

Лекція 2. Фундаментальні фізичні теорії як основа побудови шкільного курсу фізики

План

1. Система методологічних знань у курсі фізики загальноосвітньої школи.

2. Фізична теорія як система.

3. Змістовна структура фізичної теорії.

Можна виділити наступну систему методологічних знань у курсі фізики середньої школи:

1. Науковий експеримент і методи експериментального (емпіричного) пізнання.

2. Фізична теорія і методи теоретичного пізнання.

3. Стрижневі методологічні ідеї фізики.

4. Основні закономірності розвитку фізики.

Одним з елементів цієї системи є фізична теорія і методи теоретичного пізнання. Фізична теорія – це цілісна система фізичних знань, повною мірою описує певне коло явищ і є одним з структурних елементів фізичної картини світу (див. табл.1).

Таблиця 1. Структура фізичної картини світу

Фізична картина світу		
Вихідні філософські ідеї і поняття	Фізичні теорії	Зв'язки між теоріями
Матерія, рух, простір і час, взаємодія.	Класична механіка Статистична фізика Електродинаміка Квантова теорія	Принципи: відповідності, додатковості, симетрії, причинності

Шкільний курс фізики структурований навколо чотирьох фундаментальних фізичних теорій: класичної механіки, молекулярно-кінетичної теорії, електродинаміки, квантової теорії. Теоретичне ядро шкільного курсу фізики втілює чотири зазначені фундаментальні теорії, спеціально адаптовані для шкільного курсу. Це дозволяє виділити в курсі фізики генеральні напрями у вигляді навчально-методичних ліній і потім формувати весь матеріал навколо цих ліній. Така генералізація навчального матеріалу дозволяє забезпечувати формування в учнів адекватних уявлень про структуру сучасної фізики, а також реалізацію теоретичного способу навчання. Генералізація навчального матеріалу спрямована на забезпечення якісного засвоєння системи знань, які є науковою базою загальної політехнічної освіти, на забезпечення ефективності навчального процесу і

глибокого та цілісного сприйняття певної області знань; на формування та розвиток творчого, науково-теоретичного способу мислення.

2. Фізична теорія як система.

Фізична теорія є системою, але не матеріальною, а концептуальною (система знань).

Об'єкт є системою, якщо відповідає наступним властивостям.

1. Об'єкт складається з елементів, взаємодіючих між собою, між елементами системи існують системоутворюючі зв'язки і відносини.

2. Елементи системи можуть представляти собою підсистеми, також складаються з елементів. У свою чергу, розглянута система входить як підсистеми в більш велику систему (ієрархічність).

3. Об'єкт як система є цілісним утворенням. Система характеризується інтегральними властивостями, які неаддитивні по відношенню до властивостей елементів системи.

4. Система володіє відносною самостійністю, автономністю.

5. Системі властива певна структура.

Фізична теорія володіє перерахованими властивостями, тобто є системою. Коротко розглянемо ці властивості стосовно до фізичної теорії.

Елементи фізичної теорії та їх зв'язку. Елементами (підсистемами) фундаментальної фізичної теорії є: 1) емпірична основа; 2) теоретичне концептуальне ядро; 3) дедуктивні наслідки (виведення). Взаємодія між елементами теорії виражається логічними зв'язками і відношеннями, бо теорія є не матеріальною, а концептуальною системою.

Ієрархічність. Підсистема (елемент системи) і система знаходяться у відносинах ієрархічного підпорядкування. Фізична теорія займає певне місце в ієрархії теоретичних узагальнень. Елементи фізичної теорії є підсистемами теорії, а конкретна фізична теорія в якості підсистеми входить у фізичну науку. Фізична наука є підсистемою фізичної картини світу (ФКС). ФКС слід розуміти як ідеальну модель природи, що містить найбільш загальні поняття, принципи, гіпотези фізики і характеризує певний історичний етап її розвитку, яка, в свою чергу, є підсистемою природничо-наукової картини світу.

В природничонаукову картину в якості підсистем входять також хімічна, біологічна, геологічна картини світу, космологія та ін. Природничий аспект спільно з гуманітарним утворюють культуру.

Цілісність (системність). Цілісність системи означає, що властивості й функції системи неаддитивні по відношенню до суми властивостей і функцій елементів системи. Фізична теорія як цілісне утворення володіє такими гносеологічними функціями, як пояснювальною, пророчу,

методологічної, евристичної функцій. Ці функції відсутні в окремо у кожному з елементів теорії.

Відносна самостійність теорії. У всіх системах зв'язок між її елементами є більш стійкою, впорядкованою і внутрішньо необхідним, ніж зв'язок кожного з елементів з навколишнім середовищем. В цьому проявляється відносна самостійність системи. Конкретна фізична теорія вивчає конкретний фрагмент дійсності. Власне, поділ природи на фрагменти і можливо тільки при їх відносній автономності. Це і обумовлює відносну самостійність конкретної фізичної теорії.

Структура фізичної теорії. Будь-яка система володіє структурою - відносно стійкою системою взаємозв'язку елементів, які утворюють ціле. Структура містить елементи і відношення між цими елементами. Структура - це найважливіша сторона системи і не може існувати сама по собі поза системою. Елементи структури фізичної теорії конкретизують загальний гносеологічний ланцюжок пізнання: рух в пізнанні від чуттєво-конкретного до емпірично-абстрактного (реалізується в експериментальному етапі пізнання), далі перехід до теоретично-абстрактного (реалізований фундаментальними змістовними узагальненнями) і далі сходження від теоретично-абстрактного до теоретично-конкретного (реалізується при дедуктивному аналізі конкретних фізичних систем фрагмента фізичного світу). Кожна з підсистем охоплює групу елементів теорії, а в сукупності система елементів (підсистем) визначає загальну інтерпретацію змісту теорії. Теорія в своїй предметній області і межах застосування вичерпно описує всі явища.

3. Змістовна структура фізичної теорії.

Розглянемо коротко логіку побудови елементів фізичної теорії. Емпіричне дослідження фрагмента дійсності є початковим етапом наукового пізнання. З індуктивного узагальнення результатів експериментаторів висувається наукова емпірична гіпотеза про закономірності спостережуваного явища, яка виражається емпіричним законом. Емпіричні закони оперують оціночними модельними об'єктами. Таким чином, *емпірична основа* як підсистема фізичної теорії сама складається з двох елементів: 1) експериментальних даних і 2) емпіричних законів. Прикладами таких емпіричних законів термодинаміки є емпіричні газові закони, емпіричний закон Дюлонга і Пті (Закон сталості теплоємності, згідно з яким молярна теплоємність твердих тіл при кімнатній температурі близька до $3R$), емпіричні узагальнення Майєра, емпіричні узагальнення Джоуля і т. п.

Емпіричні закони оперують емпіричними оціночними модельними, а не реальними об'єктами. Наприклад, газові закони оперують моделлю

ідеального газу. Під ідеальним газом розуміється газ, який підпорядковується газовим законам. Внутрішній зміст цієї моделі розкривається молекулярно-кінетичною теорією. З позиції молекулярно-кінетичної теорії під ідеальним газом розуміється газ, який складається з взаємодіючих матеріальних точок і знаходяться в безперервному хаотичному русі. При цьому передбачається, що такий газ, хоча і складається з матеріальних точок, але може прийти в рівноважний стан. В термодинаміці під ідеальним газом розуміється газ, внутрішня енергія якого залежить тільки від температури. Термодинамічний підхід і молекулярно-кінетична інтерпретація визначення ідеального газу пов'язані між собою.

Емпірична основа є базою формування теоретичних узагальнень, що виражаються основними законами фізичної теорії. Ці основні закони утворюють *теоретичне ядро*. Саме основні закони розкривають внутрішні причинно-наслідкові зв'язки, що визначають протікання явища в фізичній системі. Теоретичне ядро термодинаміки містить чотири фундаментальних начала (закони), які описують стан термодинамічних систем незалежно від конкретної природи об'єктів і фундаментальну модель реальних об'єктів - неструктуроване макроскопічне тіло без конкретизації природи об'єкта. Нульове начало стверджує про існування макроскопічного параметра рівноважного стану термодинамічної системи - температури T . Перше начало - закон збереження енергії в термодинамічних процесах - стверджує про існування функції стану термодинамічної системи - внутрішньої енергії U . Друге начало стверджує про існування у термодинамічній системі функції стану - ентропії S . Третє начало не вводить нової функції стану, а стверджує, що при прагненні температури до нуля ($T \rightarrow 0\text{K}$) ентропія всіх термодинамічних систем прагне до кінцевого мінімального значенню.

Фундаментальним теоретичним об'єктом (теоретичною моделлю тіл), яким оперує термодинаміка, є термодинамічна система як неструктурований макроскопічний об'єкт без вказівки матеріальної природи об'єкта. Такий вибір фундаментального модельного об'єкта обумовлює високу ступінь спільності термодинаміки і термодинамічного методу опису теплових явищ.

Отже, *теоретичне ядро* як підсистема термодинаміки структурно містить *дві компоненти*: 1) фундаментальні начала (закони) термодинаміки; 2) модельний теоретичний об'єкт, яким оперують начала термодинаміки. Термодинаміка як система наукового знання входить вже в якості елемента у фізичну науку. Фізична наука як елемент входить у фізичну картину світу. У цьому виявляється ще одна властивість систем - ієрархічність.

Зміст законів термодинаміки слід проілюструвати методами статистичної фізики. Принаймні, це необхідно здійснювати в рамках курсу загальної фізики.

З основних законів термодинаміки, дедуктивно з використанням математики, виводяться теоретичні наслідки, що описують конкретні фізичні системи. При викладі дедуктивних наслідків підкреслюється, що дедуктивне виведення наслідків у фізиці відрізняється від дедукції в математиці: у процесі виведення у фізиці вводяться додаткові (інші) модельні об'єкти, які відсутні в постулатах (ядрі) теорії.

Застосування основних законів до конкретних фізичних систем формує дедуктивні теоретичні наслідки термодинаміки, які описують термодинамічний стан конкретних систем. Прикладом дедуктивного наслідку ядра рівноважної термодинаміки є така технічна наука, як теплотехніка. Зауважимо, що дедуктивні виведення термодинаміки оперують вже більш конкретизованими моделями, ніж вихідна фундаментальна модель. Ці нові моделі, які включаються в структуру теорії, враховують специфіку описуваної конкретної термодинамічної системи. Зрозуміло, така конкретизація здійснюється з опорою на експеримент. Наприклад, при вивченні роботи теплових двигунів конкретизується властивість робочого тіла: елементарний склад палива, необхідна кількість повітря (в молях) для створення ефективної паливної суміші, його теплоту згоряння і інші необхідні параметри.

Саме дедуктивні наслідки можна перевірити в експерименті. Критерієм вірності фізичної теорії є багатогранна успішна виробнича діяльність по застосуванню на практиці наслідків з фізичної теорії. Фізична теорія має гіпотетико-дедуктивну організацію знання.

Отже, в змістовну структуру фізичної теорії як концептуальної системи входять взаємопов'язані елементи: *емпірична основа теорії; концептуальне теоретичне ядро теорії; дедуктивні теоретичні наслідки (виведення).*

Фізична теорія утворює цілісну систему знань про фрагменти природи. Її елементи гносеологічно взаємопов'язані і впорядковані.

ФІЗИЧНА ТЕОРІЯ			
Основа	Ядро	Наслідки (виведення)	Інтерпретація
Емпіричний базис. Система понять. Моделі. Закони.	Закони збереження. Принципи і постулати. Фунд. фіз. постійні.	Пояснення емпіричних фактів і передбачення нового.	Тлумачення основних понять і законів. Межі застосування теорії.

Узагальнення на рівні фізичної теорії в шкільному курсі фізики розгортається у відповідності з етапами циклу наукового пізнання, відрізняючись від узагальнень на рівні поняття та закону об'ємом: навколо ядра теорії повинні групуватися матеріали цілого розділу курсу. Застосування узагальнень на рівні теорії вирішило б питання про генералізації знань. При цьому застосування узагальнень у шкільному курсі на рівні фундаментальних теорій зустрічає ряд труднощів. Вони складаються в основному у невідповідності математичних знань учнів застосовуваному в фізичних теоріях складного математичного апарату. Звідси випливає, що для шкільного курсу фізична теорія має бути спеціально побудована як навчальна система знань, що має структуру теоретичного узагальнення згідно із законами пізнання, вирішальна елементарними засобами обмежений, але достатнє коло конкретних завдань. При цьому основні поняття, ідеї, моделі матеріальних об'єктів і їх взаємодій повинні відповідати сучасному рівню науки і забезпечувати якісне пояснення широкого кола фізичних явищ.

Основа	Правила дій над фізичними величинами. Правила співвідношення фізичних величин з дослідом. Система фундаментальних понять і величин. Емпіричні факти (емпіричний базис).
Ядро	Система законів (рівнянь), що визначає зв'язки і зміни фундаментальних фізичних величин. Сукупність законів збереження. Фундаментальні константи. Принципи симетрії і інваріантності. Закони зв'язку нових і старих теорій.
Наслідки (виведення)	Пояснення і передбачення нових фактів. Отримання кількісних висновків – функціональних залежностей між фізичними величинами. Теорія вказує загальні методи для вирішення широкого кола завдань
Інтерпретація	Інтерпретації, пов'язані з моделлю матерії і взаємодією. Аналіз зв'язків теорії з іншими теоріями. Межі застосування теорії

Необхідно зауважити, що узагальнення в різних розділах курсу фізики середньої школи нерівноцінні. У разі якщо класична механіка викладена в класичній формі теоретичного узагальнення, то в розділі «Молекулярна фізика» узагальнення не носять загального характеру. Не виділено теоретичних ядер в шкільній «Електродинаміці», «Коливаннях і хвилях», «Квантовій фізиці».

Це означає, що в рамках шкільного курсу фізики найбільш повно розглянуті структури класичної механіки та молекулярно-кінетичної теорії. Повністю розкрити структуру, наприклад, такої фундаментальної теорії як класична електродинаміка не видається можливим (зокрема, внаслідок недостатнього математичного апарату школяра).