац Сагрето и Флорентинац Салвијати које је овековечио у свом главном делу. Галилејева предавања из тог доба нису нигде очувана, али се зна толико да је, већ тада, предавао законе косог хитца и да је у изградњи динамике далеко стигао.

Октобра месеца године 1604 појавила се једна нова звезда у јату Змијоноше; Галилеји је о томе одржао три предавања и у њима оборио Аристотелово мишљење да су небеска тела вечна и непроменљива.

Године 1609, маја месеца, баш када се послом налазио у Венецији, Галилеји је добио од свог бившег слушаоца Жана Бадовера писмо којим га извештава да је Холанђанима пошло за руком да, комбинацијом конвексног и конкавног сочива, конструишу доглед којим се може гледати у даљину. То саопштење беше му довољно да, благодарећи одличним венецијанским стаклима, власторучно конструише један такав доглед којим су се удаљени предмети видели три пута ближе, а девет пута већи. Касније је конструисао још један бољи доглед. Он га је показао Сињорији млетачке републике, а она га именова за доживотног професора падовског Универзитета, уз богату награду.

Ти догађаји дадоше нов правац Галилејевом научном раду и одведоше га у област астрономије. Први од свих, упре он свој доглед ка звезданом небу и сагледа онде чуда невиђања. Први објект његовог посматрања био је Земљин Месец. На њему је опазио равнице и брегове, сличне Земљинима. Показао је како би се из дужине сенке Месечевих брегова могла израчунати њихова висина и упозорио на то би ческа равница, опкољена са свих страна гребенастим планинама, посматрана са истог отстојања као Месец, изгледала веома слична прстенастим бреговима Месеца. Посматрајући Плејаде, избројао је, место њихових догле виђених 7 звезда, њих 36. У јату Ориона нашао је преко стотину звезда. Уверио се да је Демокритост имао потпуно право говорећи да је Млечна стаза скуп безброј крупних и ситнијих звезда некретница.

Највеће изненађење причинио му је Јупитер. Када је 7 јануара 1610 године упро у њ свој доглед, јасно је разазнао планетин лоптаст облик, а уза њу, четири мање звезде које су већ иза неколико часова измениле свој међусобни положај и положај према планети. Већ 13 јануара био је Галилеји начисто да су те покретне звездике Јупитерови Месе-

ци који обилазе око њега. Назвао их је, у почаст свемоћној тосканској кнежевској породици, Медицејским звездама. Касније су ти Месеци названи, полазећи редом од Јупитера, Јо, Европа, Ганимед и Калисто, а данас, пошто је у међувремену пронађено још седам таквих Јупитерових Месеца, они се означавају са И, ИИ, ИИИ и ИВ.

Није прошло ни пуних десет месеци од како је упро свој доглед у небо, а Галилејије могао да објави своја открића научном свету. То је учинио у својој расправи „*Nuntius zidereus*”, „Гласнику неба”, године 1610. Своја каснија открића на небу саопшавао је краћим додацима том свом „Гласнику”, од којих је до у годину 1638 публиковано њих седам. Саопштимо на овом месту и најважнија од тих познијих његових открића.

Посматрајући Сатурн, видео је и објавио је да су уз планету закачене две звездице као какве рукатке. На ту оптичку варку навео га је Сатурнов прстен чији прави облик није успео да види својим догледом, па је тек Хајгенсу пошло то за руком.

Друго значајно откриће тицало се пега које је Галилеји опазио на Сунцу и помоћу њих утврдио да се и само Сунце обрће око своје осе. Приоритет тог открића оспорио му је учени језуита Шајнер који је својим догледом такође опазио те пеге.

Колико је то откриће било неочекивано и колико се противило свим дотадашњим схватањима о природи Сунца, доказује овај догађај. Шајнер је, по дужности, своје откриће саопштио генералу језуитског реда Теодору Бузеусу, а овај му је одговорио: „Синко, ја сам Аристотела двапут проучио, али не нађох у њему ништа о Сунчевим пегам; оне, дакле, не постоје, те су зато само производ твојих слабих очију или прљавих стакала”. Сунце је, по смислу старе филозофије, представљало најчистију ватру, и зато схоластичари не хтедоше веровати у његове пеге.

Откриће Сунчевих пега имало је кобних последица за Галилеја, јер га је довело у сукоб са Шајнером, и овај му је, као што ћемо видети, радио о глави.

Последње велико откриће што га је Галилеји својим догледом учинио, била је појава мена планете Венере. Он је опазио и коначно утврдио да, као што нам се Месец, мењајући свој положај према Сунцу и Земљи, показује у разним фазама осветљења, па мења тиме свој изглед, тако исто планета Венера има своје мене. То доказују да је то планета слична Земљи и Месецу, па захваљује свој сјај и његове промене Сунчевим зрацима. А то исто важи и за планете Меркур и Марс.

Већ прва открића Галилејева распростреше његову славу по целом научном свету, а његова отаџбина, Тоскана, поносна својим великим синем, позва га у своје крило. 12 јула 1610 постављен је за првог математичара Универзитета у Пизи, уз велику плату, а без обавезе да држи предавања. Тако се могао у пуној мери посветити свом научничком позиву.

Под силним утиском својих открића који отворише пред њим нове светове, Галилеји се није могао уздржати а да их не објави и да из њих не извуче значајне закључке о саставу васионе. А изгледало му је да су и прилике доста повољне за такав подухват. Када је, марта 1611, боравио у Риму и онде се, у башти кардинала Балармина, нашао са римским учењацима, међу којима се малазио и језуита Клавиус, добар астроном, познат због свог учествовања у Грегоријанској реформи календара, показа им својим догледом Сунчеве пеге, а они не оспорише то његово откриће. Учено друштво „*dei Lyncei*”, касније Академија наука у Риму, изабра га за свог члана, прихвати и заузео се за његову науку. А када је Галилеји, септембра 1615, опет дошао у Рим, дочекан је од папе Павла В врло љубазно, а високи црквени достојанственици, међу њима кардинал Орсини, почеше да прихватају његове надзоре о кретању Земље и да га узимају у заштиту пред његовим противницима. Међу монасима кармелићана и аугустинаца нађоше се њих двојица, Фоскарини и Дидакус, који испољише своје мишљење да у Светом писму нема доказа против кретања Земље. Но баш та подвојеност мишљења о Коперниковом систему која се појавила у крилу цркве изазва противнике тог система на оштрију реакцију. Они успеше да се решењем Свете Конгрегације од 5 марта 1616, са којим смо се већ упознали говорећи о Копернику, његово дело и списи Фоскаринија и Дидакуса забране догод се не исправе. Ово решење стављено је и Галилеју на знање.

Године 1621 умре папа Павле V, а после његовог наследника Гргура V, би, 1623 године, изабран за папу Урбан VIII (умро 1644) који је већ као кардинал Барберини, показао не само своју наклоност према Галилеју, већ га и опевао у једној латинској песми. Верујући да ће у њему наћи моћног заштитника, Галилеји одлучи да своје дело доврши и да га преда римској цензури.

То дело Галилејево „*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano*” написао је талијанским језиком, тосканским дијалектом, и већ самим тиме, играо је значајну улогу у развоју талијанског књижевног језика. Као што се види из самог наслова, оно је писано у облику разговора. Три личности, Салвијати, Сагрето и Симпличио, од којих смо прву двојицу упознали као некадашње ученике и онда већ покојне пријатеље Галилејеве, разговарају се у дому Сагредовом о Птоломејевом и о Коперниковом систему и упоређују их међусобно. Салвијати је одушевљен поборник Коперникове науке, а Симпличио, назван тако по једном познатом коментатору Аристотела, оличава једног врло цењеног венецијанског перипатетичара, чије право име Галилеји прећуткује. Симпличио заступа у свему и слепо мишљење Аристотела и његових следбеника. Трећи учесник у разговорима, Сагрето, учени лаик, заузима у неку руку средину између оне двојице. Том поделом улога, хтео је Галилеји да скине са себе одговорност за мишљења, саопштено у своме делу, не заузимајући пема њима свој лични став.

Разговори што их она тројица воде груписани су у четири дана. Првог дана говори се и расправља о Аристотеловој науци и њеној подели тела у елементарна и небеска, о непромењивости небеских тела и њиховој вечности, о њиховом савршеном сферном облику и о положају Земље у васиони. Галилеји који је, као што смо чули, својим очима сагледао нову једну звезду која се на небу изненада појавила и засветлила, па се онда постепено угасила, који је видео Месечеве брегове, неравнине његове површине, па пеге на Сунцу од којих су неке биле веће од Азиског континента, па звезде репатице, па тамне планете, Меркура, Венеру и Марса, сличне, као и Месец, нашој Земљи, могао је, износећи само стварне чињенице, да у том првом дану својих разговора уздрма темеље Аристотелова учења, а његове следбенике, у личности Симпличије представи смешним.

Други дан разговора посвећен је питању да ли се Земља обрће око своје осе. Колико год да у том одељку својих разговора Галилеји речит и духовит, толико нас изненађује што се у том питању није послужио најоштријим оружјем које је имао у рукама, принципом инерције, да њиме обори онај најјачи аргуменат против могућности кретања Земље, да кад би се Земља, заиста, обртала од запада према истоку, морало би се свако тело у току свог слободног пада заостати према западу, јер би за то време Земљина површина истрчала испод њега према истоку. У време када је Галилеји писао свој дијалог, он је, као што знамо из извештаја о његовим предавањима у Падови, већ био решио проблем косог хитца. Зато је знао да, ако које тело бацимо у хоризонталном правцу, оно ће се, под утицајем Земљине теже, кретати убрзано према Земљи, а под утицајем своје властите почетне брзине, кретати равномерно у хоризонталном правцу, па услед тога описати параболу, са теменом у почетној тачки, као неминовну последицу тог сложеног кретања. Примењујући та своја расуђивања која су га довела до правилног решења проблема косог хитца, могао је Галилеји закључити овако. Свако тело које отпочиње свој слободни пад из било које висине изнад Земљине површине има у почетном моменту свога пута ону хоризонталну брзину која проистиче из обртања Земље око њене осе. Ту брзину задржаће оно, као што је то био случај и при хоризонталном хитцу, за време целог свог пада, па за колико се за то време Земљина површина заокрене према западу, за толико ће се то тело померити у истом правцу и коначно пасти на исто оно место као да Земља мирује. Та чињеница која следује из принципа инерције потврђена је експериментално већ 1649 године када је Гасанди извео у марсејском пристаништу овај покус. Са врхунца катарке лађе која се брзо кретала, пуштен је да слободно пада један камен, а он је, заиста, и поред кретања лађе пао дуж катарке до њеног подножја, јер га је његова почетна брзина покретала истим правцем и у истој мери као и лађу.

Њутн је 1679 године видовитим својим погледом пошао још даље и

расуђивао овако. Тело које почиње свој слободни пад на великој висини изнад Земљине површине има у том положају, због своје веће удаљености од центра Земље, већу брзину него она тачка Земљине површине која се налази у вертикали почетног положаја тога тела. Зато оно при своме паду неће, не само, заостати иза кретања Земље, већ ће истрчати испред њега и пасти источно од почетне тачке. То одступање је, због тога што је висина почетног положаја увек веома малена према радиусу Земље, у сваком случају веома мало, па се оно могло експериментално доказати так почетком деветнаестог века.

По свему изгледа да, када је писао свој дијалог о системима света, Галилеји није принцип инерције схватио у свом његовом значењу, и тек када је писао своје последње велико дело о којем ћемо још говорити, изразио је тај принцип јасно овим речима: „Тело које није спољним утицајима у томе спречено тежи да без престанка одржи своју брзину и правац кретања”.

Трећи дан дијалога бави се, углавном, Коперниковим системом, у чије претходнике Галилеји убраја изрично и Аристарха. Ту су духовитим начином поновљени аргументи Коперникови, појачани новим Галилејевим аргументима. Најважнији од њих је систем Јупитера и његових месеца који, у малом, предочава Коперников систем и показује да није тачно да је Земља центар око ког круже сва небеска тела.

Четврти дан дијалога бави се појавом плиме и осеке мора, но ту појаву Галилеји није успео да правилно објасни.

Галилеји је свој „Дијалог” довршио 1628 године, однео га у Рим и предао га цензури на одобрење. Године 1630 доби изричну дозволу да дело штампа. Отштампано је у Фиренци 1632 године и донело је Галилеју славу и несрећу. Његови непријатељи, језуита Шајнер и други, потсетише папу да је Коперниково дело стављено у списак забрањених и да из Галилејевог „Дијалога”, иако прикривен, произилази став пишчев у корист Коперникова учења. Они успеше да убеди папу Урбана да се под личност Симпличија крије он сам, представљен као смешан и ограничен. Папа намрзну свог некадашњег штићеника, а римска курија отпоче немилосрдну борбу да га уништи. Издавачу Галилејева дела, Ландинију, би забрањена продаја књиге, а на заповест папе образована је комисија да испита кривицу Галилејеву.

Велики кнез Тоскане Фердинанд заузео се за свог математичара и изрази преко свог посланика у Риму Николинија своје чуђење, како може да буде позван на одговорност писац дела који је за његову публикацију добио одобрење надлежне цензуре. Николини је усрдно и вешто заступао у Риму ствар свог штићеника, доказујући да за парницу против Галилеја не постоји никаква основа. Притиснута тако уза зид, римска курија прибеже подлом средству да Галилеју створи кривицу. У архиви Светог Официума би пронађен један стари протокол из године 1616 према којему је Галилеју забрањено да заступа Коперниково учење, а он се на то

и обавезао. Испитивањимја историчара доказано је да је тај протокол накнадно створен.

Тим фалсификованим протоколом створена је формална правна основа за кривични поступак против Галилеја. Образован је трибунал од десет кардинала, а Галилеји позван да за месец дана претстане томе суду, иначе ће у ланцима бити пред њега изведен.

Тешко болестан, ношен у носиљци, крену Галилеји 20 јануара 1633 у Рим и стиже онамо 13 фебруара. Отседе, боље рећи би заточен, у тосканском посланству, а 12 априла би позван пред инквизиторски суд. Три пута преслушаван, присиљен је да своје учење о кретању Земље опозове. Пресуда, коју потписаше седморица од њих десет судија, изречена му је 22 јуна 1633 у цркви доминиканског манастира Ала Миневра. Ту је Галилеји, одевен само у белу покајничку кошуљу, пао на колена, положио обе руке на еванђеље и одрекао се свога учења говорећи:

„Одричем га се Осуђујем и проклињем искрена срца и непретворног веровања, све своје заблуде и јеретичка учења и сваку ину светој цркви непријатељску науку, а заклињем се да убудуће нећу, ни усмено, ни писмено, ништа више исповедати због чега би на мене могла пасти сумња јеретичког дела... Тако ми Бог помогао и Свето еванђеље које додирујем својим рукама”

После тога му је саопштено да остаје у заточењу и под присмотром Инквизиције док год она буде то сматрала за потребно.

Не зна се тачно каква је средства Инквизиција употребила да Галилеја примора на опозивање свога учења и на ону свечану изјаву о томе, јер Галилеји се до своје смрти добро чувао да о томе ишта саопшти. Но већ сама помисао на судбину Ђердана Бруна који је као што смо чули, због сличног престапа био жив спаљен на ломачи, могла га је одредити на опозивање свог учења. Но, иако се из судбених аката, уколико су се она очувала, не може то сазнати изгледа сигурно да је била примењена изрична претња тортуре у тамницама Инквизиције, у којима је Галилеји преноћио пре изрицања пресуде. Но да је његова изјава присилно изнуђена, о томе нема сумње. Исто је тако сигурно да је Галилеји добро знао да су сва средства Инквизиције немоћна да заустави Земљу у њеном обртању. У том смислу треба разумети ону познату, но историјски не доказану причу да је Галилеји за време прекида тортуре у тамници Инквизиције или приликом опозивања своје науке узвикнуо: „*E pur si muove*” - „Па ипак се окреће”

Остатак свог живота провео је Галилеји, заточен и под сталним надзором Инквизиције, у летњиковцу Арчетрију код Фиренце. И ту се, иако ороњуо здрављем, ослабљеног вида и слуха, посветио опет научном раду. Пажљиво посматрање Месеца откило му је Месечеву либрацију, појаву да, иако нам Месец показује само једну полутку своје површине, виђамо нешто мало више од ње због нагиба његове осе према равни његове путање.

Други један астрономски проблем којим се Галилеји у оно доба бавио био је овај. Чули смо да су се стари Александринци при одређивању географских дужина служили посматрањем тренутних космичких догађаја, почетака или свршетака помрачења Месеца. Та помрачења ретке су небеске појаве па се зато у доба Галилеја нису могла искоришћавати у морепловству где је одређивање географских дужина свакодневна потреба. Својим открићем Јупитерових Месеца, Галилеји је нашао друго, много погодније средство за тај посао. Јупитерови Месеци обилазе толико брзо око њега да се скоро сваке ноћи по који од тих Месеца заклони на планетину плочу. Почетак и завршетак таквог замрачења су, дакле, чести и тренутни космички догађаји, и Галилеји је, заинтересавши за то и Сједињене Холанске Државе, предузео да, израчунавањем таблица кретања Јупитеривих Месеца и конструкцијом часовника са клатном, створи сва средства за одређивање географских дужина. Али га је у томе спречило нагло слабљење очног вида и његова смрт.

У тим последњим годинама живота написао је Галилеји своје главно дело Механике „*Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*”. Оно је, као што се види већ из наслова, писано талијанским језиком у облику дијалога. У њему учествују исте оне три личности које смо упознали у његовим астрономским дијалозима. Ту је Галилеји прикупио, попунио и заоблио до хармоничне целине своје велике проналаске из области физике. Поред проблема које смо већ напоменули, бавио се Галилеји у свом делу отпором и тежином ваздуха, безваздушним простором, механиком течности и гасова, принципом виртуелних брзина и испитивањем чврстоће тела којим је положио темеље инжињерској механици. Својим садржајем и својом дубином мисли, наткриљује то дело све што је из те области написано од доба Архимеда па до његова доба. Оно отвара ново доба науке, одвојеног од великог доба Александријаца временским размаком од петнаест векова. Довршио га је године 1636, а објавио га је, посредством познате издавачке књижаре Елзевира у Лајдену 1638. Те године потпуно је ослепио. Своје последње дане провео је са својим ученицима и достојним наследницима у науци Вивијанијем и Торичелијем. Они су стајали 8. јануара 1642 године поред његовог самртничког одра, а уз њих и два члана Инквизиције. Његова последња жеља да буде сахрањен у породичној гробници у цркви Санта Кроче у Фиренци, испуњена је, због отпорта Инквизиције, тек један век доцније.

Галилеји је, истина, опозвао своју науку о кретању Земље, али је својим последњим делом створио оружје за коначну њену победу. Мртав, учествовао је тим оружјем у тој победи.

Галилејева дела штампана су после његове смрти више пута у потпуности. Последње издање које обухвата 21 том приредио је Фаваро. Оно је народно издање и носи наслов „*Edizione Nazionale delle opere di Galileo Galilei. Firenze, 1890 - 1909*”.

Глава осма

КЕПЛЕРОВИ ЗАКони О КРЕТАЊУ ПЛАНЕТА

Велико доба Тихо Брахеа и Галилеја уздигао је до епохалне прекретнице у развоју астрономске науке њихов савременик Јоханес Кеплер (27-II-1571 до 15-I-1630). Потомак старе, угледне породице Капела, родио се у Вајлдерстату, малом местанцету у близини Штудгарда, у скромнијим приликама него његови прадедови. Те прилике погоршаше се до правог сиромаштва кад његов лакомислени отац растури своју очевину и распарча женин мираз. Одатле следоваше, саме од себе, друге беде и невоље. Кеплеров отац живећи у неслози са својом бесном женом, одвоји се од ње и пође у туђину. Ту је, као најамник, служио у два маха под заставом шпанског војводе Албе у Белгији, касније као капетан у рату Напуља и Португала око Канарских острва. Враћајући се са те војне кући, умре у путу. За то време живела је његова жена са својом нејаком децом у беди, и у сталној свађи са својом свекрвом и целом својом околином. У таквим тешким приликама провео је Кеплер своје детињство. Рођен са седам месеци, био је од рођења слабог здравља, а прележао је и велике богиње, од којих умало да није ослепео. Како није био способан за телесни рад, дат је у школу, а кад је, уз разне прекиде, изазване селидбом у Леонберг и Елмендинген, свршио основну, латинску па и граматичку школу, примљен је као стипенијант у протестанску манастирску школу у оближњем Маулборну да би се посветио свештеничком позиву. У тој школи научио је добро латински и својим талентом и вредноћом наткрилио своје саученике. Благодарећи одличном успеху у школи, а и на заузимање свог деде Себалда Кеплера, начелника Вајлдерстата, млади Кеплер је примљен 1589 године као стипендијант на протестантски Универзитет у Тибингену.

Тај Универзитет био је у оно доба један од најбољих протестантске Немачке, а за школовање Кеплера било је од пресудног значаја што је онде предавао астроном и математичар Михаел Мастлин (1550 - 1631) који је 1582 објавио свој уџбеник сферне и теоријске астрономије под насловом „*Epitome astronomiae*”. У њему је као што је било и прописано, заузео геоцентрично становиште, што, у осталом, и ми данас чинимо кад у сферној астрономији описујемо привидна кретања небеских тела, али, у својим предавањима, Мастлин је образлагавао и Коперников систем, а свог одличног ученика Кеплера упутио у све појединости Коперникове науке. Тиме је Кеплер добио у Тибингену ону астрономску изобразбу која га је оспособила за његово велико дело.

Свршивши артистички факултет године 1591, прешао је Кеплер на теолошки факултет Универзитета у Тибингену. Због одличног успеха на магистарском испиту и на основу мишљења академског сената којим му се признаде, не само изванредна даровитост већ и ингениозност, остаде

Кеплер у уживању своје стипендије и посвети се идуће три године свог школовања свим жаром телешким студијама. Имао је неодољиву жељу и чврсту намеру да постане свештеник. Срећом по науку, судбина је хтела другачије.

У оно доба ухватио је протестантизам аугзбуршке исповести корена и у аустриској Штајерској. Онде су протестанти право да бирају своје свештенике и постављалу своје наставнике. При сваком таквом избору обраћали су се Универзитету у Тибингену. То учинише и 1593 после смрти наставника математике њихове конфесионалне школе у Грацу, а Универзитет им препоручи Кеплера. Он се тешка срца, тек по наговору свога професора и пријатеља Местлина, одлучи да прими понуђено му место и пресели се, пошто је довршио своје студије у Тибингену, марта 1594, у Грац. Ту је имао обавезу да у тамошњој гимназији предаје математику. Но како је онде, у том предмету, имао само мало ђака, поверено му је да у вишим разредима гимназије предаје латински језик и књижевност, а и реторику. Стављено му је још у дужност да сваке године редигује и објављује календар за протестанте. Био је обичај да се у таквом календару, а на темељу правила астрологије, говори и о времену, па и о важнијим догађајима који се имају очекивати током године. Да би се могао одазвати и у тој дужности, задуби се Кеплер и у правила астрологије и у првом свом календару за годину 1595 претсказао је да ће зима бити веома оштра и да ће у покрајини избити сељачка побуна. Чудним случјем, то се и десило, а Кеплерово име се прочу и у ширим круговима. Угледни људи му се почеше обраћати да им израчуна хороскоп и претскаже будућност. Сигурно је да је Кеплер, својим астрономским знањем, био у стању да задовољи бар први део њихове жеље и да је све што је тим послом зарадио у Грацу, а и касније, употребио укорист астрономске науке. Он беше астролог из нужде, а не из убеђења, па зато није пропустио да у својим календарима и у своји каснијим списима саопшти своје право мишљење о астролошким претсказивањима, која се могу испунити, што се обично запамти и улепшава, а када се не испуне, обично заборавља. Познавајући вредност астролошких претсказивања, није ту своју робу никоме намећао, а када је од њега тражена, примао је што му се за њу давало. Астрологија, тако је говорио, хранила је своју сестру астрономију.

За време свога боравка у Грацу Кеплер је написао своје прво научно дело „Mysterium cosmographicum” и објавио га 1596 године у Тибингену, где је његов учитељ Местлин водио надзор над штампањем. Оно има само историјског интереса. Кеплер је веровао у хармонију васионе и мислио је, сасвим у духу Питагорејаца, да ће је открити у броју и распореду шест онда познатих планета. Јер као што су они мислили да се отстојања планета поковавају законима аритметичке хармоније, био је и Кеплер убеђен да таква хармонија мора постојати, ваља је само пронаћи. Усвајајући Коперников хелиоцентрични систем и отстојања планета од

Сунца која је, мерена отстојањем Земље од Сунца, Коперник саопштио у свом делу, Кеплер је расуђивао овако. Кружне путање планета око Сунца ограничавају сферама, које им одговарају, пет међупростора, а тај број једнак је броју пет Питагорејских правилних полиедара. Зато је Кеплер мислио да је нашао разлог зашто постоје свега шест планета. А и међупростори њихових путања одговарали су, својом величином, тој замисли. Јер опише ли се око Сунца, радиусом Меркурове путање, сфера, па прислони ли се уз њу правилан октаедар тако да својим странама додирује ту сферу, а затим конструише сфера која пролази кроз све ћошкове тога октаедра, онда та нова сфера одговара тачно путањи планете Венере. Исто тако одговара међупростор између сфере Венерине и сфере Земљине правилним икосаедру, а остали планетски међупростори правилном додекаедру, тетраедру и коцки.

Дошавши до овог сазнања, Кеплер је био одушевљен, а не мање и његов учитељ Местлин. Обојица су били убеђени да је нађен кључ хармоније планетског система о којем је Коперник говорио. Данас знамо да није тако и да тих пет правилних полиедара немају пошто су откривене у друге планете, ни формалне везе са зградом планетског система. Али је Кеплерова замисао о хармонији тог система добила своје значење када му је, 23 године доцније, пошло за руком да, својим трећим законом, нађе општу заједничку везу између кретања појединих планета. Да није својим првим делом тражио ту хармонију, можда не би нашао ни свој трећи закон.

То прво дело Кеплерово, које је убрзо доживело и своје друго издање, имало је и ту добру последицу што га је довело у везу са Тихо Брахеом.

Годину дана иза штампања свог дела оженио се Кеплер лепом Барбаром Милер која је, иако јој беше тек двадесет и три године, ступајући у брак са Кеплером, била већ по други пут удова. Била је господског порекла и донела у брак имање, некадашњи дворца Милек код Граца. Но њихова срећа и благостање хе беху дугог века.

Године 1596 узео ерц-херцог Фердинанд, каснији цар Фердинанд II, Власт над Штајерском, Корушком и Крањском. Васпитан код језуита, нетрпељиви католик, предузео је, а на то се био и заклео, да ће искоренити протестанте из свих тих земаља. То је учинио необичном брзином и безобзирношћу. Наредио је да, најкасније 28 септембра 1598, пре заласка сунца, сви протестански свештеници и наставници морају, под претњом смрти, напустити Грац. Међу њима налазио се и Кеплер који се, са многим друговима, спасао у Мађарску. Но његово изгнанство трајало је свега месец дана. Његов научни углед био је и код језуита толико велик, да му је, на његову интервенцију, било дозвољено да се врати натраг. А надали су се да ће успети да га преведу у католичку веру. Не успеше у томе и Кеплер увиде да му у Грацу нема опстнка. Како његови покушаји да, преко свога учитеља Местлина, нађе намештење на којем од протестантских Универзитета у Немачкој, нису успели, прихвати он

Тихо Брахеов позив да га посети и нађе основу за заједнички рад са њиме.

У оно доба налазио се Тихо Брахе у дворцу Бенатеку у Чешкој који му је цар Рудолф II поклонио, и чекао ту да се пресели у Праг и уреди онде своју звездару. Тај цар који је, као што смо чули, веровао у астрологију и у Брахеу видео њеног највећег претставника, очекивао је од њега врло много и дао му неограничена средства на расположење. И Тихо је био пун великих планова и гледао да окупи око себе младе способне људе да, као оно у Ураниенборгу, створи свој владалачки двор у царству астрономије. Зато је онамо и позвао онда већ славног Кеплера. Кеплер уђе у Брахеову свиту под врло неодређеним материјалним условма и пресели се са њиме у Праг пошто је претходно био у Штајерској и имање своје жене дао у закуп. Брахе је очекивао да ће Кеплер прихватити његов систем света о којем смо већ говорили и да ће и свој научни рад управити у том правцу. Али је Кеплер имао друга убеђења и његов подређењи положај према Брахеу, од којег је спочетка примао и своју плату, да би тек касније био постављен за његовог помоћника, постаде све несношљивији. Но изненадна смрт Брахеова створи нову ситуацију.

Цар Рудолф II није могао живети без астролога, те га смрт Брахеа доведе у велику неприлику. Зато одлучи да, као наследника Брахеовог, постави Кеплера за дворског астронома и царског математичара, а Кеплер се задовољи са понуђеном половином оне плате што ју је примао његов претходник.

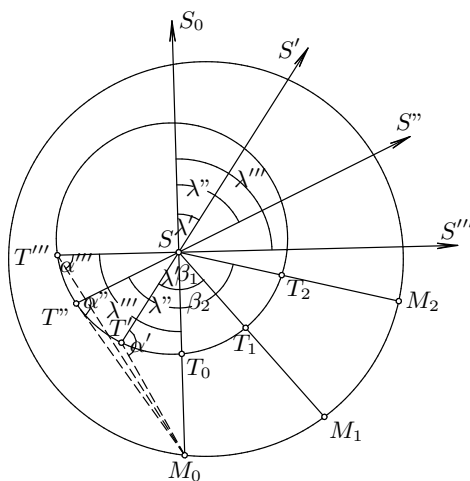
Главни задатак Кеплера у звању дворског астронома био је да изврши онај посао што га је Тихо Брахе намеравао да изведе и добио за то царско одобрење, да изради нове планетске таблице и назове их, у част свом владару, Рудолфинским таблицама. Све такве таблице које су пре тога биле сачињене показивале су знатна отступања од стварности. Тихо је био уверен да ће их, на темељу својих властитих посматрања неба, моћи заменити бољима и тачнијима, али га је смрт спречила у томе. Са својим новим знањем преузео је Кеплер и све забелешке о астрономским посматрањима свога претходника. Те прибелешке обухватиле су 24 дебела фолијанта. Оне су предате Кеплеру да помоћу њих изради Рудолфинске таблице кретања планета у току наредних година.

То научно благо, драгоцене од оне тоне злата што је на те записнике утрошена, дошло је у достојне руке. Кеплер је оценио да се у тима прибелешкама налази више но што се очекивало, не само подаци о кретању планета за кратак рок, већ и вечни закони тога кретања. Зато је своју обавезу да изради Рудолфинске таблице извршио тек после двадесет година, а пре тога ставио себи у задатак да пронађе оне законе.

Бројкама записника Тихо Брахеа било је тачно прибележно посматрано кретање планета по звезданом небу. То кретање беше само привидно, онакво какво нам изгледа са наше покретне Земље. Јер да се

Земља креће, у то Кеплер није сумњао ни један тренутак. Зато предузе да из тог привидног кретања одреди стварно кретање Земље и осталих планета. То беше изванредно тежак задатак и Кеплер се годинама мучио дог га је решио. Спочетка није знао где и како да почне и како да се снађе у оном безброју Тихових прибилежака. Напоследку паде му ово на памер.

Од свих небеских тела, посматраних са ураниенборшке звездаре, била кретања Марса најпомније и најбоље проучавана, а та планета била је, због њене близине Земљи, због малог нагиба равни у којој се креће, а великог ексцентрицитета своје путање, најповољнији објекат за Кеплеров подухват. Зато он прегледа и среди све прибелешке које су се односиле на планету Марс и онда приступи своме послу. Основну идеју која га је при томе водила, изложићемо најбоље и растумачити најочигледније ако се послужимо приложеном сликом.



Сл. 10

Усвајајући Коперникову основну замисао према којој Сунце стоји непомично, а планете га обилазе, нека нам у слици тачка С предочава тај стални положај Сунца, а нацртане две кружне криве нека нам претстављају путање Земље и Марса, при чему је спољња крива путања Марса, а унутарња путања Земље. О томе каквог су тачног облика те две криве, не чинимо, за сада, још никакву претпоставку, но, једноставности ради, а и због малог нагиба стварних равни тих двеју путања, који је мањи од 2 степена, замишљамо да те две криве леже у равни слике.

Крећући се по својим путањама, уочене две планете приближе се једна другој највише кад стигну у исту праву која их везује са Сунцем. Онда се Земља налази између Сунца и Марса, а Марс је како се то научно каже, ступио у опозицију према Земљи. Онда нам светли највећим својим сјајем. Није чудо што су се око доба сваке такве Марсове опозиције Тихова посматрања те звезде нагомилавала. Сама опозиција Марсова траје само један тренутак. Ниједно од посматрања Тихових није се, вероватно, поклапало тачно са таквом опозицијом - то би био пуки случај. Али из Тиховиг података о положају Марса непосредно пре такве опозиције и иза ње могао се интерполацијом тачно одредити положај Марса у тренутку те опозиције, па и сам тај тренутак.

Као полазну тачку наших разматрања одаберимо једну такву констелацију у којој се Марс налазио у опозицији према Земљи, рецимо ону која је у нашој слици предочена положајем T_0 Земље, а положајем M_0 Марса. Та је констелација само тренутна. Земља се креће око Сунца брже но њен сусед, па ће зато она извршити једно потпуно обилажење око Сунца, док ће Марс за то време превалити тек нешто више од половине своје путање. Због тога ће се нова опозиција Марса десити, после каквих 800 дана, у положајима T_1 и M_1 идућа, после даљих 800 дана, у положајима T_2 и M_2 . После петнаест пуних обилазака Земље око Сунца извршиће Марс осам или, тачно срачунато 7,98 обилажења око Сунца, тј. осма по реду од уочених опозиција десиће се у близини почетних положаја T_0 и M_0 . Из тога следује да је Марсу за потпуни обилазак око Сунца потребно 686 дана 23 часа 31 минута и 12 секунда. Каква год била његова путања, Марс се после тога времена враћа у свој стари положај.

Имајући све то у виду, Кеплер је поступио овако. Написао је датум и тренутак те уочене прве опозиције Марса, додао му време обилажења Марса око Сунца, па добио тиме један нови датум и тренутак. Додао овоме опет време обилажења Марса око Сунца, па доби један даљи тренутак. Тако је радио све даље док није исцрпео временски интервал Тиховиг посматрања и добио десет различитих тренутака који су имали ту особину да се у доба тих тренутака Марс налазио на једном те истом месту своје путање, оном које је у нашој слици обележено M_0 . У доба тих тренутака заузела је Земља разнолике положаје у својој путањи. У нашој слици предочена су само три прва од тих положаја и обележена са T' , T'' и T''' . Сваки од тих њених положаја ограничавао је са Сунцем и Марсом по један троугао. Ти троугли били су, додуше, различити, али су сви они имали једну заједничку страну, дуж SM_0 наше слике.

Да видимо како стоји са угловима тих троуглова. Уочимо, у то име, први од тих троуглова, онај чији су врхови у нашој слици обележени са S , T' , M_0 . Угао $ST'M_0$ тог троугла, онај који смо у нашој слици обележили са α' , претставља нам онај угао што су га, онда када се Земља нашла у положају T' , затварале међусобно визуре, управљене из ура-

ниенборшке звездаре према Сунцу и Марсу. Тај угао добивамо ако од тадање геоцентричне лонгитуде Марса одуземо геоцентричну лонгитуду Сунца. Те лонгитуде могао је Кеплер, интерполацијом на временски тренутак положаја T' Земље, пронаћи из Тиховиг записника, па је то и учинио. Могао је израчунати и угао M_0ST' , обележен у нашој слици са λ' . Из положаја T_0 Земље изгледа нам Сунце пројицирано на небеску сферу у правцу T_0S_0 , а из положаја T' Земље, у правцу $T'S'$. Угао λ' једнак је, према томе, разлици геоцентричних лонгитуда Сунчевих при оним двама положајима Земље. Тако је Кеплер могао тригонметрским рачуном израчунати све стране и све углове троугла SM_0T' .

Истим тим начином израчунао је Кеплер стране и углове оних троуглова што су их ограничавали положаји $T'', T''' \dots$ Земље у доба оних тренутака када је Марс поново стигао у положај M_0 . када је завршио те своје рачуне, он нацрта највећом тачношћу ону десетину троуглова са заједничком страницом M_0S , чију дужину је у свом цртежу произвољно одабрао. Трећи ћошак тих троуглова предочавао је положаје Земље који су одговарали десетини различитих положаја у њеној путањи око Сунца. Тих десет тачака лежале су, како му се учинило, на једом кругу. Заиста, кад узме шестар у руке, успе да кроз све те тачке положи једну криву линију. Центар тога круга није лежао у Сунцу.

Копреник је, дакле, имао право кад је тврдио да су путање планета кругови и то, већ у самом наслову свога дела, изрекао речима: „О кружним путањама небеских тела”. Но када се приступило послу да се на основу Коперниковог система израчунају таблице планетског кретања, показало се као потребно да се те путање, исто тако као што је то показивао Кеплеров цртеж, положи ексцентрично око Сунца, иначе се израчунавања не моглоше довести у сагласност са посматрањима. Исто тако поступио је и Тихо, узимајући да Сунце обилази око Земље, а око Сунца, по ексцентричним кружним путањама, остале планете.

Но поред свега тога, посматрања нису се ипак подударала са рачунима, извршеним на темељоваквих претпоставки, увек је било понеких размимоилажења. Тихо је мислио да та размимоилажења потичу од разних омашака посматрања. Али Кеплер, са својом педантеријом и темељности, није се задовољио оваквим тумачењем. Његов проицљив геније шапутао му је да ту мора бити скривен други неки узрок. А сада увиде да се у томе преварио.

То беше велико разочарење, и он малакса духом. А било је и других разлога да га обесхрабре. Његова плата, далеко мања од некадашње Брахеове, није му исплаћивана већ месецима. Морао је због тога да трчкара, мољака, саставља акта и признанице, но са никаквим другим успехом до да га упућују од надлештва до надлештва, јер све државне благајне биле су празне.

Месеци и месеци прохујаше у том безуспешном труду. „Ево”, говораше он, „да дођем до пара које ми по закону припадају, утроших узалудно

своје време, а не стигох да радим на науци”.

То га је највише тиштало. Но све то време размишљао је ипак о свом научном проблему. И тиме дође до једне нове идеје и опроба је чим стиже да се врати својим рачунима. Он их изведе, исто тако као и за опозицију Марса у положају M_0 , И за отале опозиције у положајима M_1 , M_2 ... наше слике које су се десиле за време двадесетгодишњег интервала Тихових посматрања Марса. Кад је те своје рачуне довршио, нацрта путању Земље каква је следовала за сваку од тих опозиција, узевши за сваки од цртежа исту ону дужину за отстојање Марса од Сунца коју је употребио и у свом некадањем цртежу. На сваком од тих нових цртежа добио је за путању Земље и опет кружну линију, али тих десет кругова не беху једнаки један другом. Одмах увиде да у том грму лежи решење које је до сада узалудно тражио.

Кеплер промени у својих десет цртежа то, поједнако претпостављено отстојање Марса од Сунца док, у свим цртежима, не доби један те исти пречник за Земљину путању. Онда пренесе, на једном новом листу хартије, та ново додивена, разна отстојања Марса од Сунца радијално према одговарајућим положајима Марсових опозиција M_0 , M_1 , M_2 ... тј према угловима β_1 , β_2 ... наше слике, који су се такође могли израчунати из Тиховог записника. Тиме је добио десет тачака Марсове путање. Оне су лежале на једној затвореној криви која је веома личила на круг, али није то била. Кроз њен центар могао се положити један пречник, већи од осталих, и један други који беше мањи од свих других пречника.

Тај резултат трогодишњег рада Кеплеровог био је од огромног значаја и замашаја. То је знао и он сам, али није похитао да га разгласи целом свету као што би то други урадили. Јер његов посао не беше тим резултатом довршен, Не беше довољно знати да Марсова путања није кружна линија, већ је требало одговорити и на питање каква је она крива и којим математичким средствима је претстављена. Цртеж не беше у стању да на ово питање дадне одговора, већ само рачун. У том правцу је Кеплер наставио своја испитивања.

Кеплер је био одличан геометар и математичар и стајао је у том погледу далеко изнад Тихо Брахеа, па ипак је мучно напредовао у своје подухвату. Требало је извести математичке обрасце који су давали не само положаје Марса у њиховој путањи, већ и одговарајућа времена пролаза планете кроз те положаје, дакле не само облик планетске путање, већ и закон кретања планете по њој. Јер његови претходни рачуни су му показали да се планета не креће равномерно по својој путањи, већ каткад брже, а каткад спорије. Све су то биле неочекиване чињенице.

Пролазила је година за годином, а Кеплер не стиже до свог циља, иако му се неколико пута приближио на дохват руке. Али га то не обесхрабри. Његов геније имао је моћног савезника, истрајност. Био је жилаве природе, и што је једанпут зграбио, не пушташе више из руке. А знао је и врло добро шта би значило успех у тако замашном проблему.

Зато је гурао напред, вођен својом генијалном интуицијом, а обуздаван строгом властитом критиком и педантеријом.

Немогуће је овде изложити све узастопне фазе његовог мучног рада. И у претходним саопштењима морали смо се ограничити на основне идеје и главне етапе његове, служећи се извесним упрошћењима и отступањима од трновитог пута којим је ишао Кеплер. Зато се и сада морамо задовољити тиме да саопштимо да је, после многих безуспешних напора, Кеплеру пошло за руком да изведе поларну једначину Марсове путање. Својим савршени математичким језиком предочавала је она елипсу чија једна жижа је лежала у центру Сунца. Зато се и данас непоремећене путање планета зову Кеплеровим елипсама. Још му је пошло за руком да кретање планете по тој путањи тачно опише једним математичким обрасцем који се назива Кеплеровом једначином.

До ових резултата величанственим по својој непобитности и једноставности, дошао је Кеплер у деветој години свога рада. Своје резултате применио је и на остале планете. И путања Земље испољила се као елипса, само мањег ексцентрицитета него Марсова, те се једва разликује од кружне линије; зато ју је пре тога открића сматрао за круг.

Законима планетског кретања што их је Кеплер својим радом пронашао и ухватио у строге математичке обрасце изражавајући се речима овамо:

Својим средиштима описују планете око Сунца елиптичне путање; у заједничкој жижи тих елипса налази се Сунце.

Радиус вектор повучен од центра Сунца до центра планете превлачи у једнаким деловима времена једнаке површине.

Та прва два своја закона објавио је Кеплер у своме делу „*Astronomia nova de motibus stellae Martis*”. Оно је, посвећено цару Рудолфу, штампано у Прагу 1609 године.

Име нове астрономије које је наденуо том свом делу одговара у пуној мери његовом садржају. Ниједан од Кеплерових претходника у астрономији није слутео да се небеска тела крећу по елиптичним путањама, нити је веровао да би кретање тих тела могло бити неравномерно. Зато Кеплеровим делом отпочиње ново доба астрономске науке.

За време свога боравка у Прагу, године 1611, публиковао је Кеплер своје друго дело из области оптике, своју „Диоптику”, штампану у Аугсбургу, док је његово прво оптичко дело „Паралипомена” штампано у Франкфурту 1604. За историју астрономије само је његова „Диоптика” од важности, јер се у њој бавио теоријом и конструкцијом догледа. Као што смо чули, године 1609 конструисао је је Галилеји свој доглед и упроба ка небу. То је био један, тако звани, холандски доглед који је за објектив имао конвексно, а за окулар конкавно сочиво. Кеплер је, између осталог, показао да се употребом конвексних сочива и за објектив и за окулар може добити доглед, различит од холандског, но доброг увећавања и јасноће слике. Такав доглед показује, додуше сагледани предмет

у обрнутом положају, но то не игра никакву улогу при посматрању небеских објеката. Кеплер је имао потпуно право, и док су се у обичном животу употребљавали холандски или терестрични догледи, уобичајили су се у астрономији онакви догледи какве је Кеплер предложио; они се сада називају Кеплеровим или астрономским догледима.

Кеплер сам није никада практично извео ниједан доглед, па ни онакав који сада носи његово име. Тек неколико година иза публикације његове „Диоптике” начинио је такав доглед споменути крвни непријатеља Галијејев, језуита Христоф Штајнер, (1575-1650) и постигао њиме велике успехе. Он је, као што смо чули, независно од Галилеја, открио Сунчеве пеге и пратио их систематски. Посматрање тих пеге, које је Галилеју упропастило очни вид, учинио је Штајнер безбавним употребом обојених стакала која је стављао пред објектив.

Исте године када је Кеплер објавио своју „Диоптику” присилио је цара Рудолфа његов брат Матија, којему је већ три године раније упустио власт над Аустријом, Моравском и Мађарском, да се одрече и власти над Ческом. Та година била је несрећна и за Кеплера; умреше му жена и троје деце.

Нови владар, цар Матија, потврдио је Кеплера у његовом дотадашњем звању, али се тиме његово материјално стање није поправило, јер му уговорена плата није скоро никако исплаћивана. Зато се Кеплер одазва позиву горњоаустриског града Линца да буде професор тамошње гимназије. Ту се оженио по други пут и провео онде дванаест година, тражећи зараде и исплату својих заосталих потраживања од државе. Био је неко време и астролог познатог војсковође Валенштајна.

Поред свих недаћа које су га пратиле целог живота, Кеплер је све до своје смрти неуморно радио на науци и обогатио је још неким великим тековинама, достојним његовог имена. У Линцу је израдио своје „Рудолфинске таблице” и штампао их 1627 године у Улму. Оне су идућих сто година потиснуле све остале такве таблице. У Линцу је написао и једно значајно дело из математике које се може сматрати за претходника више математике, које је, штампано у Линцу 1615, носило наслов „Nova stereometria doliiorum vinariorum”, а на које га је довео чудан случај. Винородне године 1613, пође Кеплер да и свој домазлук снабде вином. Тада му паде у очи да продавци вина одређују запремину своје буради врло примитивним и непоузданим начином, па зато стави себи у задатак да из главних димензија бурета израчуна његову запремину. То је, ни мање, ни више, него проблем инфинитезималног рачуна, па би основна замисао коју је Кеплер при решењу тог проблема употребио била и праскозорје више математике да је била објављена у срећнијим временима. Овако је, у бурама тридесетгодишњег рата, остала незапажена.

Још значајније било је Кеплерово дело „Harmonices mundi” написано 1618 године, а објављено 1919 у Линцу, јер је у њему саопштен његов трећи закон о кретању планета. С времена на време размишљао је он,

и у својој новој скромнијој средини, о проблемима васионе којима се некад бавио и решио их. Са своја прва два закона открио је правила кретања појединих планета, Али му је његов геније говорио да, сем та два закона, мора постојати још и нешто друго, заједничка веза, која та кретања међусобно везује. Видели смо већ како је Кеплер у својему делу „Mysterium cosmographicum” тражио такву везу, имајући онда у виду само поједина отстојања планета од Сунца. Његовим каснијим испитивањима планетског кретања ушао је један нови елемент у његова расуђивања, време T обилажења планета око Сунца. Тиме је проблем био правилно постављен и сада га је могао решити. Тако је нашао да, далеко тачније но што је то био случај када је узимао у обзир само отстојања a планета око Сунца, постоји овај закон.

Квадрати времена обилажења T појединих планета око Сунца стоје у пропорцији трећих потенција великих полуоса a њихових елиптичних путања.

Другим речма, квоцијенат

$$\frac{a^3}{T^2} = k$$

је један те исти број за све планете.

То је био трећи Кеплеров закон којим је употпунио своја прва два закона и њима створио темеље наше нове астрономије која се из основа разликује од старе.

За време свога боравка у Линцу написао је Кеплер своје велико дело „Epitome astronomiae copernicanae”. Његове прве три свеске публиковао је у Линцу 1618 до 1620 године, а остале три у Франкфурту 1621. У њима је научно обрадио целокупну астрономску науку свога доба, усвајајући Коперников систем, но допуњавајући га својим законима и њиховом математичком разрадом.

Немаштина и несталан живот загорчали су Кеплеру и последње дане живота. Да би исплатио своје потраживање од државе које је било нарасло на суму од 12.000 форината, пође 1630 у Регенсбург да би онде своје потраживање изнео пред државни сабор. Но пре но што је то могао учинити, затече га онде смрт. Рукописи његових дела дођоше после његове смрти куповином у власништво астронома Хевела, а године 1778 купи их за 2000 рубаља царица Катарина II за библиотеку петроградске Академије. Оданде дођоше у астрономску опсерваторију у Пулкову која их стави тридесетак година штудгарском професору Фричу на употребу да приреди издање целокупних дела Кеплерових; оно је, под насловом „Kerleri opera omnia” изашло у осам свезака у Франкфурту 1858-1872 године.

Глава девета

РАЗДОБЉЕ ИЗМЕЂУ ГАЛИЛЕЈА И ЊУТНА

Кеплерови закони и његове једначине дају јасан и тачан одговор о томе како се крећу поједине планете, али не одговарају на питања зашто се планете тако крећу. Трећи Кеплеров закон открио је везу између кретања појединих планета и указивао на то да та кретања морају имати један заједнички узрок, неку непознату силу која планете присиљава на њихово кретање. Кеплерови закони, нађени емпиријским путем, леже још у области кинематике, а изналажење заједничких узрока тог кретања проблем је динамике, науке којој је Галилеј положио темеље својим „Дискорсима” године 1638. У том свом почетном стању, та наука није била је дорасла да приступи оном новом замашном проблему који је решен тек Њутновим „Принципијама” године 1687. Раздобље од скоро педесет година између поменутих дела Галилеја и Њутна доба је узраста науке механике, обележено именом Хајгенса, другог по реду од тих трију твораца те науке.

У то раздобље пада и оснивање двеју најславнијих Академија оног доба, енглеске и француске. Енглеска Академија настала је из једног приватног удружења, основано, са Бојлом и Реном на челу, 1645 године, но које је убрзо, 1662 године, добило ранг највишег научног института државе и назив „Royal Society”, „Краљевског удружења”, који назив носи и данас. Оно је године 1665 почело издавати свој орган „Philosophical Transactions”.

Париску Академију наука основао је 1668 године Колбер, просвећени министар Луја IV, и појачао њен научни углед првокласним научницима које је позвао и из иностранства. Међу првим од тих научника налазио се и Хајгенс.

Христијан Хајгенс (14-IV-1629 до 8-VI-1695), рођен у Хагу, одрастао је у бољим приликама него Кеплер. Његов отац Константин, класично образован, сачинитељ латинских пома, лични секретар трију узастопних принчева Ораније, властелин Зелема и Зујлихема, лично се бринуо за васпитање свога изванредно даровитог сина и учио га математици и машинству, а затим га, године 1645, послао на Универзитет у Лајден, где је студирао права, али се код ондашње познатог геометричара Шотена бавио и математиком. Своју прву математичку расправу објавио је већ у својој двадесет и другој години. Године 1646 и 1648 провео је на Универзитету у Бреди, а 1655 добио докторат у Анжеру, једином универзитету Француске где су протестанти могли получити тај академски град.

Године 1655 конструисао је Хајгенс, у заједници са својим братом Константином, један велики телескоп од 10 стопа и открио њиме, 25 марта те године, Титана, највећег сателита Сатурновог. Одредио је њихово време обилажења око те планете.

Посматрајћи и даље систематски Сатурна, Хајгенсу је пошло за руком да објасни загонетну појаву његовог прстена. Чули смо да се Галилеји бавио том појавом, али није успео да је објасни. Сатурнов прстен, заиста, један од најчудноватијих објеката васине, рој безбројних чврстих тамних пратилаца планетиних, има ширину од каквих 50.000 километара, док је његова дебљина од 300 километара незнатна према његовој ширини. Зато нам и изгледа као да је од хартије, а када га, према променљивим положајима Сатурна, гледамо постранце, онда се и не види. Зато ни Галилеји, ни они астрономи који су се после њега бавили испитивањем те чудне појаве, а то су били Гасанди, Ричоли, Грималди, Хевел и Доминик Касини, нису били начисто о чему се ради. Хајгенс је, ако не материјалну структуру Сатурнова прстена, а оно његов геометриски облик објаснио сасвим правилно и то саопштио у својој расправи године 1659.

У међувремену Хајгенс је, конструкцијом свог часовника са клатном, начинио један важан проналазак не само за астрономију, већ и за свакодневни живот. Конструкција тог његовог часовника била је у целини и у појединостима толико савршена да се на њој, ево већ скоро три стотине година, нису морале извршити никакве веће измене.

Тако се Хајгенс, већ у својим младим годинама, истакао као генијалан проналазач и астроном, да би се убрзо после тога, као и Архимедес, сасвим посветио чистој науци. У тој области одвело га је његово познанство са научницима и ученим друштвима, са којима је дошао у везу на својим путовањима у Лондон и Париз. Када је године 1663 боравио по други пут у Лондону, изабрало га је тамошње „Краљевско Удружење” за свога члана, а године 1665 доби позив да буде прави члан Академије која је била основана у оно доба. Он се по том признању и позиву одазвао и преселио у Париз, где му је, у згради краљевске библиотеке, уступљен стан. У Паризу је провео петнаест година, и својим чланством и радом подигао до високог степена научни углед младе Академије.

Својим главним делом тог периода његова живота које је имало наслов „Horologium oscillatorum”, а које је штампано у Паризу 1673 године, показао се Хајгенс као достојан наследник Галилеја у изградњи науке механике. Иако је, можда заостајао иза Галилеја ширином својих концепција, наткрилио га је својим изванредним математичким талентом. То Хајгенсово дело отвара нову једну епоху у развоју механике. Из богатог садржаја тог дела, напоменућемо овде само оно што је било од нарочитог значаја за развој астрономске науке. То су Хајгенсова испитивања о криволинијском кретању. Галилеји је показао да је свака промена праволинијског равномерног кретања којег тела изазвана спољним утицајем који је, у проблемима којим се он бавио, био оличен силом теже. Полазећи од тог схватања, Хајгенс је увидео да кад се које тело креће равномерно по кружној линији, такво кретање може наступити само онда ако на то тело дејствује каква сила, наперена у правцу радиуса према

центру тог круга. Ту силу назвао је Хајгенс центрипеталном силом, а акцелерацију коју она изазива центрипеталном акцелерацијом. Оваква центрипетална акцелерација изгледа, на први поглед, парадоксална, јер она тело, пошто се оно креће по кругу, не приближава ниуколико центру круга, а како се тело креће равномерно, не мења ни његову брзину. Тек дубља анализа показује присуство и дејство споменуте акцелерације. Хајгенсу је пошло за руком да нађе и математички израз за ту акцелерацију. Она је пропорционална квадрату брзине v кретања по кругу, а инверзно пропорционална радиусу r круга, дакле претстављена обрасцем

$$p = \frac{v^2}{r}.$$

Важно је напоменути да је Хајгенс у своме напоменутом делу саопштио само овај образац за центрипеталну акцелерацију; извођење тог обрасца објављено је под насловом „De vi centrifuga” у његовим делима 1703 године.

У свом „Хорологијуму” решио је Хајгенс још многе друге проблеме механике: проблем математичког, физичког и циклоидног клатна. У првом од тих трију проблема открио је зависност трајања осцилације клатна од силе теже, у другом од тих проблема увео је, при тражењу центра осцилације физичког клатна, појам момента инерције и увидео његов значај у проблемима кретања чврстог тела, у трећем проблему пронашао је савршену таутохроност циклоидног клатна. Још при решавању проблема судара, који је решио поводом задатка постављеног 1668 године од „Краљевског Удружења”, дошао је и до принципа живе силе.

Године 1681 Хајгенс се преселио из Париза у своје родно место. Један од разлога за ту његову одлуку био је појачана нетрпељивост која је нашла јасан изражај у опозивању Нантског едикта којим је протестантима била загарантована слобода вероисповести.

Још док је био у Паризу, године 1678 приказао је Хајгенс француској Академији једну расправу коју је у Хагу проширио и у Лајдену објавио године 1690. У том делу које је носило наслов „Traite de la lumiere” садржана је позната Хајгенсова ундулациона теорија светлости, у опреци са Њутновом емисионом теоријом или, боље рећи, хипотезом како ју је Њутн сам означио. Пред силним ауторитетом Њутна, Хајгенсова теорија дошла је до признања тек радовима Јанговим и Френеловим, који су Хајгенсове лонгитудиналне таласе заменили трансверзалним, и у том промењеном облику, одржала се у модерној електро-магнетној теорији светлости, да би се данас поново сукобила са виталном снагом Њутнове корпускуларне теорије.

Године 1695 почео је Хајгенс, који је иначе био слабог здравља, да озбиљније побољева и умро је исте године у 67 години живота, оставивши своје рукописе Лајденској библиотеци у наслеђе. Његова целокупна дела

издата су у Хагу, први пут 1724-1728, у шест томова, а други пут 1888-1901, у девет томова.

Као што смо видели уз његове кратке биографије, Хајгенсов живот пада у доба усавршавања астрономских инструмената и подизања великих државних звездара које су одмениле звездаре, подигнуте приватним средствима. Од тих приватних звездара била је најзначајнија Хевелова, па морамо и о њему прозборити коју реч.

Јоханес Хевелиус (1611-1687) родио се и провео је свој живот у слободном граду Пољске, Гдинском, каснијем Данцигу. Син богатог пивара, студирао је на Универзитету у Лајдену, а у астрономију га је увео већ његов учитељ Кригер. Био је угледна личност и сенатор свог родног места. Одушевљавајући се астрономијом, Хевел је године 1641 подигао властитим средствима велику, добро уређену звездару и онде вршио астрономска посматрања, вешто и истрајно. Главни небески објекат тих посматрања био је Земљин Месец. Све што је на његовој површини својим догледима јасно и сигурно сагледао, Хевел је нацртао и изрезао у бакру. Тако су настале прве детаљне карте Месечеве површине, објављене у његовој „Селенографији” 1647. Он је тамне делове Месечеве површине сматрао за мора и тако их назвао. Ти његови називи очували су се до данас, исто тако његови називи гребенских планина Месечевих, Алпа и Апенина. Обичај да се детаљи Месечеве површине, а нарочито њени прстенасти брегови, називају именима славних астронома увео је Ричоли 1651.

Хавел се сматра оснивачем топографије Месеца. Посматрао је пажљиво и комете и дао детаљан опис многобројних астрономских инструмената своје звездаре.

Још значајнији догађај по развој практичне астрономије било је оснивање Париске астрономске опсерваторије коју је, непосредно иза оснивања француске Академије наука, подигао Колбер. Године 1667 положен је њен камен-темељац, а 1669 постављен за њеног управника, а и за правог члана Академије, Ђовани Доменико Касини (1625-1712). Он се родио у Париналду код Нице, изобразио се за инжињера и постао професор на Универзитету у Болоњи. Већ пре свога доласка у Париз истакао се као астроном својим обрађивањем ротација Јупитера, Марса и Венере и израчунавањем Јупитерових сателита. Показао се достојан полажаја на који је у Паризу дошао. Снабдео је звездару великим астрономским инструментима и њима, после Хајгенсовог открића Титана, пронашао даља четири пратиоца Сатурнова, 1671 године Јапета, 1672 године Реу, а 1681 године Диану и Тетиду. Године 1675 опазио је на Сатурновом прстену једну тамну кружну линију која га, као што се касније показало, раздваја, као каква пукотина, у два засебна концентрична прстена. Она се данас зове Касинијевом разделницом. Сат и по иза заласка Сунца 18 марта 1683, Касини је опазио на небу беличасто светло, како се од хоризонта дуж клиптике распростире све до преко Плејада. Та појава

названа је зодијакалним светлом. Године 1693 објавио је Касини нове таблице Јупитерових сателита, далеко тачније но његове прве такве таблице. Име Касинија везано је и тиме за историју париске опсерваторије што су његов син Жак, његов унук Сезар Франсоа и његов праунук Доминик били њени управници.

Касини је имао и одличне сараднике од којих су се највише истакли Жак Пикар (1620-1682) и Оле Ремер (1644-1710). Пикар, ученик Гасандија, професор на Колеж де Франсу, члан француске Академије од њеног оснивања, био је тај који је довео Касинија у Париз и уступио му положај управника опсерваторије, а он је пронашао и Ремера када га француска Академија посла у Данску да онде тачно одреди географске координате некадање звездаре Тихо Брахеа. У Копенхагену се нашао са физичром Еразмом Бартолином, познатом по свом открићу двоструке ломљивости светла исландског кристала. Он препоручи Пикару свог даровитог ученика Ремера, те овај би позван 1671 на париску звездару и постаде члан тамошње Академије.

Говорећи о Галилеју, споменули смо да је он, чим је открио Јупитерове сателите, увиде њихову важност у морепловству за одређивање географских дужина, јер њихово кретање претставља тачни временски хронометар, виђен са Земље. Казаљке тог часовника су ти сателити, и кад који од њих уђе у сенку планете и замрачи се, онда се тај тренутни догађај, који се догађа скоро свакодневно, виђа са целог оног дела Земљине површине одакле се види та планета. Ради се само о томе да се тренуци тих замрачења рачунски унапред тачно одреде, па да се зна време које тај часовник показује. Тим послом бавио се, као што смо чули, Касини, а помагао му је Ремер. При томе се показало да време које протече између два узастопна помрачења уоченог сателита није стално. Један од узрока те чудновате појаве лежи у елиптичном облику путање Јупитерове око Сунца и путање саателита око њега самог. Но посматрања Касинија и Ремера показала су да та појава има везе и са кретањем наше Земље, јер се време између двају узастопних помрачења уоченог сателита мењало правилно у току године, тј. у току обилажења Земље око Сунца. Када се Земља на том свом обилажењу приближавала Јупитеру, оно је постајало краће, а када се удаљавала од њега, бивало је дуже. Генијалним погледом Ремер је увидео да је узрок тому био тај што се Сунчева светлост креће извесном, коначном брзином и да се та брзина може израчунати из те појаве. Но када је Касини то мишљење изложио у Академији наука, оно би одбачено, јер су терестрична одређивања показала да се светлост распростире тренутно, а то мишљење заступао је и Декарт. Касини се дао убедити да је тако, али не Ремер. Он је наставио своја испитивања те појаве и прикупио доказе да се светлост креће коначном брзином која се, при познатом отстојању Земље од Сунца, може израчунати. Када је, године 1675, о томе реферисао у Академији наука, наишао је на оштру опозицију, и сам Касини је био

у њој, али је Хајгенс стао уз Ремера. Када је, убрзо иза тога, и Њутн прихватио њихово гледиште, постао је Ремеров проналазак неоспоран, а његово име везано за једну од најзначајнијих тековина астрономије.

Године 1681, после опозивања Нантског едикта, вратио се Ремер у Данску и био онде професор Универзитета у Копенхагену. Верска нетрпељивост је лишила француску Академију Хајгенса и Ремера, два славна имена, а француску државу хиљада вредних и способних грађана.

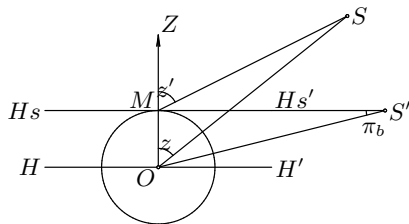
Француска Академија наука приступила је још двама важним проблемима астрономије, премеравању Земље и отстојања небеских тела од ње. Већ су, као што смо видели, Александринци и Арапи извршили прва премеравања Земље и она су нам дала прву, доста приближну, слику њене величине. У колико су нам праве дужине јединица којима су се они при том служили, тачно познате, та њихова мерења, прерачуната у километре, дала су за дужину квадранта Земјиног меридијана ове нумеричке вредности: Ератостеново мерење 11560 км, Посејдоново 11100 км, а арапско 11016 км. Она отступају од стварне дужине тог квадранта, тј. од 10000 км, за 16, 11 и 10 процената и показују постепени напредак постигнут тим трима мерењима.

Говорили смо о примени резултата тих мерења при изради географских мапа у добу Колумба и других великих морепловаца. Напредак астрономије и примене догледа омогућили су да се та стара премеравања Земље замену новим, тачнијим. Прво такво премеравање у новом веку извршио је године 1525 Француз Фернел који је током извршио премеравање отстојања између Париза и Амијена, а затим одредио географске ширине тих двају места, је дало, више случајем но његовом заслугом, доста тачан резултат (9954 км). Још бољи резултат дало је премеравање Холандеза Снелијуса који је измерио отстојање између Алкмара и Бергена, служећи се при том триангулацијом, тј. премеравајући у мрежи троуглова, положених између та два места, све њихове углове и само једну кратку страницу, базу која се, положена на згодном месту, могла измерити тачношћу која је одговарала тачности мерења тих углова. Та тачност појачана је знатно када су се догледи којима су се ти углови мерили, снабдели концима за визирање.

Имајући све то у виду, одлучила је француска Академија наука да, користећи се свима тековинама науке и праксе, изврши ново премеравање Земље. Тај посао поверила је Пикару. Оње године 1669 и 1670 извршио триангулацију између Амијена и Малвоазина и нашао да квадрант меридијана мери, сада прерачунато на километре, 10009 км. Објавио је то године 1671. Тим резултатом послужио се, као што ћемо видети, Њутн при проналаску свога закона гравитације.

Стари Александринци су се бавили и оним другим проблемом, премеравањем отстојања Месеца и Сунца од Земље, о чему смо већ понешто

саопштили. Друга половина пете књиге Птолемејевог „Зборника” бави се опширније тим питањем. Онда он саопштава ово. Када димензије наше Земље нису бесконачно малене према отстојању ученог небеског тела, као што је то случај са Месецем, Сунцем и планетама, онда ће то имати за последицу да права, повучена из центра Земље према тој звезди, неће бити паралелна правој повученој према њој са посматраног места које се, природно, може налазити само на површини Земље. То видимо јасно из приложене слике 11, где нам O представља центар Земље, M место посматрача, а S уочену звезду. Раван $H_S H'_S$ положена хоризонтално кроз место M посматрача назива се привидним хоризонтом, а равна HH' , паралелна равни $H_S H'_S$ а положена кроз центар O Земље зове се правим хоризонтом. Исто тако зове се угао z' привидним, а угао z правим зенитским отстојањем уочене звезде. Праве OS и MS затварају међу собом један угао једнак разлици $(z' - z)$. Тај угао назвали су Александринци паралаксом, тј. отступањем. Та паралакса једнака је нули када се уочена звезда налази у зениту, а највећа је када се звезда налази у хоризонту $H_S H$ посматрача, као што је то случај са звездом S' . Онда је та паралакса π_0 , називана хоризонталном паралаксом, дата обрасцем



$$\sin \pi_0 = \frac{r}{d}$$

где r означава радиус Земљине лопте, а d отстојање звезде од Земљина центра. Ова једначина даје нам везу између те паралаксе и отстојања звезде, мереног Земљиним полупречником. Узме ли се у обзир да је π_0 увек врло мален угао или лук, може се његов синус заменити њим

Сл. 11
самим, одакле следује да је хоризонтална паралакса онај угао под којим се, гледано са звезде, види радиус Земљине лопте.

Александринци су разноликим методама и мерењима покушавали да одреде паралаксе Месеца и Сунца. Говорили смо већ о Аристраховим настојањима у томе правцу. Изгледа да је, пошто је спочетка нетачно одређен привидни пречник Сунца кориговао на $30'$, добио за паралаксу Месеца ову нумеричку вредност $\pi_0 = 61'$. Хипархос је о том предмету написао нарочито дело „О израчунавању паралакса”, но које се није очувало. Из Птолемејевог „Зборника” и Папосове „Математичке збирке” сазнајемо да се Хипархова метода не разликује принципијелно од Аристрахове, већ само тачнијим резултатима мерења. Њима је Хипархос нашао да је паралакса Месеца $\pi_0 = 57'$.

Птолемејос је изумео, употребио и у свом „Зборнику” саопштио једну нову методу за одређивање Месечеве паралаксе. У доба када се Месец

највише удаљио према северу од еклиптике и достигао тиме своју највећу латитуду једнаку збиру нагиба еклиптике и нагиба ϵ равни путање Месеца према њој, Птолемајос је измерио зенитско отстојање Месеца и нашао да је оно $2^0\frac{1}{5}$ дакле тако малено да је у том његовом положају паралакса Месеца безначајна. Исто такво мерење зенитског отстојања Месеца извршио је Птолемајос у доба када се Месец удаљио највише ка југу небеске сфере и достигао своју највећу негативну латитуду. Када би димензије Земље биле незнатне према отстојању Месеца, ове две латитуде биле би међусобно једнаке, али како то није био случај и како се у овом другом случају Месец знатно удаљио од зенита, па његова паралакса била осетна, Птолемајос је могао да израчуна хоризонталну паралаксу Месеца и нашао $\pi_0 = 58'$. Она је скоро иста као и она коју је нашао Хипархос и могла се употребити за одређивање паралаксе Сунца. Месечевом паралаксом и временом његовог пролажења кроз конус Земљине сенке одређен је тај конус, радило се само о томе да се Сунце стави у тај конус тако да га оно додирује, а при томе има привидни пречник, одређен посматрањем. Тим начином нашао је Птолемајос да отстојање Сунца од Земље мери 1210 полупречника Земљине лопте, а томе одговара паралакса Сунца $\pi_0 = 2'50''$.

Узмемо ли узбир да је стварна паралакса Месеца $57'2''$ а стварна паралакса Сунца $8,8''$, то видимо да су Александринци паралаксу Месеца измерили врло тачно, али се много пребацили при одређивању паралаксе Сунца. То није ни чудо. Паралакса Сунца је, према предњем податку, толико сићушна да Александринци нису били у стању да је одреде средствима којима су располагали.

Птолемајеви бројеви за паралаксе Месеца и Сунца употребљавани су, без сумње и поговора, хиљаду и по година.

Године 1650 измерио је Белгијанац Вандален на острву Мајорци истим начином као и Аристархос, но служећи се догледом, лучно отстојање Месеца од Сунца у тренутку његове дихотомије и нашао га једнаког $89^{\circ}45'$. Одавде је следовала паралакса Сунца од $14''$, дакле далеко ближа стварности.

Француска Академија посветила је своју пажњу и одређивању Сунчеве паралаксе. Она је, у том циљу 1671 године организовала научну експедицију да би се, користећи се Марсовом опозицијом у јесен 1672, вршила посматрања те планете са два удаљена места Земљине површине и из различитих сферних координата Марса, добивених опажањем на та два места, израчунала паралакса Марса, а из ове паралакса Сунца. У то име послала је астронома Жана Рише-а у Кајену, главни град француске Гијане, да онде, на 5° северне ширине, а на 52° западне дужине, врши астрономска посматрања планете Марса, истовремено са таквим посматрањима у Паризу.

Реше је стигао на своје место опредељења априла 1672 и остао онде преко годину дана. Ту је вршио не само посматрања Марса, већ и

других звезда и разних природних појава; одредио је деклинацију и инклинацију магнетске игле, посматрао атмосферске појаве, а и плиму и осеку мора.

Одмах у почетку свога рада приметио је Рише да његов часовник, који је у Паризу ишао сасвим тачно, заостаје у Кајени свакодневно за пуне две минуте; морао је његово клатно да скрати да би сат правилно ишао. А када се вратио у Париз морао је клатно продужити за онолико колико га је у Кајени био скратио. О узроцима те појаве развила се оштра препирка док је Хајгенс и Њутн нису објаснили центрифугалном силом и спљоштеношћу наше Земље.

После повратка Ришеа у Париз упоређења су његова посматрања Марса са онима која су истовремено вршили у Паризу Касини и његови помоћници. Израчунато је да Марсова паралакса мери $15''$. Употребом трећег Кеплеровог закона следовала је одатле Сунчева паралакса од $9,5''$.

Иако ни та паралакса није била сасвим тачна, јер је из ње следовало отстојање Земље од Сунца од 140 милиона километара, место стварног од 150 милиона километара, ипак је њоме добивена прва добра слика тог отстојања које је далеко надмашивало све дотадање преставе.

Усвајањем Коперниковог система и одређењем Сунчеве паралаксе, тј. премеравањем отстојања Земље од Сунца, указала се могућност да се измере и отстојања звезда некретница. Услед годишњег кретања Земље око Сунца виђа се свака звезда некретница у два разна тренутка године, размакнута пола године један од другог, са два разна места Земљине путање. Отстојање тих двају места једнако је пречнику Земљине путање, 300 милиона километара. Ако оно није бесконачно малено према отстојању звезде некретнице, резултоваће из кретања Земље око Сунца и промена привидног положаја те звезде, њена годишња паралакса. Она се, служећи се истим расуђивањем као пре, дефинише углом под којим се види велика полуоса Земљине путање из отстојања уочене звезде. Успе ли да се нађе та паралакса, онда је тиме и одређено и то отстојање. Показало се, међутим, да је и за најближе звезде некретнице њена годишња паралакса толико малена да се није могла одредити средствима којима је располагало оно доба астрономије о којем смо говорили у овом поглављу.

Глава десета

ИСАК ЊУТН И ЊЕГОВО ДЕЛО

Радови Галилеја, Кеплера и Хајгенса биле су степенице преко којих се астрономска наука попела до величанственог сазнања Њутновог. Да бисмо га потпуно разумели, пропратићемо постанак и развитак тог сазнања кроз живот његовога творца. Тиме се нећемо удаљити од главног предмета овог дела, јер Њутнов живот, посвећен искључиво науци, протекао је тихо и мирно, без великих личних доживљаја, иако се он родио у доба енглеске револуције, борбе између Карла II и индепеданта Кромвелових, и проживео шест владара. Цео живот Њутнов одиграо се у три вароши Енглеске и њихове најближе околине, у варошици Грентему грофовије линкншајрске, у универзитетском граду Кембриџу и у престоници државе, Лондону.

Десетак километара јужно од Грентема налази се мало местанце Улздорп (Woolshorpe). Ту су живели преци Њутнови, мали фармери, на свом имању, у скромном, но за оне прилике удобном једносратном дому. У њему се родио и Исак Њутн (4-I-1643 до 31-III-1727) на први дан Божића, тј. 25 децембра 1642 по старом календару који је био онда, а и за време целог његовог живота, у важности и употреби у Енглеској. Њутнов отац, који се такође звао Исак, умро је пре свог јединца, рођеног са седам месеци као и Кеплер. Новорођенче беше толико нејако да нико ко га је, таквог, видео није веровао да ће остати у животу, још мање да ће доживети своју 85 годину. Кад наврши три године, преудаде се његова мајка за свештеника Варнаву Смита у једно оближње место, а остави свог првенца на старању његове старе бабе. Када је постала поново удова, вратила се, 1656 године, са својом децом из другог брака, двома девојчицама и једним синчићем, опет у Улздорп. У међувремену њен најстарији син свршио је у оближњем селу Скалингтону основну школу, а затим, од 1654 до 1657, посећивао „Краљевску школу” у Грентему. Године 1658 задржа га мајка у Улздорпу да јој помаже у газдовају. То му никако није ишло од руке, јер у Грентему, где је становао у кући апотекара Клерка, растао је у средини ученијих људи, доктора, адвоката и свештеника, пробудила се у њему љубав за науком и тежња за вишим образовањем. Зато га његов ујак, свештеник Уилијем Ејскаф, посла поново у Грентем да се онде припреми за универзитетске студије.

Јуна месеца 1661 године, Њутн је примљен у Тринити-Колеџ Универзитета у Кембриџу, где је његов ујак Уилијем свршио своје студије и одржао пријатељске везе са понеким од тамошњих наставника. Својом вредноћом и својим изванредним талентом привукао је Њутн пажњу својих наставника, нарочито свог професора Барова и добио 1665 године степен бакалауреуса. Тада је наступио прекид његовог школовања због куге која је беснела у Енглеској од 1664 до 1667 године и покосила, само

у Лондону, тридесетак хиљада људских живота. На кембричком Универзитету обустављен је рад, а Њутн пође, августа 1665, у Улздорп, где је, са кратким прекидима, остао до 25 марта 1667 године. Тиме долазимо до најважнијег периода научничког развитка Њутновог, и морамо се на њему дуже задржати.

Из мрачних просторија Тринитског колеџа, из школске стеге и њених уских скамија, избледео и преморен, дошао је Њутн у топло крило своје породице, у свеж ваздух и широки хоризонт свог родног места. Испитом за бакалауреуса била је завршена прва етапа његовог универзитетског школовања; у њој је употпунио своје знање латинског језика, стечено у Грентему, толико да је могао писати беспрекорним латинским језиком, својим концизним и прецизним научним стилем. Изучио је Еуклида који му оста узором научниг расуђивања и излагања, упознао се са системом Коперника, са тригонометријом и осталим новијим тековинама астрономске науке. Његов учитељ Исак Баров (1630-1677), добар познавалац грчког језика и издавач дела Еуклидових, Архимедових и Аполониових, упознао га са класицима грчке науке, са Кеплером и његовом оптиком и са својим властитим радовима на том пољу. Тако је Њутн, већ у оно доба, имао добар преглед математичког знања свога времена. То беху знања примљена од других, а учење за испит било је, као и данас што је, присвајање туђих мисли, вештина мишљења туђом главом и савесно понављање туђих речи. У Улздорпу је Њутн почео да мисли самостално и да своје учитеље и претходнике у науци подвргава оштрој критици. Читајући њихове књиге, које су лежале на његовом столу, убрзо је осетио своју надмоћност над њима. То не беше прецењивање самог себе, но осећај властите, џиновске снаге. Генију, какав је био Њутн, није остало незапажно колико његове властите способности надмашују качества његових савременика и претходника, колико је његов мождани апарат савршенији, његов духовни поглед проницљивији, његова логика непогрешивија, његове мисли крилатије. При том читању често се исчуђавао како су се славни иначе људи узалудно мучили да пронађу оно што је он сагледао на први поглед.

Све је то Њутн морао да осети, када се у свом родном месту задубио у област математичких наука и прегледао свежим оком њене дотадање тековине. Оне су биле знатне и рашириле су знатно видокруг старих класичара математике. Математика је већ онда знатно усавршила свој језик. Фибоначи, зван Леонардо Пизански (1180-1250), донео је у Италију индиско-арапски начин писања бројева, а када се, употребом слова за опште бројеве развила алгебра и када се створише симболички знакови за њене операције, располагало се математичким језиком неочекиване способности. Аналитичка геометрија, којој је прве темеље ударио Декарт, створила је везу између аритметике и геометрије и омогућила је да се геометријски проблеми решавају рачунским путем. Она је бесконачно проширила област геометрије. Јер док су Грци познавали само

ограничен број геометријских крива, сада је свака произвољна једначина између координата x и y претстављала по једну равну криву, чиме је њихов број постао бесконачан. Слично важи, уз примену трију координата, и за просторне криве и површине.

У доба о којем говоримо, Њутнови савременици, а већ и претходници, Кавалијери (1598-1647), Ферма (1601-1665), Робервал (1602-1675), затим Њутнови земљаци, професор Оксфордског Универзитета Уолис (1616-1703), па професор Единбуршког Универзитета Грегори (1638-1675) и Њутнов учитељ Баров, отпочели су да својим радовима залазе у област математичке науке која се данас зове вишом математиком. Они су, бавећи се испитивањем разних крива, изналазили њихове тангенте, асимптоте, превојне и екстремне тачке, израчунавали њихове дужине између задатих тачака и површине захваћене њима. За решавање тих проблема пронађени су појединачни рачуни који су, међутим, за разне криве биле различите природе, па нису имали значај општег метода који би се могао применити на сваку криву. Тај општи метод пронашао је Њутн, првим замахом и једним ударцем.

Заиста, док је још боравио у Улздорпу - прва његова прибелешка о тим његовим испитивањима носи датум 16 новембра 1665 године - увидео је Њутн да се сви напоменути проблеми своде на два основна задатка. Да бисмо ту идеју Њутнову овде укратко изложили, послужићемо се називима и ознакама које се данас примењују у математици, а које се понешто разликују од Њутнових.

Нашим садашњим језиком, једначина

$$y = f(x)$$

нам казује да је y функција независне варијабилне x . Ако под x разумевамо апсцису, а под y ординату тачке, онда нам предња једначина претставља једну равну криву, геометиско оличење функције $f(x)$. Њутн није при првом свом подухвату пошао од таквих геометријских претстава, већ од појмова науке о кретању, јер није правио разлике између геометрије и те науке, већ је геометрију сматрао за саставни део механике. У механици улогу независне варијабилне игра време t . Њутн је био, као што ћемо видети из целог његовог рада, пре и изнад свега, испитивач природе. А у природи је време, заиста, она независна променљива која ређа узастопност свих промена и појава што их посматрамо око себе, на земљи и небу. Време тече без предаха и престанка и даје нам ону независну варијабилну која нам служи за описивање природних појава. Описати те појаве, значи преставити их као функције времена.

Учимо, дакле, једну од најједноставнијих природних појава, праволинијско кретање какве материјалне тачке. Означимо ли са y пут што га она превази за време $t = x$, онда нам је равномерно кретање такве

тачке претстављено обрасцем

$$y = vx,$$

где v означава сталну брзину тог равномерног кретања. Ако је то кретање, као оно при слободном паду, равномерно убрзано, онда је, као што је то Галилеји показао, зависност пута y од времена x дата обрасцем

$$y = \frac{1}{2} px^2,$$

где p претставља акцелерацију теже.

Вратимо се сада општем случају где је та зависност дата којом било функцијом $f(x)$, о којој претпостављамо само то да је континуирана. Онда је јасно ово. Пут преваљен за време x , тј. њено отстојање од почетног положаја, једнако је $f(x)$ а за време $x + h$ које се од пређашњег разликује за прираштај h оно је једнако $f(x + h)$. За време тог прираштаја h времена, тачка је превалила пут $f(x + h) - f(x)$. Средња брзина покретне тачке за време интервала h је, према томе, дата изразом

$$\frac{f(x + h) - f(x)}{h}$$

јер се средња брзина добива ако преваљени пут поделимо са временом утрошеним за тај пут. Ако у предњи израз ставимо различите вредности за h , добићемо разне вредности за те брзине. Како смо претпоставили да се покретна тачка креће континуирано, но иначе по произвољном закону, то ће се и њена брзина мењати, од момента до момента континуирано, без скокова. Па шта је онда њена стварна брзина у произвољном тренутку x времена и како ћемо је израчунати, одредити и мерити. Заставши на том питању, Њутн је генијалном интуицијом осетио да ће та брзина бити она коју добивамо ако у горњем разломку интервал h замишљамо сужен до његовог ишчезавања. То изгледа на први поглед парадоксално и бесмислено, јер ако у горњем разломку ставимо $h = 0$, постаће и његов бројитељ и његов именитељ једнаки нули, па шта онда Њутна то није заплашило. Он је знао да вредност којег било разломка не зависи од апсолутних вредности његовог бројитеља и именитеља, ми их можемо поделити, а да вредност разломка не променимо, било којим и колико год великим бројем, дакле умањити их до миле воље. То своје расуђивање употребио је, вероватно, и на наведене, конкретне, проблеме Галилејеве механике. Уочимо то и ми.

У првом од тих проблема, где је било

$$f(x) = vx$$

при чему је једна константа, добивамо стављајући ово у горњи образац

$$\frac{f(x + h) - f(x)}{h} \qquad v(x + h) - vx = v,$$

дакле сталну брзину равномерног кретања.

У другом проблему где је било

$$f(x) = \frac{1}{2}px^2,$$

добивамо

$$\frac{f(x+h) - f(x)}{h} = \frac{1}{2}p \frac{(x+h)^2 - x^2}{h} = \frac{1}{2}p \frac{2hx - h^2}{h} = p - \frac{1}{2}ph.$$

Ставимо ли овде $h = 0$, добивамо за брзину убрзаног кретања вредност px , како је то и Галилеји нашао.

После тога Њутн је свој општи поступак приненио и на друге најразноличније алгебарске функције $y = f(x)$, и увек дошао до циља. Резултат свог поступка назвао је флуksiјом, а њу је означио тако да је на y ставио једну тачкицу. Служећи се нашим садашњим језиком математике, можемо Њутнову операцију изразити овим обрасцем

$$\dot{y} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h},$$

а то је основни образац диференцијалног рачуна. Данас место \dot{y} пишемо $\frac{dy}{dx}$ или $f'(x)$; исто тако не називамо ту величину флуksiјом, већ диференцијалним квоцијентом или изводом. У осталом, Њутнов начин обележавања извода са тачкицом данас се, као врло згодан, употребљава у векторској анализи када је реч о временском изводу, какав је Њутн имао у виду при својим првим корацима на пољу више математике.

Када је тако форонимским расуђивањима дошао до појма извода, применио га је Њутн и на геометријске проблеме. Ако x претставља апсцису, а y ординату произвољне тачке равне криве $y = f(x)$, онда нам количник

$$\frac{du}{dx} = f'(x)$$

претставља, као што је лако увидети, тангенс угла што га са апсцисом осом затвара тангента криве у тачки $y = f(x)$. Тако је Њутн општим једним правилом решио и тангентни проблем, па и друге проблеме аналитичке геометрије. Јасно је, на пример, да када ордината $y = f(x)$ достигне у којој тачки x, y криве своју максималну или своју минималну вредност, онда је тангента, положена кроз ту тачку на криву, паралелна апсцисној оси, а извод $f'(x)$ једнак нули. Зато је Њутн својим методом могао да решава проблеме максимума и минимума, а успео је и да одређује и радиус кривине у произвољној тачки уочене криве, пошто је нашао да и тај радиус има карактер извода.

У исто доба, а можда још и пре, Њутн је открио још једну веома значајну чињеницу. Да бисмо је најбрже схватили, послужићемо се,

и опет, ознакама које се данас употребљавају у вишој математици, а приложеном сликом, узетом из Њутновог дела.

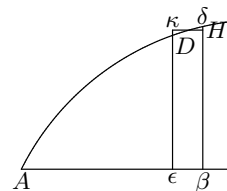
Та слика предочава једну произвољну равну криву $AD\delta$ која у тачки A пресеца апсцисну осу $A\beta$.

Одаберимо тачку A за почетак координантног система и узмимо да је

$$y = f(x)$$

једначина криве $AD\delta$, онда је, пре свега,

$$\text{за } x = 0$$



$$y = 0.$$

Површина $F(x)$ захваћена кривом AD , ординатом $DB = y$ и апсцисом $AB = x$ претстављена је, према нашим садашњим означавањима овим интегралом

$$F(x) = \int_0^x y dx.$$

И она је, као што смо назначили, функција од x . Тражимо њен извод. Наћићемо га израчунавајући граничну вредност количника

$$\frac{F(x+h) - F(x)}{h}$$

за $h = 0$.

Нека нам у приложеној слици дуж $B\beta$ претставља прираштај h који се појављује у предњем количнику. Онда је $F(x+h)$ предочено у слици површином $A\beta\delta DA$ а $F(x)$, као што смо већ рекли, површином $ABDA$. Зато је бројитељ предњег количника претстављен површинским елементом ΔF предоченим у слици површином $B\beta\delta DB$. Претворимо ту површину, ограничену горе луком $D\rho$ уочене криве, у правоугаоник $B\beta HKB$, базе $B\beta = \epsilon$, а висине $BK = h$, онда је извод $F'(x)$ гранична вредност количника

$$\frac{hb}{h} = b$$

када се h ближи нули. Јасно је да се у том случају дуж $b = KB$ ближи дужи $BD = y = F(x)$. Зато је

$$F'(x) = y = f(x).$$

Функција $F(x)$ је, дакле, она чији је извод једнак $f(x)$.

Оваквим расуђивањима дошао је Њутн до основног става интегралног рачуна. Одређиваје функције $F(x)$, коју је Њутн назвао флуентом, зове се сада интегрисање. Та је интеграција, као што је то Њутн горњим расуђивањима доказао, операција инверзна диференцијацији.

Таквом интеграцијом решавају се разни проблеми геометрије, пре свега, као што се види из претходног расуђивања, проблем квадратуре кривих. На том проблему опробао је Њутн свој нови алат, а затим прешао и на друге проблеме, ректификацију кривих и кубатуру тела обухваћеним геометријски одређеним површинама. Он није при томе располагао савршеним математичким језиком којим се сада служимо, нити су његова расуђивања о граничним прелазима и о другим ново искрслим појмовима имала увек довољну прецизију. Требало је деценија и векова док је све то створено и постигнуто. Но он је имао недостижну интуицију да осети и запази увек оно што је есенцијално и принципијелно и да на тај начин својим рачуном флуksiја, како га је он назвао, положи темељ инфинитезималним рачуну. То је, у главном, урадио још док је боравио у Улздорпу.

Изгледа скоро несхватљиво како је младић од двадесет три године својим мисаони погледом допрло много даље но сви његови савременици који су се бавили истим проблемима. Још је чудније што је Њутн те своје велике проналаске бацио у запећак и обазрео се на другу страну. Већ у пролеће године 1666 бавио се сасвим другим питањима.

Њутнов учитељ Баров бавио се и оптиком, држао је, као што смо већ рекли, предавања из оптике, а године 1669 стајало је, спремно за штампу, његово дело „*Lectiones opticae*”, објављено уз сарадњу Њутна 1674, а произашло из Баровљевих предавања. У њему је Баров, настављајући у томе рад Кеплеров, усавршио теорију сочива, али је, као и сви његови савременици, имао чудне назоре о природи светла. Сви су они били у недоумици како настају шарене боје при пролазу Сунчева светла кроз призму. Они су замишљали да та појава настаје услед тога што се Сунчева светлост згушњава при пролазу кроз призму, а да је то згушњавање неједнако због различито дугог пута при том пролазу. Зато су сматрали црвену боју за највише згуснуту, а љубичасту боју за највише разређену Сунчеву светлост.

Ово тумачење није задовољило Њутна који је увидео да се то питање може правилно решити само опитима па одлучи да изведе експерименте у том правцу. Он је био врло веште руке. Још док се учио у Грентему, конструисао је у кући апотекара Клерка један часовник, покретан водом, која је, кап по кап, цурила из једног малог отвора и, падајући, својим ударцима, правилно покретала казаљке сата. За време свога боравка у Улздорпу, о којем сада говоримо, израдио је властитим рукама један врло духовито конструисан и мајсторски израђен сат сунчаник и наместио га на јужним зиду своје очинске куће. После Њутнове смрти тај часовник је одатле извађен заједно са тесаником на којем је био причвршћен однесен у Лондон у библиотеку Краљевског Удружења, где се и данас налази. Због те своје вештине Њутн је био у стању да изради и апаратуру за своје оптичке експерименте.

Главни саставни део те Њутнове апаратуре била је једна тространа

стаклена призма. Вешт у глачању стакла, Њутн јој је дао правилан геометријски облик. Онда је у својој соби, која је гледала према југу, затворио капке њених прозора и пробушио у њима само једну округлу рупу. Снопих Сунчеве светлости који је кроз ту рупу продирао у замрачену собу пропустио је кроз своју призму и ухватио га на вертикалном белом застору, намештеном иза те призме. На њему се појавила шарена пруга на којој се јасно разликоваху све боје дуге, црвена, жута, зелена, плава и љубичаста. Ту пругу назва Њутн спектром Сунчева светла, а тако је зовемо и дан данашњи

Да би испитао како и услед чега настаје тај спектар, начинио је Њутн на застору, на којем је ухватио спектар, једну малу рупицу тако да су кроз њу пролазили зракови једне одређене боје Сунчева спектра, била црвена, била жута, зелена, плава или љубичаста. Ту једнобојну светлост пропустио је кроз једну другу призму намештену иза тог застора и бацио је на један други застор. На том застору није се појавио никакав спектар, већ само мрља исте оне боје какву је имао светлосни зрак пропуштен кроз рупицу у првом застору. Та боја била је, према томе, елементарна боја, јер се није дала даље раставити. Светлосни зрак, пролазећи кроз другу призму, био је њоме преломљен, али не расут у какве друге саставне делове.

Њутн предузе да тачним мерењем одреди колико се поједине врсте Сунчеве светлости преламају при свом пролазу кроз призму. Та ломљивост показала се различита за поједине врсте светлости; она је била најмања за црвену светлост, а највећа за љубичасту. Његова испитивања су доказала да је постанак спектра једино у вези са различитом ломљивошћу појединих елементарних зракова Сунчеве светлости, а нема никакве везе са дужином њиховог пута кроз призму.

Својим опитима Њутн је одгонетнуо природу Сунчеве светлости, она је састављена из зракова разне боје и разне ломљивости. Та различита ломљивост је узрок зашто се Сунчева светлост при пролазу кроз призму раздваја у елементарне зракове и боје које се показују у спектру.

Извршивши на тај начин анализу Сунчеве светлости, приступио је Њутн и њеној синтези, исто онако као што је, век доцније, Лавоасије радио при својим епохалним хениским испитивањима. Није сигурно да ли је Њутн и тај део својих испитивања довршио још док је био у Улздорпу или тек пошто се вратио у Кембриџ. Сигурно је да их је у Кембриџу извео бољом апаратуром и тиме их, у најмају руку, верификовао. Не упуштајући се у то, у осталом, безначајно питање, описаћемо овде укратко и тај део његових испитивања.

Она су се тицала питања како настаје белина Сунчева светла. Она није ништа друго до мешавина свих боја тога светла. Да то очигледно докаже, Њутн је Сунчеву светлост, расуту његовом призмом у своје елементарне боје, скупио опет заједно помоћу једног сабирног сочива, и тиме опет добио белу боју. Исти ефекат добио је кад је то сочиво заме-

нио једном призмом која је била потпуно једнака оној првој призми, но била намештена у обрнутом положају. Напоследку се уверио да му за овај доказ није потребна ни она друга призма, ни сабирно сочиво. Јер када је ону своју прву призму вртео око осе паралелне њеним ивицама, онда се тиме спектар померао по застору горе и доле, па, ако се брзо покретао, онда су на једном те истом месту застора одмењивале, једна за другом, све боје спектра. Гледајући у то место, долазиле су му све те боје у брзом следовајну у око и изазивале утисак беле боје.

Овим својим испитивајнима показао се млади Њутн, који је у својим зрелим годинама надмашио све теоретичаре, и као експериментатор првог реда.

За време свога боравка у Улздорпу, некако у јесен 1666 године, синула је Њутну прва замисао његовог најзначајнијег сазнамја, појма гравитације. О томе како је на ту замисао дошао, извештава нас подробније издавач трећег издања Њутнових „Принципија” Пембертон, а и француски филозоф Волтер кому је о томе причала сестричина Њутнова, госпођа Кондуит, па то причање не можемо сматрати за легенду. По њему је Њутн дошао до прве идеје о узајамним привлачним дејствима небеских тела, када је, седећи у свом врту, видео како је једна зрела јабука пала са стабла на тле. Запитао се због чега је пала, па када је одговорио да је то било услед силе теже која јој је дала убрзање наперено ка центру Земље, запитао се докле сиже та привлачна сила теже, која се испољава и на највишим Земљиним бреговима. Напоследку се запитао да ли дејство теже сиже до самог Месеца.

Ово питање које нико пре њега није поставио, довела га је до новог још замашнијег питања: Није ли дејство теже она сила која присиљава Месец да кружи око Земље

Тиме је Њутн поставио и формулисао велики један проблем, космичког значаја. Приступајући његовом решењу, нашао се на потпуно неиспитаном земљишту, јер тадања наука о кретању тела није још била дорасла до решавања таквих питања. Ту способност постигла је она тек Хајгенсовим радовима о криволиниским кретањима.

Видели смо како је Хајгенс дошао до ова два сазнања:

Да би се какво тело кретало равномерно по кружној путањи, мора на њега дејствовати нека непрестана сила наперена према центру те путање.

Убрзање што га та сила без престанка додељује том покретном телу и одржава га у кружној путањи, дато је обрасцем

$$p = \frac{v^2}{r}.$$

Та своја сазнања објавио је Хајгенс године 1673, дакле седам година иза како је Њутн поставио свој проблем. До првог од ових двају сазнања дошао је Њутн већ при самом постављању свог проблема, но он је при

његовом решењу дошао и до оног другог. Којим путем, не зна се. О томе су могућа само нагађања. Он се, као што смо већ рекли, већ у првим применама свог рачуна флуksiја, бавио и проблемом кривине равних крива и о томе питању, написао своју расправу из године 1671. Она је по сачуваном рукопису објављена тек после Њутнове смрти, године 1736. Ако је Њутн године 1666 имао прве појмове о радиусу кривине, могао је до предњег обрасца доћи на овај начин.

Најједноставнији пример за израчунавање радија кривине је случај параболе. Радиус кривине у њеном темену једног је њеном параметру. Према испитивањима Галилејевим, која су Њутну била позната, тело бачено у хоризонталном правцу почетном брзином и описује параболу параметра $\frac{v^2}{p} = r$ где је p акцелерација Земљине теже. Ако је та почетна брзина толика да би параметар параболе био једнак полупречнику r Земљине лопте, тј. ако је

$$\frac{v^2}{p} = r,$$

онда ће се бачено тело кретати по кругу радиуса r константном брзином, пошто су тада услови кретања баченог тела на целом његовом путу идентични почетним условима. Из ове последње једначине следује директно и препоследњи, тј. Хајгенсов образац.

Ово је само један пример како је Њутн могао доћи до тог обрасца. Но, било тим путем или другачије, он је до њега свакако дошао.

Примењујући тај образац на случај Месеца, а обележавајући радиус Месечеве путање са r , а време обилажења Месеца око Земље са T , добива се да је брзина Месеца по тој кружној путањи једнака

$$v = \frac{2\pi r}{T},$$

а његова акцелерација према Земљи једнака

$$p = \frac{4\pi r^2}{T^2}.$$

Овим обрасцем могао је Њутн да израчуна убрзање Месеца према Земљи.

Да испита да ли је то убрзање последица привлачног дејства Земљине теже, као што је замишљао, Њутн се морао запитати како се то дејство распростире у простору.

Да је имао у виду планете, које се под сличним дејством Сунца крећу око њега, нашао би тај закон распростирања привлачне силе на врло једноставан начин помоћу трећег Кеплеровог закона. Претпостављајући да се планете крећу око Сунца по кружним путањама, да је r радиус путање уочене планете, а T време њеног обилажења око Сунца, онда је њено убрзање дато предњим обрасцем.

Како је према трећем Кеплеровом закону, а идентификујући према учињеној претпоставци велику полуосу њене елиптичне путање са радиусом r кружне,

$$\frac{r^3}{T^2} = k$$

један те исти број за све планете, то из последња два обрасца следује

$$p = 4\pi^2 k \frac{1}{r^2}.$$

Стављајући

$$4\pi^2 k = f,$$

при чему је f један те исти број за све планете добивамо

$$p = f \frac{1}{r^2}$$

што значи да све планете подлежу убрзању напереном према Сунцу, а инверзно пропорционалном квадрату радиуса планетске путање.

Изгледа да Њутн није пошао овим путем или бар да се устручавао да из предњих једначина извуче овако замашне конзеквенције у погледу планетског кретања. Он је волео чисте рачуне, па је зато зазирао од нетачног и бруталног упрошћавања да елиптичне планетске путање замени кружним. То је препустио другима. Заиста, када је Хајгенс публиковао своје дело и у њему свој образац за центрипетално убрзање, пошло је Рену, Хуку и Халеју, независно јеном од другог, за руком да из Хајгенсовог обрасца изведу предњи образац за убрзање планета, не питајући шта је узрок том убрзању.

Њутн је до овог обрасца могао доћи и другим путем, полазећи од постављеног питања како се сила Земљине теже испољава у све већим даљинама од Земље. Ту имамо сличан случај распрострањања светла у простору. Распростирући се из свог извора у даљину, светлост пролази све веће и веће сфере простора којих центар лежи у извору светлости. Како су површине тих сфера пропорционалне квадратима њихових радија, а светлост се по тим сферама равномерно расподељује, то њен интензитет опада са квадратом отстојања r . Тако некако могао је и Њутн да мисли и да интуитивним путем дође до предњег обрасца. Највећи проналасци наслућени су прво интуицијом која је, крилата, излетела испред спорог корачања критичког размишљања. И овај проблем Њутнов био је чедо младалачке интуиције. Но било да је којим год путем дошао до предњих образаца, он је из њих извукао изванредне резултате. Они се, као што је обично случај кад се приближимо циљу, добивају на врло једноставан начин.

Означимо ли са R радиус Земљине лопте, а са g акцелерацију теже на површини Земље, онда је убрзање p што га Земља додељује Месецу на његовом отстојању r дато овим обрасцем

$$p = f \frac{R^2}{r^2}$$

пошто то убрзање према напред реченом опада са квадратом отстојања. За то убрзање добили смо и овај образац

$$p = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

због чега из ових двеју једначина следује

$$g = \frac{4\pi^2 r^3}{R^2 T^2}.$$

Овај образац употребио је Њутн за верификовање своје велике замисли. Заиста, применом овог обрасца може се из радиуса R Земљине кугле, радиуса r Месечеве путање и времена T његовог обилажења око Земље израчунати убрзање g теже на Земљиној површини и упоредити га са оним што га је Галилеји нашао својим експериментима.

Разуме се да Њутн није оклевао да изврши тај рачун. У књигама које је имао у Улздорпу није нашао тачних података о нумеричким вредностима за R, r и T , и зато узео, као што то чињаху географи и морепловци, да је један степен Земљиног меридијана дуг 60 енглеских миља, а да отстојање Месеца од Земље мери 60 полупречника Земљине кугле. За време T имао је бољи податак $T=27\text{d } 7\text{h } 43\text{m}$. Рачун, извршен са тим подацима није дао добар резултат. Израчунато убрзање g испало је за пуну седмину мање од стварног, оног што га је нашао Галилеји. Тек 16 година доцније Њутн је увидео узрок те несугласице; он није лежао у самом обрасцу, који је био добар, већ у нетачном податку за радиус Земљине кугле. Све до тог доба Њутн је сумњао у исправност своје идеје, па је није никоме саопштавао.

Када се 1667 вратио у Кембриџ, Њутн је онде завршио своје студије, постигао сва три академска чина и 29 октобра 1669 године постао наследник свога учитеља Барова који се у корист Њутна одрече своје професуре математике, врати се теологији, постаде управник Тринитског колеџа и капелан краља Карла II. У звању професора имао је Њутн мали приход од 200 фунти годишње, но и мале наставничке дужности, три часа предавања недељно. За време његовог тридесетогодишњег професоровања у Кембриџу није се ништа више од њега захтевало, па се зато могао потпуно посветити научничком раду.

Чим је завршио своје школовање и увео се у наставнички позив, предузео је Њутн да разрађује велике замисли до којих је дошао у свом

родном месту. Године 1669 написа он своју прву расправу из математике „De analusī per aeuationes” у којој саопшти своју познату општу биномијалну теорему и неке основе свог рачуна флуksiја. Ту расправу предаде свом учитељу Барову, а он је посла Колинсу. Колинс је стајао у уској вези са члановима „Краљевског удружења” и играо у оно доба у Енглеској ону улогу коју је, пре тога, играо Мерсен у Француској, тиме што је стајао у живој преписци са свима научницима своје земље и био, у неку руку, поредник између њих. Своју пошिल्ку пропрати Баров писмом у коме рече да је писац расправе, додуше, још веома млад, тек од две године само магистар, али човек изванредне генијалности. Упркос ове препоруке, није Колинсу успело да се расправа објави, било у публикацијама Краљевског Удружења, било другде. Колинс је вратио оригинал расправе писцу, али је задржао за себе њен тачан препис. Тај препис нађен је после његове смрти у његовој заоставштини, и помоћу те копије могао је касније, у свом спору са Лајбницом, бити утврђен Њутнов приоритет у проналаску инфинитезималног рачуна. Та Њутнова расправа отштампана је тек 1711 године. Сличну судбину имала је јошједна Њутнова расправа „Methodus fluionum”, написана 1680; ни њу није могао Колинс да удоми; она је објављена 1736 у Њутновим посмртним делима.

Њутн није, дакле, имао среће са својим математичким расправама, а то је било на несрећу математичке науке. Да су Њутнове расправе биле на време објављене, дале би велики полет развоју инфинитезималног рачуна, а уштедели би Њутну нежељени спор са Лајбницом.

Више среће имао је Њутн са својим открићима и проналасцима на пољу оптике. Већ у првим почецима примене астрономских догледа са сочивима, рефрактора, како се данас зову, показали су се њихови разни недостаци, а као један од највећих, хроматска дисперзија њихових сочива која је тек касније уклоњена, констрикцијом ахроматских сочива. Конкавна огледала немају тај недостатак, па је талијански језуита Цуки, већ 1616 године конструисао један доглед са огледалом, али су тек Грегори и Њутн увели у астрономију такве догледе, који се сада зову рефлекторима. Основни принцип тих рефлектора је овај. Конкавна огледала, смештено у дну догледове цеви, ствара у својој жижи, дакле пред собом, у цеви догледа, врло јасну слику астрономског објекта, па се радило само о томе како да се та слика види, увећана сочивом окулару. Грегори је, у томе циљу, а године 1661, пробушио у средини огледала рупу кроз коју се окуларом посматрала слика створена великим огледалом догледа, а натраг рефлектована једним конкавним огледалцем смештеним у оси цеви. Касегрен је године 1672 конкавно огледалце Грегоријево, смештено испред жиже великог огледала, заменило конвексним огледалцем, смештеним иза те жиже. Њутн је, да се велико огледало не би морало бушити, сместио у цеви догледа једно равно огледалце, нагнуто према оси цеви под углом од 45 степени. Оно је ту слику бацало

постранце тако да се она могла посматрати сочивом окулара смештеном у плашту цеви. Из комбинације тих трију различитих врста догледа развили су се наши данашњи велики рефлектори који се, поред рефрактора, примењују у великој мери и са успехом у астрономији.

Њутн је, својим рукама, израдио 1668 године један мањи, а три године доцније један већи такав доглед и поклонио га Краљевском Удружењу. Он се налази још данас у библиотеци удружења са натписом: „Изумео га је сер Исак Њутн и направио га својом властитом руком”.

Удружење је примило са великим признањем Њутнов телескоп, показало га краљу, а Њутна изабрало 11 августа 1672 за свог правог члана.

Тако је Њутн, са тек навршеном 29 годином, примљен у круг најученијих људи Енглеске. Нема сумње да је у том његовом одликовању имао удела његов заштитник Баров, исповедник краљев. Њутн је желео да се, не туђом протекцијом, већ својим властитим заслугама покаже достојан високе части која му је указана. За то му се пружила згодна прилика. Он је у међувремену довршио, и надопунио новима, своја испитивања и открића о природи Сунчева светла, и написао своју расправу о њему и његовим разнобојним састојцима. Зато је већ 18 јануара 1672 послао секретару „Краљевског Удружења” Олденбургу писмо у којем му рече: „Молим вас да ме известите докле ће се одржавати седнице Удружења. Ако ће то трајати још неко време, послаћу Удружењу на оцену извештај о једном свом проналаску који ме је довео и до конструкције мог телескопа. Не сумњам да ће се тај проналазак допасти Удружењу далеко више него мој телескоп, јер је он, по мом мишљењу, најважнији који је до сада учињен у испитивању природе светла”. Ту своју расправу упути је секретару Удружења већ 6 фебруара 1672, а у пропратном писму саопштио да је та своја испитивања отпочео већ 1666 године.

Њутнова расправа примљена је, при свом првом читању, са одбројавањем, и била, на славу Удружења, отштампана у његовим „Трансакцијама”. Она је саопштавала епохална открића која Њутну нико није могао оспорити и у којима он није имао претече који би имао и најмањег удела у њима. Но убрзо, а поготово када је Њутн 1675 и 1676 године објавио још две расправе из истог предмета, наишли су његови радови на критичаре и потцењиваче. Главни и најжешћи међу њима Био је Роберт Хук (1635-1703), секретар Удружења од 1678, бистра глава, пуна нових идеја, али без довољног математичког образовања и талента потребних за њихово разрађивање, амбициозан и свађалица. Њему се у борби против Њутна придружио Хајгенс, оснивач индулационе теорије светла, још други енглески и француски научници мањег значаја.

Истина, резултати Њутнових експеримената били су неоспорни, али су се тим лакше могла нападати његова схватања о природи светла, која ни дан данашњи није потпуно растумачен. Ту су била, као и данас, могућна различита тумачења, па се на том пољу могло препирати до миле воље. Четири пуне године Њутн је морао да одговара на нападе и

побија замерке својих противника. Показао им је, додуше своју снагу, али га је та дуготрајна борба заморила. Зажали што је драгоцену своје време протраћио у бесциљној препирци, па одлучи да ништа више не објављује из области оптике, бар док Хук живи. Тако је и поступио.

Њутнова препирка са његовим противницима имала је и својих добрих страна. Она му је донела корисних искустава и прекалила га у правог научника. Увидео је, јасније од свих својих савременика, докле допире власт науке, шта су хипотезе, а шта природни закони. Одлучи да убудуће не прави никакве хипотезе, да за објашњење природних појава не дозволи више узрока но стварних и довољних за то објашњење. Једнаким дејствима треба, уколико је то могуће, приписивати исте узроке, а оне особине тела које не можемо ни појачати ни смањити, а које припадају свима телима, треба сматрати особинама њих свих. У експерименталној физици морају се сви закључци до којих се долази индукцијом на основу појава, уколико не постоје супротне претпоставке, сматрати или тачним, или врло приближним, све док се не укажу друге појаве које им дају или већу тачност или их оглашавају изузецима.

Природа се покоравала својим законима; кад их упознамо, продрећемо у ткиво природе до оне дубине до које допире вид нашег ума - даље не. Где лежи та граница преко које не можемо прећи

Од природних закона морају неки, као и аксиоми геометрије, стајати изнад сваке сумње. Из таквих основних, могу се остали закони извести логичким расуђивањем, јер што важи за геометрију, мора важити и за појаве кретања, јер је геометрија само један посебни део науке о кретањима.

Тако је Њутн видео јасно пред собом пут којим ће поћи, а који га је, иако застрашеног оном непрекорачивом границом, одвео даље но што је слутио. Он престаде да објављује своје расправе и да одговара на туђе, све док не доврши своје велико дело. Постављено на широку основу, оно је изискивало огроман духовни рад и напор.

Циљ тога дела је био: природне појаве свести на математичке законе. „*Philosophiae naturalis principia mathematica*” - то му је био наслов.

Ту је, пре свега, било потребно пречистити неке дотле нејасне појмове. До Њутна није постојао јасан појам о сили, маси и тежини. Маса се бркала са тежином тела. Њутн је, већ у Улздорпу, увидео да једно те исто дело подлежи, према свом отстојању од средишта Земље, различитом убрзању, па због тога има и различити тежину. Зато је увео појам масе која је, као стварно обележје тела, непроменљива. Тиме је овојио појам масе од појма тежине. Тежину је дефинисао као производ масе и убрзања теже. Овим је добио и општи појам силе као производа масе и убрзања што га она телу додељује. Под силом треба разумети све оно што изазива убрзање, дакле не само Земљину тежу, већ и атракцију свих осталих небеских тела, па онда дејством магнета итд. При томе није потребно упуштати се у хипотези о природи тих сила, о њиховим

скривеним узоцима, о постанку и начину њихова дејства, већ имати у виду само оно што се стварно појављује и опажа у збивању кретања, па констатовати и испитати само то стварно.

Чим је пречистио основне појмове и изразио их оштрим дефиницијама, Њутн је приступио постављању и формулисању основних ставова, закона или аксиома механике. Као један такав закон отрио је код Галилеја појам инерције, али је испредњачио испредског претходника тиме што је закон инерције општије схватио, његов значај увидео и дао му овај класични облик:

„Свако тело остаје у своје стању мировања и равномерног праволинијског кретања, сем ако не буде каквим силама приморано да то своје стање промени” .

Надовезујући на тај закон, он исписа кратко, али јасно и свој други закон:

„Промена кретања пропорционална је сили која се проузрокује и дешава се у правцу у којем та сила дејствује”.

У овом ставу и његовом објашњењу изречена је и векторска природа силе, како то данас казујемо. Сила има своју велучину, своју оријентацију у простору и свој смер, она је управљена величина. Све то долаза до јасног изражаја у Њутновом објашњењу овог закона, где показујемо да се дејства појединих сила суперпонирају по закону паралелограма, тј да се силе сабиру као вектори.

Као трећи основни закон механике поставио је Њутн свој закон акције и реакције и изразио га овим речима:

„Акција је увек једнака реакцији, тј узајамна дејства двају тела су увек једнака, а противног правца” .

Свако тело које притискује или вуче једно друго, бива од овог истом таквом силом притискивано или вучено. Кад неко притисне својим прстом какав камен, онда и камен притискује истом силом његов прст.

Као што је некад Еуклид на својим аксиомима сазидао целу геометрију, тако је Њутн на овим трима законима, као темељима, подигао зграду Механике и довео је под кров.

Ослањајући се и у том погледу на Еуклида, Њутн је све проблеме свога дела решавао геометријски, синтетички, методама, иако је, у доба када је то дело писао, имао у рукама своје оруђе више математике. Има неколико разлога који су га на то определили. Један од њих био је угледање на Еуклида. Други, што је Еуклидова наука била добро позната свима научницима; користити се њом, значило је говорити уобичајеним језиком док би употреба рачуна флуksiја захтевала знање тог новог језика још недовољно развијеног и зато неуверљивог. Јер тај језик био је онда још далеко од тога да доведе до јасног изражаја векторску природу сила, брзина и померања, то је ишло много боље употребом геометријских фигура које ју јасно предочавају. Још у другој половини деветнаестог века истицао је то мишљење одлични немачки научник Ви-

лхелм Шел. Тек пред крај тога века, када се развива векторска анализа, успело је да се рачунски директно оперише векторима, не растављајући их у њихове компоненте, како се до тада морало чинити.

То је било пуна два века иза Њутнова дела, па зато он није могао да се искључиво користи својим новом рачуном. Он је, истина, његове основне инфинитиземалне идеје које су га, као што то стоји уклесано и на његовом надгробном споменику, довеле до његових великих проналазака, укратко и узгред изложио своје делу, али се није служио ни називима, ни обележавањима свог рачуна флуksiја, већ језиком класичне геометрије.

Њутн је написао своје дело латинским језиком и илустровао га игурама Еуклидове геометрије. Стојећи пред тим величанственим спомеником науке покушаћемо да главне идеје његовог творца изразимо својим матерњим језиком и језиком наше векторске анализе која их верно изражава.

Као што смо већ напоменули, Њутн даје у почетку свога дела опште дефиниције материје, масе, инерције, количине кретања, силе, простора, времена и других основних појмова механике. Задржаћемо се само на неким од тих дефиниција.

Као прву, Њутн даје дефиницију масе као количине материје, а производа њене густине и запремине. То, уствари, није дефиниција, већ само математичка веза између масе, густине и запремине. Маса се, као ни време, не може обухватити и исцрпсти једном дефиницијом, али се она може, као и простор и време, мерити одабраном јединицом, и у том смислу треба схватити њену дефиницију.

Друга Њутнова дефиниција тиче се појма, који он, латински, назива квантитетом кретања, а дефинише производом масе и брзине. Тај производ зовемо и данас тим именом или, краће, импулсом.

Иза тих двају следеју тумачења да материја има способност да се одупире, због чега свако тело, уколико то зависи само од њега, остаје у стању мировања или равномерног праволинијског кретања, а сила је оно дејство које то стање мења.

Својим другим аксиомом Њутн дефинише силу као временску промену квантитета кретања.

Изражавајући ово нашим садашњим језиком математике, неки од научника употребљују овај образац

$$F = \frac{d(mv)}{dt},$$

где m означава масу, v брзину, t време, а F силу.

Тај образац не изражава верно Њутнову мисао, јер се у њему појављују саме скаларне величине, а Њутн је, као што то показује његов други аксиом и тумачење уз њега, јасно схваио векторску природу силе и брзине. Та векторска природа тих величина долази до јасног изражаја

у његовим фигурама. Зато се предња једначина, да би изразила јасно оно што је Њутн мислио, мора заменити трима скаларним или овом векторском једначином:

$$F = \frac{d(mv)}{dt}$$

. Напишемо ли временски извод у овој једначини истомоном ознаком коју је употребљавао Њутн у свом рачуну флуksiја, а која је, као што је речено, данас у употреби у векторском рачуну, то добивамо, пошто је m константно, ову једначину:

$$F = mv$$

. То је основна једначина кретања материјалне тачке и наше данашње механике. Она изражава не само други аксиом Њутнов, већ и први, јер кад је $F = 0$, онда је v један константан вектор тј. материјална тачка се креће праволинијски равномерно. Са та два Њутнова аксиома, са његовим трећим аксиомом и науком садржаном у његовом делу могућно је, као што је Ернест Мах утврдио, прозрети, без употребе каквог другог аксиома, сваки практични проблем механике, па припадао он статистици или динамици. Ако се при том појаве какве потешкоће, оне су увек математичке, дакле формалне, а никако принципијелне природе.

Зато су Њутнови аксиоми основа класичне механике. Покушало се да они замену другима, али се Њутнови аксиоми показаше као најприроднији темељи механике, већ због тога што се та наука на њима развила и из њих израсла.

Њутнова „Принципија” не ограничавају се само на испитивање кретања чврстих тела, већ се баве механиком течности и гасова и другим природним појавама. Њима је положен темељ науке о таласастом кретању, нађена веза између брзине његовог распрострањања, периоде и таласне дужине треперења. Теорија је примењена на водене и на звучне таласе и нађен израз за брзину распрострањања звука у зависности од притиска и густине медиума. Та је теорија, тек 130 година касније, употпуњена Лапласовим испитивањима. Њутн је опширно испитивао и отпор што га ваздух и трење супростављају кретању. Због тога његово дело оправдава у пуној мери свој широки наслов.

Но далеко је значајнија примена Њутнове теорије на испитивање кретања небеских тела; она га је довела до његовог закона универзалне гравитације. Њу је изложио у трећој књизи свога дела и њеном додатку, док се прве две књиге баве општом теоријом кретања. Говорећи о великим проблемима Њутновим, повезаћемо код сваког од њих оно што се налази у општој теорији и у њеној примени, служећи се при томе нашим садашњим језиком математике.

Други одељак прве књиге Њутнових „Принципија” бави се централним силама. Тим именом називамо и данас сваку силу која пролази

кроз одређену сталну тачку простора. Одаберемо ли ту тачку за почетак нашег координатног система, па означимо ли са r вектор положаја уочене материјалне тачке на коју дејствује та сила, онда ће једначина кретања те материјалне тачке бити

$$mv = F(r, r_0),$$

где r означава модуо вектор положаја r , а r_0 његов јединични вектор. При томе смо се, због касније примене, ограничили на најважнији случај централних сила у којем њихов интензитет $F(r)$ зависи само од отстојања r материјалне тачке од центра сила.

Помножимо ли предњу једначину векторијелно са r , то ће њена десна страна бити једнака нули, пошто је $[rr_0]$, као производ двају колинеарних вектора, једнак нули. Зато добивамо

$$[rv = 0].$$

Како је

$$\frac{d}{dt}[rv] = [rv],$$

дакле

$$\frac{d}{dt}[rv] = 0,$$

то значи да је

$$[rv] = \Theta,$$

где Θ означава један константан вектор независан од времена. Лева страна предње једначине представља двоструку секторску брзину уочене материјалне тачке; та секторска брзина је непроменљива.

До овог резултата долази Њутн геометриским расуђивањима и изражава га овом теоремом. Ако се тела крећу по путањама чији су радији наперени према центру сила, онда површине што их ти радији описују леже у сталним равнима и пропорционалне су времену.

Говорећи осталим равнима, Њутн је узразио и векторску природу те секторске брзине, како је она изражена и предњом једначином.

Горња теорема може се, као што је лако увидети, и обрнути, и Њутн је то учинио својом наредном теоремом.

Дошавши до овог резултата, Њутн га спецификује на кружна кретања и долази до Хајгенсовог обрасца центрипеталног убрзања, чији је Хајгенсов доказ, као што смо чули, објављен тек 1703 године. Претпостављајући да су планетске путање кружне, Њутн долази до резултата до којег су, као што смо напоменули, дошли Рен, Хук и Халеј, па саопштава, тим редом, њихова имена у своме делу.

Иза тога Њутн ставља овај задатак.

Тело се креће по елипси; тражи се закон централне силе уперене према жижи те елипсе.

Овај задатак решио је Њутн, као и све остале, синтетичким геометријским методом. Применом векторског рачуна долази се, као што се то учи у курсу Небеске механике, брже до истог резултата да је, убрзање што га централна сила додељује покретном телу дато овим изразом:

$$p_r = -\frac{C}{p} \frac{1}{r^2},$$

где је C скаларна величина двоструке секторске брзине, а p параметар елиптичне путање.

Применимо сада добивене резултате на кретања планета које се крећу по Кеплеровим елипсима у чијој заједничкој жижи лежи Сунце. Из претходних једначина излази да се оне морају, како то захтева и други Кеплеров закон, кретати по тим својим путањима константним секторским брзинама. Означимо ли са a и b полуосе планетске путање, а са T време обилажења уочене планете око Сунца, онда добивамо ово. За време T пребрише радиус вектор повучен од Сунца до планете целу површину π ограничену елипсом планетине путање. Зато је двострука секторска брзина C уочене планете претстављена изразом

$$C = \frac{2\pi ab}{T},$$

а како је параметар елипсе дат изразом

$$p = \frac{b^2}{a},$$

то добивамо, стављајући ова два израза у претходну једначину

$$p_r = -4\pi^2 \frac{a^3}{T^2} \frac{1}{r^2}.$$

Према трећем Кеплеровом закону количник $\frac{a^3}{T^2}$ је један те исти за све планете, па због тога је и број

$$\mu = 4\pi^2 \frac{a^3}{T^2}$$

једнак за све планете. Зато је

$$p_r = -\frac{\mu}{r^2},$$

где знак минус казује да је убрзање планете наперено према Сунцу.

Тако је Њутн, својим геометријским расуђивањима дошао до ове једначине која нам казује ово.

Свака планета, у сваком свом положају, подлеже убрзању које је наперено према Сунцу, а чија скаларна величина је инверзно пропорционална квадрату отстијања планете од Сунца.

Довде се Њутново расуђивање разликује од оних његових претходника, дакако значајно, само тиме што важи за стварне, елиптичне, путање планете. Но он је пошао даље. Он је, пре свега, решио и обрнути задатак: Централно убрзање је индиректно пропорционално квадрату отстојања од центра сила, нека се нађе путања уоченог тела при задатим иницијалним условима. Нашао је да ће та путања бити коначан пресек; да ли елипса, хипербола или парабола, то зависи од иницијалних услова.

И та испитивања показују ненадмашну вештину Њутнову у употреби Еуклидове геометрије.

Када је пречистио те своје проблеме изложене у првој књизи својих „Принципија”, надовезао је у њиховој трећој књизи своја испитивања о кретању небеских тела.

Као што смо већ чули, Њутн је још када је у својим младим годинама боравио у свом родном месту, дошао на замисао да се сила Земљине теже распростире до Месеца и да је она оно дејство што присиљава Месец на кретање око Земље. Али његови тадашњи рачуни нису то потврдили, па је зато ту своју замисао напустио. Можда за навек, да га није пуки случај на њу вратио. Јуна месеца 1682 присуствовао је седници Краљевског Удружења. Пре но што су се сви чланови на њу окупили, говорило се о разним научним новостима. Један од присутних причао је о Пикаровом премеравању Земље и саопштио резултате његове. Ти резултети разликовали су се доста знатно од оних података о величини Земље које је Њутн употребио при своме рачунању у Улздорпу. Зато је, чим је дознао за њих, помислио да можда у нетачности тих старих података лежи узрок неуспеха његова рачуна. Вративши се, сачекавши стрпљиво њен крај, са седнице кући, предузе да поново изведе свој рачун.

Употребивши свој некадашњи образац

$$p = g \frac{R^2}{r^2},$$

где p претставља убрзање Месеца, r његово отстојање од Земље, R полупречник Земљине лопте, а g убрзање Земљине теже и комбинујући га са обрасцем

$$p = 4\pi^2 \frac{a^3}{T^2} \frac{1}{r^2}$$

који би следовао кад би своја расуђивања о кретању планета око Сунца применио и на кретање Месеца око Земље, добио је образац

$$g = \frac{4\pi^2 r^3}{R^2 T^2},$$

дакле исти онај који је добио у Улздорпу. У њега је требало ставити тачније нумеричке вредности којима је располагао. Пикарова премеравања дала су за опсег меридијана Земље 123,249.600 париских стопа, тј.

за средњи радијус Земљине лопте $R = 19,615.000$ стопа. За r и T узео је Њутн своје старе податке $r=60$, $T = 27d7h43m$.

Упоредивши нови податак за R са својим некадашњим, Њутн је, бацивши поглед на свој образац, увидео да ће сада доћи до много бољег резултата рачуна него пре. То га је толико узбудило да није био у стању да изврши предњу супституцију. Тај посао је поверио једном пријатељу који је случајно наишао. Из тог рачуна је следовало да је убрзање Земљине теже, израчунато на једну секунду, једнако 15 стопа, 1 цол и 14/9 линија париске мере. Из Хајгенсових посматрања клатна следовало је, мал те не, исто убрзање од 15 стопа, 1 цол и 17/9 линија. Тим подударањем била је доказана исправност Њутнове замисли којом је далеко отскочио испред својих поменутих претходника.

Ова своја расуђивања извршио је Њутн уз претпоставку да Сунце мирује, како је то учио Коперник. Зато је говорио о његовом средишту као непомичном центру сила, па је резултате добивене на темељу те претпоставке применио на планете, а аналогно и на Месец у његовом односу према Земљи. Иако је увидео да је та претпоставка блиска стварности, он ју је напустио при својим даљим испитивањима која га доведоше до ових расуђивања.

Месец има акцелерацију према Земљи, он је, као што је Њутн рекао, тежак према Земљи. Његово убрзање је последица привлачног дејства Земљиног, а сила која му додељује то убрзање једнака је према Њутновој дефиницији силе, производу тог убрзања и масе Месечеве. Слично важи за кретања планета око Сунца. Сила којом Сунце дејствује на планету дата је изразом

$$P = \mu \frac{m}{r^2},$$

где m означава масу уочене планете.

По Њутновом принципу акције и реакције, планета привлачи Сунце истом таквом силом, но противног правца, а та сила мора бити производ масе M Сунца и његовог убрзања. Уведемо ли, према томе нову константу f дефинисану једначином

$$f = \frac{\mu}{M},$$

тј. обрасцем

$$f = 4\pi^2 \frac{a^3}{T^2} \frac{1}{M},$$

добивамо за силу којом се узајамно привлаче Сунце и планета овај израз

$$P = f \frac{Mm}{r^2}.$$

Пошто је у претходном обрасцу за f количник $\frac{a^3}{T^2}$ према трећем Кеплеровом закону, један те исти за све планете, то и у овом последњем обрасцу, f има једну те исту нумеричку вредност за све планете; он се показао исти за Месец и Земљу, за Јупитер и његове сателите. Због претставља тај фактор f једну константу која важи за цео Сунчани систем и изражава општу једну особину материје нагомилане у томе делу васионе.

Када је Њутн дошао до овог сазнања, он је, обухвативши њиме целу васиону, увидео, а то су потврдила и сва каснија искуства, да предњи образац важи за свака уочена два делића материје у васиони. То сазнање изречено је овим законом:

Сваки делић материје у васиони привлачи сваки други делић силом која пада у правцу тих делића, а има интензитет пропорционалан производу маса m_1 и m_2 тих делића, а инверзно пропорционалан квадрату њиховог отстојања r .

Величина P те силе претстављена је изразом

$$P = f \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

при чему је f једна универзална константа.

Ту силу назвао је Њутн гравитацијом. Њен закон зовемо закон универзалне гравитације.

Из Њутнова закона гравитације следовала су нова сазнања. Многе, дотле необјашњиве природне појаве добиле су њиме своје тумачење и свој опис егзактним језиком математике.

Као што смо већ казали, Њутн је у прве две књиге свога дела изложио своје законе, а у трећој књизи њихову примену на испитивање појава кретања небеских тела. Још пре дефинитивне редакције свога дела, нашао је свој општи закон гравитације, па је већ у прве две књиге имао у виду јегову каснију примену и усавршио оруђе потребно за њу. Због тога је обратио нарочиту пажњу централним силама, и то башонима које су инверзно пропорционалне квадрату отстојања.

Дванаести одељак прве књиге Њутнових „Принципија” бави се атракцијом сферних тела, уз претпоставку да та атракција дејсвује обрнуто квадрату отстојања. У самом почетку тог одељка доказује Њутн ово.

Нека нам круг $HJKLH$, слика 13, претставља пресек сфере положен кроз једну тачку P њене унутрашњости и кроз њен центар O . Та сферна површина нека буде равномерно обложена материјом, тј. нека претставља хомогену материјалну сферну љуску константне површинске густине ρ . Питајмо каквом привлачном силом ће та сфера дејствовати на коју год било тачку P њене унутрашњости у којој замишљамо јединицу масе.

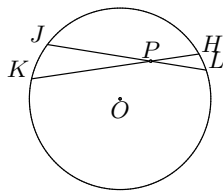
Ограничимо на произвољном месту KL сфере произвољном контуром мали један део њене површине и означимо га са Δf_1 . На њему је нагомилана маса $\rho \Delta f_1$. Пројцирајмо кроз тачку P ту малу површину

на супротну страну HJ сфере и означимо површину те пројекције са Δf_2 . На њој је нагомолана маса $\rho \Delta f_2$.

Сужавамо ли ли површину Δf_1 , а тиме и површину Δf_2 , до бесконачности тако да се тачка L приближава тачки K , а тачка J тачки H , то ће привлачно дејство масе $\rho \Delta f_1$ на тачку P бити претстављено изразом

$$\frac{\rho df_1}{\overline{KP}^2},$$

а привлачно дејство масе $\rho \Delta f_2$ на исту ту тачку бити дато изразом



Сл. 13

$$\frac{\rho df_2}{\overline{HP}^2}.$$

Но како се површине df_1 и df_2 одnose као квадрати њихових отстојања KP HP од тачке P , то ће њихова привлачна дејства, пошто су противног правца, међусобно поништавати. Како то исто важи за свака

два дела сферне површине која леже на истој правој која пролази кроз P , то ће привлачно дејство целе материјалне површине на тачку P бити једнако нули.

Овим једноставним Њутновим расуђивањем послужили су се његови земљаци Пристли (1767) и Кевендиш (1771) да, пре Кулона, изведу теориским путем закон који носи његово име, акоји говори о просторном дејству електричне силе. Онда је већ била позната чињеница да се у унутрашњости кондуктора оптерећених електрицитетом не појављују никакве електричне силе. Ако је такав кондуктор савршена лопта и ако у његовој околини нема никаквих других кондуктора или електричних набоја, онда ће, из разлога симетрије, електрицитет на њему бити равномерно распоређен, а његова површинска густина биће једна те иста. Тражећи закон по којем се електрична сила мора распростирати у простору да би она у свакој тачки унутрашњости кондуктора била једнака нули, а служећи се предњим Њутновим расуђивањем, Пристли и Кевендиш су једноставно обрнули Њутнов проблем и тим путем нашли да је електрична сила обрнута пропорционална квадрату отстојања. Касније је Кулон доказао експерименталним путем оно што је следовало тако једноставно из Њутновог рационализма.

Сличним расуђивањима испитао је Њутн привлачно дејство овакве материјалне сферне љуске на произвољну материјалну тачку Π која се налази изван ње, па нашао да је та сферна љуска привлачи исто тако као да је целокупна маса љуске сконцентрисана у њеном тежишту.

Са ова два става није било тешко прећи и на друге случајеве. Један од њих је привлачно дејство хомогене материјалне кугле, тј. такве која је

у својој целини испуњена материјом константне густина. Замишљајући је састављену из безброја хомогених сферних љусака, долази се лако до закључака да је њено пивлачно дејство на материјалну тачку P која се налази изван ње такво као да је целокупна маса куглина концентрисана у њеном центру.

Дошавши до овог сазнања, Њутн је своју претпоставку да је густина кугле ρ константна, заменимо претпоставком да је она функција отстојања r . И сада се, као што је лако увидети, показало да је њено привлачно дејство на какву спољну тачку исто такво као да би целокупна њена маса M била концентрисана у њеном средишту.

Њутн је проширио своја испитивања на привлачна дејства двеју кугала чија је густина ρ функција отстојања од центра, па је нашао да се те кугле привлаче узајамно тако као да су њихове масе концентрисане у њиховим средиштима. Тиме је кретање планета сведено на кретање материјалних тачака које имају масе појединих планета. То је полазна тачка и наше садашње Небеске механике.

Њутн је при првим својим испитивањима о кретању појединих планета око Сунца претпоставио да Сунце стоји непомично како је то одговарало основној концепцији хелиоцентричног система. Касније је ту претпоставку напустио и приступио оном проблему које и Сунце сматра помичним и нашао ово.

Заједничко тежиште двају или више небеских тела не мења стање мирована или кретања међусобним дејством тих тела; зато ће оно искључујући дејство спољњих сила или запрека или мировати или се кретати равномерно у правој линији.

Примењујући ово на наш Сунчани систем Њутн саопштава.

Заједничко тежиште Сунца и планета или мирује или се креће равномерно у правој линији.

Сунце се креће без престанка, али се удаљује само врло мало од тог тежишта.

Овима сазнањима Њутн се далеко уздигао изнад схватања Коперника и мишљења свих својих савременика.

Примењујући своја расуђивања у проблему двају небеских тела, Њутн долази до овога.

Свака планета креће се под дејством Сунца тако као да Сунце стоји непомично, а има масу $(M + m)$, а привлачи планету по Њутновом закону.

Из овога следује да та уочена два небеска тела описују, и релативно једно према другом, елипсе. Из тих релативних кретања може се помоћу закона о кретању тежишта извести њихово апсолутно кретање у простору, и обрнуто. Како њихово тежиште дели отстојање тих небеских тела увек у сталној пропорцији њихових маса, то су све те путање међусобно сличне и, уоченом случају елипсе. Њутн је то изразио једном теоремом која важи и за произвољан закон међусобног привлачног дејства. Та

теорема је ова.

Два тела која се међусобно привлаче описују око њиховог заједничког тежишта, или једно око другог, сличне геометриске фигуре.

Та теорема казује да је претпоставка коју је Њутн учинио у првој књизи својих „Принципија” када је центар сила сматрао непомичним, у овде уоченом случају када се Сунце сматра за тај центар, оправдана тиме што је маса планета толико малена према маси Сунца да се $(M+m)$ може заменити са M .

Да то занемарење није учинио, Њутн би место једначине

$$f = 4\pi^2 \frac{a^3}{T^2} \frac{1}{M},$$

коју је извео уз претпоставку да Сунце мирује, добио једначину

$$f(M+m) = 4\pi^2 \frac{a^3}{T^2}.$$

Ова једначина изражава важну једну релацију између великих полуоса a планетских путања и њихових времена T обилажења око Сунца, која се не подудара сасвим са трећим Кеплеровим законом. По том закону количник $\frac{a^3}{T^2}$ је за све планете један те исти, што по предњој једначини не би био случај, јер присуство масе m у тој једначини мења вредност тог количника од планете до планете. Но пошто су масе планета веома малене према маси Сунца, то се у предњој једначини m може занемарити поред M , па се, на тај начин, добива подударност трећег Кеплеровог закона са законима Небеске механике.

Њутн је масу планете занемарио поред масе Сунца да добије могућност одређивања маса свих оних планета које имају своје сателите у њиховом односу према маси Сунца.

Нека, дакле уочена планета масе m има свог сателита занемариве масе m_1 према m . Означимо ли велику полуосу његове путање око планете са a_1 , а време његовог обилажења око планете са T_1 то у том случају важи једначина

$$f = 4\pi^2 \frac{a_1^3}{T_1^2} \frac{1}{m}.$$

Дељењем последњих двају једначина добивамо

$$\frac{m}{M} = \left(\frac{a_1}{1}\right)^3 \left(\frac{T}{T_1}\right)^2.$$

Помоћу ове једначине, може се из великих полуоса путања планете и њеног сателита и њихових времена обилажења израчунати однос масе m планете према маси M Сунца. Њутн је тај рачун извршио за све оне планете чији су сателити у његово доба били познати, па узимајући

масу Сунца за јединицу, нашао је за масе Јупитера, Сатурна и Земље ове бројеве

$$\frac{1}{1067}, \frac{1}{3121}, \frac{1}{169282}.$$

Иако у оно доба паралакса Сунца није још била тачно одређена, Њутнов рачун за масе двеју највећих планета, Јупитера и Сатурна, дао је доста добре резултате. Служећи се њима, могао је да се увери да тежиште Сунчевог система може само нешто мало да се измакне изван Сунчеве лопте.

Из тог Њутновог рачуна којим је, као што је сликовито речено, бацно планете на кантар, следовала су нова сазнања. Њутнов рачун је показао да су масе планета, све од реда, врло малене према маси Сунца, па је због тога њихово узајамно привлачно дејство незнатно, тако а је годишњи ход свак епоједине планете скоро сасвим такав као да би она стајала само под дејством привлачне силе Сунца. Њихово узајамно привлачно дејство испољава се, као некакав мали поремећај, тек после дужих размака времена.

Њутн је и том поремећају посветио своју пажњу. Увидео је да Јупитер и Сатурн изазивају осетније међусобне поремећаја у близини њихове конјукције, а да Сунце знатно поремећава кретање Месеца око Земље. Испитујући те поремећаје, Њутн је објаснио неке последице њихове које су, по именован неједнакости, биле утврђене још пре њега посматрањем емпириским путем. Својим делом Њутн је положио прве темеље рачуну планетских поремећаја, који је после њега постао главни проблем Небеске механике кроз два идућа века.

Зауставимо се овде само на најважнијим испитивањима Њутновим на том пољу.

Једно од тих питања тицало се кретања Месеца око Земље, узимајући при томе у обзир само узајамно привлачно дејство Сунца које поремећава кретање месечево, како би оно следовало узимајући у обзир само узајамно привлачно дејство Земље и Месеца. Тиме је Њутн приступио проблему трију небеских тела, проблем који се, у потпуности и у коначном облику, није могао решити ни до данас, а који, вероватно, неће никад моћи бити решен у таквом облику. Ипак је, у том првом налету, Њутн успео да објасни неке од најважнијих, већ опажањима констатованих, неједнакости Месечева кретања. Најзначајнији од њих тицало се померања чворова Месечеве путање. Већ старим Александринцима било је познато да је Месечева путања нагнута према еклиптици под сталним углом, који су они могли да измере. Та путања и еклиптика секу се, о чему смо већ говорили, у два дијаметралним тачкама небеске сфере, названим чворовима. Александринци су знали да се ти чворови померају ретроградно дуж еклиптике и обилазе је за округло 18 година. Узрок тој појави био је све до Њутна потпуно непознат. Примењујући

свој закон гравитације, Њутн је потпуно објаснио механизам те појаве привлачним дејством Сунца на Земљи и Месецу.

Чули смо већ како су Хајгенс и Њутн центрифугалном силом и спљоштеношћу Земље објаснили зашто је Ришеов часовник ишао различито у Кајени и Паризу. Хајгенс је ту спљоштеност израчунао на тај начин што је Земљину тежу, узео спочетка као константу на површини Земље, па је затим умањено за износ центрифугалне силе која се мења са географском ширином, па је највећа на екватору, а на половима је једнака нули. Означавајући пречник Земљиног екватора са a , а са c њен поларни пречник и називајући

$$\nu = \frac{a - c}{a}.$$

Земљином спљоштеношћу, нашао је да је $\nu = 1/578$. Њутн је, пишући своје „Принципије”, отишао даље. Помоћу свог закона атракције и својих теорема изложених у првој књизи свога дела израчунао је и величину атракције спљоштеног елипсоида, па комбинујући је са дејством центрифугалне силе, нашао је да је $\nu = 1/230$. Тиме се боље но Хајгенс приближио стварној вредности $\nu = 1/298$.

Његов закон гравитације омогућио је Њутну да њиме објасни још две веома значајне природне појаве које су дотле биле познате, али се није знало шта им је узрок. Једна од њих је прецесија равнодневица, позната и емпириски испитана још од времена Хипарха. Њутн је, комбинујући своје сазнање о спљоштености Земље и своје објашњење померања чворова Месечеве путање, прозрео, једним погледом, њен механизам. У четвртом одељку треће књиге својих „Принципија” објаснио ју је на четири стране овим расуђивањем.

Када би Земља имала облик савршене сфере, њена оса ротације не би мењала своју оријентацију у простору, јер би привлачно дејство Сунца, а и Месеца, на Земљу имало резултанту која би пролазила кроз центар Земље. Издвојимо ли, дакле, из Земље, описавши преко њеног поларног пречника сферу, онај њен део који не долазиу обзир за објашњење померања њене осе у простору, онда нам преостаје да од ње појас њене испупчености који је најдебљи на екватору, а тањи се све до полова. Сваки материјални делић тог појаса описује око Земљине осе кружну путању. Сваки такав делић можемо, дакле, сматрати за Земљин сателит, па као што привлачно дејство сунца на Земљу и Месец поремећава раван Месечеве путање, оно ће се у сличном смислу испољавати и на сваки делић Земљиног појаса. Разлика је само у томе што улогу чворова путања тих делића играју пресеци небеског екватора са еклиптиком, тј. равнодневичке тачке. Зато ће се оне, обрнуто стварном дневном кретању Земље, померати дуж еклиптике, као што то, у ствари, показује појава процесције. У тој појави процесције учествује не само Сунце, већ и Месец, и то, због његове близине, још у већој мери но Сунце; њихова

дејства се сабиру у заједничко дејство лунисоларне прецесије.

Тим расуђивањем Њутн је објаснио појаву пресеције; њена потпуна теорија развила се тек у току идућих двају векова. Из тог расуђивања следовала је још једна важна конзеквенција: пошто се пресек равни путање Земље и равни путање Месеца помера, вршећи се за каквих 18 година потпуно једно обилажење, следовало је из тога и периодични поремећај оријентације Земљине осе из те периоде.

Друга од споменутих појава коју је Њутн у вези са претходним расуђивањима објаснио у својим „Принципијима” била је појава морске плиме, запажене већ од давних времена. Њу је објаснио као последицу привлачног дејства Месеца и Сунца на Земљину хидросферу начином који се и данас употребљава за елементарно тумачење те појаве. Том својом „статистичком” теоријом објаснио је Њутн основне појаве њене, удео Сунца и Месеца, плимине главне периоде и неједнакости, њене екстреме у доба сицигија односно у доба Месечевих квадратура, њено појачавање у доба еквинокција и када се Месец налази у перигеуму. Она је била полазна тачка за каснију динамичку теорију климе која је, и квантитативно, обухватила све појединости те појаве.

Последњи одељак треће књиге Њутновог дела посвећен је појави звезда репатица. Крајем године 1680 појавила се на небу сјајна једна комета и, природно, привукла на себе пажњу свих посматрача неба. Она је била један од првих главних објеката астрономске опсерваторије у Гриничу основане пет година раније. На челу те опсерваторије стајао је, као њен оснивач, први управник и краљевски астроном, Џон Флемстид (1646-1719), заслужан не само због оснивања те установе светског гласа, већ и због његових врло тачних и савесних посматрања неба која су послужила за први велики модерни каталог звезда, издан после његове смрти.

Флемстид је поменуто комету посматрао од 12-III-1680 до 5-II-1681. Њутн ју је посматрао од 25-II-1681 до 9-III-1681. Лични удео Њутнов у посматрањима имао је свој узрок у томе што је у тој комети видео нов објект и проблем своје теорије. Из тих посматрања и посматрања својих претходника а нарочито поменутог Хевела, дошао је Њутн до ових закључака.

Комете се крећу с оне стране Месеца и долазе из области планета. Оне се крећу по коничним пресецима чија жижа лежи у центру Сунца, а описују својим радиусвекторима повученим према Сунцу површине пропорционалне протеклом времену. Њихове путање су толико издужене да се назнатно разликују од парабола. Из тога је следовало, а то су потврдила своја каснија посматрања, да се и комете крећу по Њутновом закону гравитације под утицајем привлачног дејства Сунца.

Да би се из посматрања могла одредити њихова путања, било је потребно решити један геометрички проблем, и то овај. Нека се из три, међусобно временски довољно удаљена, одређивања позиције комете одреди њихова путања, претпостављајући да је она парабола. Решивши тај

проблем, Њутн је ударио темеље теорији одређивања путања небеских тела.

Њутн се није журио да резултате своје теорије саопшти јавности. Тек овде онде саопштио је о томе понешто својим пријатељима, а своју теорију допуњавао и усавршавао. Можда би то чинио годинама да га Халеј није из тога пренуо.

Едмонд Халеј (1656-1742), син индустријалца из околине Лондона испољавао је већ у младим годинама велику љубав и способност за математику и астрономију. Било му је тек 20 година када му је један његов рад био примљен за публикацију у „трансакцијама” Краљевског Удружења. Одмах иза тога послала га је енглеска влада на Свету Јелену да посматра јужно небо и начини каталог његових звезда. Свршивши са успехом ту мисију, постао је 1678 године члан Краљевског Удружења. Године 1679 посетио је Хевела у Гданском. Том посетом, а и појавама великих комета, оне из године 1680, о којој смо већ говорили, и оне из године 1682, о којој ћемо још говорити, скренута је његова пажња на те небеске појаве. Запитао се како би се из посматрања тих звезда могла одредити рачунским путем њихова стварна путања. Том питањем обратио се годину 1684 Њутну, а овај му саопшти већ готово решење тог проблема и стави му га на расположење.

Са тим оруђем у рукама је Халеј да докаже периодичност неких комета, а своје име веже за најсјајнију од њих. То је била велика комета године 1682. Халеј је, на темељу прикупљених резултата посматрања те комете, а служећи се Њутнов теоријом, израчунао елементе њене путање, узевши да је та путања парабола. Сличне рачуне извршио је и за друге, пре његовог доба посматране комете, ако је само било довољних и поузданих података да би се из њих могла одредити њихова параболична путања. Резултати тих својих израчунавања саопштио је 1705 године у „Трансакцијама” Краљевског Удружења под насловом „*Astronomiae cometicae Synopsis*” . Из табеларног прегледа елемената путања разних комета следовала је да из комете посматране у годинама 1531, 1607 и 1632 имају скоро сасвимједнаке ове елементе: нагибе путања, лонгитуде перихела, лонгитуде улазних чворова и перихелна отстојања. То га је навело на идеју да су то биле периодичне појаве једне те исте комете која за округло 75 година обилази око Сунца и која нема параболичну, већ затворену, елиптичну, путању. Из упознатог времена њеног обилажења око Сунца могао је да, применом трећег Кеплеровог закона одреди велику полуосу, и све елементе те елиптичне путање. О периодичности појава те комете уверио се тиме што је, коракнувши том периодом још један корак унатраг, тј. у годину 1456, нашао прибележено да се при борби око Београда, те исте године, појавила на небу једна сјајна комета која је поједнако заплашила и турску и хришћанску војску Сибињанин Јанка које су се ту бориле.

Служећи се том, астрономски и историски утврђеним периодом, мо-

гао је Халеј да предскаже да ће се та комета појавити на небу, и 1759 године, што се, заиста догодило. Она се уредно појавила и 1835 и 1910 године.

До данас је успело да се историски утврди тридесетак појава Халејеве комете, све њене периодичне појаве до 87 године пре наше ере, од данас па унатраг, а сем тога, и њена појава 240 године пр. н. е. Зато је та комета, названа Халејевим именом, једна од најинтересантнијих небеских појава. И она је била доказ за тачност Њутновог закона гравитације.

Халеј, који је после Флемстидове смрти постао управник Гриничке опсерваторије и подигао је још на виши степен но његов претходник, имао је и других заслуга за астрономију, а својим испитивањима Земљиног магнетизма, и за геофизику. Он је астрономима показао како се помоћу Венериних прелаза преко Сунца, одреди Сунчева паралакса, тачније но пре, а упоређујући нова одређивања позиција звезда некретница са подацима Птолемајовог „Зборника” , уверио се да су до оног доба Сириус, Алдебаран и Арктурус променили своје позиције на звезданом небу. Тиме је доказао да звезде некретнице не заслужују име што су им га дали стари астрономи.

Пријатељски однос који је владао између Њутна и Халеја био је благотворан и за самог Њутна, јер, као што смо већ напоменули, Халеј, када је увидео епохални значај Њутнова дела, успео да га наговори да то дело објави. Њутн га упуту Краљевском Удружењу.

На значајној седници тог Удружења од 28 априла 1686 године реферисао је о Њутновом делу доктор Винсент, а на седници од 19 маја решено је да се оно штампа о трошку Удружења. Старање о штампању би поверио Халеју. Када се при томе показа да су материјална средства Удружења недовољна, Халеј прискочи у помоћ својим властитим средствима. Штампање дела, које је добило предвиђени наслов „Philosophiae naturalis principia mathematica” довршено је маја 1687. О томе којим даном треба датирати објављивање садржаја тог дела постоје и искоришћују се две могућности. Неки сматрају да је садржај дела објављен већ на седници Краљевског Удружења од 28 априла 1686, а неки тек када је дело изашло из штампе, дакле годину дана доцније.

Њутнови „Принципији” заузимају својим садржајем још и данас прво место међу свима делима научне литературе. Прво, због тога што је у томе делу објављен општи закон природе којему се покорава цела васина, а друго, због тога што се том закону покоравају кретања свих небеских тела апсолутном математичком тачношћу тако да их рачунским путем можемо пратити у далеку будућност и древну прошлост. Зато Њутново дело представља, јоши данас, врхунац егзактних наука узор позитивне филозофије и поносито сведочанство докле може да досегне моћ ума. Творац тога дела сматра се за најлепши пример људскога генија.

Задржимо се, један тренутак, на томе примеру. Особине и способности генијалних људи не могу бити но човечански. Оне се разликују

од способности осталих људи само својим интензитетом и њиховом савршеном хармонијом; у генијалној личности остварено је њих више и изванреднијих. Главно од њих је генијална интуиција, видовитост, која сеже даље но вид обичног смртног човека, а назире нове, неочекиване проблеме. Такву проблематику Њутн је, као што смо видели, поседовао у недостижној мери већ у својим младим годинама када је у даљини сагледао своја три велика проблема. Но није било довољни сагледати их, ваљало је стићи до њиховог потпуног, необоривог, решења, а зато је било потребно положити темеље и изградити две нове науке, инфинитезимални рачун и рационалу механику. И у том послу је Њутн, својим широким филозофским схваћањем, неумитном критиком самог себе и својим систематским умним радом, истрчао испред свих својих претходника и савременика. Тај рад захтевао је потпуну концентрацију мисли, а Њутн ју је постигао што се одрекао самог себе и целог света. Посветио се сасвим својој науци, а није се бринуо како ће свет судити о њему и његовом делу. Стресао је са себе, ако ју је уопште икад имао, сваку жељу за славом и признањем јавности. После горког искуства са својим оптичким проналасцима, презирао је то признаје из дна душе. Зато није ни прстом макнуо да објави своје епохалне радове из области више математике иако је, као угледан члан Краљевског Удружења имао за то све могућности. Исто тако је престао да ишта објављује из области оптике. Таквом концентрацијом мисли на своје главно дело, успео је да у њему искристализује максимум својих умних способности.

Њутну је било досуђено да тај врхунац своје научне делатности преживи за пуних 40 година и да у својој отаџбини доживи заслужено признање за свој рад. Од године 1688 заступао је Кембрички Универзитет у енглеском парламенту, а од године 1703, па до његове смрти, бирало га је Краљевско Удружење, и године у годину, за свог председника. Године 1696 преселио се у Лондон где је, прво, као инспектор, а од 1699 као генерални интендант Краљевске ковнице, живео у благостању, у дому своје нећаке Катарине, госпође Кондуит, са годишњим приходом од 2000 фунти. Но за све ово време не написа он ништа што би се могло упоредити са његовим главним делом; ограничио се на публикацију својих дотле не објављених старијих дела или на поновну публикацију и допуњавање већ објављених. Године 1704 објавио је своје велико дело „Optics”, писано на енглеском језику, у којем излаже своја експериментална открића на том пољу, и разрађује своју емисиону теорију светлости. Уз ту Оптику штампане су и две математичке расправе „Enumeratio linearum tertii ordinis” и „De quadratura curvarum”. Прва од њих бави се класификацијом крива трећег степена, а друга применом рачуна флуксија на квадратуру кривих. Године 1706 изашло је из штампе и латинско издање његове Оптике, године 1707 његова „Arithmetica universalis”, године 1711 његова „Methodus differentialis”, године 1718 друго, а године 1721 треће издање његове енглески писане Оптике. И његова „Принципија”

доживела су за његова живота три издања, друго 1713, а треће 1726 године. Бригу око тих двају издања поверио је Њутн својим ученицима Котсу и Пембертону, а додао сваком од тих издања само неколико пропратних речи. Котс је за друго издање написао опширан предговор.

Када се узме у обзир шта је Њутн све створио од 1666 па до 1686 године, тј. за двадесет младих година, онда нам оно што је урадио за идућих четрдесет година изгледа доста незнатно, па се често постављало питање шта је томе узрок. Има их више њих. Младе године вреде више но старе, а Њутн се у њима, нашавши свој закон гравитације, успео толико високо да даље није могао. А да се, после оног великог проблема, бави ситнима и безначајнима, за то, сигурно, није имао воље. Можда је и осетио да његова продуктивна снага није више онаква каква је некад била.

Од 1691 па до 1693 године Њутн је боловао од несанице одсуства памћења и општег психичког растројства, а размак између година 1708-1716 загорчан му је препирком о приоритет проналаска инфинитезималног рачуна.

До те препирке дошло је овако. Готфрид Вилхелм Лајбниц, (1646-1716), потомак словенске породице Лубеијец, велики немачки филозоф, који се од године 1676 са великим успехом бавио и проблемима инфинитезималног рачуна; оспорио је Њутну приоритет проналаску тог рачуна да би га присвојио себи. Њутн који је у првом издању својих „Принципија” признао Лајбницу његове заслуге за развој тог рачуна а неславољубив какав је био, желео је да избегне препирку, али се у њу умешаше и други енглески и немачки научници, сматрајући ту ствар за питање националне части. Разви се дуготрајна препирка која ни данас није потпуно завршена. У њој је Лајбниц извукао краћи крај јер је Енглезима успело не само да непобитно докажу приоритет Њутнов, већ и то да је Лајбниц, пре њиховог објављивања, а посредством напоменутог Колинса и Олденбурга, секретара Краљевског Удружења, дошао до преписа нових Њутнових радова о теорији флуксија и из њих добио идеју и подстрек за свој рад. Штета што Лајбниц није увидео неоснованост и непромишљеност свог испада против Њутна. Да му је поштено признао приоритет, могао се још увек позвати и на оно што је он само створио на том пољу науке науке, а то би било довољно да му осигура његов знатан удео у изграђивању те науке. У том погледу Лајбниц заузима према Њутну, заиста, сличан положај као Коперник према Аристарху.

Тек у дубокој старости, када се приближио осамдесетој години, Њутн поче малаксавати и побољевати. Године 1725 напустио је свој положај управника Краљевске ковнице, преселио се у краљевски летковац Кенсингтон, у околини ондашњег Лондона, али је до пред своју смрт претседавао седницама Краљевског Удруживења. Седница од 28 фебруара 1727 била му је последња. Када се после ње, 4 марта, вратио у свој стан у Кенсингтону, пао је у постељу и умро 29 марта 1727. Сахранише

га у крунидбеној цркви енглеских краљелва, Вестминстерској опатији, уз почасте које се, иначе, чине само члановима краљевске породице.