

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

**Кафедра комп'ютерних наук**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ  
ПРАКТИЧНИХ РОБІТ  
з дисципліни**

# **«ІСТОРІЯ НАУКИ І ТЕХНІКИ»**

**для студентів освітнього рівня «бакалавр»  
спеціальності 125 «Кібербезпека»**

Тернопіль  
2016

УДК 681.3+001+62  
ББК 32.97+74  
М54

Укладачі:  
*Шимчук Г.В.*, асистент,  
*Маєвський О.В.*, ст. викладач,  
*Назаревич О.Б.*, канд. техн. наук, асистент.

Рецензент:  
*М.М. Касянчук*, канд. фіз.-мат. наук, доцент.

Методичні вказівки розглянуто й затверджено на засіданні  
кафедри компютерних наук  
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя  
протокол № 2 від 09 вересня 2015 р.

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні методичної комісії факультету  
комп'ютерно-інформаційних систем та програмної інженерії Тернопільського  
національного технічного університету імені Івана Пулюя  
протокол № 2 від 25 вересня 2015 р.

М54      Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Історія науки і техніки» для студентів освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 125 – «Кібербезпека» / Укладачі : Шимчук Г.В., Маєвський О.В., Назаревич О.Б. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016 – 120 с.

УДК 681.3+001+62  
ББК 32.97+74

Вказівки складені з урахуванням матеріалів літературних джерел, названих у списку.

Відповідальний за випуск: *М.В. Приймак*, докт. техн. наук, професор

© Шимчук Г.В., Маєвський О.В., Назаревич О.Б. 2016  
© Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя 2016

## ЗМІСТ

<b>Практична робота № 1. Неолітична революція. Становлення перших цивілізацій.....</b>	<b>4</b>
1.1. Становлення цивілізації.....	4
1.2. Неолітична революція.....	5
1.3. Металургія.....	7
1.4. Розвиток гірничої справи та видобування корисних копалин.....	8
1.5. Розвиток домашніх промислів і становлення ремесла.....	9
1.6. Еволюція суспільної свідомості. Раціональні знання.....	10
<b>Практична робота № 2. Наука і техніка в античному світі. Наука і техніка в середньовіччя.....</b>	<b>19</b>
2.1. Наука античного світу.....	19
2.2. Наука середніх віків.....	37
<b>Практична робота № 3. Європейське відродження. Створення сучасної науки.....</b>	<b>46</b>
3.1. Основна характеристика епохи Відродження.....	46
3.2. Виникнення класичної механіки.....	59
<b>Практична робота № 4. Промислова революція. Розвиток науки і техніки до 1870 року...</b>	<b>75</b>
4.1. Від геометричного методу до аналітичної механіки.....	75
4.2. Виникнення й розвиток електродинаміки.....	85
4.3. Основні досягнення XIX століття.....	93
<b>Практична робота № 5. Розвиток техніки в кінці IX – початку XX століття.....</b>	<b>94</b>
5.1. Науково-технічні винаходи.....	94
5.2. Структурні зміни у промисловості.....	100
5.3. Вплив науково-технічної революції на світову економіку.....	101
<b>Практична робота № 6. Розвиток техніки до середини XX століття.....</b>	<b>104</b>
6.1. Розвиток уявлень про простір і час у XX столітті.....	104
6.2. Основні винаходи XX століття.....	107
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>114</b>

# **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. НЕОЛІТИЧНА РЕВОЛЮЦІЯ. СТАНОВЛЕННЯ ПЕРШИХ ЦИВІЛІЗАЦІЙ.**

## **1.1. Становлення цивілізації**

### **Історичні передумови виникнення цивілізації**

Протягом пізнього неоліту, а також на різних стадіях епохи раннього металу в різних регіонах світу почали виявлятися симптоми розкладання первісного суспільства. Це були не одиничні швидкоплинні явища, а складні тривалі процеси, що зачіпали найрізноманітніші аспекти дійсності. У ряді випадків еволюція переривалася і немовби поверталася назад. Суть розкладання первісного суспільства й формування основних механізмів класоутворення полягає у тому, що общинно-родовий лад, як стверджував Ф. Енгельс, "був підірваний поділом праці і його наслідком – розколом суспільства на класи". Якщо класичні первісні суспільства ґрунтуються на колективному характері єдиного нерозчленованого виробництва, то пізніше "у цей виробничий процес повільно проникає поділ праці. Він підриває колективний характер виробництва й присвоєння, робить визначальним правилом присвоєння окремими особами і разом з тим породжує обмін продуктами виробництва між ними. Поступово товарне виробництво стає панівною формою". Таким чином, в основі класоутворення лежали процеси (обмін, майнова нерівність, експлуатація), зумовлені прогресом продуктивних сил і розвитком суспільного поділу праці. При цьому певну роль відігравали природно-кліматичні, демографічні, ритуально-релігійні, соціологічні, техніко-еко-номічні та інші чинники.

## **1.2. Неолітична революція**

### **Основні передумови**

У X-IX тис. до н.е. почався перехід до якісно нового етапу в розвитку кам'яного віку, що дістав назву неоліту – нового кам'яного віку. Неоліт характеризується, насамперед, значним удосконаленням техніки обробки каменю. Завдяки цій обставині було створено нові спеціалізовані й високопродуктивні види кам'яних знарядь, а також знаряддя з дерева й кісток. Було винайдено технології виробництва тканин і глиняного посуду. З'явилися й удосконалювалися первісні транспортні засоби (сани, лижі, човни). Значно зросла продуктивність праці. У той же час полювання й збиральництво поступово вичерпували свої можливості – їм на зміну прийшли ранньоземлеробські культури. Усі ці та інші пов'язані з ними зміни, включаючи і такий важливий чинник, як нагромадження досвіду й знань, привели до кардинального перевороту в системі матеріального виробництва, що дістав назву неолітичної революції.

### **Перехід від привласнюючої економіки до відтворюючої (продуктивної)"**

Зміст цієї революції в системі матеріального виробництва полягав у переході від привласнюючої економіки до відтворюючої (продуктивної), тобто відбувся перехід від полювання й збиральництва до землеробства й скотарства. Люди навчилися вирощувати хліб – це забезпечувало безперебійне харчування протягом усього року, розводити худобу, яка регулярно давала м'ясо, молоко, шкіру, вовну таїн. Життя родової общини стало більш забезпеченим, стабільним: залежність людей від природного середовища стала меншою, значно підвищився рівень суспільного добробуту. Неолітична революція була першою ланкою у черзі послідовних перетворень системи суспільного життя, у результаті яких, у кінцевому підсумку, виникла цивілізація, а разом з нею – і наука.

Первинними осередками землеробства й скотарства були (у різні часи), крім держав Стародавнього Сходу, Центральна Америка та індіанський регіон Південної Америки. Найбільш давній серед них – Передня Азія, її лісостепові та передгірські області. Першим окультуреним злаком був ячмінь. У X – VIII тис. до н.е. його вже сіяли в Малій Азії, на західних схилах Іранського нагір'я і в Палестині. Крім того, культивували пшеницю, горох та інші види рослин (близько 14 найменувань). Але в гірських умовах землеробство малопродуктивне. Тільки в результаті міграції у річкові долини субтропічного поясу землеробство одержало простір для свого переможного розвитку. Основним знаряддям давніх землеробів була спершу палка-копалка для розпушування ґрунту. Пізніше (хоча й не скрізь) з'явилася мотика (палично-мотичне землеробство).

Становлення скотарства відбулося на два тисячоліття пізніше. Однак землеробство, без сумніву, ніколи не було єдиною формою господарювання. На ранніх етапах свого становлення воно комбінувалося з полюванням. Помічником людини на полюванні був одомашнений ще у верхньому палеоліті собака. У VII – VI тис. до н.е. в Середній Азії, Північній Америці й на Балканах були одомашнені

продуктові тварини – постачальники м'яса (дрібна рогата худоба, свині, кози, вівці та ін.). Трохи пізніше було одомашнено велику рогату худобу, тяглових тварин (осла, верблюда, північного оленя, коня), що стали основним джерелом механічної енергії до появи перших машин. Перехід первісних общин до землеробства й скотарства – досить тривалий процес, пов'язаний зі значними змінами в способі життя – йдеться про перехід до осілості. Зрозуміло, що спочатку нові форми господарювання (землеробство й скотарство) поєднувалися зі старими (полюванням і збиральництвом), відіграючи другорядну роль як допоміжний уклад.

У різних районах землеробство розвивалося в неоднакових природних і соціально-культурних умовах. Тому і первісні системи землеробства були різними. Найбільш продуктивним було лиманне землеробство, розвиток якого зумовив у VII ст. до н.е. виникнення традиційного землеробства. Крім лиманного, розвивалося також богарне землеробство (коли сівбу проводили напередодні дощів). У деяких регіонах для підвищення родючості ґрунту трави й чагарники попередньо випалювали – так закладалися основи палового землеробства, що згодом у лісистих зонах перетворилося на вирубно-вогняне землеробство.

Подальший розвиток землеробства був пов'язаний з його інтенсифікацією – появою нових прийомів землеробства (чергування посівів різних культур, застосування добрив, удосконалення розпушування ґрунту, виникнення городництва, садівництва і т.п.), переходом від палично-мотичного землеробства до орного (V-IV тис. до н.е.). Утворення землеробської техніки й всього землеробського виробництва зумовило більш широке залучення до землеробства чоловічої частини населення общини. Більш інтенсивно почала використовуватися дитяча праця.

Паралельно й у тісному зв'язку із землеробством розвивалося скотарство. На ранніх етапах догляд за худобою був мінімальним, худоба перебувала переважно на вільному випасі. Пізніше з'явилося стійлове утримання худоби, і вже відносно пізно – кочівництво (номадизм). Доместикація тварин сприяла розвитку транспортних засобів. Уже на ранніх стадіях скотарства стихійно виникає штучний відбір кращих особин на плем'я.

Справжній переворот у транспортних засобах відбувся тільки з появою колісних возів. Вважають, що їх батьківщиною є Передня Азія, можливо Месопотамія (III тис. до н.е.). Крім того, глиняні моделі коліс було знайдено в енеолітичних поселеннях карпато-дунайського ареалу, причому найдавніші з них датуються кінцем V тис. до н.е. Спочатку у вози запрягали волів, а подекуди й ослів. Але вже в III тис. до н.е. на півдні Середньої Азії їх поступово замінили верблуди-бактріани. З другої половини II тис. до н.е. почала широко застосовуватися кінна упряжка. Найдавнішим видом возів були колісниця, що потрапили в Єгипет разом з "народом моря" у XIII ст. до н.е. Відповідно до традиції прибульців, ці колісниця використовувалися тут під час війни, полювання, у них запрягали насамперед коней. Цивілізація Нового Світу колісного транспорту не знала. Обмін продуктами праці у Тропічній Африці здійснювався завдяки особливому виду транспорту – це були каравани людей, навантажених поклажею. Із винайденням колісного транспорту швидкість пересування великих колективів людей збільшилася майже в 10 разів. Виникли передумови для дальніх міграцій значних мас людей і навіть етносів. У цей період спостерігається виникнення розвинутих форм номадизму.

Спосіб життя та побут землеробів зазнали значних змін: усталилася осілість, удосконалювалося житло, з'явилися перші писемні пам'ятки, наприклад, "Авеста" (II тис. до н.е.) – священна книга давньоперської релігії зороастризму.

Найважливішим економічним наслідком переходу до системи відтворюючого господарства було виникнення постійного надлишкового продукту. Первісна родова община була спроможна виробляти продукт, який лише мінімально забезпечував життєдіяльність людей, тобто необхідний для підтримування такого існування членів колективу, за якого людський організм не зазнавав патологічних змін, а колектив не вимирав. Надлишковий продукт перевищує мінімально необхідні потреби людини й тому може вільно відчужуватися, не прирікаючи общину на загибель. Поява надлишкового продукту була найбільшим революційним актом у розвитку продуктивних сил; вона створила передумови для конкретного перетворення всієї системи суспільного життя, для переходу до цивілізації, що базується на суспільному поділі праці, експлуатації. Найважливішими наслідками цього революційного акту були виникнення приватної власності, класів, відокремлення духовного виробництва від матеріального, становлення основних форм духовної культури, у тому числі й науки, зокрема природознавства. Поява надлишкового продукту, зростання обміну й т.п. призвели до значного збільшення народонаселення. Це зростання народонаселення дістало назву першої демографічної революції.

### 1.3. Металургія

Досить давній осередок металургії існував у Південно-Східній Азії, внутрішні райони якої відомі своїми найбільшими у світі запасами олов'яної руди, зокрема в Північно-Східному Таїланді, а також на Півночі В'єтнаму. У Південному Китаї і Гонконзі бронзовий вік почався пізніше – з 14 ст. до н.е.

Сліди найдавнішої достовірно документованої ковальської обробки міді (14 ст. до н.е.) знайдено в ряді селищ Передньої Азії. Уже тоді цей метал був досить поширеним – від Центральної Анатолії до Південно-Західного Ірану й Західної Сирії. Джерелами постачання металу були найбагатші поклади самородної міді, розташовані в районі Ергамі в Південно-Східній Анатолії. Спосібом холодного кування не можна було виготовляти із самородної міді крупні вироби, і тому серед найдавніших мідних речей переважають, насамперед, намистини, про-низки, голки й шила. У 7 тис. до н.е. з'являється техніка гарячого кування, про що свідчить поява виробів із свинцю.

Починаючи з кінця 6 тис. до н.е., в Ірані з'являються великі вилиті металеві вироби: долота, верхівки булав, плоскі сокири, кинджали, арпи. У 5-6 тис. до н.е. у цих районах поступово поширилося штучне легування міді нікелем і миш'яком, інакше кажучи, виникло найдавніше бронзолivarне виробництво. Розширення металургійного виробництва потребувало могутньої сировинної бази, і вже в другій половині 5 тис. до н.е. видобування руди здійснювався в спеціальних рудниках.

У Єгипті до середини 5 тис. до н.е. з'явилися перші мідні речі – намистини й шпильки, рибальські гачки, гарпуни, долота, сокири, кинджали, тесла.

Найдавніші речі із заліза датовано кінцем 6 тис. до н.е. в Ірані й першою половиною 4 тис. до н.е. у Єгипті. Як правило, вони виготовлялися з метеоритного заліза. І лише невеликий виріб з рудного заліза, датований першою половиною 6 тис. до н.е., знайдено в Іраці.

Вважають, що найдавніше залізорудне виробництво виникло в Анатолії, очевидно, у її північних районах, у другій половині 4 тис. до н.е.

Перехід до масового виробництва заліза в західній частині Старого Світу відбувся наприкінці II тис. до н.е. у Східному Середземномор'ї, де було відкрито процес вуглецювання заліза. Ставши значно твердішим, воно із цього часу стало серйозним конкурентом міді й бронзи як матеріал для виготовлення найрізноманітніших, насамперед господарських, виробів. А суттєві етнокультурні й соціальні зміни, що відбувалися в цей період у країнах Давнього Світу, сприяли поширенню залізобудівного виробництва від Європи до Індії.

У другій половині I тис. до н.е. в Китаї навчилися одержувати настільки високі температури, що залізо можна було тепер не тільки виплавляти з руди, але й відливати у форми. Так почалося виробництво чавуну.

Нарешті, третій своєрідний технологічний прийом було розроблено в Африці. При цьому первинним продуктом плавки стали не криця й чавун, а високовуглецева сталь. З її виробництвом були пов'язані ще два, як вважають, суто африканські винаходи: високий циліндричний горн і попередній підігрів повітря, що надходить до нього.

На відміну від міді, залізні руди були більш поширеною сировиною; їх родовища розкидані в найрізноманітніших районах світу, вони легкодоступні. Із заліза почали виготовляти різний інвентар, у тому числі й сільськогосподарський, що дозволило освоїти нові недоступні раніше райони. У першу чергу це виявилось в масовому наступі на ліси. Не меншу революцію здійснив і залізний леміш – завдяки йому було створено більш досконалі типи рал. У початковий період із заліза виготовляли також прикраси, художні вироби, ритуальні предмети, багато оздоблену зброю і т.д.

#### **1.4. Розвиток гірничої справи та видобування корисних копалин**

Протягом неоліту було освоєно основні прийоми гірничої справи (шахти, забої, штреки, кріпильні стовпи, вентиляційні вікна й т.д.), що використовувалися людьми й у наступні епохи.

Найбільші розробки кременю (IV тис. до н.е.) відомі в Бельгії, Великобританії, Франції, Польщі, на Середній Наддністрянщині, у Донбасі, а також в Узбекистані. У Єгипті шахти з видобутку кременю функціонували вже в другій половині V тис. до н.е. Спочатку кремінь видобували відкритим способом, прокладаючи траншеї. У Бельгії такі траншеї досягали 10 м у довжину і 3-4 м у глибину.

Активно розроблялися поклади сланцю, яшми, нефриту; з них виготовляли церемоніальні сокири. Зростало видобування опалу й андезиту, базальту й кіноварі; малахіту й лазуриту. Гірські породи й мінерали спочатку використовували для приготування фарб – їх товкли й розтирали в ступках.

Велику роль у господарському й соціальному житті первісної Європи відігравав обсидіан, який видобували в середземноморських і карпатських



родовищах. З другої половини V тис. до н.е. в Західній Європі видобували камінь для спорудження мегалітів. Величезні плити висікали кам'яними знаряддями або за допомогою вогню й води, використовуючи при цьому природні тріщини в камені

Ще одним важливим об'єктом гірських копалень у пізній первісності була сіль. Спочатку її, очевидно, добували двома способами – випаровуванням солоної води й спалюванням солоних рослин. Ці два основних методи існували в багатьох різноманітних варіантах. Деякі народи збирали сіль на морському узбережжі, інші влаштовували штучні водозабірники із солоних джерел, де сіль накопичувалася природним шляхом у результаті випаровування води на сонці, треті випаровували воду за допомогою розпечених каменів, а в Конго люди підігрівали посудини із солоною водою на вогні. Відомий також інший спосіб видобутку солі – спалювання солевмісних рослин. Як сіль використовували також отриманий попіл, іноді – сік. Іноді спалювали шматок звичайного дерева, попередньо вимочений у солоній воді. А подекуди солевмісні рослини не спалювали, а сушили й розтирали. У бронзовому віці в Європі почався видобуток кам'яної солі. Ранні рудні виробки являли собою вузькі, як щілини, кар'єри шириною 50-70 см, довжиною 10 м і більше й глибиною 2-4 м.

Первинну обробку руди здійснювали як безпосередньо біля рудників, так і в поселеннях, іноді на значній відстані – за 100 км від районів видобування, а в Ірані – за 800 км. Відбувається перехід від імпорту злитків металу до імпорту руди. Усе це свідчить про істотні зміни в характері металургійного виробництва й обміну й, очевидно, про відокремлення гірничої справи від металургії.

## **1.5. Розвиток домашніх промислів і становлення ремесла**

Формування ремесла, як писав Ф. Енгельс, підготувало ґрунт для "другого великого поділу праці", що свідчило про значний прогрес у розвитку виробництва і суспільних відносин. Воно мало універсальний характер, виявляючись із завидною регулярністю практично у всіх районах світу, де відбувався процес формування класів.

Домашні промисли – це виготовлення виробів у самому домогосподарстві для внутрішнього споживання. Ремесло ж обслуговує насамперед зовнішніх замовників та ринок. Домашні промисли були доступними для кожної родини або сімейної групи, а ремеслом займалися окремі фахівці, які володіли певними знаннями й навичками, що нерідко зберігалися в таємниці від інших общинників. Так як за свою працю ремісники одержували певну платню, то рано чи пізно з поглибленням спеціалізації вони повинні були порвати із сільськогосподарською працею – відбувається відокремлення ремесла від землеробства.

Процес становлення ремесла спочатку торкнувся металургії, причому через складність свого заняття металурги із самого початку були ремісниками-професіоналами. На початковому етапі розвитку металургії залізо добували всією або частиною общини. Головною продукцією цього виробництва були зливки металу, призначені для обміну. Металеві вироби, як правило, виготовлялися на замовлення.

Згодом через зростання складності металургійного процесу навчання ремеслу найчастіше відбувалося по родинній лінії, отже, заняття металургією і

металообробкою все жорсткіше пов'язувалося з окремими родами. При цьому, як правило, знання передавалися від батька до сина, рідше – від дядька до племінника.

Наступним кроком було перетворення металургів у замкнуту ендогамную касту. Принципово такий же характер мало гончарне виробництво, ткацьке ремесло й т.д.

Еволюція гончарства пов'язана насамперед з удосконаленням гончарних печей (VII тис. до н.е.) і появою гончарного круга (VI тис. до н.е.). Застосування спеціальних гончарних горнів сприяло поліпшенню випалювання посуду й, отже, дозволяло розширити асортимент продукції, а крім того, створювало передумови для розвитку масового виробництва.

Іноді вдається простежити стійкий зв'язок між розвитком ремесел й процесом утворення міст, а, отже, і посиленням контролю за ними з боку знаті. Про великий вплив на ранній розвиток ремесла інтересів знаті, що формувалася в той період, свідчить сам асортимент виробів, пов'язаних насамперед із соціально престижною сферою і релігійними ритуалами (пишні прикраси, дорога зброя, ритуальні предмети, багатий посуд). У цей період багато високомистецьких виробів виготовлялися спеціально як поховальний інвентар або для сховку в скарбах.

Крім майстрів-металургів, у середині III тис. до н.е. виділилися такі фахівці, як майстри з виготовлення стріл, кожум'яки, теслі, косторізи. Це знайшло відображення в особливостях виготовлення й оздоблення поховального інвентарю. Деякі із цих первісних професій набули особливої популярності.

## **1.6. Еволюція суспільної свідомості. Раціональні знання**

Величезний масив раціональних знань, накопичений протягом попередньої історії первісного суспільства, в епоху його розпаду зазнає істотних кількісних та якісних змін, які були зумовлені глибокими економічними й соціальними перетвореннями в житті давньої людини. Зростання чисельності населення, розвиток продуктивних сил, регулярне одержання надлишкового продукту й формування пов'язаних з ним нових соціально-економічних відносин були важливими стимулами для подальшого прогресу астрономічних, математичних, біологічних, медичних, хіміко-технологічних, географічних знань. Об'єктивні передумови для цього процесу склалися в період розквіту первісного суспільства.

Становлення й удосконалення землеробства та скотарства було тісно пов'язано з послідовною реалізацією великої суми нових виробничих і технічних процесів, яким передувало виготовлення спеціальних знарядь на кожній стадії. Прогрес у цих галузях господарства сприяв практичному освоєнню, а потім уже й осмисленню широкого спектра нових відносин між просторовими формами і їхніми кількісними характеристиками, між різними відрізками часу й одиницями їх вимірювання. ,

### **Астрономія та календар**

В епоху формування класів розвиток астрономії й удосконалення сонячного календаря стають основою прогресу у лічбі часу й розвитку уявлень про нього. Відтворююче господарство постійно ускладнювалося, вимагаючи удосконалення вміння орієнтуватися в часі. Більш точні розрахунки, пов'язані із рухом сонячного

циклу (добова, річна, сезонна періодичність), витіснили місячний календар. У той же час у різних пережиткових формах продовжували зберігатися уявлення про лічбу часу за Місяцем. Пошуки шляхів удосконалення лічби часу для потреб хліборобсько-скотарського господарства вимагали, зокрема, розробки різних варіантів узгодження місячного календаря із сонячним. Прив'язка встановлених співвідношень до місцевих природних і господарських умов надавала своєрідного етнічного забарвлення знайденим вирішенням у кожному конкретному випадку, не позбавляючи їх внутрішнього, раціонального за своєю сутністю змісту. Яскравим прикладом цього є неолітичні й енеолітичні менгіри та дольмени на території Франції, що демонструють у самій техніці споруд елементи точних знань не тільки з геометрії, арифметики, механіки, але й астрономії, про що свідчить досить високий рівень коректності їх орієнтації на точку сходу Сонця.

Люди давно помітили розбіжність між місячним та сонячним календарями. Багато народів долали ці труднощі, удаючись до різних вузько-спеціалізованих відповідно до господарських потреб конкретних календарних розрахунків.

У деяких народів практичне коректування лічби часу за Сонцем і Місяцем досягалося насамперед завдяки спостереженням за зоряним скупченням Плеяд у сузір'ї Тельця, яке було виділено на карті зоряного неба ще в період ранніх мисливських общин.

У Середземномор'ї в I тис. до н.е. із 48 відомих сузір'їв 25, тобто більше половини, позначалися назвами тварин. Назви Тельця, Овна, Козорога та інших сузір'їв Зодіаку (сама назва якого походить від давньогрецького слова "тварина") є свідченням першорядної ролі первісних мисливців і скотарів у формуванні карти зоряного неба, сприйнятої і розвинутої пізніше в ранньокласовому суспільстві.

## **Математичні знання**

Становлення первинних астрономічних уявлень і календарів було нерозривно пов'язане з розвитком математичних уявлень та обчислень, насамперед лічби й вимірювань, які посідали винятково важливе місце у господарській діяльності людини. Прогрес математичних знань наочно відображає хід інтелектуального розвитку людини й суспільства, оскільки "першою теоретичною діяльністю розуму, що ще вагається між чуттєвістю й мисленням, – підкреслював К. Маркс, – є рахунок". Відомі межі лічби в різних народів спочатку були різними – від 100 до 1000 – і пов'язувалися з процесом розпаду первісного суспільства та активізацією торговельних й інших відносин.

Розширення меж кількісних операцій до десятка тисяч зумовило удосконалення інших розділів математичних знань. Потреба у вимірюваннях та обчисленнях зростала, але її реалізація ставала все більш нерівномірною в умовах майнового й соціального розшарування общини. Процедура лічби набувала настільки різноманітних форм, що важко всі їх перелічити: за допомогою пальців, паличок, соломин, камінчиків, зернят, за допомогою пучків, рахункових бірок і ременів, вузлів, кольорових шнурів, нарізки різної кількості одиниць (5,10,20 одиниць) у залежності від системи лічби.

Створення все більш різноманітних форм кам'яних, а пізніше металевих знарядь, керамічних виробів вимагало попереднього практичного вирішення певних

задач у сфері просторового співвідношення площин, об'ємів, фігур, вимірювання одних предметів за допомогою інших. Без попереднього проведення горизонтальних і вертикальних (прямовисних) ліній, без побудови з їх допомогою прямих кутів було б неможливо споруджувати різні будівлі. Утвердження приватного землеволодіння потребувало точного вимірювання довжин, відстаней, площ земельних ділянок; звідси і давньогрецький термін "геометрія" (землеміряння) на позначення розділу математики.

## **Біологія та медицина**

У первісній картині світу важливе місце посідали уявлення про єдність людини з природою, її подібність із тваринами. Ці уявлення стали вихідною базою для розвитку біологічних і медичних знань.

З поглибленням спеціалізації галузей відтворюючого господарства закладалися практичні основи для нових видів діяльності: ветеринарії, агротехніки, гідротехніки – нових розділів раціональних знань. Досвід мисливців і збирачів було покладено в основу суспільної й особистої гігієни, санітарії, застосування засобів рослинного походження (трави, корені, квіти, плоди, кора дерев та ін.) з лікувальною метою.

Значне поширення керамічного посуду сприяло використанню лікувальних відварів, які склалися за все більш складними рецептами. З розвитком скотарства пов'язане використання молока не тільки для харчових, але й для лікувальних цілей. Емпіричні пошуки в цій галузі були неможливі без найпростіших експериментів, які стосувалися і біології, і хімії. Так було закладено основи біохімії.

Завдяки удосконаленню процесів виплавки металів, способів їх очищення та виготовлення сплавів з потрібними властивостями первісна хірургія отримала більш досконалі металеві інструменти: скальпель, ланцет, металевий ніж (замість кам'яного), щипці, затискачі (замість дерев'яних). Усе це сприяло прогресу практичної медицини" в активі якої були не тільки найпростіші хірургічні операції, наприклад, кровопускання й зшивання вен, але й голковколювання, масаж, фізіотерапевтичні процедури, дієтика. Основою лікування залишалася народна медицина, але застосування її засобів поступово зосереджувалося в руках вузького кола професійних лікарів.

Становлення професійної медицини в умовах розкладання первісного суспільства поєднувалося з ритуально-магічними діями. У виборі лікарів і шаманів не було істотної переваги тих чи інших – це відповідало, в кінцевому підсумку, загальній атмосфері еволюції духовної культури в ранньокласових суспільствах.

## **Географія та картографія**

Процес консолідації племен, розвиток торгових, військових та інших відносин із сусідами розширювали обрії сукупних географічних пізнань.

Потреба доповнювати усне передавання географічних знань наочними поясненнями виникла дуже рано серед корінного населення всіх частин світу. Спочатку це були короточасні найпростіші схеми місцевості, рельєфно зображені

на землі за допомогою каменів, лозин, соломи й інших підручних засобів, накреслені пальцем або палицею на піску, пухкій глині, на снігу.

Потреба в більш довгостроковому наочному приладді, особливо в умовах кочового життя, привела до появи більш довговічних і портативних форм відображення місцевості за допомогою графічних методів. Карти креслили вістрям ножа чи шила на корі дерева, малювали на шкірі й тканині пензликами. Одні карти були призначені для навчання юнаків географії, інші зберігалися в таємниці в старійшин і вождів, їхні секрети передавалися найближчим родичам по чоловічій лінії. Такі карти, доповнені усними переказами, орієнтуванням за Сонцем і зірками, використовувалися в далеких плаваннях на відстані до тисячі миль.

Розширення торговельних зв'язків стимулювало подальший розвиток первісної географії й картографії. У ході трансформації первіснообщинних відносин у ранньокласове суспільство розвиток географічних знань і картографії поступово зосереджувався в руках панівної верхівки й спрямовувався на задоволення її потреб. У класовому суспільстві практична цінність географії вже нерозривно пов'язується з діяльністю державних людей і володарів. Географія Страбона починається з констатації цього факту.

### **Виникнення та становлення обміну**

У первісному родовому колективі за умови панування суспільної власності на засоби виробництва й предмети споживання, економічні відносини між його членами мали розподільний, а не обмінний характер. Глибинні витoki обміну лежать у системі первісних розподільних відносин, а також особистісних і престижних відносин усередині роду, конкретний зміст яких визначається образами й символами міфологічної свідомості. Такий розподіл виконував подвійну функцію: був засобом забезпечення індивідуалізованих потреб членів громади й водночас засобом вираження соціального престижу в суспільстві, зміцнення внутріобщинних і міжобщинних зв'язків. Таким чином, у розподілі вже виявлялися передумови обміну. З появою стійкого надлишкового продукту, а також у зв'язку із спеціалізацією родів, родин, індивідів та общин на окремих видах праці, зростанням значення міжособистісних зв'язків, ролі соціального престижу колективістський розподіл поступово перетворюється на стійкий економічний обмін.

На основі поділу праці між різними общинами, спеціалізації общин на виробництві певних видів продукції (рослинництво, скотарство, ремесла) поступово формується вища форма обміну – обмін товарами (товарообмін). Як відомо, товаром називається річ, створена працею людини й призначена для обміну на інший продукт праці. Обмін товарами можливий з тієї причини, що всі товари мають щось спільне – предметнену в них працю, що і є субстанцією їхньої вартості.

На найбільш ранніх етапах товарообміну речі не створювалися спеціально для обміну, а ставали товаром лише тоді, коли спорадично обмінювалися на інші речі, як правило, створені в іншій общині. Згодом обмін стає більш-менш систематичним. Частина продукту починає вироблятися спеціально для обміну. Таким чином, на цьому етапі зароджується товарне виробництво.

На наступному історичному етапі розвитку товарообміну з усієї маси товарів виділяється один, який стає загальним еквівалентом, тобто через нього виражається

вартість всіх інших товарів. Коли роль загального еквівалента закріплюється за яким-небудь товаром, що витіснив інші, то такий товар стає грошима. Найчастіше в ролі грошей виступають дорогоцінні метали.

Поступово на зміну первісному типу безпосереднього спілкування приходять нові типи спілкування, нові спеціальні відносини – ті, котрі притаманні цивілізації. Підґрунтям цивілізації є здатність людини подумки співвідносити безпосередні умови своєї діяльності й спілкування з такими ж умовами інших людей, що мають місце в будь-який час і будь-де. З появою такої здатності формується новий тип єдності людей, що поєднує осіб не тільки не знайомих, але навіть таких, що не знаходилися (і не могли знаходитися) в один час в одному місці. Інакше кажучи, людина, перш ніж стати цивілізованою, повинна була навчитися спілкуватися не просто з іншими, чужими їй людьми, але й вільно почувати себе в ситуації спілкування з уявним партнером, з його знако-символічними, образними проявами. Знак речі, її образ і сама річ повинні були розмежуватися настільки, щоб їх сприймали як окремі сутності, хоч і пов'язані між собою. У даному випадку історичним критерієм найбільш розвинутих станів є грошовий товарообмін. А оскільки в грошовому товарообміні завжди присутня ситуація ризику, то свідомість повинна не тільки проектувати майбутнє, але й бути здатною досить ефективно блокувати емоційно-афективне регулювання мотиваційних станів. Інакше кажучи, тут не тільки мстив визначає мету, але й мета, можливості її реалізації впливають на мотиваційну сферу. Таким чином розвивається самосвідомість.

## **Поділ праці**

Необхідною передумовою становлення цивілізації є розвиток форм поділу праці. Поділ праці полягає, по-перше, у поділі трудового процесу на окремі операції (технологічний поділ праці) і, по-друге, у закріпленні певних видів діяльності за окремими особами або групами людей (природний і суспільний поділ праці).

Перший по-справжньому важливий поділ праці виростав не з будь-якої форми міжобщинного обміну, а з тієї, яка була історично перспективною, сприяла розвитку товарного обміну, максимально стимулювала економічні інтереси виробників, підтримувала максимально можливе (у тих умовах) зростання продуктивних сил і продуктивності праці, сприяла появі регулярного (і зростаючого) стійкого надлишкового продукту. Такі умови задовольняв міжобщинний поділ праці, що виявився у виокремленні хліборобсько-скотарських племен із племен, які займалися полюванням, збиральництвом, рибальством і були здебільшого кочівниками.

Наступні великі суспільні поділи праці виявилися у відокремленні від землеробства кочового скотарства, а потім і ремесла. Відокремлення ремесла від землеробства тісно пов'язане з відокремленням фізичної праці від розумової, що було найважливішою умовою становлення міста, відокремлення міста від села.

Найдавніше місто виникло не просто як поселення ремісників на перехресті торговельних шляхів, а як зосередження всіх форм людської активності, що існували в цю епоху, як місце концентрації цивілізовано прогресивних форм діяльності й спілкування, що вимагають абстрактної і динамічної свідомості. Саме така свідомість була властива ремісникам і купцям, які пізніше виділилися з їх середовища.

Ремісницьке виробництво має ряд принципово нових рис, які дають йому право на особливу роль порівняно з попередніми типами виробництва. Ремесло задовольняє не стільки біологічні, скільки соціально-культурні потреби людини. Продуктивність ремісницького виробництва не залежить жорстко від природних факторів, а багато в чому визначається виробничими навичками, професіоналізмом, знаннями самого виробника. У ремісницькому виробництві безпосередньо взаємодіють два природні об'єкти – предмет праці й засоби праці, а в результаті взаємодії обов'язково проявляються об'єктивні (незалежні від суб'єкта) характеристики цих предметів.

На ранніх етапах товарообмін відбувався між самими виробниками й покупцями. Але такий обмін був малоефективний. Він стримував розвиток ремісницького виробництва, оскільки виробник багато часу витрачав на реалізацію свого товару. Поступово із середовища ремісників і їхніх родин виділилася група осіб, які безпосередньо забезпечували реалізацію, обмін товарів, – це були купці, торговці. Наприкінці IV—III тис. до н.е. в Месопотамії вже сформувався купецький стан. Зародившись у перед класовому суспільстві, торгівля інтенсивно розвивалася в умовах класового суспільства, в умовах цивілізації, сприяючи становленню міжнародних економічних зв'язків.

### **Розвиток духовної культури**

Неолітична революція спричинила, у кінцевому підсумку, кардинальні перетворення у сфері духовної культури, у суспільній свідомості. Міфологія не могла забезпечити задовільне орієнтування людини в нових формах виробничої діяльності й у нових соціальних зв'язках. Як відповідь на суспільні потреби на зміну первісній міфологічній свідомості прийшов новий історичний тип свідомості, новий тип духовної культури. Виникнення суспільного поділу праці мало надзвичайно глибокі наслідки для становлення людської індивідуальності, розвитку духовного світу особистості. У способі життя поступово виділяються дві сфери: особистої, повсякденної, побутової життєдіяльності з відповідною свідомістю, що обслуговує структури повсякденності, і продуктивної, трудової життєдіяльності, зумовленої суспільними умовами праці, якій відповідала раціоналістично орієнтована свідомість.

Внутрішній світ людини значно ускладнився за рахунок остаточного закріплення розбіжностей між соціальними й особистими, сімейно-побутовими інтересами, уявленнями, оцінками, знаннями й т.п. Ускладнилася як система мотивів, так і її зв'язки, з одного боку, зі сферою усвідомлення й досягнення мети, а з іншого боку – зі сферою потреб. З'явилися умови для виникнення глибокого внутрішнього конфлікту, виявлення підвищеної духовної напруженості, драматизму у внутрішньому світі особистості. Саме тому цивілізованість завжди драматична. А головний сюжет "драми цивілізації" – це боротьба між соціальним та особистісно мотивованим у внутрішньому світі людини, що виступає, як правило, в іпостасі боротьби добра і зла; відбувається соціально-класова поляризація суспільної свідомості, формується ідеологія і психологія класового поділу суспільства: єдина, цілісна, синкретична первісна міфологічна свідомість диференціюється на відносно самостійні форми суспільної свідомості (основні компоненти духовної культури) –

релігію, мораль, мистецтво, філософію, політичну ідеологію, правосвідомість і, нарешті, науку. Ціннісні форми свідомості (мораль, релігія і т.п.) формувалися спочатку більш інтенсивно в порівнянні з формами раціональної свідомості – наукою і філософією.

### **Становлення писемності**

Найбільшим культурним досягненням, що утвердилося на рубежі первісного й класового суспільства, є упорядкована писемність.

Згідно з найбільш розповсюдженим у наш час визначенням, письмо – додатковий щодо звукової мови засіб спілкування або засіб закріплення мовної інформації за допомогою нарисних знаків або зображень (В. О. Істрін); "знакова система фіксації мови, що дозволяє за допомогою нарисних знаків (графічних елементів) передавати мовну інформацію на відстань і закріплювати її в часі" (І. М. Дяконов); система взаємної комунікації людей за допомогою умовно застосовуваних видимих знаків (І. Гельб).

Зважаючи на широке трактування поняття письма, украй важко виявити його первісні витoki у відомих у наш час масивах первісної символіки (до речі, що також не має ще й досі загальноприйнятої класифікації), специфічні передумови його генезису залишаються досить невизначеними. Так, серед писемних засобів передачі повідомлень часто згадується так зване "предметне письмо". Цим розпливчастим терміном позначаються дуже різноманітні явища: від купи листя, залишеної мисливцем на стежці з метою орієнтування для тих, хто йде слідом, до різноманітної символіки відносин між ворогуючими сторонами. Серед інших видів зорової символіки до вирішення подібних завдань наближалися перехідні від предметних до образотворчих засоби закріплення й передачі інформації. Наприклад, в Африці плем'я йоруба певним числом і взаємним розташуванням раковин каурі фіксувало й передавало відомості про взаємини людей, у т.ч. про стосунки між кредитором і боржником.

Вирішальне значення для створення специфічних передумов становлення писемності мала поява й розвиток образотворчої діяльності, що використовувала пластику форм, кольори й, найголовніше, – графіку.

У кінцевому підсумку, серед різних концепцій становлення писемності можна виділити три основні чинники, що визначають специфіку цього процесу: виділення графічної символіки серед інших форм первісних комунікацій, вироблення стабільних графічних засобів для передачі загального змісту повідомлень, створення стійкої системи графічних знаків для передавання мовної інформації.

### **Розвиток піктографії**

Використання малюнків з метою фіксування й передавання інформації сягає корінням у часи розквіту первісного суспільства. Зачатки піктографії ("рисункового письма") більшість фахівців пов'язують з мистецтвом палеоліту, вбачаючи в його художньо-естетичних і пізнавальних функціях елементи комунікативно-меморіального призначення окремих творів.



На відміну від первісного мистецтва виконання малюнків як піктограми не має на меті створення конкретних художніх образів. Тому піктографічні малюнки порівняно легко стають схематичними, а потім і умовними зображеннями, не втрачаючи при цьому основного змісту переданої з їх допомогою інформації.

Згодом за кожним малюнком закріплювався строго визначений зміст, тобто зображення ставало однозначним; вироблявся єдиний спосіб накреслення малюнка в межах того фонду піктографічних позначень, якими користувалося плем'я.

Поряд із процесами спрощення, схематизації окремих малюнків, наближення їх як за формою, так і за функціями до перехідних "рисунково-знакових" елементів письма, що зароджувалося, відбувалося певне ускладнення в композиційних побудовах піктографічних повідомлень. Цьому сприяло поступове введення в зображувальний арсенал піктограм деяких типів умовних знаків: рахункових, маршрутних, картографічних, знаків власності й т.д., які сформувалися раніше.

Вищі форми розвитку піктографії можна відшукати в рукописах ацтеків. Вони являють собою серії багатоколірних малюнків, майстерно виконаних на оленячій шкірі або на тканині з лубу агави. Малюнки передавали поняття, а не звуки мови, причому важливу роль відігравали дати та інші чисельні позначення. Велике значення мала символіка кольорів, які застосовувалися при створенні піктограм.

#### *Розвиток ідеографії*

Провести чітку межу між піктографією та ідеографією неможливо. Для цього не існує незаперечних підстав ні в графічній формі піктограм та ідеограм, ні в принципах побудови закінчених повідомлень. Протягом декількох тисячоліть піктографічне письмо поступово переростало в ідеографічне, де на зміну малюнкам приходили якісь певні знаки. Ідеограми частково зберігали рисункові накреслення й були пов'язані – прямо чи побічно – зі змістом подібних знаків. На певному етапі суспільного розвитку вони стали основою для створення первинної писемності. Це був період формування держав, коли виникла нагальна потреба в точному, однозначному передаванні управлінської, господарської, статистичної інформації, у фіксуванні законів, історичних подій, релігійних настанов і, разом з тим, з'явилася можливість виділити для виконання цих функцій спеціальну категорію людей (переписувачів, жреців).

Ідеографічне письмо розвивалося в напрямку від зображення певних уявлень (образів, понять), незалежно від їх звучання в усному мовленні,—до ієрогліфів. Ієрогліфи одночасно позначали й образ (уявлення, поняття), і ті звуки, з яких складаються слова, що позначають дані образи. Найдавніші письмена Шумеру, Єгипту, Китаю, Еламу, Криту, Урарту вже в IV тис. до н.е. широко використовували ієрогліфи (тобто "священні письмена, висічені на камені" – саме так древні греки називали ранню писемність єгиптян).

Становлення державності вимагало також безпомилкової однозначної фіксації в записах зростаючої кількості власних імен і географічних назв, що сприяло прогресуючій фонетизації письма. На завершальних стадіях розвитку ідеографії письмо стає словесно-складовим.

Найраніше це відбувається в шумерському клинописі близько 2400 р. до н.е.: написи царя Лагаша Еаннатума виконані вже за остаточно сформованими принципами змішаного словесно-складового написання. Клинописне письмо було досить складною системою, що складалася з декількох сотень і навіть тисяч

спеціальних знаків. Його засвоєння вимагало значної спеціалізації і професіоналізації. Протягом III тис. до н.е. сформувалася і єгипетська ієрогліфіка. У суспільстві з'явилася ціла соціальна верства – верства переписувачів. Безперечно, переписувачі належали до числа найбільш інформованих та освічених людей свого часу. Саме переписувач був центральною фігурою месопотамської цивілізації.

Вищою формою писемності, що склалася в II тис. до н.е., була фонетична, буквена, в якій знаки позначали не предмети, а склади, звуки й графічно передавали окремі звукові позначення. Перше алфавітне письмо винайшли фінікійці. Фінікійське письмо було покладено в основу давньогрецького, а також арамейського письма, від якого пізніше виникли індійська, перська, арабська системи писемності.

Писемність як можливість зберігання, нагромадження й передавання знань стала найважливішим стимулом для прискорення розвитку духовної культури й визначальною передумовою становлення науки. Один невідомий єгипетський переписувач, розмірковуючи над значенням письма, записав на папірусі понад чотири тисячі років тому: "Людина зникає, тіло її стає прахом, усі її близькі зникають з лиця Землі, але писання змушують згадати її вустами тих, хто передає це у вуста інших. Книга потрібніша за споруджений будинок, вона краща від розкішного палацу, краща за пам'ятник у храмі". ,

**ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2.**  
**НАУКА І ТЕХНІКА В АНТИЧНОМУ СВІТІ.**  
**НАУКА І ТЕХНІКА В СЕРЕДНЬОВІЧЧЯ**

**2.1. Наука античного світу**

**Формування й розвиток античної цивілізації**

Суспільство Стародавньої Греції і Риму в період з IX – VIII ст. до н.е. до IV – V ст. до н.е. прийнято називати античним світом. В античний час грецький світ, не обмежуючись південною частиною Балканського півострова й островами Егейського моря, вийшов далеко за їх межі. Численні грецькі міста були засновані на узбережжях Середземного й Чорного морів, а також на островах Кіпр і Сицилія. У VIII ст. до н.е. великий потік грецьких переселенців спостерігався в напрямку до узбережжя південної частини Італії; значення заснованих там великих полісів було настільки важливим, що ця частина еллінського світу одержала назву "Великої Греції". Масштаби розселення греків стали приводом для знаменитого римського оратора й політичного діяча Цицерона порівнювати їх із жабами, що сидять на берегах ставка.

Засновані на Сході грецькі міста суттєво відрізнялися від колишніх полісів. Розташовані на землях елліністичних монархій, вони перебували під владою їхніх правителів. Мешканці таких міст були підданими царів, чим істотно відрізнялися від своїх прабатьків – громадян невеликих еллінських самостійних республік.

У нових історичних умовах контакт греків з мешканцями країн Близького Сходу був незрівнянно більш тісним, ніж раніше. Це сприяло більш інтенсивному, ніж колись, культурному обміну між прибульцями й корінними жителями Сходу та становленню нової – елліністичної – культури, в якій різні елементи поєднувалися в складній взаємодії.

Свобода особи в республіках античної Греції сприяла всебічному розвитку їх культури, що корінним чином відрізняло ці республіки від деспотій Стародавнього Сходу. У своїй основі грецька культура була самобутнім явищем.

Греки зробили величезний внесок у світову скарбницю мистецтва й літератури, започаткувавши основні галузі науки, а також філософію.

Грецьке суспільство вирізнялося високим рівнем грамотності. На основі грецького алфавіту в стародавній період було створено латинський алфавіт, а в 863 р. н.е. слов'янську абетку – кирилицю, пряму попередницю сучасних слов'янських абеток. Таким чином, писемність усієї нинішньої Європи, Америки, Австралії, значної частини Азії і частково Африки виникла на давньогрецькій основі.

Еллінська наука формувалася й розвивалася в незрівнянно кращих умовах, ніж наука в країнах Стародавнього Сходу, де наукова діяльність була прерогативою жреців, що не могло не накладати на неї певний відбиток. Еллінська наука була суто раціональною і мала світський характер. Грецькі наукові традиції були сприйняті наукою елліністичного часу й набули подальшого розвитку.

Греки розробили начала багатьох найважливіших галузей науки. Гідним уваги є те, що такі назви, як астрономія, анатомія, ботаніка, геометрія, граматики, зоологія, історія, математика, механіка, фізика, фізіологія (і цілий ряд інших) – грецькі за походженням. Майже всі ці назви вимовлялися в давні часи так само, як вони звучать і тепер.

Особливих успіхів досягла грецька наука в галузі математики, де визначальна роль належить Піфагору та його учням.

Грецькі вчені створили геометрію і стереометрію, начала яких розробив Евклід. Його праці стали зразком для наслідування в усі наступні часи. На їх основі склалися шкільні підручники, за якими, до речі, навчаються й у нинішніх школах.

Архімед із Сиракуз – механік і військовий інженер; учений, який працював у багатьох галузях; створив основи тригонометрії. Він започаткував принципи аналізу нескінченно малих величин, а також основні закони гідростатики й механіки, що широко застосовувалися для практичних цілей.

Зародження знань з механіки припадає на глибоку давнину, а термін "механіка" з'явився в античному світі. Правда, у нього протягом тривалого часу, принаймні до середини XVII ст., вкладали дещо інший зміст. Цей термін походить від давньогрецького слова *mechané*, яким називали все штучно придумане, тобто розуміли його як механічне мистецтво. Це стосувалося не тільки різних машин і механізмів, а й взагалі всіх "хитромудрих" винаходів. Слово *mechané* вживалося й у більш вузькому розумінні. Спочатку воно означало назву піднімальних машин, за допомогою яких у грецьких театрах опускали й піднімали акторів, і взагалі механізмів, що дозволяли за допомогою сили піднімати значну вагу на досить велику висоту. Пізніше цим словом почали називати різні металеві машини, що застосовувалися в античній військовій техніці. У наш час теорія машин і механізмів є одним з розділів механіки, а назва "механіка" поширилася на науку про всі види механічного руху.

Економічні основи рабовласницького господарства визначили характер античної механіки.

Розвиток рабства в Греції був однією з передумов для більш глибокого поділу праці у виробництві. До певного періоду це забезпечувало швидке зростання техніки й продуктивних сил, так як рабовласники одержали час для удосконалення інтелектуальної діяльності. Однак рабовласницьке господарство містило в собі елементи, які гальмували подальше зростання техніки. Рабам в основному доручалися такі примітивні роботи, які зовсім не потребували знарядь праці або виконувалися вкрай грубими знаряддями, тому раб, який сам був знаряддям праці, не міг виявляти зацікавленість ні в збереженні, ні в удосконаленні цих знарядь.

Таким чином, з особливостями рабовласницької економіки були пов'язані примітивний характер техніки і її повільна еволюція. До важеля й клина в елліністичну епоху, що почалася на межі IV – III ст. до н.е., додаються ще блок і гвинт. У виноробстві й маслоробстві використовувався прес – як важільний, так і заснований на принципі клина, що вдавлюється; пізніше почали використовувати і гвинтовий прес. Для піднімання й горизонтального пересування ваги греки й римляни застосовували коловорот з горизонтальною віссю в першому випадку і з вертикальною – у другому. У будівельній справі використовувалися також блоки й системи блоків – поліспасти. Обертальний рух перетворювали за допомогою систем

зубчастих коліс. Більш складні механічні знаряддя (водяне колесо, черв'ячна передача, гвинт, насос і т.д.) застосовувалися порівняно рідко – рабська праця не стимулювала поширення механічних пристосувань.

Однак в античному світі існували види діяльності, не пов'язані або майже не пов'язані із застосуванням рабської праці. Це військова й морська справа, потреби яких значною мірою визначали розвиток античної техніки. На грецьких і римських судах, як цивільних, так і військових, рабів використовували лише як веслярів. Більш відповідальні операції – кермування, керування вітрилами й т.д. – були справою вільних громадян. Рівень розвитку техніки у військовій справі (особливо в елліністичний і римський періоди) був значно вищим, ніж у сільському господарстві. Уже в V ст. до н.е. (Пелопонеська війна) в афінській армії застосовувалися тарани, що досягали гігантських розмірів. Для метання важких стріл використовувалися катапульти; прототипом кулемета був полібол для невпинного метання стріл; балісти були призначені для метання каменів. Бони давали можливість ядро вагою в 4 фунти перемістити на відстань 300 метрів. Існували спеціальні прицільні пристосування й прилади для зміни траєкторії.

Дуже важливим видом діяльності, що сприяв розвитку техніки й механічних пристроїв, було ремісницьке виробництво. В елліністичному світі, особливо в Греції, воно було значною мірою справою вільних громадян. Саме з ремісницьким виробництвом пов'язана розробка різних способів піднімання й переміщення: вантажів за допомогою механічних пристроїв, "хитромудрих приспособ" у ткацькій, гончарній, ювелірній справі й т.д., тобто всього того, що, використовуючи сучасну термінологію, можна об'єднати в поняття "технічна механіка".

Значним стимулом для удосконалення механічних пристроїв був розвиток торгівлі (як внутрішньої, так і, головним чином, міжнародної). Як обмінний еквівалент використовувалося золото, а також коштовне каміння. Це сприяло удосконаленню важеля в різних його різновидах, так як торговельні операції вимагали якомога точніших способів зважування. З'являються ваги й безміни найрізноманітніших конструкцій: із рухомою точкою опори, з нерухомою точкою опори, але з вантажем, що переміщується, і тд. Зважування на безмінах базувалося на емпіричному знанні закону важеля; таким чином, ці закони перевірялися на практиці. У будові безміна було використано твердження, що подвійному вантажу, підвішеному до одного плеча важеля (з нерухомою точкою опори й постійною за величиною противагою), відповідає вдвічі більша відстань противаги від точки опори.

Принципово новим в античній механіці порівняно з науковими досягненнями Стародавнього Сходу було те, що поряд зі стихійним застосуванням результатів багатовікового практичного досвіду велику роль починають відігравати механічні теорії.

Характерною рисою античної механіки є відірваність учення про рух – кінематики – від учення про рівновагу – статyki. Розвиток цих основних галузей механіки протягом тривалого часу (аж до XVII ст. – періоду об'єднання їх у єдину науку) відбувався відособлено. Це значною мірою визначалося традиціями античної науки. Учення про рух розроблялося в рамках загального вчення про природу: питання про сутність руху було однією з фундаментальних проблем давньогрецької філософії. Власне, кінематичний опис рухів став справою астрономів, які створили

для своїх спостережень і вимірювань досить складні інструменти й механічні моделі світобудови: рух небесних тіл згідно із загальноприйнятими в античній науці поглядами не потребував причинних пояснень. Учення про рівновагу розвивалося на основі дослідів, у яких використовувалися різні пристрої.

Таким чином, у теоретичній механіці античного світу, яка зародилася в Стародавній Греції в VI-V ст. до н.е. й розвивалася пізніше в елліністичних державах і в створеній римлянами імперії приблизно до V ст. н.е., можна виділити три напрямки й три лінії розвитку. Статика була безпосередньо пов'язана з технічними запитами суспільства; її основним завданням було обчислення виграшу в силі, якого можна досягти за допомогою відомих механічних пристроїв, і виявлення умов рівноваги при зважуванні й плаванні тіл. Кінематичний напрямок був пов'язаний, принаймні в елліністичну епоху, з астрономічними традиціями, які вже мали на той час багатовікову історію. В обох цих галузях було досягнуто досить високого рівня математизації науки – з використанням геометрії, тригонометрії і методів інфінітезимального характеру. Загальне вчення про рух, з яким мали справу філософи, було, в основному, якісною теорією. Воно, відповідно до установок головних філософських шкіл епохи, залишало осторонь кількісний бік справи й займалося пошуком пояснення причин механічних явищ, спираючись на повсякденний досвід і спостереження, вдаючись до порівнянь і зіставлень.

Найбільш ранні твори античних авторів, присвячені механічним теоріям, не збереглися. Однак немає сумніву в тому що більшість із них стосувалися проблем статички, а в їх основі лежав принцип важеля. Наступний етап в розвитку технічних і математичних проблем був пов'язаний з обґрунтуванням принципу дії гвинта.

Як зазначалося вище, уже на ранніх стадіях розвитку грецької філософії можна виявити початки двох принципово різних механічних концепцій – кінетичної і динамічної.

Основні положення динамічної концепції зводилися до таких положень: матерії не властивий самостійний рух – сама по собі вона може лише перебувати в спокої; рух матерії спричинюється впливом на неї активних рушійних начал – сил, що існують незалежно від неї і діють ззовні. За Емпедоклом, наприклад, рух матерії зумовлений двома суперечливими світовими силами: любов'ю і ворожнечею.

Навпаки, з погляду кінетичної концепції, у природі немає яких-небудь особливих начал руху, не пов'язаних із матерією: матерія здатна до самостійного руху.

В епоху античності відбулося виділення статички в особливу теоретичну дисципліну, яку древні називали "мистецтвом зважувати" й ставили поряд з арифметикою ("мистецтвом рахувати"). Статика належала до тих природничонаукових дисциплін, які у Стародавній Греції зазнали найбільшої математизації. Яскравим прикладом цього може бути статика Архімеда, створена за зразком геометрії Евклі-да. З античною епохою пов'язане зародження в статистиці двох напрямків: кінематичного й геометричного.

Перший напрямок, очевидно, виник на основі практики використання простих механізмів (важеля, похилої площини й ін.) для пересування й піднімання вантажів. При цьому закони рівноваги тіл вивчалися шляхом розгляду явищ, які відбуваються при порушенні рівноваги: наприклад, розглядали не врівноважений важіль, тобто

важіль у русі. Доведення основних теорем статички в цьому випадку було пов'язане з прихованими або очевидними припущеннями з галузі динаміки.

Другий напрямок розвивався у зв'язку з необхідністю розрахунків умов рівноваги, коли йшлося про архітектурні конструкції: балки, плити й т.п., підперті в одній чи кількох точках, а також рівновагу підвішених важких тіл, тобто усіяких різновидів тягарів. Завдання полягало в тому, щоб звести задачу до схеми нерухомого й урівноваженого важеля. З геометричним напрямком статички пов'язане виникнення поняття центру ваги.

У VI ст. до н.е. було закладено основи географії. Цьому чимало посприяло розселення греків на великих просторах і поживлене судноплавство в Середземному й Чорному морях. Із часом греки складають описи Індії, куди проникають через океан (Скілак), північного Причорномор'я, Близького Сходу, Єгипту, Месопотамії, Персії і навіть північного узбережжя Німеччини, Британії та прилеглих до неї островів (Піфій із Масалії).

Художня творчість Стародавньої Греції вражає глибокими початками гуманізму. Багатогранне грецьке мистецтво, особливо в період розквіту полісної системи, відрізняється почуттям міри й гармонії. Живопис у сучасному розумінні цього слова вперше з'явився в Греції (до цього на Сході був відомий тільки розфарбований плоский малюнок). Архітектура, скульптура й художнє ремесло досягли небачених ще висот.

Виникнення театру теж пов'язано з Грецією; тут зародилися основні види драматичного мистецтва: трагедія і комедія. Становлення грецької науки сприяло розвитку прозаїчних жанрів; пізніше в греків з'явився роман. Гарячі дебати під час обговорення нагальних політичних питань, пов'язаних з долею держави, а також суперечки сторін під час судових процесів сприяли розвитку ораторського мистецтва. Ці сфери творчості сприяли розвитку теорії поезії й риторики.

Не менше значення має грецька література: епос і лірика. Міфи про героїв були для древніх такою ж незаперечною істиною, як міфи про богів, а самі герої ставали предметом поклоніння. Героїчні перекази перепліталися один з одним і з міфами про богів. Виникали зібрання (цикли) міфів, що об'єднувалися як послідовністю фактів, що лежали в їх основі, так і законами релігійного мислення й поетичної фантазії. Міфи були ґрунтом, на якому виріс грецький героїчний епос. Найважливішою сюжетною лінією грецького епосу був великий похід на Трою.

Але від часу створення епосу ці події були відділені трьома, а то й чотирма століттями, і тому до картин життя, що відійшли в минуле, але запам'яталися з незвичайною точністю, додалися деталі й подробиці, запозичені з життя, яке оточувало невідомих нам творців епосу. Як і у всіх народів, героїчний епос у греків був усною творчістю і письмове його закріплення знаменувало останній етап в історії жанру. Виконавцями епічних творів і разом з тим їхніми співтворцями, співавторами були співаки (грецькою – "аеди").

### **Загальна характеристика піфагоризму. Піфагорейський союз**

Наприкінці VI ст. до н.е. центр наукової думки Стародавньої Греції перемістився зі сходу середземноморського світу на його захід – на узбережжя Південної Італії і Сицилії, де греки заснували свої колонії. У місті Кротоні склалася,

очевидно, перша в історії людства науково-філософсько-релігійно-політична школа – Піфагорейський союз. Він проіснував з кінця VI ст. до н.е. до середини IV ст. до н. е. мав великий вплив на розвиток давньогрецької культури, науки, філософії. До того ж він активно втручався й у політичне життя італійських полісів. Засновником Піфагорейського союзу був Піфагор – мислитель, про якого складено безліч легенд і мало що відомо достовірно. Піфагор – особистість суперечлива, у його поглядах тісно перепліталися елементи міфології, магії, релігії, філософії і науки.

Виходець з острова Самос, Піфагор багато років навчався в Єгипті й Вавилоні, можливо, навіть в Індії. Відома легенда про зустріч у Мілеті юного Піфагора з Фалесом. Піфагорейський союз був закритою, таємною організацією зі строгим статутом; він культивував розмірений, споглядальний спосіб життя, який випливав з уявлень про Космос як про упорядковане, гармонійне, системне ціле, досягнути яке дано не всім, а тільки обраним, тобто тим, хто сприйняв особливий спосіб життя споглядальника – мудреця, який перебуває у стані самозаглиблення, самоудосконалення.

#### *Філософське вчення давніх піфагорейців*

В основі піфагорейського філософського вчення лежить принцип: основою всього існуючого, і Всесвіту в цілому, є елементи чисел. Слід зазначити, то теоретична реконструкція цього ядра піфагорейського вчення пов'язана із серйозними труднощами. Питання про первісний характер основних принципів піфагорейської метафізики вирішується в дослідницькій літературі далеко не однозначно.

За свідченням Арістотеля, в основу розуміння всього сущого піфагорейці поклали не просто числа, нехай навіть і метафізично осмислені як сутності, як внутрішня основа всього сущого, а "елементи числа", тобто вихідні начала, принципи самого числа, що мають явно виражений характер і зміст. Згідно з поглядами піфагорейців, першим таким началом, принципом числа є монада – одиниця не арифметична, не дискретна, а одиниця як логічний принцип тотожності, рівності числа й речі самим собі.

Відношення цієї досконалої абстрактної одиниці, одиниці як власне тотожності, до арифметичних чисел і до конкретних речей піфагорейці виразили в понятті "наслідування". Як числа, так і окремі речі "наслідують" одиницю, яка є їх принципом. Платон визначив відношення ідей до індивідуальних речей як "причетність", замінивши піфагорейський термін "наслідування". Арістотель відзначив, що ці обидва формулювання є незадовільними, оскільки не розкривають природу справжніх взаємозв'язків між принципами й речами. Надзвичайну абстрактність і пов'язану з нею незадовільність принципу монади відзначав Гегель: "Речі, однак, є набагато більш визначеними, і їхня визначеність не є тільки це сухе одне".

Крім монади як верховного принципу чисел і речей, піфагорейці виділяли діаду. Монаду вони розуміли як безмежну, невзначену матерію, тоді як діада, невзначена двій ця, означала в них прямо протилежне тлумачення монади й діади: "Монада – батько, невзначена діада – мати чисел". Замість безмежного як єдиного, вони ввели подвійність і виводили безмежне з великого й малого. Отже, піфагорейці приписували безмежному єдність, Платон же зробив його двоїстим.



Спираючись на вихідні принципи монади й невизначеність діади, піфагорейці приходять до принципу трійці. У трійці досягає свого завершення монада. Вона являє собою єдність монади й невизначеної двійці, тому що монада, проходячи через невизначену діаду й зв'язуючись із нею, дає трійцю, тріаду. Тому трійцю піфагорейці трактують як перше досконале число.

Від тріади піфагорейці переходять до тетради, принципу чотирьох, що є подальшим розвитком і завершенням принципу тріади. Тетрада, або четвериця, вважалася в піфагорійців священним числом, причому найважливішим порівняно з іншими. Аналізуючи зміст поняття тетради, намагаючись усвідомити її значення, відразу приходиться на думку уявлення давніх греків про чотири елементи (стихії), чотири частини світу й т.д.

Нарешті, від принципу четвериці піфагорейці переходять до декади, священного числа, що є іншою формою четвериці. Декада являє собою завершене і, зрозуміло, найбільш досконале число. Секст Емпірик характеризує декаду тетрактію таким чином: "Тетрактією називається таке число, що містить у собі чотири перших числа, утворюючи найбільш завершене число, а саме десять, тому що одиниця і два, і три, і чотири складають десять. Коли ми доходимо до десяти, ми це число знову розглядаємо як одиницю й починаємо спочатку. Тетрактія містить у собі витoki й коріння вічної природи, тому що вона є логосом Всесвіту, духовного й тілесного".

Отже, як і мілетські мислителі, давні піфагорейці є натурфілософами, оскільки головним предметом своїх досліджень вони вважали природу. Разом з тим вони розробили принципово новий спосіб дослідження природи. Якщо більшості давньогрецьких натурфілософів притаманна несвідома тенденція до матеріалізму, то піфагорейському вченню властива настільки ж наївна, неусвідомлена тенденція до об'єктивного ідеалізму. Тому що для піфагорейців принципи монади й невизначеної діади – суть не тільки принципи всіх чисел, але й начала всіх речей і Всесвіту в цілому. Причому ці принципи споконвічно існують не в людській свідомості (хоч і можуть усвідомлюватися суб'єктивно), а є об'єктивною сутністю чисел і речей, тобто піфагорейці не відокремлюють чисел від речей і вбачають у числах власне самі речі.

#### *Піфагорейська наука*

Сформульовані піфагорейцями філософські принципи нерозривно пов'язані з їх соціально-науковими теоретичними побудовами. Важливість цих основних принципів виявляється в процесі їх конкретного застосування, використання в побудовах космологічної теорії, теорії простору, акустичної (музичної) теорії, етичної доктрини, а також у психології, математиці, етиці, релігії, охоплюючи, по суті, усю сферу духовної культури, що існувала на той час.

У науковому пошуку піфагорейців переважає синтетична, загальнотеоретична щодо своєї сутності тенденція трактування явищ з погляду вироблених ними універсальних філософських принципів. "Число є сутністю всіх речей". Усюди піфагорейці прагнули знайти математичну закономірність, порядок й універсальну гармонію. У їхньому вченні не тільки фізичні й метафізичні, але також і соціальні, етичні й теологічні поняття набувають математичного забарвлення. "Усе є число" стає основою піфагорейського світогляду й універсальним методом їхніх наукових побудов.

Аналізуючи характер піфагорейської математики, більшість істориків вважають, що основна заслуга Піфагора і його послідовників полягає в піднесенні цієї спеціальної галузі знання на рівень суто абстрактно-теоретичної науки.

Піфагор першим започаткував умовивід про загальні властивості чисел і геометричних фігур. У нього вперше математика набуває переважно демонстративного характеру. Обсяг піфагорейської математики, як вважають багато дослідників, становив зміст перших трьох книг "Начал" Евкліда, тобто був досить значним.

У процесі формування теоретичної математики відбулося відокремлення арифметики, теорії чисел (від логістики), практичного мистецтва рахунку (формуле правила дій над числами, необхідні для застосування їх на практиці). Далі намітилося відокремлення геометрії (теоретичного вчення про простір) від геодезії (практичного мистецтва вимірювання землі). Багато дослідників вважають, що саме Піфагору належить знаменита ідея – *quadrium*: арифметика, геометрія, астрономія і музика. *Quadrium* Платон використав як основу для класифікації окремих наук; до того ж в епоху середньовіччя *quadrium* став одним з основних елементів середньовічної науки й освіти.

Піднісши арифметику до рангу теоретичної науки, піфагорейці зробили значний внесок у розробку її змісту

Піфагор увів у вжиток точковий спосіб показу чисел. Точки означали в Піфагора одиниці; лінії, утворені з кількох точок, зображували інші числа. Кілька ліній, з'єднуючись між собою, утворювали плоскі фігури, зокрема найпростішу з них – трикутник. Кілька плоских фігур, об'єднуючись, утворювали геометричні тіла. Наприклад, об'єднання трикутників давало піраміду. Залежно від форми зображення розрізняли числа прості й складні. Прості числа зображувалися за допомогою точок, розташованих на прямій лінії, тому вони дістали назву лінійних, або прямокутних. Складні числа поділялися на два основні види: плоскі й тілесні. Плоским вважалось число, яке можна одержати за допомогою множення двох чисел, відмінних від одиниці; тілесним – число, яке є результатом множення відповідно трьох чисел. Плоскі числа поділялися на квадратні й прямокутні (довгасті). Квадратним називалося число, яке одержували в результаті множення двох однакових чисел (наприклад,  $4 = 2 \cdot 2$ ). Прямокутним називалося число, яке було добутком двох неоднакових чисел (наприклад,  $6 = 2 \cdot 3$ ). Тілесні числа також поділялися на види. Особливе значення приписувалося кубічним числам, тобто числам, які є добутком трьох однакових чисел, відмінних від одиниці (наприклад,  $8 = 2 \cdot 2 \cdot 2$ ).

Піфагорейці поділяли числа на парні, непарні й парно-непарне (одиниця). Цьому потрійному поділу відповідали три відкритих ними вигляди чисел: квадратні, прямокутні й трикутні.

Піфагору приписують також відкриття теореми, що носить його ім'я (у прямокутному трикутнику квадрат гіпотенузи дорівнює сумі квадратів катетів), і теореми, за якою сума кутів трикутника дорівнює 2-я. Ці теореми посідають центральне місце в евклідовій геометрії. Крім того, Піфагор відкрив несумірність діагоналі квадрата з його стороною, що підривало принципові основи піфагореїзму, і тому це відкриття стало однією з таємниць учення, яке не підлягало розголошенню.

У стереометрії піфагорейці першими відкрили й дослідили п'ять правильних геометричних тіл: тетраедр, куб, октаедр, ікосаедр і додекаедр.

Первісна форма піфагорейської космології найтіснішим чином була пов'язана з космологічним ученням Анаксімена. Піфагор ототожнював безмежне повітря Анаксімена з безмежним геометричним простором, прийнявши за "обмежуюче" начало вогонь. Розвиваючи погляди Анаксімандра, піфагорейці визнали й удосконалили теорію множинності світів. Відповідно до поглядів піфагорейців існують 183 світи, і вони впорядковано розташовані у формі рівностороннього трикутника. Причому існування цих світів проявляється в нескінченній повторюваності, тобто піфагорейці запропонували концепцію циклічного розвитку Всесвіту.

В галузі астрономії піфагорейці розробили вчення про кулястість Землі, теорію кліматичних поясів, учення про рух Землі навколо центрального вогню (тим самим вони вперше відмовилися від геоцентричної точки зору), установили розбіжності між рухом планет із заходу на схід і їхнім добовим рухом зі сходу на захід.

Піфагору приписують встановлення строгих кількісних співвідношень, що характеризують основні інтервали в музиці: октаву, кварту й квінту.

Метафізичний принцип числа як сутності всього існуючого піфагорейці поклали і в основу розуміння природи людини, її тіла, душі й властивих їй пізнавальних здібностей. Вони одними з перших відкрили й по-філософськи дослідили сферу етичного. Піфагору приписують твір "Золоті слова", в якому сформульовані його моральні заповіді. Піфагорейці спробували витлумачити й вищу, на їх погляд, духовну сутність Бога, якого вони трактували в поняттях числа як вищій організуючий принцип Всесвіту. На їх переконання, Бог є верховна монада, одиниця, в якій, на відміну від монади як принципу числа натурального ряду, відсутня будь-яка протилежність (у даному випадку – протилежність між парним і непарним) і яка своєю творчою діяльністю встановлює зв'язок між монадою як принципом числа та діадою як невизначеною двійцею.

Підсумовуючи сказане, слід зазначити, що піфагореїзм уперше висунув і ретельно розробив дві фундаментальні ідеї, що справили серйозний вплив як на майбутнє самої філософії, так і на подальший розвиток спеціальних, окремих наук: тезу про особливу, виняткову роль математичного знання в системі наукового пізнання в цілому й положення про органічну спорідненість, істотну близькість власне математичного й філософського знання. Ці дві ідеї стали дороговказом для Платона, Галілея, Кеплера

Всесвітньо-історична заслуга піфагореїзму – в осмисленні й утвердженні категорії кількості. Світ не є різноманітністю якісно відмінних предметів, речей – за такою якісною різноманітністю постає кількісна єдність речей. Кожна річ і її властивості мають певну міру, ступінь зростання, мінливості, насиченості своїх якостей. Ступінь мінливості визначеної якості і є її кількістю. Не можна досягнути річ у її сутності й у її цілісності без виявлення кількісних характеристик, а їх можна досягнути за допомогою математики. Піфагорейці заклали основи такого уявлення про світ і його пізнання, відповідно до якого математичні знання (про числа й взаємозв'язки між ними) є найважливішою умовою, ключем до пізнання природи. Починаючи з Піфагора, в історії культури розвивається установка на широкий

розвиток математичних досліджень. Дуже цікавим є той факт, що, по суті, з помилкового посилання, що основою світу є число, впливає дуже розумний і плідний висновок: математика є засобом пізнання світобудови. І це далеко не єдиний приклад того, коли з помилкових загальних ідейних філософських концепцій випливають плідні й істинно наукові програми.

## Учення Арістотеля

**Арістотель** (384-322 рр. до н.е.) – найбільший давньогрецький філософ, мислитель, учений, учитель і наставник Олександра Македонського. Арістотелівське вчення – грандіозний універсальний синтез усіх досягнень давньогрецької полісної культури й одночасно духовна платформа культури еллінізму.

Арістотель народився в Стагірі, жив в Афінах, протягом 20 років навчався в Академії Платона, був його кращим учнем, однак, часто виявляв незгоду зі своїм учителем ("Платон мені друг, але істина дорожча"). Згодом відкрив в Афінах свою філософську школу – Ліцей.

"Перша" й "друга" філософії Арістотеля

Встановлюючи ієрархічні зв'язки між науками, Арістотель висуває тезу про пріоритет теоретичних наук, стверджуючи, що сфера теоретичних наук стоїть вище, ніж всі інші, а в межах даної сфери вище всіх наук – "перша філософія", що володіє найвищим щодо своєї цінності предметом, найвища за ступенем точності й виразності знання, так як встановлює найбільш загальні й фундаментальні начала (причини) всього сущого. На переконання Арістотеля, предметом "першої філософії" є дослідження буття в цілому, уся сукупність сущого, розгляд його загальної природи.

Арістотелівська фізика є насамперед філософськи осмислена й обґрунтована фізика, філософія природи у власному розумінні цього слова, в якій дослідження явищ фізичного характеру базується в кінцевому підсумку на принципі "першої філософії". Якщо "перша філософія" вивчає суще саме по собі, як таке, що є нерухомим і відособленим від матерії, а математика досліджує нерухоме й невідособлене від матерії суще, абстраговане від матерії думкою, то фізика розглядає буття рухоме й невідособлене від матерії. Через те, що фізичні сутності, подібно до сутностей метафізичних, існують самотійно, у той час як сутності математичні не мають статусу самотійного існування (математичні предмети є, відповідно до вчення Арістотеля, певними властивостями фізичних речей); Арістотель, підкреслюючи значення фізики, найчастіше говорить про неї як про "другу філософію".

*Учення Арістотеля про матерію і форму*

Основою природничо-наукових поглядів Арістотеля є його вчення про матерію і форму.

Світ складається з речей, кожна окрема річ є поєднанням матерії і форми. Матерія сама по собі – безформне, хаотичне, пасивне начало; це матеріал, тобто те, з чого виникає річ, її субстрат. Щоб стати річчю, матерія повинна набути форми – якогось ідеального, конструктивного, моделюючого начала, що надає речам визначеності, й конкретності. Як матерія, так і форма є вічними. За Арістотелем,

кожна річ – це поєднання матерії і форми. При цьому матерія даної речі є, у свою чергу, формою для матерії тих елементів, з яких ця річ складається. Переходячи таки чином углиб речовини, до все більш простих тіл (наприклад, від будинку до цеглин, від глини до елементів, з яких вона складається й т.д.), приходять до абстрактної "першоматерії".

Першоматерія позбавлена усякої форми, усяких-властивостей і якостей. Це субстанція, що не має визначеності. Поєднуючись з найпростішими формами, вона утворює перші елементи, з яких складаються всі речі. Найпростіші форми – тепле, холодне, сухе, вологе. У поєднанні з першоматерією вони утворюють чотири першоелементи: вогонь, повітря, воду й землю. Першоелементи у світі розташовані у визначеному порядку, який задає структуру Космосу.

Однак саме формі, а не матерії Арістотель явно віддає перевагу, переконаний у тому, що саме в ній, а не в пасивній матерії міститься джерело індивідуалізації і діяльності.

#### *Арістотелівське поняття причинності*

Не задовольняючись ученням про механічну причинність, розвинутим стародавніми атомістами, Арістотель розрізняв чотири види причин: матеріальну, діючу (або причину руху), формальну й фінальну (ціль, або "заради чого"). У першій книзі "Метафізики" Арістотель відзначає, що до нього учені вказували на матеріальну причину (понтійські натурфілософи), потім додали причину руху (елеати, Емпедокл та Анаксагор) і, нарешті, дехто говорив про формальні причини, визнаючи ідеї за начала речей (школа Платона), але лише він уперше вказав на мету (чи "заради чого") як на четверту причину утворення речей. Ці теологічні моменти фізичного вчення Арістотеля згодом були непомірно роздуті середньовічною схоластикою.

#### *Учення про рух*

В арістотелівській натурфілософії фундаментальне місце посідає вчення про рух. Рух Арістотель трактує в широкому розумінні як зміну взагалі, розрізняючи зміни якісні, кількісні та зміни в просторі. Крім того, у поняття руху він включає психологічні й соціальні зміни. Поняття руху містить у собі також перехід з одного стану до іншого, наприклад, з буття в небуття. Механічний рух, тобто зміну в просторі, Арістотель розглядає як окремий випадок руху взагалі.

На основі розрізнення чотирьох причин Арістотель порушує питання про джерела руху. Матерія сама по собі є пасивним началом і нижчим стосовно форми; матерії саморух не властивий. Згідно з твердженнями атомістів, у порожнечі тіла можуть зберігати наявний рух сам по собі, без зовнішніх імпульсів. На противагу цьому, у вченні Арістотеля центральним пунктом є ідея аморфності, пасивності матерії. На перший план висувається відмінність між тим, що рухається, і тим, що спонукає до руху. Ці два начала Арістотель розрізняв навіть у живих тілах, здатних до самостійного руху. Живі тіла також потребують якоїсь спонуки до руху; відмінність лише в тому, що неживі тіла мають джерело руху ззовні і, у той час як живе тіло має таке джерело в самому собі. Арістотель виділяє рухи прямолінійні, або обмежені, і кругові, або необмежені. Круговий рух, який він вважав "досконалим", властивий небесним тілам. Крім цього, Арістотель розрізняє два види рухів: "природний" і "примусовий". "Природні" рухи відбуваються самі по собі, без

усякого втручання ззовні. "Примусові" рухи для свого здійснення потребують такого втручання.

Для пояснення причини "природного руху", не пов'язаного з рухом небесних тіл, Арістотель уводить поняття "природного місця". Прагнення до "природного місця" закладено в кожному тілі, яке здійснює "природний рух". Кожному роду тіл властиве своє "природне місце": для важких тіл – це Земля, тому вони на неї падають, а для легких – вогонь, тобто розташована над повітрям вогненна сфера, тому вони піднімаються вгору. Якщо яке-небудь тіло перемістити з його "природного місця", воно буде намагатися повернутися назад, здійснюючи прямолінійний рух. Небесним тілам властиве прагнення до "досконалого" кругового руху. Для "природних" рухів – це щось властиве самому тілу, для "примусових" – зовнішня причина руху.

На відміну від елеатів, Арістотель вважає рух вічним. Але він не згодний зі стародавніми атомістами: матерія не здатна до самостійного руху. Розрізняючи те, що рухає, і те, що рухається, Арістотель стверджує, що "одні з існуючих предметів нерухомі, інші завжди рухаються, треті причетні і до спокою, і до руху".

При цьому Арістотель визнає існування першодвигуна, який повинен бути або нерухомим, або здатним до самостійного руху. В останньому випадку потрібно розрізняти в ньому те, що рухається, і те, що спричинює рух. А так як двигун у тілі, здатному до самостійного руху, уже нічим не приводиться в рух, то сам він повинен бути нерухомим, і, отже, якщо розглядати ланцюг, у якому будь-яка наступна ланка є спонукуваним до руху, то перша ланка цього ланцюга повинна бути споконвічним "первинним нерухомим двигуном". Первинний нерухомий двигун, на думку Арістотеля, породжує прості, однорідні, неперервні й нескінченні рухи. Обертальні рухи небесних сфер є прикладом таких вічних неперервних і досконалих рухів. Існування нерухомих вічних двигунів аргументується також посиленням на вічність руху: якби не існувало першо-начал руху, нерухомих і вічних за своєю природою, то рух не міг би бути вічним.

Таким чином, вічним в Арістотеля є тільки обертальний рух небесних сфер, та й він немислимий без першодвигуна. У земних же умовах рух (місцевий рух) відбувається за згаданим уже принципом, що став догмою середньовічної науки: "із припиненням причини припиняється її наслідок".

Арістотель вводить і поняття "рівношвидкісного" руху, коли тіло "протягом однакового проміжку часу рухається однаково". "Рівно швидкісним, – стверджує він – є те, що за однаковий час перемістилося на однакову величину".

### *Поняття сили*

Під силою Арістотель розуміє всяку здатність, оскільки остання може бути причиною початку дії або протидії. "Рушійна сила" в "примусовому русі" залежить від "активності" джерела руху, тобто від прикладеної до тіла, що рухається, мускульної енергії людини або тварини. Сила для Арістотеля – причина руху, і вона повинна постійно підтримувати рух. Але тоді виникає питання: чим же підтримується рух у тілах, що відірвалися від причини, що примушує їх рухатися, тобто сили, що надала їм рух? Арістотель відзначає, що коли ми штовхаємо тіло по площині, наприклад кулю на столі, то одночасно надаємо рух й повітря, яке його оточує. У порожнечу, що утворюється за кулею, що рухається, спрямовується повітря й неначе підштовхує її. Через це куля не зупиняється миттєво після

припинення дії сили, а якийсь час рухається внаслідок впливу навколишнього середовища. Повітряне середовище в даному випадку є активним началом руху, тому що якби його не було, тіло повинно було б миттєво опинитися в стані спокою. В Арістотеля ми знаходимо і міркування, що дають підстави для кількісного визначення сили. У "Фізиці" Арістотель розглядає питання і про опір руху (переміщенню) з боку середовища, в якому рухається тіло, і з боку тіла. "Чим менше тіл у навколишньому середовищі, в якому відбувається рух, тим менший опір воно чинить, і чим легше воно розчленовується, тим швидше переміщення. Отже, швидкість стає нескінченно великою, коли опір дорівнює нулю, а останнє можливе тільки в порожнечі". Таким чином, будь-який рух можливий лише в наповненому просторі, тому що в порожнечі він відбувався б миттєво. Тому Арістотель заперечує існування порожнечі. Другий аргумент на користь неможливості порожнечі Арістотель висуває, вивчаючи падіння тіл, тобто "природний" рух, зумовлений прагненням важкого тіла до свого "природного місця". Усе, за винятком вогню, має "вагу", перебуваючи у своєму "природному місці". Арістотель вважав, що із двох тіл з однаковим об'ємом і формою, падає в повітрі швидше те, в якого більша вага. Неоднакова швидкість падіння в матеріальному середовищі зумовлена тільки тим, що більш "важкі" тіла з однаковими об'ємом і формою легше "розділяють середовище своєю силою". Якщо ж розглядати рух тіла в порожнечі, то ця умова не має смислу. Отже, у порожнечі всі тіла повинні мати однакову швидкість, але це неможливо. Тому Арістотель відкидає вчення атомістів про існування абсолютно порожнього простору.

#### *Простір і час*

Простір, що сприймається як власне протяжність і є пасивним умістищем тіл, несумісний, на думку Арістотеля, з поняттям руху. Простір для нього – величина, неперервна щодо протяжності, а час – неперервний щодо послідовності. Простір Арістотеля – фізичний простір, властивості й сутність якого пов'язані з фізичним буттям матерії. Арістотель визначає "місце" не як об'єм, яке займає тіло в абсолютному, тобто існуючому незалежно від тіл просторі, а як межі тіла, що має об'єм, тобто тіла, що стикається з об'ємним. Місце не може бути чимось таким, що належить предмету. Воно не може бути ні його матерією, ні формою, тому що матерія і форма невіддільні від предмета, у той час як місце змінюється в процесі руху. Про місце можна говорити лише за наявності двох тіл: такого, що займає об'єм, і такого, що має об'єм. Простір, який розглядається як сукупність місць, є наповненим; там, де є місце, повинен бути наповнений простір, тому що місце і є не що інше, як межі матеріального середовища з певним об'ємом. До порожнечі поняття місця узагалі є незастосовним. На погляд Арістотеля, порожній простір атомістів є лише абстракцією виключно геометричних властивостей реального фізичного простору.

Відкидаючи існування порожнього простору, Арістотель заперечує й існування "чистого", чи "порожнього", часу. Разом з тим він виявив тонкі відмінності між часом і рухом.

Аналізуючи поняття часу, Арістотель зауважує, що деякі вчені неправильно сприймали обертання неба як сам час; насправді це обертання є засобом для вимірювання часу. Якщо рух не може існувати без часу, то і час не існує без руху. "Час не є рух, але й не існує без руху". Якби не було змін, то не було б і часу. За

відсутності змін усі "тепер" були б тотожними, отже, усе перебувало б у єдиному й нероздільному "тепер". Що ж таке час? Так як "ми разом сприймаємо і рух, і час", то "час є або рух, або щось пов'язане з рухом". Але час відрізняється від руху, тому що рух може мати різну швидкість і, отже, він повинен вимірюватися за допомогою часу. Час же є "кількістю рухів" або "мірою рухів".

#### *Космологія Арістотеля*

Кожен першоелемент має своє місце. У центрі світу знаходиться елемент землі, що утворює нашу планету. Земля є центром Всесвіту, вона нерухома і має сферичну форму. Принцип центрального й нерухомого положення Землі у Всесвіті є наріжним в арістотелізмі; він на багато століть визначив панування геоцентричної системи в астрономії. Навколо Землі розподілені вода, потім – повітря, далі – вогонь. Вогонь простягається до орбіти Місяця – першого небесного тіла. Вище Місяця – надмісячний, божественний світ, що принципово відрізняється від світу підмісячного; там діють інші закономірності. У цьому світі всі тіла складаються з ефіру. Ефір незмінний, він не перетворюється на інші елементи.

У божественному, надмісячному небі існує лише один вид руху – рівномірний неперервний обертальний рух небесних тіл. Небесні тіла обертаються навколо Землі по колових орбітах, вони прикріплені до матеріальних сфер, які обертаються й складаються з ефіру. Існують сфери Місяця, Меркурія, Венери, Сонця, Марса, Юпітера, Сатурна і і сфера нерухомих зірок. За останньою знаходиться першодвигун – Бог, який і є джерелом руху для сфер. Космос – скінченний і вічний; він ніколи не створювався й ніколи не зникне, ніколи не виникав і є принципово незнищеним.

#### *Основні висновки з учення Арістотеля*

У цілому Арістотель підійшов до розроблення філософської і конкретно-наукової проблематики, а також до створення концепції їх взаємодії з більш фундаментальних позицій, ніж хто-небудь із його попередників. Принципи "першої філософії" Арістотеля, що зводяться в кінцевому підсумку до взаємодії матерії і форми, являють собою набагато більш загальний і глибокий спосіб філософського осмислення буття в його найсуттєвіших моментах, порівняно з теоріями Платона. Арістотель просунувся далеко вперед також і в розробці філософського методу дослідження. Його основним методом дослідження є метод формування й критичного обговорення взаємовиключних альтернатив, сформульованих на основі логічних принципів тотожності, протиріччя й виключеного третього. Разом із тим, застосовуючи цей метод дослідження, Арістотель приходить до справді діалектичних за своїм характером результатів, якими є визнання внутрішньо суперечливої природи часу, діалектики неперервного й перервного в трактуванні простору, математичних об'єктів (точки, лінії) і т.д. Значно ґрунтовніше від своїх попередників Арістотель розробив і проблематику конкретного знання, насамперед сформулювавши й обґрунтувавши поняття "окремих наук". Він диференціював науки, якнайкраще систематизував їх, відшукав правильне вирішення багатьох питань і про все це повідомив своїм співгромадянам.

Слід, однак, визнати, що, розробляючи окремі спеціальні наукові дисципліни, вирішуючи ряд проблем фізики, біології і т.д., Арістотель не завжди виявлявся на належній висоті.



Причини помилок Арістотеля, на думку О.С. Надточаєва, криються в загальному характері культури античності, в умовивідній спрямованості античної свідомості, у тому числі філософії і науки. Пізніше, в александрійську епоху, у науці (зокрема, у роботах Архімеда) формується тенденція і до експериментального дослідження, однак у ранній і зрілій античності така тенденція ще відсутня.

### **Александрійська наукова школа**

Александрію заснував Олександр Македонський у дельті Нілу, на місці рибальського селища. Александрія стала згодом не тільки найбільшим торговельним, ремісничим, політичним, але й культурним і науковим центром Сходу. Гордістю Александрії була знаменита бібліотека, заснована в середині III ст. до н.е.; вона нараховувала понад 700 тис. папірусних сувоїв, які вміщували всі найвідоміші твори античної епохи. Александрійська бібліотека була частиною Музею (храму муз), в якому розмішувалися астрономічна обсерваторія, зоологічний і ботанічний сади, приміщення для перебування й роботи вчених, що приїжджали сюди з різних країн.

Біля витоків Александрійської математичної школи стояв великий математик давнини, педагог і систематизатор математичних наук Евклід. Про особистість Евкліда нам відомо дуже мало. Жив він в останній чверті IV – першій чверті III ст. до н.е.

Навчався в Афінах, потім переїхав в Александрію. У своїй основній праці "Начала", що складалася із 13 книг, Евклід виклав усі досягнення давньогрецької математики в систематизованій аксіоматичній формі. Сюди входили геометрія на площині, теорія відношень Евдокса, теорія цілих і раціональних чисел, властивості квадратичних ірраціональностей, основи стереометрії, метод виключень Евдокса. Евклід довів теореми, що стосуються площі круга й об'єму кулі й ін. Розглянув властивості п'яти правильних багатогранників, в яких Платон вбачав ідеальні геометричні образи, що виражають основні структурні взаємозв'язки Космосу. Виклад математичних знань мав дедуктивний характер, теорії виводилися з невеликої кількості аксіом.

Універсальною вченістю виділявся Ератосфен, роботи якого були присвячені не тільки математиці, але й астрономії, географії, історії, філософії і філології. Особливо відомі його роботи з визначення розмірів земної кулі, з географії. У математиці Ератосфен відомий своїми дослідженнями цілочисельних пропорцій, відкриттям "решітки Ератосфена" (способів виділення простих чисел з будь-якого кінцевого числа непарних чисел, починаючи із трьох).

В Александрійській школі працював Нікомед, відомий відкриттям алгебраїчної кривої конхоїди (у полярних координатах ця крива має вигляд  $r = A + B \cos \alpha$ ), яку він застосовував для розв'язування задач подвоєння куба й трисекції кута.

Найвизначнішим математиком давнини був Аполлоній Перзький. У своєму головному творі "Конічні перетини" він обґрунтував теорію конічних перетинів у такій вичерпній формі, що ніхто з наступних математиків (аж до Нового часу) до неї так і не зміг нічого додати. Аполлоній Перзький безпосередньо підійшов до основ аналітичної і навіть проективної геометрії. Він розробив завершену теорію кривих другого порядку, у тому числі еліпса. Учений запропонував метод опису нерівномірних періодичних рухів як результат додавання більш простих

рівномірних кругових рухів. Це стало найважливішою передумовою для створення геоцентричної системи К. Птолемея.

В Александрійській школі починав свій творчий шлях і Архімед (бл. 287 – 212 рр. до н.е.). Саме тут він сформувався як математик. Повернувшись у Сиракузи, Архімед продовжував підтримувати тісні зв'язки з александрійськими математиками. Архімеду належить важливий внесок у математику, механіку й практичну механіку, а також фізику й астрономію. У математиці він створив методи обчислення площ і об'ємів тіл, був близький до відкриття інтегрального числення. Обґрунтував геометричне вирішення кубічного рівняння, відкрив криву, яка дістала назву "спіралі Архімеда".

Довів, що значення числа  $\pi$  знаходиться між  $3\frac{1}{7}$  і  $3\frac{10}{71}$ , а також установив, що об'єм сфери, напівсфери й циліндра одного діаметра із висотою, що дорівнює діаметру, відносяться як 1: 2 :3. Визначив квадратуру параболи й еліпса. При вимірюваннях довжини кола вперше обчислив похибки.

У своїх дослідженнях в галузі механіки Архімед розвивав теорію простих машин. Він увів поняття центру ваги, теоретично довів закон простого важеля, створив основи статички й гідростатики. У гідростатиці відкрив закон, що носить його ім'я, і теоретично довів його. В астрономії визначив величину верхньої межі видимого діаметра Сонця 33', що є близькою до справжнього значення (31'59").

У галузі практичної механіки винайшов Архімедів гвинт для подавання води, сферу – прилад для відтворення небесних явищ, багато різних вантажопіднімальних і бойових машин. Архімед – засновник теоретичної статички й гідростатики.

Розвиток механіки в епоху еллінізму пов'язаний насамперед з ім'ям Герона Александрійського, відомого також як Герон-механік. Про період життя й діяльності цього вченого точних відомостей не збереглося (бл. I – II ст. до н.е.).

Головний твір Герона "Механіка" зберігся тільки в арабському перекладі сирійця Кости Ібн Луки, який жив наприкінці IX – на початку X ст. У "Механіці" досліджується передавання руху за допомогою зчеплених кругів, додавання рухів за правилом паралелограма, розподіл навантаження між опорами, визначається центр ваги. Як вказує Герон, він виклав зміст "Книги опор" Архімеда, яка, на жаль, не дійшла до нас. Наводиться опис простих машин: важеля, коловорота, клина, гвинта й блока; з'єднання важеля, блока, коловорота й гвинта. У цій книзі даються відповіді на 17 питань стосовно практичного застосування простих машин, а також визначаються центри ваги різних фігур. Описані також різні конструкції пристроїв для піднімання вантажів і пресів, заснованих на комбінаціях простих машин.

Герону належать також три трактати з прикладної механіки: "Пневматика" – про механізми, що приводяться в дію стисненим повітрям або парою, "Про автомати" – про конструкцію самодіючих приладів і "Білопоїка" – про конструкції луків, катапульта та інших видів зброї.

Герон написав кілька робіт з математики, зокрема, запропонував вираз для визначення площі трикутника через його сторони  $a$ ,  $b$  і  $c$ :

$$S = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)},$$

де  $P = \frac{a+b+c}{2}$ . Це співвідношення носить назву формули Герона.

Представником Александрійської школи був і римський архітектор, механік, учений-енциклопедист Марко Полліон Вітрувій. Час життя Вітрувія відносять до

другої половини I ст. до н.е. Одержав домашню освіту. Вітрувій був будівельником-практиком. Його трактат "Про архітектуру" складається з 10 книг. Основний зміст 9 книг стосується архітектури. Десята книга трактату повністю присвячена механіці й містить, головним чином, опис різних механізмів для підняття вантажів, а також практичні правила й будівельні рецепти. Загальний дух системи Вітрувія енциклопедичний. Вітрувій нічого не створив нового, та й за своїм основним задумом навряд чи він хотів це зробити. Він зібрав і в легкій, зрозумілій формі виклав суму архітектурно-технічних знань, які створили греки й римляни протягом століть. Це дуже спостережливий і уважний оглядач. Імовірно, він вивчив усе, що було на той час в галузі архітектури, – принаймні, він посилається на велику кількість авторів і творів, про яких ми нічого не знаємо. У свою чергу, Вітрувій вимагає від архітектора-фахівця повного енциклопедизму. Це знання письма, малювання, математики, оптики, геометрії, історії, філософії (фізики й етики), музики, медицини, юриспруденції, астрономії. Вітрувій цуамагався довести необхідність цих знань. Усі ці знання, звичайно, не можна набути відразу, тому й архітектором не можна стати відразу. Однак наполегливе навчання з молодих років цілком може забезпечити енциклопедичні знання. Архітектор не зобов'язаний бути настільки ж компетентним у всіх цих галузях, як відповідний фахівець, але він не може бути невігласом у цих науках і мистецтвах. Слід зазначити, що від епохи Відродження і аж до кінця XVIII ст. вплив Вітрувія на європейську архітектуру був величезним.

### **Геоцентрична система Птолемея**

Відповідно до вчення Арістотеля, планети повинні рухатися по колових орбітах і, напевно, з постійною швидкістю, тому що "коловий рух завжди відбувається рівномірно, адже він має незнищенну причину". Звідси й схема геоцентричної системи. Але ця система, хоч і дуже ефективна, суперечить даним спостережень; вона неспроможна зрозуміло пояснити справжній рух планет. Це завдання поставив перед собою Птолемей. Як поєднати "принцип інерції Арістотеля" з реальним світом? Як описати реальний світ, спираючись лише на основи кінематики?

#### **Рух сфер**

Стародавні спостерігачі бачили, що рух планет складний. Вони поділяли цей складний рух на кілька більш простих. Першим, головним рухом, був добовий рух неба, другим – його річний рух. У цих двох рухах брали участь усі сім сфер, що тягли за собою планети. Восьма сфера (до неї прикріплені зірки) була нерухома. Ще Гіппарх удосконалив цю систему. Щоб врахувати рух точки весняного рівнодення (точки перетинання площини екватора з орбітою Землі), він приписав восьмій сфері повільний рух на  $\Gamma$  за 100 років ( $36''$  у рік). Насправді зміщення точки весняного рівнодення відбувається трохи швидше – на  $50''$  за рік.

Однак ці прості рухи не задовольняли "принцип інерції Арістотеля". Їх швидкості були непостійними. Тому йшлося про існування двох нерівностей, про розбіжність між справжнім положенням небесних світил і їх теоретичним положенням, обчисленим за допомогою простої моделі рівномірного руху по колу. Перша нерівність – це нерівномірність руху планет по орбітах; друга – "задкування"

планет – зміна напрямку їх руху по небу на протилежний. Тільки для Сонця й Місяця не існувало другої нерівності. Тому вже теорія Гіппарха дозволяла визначити положення Сонця й Місяця з похибкою, меншою ніж одна хвилина. З нерівностями ж треба було розібратися, і Птолемей зробив це чудово. Вихід зі здавалося б безнадійної ситуації був дуже дотепний. Потрібно припустити, що по колу навколо центра світобудови (Землі в системі Птолемея) рухається не сама планета, а лише центр іншого кола, названий епіциклом. Планета ж рухається по епіциклу з тією ж кутовою швидкістю за величиною, але зворотною за напрямком, з якою центр епіциклу рухається по основній орбіті, названій деферентом. У результаті таких побудов виявилось, що планети, як і раніше, рухаються по колу (воно називається ексцентром), але центр його зміщений щодо Землі. У такий спосіб було встановлено важливу кінетичну еквівалентність схем руху епіциклу по деференту й руху ексцентра. Але ця проста схема описувала лише шлях Сонця, що завжди рухається по небу в одному напрямку, не повертаючи назад. Кутова швидкість руху Сонця по ексцентру (щодо його центра) вважалася постійною. Тоді, мабуть, кутова швидкість руху, що спостерігається із Землі, виявиться змінною. Так просто пояснювалася перша нерівність.

Для планет теорію потрібно було ускладнити. У кінцевому підсумку для опису руху планет треба було вводити майже 40 різних колових рухів. Схема, таким чином, була складною і принципово незадовільною. Однак вона дозволяла досить точно передбачати положення Сонця й планет і тому задовольняла всіх. На той час найважливішим було обчислення руху Сонця й Місяця, а для цього теорії Птолемея було цілком достатньо.

### **Спад у розвитку античної науки**

Панівна форма науки, що виявляється в переважанні того чи іншого способу одержання й наступного обґрунтування та використання окремого, конкретного знання, визначається загальним характером культури. Загальний характер культури виражає певний спосіб зв'язку, угодженості між матеріально-практичним способом життя, в основі якого лежить певний спосіб матеріального виробництва, та духовно-теоретичним його відображенням і відтворенням у способі мислення.

У перші століття нашої ери загострилися соціально-економічні, політичні й культурні протиріччя, властиві рабовласницькій формації. Римська імперія в V ст. розпалася під дією внутрішніх і зовнішніх сил – повстань рабів, бідноти підкорених народів і нашествя варварських племен. На зміну рабовласницькому прийшов феодалний лад. Формування феодалних відносин було пов'язано зі значними потрясіннями у всіх сферах громадського життя, у тому числі у сферах культури й науки.

По суті, формується новий історичний тип свідомості, новий тип культури, духовного освоєння світу людиною. У його основі – монотеїстична релігійна свідомість, в якій на першому плані – не пізнання світу й одержання нового знання, а переживання, відчуження світу й віра у всемогутнього Бога – в істоту, що створила світ і постійно творить його завдяки своїй волі й активності. Природа наповнена чудесами, тому ні про які об'єктивні її закономірності не може бути й мови. У

системі такого світогляду природознавство втрачає свій справжній предмет, реальні цілі й завдання.

Свідченням істотної обмеженості античної науки був її відрив від виробництва, відрив теорії від практики, знання від досвіду. Рабовласницький спосіб виробництва, де головною продуктивною силою був раб, не потребував науки як засобу розвитку продуктивних сил. Експеримент як метод пізнання в античності був невідомий. І, нарешті, занепад античної науки багато в чому був зумовлений відсутністю надійних засобів збереження, обміну й передачі інформації. Рукописи були дорогими, рідкісними, а в епоху безкінечних воєн, міграцій народів, зникнення в пожарищах культур, етносів – і ненадійним засобом збереження інформації. У VI столітті н.е. в історії європейської культури почався період "темних століть".

## **2.2. Наука середніх віків**

### **Основна характеристика епохи середньовіччя**

Коли йдеться про середні віки, то, звичайно, уявляють собі закутого в лати лицаря, який важким мечем вражає ворога, кам'яні химери феодальних замків, виснажливу працю кріпака, сумовитий дзвін, що лунає за монастирською стіною, і ченця, який відрікся від мирських спокус. Залізо. Камінь. Молитви. І кров. "Загальне зубожіння, занепад торгівлі, ремесла й мистецтва, скорочення населення, запустіння міст, сповзання землеробства до більш низького рівня – такий був кінцевий результат римського світового панування". Ця характеристика Енгельса, що стосується раннього середньовіччя, дозволяє зрозуміти особливості стану й розвитку науки в один з найбільш похмурих періодів існування людської культури. Відособленість феодальних господарств, натуральний характер виробництва не сприяли технічному прогресу. Занепад економіки, що супроводжував перехід від античності до середньовіччя, призвів до застою в культурі й науці. Час ніби зупинився, не сприймаючи історичних змін і відразу вливаючись у вічність. Середньовічна релігійна й аскетична свідомість зневажала все земне, у тому числі й земний час. Спадщину греків було забуто, знання, накопичені в давнину, поступово втрачалися. Єдиними осередками грамотності залишалися монастирі й церкви. Усі наукові знання зводилися, у кінцевому підсумку, до теології. У руках церкви перебувала й освіта. Традиційним і непорушним був поділ науки на сім "вільних" мистецтв. Перший цикл охоплював тривіум: граматику – матір й основу семи мистецтв, риторику – мистецтво красномовства, і діалектику – елементарну логіку. Другий цикл, чи квадрівіум, складали арифметика, геометрія, що являли собою своєрідну мішанину примітивної геометрії з фантастичними розповідями про чудеса, та астрономія – головним чином питання календаря й передбачення майбутнього за зірками, і, нарешті, музика – учення про гармонію.

Під "механікою" розуміли ряд галузей будівництва й техніки. Тривалий час "механічне мистецтво" ставили нижче "вільних мистецтв" як вид діяльності людей невисокого суспільного становища, що займаються ручною працею.

Але люди, як і в інші історичні епохи, тяглися до світла й краси. Після досягнення певного – досить високого – рівня матеріальної і духовної культури

відома уповільненість історико-культурного процесу змінюється небаченим до цього часу динамізмом. На зміну суворій простоті, узагальненості й деякій естетичній та етичній однобарвності попередніх століть приходять строкатість, ускладненість, різноманітність. На початку XII століття виникають перші приватні школи, не пов'язані безпосередньо із церковними організаціями й тому більш вільні у своїх починаннях. Культура Західної Європи, як і її виробництво, породжене феодалним способом, переживає період зрілості. Зазначимо, що, як у суспільному житті, так і у сфері економіки на сцені з'являється нова сила. Цією новою силою стало місто. Не старий поліс, що дістався.

Західній Європі у спадок від Античності, а нове місто, що виникло й утверджувалося в XI – XIII століттях у всіх куточках континенту. Розвиток міста як економічного чинника (місто, з його майстернями, крамницями торговців і міняйл, дворами для приїжджих купців, з його ярмарками й т.п.) забезпечував відносно високий рівень матеріальної культури.

У містах виникають перші університети; вони ще не вийшли з-під опіки церкви, а наприкінці середньовіччя навіть стали його надійною опорою, однак вивчалася в них не одна теологія. Поряд з медициною, правом, математикою і т.п. була література. Інтерес до античної культури помітно зріс. Тут була потрібна майстерність іншого роду; вона потребувала великих знань, начитаності, дозвілля, нарешті. Усе це могло дати лише місто.

Однак у XII і XIII століттях не тільки міста, але й феодалні замки були охоплені новими віяннями. У цей час пишню розцвітає придворна лицарська культура – блискуча, вишукана й ошатна, яка дуже відрізнялася від примітивної і суворой культури панівних верств раннього середньовіччя.

Середньовічні мислителі зазнали значного впливу вчення Арістотеля. У час панування релігії відверто висловлюватися на захист науки й філософії було важко з двох причин: по-перше, відчувався тиск фанатичного релігійного середовища, яке жорстоко карало за найменший відступ від звичаю і догми; по-друге, людині не завжди легко було відмовитися від ідей, засвоєних з дитинства, і перебороти свій особистий бар'єр раболіпствування перед авторитетами богослов'я. Враховуючи це, слід зазначити, що мислителі середньовіччя виявили високу мужність, захищаючи розум і його право на критичне дослідження їхньої епохи.

### **Наука на середньовічному сході**

У цьому розумінні найбільш сприятливі умови склалися у Візантії – східній частині колишньої Римської імперії. Тут значною мірою зберігалася антична наукова традиція. Це позначилося і на ставленні до механічних мистецтв. "Механіки" користувалися тут повагою й посідали помітне суспільне становище. Відомі імена зодчих, які споруджували Константинопольський собор у Софії, – це Анфимій Тралльський і його сучасник Ісидор Мілетський (VI ст.).

Вони підтримували зв'язок з александрійськими математиками, наприклад з Євто-кієм, тлумачем Архімеда й Аполлонія. У Візантії були добре відомі твори Герона, вказівками якого скористався будівник Соломонового трону в Константинополі Лев (IX ст.).

У IV ст. після закриття язичницьких шкіл багато грецьких учених емігрували до Ірану; така ж доля трохи раніше спіткала сирійських несторіанів. Це сприяло поширенню накопичених в античну епоху знань на Близькому Сході.

Завойовницькі війни арабів у першій половині VII ст. призвели до того, що наприкінці 30-х років VIII ст. до складу Арабського халіфату ввійшла значна частина колишньої Римської імперії від північно-західної Індії до Піренейського півострова. Арабське завоювання призвело до поширення серед підкорених народів мови й релігії арабів (ісламу) і в ряді регіонів супроводжувалося масовим знищенням пам'яток науки й мистецтва.

Однак пізніше одночасно з поширенням арабської мови й ісламу на території Арабського халіфату почала формуватися наукова традиція, заснована як на античній спадщині, що проникла на Близькій і Середній Схід у зв'язку з еміграцією грецьких учених, так і на наукових досягненнях підкорених народів. Хоч величезний халіфат незабаром розпався на ряд окремих держав, у них зберігалася арабська мова, яка стала мовою науки.

IX – XII ст. – період найбільшого піднесення в розвитку науки в арабомовних країнах. Багдад, столиця халіфату, перетворився на великий науковий центр зі школами, бібліотеками й "будинком мудрості", що перебував під заступництвом халіфа. У IX – X ст. тут трудилася велика група вчених, перекладачів і переписувачів; вони працювали над перекладом і тлумаченням творів Платона, Арістотеля, Гіппократа, Евкліда, Архімеда, Птолемея. Переклади з грецької, а також із сирійської мови, на яких до вчених країн ісламу дійшла значна частина античної наукової літератури, відіграли величезну роль у розвитку середньовічної науки. У багатьох випадках вони були єдиними джерелами, завдяки яким Західна Європа змогла ознайомитися з античною наукою.

У науці ісламських країн на перший план вийшла математика обчислювального характеру. У галузях, пов'язаних з комерцією, – арифметиці, алгебрі, наближених обчисленнях, ученні про число, тригонометрії – рівень, досягнутий у свій час алек-сандрійськими вченими, був значно перевищений. Істотних успіхів на Сході досягли астрономія, оптика і хімія.

На IX – XII ст. припадає творчість таких найбільших учених середньовіччя, як брати Бану Муса, Сабіт Ібн Корра, ал-Біруні, Абу Алі Ібн Сіна (Авіценна), Омар Хаям, ал-Хазані. Кожен з них, крім праць з математики й астрономії, у той же час зробив вагомий внесок у механіці.

Розвиток механіки в країнах ісламу, як і розвиток математики, почався з перекладу й тлумачення творів античних авторів – Арістотеля, Герона – і надалі відбувався за тими ж основними напрямками, що й антична механіка. Це пояснюється не тільки силою традиції, яка в деяких культурних зонах Сходу майже не переривалася, але й приблизно однаковим характером і рівнем розвитку техніки. Цілий цикл робіт, присвячених загальним поняттям механіки (головним чином, сутності руху) бере початок від перекладу й тлумачення Арістотеля. Це тлумачення було значною мірою тим фундаментом, на який спиралася згодом створена в Західній Європі теорія "імпетуса".

Серед коментаторів Арістотеля в першу чергу слід назвати Ібн Сіну й Ал-Біруні. Ал-Біруні брав під сумнів і тезу Арістотеля про те, що тіло, якому властивий коловий рух, не володіє ні вагою, ні легкістю, і всю його космічну систему в цілому.

Ібн Сіна, досліджуючи Арістотеля, прийшов до висновку, що небесна сфера не може прагнути вниз або вгору, і, перебуваючи у своєму "природному місці", не має ні легкості, властивої елементам, що прагнуть угору, ні ваги, властивої елементам, що прагнуть до центру Всесвіту. Ібн Сіна, як і Арістотель, вважав, що важкі елементи прагнуть до центру Землі, а легкі віддаляються від нього. Ал-Біруні ж вважав, що всі, без винятку, тіла прагнуть до центру. Ібн Сіна протиставляв коловий рух як "примусовий", спричинений якимсь зовнішнім "двигуном", прямолінійному, тобто "природному". Рух як такий Ібн Сіна трактував як поступову зміну стану тіла, а рух у просторі, тобто механічний рух, розглядав як частину руху взагалі.

З більш пізніх коментаторів Арістотеля широко відомий народжений у Кордові Абу-ал-Валід Мухаммад Ібн Ронід (Аверроес) (1126 – 1198) – найбільш ортодоксальний прихильник арістотелівської теорії. На переконання Ібн Рошда, матеріальний світ нескінченний у часі, але обмежений у просторі. Матерія – універсальне й вічне джерело руху. Рух вічний і неперервний, тому що кожен новий рух спричинений попереднім. Час існує і доступний для вимірювань тільки завдяки руху.

Іншу концепцію підтримував його сучасник і опонент Ібн Баджжа, захищаючи й розвиваючи точку зору Філопона. Ібн Баджжа стверджував, що навіть у порожнечі тіло рухається зі скінченною швидкістю, тому що незважаючи на відсутність опору, воно повинно завжди пройти певну відстань. Як і Філопон, він вважав рух небесних сфер прикладом руху без опору зі скінченною швидкістю.

З перекладанням і коментуванням Архімеда й Герона пов'язаний подальший розвиток як геометричного, так і кінематичного напрямку в статистиці. Кінематичні дослідження почали інтенсивно розвиватися у зв'язку з перекладом і коментуванням "Алмагеста" Птолемея і його античного коментатора Теона Александрійського. Вивчення Птолемея (поряд з індійськими астрономічними творами, які написано, у свою чергу, під сильним впливом александрійської астрономії) послужило основою для складання зиджей – збірників таблиць і розрахункових правил для обчислення положень світил на небесній сфері. Узагалі, для механіки в арабомовних науках, як і для математики характерна розробка кількісного аспекту проблем і розвиток у зв'язку з цим обчислювальних методів. Це особливо стосується досліджень у галузі статистики й гідростатики, що набули розвитку у зв'язку з практикою зважування металів і мінералів, що мало велике значення для розвитку міжнародної торгівлі.

Розділ, присвячений механіці, входить до більшості середньовічних східних енциклопедій. Найбільш повним у цьому аспекті є найдавніший серед подібних творів "Ключі наук" Абу Абдоллаха Юсуфа ал-Хорезмі (X ст.), що складається із двох книг. Один з розділів другої книги повністю присвячений механіці. Це в основному переробка "Механіки" Герона. У книзі наводиться опис простих машин і їхніх комбінацій та даються вказівки щодо їх практичного застосування.

Відомий трактат аналогічного змісту – "Книга про механіку", що належала знаменитим астрономам і математикам Багдадської школи – трьом братам Бану Муса

(IX-X ст.). Серед механічних пристроїв, описаних у трактаті, можна знайти, зокрема, пристосування для підтримки постійного рівня води в посудині. Трактат братів Бану Муса спричинив появу кількох коментарів і трактатів, написаних на його основі.



У деяких середньовічних східних енциклопедіях особливого популярністю відзначається "Наука про піднімання води", яку автори розглядають як розділ геометрії.

Переклад і тлумачення праць Архімеда а стали основою для подальшого розвитку геометричної статички й гідростатички в країнах ісламу. Перекладачем Архімеда й інших авторів (Аполлонія, Птолемея, Евкліда) був, наприклад, один з найвідоміших математиків й астрономів IX ст. Сабіт Ібн Корра. Саме в перекладах Сабіта Ібн Корри збереглися твори Архімеда, які не дійшли до нас у грецькому оригіналі. Його власні математичні трактати за змістом і методами близькі до творів Архімеда, але включають й оригінальні відкриття автора. Трактат "Книга про карастуне" (12 ст.) набув значного поширення в середні віки. Його було перекладено в Західній Європі на латинську мову. Ібн Корра в "Книзі про карастуне" обґрунтовує теорію зважування, спираючись, головним чином, на кінематичний напрямок статички, викладений у "Механічних проблемах" і "Фізиці" Арістотеля. У використаному (хоч чітко і не обґрунтованому) Ібн Коррою понятті сили руху деякі дослідники вбачають аналогію з роботою сили ваги, тому що за умови заданого вантажу сила руху вважалася пропорційною переміщенню, а при сталості останнього – пропорційною вазі вантажу. Ібн Корра довів теорему про рівнодійну двох однакових сил, прикладених у точках на однакових відстанях, узагальнивши її пізніше для нескінченної множини рівних сил, а потім для випадку рівномірно розподіленого навантаження.

Цілий ряд досліджень учених країн ісламу присвячений важливій сфері застосування вагів – визначенню питомої ваги, переважно металів і коштовних каменів. Відправним пунктом для них були античні твори зі статички і, насамперед, трактат Архімеда "Про плаваючі тіла". Ці проблеми цікавили таких відомих учених, як ал-Біруні, Омара Хайяма і його учня ал-Хазині.

Крім метрологічної частини, вони розглядали визначення центрів ваги, втрату ваги тілами при їх зануренні у воду, вагу тіл у повітрі, рівновагу плаваючих тіл та ін.

На той час у країнах ісламу розвиток кінематичних уявлень у механіці був тісно пов'язаний з розробкою теорії руху небесних тіл. До нас дійшло понад 100 зиджів VIII-XV ст. Кінематичним моделям, що описують рух світил, відводилося головне місце в спеціальних трактатах Сабіта Ібн Корри, його онука Ібн Сіпана, ал-Біруні та багатьох інших.

Блискучим зразком кінематичного дослідження є опис руху Сонця в областях апогею і перигею в "Каноні Масуда" ал-Біруні.

Хоч ал-Біруні у своїх працях не виділив ще ні поняття прискорення, ні поняття швидкості в загальному вигляді, його дослідження було істотним кроком у цьому напрямку. Ці ідеї не одержали, однак, подальшого розвитку на середньовічному Сході й відродилися вже в Західній Європі через три століття потому.

## **Наука в середньовічній Європі**

Зрушення в науці й техніці Заходу почалися трохи пізніше, ніж на Сході – з кінця XI ст. Вони були спричинені серйозними змінами в економіці. На цей час зростає продуктивність сільського господарства; виникають ремесла, розвивається торгівля й грошовий обіг, прискорюється зростання міст. Хрестові походи сприяють

знайомству Європи з культурними досягненнями Сходу. Помітними стають і успіхи техніки. У X-XII ст. великого поширення набули водяні млини, трохи пізніше – вітрові. Тоді ж у Європі з'явився механічний годинник. Важливе значення для нагромадження знань про закони природи мали виготовлення військового спорядження, суднобудування, містобудування, будівництво великих гідротехнічних споруд.

Розвиток промисловості й підвищення загального культурного рівня загострили потребу в підготовці фахівців. Виникли світські школи, а в XIII столітті було створено перші університети в Болоньї, Парижі, Падуї, Неаполі, Оксфорді. У XIV ст. університети було відкрито в Пізі, Павії, Кракові, Відні, Гейдельберзі, Феррарі й інших містах. Вищими за рангом факультетами в більшості університетів були богословський, медичний і юридичний, нижчим – факультет мистецтва. Викладання проводилося латинською мовою, яка була для всіх учених середньовіччя універсальною мовою науки.

Одночасно зростала могутність церкви. Її представники пристосовувалися до умов, що змінювалися, швидше, ніж світські феодалі. Багатства католицької церкви множилися з казковою швидкістю. Іннокентій III, що був папою в 1198-1216 рр., оголосив себе намісником Бога на Землі. Теологія продовжувала відігравати визначальну роль в ідеологічному житті. Для боротьби з "єресями" було створено ордени домініканців і францисканців, засновано інквізицію, жертвами якої стали багато великих учених середньовіччя. Панувала схоластика. Вона ґрунтувалася на догмах християнської церкви й відрізнялася абстрактними, часто зовсім безплідними й безпредметними міркуваннями. Але й сама схоластика змінювалася, пристосовуючись до нових обставин.

У XII – XIII ст. європейська наукова література збагатилася великою кількістю латинських перекладів з арабської і грецької мов. Стали доступними твори Платона, Арістотеля, Евкліда, Архімеда, Птолемея, Герона, ал-Хорезмі, Сабіта Ібн Корри, Ібн Сіні.

Своєрідна доля ідей Арістотеля. Спочатку його вчення церкві видавалося небезпечним. Проти нього, як і проти його середньовічного коментатора Ібн Рошда (Авер-роеса), різко виступили багато впливових богословів, а в Паризькому і деяких інших університетах було заборонено читати лекції про "Метафізику" і природничонаукові твори Арістотеля. Разом з тим церква і її ідеологи намагалися пристосувати вчення Арістотеля до Священного Писання. Уже в 1366 р. церковний декрет звелів вивчати "Логіку", "Метафізику" й "Фізику", без чого не можна було одержати перший учений ступінь. А пізніше природничонаукові погляди Арістотеля було догматизовано й будь-які заперечення проти них оголошувалися єрессю.

У цих складних умовах, хоч і повільно, відбувався розвиток природничих наук, зокрема механіки. При цьому термін "механіка\*", як і раніше, сприймався в дуже широкому розумінні. Утворі саксонця Гуго (1096-1141) "Дидаскаліон" до складу механіки входили текстильна справа, виготовлення зброї, полювання, мореплавання, землеробство й т.п. – фактично вся область технічної діяльності людини. Таке ж розуміння зустрічається в різних рецептурних збірниках на зразок "Записок про різні ремесла" ченця Теофіла (X ст.). У книгах під назвою "Механіка" розглядалися лише прикладні питання й елементарна теорія п'яти простих машин (важеля, поліспасти, клина, гвинта й коловорота). Однак уже у XII – XIII ст.

з'являються твори, автори яких звертаються до проблем власне механіки, головним чином статичної й кінематичної.

Як і в країнах ісламу, початку самостійної розробки проблем механіки в середньовічній Європі передував період, коли почали посилено перекладати грецькі джерела, що збереглися головним чином арабською мовою, а потім і твори вчених країн ісламу. Це особливо стосується кола проблем, пов'язаних зі статикою. У цей період на латинську мову перекладено пізньоалександрійський трактат "De saopio", присвячений нерівноплечним "римським вагам" (безміну), в якому розглядаються й випадки, коли важіль вагомий. Цим же питанням присвячений інший пізньоелліністичний трактат "Книга про ваги", що збереглася тільки в арабському перекладі. Розглянутий вище трактат Сабіта Ібн Корри переклав на латинську мову Герард Кремонський. Крім цього перекладу, "Liber Charastonis" відомий у переробленому вигляді, що містить тільки перелік основних пропозицій без доказів.

У 1269 р. Вілліам ван Мербеке переклав із грецької трактат Архімеда "Про рівновагу плоских фігур". Йому також належить переклад із грецької трактату Архімеда "Про плаваючі тіла" з коментарями Евтокія. У XIII столітті в Західній Європі був також широко відомий трактат "Про плаваючі в рідинах тіла", який є або перекладом з арабської, або переробленим арабським оригіналом викладу Архімеда.

Твори про механіку цього періоду досить схематично можна поділити на три групи, присвячені відповідно трьом основним напрямкам, що найбільш чітко розкривають характер середньовічної механіки в Західній Європі:

- 1) трактати зі статичної;
- 2) трактати з кінематичної;
- 3) трактати, пов'язані із теорією падіння тіл, у яких розробляється поняття "імпетусу".

Теоретичні дослідження в області статичної в цей період були подальшим розвитком кінематичного напрямку, що сягає своїм корінням "Механічних проблем" псевдо-Аристотеля. Фундаментальне значення для розробки цих проблем мали праці Йордана Неморарія (XII ст.) і його школи. Це цілий цикл трактатів, присвячених "науці про ваги". Основне поняття, яким оперує Йордан – "вага відповідно до положення" певного вантажу, що набуває різних значень залежно від його місця на плечі важеля. Це поняття являє собою подальший розвиток положення автора "Механічних проблем" про те, що той самий вантаж може мати неоднакову "вагу", тобто по-різному "тягти" – залежно від свого положення на кінці більш довгого чи більш короткого плеча важеля. Автор "Проблем" уявляв коловий рух у вигляді комбінації "природного" руху "згідно з природою" (тангенційного) й "примусового" руху "всупереч природі" (центробіжного). Поняття "ваги відповідно до положення" використовується й у випадку руху по похилій площині. У результаті розкладання сили ваги на нормальну до площини і паралельну до неї компоненти виходить, що якщо вантажі, підняті на однакову висоту, прямопропорційні довжинам нахилу, то швидкість наприкінці руху по похилій площині буде та сама. Уся низка трактатів Йордана являє собою, таким чином, наступний після арабських механічних творів крок на шляху до принципу можливих переміщень у формі принципу можливих робіт. Динамічні поняття, що містяться в цих творах ще в

зародковій формі, можна трактувати як перші ознаки зв'язку між статикою і наукою про рух.

Геометрична статика, заснована на архімедівській традиції, протягом усього середньовіччя в Західній Європі розвивалася порівняно слабо. Більшість робіт цього періоду присвячено гідростатиці. У XIII столітті в Європі був добре відомий згаданий вище пізньоелліністичний трактат у латинському перекладі "Про плаваючі у рідинах тіла", який приписували Архімедові. Значного поширення набули латинські переклади східних трактатів, присвячені визначенню питомої ваги, зокрема, трактат ал-Хазині "Терези мудрості". Під впливом трактату Архімеда "Про плаваючі тіла" Іоганнес де Муріс написав "Трактат про числа, що складаються з чотирьох частин". Автор переказує зміст трактату Архімеда, замінюючи математичні докази числовими прикладами. До проблем гідростатики звертається у своїх "Питаннях до чотирьох книг про Землю і небо Арістотеля" Альберт Саксонський (пом. у 1390 р.). На початку XV ст. питання гідростатики (проблему питомої ваги) вивчає Микола Кузанський, але це вже епоха Відродження.

Перше дослідження з кінематики в середньовічній Європі – трактат Герарда Брюссельського "Про рух" – написаний наприкінці XII – на початку XIII ст. Основний інтерес Герарда спрямований на дослідження співвідношення між рухами ліній, площ та об'ємів. Наслідуючи античні традиції, під терміном "рух" Герард часто розуміє швидкість. Говорячи про "рівні рухи на дузі" і "рівні рухи в точці", він, мабуть, має на увазі швидкість рівномірного руху.

Кінематичні дослідження Герарда Брюссельського через століття стали відправним пунктом для досліджень, які проводили вчені Мертон-коледжу в Оксфорді. Найбільша активність мертонців відзначається близько 1328-1350 рр. Родоначальником Оксфордської школи був Томас Брадвардін. Він сформулював свій основний закон швидкостей таким чином: "Відношення швидкостей при рухах змінюється відповідно до відношення рушійних сил до сил опору".

У "Трактаті про континуум" Брадвардін звертається до понять часу, руху й миттєвості. Час він розглядає як нескінченний, послідовний континуум, що вимірює проходження й може поділятися до нескінченності. Рух є проходженням просторового континууму в часовому: лінію можна пройти з різною швидкістю. У той же час, передбачаючи можливі заперечення, Брадвардін проводить розмежування між "якістю руху", тобто швидкістю, і "кількістю руху", тобто його тривалістю. Рухи можуть не розрізнятися за "якістю", але розрізнятися за "кількістю" (тобто за тривалістю або короткочасністю). Цей закон сприяв зміцненню уявлення про швидкість як про абстрактне відношення, у визначення якого не входять ні поняття часу, ні поняття шляху.

У XIII ст. формуються поняття, на основі яких згодом було створено теорію "імпетусу" ("імпетус" не можна ототожнювати з яким-небудь сучасним терміном, але в деяких випадках його можна вважати еквівалентом імпульсу). Уперше теорію "імпетусу" сформулював паризький номіналіст Жан Буридан у "Питаннях до фізики Арістотеля" і в "Питаннях до твору Арістотеля "Про небо", написаних близько 1340 р. "Імпетусом" Буридан називає деяку силу, що виходить від тіла, що рухається, і сприймається тілом, яке спонукають до руху. Величина імпетусу визначається як швидкістю, яка надається тілу, так і його "кількістю матерії" (тобто масою). "Кількість матерії" є "мірою імпетусу" в тілі. Тому "важче зупинити велике колесо,

що швидко рухається, ніж маленьке". Зникненню імпетусу сприяє, по-перше, опір середовища, а по-друге, його "спрямування до іншого місця", якщо тіло кинуте не по вертикалі вниз. "Рушійне, приводячи в рух спонукуване, запам'ятовує деякий імпетус, – стверджував Буридан, – тобто деяку силу, здатну рухати це тіло в той бік, в який рушійна його рухала: нагору, униз, убік чи по колу". Таким чином, він говорить про імпетус і як про "рушійну силу", і як про причину продовження руху. Він зафіксований у цьому тілі таким чином, як магнітні властивості зафіксовані в залізі. Як постійна якість імпетус втрачається не сам по собі, а тільки внаслідок опору середовища або "протилежного опору" тіла. Історично теорія імпетусу скоріше була заключним етапом розвитку теоретичних побудов, пов'язаних із критикою арістотелізму, ніж початком нової лінії розвитку, пов'язаної зі становленням класичної механіки. Вона не привела, та й не могла привести до встановлення поняття інерції руху, хоч і містила деякі зачатки ідеї саморуху.

Значення теорії імпетусу полягало, по-перше, у її застосуванні до руху небесних тіл. Пояснюючи рух небесних тіл за допомогою цієї теорії, немає необхідності вводити нематеріальні так звані "інтелігенції", або "ангелів", які постійно його підтримують. Нематеріальному божественному втручанням відводилася тільки скромна роль надання первісного імпетусу; подальший рух уже не потребував його участі. Теорія імпетусу, таким чином, поєднувала рух земних і небесних тіл у єдину систему, що підпорядковується загальним законам механіки. Використовуючи поняття імпетусу, Буридан стверджує, що в порожнечі тіла падають з різною швидкістю, зберігаючи силу "ваги" й силу імпетусу. Таким чином, прихильники теорії імпетусу припускалися тієї ж помилки, що й аристотеліанці: вони вважали, що швидкість падіння пропорційна вазі.

Більшість механічних проблем у середні віки вивчалася в аспекті не стільки фізичному, скільки в загальнофілософському, у зв'язку із загальними поняттями зміни (руху), простору, часу. Університетська наука була, як правило, відірвана від технічної практики. Разом з тим не можна розглядати середні віки тільки як період розумового застою, протягом якого наука не розвивалася. Тоді були б зовсім незрозумілими причини, які породили епоху Відродження. Механіки епохи Відродження спиралася у своїй творчості на результати діяльності своїх попередників – учених Сходу й Західної Європи – як у критичному освоєнні античної наукової спадщини, так і у творчій розробці деяких проблем механіки.

### ЄВРОПЕЙСЬКЕ ВІДРОДЖЕННЯ. СТВОРЕННЯ СУЧАСНОЇ НАУКИ

#### 3.1. Основна характеристика епохи Відродження

Новий найвизначніший переворот у системі культури відбувається в епоху Відродження, що охоплює XIV – початок XVII ст. Епоха Відродження для найбільш розвинутих країн Європи – це епоха зародження капіталістичних відносин, становлення національних держав та абсолютних монархій, епоха активності буржуазії в боротьбі з феодальною реакцією, епоха глибоких соціальних конфліктів – Селянської війни в Німеччині, релігійних воєн у Франції і Нідерландської буржуазної революції. Філософська думка Відродження виникає в боротьбі італійських городян за створення й зміцнення незалежних міст-республік; вона розвивається в епоху зміцнення абсолютизму, реформації і католицької реакції в Європі. Це епоха Відродження античної культури, виникнення друкарства, епоха титанів думки й духу.

Соціально-історичною передумовою розвитку культури Відродження було становлення буржуазного індивідуалізму, що прийшов на зміну станово-ієрархічній структурі феодальних відносин. Середньовіччя завершує той тривалий період історії людства, у ході якого людина ще була прив'язана прямими або опосередкованими узами до колективу певного типу. Цей відрив остаточно завершився саме в епоху Відродження. "Не терпіти нестатку й не мати надлишку, не командувати іншими й не бути в підпорядкуванні – от моя мета", – писав Ф. Петрарка, виражаючи цим не тільки свої особисті цілі, але і світовідчуття епохи. У соціально-психологічному плані ренесансний індивідуалізм породжував таку особливість способу життя, яку великий російський мислитель О.Ф. Лосєв називав "суб'єктивістсько-індивідуалістською спрагою життєвих відчуттів незалежно від їх релігійних чи моральних цінностей". Життя на свій страх і ризик, що припускає індивідуалізм і самоствердження особистості, можливе тільки в умовах активно-діяльного ставлення до світу.

Саме таке ставлення характеризує систему нових цінностей буржуазної міської культури вільних і незалежних ремісників, торговців, майстрів, середньовічної інтелігенції. Серед цих цінностей – висока працездатність; уміння трудитися; ініціативність, прагнення побільше встигнути, здійснити; уміння цінувати час, дорожити ним (час – це такий "божий дарунок" людині, який не можна нікому передати, але, разом з тим, його можна втратити в байдикуванні); і, нарешті, особиста відповідальність за результати своєї діяльності. Правда, є речі, непідвладні часу, і це робить їх божественними: особиста доблесть, знання й родина; їх реалізація сприяє утвердженню вічних цінностей та історично вагомим справ, які по достоїнству зможуть оцінити лише нащадки.

Епоха Відродження найтіснішим чином пов'язана з розвитком тогочасного природознавства, з великими географічними відкриттями, з успіхами в галузі природничих наук (нагромадження знань про живу природу, перші кроки в галузі систематизації рослин), медицини (виникнення наукової анатомії, відкриття

кровообігу, учення про "контаги" як про причину епідемічних захворювань), математики й механіки, особливо – зі створенням Коперником нової космології.

## **Філософія епохи відродження**

*Відродження класичної давнини*, що дало найменування епосі, визначило вирішальну роль античної філософської спадщини у формуванні філософських поглядів мислителів XIV-XVI ст. Викликані до життя зусиллями гуманістів твори філософів Стародавньої Греції і Риму надали величезної сили поштовху розвитку філософської думки. Разом з тим йдеться кожного разу не тільки про засвоєння, але й про оригінальну переробку античної традиції. У філософії епохи Відродження ми маємо справу зі специфічними модифікаціями аристотелізму й платонізму, стоїчної та епікурейської філософської думки. Основна лінія вододілу пройшла не по межах старих напрямків і шкіл, а між теологією і прислуговуючою їй схоластикою, з одного боку, і філософією, що протистоїть теологічним схемам середньовіччя, – з іншого. Традиції античної і середньовічної філософської думки наповнилися у філософії Відродження новим змістом і використовувалися для вирішення нових проблем.

*Філософська думка Відродження* створює нову, пантеїстичну за своєю основною тенденцією картину світу, заперечуючи Божественне творення, ототожнення Бога й природи, обожнювання природи й людини. Філософію Відродження відрізняє її яскраво виражений антропоцентризм. Людина не тільки є найважливішим об'єктом філософського дослідження, але й виявляється центральною ланкою у всьому ланцюзі космічного буття. Гуманістичній філософії Відродження властивий погляд на людину в її насамперед земному призначенні. Людина не тільки піднімається в рамках ієрархічної картини буття, але й "підриває" саму цю ієрархію та повертається до природи, її відносини з природою і Богом розглядаються в рамках нового, пантеїстичного розуміння світу.

В еволюції філософської думки епохи Відродження можна виділити три характерних періоди: гуманістичний, чи антропоцентричний, який протиставляє середньовічному теоцентризму інтерес до людини в її взаємозв'язках зі світом; неоплатонічний, пов'язаний з постановкою широких онтологічних проблем; натурфілософський. Представники гуманістичної думки у філософському аспекті не дають нічого істотно нового; мова, скоріше, повинна йти про засвоєння гуманістичної традиції мислителями наступних періодів. Так само вплив ідей Платонівської академії простежується в італійській філософії аж до Дж. Бруно і Т. Кампанелли, але власне неоплатонічний період, що визначив подальший розвиток філософської думки і вже з ним ототожнювався, пов'язаний із творчістю Миколи Казанського й флорентійських неоплатоніків. До середини XVI ст. натурфілософія стає визначальною тенденцією у розвитку філософської думки епохи.

Під натурфілософією мислителі XVI ст. (себе вони називали "натуральними філософами") розуміли не тільки предмет свого дослідження – філософію природи, але і природний, "натуральний" підхід до пізнання законів світоустрою, який протистоїть як книжковому знанню схоластики, так і теологічним побудовам. Натурфілософія, що виявилася вищим результатом філософської еволюції епохи Відродження, вичерпує з часом специфічний зміст філософської думки цієї епохи й

поступається місцем філософії Нового часу, що виникає поза філософією Відродження, що завершила свій розвиток, – вона пов'язана із зародженням нового математичного й експериментального природознавства, насамперед класичної механіки, і зі створенням нової механічної картини світу.

Новий період ознаменувався, насамперед, новим ставленням до механіки, що починає розглядатися як "найблагородніше з мистецтв", яке поєднує "шляхетність" з найбільшою користю в життєвих справах. У формування основних досягнень механіки Відродження зробили свій внесок такі відомі вчені, як Микола Кузанський, Леонардо да Вінчі, Стевін, Коперник, Тарталья, Бенедетті, Кардано, Кеплер та ін.

### **Кінематична статика**

Існує дві точки зору, відповідно до яких трактується питання про шляхи формування статички в епоху Відродження. Згідно з однією з них, яку уособлював П. Дюем, можна говорити про пряму наступність між середньовічною школою Йордану, яка розробляла кінетичний варіант статички, що сягає корінням "Механічних проблем", і статичкою таких представників Відродження, як Леонардо да Вінчі та Джироламо Кардано. Прихильники іншої точки зору вважають, що про таку наступність говорити не можна й що трактати "Про ваги" уже до XIV ст. цілком втратили своє значення. Однак навряд чи можна погодитися з останньою точкою зору. Відомо що в XV-XVI ст. ці трактати продовжували переписуватися й коментуватися.

### **Леонардо да Вінчі**

*Леонардо да Вінчі* (1452-1519) народився в с. Анкіано (біля Вінчі, між Флоренцією і Пізою). У 1466 р. став учнем у художника й скульптора Андреа Веррокк'ю. У 1482 р. переселився, до Мілану, вступивши на службу до герцога Лодовіко Моро на посаду військового інженера. У 1500-1506 рр. жив і працював у Флоренції. У 1506 р. повернувся до Мілану, де й залишався до 1513 р. Потім мешкав у Римі. У 1516 р. на запрошення короля Франциска I переїхав до Франції. Тут, в Амбуазі, у замку Сен-Клу він помер.

У творчості Леонардо механіка посідала важливе місце. У його замітках; є багато міркувань, які стосуються теоретичної і практичної механіки. В області опору матеріалів він є безпосереднім попередником Г. Галілея. Багато уваги приділяв питанням будівельної механіки – теорії арок, зводів і купольних перекриттів. Одним з перших визначив коефіцієнт тертя. Велику частину його заміток складають гідротехнічні проекти. Відомі його дослідження механіки рухів людини й польоту птахів. Використовував поняття моменту, досліджував поняття сили, додавання сил, що діють на тіло" рух тіл по похилій площині. Доводив неможливість вічного руху. Багато часу віддавав проектуванню механізмів і машин; намагався створити літальний апарат, причому, не обмежуючись м'язовою силою людини; пропонував використовувати як двигун пружину. Працював в області математики, живопису, скульптури, анатомії, фізіології й ін.

В області механіки Леонардо, як і його попередники, насамперед звертається до закону рівноваги" важеля. Цей закон він формулює на основі цілої серії



експериментів, які розглядаються як проміжна стадія роботи, після чого стає можливим теоретичне обґрунтування. Леонардо здійснює його, спираючись на поняття "ваги відповідно до положення" школи Йордану. Що стосується строгості й логічної стрункості, то доведення Леонардо значно поступається формулюванням його попередників; як і всі подібні міркування, воно відбиває властивий Леонардо інженерний підхід до розглянутих явищ. Його обґрунтування у фізичному аспекті є набагато конкретнішим і свідчить про реальне розуміння реального важеля. За допомогою сформульованого правила Леонардо вирішує завдання як для лінійного, так і для східчастого важеля. У більш пізніх замітках він пов'язує правило важеля з поняттям центра ваги тіла або системи тіл, виявляючи глибоке розуміння архімедівської теорії рівноваги плоских фігур.

Слід згадати впроваджене ним поняття "потенційного" плеча, під яким Леонардо розумів величину перпендикуляра, опущеного з точки опори на напрямок сили. Ці уявлення можна, однак, з обережністю, вважати зародженням поняття моменту сили щодо нерухомої точки.

Спираючись на результати своїх експериментів з поліспастиками й іншими поєднаннями рухомих і нерухомих блоків, Леонардо намагався сформулювати правило співвідношення сил і швидкостей переміщення вантажу й точки прикладання сили тяги, тобто певною мірою варіант "золотого правила" механіки. Менш вдалим виявилися його спроби встановити умову рівноваги на похилій площині й розподіл ваги в нахиленому стрижні.

Проблематика, пов'язана з подальшим розвитком традицій школи Йордану, зацікавила й таких відомих математиків і механіків Відродження, як Тарталья і Кардано.

## **Тарталья і Кардано**

*Тарталья Нікколо* народився в м. Брешиї в 1499 р. Самотужки опанував читання, вивчив математику. Був одним з найвідоміших математиків свого часу. Сферу його інтересів становили математика, механіка, балістика, топографія. У творі "Нова наука" вперше розглянув питання про траєкторію випущеного снаряда й встановив, що на всій своїй протяжності вона є кривою лінією. Довів, що найбільша дальність польоту снаряда відповідає нахилу гармати 45 градусів. Працював над багатьма питаннями арифметики, алгебри й геометрії. Цікавився проблемами фортифікації. Розв'язав приведені кубічне рівняння. Тартальї належить перший італійський переклад "Начал" Евкліда. Помер у 1557 р. У 1565 р. було опубліковано трактат під назвою "Твори Йордану про ваги, вивчені й виправлені Нікколо Тартальєю".

Помітний вплив "Трактатів про ваги" позначився на роботах Кардано (1501-1576 р.). Народився в Павії. Італійський математик, механік, лікар. Доктор медицини. Викладав математику й медицину в ряді університетів. У 1570 р. був заарештований, позбавлений права викладання; після звільнення переїхав до Риму. Математичні роботи присвячені алгебрі – розв'язав рівняння третього й четвертого ступенів. Відкрив лінійне перетворення коренів, за допомогою якого можна привести повне кубічне рівняння до вигляду, вільного від члена другого ступеня, і вказав на залежність між коренями й коефіцієнтами рівняння, а також на подільність

багаточлена на  $x - a$ , якщо  $a$  – його корінь. У дослідженнях Кардано вперше з'являються уявні числа; він першим припустив існування негативних коренів рівнянь, уявні числа вважав фіктивними. Вивів загальні правила передавання руху у зубчастих механізмах. Визначив передаткове число, підкреслював, що для вивчення механізму необхідно розчленувати його на елементарні складові, сформулював правила конструювання годинникових механізмів.

### **Геометрична статика**

У статисти XVI ст. прослідковується й інша тенденція – до відродження й розвитку архімедівського напрямку геометричної статички, міцно забутого в середні віки.

### **Убальдо дель Монте**

Серед учених, які розвивали методи геометричної статички, слід назвати Убальдо дель Монте (1545-1607), який був переконаним прихильником архімедівської традиції і вважав абсолютно неспроможним напрямком школи Йордану. На відміну від кабінетних учених, до яких належала більшість "архімедистів" епохи Відродження, дель Монте сам безпосередньо вивчав проблеми інженерної практики. Питань статички він торкався у двох творах – у "Книзі про механіку" та в "Зауваженнях з приводу трактату Архімеда "Про рівновагу плоских фігур". Крім творів Архімеда, дель Монте посилається на Пап па й Герои а Александрійського, вплив яких позначився на його описах "простих машин".

В основі статички дель Монте лежить геометрична теорія рівноваги елементарних систем підвішених важких тіл. У своїх міркуваннях він виходив з ряду припущень:

– Центр ваги підвішеного важкого тіла знаходиться на вертикалі, проведеній через точку підвішування.

– Моменти сили ваги й сили тяги (чи тиску, якщо він є) щодо нерухомої точки є рівними.

Дель Монте ще не вводить явно поняття моменту сили як добутку сили на перпендикуляр, опущений з нерухомої точки на напрямок сили, але практично неодноразово вдається до нього. Використовуючи геометричний метод, він розглядає задачі про рівновагу важеля, вагів і вантажів на похилій площині.

### **Джованні Баттиста Бенедетті**

Значну роботу у зв'язку з розробкою проблем геометричної статички виконав інший великий представник науки Відродження – *Джованні Баттиста Бенедетті* (1530-1590). Хоч Бенедетті був учнем Тартальї, у статисти він дотримувався традицій Архімеда. Більше того, у перших розділах своєї основної праці "Книга різних математичних і фізичних міркувань" він не тільки розглядає помилкові твердження свого вчителя, але й критикує основні положення школи Йордану, зокрема поняття "ваги відповідно до положення". У своїй теорії рівноваги найпростіших систем підвішених важких тіл Бенедетті виходить з наступних двох положень:

архімедівського закону рівноваги важеля й закону рівності моментів сил, тобто повністю, як ми бачимо, дотримується напрямку дель Монте. До поняття сили (хоч сам цей термін ще і не вводить) Бенедетті вдається систематично й формулює його досить чітко.

Прихильники архімедівської традиції в механіці італійського Відродження на додачу до архімедівського принципу рівноваги підвішених важких тіл, пов'язаному з поняттям центра ваги тіла й системи тіл, ввели в геометричну статику принцип рівності моментів.

## Сімон Стевін

Найвідомішим і найбільш послідовним представником геометричного напрямку був фламандець Сімон Стевін (1548-1620). Його праці відіграли завершальну роль у розвитку геометричного напрямку елементарної статyki й гідростатики епохи Відродження. Стевін був прихильником максимальної простоти й точності розрахунків, яких, на його думку, можна досягти лише за допомогою строгих і чітких методів геометричної статyki. У цьому розумінні він був найбільш ревним послідовником Архімеда й рішуче відкидав традиції кінематичної статyki, в якій цієї чіткості не бачив. Свою статистику Сімон Стевін будує аксіоматично. Спочатку дається серія визначень, в основу яких покладено сукупність основних постулатів геометричної статyki Архімеда. Таким чином, закон рівноваги важеля Стевін виводить, спираючись на два вищезгаданих архімедівських принципи. Керуючись цими принципами, Стевін довів умову рівноваги вантажу на похилій площині. Пізніше Стевін використовує її для виведення правил розкладання даної сили на дві взаємно перпендикулярні складові і додавання сил, спрямованих під прямим кутом одна до однієї. Зазначимо, що саме Стевін увів позначення сил стрілками й поняття силового трикутника (тобто встановив, що якщо три рівні сили утворюють трикутник, то вони врівноважуються).

Значну роль відіграли дослідження Стевіна в розвитку гідростатики, а саме в теорії рівноваги важкої рідини. Особливий інтерес до питань гідростатики можна пояснити його практичною діяльністю на посаді інспектора гребель і консультанта голландського адміралтейства.

Крім основних законів гідростатики Архімеда, Стевін сформулював ще два положення, які стосуються елементарних властивостей важкої рідини, що не стискається:

- про повну втрату ваги об'ємом рідини, якщо її занурити в цю рідину;
- так званий "принцип отвердіння", суть якого в тому, що тиск на поверхню часткового об'єму рідини з боку навколишньої рідини не залежить від того, чим заповнений цей частковий об'єм. Уявну поверхню цього об'єму, яка повинна бути твердою і невагомою, Стевін називає "поверхневою посудиною".

Виходячи із цих двох положень, він, таким чином, виводить закон гідростатичного тиску. Як стверджує перше положення, "поверхнева посудина", заповнена водою, не буде мати ваги всередині води; а якщо вона "порожня", то зазнає тиску, спрямованого вгору, що дорівнює вазі води, яка може її наповнити. Якщо ж цю "посудину" заповнити іншою речовиною, то згідно з другим

положенням тиск води на неї залишається попереднім. Отже, вага такої "посудини" при зануренні її у воду зменшиться на вагу такого ж об'єму води.

"Принцип отвердіння" використовується надалі для визначення тиску води на дно посудини довільної форми, а також для виведення закону рівноваги води в сполучених посудинах. Аналогічним шляхом підходить Стевін до розв'язання задач про визначення тиску води на бічні стінки посудини, задач, пов'язаних із практичною діяльністю розрахунку гребель.

Аналізуючи діяльність Стевіна в галузі механіки, можна вважати його досягнення завершальним етапом у розвитку геометричного напрямку елементарної статистики й гідростатистики.

## **Кінематика**

Удосконалення календаря вимагало уточнення й перегляду теорії руху небесних тіл. Розвиток мореплавання й техніки визначення географічних координат за допомогою астрономічних спостережень потребувало перевірки й уточнення астрономічних ефемерид світил.

Першу послідовну схему планетної системи створив Клавдій Птолемей. Він вважав, що в центрі Всесвіту розташована Земля, а навколо неї обертаються сім сфер, які спричиняють рух семи планет.

### *Основні передумови геліоцентризму*

Німецький астроном і математик Регіомонтан (його "Ефемериди" вийшли у світ у 1474 р.), істотно спростивши астрономічні обчислення за допомогою тригонометрії, висунув ідею, що птоlemeївську теорію можна звільнити від епіциклів і деферентів, якщо замінити описи п'яти планет (крім Землі), що обертаються поблизу Сонця по епіциклах і деферентах, на еквівалентну систему планет, що обертаються навколо Сонця по ексцентричних колах. Це був прямий шлях до створення геогеліоцентричної системи, від якої залишався лише один крок до "чистого" геліоцентризму.

На думку відомого історика науки Т. Куна, серед інших передумов геліоцентризму слід згадати "досягнення в хімічному аналізі "падаючих каменів" в епоху середньовіччя.

## **М. Коперник і його геліоцентрична система світу**

Найбільшим мислителем, на долю якого випало почати велику революцію в астрономії, що спричинила до революції у всьому природознавстві, був геніальний польський астроном Миколай Коперник (1473 – 1543). Ще наприкінці XV ст. у Коперника після ознайомлення й глибокого вивчення "Альмагеста" замилювання математичним генієм Птолемея перейшло в сумніви щодо істинності цієї теорії, а потім і в переконання про існування глибоких протиріч у геоцентризмі. Він почав пошуки інших фундаментальних астрономічних ідей, вивчав твори, що збереглися, або виклади вчень давньогрецьких математиків і філософів.

Коперник першим глянув на весь тисячолітній досвід розвитку астрономії очима людини епохи Відродження – сміливого, упевненого, творчого новатора. Гіпотеза Коперника була гранично простою. Треба поміняти в старій птоlemeївській

системі Землю й Сонце місцями, залишивши тільки Місяць обертатися навколо Землі. Але ця проста гіпотеза була недоступною для розуміння більшістю сучасників Коперника. Перший раз в історії науки спостерігач був позбавлений свого привілейованого становища, і обговорювалося питання про картину, що спостерігається в іншій (яка рухається відносно спостерігача) координатній системі. Такий крок був революційним не тільки з погляду церкви – Земля й людина перестали бути головними у Всесвіті, але і з погляду механіки – ніколи ще відносність руху не використовувалася для вирішення конкретних задач. Помістивши центр планетної системи на Сонце, Коперник відразу ж спростив її схему. Уперше була зарахована до рангу "рухливих зірок" Земля зі своїм супутником Місяцем. На величезній відстані від планетної системи знаходиться сфера зірок. Його висновок про дивовижну віддаленість цієї сфери диктувався геліоцентричним принципом; тільки так міг Коперник погодити його з видимою відсутністю в зірок зміщень за рахунок руху самого спостерігача разом із Землею, (тобто відсутністю в них паралаксів).

Система Коперника була простішою і точнішою, ніж система Птолемея. Її відразу ж почали використовувати на практиці. Зокрема, на її основі склали "Присьські таблиці", уточнили тривалість тропічного року й провели в 1582 р. давно назрілу реформу календаря – було запроваджено новий, або григоріанський, стиль. (Його було введено в дію 5 жовтня, яке стало 15-м, 1582 р. з ініціативи папи Григорія ХНІ на основі проекту, запропонованого Луїджі Лілліо).

Революційне значення геліоцентричного принципу полягало в тому, що він подав рух усіх планет як єдину систему, пояснив багато незрозумілих раніше ефектів. Так, за допомогою уявлення про річний і добовий рух Землі теорія Коперника відразу ж пояснила головні особливості заплутаних видимих рухів планет (зворотні рухи, стояння, петлі) і виявила причину добового руху небозводу. Петлеподібні рухи планет тепер пояснювалися річним рухом Землі навколо Сонця. У відмінностях розмірів петель (і, отже, радіусів відповідних епіциклів) Коперник правильно побачив відображення орбітального руху Землі: планета, що спостерігається із Землі, повинна описувати видиму петлю тим меншу, чим далі вона від Землі. Завдяки системі Коперника вперше було пояснено загадкову коліську послідовність розмірів перших епіциклів у верхніх планет, запроваджених Птолемеєм. Їх розміри зменшувалися у міру віддалення планети від Землі. Рух по цих епіциклах, так само як і рух по деферентах для нижніх планет, відбувався з одним періодом, що дорівнював періоду обертання Сонця навколо Землі. Усі ці річні кола геоцентричної системи виявилися зайвими в системі Коперника.

Уперше було пояснено зміну пір року: Земля рухається навколо Сонця, зберігаючи незмінним у просторі положення осі свого добового обертання.

Більше того, це глибоке пояснення видимих явищ дозволило Копернику вперше в історії астрономії порушити питання про визначення справжніх відстаней планет від Сонця. Коперник виявив, що величини цих відстаней обернені до радіусів перших епіциклів для зовнішніх планет і рівновеликі щодо радіусів деферентів – для внутрішніх. (Цікаво, що вважаючи задачу визначення відстаней до тіл Сонячної системи нерозв'язною, Птолемеєм не здогадувався, що насправді вирішення цієї задачі вже містилося в прихованому вигляді в його системі).

У такий спосіб Коперник одержує дуже точні відносні відстані від планет до Сонця.

Теорія Коперника була логічно стрункою, чіткою і простою. Вона спроможна раціонально пояснити те, що раніше взагалі оголошувалося незбагненним або пояснювалося штучно, зв'язати в єдине ціле всі явища, що раніше вважалися зовсім непов'язаними. Це – її безсумнівні достоїнства; вони свідчили про істинність геліоцентризму. Найбільш проникливі мислителі зрозуміли це відразу.

І вже не настільки важливим було те, що Коперник, віддаючи данину античним і середньовічним традиціям, не заперечував колові рівномірні рухи небесних тіл, центральне положення Сонця у Всесвіті, скінченність Всесвіту, обмежував світ єдиною планетною системою. Допускаючи лише колові рівномірні рухи, Коперник відкинув еквант – можливо, найбільш дотепну знахідку Птолемея. Це був, певною мірою, навіть деякий принциповий крок назад. Коперник зберіг епіцикли й деференти. Принцип колових рівномірних рухів змусив його для досить точного опису руху планет зберегти понад три десятки епіциклів.

А проте теорія Коперника містила в собі колосальний творчий, світоглядний і теоретико-методологічний потенціал. Її історичне значення важко переоцінити. Вона підірвала ядро (геоцентричну систему) релігійно-феодалного світогляду, основи старої (первинної) наукової картини світу; стала базою революційного становлення нового наукового світогляду, нової (другої) механістичної картини світу; вона стала однією з найважливіших передумов революції у фізиці (так званої ньютоніанської революції) і створення першої природничо-наукової фундаментальної теорії класичної механіки; сприяла розробці нової, наукової методології пізнання природи.

## **Нова космологія**

Геліоцентрична система світу не тільки визначила характер наукової революції в XVI ст., але й відіграла вирішальну роль у радикальному перегляді філософських уявлень про світ. Її значення виходить далеко за межі власне історії астрономії.

Коперниканська революція не зводилася до простої перестановки передбачуваного центра світу, до заміни центрального положення Землі на центральне положення Сонця. Головне її досягнення полягало в створенні об'єктивно правильної картини руху планет, що і стало каменем спотикання для визнання коперниканства з боку теології. Остання готова була погодитися з Коперниковою теорією як математичною фікцією, що полегшує розрахунки й "рятує явища", але не претендує на істинність нової картини світу. Геліоцентризм призвів до десакралізації космосу, до корінного перегляду всієї фізичної картини світу. Перегляду зазнали найважливіші положення не тільки Птолемеєвої астрономії, але й Аристотелевої фізики й пов'язаної з їх ортодоксальним тлумаченням католицької теології. Зазнала руйнації насамперед ієрархічна структура світу. Ставився під сумнів поділ світу на "тлінну" земну субстанцію, що складається з чотирьох елементів стихій, і конфронтуючу з нею небесну, нетлінну, незмінну, вічну "п'яту сутність", з якої складаються небесні сфери й тіла. Скасовувалося фізичне, а отже, і теологічне протиставлення "землі" й "неба". Земля не протистоїть у

коперниканській системі світобудови планетам і зіркам, а утворює з ними єдиний Всесвіт.

Новим виявилось і ставлення до руху. Якщо за своєю фізичною природою Земля в старій системі світу була "нижчим" рівнем, то завдяки своїй нерухомості вона здобула для себе значення центру світу. При цьому спокій вважався вищим станом порівняно з рухом: середньовічна картина світу принципово статична. Зробивши рух призначенням Землі, Коперник не тільки "підняв" її до небес, але й показав, що саме рух є нормальним станом усіх планет.

Корінного перегляду зазнало і питання про причину й характер руху небесних тіл. Якщо в старій, аристотелівсько-птоlemeївській космології кінцевим джерелом руху був Бог – Нерухомий Двигун Аристотелевої фізики, який передає рух сфері "нерухомих" зірок і далі – нижчим сферам планет, то Коперник пояснює рух небесних тіл їх сферичною, кулястою формою, тобто їхньою природою, завдяки чому відпадає потреба в зовнішніх двигунах, а в кінцевому підсумку – і у Нерухомому Двигуні, і Бог виявляється творцем "світового механізму", що не втручається в його подальше функціонування. Тим самим не тільки в космологію, але й у філософську картину світу вводився принцип самостійного руху тіл.

У геліоцентричній космології втратило зміст й Аристотелеве уявлення про "природне місце" тіла, було зроблено крок у бік визнання однорідності простору. У фізичному небі не залишалось місця для "небесної ієрархії" християнського богослов'я.

Руйнування ієрархічної системи світобудови було найголовнішим світоглядним результатом коперниканства. Саме навколо нової космології відбудуватимуться головні ідеологічні битви XVI – початку XVII ст. Справжній зміст революції – не тільки в природознавстві, але й у філософії, спричиненої великою книгою Миколая Коперника, розкриє у своїй творчості Джордано Бруно; і саме в результаті діяльності Бруно церква піде на рішучу заборону нової космології.

### **Джордано Бруно: світоглядні висновки з коперниканізму**

Протягом декількох десятиліть після виходу у світ праці "Про обертання небесних сфер" коперниканські ідеї не привертали особливої уваги з боку широкої наукової громадськості. Це було пов'язано з бурхливими політичними подіями того часу: релігійні війни, Реформація, загострення боротьби між католицизмом і протестантизмом, становлення національних держав відсунули на другий план проблеми світобудови, космології й астрономії. Порівняння птоlemeївської і коперниканської теорій актуалізувалося лише в 70-і рр. XVI ст. Наступний крок у світоглядних висновках був цілком закономірним. Його зробив колишній ченець одного з неаполітанських монастирів Джордано Бруно (1548-1600), особистість винятково яскрава, смілива, здатна на безкомпромісне прагнення до істини. Познайомившись в 60-і рр. XVI ст. з геліоцентричною теорією Коперника, Бруно спочатку поставився до неї з недовірою. Щоб виробити своє власне ставлення до проблеми устрою Космосу, він звернувся до вивчення системи Птолемея і матеріалістичних учень давньогрецьких мислителів, у першу чергу атомістів, про нескінченність Всесвіту. Велику роль у формуванні поглядів Бруно відіграло його знайомство з ідеями кардинала Миколи Кузанського, який стверджував, що жодне

тіло не може бути центром Всесвіту через його нескінченність, Поєднавши геліоцентризм М. Коперника з ідеями М. Кузанського про ізотропність, однорідність і безмежність Всесвіту, Бруно прийшов до концепції множинності планетних систем у нескінченному Всесвіті. Саме Бруно належить перший і досить чіткий ескіз сучасної картини вічного, ніким не створеного, речовинно єдиного, нескінченного Всесвіту, що розвивається, з нескінченною кількістю осередків Розуму в ньому. У світлі вчення Бруно теорія Коперника знижує свій ранг: вона є не теорією Всесвіту, а теорією лише однієї з безлічі планетних систем Всесвіту і, можливо, не най-видатнішої такої системи.

Нове, приголомшливо сміливе вчення Бруно, яке він відкрито проголошував у бурхливих диспутах із представниками церковних кіл, визначило подальшу трагічну долю вченого. До того ж зухвалість його наукових виступів стала приводом, щоб розправитися з ним і за його відверту критику непомірного збагачення монастирів і церкви. Великого мислителя було спалено на площі Квітів у Римі 17 лютого 1600 р. А майже три століття потому на місці страти Бруно, де колись було запалено вогнище, був споруджений пам'ятник із присвятою, що починається словами: "Від століття, яке він передбачив..."

### **Відкриття законів руху планет**

Після робіт Коперника подальший розвиток астрономії потребував значного розширення й уточнення емпіричного матеріалу, даних спостережень про небесні тіла. Європейські астрономи продовжували користуватися результатами спостережень античної давнини. Але ці відомості застаріли й часто були неточними. Не були бездоганними і тогочасні спостереження, які проводили європейські астрономи.

#### *Життя, присвячене служінню Урані*

Кардинальні зміни намітилися тільки в останній чверті XVI ст., коли в 1580 р. в Данії на острові Вен (за 20 км від Копенгагена) побудували небачену ще астрономічну обсерваторію, названу Небесним замком (Ураніборгом). Ініціатором й організатором будівництва обсерваторії і створення нових величезних інструментів для астрономічних спостережень (квадранта радіусом 2 м, точність якого становила -g-, сектанта для вимірювання кутів відстаней між зірками, великого небесного глобуса й ін.) був Тіхо Браге, датський дворянин, який присвятив своє життя не військовим подвигам, а служінню богині Неба – Уранії.

Перше визначне відкриття Тіхо Браге зробив ще в 1572 р., коли, спостерігаючи за спалахом наднової яскравої зірки в сузір'ї Кассіопеї, встановив, що це зовсім не атмосферне явище (як це впливало з аристотелівської картини світу), а дивна зміна у сфері зірок. Більш як два десятки років провів Браге в Ураніборзі, визначаючи положення небесних об'єктів. Дивує точність його даних, якщо пам'ятати, що тоді ще не знали телескопів та інших оптичних інструментів. Так, порівнявши їх із сучасними даними, можна встановити, що середні похибки при визначенні положень зірок у Браге не перевищували Г, а для 21 опорної зірки – навіть 40".

Тіхо Браге був блискучим астрономом-спостерігачем, але не теоретиком. Це заважало йому повною мірою оцінити вчення Коперника. Однак Браге одночасно



відчував і недоліки птоlemeївської геоцентричної системи. Тому він розробив свою власну систему, що займала проміжне місце між геоцентричною і геліоцентричною. У цій системі Сонце рухається по ексцентричному колу навколо нерухомої Землі, а планети обертаються навколо Сонця.

На щастя, на своєму життєвому шляху Т. Браге зустрів Йоганна Кеплера. На смертному одрі Тіхо Браге заповідав Кеплеру всі свої рукописи, що містили результати багаторічних астрономічних спостережень, для того щоб Кеплер довів справедливість його, Брате, гіпотези про будову планетної системи. Цей заповіт не був і не міг бути виконаний. Але Кеплер зробив незрівнянно важливіше відкриття – він розкрив головну таємницю планетних орбіт, заклавши цим фундамент нової теоретичної астрономії і вчення про гравітацію. Він довів, що закони треба шукати в природі, а не видумувати їх як штучні схеми й підганяти під них явища природи.

## **Йоганн Кеплер**

Важко уявити собі долю більш драматичну, ніж та, що випала великому астроному Йоганну Кеплеру (1571-1630). Голод і злидні, релігійні гоніння й поневір'яння, хвороби й смерть близьких переслідували його все життя. Майже кожен день був заповнений пошуками засобів до існування, і важко зрозуміти, коли ж він устиг прочитати все те, що було написано до нього, одержати видатні результати з кристалографії, оптики, математики, астрономії і відкрити свої знамениті закони руху. Після смерті Кеплера залишилося одне зношене плаття, дві сорочки, кілька мідних монет, 57 обчислювальних таблиць, 27 надрукованих наукових праць (деякі з них багатотомні) і величезна рукописна спадщина, об'єднана пізніше в 22 книгах. Яку ж потрібно було мати наполегливість, цілеспрямованість, працьовитість, бажання пізнати закони природи, щоб у тих непосильно важких умовах, в яких жив і творив Кеплер, виконати такий колосальний обсяг роботи й зробити настільки вагомий внесок у світову науку.

У ході тривалої, напруженої, колосальної дослідницької роботи виявилися його геніальність як астронома й математика, сміливість думки, воля духу, завдяки яким він зумів перебороти тисячолітні традиції і забобони. Багаторічні пошуки числової гармонії Всесвіту, простих кількісних співвідношень у світі завершилися відкриттям об'єктивних законів руху планет, які Кеплер виклав у творах "Нова астрономія, що шукає причини, або Фізика неба" (1609) і "Гармонія світу" (1619).

На початку XVII ст. основні космологічні ідеї стародавніх греків уже втратили своє наукове значення, але деякі з них протягом століть набули характеру абсолютних істин, відмовлятися від яких не вистачало сміливості духу. Серед них, зокрема, уявлення про те, що тільки круговий, рівномірний, "природний" рух – єдино припустимий для небесних тіл. Навіть Коперник і Галілей залишилися під впливом цього переконання, вважаючи давній космологічний принцип непорушним. Проти цієї наукової догми і виступив Кеплер. Після п'яти років трудомісткої математичної обробки величезного обсягу матеріалів спостережень Т. Браге за рухом Марса Кеплер у 1605 р. відкрив і в 1609 р. опублікував перші два закони руху планет (спочатку для Марса, потім поширив їх на інші планети і їх супутники). Перший закон стверджує: кожна планета рухається по еліпсу, в одному з фокусів якого знаходиться Сонце. Цим самим Кеплер руйнував принцип колових рухів у

космосі. Відповідно до другого закону швидкість планет змінюється таким чином, що площі, які описує радіус-вектор за однакові проміжки часу, однакові (закон сталості площ). Так було покінчено і з принципом рівномірності небесних рухів. Кеплер увів п'ять параметрів, які визначають геліоцентричну орбіту планети (Кеплерові елементи) і склав рівняння для обчислення положення планети на орбіті в будь-який заданий момент часу – третій закон Кеплера. Зараз цей закон формулюється так: за умови не збудженого еліптичного руху двох матеріальних точок добутки квадратів часу обертання на суми мас центральної і рухомої точок, відносяться як куби великих півосей їхніх орбіт, тобто

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} \cdot \frac{m_0 + m_1}{m_0 + m_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

де  $T_1$  і  $T_2$  – періоди обертання двох точок,  
 $m_1$  і  $m_2$  – їх маси,  
 $m_0$  – маса центральної точки,  
 $a_1$  і  $a_2$  – великі півосі орбіт точок.

Якщо знехтувати масами планет порівняно з масою Сонця, одержимо третій закон Кеплера в його первісному вигляді: квадрати періодів обертання планет навколо Сонця пропорційні кубам великих півосей їхніх еліптичних орбіт. Таким чином, закони, відкриті Кеплером, стали робочим інструментом для спостерігачів.

Кеплер також порушив питання про динаміку руху планет. До Кеплера планетна космологія, що спиралася наарістотелівський принцип "природності" рухів небесних тіл, була кінематичною. Автори планетних теорій обмежувалися розробкою кінемати-ко-геометричних моделей світу, не намагаючись встановити причини, що викликали рух небесних тел. Навіть у Коперника схема орбітальних рухів планет була старою, кінематичною. І тільки Кеплер побачив у геліоцентричній картині руху планет дію єдиної фізичної сили й порушив питання про її природу. Уже в 1596 р. у своєму першому творі "Космографічна таємниця" він звернув увагу на те, що з віддаленням від Сонця періоди обертання планет збільшуються швидше, ніж радіуси їхніх орбіт, тобто зменшується швидкість руху планет. Тут можливі два пояснення: перше – рушійна сила зосереджена в кожній планеті, і в далеких планет вона чомусь менша, ніж у планет, розміщених ближче (так вважав Т. Брате); друге – рушійна сила є єдиною для всієї системи й зосереджена в її центрі – у Сонці, що діє сильніше на планети, розміщені ближче, й слабше на віддалені планети. Кеплер зупинився на другому поясненні, оскільки ця ідея краще пояснювала перші два закони руху планет. Через десять років після опублікування двох перших законів Кеплер встановив третій закон; він тепер був твердо переконаний, що рухом планет керує саме Сонце.

Таким чином, Кеплер уперше порушив питання про фізичну природу й точний математичний закон дії сили, що рухає планети. Дію Сонця на планети Кеплер порівнював з дією магніту. Таке порівняння було цілком у дусі часу, адже тоді весь науковий світ захоплювався магнітними явищами.

Яким би великим не було значення відкриттів Кеплера для небесної механіки й класичної механіки в цілому, йому, однак, так і не вдалося встановити динамічні принципи, які б раціонально пояснювали рух планет. Розглянуті теоретичні побудови Кеплера є суто кінематичними. І хоч ці пояснення не повністю задовольняли вимоги пізнання, історичне значення пошуків Кеплера надзвичайно

велике, тому що перші спроби динамічного пояснення руху планет стали разом з тим першим кроком до створення справжньої небесної механіки. Що ж стосується кінематичних досліджень не пов'язаних з астрономією, то майже всі вони тією чи іншою мірою стосуються динамічних проблем.

### **3.2. Виникнення класичної механіки**

#### **Механіка Г. Галілея**

Спадкоємцем епохи Відродження, який продовжив її тенденції, що сприяли розвитку нового природознавства, став великий італійський учений і мислитель Галілео Галілей (1564-1642). Він значно розширив сферу застосування експериментально-математичних методів, подолавши тим самим у тогочасному процесі пізнання історичні недоліки, які не відповідали вимогам побудови нової картини світу,

Галілео Галілей народився в Пізі. Виховувався в монастирі Воломброза у Флоренції, з 1581 р. навчався в Пізанському університеті: вивчав медицину, а з 1585 р. – математику й механіку. У 1589-1592 – професор Пізанського, у 1592-1610 – Падуанського університетів. Викладаючи в Падуї, захопився механікою. У цей час він написав ряд робіт з фортифікації: "Коротка настанова з військової архітектури" і "Трактат з фортифікації". У невеликій роботі "Механіка" він обґрунтував загальну теорію простих машин. Одночасно почав дослідження зі статички, динаміки й механіки матеріалів. У 1609-1610 рр. зробив ряд відкриттів в астрономії. У ці ж роки Галілей став переконаним послідовником геліоцентричної системи М. Коперника. У 1610 р. переїхав до Флоренції як придворний математик Козимо II Медичі. У 1612 р. опублікував свій перший антиаристотелівський твір, який у 1616 р. було оголошено безглуздим і єретичним. Із цього моменту підтримувати ідеї Коперника стає небезпечно. У 1632 р. Галілей видав книгу "Діалог про дві найголовніші системи світу" – Птолемеєву й Коперникову, за яку був притягнутий інквізицією до відповідальності і на чотирьох допитах (із 12 квітня по 21 червня 1633 р.) змушений був відмовитися від учення Коперника. "Діалог" було заборонено, а Галілея позбавлено права що-небудь публікувати. Протягом дев'яти років він офіційно вважався в'язнем інквізиції і жив спочатку в Римі, потім на своїй віллі під Флоренцією. У 1637 р. Галілей осліп, але, незважаючи на хворобу й заборону публікуватися, продовжував працювати.

У 1638 р. у Голландії були видані його "Бесіди і математичні докази, що стосуються двох нових галузей науки, що належать до механіки і місцевого руху". У перших двох діалогах книги розробляються основи опору матеріалів і будівельної механіки.

Два останні діалоги присвячені дослідженню прямолінійного руху, рівномірного й рівноприскореного, а також руху тіла, кинутого під кутом до горизонту. Тут розглядаються також закони руху тіла, що котиться по похилій площині. Галілей розробив найважливіші положення динаміки: ідею про інерцію, закони додавання рухів і швидкостей, закони падіння тіл (вільного падіння тіла; тіла на похилій площині; тіла, кинутого горизонтально); установив пропорційність між квадратами періодів коливання маятників і їх довжинами, застосував теорію

можливих переміщень для встановлення умови рівноваги. Таким чином, він повністю довів помилковість динаміки Арістотеля й накреслив шлях до створення нової – ньютонівської – динаміки.

У галузі математики Галілей був попередником Ф. Б. Кавальєрі у створенні числення неподільних, а також одним із попередників у розробці теорії імовірностей.

Найбільший суспільний резонанс викликали астрономічні відкриття й твори Галілея. Ім'я Галілея набуло популярності в широких колах Італії і всієї Європи після того, як він відкрив за допомогою телескопа, винайденого в Голландії в першому десятилітті XVII ст., супутники Юпітера, кратери на Місяці, зоряну природу Молочного Шляху, фази Венери й сонячні плями.

Історичні заслуги Галілея в галузі природознавства величезні: він розмежував поняття рівномірного й нерівномірного прискореного руху; сформулював поняття прискорення; показав, що результатом дії сил на тіло, що рухається, є не швидкість, а прискорення; вивів формулу, що пов'язує прискорення, шлях і час  $S = \frac{1}{2}at^2$ ; сформулював принцип інерції та поняття інерційної системи; обґрунтував принцип відносності руху; відкрив закон незалежності дії сил (принцип суперпозиції).

Судовий процес над Галілеєм започаткував жорстоку реакцію, що надовго затримала розвиток природознавства в Італії. Після смерті учнів Галілея в історії наукового розвитку країни почався період тривалого занепаду, і дуже скромні досягнення тогочасної науки не нагадували про блискучий початок століття. Основна причина – переміщення торговельних та індустриальних центрів. На цьому тлі розгорнулася діяльність єзуїтів і терор інквізиції.

Отже, можна зробити висновок, що дослідження Галілея заклали надійний фундамент не тільки динаміки, а й методології класичного природознавства. Подальші дослідження лише поглиблювали й зміцнювали цей фундамент. З повним правом Галілея можна назвати батьком сучасного природознавства.

## **Картезіанська фізика**

Величезний вплив на розвиток теоретичної думки у фізиці XVII ст. справив великий французький мислитель і вчений Рене Декарт (Картезій) (1596-1650). Декарт зробив сміливу спробу пояснити всі відомі тоді явища природи рухом тіл, створивши таким чином, картину світу, де не було б нічого, крім матерії, що рухається. Картина ця охоплювала і космос, і мікрокосмос. Вона узагальнила гігантську масу емпіричних спостережень, у багатьох випадках містила правильне пояснення фізичних, хімічних і фізіологічних явищ і разом з тим увібрала чимало фантастичних побудов, безпідставних гіпотез, вигаданих перипетій, які створюють, проте, правдивий образ цілого, що веде до істини, до правильних висновків. Сучасній науці теорії Декарта здаються абсолютно фантастичними, але, незважаючи на це, фізика Декарта для сучасного дослідника є набагато ближчою за своїм загальним спрямуванням, ніж сотні справедливо забутих і напівзабутих наукових систем XIX і навіть XX ст. Великий Ньютон мав усі підстави заявити: "Якщо я бачу далі Декарта, то це тому, що я стою на плечах гіганта".

### *Декартівська концепція вихорів*

У фізиці Декарта взаємодія тіл зводиться до зіткнень, а результати взаємодії в цілому – до викривлення траєкторій, які без взаємодії залишалися б прямолінійними. Будь-яке зіткнення не перетворює прямолінійний рух на криволінійний; воно лише змінює один прямолінійний напрямок на інший, також прямолінійний. Але велика кількість взаємодій завжди дає замкнуту траєкторію, утворює вихор, тому що тіло може рухатися в заповненому просторі (Декарт заперечує існування порожнечі) тільки в тому випадку, коли друге тіло, яке знаходиться перед ним, уступає йому дорогу, штовхнувши третє, і т.д., поки останнє із захоплених вихором тіл не займе місце першого тіла. У Декарта концепція вихорів пов'язана з уявленням про абсолютну пружність тіл, а всі існуючі в природі взаємодії зводяться до зіткнень.

### *Учення про речовину й теплоту*

Щоб обґрунтувати учення про масу речовини, її агрегатні стани, теплоту, а також для космологічних побудов Декарт потребував чіткого уявлення про деякі порівняно сталі типи частинок. Він назвав їх елементами. У "Трактаті про світло" Декарт розглядає три елементи: перший – елемент вогню, другий – елемент неба, третій – елемент Землі. Перший елемент складається з частинок, які взагалі не мають постійної форми й можуть ділитися та змінювати форму настільки, наскільки це необхідно, щоб заповнити будь-які найменші проміжки між частинками інших елементів. Частинки другого елемента мають кулясту форму і тому не можуть щільно притискатися одна до однієї настільки, щоб при цьому не було проміжків. Проміжки заповнюються частинками першого елемента. Тому другий елемент ніколи не може існувати в чистому вигляді без першого елемента. Третій елемент – це елемент Землі. Частинки цього елемента великі й рухаються з порівняно невеликою швидкістю.

Ідея найтоншої субстанції, що складається з частинок невизначеної форми, була потрібна для створення картини світу в цілому, щоб у цій картині не виявилось порожнього простору. У свою чергу, ніяких якісно відмінних елементів у фізиці Декарта немає: одна речовина відрізняється від іншої лише за структурою, подібно до води й пари. У фізиці Декарта частинки – аж ніяк не постійні атоми. На погляд Декарта, частинкою можна назвати будь-як дискретну частину матерії, що перебуває в русі щодо навколишніх тіл. З отождолення простору й матерії випливає, що не маса, а лише об'єм є мірою кількості речовини. Цим Декарт заперечує нерозривний зв'язок між речовиною і її вагою.

З теорії елементів випливають також відмінності між агрегатними станами й учення про теплоту. Для Декарта існує лише одна відмінність між агрегатними станами тіл: тіла можуть бути твердими або рідкими; гази не відрізняються від рідини. У твердих тілах частинки нерухомі, у рідинах вони перебувають у неперервному русі.

Відповідно до різної швидкості руху частинок існує поступовий перехід від зовсім твердих тіл до найбільш рідких, де швидкість частинок надзвичайно велика. Звідси випливає картезіанська теорія впливу теплоти на будову речовини. Полум'я – це рідина з особливо швидким рухом частинок. Тому полум'я впливає на інші тіла, приводячи в рух частинки цих тіл і перетворюючи їх на рідину. Природа плавлення й природа спалювання аналогічні й відрізняється тільки розмірами частинок: у

полум'ї найбільші частинки залишаються нерухомими, дрібні перетворюються на рідину, а інші, котрі відокремлюються від великих, виділяються у вигляді диму.

### *Космогонія*

У "Трактаті про світло" Декарт виходить з ідеї первісного хаосу. Він припускає, що спочатку не вся матерія складалася з кулястих частинок, тому що вони не змогли б заповнити без проміжків увесь простір. Однак з часом велика кількість частинок завдяки обточуванню набула кулястої форми. Проміжки між кулястими частинками заповнювалися уламками матерії. Чим меншими були ці уламки, тим швидше вони рухалися й тим швидше дробилися на ще менші частинки. Остання обставина пов'язана з порівняно великою площею поверхні малих частинок. У такий спосіб виникають два перші елементи світу. Перший елемент – це матерія, яка завдяки швидкості свого руху подрібнюється на дуже малі частини й заповнює якнайтісніше проміжки між частинками другого елемента. Другий елемент складається з кулястих частинок. Третій елемент утворюється пізніше. Він складається з частинок, що мають велику щільність і таку форму, що перешкоджає їх руху. Із цих трьох елементів матерії складається весь Всесвіт. У якому б стані не перебував спочатку Всесвіт, у ньому, на думку Декарта, повинен з часом утворитися коловий вихор. У світі не існує порожнечі, і тому всі частинки речовини змушені рухатися по колу. Вони прагнуть рухатися в різних напрямках, і тому не можна уявити собі погоджений рух усього Всесвіту навколо єдиного центра. Навпаки, 8 будь-якого зовсім неупорядкованого руху частинки Всесвіту утворюють колові вихори навколо багатьох центрів. Ближче до центрів обертання збираються найменш рухливі й найменші за величиною частинки.

Разом із збільшенням концентрації частинок речовини навколо центра обертання відбувається їх сортування: на однакових відстанях від центрів концентруються однорідні частинки. Дрібних і швидких частинок згодом стає все більше. Надлишок першого елемента спостерігається в деяких центрах, де формуються рідкі кулясті тіла. В одному із таких центрів утворилося Сонце, в інших центрах – інші нерухомі зірки.

Найкрупніші частинки третього елемента переміщуються до зовнішньої поверхні вихору, у якому вони знаходяться, а потім переходять з одного вихору в інший. Частинки, зосереджені в центрі неба, утворюють планети; більш масивні, які переходять на інше небо, – комети. Вони штовхають поперед себе деяку кількість матерії, захопленої із того неба, де вони тільки що перебували. Планети, прямуючи до центра неба, що їх уміщує, усе-таки не досягають цього центра, тому що він захоплений Сонцем або в інших небесах – нерухомими зірками. Вони опиняються на такій відстані від центра, яка відповідає рівновазі між силою руху частинок, що входять до складу планет, і силою руху навколишньої небесної рідини. Таким чином формуються орбіти різних планет! Потік небесної рідини, який огортає планету із зовнішнього боку вихору, змушує планету обертатися не тільки навколо Сонця, але й навколо власної осі.

Земля спочатку складалася з першого елемента, подібно до Сонця, і мала навколо себе свій вихор. Згодом частинки з гранями й деякі інші частинки першого елемента перетворювалися на матерію третього елемента. Поступово вся Земля була покрита й затемнена плямами третього елемента – ділянками твердої кори. Після того, як рух частинок, що складають Землю, сповільнився, вихор, у центрі якого

знаходиться Земля, послабився. Ще раніше цей вихор Землі поглинув менший за розмірами вихор Місяця, і Місяць став супутником Землі. Аналогічна ж доля спіткала і Землю. Вихор Землі був поглинутий вихором Сонця, і Земля стала частиною більш могутньої вихрової системи. У центрі Землі до цього часу знаходяться частинки першого елемента, які швидко рухаються. Це – розплавлене ядро Землі, подібне за речовинним складом до Сонця.

## Ньютонівська революція

### *Ньютон і його час*

Узагальнивши розрізнені результати своїх попередників у струнку теоретичну систему знання (ньютонівську механіку), Ньютон (1643-1727) став основоположником класичної теоретичної фізики. Він сформулював її цілі, розробив методи й програму розвитку, яка була означена таким чином: "Було б непогано вивести з начал механіки й інші явища природи". В основі ньютонівського методу лежить експериментальне встановлення точних кількісних закономірних зв'язків між явищами й виведення з них загальних законів природи методом індукції.

Ньютон народився в рік початку великої громадянської війни в Англії і пережив за своє довге, вісімдесятип'ятилітнє життя страту Карла I, правління Кромвелля, реставрацію Стюартів, другу, так звану "безкровну" славну революцію 1688 р. і помер за зміцнілого конституційного режиму. Він був сучасником Петра I і Людовіка XIV. Але політичні бурі, очевидно, не залишили глибоких слідів у житті Ньютона. Він був, принаймні зовні, аполітичним "філософом" у тому широкому розумінні, у якому це слово застосовувалося в давнину.

Життя Ньютона спливало спокійно, мирно й одноманітно; помер він неодруженим, нікуди не виїжджав за межі Англії, подорожі його обмежувалися невеликими відстанями від Грентема до Кембриджу й Лондона (близько 200 км). Ньютон відзначався міцним здоров'ям, ніколи не мав особливо близьких друзів, родичів чисто "життєва" біографія Ньютона майже обмежується послужним списком та десятком анекдотів-легенд. Усе це тільки показна оболонка справжньої діяльності Ньютона, яка поглинала його повністю, принаймні, у першій половині життя; плодами її стали "Оптика", "Математичні начала натуральної філософії" і метод флюксії.

Ньютон, незважаючи на небачену широту своїх наукових інтересів, не був універсальним генієм, як Леонардо да Вінчі, чи "полігістором" (знавцем усіх наук), як Лейбніц. Його думки й робота зосереджувалися на "натуральній філософії", або фізиці; математика й астрономія в його руках були, зрештою, методом і матеріалом для вирішення основних фізичних завдань. Богословські й історичні знання Ньютона можна розглядати як неминучу данину часу, властиву багатьом його сучасникам.

Мирна одноманітність життя й зосередженість думки та роботи були тими сприятливими чинниками, які допомагали Ньютону із неупередженістю стороннього глядача усвідомити разючі розміри й велич досягнень пізнання, але якість наукової спадщини вченого є секретом генія, що залишився незрозумілим і для нього самого. Ми можемо тільки захоплюватися ним.

Народився І. Ньютон у невеликому селищі Вульсторп у графстві Лінкольн 5 січня 1643 р. у родині дрібного фермера. Його дитячі і юнацькі роки минали в середовищі фермерів і сільських пасторів. У дитинстві Ісаак жив в основному на піклуванні бабусі. Схильний до самотності, міркувань, завзятий у навчанні хлопчик успішно закінчив школу і в 1660 р. вступив до Кембриджського університету. Усі свої великі відкриття він зробив або підготував у молоді роки – з 1665 по 1667 рр., рятуючись у рідному Вульсторпі від чуми, що лютувала в містах Англії. Серед цих відкриттів – закони динаміки, закон всесвітнього тяжіння, створення (одночасно з Лейбніцем) нових математичних методів диференціального й інтегрального числення, що стали фундаментом вищої математики; винахід телескопа-рефлектора, відкриття спектрального складу білого світла й ін.

### *"Математичні начала натуральної філософії" і їх структура*

Безпосередня мета "Начал" – наведення доказів на користь закону всесвітнього тяжіння як такого, що безпосередньо впливає із застосування принципів механіки до руху небесних тіл. Підготовку цієї безпосередності було проведено з вражаючою майстерністю. "Начала" побудовані дуже чітко, і ця чіткість, де випадкова. Наслідуючи Евкліда, Ньютон спочатку вводить визначення основних фізичних понять – маси, кількості руху, сили й т.п., потім ідуть аксіоми, або закони руху.

"Книга I, Про рух тіл" – вирішення ряду динамічних задач, які стосуються руху матеріальних точок і твердих тіл. Розглянуто основні питання стосовно закону центральної сили, коли орбіту задано; зроблено спробу розв'язати й обернену проблему. Поряд із законом обернених квадратів у цих задачах фігурують й інші закони.

"Книга II, Про рух тіл". Мета другої книги – нищівна критика вихрової теорії Декарта, основна тема – гідродинамічні й гідростатичні задачі, закони руху тіл в середовищі з опором, хвильовий рух, найпростіші випадки вихрових рухів.

"Книга III, Про систему світу". Найбільш фізичною щодо змісту й найбільш вагомим за результатами була третя книга. Спочатку йдуть "Правила дослідження природи". Сформульовано чотири правила, зміст яких полягає в тому, що якщо з досліду щось впливає, то це вірно, і далі не потрібно вести філософські дискусії, а потрібно ці твердження застосовувати й спостерігати, що із цього вийде. Якщо наслідки узгоджуються з дослідом, то теорія правильна.

Наступний розділ називається "Явища". У ньому ретельно перераховано основні експериментальні факти – "явища". "Явища" описано дуже ґрунтовно. Наприклад, перевіряючи 3-ій закон Кеплера для супутників Юпітера, Ньютон докладно описує, за допомогою якого телескопа, якої довжини, за допомогою якого "пречудового мікромметра" було проведено вимірювання й т.д. Результатом аналізу наведених "явищ", а також деяких інших фактів Ньютон вважав встановлення факту, що "тяжіння існує до всіх тіл взагалі і є пропорційним масі кожного з них" і "тяжіння до окремих рівних частин тіл оберненопропорційне квадратам відстаней до цих частин".

Далі йде певна кількість теорем про властивості Сонячної системи. Є теореми про форму Землі, широтну залежність ваги й багато іншого. І, нарешті, йде найскладніше: кількісна теорія Місяця, теорія припливів і теорія комет.



### *Закон всесвітнього тяжіння*

Ще в давнину, спостерігаючи за рухом планет, люди здогадувалися, що всі вони, разом із Землею, рухаються навколо Сонця. Пізніше, коли було забуто, про що знали колись, це відкриття заново зробив Коперник. І тоді виникли нові запитання: як саме планети рухаються навколо Сонця? який характер їхнього руху? Чи рухаються вони по колу й Сонце знаходиться в центрі, чи вони рухаються по якійсь іншій кривій? Як швидко вони рухаються? І так далі. З'ясувалося це не так швидко. Після Коперника знову настали неспокійні часи й розпочалися суперечки про те, чи обертаються планети разом із Землею навколо Сонця, чи Земля знаходиться в центрі Всесвіту. Тіхо Браге знайшов вихід із скрутного становища, що склалося на той час. Він прийшов до висновку, що потрібно дуже уважно стежити, де з'являються на небі планети, точно записувати дані спостережень і тоді уже вибирати між двома супротивними теоріями. Це і було початком сучасної науки, становленням нових підходів до правильного розуміння природи – спостерігати за явищем, записувати всі подробиці й використовувати їх для того чи іншого теоретичного тлумачення. І от Тіхо Браге у своїй обсерваторії фіксував щоночі положення планет. Величезну кількість високоточних даних Браге заповідав Кеплеру, який і спробував дати відповідь на питання, як рухаються планети навколо Сонця. У кінцевому підсумку Кеплер установив, що планети рухаються навколо Сонця по еліпсах, а Сонце знаходиться в одному з фокусів. Потім він відкрив другий і третій закони, які названі його ім'ям. Ці три закони вичерпно описують рух планет навколо Сонця. Але яка сила змушує планети рухатися?

Тим часом Галілей досліджував закони руху звичайнісіньких предметів, що були в нього під рукою. Вивчаючи рух кульки по похилій площині, хитання маятника й т.д., Галілей відкрив принцип інерції, відповідно до якого, якщо на предмет ніщо не діє і він рухається з певною швидкістю по прямій лінії, то рух відбудуватиметься із цією ж швидкістю по цій же прямій лінії вічно.

Потім прийшов час Ньютона. Розмірковуючи над питанням: а якщо кулька не котиться по прямій лінії, що тоді? – він відповів так: для того, щоб хоч якось змінити її швидкість, потрібна сила. Наприклад, якщо ви підштовхнете кульку в тому напрямку, у якому вона котиться, то вона покотиться швидше. Якщо ви помітили, що вона повернула вбік, значить сила діяла збоку. Силу можна охарактеризувати добутком двох величин – прискорення й маси тіла. Силу можна і виміряти: наприклад, якщо ми прив'яжемо до мотузки камінь і почнемо крутити його над головою, то відчуємо, що мотузку треба тягти. Чим більша маса, тим сильніше потрібно тягти мотузку. Коли камінь рухається по колу, величина швидкості не змінюється, зате змінюється її напрямок. Ньютон вирішив, що планеті, яка обертається навколо Сонця, не потрібна сила, щоб рухатися вперед; якби ніякої сили не було, планета рухалася б по дотичній. Але насправді планета рухається не по прямій. Її рух постійно відхиляється в бік Сонця. Щоб так викривити траєкторію, потрібна сила. Стало зрозуміло, що джерело цієї сили знаходиться десь біля Сонця. І Ньютонові вдалося довести, що другий закон Кеплера – закон рівності площ – безпосередньо впливає із тієї простої ідеї, що всі зміни у швидкості спрямовані до Сонця, навіть у випадку еліптичної орбіти. Цей закон посилив переконаність Ньютона в тому, що сила, яка діє на планет ти, спрямована до Сонця і що, знаючи, як період обертання різних планет залежить від відстані до Сонця, можна визначити,

як слабшає сила з відстанню. Він довів, що сила оберненопропорційна квадрату відстані. Дотепер Ньютон не сказав нічого нового – він лише повторив іншими словами те, що сказав до нього Кеплер. Один закон Кеплера рівнозначний твердженню, що сила спрямована до Сонця, а інший – твердженню, що сила оберненопропорційна квадрату відстані й не залежить ні від яких інших величин, крім відстані.

Вихідний факт, покладений в основу Ньютонової теорії тяжіння, – вага, яку мають всі тіла, що знаходяться на Землі. З рівності прискорення для всіх падаючих тіл, доведеної численними експериментами, Ньютон встановлює, що ваги тіл, рівновіддалених від центра Землі, відносяться як кількості матерії, чи маси тіл. За умови однакової віддаленості від центра Землі сили, з якими тіла притягають до себе Землю, відповідно пропорційні масам. Звідси випливає, що сила тяжіння, властива конкретному тілу, складається із сил тяжіння його частин. Тому всі земні тіла притягаються одне до одного із силою, пропорційною кількості матерії, тобто масі кожного тіла.

Установивши властивості земної ваги, Ньютон поставив за мету визначити тяжіння в небесному просторі. Як було зазначено вище, сила, що є причиною доцентрового прискорення планети, спрямована, як і саме прискорення, до Сонця, інакше кажучи, ця сила притягає планету до Сонця. Вона дорівнює прискоренню, помноженому на масу. З іншого боку, вага, що надає тілам рівномірного прискорення, спрямована до центра Землі й пропорційна масі. Ньютон припустив, що йдеться не про аналогію, а про тотожність, тобто ототожнив рух небесних тіл з падінням вантажів на Землі.

Установивши цей факт, Ньютон завершив об'єднання астрономії і земної механіки. Усю геніальну сміливість цієї ідеї важко зараз оцінити, настільки глибоко ввійшов закон всесвітнього тяжіння в науку.

Згодом Ньютон досліджує, чи можна за допомогою астрономічних спостережень підтвердити обернену пропорційність між квадратами відстаней і доцентровим прискоренням. Він припустив, що Місяць на орбіті утримують ті ж сили, що притягають предмети до Землі. Взявши за основу астрономічні дані, Ньютон підрахував, наскільки відхиляється Місяць за секунду від прямої лінії, по якій він повинен був би рухатися, якби його не притягувала Земля. Ця величина дещо більша, ніж 1,25 мм. Місяць знаходиться в 60 разів далі від центра Землі, ніж ми. Отже, якщо закон оберненої ірпропорційної залежності від квадрата відстані є вірним, то предмет біля поверхні Землі при падінні повинен пролітати за секунду  $1,25 \cdot 60^2$ , тому що на орбіті Місяця предмети притягаються в 60-60 разів слабкіше. Отже,  $1,25 \cdot 60^2$  – це приблизно 5 м. Вимірювання Галілея показали, що, падаючи біля поверхні Землі, тіла пролітають за секунду 5 м. Це означало, що Ньютон на вірному шляху, тому що якщо раніше були відомі два незалежних факти: по-перше, період обертання Місяця й величина його орбіти і, по-друге, відстань, яку пролітає тіло, падаючи біля поверхні Землі, – то тепер ці факти виявилися тісно пов'язаними.

Таким чином, доцентрова сила, яка впливає на рух Місяця, на поверхні Землі повинна була б дорівнювати силі ваги. Сила, з якою Земля притягує Місяць і спричинює його рух по криволінійній орбіті, є земна сила ваги, дія якої поширюється аж до Місяця.

Якщо Земля притягує Місяць, то і Місяць з такою ж силою притягує Землю. З кеплерівських законів обертання планет навколо Сонця випливає, що доцентрова сила планет спрямована до центра Сонця, а доцентрова сила супутників – до центрів планет; ці сили оберненопропорційні квадратам відстаней до центрів тяжіння. Таким чином, закон тяжіння пояснює також рух планет і їхніх супутників. Досліджуючи рух комет, припливи й т.д., Ньютон в усьому бачить підтвердження свого закону.

Пізніше він переходить від небесних тіл до мікросвіту й прагне довести, що дрібні частинки речовини також зазнають взаємного тяжіння, яке пропорційне їх масі. Учений стверджує, що всі, без винятку, тіла – від нерухомих зірок до дрібних частинок – зазнають тяжіння, величина якого пропорційна добутку їхніх мас та оберненопропорційна квадрату відстані. Земля притягує Місяць, але і її саму притягує Сонце, і все це доповнюється зворотним впливом Місяця на Землю, Землі на Сонце й т.д. Відповідно, формула доцентрового прискорення перетворюється на формулу взаємного тяжіння

$$F = G \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

де  $G$  – множник пропорційності, а

$m_1$  і  $m_2$  – маси тіл, які взаємно притягаються одне до одного.

Віддаючи данину генію Ньютона, усе-таки слід зазначити, що закон всесвітнього тяжіння має ряд недоліків: він неспроможний, коли йдеться про обчислення руху Меркурія, передавання тяжіння через порожнечу, він визнає необхідність першого поштовху. На що "тірокляті питання" старої механіки дала відповідь загальна теорія відносності.

#### *Математичне узагальнення*

Математичним узагальненням, які дозволили сягнути злету механічної концепції світу, були поняття похідної, диференціала й інтеграла – основи для аналізу нескінченно малих. Створюючи аналіз нескінченно малих, Ньютон виходив з поняття похідної. її прообразом була змінна швидкість тіла, що рухається під дією сили.

Якщо тіло рухається за інерцією, то рух відбувається за законом, що пов'язує положення тіла з часом, -тобто йдеться про лінійну залежність цього положення від часу. Швидкість на всьому відрізку постійна, вона збігається зі швидкістю в точці, і шлях тіла ми визначаємо, помноживши час руху на цю незмінну швидкість. Якщо ж тіло рухається під впливом незмінної сили, то постійною є не швидкість, а прискорення.

Ньютон узагальнює поняття шляху, пройденого частинкою, і її швидкості й уводить поняття флюенти (змінної) і флюксії (швидкості зміни флюенти, тобто похідної цієї змінної). У Ньютона не було виразного уявлення про флюксії як про границю відношення залежної змінної до її аргументу. Але Ньютон указав шлях, що веде до такого уявлення, ввівши поняття, які допомогли сформулювати концепцію нескінченно малих змінних величин і похідної як їх граничного відношення. Граничне відношення, наприклад граничне відношення шляху до часу, тобто швидкість, з абсолютною точністю характеризує рух у даній точці й у даний момент часу. Констатація швидкості в точці й узагалі будь-якого граничного відношення змінних величин не пов'язана з яким-небудь компромісним ігноруванням

справжньої довжини величин, нескінченно малі зберігають свою довжину, і ми визначаємо похідну не як відношення цих змінних величин, а як границю, до якої наближається це відношення, коли змінні прямують до нуля.

Ньютон обрав шлях, що веде до уявлення про нескінченно малі як змінні величини і до поняття границі, уводячи "перші відношення" величин, що зароджуються, і "останні відношення" зникаючих величин. Ці поняття фігурують у "Міркуваннях про квадратури кривих" і в "Началах". Тут мова йде аж ніяк не про "останні відношення" величин у той момент, коли ми визнаємо їх достатньо малими, щоб знехтувати ними, мова йде про "останні відношення", до яких змінні величини прямують, не досягаючи їх, тобто про граничні відношення.

У роботі "Метод флюксій і нескінченних рядів" Ньютон розглядає дві задачі – визначення флюксій за флюентами, наприклад, миттєвої швидкості за пройденим шляхом (тобто про задачу диференціювання), і визначення флюент за флюксіями, наприклад, шляху за швидкістю (тобто про задачу інтегрування).

Ньютон увів позначення для похідних: першу похідну від величини  $X$  він позначив  $\dot{X}$ , другу –  $\ddot{X}$ . Таким чином, якщо  $X$  – координата частинки, то її швидкість  $\dot{X}$ , а прискорення  $\ddot{X}$ . Для похідних за часом ці позначення застосовуються й у наш час. Запропоновані математичні поняття являють собою узагальнення механічних категорій. Відповідно, незалежною змінною може бути будь-яка величина, якщо розглядати відношення до неї всіх інших величин, які можуть змінюватися як рівномірно, так і довільно. Подібне узагальнення сприяє становленню нових фізичних понять. Уявімо собі, що незалежною змінною є простір, наприклад, відстань від центра тяжіння, і нам потрібно обчислити силу тяжіння в кожній точці. У наш час відомо, що розв'язання подібних задач пов'язане з уявленням про силове поле – простір, де кожній точці відповідає певне значення сили, що діє на одиничну масу. Ми знаємо також, що подібна формальна континуалізація тяжіння, що заповнює простір суто математичними величинами, перетворилася згодом на картину матеріального середовища, в якому сила передається від точки до точки (після того, як було доведено існування скінченної швидкості поширення взаємодії). Таким чином, математичне узагальнення механіки дальньої дії сприяло створенню фізики близької дії.

#### *Ньютонівська оптика*

Фізичні ідеї, що лежать в основі механіки Ньютона, висловлені переважно в його роботах з оптики. З погляду загальної історії природознавства, оптика Ньютона має першорядне значення, тому що в ній знаходимо найглибші фізичні, часто кінетичні, іноді суто картезіанські за своїм духом корені класичної механіки.

Вихідним пунктом оптичних експериментів Ньютона були потреби практики. Перші великі телескопи мали сферичну й хроматичну аберацію. Щоб усунути цей недолік, Ньютон запропонував замінити рефрактори відбивальними телескопами – рефлекторами. У 1668 р. він побудував велику модель рефлектора, а три роки потому створив порівняно великий відбивальний телескоп. При цьому Ньютон виявив себе як надзвичайно винахідливий конструктор і технолог.

Вирішення проблеми хроматичної аберації започаткувало всі наступні оптичні дослідження Ньютона. Безпосередній об'єкт телескопа – зоряне небо – привернуло увагу Ньютона до основних задач небесної механіки й астрономії. У виконанні Ньютона експеримент став настільки точним і плідним знаряддям пізнання, що вся

попередня експериментальна фізика здається передісторією ньютонівських робіт. У результаті проведених досліджень Ньютон відкрив явище розкладання на спектр білого світла, коли воно проходить через призму, вимірявши величину заломлення променів різних частин спектра. При цьому Ньютон розрізняв основні кольори й складні вторинні кольори. Основні кольори утворюють спектр, який включає червоний, жовтогарячий, жовтий, зелений і т.д., і величезну кількість проміжних відтінків.

Близькі один до одного ділянки спектра дають у поєднанні проміжні кольори: жовтий із синім – зелений, червоний із жовтим – жовтогарячий і т.д. Кольори, що лежать у спектрі далеко один від одного, не утворюють проміжних відтінків. Білий колір є результатом поєднання всіх згаданих вище кольорів.

Звідси випливає, що звичайне світло – біле – являє собою поєднання променів усіх довжин хвиль, які випромінюють тіла, що світяться. Деякі тіла випромінюють світло різних частин спектра не в однаковій пропорції, і тому їхнє світло має певне забарвлення.

Згодом Ньютон пояснив різний колір деяких тіл зміною їхнього стану. Різні речовини по-різному відбивають й поглинають світло. Неоднакове забарвлення природних тіл пов'язане, на думку Ньютона, з різною здатністю тіл відбивати одні світлові промені більшою мірою, ніж інші.

Ньютон закінчує виклад своєї теорії вказівкою на субстанціальність світла: "Ми побачили, що причина кольорів пов'язана не з тілами, а зі світлом, тому ми маємо достатні підстави вважати світло субстанцією".

Однак Ньютон відмовляється від висунення фізичних гіпотез. "Не так легко, однак, з повною впевненістю й остаточно визначити, що таке світло, чому воно заломлюється і яким способом чи дією воно викликає в нашій уяві сприйняття кольорів; я не хочу тут змішувати здогадки з вірогідністю".

Однозначна, повна, цілком достовірна теорія світла з величезними труднощами формувалася як наочна фізична теорія. Тим часом Ньютон прагнув до абсолютної достовірності. Він ще не покінчив з кінетичними гіпотезами у фізиці, але вже закликає до строгого розмежування фізики принципів і фізики моделей.

#### *Атомістичні погляди Ньютона*

Теорія світла Ньютона ґрунтується на уявленні про існування дрібних корпускул, що створюють на сітківці ока відчуття світла. Найкрупніші частинки дають червоний колір, а найменші – фіолетовий. Закони оптики виводяться зі взаємодії між частинками матерії і світловими корпускулами. Переходячи з одного середовища в інше, частинки світла відхиляються внаслідок притягання: дрібні фіолетові – більшою мірою, а великі червоні – меншою.

У своїх атомістичних побудовах Ньютон не вдається до поняття абсолютно неподільних атомів, замінивши їх на корпускули як неподільні частинки. В "Оптиці" Ньютон стверджує, що корпускули тіла складаються з більш дрібних частин матерії, які, у свою чергу, складаються із ще більш дрібних дискретних елементів. При цьому він зауважує, що порожній простір зростає в міру дроблення частинок і відношення порожнього простору до заповненого зростає як ступінь, показник якого дорівнює порядку останніх дискретних частинок.

Якщо ми зупинимося на частинках шостого порядку, як це робить Ньютон, то порожній простір у 63 рази більший, ніж заповнений; якщо останні частинки

п'ятнадцятого порядку, то порожнеча більше ніж у 30 тисяч разів перевищує наповнену частину об'єму корпускул; якщо ж дроблення речовини продовжувати до нескінченності, то простір виявляється заповненим у нескінченно малій мірі.

Ця ідея нескінченної ієрархії дискретних частинок речовини була пов'язана з уявленням про єдність матерії. Ньютон не вірив в існування неподільних атомів й елементів, які не можуть перетворюватися один в інший. Навпроти, він припускав, що неподільність частинок і, відповідно, якісні відмінності між елементами є лише відносною межею, пов'язаною з історично обмеженими можливостями експериментальної техніки. Якщо розчленувати речовину на ці відносно неподільні частинки, то відбудеться звичайна хімічна реакція. Однак можна використовувати більш ефективний хімічний вплив і з його допомогою розчленувати частинки на більш дрібні дискретні елементи – на атоми другого порядку, причому виявиться єдність матерії й один елемент перетвориться на інший. Такі уявлення підтримували сподівання Ньютона на успіх його алхімічних дослідів.

Ньютон створює ієрархію дискретних частинок речовини. Перші поєднання – це найбільш міцні сполучення елементів металу, пов'язані найбільш могутніми силами взаємного притягання. Швидше всього, і ці перші елементи мають складну природу й подільність речовини є нескінченною. Другі поєднання складаються з перших поєднань, причому зв'язок тут набагато слабкіший, взаємне притягання не так міцно з'єднує між собою елементи поєднання, і цей зв'язок можна розірвати за допомогою звичайного хімічного впливу. Отже, єдність речовини й перетворення елементів можуть бути результатом більш енергійних впливів, які здатні розчленувати більш дрібні дискретні частини речовини. Таким чином, загальний принцип єдності матерії, що лежав в основі розвитку хімії, впливає в Ньютона з динамічних поглядів на структуру речовини, з уявлення про реальну ієрархію динамічних взаємодій, що пов'язують воєдино кожен дискретну частину матерії.

Слід підкреслити, що ні атомістичні моделі в "Оптиці" і в переписці, ні побічні фізичні посилення "Начал" не можуть претендувати на роль завершеної атомістичної картини світу.

#### *Учення Ньютона про ефір*

У полеміці з іуком Ньютон схематично окреслив деякі риси компромісної теорії, що поєднує хвильові й корпускулярні уявлення. Насамперед він указує, що теорія світлових корпускул ні в якому разі не повинна однозначно поєднуватися з відкритим ним законом поширення, заломлення й відбивання світла. Однак навіть ця теорія аж ніяк не виключає хвильових уявлень. Коливання ефіру, вважає Ньютон, необхідні для пояснення оптичних явищ навіть коли припустити існування світлових корпускул. Корпускули світла, потрапляючи поверхні, що мають здатність заломлювати чи відбивати, спричинюють коливання ефіру. Хвилі ефіру можуть мати різні довжини, і це дозволяє пояснити цілий ряд оптичних явищ.

Надалі Ньютон продовжував розвивати уявлення про витікання частинок, що спричинюють виникнення хвиль в ефірі. Він вважав, що в безповітряному просторі залишається деяке матеріальне середовище – ефір, надзвичайно розріджений, тонкий і пружний. Ефір пояснює різноманітні фізичні явища – магнітні, електричні і навіть тяжіння. Ньютон у суто картезіанському дусі описує різні найтонші флюїди, з яких складається ефір.

Електричне притягання й відштовхування пояснюється виділенням тонкого флюїду при терті. Зазначений флюїд, поширюючись навколо натертого скла, циркулює в різних напрямках і захоплює собою легкі тіла, повертаючись зрештою назад у скло і тут згущуючись. Притягання тіл до Землі пояснюється рухом іншого компонента ефіру. Гравітаційний флюїд проникає до поверхні пор речовини. Завдяки цьому Земля всмоктує ефір і згущує його у своїх порах. Тому ефір прагне повернутися назад до Землі і тягне за собою тіло. Він давить на це тіло пропорційно поверхні частинок. У надрах Землі відбуваються складні реакції, що перетворюють ефір на звичайну речовину і, у свою чергу, виробляють ефір з інших речовин. Ефір входить у тіло таким чином, що щільність його в глибині тіл менша, ніж на їхній поверхні. Поширення світла пов'язане з коливанням ефіру. Подібними ж гіпотетичними моделями Ньютон пояснює заломлення й відбивання світла, кольори вузьких смуг спектра й т.д. Коливання ефіру підтримують рух частинок під час процесів бродіння, гниття й горіння речовин. Для того, щоб примусити свої м'язи скоротитися, людина стискає ефір, який їх наповнює. У цьому процесі бере участь ще один інгредієнт ефіру – "тваринний флюїд".

Протягом наступних років Ньютон продовжував конкретизувати гіпотезу ефіру. Він припускав, що весь простір заповнений ефіром, який може стискатися й розширюватися і має дуже велику пружність. Далі припускалося, що ефір проникає в тіла через їхні пори, причому чим тонші пори, тим розрідженіший ефір, що наповнює ці тіла. Проникненням ефіру в пори Ньютон пояснює відштовхування й притягання тіл, незмочуваність деяких тіл, тяжіння.

Протягом життя Ньютон висловив цілий ряд суперечливих ідей, пов'язаних з ефіром. С. І. Вавілов пояснює ці суперечності тим, що Ньютон у першу чергу описує емпіричні властивості світла, а потім намагається довести, що деякі з них можуть бути витлумачені за допомогою ефіру, далі демонструє протиріччя між іншими властивостями світла й існуванням ефіру і, нарешті, зупиняється на динамічному трактуванні фізичних процесів без будь-яких кінетичних гіпотез.

Очевидно, Ньютон розумів, що без кінетичних моделей ефіру не можна предметно розмірковувати про світло, електрику й тяжіння, але в той же час остерігався пов'язувати з гіпотезою ефіру свої механічні й оптичні закони, які він вважав абсолютними, безперечними й такими, що безпосередньо впливають з чистого досвіду. Під впливом дуже різних чинників у фізиці Ньютона й у фізичних передумовах його механіки ідея порожнього простору відігравала більш важливу роль, ніж протилежна ідея – матеріального середовища, завдяки якому відбувається взаємодія тіл. У роботах з оптики й, взагалі, у дослідженнях, пов'язаних з експериментами, Ньютон найчастіше звертається до уявлення про ефір, але в його математичних, механічних та астрономічних побудовах простір трактується як порожнеча.

В "Оптиці" Ньютон називає простір "умістилищем Бога". Ця містична концепція була довільним догматичним абсолютизуванням умовної абстракції порожнього простору та дії через порожнечу.

Складні й часто суперечливі ідеї Ньютона щодо ефіру й порожнечі приводять його зрештою до практичного заперечення ролі ефіру в однозначній науковій картині світу. Ефір фігурує як дидактична гіпотеза; порожнеча заповнена агентом, який іноді схожий на ефір, а частіше – на нематеріальну субстанцію; але туди, де царюють закони, входить лише протилежність між порожнечею і матеріальними

тілами, що рухаються в ній. У Декарта картина світу позбавлена об'єктивних якісних відмінностей, у Ньютона ж таке уявлення присутнє, але тільки одне: розрізнення простору й матерії.

#### *Ньютонівська Ідея дальньої дії*

Ідея дальньої дії пов'язана з методом Ньютона. У його механіці ідея взаємозв'язку тіл природи набула історично обмеженої абстрактної форми взаємодії двох тіл, вихоплених із загальної картини природи. Дія тіл одне на одне спричинює прискорення. Тому центральним поняттям ідеї Ньютона є опір прискоренню, тобто маса й пропорційна їй сила, що спричинає це прискорення. Увесь математичний і механічний апарат "Начал" налаштований на аналіз сили тяжіння – однак без врахування впливу середовища. Принцип дії на відстані ввійшов у природознавство разом з механікою Ньютона. Однак сам Ньютон не був сліпим прихильником цього принципу. Він допускав існування реального агента (ефіру), що передає дію від одного тіла до іншого. Безперечно, учні Ньютона говорили про дію через порожнечу більш категорично, ніж їхній учитель.

Ньютон багато разів, особливо в листах, відкидав принцип дальньої дії. Широко відомий його третій лист до Бенті, у якому вчений у різкій формі відмовляється від визнання принципу дії на відстані: "Не можна уявити собі, – писав він, – як нежива, груба речовина могла б без посередництва чого-небудь стороннього, нематеріального, – діяти на іншу речовину інакше, як через взаємний дотик. А так повинно було б бути, якби тяжіння було, у розумінні Епікура, властивим матерії. От чому я бажав би, щоб ви не приписували мені вчення про вагу, притаманну матерії. Припускати, що тяжіння є вродженою властивістю матерії, споконвічно притаманною їй, так що одне тіло повинно діяти на відстані через порожнечу на інше без посередництва чого-небудь стороннього, що передавало б дію і силу від одного тіла до іншого, є для мене така безглуздість, що думаю, до неї не вдасться жодна людина, здатна до філософського осмислення речей. Тяжіння повинно спричинюватися деяким агентом, що діє відповідно до певних законів". Ряд супротивників ідеї дії на відстані, посилаючись на цей лист, приписували Ньютонові думку про матеріальне середовище, що є причиною тяжіння. Так вважали Фарадей, Максвелл, Томсон і багато хто ін. Але продовженням наведеного уривка є така фраза: "Який це агент, матеріальний чи нематеріальний, – я виношу на суд моїх читачів". Саме ці слова про "нематеріального агента" Фарадей відкидає як незрозумілі. Справді, вони незрозумілі без історичного аналізу різних ідейних коренів у творчості Ньютона, різних впливів, суперечливих тенденцій і його власних вагань між концепціями, що виключають одна одну.

#### *Простір, час, рух*

За визначенням Ньютона, "абсолютний простір за самою своєю сутністю є безвідносним до будь-чого зовнішнього й залишається завжди однаковим і нерухомим. Відносною є його міра або яка-небудь обмежена рухома частина, що визначається нашими почуттями стосовно положення його щодо деяких тіл і яке в повсякденному житті сприймається як простір нерухомий".

Частина простору, зайнята тілом, називається місцем тіла. Залежно від того, про який простір йдеться, розрізняють абсолютне й відносне місце тіла. Для тіл з однаковим об'ємом місця однакові; поверхні ж через відмінності у формі тіл можуть і відрізнятися між собою.



Абсолютний час, як стверджує Ньютон, не має стосунку до подій, він існує і триває рівномірно сам по собі. Навпаки, "відносний, уявний, чи повсякденний, час є або точна, або мінлива, що сприймається за допомогою відчуттів, зовнішня, що здійснюється за допомогою якого-небудь руху, міра тривалості, яка застосовується в повсякденному житті замість справжнього математичного часу, як то година, місяць, день, рік". У природі, за словами Ньютона, може зовсім не існувати рівномірного руху, який би міг бути природною мірою абсолютного перебігу часу. Незалежно від природних процесів абсолютний час рухається незмінно. Абсолютний час існування тіла не залежить від швидкості його руху. Навпаки, відносний час, що є предметом спостереження, залежить від швидкості реальних процесів. Тому, стверджує Ньютон, справжня тривалість відрізняється від тієї, яку можна безпосередньо спостерігати, і виводиться з неї за допомогою астрономічного рівняння.

Абсолютний рух визначається як переміщення тіла з одного абсолютного місця в інше, відносний же рух – як переміщення тіла з одного відносного місця в інше відносне місце. Таким чином, абсолютний рух є рух в абсолютному, а відносний рух – у відносному просторі. Ньютон наводить приклад з кораблем. Відносним місцем вантажу є частина корабля, в якій розміщено вантаж. Якщо вантаж не змінює свого положення на кораблі, то про нього говорять, що він перебуває у відносному спокої.

Властивість спокою полягає в тому, що тіла, які перебувають в абсолютному спокої, перебувають у стані спокою також одне відносно одного. Однак якщо відстань між деякими тілами не змінюється, не можна зробити зворотний висновок – про те, що вони перебувають у стані абсолютного спокою. Зв'язок між абсолютним і відносним спокоєм не є зворотним: з абсолютного спокою деяких тіл випливає їх взаємна нерухомість, але зі взаємної нерухомості тіл не можна зробити висновок про їх абсолютний спокій\*. Властивість руху полягає в тому, що тіла, які рухаються в рухомому просторі, беруть участь-у русі цього простору. Ньютон трактує абсолютний рух як суму певного ряду відносних рухів, де кожний новий член являє собою рух, що відбувається щодо нового тіла відліку. Він вважає, що цей ряд продовжується, "поки не досягне до місця нерухомого". Але чи є таке місце? Вище зазначалося, що насправді може не виявитися тіла, що перебуває у стані спокою, "з яким можна було б пов'язувати місця й рухи інших тіл". Але місця абсолютного спокою, на думку Ньютона, існують, і вони у своїй сукупності утворюють абсолютний простір.

Далі Ньютон розглядає розмежування абсолютних і відносних рухів залежно від їх причин.

Причина істинного абсолютного руху тіла – сила, прикладена до цього тіла. Прискорення руху тіла в абсолютному просторі відбувається тільки в тому випадку, коли сила безпосередньо прикладена до тіла. Навпаки, відносний рух тіла може бути результатом сил, прикладених до інших тіл. Тіло може змінити своє положення чи свою швидкість щодо інших тіл, якщо до цих інших тіл прикладено силу, яка спричинює їх абсолютне переміщення.

Ньютон аналізує цю проблему в зворотному порядку – від сили до руху. Який рух викликає сила, прикладена до тіла? Абсолютний, – відповідає Ньютон. Це одна з основних тез "Начал". Динамічна задача полягає в тому, щоб, знаючи силу,

визначити рух, і навпаки – за величиною руху визначити силу. Вона розв'язується в абстрактній формі, стосовно до двох тіл.

За такої умови, коли абстрактно усунуто всі інші тіла, рух можна віднести лише до абстрактного простору. Ньютон показує, що за умови різних абсолютних прискорень змінюється взаємне розташування тіл і, отже, виникають їх відносні рухи, а коли прискорення всіх тіл однакове, відносний рух не виникає. Відносний рух являє собою різницю між абсолютними рухами.

Якщо до тіла прикладено силу, то його відносний рух може бути яким завгодно, навіть нульовим, залежно від руху тіл відліку. Зокрема, якщо до тіла зовсім не прикладається сила, воно може рухатися з будь-якою швидкістю щодо інших тіл. Тому не можна зробити висновок про абсолютний характер руху лише на основі спостереження за відносними рухами. Ми можемо спостерігати лише відносні рухи; абсолютний рух виявити неможливо, і з кінематичної точки зору він є недосяжним для нашої уяви.

Знаючи прискорення тіла, не можна зробити висновок про прикладену до нього силу й встановити, чи прикладено цю силу до тіла, чи до системи відліку. На думку Ньютона, можливим є тільки обернене: за силами, що виникають у системі, можна визначити абсолютне прискорення цієї системи. Якщо система набуває абсолютного прискорення, то тіла чинять опір цьому прискоренню пропорційно своїм масам. Прискорення тіл щодо системи, яке виникає в результаті інерції, може бути доказом її абсолютного руху. Якщо система обертається, то тіла, що знаходяться в ній, рухатимуться по інерції уздовж дотичної і будуть спрямовані вбік від центру обертання. Це і є прояви абсолютного руху. "Прояви, завдяки яким розрізняються абсолютний і відносний рухи, виявляються в силах, спрямованих від осі обертального руху, тому що в суто відносному обертальному русі ці сили дорівнюють нулю".

*Ньютонівські закони руху* – це аксіоми, що однозначно пов'язують між собою вимірювані величини, причому величини, які фізично не є тотожними. Перший закон руху стверджує: "Будь-яке тіло перебуватиме у своєму стані спокою або рівномірного й прямолінійного руху, поки та оскільки воно не буде вимушене змінювати цей стан через прикладені сили". Цей закон не є за формою рівнянням, яке пов'язує величини, що спостерігаються. Однак він зводиться саме до такого рівняння, якщо його розглядати як окремих, негативний випадок другого закону. Із цього погляду перший закон Ньютона зводиться до твердження, що нульова сила відповідає нульовому прискоренню.

Другий закон руху стосується прискорення. "Зміна кількості руху пропорційна прикладеній рушійній силі й відбувається в напрямку тієї прямої, вздовж якої ця сила діє". Тут Ньютон-ще не вдається до поняття прискорення. Але згідно з 10-ою лемою, прискорення пропорційне зміні кількості руху.

Третій закон: "Дії завжди протистоїть рівна й протилежна їй протидія, інакше кажучи, дії тіл одне на одне рівнопротилежні". З погляду Ньютона, дію і протидію можна розглядати і як силу, прикладену до тіла, і як силу інерції цього тіла. Якщо тіло А штовхає тіло В, то для В вплив з боку А є прикладеною силою, а сила інерції – фіктивною силою, яка нібито пручається цьому впливу. Сила інерції В для А є реальною прикладеною силою. Реальна сила, прикладена до тіла, спричинює прискорення, фіктивна сила не прикладена до тіла і не викликає прискорення цього тіла.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 ПРОМИСЛОВА РЕВОЛЮЦІЯ. РОЗВИТОК НАУКИ І ТЕХНІКИ ДО 1870 РОКУ

### 4.1. Від геометричного методу до аналітичної механіки

У XVIII-XIX ст. багато фізиків і філософів вдавалися до серйозного аналізу й перегляду вчення Ньютона про простір і час. З того часу, як основи класичної механіки" набули завдяки Ньютонові своєї завершеної форми, їх значення продовжувало залишатися предметом суперечок – принаймні до 1905 р. Боротьба розгорталася на найрізноманітніших ділянках науки й життя. Теорія перевірялася в експедиціях, в астрономічних спостереженнях, в обчисленнях математиків, обговорювалася у філософських і наукових дискусіях, викладалася в підручниках і монографіях.

Там, де в Ньютона йшлося про абсолютний простір і час, де він посилався при цьому на експерименти, деякі з його послідовників заявляли, що вони не потребують таких гіпотез і навіть доходило до того, що вони зводили його другу аксіому до простого визначення; через це відмінність між математикою і фізикою як експериментальною наукою сильно зміщувалася за рахунок останньої, від якої було відділено так звану чисту механіку.

Інші, навпаки, наполягали на істотно експериментальному характері цієї аксіоми. Сторони, які брали участь у цих дуже заплутаних суперечках, намагалися навести численні аргументи на підтримку своїх точок зору.

"Начала" Ньютона були викладені важкою геометричною мовою. Доведення були громіздкі та складні. У XVIII ст. в механіку проникають методи диференціального й інтегрального числення, які не наважився застосувати у своїй основній праці один із творців цих методів.

У XVIII ст. відбувалися не тільки перетворення методів ньютонівської механіки. Це століття відзначене пошуками загальних принципів механіки, еквівалентних законам Ньютона, або навіть більш загальних, ніж ці принципи. У результаті цих пошуків було відкрито принципи можливих переміщень у статипі, принцип Даламбера й принцип найменшої дії Мопертюї-Ейлера в динаміці.

#### **Принцип найменшої дії**

Історія цього принципу корінням сягає Герона Александрійського, його твердження про найкоротший час поширення світла, за допомогою якого Герой обгрунтував закон відображення.

Ферма (1601-1665) застосував цей принцип до заломлення світла й сформулював закон заломлення світла, виходячи з постулату: "Природа діє найбільш легкими й доступними шляхами".

Пізніше цю ідею розвинув І. Бернуллі (1667-1748). Він зіставив принцип Ферма із запропонованою ним варіаційною механічною задачею про лінію найкоротшого спуску важкої точки в полі ваги (брахістохрону). Цю задачу Бернуллі сформулював у такий спосіб: "У вертикальній площині дано дві точки: А і В. Визначити траєкторію, рухаючись по якій під впливом власної ваги, тіло М,

почавши рухатися з точки А, досягне іншої точки В у найкоротший час". У принципі Ферма й у задачі про брахістохрону мова йде про встановлення мінімального значення інтеграла  $\int_a^b \frac{ds}{v}$ . "Я, – писав І. Бернуллі, – відкрив дивну схожість між кривизною променя світла в середовищі, яке постійно змінюється, і нашою брахістохронією кривою". Так уперше було помічено оптико-механічну аналогію, що відіграла важливу роль в історії фізики.

Надалі цю ідею розвивав стосовно Механіки П. Мюпертюї (1698-1759). У статті "Закон спокою" (1740) він поставив за мету вивести принцип рівноваги системи тіл і сформулював його як екстремальний принцип для деякої величини, яка дістала назву "суми сил спокою".

Через чотири роки потому Мюпертюї виступив зі статтею "Узгодження різних законів природи", в якій стверджував, що закони оптики є наслідком "метафізичного закону", який полягає в тому, що "природа, реалізуючи свої дії, завжди вдається до найбільш простих засобів" і що принцип Ферма є принципом найменшої дії. Світло, на думку Мюпертюї, вибирає шлях, "на якому кількість дії є найменшою". При цьому він пояснює, що слід розуміти під "кількістю дії". "Ця дія, – стверджує Мюпертюї, – залежить від швидкості, з якою рухається тіло, і від простору, який долає останнє, але вона не є ні швидкістю, ні простором, узятими окремо. Кількість дії тим більша, чим більша швидкість тіла; вона пропорційна сумі добутків відрізків на швидкість, з якою тіло долає кожний з них". Принцип Ферма-Мюпертюї виражається у вигляді твердження:

$$\sum m * V * S = \min$$

У сучасній редакції принцип Мюпертюї стверджує: коли в природі відбувається якась зміна, кількість дії, необхідна для цієї зміни, є найменшою з можливих.

### **Принцип Даламбера**

*Основна праця Ж.Л. Даламбера (1717-1783) – "Трактат про динаміку" – була опублікована в 1743 р.*

Перша частина трактату присвячена побудові аналітичної статички. Тут Даламбер формулює "основні принципи механіки", серед яких "принцип інерції", "принцип додавання рухів" і "принцип рівноваги".

"Принцип інерції" сформульований окремо для випадку спокою і для випадку рівномірного прямолінійного руху. "Силою інерції, – пише Даламбер, т я разом з Ньютоном називаю властивість тіла зберігати той стан, в якому воно перебуває".

"Принцип додавання рухів" являє собою закон додавання швидкостей і сил за правилом паралелограма. На основі цього принципу Даламбер вирішує задачі статички.

"Принцип рівноваги" сформульовано у вигляді такої теореми: "Якщо два тіла що рухаються зі швидкостями, оберненопропорційними їхнім масам, мають протилежні напрямки, так що одне тіло не може рухатися, не зрушуючи з місця інше тіло, то ці тіла перебуватимуть у стані рівноваги". У другій частині "Трактату" Даламбер запропонував загальний метод складання диференціальних рівнянь руху будь-яких матеріальних систем, заснований на зведенні задачі динаміки до статички. Він сформулював правило для будь-якої системи матеріальних точок, назване

згодом "принципом Даламбера", відповідно до якого прикладені до точок системи сили можна розкласти на "діючі", тобто такі, які спричинюють прискорення системи, і "загублені", необхідні для рівноваги системи. Даламбер вважає, що сили, які відповідають "загубленим" прискоренням, утворюють таку сукупність, яка ніяк не впливає на фактичну поведінку системи. Іншими словами, якщо до системи прикласти тільки сукупність "загублених" сил, то система залишиться в спокої. Сучасне формулювання принципу Даламбера дав М.Є. Жуковський у своєму "Курсі теоретичної механіки": "Якщо в який-небудь момент часу зупинити систему, що рухається, і додати до неї, крім її рушійних сил, ще всі сили інерції, що відповідають даному моменту часу, то спостерігатиметься рівновага; при цьому всі сили тиску, натягу й т.д., що розвиваються між частинами системи при такій рівновазі, будуть справжніми силами тиску, натягу й т.д. при русі системи в розглянутий момент часу". Слід зазначити, що сам Даламбер при викладі свого принципу не вдавався ні до поняття сили (вважаючи, що воно не є достатньо чітким, щоб входити в перелік основних понять механіки), ні тим більше до поняття сили інерції. Виклад принципу Даламбера із застосуванням терміна "сила" належить Лагранжу, який у своїй "Аналітичній механіці" дав його аналітичне вираження у формі принципу можливих переміщень. Саме Жозеф Луї Лагранж (1736-1813) і особливо Леонардо Ейлер (1707-1783) відіграли істотну роль в остаточному перетворенні механіки на аналітичну механіку.

### **Аналітична механіка матеріальної точки й динаміка твердого тіла Ейлера**

*Леонардо Ейлер* – один з видатних учених, який зробив великий внесок у розвиток фізико-математичних наук у XVIII ст. Його творчість вражає проникливістю дослідницької думки, універсальністю обдарування й величезним обсягом залишеної наукової спадщини.

Уже в перші роки наукової діяльності в Петербурзі (Ейлер приїхав у Росію в 1727 р.) він склав програму грандіозного й всеосяжного циклу робіт в галузі механіки. Ця програма міститься в його двотомній праці "Механіка, або наука про рух, викладена аналітично" (1736). "Механіка" Ейлера була першим систематичним курсом ньютонівської механіки. Вона містила основи динаміки точки – під механікою Ейлер розумів науку про рух, на відміну від науки про рівновагу сил, чи статички. Визначальною рисою "Механіки" Ейлера було широке використання нового математичного апарату – диференціально-дифузійної інтегральної чисельності. Коротко охарактеризувавши основні праці з механіки, що з'явилися на межі XVII-XVIII ст., Ейлер відзначав синтетико-геометричний стиль їхнього викладу, що створював для читачів надзвичайно багато труднощів. Саме в такій манері написані "Начала" Ньютона і більш пізня "Форономія" (1716) Я. Германа. Ейлер указує, що роботи Германа і Ньютона викладені "за звичаєм стародавніх за допомогою синтетичних геометричних доведень" без застосування аналізу, "тільки завдяки якому й можна досягти повного розуміння цих речей".

Синтетико-геометричний метод не мав узагальнюючого характеру, а вимагав, як правило, індивідуальних побудов стосовно кожної задачі окремо. Ейлер зізнається, що після вивчення "Форономії" і "Начал" він, як йому здавалося, "досить ясно зрозумів вирішення багатьох задач, однак задач, що якоюсь мірою відступають від них, уже розв'язати не міг". Тоді він спробував "виділити аналіз із цього

синтетичного методу і ті ж пропозиції для власної користі проробити аналітично". Ейлер відзначає, що завдяки цьому він значно краще зрозумів суть питання. Він розробив принципово нові методи дослідження проблем механіки, створив її математичний апарат і блискуче застосував його до багатьох складних задач. Завдяки Ейлеру диференціальна геометрія, диференціальні рівняння, варіаційне числення стали інструментом механіки. Метод Ейлера, розвинутий пізніше його наступниками, був однозначним й адекватним предмету.

Праця Ейлера з динаміки твердого тіла "Теорія руху твердих тіл" має великий вступ із шести розділів, де знову викладено динаміку точки. У вступ внесено ряд змін: зокрема, рівняння руху точки записуються за допомогою проектування на осі нерухомих прямокутних координат (а не на дотичну, головну нормаль і нормаль, тобто осі нерухомого природного тригранника, пов'язаного з точками траєкторії, як у "Механіці").

Наступний після вступу "Трактат про рух твердих тіл" складається з 19 розділів. В основу трактату покладено принцип Даламбера. Коротко зупинившись на поступальному русі твердого тіла і ввівши поняття центра інерції, Ейлер розглядає обертання навколо нерухомої осі й навколо нерухомої точки. Тут подано формули для проєкцій миттєвої кутової швидкості, кутового прискорення на осі координат, використовуються так звані кути Ейлера й т.д. Далі викладено властивості моменту інерції, після чого Ейлер переходить, власне, до динаміки твердого тіла. Він виводить диференціальні рівняння обертання важкого тіла навколо його нерухомого центра ваги за умови відсутності, зовнішніх сил і розв'язує їх для найпростішого окремого випадку. Так виникла відома й настільки ж важлива в теорії гіроскопа задача про обертання твердого тіла навколо нерухомої точки. Ейлер працював також над теорією суднобудування, у галузях гідро- та аеромеханіки, балістики, теорії стійкості й теорії малих коливань, небесної механіки й ін.

Через вісім років після виходу "Механіки" Ейлер збагатив науку першим точним формулюванням принципу найменшої дії. Формулювання принципу найменшої дії, які належали Мопертюї, були ще дуже недосконалими. Перше наукове формулювання принципу належить Ейлеру. Він сформулював свій принцип у такий спосіб: інтеграл  $\int m \cdot v \cdot ds$  має найменше значення для справжньої траєкторії, якщо розглядати

останню в групі можливих траєкторій, що мають загальні початкове й кінцеве положення й здійснюються із тим самим значенням енергії. Ейлер надає своєму принципу точного математичного вираження й строгого обґрунтування для однієї матеріальної точки, що зазнає дії центральних сил. Протягом 1746-1749 рр. Ейлер написав кілька робіт про фігури рівноваги гнучкої нитки, де принцип найменшої дії було застосовано до задач, в яких діють пружні сили.

Таким чином, до 1744 р. механіка збагатилася двома важливими принципами: принципом Даламбера й принципом найменшої дії Мопертюї-Ейлера. Спираючись на ці принципи, Лагранж побудував систему аналітичної механіки.

### **Аналітична механіка системи матеріальних точок і тіл Лагранжа**

*Лагранж* (1736—1813) остаточно порвав з геометричними методами Ньютона і з гордістю з'являв і що в його "Аналітичній механіці" практично відсутні будь-які

креслення. "Я поставив собі за мету, – пише Лагранж, – звести теорію механіки й методи вирішення пов'язаних з нею задач до загальних формул, простий розвиток яких містить всі рівняння, необхідні для вирішення кожної задачі". Сам Лагранж характеризував свої методи в такий спосіб: вони "не вимагають ні побудов, ні геометричних або механічних міркувань; вони потребують тільки планомірного й одноманітного ходу алгебраїчних операцій. Усі прихильники аналізу (аналізу нескінченно малих) із задоволенням переконуються в тому, що механіка стає новою галуззю аналізу". Ця характеристика означає, що аналітична механіка Лагранжа є галуззю аналізу: вона є механікою, позбавленою "механічних міркувань", тому що в ній зазначено загальні методи складання рівнянь для будь-якої задачі механіки, після чого вирішення стає суто математичною проблемою.

Як було зазначено вище, праця Ейлера – це механіка матеріальної точки й динаміка твердого тіла. Лагранж об'єднав механіку системи матеріальних точок і тіл та створив однаковий і загальний метод зведення механічних задач до вирішення відповідних математичних задач. При цьому він, природно, виходив з певних фізичних та експериментальних положень.

"Механіка" Лагранжа поділяється на дві частини: статику й динаміку. Статика Лагранжа базується на принципі віртуальних (можливих) швидкостей. "Під віртуальною швидкістю потрібно розуміти швидкість, яку тіло, що перебуває в рівновазі, здатне набути в той момент, коли рівновага порушена, тобто ту швидкість, яку б тіло фактично мало в першу мить свого руху". Принцип віртуальних швидкостей Лагранж формулює в такий спосіб: "Якщо яка-небудь система, що складається з будь-якої кількості тіл або точок, на кожному з яких діють будь-які сили, знаходиться в рівновазі, і якщо ця система набуває будь-якого малого руху, у результаті якого кожна точка проходить нескінченно малий шлях, що являє собою її віртуальну швидкість, то сума сил, помножених кожна відповідно на шлях, який проходить у напрямку сили точка, в якій цю силу прикладено, завжди дорівнює нулю, якщо малі шляхи, пройдені в напрямку дії сил, вважати позитивними, а пройдені в протилежному напрямку вважати негативними".

Уводячи цей принцип, Лагранж посилався на дані досвіду. Він указував на загальний закон рівноваги машин: відношення сил обернене до відношення швидкостей точок, до яких вони прикладені, причому швидкості повинні вимірюватися в напрямку дії сил. Це положення, узяті в загальному вигляді, і є принципом віртуальних швидкостей, який "можна розглядати як своєрідну аксіому механіки. Утім, Лагранж навів і два докази принципу віртуальних швидкостей, один з яких заснований на "принципі блоків".

У динаміці Лагранж спирається на два закони: закон інерції і закон додавання рухів (за правилом паралелограма). Другий закон механіки Ньютона Лагранж виводить із цих двох законів.

Аналітична динаміка Лагранжа ґрунтується на загальній формулі, яку в наш час називають рівнянням Даламбера – Лагранжа, або загальним рівнянням динаміки. "Розвиток цієї формули, якщо при цьому взяти до уваги умови, які залежать від природи системи, дає всі рівняння, необхідні для визначення руху кожного тіла, після цього потрібно ці рівняння тільки інтегрувати, що є вже завданням аналізу".

Спираючись на своє загальне рівняння динаміки, Лагранж вивів диференціальні рівняння руху у двох виглядах, що відповідають двом видам рівнянь



статики. Це відомі рівняння руху Лагранжа першого й другого роду. Рівняння руху другого роду можна скласти, знаючи загальне вираження тільки для двох величин: кінетичної енергії системи і її потенційної енергії. Кількість цих рівнянь мінімальна, вона дорівнює числу ступенів свободи системи. Разом із тим рівняння Лагранжа є дуже загальними; їх можна використовувати для різних фізичних систем, якщо стан таких систем можна описати за допомогою значень їх кінетичної і потенційної енергій. Крім того, рівняння руху у формі Лагранжа другого роду мають визначену структуру з математичної точки зору. Тому завдання їх вирішення (інтегрування) у загальному вигляді є досить визначеним, щоб досліджувати його суто математично.

У перші роки своєї наукової діяльності у зв'язку з роботами, пов'язаними з варіаційним численням, Лагранж багато уваги приділяв принципу найменшої дії. Він формулює цей принцип з повною визначеністю як суто механічну теорему, справедливу за певних умов. Це формулювання приводить до вже знайомого запису: перетворюється на нуль варіація суми величин виду

$$m \cdot \int V \cdot dS,$$

де  $m$ - маса однієї з точок системи,

$V$  – її швидкість,

$dS$  – елемент шляху, чи, інакше кажучи, нескінченно малий відрізок траєкторії точки  $m$ .

До цього Лагранж додає, що  $dS = V \cdot dt$ , тому замість  $m \cdot \int V \cdot dS$ , можна написати  $m \cdot \int V^2 \cdot dS$  чи  $\int m \cdot V^2 \cdot dS$ . Тут під знаком інтеграла ми бачимо (подвоєну) живу силу точки, а так як нам потрібно взяти суму таких величин для всієї механічної системи, яка розглядається, то в підсумку під знаком інтеграла виявиться (подвоєна) жива сила всієї системи в будь-який момент. Таким чином, вважає Лагранж, розглянутий принцип зводиться, власне, до того, що сума живих сил усіх тіл від моменту, коли вони виходять із заданих точок, до того моменту, коли вони приходять в інші задані точки, є максимумом або мінімумом. Отже, цей принцип можна було б з повним правом назвати принципом найбільшої чи найменшої живої сили. На думку Лагранжа, таке формулювання мало б ту перевагу, що воно було б загальним як для руху, так і для рівноваги.

Ірландський математик, механік та астроном У. Р. Гамільтон, оцінюючи внесок, зроблений Лагранжем у розвиток механіки після Галілея і Ньютона, писав: "З усіх послідовників цих блискучих учених Лагранж, мабуть, більше, ніж який-небудь інший аналітик, зробив для того, щоб розширити й надати стрункості подібним до дедуктивних дослідженням, довівши, що найрізноманітніші наслідки, що стосуються руху системи тіл, можна вивести з однієї основної формули. При цьому краса методу настільки відповідає достоїнству результату, що ця велика робота перетворюється на своєрідну математичну поему". Цією поемою завершився плідний період розробки основ теоретичної механіки. Механіка стає зрілою, цілком сформованою галуззю природознавства.

## **Розвиток аналітичної механіки**

### *Принцип Гамільтона*

Керуючись ідеєю оптико-механічної аналогії, вбачаючи її насамперед у єдиній математичній формі законів руху променів і матеріальних частинок, Вільям Роуан



Гамільтон (1805—1865) використовує в механіці принцип найменшої дії, застосовуючи його для дослідження конкретних явищ. Гамільтон виходив із того, що за умови істинного руху тіл величина, яка дорівнює добутку енергії на час і називається в нього "дією", повинна мати якесь мінімальне значення. Трохи пізніше Гамільтона й незалежно від нього принцип найменшої дії розвиває М. В. Остроградський, який поширив його на більш широке коло явищ. Цей принцип справедливо називається принципом Гамільтона – Острофадського. Він став могутньою математичною зброєю фізики й широко використовується у роботах Максвелла, Гельмгольца, Умова, Ейнштейна, де Бройля, Шредінгера й інших учених.

Перейшовши до механіки, Гамільтон показав значення свого нового варіаційного принципу, а його характеристична функція для задач механіки ("функція Гамільтона") виявилася тотожною енергії механічної системи. Знаючи, як виражається функція  $H$  через координати й імпульси матеріальних точок, які складають систему, можна відразу скласти диференціальні рівняння, що визначають координати й імпульс. Одержана система диференціальних рівнянь ("канонічні рівняння") рівносильна системі рівнянь руху, зокрема – системі рівнянь Лагранжа другого роду, але має особливі властивості, що полегшують її дослідження.

Нарешті, Гамільтон пов'язав свою канонічну систему диференціальних рівнянь першого порядку з відповідним диференціальним рівнянням для частинних похідних, яке, як з'ясувалося, задовольняє його характеристична функція  $H$ . Виникла велика теорія, завдяки якій було створено нову зручну форму рівнянь руху, новий підхід до проблеми їхнього вирішення (інтегрування). Вона висвітлила більш повно й глибоко аналогії між механікою й оптикою, виявила нові можливості геометричної інтерпретації, нарешті, вона привела до встановлення зв'язку між хвильовими й корпускулярними уявленнями – але останнє досить повно виявилось лише через століття.

Необхідно зазначити, що описану вище теорію Гамільтон ще не зміг сформулювати в загальному й закінченому вигляді. Узагальнення результатів і методів Гамільтона, усунення зайвих обмежень, ретельна розробка математичних методів є заслугою К. Г. Якобі та М. В. Остроградського.

#### *К. Г. Якобі*

Карл Густав Якобі (1804-1851) – один з найвідоміших німецьких математиків і механіків першої половини XIX ст. Основна праця Якобі з механіки – його чудові "Лекції з динаміки". Ці лекції являють собою розвиток класичної аналітичної механіки Лагранжа і містять багато нових ідей як з математики (теорія диференціальних рівнянь у частинних похідних, обчислення геодезичних ліній на еліпсоїді), так і з механіки.

Вихідним моментом досліджень Якобі з механіки є принцип Гамільтона-Остроградського. У своїх "Лекціях" Якобі розвинув теорію канонічних рівнянь Гамільтона, істотно розширивши клас механічних систем, до яких вона застосовувалася. Найважливіший результат К. Якобі – його теорема про те, що канонічні рівняння є рівняннями характеристик певного диференціального рівняння в частинних похідних першого порядку, тобто інтегральні поверхні зазначеного рівняння в частинних похідних складаються з інтегральних кривих системи канонічних рівнянь, що визначають рух механічної системи. Тим самим

інтегрування канонічних рівнянь зводиться до визначення повного інтеграла рівнянь у частинних похідних.

*М.В. Остроградський*

Михайлові Васильовичу Остроградському (1801—1861) належать першокласні дослідження з методів інтегрування рівнянь аналітичної механіки й розробки узагальнених принципів статички й динаміки. Найбільш відомі дослідження Петроградського стосуються узагальнення основних принципів і методів механіки.

Він зробив істотний внесок у розвиток варіаційних принципів, які як окремий випадок включають і динаміку. Остроградський, розглядаючи варіаційну задачу, в якій підінтегральна функція залежить від довільної кількості невідомих функцій і їх похідних як завгодно високого порядку, доводить, що задача зводиться до інтегрування канонічних рівнянь Гамільтона, які можна розглядати як таку форму, в яку можна перетворити будь-які рівняння, що виникають у варіаційній задачі. Він також показав, що й у більш загальному випадку, коли зв'язки й силова функція містять час, рівняння руху також можуть бути перетворені у форму Гамільтона. Роботи Остроградського з механіки стали джерелом для подальших досліджень з метою з'ясування основ варіаційних принципів механіки.

У 1866 р. Остроградський висловив сумнів стосовно справедливості принципу найменшої дії Лагранжа. Основні заперечення Остроградського зводяться до того, що для Ейлера і Лагранжа принцип найменшої дії і найпростіша задача варіаційного числення являли собою одну й ту саму математичну проблему. Остроградський же зауважує, що в принципі найменшої дії змінні пов'язані законом живих сил і тому не є незалежними, на відміну від змінних звичайної варіаційної задачі. Звідси випливає також, що варіації змінних підпорядковуються певній умові й не можуть бути зовсім довільними. Тому Остроградський вважає формулювання принципу в Лагранжа і його висновки помилковими і дає власне формулювання: у випадку консервативної системи істинна траєкторія руху між двома точками має таку властивість, що перетворення рівнянь руху приводить до умови:

$$\int (T + U) * dt = \min$$

де  $U$  – потенційна функція,

$T$  – кінетична енергія системи.

І, навпаки, з мінімальності інтеграла можна одержати рівняння руху.

Принцип Остроградського, таким чином, відрізняється від принципу найменшої дії Лагранжа, в якому екстремуму досягає.

Питання про справедливість принципів Лагранжа й Гамільтон Остроградського викликало найжвавіше обговорення в математичній літературі. М.І. Талізін (1819-1869) і Ф.О. Слудський (1841-1891) показали, що обидва принципи – Лагранжа й Остроградського – однаково справедливі: "Вираження початку найменшої дії, які дали ці вчені, суть вираження двох різних загальних властивостей руху".

*Немеханічне трактування принципу найменшої дії Гельмгольца*

Перехід від власне механічної інтерпретації принципу Гамільтона до більш загального його розуміння, яке готувало ґрунт для неklasичної концепції, відбувався в основному стихійно. Гельмгольц, який трактував принцип найменшої дії у виключно механічному розумінні, з 1886 р. систематично застосовував цей принцип до проблем механіки, термодинаміки й електродинаміки. Він увів поняття

кінетичного потенціалу, що сприяло узагальненню фізичної інтерпретації принципу. Кінетичний потенціал – це величина, з якої можна одержати дію шляхом інтегрування за часом. Ця величина фігурувала в різних розділах фізики без якої-небудь механічної інтерпретації. У працях Гельмгольца кінетичний потенціал трактувався не як похідна величина – різниця між кінетичною і потенційною енергією, а як вихідна величина. Це було важливим кроком для переходу до немеханічного розуміння принципу найменшої дії, тому що кінетичний потенціал може відрізнятися від механічного поняття різниці  $T - U$ . Поза механікою, де розходження між кінетичною і потенційною енергією втрачає безпосередній смисл, кінетичний потенціал не можна одержати аналогічним способом, якщо енергія є заданою величиною. Тому самостійний характер поняття кінетичного потенціалу дозволяє зробити принцип найменшої дії універсальним принципом фізики зворотних процесів, не зводячи її закони до законів механіки; іншими словами, це дозволяє трактувати зазначений принцип уже не як механічний.

#### *Принцип найменшого примусу Гаусса*

У 1829 р. у статті "Про нове загальне начало механіки" Гаусе висунув як найбільш загальне начало твердження: система зі зв'язками, без тертя, зазнаючи дії будь-яких сил, рухається таким чином, що примус з боку зв'язків і тиск на зв'язки має найменше значення; "рух відбувається з найменш можливим примусом, якщо за міру примусу, застосованого протягом нескінченно малої миті, прийняти суму добутків маси кожної точки на квадрат величини її відхилення від того положення, яке вона зайняла б, якби була вільна".

Розвитком ідеї Гаусса був принцип прямолінійного шляху, сформульований у 1892-1893 рр. Герцом. Цей принцип продовжує разом із тим лінію Якобі – геометризацию варіаційного принципу й динаміки в цілому. Він сформульований у зв'язку з відомою спробою Герца побудувати механіку без поняття сили. Принцип найменшого примусу Гаусса є загальним началом і може бути виражений одним з найпростіших аналітичних формулювань, в якому виведення рівнянь руху будь-якої системи зводиться до визначення мінімуму функції другого ступеня. Встановлення цього принципу пов'язане, як указує Гаусе, з його роботами, присвяченими способу найменших квадратів.

#### *"Механіка без сили" Герца*

У XVII ст. у працях Галілея і Ньютона було закладено принципові основи класичної механіки. У XVIII і XIX ст. Ейлер, Даламбер, Лагранж, Гамільтон, Якобі, Остроградський, спираючись на ці основи, побудували чудову споруду аналітичної механіки й розробили її могутні математичні методи. Здавалося, що механіка – цей "рай математичних наук", як назвав її Леонардо да Вінчі, – досягла високого ступеня досконалості і своєї завершеності. Але завершеність ця була лише видимою, тому що навіть в основних поняттях і законах механіки були помітними численні труднощі, які вдалося тільки тимчасово відсунути, але аж ніяк не подолати у ході могутнього прогресу аналітичної механіки.

Ще до корінного перегляду фізичного змісту основних принципів класичної механіки, пов'язаного із теорією відносності й квантовою теорією, з'явився ряд робіт, які намагалися по-новому осмислити старі принципи. Ці спроби були пов'язані насамперед із тим, що поряд з фізикою дискретних тіл виникла фізика континууму поля, яка потребувала критичного перегляду класичної механіки. Такою

спробою була, зокрема, книга Генріха Герца (1857 – 1894) "Принципи механіки, викладені в новому зв'язку", що відіграла важливу роль не тільки в розвитку класичної механіки, але й в історичній підготовці теорії відносності Ейнштейна.

Граничним поняттям Ньютонової механіки була сила, що діє на дане тіло. Вона була граничним поняттям тому, що питання про її походження виходило за межі механіки. Поняття потенційного поля ще не означало переходу до інших граничних понять, але наближало такий перехід.

Механіку Герца часто називають "механікою без сили". Хоч Герц і ввів поняття сили, однак воно не є основним, вихідним поняттям його механіки. У цьому полягає насамперед основна відмінність механіки Герца від звичайного її викладу. Складність поняття сили в класичній механіці, абсолютизація її багатьма крайніми послідовниками Ньютона й приваблива можливість пояснити силу рухом якихось (хоча б і прихованих) мас привели багатьох фізиків другої половини ХІХ ст. до спроби переглянути зміст і місце поняття сили в системі механіки.

Шлях до виключення поняття сили підказує вже сама механіка Галілея-Ньютона. Поруч із власне силами, що є причиною зміни стану руху, ця механіка ввела інший вид сил, що обмежують ступінь свободи руху останніх. Напрямок сил визначається чисто геометричними умовами, а їх величина залишається, чесно кажучи, невідомою.

Елементарна механіка у звичайному викладі плутає ці два види сил, розглядаючи сили умов як власне сили, величина яких спочатку невідома. Вона зводить, таким чином, сили обмеження руху до власне сил. Однак уже в аналітичній механіці розрізнення цих сил виступає дуже різко, набагато різкіше, ніж в елементарній механіці. У рівняннях аналітичної механіки сили умов руху мають зовсім інший вигляд, ніж власне сили, які визначені тільки геометричними умовами руху.

Герц поставив перед собою задачу, зворотну тій, котру так чи інакше вирішує елементарна механіка: чи не можна всі власне сили звести до сил обмеження руху? Можливо, що взагалі всі зміни швидкості, які спостерігаються, котрі начебто є непотрібними з погляду геометричних зв'язків, зумовлені насправді не силами, а саме якимись, можливо, ще не дослідженими, геометричними зв'язками<sup>1</sup>. Сама сила є лише спосіб опису цих зв'язків, що застосовується при відомих допущеннях, але аж ніяк що не є чимось необхідним для однозначного й зрозумілого наукового пізнання світу. Поняття про силу як про причину уповільнення або прискорення в механіці Герца зникає назавжди. Сила, з погляду Герца, є тільки мірою перенесення або взаємоперетворення руху між "напрямую пов'язаними" системами. Загадкова потенційна енергія консервативних систем звичайної механіки виявляється звичайною кінетичною енергією прихованих матеріальних систем. В основі дій, що спостерігаються між віддаленими тілами (наприклад, планетами) лежить матеріальний процес, що протікає в прихованих матеріальних системах, що пов'язують звичайні системи або системи, "що спостерігаються".

Механіка Герца являє собою найвищою мірою зрозумілу, математично обгрунтовану картину механіки. Єдиним недоліком цієї картини є (згідно з А.Т. Григор'яном) її ілюзорність. Герц довів лише, що приховані або адіабатично-циклічні системи, які доповнюють звичайну систему до вільної, мають усі

властивості звичайних консервативних систем. Але звідси ще не випливає, що реальні консервативні системи є такими, якими їх зображує механіка Герца.

Носієм прихованих циклічних систем, на думку Герца, є світовий ефір, але так як прихованим системам Герц приписує загальноприйнятні властивості механічних рухів, то ефір у механіці Герца має характер суто механічної системи; частинкам ефіру приписуються властивості звичайної інертної матерії, звичайні механічні рухи й кінетична енергія, рухи частинок ефіру підпорядковуються законам класичної механіки й т.д. Механічна теорія ефіру, на якій базується система Герца, виявилася неспроможною. Головний недолік механіки Герца не в її конкретних механічних конструкціях, а в універсалізації розвинутої ним інтерпретації сил.

Однак у деяких важливих ідеях теорії відносності й механіки Герца є багато спільного. У теорії відносності рух планет навколо Сонця пояснюється без залучення діючих сил за допомогою уявлення про інерцію як про фундаментальну властивість тіл. Планети рухаються аналогічно тілам у механіці Герца по найкоротших лініях у рімановому просторі. У цьому розумінні відмінність теорії відносності від механіки Герца полягає в тому, що в першій матеріальні тіла, що рухаються, визначають метрику простору – часу, його геометрію, у той час як у Герца такий рух визначають кінематичні умови, які створюються завдяки прихованим масам системи. Незважаючи на значну історичну обмеженість, пов'язану з механічною картиною світу, механіка Герца відіграла значну роль у розвитку однієї з основних проблем фізики – проблеми просторово-часової форми руху матерії.

## **4.2. Виникнення й розвиток електродинаміки**

Коли в грудні 1801 р. Алессандро Вольта вперше демонстрував на урочистих зборах Французького інституту джерело електричного струму, яке він винайшов, ні сам доповідач, ні присутні при цьому найвідоміші французькі вчені навіть не підозрювали, що головним напрямком подальших досліджень у цій галузі стане електромагнетизм. Утім, цей новий напрямок виявив себе лише через двадцять років потому в потоці надзвичайних нових відкриттів, які ще через півстоліття спричинили могутній технічний переворот.

### **Перетворення електрики на магнетизм**

Перші важливі кроки в цьому напрямку зробив датський фізик Х. К. Ерстед (1777-1851). Перебуваючи під впливом ідей Шеллінга про єдність "усіх сил природи", Ерстед вважав, що повинен існувати зв'язок між електричними й магнітними явищами. Цей зв'язок йому вдалося продемонструвати в 1820 р. у дослідах, які підтвердили вплив електричного струму на магнітну стрілку. Досліди справили на сучасників сильне враження; їх негайно повторили в Німеччині, Швейцарії, Франції.

У тому ж 1820 р. французький фізик А. Ампер (1775-1836) виступив з повідомленням про нове явище – взаємодію двох провідників, по яких тече струм. У цьому ж повідомленні Ампер уперше висловив думку про електричну природу магнетизму. Протягом дуже короткого часу він виконав ряд важливих досліджень,

які блискуче підтвердили його думку. Усі отримані результати Ампер систематизував у книзі "Теорія електродинамічних явищ, виведена винятково з досліду", опублікованій у 1826 р. Відтепер з магнітними рідинами було покінчено, тепер у них не було необхідності. Магнітні явища, як виявилось, обумовлені електричними струмами. Магніт потрібно було розглядати, виходячи із сукупності кругових електричних струмів, площини яких перпендикулярні до прямої, проведеної через полюси магніту. Спіраль зі струмом (соленоїд) уподібнювалася магніту. З повним правом Ампер міг заявити: "Таким чином, усі магнітні явища я звів до чисто електричних дій". Розробляючи основи електродинаміки нового напрямку, який об'єднав електрику й магнетизм, учений запропонував вираз для сили, з якою взаємодіють два елементи струму; цей вираз є в усіх сучасних підручниках з електродинаміки. Зокрема, він звернув увагу на те, що електродинамічні сили, на відміну від відомих на той час гравітаційних та електростатичних, не є центральними.

### **Перетворення магнетизму на електрику**

У 20-х роках ХІХ ст. проблемами електромагнетизму зацікавився геніальний англійський учений-самоук М. Фарадей (1791-1867). Ерстед та Ампер перетворили електрику на магнетизм; Фарадей поставив перед собою завдання – перетворити магнетизм на електрику. З 1831 р. він почав систематичну публікацію своїх досліджень, у результаті чого виникла багатотомна праця під загальною назвою "Експериментальні дослідження з електрики". У першій серії цієї праці (1831) описані знамениті досліди Фарадея, які привели до відкриття явища електромагнітної індукції. Фарадей довів, що зміна магнітного потоку в часі породжує електрорушійну силу індукції, і, отже, приводить до виникнення електричного струму в замкнутому контурі. Напрямок цього струму визначається правилом, яке встановив молодий професор Петербурзького університету Е. Х. Ленц (1804-1865).

У другій серії своїх "Експериментальних досліджень" (1832) Фарадей продовжує вивчення електродинамічної індукції. У третій серії (1833) він довів, що різноманітність видів електрики є удаваною. Вивчаючи дії, виконані звичайною, вольтовою, "тваринною", термічною, магнітною електрикою, він дійшов висновку: "Усі види електрики ідентичні за своєю природою". Правда, сама ця природа не була ще зрозумілою на той час. Фарадей обережно зауважив з цього приводу: "Під струмом я маю на увазі щось таке, що рухається поступально – усе одно, що при цьому перебуває в русі: електрична рідина чи дві рідини, які рухаються в протилежних напрямках".

П'ята серія присвячена електролізу. Тут, а також у наступних трьох серіях Фарадей досліджує "хімічні дії" електричного струму. Усього вийшло двадцять серій. У дев'ятнадцятій серії розглядається відкрите Фарадеєм явище обертання площини поляризації світла в намагніченому середовищі. "Таким чином, – зробив висновок учений, – уперше, на мою думку, встановлено справжній безпосередній зв'язок і залежність між світлом і магнітними й електричними силами і тим самим зроблено велике доповнення до фактів і міркувань, що служать для доведення того, що всі природні сили пов'язані між собою і мають єдине спільне походження".

## Ідея поля

### *Фізичне поле Фарадея*

Фарадей відмовився від ньютонівської концепції дальньої дії; він увів у фізику зовсім новий об'єкт – фізичне поле. Відповідно до нової концепції вплив одного струму на інший пояснюється тим, що перший струм створює навколо себе в просторі магнітне поле, а це поле діє на другий струм, що знаходиться в ньому. Аналогічно: другий струм створює своє магнітне поле, яке діє на перший струм. Із цього приводу Д. К. Максвелл писав Фарадею (1857): "Тепер, наскільки мені відомо, Ви є першою людиною, в якій виникла ідея про те, що тіла діють одне на одне на відстані за допомогою приведення навколишнього середовища в стан напруги, ідея, в яку справді варто повірити. У нас були колись потоки гачечків, що літають навколо магнітів, і навіть картинки, на яких зображено оточені ними магніти; але немає нічого більш зрозумілого, ніж Ваш опис. Мені здається, що Ви чітко бачите, як силові лінії огинають перешкоди, женуть сплески напруги в провідниках, повертають уздовж визначених напрямків у кристалах і несуть із собою все ту ж саму кількість здатності до притягання, розподілену розрідженіше чи густіше в залежності від того, розширюються ці лінії чи згущуються".

Властивості самого поля є істотними для опису явища. Відмінності між джерелами поля не є принциповим питанням. Значення поняття поля виявляється в тому, що воно приводить до нових експериментальних фактів. Поле виявилось дуже корисним поняттям. Воно виникло як щось таке, що перебуває між джерелом і магнітною голкою для того, щоб описати діючу силу. Його сприймали як "агента" струму, через який виконувалися всі його дії. Але агент діє і як перекладач, котрий перекладає закони на просту, зрозумілу мову.

Перший успіх опису за допомогою поля показав, що воно може бути зручним для вивчення всіх дій струмів, магнітів і зарядів. Поле можна розглядати як щось, що завжди пов'язане зі струмом. Воно існує, навіть якщо відсутній магнітний полюс, за допомогою якого можна встановити його існування. Якщо електричний заряд і магнітний полюс перебувають у стані спокою, то між ними немає ніякої взаємної дії: ні притягання, ні відштовхування. Виражаючи подібний факт мовою поля, ми можемо стверджувати: електростатичне поле не впливає на магнітостатичне й навпаки. Поняття "статичне поле" означає, що мова йде про поле, яке не змінюється в часі. Магніти й заряди могли б вічно залишатися поруч, якби ніяка зовнішня сила не порушувала їхнього стану. Електростатичні, магнітостатичні й гравітаційні поля мають різний характер. Вони не змішуються: кожне зберігає свою індивідуальність незалежно від інших.

### *Дві основи теорії поля*

Перша основа теорії електричного й магнітного поля це зв'язок між електричним полем, що змінюється, і магнітним полем. Друга пов'язує магнітне поле, що змінюється, з індукційним струмом і ґрунтується на досліді Фарадея. Обидві вони лежать в основі кількісного опису поля.

Необхідно згадати ще про один наслідок теорії поля. Нехай ми маємо контур, по якому тече струм, джерелом якого є, наприклад, батарея Вольта. Раптово зв'язок між провідником і джерелом струму розривається. Тепер, звичайно, ніякого струму немає. Але в момент цього короткого розриву спостерігається складний процес,

який знову-таки можна було б передбачити за допомогою теорії поля. Перед розривом потоку струму навколо провідника існувало магнітне поле. Воно перестало існувати в момент, коли потік струму перервався. Отже, через розрив потоку струму магнітне поле зникло. Кількість силових ліній, що проходять через поверхню, оточену контуром, дуже швидко змінилася. Але така швидка зміна, як би вона не відбувалася, повинна спричинити виникнення індукційного струму. Що дійсно має значення, – так це зміна магнітного поля, яка збуджує індукційний струм, сила якого тим більша, чим значнішою була зміна поля. Розрив потоку струму повинен супроводжуватися виникненням сильного короточасного індукційного струму – при цьому спостерігається іскра. Ця іскра вказує на величезну різницю потенціалів, викликану швидкою зміною магнітного поля.

Той же самий процес можна розглядати з іншого погляду, з погляду енергії. Магнітне поле зникло, але з'явилася іскра. Іскра має деяку енергію, тому і магнітне поле повинно мати енергію. Щоб послідовно застосовувати поняття поля і його мову, ми повинні сприймати магнітне поле як запас енергії. Тільки на цьому шляху ми зможемо описати магнітні й електричні явища згідно із законом збереження енергії. Приписування полю енергії є подальшим кроком у розвитку, у якому поняття поля стає все більш істотним, а субстанціональні концепції, властиві механістичній точці зору, усе більше відходять на задній план.

## **Теорія електромагнітного поля Максвелла**

### *Основні передумови*

Уявлення Фарадея про поле дуже зацікавили Д. К. Максвелла (1831-1879). Він не тільки розвинув їх, але й надав їм математичної форми – так з'явилися знамениті рівняння Максвелла.

Максвелл, який на відміну від математиків континенту, котрі вважали Фарадея простакуватим експериментатором, поставився до його праць як до джерела премудрості з електрики, почав свої дослідження в цій галузі зі спроби подати ідеї Фарадея в математичній формі, іншими словами, зі спроби описати чіткою мовою, зрозумілою для математиків, те, що, як він вважав, відкрив Фарадей. "З мого викладу, сподіваюся, зрозуміло, що я не ставлю собі за мету встановити яку-небудь фізичну теорію в тій галузі науки, в якій я не зробив майже жодного досліду, а маю намір тільки показати, яким чином завдяки безпосередньому застосуванню ідей і методів Фарадея до руху уявної рідини можна наочно пояснити все, що стосується цього руху, а звідси одержати теорію притягання електричних і магнітних тіл і провідності електричних струмів".

Теорія електрики й магнетизму, відкрита Фарадеєм у 1830 р., ґрунтувалася на таких положеннях:

1. Електричні заряди спричинюють сили, що діють між цими зарядами і й описуються законом Кулона або електричними полями.
2. Провідники, що несуть струми, спричинюють сили, що діють між цими провідниками і описуються законом Ампера або магнітними полями.
3. Магнітні заряди не існують.
4. Змінні магнітні поля збуджують електричні поля – закон Фарадея.



5. Електричний заряд зберігається: повний заряд у будь-якій частині простору залишається незмінним, якщо в цю частину не входять (і з неї не виходять) інші заряди.

Максвелл, який першим записав рівняння електрики й магнетизму, зауважив, розглядаючи зазначені вище твердження як постулати, що вони внутрішньо суперечливі, незважаючи на те, що всі твердження про електрику й магнетизм були ретельно відібрані в результаті експериментальних спостережень. Чому ж тоді вони суперечать один одному і як їх можна змінити? Будь-яке спостереження, експериментальне чи яке-небудь інше, торкається лише частини того, що є доступним з досліду. Записані ж рівняння або правила набувають універсальності, що виходить за межі цієї "ділянки" досліду. В неочевидній формі вони містять у собі твердження ще й про дослід, який не перевірений, і про явища, що не спостерігалися. Якщо ж ми хочемо змінити свої постулати, не вступаючи при цьому в суперечність з дослідом, то повинні це зробити так, щоб ті висновки, що описують явища, які вже спостерігалися, залишилися незмінними; ті ж висновки з постулатів, що описують нові явища, можуть після модифікації постулатів змінитися.

Максвелл відшукав суперечність серед постулатів електромагнетизму в законі Ампера. Якщо цей закон, записаний у відомій тоді формі, справедливий, він суперечить закону збереження заряду. Відповідно до цього закону, магнітні поля збуджуються тільки струмами, що, чесно кажучи, при правильному формулюванні може видатися досить дивним. Так як електричні поля збуджуються як зарядами, так і (відповідно до закону Фарадея) змінними магнітними полями. Якщо дбати до симетрію, то можна було б припустити, що й магнітні поля збуджуються не тільки струмами, але й змінними електричними полями. Саме це уточнення до закону Ампера дозволило Максвеллові усунути суперечність щодо закону збереження електрики.

#### *Струм зміщення*

Спостерігаючи перезарядження двох куль, з'єднаних провідником, Максвелл виразно побачив, що даний випадок істотно відрізняється від тих явищ, з якими мав справу Ампер у своїй лабораторії. Ампер вимірював силу, з якою діє один провідник на інший, коли по них протікають постійні струми. У розглянутому прикладі струм не буде постійним. Заряд буде перетікати від однієї кулі до іншої, а потім назад, і його рух нагадуватиме рух маятника, який здійснює коливальні рухи. Максвелл зрозумів, що закон Ампера справджується для замкнутих струмів, і порушив питання про те, що відбуватиметься, якщо струм буде незамкнутим. Описуючи так званий "електротонічний стан" Фарадея, Максвелл використовує рівняння нерозривності для замкнутих струмів і пише: "Тому наше дослідження обмежується поки що замкнутими струмами, і ми мало знаємо про дію незамкнутих струмів, що мають здатність до намагнічування".

У наш час ми могли б упевнено стверджувати, з'ясувавши протиріччя у вихідних постулатах теорії, що закон Ампера справджується тільки стосовно постійних і замкнутих струмів. Максвелл припустив, що в закон Ампера потрібно додати ще один член, що відіграє істотну роль, лише коли струми змінюються дуже швидко. Цей член, який Максвелл назвав струмом зміщення і який зникає за тих умов, при яких Ампер проводив свої вимірювання, усуває протиріччя між законом Ампера й законом збереження заряду, надаючи рівнянню електрики й магнетизму

симетричного вигляду, тому що цей член описує виникнення магнітного поля під дією змінного електричного поля.

Максвеллівська модифікація закону Ампера привела до того, що рівняння електромагнетизму стали несуперечливими й симетричними: із закону Фарадея випливає, що змінне магнітне поле породжує електричне поле, а тепер, після введення Максвеллом струму зміщення, можна стверджувати, що і змінне електричне поле збуджує магнітне поле.

З різних чисто технічних причин ефекти струму зміщення дуже важко спостерігати, поки швидкість зміни полів не стає дуже великою; знадобилося 20 років, перш ніж Герцу, уже після смерті Максвелла, вдалося одержати перше експериментальне підтвердження теорії Максвелла.

Роботи Максвелла дали можливість сформулювати рівняння для електричних і магнітних полів у вигляді, еквівалентному таким шести твердженням:

1. Електричне поле, що відповідає якому-небудь розподілу зарядів, визначається за законом Кулона.
2. Магнітні заряди не існують.
3. Закон Фарадея: змінне магнітне поле збуджує електричне поле.
4. Закон Ампера: струми й змінні електричні поля збуджують магнітне поле.
5. Заряд зберігається.
6. Електричне й магнітне поля діють на заряди із силою, яка визначається за формулою Лоренца.

#### *Реальність поля*

Кількісне, математичне формулювання законів поля знаходимо в так званих рівняннях Максвелла. Їх проста форма приховує глибину й багатий зміст, які стають зрозумілими тільки при ретельному вивченні. Формулювання цих рівнянь є найважливішою подією з часів Ньютона не тільки з погляду цінності їхнього змісту, але й тому, що вони є зразком нового типу законів. Характерну рису рівнянь Максвелла, що виявляється й у всіх інших рівняннях сучасної фізики, можна висловити одним реченням: рівняння Максвелла виражають закони структури поля.

До рівнянь Максвелла приводять два істотних кроки. Перший крок: у розглянутих дослідах Ерстеда колові лінії магнітного поля, що замикаються навколо струму, повинні сходитися в точці; у досвіді Фарадея – колові лінії електричного поля, що замикаються навколо змінного магнітного поля, теж повинні сходитися в точку. Стягування силових ліній електричних і магнітних полів у точку дає можливість виражати структуру поля диференціальними рівняннями в частинних похідних.

Другий крок полягає в трактуванні поля як чогось реального. Створене один раз електромагнітне поле існує, діє і змінюється відповідно до законів Максвелла. Рівняння Максвелла описують структуру електромагнітного поля. Ареною дії цих законів є весь простір, а не одні тільки точки, в яких знаходяться речовина або заряди, як це справедливо для механічних законів.

У механіці, знаючи положення й швидкість частинок у початковий момент часу, знаючи діючі сили, можна передбачати всю траєкторію, яку частинка опише в майбутньому. У теорії Максвелла, якщо тільки ми знаємо поле в який-небудь момент часу, ми можемо вивести з рівнянь, установлених цією теорією, як буде змінюватися все поле в просторі і в часі. Рівняння Максвелла дозволяють нам

прямувати за історією поля так само, як-рівняння механіки дозволяють прямувати за історією матеріальних частинок.

За допомогою законів Ньютона ми можемо обчислити рух Землі, знаючи силу, що діє між Сонцем і Землею. Ці закони пов'язують рух Землі з дією віддаленого Сонця. І Земля, і Сонце, хоч і віддалені одне від одного, обоє беруть участь у грі сил.

У теорії Максвелла немає речовинних учасників дії. Математичні рівняння цієї теорії виражають закони, що керують електромагнітним полем. Вони не пов'язують, як це було в законах Ньютона, дві широко розділені події, вони не пов'язують подію тут з умовами там. Поле тут і тепер залежить від поля безпосередньо по сусідству в момент, що тільки що минув. Рівняння дозволяють нам передбачати, що відбудеться трохи далі в просторі й трохи пізніше в часі, якщо ми знаємо, що відбувається тут і тепер. Вони дозволяють нам поглиблювати наші знання про поле малими кроками. Ми можемо вивести те, що відбувається тут, з того, що відбувається далеко, шляхом додавання цих дуже малих кроків. У теорії ж Ньютона, навпаки, припустимі тільки великі кроки, що пов'язують віддалені події. Тому електродинаміку Максвелла слід вважати першою послідовною теорією близької дії, тому що вона виводить із принципу близької дії інші кількісні співвідношення, відмінні від тих, до яких приводить принцип дальньої дії. Відповідно, реальність поля можна довести експериментально. В основі лежить "чотиривимірний" характер близької дії. Близькодія тут означає, що дія поля на матеріальну точку (точковий заряд) визначається не миттєвим розміщенням зарядів, а станом поля в просторовій точці в той момент, коли в ній знаходиться цей заряд. Близькодія означає також, що заряд передає свою енергію або імпульс не іншим зарядам, а полю. Відповідно енергія й імпульс є предикатами поля. Таким чином, у фізиці перемогла ідея близькодії, причому не в картезіанській, а в зовсім іншій формі. Картезіанська близькодія через абсолютно твердий стрижень – це тривимірною близькодія, що передається миттєво, еквівалентна дальності, якщо говорити про рівняння поля. Близькодія в класичній електродинаміці – це чотиривимірною близькодія, нееквівалентна дальності, тому що вона пов'язана зі скінченною швидкістю поширення деформацій поля. Чотиривимірною характер близькодії безпосередньо впливає з рівнянь Максвелла, з механізму електромагнітних коливань, зі змісту електромагнітної теорії світла. Тут не йдеться про який-небудь безпосередній зв'язок між віддаленими точками, уявлення про електромагнітні хвилі є чисто диференціальним, виникнення електричного поля при зміні магнітного й виникнення магнітного при зміні електричного виражаються диференціальними рівняннями, що пов'язують вихори полів, і поширюються від точки до точки. Але вони – це впливає з рівнянь Максвелла – протікають і від миттєвості до миттєвості. Виникнення магнітного поля залежить від похідної електричного поля за часом, тобто від швидкості його зміни в часі. І навпаки, виникнення електричного поля залежить від зміни в часі магнітного поля.

Вивчення рівнянь Максвелла в математичному аспекті показує, що з них можна зробити нові й по-справжньому несподівані висновки, а всю теорію можна випробувати на набагато більш високому рівні, тому що теоретичні наслідки тепер мають кількісний характер і обґрунтовуються завдяки всьому ланцюгу логічних аргументів. За допомогою математичного висновку з рівнянь Максвелла ми можемо встановити характер поля, яке оточує заряд, що зазнає коливальних рухів, його

структуру поблизу й удалині від джерела і його зміну в часі. Результатом такого висновку є уявлення про електромагнітну хвилю. Від коливного заряду випромінюється енергія, що поширюється в просторі з певною швидкістю; але передавання енергії, зміна стану є властивістю всіх хвильових процесів. У випадку електромагнітної хвилі поширюються зміни електромагнітного поля. Усяка зміна електричного поля створює магнітне поле; усяка зміна цього магнітного поля створює електричне поле... і так далі. Так як поле несе енергію, усі ці зміни, що поширюються в просторі з певною швидкістю, утворюють хвилю. Електричні й магнітні силові лінії завжди лежать, як це випливає з теорії, у площині, перпендикулярній до напрямку поширення хвилі. Хвиля, що утворюється, є, отже, поперечною. Електромагнітна хвиля поширюється в порожньому просторі. Такий висновок цієї теорії. Якщо коливний заряд перестає рухатися, то його поле стає електростатичним. Але серія хвиль, створених коливанням заряду, продовжує поширюватися. Хвилям властиве незалежне існування, і історію їх змін можна простежити так само, як історію будь-якого іншого матеріального об'єкта. Спираючись на деякі дані, отримані з простих дослідів, які не мають нічого спільного із справжнім поширенням хвиль, теорія Максвелла показує, що швидкість електромагнітних хвиль дорівнює швидкості світла. Теоретичне відкриття електромагнітної хвилі, яка поширюється зі швидкістю світла, є одним з найбільших досягнень в історії науки й таїть у зародку радикальну відмову від механічних концепцій ефіру.

Експеримент підтвердив те, що передбачала теорія. М. Герц уперше довів існування електромагнітних хвиль й експериментально підтвердив, що їх швидкість дорівнює швидкості світла.

### *Поле та ефір*

Старий механістичний погляд намагався звести всі явища природи до сил, що діють між частинками речовини. У своїх ранніх роботах Максвелл також розвивав електромагнітну теорію за допомогою наочних механічних моделей, інтерпретуючи різні електротехнічні явища як напруги, натяги й вихори в пружному середовищі, тобто в деякому флюїді, що заповнює весь простір, – одному з різновидів знаменитого ефіру. Він писав: "Я маю намір тепер розглянути магнітні явища з механічної точки зору й досліджувати, які напруги чи рухи середовища здатні викликати явища, які я спостерігаю".

Але одні тільки вихори існувати не могли, тому що відразу ж виникало запитання: яким чином ці вихори можуть існувати, стикаючись один з одним й одночасно обертаючись в одному напрямку? Щоб вирішити цю проблему, Максвелл увів між вихорами своєрідні "шестірні холостого ходу": "Вихори розділені шаром частинок так, що кожна обертається навколо власної осі в напрямку, протилежному напрямку вихорів, так що дотичні поверхні частинок і вихорів мають однаковий напрямок руху". Імовірно, це була одна з найбільш складних моделей, коли-небудь запропонованих у науці. Однак пізніше Максвелл пояснив, що його теорія фактично не залежить від якої-небудь механічної інтерпретації. Як пізніше сказав Герц: "Головне в теорії Максвелла – це рівняння Максвелла".

Спочатку поняття поля було не більш, як прийомом, який полегшував розуміння явищ з механічної точки зору. Поле розглядали як щось таке, що згодом можна буде витлумачити механістично за допомогою ефіру. Пізніше стало зрозуміло, що цю програму не можна зреалізувати, що досягнення теорії поля стали

вже занадто разючими й важливими, щоб їх можна було замінити механістичними догмами. Визнання нових понять поступово утверджувалося, поки субстанція не була відтісна полем на задній план. Стало зрозуміло, що у фізиці відбулося щось дуже важливе. Було створено нову реальність, нове поняття, для якого не було місця в механістичному описі. Завдання придумування механічної моделі ефіру ставало все менш і менш цікавим, а результат через вимушений і штучний характер припущень усе більш і більш дивним.

Єдиний вихід – це припустити, що простір має фізичну властивість передавати електромагнітні хвилі, і не занадто перейматися через зміст цього твердження. Можна ще вживати слово "ефір", але тільки для того, щоб виразити згадану фізичну властивість простору. Слово "ефір" у процесі розвитку науки змінювало свій зміст багато разів. У даний момент воно вже не вживається для позначення середовища, побудованого з частинок.

### 4.3. Основні досягнення XIX століття

Дослідження в галузі електромагнетизму визначили цілий ряд серйозних технічних винаходів. Уже в першій половині XIX століття було винайдено електричний телеграф. Електродвигун Б.С. Якобі в 1839 р. вже рухав невелике річкове суденце. На зміну хімічним джерелам струму в 60-х роках прийшли електрогенератори. Широко застосовувався створений З. Грамом у 1869 р. генератор самозбудження. У 70-х роках з'явилися електроосвітлювачі: "свічка Яблочкова" (1876), лампа розжарювання Т. Еді-сона (1879). Починаючи з 80-х років, генератори й електродвигуни постійного струму стали поступово витіснятися генераторами й електродвигунами змінного струму. Дослідження Г. Герца, А. С. Попова і Г. Марконі сповістили про народження радіо.

Одне з головних досягнень природознавства XIX ст. – істотний прогрес у розумінні електричних, магнітних та оптичних явищ. Якщо на початку століття вони розглядалися порізно, то наприкінці століття поєдналися в єдиний комплекс. Перетворення електрики на магнетизм, і навпаки – магнетизму на електрику – означало фактично об'єднання електрики й магнетизму; було створено єдину теорію електричних і магнітних явищ – теорію електромагнітного поля. З'явилося якісно нове фізичне поняття – поле; почала формуватися електромагнітна картина світу, яка повинна була замінити стару механічну картину. Процес інтеграції фізичного знання не обмежився об'єднанням електрики й магнетизму в рамках теорії електромагнітного поля; було встановлено електромагнітну природу світла, що фактично означало включення оптики в електромагнетизм.

Один за одним почали сходити зі сцени різні флюїди. Першим зник світловий флюїд; уже в першій половині XIX ст. теорія "витікання" в оптиці була цілком витіснена хвильовою оптикою Т. Юнга (1773-1829) та О. Френеля (1788-1827). Спочатку це були світлові хвилі, які поширювалися в деякому ефірі, що має механічну природу; до кінця століття їх замінили електромагнітні хвилі. Дослідження Ампера змусили відмовитися від магнітних флюїдів. Довше від усіх інших зберігалися уявлення про електричні флюїди, але й вони зійшли зі сцени наприкінці століття в результаті відкриття електрона.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

### РОЗВИТОК ТЕХНІКИ В КІНЦІ ХІХ – ПОЧАТКУ ХХ СТОЛІТТЯ

Розвиток світових продуктивних сил наприкінці ХІХ-початку ХХ ст. відбувалося надзвичайно високими темпами (так, сумарна виплавка сталі з 1870 по 1900 рр.. зросла в 20 разів), внаслідок чого збільшився обсяг світового промислового виробництва. Кількісні зміни супроводжувалися бурхливим розвитком техніки, нововведення якої охоплювали різні сфери виробництва, транспорту, побуту. Радикальні зміни відбулися в організації промислового виробництва, його технології. Виникло багато нових галузей промисловості, яких світ раніше не знав. Відбулися суттєві зрушення в розміщенні продуктивних сил як між країнами, так і всередині окремих держав.

Такий стрибок у розвитку світового промислового потенціалу пов'язаний з сталася у розглянутий період науково-технічної, революції.

Актуальність теми «Науково-технічні відкриття (кінець ХІХ-початок ХХст.), Їх вплив на економічний світовий розвиток» в тому, що завдяки впровадженню досягнень науково-технічного прогресу розвиток промисловості за два останніх століття призвело до кардинальних змін в умовах і способі життя всього людства.

Об'єкт дослідження науково-технічні відкриття, а його предмет їх вплив відкриттів на економічний світовий розвиток.

Мета дослідження розглянути науково-технічні відкриття (кінець ХІХ-початок ХХ ст.), Їх вплив на економічний світовий розвиток.

Завдання дослідження розглянути:

- Науково-технічні винаходи;
- Структурні зміни в промисловості;
- Вплив науково-технічної революції на світову економіку.

#### 5.1. Науково-технічні винаходи

На основі електрики була створена нова енергетична основа промисловості і транспорту, тобто вирішена найбільша технічна проблема. У 1867 р. в Німеччині В. Сіменс винайшов електромагнітний генератор з самозбудженням, яким за допомогою обертання провідника в магнітному полі можна отримувати і виробляти електричний струм. У 70-і рр.. була винайдена динамо-машина, яку можна було використовувати не тільки як генератор електроенергії, але і як двигун, що перетворює електричну енергію в механічну. У 1883 р. Т. Едісон (США) створив перший сучасний генератор. Наступна успішно вирішене завдання – передача електроенергії по проводах на значні відстані (1891 р. Едісоном створений трансформатор). Таким чином склалася сучасна технічна ланцюг: отримання – передача – прийом електроенергії, завдяки чому промислові підприємства могли розміщуватися далеко від енергетичних баз. Виробництво електроенергії було організовано на особливих підприємствах – електростанціях.

Спочатку електроенергія до робочих місць прямувала з електроприводу, який був загальним для всього машинного комплексу. Потім він став груповим і, нарешті,

індивідуальним. З цього моменту кожна машина мала окремий двигун. Обладнання машин електродвигунами збільшило швидкість верстатів, підвищило продуктивність праці і створило передумови для подальшої автоматизації виробничого процесу.

Оскільки потреба в електроенергії неухильно зростала, технічна думка була зайнята пошуками нових типів первинних двигунів: більш потужних, більш швидкохідних, компактних, економічних. Найвдалішим винаходом стала багатоступенева парова турбіна англійського інженера Ч. Парсонса (1884), яка зіграла значну роль у розвитку енергетики – вона дозволяла у багато разів підвищити швидкість обертання.

Поряд з тепловими турбінами йшли розробки гідравлічних турбін, вперше вони були встановлені на Ніагарській гідроелектростанції в 1896 р., однією з найбільших електростанцій того часу.

Особливе значення одержали двигуни внутрішнього згорання. Моделі таких двигунів, що працювали на рідкому пальному (бензині), створили в середині 80-х років німецькі інженери. Даймлер і К. Бенц. Ці двигуни використовувалися моторним безрейковим транспортом.

У 1896-1897 рр.. німецький інженер Р. Дизель винайшов двигун внутрішнього згорання з великим коефіцієнтом корисної дії. Потім він був пристосований до роботи на важкому рідкому паливі та отримав виключно широко застосовуються у всіх галузях промисловості і транспорту. У 1906 р. в США з'явилися трактори з двигунами внутрішнього, згорання. Застосування їх в сільському господарстві почалося з 1907 р. Масове виробництво таких тракторів було освоєно в роки Першої світової війни.

Однією з провідних галузей стає електротехніка, розвиваються її підгалузі. Так, набуває широкого поширення електричне освітлення, викликане будівництвом великих промислових підприємств, зростанням великих міст, що збільшився виробництвом електроенергії.

Винахід лампи розжарювання належить російським ученим: О.М. Лодигін (лампа розжарювання з вугільним стерженьком у скляній колбі, 1873) і П.М. Яблочкова (конструкція електродугової лампи, «електричної свічки», 1875).

У 1879 р. американський винахідник Т. Едісон запропонував вакуумну лампу розжарювання з вугільною ниткою. У подальшому в конструкцію ламп розжарювання винахідниками різних країн вносилися поліпшення. Так, А. Н. Лодигіна були розроблені лампи з металевими нитками, в тому числі з вольфрамовими, застосовуваними і зараз. Хоча в багатьох країнах світу ще довгий час зберігалася газове освітлення, але воно вже не могло протистояти поширенню електричних освітлювальних систем.

Друга НТР – це період широкого розвитку і такої галузі електротехніки, як техніка засобів зв'язку. В кінці XIX ст. суттєво вдосконалено апаратура дротяного телеграфу, а до початку 80-х були виконані великі роботи з конструювання та практичному застосуванню телефонної апаратури. Винахідник телефону – американець А.Г. Белл, який отримав перший патент в 1876 р. Мікрофон, відсутній в апараті Белла, був винайдений Т. Едісоном і незалежно від нього англійцем Д. Юзом. Завдяки мікрофону збільшувався радіус дії телефонного апарату.

Телефонний зв'язок стала швидко поширюватися в усіх країнах світу. Перша телефонна станція в США була побудована в 1877 р.

Через два роки введено лад телефонна станція в Парижі, в 1881 р. – в Бердичеві. лінії, Петербурзі, Москві Одесі, Ризі та Варшаві. Автоматична телефонна станція запатентована американцем А. Б. Строуджером в 1889 р.

Одне з найважливіших надбань другої НТР – винахід радіо – бездротового електрозв'язку, заснованої на використанні електромагнітних хвиль (радіохвиль). Ці хвилі були вперше виявлені німецьким фізиком Г. Герцом. Практичне створення такого зв'язку здійснив видатний російський учений АС. Попов, який продемонстрував 7 травня 1885 р перший в світі радіоприймач. Потім послідувала передача на відстань радіограми, в 1897 р. здійснено радіотелеграфна зв'язок між кораблями на відстані 5 км. У 1899 р. досягнута стійка тривала передача радіограм на дистанцію 43 км.

Італійський інженер Г. Марконі в 1896 р. запатентував спосіб передачі електричних імпульсів без проводів. Значна матеріальна підтримка англійських капіталістичних кіл дозволила йому в 1899 р. здійснити передачі через Ла-Манш, а в 1901 р. – через Атлантичний океан.

На початку ХХ ст. народилася ще одна галузь електротехніки-електроніка. У 1904 р. англійським ученим Дж. А. Флемінгом була розроблена двоелектродна лампа (діод), яка могла використовуватися для перетворення частот електричних коливань. У 1907 р. американський конструктор Лі де Форест запропонував трьохелектродну лампу (тріод), за допомогою якої можна було не тільки перетворювати частоту електричних коливань, але і підсилювати слабкі коливання. Початок промислової електроніки було покладено введенням ртутних випрямлячів для перетворення змінного струму в постійний.

Таким чином, промислове застосування електричної енергії, будівництво електростанцій, розширення електричного освітлення міст, розвиток телефонного зв'язку і т.д. зумовили швидкий розвиток електротехнічної промисловості.

Друга НТР знаменувалася як створення нових галузей, але й торкнулася старі галузі промисловості, насамперед металургію. Швидкий розвиток продуктивних сил – машинобудування, суднобудування, військового виробництва, залізничного транспорту – подавала попит на чорні метали. У металургії вводилися технічні нововведення, техніка металургії досягла величезних успіхів. Значно змінилися конструкції і збільшилися обсяги доменних печей. Були впроваджені нові способи виробництва сталі за рахунок переділу чавуну в конверторі під сильним дуттям (Г. Бессемер, Англія, патент 1856) і в спеціальній печі – литої сталі (П. Мартен, Франція, 1864). Англійська металург С. Томас у 1878 р. запропонував для виплавки сталі застосовувати залізну руду з великими домішками фосфору. Цей метод дозволяв звільняти метал від домішок сірки і фосфору.

У 80-х роках введено електролітичний спосіб отримання алюмінію, що дозволив розвивати кольорову металургію. Електролітичний метод був використаний для одержання міді (1878). Ці методи склали основу сучасного сталеливарного виробництва, хоча томасовський метод у другій половині ХХ ст. був витіснений киснево-конверторним процесом.

Найважливішим напрямком другий НТР став транспорт – з'явилися нові види транспорту і удосконалювалися існуючі засоби сполучення.



Такі потреби практики, як зростання обсягів і швидкості перевезень, сприяли вдосконаленню залізничної техніки. В останні десятиліття XIX ст. завершився перехід до сталевих залізничних рейках. Все більш, широко застосовувалася сталь при будівництві мостів. «Ерустальних мостів» відкрив арочний міст, побудований в США в 1874 р. через р. Міссісіпі біля міста Сент-Луїс. Його автор – Дж. Іде. Проїжджу частину висячого Бруклінського мосту (близько Нью-Йорка) з центральним прольотом у 486 м підтримували сталеві канати. Хол-Гейтській арочний міст у Нью-Йорку споруджений у 1917 р. повністю з лігувати сталі (високо-вуглецевої). Найбільші сталеві мости були зведені в Росії через Волгу (1879) і Єнісей (1896) під керівництвом інженера НА. Боголюбського. З 80-х років при будівництві мостів поряд зі сталлю почали ширше застосовувати залізобетон. На залізницях, прокладаються в Альпах, були прориті найбільші тунелі: Сен-Готардський (1880), Симплон-ський (1905). Найбільш значним з підводних тунелів був семикілометровий Севернській тунель в Англії (1885).

У ці ж роки будувалися тунелі і в Росії: через Су-Рамський гірський кряж на Кавказі, Яблонового хребет на Далекому Сході та ін

Удосконалювався рухомий склад на залізницях – різко зросли потужність, сила тяги, швидкохідність, вага і розміри паровозів, вантажопідйомність вагонів. З 1872 р. на залізничному транспорті введені автоматичні гальма, в 1876 р. розроблено конструкцію автоматичної зчіпки.

В кінці XIX ст. в Німеччині, Росії, США велися експерименти щодо запровадження на залізницях електричної тяги. Перша лінія електричного міського трамваю відкрилася в Німеччині в 1881 р. У Росії будівництво трамвайних ліній почалося з 1892 р. У 90-і роки в ряді країн з'явилися приміські та міжміські електричні залізниці. Однак проти цього виступали активно залізничні, вугільні, нафтові компанії.

Розвивався флот. З 60-х років на морських судах стали застосовувати поршневі парові машини з багаторазовим розширенням пари. У 1894-1895 рр. були проведені перші досліди по заміні поршневих двигунів паровими турбінами. Прагнули також до збільшення потужності і швидкості морських і океанських парових судів: перетин Атлантичного океану стало можливим тепер за сім-п'ять днів. Приступили до будівництва суден з двигунами внутрішнього згоряння – теплоходів. Перший теплохід – нафтоналивне судно «Вандал» було побудовано російськими конструкторами в 1903 р. У Західній Європі будівництво теплоходів почалося з 1912 р. Найбільшим подією у розвитку морського транспорту було спорудження в 1914 р. Панамського каналу, що мав не тільки економічне, але й політичне і військове значення.

Новий вид транспорту, який народився в епоху другий НТР, – автомобільний. Перші автомобілі були сконструйовані німецькими інженерами К. Бенцем і Г. Даймлером. Промислове виробництво автомобілів почалося з 90-х років, причому в декількох країнах. Сприяло успіху автомобілів винахід в 1895 р. ірландським інженером Дж. Денлопом гумових шин. Високі темпи розвитку автомобілебудування спричинили за собою будівництво шосейних доріг.

Новий вид транспорту рубежу XIX і XX ст. – Повітряний Він підрозділяється на апарати легші за повітря – дирижаблі і важче повітря – літаки (аероплани). У 1896 р. німецький конструктор Г. Зельферт застосував для дирижаблів двигун

внутрішнього згоряння, що працював на рідкому паливі, що сприяло розвитку дирижаблестроєвництва в багатьох країнах. Але вирішальну роль у розвитку повітряного транспорту зіграли літаки.

У розробку авіаційних проблем і питань повітроплавання величезний внесок внесли російські вчені і винахідники основоположники сучасної гідро-і аеродинаміки Д.І. Менделєєв, Л.М. Поморцев, С.К. Дзевецький, К.Е. Ціолковський та особливо М.Є. Жуковський. Велика заслуга в освоєнні техніки польотів належить німецькому інженеру О. Лілієнталю.

Перші досліди конструювання літаків з парів двигунами здійснили А.Ф. Можайський (1882-1885, Росія), К. Адер (1890-1893, Франція) Х. Максим (1892-1894, США). Широкий розвиток авіації стало можливим після встановлення легких і компактних бензинових двигунів. У 1903 р. в США брати У. та О. Райт здійснили чотири польоти літаку з двигуном внутрішнього згоряння. Спочатку літаку мали спортивне значення, потім їх почали використовувати в військовій справі, а потім – для перевезення пасажирів.

Для другої НТР характерно проникнення і організація хімічних методів обробки сировини практично у всі галузі виробництва. У таких галузях, як машинобудування, електротехнічне виробництво, текстильна промисловість, стала широко використовуватися хімія синтетичних волокон – пластичних мас, ізоляційних матеріалів, штучного волокна і пр. Американським хіміком Дж. Хайеттом в 1869 р. був отриманий целулолід. У 1906 р. Л. Бакеланд справив бакеліт, потім були нами отримано карболен та інші пластичні маси. Розробник французьким інженером Г. Шардоне у 1884 р. методу виготовлення штучного волокна стала основою для свавілля нітрошелка, а з 1903 р. – штучного шовку та віскози.

У 1899-1900 рр.. праці російського вченого І.Л. Конд дозволили отримати синтетичний каучук з вуглеводів. Запропоновано метод виготовлення аміаку, службовця вихідною речовиною для азотної кислоти, та інших азотних сполук, необхідних у виробництві барвників, добрив і вибухових речовин. Кращим методом виявився метод німецьких учених Ф. Габера і К. Боша.

Досягненням другої НТР є крекінг-процес – метод розкладання нафти при високих тисках і температурах. Він дозволяв забезпечити підвищений вихід бензину, оскільки різко зросла потреба в легкому рідкому паливі. Основи методи були закладені Д.І. Менделєєвим, розвинені російськими вченими і інженерами, зокрема В.Г. Шуховим. Подібні дослідження проводилися і в США, де в 1916 р. цей процес був освоєний в промисловому виробництві.

Перед Першою світовою війною був отриманий синтетичний бензин. Ще в 1903-1904 рр.. російські хіміки школи А.Є. Фаворського відкрили спосіб виробництва рідкого пального з твердого палива, проте це найбільше досягнення російської технічної думки не було використано. Промисловий метод виготовлення легкого пального з вугілля здійснив німецький інженер Ф. Бергиус, що мало важливе економічне і військове значення для Німеччини, не мала в своєму розпорядженні природними нафтовими ресурсами.

НТР внесла багато нового для удосконалення технічної сфери легкої, поліграфічної та інших галузей промисловості. Це автоматичний ткацький верстат, автомат для виробництва пляшок, механічний набірний верстат і т. д.

В кінці XIX ст. виробництво стандартизованих виробів створило передумови для розробки потокової системи. Система масового поточного виробництва потребує раціональної організації праці, обробні машини і робочі місця розташовуються по ходу технологічного процесу. Процес виготовлення розчленовується на велику кількість простих операцій і відбувається безупинно, безперервно. Спочатку така система була введена в консервному, сірниковій виробництві, а потім поширилася на багато галузей промисловості. Особливо важливу роль вона зіграла в автомобілебудуванні. Це пояснювалося, з одного боку, необхідністю швидкого збільшення виробництва автомобілів через різке підвищення попиту на них, а з іншого боку, особливостями автомобільного виробництва, побудованого на принципах взаємозамінності і нормалізації (стандартизації) деталей і вузлів. На автомобільних заводах Г. Форда в США поточно-масове виробництво вперше набуло закінчену форму (із застосуванням конвеєрів). У 1914 р. швидкість складання одного автомобіля була доведена до півтори години.

Впровадження поточного виробництва змінило характер заводського обладнання в машинобудуванні. Стали вводитися спеціалізовані верстати для виготовлення деталей – гвинтів, шайб, гайок, болтів і т. д. У текстильній промисловості в 1890 р. з'явився автоматичний ткацький верстат англійського конструктора Дж. Нортропа.

Значними були НТР успіхи військової техніки. Основні напрямки її розвитку включали:

- автоматизацію стрілецької зброї. На озброєння були прийняті станкові кулемети американського інженера Х. Максима (1883), важкі кулемети Максима і Гочкіса, легкі кулемети Льюїса. Було створено кілька типів автоматичних гвинтівок;

- автоматизацію артилерії. Перед Першою світовою війною та в ході її були сконструйовані нові скорострільні гармати – напівавтоматичні і автоматичні. Дистанція обстрілу збільшилася з 16-18 км до 120 км. (Наприклад, унікальна німецька гармата «Велика Берта»). Був введений ряд тягачів з двигунами внутрішнього згоряння для пересування важкої артилерії. З'явилася зенітна артилерія для боротьби з нальотами ворожої авіації. Були створені танки і броневих автомобілі, озброєні кулеметами і зброями невеликого калібру;

- виробництво вибухових речовин. Їх випуск зріс в колосальних розмірах. Були здійснені нові винаходи (бездимний порох), розвинене виробництво пов'язаного азоту з повітря (сировини для одержання вибухових речовин). Застосування отруйних речовин у ході Першої світової війни вимагало засобів захисту від них – в 1915 р. російським інженером Н.Д. Зелінським був розроблений вугільний протигаз. Почалося будівництво газосховищ;

- широке використання засобів повітроплавання й авіації. Літаки виконували функції не тільки військової розвідки, але і винищувачів З літа 1915 року літаки стали озброювати кулеметами. Швидкість літаків-винищувачів була доведена до 190-220 км на годину. З'явилися літаки-бомбардувальники. Ще до війни (1913 р.) авіаконструктор І. Сікорський побудував у Росії перший чотиримоторний літак «Російський витязь». У ході війни воюючі країни удосконалили бомбардувальну авіацію;

– створення великих надводних кораблів – броненосців, дредноутів. Стало реальністю підводне плавання. В останні роки XIX ст. підводні човни будували в різних країнах. У надводному положенні вони приводилися в рух двигунами внутрішнього згоряння, а в підводному – електродвигунами. Особливо велику увагу будівництву підводних човнів приділяла Німеччина, яка налагодила їх виробництво до початку Першої світової війни.

Серед найважливіших винаходів цього часу – швейна машина Зінгера, ротаційна типографська машина, телеграф Морзе, револьверний, шліфувальний, фрезерний верстат, косарка Маккормік, комбінована молотарка-віялка Хейрема.

## 5.2. Структурні зміни у промисловості

За порівняно короткий (з початку XIX століття) час затвердження машинного виробництва були досягнуті більш відчутні результати в економічному прогресі суспільства, ніж за всю його попередню історію.

Динамізм потреб, що є могутнім двигуном розвитку виробництва в поєднанні з прагненням капіталу до зростання прибутків, а значить, до освоєння нових технологічних принципів, у величезній мірі прискорив прогрес виробництва, викликав до життя цілу серію технічних переворотів.

Бурхливий розвиток науки, починаючи з кінця XIX століття, призвело до значного числа відкриттів принципового характеру, що поклали початок новим напрямкам науково-технічного прогресу. Це – швидкий розвиток і практичне використання електричної енергії (електродвигунів, трифазних ліній передачі електроенергії); створення двигуна внутрішнього згоряння; бурхливе зростання хімічної та нафтохімічної промисловості на базі широкого використання нафти як палива і сировини; впровадження нових технологій у металургії. Прогрес науки, техніки та виробництва посилив взаємопроникнення, інтеграцію науки і техніки різних напрямків

Розвиток промисловості за два останніх століття призвело до кардинальних змін в умовах і способі життя всього людства. Завдяки впровадженню досягнень науково-технічного прогресу масштаби випуску продукції в абсолютному вираженні в усіх галузях промисловості світу продовжують збільшуватися.

В кінці XIX-початку XX ст. відбулися структурні зміни в промисловості:

- Структурними змінами в господарствах окремих країн: створенні великого машинного виробництва, переважно важкої промисловості над легкою, надання переваги промисловості над сільським господарством;
- Виникають нові галузі промисловості, модернізуються старі;
- Збільшується частина підприємств у виробництві валового національного продукту (ВНП) і національного доходу;
- Відбувається концентрація виробництва – виникають монополістичні об'єднання;
- Завершується формування світового ринку в кінці XIX – на початку XX ст.;
- Поглиблюється нерівномірність у розвитку окремих країн;
- Загострюються міждержавні протиріччя.

Провідними галузями стали в кінці XIX – початок XX ст.: Виробництво електроенергії, продукції органічної і неорганічної хімії, добувної, металургійної, машинобудівної, транспортної промисловості.

Розвивалися нові галузі: сталеварна нафтовидобувна, нафтопереробна, електротехнічна, алюмінієва, автомобільна.

Провідне місце в організації та управлінні виробництвом належало товариствам акціонерної, колективної власності. Зростання банківського і промислового капіталу зумовив формування фінансової олігархії. Капіталізм вільної конкуренції переріс у монополістичний капіталізм.

### **5.3. Вплив науково-технічної революції на світову економіку**

До рубежу XIX-XX ст. кардинально змінилися основи наукового мислення; переживає розквіт природознавство, йде створення єдиної системи наук. Цьому сприяло відкриття електрона і радіоактивності. Відбулася нова наукова революція, що почалася у фізиці і охопила всі основні галузі науки. Її представляють М. Планк, створив квантову теорію, і А. Ейнштейн, який створив теорію відносності, що знаменували прорив в область мікросвіту.

У кінці XIX-початку XX ст. зв'язок науки з виробництвом набула більш міцний і систематичний характер; встановлюється тісний взаємозв'язок науки з технікою, яка обумовлює поступове перетворення науки в безпосередню продуктивну силу суспільства. Якщо до кінця XIX ст. наука залишалася «малою» (у цій сфері було зайнято невелике число людей то на рубежі XX ст. спосіб організації науки змінився – виникли великі наукові інститути, лабораторії, оснащені потужною технічною базою. «Мала» наука перетворюється на «велику» – чисельність зайнятих у цій сфері збільшилася, виникли спеціальні ланки науково-дослідної діяльності, завданням яких стало швидке доведення теоретичних рішень до технічного втілення, в їх числі – дослідно-конструкторські розробки, виробничі дослідження, технологічні, дослідно-експериментальні та ін.

Процес революційних перетворень в галузі науки охопила потім техніку і технологію. Перша світова війна викликала величезний розвиток військової техніки. Таким чином друга науково-технічна революція охопила різні сфери промислового виробництва. Перевершила вона попередню епоху за темпами технічного прогресу. На початку XIX ст. порядок винаходів обчислювався двозначним числом, В епоху другий НТР – чотиризначним, тобто тисячами. Найбільше число винаходів запатентовано американцем Т. Едісоном (більше 1000).

За своїм характером другий НТР відрізнялася від промислового перевороту XVIII-XIX ст. Якщо промисловий перс-воріт призвів до становлення машинної індустрії і зміни соціальної структури суспільства (формування двох нових класів – буржуазії і робітничого класу) та утвердження панування буржуазії, то друга НТР не торкнулася тип виробництва і суспільну структуру і характер соціально-економічних відносин. Її результати – зміни в техніці і технології виробництва, реконструкція машинної індустрії, перетворення науки з малої у велику. Тому її називають не промисловою революцією, а науково-технічної.

НТР призвела до появи багатьох нових галузей промислового виробництва, яких історія не знала. Це електротехнічна, хімічна, нафтодобувна, нафтопереробна і

нафтохімічна, автомобільна промисловість літакобудування, виробництво портландцементу і залізобетону тощо.

Відбувалася не лише диверсифікація галузей, але і підгалузей. Це можна бачити на структурі, наприклад, машинобудування. На повну силу заявило про себе транспортне машинобудування (виробництво локомотивів, автомобілів, літаків, річкових і морських судів, трамваїв та ін.) У ці роки найбільш динамічно розвивалася така галузь машинобудування, як автомобільна. Перші автомобілі з бензиновим двигуном почали створювати в Німеччині К. Бенц і Г. Даймлер (листопад 1886 р.), але незабаром у них вже з'явилися зарубіжні конкуренти. Якщо перший автомобіль на заводі Г. Форда в США був випущений в 1892 р., то вже до початку ХХ століття це підприємство виробляло на рік 4 тис. автомобілів.

Бурхливий розвиток нових галузей машинобудування викликало зміну структури чорної металургії – підвищився попит на сталь і темпи її виплавки значно перевершили приріст виробництва чавуну.

Технічні зрушення кінця ХІХ-початку ХХ ст. і випереджальний розвиток нових галузей визначили зміна структури світового промислового виробництва. Якщо до початку другої НТР в загальному обсязі продукції, що випускається продукт-переважала частка галузей групи «Б» (виробництво предметів споживання), то в результаті другої НТР підвищилася питома вага галузей групи «А» (виробництво засобів виробництва, галузей важкої промисловості). Це призвело до того, що посилилася концентрація виробництва, стали переважати великі підприємства. У свою чергу велике виробництво потребувало великих капітальних вкладень і викликало необхідність об'єднання приватних капіталів, яке здійснювалося освітою акціонерних товариств. Завершенням цього ланцюжка змін стало створення, освіта монополістичних союзів, тобто монополій як в області виробництва, так і в області капіталів (фінансових джерел).

Таким чином, в результаті змін, що відбулися в техніці і технології виробництва та розвитку продуктивних сил, викликаних другою НТР, були створені матеріальні передумови для утворення монополій і переходу капіталізму від промислової стадії і вільної конкуренції до монополістичної стадії. Сприяли процесу монополізації та економічні кризи, регулярно відбувалися в кінці ХІХ ст. А також початку ХХ ст. (1873, 1883, 1893, 1901 – 1902 і ін.) Оскільки в ході криз гинули насамперед дрібні й середні підприємства, то це сприяло концентрації та централізації виробництва і капіталу.

Монополія як форма організації виробництва і капіталу в кінці ХІХ-початку ХХ ст. зайняла панівні позиції в соціально-економічному житті провідних країн світу, хоча ступінь концентрації та монополізації по країнах була неоднаковою; були різними переважаючі форми монополій. У результаті другої НТР замість індивідуальної форми власності основний стає акціонерна, в сільському господарстві – фермерська; розвивається кооперативна, а також муніципальна.

На цьому історичному етапі провідне місце у світі по промислового розвитку займають молоді капіталістичні країни – США і Німеччина, значно просувається Японія, тоді як колишні лідери – Англія і Франція відстають. Центр світового економічного розвитку при переході до монополістичної стадії капіталізму переміщується з Європи до Північної Америки. Першою державою світу з економічного розвитку стали Сполучені Штати Америки.

Бурхливий розвиток науки, починаючи з кінця XIX століття, призвело до значного числа відкриттів принципового характеру, що поклали початок новим напрямкам науково-технічного прогресу.

У 1867 р. в Німеччині В. Сіменс винайшов електромагнітний генератор з самозбудженням, яким за допомогою обертання провідника в магнітному полі можна отримувати і виробляти електричний струм. У 70-і рр.. була винайдена динамо-машина, яку можна було використовувати не тільки як генератор електроенергії, але і як двигун, що перетворює електричну енергію в механічну. У 1883 р. Т. Едісон (США) створив перший сучасний генератор. У 1891 р. Едісоном створений трансформатор. Найвдалішим винаходом стала багатоступенева парова турбіна англійського інженера Ч. Парсонса (1884).

Особливе значення одержали двигуни внутрішнього згорання. Моделі таких двигунів, що працювали на рідкому пальному (бензині), створили в середині 80-х років німецькі інженери Даймлер і К. Бенц. Ці двигуни використовувалися моторним безрейковим транспортом. У 1896-1907 рр.. німецький інженер Р. Дизель винайшов двигун внутрішнього згорання з великим коефіцієнтом корисної дії.

Винахід лампи розжарювання належить російським ученим: О.М. Лодигін (лампа розжарювання з вугільним стерженьком у скляній колбі).

Винахідник телефону – американець А.Г. Белл, який отримав перший патент в 1876 р. Одне з найважливіших надбань другої НТР – винахід радіо

На початку XX ст. народилася ще одна галузь електротехніки-електроніка. У металургії вводилися технічні нововведення, техніка металургії досягла величезних успіхів.

Характерно проникнення і організація хімічних методів обробки сировини практично у всі галузі виробництва.

Перед Першою світовою війною був отриманий синтетичний бензин.

Серед найважливіших винаходів цього часу – швейна машина Зінгера, ротативна типографська машина, телеграф Морзе, револьверний, шліфувальний, фрезерний верстат, косарка Маккормік, комбінована молотарка-віялка Хейрема.

В кінці XIX-початку XX ст. відбулися структурні зміни в промисловості:

– Структурними змінами в господарствах окремих країн: створенні великого машинного виробництва, переважно важкої промисловості над легкою, надання переваги промисловості над сільським господарством;

– Виникають нові галузі промисловості, модернізуються старі;

– Збільшується частина підприємств у виробництві валового національного продукту (ВНП) і національного доходу;

– Відбувається концентрація виробництва – виникають монополістичні об'єднання;

– Завершується формування світового ринку в кінці XIX – на початку XX ст.;

– Поглиблюється нерівномірність у розвитку окремих країн;

– Загострюються міждержавні протиріччя.

НТР призвела до появи багатьох нових галузей промислового виробництва, яких історія не знала. Це електротехнічна, хімічна, нафтодобувна, нафтопереробна і нафтохімічна, автомобільна промисловість літакобудування, виробництво портландцементу і залізобетону тощо.

### РОЗВИТОК ТЕХНІКИ ДО СЕРЕДИНИ ХХ СТОЛІТТЯ

#### 6.1. Розвиток уявлень про простір і час у ХХ столітті

Наприкінці ХІХ – початку ХХ століття відбулися глибокі зміни в наукових уявленнях про матерію і, відповідно, радикальна зміна понять простору й часу. Фізичну картину світу доповнила концепція поля як форми матеріального зв'язку між частинками речовини, як особливої форми матерії. Усі тіла, таким чином, являють собою систему заряджених частинок, пов'язаних полем, що передає дії від одних частинок до інших з кінцевою швидкістю – швидкістю світла. Припускали, що поле – це стан ефіру, абсолютно нерухомого середовища, що заповнює світовий абсолютний простір. Пізніше було встановлено (Х. Лоренц та ін.), що коли рух тіл відбувається з дуже великими швидкостями, близькими до швидкості світла, то поле змінюється, що призводить до зміни просторових і часових властивостей тіл; при цьому Лоренц вважав, що довжина тіл у напрямку їхнього руху скорочується, а ритм фізичних процесів, що відбуваються в них, сповільнюється, причому просторові й часові величини змінюються узгоджено.

Спочатку здавалося, що таким шляхом можна буде визначити абсолютну швидкість тіла щодо ефіру, а отже, стосовно абсолютного простору. Однак уся сукупність дослідів спростувала цей погляд (більш детально це питання буде обговорюватися в розділі "Теорія відносності"). Було встановлено, що в будь-якій інерційній системі відліку всі фізичні закони, включаючи закони електромагнітних (і взагалі польових) взаємодій, однакові. Спеціальна теорія відносності А. Ейнштейна, заснована на двох фундаментальних положеннях, – про граничну швидкість світла й рівноправність інерційних систем відліку, стала новою фізичною теорією простору й часу. З неї випливає, що просторові й часові відносини – довжина тіл (узагалі відстань між двома матеріальними точками) і тривалість (а також ритм) процесів, що відбуваються в ньому, є не абсолютними величинами, як стверджувала механіка Ньютона, а відносними. Частинка (наприклад, нуклон) може виявляти себе стосовно частинки, яка повільно рухається щодо неї, як сферична, а щодо частинки, яка налітає на неї з дуже великою швидкістю, – як сплющений у напрямку руху диск. Відповідно, тривалість існування зарядженого тс-мезона, який повільно рухається, становить  $10^{-3}$  с, а того, який рухається з величезною швидкістю (близькою до швидкості світла), – у багато разів більша. Відносність просторово-часових характеристик тіл повністю підтверджується за допомогою дослідів. Звідси випливає, що уявлення про абсолютність простору й часу є хибними. Простір і час є загальними формами координації матеріальних явищ, а не самостійними початками буття, незалежними від матерії. Теорія відносності спростовує уявлення про порожній простір і час, які мають власні виміри. Уявлення про порожній простір було відкинуто пізніше й у квантовій теорії поля з його новим поняттям вакууму.

Подальший розвиток теорії відносності (загальної теорії відносності А. Ейнштейна) показав, що просторово-часові відносини залежать також від концентрації мас. При переході до космічних масштабів геометрія простору-часу не



є евклідовою (або "плоскою", тобто незалежною від величини простору-часу, а змінюється від однієї частини космосу до іншої залежно від щільності мас у цих місцях і їх руху). У масштабах Метагалактики геометрія простору змінюється з часом унаслідок розширення Метагалактики. Таким чином, розвиток фізики й астрономії підтвердив неспроможність як апіоризму Канта, тобто розуміння простору й часу як апіорних форм людського сприйняття, природа яких незмінна й незалежна від матерії, так і ньютонівської догматичної концепції простору й часу.

Зв'язок простору й часу з матерією виражається не тільки в залежності законів простору й часу від загальних закономірностей, які визначають взаємодію матеріальних об'єктів. Він виявляється також в наявності характерного ритму існування матеріальних об'єктів і процесів – типових для кожного класу об'єктів середніх тривалостей життя й середніх просторових розмірів.

З викладеного випливає, що простору й часу властиві дуже загальні фізичні закономірності, що стосуються всіх об'єктів і процесів. Це має стосунок і до проблем, пов'язаних з топологічними властивостями простору й часу. Проблема межі (зіткнення) окремих об'єктів і процесів безпосередньо пов'язана з питаннями, які привертали увагу ще в давнину. Йдеться про скінченну або нескінченну подільність простору й часу, їх дискретність або неперервність. В античній філософії це питання вирішувалося лише умовивідно. Висловлювалися, наприклад, припущення про існування "атомів" часу (Зенон). У науці XVII-XIX століть ідея атомізму простору й часу втратила будь-яке значення. Ньютон вважав, що простір і час реально розчленовані до нескінченності. Цей висновок впливав з його концепції порожніх простору й часу, найменшими елементами яких є геометрична точка й момент часу ("миттєвості" в буквальному значенні слова). Лейбніц вважав, що хоч простір і час подільні до безмежності, але реально не розчленовані на точки – у природі немає об'єктів і явищ, позбавлених розмірів і тривалості. З уявлення про необмежену подільність простору й часу не випливає, що і границі тіл та явищ є абсолютними. Уявлення про неперервність простору й часу ще більше зміцніло в XIX столітті з відкриттям поля: у класичному розумінні поле є абсолютно неперервний об'єкт.

Проблема реальної подільності простору й часу постала у XX столітті у зв'язку з відкриттям у квантовій механіці співвідношення невизначеностей (більш докладно це питання розглядається в розділі "Квантова механіка"). Відповідно до співвідношення невизначеностей для абсолютно точної локалізації мікрочастинки необхідні нескінченно великі імпульси, що у фізичному аспекті є нездійсненним завданням. Більше того, сучасна фізика елементарних частинок свідчить, що при дуже сильних впливах на частинку вона не зберігається взагалі, відбувається навіть множинне народження частинок. Насправді не існує реальних фізичних умов, за яких можна було б виміряти точне значення напруженості поля в кожній точці. Таким чином, сучасна фізика встановила, що неможливо не тільки реально здійснити поділ простору й часу на точки, але й принципово неможливо здійснити процес реального нескінченного їх поділу. Отже, геометричні поняття точки, кривої, поверхні є абстракціями, що відображають просторові властивості матеріальних об'єктів лише приблизно. Насправді об'єкти відділені один від одного не абсолютно, а лише відносно. Справедливо це і стосовно моментів часу. Саме такий погляд на "точковість" подій впливає з так званої теорії нелокального поля. Одночасно з

ідеєю нелокальності взаємодії розробляється гіпотеза про квантування простору й часу, тобто про існування найменших довжин і тривалостей. Спочатку припускали, що "квант" довжини –  $10^{-15}$  м (порядку класичного радіуса електрона або порядку "довжини" сильної взаємодії). Однак за допомогою сучасних прискорювачів заряджених частинок досліджуються явища, які мають довжини  $10^{-6}$ – $10^{-17}$  м; тому значення кванта довжини почало зміщуватися до все менших значень ( $10^{-19}$  і навіть  $10^{-35}$  м).

Вирішення питання про квантування простору й часу тісно пов'язане з проблемами структури елементарних частинок. З'явилися дослідження, які взагалі заперечують застосовність до субмікроскопічного світу понять простору й часу. Однак поняття простору й часу не повинні зводитися ні до метричних, ні до топологічних відносин відомих типів.

Тісний взаємозв'язок просторово-часових властивостей у природі взаємодії об'єктів виявляється також і при аналізі симетрії простору й часу. Ще в 1917 році Е. Нетер довела, що однорідності простору відповідає закон збереження імпульсу, однорідності часу – закон збереження енергії, ізотропності простору – закон збереження моменту кількості руху. Таким чином, типи симетрії простору й часу як загальні форми координації об'єктів і процесів взаємопов'язані з найважливішими законами збереження. Симетрія простору при дзеркальному відображенні виявилася залежною від істотної характеристики мікрочастинок їх парності.

Однією з найважливіших проблем простору й часу є питання про спрямованість перебігу часу. У ньютонівській концепції ця властивість часу вважалася зрозумілою сама собою і не потребувала обґрунтування. У Лейбніца незворотність перебігу часу пов'язувалася з однозначною спрямованістю ланцюга причин і наслідків. Сучасна фізика конкретизувала й розвинула це обґрунтування, пов'язавши його із сучасним розумінням причинності. Очевидно, спрямованість часу пов'язана із такою інтегральною характеристикою матеріальних процесів, як розвиток, що є принципово незворотним.

Серед проблем простору й часу, які привертали увагу ще в давнину, – питання про кількість вимірів простору й часу. У ньютонівській концепції ця кількість вважалася споконвічно незмінною. Однак ще Арістотель обґрунтував тривимірність простору в залежності від кількості можливих перетинів (поділів) тіла. Інтерес до цієї проблеми зріс у ХХ столітті з розвитком топології. Л. Бауер установив, що вимірність простору є топологічним інваріантом – числом, що не змінюється за умови неперервних і взаємно однозначних перетворень простору. У ряді досліджень було встановлено зв'язок між кількістю вимірів простору і структурою електромагнітного поля, між тривимірністю простору й спіральністю елементарних частинок. Усе це підтвердило, що кількість вимірів простору й часу нерозривно пов'язана з матеріальною структурою навколишнього світу.

ХХ ст. характеризується проникненням науки не тільки у виробництво, але її зростаючим впливом на всі без винятку сторони життя людини, аж до побуту. Прориви в галузі наукового пізнання у ХХ ст. настільки грандіозні, що наука стає дійовою економічною силою, важливим чинником суспільно-політичного процесу, стратегічним військовим ресурсом. Так, великі відкриття в галузі фізики: А. Ейнштейн, Н. Бор, Ернест Резерфорд та інші) дозволили отримувати і використовувати ядерну енергію. Вражаюча магія відкритої Ейнштейном формули  $E = mc^2$  – це не тільки тріумф людського генія, але й тривожна ознака атомного

бомбардування (6 і 9 серпня 1945 р. американська авіація скинула атомні бомби на японські міста Хіросіму і Нагасакі), Чорнобильської катастрофи. Не випадково в середині століття А. Ейнштейн став (разом з англійським філософом Б. Расселом) автором знаменитого “Маніфесту”, який проголосив заклик відмовитися від попереднього погляду на світ, від колишніх способів з'ясувати між собою відносини.

Протягом сторіччя наукове знання, розвиваючись, зазнавало істотних змін. Поряд з диференціацією, що поглиблюється, відбувається ще глибший процес інтеграції наук. Не академічні правила, як в ХІХ ст., а відкриття глибинних зв'язків і закономірностей перетворює їх на цілісну взаємообумовлену теоретичну систему. Людина осягає таємниці мікросвіту (П'єр і Марія Кюрі, Макс Планк ) відкриває структуру ДНК (доповідь Д. Уотсона і Ф. Кріка оприлюднена у 1953 р.), проникає в таємниці походження Всесвіту, всієї світобудови (блискучі роботи видатного космолога сучасності С. Хокінга).

Важливі відкриття відбувалися в медицині і фармацевтиці, багатьох інших галузях науки. Наукові відкриття зроблені в 20-ті – 30-ті роки ХХ століття мали дуже важливе значення для подальшого розвитку і впливу, як на науку і техніку, так і на побутове, буденне життя майже всіх жителів планети. Таким чином, науковий розвиток і пов'язаний з ним прогрес матеріальної культури у ХХ ст. зумовили багаторазове посилення єдності людської культури в масштабах всієї планети, а також поєднання двох протилежних тенденцій – з одного боку, зросли можливості людини, а з іншого - людина стала своїм власним заручником.

## **6.2. Основні винаходи ХХ століття**

### **Перше телезображення**

27 січня 1926 року англійський винахідник Джон Берд ( 1888-1946) уперше привселюдно продемонстрував телевізійну передачу простих зображень (мальтійський хрест і т.п.). Зображення передавалося на відстань 3,5 км, його чіткість становила 30 рядків, розгорнення зображення здійснювалося механічним пристроєм – так званим диском Ніпкова (запатентованим німецьким інженером Паулем Ніпковим ще в 1884 році). Розвиток телебачення надалі пов'язане з ім'ям В.К. Зворикіна, що винайшов передавальну трубку (іконоскоп) і прийомну трубку (кінескоп).

Епохальну революцію в засобах комунікації викликала поява телебачення. Винайдене В. Зворикіним телебачення зайняло провідне місце серед засобів масової інформації, засобів реклами, інструментів політики. Сьогодні без телевізійного екрана неможливо уявити ані економіку, ані культуру. Величезну роль відіграє телебачення й у політичному житті. Вперше теледебати відіграли вирішальну роль під час виборчої кампанії 1960 р. у США, коли Джон Кеннеді видався американцям більш привабливим, ніж його опонент – Річард Ніксон.

### **Звукове кіно**

Перші спроби з'єднати зображення й звук на кіноплівці робилися ще Едісоном в 1899 році й Гомоном в 1906 році за допомогою спеціальних грамофонних

пластинок, однак тільки винахід і вдосконалення методів запису на одному носії звуку й зображення проклали дорогу звуковому кіно. Перший звуковий фільм з'явився в США в 1924 році. У радянській Росії розроблялися 2 системи оптичного запису звуку. Робота системи Шоріна була продемонстрована в 1929 році, а системи «Тагетон» в 1931 році в кінофільмі «Путівка в життя».

### **Тепловоз**

Перші дослідження використання двигуна внутрішнього згорання на локомотивах почали проводитися відразу після винаходу цього двигуна. Безпосередніми попередниками тепловоза були автодрезини й мотовози. Перший магістральний тепловоз був створений у СРСР в 1924 році по проєкті Я.М. Гаккеля.

### **Годдард. Ракета на рідкому паливі**

16 березня 1926 біля міста Оберн, що в американському штаті Массачусеттс, була вперше запущена ракета на рідкому паливі. Запуск здійснив американський інженер, один з піонерів ракетобудування, Роберт Годдард. У своєму щоденнику Годдард записав: «Коли вона (ракета) злетіла без якого-небудь значного шуму й полум'я, це здалося чарівництвом, начебто б вона сказала: «Я простояла тут досить довго й, якщо ви не заперечуєте, я відправляюся куди-небудь в інше місце». Ракета висотою з метр важила - разом з паливом - усього близько 5 кг, піднялася вона на висоту близько 12,5 м, пролетіла відстань 56 м, політ тривав 2,5 секунди.

### **Фрідман. Теорія «Великого вибуху»**

В 1922 році проаналізувавши систему з 10 світових рівнянь загальної теорії відносності Ейнштейна, Олександр Фрідман прийшов до фундаментального висновку, що Всесвіт постійно розширюється (так звана теорія «Великого вибуху»). Він першим відмовився від постулату про стаціонарність Всесвіту й замінив його на більш загальні твердження про однорідність і ізотропність, передбачивши, таким чином, результати досліджень Хаббла.

### **Едвін Хаббл**

У березні 1929 року в номері «Праць Національної академії наук США» була опублікована стаття Едвіна Хаббла «Зв'язок між відстанню й променевою швидкістю позагалактичних туманностей». Зіставивши дані спостереження

46-и туманностей, учений дійшов висновку «Далекі галактики йдуть від нас зі швидкістю, пропорційної далекості від нас. Ніж далі галактика, тим вище її швидкість». Відкриття Хаббла лягло в основу концепції Всесвіту, що розширюється, передвіщеної ще Олександром Фрідманом.

### **В. І. Вернадський**

У центрі природничо-наукових і філософських інтересів Володимира Івановича Вернадського була розробка цілісного вчення про біосферу, живу

речовину (утворюючи земну оболонку) і еволюції біосфери в ноосферу, у якій людський розум і діяльність, наукова думка стають визначальним фактором розвитку, потужною силою, порівнянної по своєму впливі на природу з геологічними процесами. Він розробив вчення про “неосферу” як закономірний процес природно-історичного розвитку людини. У роботі “Деякі слова про неосферу” (1944 р.) ним була дана така оцінка подіям: “... в історії нашої планети настав критичний момент величезного для людини значення, що підготовлювався мільйонами, вірніше мільярдами років, що глибоко проник в мільйони людських поколінь”. Вчення Вернадського про відносини природи й суспільства вплинуло на формування сучасної екологічної свідомості.

### **Терменвокс**

В 1920 році Лев Термен, фізик і музикант, сконструював перший у світі електромусичний інструмент - терменвокс. Звичайно, цей апарат був далекий від досконалості й грати на ньому міг далеко не кожний. Так висота звуку в терменвокси регулюється положенням долоні правої руки, а гучність - лівої. Терменвокс і понині використовується музикантами в трохи вдосконаленому виді, зокрема танцівниця, виконуючи танець, одночасно виконує й мелодію.

### **Диференціальний аналізатор**

В 1931 році американський математик, електроінженер і великий науковий адміністратор Ванневар Буш ( 1890-1974) побудував перший із серії пристроїв, які він називав «диференціальними аналізаторами» і які з'явилися попередниками сучасних аналогових обчислювальних машин. Цей диференціальний аналізатор Буша ввійшов в історію обчислювальної техніки як перший аналоговий комп'ютер, що використовував як рахункові елементи електронні пристрої - електронні вакуумні лампи.

### **Плазма**

Термін «плазма» уперше був уведений американськими вченими І. Ленгмюром і Л. Тонксом в 1923 році. Істотних результатів в області гідродинаміки, фізичної кінетики й фізику плазми досяг Лев Давидович Ландау. В 1936 році він дав кінетичне рівняння для плазми й установив вид інтеграла зіткнень для заряджених часток. В 1950 році І.Е. Тамм і А.Д. Сахаров запропонували ідею магнітної термоізоляції плазми для здійснення керованого термоядерного синтезу.

### **Пеніцилін**

Протягом тисячоліть інфекційні захворювання були основною причиною високої смертності населення. У 1929 р. англійський мікробіолог А. Флемінг відкрив перший антибактеріальний препарат – пеніцилін. Під час дослідження властивостей грибка пліснявки, що вкривав культури стафілококів, шотландський мікробіолог Александер Флемінг виділив антибактеріальну речовину, котру назвав

пеніциліном (*Penicillium notatum*). Серед особливостей нової речовини була здатність зупиняти ріст бактерій, а при великих дозах - убивати їх;. Ця подія поклала початок новій ері в медицині – ері антибіотиків. У широку медичну практику пеніцилін увійшов в 1943-1944, головним чином завдяки роботам Х. Флорі й Э. Чейна у Великобританії й США, а також і З.В. Єрмольевой у СРСР. Пеніцилін істотно змінив всю медичну практику – багато хто до цього невиліковні хвороби сталивиліковні, а неможливі хірургічні операції – можливі.

### **Античастинки**

Висновок про існування античастинок уперше був зроблений П. Діраком в 1930 році. Він вивів рівняння, що доводить існування елементарних часток, що мають ті ж масу, спін, час життя й деякі інші внутрішні характеристики, що і їх «двійники» - частки, але, що відрізняються від часток знаками електричного заряду й магнітного моменту, баріонного заряду, лептонного заряду. Експериментально античастинки були виявлені американським фізиком К. Андерсоном в 1932 році.

### **Курт Гедель. Теореми про неповноту**

В 1931 році Курт Гедель ( 1906-1907), австрійський математик, логік і філософ математики, з 1940 року працював у США, довів теорему про неповноту.

У той час, як багато великих математиків ще працювали над усуненням «останніх недоробок» у величому будинку математики як дедуктивної теорії, з бездоганною логікою спорудженої на абсолютно непорушному фундаменті з відносно невеликого числа аксіом, Гедель довів, що в математику, яка претендує на зв'язок із зовнішнім світом, що є досить розвинутою системою, щоб містити в собі, наприклад, арифметику, ми при будь-якому вихідному наборі аксіом, визначень і правил у процесі розвитку логічних побудов, формулювання нових теорем і т.д., неминуче зустрінемося з висловленням, у відношенні якого в межах прийнятої аксіоматичної основи вже не можна буде сказати, істинно воно або помилково. Щоб рушити далі, доведеться ввести нове, що нізвідки не впливає аксіоматичне твердження. Зробивши той або інший вибір, розуміє не суперечній вихідній аксіоматиці, ми будемо одержувати нові математичні системи, кожна з яких може бути наповнена якимось конкретним змістом, зокрема, пов'язаним з нашою інтуїцією, естетичним почуттям, реаліями навколишнього світу . Однак, і включивши в систему нову аксіому, ми надалі з неминучістю знову зіштовхнемося з необхідністю поповнення вихідного аксіоматичного набору. Просто кажучи, що існувало із часів Евкліда надія довести логіку математики до такої досконалості, при якому вона повністю охопила б її єдиною формальною системою, виявилася принципово нездійсненною.

Використання очищеного природного газу як палива.

Якщо зрівняти теплотворні здатності різного палива, то з'ясується, що найменшою володіє буре вугілля, ледве вищою дрова, але найбільший володіє очищений природний газ. Початок застосування природного газу як паливо в 30-х роках 20 століття привело до різкого скорочення споживання інших видів палива,

зменшенню пожеж і отруєнь, викликаних продуктами згоряння бурого вугілля, дров і антрациту.

### **Прискорювач часток**

В 1932 році в лабораторії ім. Кавендіша Кембриджського університету у Великобританії був створений лінійний прискорювач заряджених часток, у якому траєкторії часток близькі до прямої лінії. Частки в прискорювачі рухаються у вакуумній камері; керування їхнім рухом (формою траєкторії) здійснюється магнітним (рідше - електричним) полем.

### **Ірен Жоліо-Кюрі. Штучна радіоактивність**

15 січня 1934 року французькі фізики – чоловік і дружина Фредерік (1900-1958) і Ірен (1897-1936) Жоліо-Кюрі надіслали в Паризьку Академію наук перше повідомлення про зроблений ними надзвичайно важливому для ядерної фізики відкритті явища наведеної, або штучної радіоактивності, що полягає в тому, взагалі говорячи не занадто радісному факті, що під дією радіоактивного опромінення початкові нерадіоактивні речовини можуть ставати радіоактивними. На наступний рік за це відкриття дружина і чоловік були визнані гідними Нобелівської премії й у такий спосіб гідно продовжили «сімейну традицію» – тому що в 1903 році мати й батько Ірен, Марія Склодовська-Кюрі і П'єр Кюрі, одержали Нобелівську премію по фізиці, а в 1911 році, Марія Склодовська-Кюрі, з 1906-го року вдова, була нагороджена Нобелівською премією по хімії. Фредерік Жоліо в 1926 році оженився на Ірен Кюрі й додав до свого прізвища знамените прізвище дружини.

### **Розподіл ядра. Отто Ган**

6 січня в 1939 року у виданому в Німеччині й широко читаючомуся в усьому світі науковому журналі «Naturwissenschaften» було опубліковано перше повідомлення німецьких радіо хіміків Отто Гана і його учня Фріца Штрассмана про виявлення ними барію в продуктах бомбардування урану повільними нейтронами. Цей результат, що швидко знайшов вірну інтерпретацію як епохальне відкриття супроводжуваного виділенням енергії розподілу ядер атомів урану, відразу ж дав старт «ядерним перегонам» учених-фізиків багатьох країн світу, плодами якої стали і ядерна зброя, і атомна енергетика, і Нобелівська премія Гана, присуджена йому в 1944 році.

### **Нейлон**

В 1934 році американський хімік Уоллес Хьюм Карозерс синтезував поліамідну смола – високомолекулярне з'єднання, на основі якого ним була розроблена технологія одержання волокна, що одержало фірмову назву «нейлон» (англійське написання – «nylon», так що, звичайно, більш правильно було б вимовляти «найлон»). Зовні схоже на шовкове, нейлонове волокно значно перевершує його по механічній міцності, еластичності, тепло – і морозостійкості,

стійкості до дії вологи й пранню, а також по здатності до фарбування. 24 жовтня 1939 року в у місті Уїлмінгтоні (що в штаті Делавер, з початку 19 століття «удільному князівстві» найбагатшого сімейного клану Дюпонів), де перебуває центральна лабораторія компанії «Дюпон де Немур», у якій працював Карозерс, уперше з'явилися в продажі нейлонові панчохи, зовсім невід'ємна приналежність сучасного жіночого туалету.

### **Кисневий конвертер**

В 1936 році радянський інженер Н.І. Мозговий удосконалив конверторний процес виробництва, уперше застосувавши для продувки чавуну кисень, тим самим докорінно змінивши технологію конвертерного виробництва. Метал, одержаний таким чином, по якості став рівноцінним мартенівській сталі, собівартість знизилася на чверть, а продуктивність піднялася на третину. У другій половині 20 століття киснево-конвертерний спосіб виробництва сталі став основним.

### **«Машина Тьюрінга»**

В 1936 році англійський математик і логік Алан Матісон Тьюрінг ( 1912-1954) висунув концепцію автоматичного пристрою, здатного виконати будь-яке мислиме обчислення. Це гіпотетичний обчислювальний пристрій, що одержав в інформатиці й теорії автоматів назва «машини Тьюрінга», складається з нескінченно довгої стрічки, головки для зчитування й запису й керуючого головкою механізму, здатного зберігати команди й на них «озиватися». Відповідно до інформації на стрічці й командами керуючого механізму головка переміщається вперед або назад, зчитує або записує на стрічку відповідні символи. Результат обчислень зчитується зі стрічки, коли машина зупиняється. Якщо машина не може зупинитися, це означає, що задане обчислення нездійсненне.

Машина Тьюрінга – ідеалізована модель логічної структури будь-якого обчислювального пристрою, і як така вона містить у собі принципову схему всіх електронних цифрових обчислювальних машин – від перших примітивних пристроїв 40-х років до «персоналок» і суперкомп'ютерів сьогодення: пристрій уведення-виводу – стрічка й головка, пам'ять – команди, збережені керуючим пристроєм, центральний процесор - керуючий механізм. Не дивно тому, що машина Тьюрінга зіграла й продовжує відігравати найважливішу роль у теорії комп'ютерів.

До концепції своєї машини Тьюрінг прийшов не замислюючись ні про які комп'ютери. Відправним пунктом його міркувань була знаменита теорема Геделя про неповноту математики, що декларує, що при будь-якому наборі вихідних аксіом існують твердження, які не можна віднести ні до щирих, ні до помилкового. Тьюрінг розробив алгоритмічний метод виявлення подібних тверджень на предмет їхнього виключення з математики. Цей метод він втілював у гіпотетичній машині, що, однак, практичного рішення поставленої задачі не давала: у випадку «дефектних» тверджень вона повинна була працювати нескінченно довго, тоді як відповідь на питання, природно, має сенс лише тоді, коли він отриманий за кінцевий проміжок часу.



## **Вертоліт**

В 30-х роках 20 століття Ігор Сікорський, американський винахідник російського походження активно працював над створенням машини з вертикальним зльотом. В 1939 зробив перший політ вертоліт VS-300 конструкції Сікорського. Його вдосконалена модель XR-4 зробила в травні 1942 поле зі Стратфорда (шт. Коннектикут) у Дейтон (шт. Огайо), покривши відстань більше 1,2 тисяч км.

## **T-34**

T-34, найменування середнього радянського танка, що застосовувався у Великій Вітчизняній війні. Маса 28,5 (32) т, екіпаж 4-5 чоловік, пушка 76 (85) мм, 2 кулемети, броня 45-90 мм, швидкість до 55 км/ч. Був кращим танком періоду 2-ї світової війни (з 1940). T-34 - кращий танк Великої Вітчизняної війни був створений на Харківському тракторному заводі в 1939 році групою радянських конструкторів під керівництвом Михайла Ілліча Кошкіна.

## **Створення радіотелескопа**

Радіохвилі, що приходять на Землю з космосу, 1932 року відкрив американський радіоінженер Карл Янський, що займався дослідженням атмосферних перешкод радіоприйому. В 1937 році інший американський радіоінженер – Гроут Ребер побудував біля свого будинку в Чікаго перший у світі параболічний радіотелескоп (діаметром 9,5 м і с фокусною відстанню 6 м) і відразу ж підтвердив відкриття Янського. В 1942 році Ребер опублікував першу радіокарту неба, а в 1944 році першим повідомив про радіовипромінювання Сонця.

## **"Наукове розуміння світу"**

У 20-30-х рр. ХХ ст. значний внесок у формулювання та розробку стандартної концепції науки здійснили представники Віденського кола, що організаційно згуртувалися навколо маніфесту "наукове розуміння світу" в 1922 році при кафедрі "філософії індуктивних наук" Віденського університету (керівник кафедри Моріц Шлік). "Коло" безпосередньо складалося з філософів, фізиків та математиків: Р. Карнапа, О. Нейрата, К. Геделя, Г. Гана, Ф. Вайсмана, Г. Фейгля. У засіданнях "кола" приймали участь: Г. Рейхенбах, А. Айєр, К. Поппер, Е. Нагель. За основоположну модель науки представники "кола" визнавали концепцію "логічного атомізму" розроблену Бертраном Расселом та його учнем Людвігом Вітгенштейном для здійснення "логічного аналізу мови науки".

Тезу про наукову необґрунтованість цієї концепції було проголошено після виявлення її неспроможності критично віднестися до умов та міри прийнятності своєї власної реконструкції. А саме: "стандартна модель" визнаючи себе науковою, не здатна зробити себе самою предметом емпіричного (фактуального) дослідження.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аптекарь М.Д., Рамазанов С.К., Фрегер Г.Е. История инженерной деятельности. – К.: Аристей, 2003. – 568 с.
2. Артоболевский И.И. Очерки истории механики России. – М.: Наука, 1978. – 383 с.
3. Боголюбов А.Н. Творения рук человеческих: Естественная история машин. – М.: Знание, 1998. – 176 с.
4. Гудожник Г.С. Научно-технический прогресс: Сущность. Основные тенденции. – М.: Наука, 1970. – 270 с.
5. Зворышкин А.А., Осьмова Н.И., Чернышев В.И., Шухардин С.В. История техники. – М.: Издательство социально-экономической литературы. – 1962. – 772с.
6. Из истории отечественной техники: Исследования и материалы. Под. ред. Данилевского В.В. – Ленинград.: Ленинградское газетно-журнальное и книжное издательство, 1950. – 248 с.
7. Кириллин В.А. Страницы истории науки и техники. – М.: Прогресс, 1986. – 560 с.
8. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Машиностроение, 1986. – 382 с.
9. Мащенко И. Столетие радиосвязи: 12 дек. 2001г. – 100 лет со дня первой передачи радиосигнала через Атлантиду // Зеркало недели. – 2001 – №49 – 21 с.
10. Мелещенко Ю.С. Техника изакономерности ее развития. – М.: 1988.
11. Неврод В.З. 3 історії науки. // Наука і суспільство 1998 – № 11 – 12 – с. 23 – 28.
12. Поликарпов В.С. История науки и техники Учебн. пособ. – Ростов-н/Д.: Феникс, – 1998. – 352 с.
13. Прокопович А.Е. Технический прогресс в станкостроении. – М.: Машиностроение, 1987. – 196 с.
14. Самарин В.В. Техника и общество: Социально-философские проблемы развития техники. – М.: Мысль, 1998. – 140с.
15. Советская историческая энциклопедия в 14 т., том 12 / Под. ред. Жукова Е.М. – М.: Советская энциклопедия, 1966. – 1000 с.
16. Стельмах С.П. Інтеграційні процеси в європейській історичній науці наприкінці ХІХ – на початку ХХ ст. // Український історичний журнал. – 2005 № 5 – с. 18 – 28.
17. Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А. Философия науки и техники. – М.: Наука, 1995.
18. Энгельмамейер П.К. Технический итог XIX века. – М.: Наука, 1976. – 468 с.
19. Lerner R.E., Meacham S., Burns E. Western Civilszation. – N. Y., 1998. – 642 p.
20. Абачиеп С.К. Концепции современного естествознания (в 2-х частях). Балашиха. – 1988. – I ч.: 150 с, II ч.: 190 с.
21. Ампер А. Электродинамика. М.: ИЛ. – 1954. – 369 с.
22. Античная цивилизация. – М.: Наука. – 1973. – 269 с.
23. Аристотель. Соч. В 4-х тт. Т. 4. – М.: Мысль. – 1983. – 828 с.
24. Арцимович Л.А. Управляемые термоядерные реакции. М.: Гос. изд. физ.-мат. лит. – 1961. – 468 с.

25. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы. М.: Госатомиздат. – 1963. – 192 с.
26. Бэрнал Дж. Возникновение жизни. – М.: Мир. – 1969. – 391 с.
27. Боголюбов А.Н. Математики и механики. Биографический справочник. – Киев: Наук, думка. – 1983. – 638 с.
28. Боннар А. Греческая цивилизация. Т. 1. От Илиады до Парфенона. – М.: Искусство. – 1992. – 269 с.
29. Боннар А. Греческая цивилизация. Т. 3. От Еврипида до Александрии. – М.: Искусство. – 1992. – 400 с.
30. Вавилов С.И. Исаак Ньютон. – М.: Изд. АН СССР. – 1961. – 294 с.
31. Ван-дер-Вардеи Б.Л. Пробуждающаяся наука: Математика древнего Египта, Вавилона и Греции. – М.: Наука. – 1959. – 337 с.
32. Велихов Е.П., Кадомцев Б.Б. Управляемый термоядерный синтез / В кн. Наука и человечество. – М.: Знание. – 1978. – с. 243 – 251.
33. Гарднер М. Теория относительности для миллионов. – М.: Атомиздат. – 1965. – 191с.
34. Гончаров В.В. Зарождение ядерной энергетики / В сб.: Академик Игорь Васильевич Курчатов. – М.: Знание. – 1981. – 64 с.
35. Горелов А.А. Концепции современного естествознания. – М.: Центр. – 1998. – 208 с.
36. Горфункль А.Х. Философия эпохи Возрождения. – М.: Высш. школа. – 1980. – 368 с.
37. Григорьян А.Т. Механика от античности до наших дней! – М.: Наука. – 1971. – 311 с.
38. Грушевицкая Т.Г., Садохии А.П. Концепции современного естествознания. – М.: Высш. школа. – 1988. – 176 с.
39. Гуковский М.А. Механика Леонардо да Винчи. – М. – Л.: Изд. АН СССР. – 1947. – 815 с.
40. Гумилевский Л.И. Вернадский. – 3-е изд. – М.: Мол. гвардия. – 1988. – 255 с.
41. Гуревич М.Э., Чернин А.Д. Происхождение галактик и звезд. – М.: Наука. – 1983. – 191 с.
42. Гутер Р.С, Полунов Ю.Л. Джироламо Кардано. – м.: Знание. – 1980. – 192 с.
43. Дарвин Ч. Происхождение видов путем естественного отбора. – м.: Просвещение. – 1987. – 384 с.
44. Детлаф А.А. Яворский б. м. Курс физики. – м.: Высш. школа. 1989. – 608 с.
45. Дягилев Ф. м. Концепции современного естествознания. – м.: Ин-т междунар. права и экономики. – 1998. – 192 с.
46. За вельский Ф.С. Время и его измерение. – М: Наука. – 1987. – 191 с.
47. Замечательные ученые / Под ред. С.П. Капицы. – М.: Наука. – 1980. – 192 с.
48. Зигель Ф.Ю. Неисчерпаемость бесконечности. – М.: Детлит. – 1984. – 253 с.
49. Зонн В. Галактики и- квазары. – М: Мир. – 1978. – 247 с.
50. История первобытного общества. Эпоха классообразования. – М.: Наука. – 1988. – 568 с.
51. История Средних веков. Т. 1. – М.: Госполптнздат. – 1952. – 748 с.
52. Карпенков С.Х. Основные концепции естествознания. – Учеб. пособие для вузов. – М.: Культура и спорт: ЮНИТИ. – 1998. – 208 с.

53. Карцев В.П. Максвелл. – М.: Наука. – 1974. – 417 с.
54. Климишин И.А. Астрономия наших дней. – м.: Наука. – 1980. – 454 с.
55. Климишин И.А. Релятивистская астрономия. – М.: Наука. – 1988. – 207 с.
56. Кобзарев И. 10. Ньютон и его время. – М.: Знание. – 1978. – 63 с.
57. Компаец А.С. Что такое квантовая механика? – М.: Наука. – 1977. – 214 с.
58. Концепции современного естествознания / Под ред. С. И-рамыгина. – 2-е изд. – Ростов-на-Дону: Феникс. – 1999. – 576 с.
59. Концепции современного естествознания. Учебник для вузов / В.Н. Лаврипсик, В.П. Ратников, В.Ф. Голубь и др. – М.: Культура и спорт: ЮНИТП – 1997. – 271 с.
60. Константинов А.В. Основы эволюционной теории. – Минск: Высш. школа. – 1979. – 399 с.
61. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. Учебное пособие. – М.: Просвещение. – 1982. – 418 с.
62. Кузнецов Б.Г. Пути физической мысли. – М.: Наука. – 1968. – 348 с.
63. Кузнецов Б.Г. Развитие научной картины мира в физике XVII – XVIII вв. – М.: Изд-во АН СССР. – 1955. – 344 с.
64. Кузнецов Б.Г. Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной пауки. – М.: Наука. – 1966. – 518 с.
65. Лаплас П.С. Изложение системы мира. – Л.: Наука. – 1982. – 267 с.
66. Лосев А.Ф. История античной эстетики. Ранний эллинизм. – М.: Искусство. – 1979. – 815 с.
67. Лукьянов С.О. Горячая плазма и управляемый термоядерный синтез. – М.: Наука. – 1975. – 407 с.
68. Механика и физика второй половины XVIII в. – М.: Наука. – 1978. – 199 с.
69. Мигдал А.Б. Квантовая физика и Нильс Бор. – М.: Знание. – 1987. – 64 с.
70. Мултановский В.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики. – М.: Просвещение. – 1991. – 320 с.
71. Надточаев А.С. Философия и наука в эпоху античности. – М.: Изд-во МГУ. – 1990. – 286 с.
72. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания. – М.: Гардарика. – 1990. – 475 с.
73. Нарликар Д. Гравитация без формул. – М.: Мир. – 1985. – 147 с.
74. Опарин А.И. Материя – жизнь – интеллект. – М.: Наука. – 1977. – 205 с.
75. Пайерлс Р.Е. Законы природы. – М.: Гос. изд. техн.-теор. лит. – 1957. – 339 с.
76. Парамонов А.А. Дарвинизм. – М.: Просвещение. – 1978. – 335 с.
77. Пономарев Л.И. Под знаком кванта. – М.: Наука. – 1989. – 368 с.
78. Прометей: Ист.-биогр. альм. сер. "Жизнь замечат. людей". Т. 15. Владимир Иванович Вернадский: Материалы к биографии. – М.: Мол. гвардия. – 1988. – 190 с.
79. Редги Т. Этюды о Вселенной. – М.: Мир. – 1988. – 190 с.
80. Роуз Д., Кларк М. Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции. М. Госатомиздат. – 1963. – 487 с.
81. Северцов А.С. Введение в теорию эволюции. – М.: Изд-во МГУ. – 1986. – 320 с.
82. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 1. Механика. – 3-е изд. – М.: Наука. – 1989. – 576 с.

83. Смородинский Я. А. Частицы, кванты, волны. – М.: Знание. – 1973. – 63 с.
84. Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. – М.: Наука. – 1977. – 301 с.
85. Томилин А.Н. Занимательно о космогонии. – М.: Мол. гвардия. – 1975. – 207 с.
86. Фейнман Р. Характер физических законов. – М.: Наука. – 1987. – 160 с.
87. Физика космоса (маленькая энциклопедия). – М.: Сов. энциклопедия. – 1976. – 655 с.
88. Филипченко Ю.А. Эволюционная идея в биологии. – М.: Наука. – 1977. – 227 с.
89. Фокс С, Дозе К. Молекулярная эволюция и возникновение жизни. – М.: Мир. – 1975. – 374 с.
90. Фролов В.П. Гравитация, ускорение, кванты. – М.: Знание. – 1988. – 64 с.
91. Чернил А.Д. Звезды и физика. – М.: Наука. – 1984. – 157 с.
92. Чернин А.Д. Физика времени. – М.: Наука. – 1987. – 221 с.
93. Шкловский И.С. Вселенная. Жизнь. Разум. – М.: Наука. – 1984. – 351 с.
94. Шкловский И.С. Проблемы современной астрофизики, г.– М.: Наука. – 1982. – 223 с.
95. Шмальгаузен И.И. Проблемы дарвинизма. – Л.: Наука. – 1969. – 493 с.
96. Штейнман Р.Я. Пространство и время / БСЭ. 5-е изд. – Т. 21. – с. 117 – 120.
97. Эволюция / Под ред. В.М. Мины. – М.: Мир. – 1981. – 264 с.
98. Эйнштейн А. Физика и реальность. – М.: Наука. – 1965. – 359 с.
99. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. – М.: Наука. – 1965. – 327 с.
100. Яблоков А.В., Юсуфов А.Г. Эволюционное учение (дарвинизм). – М.: Высш. школа. – 1989. – 335 с.





Навчально-методична література

Шимчук Г.В., Маєвський О.В., Назаревич О.Б.

**Методичні вказівки до виконання  
практичних робіт  
з дисципліни**

# **«ІСТОРІЯ НАУКИ І ТЕХНІКИ»**

**для студентів освітнього рівня «бакалавр»  
спеціальності 125 «Кібербезпека»**

Комп'ютерне макетування *А.П. Катрич*

Формат 60x90/16. Обл. вид. арк. 8,74. Тираж 10 прим. Зам. № 2646

Видавництво Тернопільського національного  
технічного університету імені Івана Пулюя.  
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.