УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

М. МИЛАНКОВИЋ
професор Универзитета

ИСТОРИЈА АСТРОНОМСКЕ НАУКЕ

ОД ЊЕНИХ ПРВИХ ПОЧЕТАКА ДО 1727

Научна Књига • БЕОГРАД

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

М. МИЛАНКОВИЋ
професор Универзитета

ИСТОРИЈА АСТРОНОМСКЕ НАУКЕ

ОД ЊЕНИХ ПРВИХ ПОЧЕТАКА ДО 1727

II ИЗДАЊЕ

Научна књига
БЕОГРАД, 1979.

Рецензенти:
Др ЈОВАН СИМОВЉЕВИЋ
Др БРАНИСЛАВ ШЕВАРЛИЋ

Решењем Универзитета у Београду бр. 06-733/1-78 од 25. априла 1979. године штампано као универзитетски уџбеник

За издавача *др Војислав Секуловић*, уредник *Божица Видановић*, технички уредник *Гордана Крстић*

Тираж 1000 примерака

Штампа: Издавачко-штампарско предузеће „ОБОД" — Цетиње

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

СПИСАК НАУЧНИХ ДЕЛА О ИСТОРИЈИ АСТРОНОМИЈЕ

Weidleri, J. Fr., Historia Astronomiae. Vitembergae, 1741.

Pingré, A. G., Projet d' une histoire d' astronomie du 17 siècle. Paris, 1756.

Montucla, J., Histoire des mathématiques, 2 tomes. Paris, 1758. — 2 éd. 4 tomes. Paris, 1799—1802.

Costard, G., History of Astronomy. Oxford, 1767.

Bailly, J. S., Histoire de l' astronomie ancienne depuis son origine jusqu' à l' établissement de l' école d' Alexandrie. Paris, 1775.

Histoire de l' astronomie moderne depuis la fondation de l'école d' Alexandrie jusqu' à l' époque de 1781. 3 tomes. Paris, 1779—82.

Taité de l' astronomie indienne et orientále. Paris, 1787.

Lalande, J. J., Astronomie. 3 tomes. Paris, 1764. — 3 éd. 1792.

Schaubach, J. K., Geschichte der griechischen Astronomie bis auf Eratosthenes. Göttingen, 1802.

Delambre, J. B. J., Histoire de l' astronomie ancienne. Paris, 1817.

Histoire de l' astronomie du moyen âge. Paris, 1819.

Histoire de l' astronomie moderne. Paris, 1821.

Laplace, P. S., Precis de l' histoire de l' astronomie. Paris, 1821.

Humboldt A., Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. 4 Bde. Stuttgart, 1845—1858.

Biot, J. B., Etudes sur l' astronomie indienne et sur l' astronomie chinoise. Paris, 1862.

Lewis, G. C., An historical survey of the Astronomy of the Anciens. London, 1862.

Frischauf, J., Grundriss der theoretischen Astronomie und der Geschichte der Planetentheorien. Leipzig, 1871. — 3. Aufl. 1922.

Mädler, J. H., Geschichte der Himmelskunde. 2 Bde. Braunschweig 1872—73.

Hoefer, F., Histoire de l' astronomie. Paris, 1873.

Foerster, W., Die Astronomie des Altertums und Mittelalters. Berlin, 1876.

Wolf, R., Geschichte der Astronomie. München, 1877.

Handbuch der Astronomie, ihrer Gechichte und Literatur. 2 Bde. Zürich, 1890—93.

Tannery, P., Histoire de l' astronomie ancienne. Paris, 1893.

Dreyer, J. L. E., History of the planetary systems from Thales to Kepler. Cambridge, 1906.

Hoppe, E. Mathematik und Astronomie im klassischen Altertum. Heidelberg, 1911.

Duhem, P., Le système du monde, histoire des doctrines cosmologiques. 8 tomes. Paris, 1913—19.

Kugler, F. X., Sternkunde und Sterndienst in Babel. 2 Bde. München, 1914.

Milankovitch, M., Die Entwicklung der Kenntnis von der Stellung und Bewegung der Erde im Weltall, von den Chaldäern bis auf Kepler. Im Bd. I des Gutenbergschen Handbuches der Geophysik, 1933.

Heller, A., Geschichte der Physik. 2 Bde. Stuttgart, 1882—84.

Rosenberger, F., Die Geschichte der Physik. 3 Bde. Braunschweig, 1882—90.

Marie M., Histoire des sciences mathématiques. 12 tomes. Paris, 1883—88.

Dannemann, F., Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhange dargestellt. 4 Bde. Leipzig, 1920—23.

Heiberg, I. L., Geschichte der Mathematik und Naturwissenschaften im Altertum. München, 1925.

Zinner. E., Geschichte der Sternkunde von den ersten Anfängen bis zur Gegenwart. Berlin, 1931.

Berry, A., History of astronomy. Cambridge, 1892.

Oppenheim, S., Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit. Leipzig, 1906.

Troels Lund, Himmelsbild und Weltanschauung im Wandel der Zeiten. Leipzig, 1913. — 4. Aufl. 1920.

Bigourdan, G., L' Astronomie, évolution des idées et des méthodes. Paris, 1920.

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, стрепео 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 знањима морало претходити познавање бројева и писма.

Сматра се да су називи за поједине бројеве настали већ при самом развитку језика појединих народа, јер се тај развитак могао пратити баш 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 другога бројача претставља 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 почео 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 претсказала једно помрачење Сунца године 2137. Средствима науке могло се израчунати да се једно тотално помрачење Сунца, заиста, десило у главном граду Кине 22 октобра поменуте године што даје извесну веродостојност оној кинеској прибелешци.

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 периодичност је 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 пре н. е. измерили су нагиб еклиптике према небеском екватору и нашли да мери 23° 52'. Значи да је тај нагиб био осетно већи но 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° 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 само 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 почели 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 пр. н. е.) стајао је материјални уређај египатске државе на високом ступњу. За време четврте династије (2840—2680) подигнуте су велике пирамиде код Гизеха, дела техничке вештине и геометриског знања. Египат је био колевка геометриске науке, а да је то постао, има свој нарочити узрок. Онде скоро и нема кише, и цео тај крај био би пустиња као и други велики 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 плодоносан талог који обећава богату жетву. Но пре но што се приступи сејању, било је одувек потребно да се замуљене или разлокане границе појединих 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 развитку астрономије веома значајан. Он је могао бити правилно оцењен тек кад 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 око 1750 пре н. е. Прво што нам при читању тог списа 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 Гизеха који саопштава да је покојни живео око 2220 пр. н. е. и био, по свом звању, управник библиотеке. Старост египатске научне литературе посведочавају и папироси пронађени 1889 и 1890 код Кахума, који су старијег датума од Пепајреса Рајнда.

Из садржаја Ахмесовог списа 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 неочекиваном тачношћу извршили квадратуру круга (са $\pi = 3{,}16$, место $\pi = 3{,}14$). Они су имали прве појмове гониометрије, а за косинус угла имали засебан 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 52^0. Не зна се тачно шта их је определило за избор тога 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 по 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 Сириус. 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 Александровог освојења Египта, године 333 пре н. е., одменула 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 гробова 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 старих 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 показала првипут у години на источном небу, пре изласка Сунца. Та појава названа је касније хелиакичним изласком 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 једну 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 $\times$ 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, по Сириусу којега су они звали Сопд, Сотисовом периодом. Тиме што су одредили дужину те Сотисове периоде, Египћани су, уствари, измерили и дужину сидеричне године, па, у границама те тачности, и дужину тропске године којој се покорава 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 излаз 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 четврте 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 године 139 н. е., 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 $\times$ 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 пре нове ере. 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 савршени календар; то је могло бити тек 1460 година доцније, дакле тек године 2781 пр. н. е.

Већ око године 2000 пр. 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 колико значаја је било то писмо за историју астрономске науке.

★

У Месопотамији, на доњем току река Еуфрата и Тигриса, развила се, независно од египатске, друга једна култура коју сада називамо вавилонском. Благодарећи тим двема рекама и вештачком 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 персиског 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, то 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 најновије 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 замешене иловаче које су после тога сушене, печене и стављене у њихове библиотеке. Када се, почетком деветнаестога века, почела обраћати 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 још нису 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 врачи 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 претставља 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 алхимичари постали оснивачима хемије. Ти астролози посматрали су небеске појаве систематски, хиљадама година. У том беспрекидном 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 пре нове ере, 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 једино изгледа непомична. 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 сазвежђа и наденули им имена. Тиме су извршили прво каталогизовање неба.

То привидно свакодневно кретање звезданог неба, са његовим непокретним звездама и његовим потпуно правилним обртањем, не пружа ослонца претсказивању 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 оријентацију 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 померањим, оно се опшета за годину дана по небеској сфери звезда некретница 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 Вавилонаца 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 Вавилона појављује изнад хоризонта више од девет десетина, показало им је да звездано небо није непомичан 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 они познавали њих пет, Меркур, Венеру, Марс, Јупитер и Сатурн, јер да је и 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 беспрекидни 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 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 наш 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 и секунде 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 подјединице, минуте и секунде, имају само онда свој значај ако се имају у рукама инструменти са којих се оне могу очитати. 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 (Сарданапала) који је владао од 668 до 626 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 пр. н. е., а међу њима налазе се и неке са математичким садржајем. Тек кад све те таблице, а и многе друге које су се нашле и још увек проналазе, буду проучене, добиће с потпунија слика о астрономским знањима Вавилонаца, прикупљени 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 годишњи доба, о чему ће касније још бити говора. Кретање планета пратили с у стопу и одредили велике периоде њиховог обилажења неба. Већ дв хиљаде година пре нове ере били су начисто да су зорњача и вечер њача једна те иста звезда, што су Грци увидели тек петнаест веков доцније.

О њиховом систематском посматрању неба сведочи и ова чињениц Помрачења Сунца могу се десити онда кад Месец ступи између Земл и Сунца. Ставимо ли се на геоцентричко становиште, као што су они заузимали, онда можемо да кажемо да тотално помрачење Сунца наступа када се Сунце и Месец нађу у исти мах 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 Месечевог 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 протека 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 отступањима, преко 1000 година, да би затим уступила место новом једном циклусу. Проналазак тога 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, ограничена на Месопотамију и на Сирију. Преостали део Мале Азије заузимала је држава Лидијаца.

Године 585 пре н. е. сукобише се Медејци и Лидијци на реци Халису. Изненадно тотално помрачење Сунца, које се десило у самом почетку боја, ули обема борбеним странкама 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 персиски кнежевић Кирос медеј-

ском, 546 лидиском, а 539 вавилонском државом. На рушевинама т
старих држава подиже се ново светско царство, персиско, које се р
спростре и над самим Египтом. Оно је, допревши до Индуса, обухв
тило све земље у којима се развила култура Еуфрата и Нила и спр
мало се да завлада насељима Грка, распарчаним у ситне државиц
Но Грци одржаше своју слободу, пресадише клице старе вавилонс
и египатске културе у своје крајеве, подигоше величанствену култу
Антике и освојише, под Александром Великим, све државе персисн
царства.

Глава друга

АСТРОНОМИЈА СТАРИХ ГРКА ДО СМРТИ АРИСТОТЕЛА

У почетку шестога века пре н. е. пресађена су нека од геометриских и астрономских знања Египћана и Вавилонаца у Грчку. Талес Милећанин (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 претсказати оно помрачење Сунца које се десило 585 године пр. н. е. за време битке која се, као што 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 међу својих дванаест мудраца. То претсказивање 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 посведочавало његово познавање халдејске астрономије. Прича се да је умео да измери висину које египатске пирамиде из дужине њене сенке и истовремене сенке вертикалног штапа одређене дужине, а отстојање лађа од морске обале мерењем базе правоуглог троугла и оштрог угла на тој бази. Све то говори да је имао и 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 да Земља, коју је замишљао у облику бубња, лебди у средишту те 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 инструменат био је већ одавно познат у Вавилонији, а Кинези су се њиме служили

већ 1100 године пр. н. е. када су, онако тачно одредили нагиб екл
тике према небеском екватору. Анаксимандрова заслуга била је
је са тим инструментом упознао своје земљаке.

Већ идуће генерације стигоше нова знања источне културе у гр
крајеве. Пред обалом Мале Азије, недалеко од града Милета, гд
налазила школа мудрог Талеса, лежи једно од великих острва гр
архипелага, Самос, које је, као што ћемо видети, дало грчкој ас
номији њене највеће претставнике. Праседеоце тог острва, Кари
заменили су јонски Грци и подигли га већ у седмом веку пр. н. е
високог степена културе, искоришћујући његова рудна блага, ра
јајући металургију, бродоградњу и трговину у толикој мери да су п
од свих Грка, прошли кроз Херкулове стубове и допрли у Атлант
Океан. Вредно је напоменути да је истоимени главни град острва
снабдевен изворском водом која се доводила тунелом, саграђеним
у шестом веку пр. н. е. Острво је очувало дуго своју независност и
стигло врхунац своје моћи за време Поликрата (540—523), и тек њ
вом смрћу потпало под персиско царство, да би, победом Грка
Микале (479), дошло у састав атичког савеза.

У ондашњем независном граду Самосу родио се око године
пр. н. е. велики грчки научник Питагора, син трговца Мнезарха. У
Питагорине младости живео је у близини, у Милету, Талес у св
пуној снази и слави. Тешко је замислити да Питагора, жедан на
није отишао до тог највећег грчког научника онога доба и да од н
није дознао да је Египат колевка геометрије. Но било то тако или
сигурно је да је Питагора у својим младим годинама боравио у Еги
јер то посведочавају, више но извештаји његових биографа, ње
властита учења. А биле су и остварене све могућности да млади С
нићанин стигне у земљу фараона. Од 569 године, када је Пита
навршио своју десету годину, па све до 526 године, када је пре
своју педесету, владао је у Египту фараон Амазис. Он је био вел
пријатељ Грка. Ожењен двема Гркињама, Лаодиком и Себастом, жи
је по грчком начину и обичају, и био окружен војском грчких на
ника. Грчки трговци и насељеници долажаху без престанка у ва
Наукратис на западном рукаву Нилове делте, где процвета прави б
грчки живот. И у оно доба злато је било уредна путна исправа за
државе, а злата је било на Самосу. И зато младом Питагори не б
тешко да стигне у земљу Нила, да помоћу своје изванредне бистр
своје злато претвори у знање и да га пренесе у своју отаџбину. Т
провео још неко време, и у својим старијим годинама пошао у ари
кратску грчку варош Кротон, у јужној Италији, на јонском М

Апенинско полуострво било је у оно доба још на ниском сте
културе, а Рим у добу нејаког детињства, али јужне обале тога п
острва и целу Сицилију населише Грци и оденуше их плаштом гр
колонија, Посидоније, Елеје, Кротона, Сибариса, Тарента, Сирак
Акрагаса и Селинунта. У Елеји је вршњак Питагорин, Ксенофа
основао филозофску школу Елеата, а његов ученик Парменидес
јао је у вези са Питагорејцима. Тако називамо ученике Питаго
школе у Кротону, која је, поред научних циљева, имала и друг
била нека врста етичке заједнице. Њен оснивач, Питагора, није
шта написао већ се задовољавао усменим, строго поверљивим, саоп
њима, због чега је сада тешко одредити која учења те школе су

чедо Питагорино, 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 троуглови, оличени тим бројевима, правоугли. Тај проблем решен је у Питагориној школи и нађено је опште правило за изналажење таквих бројева који су касније названи питагорејским бројевима. Кад се увидело да су троуглови, оличени тим бројевима, заиста, правоугли, доказано је Питагорино правило и за све друге правоугле троугле. 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 правоуглог 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 логичним путем своје закључке.

Све се то види и из осталих геометриских учења Питагорејаца. Они су схватили апстракцију неименованог броја, начинили га симболом и принципом стварности, а његову теорију развили без циља практичне примене. Увидели су да се збировима целих бројева $1+2+3+4...$ добивају бројеви 3, 6, 9... који се могу оличавати троугластим распоредом, а да се збиром непарних бројева $1+3+5+7...$ добивају редом сви квадрати 1, 4, 9, 16... целих бројева. Познавали су аритметичке и геометриске редове, хармоничне сразмере и нашли их остварене у хармонији звукова. Познавали су основне особине паралелних линија и троуглова, нашли су, саставили и проучили све правилне полиедре, док су источни народи 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 остали: учили су да је небески свод лоптастог облика, а исто тако и наш Земља, па и планете. Смело су повукли и све конзеквенције из тог учења: да се у простору васионе не може поставити питање шта ј горе, шта је доле, да Земља лебди у том простору, да је насељена ун: около, да постоје, дакле, антиподи. По њиховом првобитном схватањ Земља заузима средиште васионе; око тог средишта обрће се кристал на сфера звезда некретница, а у овој се, повлачене том сфером, обрћ седам даљих коцентричних сфера од којих свака носи по једно с седам покретних небеских тела: Месец, Меркур, Венеру, Сунце, Мар Јупитер, и Сатурн. Тим небеским телима наденули су грчка имен својих богова, која су касније замењена римским, како их сада упс требљавамо. Та лоптаста небеска тела крећу се равномерном брзино по кружним путањама, јер само круг и лопта су довољно савршени д одговоре божанској природи тих небеских тела и њиховом вечитом јед ноликом кретању. Питагорејци су још учили да полупречници они кристалних сфера стоје у једноставним, хармониским, размерама, а д једна, нама нечујна, музика сфера употпуњава ову хармонију васион назване лепим именом „Космос".

Тај Питагорејски систем света био је, пошто је ставио Земљу средиште васионе, геоцентричан. Но већ у самој тој школи, прогнан из Кротона и растуреној у разне крајеве Грчке, отпоче постепени ра звитак тог система у правцу ка хелиоцентричном. Филолаос, Питаго рејац, који је пред крај петога века пр. н. е. живео у Теби, померио ј Земљу из средишта васионе да би у њ ставио нејасно дефинисану Цен тралну Ватру, а друга два Питагорејца, Хикетас Сиракужанин Екфантос, учили су да се Земља обрће око своје осе, чиме изазив смену дана и ноћи, и услед чега, дотле замишљено, обртање сфер звезда некретница постаје непотребно, па је зато треба сматрати не помичном.

Учења Питагорејаца стигоше у Атену у најсјајније доба њено, доба Периклово. Баш онда би уређен и грчки календар који је дотл био у великом нереду. Грци су, као многи стари народи, удешавал свој календар према Месечевим менама, као што то чине још и сад Мухамеданци и Јевреји. Ипак се код њих показала потреба да се т Месечев календар доведе у склад или у одређен однос са тропско годином. Но то није лака ствар. Дужина једног синодичног месеца, о мене до мене, износи $29^d\ 12^h\ 44^m\ 3^s$, па је било потребно наћи једа одређен збир тих синодичних месеца који би био једнак једном цело броју дана и целом броју тропских година. То питање решио је, кори стећи се вероватно искуствима Халдејаца, атењанин Метон на ов бази. 235 синодичних месеци дужи су само за $2^h\ 5^m\ 43^s$ од 19 тропски година, због чега се после истека од 19 година добива нова подударнос између Месечевих мена и Сунчевог тока. У том интервалу, који се зов Метонов циклус, могли су се распоредити месеци и године, па га онд бескрајно пута понављати. Тај циклус очувао се и у нашем црквено календару где се број 19 зове златним бројем и употребљава за одре ђење датума Ускрса.

Учитељ Перикłов, Анаксагора из Клазомене (око 500—428), на старији атенски филозоф, много је путовао и упознао Атењане са на ком 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 двапута 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. Баш у том питању он је толико нејасан да се филозофи, филолози и астрономи већ више од сто година узалудно препиру о томе шта је Платон уствари мислио о непокретности или о кретању Земље. Изгледа да, намерно нејасан, није хтео саопштити своје право мишљење, ако га је уопште имао, да га не би стигла судбина Анаксагоре и Сократа.

И Платонови ученици бавили су се питањем кретања небеских тела. Платонов и Архитасов 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 омаловажао — 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 планета геометриски предочио и растумачио, увећао је Еудоксос број Питагорејских сфера, тиме што је свакој планети доделио, место једне, више таквих сфера које су имале заједнички центар у средишту Земље. Једна од 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 хомоцентричних 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 напоменута 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 тај развитак науке о васиони би пресечен држањем трећег Платоновог ученика, славног Аристотела.

Аристотелес се родио 384 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 Митилену. Ту доби од македонског краља Филипа позив да буд васпитач његовог сина. Четири године био је учитељ Александро Кад овај поста пунолетан, оста Аристотелес још три године на кр љевском двору у Пели. За то време изгубише Грци, битком код Ха ронеје, своју независност, Филип би убијен, Александар се попе краљевски престо и пође, као врховни вођ Македонаца и Грка, на св велики поход у Азију и Африку. Док је он онде стварао своје вели царство, створио је Аристотелес у Атени своју школу, у Ликејон тако названом по суседном храму Аполона Ликејона. Ту је, шетајућ се по њој горе доле, учио своје ђаке, због чега се та школа назва пер патетичком. Ту је написао своја дела о спознању света. Само дванае година држао је Аристотелес своја предавања, јер чим стиже у Ате глас о смрти његовог питомца Александра, мораде он, оптужен својих завидљиваца и непријатеља, напустити незахвалну варош, се она, као оно са Сократом, не би поново огрешила о филозофиј Умро је у Халкију, на Еубоеји, 322 год.

Скоро две хиљаде година био је Аристотелес највећи научни аут ритет, Сунце науке, које је својим светлом надасјало све остале њег звезде. Зато је и његово мишљење о положају и о кретању Земл у васиони било вековима пресудно. Он се, без икаквог околишењ определио за геоцентрични систем, са непомичном Земљом у среди васионе. То своје мишљење образложавао је овако. Да се Земља нала у средишту васионе, на то нас упућује, пре света, појава теже. С што је тешко, тежи ка центру света, а и сама Земља стремила би она кад се не би већ онде налазила. Налазећи се онде, Земља мирује, ј када би се обртала или иначе кретала у простору, мењало би се наш отстојање од појединих звезда, па би се некима од њих приближавал а од неких удаљавали. А то би се одражавало у њиховом привидн положају који би се морао мењати услед тог нашег кретања.

Ово учење великог филозофа којим је пресекао започету изградн хелиоцентричног система, не смемо, ипак, огласити за ненаучно. Н већ због тога што је Аристотелес, у опреци са мистичким расуђив њима Питагорејаца, цео проблем облика и кретања небеских тела ст вио на чисто научну основу. Он је, пре свега, убедљивим научн разлозима доказао да је Земља, заиста округла, позивајући се на да је, при сваком помрачењу Месеца, Земљина сенка, бачена на Месе ограничена кружном линијом, што је могућно само при лоптаст облику саме Земље. Овом доказу додао је још један. Из појаве звез над хоризонтом следује да је Земља округла и да није баш претера велика, јер кад пођемо ка југу или ка северу, мења се изглед звезд ног неба над хоризонтом осетно, тако да звезде које су пролазиле кр теме небеског свода туда више не пролазе. Исто тако виђају се Египту или на Кипру многе јужне звезде које се у севернијим кр јевима никад не појављују на небу, а друге, на северу посматра звезде, остају стално изнад хоризонта, док у јужним крајевима о залазе под хоризонат као и остале.

И ово сазнање Аристотелово је врло значајно. Оно омогућава се из њега одреди величина наше Земље. Њиме се, две сто годи доцније, послужио Родијац Посејдониос (135—51), учитељ Цицерон Видећи да се најсјајнија звезда јужне хемисфере, Канопос, таман ј појављује над хоризонтом острва Родоса, на којем је Посејдониос 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 Ератостеновог 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 рачуном да би брзина којом би се тле кретало од запада према 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, отсуство 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, живећи 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 држало. Плутархос је, например, 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 еманциповао од тог једностраног мишљења свог учит
и изобразио се од чистог филозофа и за природњака. Аристотеле
увидео вредност посматрања и испитивања природних појава и у об
сти астрономије. Свом унуку Калистену, који је са Александром
ликим пошао у Азију, наредио је да у Вавилону прикупи запис
астрономским посматрањима Халдејаца. Прича се да су ти записи у
чени Александру када је свечано ушао у Вавилон, а оданде су сти
у александриску библиотеку. Ти записи били су један од темеља сл
не александриске 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, узе краљевску титулу и одабра Александрију за своју престоницу. Она за сто година постаде најлепшом вароши, трговачким и духовним центром старога света.

Владавине првих трију Птолемајоваца — сви наследници првог носили су његово име — Птолемаја I, названог Сотер (323—285), Птолемаја II, названог Филаделфос (285—247) и Птолемаја III, названог Евергетес (247—222), обухватиле су цео један век и претстављале златно доба александриско. Док су остале државе диадоха, наследника Александрових, биле потресане грађанским борбама и ратовима, Птолемајовски Египат уживао је, скоро без прекида, све благодети мира, материјалног благостања и духовног развитка. Александрија поста копча између истока и запада, не само као пристаниште у којем се укрштала трговина старога 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 Филаделфос знатно га 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 диадоха. У том Музејону подигао је Филиделфос и велику александриску библиотеку у којој се, у току трију векова, прикупљаху сва духовна блага не само грчког, већ и осталих културних народа старога света. Било је ту око пола милијона 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 Вавилонаца, па су се њима могли користити александриски астрономи. Колико је далеко ишло настојање руковаоца библиотеке да у њој прикупе духовне тековине свих народа истока, види се и по томе што је за време владавине Филаделфоса стари тестаменат 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 плодоносан научни рад били су остварени у александриском Музејону, библиотека, скуп првокласних научника, њихова осигурана 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 Вавилонаца, 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. Наш садањи 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 старога света и да се успне до неочекиване висине.

Александриски Музејон имао је, као скуп научника, карактер наших садањих 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 емпириjске елементе и, тако пречишћена, постала априористичка наука, сазидана на неколицини опште признатих ставова, аксиома. У том духу написао је Еуклид своје „Елементе" а дефиниције које се налазе у самом почетку њиховом, срочио 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 уџбеника 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. Сâм Исак Њутн 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. Euклидови 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 у александриској школи, посматрао небо и писао своја научна дела највећи астрономски геније старога 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 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, напослетку, 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. живљаше и дејствоваше у Александрији између година 280 и 260 пр. н. е; не зна се где је и када је умро“.

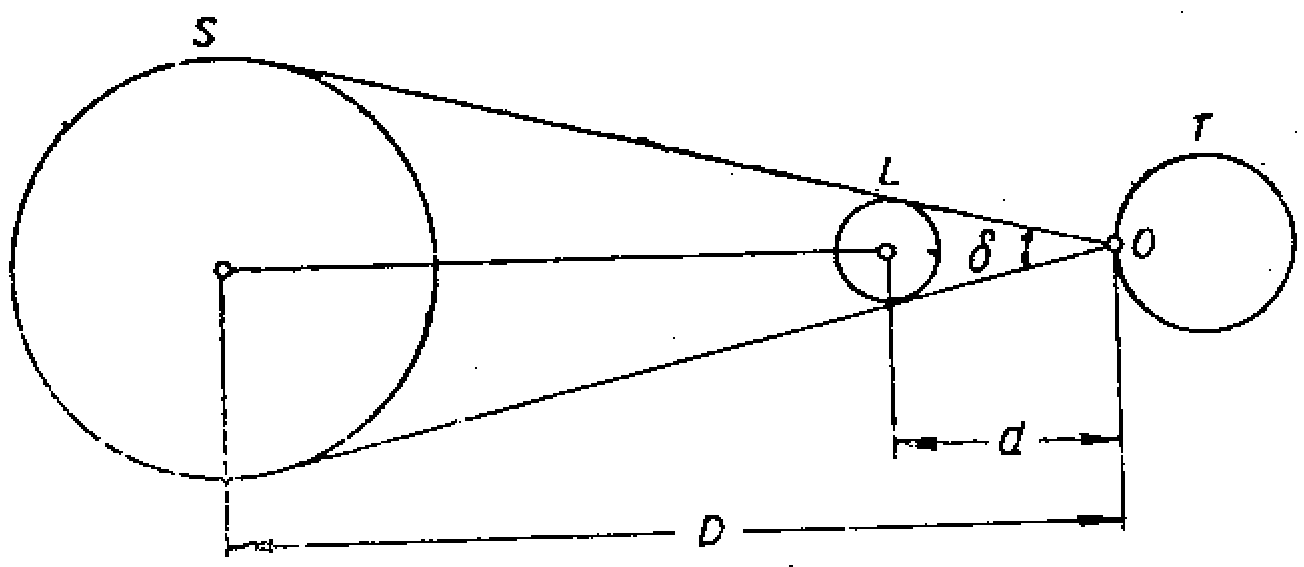
То је све што знамо о животу Аристарховом. Но о његовом научном раду знамо много више.

Од списа 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. Првипут отштампано године 1499, доживело је оно, у латинским, енглеским и немачким преводима, више издања.

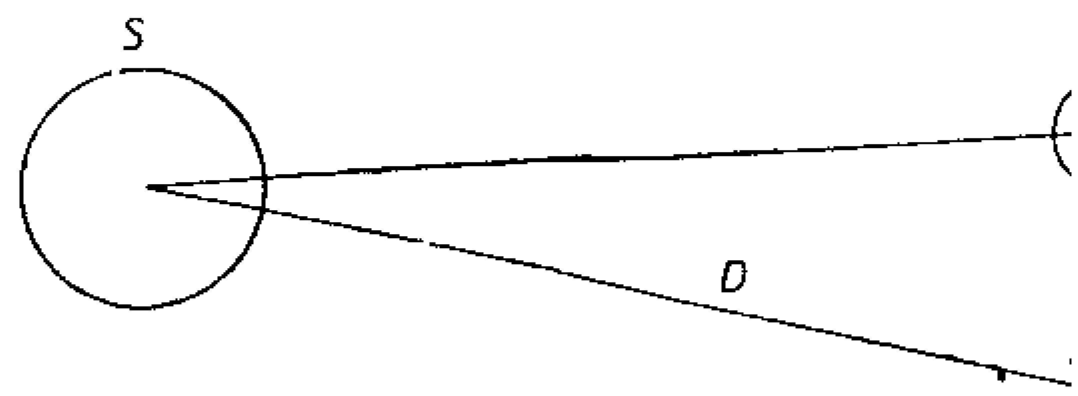
Садржај овог списа Аристарховог изложићемо најочигледније помоћу приложене три слике, служећи се при томе нашим данашњим математичким језиком. У тим сликама предочени су Земља T, Месец L и Сунце S у три разна међусобна положаја. У слици 1 предочени су они у оном положају у којем се та три небеска тела налазе при тоталним помрачењима Сунца. Како таква помрачења трају само неколико минута, конус сенке што је Месец баца на Земљу таман да додиру Земљину површину, како је то на слици предочено. То значи да Сун и Месец имају исти привидни пречник δ, што се може доказати и д ректним висуелним премеравањем њихових привидних пречник Означимо ли, дакле, стварни пречник Сунца са S, а његово отстојањ од Земље са D, стварни пречник Месеца са L, а његово отстојање Земље са d, онда следује из слике

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

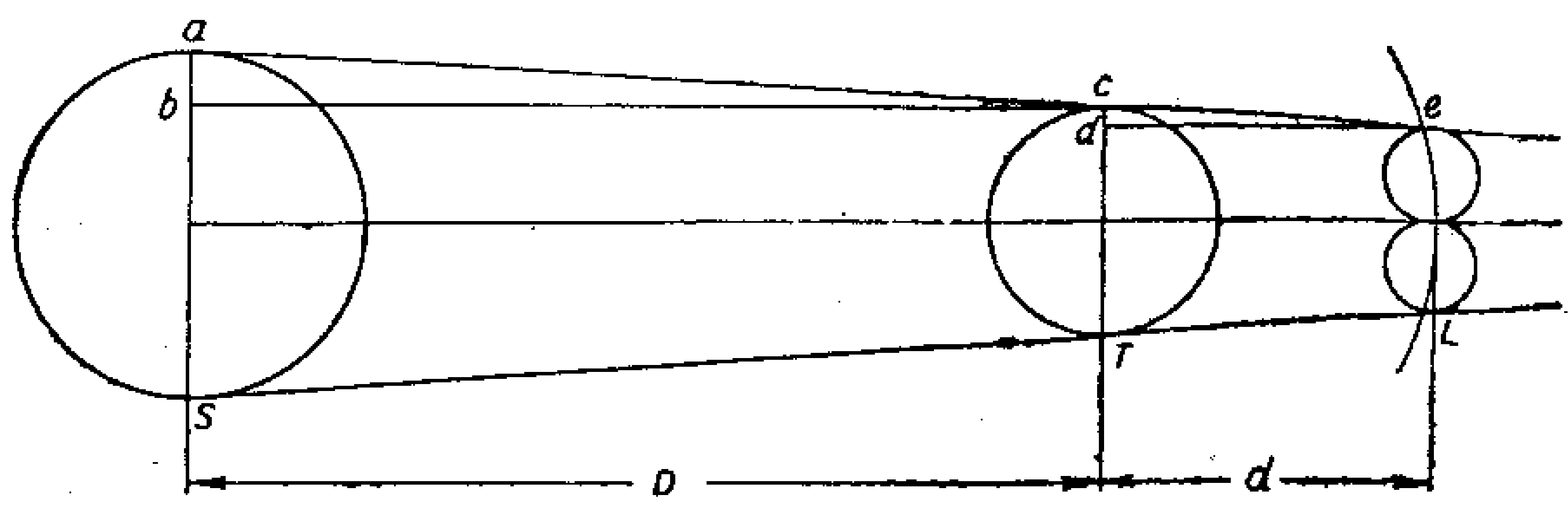
У слици 2 претстављени су Сунце, Месец и Земља у оном међ собном положају у којем је Месец осветљен Сунчевим зрацима тач



Сл. 1



Сл. 2



Сл. 3

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

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

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

У слици 3 предочени су Сунце, Земља и Месец у оном међусобн положају при којем се дешава тотално централно помрачење Месе када Месец пређе кроз осу конуса Земљине сенке како је то на сли претстављено. Аристархос је, посматрајући такво помрачење Месе измерио време које је било потребно да се Месец потпуно замрачи, да уђе у Земљину сенку, а затим је измерио и време боравка Ме чевог 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, двапута 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 a а исто тако и привидни пречник δ Сунца, односно Месеца. Тај, лучном мером мерени, пречник је изванредно мален, због чега је:

$$\delta = S : D.$$

Добивене су, дакле, четири предње једначине у којима је a и δ одређено мерењем, па се дужине D, d, S, L могу изразити помоћу пречника T Земље.

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

Практично искоришћење ове генијалне замисли Аристархове наилази 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 онај тренутак када је Месец био напола осветљен или како је он то казао, када се налазио у дихотомији, да би баш у томе тренутку одредио лучно отстојање Сунца и Месеца на небеској сфери. Премеравање тог отстојања испало му је прилично нетачно (87^0 место $89^0\,51'$), а исто тако и премеравање привидног пречника Сунчевог (2^0 место $32'$, 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 дистанција, 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.

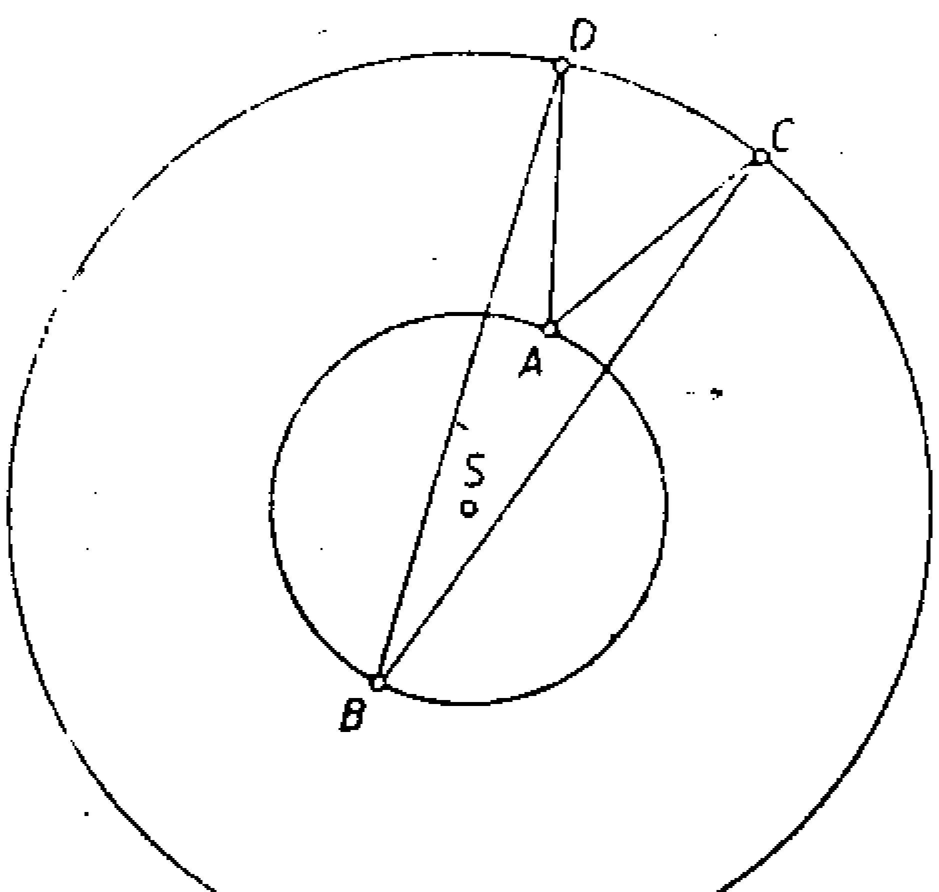
Од списа којима је Аристархос поставио и образложио тај св систем није се очувао ни сам наслов, но о њему нас извештавају нек лико старих писаца са толико појединости да га можемо не само реко струисати, већ и уживети се у Аристархов ток мисли при изради т система.

Он је, премеривши космичке дистанције, могао да на крили свога генија полети у васиону, да остави далеко за собом Земљу, М сец, Сунце и све покретне звезде. Да види малу Земљину кугл и стотинама пута веће Сунце које се, према дотадањим схватањим кретало у кругу око Земље. И у његовој глави синула је силна зам сао: Не обилази Сунце око Земље, већ Земља око Сунца.

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

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

Ускоро му поста јасно да се и сâм ток годишњих доба, проузр кован нагибом еклиптике према небеском екватору, може неусиље објаснити његовом хелиоцентричком замисли. Јер ако Земљин екв тор затвара са равни Земљине пута угао једнак нагибу еклиптике, онда те претпоставке произилази цео мех низам смене годишњих доба.



Сл. 4

Но Аристархос се није зауставн на овим расуђивањима. Он је увидео вероватно и од других познавао, о силни аргуменат против могућности кр тања наше Земље, који је никао у Ар стотеловој школи: Када би се наша Зе ља, заиста, кретала у простору, то се неминовно морало одражавати на м ђусобном положају звезда некретни

Зауставимо се на овом аргументу прихватимо при томе схватање стар света, различито од нашег садашњег, се звезде некретнице налазе причвршћене на њиховој сфери. Не нам у слици 4 спољни круг CD претставља ту сферу некретница, чијем се средишту, према Аристарховом схватању, налази непомич Сунце S. Унутарњи круг AB нека нам претставља кружну путаı Земље око Сунца.

Уочимо две звезде некретнице C и D које се налазе на њиховој сфери. Јасно је да ће се, када Земља на своме путу око Сунца стигне у положај A, те звезде видети у привидном међусобном отстојању мереном углом CAD, а када Земља стигне у положај B, оне ће се видети у отстојању мереном углом CBD. Како је овај угао оштрији од оног првог, оне ће нам из положаја B изгледати једна другој ближе него из положаја A. У тој појави морало 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 Аристраха 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, надопуњено 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 претпоставака 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 круг што га Земља описује стоји према њој у истој размери као средиште једне лопте према њеној површини".

Из ових сведочанстава 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.

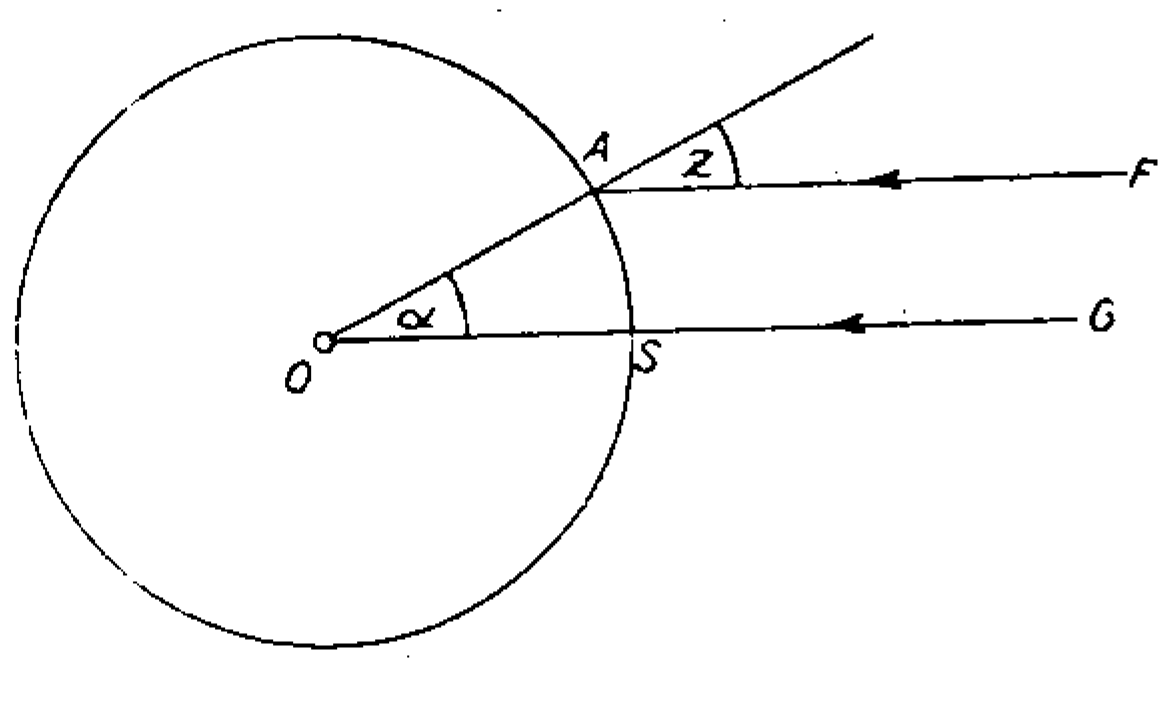
Из ових сведочанстава видимо да је Аристархос знао за аргуменат Аристотеловаца против хелиоцентричног система и обеснажио га својом тврдњом: При упоређењу са димензијама сфере некретница, Земљина путања обична је тачка.

Свим 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 Селеукос не беше Грк, већ Халдејац. Живео је у Халдеји на персиском заливу и имао онде прилике да посматра плиму и осеку мора, која се иначе једва опажа на Средоземном Мору. Учио је да Месец обилази око Земље и ствара плиму, што је, уствари, тачно.

Александриској 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 Филаделфос 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 најдужег 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 A, Сунце се никад не пење до зенита, већ се у свом највишем положају, о подне најдужег 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



Сл. 5

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.

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 инструменат, 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 очита то отстојање о подне најдужег дана у Александрији. Нашао је да оно мери $7^0\,10'$ или педесети део пуног угла. Одатле је следовао опсег Земље од $50 \times 5000 = 250.000$ стадија.

Ератостеново премеравање опсета Земље имало је и овај значај. Његов савременик Архимедес, о којем ћемо још говорити, успео је да геометриским 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 инструменат 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 Ерастостеново, 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 реформа 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. Две сто година доцније пресадио га је Александринац Сосигенес у Јулијански календар, у којем се одржало до наших дана.

У доба владавина 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 св својe списе и стајао са њима у размени духовних добара. Зато се и о убраја у круг александриске школе.

Над Сиракузом и пространом њеном околином владао је од 26 до 215 године краљ Хијерон II, са којим је Архимедес био у сродству За време дуге и мудре владавине Хијеронове постала је Сиракуз најлепша и највећа варош целе Сицилије. Њене лађе обављале с жив трговачки саобраћај са свима лукама Средоземног Мора, а нарс чито са Александријом. Па као што је Архимедес стајао у другарско односу према научницима Александрије, тако је Хијерон стајао у при јатељским везама са Птолемајом II Филаделфом, па су државе ти двају владара чиниле неку врсту духовне заједнице. У том срећно добу хеленистичке културе створио је Архимедес своја велика дел У својим младим годинама бавио се науком механике, решио про блем полуге, а са тим у вези и цео низ техничких проблема. Створи је нова средства технике, пронашао разне зупчанике, завртње и че крке. Смишљеном комбинацијом тих елемената успео је да конструј ише разне машине, да унапред израчуна њихово дејство и да га г вољи увећа.

Архимедес је имао прилику да оствари своје техничке прона ласке када је на захтев Хијерона саградио највећу лађу старога век „Александрију", поклоњену Птолемају Филаделфу, и када је Хије ронов арсенал снабдео убојним справама које су, при опсади Сир кузе, уливале страх и трепет римској војсци.

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

У својим старијим годинама Архимедес се све више посвећив проблемима геометрије. Извршио је квадратуру параболе и пужас криве, Архимедове спирале. Пошло му је за руком да у произвољн тачки те спирале конструише њену тангенту. Извршио је квадрату круга и доказао да је површина лопте једнака четворострукој пов шини њеног највећег пресека. Приступио је израчунавању запремин разних геометриских тела и доказао је да запремине купе, полукуг и облице, исте основице и исте висине стоје у размери 1 : 2 : 3.

Сви ови проблеми које је Архимедес решио залазе већ у обла више математике, инфинитезималног рачуна, пронађеног тек деве наест векова доцније, којим је створен општи метод да се такви пр блеми реше по једној заједничкој схеми. Такав циљ лебдео је и Арх меду пред очима, и он му се био приближио. То доказује његово нед вршено, или, можда, само окрњено, дело „Ефодос" чији су остаци т недавно пронађени. Не зна се тачно докле је Архимедес стигао на т путу, јер су његови списи, као и он сâм, пропали када је Сираку после двогодишње опсаде, пала Римљанима у руке.

Непосредније од Архимеда утицао је на развитак астрономс науке његов млађи савременик Аполониос Пергејски (око 265—17 поред Архимеда највећи геометар старога века. Рођен у Перги у Па филији, дошао је као млад човек у Александрију и ту се васпит код ученика Еуклидових. Ту је написао своје дело о коничним пр сецима, 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 иторију 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 њихови 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 радиуса $ST_1 = R$. Нека нам P_1 претставља једну планету, рецимо Венеру, која око Сунца описује равномерном брзином кретања круг радиуса $SP_1 = r$. 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

$$\omega_0 = \frac{360^0}{T_0} \qquad \omega = \frac{360^0}{T}$$

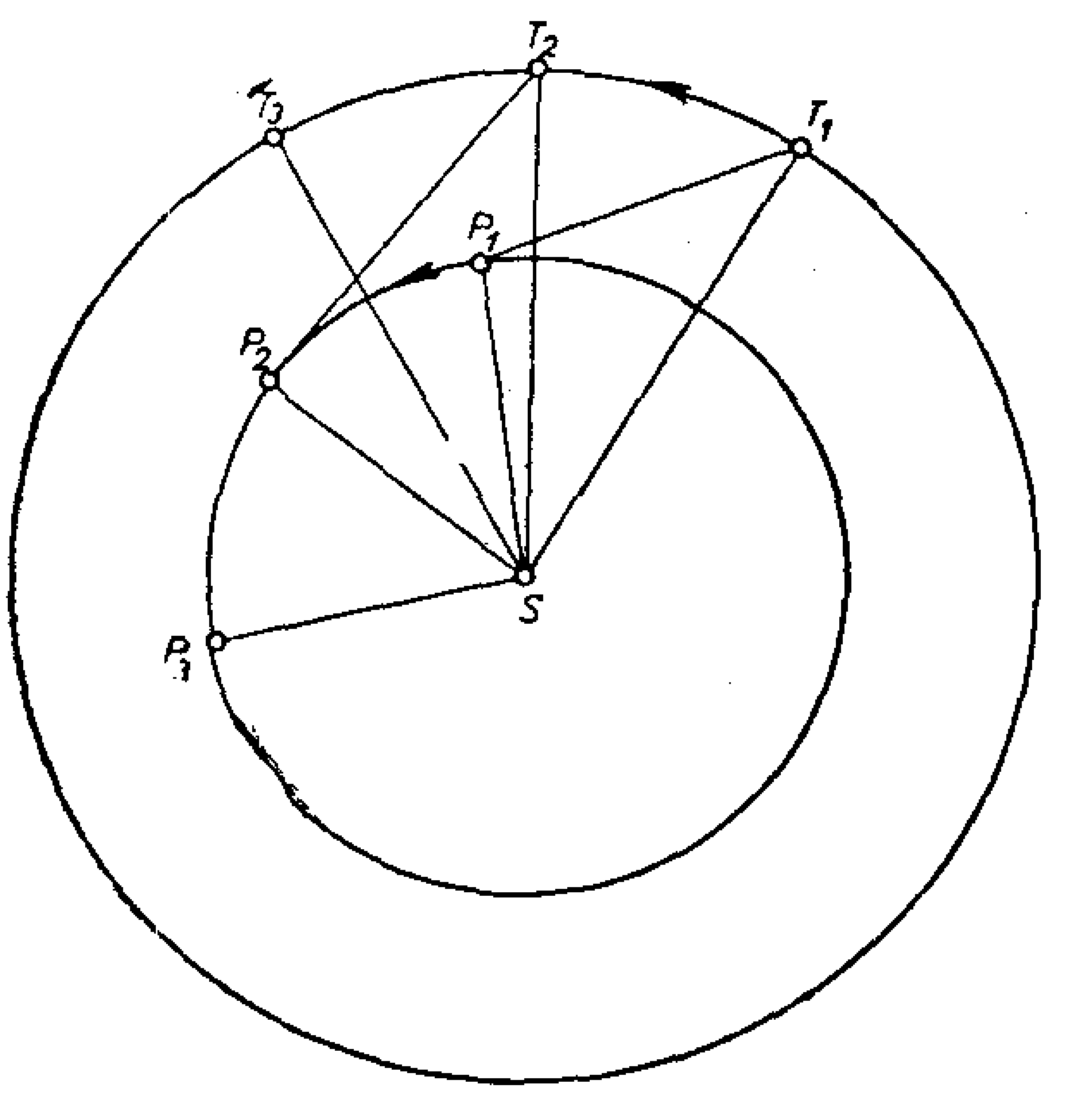
претстављају средња дневна кретања тих небеских тела, мерена лу ним степенима. Зато ће се n дана иза почетног положаја Земља нал зити у положају T_2, а планета у положају P_2, при чему је

$$\sphericalangle T_1 S T_2 = n\omega_0 \qquad \sphericalangle P_1 S_1 P_2 = n\omega$$

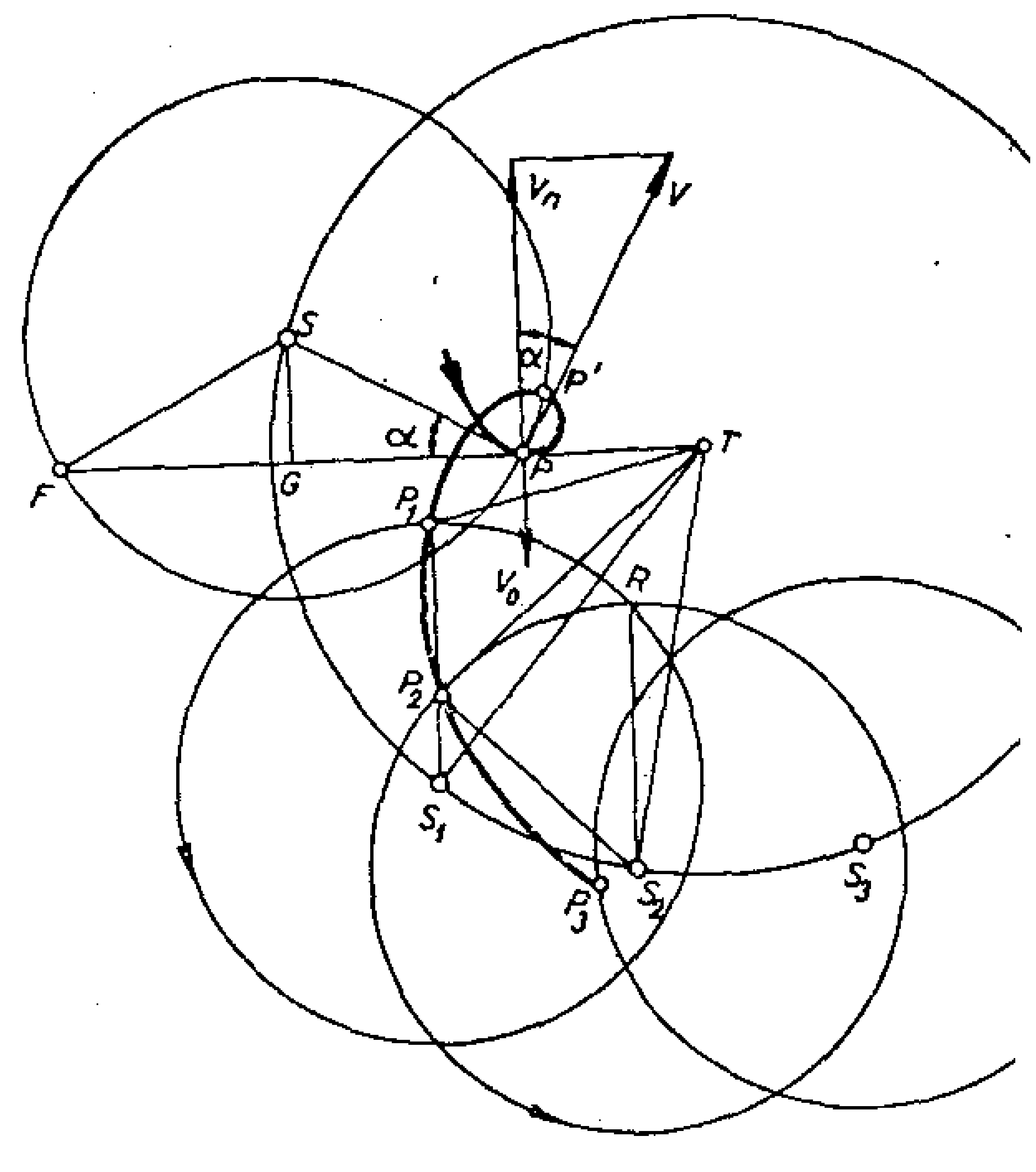
За даљих n дана стићи ће Земља у положај T_3, а планета у п ложај P_3 при чему је

$$\sphericalangle T_2 S T_3 = n\omega_0 \qquad \sphericalangle P_2 S P_3 = n\omega$$

Посматрана са Земље, та кретања изгледаће овако. Нека нам слици 7 тачка T претставља Земљу коју сада замишљамо непоми ном, јер хоћемо да опишемо кретање Сунца и уочене планете рел тивно према њој. Релативни положај Сунца и планете према Земл у почетном моменту добићемо ако нацртамо троугао T P_1 S_1 паралел и конгруентан троуглу T_1 P_1 S слике 6. Значи да се у том момен Сунце налазило релативно према Земљи у положају S_1, а планета положају P_1. Да добијемо релативни положај Сунца и планете пре Земљи n дана иза почетног положаја, нацртаћемо троугао TP_2S_2 п ралелан и конгруентан троуглу T_2P_2S слике 6. Понављајући тај п ступак добићемо релативне положаје Сунца и планете према Зем и за све даље такве временске размаке. На тај начин можемо конст



Сл. 6



Сл. 7

исати произвољан број тачака релативних путања Сунца и план према Земљи, као месту посматрача. Да не бисмо нашу слику суви компликовали, задовољимо се са неколико таквих тачака, довољ да нам даду јасну слику о релативним путањама Сунца и план Заиста, ако упоредимо обе наше слике, видимо да су у слици 7 жине TS_1 TS_2 ... једнаке дужинама ST_1 ST_2 ... слике 6, тј. да релативни положаји S_1 S_2 ... Сунца према Земљи леже на кр описаном око Земље радиусом 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_1TS_2 S_2TS_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 у 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. радиуса 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 радиуса r, он ће проћи кроз тачку P_1; исто ће тако круг описан из тачке S_2 радиусом r проћи кроз тачку P_2. Повучемо ли у слици 7 из S_2 радиус S_2R, паралелан радиусу S_1P_1, то из упоредности зрака S_2R и S_2R_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 радиуса r, а по периферији тога круга креће се планета средњим дневним кретањем ω. Планета описује при томе, релативно према Земљи, криву $P_1P_2P_3 \ldots$ Та крива зове се епицикличном кривом. Да не бисмо нашу слику сувише компликовали, у слици 7 предочен је само један део те криве.

О таквим епицикличним 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 епицикличну 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 одговорићемо, служећи се нашим данашњим математичким језиком, најбрже на овај начин.

Кретање планете према Земљи је, као што смо видели, сложено кретање. Привидни застој планете десиће се онда када обе компоненталне брзине тог сложеног кретања, нормалне на радиусвектор TP, буду једнаке, а противног правца. Услед кретања центра епицикловог по концентру има планета у положају P брзину V_0. Она је нормална на радиусвектор TP, наперена у смеру директног кретања планете и једнака

$$V_0 = \omega_0 \, TP.$$

Услед кретања по епициклу има планета, у сваком свом положају брзину $V = \omega$ наперену у смислу њеног кретања по епициклу у правцу тангенте на епицикл. Овде смо, место ω, ставили ω_s где нам оно претстављa средње дневно синодично кретање планете које се односи н праву TS што спаја Земљу са Сунцем. Оно је, ако нам S претстављ синодично обилажење планете у односу са Земљом, дато изразо $\omega_s = 360^0/S$, при чему је $\omega_s = \omega - \omega_0$. Означимо са α оштри угао шт га тангета затвара са нормалом на радиусвектор TP, како је то у слиц 7 назначено. Онда ће компонента V_n те брзине у правцу нормале бит

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

Спустимо ли из центра S епицикловог нормалу SG на радиус вектор TP, продужен до његовог пресека F са епициклом, то је пошто је

$$r \cos\alpha = \overline{\mathrm{PG}},$$
$$V_n = \omega_s \overline{\mathrm{PG}}$$

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

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

или

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

Ова сразмера, изражена уз припомоћ приложених слика речим поклапа се тачно са Аполонијевом, саопштеном у Птолемајово „Зборнику". И та подударност показује нам пут којим је Аполони дошао до својих епицикала. Они су производ његовог размишљан о Аристарховом систему.

Тако је Аполониос успео да геометриским средствима предо кретање планета како га пратимо својим очима и астрономским спр вама. Својим епициклима претставио га је дакле боље, једноставни и убедљивије него атенски астрономи својим безбројним хомоцентри ним сферама.

Да ли је Аполониос усвојио Аристархов систем света? Неки историчара астрономске науке мисле да јесте, позивајући се на да га стари писац Хиполитос напомиње непосредно уз Аристарха. Н овај разлог није убедљив, вероватније је да се Аполониос није опр делио ни за хелиоцентрични ни за геоцентрични систем. Он је н шао одлично геометриско средство да претстави кретање планета ка их видимо, па можда није ни питао за крајње њихове узроке. Он био, пре свега, геометар, а не астроном. Својом геометриском теориј дао је астрономима оно што су тражили, па можда није, и из личн сујете, хтео да саопшти да му је Аристархов систем послужио к радна хипотеза, а астрономи нису га за то ни питали. Да је у сво спису о епициклима Аполониос заузео одлучан став у корист Ар старховог система, не би тај систем дошао у заборав.

Глава четврта

АЛЕКСАНДРИСКА ШКОЛА ДОБА ХИПАРХА И ПТОЛЕМАЈА

Први век александриске школе, обележен именом Еуклида, Аристарха, 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 превањеног 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 Хипарховој 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 равнодневица. 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 Октавијана 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, но 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.

Зауставимо се, пре но што почнемо говорити о научном раду Хипарховом, на овим подацима о добу његова живота и попришту његове делатности. Грчки историчар Суидас саопштава да се Хипархос родио у Никеји, а он сам се звао Битинијац. Значи да се родио у малоазиској 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, Кападокиском 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, некадањем средишту халдејске астрономије, а о томе сведочи и цео рад Хипархов. Тај његов рад моћићемо 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 Селеукија са својих 600.000 становника, одменила стари Вавилон који нестаде 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.

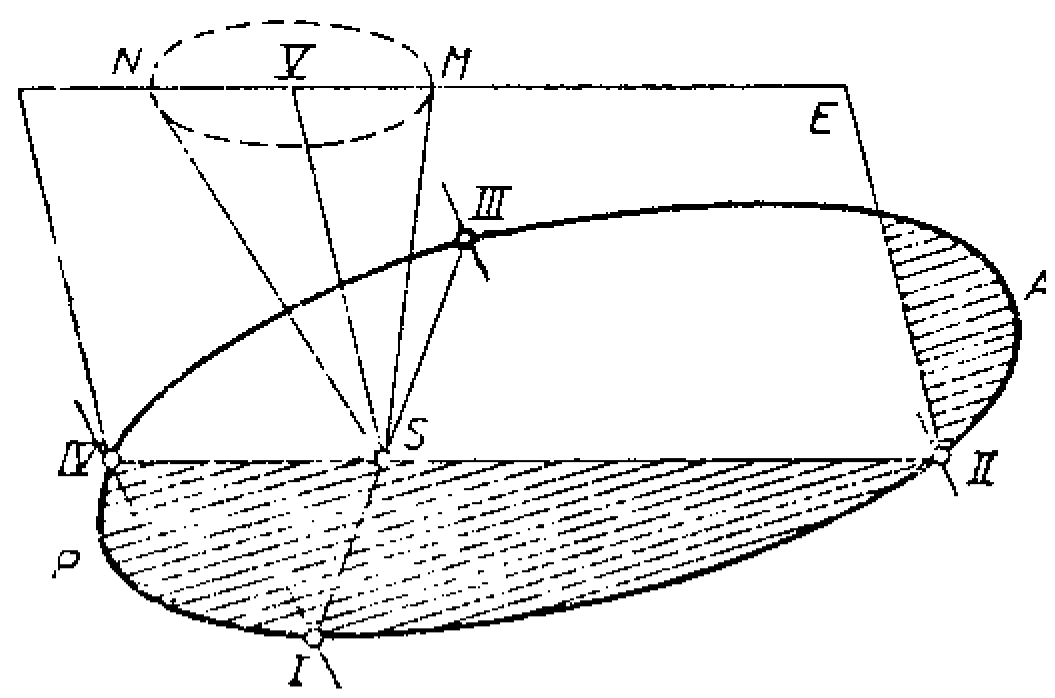
Из ових, још врло непотпуних података о раду халдејских астронома видимо да су у прикупљању података о кретању небеских тела дошли врло далеко. Они нису тражили тумачење, геометриску и механичку интерпретацију тих кретања, већ су били чисти, но првокласни, емпиричари. Прикупивши драгоцене податке о томе кретању, препустили су Грцима да им даду геометриску 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, благодарећи Птолемајо „Зборнику“ више него о његовом животу. Он је увео у сталну п мену раздеобу круга у 360 степена, а ове делио у минуте и секун То је халдејски начин, а и све остало у Хипарховом раду показ да је био добро познат са халдејском астрономијом, њоме се служ у пуној мери, али ју је у неким стварима превазишао. Коментат Птолемаја, Теон Александриски, саопштава да је Хипархос напи 12 књига о тетивама кругова и њиховим централним угловима. З се Хипархос сматра оснивачем гониометрије и тригонометрије. И се, како то показују најновија испитивања асириолога, користио те винама вавилонске геометрије, но још није тачно одређено у ко мери.

Рекли смо да су вавилонски астрономи знали — ваљда већ у твртом веку пре наше ере — да годишња доба нису међусобно ј нака по својој дужини. Због важности те појаве морамо се на мало задржати. При том ћемо заузети наше хелиоцентрично гле, иште у којем смо васпитани и на које смо се навикли.

Нека нам у слици 8 тачка S претставља центар Сунца, а ели P I A III P годишњу путању Земље око Сунца. Замислимо ли у тач S на раван Земљине путање подиг ту нормалу SV и повучену праву паралелну оси Земљине ротације, да нам угао VSN претставља на Земљине осе или косину еклип ке. Раван E положена кроз праве и SN стоји нормално на равни Зем и сече је дуж праве II IV. Тачке и IV претстављају, као што је л увидети солстицијалне положаје З ље на њеној путањи, док права вучена у равни те путање норма на праву II IV пресеца ту путањ



Сл. 8

тачкама I и III које нам предочавају еквинокцијалне положаје Зем тј. оне положаје у којима су дан и ноћ међусобно једнаки, што зове равнодневицама. Временски интервали који протекну између прол Земљиних кроз четири кардиналне тачке I, II, III, IV њене пута зову се астрономска годишња доба; интервал пута I II одговара аст номском пролећу, интервал II III лету, интервал III IV јесени, а инт вал IV I зими. Интервал I II III одговара летњој, а интервал III I зимској полугодини.

Нама, упућеним у садашње стање астрономске науке, сада је сно ово. Земља се креће око Сунца по својој путањи тако да ради вектор повучен од Сунца ка Земљи пребрисава у једнаким времени једнаке површине, па како сектори ISII, IISIII, IIISIV, IVSI ели Земљине путање, нису међусобно једнаки, нису ни дужине годишн доба једнаке. Тако су садање дужине T_s и $T\omega$ летње односно зим полугодине северне хемисфере ове

$$T_s = 186 \text{ дана } 10 \text{ сати}$$
$$T\omega = 178 \text{ дана } 20 \text{ сати.}$$

Летња полугодина је, дакле, за 7 дана и 14 сати дужа од зимске. На јужној хемисфери је обрнут случај.

Та осетна разлика у дужини годишњих доба била је одавна позната халдејским астрономима, а у Александрији су, можда још пре Хипарха, предузели да тачно измере дужине тих доба. Из Птолемајевог „Зборника" знамо да се у александриској звездари, у њеној квадратичној дворани, налазио један инструменат помоћу којега се одређивало време пролáза 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 дотод 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 Птолемајос, 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 привидно 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 радиуса, у правцу шестог степена Близанаца. Из тога свега следовала је важна конзеквенција да се у Сунчевој 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 диаметралне 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, и 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 његови претходници у александриској школи служили екваторијалним координатима, 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. Отстојање 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 емпириски факт, 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 поменута 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 свом спису Хипархос говорио и о Аристарховом хелиоцентричком систему света. Вероватно да је прошао поред њега ћутећки, а можда га је и ниподаштавао, јер иначе не би тај систем остао у забораву. 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 претставља кулминацију, већ декаденцију александриске науке.

У његово доба налазила се и египатска држава Птолемајоваца у наглом 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 женидаба 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 александриског 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 тестаменат 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 нереду, 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 Улијанском календару свака четврта година преступна. Седми месец у години добио је, у почаст Јулију Цезару, назив Јулиус, а касније је таква почаст 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 малоазиска пергамонска државица у саставу велике римске државе. У њеном главном граду Пергамону налазила се његова чувена библиотека коју је основао Еуменес, 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 вид при оцени последњег великог астронома александриског, Клауди Птолемаја. О његовом животу знамо врло мало, тек толико да је жи вео око половине другог века нове ере, дакле у доба римског госп дарства над Египтом. Али нам је његово главно дело „Велики Зборни Астрономије" или „Велика Синтакса" које је касније, стапајући ара ско „ал" са грчким „мегисте", названо „Алмагест", остало потпуно са чувано и дочекало своје штампање са великим бројем рукописни кодекса. У том погледу стоји Птолемајос у завидном положају изна свих астронома старога века. То дело је систематски скуп целокупно астрономског знања завршног периода александриског, зборник у пу ном смислу речи. Писано одличним стилом, каквог касније вековим није било, прецизно, јасно, одмереног хода, књижевно и строго научн оно је последњи, сјајни, одблесак велике александриске школе.

Птолемајов „Зборник" подељен је у две свеске и тринаест књиг Прва књига служи као увод у којем су изложени основни погледи н састав васионе и саопштена потребна знања геометрије са тригономе триским таблицама којима су дате тетиве лукове од 0^0 па до 180^0 з сваку лучну минуту тог интервала. Друга књига посвећена је, углав ном, математичкој географији и мерењу времена. Трећа књига бав се кретањем Сунца, четврта и пета кретањем Месеца, а шеста помра чењима Сунца и Месеца. У петој књизи описана је и конструкциј астрономских инструмената, која се од Херона па надаље врло усавр шила. У тој књизи говори се и о величинама и отстојању Сунца и Месеца. Друга свеска „Зборника", суштина свега, како је Птолемајо сам назива, посвећена је, са својих седам књига, звездама некретни цама и кретањима пет старих планета. У седмој књизи обрађена је темељно појава прецесије са њеним последицама, и у њој саопштен каталог звезда некретница северне небеске хемисфере. Осма књига садржи каталог звезда јужне хемисфере и све остало о звездама не- кретницама. Целокупни каталог звезда садржи еклиптичне коорди- нате 1022 звезде. Остали део „Зборника", од девете до закључно три- наесте 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 довит- љивошћу.

Као што се види већ из овог кратког прегледа његовог садржаја, дело Птолемајево је, заиста, прави зборник знања славног александриског доба астрономије. У њему је, ослањајући се у том сасвим на Хипарха, Птолемајос 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 изазвало 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.

Образложавајући своје ставове, Птолемајос узгред напомиње и противно мишљење неких филозофа који су сматрали небеску сферу непомичном 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 геометриску 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 израдио 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 ово 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 исцрпен је цео списак научне литературе којом се Птолемајос послужио по свом властитом признању. Тај емпириски 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, Хипарха, заузевши неотступно геоцентричко становиште и дозвол вајући само униформна кретања по круговима, „јер само таква кр тања одговарају природи небеских бића, којима је неправилност неједнакост страна", па таквим кретањима тумачи и предочава с неједнакости хода небеских тела. У својој теорији кретања Сун Птолемајос усваја Хипархову ексцентричну путању Сунца која до име ексцентра, а касније, у улози носача епицикла, име деферен У својој теорији Месеца узима да се центар тог деферента ретроград креће по једном даљем кружном носачу. У теорији тих двају неб ских тела прибегава алтернативно и епициклима. У својој теори кретања планета којом је далеко отскочио изнад свих својих пре ходника, Птолемајос употребљује епицикле још много издашније постизава њима изванредно подударање између теорије и опажа То подударање постаје нам објашњиво чим се сетимо како су ст рени ти епицикли: из основне замисли Аристарховог система. Зато језгро Птолемајовог начина геометриског претстављања кретања пл нета ослања на стварну чињеницу. Но то Птолемајос није ни слут већ је епицикле сматрао само као геометриско средство без ика стварне егзистенције. Усавршавајући то своје средство, увећавају број епицикла, давајући им нагибе према еклиптици да би тиме мо да претстави кретања планета у ширину, и замењујући — да не радиус епицикла испао већи од радиуса деферента — код оних п нета које се крећу изван Земљине путање, међусобно ексцентар епициклом, што не мења коначни ефекат тог сложеног кретања, П лемајос је тим, са математичког гледишта потпуно оправданим, ср ствима прикрио стварни постанак епицикала и пут на хелиоцентр ном систему. Теорија епицикла, изникла из Аристархове хелиоц тричке науке, њено чедо, када је одрасла, убила је своју рођ мајку.

Имамо ли права да због ове трагичне судбине хелиоцентрич система бацимо сву одговорност на Клаудија Птолемаја? Он је жи пуна четири века иза Аристарха, а у самој половини тог врем размака десио се пожар библиотеке александриског Музејона. М који смо у нашим данима доживели такве несреће, знамо какав п лом научног рада изазивају уништења научнога блага. Зато је ве ватно да Птолемајос није познавао, ни имао у рукама, списе Арист хове и његових присталица о хелиоцентричном систему, већ се с жио списима његових противника, у првом реду Хипарха.

Као што је речено, Птолемајос је у свом „Зборнику" саопшти свој каталог звезда некретница. Упоређујући га са каталозима сво претходника, Хипарха, Аристила и Тимохарија, а и са посматрањ Агрипе и Менелаја, дефинитивно се уверио да полови небеског ек тора у току интервала од 36.000 година описују потпуни круг око лова еклиптике. Радиус тога круга, мерен у лучној мери, једнак нагибу еклиптике. Равнодневичке тачке обиђу за то време целу екл тику, померају се, дакле, за сто година за један степен.

Та брзина померања равнодневица једнака је оној коју је Хип хос био саопштио. Из тог подударања извели су Деламбр, Танер други француски историчари погрешан закључак да је Птолем свој каталог звезда извео из Хипарховог обичном екстраполациј

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, напр. 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 0^0 до 80^0 упадног угла, одговарајући угао преламања. Ти његови резултати објављени су у потпуности тек 1885 године. Упореде 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 п њиховом излазу и залазу мање него у доба њихове кулминације.

Као што смо већ напоменули, неки историчари астрономске нау потцењивали су заслуге Птолемаја и неправедно га оптуживали да тиме, и у моралном погледу, створили што већи размак између ње и Коперника, и овога уздигли до небеса. Истина је да је Птолема био убеђен геоцентричар, али то му се не сме уписати у грех. Указа смо колики га временски размак одваја од Аристарха и колико је і длегао ауторитету Хипархову. Но ваља имати у виду да се хелиоце трични систем није могао доказати и одржати без принципа инерци Зато је био само верни израз тадањег стања науке када је, говорећ немогућности обртања Земље, Птолемајос расуђивао овако. Када би претпоставило да се Земља, као што су учили неки филозофи, об тако огромном брзином од запада према истоку, то би све што није њој причвршћено, сваки облак, сваки предмет бачен у ваздух, мо заостајати према западу, јер би Земљино тло стално истрчавало испі њега. Тако је, као што ћемо видети, расуђивао велики астроном Т Брахе који је живео после Коперника, а четрнаест векова иза П лемаја. Својом генијалном замисли Аристархос је истрчао пуних ос наест векова испред свог времена, па га нису могли разумети не с његови савременици, већ и дуги низ каснијих поколења.

Птолемаја су осуђавали и због његове сујете и самохвалисања. његов добар суд о самом себи не беше без ослонца, јер три века њега не беше астронома који би се са њим могао и упоредити, а камо мерити, а више од тринаест векова протекло је после њега док је ње систем замењен новим. За време тих многих векова био је Птолема „Зборник" кодекс астрономске науке.

Александриски астрономи који су живели после Птолемаја беху друго до учени коментатори његовог дела. Међу њима нароч се истиче Папос Александриски, познат и као математичар, кој живео крајем трећег века. Он је пронашао правило о површинама и преминама ротационих тела које је касније, незаслужено, названо Г диновим правилом, по језуити Гулдину, професору Универзитет Бечу и Грацу, који га је из Папосовог математичког дела „Синаг присвојио себи.

Други значајни коментатор Птолемаја био је Теон Александри који је живео пред крај четвртог века. У томе веку завладала је шћанска црква и Александријом која је, поред Рима, постала најважнији центар. Тиме је и александриски Музејон дошао под в цркве, а њен поглавица, архиепископ александриски, није се ус чавао да га растури и његове научнике разјури. За време цара Ј јана Апостате (361—363) они се вратише у свој дом, но за кратко вр јер тада поче увелико уништавање свих тековина јелинске култ О томе се говори са похвалом и у делима апостолским, где у деве естој књизи стоји ово. „А многи сабраше књиге и спалише их свима; тако здраво растијаше реч Господња". У томе верском пок пропала је и друга велика александриска библиотека, чувана у С пејону, последњем прибежишту александриске науке. Руља, фан зована од архиепископа Теофила, разорила ју је године 342, р рила 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, ћерке 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 источно-римском царству, у Византији, где је ђрчка просвећеност таворила још хиљаду година, без плодова, јер је цар Јустинијан године 529 затворио атенску 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 уносније положаје но што им их је могао пружити сиротињски научнички позив.

Глава пета

СРЕДЊИ ВЕК

Када се хришћанство распрострло по целом римском царству, по стало државном вером у свим његовим покрајинама, а затим у сви његовим државама наследницама, па и у осталим деловима Европ одбачени су сви плодови грчке учености и песништва да би били заме њени једном јединим књигом, Светим писмом. Она је садржавала откро вења божје милости и показивала пут на спасењу душе. А то је, по ми шљењу онога доба, једино било од важности. Црква предузе да свој верне поведе у небесно царство. Сви је послушаше и покорише јој с без поговора, па и они сурови народи који надираху са севера на римск царство и који створише, у тој великој сеоби народа, своје властите др жаве. Тако је цело европско човечанство стављено у службу цркве признало еванђеље за врховни закон свог мишљења и деловања. Св што је Светом писму противуречило, сматрано је за погрешно. Бе оклевања се посумњало да је Земља округла и да је небески свод обу хвата са свих страна, како су то учили стари Грци. Не може, мислил се, бити ни антипода, јер они се не спомињу у Светом писму међу по томцима праоца Адама. Црпећи из Светог писма зва знања о свету природи, пошло је човечанство у познавању васионе унатраг, верујућ да је Земља плочастог облика са Јерусалимом у средини, запљускиван са свих страна океаном. На другој, источној, обали његовој налазил се царство блажених, а тај рај распростирао се и изнад неба, где с анђели управљали кретањем небеских тела; при томе је Сунце з време ноћи вођено око основице неба до његовог изласка. За врем зиме, када Сунце дубље силази, тај подземни пут Сунчев је дужи н у летње доба; зато су зимске ноћи дуге.

То је, углавном, била слика света раног Средњег века, изложен и „Хришћанској топологији" око 547 године. Чудна је подударност шт је њен писац, калуђер Кузман, назван Индијопловац, рођен у Алексан дрији, дакле баш у оној вароши одакле је Ератостенес, посматрајућ небо, измерио пречник Земљине лопте, а Аристархос величине и отсто јања небеских тела.

Загосподаривши жариштем старе науке, црква је и свуда друг ставила у своју службу науку, песништво и уметност. Наставни пла преудешен је у том смислу. У државама европског запада учило се у школама седам вештина. У нижим разредима, у такозваном тривиуму, учила се граматика, диалектика 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, диалектика и реторика, да се њим свевишњи хвали, математика и астрономија, да се састављa хришћански календар, музика, због пјенија Богу. Колико је тај наставни план био нижи од наставног плана грчких филозофских школа и александриског Музејона! Некадање 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 неуздрма схватање о свету које је одговарало хришћанском веровању. Презрена и одбачена од западних народа, грчка наука нашла је уточишта 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, исељења Мухамедовог из Меке у Медину. Када се он, десет година иза тога, вратио у славољу 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 Пиренеје.

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 корану 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 средњошколск 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 пи смених прибележака о освојењу Александрије, не спомиње ниједном речи уништавање какве библиотеке. Знатнијих библиотека и не беш више у Александрији, јер су, као што смо већ саопштили, њене дв велике библиотеке већ одавно биле разорене. У најгорем случају п Арапе, могло се, дакле, радити само о остацима библиотека, каквих је вероватно, још било у Александрији. Но ни у том случају не бисм смели осуђавати 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 ра спала у више њих, дођоше Арапи у духовни додир са подјармљеним становништвом некадањих расадника културе старога света. Сами п себи непросвећени, но жељни знања, Арапи дођоше у школу тих ста роседеоца, научише од њих што се научити дало, па приступише спи сима старих грчких научника, које пронађоше у својој новој постој бини, 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 несто ријанцима. Протоњени од државне хришћанске цркве, нађоше они го стољубив пријем у персиској држави, па када Арабљани освојише Персију, упознаше их они са списима грчке учености, чија су велик дела превели на свој матерњи, сириски, језик. Арапи почеше да с све више интересују за грчку науку, па када, у другој половини осмо века, калифа Алманзур начини Багдад престоницом династије Абасида позва он онамо несторијанске научнике да преведу те списе и на арап ски језик. У време калифе Харуна ал Рашида, савременика Карла Ве ликог, постаде Багдад средиштем арапске науке и уметности. Онде б основана Висока школа, а онде беше много јавних и приватних библио тека, а преко сто књижара. У европском западу биле су онда такв 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 Харуно наследник Алмамум који побеђеном цару Византије, Михаилу II, став мировним уговором у дужност да му преда драгоцене грчке рукописе Он их даде превести на арапски језик, учествујући лично у раду учено колегијума којему беше поверио то превођење. На заповест Алмамум премерен је у равници Синеар, северно од Еуфрата, меридијански лук дут два степена, чиме је установљено да степен меридијана мери 56²/ арапских миља, а тиме је премерен и цео опсег меридијана и полу пречник Земљине лопте. Потстрек и упутство за ово премеравање до били су Арапи из списа грчких астронома, али су те своје учитељ наткрилили у вештини астрономских посматрања, јер су располагал бољим справама за тај посао, а своју звездару у Багдаду снабдел веома скупоценим астрономским инструментима. У то доба живео ј у Багдаду астроном Алфергани, а сто година доцније живео је и посма трао 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, астро номски инструменти, а руковање 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 Аљорефу, 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 манускрипата. 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, Птолемаја и других. Птолемајов „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 Птолемајов „Зборник“ за основу целе своје астрономије. Они нису доводили у сумњу ниједан његов основни став, већ су се задовољили тиме да то дело потпуно разуму, 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 Птолемају 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 преводилаца 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 заслута и за развитак тригонометрије, јер су, место Птолемајових тетива, увели у ту науку тригонометриске 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, Бетајгеза, 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, под 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, најезди 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 једанаестога 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 комориџије крсташке војске у Европу. Главну корист тих похода убраше велики трговачки градови Италије, Венеција, Ђенова и Пиза. Старајући се за превоз и снабдевање хришћанских војсака, 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 положио 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 Антике, 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 преводилачке 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 преводилаца, 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 преводилаца били су Јеврејин Јован из Севиље 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 историски догађаји. Године 1236, 26 јуна, освојила је војска Фердинанда Кастилског Кордову, некадање 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 стигоше 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 Птолемајовом „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 атрономске науке стекли су нарочитих заслуга Георг Пурбах (1423—1461) и његов ученик Јохан Милер Регионтанус (1436—1476). Обојица беху добри познаваоци александриске науке, усавршише астрономске инструменте, а Регионтанус 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 Диаз 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 тадањих 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 прекрилили знатан део Земљине северне хемисфере тако да би, пренесено то у стварност, источна обала Азије са својим великим островом Ципангом, како се по географу Марку Полу онда називао Јапан, допирала донде где се, уствари налази западна обала американског континента. Да такав континенат 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 Птолемаја, 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, Птолемајос 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 континенат, 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 евразиског континента.

У исто доба када се Колумбо, пошавши са Гуаханија даље, искрцао и на другим Антилским острвима, уништени су и последњи остаци некадање моћне арапске државе на Иберском 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 западно Европи посредством Арапа, а прихваћени са великим интересовањем дали су јак потстек развитку 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 испољила тежња да се што пре стигне до правих извора античке културе. Европски научници, упознавши се, путем арапских превода, са делима грчке науке увидеше да су ти преводи непотпуни и непоуздани, што није било никакво изненађење кад се узео у обзир њихов постанак. Ти преводи настали су из сириских превода, а при превођењу њиховом на латински језик, њихови преводиоци, недовољно познати 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 средњевековних 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 споменутим Тосканелијем који га је увео у математику и астрономију. Кузанус је био одличан говорник и диалектичар, 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 опасношћу 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 стигоше 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 нађоше 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 набави, већ је прикупио и познаваоце грчког језика да би се ти списи превели на латински језик. Прве помагаче у томе 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 споменути астроном Регионмонтанус. 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 својих претходника, начин штампања књига покретним слозима 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 отштампано 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 Торуњу 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 Регионмонтанов, 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 је; грчког дела.

Године 1496 дошао је Коперник у Болоњу и уписао се онд правни факултет, али се више бавио астрономијом и помагао у њ вим астрономским посматрањима тамошњег познатог астронома Д ника Марија Новару. Године 1500 боравио је Коперник у Рим држао онде предавања из астрономије. Године 1501 био је у отацбі али се одатле брзо вратио у Италију да у Падови студира медици Ту се, усавршив се код једног Грка у грчком језику, упознао и делима Хипократа и Галена, ту се спријатељио са Луком Гаури издавачем латинских превода Архимедових списа. Године 1503 і мовисан је на Универзитету у Ферари за доктора црквеног прав онда се вратио у отацбину на свој свештенички положај на који г био поставио већ 1497 његов ујак Лука Вацелрод, епископ Ермла саставног дела пољске државе. Од године 1505 па до 1512 бавио с владичанском двору свог ујака, да би после његове смрти провео о так живота у својој парохији у Фрауенбургу. Ту је био угледна, у и активна личност свештенства бискупије, али се поред својих довних дужности бавио до своје смрти својом реформом астроном науке.

Још док беше на Универзитету у Кракову, Коперник је наи на велики проблем којему је посветио цео свој живот. Ту се упо са Птолемајевим „Зборником" и оним местом у њему где се говор мишљењу неких филозофа да се Земља креће. Коперников учи Бруцевски држао је од године 1490 предавања о списима Аристот па, вероватно, напоменуо и коментар Томе Аквинског о Арист ловом спису „О небу и свету" у којем се говори о могућностима д гих система света, различитих од геоцентричног, а можда и комен Николе Орезма који је ту могућност још јаче истакао. Зато је перник, још пре свог поласка у Италију, сагледао на обзорју свог ховног вида руменило зоре која је препородила астрономску на О томе нас и он сам извештава у посвети свога дела папи Павлу углавном, овим речима. „Потрудио сам се, што сам више могао, поново прочитам све књиге старих филозофа, до којих сам могао д да видим да ли је когод други био различитог мишљења о крет небеских тела но што се то сада учи у школама математичких на Тако сам нашао код Цицерона да је Хикетас Сиракужанин „— Ко ник га зове погрешно Никетас —" веровао да се Земља креће. П нађох и код Плутарха да су и други били истог мишљења".

На овом месту своје посвете Коперник напомиње још и Фи лаоса, Хераклеида Понтикоса и Екфанта, али не спомиње, ни о ни на којем другом месту штампаног издања свог дела, Аристар Зато се дуго мислило да Коперник није познавао учење Аристарх Но такво схватање одбацио је већ Александар Хумболд у своме „ смосу", свеска 2, страна 349, овим речима:

„Често се тврдило да Коперник није познавао учење Ариста са Самоса о непомичном Сунцу и покретној Земљи због тога што „Псамит" и остала дела Архимедова објављена тек годину дана Коперникове смрти, пун век иза проналаска штампе, али се при т превиђа да Коперник у посвети свог дела папи Павлу III наводи Плутарховог дела „О мишљењима филозофа" (III, 13) једно под место о Филолаосу, Екфанту и Хераклеиду Понтикосу и да је у томе истом делу (II. 24) могао прочитати како је Аристархос са Самоса сматрао Сунце непомичним".

Хумболтово 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 његог XI 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 о 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, за што ћемо касније навести 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 здање хелиоцентричног система које је лежало порушено, а на његовом месту била подигнута величанствена зграда Клаудија Птолемаја која је блистала у пуном сјају скоро четрнаест векова. Ниједан од тих научника није се усудио да на Птолемајевој 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 овај 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 дванестогодишњим обилажењем, затим на путању Марса, који је обилази за две године. На четвртом месту налази се годишња путања Земље са епицикличком путањом Месеца. На петом месту кружи Венера з 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 које следује привидно дневно кретање свех 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 обрнутом смеру први двају кретања Земље.

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

Као што из саопштеног следује, Коперников систем је, у свима сво јим основним цртама, идентичан хелиоцентричном систему Аристар ховом. И разлози које Коперник употребљава за доказ свога систем налазе се, углавном, у списима његових претходника. Отсуство годи шње паралаксе звезда некретница тумачи Коперник тиме што узим да је полупречник Земљине путање бесконачно мален према отсто јању звезда некретница, дакле исто онако као и Аристарх, о чему на је Архимедес својим „Псамитом", известио. И то је доказ да је Ко перник познавао то дело Архимедово.

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

Релативну природу сваког кретања објаснио је јасно Никола Ку занус. У своме делу „Учено незнање" каже он: „Земља је звезда налази се у кретању као и све остало у природи. Јасно је, дакле, д се Земља стварно креће, иако то не примећујемо, јер се кретање мож само онда констатовати ако га упоредимо са нечим непомичним . . Кад когод не би знао да река тече, а не би видео њену обалу, как би у лађи, коју река носи, могао сазнати да се лађа покреће. Исто ћ тако сваком ко се налази на Земљи или на којој другој звезди изгле дети да се он налази у непокретном средишту, а да се све око њег налази у покрету".

Широко образован, снабдевен темељним знањем грчког и латин ског језика, Коперник је познавао сву античку научну литератур и за време свога боравка у Италији био у стању да до ње дође. Зат му није умакло ништа што се односило на проблем кретања Земљ

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 хелиоцентричком систему, извели слику 7 која нам је претстављала епициклично 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 епицикал. Коперник је то увидео, па растумачио и доказао да код планета које кружe у унутрашњости Земљине путање, кретање по концентру не претставља ништа друго до слику кретања 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 Птолемајос у своме делу, а који су давали размеру полупречника епицикла и концентра, да очита 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 отстојања 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; 9,555.

Ти бројеви показују колико је драгоценог емпириског материјала лежало скривено у Птолемајевом Зборнику. Да би из саопштених релативних бројева отстојања нашао стварне, узео је Коперник за полупречник Земљине путање Птолемајов број од 1210 полупречника Земљине лопте који далеко заостаје иза стварности. Но успркос томе, међусобне пропорције разних отстојања у Сунчевом систему остале су недодирнуте, само њихово мерило било је нетачно. Коперников систем био је геометриски сличан правој стварности. Због тога је Коперник и смео да каже: „Они који су смислили епицикличне кругове нису били у стању да нађу, а камо ли да израчунају, оно 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 недостата астрономских и физикалних. Коперник је, као и Александрин дозвољавао само кружна равномерна кретања, па се због тога мо послужити и епициклима да би растумачио појединачне неједнако планетског кретања. Ни он није познавао физикални закон инерг да би њиме оборио Птолемајов аргуменат против кретања Земље, он је Птолемајово тврђење да би се Земља, када би се, заиста, обрта морала распасти, обеснажио тиме да би таква опасност угрозил далеко већој мери сферу некретница која би се, по Птолемају, мор обртати невероватном брзином. Томе је додао ово: „Ако узмемо обзир бесконачно отстојање звезда некретница, онда смо једва у ста да замислимо да би оне биле у стању да превале своју огромну пута за 24 сата. А и зашто би се бесконачна васиона обртала око сићуі Земље". — Ово је убедљив разлог високог духа, конгенијалног А старху, који је био у стању да космички мисли.

Недостаци Коперниковог система могли су бити уклоњени с помоћу две научне тековине, постављањем принципа инерције и знањем да се планете не крећу по кружним путањама, већ по ел сама. Те две основне чињенице пронашли су тек велики наследни Коперникови.

Како по свему изгледа, Коперник је разрадио основне лин свог система још док је био у Италији, када је онде прикупио податке о хелиоцентричном систему старих Грка. То посведочава ње спис „De hypothesibus motorum coelestium a se constitutis comme riolus", назван укратко „Коментариолус". Прву редакцију тога сп написао је одмах иза свога повратка из Италије. У њему је, по п меру 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 М чеве путање.

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

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

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

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

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

У овим ставовима садржане су главне црте хелиоцентричког стема; у њима се само још не говори о прецесији и о вези изм епицикала и кружног кретања планета и Земље око Сунца. Ову і 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 и 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 по мало 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 заузе за Коперникову науку када се о њој у Немачкој прочуло. Тако 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 витенбершком професору Георгу Јоакиму Ландену који се по својој постојбини звао Ретикус. Он је пре тога боравио две године у Фрауенбургу код 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 отштампано, али је, кажу, његове прве штампане табаке дочекао на својој самртничкој постељи.

Таман је штампање 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 је својевољно извршио неке значајне и судбоносне промене на Коперниковом рукопису. Делу је, пре свега, дао дужи наслов: „Nicolai Copernici Torinensis de revolutionibus orbium coelestium“ и додао му свој, непотписани предговор који је носио натпис „О хипотезама овог дела“. У њему је садржај дела претставио као голу хипотезу.

Тај самовласни предговор сигурно није одговарао правом схватању Коперниковом. 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, да ли се то десило кривицом Озиандера или је одговарало намери Коперника, није пречишћено. Брисање имена Ари стархова имало је, као што смо већ напоменули, за последицу да ј међусобни однос двају оснивача хелиоцентричког система, Аристарх и Коперника, остао нерасветљен све до године 1873. када је Максими лијан Курце приредио ново издање Коперниковог дела, израђен према његовом оригиналном рукопису.

Својим епохалним делом, красним здањем ренесансе, Коперни је подигао изнова стару порушену зграду хелиоцентричког систем Јер да се радило само о њеној обнови, то су знали савременици Ко перникови, а његови следбеници то су изрично признали. Један с њих, Еразмо Рајнхолд, који је написао један врло цењени комента Коперниковом делу, а своје таблице кретања планета израчунао, усв: јајући Коперников систем, говори о томе: „Морамо бити дубоко благ дарни Копернику што је васпоставио праву науку о кретању небески тела“. Па и сама католичка црква признала је приоритет Грка у то учењу. Она је са великим задоцњењем, 5 марта 1616 године, стави: Коперниково дело у списак забрањених, па се у том решењу каж ово:

„Света Конгрегација сазнала је да се јеретичка, Светом писм противуречна, наука Питагорејаца о кретању небеских тела, како проповедају Коперник и неки други, сада шири и од многих прихва: Да се такво учење не би укоренило на штету католичке истине, одл чила је Света Конгрегација да се дела Коперникова, и свих остал што уче исто, забране догод се не исправе. Због тога се сва та де овим указом забрањују и анатемишу“.

Више од две стотине година католичка црква није се усуди признати да је Коперник био у праву. Тек године 1822 дозволила изрично да се у Риму штампа једна књига о хелиоцентричком с стему, а године 1835 скинула је забрану са дела Коперниковог и де његових следбеника Кеплера и Галилеја.

Глава седма

БОРБА ОКО КОПЕРНИКОВОГ СИСТЕМА

Тихо Брахе и Галилео Галилеји

После крсташких ратова распрострла се вештина прорицања судбине из звезда, преко Египта, Грчке и Италије, и по осталим крајевима напредне Европе. У XV и XVI 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 XIV, 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 XIII, Ана Аустриска, рађала свог сина, каснијег Луја XIV, налазио се у соби породиље и астролог Морен да би, у тренутку порођаја, одредио констелацију звезда и саставио хороскоп новорођенчета. Озбиљни астрономи од струке почеше се бавити астрологијом, а 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 већ давно протекли моменат, као што је то било обично потребно кад се хороскоп израчунавао одраслима, дуго иза његова рођења. Такво израчунавање је, заиста, чист научнички посао, тек читање судбине из хороскопа било је врачбина и шарлатанство.

За састављање хороскопа потребно је познавање кретања 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 у годинама 1519—1522 целу Земљу.

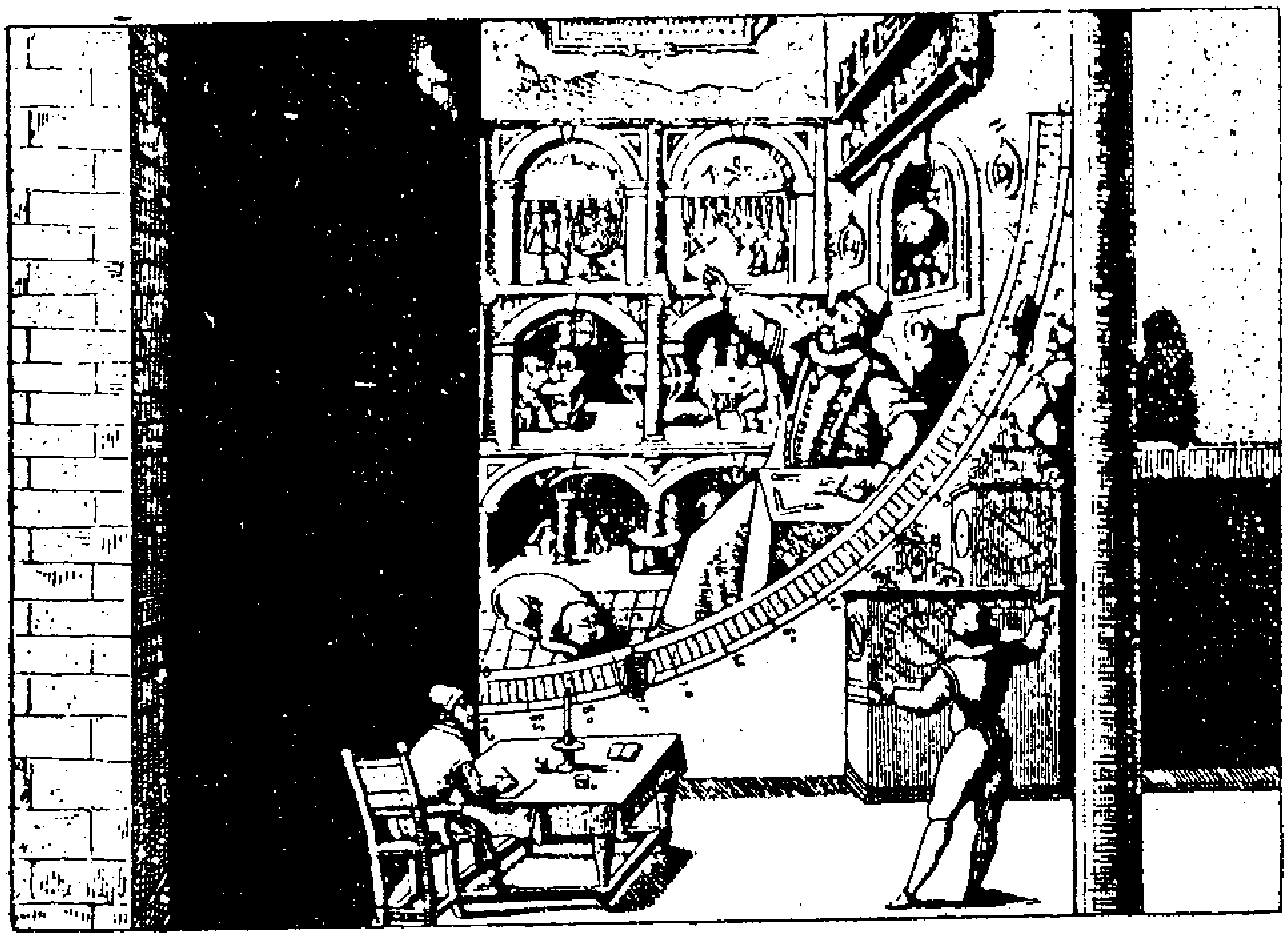
Но да се вратимо астрологији из које је никао највећи практични астроном оног времена, Тихо Брахе.

Потомак старе шведске породице, Тихо Брахе (1546—1601) родио се у Кнудструпу, малом местанцету најјужнијег дела Скандинавије који је онда припадао Данској. Студирао је права у Лајпцигу, али с постепено посветио астрономији, особито кад је посматрао једно уна пред претсказано помрачење Сунца. Касније је студирао још у Витем бергу и Ростоку, где се бавио и алхемијом. Када је ту, у једном дво боју, изгубио предњи део носа, био је уверен да му је тај губитак би досуђен већ самом констелацијом звезда у часу његова рођења, којој је положај звезде Марса наслућивао некакво унакарађење лиц Када се затим вратио у отаџбину и у дому свог ујака уредио астро номску опсерваторију, опазио је нову једну звезду некретницу ко: се изненада појавила у јату Касиопеје, а својим светлом надасјал све остале звезде па се у току од године и по постепено угасила. Тих је о тој небеској појави објавио опширан извештај и постао тим позната личност у научном свету. Позван на Универзитет у Копен хагену да онде предаје астрономију, није се онде дуго задржао, ве је пошао у Немачку где се упознао са хесенским владаром Виљемо IV који је имао своју звездару. Он га топло препоручи данском крал Фридриху II, а овај га позва да му чита судбину из звезда. Тихо убеди да је за такво прорицање потребно пратити кретање звезда, : имати велику уређену звездару. Краљ му понуди неограничена сре ства за тај подухват, даде му у властелинство острво Хвен у Ер сунду са свим приходима, а Тихо подиже на њему своју звездар коју назва „Уранијенборг". Њој је, у присуству француског посланин на данском двору, свечано положен темељ 8 августа 1576, а крај те године већ се отпочело са првим посматрањима неба. У току годи 1580 била је звездара потпуно довршена.

У својој звездари посматрао је Тихо кретање звезда и прочитао њих судбину краља и његова три сина која се родише један за други Чим су се родили, Тихо им је саставио хороскоп или нативитет, ка га он назва. Та три нативитета, одлично опремљена и луксузно пов зана, налазе се, још и данас, у збирци данског краљевског двора. О а нарочито први и трећи, сведоче да је Тихо у претсказивању судби био невероватно срећне руке. Но то је за историју астрономије са у толико од интереса што су та претсказивања била основ велик угледа Тиховог, а и његовог богатства, које је ставио на услугу аст номској науци. Он сам био је, како то показује његово приступно п давање на Универзитету у Копенхагену, убеђен у могућност прорица судбине из констелације звезда, па је употребио, сву своју снагу, зн ња и умешност да усаврши сва средства за проучавање небеских ј јава. У томе послу био је чист научник и ненадмашен посматрач не

Тихо је своју звездару уредио што је боље могао. Она је, као п ћемо сазнати, била доста кратког века и нестала је без трага, али се сачувале неке савремене слике и друга сведочанства која нам о гућавају да је у мислима реконструишемо. Њена главна зграда има је два спрата и два торња, висока 75 стопа; имала је и своје подзем прокторије. Нузгредне зграде служиле су за хемиску лаборатор и штампарију. Сачуване су и слике инструмената који су били пост љени у тој звездари. Тим инструментима биле су заступљене све н хове врсте, од најстаријих па до оних које је сам Тихо изумео и к струисао великом вештином. Неколицину тих инструмената види предочене на слици 9, на којој видимо и један део саме звездаре, Т 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 сасвим 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 шупљину тог кружног квадранта била је урезана лучна мера на којој је свакој минути одговарала дужина једног



Сл. 9

милиметра, тако да су се те минуте могле очитати 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 један 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 магновењу очитано је време које су ти часовници показивали, а очитан је и положај на којем се покретно прозорче нашло на лучној раздеоби. Та об читања, од којих је прво казивало време пролаза звезде кроз мериди јан, а друго одговарајућу висину звезде изнад хоризонта, забележио ј један трећи помоћник у записник. Из тих података могао се израчу нати, ако се тицало звезде некретнице, њен стални положај у екват ријалном или еклиптичном координатном систему небеске сфере, а ак се тицало планете, њен тренутни положај у једном или другом од ти координатних система.

Слични послови обављали су се и на осталим инструментима зве здаре. Сваке ведре ноћи распоредио је Тихо своје помоћнике око ти инструмената, управљао њиховим радом или га само надзиравао. Так је то ишло скоро сваке ноћи, записници звездаре пунили су се броје вима.

У својој звездари проживео је Тихо, у кругу своје многобројне по родице и својих ученика, двадесет година. Краљеви, кнежеви и научни ци из целога света посећиваху га, посведочавајући му своје поштова ње. За то време утрошена је за подизање и уређење звездаре и рад њој, како кажу, једна тона злата. Тај податак можда је и претеран, ал је, као што ћемо видети, научна вредност звездариног рада вредела ба толико.

Када, године 1588, умре краљ Фридрих II, настадоше за Тиха црн дани. Нови властодршци почеше да га кињe и прогањају па му, напс слетку, одузеше имање, звездару и новчану помоћ. Он мораде 1597 го дине напустити своју отаџбину. Тек после великих мука и лутањ доби код немачког цара Рудолфа II, краља Мацарске и краља Чешке чија је престоница била у Прагу, достојно намештење као царев астро ном, астролог и алхемичар. Тај цар, саможивац, чудак, полунаучења и астролог, са којим се Тихо упознао приликом царевог крунисања у Регенсбургу, врло је ценио Тихову вештину прорицања, па му даде го дишњу плату од 3000 златних форината, поклони му дворац Бенате и 2000 дуката за уређење своје звездаре у Прагу. У њој је Тихо отпо чео својим посматрачким радом 1 фебруара 1601, али га, већ 24 окто бра те године, затече смрт. Сахрањен је у цркви Св. Тина у Прагу Његова напуштена звездара на Хвену убрзо је пропала, а када ју ј онде потражио француски астроном Пикар, године 1671, не нађе од њ ни трага. Од многобројних астрономских инструмената што их је Тих саградио сачувао се један једини који се чува у Прагу. Али су прибе лешке о његовим посматрањима неба остале сачуване, и из њих су као што ћемо видети, изведени закони о кретању планета.

Главне заслуге Тихо Брахеа леже у усавршавању астрономских посматрања и у драгоценом материјалу који је прикупио таквим сво јим систематским посматрањима. Он је увидео да све до тада израђен астрономске таблице, Птолемајове, арапске, шпанске, израђене за вре ме кастилског краља Алфонза X у сарадњи арапских, јеврејских и хри шћанских астронома, а објављене године 1252 под именом Алфонзин ских таблица, па таблице што их је, ослањајући се на Коперников си стем, израдио напоменути Рајнхолд и које су у част пруског краља на зване прутензиским, а које су штампане 1551, показују, све од реда велика отступања од стварности. Све је то изазивало сумњу не само у исправност Птолемајова 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 Бесел назвао, први краљ свих астронома. Прву бригу обратио је астрономским инструментима. Инструменти који су се пре њега употребљавали, почев од прастарог гномона, од александриских армиларних сфера које су имале за основну раван небески екватор и којима се мерила ректасцензија и деклинација звезда, од астролабија којима је мерена лонгитуда и латитуда звезда и сви остали, усавршавали су се постепено већ у рукама Арапа и каснијих астронома, но мерење њима није достизало 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 постављање инструмента, на утицај атмосфере и на што тачније одређивање времена. Тим начином могао је, пре свега, да открије и уклони неке заблуде својих претходника. Показао је, например, да је, такозвано, подрхтавање, трепидација, равнодневица само привидно, изазвано нетачним посматрањем, па је доказао да се равнодневице померају сасвим равномерно и нашао 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 Вефа, реална појава. Исто су тако важни резултати Тихових посматрања комета од којих се у његово доба појавише њих шест на звезданом небу. Он је показао да се све те комете крећу далеко ван Месечеве путање и да оне нису, као што их је Аристотелес замишљао, продукти Земљине атмосфере, већ самостална небеска тела.

У Копернику и Тихо Брахеу оличена су два класична типа, Коперник је био Аристархос, а Тихо Брахе био је Хипархос новога 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 посведочавао сени Коперника, одбацио његов систем. Земља је Тиху изгледала исувише тешка и гломазна, а да би се могла обратити 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 је 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 своје осе, повлачећи тиме и остала небеска тела, у која 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 Брахеова умало да није била кобна за васпостављање хелиоцентричког система, јер као што је Хипархос својим неограниченим ауторитетом угушио 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 хелиоцентричког 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 алексанрдиске школе створен Јулијански календар који је, као државни календар, ступио у важност у свима 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 своје вароши, а у хришћанском календару уведен је око године 630 обичај да се године броје од стварења света. То стварење стављано је у годину 5508 пре наше садање ере. Тај почетак нема, разуме се, никакве везе са својим обележјем, јер знамо да је само наша Земља стара 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 византиском 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 византиској ери, са том разликом да 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, а 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 пролетње равнодневице. Та одредба није довољно тачна, јер није одређено на који се Земљин меридијан она односи, а на разним меридијанима дани почињу у разно 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 пролетње равнодневице 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, употребљују се још и данас, поред свега тога што је астрономска наука у стању да тачно одреди времена Месечевих мена. Но за науку и историју календара важнија је ова ствар. У доба Никејског сабора падала је пролетња равнодневица на 21 март. Но како је дужина године Јулијског календара за 11 минута и 14 секунада већа од тропске године, од пролетње равнодневице до наредне, падала је пролетња равнодневица 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 водила о томе рачуна, али научници запада упозорили су на то своју цркву. После многих претходних покушаја да се календар реформише и исправи, а по предлогу Луиђа Лилија и једне стручне комисије која је тај предлог проучила, спровео је папа Глигорије XIII 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 убудуће од секуларних година (оних које свршавају са две нуле) преступне само 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 протестантским 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 даде 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 основи 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—1624), познатог у науци под именом Дедоминис, великог физичара који је први правилно објаснио појаву дуге, а којега, као свог претходника, Њутн спомиње са великим поштовањем. Рођен је на острву Рабу, васпитан од језуита, показао је већ у својој младости толике способности да је касније постао сењски бискуп, а затим надбискуп сплитски. Чим поче да испољава своју слободоумност, позван је пред инквизиторски суд и био строго укорен. Позван поново онамо, избеже у Енглеску где је као проповедач 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 V давно 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.

Галилео 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 године 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 њихаја остаје непромењено и онда када се његова амплитуда постепено смањује. Тиме је, као први, констатовао 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 са њима упознаде, привукоше толиком снагом да им се сасвим посвети. Томе 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 развитку те науке учинио је тек Галилеји, и то у својим младим годинама, можда још пре но 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 незна 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 стигоше 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 свога 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 падајућег тела. Она расте и са преваљеним путем и са протеклим временом падања. Зато је могуће претставити ту брзину као функцију пута и као функцију времена. Означимо ли, дакле брзину са v, преваљени пут од почетног положаја слободног падања са s, а протекло време од тог почетног положаја са t, онда бисмо, нашим данашњим математичким језиком, казали да је

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

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

Наилазећи 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.

$$ds = ptdt.$$

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

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

Овај образац даје нам превађени 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 $\frac{1}{2}\, x.\, px$.

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 $p.sin\alpha$, где α 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 је да оно износи округло 30 стопа у секунди.

Галилеји је решио и проблем косог хитца. Зауставимо 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 надоле брзином $v = pt$. Узмимо почетни положај тог тела за почетак ортогоналног координатног система, а напернмо његову осу y у правцу почетне брзине c, а осу x вертикално надоле, то ће координате x и y тога тела, по истеку времена t бити дате овим обрасцима

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

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

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

која нам претставља 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, произлази 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 ју је, као што смо чули, изграђивао постепено и завршио тек пред крај свога живота. У немогућности да га, у оквиру овог 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 његову, када је оно, оличено убрзањем што га изазива Земљина тежа, константно и када ствара, у отсуству свих других утицаја, равномерно убрзано праволиниско кретање. Једанпут створен, тај појам могао се генералисати и применити на неравномерно убрзана праволиниска, а затим и на криволиниска кретања, дакле на најопштије случајеве, као што су учинили Галилејеви велики наследници, Хајгенс и Њутн.

Испитивајући кретање 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 правоутла. 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 по стрмој равни, Галилеји се још више приближио закону инерције, да би га, тек пред крај живота, схватио у његовој опћенитости.

Све 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 Европи, 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 Галилеји 7 децембра 1592, и за кратко време окупио је око себе з лики број слушаоца да му је слушаоница постала сувише мала да све прими. Из свих крајева Европе долазили су онамо млади људ жељни праве науке, међу њима шведски престолонаследник, касни слободоумни краљ Густав Адолф, па два каснија пријатеља Галил јева, Венецијанац Сагредо и Флорентинац Салвијати које је овеко чио у свом главном делу. Галилејева предавања из тога доба нису ни де очувана, али се зна толико да је, већ тада, предавао законе ко хитца и да је у изградњи динамике далеко стигао.

Октобра месеца године 1604 појавила се нова једна звезда у ја Змијоноше; Галилеји је о томе одржао три предавања и у њима об рио Аристотелово мишљење да су небеска тела вечна и непроменљи

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

Ти догађаји дадоше нов правац Галилејевом научном раду и од доше га у област астрономије. Први од свих, упре он свој доглед звезданом небу и сагледа онде чуда невиђена. Први објект његова п сматрања био је Земљин Месец. На њему је опазио равнице и брего сличне Земљиним. Показао је како би се из дужине сенке Месе вих брегова могла израчунати њихова висина и упозорио на то да ческа равница, опкољена са свих страна гребенастим планинама, сматрана са истог отстојања као Месец, изгледала веома слична гре настим бреговима Месеца. Посматрајући Плејаде, избројао је, ме њихових дотле виђених 7 звезда, њих 36. У јату Ориона нашао преко стотину звезда. Уверио се да је Демокритос имао потпуно пра говорећи да је и Млечна стаза скуп безброја крупнијих и ситниј звезда некретница.

Највеће изненађење причинио му је Јупитер. Када је 7 janua 1610 године упро у њ свој доглед, јасно је разазнао планетин лопта облик, а уза њу, четири мање звезде које су већ иза неколико час измениле свој међусобни положај и положај према планети. Већ јануара био је у Галилеји начисто да су те покретне звездице Јупит ви Месеци који обилазе око њега. Назвао их је, у почаст свемоћ тосканској кнежевској породици, Медицејским звездама. Касније ти Месеци названи, полазећи редом од Јупитра, Јо, Европа, Ганим и Калисто, а данас, пошто је у међувремену пронађено још седам квих Јупитрових Месеца, они се означавају са I, II, III и IV.

Није прошло ни пуних десет месеци откако је упро свој дог у небо, а Галилеји је могао да објави своја открића научном свету. је учинио у својој расправи „Nuntius sidereus", „Гласнику неба", дине 1610. Своја каснија открића на небу саопштавао је краћим дацима 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 пегама; оне, дакле, не постоје, те су зато само производ твојих слабих очију или прљавих стакала". Сунце је, по смислу старе филозофије, претстављало 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 доказује да је та 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 распрострешe његову славу по целом научном свету, а његова отаџбина, Тоскана, поносна својим великим сином, 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 не мога 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 Белармина, нашао са римским учењацима, међу којима се налазио 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", каснија Академија наука у Риму, изабра га за свога члана, прихвати и заузе се за његову науку. А када је Галилеји, септембра 1615, опет дошао у Рим, дочекан је од папе Павла V врло љубазно, а високи црквени достојанственици, међу њима кардинал Орсини, почеше да прихватају његове назоре 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 оштру 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 XV, 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 поеми. 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 Copenicano" написао је талијанским језиком, тосканским диалектом, и већ самим тиме, играло је значајну улогу у развитку талијанског књижевног језика. Као што се види из самог наслова, оно је писано у облику разговора. Три личности, Салвијати, Сагредо и Симпличио, од којих смо прву двојицу упознали као некадање ученике и онда већ покојне пријатеље Галилејеве, разговарају се у дому Сагредовом о Птолемајевом 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 мишљења Аристотела и његових следбеника. Трећи учесник у разговорима, Сагредо, учени лаик, заузима, у неку руку, средину између оне двојице. Том поделом улога, хтео је Галилеји да скине са себе одговорност за мишљења, саопштена у своме делу, не заузимајући према 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 непроменљивости 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 бретове, 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 Симпличија, претстави смешним.

Други дан разговора посвећен је питању да ли се Земља обрће око своје осе. Колико год да је 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 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 закључивати 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 целога свога 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, спуштен 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 отступање 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 тек 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 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, а да из Галилејевог „Диалога", иако прикривен, произилази ста пишчев у корист Коперниковог учења. Они успеше да убеде пап Урбана да се под личности Симпличија крије он сам, претстављен ка смешан и ограничен. Папа намрзну свог некадашњег штићеника, римска курија отпоче немилосрдну борбу да га уништи. Издавачу Галилејевог дела, Ландинију, би забрањена продаја књиге, а на заповес папе образована је комисија да испита кривицу Галилејеву.

Велики кнез Тоскане Фердинанд заузе се за свог математичара и изрази преко свог посланика у Риму Николинија своје чуђење, как 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 так 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. Испитивањима 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 Минерва. Ту је Галилеји, одевен само у белу покајничку кошуљу, пао на колена, положио обе руке на еванђеље и одрекао свога учења говорећи:

„Оричем га се! Осуђујем и проклињем, искрена срца и непретворног веровања, све своје заблуде и јеретичка учења и сваку ину светој цркви непријатељску науку, и 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 догод 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 Ђордана Бруна који је, као што смо чули, због сличног преступа био жив спаљен на ломачи, могла га је определити 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 историски недоказану причу да је Галилеји за време прекида тортуре у тамници Инквизиције или приликом опозивања своје науке узвикнуо: „E pur si muove!" — „Па ипак се креће!"

Остатак свог живота провео је Галилеји, заточен и под сталним надзором Инквизиције, у летњиковцу Арчетрију код Фиренце. И ту се, иако оронуо здрављем, ослабљеног вида и слуха, посветио опет научном раду. Пажљиво посматрање Месеца открило 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 Јупитрових Месеца, Галилеји је нашао друго, много погодније средство за тај посао. Јупитрови Месеци обилазе толико брзо око њега да се скоро сваке ноћи по који од тих Месеца заклони за планетину плочу. Почетак и завршетак таквог замрачења су, дакле, чести и тренутни космички догађаји и Галилеји је, заинтересавши за то и Сједињене Холандске Државе, предузео да, израчунавањем таблица кретања Јупитрових 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 његовог доба. Оно отвара ново доба науке, одвојеног од великог доба Александријаца временским размаком од петнаест векова. Довршио га је године 1636, а објавио га, 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 отпора 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 Nationale delle opere di Galileo Galilei. Firence, 1890—1909".

Глава осма

КЕПЛЕРОВИ ЗАКОНИ О КРЕТАЊУ ПЛАНЕТА

Велико доба Тихо Брахеа и Галилеја уздигао је до епохалне прекретнице у развитку астрономске науке њихов савременик Јоханес Кеплер (27-XII-1571 до 15-XI-1630). Потомак старе, угледне породице Капела, родио се у Вајлдерстату, малом местанцету у близини Штутгарта, 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, а 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 стипендијант у протестантску манастирску школу у оближњем Маулброну 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 Местлин (1550—1631) који је 1582 објавио свој уџбеник сферне и теориске 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, Местлин је образлагао 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 теолошким студијама. Имао је неодољиву жељу и чврсту намеру да постане свештеник. Срећом по науку, судбина је хтела друкчије.

У оно доба ухватио је протестантизам аугсбуршке исповести корена и у аустријској Штајерској. Онде су протестанти имали право да бирају своје свештенике и постављају своје наставнике При сваком таквом избору обраћали су се Универзитету у Тибингену. То учинише и године 1593 после смрти наставника математике њихове конфесионалне школе у Грацу, а Универзитет им препоручи Кеплера. Он се тешка срца, тек по наговору свог 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 у току године. Да би се могао одазвати и тој дужности, задубио 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 случајем, то се и десило, а Кеплерово име се прочу и у ширим круговима. Угледни људи почеше му се 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 у корист астрономске науке. Он беше астролог из нужде, а не из убеђења, па зато није пропустио да у својим календарима и у својим 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 наметао, 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 историског 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 покоравају законима аритметичке хармоније, био је и Кеплер убеђен да таква хармонија мора постојати,ваља је само пронаћи. Усвајајући Коперников хелиоцентрички систем и отстојања планета од Сунца која је, мерена отстојањем Земље од Сунца, Коперник саопштио у своме 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 правилни 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 правилном икозаедру, а остали планетски међупростори правилном додекаедру, тетраедру и коцки.

Дошавши до свог 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 и 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 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, некадањи дворац Милек код Граца. Но њихова срећа и благостање не беху дугог века.

Године 1596 узе 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 протестантски свештеници и наставници морају, под претњом смрти, напустити Грац. Међу њима налазио се и Кеплер који се, са многима другима, спасао у Мађарску. Но његово изгнанство трајало је само месец дана. Његов научни углед био је и код језуита толико велик, да му је, на њихову 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 опстанка. Како његови покушаји да, преко свога учитеља и пријатеља 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 условима 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 томе правцу. Али је Кеплер имао друга убеђења и његов подређени положај према Брахеу, од којега 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.

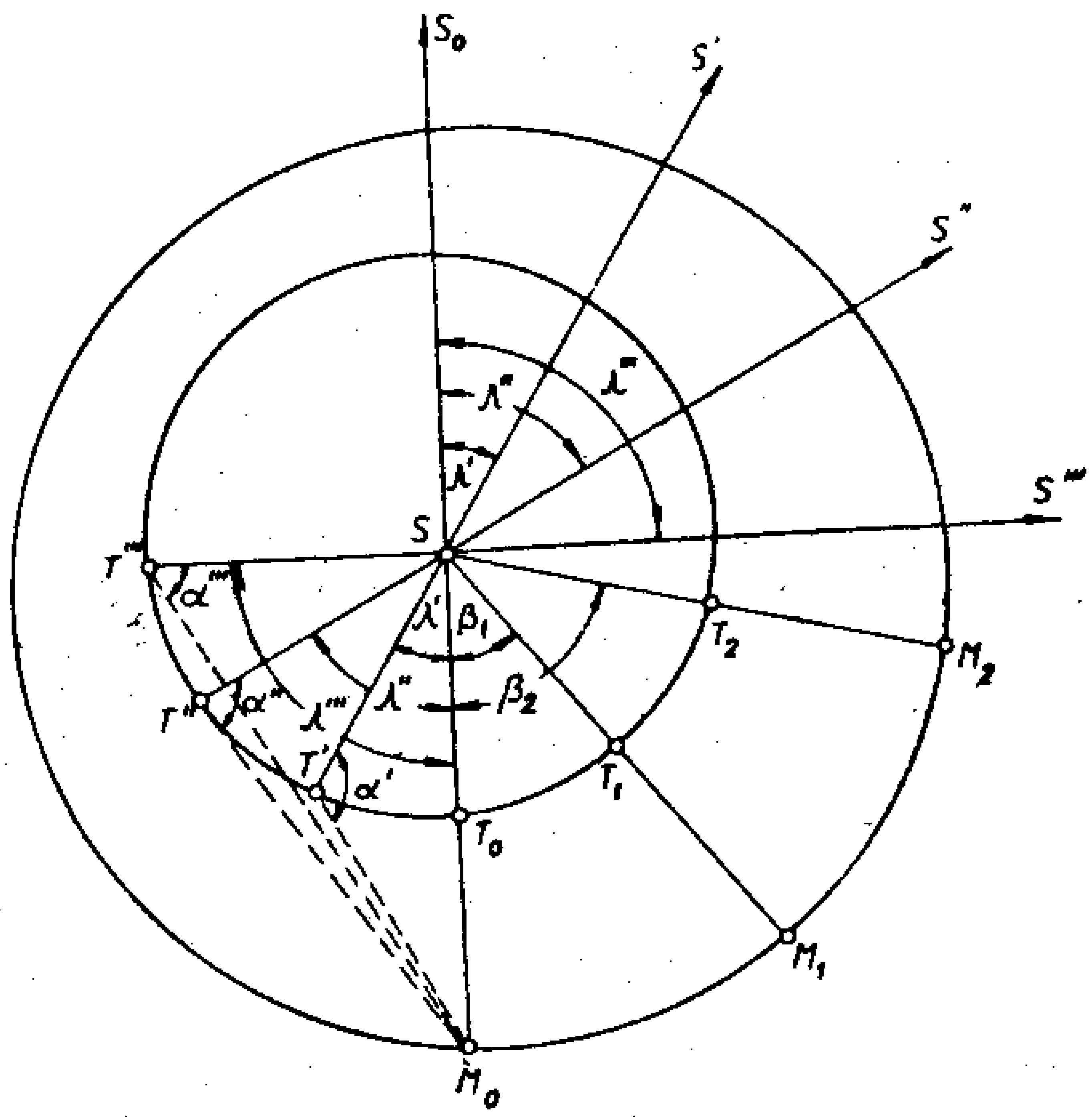
Главни задатак Кеплера у звању дворског астронома био је да изврши онај посао што га је Тихо Брахе намеравао да изведе и добио за то царево одобрење, да изради нове планетске таблице и назове их, у почаст своме владару, Рудолфинским таблицама. Све такве таблице које су пре тога биле сачињене показивале 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 звањем 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, драгоценије 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 кратки 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 прибележено 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 док га је решио. Спочетка није знао где и како да почне и како да се снађе у оном безброју Тихових прибележака. Напослетку паде му ово на памет.

Од свих небеских тела, посматраних са ураниенборшке звездаре, била су кретања планете 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 сё 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.

Усвајајући Коперникову основну замисао према којој Сунце стоји непомично, а планете га обилазе, нека нам у слици тачка S предочава тај стални положај Сунца, а нацртане две кружне криве нека нам претстављају путање Земље и Марса, при чему је спољна 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.



Сл. 10

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 Тихових података о положају Марса непосредно пре такве опозиције и иза ње могао се интерполацијом тачно одредити полажај 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 обилалажења 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 секунада. 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 Тихових посматрања и добио десетак 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 троуглы били су, додуше, различити, али су сви они имали једну заједничку страницу, 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 ураниенборшке звездаре према Сунцу и Марсу. Тај угао добивамо ако од тадање геоцентричне лонгитуде Марса одузмемо геоцентричну лонгитуду Сунца. Те лонгитуде могао је Кеплер, интерполацијом на временски тренутак положаја T' Земље, пронаћи из Тихових 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 геоцентричких лонгитуда Сунчевих при оним двама положајима Земље. Тако је Кеплер могао тригонометриским 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''' . . . 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 њиховом заједничком страницом M_0S, чију дужину је у своме цртежу произвољно одабрао. Трећи ћошак тих троуглова предочавао је положаје Земље који су одговарали десетини различитих положаја Земље у њеној путањи око Сунца. Тих десет тачака лежале су, како му се учинило, на једном кругу. Заиста, кад узе шестар у руке, успе да кроз све те тачке положи једну кружну линију. Центар тога круга није лежао у Сунцу.

Коперник 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 кад 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, положе ексцентрично око Сунца, иначе се израчунавања не могоше 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 темељу оваквих претпоставки, увек је било понеких размимоилажења. Тихо је мислио да та размимоилажења потичу од разних омашака посматрања. Али Кеплер, са својом педантеријом и темељитости, није се задовољио оваквим тумачењем. Његов проницљив геније шапутао му је да ту мора бити скривен други неки узрок. А сада увиде да се у томе преварио.

То беше велико разочарање, и он малакса духом. А било је и других разлога да га обесхрабре. Његова плата, далеко мања од некадање 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 сво то време размишљаше 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 остале опозиције у положајима M_1, M_2 . . . наше слике које су се десиле за време двадесетогодишњег 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 тих цртежа исту ону дужину за отстојање Марса од Сунца коју је употребио и у свом некадањем првом 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, подједнако претпостављено отстојање Марса од Сунца док, у свима цртежима, не доби један те исти пречник за Земљину путању. Онда пренесе, на једном новом листу хартије, та ново добивена, 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 Тихових 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 своме подухвату. Требало је извести математичке обрасце који су давали не само положаје Марса у његовој 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 значио 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 савршеним 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 необитности 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.

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

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

Радиусвектор 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 слутио да се небеска тела крећу по елитичним 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 Галилеји свој доглед и упро га према 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 увеличавања и јасније 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 непријатељ Галилејев, језуита Христоф Шајнер, (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 пега, које је Галилеју упропастило очни вид, учинио је Шајнер безопасним 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 уступио 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 дотадањем 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 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 doliorum 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 свјему делу „Mysterium cosmographicum" тражио такву везу, имајући онда у виду само појединa отстојања планета од Сунца. Његовим каснијим испитивањима планетског кретања ушао је један нови елеменат 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 од Сунца, постоји овај закон.

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

Другим речима, 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 copernicane". 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 наплатио 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 Пулкови која их стави тридесетак година штутгартском професору Фричу на употребу да приреди издање целокупних дела Кеплерових; оно је, под насловом „Kepleri 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 питање 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 емпириским путем, леже још у области кинематике, а изналажење заједничког узрока тог кретања проблем је динамике, науке којој је Галилеји положио темеље својим „Дискорсима“ године 1638. У том свом почетном стању, та наука није била дорасла да приступи оном новом замашном проблему који је решен тек Њутновим „Принципијима“ 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, основаног, 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 1666 године Колбер, просвећени министар Луја XIV, 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 но Кеплер. Његов отац Константин, класично образован, сачинитељ латинских поема, лични секретар трију узастопних принчева Ораније, властелин Зелема и Зујлихема, лично се бринуо за васпитање свог 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 ондашњег познатог геометричара Шотена бавио и математиком. Своју прву математичку расправу објавио је већ у својој двадесет и другој години. Године 1646 1648 провео је на Универзитету у Бреди, а 1655 добио докторат у А жеру, јединим универзитету Француске где су протестанти могли г лучити тај академски град.

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

Посматрајући и даље систематски Сатурна, Хајгенсу је пошло руком да објасни загонетну појаву његовог прстена. Чули смо да Галилеји бавио том појавом, али није успео да је објасни. Сатурн прстен, заиста, један од најчудноватијих објеката васионе, рој бе бројних чврстих тамних пратилаца планетиних, има ширину од к квих 50.000 километара, док је њетова дебљина од 300 километра н знатна према његовој ширини. Зато нам и изгледа као да је од ха тије, а када га, према промењљивим положајима Сатурна, гледа постранце, онда се и не види. Зато ни Галилеји, ни они астрономи ко су се после њега бавили испитивањем те чудне појаве, а то су би Гасанди, Ричоли, Грималди, Хевел и Доминик Касини, нису били н чисто о чему се ту ради. Хајгенс је, ако не материјалну структуру С турнова прстена, а оно његов геометриски облик објаснио сасвим пр вилно и то саопштио у својој расправи године 1659.

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

Тако се Хајгенс, већ у својим младим годинама, истакао као гени јалан проналазач и астроном, да би се убрзо после тога, као оно Арх медес, сасвим посветио чистој науци. У ту област одвело га је његов познанство са научницима и ученим друштвима, са којима је дош у везу на својим путовањима у Лондон и Париз. Када је године 16 боравио по други пут у Лондону, изабрало га је тамошње „Краљевск Удружење" за свога члана, а године 1665 доби позив да буде пра члан француске Академије која је била основана у оно доба. Он том признању и позиву одазвао и преселио се у Париз, где му је, згради краљевске библиотеке, уступљен стан. У Паризу је пров петнаест година, и својим чланством и радом подигао до високог ст пена научни углед младе Академије.

Својим главним делом тог периода његова живота које је имал наслов „Horologium oscillatorium", а које је штампано у Паризу 16 године, показао се Хајгенс као достојан наследник Галилеја у изград њи науке механике. Иако је, можда заостајао иза Галилеја ширино својих концепција, наткрилио га је својим изванредним математички талентом. То Хајгенсово дело отвара нову једну епоху у развитку м ханике. Из богатог садржаја тог дела, напоменућемо овде само он што је било од нарочитог значаја за развој астрономске науке. То с Хајгенсова испитивања о криволиниском кретању. Галилеји је пок зао да је свака промена праволиниског равномерног кретања које тела изазвана спољним утицајем који је, у проблемима којим се о бавио, био оличен силом теже. Полазећи од тог схватања, Хајгенс ј 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 тога 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 нимало 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 посмртним делима 1703 године.

У свом „Хорологиуму" решио је Хајгенс још многе друге проблеме механике: проблем математичког, физичког и циклоидалног 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 циклодалног 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 израз 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 „Traité de la lumière" садржана је позната Хајгенсова ундулациона теорија светлости, у опреци са Њутновом емисионом теоријом или, боље рећи, хипотезом како ју је Њутн сâм 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 свога 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 из 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, Гданском, каснијем Данцигу. Син богатог пивара, студирао је на Универзитету у Лајдену, а у астрономију га је увео већ његов први 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.

Хевел 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 Периналду код Нице, изобразио се за инжењера и постао професор астрономије на Универзитету у Болоњи. Већ пре свога доласка у Париз истакао се као астроном својим одређивањем ротација Јупитера, Марса и Венере и израчунавањем таблица Јупитерових сателита. Показао се достојан положаја 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 Јупитрових 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 физичаром 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 Јупитрове сателите, увиде њихову важност у морепловству за одређивање географских дужина, јер њихово кретање претставља тачни небески 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 Јупитрове око Сунца и путање сателита 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 његово 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 томе служили, тачно познате, та њихова мерења, прерачуната у километре, дала су за дужину квадранта Земљиног 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 Коломба и других великих морепловаца. Напредак астрономије и примена 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 точком 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 Снелиуса 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. Он је 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 Птолемајевог „Зборника" бави се опширније тим питањем. Онде он саопштава ово. Када димензије наше Земље нису бесконачно малене према отстојању уоченог небеског тела, као што је то случај са Месецом, 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 посматрачевог места које се, природно, може налазити само на површини Земље. То видимо јасно из приложене слике 11, где нам O претставља центар Земље, M место посматрача, a S уочену звезду. Раван $H_sH'_s$ положена хоризонтално кроз место M посматрача назива се привидним хоризонтом, а раван H H', паралелна равни $H_sH'_s$, 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.

Сл. 11

отступањем. Та паралакса једнака је нули када се уочена звезда налази у зениту, а највећа је када се звезда налази у хоризонту H_sH 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 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 Аристарховим 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 Птолемајевог „Зборника“ и Папосове „Математичке Збирке“ сазнајемо да се Хипархова метода не разликује принципијелно од Аристархове, већ само тачнијим резултатима мерења. Њима је Хипархос нашао да је паралакса Месеца $\pi_0 = 57'$.

Птолемајос 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 у обзир 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.

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

Године 1650 измерио је Белгијанац Ванделен 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 89^0 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 5^0 северне ширине, а на 52^0 западне дужине, врши астрономска посматрања планете Марса, истовремено са таквим посматрањима у Паризу.

Рише 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 упоређена 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 надмашавало све дотадање преставе.

Усвајањем Коперниковог сисетма 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 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 његова 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 I и индепенданата Кромвелових, и преживео шест владара. Цео живот Њутнов одиграо се у три вароши Енглеске и њихове најближе околине, у варошици Грентему грофовије линкншајрске, у универзитетском граду Кембрицу 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 једноспратном 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, двема 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 газдовању. 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, после поново у Грентем да се онде припреми за универзитетске студије.

Јуна месеца 1661 године, Њутн је примљен у Тринити-Колец Универзитета у Кембрицу, где је и 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 кембрицком 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 колеца, из школске стеге и њених уских скамија, избледео и преморен, дошао је Њутн у топло крило своје породице, у свеж ваздух и широки хоризонат 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 стилом. Изучио је Еуклида који му оста узором научног 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 Аполонијевих, 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 своје властите, циновске снаге. Генију, какав је био Њутн, није остало незапажено 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 ишчуђавао 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 кад се, употребом слова за опште бројеве развила алгебра и кад 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), Роберval (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 били 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, геометриско оличење функције $f(x)$. Њутн није при првом свом подухвату пошао од таквих геометриских 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, праволиниско кретање какве материјалне тачке. Означимо ли са y пут што га она превали 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 континуирна. Онда је јасно ово. Пут превољен 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 превољени 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 континуирно, но иначе по произвољном закону, то ће се и њена брзина мењати, од момента до момента континуирно, 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 $h = o$, 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. Учинимо то и ми.

У првом од тих проблема, где је било

$$f(x) = vx$$

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

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

дакле сталну брзину равномерног кретања.

У другом проблему где је било

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

добивамо

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

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

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

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

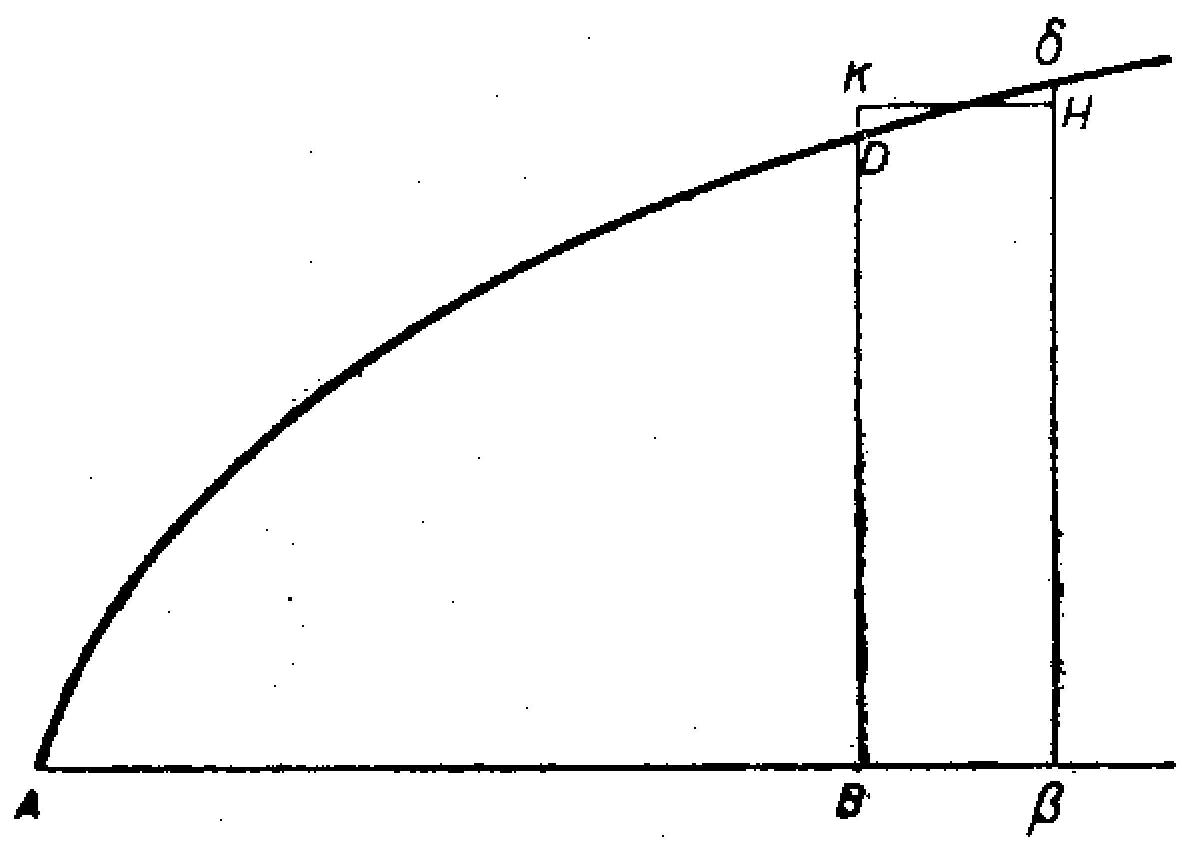
а то је основни образац диференцијалног рачуна. Данас место $\dot{y}$ пишемо $\frac{dy}{dx}$ или $f'(x)$; исто тако не називамо ту величину флуксијом, већ диференцијалним квоцијентом или изводом. Но то је само различит начин обележавања и називања. У осталом, Њутнов начин обележавања извода са тачкицом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

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

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

претставља, као што је лако увидети, тангенс угла што га са апсцисном осом затвара тангента криве у тачки $y = f(x)$. Тако је Њутн општим једним правилом решио и тангентни проблем, па и друге проблеме аналитичне геометрије. Јасно је, например, 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 Њутнових дела.



Сл. 12

Та слика предочава једну произвољну равну криву ADδ која у тачки A пресеца апсцисну осу Aβ.

Одаберимо тачку A за почетак координантног система и узмимо да је

$$y = f(x)$$

једначина криве ADδ, онда је, пре свега,

за x=o y=o.

Површина $F(x)$ захваћена кривом AD, ординатом $DB = y$ и апсцисом $AB = x$ претстављена је, према нашим садањим означењима 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 = o.

Нека нам у приложеној слици дуж Bβ 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 Dϱ уочене криве, у правоугаоник BβHKB, базе Bβ = в, 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 $b \doteq KB$ 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. Одређивање 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 претходних 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 геометриски 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 есенцијелно и принципијелно и да на тај начин својим рачуном флуксија, како га је он назвао, положи темељ инфинитезималном рачуну. То је, у главном, урадио још док је боравио у Улздорпу.

Изгледа скоро несхватљиво како је младић од двадесет три године својим мисаоним погледом допро 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 јужном 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 стакала, Њутн јој је дао правилан геометриски облик. Онда је у својој соби, која је гледала према југу, затворио капке њених прозора и пробушио у њима само једну округлу рупу. Снопић 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 тога 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 хемиским 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 најмању 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 добио опет белу боју. Исти ефекат добио је кад је то сочиво заменио једном призмом која је била потпуно једнака оној првој призми, но била намештена у обрнутом положају. Напослетку 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 се 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 следовању у око и изазивале ут сак беле боје.

Овим својим испитивањима показао се млади Њутн, који је у св јим зрелим годинама надмашио све теоретичаре, и као експеримента тор првог реда.

За време свога боравка у Улздорпу, некако у јесен 1666 годин синула је Њутну прва замисао његовог најзначајнијег сазнања, пој гравијације. О томе како је на ту замисао дошао, извештава нас под робније издавач трећег издања Њутнових „Принципија" Пембертон а и француски филозоф Волтер кому је о томе причала сестричин Њутнова, госпођа Кондуит, па то причање не можемо сматрати за л генду. По њему је Њутн дошао до прве идеје о узајамним привлач ним дејствима небеских тела, када је, седећи у своме врту, видео как је једна зрела јабука пала са стабла на тле. Запитао се због чега ј пала, па када је одговорио да је то било услед силе теже која јој ј дала убрзање наперено ка центру Земље, запитао се докле сиже т привлачна сила теже, која се испољава и на највишим Земљини бреговима. Напослетку се запитао да ли дејство теже сиже до само Месеца.

Ово питање које нико пре њега није поставио, довело га до ново још замашнијег питања: Није ли дејство теже она сила која присиља ва Месец да кружи око Земље?

Тиме је Њутн поставио и формулисао велики један проблем, ко смичког значаја. Приступајући његовом решењу, нашао се на потпун неиспитаном земљишту, јер тадања наука о кретању тела није јо била дорасла до решавања таквих питања. Ту способност постигла ј 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, мор на њега дејствовати нека беспрестана сила наперена према центру т путање.

Убрзање што га та сила без престанка додељује том покретно 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 го дина иза како је Њутн поставио свој проблем. До првог од ових дваj сазнања дошао је Њутн већ при самом постављању свог проблема, н он је при његовом решењу дошао и до оног другог. Којим путем, н зна се. О томе су могућа само нагађања. Он се, као што смо већ рекли већ у првим применама свог рачуна флуксија, бавио и проблемом кри вине равних крива и о томе питању, написао своју расправу из годин 1671. Она је по сачуваном рукопису објављена тек после Њутнове смр ти, године 1736. Ако је Њутн године 1666 имао прве појмове о радиус кривине, могао је до предњег обрасца доћи на овај начин.

Најједноставнији пример за израчунавање радија кривине је слу чај параболе. Радиус кривине у њеном темену једнак је њеном пара метру. Према испитивањима Галилејевим, која су Њутну била по знатa, тело бачено у хоризонталном правцу почетном брзином v описује параболу параметра $\frac{v^2}{p}$ где је p акцелепција Земљине теже. Ако је та почетна брзина толика да би параметар параболе 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 претпоследњи, тј. Хајгенсов образац.

Ово је само један пример како је Њутн могао доћи до тог обрасца. Но, било тим путем или друкчије, 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

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

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 путањима, 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,

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

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 наперено̂м 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 кружнима. 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 једном од другога, 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 распростирања 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 обсраца. 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

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

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 узе, као што то чињаху географи и мореплловци, 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 $T = 27d\ 7h\ 43m$. 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 analysi per aequationes" у којој саопшти своју познату општу биномијалну теорему и неке основе свог рачуна флуксија. 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, посредник између њих. Своју пошиљку пропрати Баров писмом у коме рече да је писац расправе, додуше, још веома млад, тек од две године амо магистар, али човек изванредне генијалности. Упркос ове препоруке, није Колинсу успело да се расправа објави, било у публикацијама Краљевог 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 још једна Њутнова расправа „Methodus fluxionum", 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 развитку 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, конструкцијом 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. Конкавно огледало, 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 окулара. 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, заменио конвексним огледалцем, смештеним иза те жиже. Њутн је, да се велико огледало не би морало бушити, сместио у цеви догледа једно мало равно огледалце, нагнуто према оси цеви под углом од 45^0. Оно је ту слику бацало пострани це 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 таков доглед и поклонио га Краљевском Удружењу. Он се налази још и 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 двадесетдеветом годином, примљен у круг најученијих људи Енглеске. Нема сумње да је у том његовом одликовању имао удела његов заштитник Баров, исповедник краљев. Но 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 једној 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 упутио 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 одобравањем, 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 ундулационе теорије светла, и 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 растумачена. 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 драгоцено 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 у будуће не прави никакве хипотезе, да за објашњење природних појава не дозволи више узрока но стварних и довољних за то објашњење. Једнаким дејствима треба, у колико је то могућно, 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, у колико 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 покорава 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 тело подлежи, према свом отстојању од средишта Земље, различитом убрзању, па због тога има и различиту тежину. Зато је увео појам масе која је, као стварно обележје тела, непроменљива. Тиме је одвојио 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 дејство магнета итд. При томе није потребно упуштати се у хипотезе о природи тих сила, о њиховим скривеним узроцима, 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 открио је код Галилеја појам инерције, али је испредњачио испред свог претходника тиме што је закон инерције општије схватио, његов значај увидео и дао му овај класични облик:

„Свако тело остаје у своме стању мировања или равномерног праволиниског 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 је 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 величину, своју оријентацију у простору и свој смер, она је управљена величина. Све то долази до јасног изражаја у Њутновом објашњењу овог закона, где показује 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 геометријским, синтетичким, 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 флуксија захтевала знање тог новог језика, још недовољно развијеног и зато неубедљивог. 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 геометриских фигура које ју јасно предочавају. Још у другој половини деветнаестог века истицао је то мишљење одлични немачки научник Вилхелм Шел. Тек пред крај тога века, када се развила 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 новим рачуном. Он је, истина, његове основне инфинитезималне идеје које су га, као што то стоји уклесано и на његовом надгробном споменику, довеле до његових великих проналазака, укратко и нузгред изложио у своме делу, али се није служио ни називима, ни обележавањима свог рачуна флуксија, већ језиком класичне геометрије.

Њутн је написао своје дело латинским језиком и илустровао га фигурама 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, у ствари, 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 следују тумачења да материја има способност да се одупире, због чега свако тело, у колико то зависи само од њега, остаје у стању мировања или равномерног праволиниског кретања, а сила је оно дејство које то стање мења.

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

Изражавајући ово нашим садањим 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 схватио 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 скаларнима или овом векторском једначином:

$$\mathfrak{F} = \frac{d(n\mathfrak{v})}{dt}.$$

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

$$\mathfrak{F} = m\,\dot{\mathfrak{v}}$$

То је основна једначина кретања материјалне тачке и наше данашње механике. Она изражава не само други аксиом Њутнов, већ и први, јер кад је $\mathfrak{F} = 0$, онда је $\mathfrak{v}$ један константан вектор тј. материјална тачка се креће праволиниски равномерно. Са та два Њутнова аксиома, са његовим трећим аксиомом и науком садржаном у његовом делу могућно је, као што је Ернст Мах утврдио, прозрети, без употребе каквог другог аксиома, сваки практични проблем механике, па припадао он статици 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 распростирања, периоде и таласне дужине трепеерења. Теорија је примењена на водене и на звучне таласе и нађен израз за брзину распростирања 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 супротстављају кретању. Због тога његово дело оправдава у пуној мери свој широки наслов.

Но далеко значајнија је 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 садањим 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 $\mathfrak{r}$ вектор положаја уочене материјлане тачке на коју дејствује та сила, онда ће једначина кретања те материјалне тачке бити

$$m\dot{\mathfrak{v}} = F(r)\,\mathfrak{r}_0,$$

где r означава модуо вектор положаја $\mathfrak{r}$, а $\mathfrak{r}_0$ његов јединачни 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 $\mathfrak{r}$, то ће њена десна страна бити једнака нули, пошто је $[\mathfrak{r}\mathfrak{r}_0]$, као производ двају колинеарних вектора, једнак нули. Зато добивамо

$$[\mathfrak{r}\dot{\mathfrak{v}}] = 0.$$

Како је

$$\frac{d}{dt}[\mathfrak{r}\mathfrak{v}] = [\mathfrak{r}\dot{\mathfrak{v}}],$$

дакле

$$\frac{d}{dt}[\mathfrak{r}\mathfrak{v}] = 0,$$

то значи да је

$$[\mathfrak{r}\mathfrak{v}] = \mathfrak{C},$$

где $\mathfrak{C}$ означава један константан вектор независан од времена. Лева страна предње једначине претставља двоструку секторску брзину уочене материјалне тачке; та секторска брзина је непромењљива.

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 о сталним равнима, Њутн је изразио 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 геометриским методом. Применом векторског рачуна долази се, као што се то учи у курсу Небеске механике, брже до истог резултата да је убрзање $_r$ што га та централна сила додељује покретном телу дато овим изразом:

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

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

Применимо сада добивене резултате на кретање планета које се крећу по Кеплеровим елипсама 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 радиусвектор повучен од Сунца до планете целу површину πab ограничену елипсом планетине путање. Зато је двострука секторска брзина C уочене планете претстављена изразом

$$C = \frac{2\pi a b}{T},$$

а како је параметар елипсе дат изразом

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

то добивамо, стављајући ова два израза у претходну једначину

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

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 геометриским расуђивањима дошао до ове једначине која нам казује ово.

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

Довде се Њутново расуђивање разликује од оног 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 коничан 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 своме 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 тадањи 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 резултати 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 некадањи 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

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

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 се располагало. 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 $r = 60\ R$; $T = 27\ d\ 7\ h\ 43\ m$.

Упоредивши нови податак за R са својим некадањим, Њутн је, бацивши поглед на свој образац, увидео да ће сада доћи до много бољег резултата рачуна но пре. То га је толико узбудило да није био у стању да изврши предњу супституцију. Тај посао је поверио једном свом 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 и за кретање 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 Њутнову 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 једну константну f дефинисану једначином

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

тј. обрасцем

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

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 тога 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 праву тих делића, а има интезитет пропорционалан производ маса m_1 и m_2 тих делића, а инверзно пропорционалан квадрату њиховог отстојања r.

Величина P те силе претставља 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 законом универзалне гравитације.

Из Њутнова закона гравитације следовала су нова сазнања. Многе, дотле необјашњење 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 опште 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 његову каснију примену и усавршио оруђе потребно за њу. Због тога је обратио нарочиту пажњу централним силама, и то баш онима који су инверзно пропорционалне квадрату отстојања.

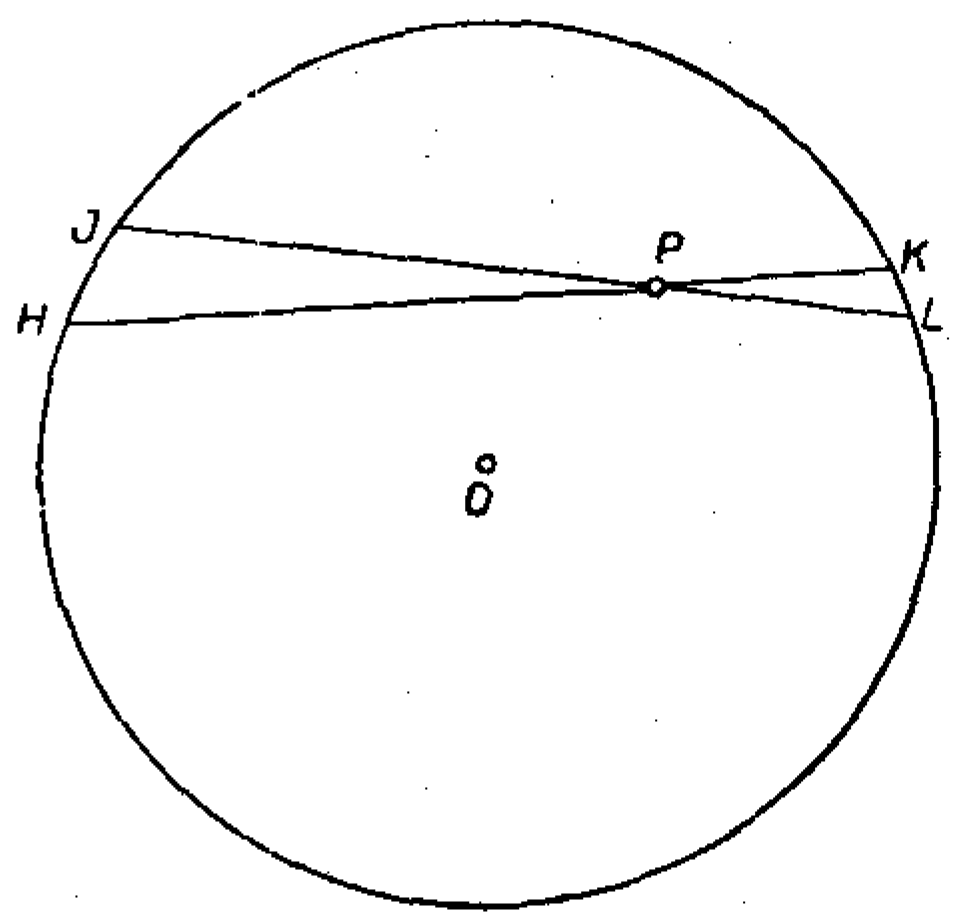
Дванаести одељак прве књиге Њутнових „Принципија“ бави се атракцијом сферних тела, уз претпоставку да та атракција дејствује обрнуто квадрату отстојања. У самом почетку тог одељка доказује Њутн ово.

Нека нам круг HJKLH, слика 13, претставља пресек сфере положен кроз једну произвољну тачку P њене унутрашњости и кроз њен центар O. Та сферна површина нека буде равномерно обложена материјом, тј. нека претставља хомогену материјалну сферну љуску константе 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 $\rho\Delta f_1$. Пројицирајмо кроз тачку P ту малу површину на супротну страну HJ сфере и означимо површину те пројекције са Δf_2 На њој је нагомилана маса $\rho\Delta f_2$.

Сужавамо 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

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



Сл. 13

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

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

Но како се површине df_1 и df_2 односе 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, а који 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 P 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 густине. Замишљајући је састављену из безброја хомогених сферних љусака, долази се лако до закључака да је њено привлачно дејство на материјалну тачку Р 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, заменио 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 кад би целокупна њена маса М 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 садање 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 мировања или кретања међусобним дејством тих тела; зато ће оно (искључујући дејство спољних 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 планете толико малена према маси Сунца да се $(M+m)$ може заменити са M.

Да то занемарење није учинио, Њутн би место једначине

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

коју је извео уз претпоставку да Сунце мирује, добио једначину

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

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

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

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 Јупитра, Сатурна и Земље ове бројеве·

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

Иако у оно доба паралакса Сунца није још била тачно одређена, Њутнов рачун за масе двеју највећих планета, Јупитра 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, бацио планете на кантар, следовала су нова сазнања. Њутнов рачун је показао да су масе планете, све од реда, врло малене према маси Сунца, па је због тога њихово узајамно привлачно дејство незнатно, тако да је годишњи ход сваке појединe планете скоро сасвим такав као кад 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 поремећаје у близини њихове конјукције, а да Сунце знатно поремећава кретање Месеца око Земље. Испитујући те поремећаје, Њутн је објаснио неке последице њихове које су, под именом неједнакости, биле утврђене још пре њега посматрањима, 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 и 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 никада 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. Најзначајније 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 двема 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 Месец.

Чули смо већ како су Хајгенс и Њутн центрифугалном силом и спљоштеношћу Земље објаснили зашто је Ришеов часовник ишао различито у Кајени и у Паризу. Хајгенс је ту спљоштеност израчунао на тај начин што је Земљину тежу, узео спочетка као константну на површини Земље, па је затим умањио 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 $\lambda = {}^1/_{298}$.

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 долази у обзир за објашњење померања њене осе у простору, онда нам преостаје 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 прецесије. У тој појави прецесије 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 прецесије; 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 за каквих 18 година потпуно једно обилажење, следоваће из тога и периодични поремећај оријентације Земљине осе исте 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 још и данас употребљава за елементарно тумачење те појаве. Том својом „статичком“ теоријом објаснио је Њутн основне појаве њене, удео Сунца и Месеца, плимине главне периоде и неједнакости, њене екстреме у доба сизигија 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 плиме 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 поменуту комету посматрао од 12-XII-1680 до 5-II-1681. Њутн ју је посматрао од 25-II-1681 до 9-III.1681. Лични удео Њутна у тим 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 напоменутог 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 незнатно разликују од парабола. Из тога је следовало, а то су потврдила сва 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 геометриски 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 њених 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. Тим питањем обратио се године 1684 Њутну, а овај му саопшти већ готово решење тог проблема и стави му га на расположење.

Са тим оруђем у рукама могао 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 Њутновом 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. Резултате тих својих израчунавања саопштио је 1705 године у „Трансакцијама" Краљевског Удружења под насловом „Astronomiae cometicae Synopsis". Из табеларног прегледа елемената путања разних комета следовало је да комете посматране у годинама 1531, 1607 и 1682 имају скоро сасвим једнаке 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 подједнако заплашила и турску и хришћанску војску Сибињанин Јанка које су се ту бориле.

Служећи се том, астрономски и историски утврђеним периодом, могао је Халеј да претскаже да ће се та комета појавити на небу, и 1759 године, што се, заиста и 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 да 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 од 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 упути Краљевском Удружењу

На значајној седници тог Удружења од 28 априла 1686 године реферисао је о Њутновом делу доктор Винцент, а на седници од 19 маја решено је да се оно штампа о трошку Удружења. Старање о штампању би поверено 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 васиона, 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 претставља, још и 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 човечанске. Оне се разликују од способности осталих људи само својим интензитетом и њиховом савршеном хармонијом; у генијалној личности остварено је њих више и изванреднијих. Главна од њих је генијална интуиција, видовитост, која сиже 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 довољно 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 рационалну механику. И у том послу је Њутн, својим широким филозофским схватањем, 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 самога 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 признање 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. Оставио их је да леже, необјављени, у фијоци његовог писаћег стола. 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 научничке делатности преживи за пуних четрдесет 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, из године у годину, за свог претседника. 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 фуната. Но за све ово време не написа он ништа што би се могло упоредити са његовим главним делом; ограничио се на публикацију својих дотле необјављених 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 севтлости. 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 свакаом 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 зато 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 отсуства 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 Лубенијец, велики немачки филозоф, који се од године 1676 са великим успехом бавио и проблемима инфинитезималног рачуна; оспорио је Њутну приоритет у 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 ту 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 првих Њутнових радова о теорији флуксија и из њих добио идеју и потстрек 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, а то би било довољно да му осигура његов знатан удео у истраживању 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 Кенсигтон, у околини ондашњег Лондона, али је до пред своју смрт претседавао седницама Краљевског Удружиевења. 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 краљева, Вестминстерској опатији, уз почасти које се, иначе, чине само члановима краљевске породице.

РЕГИСТАР ИМЕНА

САДРЖАЈ: