

КОРОТКИЙ НАРИС РОЗВИТКУ НАУКИ ПРО КОСМОС

І.А. Астапович

(З книги «Астрономія. Посібник для вчителів». За загальною редакцією проф. Ш.Г. Горделадзе. В-во „Радянська школа“. Київ. 1972, С. 376)

Астрономія — найдавніша з усіх наук; вона виникла з потреб первісної людини, яка помітила, що пори року, від яких залежало її існування, змінюються залежно від положення Сонця і вигляду зоряного неба. Спостерігаючи з року в рік висоти Сонця в полудень і положення тих чи інших груп зір, людина узгоджувала з ними свою господарську діяльність. Це стало особливо необхідним з розвитком хліборобства і скотарства. Ось чому Ф. Енгельс, говорячи про розвиток природознавства і встановлюючи зумовленість розвитку наук виробництвом, зазначав, що астрономія була однією з перших наук у процесі їх виникнення. Зображення на скелях Сонця, Місяця, семи зір Великої Ведмедиці та ін. належать до кам'яного віку.

Для обчислення проміжків часу, коротших за рік, але довших за добу, зручний був Місяць з його фазами. Оскільки місячний місяць (наприклад, від новомісяччя до наступного новомісяччя) триває 29,53 доби, то кожна з чотирьох фаз триває близько 7 діб. Звідси виник тиждень у 7 днів, кожний з яких був присвячений якій-небудь планеті.

Вже за часів Римської імперії місяці року мали свої назви. Оскільки у римлян рік починався з березня, а Римська імперія була військово-феодальною державою і римським богом війни був Марс, то перший місяць календаря було присвячено Марсу, звідки й походить його назва «март». Другим місяцем був «апрель» (від слова *aperire* — відкривати). Тут мається на увазі весняне квітіння природи. Наступний місяць був присвячений богині весни Майї, а той, що йде за ним, — богині врожаю Юноні. П'ятий і шостий місяці року спочатку називалися квінтіліс і секстіліс. Проте після смерті Юлія Цезаря, який упорядкував календар і запровадив новий (Юліанський) стиль, римський сенат постановив називати п'ятий місяць «июль» (Julius). Октавіан Август, що правив пізніше, наказав називати шостий місяць своїм ім'ям. Дальші назви: «сентябрь», «октябрь», «ноябрь», «декабрь» — це латинські порядкові числівники сьомий, восьмий, дев'ятий і десятий. «Январь» було присвячено богу Янусу, а походження слова «февраль» не з'ясовано.

На Русі як день, так і ніч поділялися на 12 однакових частин. Оскільки тривалість дня і ночі була неоднакова в різні пори року, то розрізняли «годину денну» і «годину нічну».

Багато народів ще в давнину помічали благотворний вплив Сонця на розвиток життя на Землі, тому з розвитком релігії поклонялися Сонцю, а також Місяцю, планетам і зорям. Приклади поклоніння планетам і обожнювання їх ми вже бачили. Іноді з неба падали метеорити, звідси робили висновок про існування «тверді небесної», не дуже товстої, якщо вона могла тріскатися.

Падіння метеоритів супроводилося гуркотом і утворенням туманної смуги — метеорного сліду, що

поступово розвіювався вітром. У перші моменти ця смуга має вигляд застиглої блискавки, тому вона наводила стародавніх людей на думку про тріщину в «тверді небесній», крізь яку просвічує «гірське світло». Так виникло біблійське уявлення про рай і про твердь небесну, крізь отвори якої просвічують зорі. З цього світлого раю були скинуті на Землю Адам і Єва, як падаючі зорі. Так виникло уявлення про небесних драконів на Сході і про зміїв-гориничів на Русі («горе» — «по-слов'янському означає «вгорі»), що пролітають з гуркотом по небу.

Не дивно, що метеоритам, конкретним «представникам неба», також почали вклонятися, будувати в їх честь храми тощо. Всім відомий культ метеорита «Чорний камінь» в Каабі і в Мецці, якому вклоняються мусульмани. В Середземномор'ї в II ст. н. е. було принаймні 30 храмів з метеоритами. Наприклад, Артеміда-Діана у Перзі, Паллада у Трої, Венера Кіпрська і Діана Ефеська були не статуї богинь, а метеорити, яким вклонялися. Імператор Бассіан з величезною пишністю перевіз до Риму сирійський метеорит Елагабал і сам оголосив себе його головним жерцем, а інших римських богів — міністрами Елагабала.

На честь метеоритів не раз виготовляли різні медалі, наприклад, у II ст. н. е. їх робили Траян, Антоній Пій та ін. Щоб умилювати небо під час метеорних дощів, правителі оголошували державні амністії ув'язненим. Сонячними затемненнями, так само як і падіннями болідів і метеоритів, церква страхала людей, оголошуючи їх знаменами неба, що послані богом нібито за гріхи людей. До таких «знамень неба», особливо грізних, належали і комети.

Ще в найдавніші часи в головах жерців, які були не тільки служителями культу, а й хранителями знань, виникали уявлення про тісний зв'язок між подіями на небі і подіями на Землі. Так виникла лженаука астрологія. Астрологи вважали, що долю держав, а також правителів, можна визначити наперед, якщо вивчити розміщення і рух певних небесних світил.

Жерці-астрологи склали різні правила, за якими, залежно від розміщення планет і зір, робили відповідні «завбачення», записані у формі так званих гороскопів; тут було багато хитрощів, фантазії і обережної улесливості.

Звичайно, астрологія, подібно до алхімії, не мала наукового значення, але сприяла розвитку астрономічних спостережень, їх нагромадженню і збереженню протягом віків, а також розвитку літочислення.

Регулярні астрономічні спостереження почалися за часів наступника засновника Китаю Шін-Нунге, що вступив на престол близько 3253 р. до н. е. Приблизно до 3000 р. до н. е. належить згадка про сузір'я Тельця як першого знака зодіаку («кола звірів» з 12 сузір'їв, через які проходить Сонце протягом року). Точка весняного рівнодення через 2000

років внаслідок прецесії перейшла в сузір'я Овна, тому її почали називати «точкою Овна». Тепер вона перебуває в сузір'ї Риб.

У 2782 р. до н. е. в Єгипті зійшов на престол цар Ассез, який ввів єгипетський календар. Пізніше було запроваджено імператором Гоанг-ті китайський календар. Цей місячний календар застосовувався аж до початку ХХ ст. Гоанг-ті відкрив 19-річний цикл повторення затемнень, знайдений лише через 2000 років Метонем у Греції.

До 2306 р. до н. е. належить одна з найдавніших книг Китаю, що дійшла до нашого часу. Тут згадуються Плеяди, зорі Гідри, Скорпіона і Водолія, причому найяскравіші зорі неба вже дістали власні імена, були відомі 5 планет, небесну сферу вже вкривали сузір'я (відмінні від сучасних). Спостереження проводилися за допомогою інструментів, рік дорівнював 366 добам, причому китайці знали, що потрібна поправка цього значення.

Близько 2120 р. до н. е. будували піраміду Хеопса, вузький вхід до якої зорієнтувати точно на Полярну зорю, якою в той час була Дракона. У 2120 р. до н. е. у Вавілоні спостерігали зорю Капеллу з тим, щоб виробити календар; астрологічні спостереження тут провадилися ще в 2500 р. до н. е. за царя Лагаша Гудеа. До нас дійшла поема з 12 пісень про Гільгамеша, кожна з яких була присвячена одному знаку Зодіаку.

На межових каменях висікали зображення Сонця, Місяця, Венери і ряду сузір'їв, наприклад Козерога. Під час розкопок на місці стародавньої столиці хеттів у Малій Азії виявлено цеглини з назвами Плеяд, Оріона, Орла, Риб, Скорпіона та зір Альдебарана, Сіріуса, Фомальгаута.

Місячний місяць та семиденний тиждень у Вавілоні знали не менш як за 42 століття до наших днів. Близько 1800 р. до н. е. єгипетський фараон Озумандіас побудував собі у Фівах гробницю, що містила бібліотеку і обсерваторію з золотим кільцем завдовжки 365 «ліктів», тобто близько 100 м; на цьому кільці були позначені всі дні року, схід і захід світил для кожного дня. Під час завоювання Єгипту Камбізом це золоте кільце розбили і пограбували.

Близько 1700 р. до н. е. на череп'яних табличках царя Сарюка академіською мовою було записано спостереження планети Венери, «володарки небесних укріплень». Одного разу у Вавілоні виявили потрібне з'єднання Сонця, Місяця і Венери; сучасні обчислення показують, що це сталося 25 грудня 1641 р. до н. е.

Після 2000 р. до н. е. Вавілон досяг найвищого розквіту. На цей час припадає спостереження Венери, що мала вигляд серпа. Тому Венеру зображали знаком півмісяця і вважали її сестрою Місяця, за що і вклонялись їй особливо. Завдяки ясному небу Месопотамії вдалося навіть розглянути чотирьох супутників Юпітера («Мардука» у вавілонян), а Сатурн з його кільцями малювали у вигляді ока видовженої форми. З часом ці чудові спостереження були забуті.

Ієратичний папірус лєнінградського Ермітажу «Казка про людину, що зазнала корабельної аварії» на-

писаний близько 2000 р. до н. е. і містить першу відому нам згадку про падіння зір. Близько 1770 р. до н. е., можливо, спостерігалась комета за кілька тижнів до нижнього сполучення Венери. Близько 1700 р. у книзі ідумеянина Іова згадуються Плеяди, Оріон, Велика Ведмедиця і Дракон. Близько 1200 р., коли в Греції аргонавти готувалися до походу на Трою, для них, як кажуть, Харон розписав фігурами сузір'їв небесний глобус.

У 1100 р. в Китаї Чу-конг за допомогою гномона виміряв нахил екватора до екліптики, який тоді дорівнював $23^{\circ}54'$. Цей нахил повільно зменшується і тепер становить $23^{\circ}27'$.

Наприкінці другого тисячоліття до н. е. над стародавньою Грецією з півдня на північ пролетів метеорит, що впав на півночі і залишив яскравий слід; ця подія породила відомий міф про сина бога Сонця Фаєтона. До речі, біблійський апостол Петро по-грецькому означає «посланець бога — камінь».

В «Іліаді» та «Одіссейі» Гомера згадуються Плеяди, Гіади, Оріон, Волопас з Арктуром і Сіріус. У стародавній Галлії, Китаї та Японії чеканили монети із зображеннями зодіакальних та інших сузір'їв, причому такі монети не були особливою рідкістю. Такі самі зображення є, наприклад, на зброї, посуді того часу; відомий імператорський кубок з Китаю з зображенням Великої Ведмедиці, а також чаша (I ст. до н. е.) з сучасної Туркменії із зображенням комети чи боліда з хвостом.

У XIII ст. н. е. китаєць Ма Туан-лін написав енциклопедію, в якій є список 1500 болідів за 26 віків і каталог комет, перша з яких з'явилась у 611 р. до н. е.

28 травня 585 р. до н. е. під час війни лідійців і мідян відбулося сонячне затемнення; це затемнення завбачив Фалес з Мілету, який користувався відкритим халдеями періодом у 18 років і 10 днів (або 11, залежно від числа високосних років), після якого затемнення повторюються. Цей період називався сарос («повторення»), а потрібний сарос, коли затемнення повторюються з точністю до 2 годин, у Греції назвали е к з е л і г м о с о м.

Близько 500 р. до н. е. Піфагор та його учні, а також Нікітас у Сіракузах, філософ Філолай, Геракліт Понтський і Екфлій уперше висунули гіпотезу про рух Землі навколо Сонця, а у IV ст. Арістотель, у III ст. Арістарх Самоський і Архімед обговорювали питання про річний рух Землі навколо Сонця і добовий — навколо її осі. У I ст. н. е. Плутарх і Сенека, у II ст. — Птолемеї, у III ст. автор енциклопедії Зогар і в V ст. індійський астроном Аріабхата також схилилися до геліоцентричної системи, про яку здогадувалися ще єгипетські жерці, а можливо й халдейські. Проте вони приховували це від народу, можливо, побоюючись, що їм не повірять.

У 370 р. до н. е. Евдокс склав найдавніший список сузір'їв і зір, який дійшов до наших днів і тепер загальноприйнятій. Перший каталог у Китаї склав у IV ст. до н. е. Ші Шень; у ньому описано 122 сузір'я і 809 зір. Пізніше, в 127 р. до н. е. Гіппарх перелічив і описав 1026 зір. До 48 сузір'їв, що їх наводить Птолемеї, згодом було додано ще 40, і тепер їх всього 88. Крім історичного значення, сузір'я полегшують

орієнтування на небі і корисні в мнемонічному відношенні.

Між VI і III ст. до н. е. астрономія Вавілона досягла значних успіхів у завбаченні місячних затемнень (ці затемнення відбуваються вдвічі частіше, ніж сонячні, і видно їх на всій половині Землі), Спостереження місячних затемнень у Вавілоні дали змогу встановити їх періодичність. Протягом наступних 2—3 століть вавілонські жерці-халдеї користувалися координатами — широтою і довготою,—причому 1° становив $1/360$ частину кола екліптики. Цей градус внаслідок прийнятої у Вавілоні шістдесяткової системи числення поділили на 60 менших частин (хвилини дуги), а ті в свою чергу ще на 60 дрібніших (секунд). Такі координати застосовувалися для розрахунків положення планет, тобто для створення планетних таблиць.

У Єгипті щорічні розлиття Нілу спричиняли необхідність щоразу виконувати землемірні роботи, що дало поштовх до розвитку геометрії (у перекладі «землемірство»). Тому рік у Єгипті був сонячний, а не місячний, і складався він з 365 днів. Близько 300 р. до н. е. момент початку розлиття — 22 червня — співпадав з появою Сіріуса на світанку; тому такий схід називали г е л і а к і ч н и м. У 2000 р. до н. е. геліакічний схід Сіріуса відбувся 30 червня.

В Єгипті астрономія досягла високого розвитку, залишаючись наукою жерців, що оберігали її секрети від народу для власного звеличення. Наприклад, жерці встановлювали дні різних свят, що безперервно змішувалися внаслідок неточності календаря. Коли фараони спробували внести реформи календаря, то натрапили на опір жерців. Єгипетські 12 місяців мали по 30 днів; решту 5 днів згодом греки назвали е п а г о м е н а м и і вважали їх святковими.

У Китаї з 350 р. до н. е. вважалося, що рік дорівнює 365 днів і починався він восени з геліакічного сходу Спіки (Діви). У 104 р. до н. е. відбулась конференція астрономів Китаю з питань календаря. Починаючи з цього року календарі систематично публікувалися.

Синодичні роки планет від Меркурія до Сатурна в ту епоху в Китаї вже були відомі з точністю до частин доби. При цьому був помітний вплив вавілонської і навіть грецької астрономії.

Від середньовічного Китаю збереглися багато спостережень комет, метеоритів і нових зір. Наприклад, каталог траєкторій болідів XI ст. містить близько тисячі спостережень, таких, що їх вдалося опрацювати в наш час; виявилось що в 989, 1066, 1145 і 1301 роках спостерігали не різні комети, а одну періодичну комету Галлея. Протягом 20 століть було здійснено спостереження кількох десятків нових зір.

В Греції математик Аполлоній Пергський, засновник теорії конічних перерізів, близько 230 р. до н. е. вперше згадував про те, що видимі рухи планет геометрично можна уявити як рух планети по малому колу (епіциклу), центр якого рухається по великому колу (деференту). Грецьких учених на цю думку навело вчення Геракліта про те, що Меркурій і Венера описують кола навколо Сонця, яке, за тодішніми уявленнями, обертається навколо Землі. Птолемей розвинув далі це вчення. Отже, нерегулярні рухи планет уперше дістали задовільне пояснення в теорії

епіциклів і деферентів, завдяки чому стало можливим завбачати рух планет. Можливо, в 129 р. до н. е. Гіппарх помітив, що сонячне затемнення того року було повним у Гелеспонті, а в Александрії Сонце було закрито тільки на 0,8. Звідси він зміг визначити паралакс Місяця, знаючи відстань між цими двома пунктами (бо Місяць ближче до Сонця).

Ератосфен, за походженням грек, що проживав у Єгипті, дізнався, що коли Сонце відбивається в колодязях Сієни (тепер Асуан), то в Александрії воно міститься від зеніту на $1/50$ частину кола. Оскільки обидва ці пункти розміщені майже на одному меридіані, а караванний шлях між ними дорівнює 5000 стадій, то звідси він зробив висновок, що повне коло Землі має $5000 \cdot 50 = 250\,000$ стадій. Якщо вважати, що довжина стадії дорівнює 157 м, то це дає довжину кола меридіана в 39 250 км, що близько до справжнього (40 008 км).

Усі ці факти (а також деякі інші) вказують на те, що грецька астрономія в цей період мала значні переваги перед астрономією Індії, Китаю і Вавілона.

Римська імперія, що процвітала протягом перших двох століть нашої ери, мало що дала астрономії.

У III ст., коли почався занепад Римської імперії, твердження про кулястість Землі висміювали, а в V ст. Землю описували як прямокутну і плоску. Архієпископ Ізідор, якого в Західній Європі вважали вченим, твердив, що Місяць здійснює один оберт за 8 років, а Сонце — за 19. Як бачимо, було забуто всі стародавні астрономічні знання.

Середні віки. Із занепадом грецької і римської культури на початку середньовіччя покровителями наук стали деякі правителі нової військово-феодальної імперії — арабського халіфату. Спочатку це були халіфи Багдада, потім турецькі і монгольські завойовники з Центральної Азії. Вони піклувались про своє здоров'я і тому сприяли розвитку медицини та астрономії, зокрема астрології. «Арабськими» називали всіх учених, що писали арабською мовою, хоч серед них були перси, узбеки, таджики, євреї та ін. Календар в арабів був місячний, але узгоджений із сонячним завдяки введенню додаткових місяців, тому араби вивчали рух Місяця. Мусульманська релігія вимагала здійснювати молитви, повертаючись обличчям у напрямі на Мекку, який треба було знати (так звана «кібла»). Це також сприяло розвитку астрономічних знань, які вже у VIII ст. поширювались з Індії.

Перші астрономічні таблиці в IX ст. в Аравії опублікував узбек з Хорезму — аль-Хорезмі. Вони відзначались високою точністю; джерелом їх також були таблиці обсерваторії в Джайні, столиці однієї з індійських держав. Тут зустрічаються нуль і «арабські» цифри, які насправді були індійськими. Відомий халіф Гарун аль-Рашид наказав збирати рукописи грецьких авторів, а його син аль-Мамун (786—833) брав данину з Візантії грецькими рукописами. Серед них була «Велика побудова» Птолемея, яку в 827 р. було перекладено на арабську мову під назвою «Аль-Магест». У скороченому вигляді цей твір виклав аль-Фаргані, уродженець м. Фергани, відомий у Європі під латинським ім'ям Альфрагануса. Твір його сучасника Абу Ма'шара (Альбумасар) з астрології

протягом ряду віків вважався класичним, і його було видано в 1486 р. серед перших друкованих книг XV ст. (інкунабул).

З IX ст. починається самостійна робота арабів. Було встановлено зменшення з часів Птолемея нахилу екліптики до екватора на $17'$. Аль-Мамун у долині Пальміри наказав виміряти довжину 1° меридіана, який виявився рівний $56 \frac{2}{3}$ арабських миль, або майже 111 км, так що довжина меридіана була визначена точніше, ніж в Ератосфена.

Найвизначнішим арабським астрономом вважають аль-Баттані (Альбатегній), який помер у 928 р. Він відкрив зміщення сонячного апогею, визначив тривалість року з точністю до 1 хв 58 сек, запровадив синуси, дав методи розв'язування сферичних трикутників і в 877—919 рр. виконав багато спостережень. У тому самому X ст. аль-Суфі («мудрець») перевіряв каталог зір Птолемея, заново визначивши їх зоряні величини. Порівнюючи їх з більш пізніми, у XIX ст. у Франції Фламмаріон показав наявність вікових змін для деяких зір.

У цей час у Єгипті астроном Ібн Юнус зібрав багато арабських спостережень, доповнив їх власними за 977—1007 рр. і опублікував нові, точніші, «Хакімітські таблиці». Тоді ж турецький правитель у Багдаді Шараф ад-Давла побудував обсерваторію з багатьма інструментами, де працював астроном Абу-ль-Вафа.

В Іспанії в XI—XII ст., у період кордовського халіфату, прославився Ібн аз-Закалі (Арзахель, 1029—1087), який створив «Толедські таблиці». Іспанський король Альфонс X зібрав багатьох астрономів для складання нових таблиць. Ці «Альфонсові таблиці» застосовувались протягом трьох століть, починаючи з 1252 р.

У Середній Азії працювали хорезмієць Біруні і таджик Омар Хайям. Біруні (973—1048) був великим енциклопедистом Сходу. Він вважав, що заплутані видимі рухи планет можна пояснити рухом Землі навколо Сонця і обертанням її навколо осі. Хайям (1048—1122) писав про нескінченність простору і часу і створив проект календаря, точнішого, ніж григоріанський. Хайям був також поетом і філософом.

Внук Чіінгісхана Хулагу Іль-хан у Персії побудував поблизу Тавріза велику обсерваторію з бібліотекою на 400 000 книг, якою керував Насір-еддін ат-Тусі з Хора-сану. На Марагінській обсерваторії був настінний квадрант радіусом 3 м, за допомогою якого ат-Тусі протягом 12 років склав «Ільханські таблиці». Через два століття внук Тамерлана Улугбек (1394—1449) побудував поблизу Самарканда триповерхову обсерваторію із секстантом радіусом 40 м, встановленим у площині меридіана. За допомогою цього секстанта він з великою для того часу точністю визначав положення Сонця і зір у 1420—1437 рр. Цю обсерваторію релігійні фанатики зруйнували, а самого Улугбека вбили. Залишки обсерваторії та гігантського секстанта збереглися до нашого часу за 6 км від Самарканда. Каталог Улугбека з 1018 зорями було надруковано в Європі тільки в 1665—1667 рр., коли вже були точніші європейські каталоги.

Знаменитий лікар Авіценна (Ібн Сіна, 980—1037)

проводив астрономічні спостереження і навіть видав короткий виклад твору Птолемея. Слід зазначити, що в галузі практичної астрономії араби були енергійнішими від греків, хоч у галузі теорії і не перевіряли їх.

На Русі першими спостерігачами зоряного неба були літописці. Так, у Лаврентьєвському літописі розповідається про «зоряний потік», тобто метеорний дрщ 28 серпня 532 р. (очевидно, за візантійським джерелом).

Слов'яни глибоко цікавилися небесними явищами і давали сузір'ям свої назви, наприклад Лось (Велика Ведмедиця), Коло (Оріон), Кічіга (Кассіопея), Стожари (Плеяди) і т. д. У російських літописах є описи сонячних і місячних затемнень, комет і болідів, падіння метеоритів, не кажучи вже про полярні сяйва та інші явища. Тут навіть згадуються (задовго до відкриття Галілеєм) сонячні плями, які видно неозброєним оком крізь туман або дим лісів, що горять. Під час сонячного затемнення 1 травня 1185 р., описаного в «Слові о полку Ігоревім», спостерігались навіть протуберанці, відкриті в Західній Європі за допомогою телескопа тільки у XVIII ст.

У Київській Русі ще в 1091 р. описано політ першого звукового боліда, а в 1110 р. — стійкий слід боліда. У 1202 р. описано метеорний дощ Леонід і спричинене ним свічення неба, в 1491 р. — політ денного боліда у м. Володимирі. Особливо докладно описано падіння кам'яних метеоритів за 30 км від Устюга Великого 25 червня 1296 р., яке за масштабами наближається до падіння Сіхоте-Алінського залізного метеорита 12 лютого 1947 р.

З наведених прикладів бачимо, що російські спостереження в багатьох випадках були ранішими, а описи іноді повнішими, з деталями, яких не помітили західноєвропейські спостерігачі. Вже в 1692 р. у Холмогорах (у гирлі Північної Двіни) помори побудували першу російську обсерваторію для потреб мореплавства.

У XIV ст. зростала влада королів Франції, Англії та Іспанії, урізувалась влада римських пап; розвиток ремесла відродив інтерес до науки, почали виникати університети; розвивалось мореплавство, що викликало потребу в знаннях з географії та астрономії. Особливо розвинулись Італія і центральна Європа, що лежали на перетині торгових шляхів. На зміну схоластиці прийшло вчення Птолемея, виникли університети в Празі, Гейдельберзі, Відні, Лейпцігу і Кракові. Знову вивчали стародавніх авторів, відновилися спостереження. Тосканеллі (він був радником Колумба) відмічав положення комет 1433, 1449, 1456 рр. та ін. Регіомонтан (1436—1476) збирав грецькі рукописи, видавав їх у власній друкарні в Нюрнберзі. Видані ним «Ефемериди» давали положення Сонця, Місяця і планет для 1475—1506 рр. У своєму будинку він організував обсерваторію з кутомірними інструментами, що забезпечували точність більшу за точність спостережень стародавніх астрономів Гіппарха і Птолемея.

Зросли суспільні потреби висунули астрономію на перший план. Весняне рівнодення відставало на 10 діб, повний місяць наставав на 3 дні раніше передбаченого за старими правилами, отже, і пасху святкували

неправильно. Ці та ряд інших питань могла розв'язати тільки астрономія. Каталонці, а згодом португальці та іспанці відкрили морські шляхи через океани; для навігації треба було вміти визначати своє місцеперебування за Сонцем і зорями, вміти користуватися астрономічними таблицями і ефемеридами. При дворі португальського короля Жоао II була наукова колегія в справах мореплавства («Хунта дос Математікос»), яка публікувала інструкції для користування морехідними приладами і морський щорічник. Закуто з університету в Саламанці опублікував так званий «вічний альманах». Цей альманах і ефемериди Регіомонтана використовував, наприклад, Колумб у своїх подорожах. У багатьох примірниках друкувались також астрологічні альманахи, в яких повідомлялись дати затемнення, з'єднання планет тощо.

Отже, у XV і XVI ст. астрономія стояла в центрі практичного життя європейців.

Коперникова революція. Закон всесвітнього тяжіння і небесна механіка. Здавалося, що система світу Птолемея була викінченою і непорушною. Внутрішньо єдиним цілим мала бути також нова система, що виникла на зміну старій. Про рух Землі Коперник дізнався з висловлювань Нікетаса (їх наводить Цицерон), піфагорійця Філолая, а також мудреців Геракліта і Екфанта, які припускали добове обертання Землі навколо осі. З цими працями Коперник ознайомився на рубежі XVI і XVII ст. в Італії, де вивчав грецьку мову, астрономію і медицину. Повернувшись до Польщі, він близько 1515 р. сформулював свої ідеї у «Коментаріолусі» (короткому поясненні), розісланому деяким астрономам. Коперник вважав, що центр світу знаходиться в Сонці (в Землі знаходиться центр тяжіння земної і центр місячної орбіти), а видимі заплутані рухи планет походять від руху самої Землі і планет навколо Сонця, тоді як Сонце нерухоме. Видимий добовий рух неба із сходу на захід відбувається внаслідок обертання самої Землі із заходу на схід.

Побоюючись переслідувань церкви, Коперник опублікував свою основну працю «Про обертання» (6 книг) у Нюрнберзі в рік своєї смерті (1543). Видавці змінили заголовок книги на такий: «Про обертання небесних світил», щоб не подумали про рух Землі (!)

У цій книзі три істотних твердження є зовсім новими в науці: геліоцентрична система світу, нові числові величини і зовсім новий механізм руху планет (включаючи й Землю) навколо Сонця. Доводи проти системи Птолемея були в основному логічними, а нова система приваблювала більшою гармонією і простотою. Результатів досліду або спостережень вона містила дуже мало. Сила Коперника була в сміливості його думки і в передбаченні перспектив, які відкривала нова, геліоцентрична система. Коперник переглянув числові дані Птолемея і знайшов точніші періоди на підставі власних спостережень неозброєним оком з примітивними саморобними інструментами того часу, обчислив нові таблиці і склав посібник, який цілком замінював працю Птолемея.

Ім'я Коперника стало прапором боротьби за прогрес і торжество розуму. Проте потрібні були астрономічні доведення істинності його вчення, яких на той

час ще не було. Тоді здавалось, що найбільш переконливим аргументом на користь руху Землі є його наслідок — паралакси зір.

В кінці XVI ст. розпочав свою діяльність датчанин Тіхо Браге (1546—1601), визначний спостерігач і енергійний організатор. Виявивши в Альфонсових таблицях помилки щодо передбачення сполучення Юпітера і Сатурна на цілий місяць, а в Прусських таблицях — на кілька днів порівняно з тим, що він сам спостерігав, Браге вирішив зайнятися вивченням планетних рухів, для чого були потрібні досконалі інструменти. У 1069 р. в Аугсбурзі він виготовив квадрат радіусом 6 м, який давав точність відліку до 10'. Повернувшись до Данії, він зайнявся хімією. 11 листопада 1572 Браге помітив над головою яскраву зорю. Це була Нова Кассіопея. Спостерігаючи її у верхній і нижній кульмінаціях, Тіхо Браге намагався визначити її добовий паралакс, який виявився, проте, дуже малим, тобто ця зоря могла знаходитися в Молочному Шляху. Все це він описав у книзі, присвяченій цій новій зорі. Браге остаточно вирішив зайнятися астрономічними спостереженнями і побудувати обсерваторію. Він відвідав Кассель, де вже була приватна обсерваторія в замку ландграфа Вільгельма IV (тут згодом було складено перший у Європі зоряний каталог), однак скоро датський король Фредерік передав Браге острів Хвен поблизу Копенгагена з правом використовувати податки з його населення для будівництва обсерваторії. У 1576 р. Браге почав будувати там Ураніборг, а для своїх учнів Стєрнеборг («зоряний палац»). Були побудовані зовсім нові прилади, докладно описані Браге в двох книгах. Спостереження виконувались неозброєним оком (зорову трубу було винайдено лише в 1600 р.). Їх точність була близько 1', тому Браге вдалося протягом 20 років відкрити або виміряти кілька нових величин (довготу сонячного апогею, ексцентриситет місячної орбіти, нерівність руху Місяця, що називається «варіацією», та іншу його нерівність — «річну», нахил місячної орбіти та його зміни, а також нерівномірність руху місячних вузлів).

Браге склав каталог 81 опорної зорі і визначив їх положення з точністю до 40', та інший каталог з 788 зір, що замінив каталог Гіппарха — Птолемея. Цей каталог поклав початок новій ери в практичній астрономії, ним користувались понад 100 років. У 1603 р. Байєр склав атлас неба із зір каталога Браге, позначивши їх грецькими буквами, що застосовуються й досі. Браге визначив точну величину прецесії (51 за рік), а також зміну положення площини екліптики. Він визначав положення всіх комет, які спостерігав. Для яскравої комети 1585 р. він уперше виміряв паралакс. Оскільки паралакс виявився дуже малим, то стало очевидним, що комета перебуває значно далі від Землі, ніж Місяць. Дослідник встановив, що комети — це не випаровування у верхніх шарах атмосфери, а небесні тіла, так само як і планети. Особливо точними були спостереження Марса за його 7 обертів, з яких Кеплер згодом вивів закони руху планет. Останні два роки свого життя Браге працював у Празі.

Тіхо Браге — визначний дослідник з чудовими на той час інструментами — у своїх спостереженнях

між 1576—1599 рр. не міг знайти навіть слідів паралаксів у яскравих, здавалося б, найближчих зір. Точність його вимірювань була близька $1'$, а паралакси зір менші від $1''$, тому не дивно, що сам Браге звідси зробив висновок, що Земля нерухома, навколо неї обертається Сонце, а всі інші планети обертаються навколо Сонця. Кінетично ця «система Тіхо Браге» була цілком еквівалентною геліоцентричній, однак вона нікого не задовольнила і залишилася тільки здобутком ученого.

Коли на початку XVIII ст. Бадлей запропонував повторити цей експеримент Тіхо Браге, то Ньютон подбав про те, щоб експеримент не був здійснений, бо прекрасно розумів, що навіть при більшій точності спостережень паралакси зір внаслідок їх мализни все-таки будуть недоступними для вимірювання, що дасть змогу церковникам знову підняти голову. І справді, після смерті Ньютона було виконано спостереження над зорею γ Дракона, проте вони виявили не паралакс, а аберацію світла, що відбувається теж внаслідок руху Землі і скінченності швидкості світла. Отже, обертання Землі було доведено, проте на підставі зовсім іншого явища, а перші справжні паралакси зір було виміряно лише через століття, у 1835—1839 рр.

Астрономія не може розвиватися без математики і без відповідних розрахунків. Однак ще в XVI ст. звичайне ділення чисел вважалось також премудрістю, що у Вітенберзькому університеті Меланхтон читав спеціальні лекції з цього питання. У книзі самого Коперника застосовувались громіздкі позначення чисел римськими цифрами. Ще в XIII ст. було видано спеціальний посібник для користування арабськими цифрами, написаний Леонардом Фібоначчі. Ретик і Віста в XVI ст. завершили систему тригонометрії, і тоді ж астрономи прийшли до висновку, що із спостережень простіше знаходити пряме сходження і схилення, а екліптичні широти і довготи краще обчислювати тригонометрично. У 1540 р. Ретик почав обчислювати таблиці тригонометричних функцій через кожні $10''$ з 15 знаками. Вони були опубліковані лише через 56 років як 10-значні, проте стали основою для ряду наступних таблиць.

У 1585 р. фламандець Стевін запровадив десяткові дробі. Важливим кроком було винайдення Й. Бюргі близько 1580 р. логарифмів, але заслуга їх практичного застосування належить шотландцеві Джону Неперу. Його таблиці 1614 р. ще не були пристосовані для десяткових чисел; це зробив оксфордський математик Брігг, який опублікував у 1618 р. першу таблицю десяткових логарифмів (з точністю до 8 знаків). Таблиці логарифмів тригонометричних функцій дав ще Непер. Отже, життя астрономів ніби було продовжене в кілька разів завдяки скороченню часу, затрачуваного на громіздкі обчислення.

Вчення Коперника поширювалось повільно; написане по-латинському, воно було малодоступне для народу; вожді протестантів Лютер і Меланхтон поставилися до нього з фанатичною недоброзичливістю, а після Трентського собору католицька церква строго стежила за будь-якими відхиленнями від встановлених догматів.

Найвизначнішим з небагатьох коперниканців був Джордано Бруно, філософ-матеріаліст. Вій поширював у Європі вчення Коперника. Римська інквізиція заманила його в Італію і в лютому 1600 р. спалила живцем на вогнищі як еретика.

Переконалим коперниканцем був М. Местлін, учитель Кеплера, завдяки якому Кеплер (1571—1630) став палким прихильником геліоцентризму. У 1596 р., працюючи в Граці викладачем математики, він видав працю з космографії, в якій захищав учення Коперника. Вона привернула увагу Тіхо Браге, і останній запросив Кеплера до себе в Прагу після того, як протестантів було вигнано з Штірії. Кеплер став «королівським математиком» при дворі Рудольфа II. Він склав уточнену таблицю рефракції, пояснив червонуватий колір місячної тіні під час затемнення заломленням сонячних променів у земній атмосфері, спостерігав Нову зорю 1604 р. у сузір'ї Змієносця і навіть написав про неї книгу. Проте найголовнішою його працею була обробка спостережень Марса, виконаних Тіхо Браге.

Кеплер шукав форму орбіт планет, і Марс був найбільш придатним для цього, завдяки значній швидкості його руху. Кеплер застосував метод припущень і перевіряв кожне припущення обчисленнями й порівнянням із спостереженнями (логарифми тоді ще не застосовувались). Розрахунки проводились по 10 і більше разів і щоразу займали по 70 і більше аркушів.

Спочатку Кеплер знайшов, що радіуси-вектори планети описують рівні площі за однакові проміжки часу, тобто те, що тепер називають другим законом Кеплера. Внаслідок тривалих досліджень він установив, нарешті, що крива, по якій рухається планета, є еліпс, в одному з фокусів якого міститься Сонце, Тепер це твердження називають першим законом Кеплера. Одночасно вчений за розмірами орбіти Марса обчислив, що його паралакс повинен дорівнювати в максимумі 2, отже, паралакс Сонця, яке далі від Землі, повинен бути менший за $1'$. Обидва відкриття зроблено до 1604 р., проте його книга з'явилась лише в 1609 р. під назвою «Нова астрономія».

Новий науковий метод Кеплера і Тіхо Браге полягав у збиранні результатів спостережень, обробці їх і виведенні з них правил та законів. Цей метод відразу ж увійшов у ботаніку, хімію, анатомію та інші галузі знання.

Пізніше Кеплер продовжував складати таблиці руху планет на підставі відкритих ним законів. Ці таблиці він видав тільки в 1627 р. Точність їх була така висока, що ними користувались протягом наступних двох століть. Ще до цього, в 1620 р. Кеплер опублікував працю «Гармонія світу», в якій виклав результати 18-річних досліджень, що стосуються законів планетних відстаней. Він встановив, що для всіх планет квадрати періодів обертання відносяться як куби великих півосей їх еліптичних орбіт (третій закон Кеплера).

Теоретичні праці Кеплера поширювались значно повільніше за його планетні таблиці, і навіть Галілей у 1632 р. писав, що справжня форма орбіт планет поки що невідома.

Галілео Галілей з 1592 р. викладав математику і астрономію в Падуї. Він експериментально відкрив закони коливання маятника і зробив ряд інших відкриттів з механіки. Коли він дізнався про винайдення телескопа в Голландії, то власноручно побудував один, а згодом другий телескоп і зробив багато відкриттів, що підтвердили ідеї Коперника.

Супутники Юпітера, спостережувані в телескоп, являли собою ніби в мініатюрі Сонячну систему; фази Венери свідчили про те, що вона кругла, непрозора і світиться відбитим світлом, як і Місяць. Відкриття гір на Місяці і вимірювання їх висоти показало, що на небі є те саме, що й на Землі, і що сама Земля може бути в небі інших планет. На Сонці Галілей та інші астрономи виявили плями, чим підірвали тезу аристотеліанців про досконалість всього небесного. Проте професори Падуанського університету, який був оплотом вчення Арістотеля, заявили, що все це — оптичний обман, і навіть не побажали подивитися в телескоп.

Проте далі заперечувати відкриття Галілея вже стало неможливим, і тоді суперечка перейшла на те, як тлумачити відкриті факти, які все-таки ще не доводили рух Землі; предметом суперечки стали вже не спостереження, а теорія, зокрема галузь теології. Твердження Коперника про центральне положення Сонця і про добовий рух Землі в спеціальному звіті докторів теології 1616 р. були просто оголошені «хибними, філософськи абсурдними і формально єретичними». Тому Священна Конгрегація постановила заборонити і вилучити книгу Коперника та інші подібні твори, аж до їх «виправлення».

Галілей не раз намагався добитися перегляду цієї заборони, проте марно. Кардинал Беллармін заявив йому, що вчення про рух Землі не можна ні викладати, ні вважати правильним. І все-таки в 1632 р. Галілей випустив «Діалог про дві основні системи світу» італійською мовою, що мала великі літературні переваги і швидко стала популярною. Галілея викликали на суд інквізиції, осудили за непослух, і в 1635 р. примусили урочисто відректися від геліоцентричного вчення. Лише в наступному столітті припинились переслідування вчених за поширення вчення Коперника, ще через століття (у 1822 р.) з нього було знято заборону, і лише в 1835 р. праці Коперника, Кеплера і Галілея було виключено з індексу заборонених книг.

Вчення Арістотеля збереглося в єзуїтських коледжах південних країн аж до XVIII ст.

Про притягання небесних тіл вчені здогадувались уже давно. Ще в 1699 р. в нещодавно заснованій (1666 р.) французькій Академії наук Гюйгенс читав лекцію «Про причину сили тяжіння». Проте розвиток науки пішов не в напрямі пояснення тяжіння на підставі рухів планет, а в напрямі пояснення рухів планет на підставі тяжіння, природа якого залишилась невідомою.

Ньютон замислився над питанням: яка величина сили тяжіння на відстані орбіти Місяця і чи не дорівнює вона тому значенню, яке потрібне, щоб зрівноважити відцентрову силу під час обертання Місяця навколо Землі? Насправді так воно і є, але в той час Ньютон користувався неточними даними довжини 1° (вони потрібні для визначення відстані до

Місяця), і для величини сили тяжіння на відстані Місяця дістав надто малу величину.

Тоді він на деякий час залишив цю задачу і згодом повернувся до неї, дізнавшись на засіданні Королівського товариства (англійська Академія наук), членом якого він був, про нове визначення розмірів Землі Пікаром у Франції. Це сталося в 1684 р., через 18 років після першої невдачі.

Закон притягання, за яким сила притягання обернено пропорціональна квадрату відстані між тілами, опублікував Гюйгенс роком раніше, а Роберт Гук також заявив, що він знав його раніше. Проте жоден з них не зробив з цього закону тих висновків, які зробив і виклав Ньютон у своїй знаменитій праці «Математичні основи натуральної філософії» (тобто природознавства).

Друг Ньютон Галлей, знаменитий астроном, мореплавець, інженер, геофізик і математик видав цей твір у 1687 р. частково на власні кошти, бо добре розумів, наскільки він важливий для науки. Тут, зокрема, Ньютон вивів усі три закони Кеплера із закону тяжіння, так що тепер вони були твердо обґрунтовані. Ньютон довів, що всі планети і Сонце, якщо вважати їх кулями, притягуються так, ніби їх маса зосереджена в їх центрах, тобто як матеріальні точки. Це дуже полегшило розв'язання багатьох питань небесної механіки.

Ньютон довів також, що із закону тяжіння випливає можливість руху небесних тіл по параболах; цей результат відразу ж було застосовано до рухів комет, зокрема було обчислено їх орбіти. За способом Ньютон Галлей обчислив орбіти 24 комет. Виявилося, що комети 1531, 1607 і 1682 рр. мають однакові орбіти, і Галлей здогадався, що це одна й та сама комета з періодом обертання близько 75 років. Він передбачив її появу в 1758 р., і ця комета справді з'явилася, що було новим тріумфом теорії тяжіння. Комету було названо ім'ям Галлея.

Ньютон показав, що обертові тіла сплющуються під дією відцентрової сили, і визначив сплюснутість Землі. Тепер ця величина називається стиском. Пізніше французький математик Клеро довів, що між стиском, відцентровою силою і силою тяжіння існує співвідношення, яке тепер називається теоремою Клеро. Потім Ньютон показав, як внаслідок притягання Сонця в русі Місяця виникають відхилення від законів Кеплера, так звані нерівності, відкриті ще Гіппархом. Він довів також, що морські припливи виникають під впливом притягання до Місяця і Сонця, виявив дії притягання планет однієї до одної, заклавши цим самим основи небесної механіки. Закони руху планет на основі закону тяжіння були встановлені настільки фундаментально, що коли через століття, в XIX ст., було виявлено відхилення руху Урана (відкритого Гершелем у 1781 р.), то причину цього почали шукати в дії невідомої планети, яка своїм притяганням відхиляє Уран, а не в неточності закону тяжіння. Це припущення повністю підтвердилось, коли в 1845—1846 рр. Адамс в Англії і Лєвер'є у Франції методами небесної механіки, шляхом обчислень («на кінчику пера») визначили, де повинна міститися невідома планета на небі. Там її справді відкрили; це був Нептун.

Велике відкриття Коперника завершилось блискучим тріумфом астрономічної науки, яка мала величезний вплив на все природознавство. Це було одночасно також торжеством матеріалістичної науки, бо стверджувалась матеріальність Всесвіту і пізнаваність його законів.

У 1844 р. Бессель виявив невеликі відхилення в русі зір Сіріуса і Проціона і висловив гіпотезу, що ці відхилення спричинені притяганням близьких до них масивних, але слабких зір. Згодом їх відкрили. Дослідження руху подвійних зір підтвердило, що закон всесвітнього тяжіння поширюється скрізь у Всесвіті і тому цілком заслуговує назви «всесвітнього».

На підставі теорії тяжіння знаменитий учений Л. Ейлер, російський академік, розробив у 1753—1772 р. свою теорію руху Місяця. В галузі небесної механіки працювали також Клеро, Лагранж, особливо Лаллас; Гаусе і Ольберс дали методи визначення орбіт планет і комет за малим числом спостережень.

Багато праць з небесної механіки виконано в ХІХ і першій половині ХХ ст. (Енке, Якобі, Ганзен, Делоне, Тіссеран, Пуанкаре, Браун, Баклунд, Брауер та ін.), П. Лоуелл на підставі відхилень у русі Нептуна визначив місце нової невідомої планети і виділив власні кошти на будівництво астрографа, щоб її фотографувати. Астрограф було збудовано в 1927 р., через одинадцять років після смерті вченого, і на початку 1930 р. К. Томбо за допомогою цього астрографа відкрив нову планету — Плутон.

У 1887 р. Опольцер обчислив усі сонячні затемнення (близько 8000) і всі місячні (5200) між 1208 р. до н. е. і 2163 р. н. е. У 1966 р. цю працю за допомогою обчислювальних машин Меус продовжив до 2600 р. Теоретична астрономія і небесна механіка дають змогу обчислювати наперед з великою точністю настання багатьох явищ у системах планет, їх супутників, у русі комет і метеорів. Отже, настання астрономічної події передбачають задовго до того моменту, коли вона має статися.

ЛІТЕРАТУРА

А. Паннекук, История астрономии, М.: «Наука», 1966, 592 стр.

С.И. Селешников, Астрономия и Космонавтика (краткий хронологический справочник с древнейших времен до наших дней), К.: «Наукова думка», 1967.