

Методи моделювання та аналогій

Одним з методів, який полегшує усвідомлення суті багатьох фізичних процесів та їх закономірностей, розвиває логічне мислення і тим самим поглиблює та систематизує знання з фізики є метод аналогій. Під аналогією (від грец. *αναλογα* – подібність, схожість) слід розуміти перенесення закономірностей, здобутих на основі знань з вивчення якогось об'єкта (моделі) на інші, які є менш вивченими або менш доступними для дослідження. З аналогією тісно пов'язане моделювання. Моделювання – це дослідження об'єктів пізнання (реально існуючих предметів і явищ) за допомогою їхніх моделей. Це стосується як процесу пізнання в науці, так і процесу пізнання у навчанні.

Що розуміють під моделлю? Модель є відображенням реального об'єкта дослідження, під якою розуміють уявну або матеріально реалізовану систему, яка, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна замінити його так, що її вивчення дозволяє отримати нову інформацію про цей об'єкт. Тобто модель перебуває у певному відношенні до іншої системи, яка називається оригіналом. При цьому виконуються такі умови:

- *Відображення* – між моделлю й оригіналом існує відношення подібності;
- *Репрезентації* – модель у процесі наукового пізнання є заміником досліджуваного об'єкта;
- *Екстраполяції* – вивчення моделі дозволяє одержати інформацію про оригінал.

Щодо методів аналогії та моделювання в науці як ефективних та активізуючи методів модельно-наочного з'ясування суті фізичного явища, розкриття його істотних ознак або відношень без урахування деталей його протікання існує цілий ряд методичних розробок, статей, монографій.

Класифікуючи аналогії, ми виходили з того, що аналогія як модель відображає реальний або навчальний об'єкт і замінює його так, щоб за її допомогою можна було б дістати нову інформацію про цей об'єкт.

«Під класичною аналогією, - писав англійський вчений Дж. К. Максвелл, - я розумію ту часткову схожість між законами двох яких-небудь галузей науки, завдяки якій одна являє собою ілюстрацію іншої».

Моделі з уявлюваних об'єктів стали для Максвелла зручними формами вираження формальної теорії.

За допомогою аналогії видатний вчений спробував подати в зручній формі ті математичні прийоми та формули, які потрібні для вивчення електричних явищ. У своїх роботах він неодноразово підкреслював ілюстративну та евристичну функції аналогії.

У відкриттях багатьох учених велике значення мали саме аналогії, всю різноманітність яких можна звести до таких шести видів:

1. Аналогії *логічного* типу.

2. *Каузальні* аналогії (від спільності причин до спільності наслідків).
3. *Субстанціональні* (аналогії у фізичних поняттях).
4. *Структурно-функціональні* (аналогії у зв'язках між поняттями, їх сторін).
5. Аналогії типу *ізоморфізму* (аналогії об'єктів однакової структури).
6. *Емпірико-реляційні* (подані як результат досліджу).

Будь-який умовивід за аналогією завжди вужчий та бідніший, ніж оригінал, але дуже важливо забезпечити подібність. Аналогія є лише засобом керування дальшою розумовою діяльністю, що повинна привести до розуміння і, зрештою, до теоретичного пізнання об'єкта чи явища.

За основними властивостями аналогії поділяють так:

1. *Узагальнюючі* (встановлюють спільність між об'єктами).
2. *Комунікативні* (встановлюють зв'язок між різними науками та різними аспектами однієї й тієї самої науки).
3. *Екстраполяційні* (перенесення властивостей однієї системи об'єктів на другу).
4. *Евристичні* (встановлюють нові аспекти системи об'єктів, що моделюються).

Будь-яка аналогія складається з двох елементів: відомого і невідомого, і ефективність її застосування залежить від того, який ступінь подібності між ними можна встановити і що ми знаємо про невідоме. Відомий елемент стає схемою для визначення другого елемента аналогії.

Аналогія відкриває шлях дослідження на основі розуміння фізичного явища і не має доказової сили. Основне призначення аналогії – бути методом з'ясування.

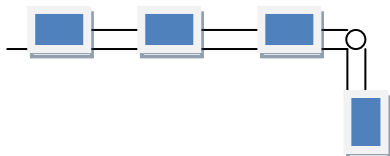
Допущення про подібність між двома об'єктами або явищами означає, що ознаки одного з них можна розглядати як можливі параметри другого. (Деякі ознаки ідеального газу можуть бути параметрами ненасиченої пари). Проте вказівка на подібність об'єктів ще не дає відповіді на питання про ступінь цієї подібності. Тому ми в кожному конкретному випадку повинні вибирати аналогію так, щоб вона визначала напрям і зміст нашої наукової та розумової діяльності. Якщо ж фізичне явище не має зазначеної аналогії, або має аналогію, побудовану на подібності тільки поверхових ознак відомого і невідомого елементів, то вона може бути навіть шкідливою.

Наведемо конкретні приклади різних аналогій.

Приклад 1. Вивчаючи рух молекул та їх бідову, можна застосувати аналогію між молекулами пластмаси і клубком переплутаних між собою ниток, які постійно рухаються в клубку.

Приклад 2. Відмінність в молекулярній будові газів, рідин і твердих тіл можна зрозуміти, застосувавши відому аналогію О. Ейхенвальда, спрощену Б. В. Рикуніним : молекули газу уподібнюються кульками, які пружно відбиваються од пластин. Крім того, доречно тут аналогія теплового руху в твердому тілі – з «бігом на місці» і наступним перескакуванням в інші положення , де знову продовжується «біг». А молекули газу тільки «кочують» з місця на місце і час їх «осілого життя» дорівнює нулю.

Приклад 3. Закони рівноваги, як стверджував Д'Аламбер, можна застосовувати для визначення руху системи. Для цього потрібно лише в умовах рівноваги враховувати сили інерції і тоді матимемо теореми, рівняння, що стосуються руху системи. Для прикладу розглянемо аналогію, що використовується під час розв'язування задачі на знаходження прискорення руху системи вантажів, маси яких відповідно дорівнюють m_1 , m_2 , m_3 , m_4 . Прототип – реальні вантажі з масами m_1 , m_2 , m_3 , m_4 , що рухаються із шуканим прискоренням. Щоб розв'язати задачу, рухому вантажі замінюємо нерухомими. Цей процес і є пошуком моделі.



При цьому на тіла мають діяти сили F_1 F_2 F_3 F_4 в напрямі, протилежному прискоренням цих тіл: $F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = F_{\text{тяж}}$. Так, у статистичній моделі ми дістали певне відношення. Перенесемо це відношення на прототип – рухому систему вантажів. Для цього виразимо сили інерції і силу тяжіння через характеристику руху, тобто прискорення. Користуючись другим законом Ньютона, дістанемо:

$$m_1 a + m_2 a + m_3 a + m_4 a = m_4 g$$

Тепер можна знайти прискорення a .

Приклад 4. Матеріальна точка M рухається рівномірно по колу радіуса r зі швидкістю v . Визначити напрям і модуль вектора прискорення руху точки.

Під час розв'язання задачі будемо спиратись на вже відомі положення теоретичної моделі рівномірного руху точки по колу. Для цього розглянемо графічну модель руху.

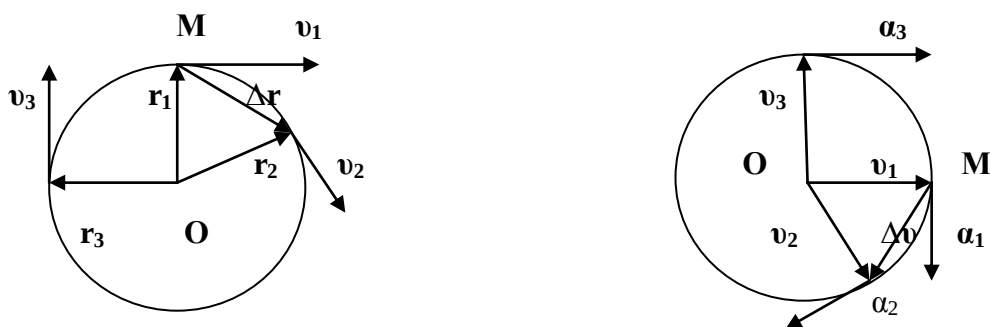


Рис. 1.1

Положення точки M відносно центра кола визначається радіус-вектором r , напрямом якого з часом змінюється (r_1 , r_2 , r_3 ...). За час, рівний періоду обертання, кінець радіус-вектора r описує лінію (коло), яка є траєкторією руху матеріальної точки. Вектор швидкості у будь-який момент часу спрямований уздовж дотичної до траєкторії.

Зобразимо всі вектори швидкостей v_1, v_2, v_3 і т. ін. так, щоб зберігати орієнтацію і просторі, тобто, щоб вони починались з однієї точки. Є очевидним, що кінець вектора v за період описує замкнену лінію – коло. У фізиці таку лінію прийнято називати годографом швидкості. Взагалі, годограф (від грец. одос – шлях, і ...граф) – це крива, що являє собою геометричне місце кінців змінюваного за часом вектора, відкладеного в різні моменти часу від однієї і тієї самої точки. Таким чином, траєкторія руху матеріальної точки є годографом її радіус-вектора.

Порівнюючи годограф радіус-вектора т. М і годограф її швидкості, можна провести формальну аналогію, відображену у наведеній порівняльній таблиці. Зауважимо, що ця аналогія ґрунтується не лише на подібності графічних моделей (власне годографів), але й на спільній математичній моделі. Тобто формули для годографа радіус-вектора т. М і годографа її швидкості будуть подібними.

Годограф радіус-вектора	Годограф швидкості
Вектор миттєвої швидкості v характеризує зміну вектора переміщення r матеріальної точки. Середня швидкість за інтервал часу Δt визначається співвідношенням $v_c = \Delta r / \Delta t$	Вектор миттєвого прискорення a характеризує зміну вектора швидкості v матеріальної точки. Середнє прискорення за інтервал часу Δt визначається співвідношенням: $a_c = \Delta v / \Delta t$
Вектор миттєвої швидкості у кожній точці спрямований по дотичній до годографа радіус-вектора.	Вектор миттєвого прискорення у кожній точці спрямований по дотичній до годографа швидкості.
Порівнюючи рисунки, переконуємось у тому, що вектор прискорення у кожній точці протилежний за напрямком радіус-вектору r . Тобто вектор прискорення a спрямований до центра кола, яке є траєкторією руху точки.	
За один період кінець радіус-вектора здійснює один оберт. Модуль швидкості руху пов'язаний з радіусом кола і періодом обертання співвідношенням: $v = 2\pi r / T$	За один період кінець вектора швидкості здійснює один оберт. Модуль прискорення пов'язаний з радіусом годографа швидкості v і періодом обертання співвідношенням: $a = 2\pi v / T$
Періоди обертання радіус-вектора r і вектора швидкості однакові. Відповідно, однакові й кутові швидкості. А отже:	
$\omega = 2\pi / T = v / r$	$\omega = 2\pi / T = a / v$

За характером застосування можна виділити аналогії порівняння (наприклад, закономірності гідродинаміки переносяться на закономірності протікання електричного

стуму) і прямі аналогії (аналогії між процесом випаровування та явищем термоелектронної емісії, електростатичним та магнітним полями, тощо).

Щодо поділу аналогій за характером умовиводів розрізняють аналогії індуктивного та дедуктивного типу.

В аналогіях індуктивного типу з подібності ознак предметів роблять висновки про подібність інших, тобто за відомими частковими закономірностями передбачають більш загальні.

В аналогіях дедуктивного типу, виходячи із загальних закономірностей чи явищ, роблять висновки щодо наслідків протікання в певних досліджуваних процесах. Тобто вважається, що закономірності, характерні для одного явища, властиві й другому, з іншою фізичною природою протікання (аналогії між механічними й електромагнітними коливаннями).

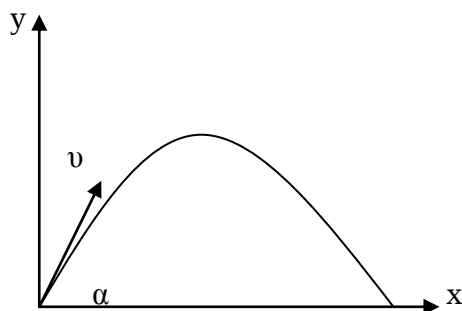
Моделі можна поділити на матеріальні та ідеальні. Наприклад, демонстраційна модель чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння є матеріальною моделлю реального об'єкта, в даному випадку двигуна внутрішнього згоряння. За допомогою цієї моделі можна вивчити принцип дії реального пристрою.

Ідеальні моделі існують в уяві, свідомості дослідника і можуть бути відтворені (матеріалізовані) словесно, у знаковій формі за допомогою малюнків, схем, формул. Тощо. Фізичні поняття, величини, закони є мовою фізичної теорії, за допомогою якої створюється теоретична модель досліджуваного об'єкта.

Як правило, в основі створення теоретичної моделі лежить математичне моделювання. Математичне моделювання – це відображення причинно-наслідкових зв'язків і відповідних закономірностей протікання тих чи інших фізичних явищ за допомогою системи рівнянь. Наприклад, система рівнянь

$$x = v_0 t \cos \alpha \quad y = v_0 t \sin \alpha - g t^2 / 2$$

є математичною моделлю руху тіла, кинутого під кутом до горизонту у гравітаційному полі. Якщо розглянути дану математичну модель у сукупності з графічною моделлю цього явища, а також системою відповідних понять (траєкторія, система відліку, початкова швидкість, прискорення вільного падіння та ін..), то будемо мати теоретичну модель даного руху. Отже, теоретичний метод дослідження фізичного явища полягає у побудові й аналізі його теоретичної, а отже, й математичної моделі.



Розв'язування фізичної задачі є процесом моделювання. Побудова адекватної теоретичної моделі фізичної ситуації, про яку йдеться в задачі, є запорукою її успішного розв'язку. Це називається етапом розуміння задачі або етапом побудови суб'єктом власної задачі. Без сумніву, що з таким завданням успішніше впорається той, хто володіє узагальненою математичною моделлю і може на її основі скористатися відповідною аналогією.

Для прикладу можна навести прямі аналогії між вільними механічними та електромагнітними коливаннями, між вільними механічними коливаннями та рівномірним рухом по колу. У цих випадках одне фізичне явище є аналогом для іншого і навпаки.

Формування згаданих методологічних знань може здійснюватися таким шляхом: від конкретного до загального, потім – від загального до конкретного. Спочатку шляхом порівняння й узагальнення результатів аналізу конкретних фізичних явищ будується спільна математична модель розв'язування фізичних задач. Потім на основі цієї моделі розв'язуються конкретні фізичні задачі, аналізуються фізичні явища за аналогією, побудованою на основі даної математичної моделі.