

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

МЕТОДОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ФІЗИЧНИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Частина I

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів» та доктор філософії за освітньою програмою «Фізика» спеціальності 104 Фізика та астрономія

Укладачі: Л.П. Пономаренко, О.Ю. Салюк

Електронне мережеве навчальне видання

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

2024

УДК 001.891(075.8)

Укладачі: *Пономаренко Лілія Петрівна*, канд. фіз.-мат. наук, доц.
Салюк Ольга Юрійвна, д-р. фіз.-мат. наук, проф.

Рецензент: *Товстолицький О.І.*, член-кор. НАН України, д-р. фіз.-мат. наук,
проф., директор Інституту магнетизму НАН України та МОН
України

Відповідальний редактор *Решетняк С.О.*, д-р. фіз.-мат. наук, проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 6.03.2025 р.)
за поданням вченої ради фізико-математичного факультету
(протокол № 12 від 13.11.2024 р.)*

Методологія та організація фізичних наукових досліджень. Частина I [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів» та доктор філософії за освітньою програмою «Фізика» спеціальності 104 Фізика та астрономія / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л.П. Пономаренко, О.Ю. Салюк. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 84 с.

Навчальний посібник «Методологія та організація фізичних наукових досліджень. Частина I», призначений для студентів фізико-математичних факультетів спеціальності 104 Фізика та астрономія і присвячений вивченню науки як культурного феномену, сучасного стану та методологічних основ наукового пізнання. У посібнику висвітлюються ключові етапи розвитку науки, зокрема фізики, аналізуються тенденції диференціації та інтеграції наукових знань. Окремо розглянуто фізичні дослідження в Україні, що дозволяє студентам краще зрозуміти наукові традиції та досягнення українських учених. Посібник має допомогти студентам усвідомити роль фізичної науки в сучасному світі та оволодіти методами досліджень для подальшої професійної діяльності. Навчальний посібник може бути корисним також для студентів та викладачів інших фізичних та технічних спеціальностей вищих технічних навчальних закладів, класичних та педагогічних університетів.

УДК 001.891(075.8)

Реєстр. № НП 24/23-157. Обсяг 3,7 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	3
Розділ 1. Наука як культурний феномен	7
1.1 Еволюція науки.....	7
1.2 Диференціація та інтеграція як закономірні тенденції розвитку науки.	12
1.3 Етапи розвитку фізичної науки	15
1.4 Фізичні дослідження в Україні	19
Список використаної літератури	24
Розділ 2. Наукова діяльність в галузі фізики в контексті сучасного стану науки	26
2.1 Становлення колективної наукової діяльності з фізики в світі та Україні.....	26
2.2 Університетська та академічна фізична наука в Україні.....	40
2.3 Організація наукової діяльності в галузі фізики в КПІ ім. Ігоря Сікорського	50
2.4 Шляхи розвитку української науки	54
Список використаної літератури	62
Розділ 3. Методологічні основи наукового пізнання	64
3.1 Поняття методу та методології наукових досліджень	64
3.2 Філософські та загальнонаукові методи наукового дослідження	68
3.3 Системний підхід і системний аналіз. Моделі у науковому дослідженні.	72
3.4 Спеціальні методи наукового дослідження.....	82
Список використаної літератури.....	84

МЕТОДОЛОГІЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ФІЗИЧНИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ВСТУП

Наука – це один із найважливіших аспектів розвитку людської цивілізації, що охоплює не лише технологічний прогрес, але й формування світоглядних і культурних цінностей. Вона виконує ключову роль у пізнанні світу, дає відповіді на фундаментальні питання, що стосуються природи, суспільства та самого людства. Наукові дослідження сприяють розкриттю законів природи, формуванню теорій та створенню інновацій, які змінюють наше повсякденне життя. Фізико-математичні науки, як основа природничо-наукового пізнання, мають особливе значення у цьому процесі. Вони забезпечують розуміння фундаментальних явищ, які лежать в основі всіх сучасних технологій, і є рушієм науково-технічного прогресу.

Пропонований навчальний посібник створено спеціально для студентів фізико-математичних факультетів, з метою поглиблення їх знань про наукову діяльність, її історію, сучасні тенденції та методологічні підходи. Студентам важливо зрозуміти не лише теоретичні аспекти фізико-математичних дисциплін, але й досягнути їхню роль у ширшому контексті розвитку науки і культури, а також ознайомитися з організаційними принципами сучасної наукової діяльності. Цей посібник покликаний допомогти майбутнім науковцям усвідомити своє місце в науковій спільноті, зрозуміти закономірності розвитку науки та опанувати основи наукового пізнання.

Перший розділ посібника присвячений науці як культурному феномену. Наука ніколи не розвивалася у вакуумі, вона завжди була тісно пов'язана з культурними, економічними та соціальними умовами конкретних історичних епох. У цьому розділі розглядається еволюція науки, основні тенденції її

розвитку, зокрема диференціація та інтеграція наукових знань. Спеціальна увага приділяється розвитку фізичних наук, які не тільки внесли суттєвий внесок у розуміння світу, але й стали основою для сучасної техніки та технологій. Окремо висвітлюється історія фізичних досліджень в Україні, де традиції науки тісно перепліталися з політичними та соціальними змінами.

Другий розділ зосереджений на науковій діяльності в галузі фізики в контексті сучасного стану науки. Нині наука стала міжнародною, колективною і високоспеціалізованою діяльністю, що потребує тісної кооперації між науковцями різних країн і дисциплін. Студенти отримають можливість ознайомитися з особливостями організації колективної наукової діяльності у світі та в Україні, а також із роллю академічних та університетських наукових установ у підготовці кадрів і реалізації наукових досліджень. Особлива увага приділяється організації наукової діяльності в галузі фізики в КПІ ім. Ігоря Сікорського – одному з провідних технічних університетів України. Це дозволить студентам зрозуміти сучасні виклики і перспективи, з якими стикається наука, а також їхню роль у вирішенні глобальних проблем.

Третій розділ присвячений методологічним основам наукового пізнання. Наукове дослідження – це складний процес, що потребує чіткого методологічного підходу. У цьому розділі пропонується ознайомитися з поняттями методу та методології, філософськими та загальнонауковими методами досліджень, акцентуючи увагу на прикладах із фізики. Зокрема, буде розглянуто системний підхід, який є основою для будь-якого сучасного наукового дослідження, а також спеціальні методи, що використовуються у фізико-математичних науках. Особливу увагу приділено моделюванню та системному аналізу як ключовим інструментам у дослідженнях складних систем. Володіння цими методами дозволить студентам проводити ефективні дослідження, робити точні прогнози та досягати значних наукових результатів.

На завершення, пропонований навчальний посібник покликаний не лише дати студентам знання про історію, сучасний стан і методи наукових досліджень, але й стимулювати їх до активної участі в науковій діяльності. Наука є динамічною і швидко розвивається, тому майбутні дослідники повинні бути готові до постійного навчання, вдосконалення своїх знань і навичок, а також до активної взаємодії в науковому середовищі. Укладачі сподіваються, що цей посібник стане надійним помічником на цьому шляху і відкриє нові горизонти для професійного та особистісного розвитку.

Розділ 1. Наука як культурний феномен

1.1 Еволюція науки

Наука – це особлива форма людської діяльності, яка склалася історично і має своїм результатом цілеспрямовані відібрані факти, гіпотези, теорії, закони і методи дослідження. Наука здатна виходити за межі певного історичного типу практики і відкривати для людства нові предметні світи, які можуть стати об'єктами практичного освоєння лише на майбутніх етапах розвитку цивілізації. Однією із головних особливостей науки є доведеність істинності наукових знань. Основна мета науки – отримання нових знань і використання їх у практичному освоєнні світу.

Наука є складною і багатомірною, тому однозначно визначити її неможливо. Найбільш поширеними є два визначення науки, першим із яких є розгляд її як особливого виду пізнавальної діяльності, що спрямований на вироблення об'єктивних, системно організованих знань про світ, а другий – розгляд її як соціального інституту, що забезпечує функціонування наукової пізнавальної діяльності.

Термін «science» походить від латинського слова «scientia», що безпосередньо перекладається як «знання». У класичному розумінні «scientia» – це знання в загальному сенсі. Хоча слово «science» саме по собі є латинським, концептуальна основа систематичного та емпіричного дослідження бере початок у давньогрецькій філософії. Грецьке слово «episteme» (ἐπιστήμη) також означає знання, особливо знання, яке можна демонструвати і логічно обґрунтовувати.

У середні віки «scientia» використовувалося в контексті схоластичної філософії для позначення знань, які могли бути логічно і систематично організовані (теологія, філософія, медицина та ін.).

Періоди Ренесансу та Просвітництва суттєво розширили використання терміну. Вчені та філософи почали наголошувати на емпіричних доказах та систематичних експериментах як основі для знань, що сприяло формуванню сучасного наукового методу.

До XIX-го ст. «science» еволюціонувала до позначення систематичного вивчення природного світу. Цей період ознаменував професіоналізацію та спеціалізацію різних наукових дисциплін, таких як фізика, хімія, біологія та астрономія.

Сучасне розуміння науки підкреслює прагнення до знань через емпіричні докази, перевірку гіпотез та розробку теорій для пояснення природних явищ.

Поняття «наука» на перший погляд здається простим, але має важливі значення та наслідки у різних дисциплінах, культурах та епохах. З'ясувати сутність науки означає простежити еволюцію думки та методів, які сформували наше розуміння світу природи та людини.

Наскільки поняття «наука» може мати різні визначення в залежності від контексту та області дослідження демонструють тлумачення поняття, наведені у популярних інтернет джерелах, підручниках, монографіях, наукових статтях, висловлюваннях відомих учених та ін.

Згідно з Вікіпедією, наука – це сфера діяльності людини, спрямована на отримання (вироблення і систематизацію у вигляді теорій, гіпотез, законів природи або суспільства тощо) нових знань про навколишній світ. Сайти, присвячені науці та її популяризації описують науку як особливу сферу цілеспрямованої діяльності як на отримання нових знань (головна мета), так і на розробку нових методів їх отримання. В одному із числених підручників для вузів зазначено, що наука становить сутність людського знання. Вона є сукупністю знань, впорядкованих згідно з певними принципами, реальним зв'язком суджень, передбачень і проблем дійсності та окремих її сфер чи аспектів.

На сайті Національного наукового фонду (National Science Foundation) зазначається, що наука – це пошук знань про природний світ шляхом систематичної методології, заснованої на доказах.

Словник Merriam-Webster підкреслює, що наука – це систематичне вивчення фізичного і природного світу через спостереження та експеримент.

Видатний філософ XX ст. Карл Поппер зазначав: наука – це накопичувальне та прогресивне прагнення, де теорії розробляються, перевіряються та вдосконалюються на основі емпіричних доказів та логічних міркувань. Т. Кун у роботі «Структури наукових революцій» підкреслював, що наука – це інтелектуальна та практична діяльність, що охоплює систематичне вивчення структури і поведінки фізичного та природного світу шляхом спостережень та експериментів».

За словами відомого фізика Карла Сагана, наука — це спосіб мислення набагато більше, ніж сукупність знань... суть науки – у парадоксальному поєднанні двох протилежностей: відкритості новим ідеям, навіть найбезглуздішим на вигляд і неймовірним, і нещадна скептична перевірка всіх ідей, і старих, і нових. Таким шляхом від нісенітниць відпадають цінні істини – спільним зусиллям багатьох людей, поєднанням креативного та скептичного мислення. Це і є наука. І дві протилежні тенденції тримають її в тонусі.

Видатний фізик Річард Фейнман тлумачив поняття наука так: наука може означати одну з трьох речей або всі три разом: особливий метод дослідження, масив знань, отриманих у результаті досліджень, або процес створення нових технологій. Іноді під наукою розуміють технологію, оскільки відкриття та їх використання часто йдуть пліч-о-пліч.

Наведені визначення дозволяють виокремити наступні загальні складові, притаманні науці: система знань, що називається наукою; науково-дослідницька діяльність; система соціальних інституцій і відносин, за допомогою яких

здійснюється наукова діяльність. Тому в широкому розумінні наука – сфера дослідницької діяльності, спрямована на виробництво нових знань про природу, суспільство й мислення, яка містить усі умови й моменти цього виробництва: вчених із їх знаннями та вміннями, кваліфікацією та досвідом, із розподілом і кооперацією наукової праці; наукові установи, дослідне обладнання; методи науково-дослідницької роботи, понятійно-категоріальний апарат, систему наукової інформації, а також усю сукупність наявного наукового знання, що виконує роль передумови, засобу чи результату наукового виробництва. За своєю суттю наука – це систематичний пошук знань шляхом спостереження, експериментування та раціонального аналізу. Це визначення охоплює суть наукового дослідження, яке ґрунтується на епістемологічних, методологічних та онтологічних вимірах.

Епістемологічні корені науки сягають стародавніх греків та їхнього прагнення зрозуміти природний світ за допомогою розуму та спостережень. Акцент Арістотеля на емпіричних спостереженнях і класифікації заклав основу для того, що пізніше стало науковим методом. Однак лише в епоху Просвітництва почала формуватися сучасна концепція науки, коли такі діячі, як Френсіс Бекон і Рене Декарт, виступали за систематичний підхід до дослідження, заснований на емпіричних доказах і логічних міркуваннях. Саме такий підхід, розвинений у працях Галілео Галілея та його послідовників, створив основу для формування фізики як науки.

Методологічні принципи ґрунтуються на науковому методі, який виступає процедурною основою, за допомогою якої здійснюється наукове дослідження. Хоча між дисциплінами та парадигмами досліджень існують відмінності, основні принципи наукового методу залишаються послідовними: спостереження, формулювання гіпотези, експериментування, збір даних, аналіз та інтерпретація.

Окрім епістемологічної та методологічної основи, наука також відповідає на онтологічні питання, що стосуються природи реальності та обсягу людського знання. Центральним у цьому є відмінність між емпіричними явищами – спостережуваними, вимірними аспектами природного світу – та теоретичними побудовами, які можуть виходити за межі прямого спостереження, але тим не менш відіграють вирішальну роль у наукових поясненнях.

Наука також є соціальним і культурним феноменом, сформованим соціальними нормами, інституційними структурами та історичними випадками. Актуальним є вивчення того, як наукові знання виробляються, поширюються та легітимізуються в практичних спільнотах, підкреслюючи роль соціальних мереж, експертної оцінки та наукових установ у формуванні траєкторії наукового дослідження.

Незважаючи на свою значущість, визначення науки залишається предметом дискусій і суперечок, відображаючи різноманітність дисциплін, методологій і світоглядів, охоплених виробництвом наукових знань.

Проте розмежування між наукою та ненаукою не завжди є чітким, що породжує дискусії щодо статусу певних напрямів досліджень. Такі галузі, як астрологія, парапсихологія, теологія та ін. часто претендують на наукову легітимність, незважаючи на відсутність емпіричних доказів або дотримання методологічної строгості. Такі суперечки підкреслюють важливість критеріїв, які розрізняють справжню науку та псевдонауку на основі застосування емпіричних доказів та перевіреності.

Більше того, кордони між наукою та іншими формами виробництва знань, є проникними та підлягають історичним, культурним і дисциплінарним змінам. Зростання міждисциплінарних досліджень, наприклад, розмило межі між традиційними академічними дисциплінами, сприяючи співпраці, яка виходить за рамки дисципліни, і збагачує наше розуміння складних явищ.

На науку впливає також широкий спектр суспільних сил, включаючи політичні ідеології, економічні інтереси та культурні цінності. У той же час наука глибоко впливає на суспільство, формуючи державну політику, технологічні інновації та культурне ставлення. Застосування наукових знань призвело до трансформаційних досягнень у медицині, сільському господарстві, транспорті, комунікації та охороні навколишнього середовища, поліпшивши якість життя мільярдів людей у всьому світі. Однак ці досягнення також породжують етичні, екологічні та соціальні дилеми, викликаючи дискусії щодо таких питань, як генна інженерія, зміна клімату, штучний інтелект, розповсюдження ядерної зброї та ін.

1.2 Диференціація та інтеграція як закономірні тенденції розвитку науки

Еволюція науки характеризується динамічною взаємодією між диференціацією та інтеграцією, двома взаємодоповнюючими процесами, які спонукають до прогресу, інновацій та зміни парадигми в нашому розумінні світу природи. Диференціація означає спеціалізацію та диверсифікацію наукових дисциплін, що призводить до появи окремих галузей дослідження з власними методологіями, теоріями та сферами знань. Інтеграція, з іншого боку, передбачає синтез та об'єднання різноманітних галузей знань, сприяючи міждисциплінарній співпраці та цілісним підходам до складних проблем.

Диференціація – це природна тенденція розвитку науки, яка зумовлена потребою досліджувати та розуміти все більш спеціалізовані галузі знань. Науковці часто зосереджують свої зусилля на конкретних питаннях, явищах або методологіях, що призводить до появи окремих дисциплін і підгалузей у ширшому ландшафті науки. Цей процес спеціалізації дозволяє вченим глибше проникати в обрані ними галузі дослідження, розробляти спеціалізовані техніки,

теорії та методології, адаптовані до унікальних викликів і складності їхньої галузі.

У природничих науках диференціація визначила такі дисципліни, як фізика, хімія, астрономія, науки про Землю та ін., кожна з яких досліджує окремі аспекти природного світу, від фундаментальних законів матерії та енергії до структури та еволюції Всесвіту.

У той час як диференціація сприяє глибокому розумінню в конкретних сферах, вона також може створювати перешкоди для міждисциплінарної співпраці та спілкування, оскільки дослідники стають все більш спеціалізованими та закріпленими у своїх власних дисциплінах.

Процес диференціації в науці можна простежити до появи спеціалізованих дисциплін у більш широких областях натурфілософії та природної історії. У міру розширення наукових знань вчені почали зосереджувати свою увагу на конкретних явищах, або областях дослідження, що дало початок окремим галузям дослідження, таким як фізика, хімія, біологія та астрономія.

Із початком наукової революції у XVI – XVII ст. темпи диференціації прискорилися, оскільки нові відкриття та методології стимулювали розвиток спеціалізованих галузей. Такі дослідники як Галілео Галілей, Йоганн Кеплер, Ісаак Ньютон, Роберт Бойль та ін. заклали основи для появи сучасних наукових дисциплін: фізики, астрономії, хімії.

У XIX ст. відбулася подальша спеціалізація та фрагментація, оскільки прогрес у технології, приладах і методології сприяв дослідженню нових областей природознавства. Так, відкриття електромагнетизму та формулювання законів термодинаміки стали прикладом диверсифікації наукових знань, коли кожна галузь розробляла власні теоретичні основи, експериментальні методи та програми досліджень.

Надмірний акцент на спеціалізації може обмежити здатність науковців вирішувати комплексні проблеми, які вимагають аналізу багатьох дисциплін, підкреслюючи важливість інтеграції. Натомість інтеграція є додатковим процесом до диференціації, що включає синтез та інтеграцію різних частин знань для формування більш комплексного та цілісного розуміння складних явищ. Інтеграція сприяє міждисциплінарному співробітництву, обміну знаннями та розробці загальних уявлень, які виходять за рамки дисципліни. Поєднуючи ідеї із різних дисциплін, інтеграція дозволяє вченим вирішувати складні, багатогранні проблеми, які не можливо усвідомити в межах однієї галузі.

У фізичних науках інтеграція призвела до появи грандіозних об'єднуючих теорій і моделей. Наприклад загальна теорія відносності А. Ейнштейна призвела до об'єднання поняття простору, часу та гравітації. Ці інтегративні рамки представляють собою кульмінацію багатовікових наукових досліджень, об'єднуючи ідеї із різних галузей для формування єдиного розуміння світу природи.

Взаємодія між диференціацією та інтеграцією має глибокі наслідки для наукових досліджень, інновацій та просування знань. У той час як диференціація забезпечує глибину розуміння в конкретних областях, інтеграція сприяє міждисциплінарній співпраці та синтезу, дозволяючи вирішувати складні проблеми, які виходять за рамки конкретної дисципліни. В сукупності це сприяє створенню нових теорій, методологій та технологічних інновацій.

Наприклад, досягнення в таких галузях, як біотехнології, нанотехнології та обчислювальне моделювання, стали можливими завдяки інтеграції ідей, теорій і методів із біології, хімії, фізики та техніки. Міждисциплінарні дослідницькі ініціативи, такі як «Проект геному людини» та «Великий адронний колайдер», об'єднують учених різних наукових напрямів і сприяють вирішенню фундаментальних питань генетики, фізики елементарних частинок і космології.

Еволюція науки – це динамічний процес, який характеризується як диференціацією, так і інтеграцією – двома взаємодоповнюючими тенденціями, які спонукають до зростання та диверсифікації знань. Диференціація стосується спеціалізації та фрагментації наукових дисциплін на окремі частини, кожна з яких має власні методології, теорії та сфери знань. Інтеграція, з іншого боку, передбачає синтез і конвергенцію різноманітних дисциплін, сприяння міждисциплінарній співпраці та обміну ідеями.

Історія науки багата прикладами міждисциплінарної співпраці та взаємозбагачення, від поєднання фізики та хімії у вивченні квантової механіки до інтеграції біології, хімії та фізики в галузі біофізики. Розвиток молекулярної біології, наприклад, об'єднав фізиків, хіміків, генетиків, біохіміків та сприяв розумінню молекулярної основи життя, структури та функції ДНК.

У XX ст. поява теорії систем та кібернетики підкреслила взаємозв'язок природних явищ і потребу в міждисциплінарних підходах до розуміння складних систем. Такі вчені, як Норберт Вінер, Людвіг фон Берталанфі та Мюррей Гелл-Манн, були піонерами у вивченні складних систем, наголошуючи на важливості циклів зворотного зв'язку, емерджентних властивостей і самоорганізації в природних і соціальних системах.

Крім того, диференціація та інтеграція не є взаємовиключними, а скоріше взаємодоповнювальними тенденціями, які діють у тандемі, щоб стимулювати зростання та диверсифікацію наукових знань. Спеціалізація в межах дисциплін забезпечує основу досвіду та ретельності, тоді як інтеграція між дисциплінами сприяє співпраці, інноваціям та синтезу різноманітних точок зору.

1.3 Етапи розвитку фізичної науки

Становлення та розвитку фізичного знання – це не процес механічного накопичення знань. Фізиці властива своя внутрішня логіка розвитку. В історії

фізики відомо чимало фактів, подій, які вплинули на хід її розвитку. Якщо такі факти і події розмістити у хронологічному порядку, то з'явиться можливість простежити генезис основних фізичних ідей і теорій, їх взаємозв'язок, наступність і еволюцію, тобто здійснити періодизацію фізики. Чітка періодизаційна схема дозволяє зрозуміти структурні особливості науки, її рушійні чинники, зв'язок із суміжними дисциплінами.

Еволюцію фізики можна розглядати як чергування екстенсивних і інтенсивних періодів її розвитку. Якщо накопичені факти неможливо пояснити у межах існуючих теоретичних схем, відбувається радикальне зміна усталених уявлень, тобто, виникає, так звана, наукова революція. Вона дає початок розвитку нового етапу в науці, нових картин світу.

Нині фізика є надзвичайно розгалуженою галуззю знань і важко подати цілісну картину її розвитку. Однак, використовуючи обґрунтовану схему періодизації фізики, можна виокремити основні етапи її розвитку і побачити її внутрішню логіку.

Передісторія фізики (III тис. до н.е. – 1582)

Епоха ранніх цивілізацій (III тис. до н.е. – I тис. до н.е.)

Античність (VIII ст. до н.е. – V ст. н.е.)

Середні віки (VI ст. – XIV ст.)

Відродження (XV ст. – 1582)

Період становлення фізики (1583 – 1686)

Період класичної фізики (1687 – 1904)

Перший етап (1687 – 1860)

Другий етап (1861 – 1894)

Третій етап (1895 – 1904)

Період некласичної фізики (1905 – 1968)

Перший етап (1905 – 1931)

Другий етап (1932 – 1954)

Третій етап (1955 – 1968)

Період новітньої (постнеокласичної фізики) з 1969

Період виникнення і накопичення фізичних знань про окремі явища природи, виникнення окремих учень визначає передісторію фізики і хронологічно охоплює широкі межі від III тис. до н.е. – 1582, в які входять Античність, Середні віки, Відродження.

Нагромадження та узагальнення раціональних знань, зокрема у галузі фізики, розвиток категоріального апарату свідомості (поява абстрактного мислення) відбувалося у ранніх цивілізаціях. Сучасній науці відомо ще замало, щоб відтворити докладну і адекватну картину зародження фізичної науки. Проте з'являються нові відомості та уточнюються старі. Ми маємо багато фактів, які свідчать про існування, мабуть, далеко не примітивних знань у Давньому Єгипті, Ассирії, Вавилоні, Китаї. Так, поява ієрогліфів (Месопотамія, 4-3 тис. років до н.е.), а потім фонетичної писемності (2 тис. років до н.е.) визначила умови для виникнення механізмів передачі та зберігання інформації. Можна вважати, що становлення календаря, зокрема, перехід від місячного до сонячного, сприяло формуванню астрономічних знань.

Так, у Стародавньому Китаї використовували відомості про магнетизм, досить широко застосовували компас, знали деякі оптичні пристрої. Все це вказує на значні успіхи в оволодінні секретами природи.

Простежити генезис фізичних знань Стародавніх цивілізацій є надзвичайно складною задачею. Занадто розрізненими є відомі нам факти та узагальнення, оскільки вивченню досить віддалених у часі подій властивий ефект аберації дальності, який може принципово викривити подію.

Більш повна та систематична інформація про фізичні вчення нам відома, мабуть, тільки з часів Античності (VI ст. до н.е. – V ст. н.е.). У цей період виникли і набули розвитку фізичні вчення в Стародавній Греції.

Період становлення фізики як науки починається працями засновника точного природознавства Галілео Галілея. Експериментальні дослідження ізохронності коливань маятника, розпочаті 1853 р., можна вважати початком розвитку фізики як науки. Укорінення експериментального методу в фізичних дослідженнях сприяло створенню І.Ньютоном основи сукупності законів щодо можливості зрозуміти закономірності та особливості широкого кола фізичних явищ. Перша фізична картина світу як завершена система механіки була намічена у фундаментальній праці Ісаака Ньютона 1687 р. «Математичні начала натуральної філософії» (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*). Подальші роботи І. Ньютона та його послідовників Ж. Даламбера, Л. Ейлера, Ж. Ланранжа, У. Гамільтона, П. Лапласа та ін. визначили перший етап класичної фізики, який тільки наприкінці XIX ст. почав руйнуватися під дією нових фактів. Ці факти було неможливо пояснити у рамках теорій механіки. Початок другого етапу класичної фізики можна датувати 1861 р., в якому було опубліковано статтю Дж. Максвелла «Про фізичні силові лінії» («*On Physical Lines of Force*»). Дж. Максвелл створив строгу теорію електромагнітного поля, другу після ньютонівської механіки фізичну теорію. Подальший розвиток теорії Максвелла в працях Г. Герца, О. Хевісайда, Г. Лоренца та ін. визначив створення електродинамічної картини світу та привів до кардинальних змін у фізиці. Так, наприкінці XIX ст. – початку XX ст. фізики встановили низку фактів, які не пояснювались у рамках класичної фізики. Короткий період 1895 – 1904 рр. став етапом переходу до некласичної фізики, основу якої заклали спеціальна теорія відносності та квантова теорія. Некласична фізика веде свій початок від 1905 р., в якому було створено А. Ейнштейном спеціальну теорію відносності та

перетворено ідею Планка про квант енергії в теорію квантів світла. Відбувся відхід не тільки від класичних уявлень і понять, а й склалися умови для появи нової фізичної картини світу – квантово-релятивістської.

Період неklasичної фізики доцільно представити трьома етапами. Перший етап (1905 – 1931) характеризується поширенням ідей релятивізму і квантів та завершується створенням квантової механіки – третьої після І. Ньютона фундаментальної фізичної теорії. Другий етап (1932 – 1954) є етапом субатомної ядерної фізики і вказує на можливість вивчення нового рівня будови матерії, а саме атомного ядра. Третій етап (1955 – 1968) – етап суб'ядерної фізики (фізики елементарних частинок) і фізики космосу. Від 1955 р. фізики почали застосовувати експериментальні засоби для безпосереднього дослідження структури нуклона, що дозволило вивчати просторово-часову область суб'ядерного рівня (10^{-15} м). Завершення етапу доцільно віднести до 1968 р., який передував одержанню експериментальних доказів точкової структури нуклона, складовими якої виявилися нові фундаментальні частинки – кварки. Вже від 1968 р. починає формуватися новий погляд на будову речовини – з кварків і лептонів і взаємодій між ними, відбувається перехід на новий рівень вивчення матерії (10^{-18} м). На цьому етапі стрімкий розвиток одержали астрофізика і космологія, які в поєднанні з теорією елементарних частинок дозволили реконструювати сценарій народження Всесвіту і ранніх етапів його еволюції.

Представлена схема періодизації фізики в поєднанні з хронологією відкриттів і фактів сприятиме усвідомленню процесу розвитку фізики, генезису та еволюції ідей та фізичних напрямів. Але розвиток фізики це не тільки розвиток ідей та понять. Вирішальним фактором у розвитку фізичних знань є людина. Тому значної уваги потребує не тільки дослідження логіки наукових ідей у соціокультурному контексту. Принципово важливим є врахування досягнень як окремих учених, так і наукових колективів (зокрема наукових шкіл).

1.4 Становлення фізичних досліджень в Україні

Розвиток науки в Україні XIX ст. тісно пов'язаний із університетами, заснованими на території України. Вони визначили умови для формування професійної спільноти й організованої системи досліджень. До створення Академії наук основне значення для розвитку наукової діяльності мали наукові товариства, які виникали, насамперед, при університетах.

XIX ст. – це період становлення університетської освіти й науки в Україні. 1784 р. австрійським урядом було засновано Львівський університет, а вже 1787 р. при університеті заснували «Studium Ruthenum» – осередок для розвитку української науки. Перші українські кафедри охоплювали гуманітарні дисципліни.

Становлення наукових досліджень України мало переважно несистематичний фрагментарний характер. Фізика розвивалася в основному за рахунок діяльності окремих учених, які зробили суттєвий внесок у світову фізичну науку. У Харківському, Київському, Новоросійському, Чернівецькому, Львівському університетах, Харківському технологічному, Київському та Львівському політехнічних інститутах, Єкатери́нинському вищому гірничому училищі, організованих у XIX ст., в різний час викладали та проводили значну дослідницьку роботу на кафедрах та в лабораторіях такі відомі фізики як М. Авенериус, Й. Косоногів, М. Умов, Д. Пільчиков, Ф. Шведов, М. Шіллер, Л. Писаржевський, Д. Рожанський, І. Пулюй, М. Смолуховський та ін. Їх піонерські дослідження стали суттєвим внеском у фізику та принесли загальне визнання. Більш ранній період XVII – XVIII ст. показує, що певні наукові традиції формувалися в Києво-Могилянській академії, яка була своєрідним постачальником викладацьких та студентських кадрів для навчальних закладів Петербурзької академії наук та Московського університету у початковий період їхньої організації. Досить високим був на той час рівень викладання фізико-

математичних наук у Харківському колегіумі, осередком української науки XVIII ст. був також Чернігівський колегіум.

Загальні тенденції ефективності колективної наукової роботи продемонстрував професор Київського університету М.Авенаріус у 1865 – 1890 рр. він із групою учнів (В. Зайончевський, О. Страус, К. Жук, О. Надєждін) отримав низку важливих експериментальних результатів у галузі критичного стану речовини. Протягом 1875 – 1889 рр. ними було визначено значну кількість критичних значень багатьох речовин, які увійшли до фонду фізичних величин на довгі роки. Так, у 1885 р. О. Надєждін вперше розробленим ним новим методом (метод Надєждіна) визначив критичну температуру води. Активна наукова діяльність М. Авенаріуса та його лабораторії експериментальної фізики, першої в Україні, дозволяє говорити про створення потужного наукового осередка в галузі фізики. У 1861 р. професор Львівського університету Планер фактично отримав рідкі кристали, проте явище не зрозумів і припинив проведення досліджень у цьому напрямку. Важливою стала наукова діяльність професора І. Пулюя, який незалежно від В. Рентгена відкрив рентгенівські промені та вивчив їх властивості. У 1887 р. при Львівському університеті, а на рубежі XIX – XX ст. при Новоросійському університеті були створені фізичні інститути, а у 1910 р. в Одесі Є. Буксер організував першу радіологічну лабораторію.

У роки радянської влади наукова робота у галузі фізики велася на вузівських кафедрах та лабораторіях. Протягом 1922 – 1923 рр. – на науково-дослідних кафедрах: Київській науково-дослідній кафедрі при КПІ (керівник О. Гольдман), Харківській науково-дослідній кафедрі фізики при Харківському університеті (керівник Д. Рожанський), на кафедрі математичної фізики (керівник М. Крилов), на кафедрі електронної хімії при Дніпропетровському гірничому інституті (керівник Л. Писаржевський). На цих кафедрах проводилися дослідження з теоретичної фізики (Л. Кордиш), фотоефекту (О. Гольдман),

рентгенівських променів (С. Герцрікен, В. Лінник, В. Лашкарьов), катодної електроніки (Н. Моргуліс), радіофізики (Д. Рожанський, А. Слуцкін, Д. Штейнберг), математичної фізики (М. Крилов). В області рентгенофізики працювали також В. Роше та Д. Наследов (Київський рентгенорадіологічний інститут), атомного ядра – Л. Штрум (Київський університет), фотоефекту – Є.Кириллов (Одеський університет).

Істотні результати були отримані у Харкові щодо генерування надвисокочастинних коливань за допомогою магнетрону (О. Слуцкін, Д. Штейнберг). Колектив Київської кафедри на чолі з О. Гольдманом досліджував фотогальванічний ефект Беккереля, вентильний фотоефект. Рентгенооптичні дослідження В.Лінніка та В.Лашкарьова започаткували широке застосування в рентгенофізиці методу повного внутрішнього відбиття. У галузі теорії відносності працювали Я. Грдіна, Л. Кордиш, Л. Штрум. Їхні дослідження сприяли формуванню сучасних релятивістських уявлень. Багато робіт були присвячені електродинаміці, квантовій механіці, фізиці атома та ядра. Особливий значення для подальшого формування сучасних фізичних теоретичних досліджень мали праці Л. Штрума з ядерної фізики, Л. Кордиша з аномального ефекту Зеемана, теоретичні та експериментальні роботи О. Малиновського в галузі електронної теорії та фізики вибуху.

Окрім дослідних кафедр певну наукову роботу в галузі фізики вели фізико-технічні відділи Київського рентгенівського інституту (В. Роше, Д. Наследов), Української рентгенівської академії у Харкові (В. Дукельський). Подальша інституалізація досліджень у галузі фізики сприяла тому, що основною структурою став науково-дослідний інститут. Це визначило вирішальний момент активізації наукових досліджень в Україні, зокрема, в Академії наук. Перший фізичний інститут в Україні було відкрито 1926 р. при Одеському університеті. Його керівником став професор Є. Кириллов.

Велике значення для розвитку фізичних досліджень в Україні мало створення 1928 р. Українського фізико-технічного інституту, в якому було закладено основи тих напрямів у фізиці, які на багато років стали ключовими в Академії наук та вузах: фізика твердого тіла та конденсованого стану, фізика низьких температур, ядерна фізика, радіофізика. Інститут став першим у галузі ядерних досліджень, прискорювальної та вакуумної техніки, кріогеніки, низькотемпературної спектроскопії, фізики та техніки магнетронних генераторів.

У 30-ті рр. у Харкові сформувалася перша фізична школа у галузі фізики низьких температур – школа Л. Шубнікова. Тоді ж сформувалися фізичні школи Л. Ландау (теоретична фізика, Харків), Г. Курдюмова (фізика металів, Дніпропетровськ), В. Данілова (фізика рідин, Дніпропетровськ, Київ), І. Обреїмова (низькотемпературна спектроскопія молекулярних кристалів), А. Слуцкіна (радіофізика, Харків), Н. Моргулісу (емісійна електроніка, Київ).

У 40-ті рр. минулого століття почали формуватися та отримали розвиток школи М. Боголюбова (теоретична та математична фізика, Київ), С. Пекара (теорія неметалічних кристалів, Київ), К. Синельникова (експериментальна фізика – ядерна фізика, фізика плазми, фізичне матеріалознавство, Харків), А. Вальтера (ядерна фізика, Харків). В. Лашкарьова (фізика напівпровідників, Київ).

1945 р. у Києві було створено Лабораторію металофізики АН України, яка 1955 р. стала Інститутом металофізики АН України. Того ж року у Харкові було організовано Інститут радіофізики та електроніки АН України. У наступні роки у системі Академії наук було створено Інститут напівпровідників (1960), Фізико-технічний інститут низьких температур (1960), Донецький фізико-технічний інститут (1965), Інститут теоретичної фізики (1966), Інститут ядерних досліджень, Інститут монокристалів (1960). У цих інститутах сформувалися потужний науковий, технічний та кадровий потенціал, експериментальна база,

наукові колективи, які згодом переросли у наукові школи: школа фізики твердого тіла (О. Галкін, Донецьк), школа металознавства (В. Гриднєв, Київ), школа фізики та техніки низьких температур (Б. Веркін, Харків) та ін. У 50-ті рр. одержали розвиток наукові школи О. Ахієзера (теоретична фізика, Харків), І. Ліфшиця (теорія твердого тіла, Харків), О. Прихотько (фізика неметалічних кристалів, Київ), О. Давидова (теорія твердого тіла та теорія ядра, Київ).

Незважаючи на багату наукову спадщину, фізичні дослідження в Україні стикалися із численними проблемами, які в останній час ще більше загострилися. Так, воєнний стан, економічна нестабільність, низькі зарплати та обмежені можливості фінансування призводять до відтоку талановитих учених і дослідників, які шукають кращі перспективи кар'єри та наукової підтримки. Обмежене державне фінансування досліджень і розробок суттєво стримує здатність українських науковців здійснювати амбітні дослідницькі проекти та конкурувати на світовій арені. Збільшення інвестицій у науку та технології необхідні для підтримки розвитку фізичних досліджень в Україні. Незважаючи на ці виклики, фізичні дослідження в Україні дозволяють створювати численні можливості для наукового прогресу та інновацій. Кваліфіковані наукові кадри, оновлювана освітня система та історія наукового досвіду мають бути міцним підґрунтям для майбутнього зростання та співпраці. Вирішуючи ключові виклики та використовуючи свої сильні сторони, Україна має потенціал для подальшого збільшення свого внеску в світову наукову спільноту.

Список використаної літератури

1. Наука // <https://uk.wikipedia.org/wiki/>
2. Гідні відповіді // <https://mirmed.com.ua/shho-take-nauka-viznachennya-ta-sutnist-ponyattya.html>
3. Визначення, характеристика науки та її види // <https://pidru4niki.com/>

4. National Science Foundation // <https://search.nsf.gov/search?query=science&affiliate=nsf&search>
5. Словник Merriam-Webster // <https://www.merriam-webster.com/dictionary/science>
6. Popper K. The Logic of Scientific Discovery. London, New York: Routledge Classics, 2005.
7. Kuhn T. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago, 1962; 2ed. Chicago, 1970.
8. Карл Sagan, Carl (1997). The Demon-Haunted World: Science As a Candle in the Dark (вид. Reprint). Ballantine Books. ISBN 978-0345409461
9. Feynman, Richard P. (1998). The Meaning of It All: Thoughts of a Citizen-Scientist. Reading, Massachusetts: Perseus Publishing. ISBN 0-7382-0166-9
10. Філософія науки : навчальний посібник / О.М. Кузь, В.Ф. Чешко. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. – 172 с.
11. Храмов Ю.О. Фізика. Історія фундаментальних ідей. Теорій та відкриттів. – К.:Фенікс, 2012. – 816 с.
12. Храмов Ю.О. Історія формування та розвитку фізичних шкіл в Україні. – К.:Фенікс, 1991. – 216 с.

Розділ 2. Наукова діяльність в галузі фізики в контексті сучасного стану науки

2.1 Становлення колективної наукової діяльності в світі та Україні

Становлення колективної наукової діяльності в галузі фізики ознаменувало нову еру в наукових дослідженнях, що значно прискорило прогрес і поглибило розуміння фізичних явищ. Цей процес розпочався в Європі в кінці XVIII ст. – на початку XIX ст. із виникненням необхідності у створенні спеціалізованих установ для систематичного вивчення фізики.

Одним із перших спеціалізованих наукових закладів у галузі фізики стала Кавендишська лабораторія, заснована в 1874 р. в Кембриджському університеті. Лабораторія була створена завдяки фінансовій підтримці Вільяма Кавендиша під керівництвом Джеймса Клерка Максвелла. Кавендишська лабораторія швидко стала центром передових досліджень, де працювали такі видатні вчені, як Дж. Дж. Томсон, У.Резерфорд та ін. Тут були зроблені ключові відкриття, зокрема відкриття електрона та дослідження радіоактивності.

У Німеччині велике значення для розвитку фізики мав Фізико-технічний інститут (Physikalisch-Technische Reichsanstalt), заснований у 1887 р. в Шарлоттенбурзі, який нині є частиною Берліна. Ініціаторами створення інституту були видатні німецькі вчені Герман фон Гельмгольц і Вернер фон Сіменс. Інститут ставив мету проведення фундаментальних і прикладних досліджень у фізиці та техніці, з особливим акцентом на високоточних вимірюваннях і стандартизації фізичних величин.

Основними напрямками діяльності стали:

Електрика і магнетизм: Інститут займався розробкою нових методів вимірювання електричних і магнітних полів, що було критично важливим для розвитку електротехніки.

Оптика: Дослідження в галузі оптики включали вивчення властивостей світла і розробку нових оптичних приладів.

Теплотехніка: Інститут вивчав процеси теплопередачі та розробляв нові методи вимірювання температури.

Фізико-технічний інститут був першою державною установою такого типу, що сприяло більш тісному зв'язку між наукою і промисловістю. Це дозволило впроваджувати наукові досягнення в промислове виробництво, підвищуючи технічний рівень німецької індустрії.

У Франції 1909 р. за ініціативи П'єра Кюрі та його дружини Марії Склодовської-Кюрі було засновано в Парижі Інститут радію (Institut du Radium). Інститут був створений для дослідження радіоактивності та її застосування в медицині. Завдяки підтримці Університету Парижа та Інституту Пастера, Інститут радію швидко перетворився на провідний центр у цій галузі. У ньому працювали А. Дебірн, І. Жоліо-Кюрі та ін. Тут були відкриті нові радіоактивні елементи (полоній та радій), розроблені методи радіотерапії, які суттєво вплинули на медицину.

Фізичний інститут в Страсбурзі (Institut de Physique de Strasbourg) був заснований у 1919 р. після повернення Ельзасу до Франції. Інститут став важливим центром досліджень у галузі фізики завдяки традиціям наукових досліджень, закладених ще під час німецького керівництва. Основними напрямками досліджень стали:

Теоретична фізика: Включала дослідження в галузі квантової механіки, статистичної фізики та теорії відносності.

Експериментальна фізика: Особлива увага приділялася дослідженням у галузі ядерної фізики, фізики твердого тіла та матеріалознавства.

Медична фізика: Інститут проводив дослідження в галузі радіотерапії та медичної діагностики, використовуючи знання з фізики радіоактивності.

Інститут у Страсбурзі перетворився на місце зустрічі видатних учених із різних країн, що сприяло обміну знаннями та співпраці в міжнародних дослідницьких проєктах. Він також мав важливе значення у підготовці нових поколінь фізиків, пропонуючи високоякісну освіту та можливості для проведення досліджень.

У цей період у фізиці почали формуватися наукові колективи, які в подальшому переросли у наукові фізичні школи. Вони стали певним соціокультурним феноменом. Існування шкіл у різних галузях наук довело надзвичайну ефективність саме таких наукових об'єднань. Вони прокладають нові шляхи в науці, дають потужний поштовх процесу наукового пошуку. Створення наукової школи може відбутися лише внаслідок поєднання багатьох чинників та наявності необхідних умов. Значення самого терміну «наукова школа» є багатозначним і змінює свій сенс у контексті конкретної епохи, галузі знання чи окремого наукового закладу. Справжня наукова школа є унікальною, відрізняється від загальної наукової спільноти та є неповторною. Вона асоціюється не тільки з ученим-лідером, а й з історичним часом, державною політикою та національними традиціями. До того ж сама школа, залежно від її загального напрямку та участі в ній непересічних особистостей, може справляти вплив на розвиток наукової та суспільної думки.

Наукові школи як соціальний феномен відносяться до тих важливих інститутів людства, які виникають на конкретному етапі окремої наукової дисципліни та розвитку суспільства в цілому. Цей процес не прогнозується і не планується, оскільки визначає неформальне об'єднання дослідників.

Саме існування наукових шкіл виступає показником того, що наука в даному суспільстві і державі розвивається повноцінно і плідно, що на визначально важливих напрямках наукової думки зосереджуються зусилля вчених кількох поколінь, які забезпечують довготривалу стратегію вирішення суттєвих

проблем наукового пошуку. Наукова школа – це водночас і об’єднання ресурсів (інтелектуальних, фінансових, організаційних), і спадкоємність праці, і створення креативної атмосфери, в якій відбувається поява проривних ідей, їхня критика, апробація і втілення у вигляді нових теорій, експериментів, прикладних технологій та матеріалів.

Слід зазначити, що у 20–30-ті роки минулого століття в Україні з’явилися і досить швидко встигли отримати широке визнання наукові школи, які визначали теоретичну новизну й практичну значущість наукового знання упродовж ХХ ст. В умовах тотального контролю сталінської влади за всім науковим суспільством, СРСР отримала важливі досягнення (часто світового рівня) практично в усіх напрямках фізичної науки.

У наукознавчій літературі проблематика наукових шкіл висвітлена досить широко. Вивчається феномен наукових шкіл, розкривається їх суть та механізм створення власних наукових концепцій. Можна навести декілька визначень, у яких зазначаються спільні риси досліджуваного явища. Наукова школа – неформальна творча співдружність у межах будь-якого наукового напрямку висококваліфікованих дослідників, об’єднаних спільністю підходів до вирішення проблеми, стилю роботи, спільного наукового мислення, ідей і методів їх реалізації. Наукова школа – неформальний науковий колектив, який формується при видатному вченому на базі науково-дослідної установи з метою колективної розробки певної наукової ідеї (проблеми, напрямку) або ціла низка формально відособлених наукових колективів. Наукова школа – колектив на чолі з науковим керівником, що є автором певної програми дослідження. Кожній науковій школі притаманний певний стиль роботи, що залишається незмінним при зміні проблематики. Отже структура, яка б володіла ознаками наукової школи, повинна мати єдність проблематики, методів дослідження і тлумачення наукових результатів, а до того ж була б пов’язана з певною особистістю. Лабораторія,

науково-дослідний колектив переходять у ранг школи тоді, коли мають оригінальну концепцію (науково-дослідну програму), яку можна розглядати як новий напрям у науці. Наукова школа – це традиція мислення, особлива наукова атмосфера, що суттєво прискорює становлення вченого. Узагальнене визначення «наукова школа» ще не сформоване, проте окремі характерні риси його вже виділені:

- наявність наукового лідера дослідницького колективу – видатного вченого, керівника школи;
- стиль роботи і методика досліджень;
- наукова ідеологія, певна наукова концепція (фундаментальна ідея), науково-дослідна програма;
- особлива наукова атмосфера;
- висока наукова кваліфікація дослідників, що групуються навколо лідера;
- значимість отриманих школою результатів у певній галузі науки;
- високий науковий авторитет у цій галузі та громадське визнання.

Слід зазначити, що сучасні наукові школи, про які переважно йдеться у літературі, окрім вже наведених рис, мають і нові, пов'язані з системою функціонування інформації.

У фізиці наукові школи почали формуватися в кінці XIX ст. Першою школою стала Страсбурзька школа експериментальної фізики Августа Кундта (1839 – 1894). Відомий німецький фізик А. Кундт увійшов в історію науки не тільки як блискучий експериментатор, а і як учитель. Великою заслугою Кундта стало створення ним інтернаціональної наукової школи – першої школи

експериментальної фізики. Дослідження фізика були присвячені акустиці, молекулярній фізиці, оптиці, фізиці кристалів, металооптиці. Він розробив метод визначення швидкості звуку в твердих тілах та газах за допомогою акустичних «пилових фігур», що увійшов у всі елементарні курси фізики того часу, досліджував спектр блискавки, перевірив аномальну дисперсію світла та виконав класичні експерименти щодо її дослідження для значної кількості речовин. Ці дослідження сприяли розширенню теоретичних робіт із вивчення аномальної дисперсії (Г. Гельмгольц, Е. Ломмель, В. Фойгт). Спільно зі своїм учнем Е. Варбургом А. Кундт виконав класичні роботи в галузі кінетичної теорії газів, експериментально обґрунтував її основні положення і висновки. Зокрема вони одержали, що в діапазоні від 1 до 0,001 атм внутрішнє тертя і теплопровідність газів не залежать від тиску, а визначаються їхньою хімічною природою та температурою. Подальші дослідження Кундта зосередились на оптиці металів. Він розробив технологію виготовлення тонких прозорих металевих плівок і спостерігав значне обертання площини поляризації світла, яке проходило крізь плівку (ефект Кундта). Цей ефект стимулював появу низки теоретичних та експериментальних робіт. Слід зазначити, що раніше разом із В. Рентгеном А. Кундт виявив слабе обертання площини поляризації світла в деяких парах та газах, уміщених у магнітне поле. Над цим працював ще М. Фарадей, але йому не вдалось зафіксувати ефект.

Одержання суттєвих наукових результатів А. Кунда в різних галузях експериментальної фізики органічно поєднувалось із його діяльністю щодо виховання молодих дослідників, створенню школи фізиків-експериментаторів широкого профілю. Як зазначали його учні, він мав чудове фізичне чуття, вгадував зв'язок між окремими різнорідними явищами, легко схоплював сутність математично розвинутої теорії і завжди міг поставити таке питання, яке було найбільш сміливим наслідком теорії та було безпосередньо доступним

експериментальному дослідженню. Свою основну задачу А. Кунд бачив у розкритті фізику-початківцю всіх сторін наукового дослідження, створенні можливостей навчитися самостійно працювати. Результатом науково-педагогічної діяльності А. Кундта стало формування потужної школи фізиків із певним стилем, традиціями та широким тематичним спектром наукових задач. Школу експериментальної фізики А. Кундта представляють К. Браун, Е. Варбург, О. Вінер, В. Гальвакс, Д. Гольдгаммер, П. Лебедев, О. Леман, Ф. Пашен, В. Рентген, Г. Рубенс та ін. Двоє із його учнів В. Рентген та К. Браун стали лауреатами Нобелівської премії з фізики, а К. Браун, Е. Варбург, Ф. Пашен та Г. Рубенс створили власні наукові школи.

До досягнень школи А. Кундта слід віднести: відкриття рентгенівських променів (В. Рентген), винахід електронно-променевої трубки, кристалічного детектора, деяких типів антен (К. Браун), визначення тиску світла на тверді тіла та газу (П. Лебедев), відкриття незалежно від Г. Герца та А. Рігі фотоефекта (В. Гальвакс), стоячих світлових хвиль (О. Вінер), магнітного гістерезису та іонної провідності діелектричних кристалів (Е. Варбург), експериментальне підтвердження закону Планка теплового випромінювання (Г. Рубенс), відкриття нової серії в спектрі водню в інфрачервоній області спектру (серія Пашена) і закону Пашена-Бака та ін.

В Україні в першій половині XX ст. сформувались і одержали розвиток наукові школи в галузі фізики. Серед них: школи теоретичної фізики (Л. Ландау, О. Ахієзер), фізики низьких температур (Л. Шубніков), фізики кристалів (І. Обреїмов), ядерної фізики (К. Синельников, О. Лейпунський, А. Вальтер) та ін.

Слід зазначити, що у переліку наукових шкіл переважають осередки, створені, насамперед, в технічних та точних науках. Ці науки ще за імперських часів мали потужну базу, яка сформувалась у центральних університетах та

інститутах. Саме цей фундамент визначив і дозволив започаткувати умови для поступового розвитку багатьох галузей наук. Прискорена індустріалізація, створення потужного промислового потенціалу та оборонного комплексу, визначили орієнтацію фундаментальних та прикладних досліджень, а також значною мірою розв'язали проблеми фінансування саме цих галузей науки, зокрема ядерної фізики.

Практично всі вчені, що започаткували власні наукової школи, займалися викладацькою діяльністю, що визначало необхідні передумови для виховання однодумців. Як зазначалось, для виникнення наукової школи в певній галузі науки потрібно, щоб наукові знання досягли рівня, коли для їх подальшого розвитку необхідні спільні зусилля, колективна творча праця такого рівня, який не можуть забезпечити існуючі формальні та неформальні об'єднання науковців. Роль наукових інститутів Харкова у становленні української та і радянської науки в цілому загальновідома. Український фізико-технічний інститут (УФТІ), створений у 1928 р. (фактично розпочав роботу у 1929 р.) за участі академіка А. Іоффе, в цьому плані не мав собі рівних. Інститут створювався у місті, де було зосереджено значну промисловість. Це визначало умови для наближення науки до виробництва та сприяло децентралізації науки. На той час великі успіхи, яких досягли, зокрема фізики Німеччини, оцінювались саме як плідний наслідок децентралізації наукових колективів. Важливо, що на початкових стадіях організації УФТІ у Харкові було проведено першу в СРСР конференцію з проблем теоретичної фізики. Одним із її ініціаторів став Д. Іваненко – згодом видатний фізик-теоретик. Конференція проходила 19 – 25 травня 1929 р. і зібрала близько 80 учасників, зокрема й іноземців. Надалі візити провідних іноземних фізиків до УФТІ стали систематичними. До Харкова приїздили Н. Бор, П. Еренфест, П. Дірак, Г. Гамов, В. Фок, І. Курчатов та ін. Поль Еренфест обіймав посаду іноземного консультанта інституту з теоретичних питань і

надавав суттєву допомогу в організації інституту та в оснащенні його відповідним лабораторним обладнанням. Головним завданням УФТІ було вирішення принципових теоретичних проблем перспективного значення. Перші роки роботи інституту були відзначені значними досягненнями молодих талановитих співробітників, що забезпечило швидке перетворення інституту на один із провідних фізичних осередків не тільки СРСР, а й усього світу. Зокрема в УФТІ у той час працювало багато іноземних фізиків, в тому числі Г. Плачек, Ф. Х оутерманс, Л. Тісса, А. Вайсберг. Останній заснував у Харкові науковий журнал «*Journal de Physique de USSR*». Після обладнання інститутських лабораторій колектив дослідників у складі заступника директора О. Лейпунського, наукового керівника К. Синельнікова, старшого фізика А. Вальтера і молодшого співробітника Г. Латишева почав досліджувати будову атомного ядра. Саме тут у жовтні 1932 р. відбулися перші в СРСР експерименти із розщеплення ядра літію штучно прискореними протонами. Треба зауважити, що у світі це був другий експеримент – перший належав англійським фізикам Кавендишської лабораторії Е. Резерфорда в Кембриджі Д. Кокрофту та Е. Уолтону. Дослідження в галузі ядерної фізики надали потужний поштовх розвитку новим напрямам фізичної науки та техніки. Було створено найпотужніший у Європі електростатичний генератор Ван де Граафа для роботи якого були потрібні високовакуумні насоси. Їх розробка і досвід застосування стали початком створення вітчизняної вакуумної фізики та техніки. У 1935–1936 рр. А. Вальтер очолив експериментальні та розрахунково-конструкторські роботи з розробки різних типів електростатичних генераторів, зі створення першого вітчизняного електростатичного прискорювача електронів. Дослідження в галузі ядерної фізики, прискорювачів заряджених частинок були настільки успішними, що в 1937 р. А. Вальтеру було присвоєно наукову ступінь кандидата фізико-математичних наук без захисту дисертації, а ще через два роки

він захистив докторську дисертацію. А. Вальтер суміщав наукову роботу з педагогічною, викладаючи в декількох інститутах. За його ініціативою у Харківському державному університеті було засновано кафедру фізики атомного ядра (1937). Для удосконалення науково-педагогічного процесу вчений розробляв навчально-методичні матеріали, читав популярні лекції про досягнення науки і техніки в галузі фізики атомного ядра та використання атомної енергії, керував науковими працями аспірантів, проводив активну роботу з популяризації фізичної науки серед громадськості міста, насамперед молоді. В університеті він заклав базу для досліджень з питань ядерної фізики та створив українську школу експериментальної ядерної фізики.

В УФТІ також була створена найстаріша в СРСР кріогенна лабораторія, де у 1931–1932 рр. вперше отримали зріджені водень та гелій. У цей час почали формуватися наукові школи з фізики низьких температур (Л. Шубніков), низькотемпературної спектроскопії молекулярних кристалів (І. Обреїмов, А. Прихотько). Вже перші дослідження молодого колективу дали фундаментальні результати на рівні європейської науки. Так, Л. Шубніков і Ю. Рябінін розробили теорію ідеального діамagnetизму надпровідників у 1934 р. майже водночас із німецьким фізиком В. Мейсснером. Через три роки Л. Шубніков разом із С. Шалитом дали остаточний доказ існування антиферромагнітного стану (теорію цього явища запропонував у 1932 р. Л. Неєль). Саме Л. Шубнікову належала ідея створення осередку, який би об'єднував фундаментальну науку та промисловість. Таким осередком у 1935 р. стала Дослідна станція глибокого охолодження, де вчений зумів сформувати невеликий, але цілком ефективний творчий колектив – 10 наукових співробітників та 25 працівників допоміжного технічного персоналу, які отримали результати світового рівня. Нажаль, 6 серпня 1937 р. Л. Шубнікова заарештували, а згодом розстріляли.

До історії фізики Л. Шубніков увійшов не тільки як видатний експериментатор, який отримав низку фундаментальних результатів у галузі фізики конденсованих станів, фізики і техніки низьких температур, але й чудовий педагог, вихователь перших «кріогенних кадрів», засновник першої профільної наукової школи в країні. Для формування майбутніх фізиків, які активно працювали в Харкові важливим чинником стало те, що вони (Л. Шубніков, О. Лейпунський, І. Обреїмов, Л. Ландау, К. Синельников) свого часу працювали у потужних наукових європейських центрах: Геттінгені, Лейдені, Копенгагені, Кембриджі. Так, Л. Шубніков під час відрядження до Голландії працював у кріогенній лабораторії та мав можливість спілкуватись із А. Ейнштейном, М. Планком, П. Діраком, Е. Шрьодінгером, Н. Бором та іншими фізиками світового рівня. Кріогеніка і нині залишається одним із провідних напрямів у Харкові, свідченням цього є діяльність Фізико-технічного інституту низьких температур (ФТІНТ) НАН України, заснованого у 1960 р. Б. Веркіним.

Окремої уваги заслуговує постать М. Боголюбова, академіка АН УРСР та АН СРСР, професора математики, члена багатьох іноземних академій наук і товариств, засновника школи нелінійної механіки в Києві, що налічувала десятки докторів та кандидатів наук. Математичний талант М. Боголюбова був настільки яскравим, що за спеціальним дозволом РНК УСРР у 1925 р. 26-річний учений без диплому про вищу освіту був прийнятий до аспірантури при кафедрі математичної фізики Академії наук, а у 1930 р. її Президія присудила йому *honoris causa* науковий ступінь доктора математики.

Створення наукової школи – явище багатопланове й водночас унікальне. У виникненні шкіл виняткову роль відіграють основоположники – визнані непересічні особистості, які своїми ідеями та організаторськими здібностями забезпечують створення та подальше існування наукової школи. Беззаперечним є положення, що наукову школу може створити тільки вчений із яскраво

вираженою креативністю – із новими думками та підходами, спроможний виконувати роль невтомного генератора гіпотез та ідей, здатний критично аналізувати й синтезувати результати досліджень. Така творча особистість – людина зі своїм особливим способом мислення, бажанням проникнути в сутність предмета й піти істотно далі, ніж його попередники та сучасники. Одним із таких непересічних фізиків був Л. Ландау, чотирирічний харківський період його роботи (1934– 1938 рр.) був надзвичайно плідним. Багато результатів, одержаних ним у ті роки, стали класичними та носять його ім'я. Не випадково у 1934 р. вченому без захисту дисертації було присуджено ступінь доктора фізико-математичних наук. Саме тоді почала створюватися і школа Ландау. З 1935 р. Л. Ландау працював на кафедрах теоретичної та експериментальної фізики Харківського університету. Він розробив та почав планомірно втілювати власну систему підготовки фізиків-теоретиків, які повинні були складати серію спеціальних іспитів із математики та фізики – так званий «теормінімум Ландау». Слід зазначити, що небагатьом вдавалося скласти програму «теормінімуму» у повному обсязі. Протягом 1934 – 1961 рр. всі іспити склали лише 44 науковці. У харківський період це були О. Компанієць, Є. Ліфшиць, О. Ахієзер, І. Померанчук та угорець Л. Тисса. Вчений залишив у Харкові «філіал школи Ландау», а два її представники О. Ахієзер та І. Ліфшиць згодом створили свої власні потужні наукові школи. Вони зберегли головні традиції школи свого вчителя: надзвичайно високий професійний рівень, що забезпечувався добре апробованою системою підготовки та відбору кадрів; жорстку вимогливість на семінарах та взаємну доброзичливість у життєвих питаннях; дружні теплі стосунки Вчителя та учнів; піклування про молоде покоління, яке повинно було розуміти й засвоювати базові принципи існування Школи та чітко них дотримуватися. Фактично Л. Ландау створив та вивів харківську теоретичну фізику на світовий рівень.

Одним із найяскравіших представників «Школи Ландау» був Віктор Бар'яхтар, який розпочав свій творчий шлях під керівництвом одного з найвідоміших учнів Ландау – Олександра Ілліча Ахієзера. Віктор Григорович став одним із 44 науковців, які успішно виконали всі вимоги для складання «теормінімуму Ландау», що свідчить про його глибокі знання та високий професійний рівень. О. Ахієзер зазначав, що Бар'яхтар – це один із тих учених, які не лише беруть участь у наукових дослідженнях, але й активно формують нові напрями в науці. Його роботи у галузі магнетизму відкрили нові горизонти для розуміння фізичних явищ.

В. Бар'яхтар здобув повагу та визнання не лише в Україні, але й за кордоном. Професор фізики Оксфордського університету Алан Г. Беннетт писав: «Науковий внесок Віктора Бар'яхтара у теорію магнітних матеріалів справді вражає. Його ідеї та дослідження стали основою для подальших розробок у цій галузі, і його вплив відчувається в багатьох наукових колах по всьому світу». А професор фізики (університет Каліфорнії, Берклі) Джон М. Костелло давав високу оцінку наукового внеску В. Бар'яхтара і підкреслював важливу роль вченого у розвитку фізики та науки в цілому: «Бар'яхтар – не тільки видатний фізик, але й великий педагог. Його наукова школа виховала ціле покоління талановитих дослідників, які продовжують його справу на міжнародній арені».

Основні результати, досягнуті «командою» Ахієзер, Бар'яхтар, Пелетмінський, включають:

- теорія магнітоакустичного резонансу в магнетиках (диплом на відкриття з пріоритетом від 1956-го року, Державна премія України 1987-го року);
- теорія обмінної релаксації і релаксації магнітного моменту в ферромагнетиках;

- квантова теорія низькотемпературних термогальваноманітних явищ в металах і напівпровідниках;
- побудова операторів поверхневого електричного струму і теплового потоку;
- теорія релаксації розрідженої плазми в ультрасильних магнітних полях;
- теорія пучкової нестійкості в магнетиках;
- теорія високочастотної сприйнятливості феродіелектриків.

Віктор Бар'яхтар також створив власну наукову школу, яка стала потужним осередком знань та інновацій у своїй галузі. Серед його учнів – видатні вчені та особистості, відомі не тільки в наукових колах, але й у ширшому суспільстві. Серед них вісім лауреатів Державних премій України: Є. Стефановський, А. Боровик, В. Попов, В. Тарасенко, В. Криворучко, Д. Яблонський, Ю. Горобець, В. Семиноженко та Б. Іванов. До його школи входять члени-кореспонденти Національної академії наук України, а також понад півсотні кандидатів і докторів наук, які успішно працюють в Україні, США, Польщі, Ізраїлі, Австралії та інших країнах.

Розуміючи важливість ефективної взаємодії Національної академії наук України з системою вищої освіти, Віктор Григорович у 1995 р. за пропозицією ректора КПІ М. Згуровського заснував і очолив фізико-математичний факультет. Згодом цей факультет став платформою для підготовки нових поколінь науковців, які здатні вирішувати актуальні завдання в сфері фізики та математики.

Крім того, В. Бар'яхтар став ініціатором створення науково-дослідного інституту, що підпорядковувався як Національній академії наук України, так і Міністерству освіти України – Інституту магнетизму НАН України та МОН України. Ця ініціатива стала важливим кроком у розвитку наукових досліджень в

Україні, забезпечивши нові можливості для молодих учених, які прагнули досягти успіху в своїй галузі. Інститут став важливим центром для проведення досліджень у галузі магнетизму, що сприяло розвитку нових технологій і методів у фізиці.

Сьогодні науковим школам приділяється занадто велика увага, хоча наука успішно розвивається і без наукових шкіл. На Заході проблема наукових шкіл зазвичай розглядається як радянський (пострадянський) феномен. В європейській науці існують лише поодинокі наукові школи, в американській вони фактично зовсім відсутні. У той же час в Україні їх рахують вже сотнями. Такі різні підходи до розуміння феномену наукових шкіл пов'язаний передусім із різними орієнтаціями у розвитку досліджень: на Заході (особливо в США) акцентується увага на інноваційності наукового знання, а в Україні, насамперед, на його традиції.

2.2 Університетська та академічна фізична наука в Україні

У XIX ст. в Україні поступово почав формуватися новий соціальний прошарок суспільства – національна інтелігенція, поява якої разом зі збереженням національних культурних традицій зробили реальним українське культурне відродження. Вирішальною передумовою формування вітчизняної інтелігенції став розвиток освіти. Поширення капіталістичних відносин потребувало значної кількості кваліфікованих фахівців у різних галузях, що сприяло підсиленню уваги до питань освіти. Якщо на початку XVIII ст. практично кожне українське село мало початкову школу, то до його кінця, після закріпачення селян, збереглися лише поодинокі школи, що утримувалися на кошти батьків. Слід зазначити, що у XIX ст. система освіти існувала у рамках загальнодержавної імперської політики.

Розвиток науки в XIX ст. значно прискорився завдяки створенню університетів. Вони були засновані на теренах України у якості осередків імперської російської науки, але саме вони створили умови для формування професійної спільноти й організованої системи досліджень. Університети й чисельні товариства при них стали провідними центрами розвитку науки й культури. Зокрема на початку XIX ст. розвитку освіти й культури Слобідської України сприяла діяльність видатних просвітителів, наприклад, Г. Сковороди. У 1805 р. за ініціативи українського вченого, винахідника, культурного й громадського діяча В. Каразіна було відкрито Харківський університет, який нині носить його ім'я. Хоча навчання тут відбувалося російською мовою, університет швидко почав перетворюватися на центр української культури. Згідно з проектом Статуту університету, запропонованим В. Каразіним, новостворюваний навчальний заклад повинен був стати громадською установою подібно до вільних університетів Англії чи Америки. Від самого початку до роботи залучили висококваліфікованих викладачів, серед яких на перших порах переважали іноземці (особливо німецькі професори), оскільки через нерозвиненість вищої освіти в російській імперії освітній рівень вітчизняних учених був нижчим від їхніх зарубіжних колег. Питання про відкриття університету в Києві почало активно обговорюватися на початку XIX ст. у зв'язку з розробкою нової системи народної освіти. Комісія училищ Міністерства народної освіти на засіданні у вересні 1802 р. дійшла висновку щодо необхідності відкриття університету в Києві або Казані. У 1805 р. була заснована гімназія у містечку Кременці Волинської губернії з розширеним курсом навчання, яка стала прообразом майбутнього Київського університету. У грудні 1832 р. із навчальних закладів Київської, Чернігівської, Волинської й Подільської губерній було створено Київський учбовий округ і у Києві передбачалося відкрити ліцей університетського типу на базі Волинського ліцею. Однак завдяки наполегливим

клопотанням представників місцевої прогресивної громадськості у 1834 р. було відкрито Київський університет Св. Володимира (шостий на території російської імперії) у складі двох факультетів: філософського і юридичного, перший з яких мав два відділення: історико-філологічне і фізико-математичне. Створенню Новоросійського університету в Одесі сприяв інтенсивний економічний розвиток південних областей України, що потребувало значної кількості фахівців для промисловості й сільського господарства, а також чиновників для розгалуженого бюрократичного апарату імперії. Базою для створення нового навчального закладу став діючий з 1817 р. Рішельєвський ліцей в Одесі. Відкриття університету в Одесі відбулося у 1865 р. Університет мав сприяти зміцненню російського впливу на південних слов'ян. Структура університету не відрізнялася від інших тогочасних університетів імперії. Були відкриті три факультети: історико-філологічний, юридичний і фізико-математичний із двома відділеннями – математичним і природничим. Так, вже в роки становлення університету на фізико-математичному факультеті працювали такі видатні вчені: І. Мечников, І. Сеченов, О. Ковалевський, М. Умов, В. Преображенський та ін.

У розвитку фізики наприкінці XIX – на початку XX ст. значну роль відіграли київські вчені, зокрема професор Київського університету М. Авенаріус. Найбільший інтерес становлять його дослідження залежності термоелектрорушійної сили від температури, теплового розширення речовин, критичного стану речовин. Він також розробив систему розподілу змінного струму для живлення «свічки Яблочкова». Професор Київського університету М. Шіллер виконав фундаментальні дослідження з теоретичної фізики й термодинаміки. Класичними стали його праці з електромагнітної теорії світла. М. Шіллер – автор низки підручників і навчальних посібників («Основи фізики», «Теорія потенційної функції», «Елементи вчення про електрику і магнетизм»). Професор Й. Косоногов виконав цінні дослідження електричних коливань,

оптичного резонансу, з фізики діелектриків. Разом із Г. Де Метцем він багато уваги приділяв методиці викладання фізики, підготував й видав популярні підручники й навчальні посібники з фізики для середньої школи.

Наприкінці XIX – на початку XX ст. у Харківському університеті фізичними дослідженнями займалися О. Ляпунов, М. Пильчиков, Д. Рожанський. О. Ляпунов першим у світовій науці виконав теоретичні дослідження стійкості руху, які стали основою для розробки найважливіших проблем радіотехніки, теорії регулювання та ін. Професор М. Пильчиков працював у різних галузях фізики, метеорології і геофізики. Він застосував комбінацію оптичного та гальванометричного методів при вивченні електролізу, а 1883 р. відкрив нові прояви Курської магнітної аномалії. За ініціативи М. Пильчикова у 1891 р. в університеті при кафедрі фізики було засновано магнітнометеорологічний відділ і метеорологічну станцію. Вагомий внесок у розвиток вітчизняної фізики і радіотехніки належить Д. Рожанському. У 1908 р. він здійснив дослідження електричних розрядів, випередивши зарубіжних учених у цій галузі, розробивши оригінальний метод осцилографії короточасних процесів. Професор Новоросійського (Одеського) університету М. Умов виконував теоретичні дослідження хвильових процесів, вивчив розподіл енергії в різних середовищах і поглибив вчення про збереження й перетворення енергії. М. Умов – один із основоположників учення про рух енергії, яке одержало подальший розвиток у роботах провідних вітчизняних і зарубіжних учених. Вагомі наукові дослідження в галузі фізики у 1900–1913 рр. було проведено у Львівському університеті М. Смолуховським. Він розробив теорію флуктацій, броунівського руху, розчинів. Ці дослідження призвели до молекулярно-кінетичного обґрунтування другого начала термодинаміки та сприяли остаточному доведенню атомістичної будови матерії.

Принципово важливе значення для розвитку фізичних досліджень в Україні мало створення у 1918 р. Української Академії наук.

14 листопада 1918 р. гетьман Павло Скоропадський підписав Закон Української Держави про заснування Української академії наук у місті Києві та затвердив її Статут, а 27 листопада 1918 р. відбулося перше Спільне зібрання Української академії наук (УАН), яке фактично поклало початок її діяльності і на якому, відповідно до Статуту, було сформовано і затверджено три наукові відділи Академії: I. Історично-філологічний (з класом українського красномовства); II. Фізично-математичний (з класами фундаментальних наук та прикладного природознавства); III. Соціальних наук (з юридичним та економічним класами). Передбачалося, що Академія стане головним науковим центром країни, що об'єднає державні дослідницькі установи, в яких вивчаються природничі, технічні та гуманітарні науки. Під час підготовки законопроекту про заснування УАН В. Вернадський проаналізував принципи діяльності багатьох світових академій і дійшов висновку щодо ефективності такої форми організації наук, за якої роль природничих наук в економічному розвитку держави та гуманітарних у національному самоствердженні значно зростає. Більше того, пропонуючи структуру установи у складі трьох відділів (історично-філологічного, фізично-математичного, економічно-юридичного), Вернадський наголошував на необхідності створення ще одного підрозділу – Відділу прикладного природознавства, який мав би віддзеркалювати важливість впливу фундаментальних наук на практичні потреби суспільства. Серед перших академічних установ він передбачав створення Фізичного інституту, Хімічної лабораторії та Обсерваторії. У записці щодо структури II Відділу, поданій академіком С. Тимошенком під назвою «До питання про організацію класу прикладного природознавства при Фізично-математичному відділі (ФМВ) УАН», було наголошено на перспективності об'єднання наукових і технічних

досліджень під егідою Академії наук, оскільки протягом останніх десятиліть країни з найбільш розвиненою промисловістю організували цілу низку дослідчих інститутів, де представники чистої науки й прикладного знання працюють спільно над розв'язанням наукових питань, що мають практичне значення. Такий підхід можна було б втілити саме через організацію окремого Відділу прикладного природознавства, але, з огляду на фінансову скруту та неможливість чітко відокремити «чисте» природознавство від прикладного, було прийнято рішення проструктуру II Відділу з підвідділами фундаментальних наук і прикладного природознавства. Серед першочергових завдань планувалося також створити низку науково-дослідних установ, зокрема Фізичний інститут. Важливість заснування такого інституту обґрунтовував професор Київського університету Й. Косоногов, який зазначав, що фізичні методи дослідження одержали широке застосовуються в хімії, мінералогії, ботаніці, фізіології, а сучасний стан людства в значній мірі зобов'язаний прогресу наукового фізичного знання. Слід підкреслити, що у подальшому Й. Косоногов ініціював обговорення таких важливих заходів, як створення радіологічної лабораторії, відновлення праць Комісії з виучування природних багатств України, організація Геофізичного нституту.

У перші роки своєї діяльності ФМВ чітко визначився з основними напрямками. Розуміння важливості впливу фундаментальних і технічних наук на розвиток економіки зумовило особливості структури ФМВ – було створено не лише традиційні для всіх академій наук підвідділи фундаментального природознавства та математики, а й новий підвідділ – прикладного природознавства, де мали розроблятись не часткові випадки техніки, а самі її основи, які спираються на природознавство та математику і вимагають їх розвитку для вирішення завдань актуальних для потреб суспільства.

Було започатковано нові установи: Лабораторію експериментальних дослідів із натуральної філософії на чолі з академіком Д. Граве, Комісію для вивчення складу атомів під керівництвом академіка В. Плотникова та ін. Із Українського наукового товариства до відділу перейшли Бюро наочного приладдя до навчання, Музей наочного приладдя, майстерні мікроскопічних та природничих приладів. У планах було проведення досліджень із різних природничих напрямів, але несприятливі економічні умови не давали змоги активно їх розгорнути.

5 лютого 1919 р. Київ зайняли радянські війська, а 19 грудня 1919 р. було проголошено Українську Соціалістичну Радянську Республіку (УСРР) зі столицею у Харкові. Академія потрапила ще в більш складне положення, оскільки Київ втратив статус столиці. Усі осередки УАН перетворилися на провінціальні губернські установи у провінціальному місті. Академія наук стала не тільки адміністративно зовсім чужою, а своєю діяльністю стала нецікавою. У 1921 р. радянська влада взяла курс на безальтернативне підпорядкування наукової сфери державним органам. Тиск уряду на Академію посилювався і далі, активізувалися плани стосовно її реорганізації. Слід зазначити, що саме від цього часу розпочалося підпорядкування наукової та освітньої сфери державному апарату, її ідеологізація та політизація. Певні позитивні зміни припали на період 1924 – 1928 рр., коли почалася розбудова наукової сфери в Україні. При цьому форми організації та управління наукою ставали більш централізованими іполітизованими, з'являлися перші ознаки розгортання репресій щодо інтелігенції. Результати діяльності кафедр саме фізико-математичного профілю вказують на початок систематичних досліджень. Кафедра прикладної фізики займалася питаннями вільного пароутворення та вітроенергетики, що можна вважати першими паростками такої актуальної сьогодні відновлюваної енергетики. Проблеми електромагнетизму вивчала Кафедра математики, яка

підготувала до друку два томи «Основного курсу механіки». На Кафедрі матфізики тривали напрацювання в галузі наближеного інтегрування диференціальних рівнянь, теорії інтерполяції та механічних квадратур. Професор Д. Граве, який очолював Кафедру прикладної математики, продовжував дослідження з теорії диференціальних рівнянь, електромагнетизму. Його учні працювали за актуальними напрямками математичної теорії електропровідності (В. Дяченко), аеродинаміки (Н. Ахієзер). Кафедра математичної фізики під керівництвом М. Крилова здійснювала роботи, орієнтовані на інженерні науки – вивчення наближених методів для інтегрування диференціальних рівнянь. Провідною установою в галузі технічних наук став Інститут технічної механіки (директор – професор К. Симінський). В Інституті проводилася широкомасштабна систематична робота з дослідження будівельних матеріалів на території України та розроблялися питання будівельної механіки. Інститут брав участь у науково-технічних нарадах, Комісії з випробування нового ланцюгового моста у Києві, організації технічної науки в Україні. Експериментальні дослідження Хімічної лабораторії під керівництвом академіка В. Плотникова здійснювалися в приміщеннях КПП та на обладнанні заводу «Карбонік». Кафедра хімічної технології (академік В. Шапошников) також розміщувалася в КПП, але не мала ані приміщення, ані обладнання, ані співробітників – її робота визначалася персональними науковими працями В. Шапошникова. Кафедра геофізики (прикладної фізики), якою керував академік Б. Срезневський, у своїй роботі спиралася на Київську метеорологічну обсерваторію. Її діяльність спрямовувалася на практичні застосування наукових результатів у народному господарстві.

Для першої половини 30-х рр. XX ст. характерними були пошуки такого шляху розвитку науки, який наближав би її до конкретних потреб народного господарства. Реорганізації, спричинені постійним змінням ставлення влади до

науки, не припинялися, політизація та ідеологізація в Академії поглиблювалися. Наука була включена до процесу індустріалізації, який спрямовувався на створення потужного військово-промислового комплексу. Політична ізоляція СРСР зумовила закритість країни від передових держав світу, тому пріоритетними стали завдання із розроблення власних технологій і обладнання, зокрема в таких галузях промисловості, як металургійна, машинобудівна, хімічна та ін. Планування у науковій сфері стало основним чинником її роботи. Від 1928 р. всі питання, пов'язані з Академією (насамперед кадрові призначення), вирішувалися тільки на рівні Політбюро ЦК КП(б)У. З іншого боку, швидка індустріалізація країни сприяла активному розвитку в Академії саме технічних наук, які спиралися при цьому на фундаментальні напрями. Тому ФМВ поступово набував статусу провідного відділу. Зокрема, було зроблено значний внесок у теорію північних сьйв; отримано результати з інтегрування рівнянь із частинними похідними; розвинуто наближені методи розв'язування нелінійних рівнянь, важливих для інженерних задач; досліджено проблеми електростатики, пов'язані з безпекою високовольтних електричних мереж; методи математичної статистики було застосовано в суміжних дисциплінах – фізиці, біології, соціології; розпочато дослідження фотоелектричних явищ; в інтересах розвитку силікатного виробництва вивчено аномалії електропровідності у склі. Вирішувалися також організаційні питання. Так, у 1930 р. академік О. Гольдман (керівник Відділу експериментальної фізики) відповідав за розгортання роботи Інституту фізики та організацію II з'їзду Української асоціації фізиків, що відбувся у червні 1930 р. в Києві, а також I Всесоюзного з'їзду фізиків, який двома місяцями пізніше пройшов в Одесі.

У 1931 р. було затверджено новий Статут ВУАН і Академія почала активно переорієнтовувати свою діяльність на розвиток природничо-технічного напрямку, а саме скеровувати всю систему наукового знання до того, щоб задовольнити

наукові потреби соціалістичного будівництва країни та розвивати українську пролетарську культуру. Водночас, посилювався тиск з боку партійних органів. У травні-червні 1938 р. у Києві відбулася Сесія Фізичної групи АН СРСР стосовно змін у роботі Інституту фізики. Результатом стало ухвалення постанови згідно з якою було ліквідовано групу теоретичної фізики, її співробітників було переведено до експериментальних груп. Групу електронної оптики визначили як неперспективну, і розформували, склад групи рентгенофізики було розширено, змінено її тематику в напрямі виконання важливих для промисловості робіт. Пріоритетними було визначено дослідження фотоелектричних властивостей напівпровідників, фотоемісії та вторинної емісії електронів, взаємної дифузії у твердому тілі.

У перші місяці Другої світової війни більшість установ фізичного профілю було евакуйовано (Башкірія, Казахстан) та продовжено роботи оборонного характеру. З ХФТІ до Уфи потрапили академік О. Лейпунський, який був призначений керівником відділу фізики Об'єднаного інституту, професори Г. Латишев та Ф. Ланге. Академік І. Обреїмов та А. Прихотько працювали в евакуйованому до Уфи дніпропетровському Інституті фізичної хімії. Важливо відзначити актуальність тематики, а також те, що якість і темпи наукової роботи значно перевищували довоєнний рівень. Протягом роботи в евакуації науковці отримали важливі результати оборонного значення. Було розроблено і впроваджено у виробництво перший у Радянському Союзі стабільний міднозакисний випрямляч (В. Лашкар'єв, С. Пекар); створено нове покриття сегнетових п'єзоелементів для захисту від тривалої дії вологості (В. Лашкар'єв); проведено дослідження приладів запалювання для авіамоторів, виявлено причини відмови їх роботи та запропоновано засоби усунення браку (Н. Моргуліс, С. Пекар). О. Лейпунський, Ф. Ланге та ін. багато працювали за

спецтематикою, і згодом їх роботи стали важливою частиною радянського атомного проєкту.

У післявоєнний період Академія наук активно долучилася до відбудови та подальшого розвитку народного господарства, залишаючись консолідуючим центром наукових сил України. Успіхи світової науки, зокрема ядерної фізики після створення атомної бомби, зумовили посилення ваги наукових досліджень, спрямованих на забезпечення обороноздатності країни. Серед основних досягнень ФМВ в післявоєнний період слід відзначити праці науковців Інституту фізики зі створення теорії поляронів (С. Пекар). Під керівництвом В. Лашкарьова було досліджено оптичні та фотоемісійні властивості широкого класу напівпровідників, розроблено технологію виготовлення сірчато-срібних фотоелементів високої якості. Дослідженню термоемісії було присвячено низку фундаментальних робіт у галузі фізичної електроніки (Н. Моргуліс). Було створено та експериментально обґрунтовано теорію поглинання світла молекулярними кристалами (О. Давидов, А. Прихотько). Розгорталися дослідження в галузі фізики атомного ядра, розроблялися проблеми вдосконалення методів прискорення частинок (М. Пасічник).

2.3 Організація наукової діяльності в галузі фізики в

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Становлення фізичної освіти і наукових досліджень в КПІ тісно пов'язано з ім'ям професора Георгія Георгійовича Де-Метца, якому вдалося від самого початку створити умови для проведення фізичних досліджень на рівні передових європейських університетів та інститутів того часу.

Георгій Де-Метц народився 21 травня 1861 р. в Одесі в родині інженера Г. Де-Метца. Початкову освіту він одержував спочатку в освітніх закладах Одеси, а згодом в Олександрівській гімназії у Миколаєві, яку закінчив 1881 р. із

золотою медаллю. Восени 1881 р. Г. Де-Метц вступив на математичне відділення фізико-математичного факультету Новоросійського (Одеського) університету, де поглиблено займався фізикою під керівництвом професорів Ф. Шведова та М. Умова, цікавився дослідями Б. Франкліна зі створення громовідводу, брав участь у фізичному гуртку. Дипломне дослідження Г. Де-Метца «Нариси аномальної дисперсії світла в її фактах і теоріях від початку питання та до наших днів» було відзначено золотою медаллю. 1885 р. Г. Де-Метца було направлено на стажування до фізичного інституту при Страсбурзькому університеті, де він проводив дослідження аномальної дисперсії під керівництвом професора А. Кундта. Свого часу серед учнів А. Кундта були такі відомі фізики, як В. Рентген та І. Пуллой. Після повернення до Новоросійського університету Де-Метц захистив дисертацію «Про абсолютну стисливість ртуті та скла» (1891), одержав ступінь доктора фізики та згодом був затверджений на посаді екстраординарного професора. За запрошенням ректора Київського університету Св. Володимира вчений переїздить до Києва, де з 1892 р. обіймав посаду екстраординарного, а згодом ординарного професора по кафедрі фізики. Г. Де-Метцу вдалося значно розширити напрацювання свого попередника професора М. Авенаріуса. Окрім лекційних та практичних занять зі студентами професор Де-Метц удосконалював фізичну лабораторію та створив музей фізичних приладів. З листопада 1896 р. він брав активну участь в комітеті, який займався організацією Київського політехнічного інституту, приймав активну участь у роботі комісії щодо розробки статуту та штатного розкладу, навчальних планів і програм.

1898 р. розпочав свою діяльність Київський політехнічний інститут і в цьому ж році Г. Де-Метц був призначений в КПІ на посаду ординарного професора по кафедрі фізики зі збереженням посади в університеті Св. Володимира. Професор Г. Де-Метц в КПІ створив унікальні фізичну

лабораторію та велику фізичну аудиторію. Він намагався зібрати в лабораторії все те краще з обладнання, що бачив у зарубіжних лабораторіях. Дуже скоро лабораторія при Київському політехнічному інституті стала однією із найкращих на теренах російської імперії, а від великих закладів Західної Європи відрізнялася лише меншими розмірами, а не якістю. Завдяки зусиллям Г. Де-Метца в КПІ було створено музей фізичної лабораторії, в якому прилади розташовувались за відділами: механічний, звуковий, тепловий, світловий і електричний. Більшість приладів було закуплено за кордоном у 1898 р. безпосередньо самим професором. На початок 1903 р. у каталозі лабораторії налічувалося 1046 експонатів. Так, тут було розташовано маятник Фуко з оптичним відліком німецького виробництва Edelmann (нині маятник поновлено завдяки зусиллям професора В. Котовського), набір оптичних приладів для інтерференції, дифракції, поляризації світла французької фірми Pellin. Окрім того, лабораторія мала повний набір гейслерових, крукових, рентгенівських та інших трубок для електричних розрядів. Особливу цінність складали еталони й точні вимірювальні прилади, а саме хронограф Женевського товариства й цукрометр фірми «Schmidt-Haentsch», колекція термометрів для вимірювання температури від -200°C до $+550^{\circ}\text{C}$, піротермометр Hartman-Braun, еталони Latimer-Clark та Weston та ін. У роботі професору допомагали лаборанти, спочатку С. Каліновський, а пізніше О. Динник та П. Холодний. Важливим досягненням Де-Метца стало створення установки по зрідженню повітря (1902), що свідчить про інтерес до передових фізичних досліджень того часу.

У 1921 р. О. Гольдман очолив кафедру фізики у Київському політехнічному інституті та заснував Фізичну дослідницьку лабораторію. При ній регулярно працював науковий семінар, учасниками якого були викладачі та студенти київських вузів. Вони доповідали на засіданнях про виконані в лабораторії роботи та обговорювали реферативні доповіді з актуальних фізичних

проблем. У цій лабораторії пройшли високоякісну підготовку з експериментальної фізики та виконали свої перші дослідження видатні науковці П. Борзяк, С. Герцрікен, В. Лашкарьов, Н. Моргуліс, Б. Тартаковський та ін. Завданням лабораторії була також підготовка кваліфікованих викладачів університетського рівня. Водночас О. Гольдман завідував кафедрою фізики у Київському медичному інституті, а згодом – в Інституті народної освіти, як тоді називався Київський університет. Тут він багато зробив для перебудови фізичного факультету та організації навчальних лабораторій, читав новий курс із електронних та іонних явищ. У 1929 р. під час виборів вченого до Академії наук математик академік Д. Граве мав усі підстави стверджувати, що всі молоді дослідники та викладачі фізики в Києві – «це результат напруженої роботи О. Гольдмана». У такий спосіб уперше було офіційно визнано школу, засновану О. Гольдманом. Поступово фізична лабораторія КПП зазнала істотних якісних та організаційних трансформацій, і в 1929 р. на її базі було створено Інститут фізики АН УРСР, засновником і першим директором якого став академік О. Гольдман. У цей інститут перейшли аспіранти О. Гольдмана В. Лашкарьов, С. Герцрікен та Н. Моргуліс. Під його керівництвом склалася багатoproфільна установа, з якої з часом виділились ще кілька фізичних спеціалізованих інститутів у системі Академії наук. Від початку створення інституту в його діяльності чільне місце відводилося вивченню напівпровідників. О. Гольдман персонально проводив дослідження і розробку твердотільних фотоелементів на базі сірчистого срібла.

Із серпня 1941 р., під час перебування КПП в евакуації в Ташкенті, кафедру фізики очолював доцент С. Литвиненко, який до війни мав спільні наукові праці з відомими фізиками – майбутніми академіками АН СРСР К. Синельниковим, І. Курчатовим та А. Вальтером. Після повернення інституту з Ташкента кафедрою керував професор І. Файнерман (до 1948 р.). Він був ініціатором створення в КПП інженерно-фізичного факультету з відділенням фізики металів,

фізики діелектриків і напівпровідників та технічної електроніки. Від 1948 р. кафедру очолювали М. Філіпович, П. Кобушкін, О. Левашов, а від 1956 р. фізичні дослідження пов'язані з ім'ям професора М. Калабухова (1902–1989), учня професора П. Тартаковського, який у 30-ті рр. був аспірантом кафедри фізики КПІ. Завдяки діяльності М. Калабухова в КПІ у 1957 р. було відкрито проблемну лабораторію напівпровідників, де створювалися та досліджувалися світлодіоди на основі кубічного карбіду кремнію. При лабораторії було організовано кріогенну станцію. Тут отримували зріджений гелій, який використовувався для експериментів при низьких температурах до 4,2 К.

У 1995 р. в КПІ був заснований фізико-математичний факультет який довгі роки очолював академік Національної академії наук України В. Бар'яхтар. Фізичні дослідження стосувались таких сучасних напрямів як фізика металів (проф. М. Білоус), фізична оптика магнітних матеріалів (проф. В. Тронько), оптики напівпровідникових матеріалів (проф. В. Черкашин), теорія конденсованого стану, магнетизму, макроскопічних квантових явищ та кріокристалів (акад. В. Локтев), фізики магнетизму і магнітних матеріалів, надпровідності (член-кор. Ю. Горобець), комп'ютерному моделюванню фізичних процесів (проф. В. Горшков), технічній та медичній діагностиці (інфрачервоній термографії), дослідженням біологічних об'єктів за допомогою неінвазивних технологій (проф. В. Котовський), фізиці магнітних явищ, магнітоніці, спінтроніці (проф. С. Решетняк), експериментальному дослідженню парамагнітних власних дефектів та домішок у напівпровідниках, діелектриках та біоматеріалах методами магнітного резонансу (проф. Д. Савченко).

2.4 Шляхи розвитку української науки

Наша країна, перебуваючи в повномасштабній війні з росією, водночас робить значний крок на шляху до європейської інтеграції. У 2022 р. Україна

отримала статус кандидата на вступ до Європейського Союзу, а рішення Ради ЄС від 14 грудня 2023 р. про відкриття переговорів стало історичним моментом у цьому процесі. Угода про асоціацію між Україною та ЄС, що вже діє, а також активний процес інтеграції, відкривають нові можливості для освітньої та наукової спільноти. Освіта і наука відіграють ключову роль у процесі європейської інтеграції, формуючи фундамент для розвитку демократичних цінностей, прав людини та інновацій. Університети та наукові інституції України мають особливо важливе значення у становленні цінностей відкритого суспільства, використовуючи європейський досвід і практики. Це передбачає впровадження міждисциплінарних навчальних програм, забезпечення академічної мобільності, сприяння міжнародним науковим колабораціям і розбудову якісної освітньої інфраструктури. Використання освітньої та наукової інтеграції як інструменту для підтримки України в цей критичний момент є життєво важливим. Особливу увагу варто звернути на залучення молоді й науковців до процесів, що відбуваються в ЄС, а також на заохочення участі українських установ у таких програмах ЄС, як Erasmus+ і Horizon Europe. Це не тільки сприяє кращому розумінню та прийняттю європейських цінностей, а й забезпечує обмін досвідом і знаннями, які є критично важливими для розвитку України. Також важливо враховувати, що освіта і наука можуть бути ключовими засобами відновлення країни після війни. Інтеграція з Європейським Союзом у цих сферах може значно поліпшити якість освіти, науки та інновацій в Україні, що сприятиме швидшому економічному відновленню та соціальній стабілізації.

В епоху безпрецедентних глобальних викликів суспільство та наукова спільнота потребують нових моделей дослідницьких партнерств, здатних поширюватися через національні кордони. Щоб досягти успіху, ці моделі повинні враховувати фінансові та політичні реалії міжнародного співробітництва,

водночас гарантувати, що в науковців є ресурси, необхідні для досліджень, нових відкриттів та інновацій.

Фінансування має суттєве значення для розвитку будь-якої сфери. Не є винятком і наука, на фінансування якої маємо нині лише 0,17% ВВП, хоча в законі «Про наукову та науково-технічну діяльність» записано, що на науку необхідно виділяти 1,7%. Водночас середньоєвропейський показник фінансування науки – 2%, в Німеччині – 3,2%, в США – більш як 3,5% . Очевидно, що необхідно нарощувати фінансування в Україні та одночасно впроваджувати ефективні механізми його використання. Тому в Україні починаються трансформаційні процеси, які стосуються як базового фінансування наукових досліджень, так і залучення грантів — державних і міжнародних.

Конкурсне грантове фінансування — актуальний напрям, оскільки розвиває конкуренцію між колективами як усередині країни, так і за її межами, ідеями, найліпшими рішеннями. Станом на 2024 рік в Україні є понад 370 наукових установ і більш як 160 державних університетів, проте лише близько 70 інституцій із цієї когорти мають досвід отримання будь-якого зовнішнього грантового конкурсного фінансування. І цього насправді дуже мало. В Україні державні наукові/інноваційні гранти розподіляють лише чотири основні фонди: це насамперед Національний фонд досліджень, Міністерство освіти і науки України, Український фонд стартапів і Український культурний фонд. Є також внутрішні проєкти – наприклад, НАН України, але вони розподіляються зазвичай серед наукових установ академій, тобто є закритими для широкої наукової спільноти. Однак українських грантів недостатньо, аби покрити потреби наших науковців. Натомість міжнародні фонди пропонують значно більше можливостей.

Після повномасштабного вторгнення українські науковці отримали низку переваг для участі в різних міжнародних конкурсах. Від 2022 р. Україна бере

участь у міжнародній програмі досліджень «Горизонт Європа». Це, мабуть, найбільша у світі грантова програма, яка підтримує науку. Її загальне фінансування — понад 95 млрд євро на чотири роки. Нині з цих коштів українські науковці залучили трохи більше 0,13%. Для максимального залучення до цієї програми українських науковців, 2023 р. на базі Національного фонду досліджень було створено «Офіс Горизонт Європа в Україні». Ця структура покликана координувати наших науковців щодо участі в конкурсах на отримання грантів і допомагає взяти в них участь. Але Україна — велика країна, в ній багато потужних наукових колективів і установ, які працюють у різних регіонах. Тому відповідно до Угоди з ЄС створюється мережа Національних контактних пунктів рамкової програми ЄС «Горизонт Європа» (National Contact Points, далі — НКП) по всій країні. Тут науковці зможуть отримати необхідну допомогу щодо пошуку певних напрямів програми «Горизонт Європа», підготовки запитів і отримання грантів. Мережа НКП буде складатися із двадцяти таких пунктів у десяти містах України. Це офіси при академічних дослідницьких установах та університетах, серед яких є кілька приватних дослідницьких організацій. Згідно з постановою КМУ, всі вони пройшли відповідний конкурсний відбір. Кожен із НКП відповідатиме за певний науковий напрям програми «Горизонт Європа» і працюватиме з науковцями не лише свого регіону, а й усієї країни. Наприклад, для науковців, які займаються ядерною фізикою, буде відкрито спеціальний контактний пункт у Харкові, тому що там максимально сконцентровані ресурси в цій галузі. Кожен НКП надаватиме консультації за тематикою, яка відповідає інтересам науковця, допомагатиме в пошуку партнерів, формуванні грантової заявки, правильному розрахунку бюджету та ін. Для роботи в НКП залучають авторитетних українських науковців, які, зокрема, мають досвід отримання таких грантів. Зараз відбувається напрацювання стосовно договорів про співпрацю з НКП, і в цих договорах будуть прописані чіткі інструкції для кожного

контактного пункту. Завдання мережі НКП й «Офісу Горизонт Європа» – досягти більшого обсягу фінансування, залучити якомога більше вчених і команд до виконання проєктів. Участь у програмі «Горизонт Європа», крім залучення коштів на наукові дослідження і розробки, дає змогу науковцям різних країн створювати ефективну міжнародну кооперацію для роботи над дослідженнями. Наприклад, один дослідник із певною науковою ідеєю створює заявку, до нього приєднуються науковці з різних країн та інституцій, які також працюють у цьому напрямі. Така заявка має більше шансів на перемогу. Варто зазначити, що «Горизонт Європа» – це не перша масштабна міжнародна наукова програма з фінансування наукових досліджень, у якій бере участь Україна. Але, на відміну від попередніх, у ній багато уваги приділяється інноваційності та практичному впровадженню результатів. Адже значну частину грантів за цією програмою отримує інноваційний бізнес, який хоче вийти на ринок із новими технологіями та продуктами. Світовою практикою став зв'язок науковців, які працюють у технологічних сферах, безпосередньо із замовником досліджень. Водночас у програмі є і низка напрямів, що фінансують передову науку, без якої прикладні застосування теж не можуть бути створені й працювати. У Європі розуміють, що для того, аби досягти економічного розвитку, треба розвивати науку й технології. Для більш ефективного інтегрування українських науковців до програми «Горизонт Європа», Україна делегувала своїх представників до основних наукових комітетів програми. Шляхом конкурсного добору було визначено 39 таких представників. Фактично вони є амбасадорами української наукової спільноти в найпотужнішій грантовій програмі Європи і приймають участь в офіційних засіданнях і заходах комітетів програми, у формуванні важливих рішень. Програма «Горизонт Європа» – це можливість для України не лише отримати гранти, а й обмінятися досвідом із міжнародними партнерами, багато чого навчатися в них. Наші партнери зі Східної Європи, зокрема Польща, досягли

значно більших успіхів у програмі «Горизонт Європа», ніж ми. За даними Міністерства освіти і науки, більшість розробок українських учених, на жаль, не впроваджуються, а часто лежать на полицях у вигляді звітів. В цьому не винні саме вчені. Економіка України побудована таким чином, що в ній бракує інноваційних і технологічних компонентів для сприйняття нових наукових розробок. Загалом наукова сфера в країні малозрозуміла як населенню, так і державі. А науковцям не дуже зрозуміло, як за ті мізерні ресурси, які держава їм виділяє, вони можуть створити щось більше. Тому потрібно максимально зближувати дослідника/розробника та кінцевого споживача. Один із механізмів для виконання цього завдання і який вже впроваджується на рівні експерименту, – це конкурс державного замовлення на науково-технічну продукцію. Нині в такому замовленні беруть участь десять міністерств.

За ініціати́ви Міністерства освіти і науки України було запропоновано 25 тематик наукових досліджень і конкретних завдань на розробку технічних рішень, за допомогою яких відомства прагнуть вирішити нагальні проблеми. Серед замовни – Міністерство оборони, Міністерство з питань стратегічних галузей промисловості, Міністерство цифрової трансформації, Міністерство енергетики, Міністерство охорони здоров'я, Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів, а також інші державні установи. У 2023 р. на конкурс із отримання державних грантів було подано понад сто заявок від різних наукових колективів, що свідчить про наявність численних ідей та підходів до вирішення кожної проблеми.

Наприклад, одним із завдань було створення радіомаскувального матеріалу для зниження помітності об'єктів у радіодіапазоні, на яке надійшло чотири різні пропозиції. Вибір найліпшої ідеї – це складний процес, що вимагає всебічного аналізу. На жаль, в Україні поки що немає можливості фінансувати декілька досліджень одночасно, як це роблять у закордонних агенціях. Наприклад,

американська агенція DARPA, що спеціалізується на фінансуванні оборонних технологій, часто підтримує декілька конкурентних проєктів, що дозволяє на практиці визначити найефективніший із них. Також можна навести приклад Європейського інноваційного агентства (EIC), яке активно інвестує у дослідження і розвиток нових технологій, або британське агентство Innovate UK, що підтримує інноваційні проєкти у різних сферах. Такий підхід дозволяє розвивати конкуренцію між науковими колективами, стимулюючи більш якісні результати.

Попри відсутність такої можливості в Україні, варто зазначити, що кількість пропозицій на конкурс державного замовлення свідчить про високий потенціал наукової сфери в країні, здатної генерувати ідеї та пропонувати рішення для актуальних викликів.

На наступному етапі оцінювання – пітчінгу конкурсних проєктів – передбачена участь представників міністерств-замовників і профільних фахівців-практиків. Вони відіграватимуть важливу роль у визначенні, яка грантова заявка має найбільший потенціал. Після цього переможці, які отримають фінансування, будуть зобов'язані узгодити остаточні технічні завдання, договірну документацію та кінцевий результат із міністерством-замовником. У кожному міністерстві буде призначено куратора, що допомагатиме науковцям на кожному етапі роботи, забезпечуючи спрямування проєктів у відповідному напрямку.

Цей формат співпраці між науковими колективами й міністерствами має забезпечити набагато ліпші можливості для подальшого впровадження результатів досліджень, оскільки розробки створюються з урахуванням конкретних потреб кінцевих користувачів – державних органів. Такий підхід значно підвищує практичну цінність наукових рішень.

Ще одним важливим аспектом є залучення до конкурсу не тільки університетів і науково-дослідних установ, але й інноваційних бізнес-команд, які

готові запропонувати рішення для державних завдань. Змагальна вартість державних замовлень стимулює учасників шукати нові й більш ефективні шляхи вирішення, що сприяє появі інноваційних ідей і технологій.

Міжнародний досвід показує, як фінансування кількох проєктів паралельно дозволяє обрати найліпше рішення. Крім згаданої агенції DARPA, варто також зазначити японську агенцію NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization), яка підтримує новітні технології в енергетиці та промисловості, а також французьке агентство ANR (Agence Nationale de la Recherche), що займається фінансуванням фундаментальних і прикладних досліджень. Ці структури активно підтримують інноваційні підходи, що дає змогу не лише стимулювати науково-технічний прогрес, але й швидко адаптувати результати досліджень у промислові або державні проєкти.

Європейська космічна агенція (ESA) також є важливим прикладом, адже вона активно фінансує наукові й технологічні проєкти у сфері космічних досліджень, залучаючи не тільки державні, але й приватні компанії для створення нових рішень.

Наведені приклади демонструють, як важливо створити механізм, який дозволяє фінансувати кілька конкурентних розробок одночасно, щоб визначити найкращий варіант на практиці. Впровадження такого підходу в Україні могло б значно підвищити якість досліджень і рівень впровадження інновацій у різних галузях.

В Україні потрібно ще багато зробити, аби максимально залучити українських науковців до грантових програм. Важливим кроком є також поширення і нарощування культури грантової діяльності. Важливість міжнародної співпраці в цей переломний момент не може бути переоціненою. Україна повинна активно використовувати можливості для створення міцних партнерських зв'язків із європейськими освітніми та науковими установами. Це

стане запорукою не лише зміцнення наукового та освітнього потенціалу, а й підвищуватиме міжнародний імідж України як країни, яка активно й ефективно рухається шляхом європейської інтеграції. Роль освіти і науки у процесі європейської інтеграції України необхідно розглядати як стратегічну інвестицію в майбутнє країни. Це передбачає не тільки підвищення рівня освіти та наукових досліджень, а й формування таких суспільних цінностей, як демократія, права людини та верховенство права, що є основою для будь-якої сучасної, процвітаючої держави.

Список використаної літератури

1. Храмов Ю.О. Фізика. Історія фундаментальних ідей. Теорій та відкриттів. – К.:Фенікс, 2012. – 816 с.
2. Храмов Ю.О. Історія формування та розвитку фізичних шкіл в Україні.– К.:Фенікс, 1991. – 216 с.
3. О. Гольдман: "Я залишив як слід своєї праці великий дослідний інститут фізики..." / О. Проскура // Вісн. НАН України. — 2001. — № 12. — С. 31-38.
4. Сторінки історії кафедри фізики Київської політехніки <https://kpi.ua/chair-of-physics>
5. Пасічник Ю. А. Георгій Георгійович Де-Метц: (До 150-річчя з дня народження заслуженого професора фізики) / Ю. А. Пасічник // Наукові записки НДУ ім. М. Гоголя. – Серія: Психолого-педагогічні науки. – 2011. – № 7. – С. 181–185. <http://lib.ndu.edu.ua/dspace/handle/123456789/523>
6. Професор Георгій Георгійович Де-Метц (1861–1947) : біобібліографія / М. В. Гутник. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 36 с.
7. Локтев В. М. До історії академічних фізичних досліджень в Україні / В. М. Локтев, Л. П. Пономаренко // Вісник НАН України, 2018. – № 8. – С. 7 – 25.
8. Сторінки історії кафедри фізики Київської політехніки. <https://kpi.ua/chair-of-physics>
9. Стратегічний план діяльності Міністерства освіти і науки України до 2027 року <https://mon.gov.ua/strategichniy-plan-diyalnosti-mon-do-2027-roku>
10. Курбатов Д., Оцінки ефективності та орієнтири розвитку вітчизняної науки й освіти// Шляхи розвитку української науки: суспільний дискурс №7 (200), 2024 р

Розділ 3. Методологічні основи наукового пізнання

3.1 Поняття методу та методології наукових досліджень

У науковому дослідженні ключовими є поняття «метод» і «методологія», оскільки саме вони визначають структуру, логіку та процедури, за допомогою яких відбувається здобуття знань. Особливо важливе їх розуміння у природничих науках, таких як фізика, де дослідницькі підходи мають ґрунтуватися на точних, перевірених і надійних методах, що дають можливість робити об'єктивні висновки.

Сучасне поняття «методологія» не має однозначного тлумачення. Це зв'язано із становленням постіндустріальної епохи розвитку людства, якій притаманні такі риси, як інформатизація суспільства, глобалізаційні процеси, суттєва зміна значення науки в суспільстві та ін. Специфічне розуміння цього поняття і в науковому середовищі. Так, у фізико-математичних і технічних науках поширилося спрощене трактування поняття «методологія» – під методологією часто розуміють або лише загальний підхід до вирішення завдань того чи іншого класу, або ототожнюють методологію з методикою – послідовністю дій по досягненню необхідного результату.

Методологія – це вчення про систему методів наукового пізнання та перетворення реальної дійсності. В прямому розумінні методологія – це вчення про метод. Методологія науки – термін, який залежно від контексту може сприйматися в різних значеннях: або як сукупність методів дослідження, що застосовуються в певній науці, або як вчення про методи пізнання й перетворення дійсності. Головною метою методології науки є вивчення тих засобів, методів та прийомів наукового дослідження, за допомогою яких суб'єкт наукового пізнання одержує нові знання про реальну дійсність. Предмет її вивчення – це поняття і методи науки, їх сфера застосування. Методологія науки може бути загальною

або конкретно-науковою. Загальна методологія науки досліджує закони розвитку наукового пізнання в цілому. Водночас методологія ґрунтується на законах окремих наук, особливостях пізнання конкретних процесів і проявляється у здійсненні теоретичних узагальнень, принципів дослідження окремих наук. Розвиток методології науки пов'язаний також із розвитком методів наукового пізнання дійсності.

Можна також трактувати поняття «методологія» як учення про організацію діяльності (зокрема наукової діяльності), тобто цілеспрямованої активності людини. В якійсь мірі це найбільш повно віддзеркалює особливості сучасного наукового пізнання.

Поняття «методологія» ми будемо розуміти як систему принципів, підходів і методів, що використовуються для проведення наукового дослідження. Вона включає не лише конкретні методи, а й загальні принципи організації дослідження, вибору засобів і підходів до обробки отриманих результатів. Так, методологія охоплює:

Методологічні принципи. Це загальні правила та підходи до організації наукового дослідження. Наприклад, принцип об'єктивності вимагає неупередженого підходу до аналізу даних і результатів.

Методи дослідження. Це конкретні прийоми та інструменти, які використовуються для здобуття нових знань. Наприклад, у фізиці це можуть бути експерименти, спостереження, моделювання.

Методики дослідження. Це системи послідовних дій і процедур, що застосовуються під час дослідження, як-от методика проведення експериментів із вивчення властивостей твердих тіл.

Методологія виконує наступні функції:

- визначає способи здобуття наукових знань, які відображають динамічні процеси та явища;
- направляє, передбачає особливий шлях, на якому досягається певна науково-дослідницька мета;
- забезпечує всебічність отримання інформації щодо процесу чи явища, що вивчається;
- допомагає введенню нової інформації до фонду теорії науки;
- забезпечує уточнення, збагачення, систематизацію термінів і понять у науці;
- створює систему наукової інформації, яка базується на об'єктивних фактах, і логіко-аналітичний інструмент наукового пізнання.

Щодо наукового дослідження *метод* визначається як сукупність визначених правил, прийомів, способів і норм пізнання певного суб'єкта чи явища.

Згідно з різними джерелами «метод» має різні визначення, а саме:

Словники (Оксфордський словник англійської мови (Oxford English Dictionary): Метод визначається як «певний спосіб або процедура для досягнення чогось, особливо систематичним або встановленим шляхом»; словник української мови: Метод – це «спосіб дослідження явищ природи та суспільного життя, спосіб досягнення певної мети»); *енциклопедії* (Британська енциклопедія (Encyclopaedia Britannica)): Метод у науці описується як «систематизована процедура, техніка або спосіб дослідження, спрямований на відкриття нових знань або вдосконалення існуючих»; Українська енциклопедія: Метод визначається як «спосіб пізнання, що використовується в наукових дослідженнях для отримання нових знань та вирішення дослідницьких завдань»); *наукові статті* (у статті «Scientific Method» в Journal of Scientific Research метод

визначається як «логічна структура, що керує дослідженням і забезпечує спосіб упорядкування даних і теорій, щоб забезпечити точність і надійність висновків»; у роботі «Research Methods in Physical Sciences» метод розглядається як «система прийомів і процедур, яка включає експеримент, спостереження, моделювання і аналіз, для виявлення закономірностей та пояснення фізичних явищ») доцільно застосовувати наступне визначення:

Метод – це сукупність прийомів і операцій, які використовуються для досягнення конкретної наукової мети, вирішення поставлених завдань або отримання знань про об'єкт дослідження.

Іншими словами, метод є інструментом, за допомогою якого дослідник здобуває нову інформацію. У фізиці це може бути як теоретичний метод (наприклад, математичне моделювання), так і експериментальний (проведення лабораторних досліджень).

Серед найбільш поширених фізичних методів можна виділити:

Експериментальний метод. Один із найпоширеніших методів у фізиці, що передбачає проведення контрольованих досліджень з метою перевірки гіпотез або теорій. Наприклад, експерименти з вивчення електромагнітних хвиль дозволили підтвердити теоретичні передбачення Максвелла щодо їх властивостей.

Математичне моделювання. У фізиці часто використовуються математичні моделі для опису складних систем. Прикладом є використання рівнянь Максвелла для моделювання електромагнітних полів або рівнянь Шрьодінгера у квантовій механіці для опису поведінки мікрочастинок.

Метод аналогій. Цей метод використовується для порівняння різних фізичних явищ з метою перенесення відомих знань із однієї сфери на іншу. Наприклад, аналогія між механічними коливаннями та електричними коливаннями дозволила розробити теорію електричних ланцюгів.

Метод і методологія тісно пов'язані між собою та є взаємодоповнюючими елементами процесу наукового дослідження. Методологія визначає загальну структуру та логіку дослідження, а методи забезпечують інструментарій для досягнення конкретних результатів. Отже метод є складовою частиною методології, визначаючи конкретні кроки у процесі дослідження, методологія ж встановлює загальні принципи вибору методів і підходів, а також формує теоретичний фундамент для інтерпретації результатів дослідження. Вибір методології залежить від предмету та об'єкту дослідження, поставлених цілей і завдань, а також від наукової програми, в якій працює дослідник. Наприклад, у методології класичної механіки можна використовувати різні методи: від розв'язання диференціальних рівнянь руху до експериментального дослідження траєкторій.

Прикладами методології у фізиці є:

Методологія класичної механіки заснована на законах Ньютона. Вона включає такі методи, як аналіз динамічних систем, розрахунок траєкторій руху тіл і виведення рівнянь руху. Ця методологія дозволила створити фундаментальну основу для опису макроскопічних процесів.

Методологія квантової механіки оперує спеціальними методами, такими як методи операторів і хвильових функцій. Вона ґрунтується на імовірнісному підході та включає такі принципи, як принцип суперпозиції, невизначеності Гайзенберга та дискретність енергетичних рівнів.

3.2 Філософські та загальнонаукові методи наукового дослідження

Наукове дослідження є складним і багатоаспектним процесом, що включає використання різноманітних методів для аналізу явищ та виявлення закономірностей.

Наукове дослідження – це цілеспрямований і систематичний процес отримання нових знань або уточнення вже наявних. Воно включає розробку гіпотез, вибір методів дослідження, проведення експериментів або спостережень, аналіз отриманих даних та формулювання висновків.

До наукових досліджень і розробок відносять фундаментальні, прикладні наукові дослідження та науково-технічні (експериментальні) розробки.

Фундаментальні наукові дослідження – це теоретичні та експериментальні наукові дослідження, що спрямовані на одержання нових знань про закономірності організації та розвитку природи, суспільства, людини, їх взаємозв'язків. Результатом їх виконання є гіпотези, теорії, методи тощо. Фундаментальні наукові дослідження можуть закінчуватися рекомендаціями щодо проведення прикладних досліджень для визначення можливостей практичного використання одержаних наукових результатів, науковими публікаціями тощо.

Прикладні наукові дослідження – це теоретичні та експериментальні наукові дослідження, спрямовані на одержання й використання нових знань, але призначені, головним чином, для здійснення конкретної практичної мети чи завдання. Прикладні дослідження визначають можливі шляхи використання результатів фундаментальних наукових досліджень, нові методи розв'язання проблем, сформульованих раніше.

Науково-технічні (експериментальні) розробки – це систематичні роботи, що базуються на існуючих знаннях, отриманих у результаті досліджень і/чи практичного досвіду, та направлені на створення нових матеріалів, продуктів, процесів, пристроїв, послуг, систем чи методів. Ці роботи можуть бути також спрямовані на значне вдосконалення об'єктів, що вже існують. До обсягу розробок включені проєктно-конструкторські і технологічні роботи, роботи по

створенню дослідних зразків (партій) виробів (продукції), а також проєктні роботи для будівництва.

Наукове дослідження у фізиці може мати різні форми:

Теоретичне дослідження. Зосереджується на розробці математичних моделей, теорій і гіпотез. Прикладом є формулювання загальної теорії відносності Ейнштейна, яка теоретично передбачила викривлення простору-часу.

Експериментальне дослідження. Орієнтоване на підтвердження або спростування теорій через експерименти. Наприклад, експерименти з детекції гравітаційних хвиль 2015 р. підтвердили передбачення теорії Ейнштейна.

Серед методів наукових досліджень розрізняють *філософські* та *загальнонаукові* підходи, які забезпечують систематизацію знань, розробку теорій та перевірку гіпотез.

У контексті фізики філософські та загальнонаукові методи набувають особливого значення, оскільки фізика є наукою, що досліджує фундаментальні закони природи.

Філософські методи є основою будь-якої наукової діяльності, оскільки вони допомагають структурувати знання та формувати нові ідеї.

До них відносять:

Аналіз – це метод, що передбачає розчленування складного явища або процесу на окремі елементи для їх детального вивчення. У фізиці цей метод широко використовується, наприклад, при вивченні руху тіл. Аналізуючи рух об'єкта, фізики розглядають такі компоненти, як швидкість, прискорення, сила, що діє на тіло, векторні напрямки цих величин. Такий підхід дозволяє краще зрозуміти окремі аспекти процесу та зробити точні висновки.

Синтез є протилежністю аналізу і полягає в об'єднанні різних елементів або ідей для створення цілісного уявлення. Наприклад, у фізиці класична

механіка Ньютона є результатом синтезу багатьох спостережень і відкриттів, що дозволило створити єдину систему законів, яка описує механічний рух.

Абстрагування передбачає виділення суттєвих властивостей явищ, відкидаючи несуттєві деталі. У фізиці це часто застосовується, коли створюються ідеалізовані моделі, такі як «ідеальний газ», «абсолютно тверде тіло», «матеріальна точка». Ці моделі допомагають спрощувати складні системи для їх аналізу, що дозволяє точніше формувати загальні закони.

Узагальнення полягає у формулюванні загальних принципів і законів на основі окремих спостережень. Класичним прикладом у фізиці є формулювання другого закону Ньютона, який узагальнює спостереження за взаємодією тіл і дозволяє передбачати їх рух у різних умовах.

Загальнонаукові методи охоплюють підходи, що використовуються у всіх природничих науках, включаючи фізику, а саме:

Емпіричний метод базується на досвіді та експериментах. У фізиці цей метод є фундаментальним. Наприклад, закони Кеплера були сформульовані на основі ретельних спостережень за рухом планет. Надалі ці закони стали підґрунтям для формулювання закону всесвітнього тяжіння.

Логічний підхід передбачає побудову дослідження на основі чітких правил мислення. У фізиці прикладом логічного підходу є виведення формул та рівнянь на основі аксіом або законів. Наприклад, рівняння руху для прямолінійного рівномірного руху виводяться логічним шляхом із визначенням швидкості та часу.

Системний підхід вимагає врахування всіх елементів та взаємозв'язків у межах досліджуваної системи. У фізиці цей метод застосовується при аналізі комплексних систем, таких як термодинамічні процеси або електричні кола. Наприклад, у термодинаміці важливо враховувати взаємодію між різними елементами системи: тиск, об'єм, температура тощо.

Об'єктивний підхід полягає в неупередженості та незалежності отриманих результатів від особистих переконань дослідника. У фізиці це означає, що результати експерименту повинні бути відтворювані іншими дослідниками за тих самих умов. Наприклад, відкриття електромагнітної індукції Фарадея підтвердили інші вчені, що дозволило вважати це відкриття загальноприйнятим науковим фактом.

Філософські та загальнонаукові методи в наукових дослідженнях тісно переплітаються. Наприклад, формулювання закону збереження енергії є прикладом узагальнення на основі емпіричних спостережень та експериментів. При цьому синтез різних підходів дозволив зрозуміти, що енергія може переходити з однієї форми в іншу, але загальна її кількість залишається незмінною. Ця концепція була підтверджена в різних галузях фізики, від механіки до термодинаміки та квантової фізики.

Отже наукове дослідження вимагає комплексного підходу, що включає використання як філософських, так і загальнонаукових методів. Ці методи дозволяють науковцям структурувати інформацію, аналізувати складні явища, розробляти нові теорії та відкривати закони природи. У фізиці, як одній з основних природничих наук, такі методи є ключем до розуміння і передбачення явищ, що відбуваються у світі навколо нас.

3.3 Системний підхід і системний аналіз.

Моделі у науковому дослідженні

Сучасна наука часто стикається зі складними проблемами, для вирішення яких необхідно враховувати численні взаємозв'язки між різними елементами системи. У таких випадках традиційні методи дослідження, орієнтовані на вивчення окремих частин або аспектів, не дають достатньо повного розуміння об'єкта дослідження. Саме тут допомагають системний підхід і системний аналіз,

які дають можливість розглядати досліджуваний об'єкт як єдине ціле з урахуванням всіх його взаємозв'язків та динаміки.

Системний підхід та системний аналіз є ключовими особливо у фізиці, де вивчення складних об'єктів і процесів вимагає комплексного підходу. Завдяки цим методам дослідники можуть отримати цілісне уявлення про функціонування систем, знайти оптимальні рішення та прогнозувати поведінку систем в умовах зміни зовнішніх параметрів.

Системний підхід – це методологічний принцип, орієнтований на вивчення складних об'єктів як цілісних систем, що складаються із взаємопов'язаних елементів. Ключовою ідеєю системного підходу є те, що властивості системи не можна звести до суми властивостей її частин. Іншими словами, ціле має якісно нові характеристики, які не притаманні окремим компонентам.

У фізиці системний підхід дозволяє розглядати різноманітні об'єкти – від окремих частинок до глобальних явищ, таких як термодинамічні процеси або поведінка складних систем у квантовій механіці. При цьому різноманітні технічні, організаційні, економічні та соціальні питання і проблеми, методи і засоби їх вирішення концентруються навколо єдиних цільових програм, наприклад, космічні, енергетичні проєкти.

Основні характеристики системного підходу:

- *Цілісність*: вивчення системи як єдиного цілого.
- *Ієрархічність*: система складається з підсистем, які, в свою чергу, можуть бути системами нижчого рівня.
- *Взаємозв'язок і взаємозалежність елементів*: всі елементи системи пов'язані між собою і впливають на функціонування один одного.
- *Метафункція*: система має загальну мету, яка визначає її структуру і поведінку.

Одним із класичних прикладів системного підходу у фізиці є аналіз електричних ланцюгів. Електричний ланцюг розглядається не просто як сукупність компонентів (резисторів, конденсаторів, джерел струму тощо), а як єдина система, де всі елементи взаємодіють за певними законами, такими як закони Кірхгофа. При цьому аналізується не тільки поведінка окремих елементів, але й те, як їх взаємодія впливає на функціонування всього ланцюга.

Системний аналіз – це методологія дослідження складних систем, що передбачає послідовне вивчення структури, функцій, взаємозв'язків та поведінки елементів системи з метою вибору оптимальних рішень. Це один із ключових інструментів системного підходу, який застосовується для вирішення як наукових, так і практичних завдань.

Системний аналіз включає кілька основних етапів:

- *Постановка проблеми та визначення мети дослідження.* На цьому етапі визначається, яке саме питання необхідно вирішити, і формулюється мета дослідження. Важливо максимально враховувати всі фактори, що впливають на систему, включаючи зовнішні умови.
- *Моделювання системи.* На цьому етапі створюється модель системи, яка відображає її основні характеристики та взаємозв'язки між компонентами. Моделювання може бути математичним, фізичним або концептуальним. Наприклад, у фізиці для моделювання складних процесів часто використовують диференціальні рівняння.
- *Аналіз альтернативних рішень.* Після створення моделі розглядаються різні сценарії розвитку системи або варіанти її функціонування. Це дозволяє оцінити наслідки кожного варіанту та вибрати оптимальне рішення.
- *Прийняття рішення та впровадження результатів.* На основі проведеного аналізу обирається рішення, яке вважається найбільш ефективним з

точки зору досягнення поставленої мети. Це рішення може бути застосоване на практиці або використане для подальших досліджень.

Прикладами застосування системного аналізу у фізиці є:

1. *Аналіз складних квантових систем.* У квантовій механіці системний аналіз застосовується для вивчення багаточастинкових систем. Наприклад, при дослідженні взаємодії електронів у молекулах системний аналіз дозволяє виявити колективні ефекти, такі як кореляція частинок, які не можна описати шляхом простого розгляду окремих електронів.

2. *Термодинамічний аналіз теплових машин.* Системний аналіз використовується для оцінки ефективності теплових машин (наприклад, двигунів внутрішнього згоряння). Тут аналізується вся система: від джерела тепла і робочого тіла до відведення енергії. Завдяки системному підходу вдається знаходити способи оптимізації роботи машин, підвищувати їхню ефективність і знижувати втрати енергії.

3. У метеорології системний підхід і аналіз дозволяють створювати моделі клімату, що включають численні фактори: температуру, вологість, тиск, радіаційний баланс, рухи повітряних мас тощо. Такі моделі допомагають передбачати погодні умови та досліджувати глобальні зміни клімату.

Системний підхід і системний аналіз тісно пов'язані між собою і є взаємодоповнюючими, вони виступають ключовими інструментами у наукових дослідженнях. Системний підхід задає загальну методологічну рамку, в якій розглядається об'єкт дослідження як цілісна система, тоді як системний аналіз реалізує цю концепцію на практиці, дозволяючи детально вивчати взаємозв'язки між елементами та знаходити оптимальні рішення. У фізиці системний підхід і аналіз є основою для розробки ефективних методів дослідження складних процесів, які включають багато взаємодіючих компонентів. Вони дозволяють ефективно досліджувати складні системи, виявляти їхні загальні закономірності

та знаходити оптимальні рішення. У фізиці це набуває особливого значення, адже багато фізичних явищ і процесів мають системний характер, де взаємодія компонентів відіграє вирішальну роль. Завдяки системному підходу та аналізу дослідники можуть глибше розуміти природу складних процесів і ефективніше розв'язувати наукові проблеми. Наприклад, вивчення поведінки плазми в термоядерних реакторах або моделювання фізичних процесів у космосі неможливе без урахування системних підходів.

Важливим інструментом у наукових дослідженнях є *моделі*. Вони дозволяють вченим абстрагувати складні об'єкти та явища, аналізувати їх структуру та поведінку, робити прогнози і перевіряти гіпотези. Моделі виступають як посередник між реальністю та теоретичними уявленнями про неї, допомагаючи дослідникам вивчати об'єкти, які важко або неможливо дослідити безпосередньо.

Будь-який досліджуваний процес або явище залежить від багатьох діючих на нього факторів, що вимагає врахування значної кількості дослідних результатів. Тому вивчення досліджуваних об'єктів доцільно здійснювати за допомогою моделей.

Під моделюванням розуміють теоретичне чи практичне дослідження об'єкта, в якому безпосередньо вивчається не сам об'єкт пізнання, а допоміжна штучна або природна система, яка здатна його замінити і надати можливість одержати максимально повну інформацію про сам модельований об'єкт. Моделювання ґрунтується на методах теорії подібності.

Подібність явищ може бути фізичною і математичною. У фізично подібних явищах всі досліджувані процеси мають однакове фізичне походження, у математично подібних явищах процеси можуть мати різне фізичне походження, але математично описуватись однаково. Іншими словами, моделі – це штучні

системи у вигляді установок, приладів, комбінації окремих елементів та ін., що відтворюють явища або їх групу, і є подібними до тих, що вивчаються.

Моделі ділять на такі основні групи:

- математичні – призначені для дослідження явищ на установках, які дозволяють реалізувати математичну подібність;
- геометричні (іноді їх називають макетами) – дають тільки геометричну подібність без відображення суті явищ, які відбуваються;
- фізичні – для дослідження явищ на установках, які зберігають подібність основних фізичних процесів досліджуваного явища.

Найбільш поширені у наукових дослідженнях фізичні та математичні моделі. Фізичне моделювання дає можливість замінити у процесі дослідження складні об'єкти і процеси більш простими і досліджувати на основі цього замість реальних об'єктів і процесів їх прості заміники. При цьому вони дають можливість наочно спостерігати за багатьма реальними процесами чи явищами. За допомогою фізичних моделей стає можливим вивчати вплив окремих параметрів на досліджувані об'єкти.

Математичні моделі дозволяють кількісно досліджувати процеси і явища, які важко піддаються вивченню на фізичних моделях. Математичним моделюванням можна передбачити властивості або поведінку досліджуваного об'єкта чи процесу ще до їх створення.

У теоретичних дослідженнях застосовують моделі – аналоги. Виходячи з подібності об'єктів, процесів чи явищ, вивчають теоретичним шляхом поведінку моделі, а потім за допомогою відповідного математичного апарату визначають реальні закономірності.

Значно розширюються можливості моделювання за допомогою сучасних інформаційних технологій, особливо у тих випадках, коли недоцільно або

неможливо відтворити на реальних моделях (наприклад, моделювання аварійних режимів і ситуацій), оскільки часто виготовляти натурні моделі (геометричні і фізичні) навіть для проведення досліджень у звичайних умовах пов'язане із значними витратами коштів і часу. Стандартних рекомендацій щодо вибору і побудови моделей не існує. Головне, щоб модель відображала сутність досліджуваного об'єкта.

Поняття *моделі* в науковому дослідженні зазнало значних змін протягом історії науки. Розвиток концепції моделювання можна розділити на кілька етапів:

1. *Класичний етап (XVII-XVIII ст.):* Перші моделі були простими фізичними аналогами реальних об'єктів. Вони відображали зовнішні характеристики об'єкта і його поведінку. Наприклад, механічні моделі, які ілюстрували закони Ньютона, стали одними з перших моделей у фізиці. Моделі в цей період мали спрощений характер і часто зводилися до візуальних і фізичних репрезентацій.

2. *Теоретико-аналітичний етап (XIX ст.):* У цей період моделі почали активно використовуватися для абстрагованого опису складних явищ за допомогою математичних рівнянь. Це був суттєвий крок у напрямку розвитку теоретичної фізики. Наприклад, рівняння Максвелла, які описують електромагнітні явища, можна вважати теоретичною моделлю, що дозволяє передбачати поведінку електричних і магнітних полів.

3. *Моделювання як процес (XX ст.):* У XX ст. моделі стали розглядатися не просто як репрезентації, але і як динамічні системи, що дозволяють вивчати складні процеси у часі. З розвитком комп'ютерних технологій з'явилася можливість створювати і аналізувати складні числові моделі. Це дозволило фізикам, хімікам та іншим вченим працювати з об'єктами, які неможливо було моделювати аналітично.

4. *Сучасний етап (XXI ст.):* На сучасному етапі моделювання стало інтегрованою частиною наукового методу. Моделі використовуються не тільки для пояснення існуючих явищ, але й для прогнозування нових. Наприклад, моделі клімату використовуються для прогнозування глобальних змін клімату. У фізиці складні комп'ютерні симуляції застосовуються для моделювання поведінки частинок на рівні, що неможливо спостерігати експериментально.

Моделі можна класифікувати за різними критеріями:

1. *Фізичні моделі:* це реальні об'єкти або їх макети, які використовуються для вивчення певних властивостей системи. Наприклад, модель аеродинамічної труби використовується для дослідження руху повітря навколо літака.

2. *Математичні моделі:* представляють систему через набір рівнянь або математичних співвідношень. Наприклад, рівняння Шрьодінгера є математичною моделлю квантової механіки, яка описує поведінку частинок на квантовому рівні.

3. *Концептуальні моделі:* це абстрактні схеми або діаграми, які показують взаємозв'язки між елементами системи. Наприклад, модель атома Бора, яка зображає електрони на визначених орбітах навколо ядра.

4. *Комп'ютерні моделі:* на основі алгоритмів і програмного забезпечення використовуються для моделювання складних процесів, наприклад, поведінки плазми в термоядерних реакторах.

Серед прикладів моделей у фізиці можна назвати:

1. *Модель ідеального газу:* Модель ідеального газу є спрощенням реальної системи, яка дозволяє описувати поведінку газів за допомогою рівняння стану (рівняння Клапейрона). Хоча ця модель є спрощеною і не враховує міжмолекулярні взаємодії, вона досить точно описує поведінку багатьох реальних газів за звичайних умов.

2. **Модель атома Резерфорда-Бора:** Ця модель, запропонована на початок XX ст., дала змогу описати структуру атома і пояснити спектри випромінювання елементів. Хоча модель Бора була згодом замінена квантовими моделями, вона мала значний вплив на розвиток фізики та хімії.

3. **Модель Великого вибуху:** Це космологічна модель, яка описує еволюцію Всесвіту від початкового сингулярного стану. Вона базується на загальній теорії відносності і спостережних даних, таких як космічний мікрохвильовий фон і розширення Всесвіту.

4. **Моделі квантової хромодинаміки:** Модель кварків описує взаємодію кварків і глюонів та дозволяє робити прогнози щодо поведінки адронів у різних фізичних умовах, включаючи високоенергетичні зіткнення.

Моделі відіграють критичну роль у наукових дослідженнях, оскільки вони дозволяють:

1. *Абстрагувати та спрощувати:* Реальні системи часто мають складну структуру і численні взаємозв'язки. Моделі дозволяють спростити дослідження, виділяючи ключові характеристики та ігноруючи менш значущі деталі. Наприклад, модель ідеального газу в термодинаміці дозволяє абстрагувати від міжмолекулярних взаємодій і вивчати загальні закономірності поведінки газів.

2. *Прогнозувати:* Однією з головних функцій моделей є можливість прогнозування майбутніх подій або результатів експериментів. У фізиці це має вирішальне значення. Наприклад, моделі руху планет у рамках небесної механіки використовуються для точного прогнозування їхніх орбіт та подій, таких як затемнення або зіткнення космічних об'єктів.

3. *Перевіряти гіпотези і теорії:* Моделювання дозволяє науковцям перевіряти нові гіпотези, не вдаючись до дорогих або складних експериментів.

Наприклад, моделі квантової механіки дають змогу вивчати поведінку частинок на субатомному рівні, що є надзвичайно складним у реальному експерименті.

4. *Інтерпретувати експериментальні дані:* Моделі часто використовуються для інтерпретації експериментальних результатів, оскільки вони дозволяють пояснювати отримані дані на основі теоретичних уявлень. У фізиці, наприклад, моделі вивчення спектрів випромінювання атомів дозволяють зрозуміти структуру електронних оболонок.

5. *Оптимізувати при управлінні процесами:* Моделі дають змогу аналізувати складні системи для оптимізації їхньої роботи. Це особливо важливо у фізиці і технічних науках. Наприклад, моделі термодинамічних процесів використовуються для підвищення ефективності теплових машин.

6. *Візуалізувати та пояснювати складні процеси:* Моделі допомагають візуалізувати абстрактні концепції, що полегшує їх розуміння. Наприклад, модель електромагнітного поля, яку використовують у теорії Максвелла, дозволяє уявити складні процеси взаємодії електричних і магнітних полів.

7. *Розроблювати нові технології:* Завдяки моделям науковці можуть тестувати ідеї перед їх впровадженням у реальну практику. У фізиці це часто використовується у матеріалознавстві, де моделі допомагають прогнозувати властивості нових матеріалів на атомному рівні ще до їхнього синтезу.

Отже моделі відіграють центральну роль у наукових дослідженнях, особливо у таких точних науках, як фізика. Вони дозволяють значно спростити вивчення складних систем, забезпечують можливість прогнозування і сприяють розвитку нових теорій і технологій. Моделювання дає можливість створювати цілісні уявлення про явища, які не піддаються прямому експериментальному дослідженню, що робить його незамінним інструментом у сучасній науці. Розвиток моделей від простих фізичних аналогів до складних комп'ютерних

симуляцій відображає еволюцію науки загалом і показує, наскільки важливими є інструменти моделювання для прогресу знань.

3.4 Спеціальні методи наукового дослідження

Спеціальні методи наукового дослідження є ключовими інструментами у фізиці для розв'язання конкретних проблем, які не можуть бути вирішені за допомогою загальних методів. Вони включають в себе чисельні, теоретичні та експериментальні техніки, що дозволяють ученим досліджувати унікальні фізичні явища, отримувати точні результати і розробляти нові технології. У цьому контексті важливо зрозуміти, як саме спеціальні методи сприяють розвитку науки та їхню роль у дослідженнях фізичних явищ.

Спеціальним методам наукового дослідження у фізиці притаманні такі ключові аспекти:

1. *Дослідження специфічних явищ:* Моделі та техніки, спеціально розроблені для вивчення певних фізичних явищ, дозволяють детально аналізувати їхні властивості. Це є особливо важливим для вивчення явищ, які не піддаються простому аналізу, таких як квантові ефекти або екстремальні умови в астрофізиці.

2. *Обробка та аналіз даних:* Сучасні фізичні експерименти часто генерують значні обсяги даних. Спеціальні чисельні та статистичні методи використовуються для обробки цих даних, що дозволяє виявляти закономірності і перевіряти теоретичні моделі. Це важливо, наприклад, для таких областей, як дослідження частинок у прискорювачах або астрофізика.

3. *Моделювання складних систем:* Для аналізу і прогнозування поведінки складних систем, таких як плазма в термоядерних реакторах або елементарні частинки, використовуються спеціальні чисельні моделі. Це

дозволяє проводити симуляції і оцінювати результати без необхідності реальних експериментів.

4. *Перевірка і вдосконалення теорій:* Спеціальні методи дозволяють перевіряти нові теорії і моделі, проводячи точні експерименти або виконуючи складні розрахунки. Це допомагає підтверджувати або спростовувати наукові припущення і удосконалювати теоретичні концепції.

Серед прикладів спеціальних методів у фізиці слід зазначити:

1. Методи спектроскопії

Резонансна спектроскопія: Цей метод використовується для вивчення атомних і молекулярних рівнів. Наприклад, резонансна спектроскопія ЯМР застосовується для детального вивчення магнітних властивостей ядер, що допомагає в дослідженні молекулярної структури.

Рентгенівська спектроскопія: Рентгенівська спектроскопія застосовується для аналізу структури матеріалів. Метод дозволяє отримувати інформацію про розподіл електронів і атомів у матеріалах, що важливо для матеріалознавства та нанотехнологій.

2. Метод Монте-Карло

Моделювання частинок у прискорювачах: Метод Монте-Карло використовується для симуляції взаємодій частинок у високошвидкісних прискорювачах, таких як Великий адронний колайдер (LHC), що дозволяє передбачити результати експериментів і розшифрувати отримані дані.

Моделювання термодинамічних систем: Метод також застосовується для симуляції термодинамічних процесів у конденсованих середовищах, що допомагає досліджувати властивості рідин, твердих тіл і газів.

3. Фотонна спектроскопія та рентгенівська кристалографія

Рентгенівська кристалографія: Використовується для визначення тривимірної структури молекул на основі їхніх рентгенівських дифракційних

відбитків. Наприклад, рентгенівська кристалографія була ключовою для розшифрування структури ДНК.

Фотонна спектроскопія: Цей метод дозволяє досліджувати електронні переходи в атомах і молекулах. Наприклад, фотонна спектроскопія використовується для вивчення енергетичних рівнів атомів у лазерній спектроскопії.

4. Метод Лазерної спектроскопії

Дослідження квантових переходів: Лазерна спектроскопія дозволяє вимірювати точні енергетичні рівні атомів і молекул. Наприклад, метод лазерної абсорбційної спектроскопії використовується для вивчення мікроскопічних властивостей частинок і молекул.

Лазерне охолодження і захоплення: Лазерна спектроскопія також застосовується для охолодження і захоплення атомів, що дозволяє проводити точні вимірювання квантових властивостей і вивчати квантові ефекти.

5. Метод інтерферометрії

Виявлення гравітаційних хвиль: Інтерферометр LIGO дозволив виявити гравітаційні хвилі, які є слабкими коливаннями простору-часу внаслідок космічних подій, таких як зіткнення чорних дір.

Вимірювання мікроскопічних змін: Інтерферометрія також застосовується для точного вимірювання мікроскопічних змін у довжині або фазі хвильових фронтів, що має значення в дослідженнях на нанометровому рівні.

6. Метод рентгенівської томографії

Медичні дослідження: Рентгенівська томографія (КТ) широко використовується для медичних діагнозів, надаючи детальні зображення внутрішніх органів і тканин. Це дозволяє виявляти патології та планувати лікування.

Матеріалознавство: У матеріалознавстві рентгенівська томографія використовується для аналізу внутрішньої структури матеріалів, таких як композитні матеріали або пористі матеріали.

Спеціальні методи наукового дослідження є критично важливими для фізики. Вони не тільки дозволяють вирішувати специфічні завдання і досліджувати складні фізичні явища, але й сприяють розвитку нових наукових теорій і технологій, що має значний вплив на прогрес у фізиці та інших науках.

Список використаної літератури

1. Methodology // <https://www.britannica.com/search?query=Methodology>
2. Білуха М.Г. Основи наукових досліджень: Підручник для студ. екон. спец. вузів / М.Г. Білуха. – К.: Вища школа., 1997. – 271 с.
3. Крушельницька О.В. Методологія та організація наукових досліджень: Навч. посібник / О.В. Крушельницька. - К.: Кондор, 2003. - 192 с.
4. П'ятницька-Позднякова І.С. Основи наукових досліджень у вищій школі: Навч. посібник / І.С. П'ятницька-Позднякова. - К., 2003. - 116 с.
5. Mainzer, K. (2007). *Thinking in Complexity: The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mankind*. Springer.
6. Frigg, R., & Hartmann, S. (2020). *Models in Science*. Stanford Encyclopedia of Philosophy. Retrieved from <https://plato.stanford.edu/entries/models-science/>
7. Hestenes, D. (1987). *Toward a Modeling Theory of Physics Instruction*. American Journal of Physics, 55(5), 440-454.
8. Weisberg, M. (2013). *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*. Oxford University Press.
9. Laue, M., & Carlson, K. (2011). *Introduction to Experimental Particle Physics*. Cambridge University Press.
10. Morgan, M. S., & Morrison, M. (Eds.). (1999). *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge University Press.
11. Spectroscopy // Encyclopaedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/science/spectroscopy>
12. X-ray Diffraction // Journal of Applied Crystallography. URL: <https://journals.iucr.org/j/journal-of-applied-crystallography/>
13. Cryogenics // Reviews of Modern Physics. URL: <https://journals.aps.org/rmp/>