

## ДОТРИМАННЯ ПРИНЦИПУ ІСТОРИЗМУ ПРИ ВИКЛАДАННІ ЗАКОНІВ ЗБЕРЕЖЕННЯ

Олександр Бугайов, Микола Садовий

В статті розкрито історичні аспекти становлення принципів, які визначили розвиток і становлення законів збереження у фізиці.

The historical aspects of becoming of principles which defined development and becoming of laws of saving in physics are exposed in the article.

Розвиток методичної ідеї про визначення наскрізних фізичних понять для вивчення всього курсу фізики середньої школи залишається в стадії дослідження. Одним з таких понять є закони збереження, вивчення яких у шкільних і вузівських підручниках та посібниках не вдалось підняти на рівень «главенствования» при вивченні будь-якої теми. Ми вважаємо, що такий стан пояснюється недостатнім застосуванням принципу історизму при навчанні фізики.

Ми пропонуємо на уроках фізики в кожному класі здійснювати мотивацію введення поняття законів збереження та здійснювати актуалізацію опорних знань з проблеми використовуючи й історичний аспект. Аналіз підручників та посібників для середньої і вищої школи показав, що в них подається нерідко недостовірна інформація. Тому на нашу думку вивчення законів збереження слід здійснювати на основі ряду фундаментальних принципів та понять, зокрема, поняття інерції, відносності, сили, енергії. Розвиток цих понять в історії фізики здійснювався суперечливо.

На нашу думку в ході навчального процесу актуалізацію опорних знань доцільно провести з використанням чотирьох історичних етапів: античний; Декарт-Лейбніца; Бернуллі-Ейлера та Маєра-Гельмгольца.

В IV столітті до нашої ери представники іонійської філософської школи всю багатогранність природи намагались пояснити рухом деякого єдиного матеріального початку. Розвиток цих ідей виявлено у Геракліта Ефеського, Демокріта, Левкіппа і Епікура. Атомісти визнавали вічним рух. У III ст. до н.е. було відкрито закон прямолінійного поширення світла, закони відбивання і побудова зображень у дзеркалах – Евклід.

Демокріт вперше висловив ідею закону інерції – як наслідок закону збереження кількості руху: «Ніщо з того що є, не може бути знищено. Всяка зміна є лише з'єднання і розділення частин» [1, с. 62]. Аналогічну думку висловив Епікур: «Ніщо нове у всесвіті не виникає поза минулого безмежного часу» [1, с. 232].

Великий філософ Аристотель узагальнив ідеї механіки про рух атомів. Поняття інерції мислитель не розглядав як і поняття поступального прямолінійного руху. В наступні століття його вчення мало розвивалось.

Важливо у процесі навчання показати, що ідея збереження і перетворення енергії в історичному аспекті є синтезом двох тенденцій. Перша полягає в розвитку і узагальненнях уявлень про «величину» у механічному русі тіла чи системи тіл, а друга здійснювалась у послідовному розвитку кінетичного уявлення про теплоту. Ці тенденції знайшли свій науковий перетин після узагальнень Р. Майєра, Д. Джоуля та Г. Гельмгольца.

В становленні класичної механіки і принципу збереження роль Р. Декарта є чи не найбільш значущою. Він мав середню освіту, добровольцем служив у голландській армії і в армії Баварського, з 1621 року подорожував по Італії і жив у Парижі. В 1628 році переїхав до Голландії, де провів двадцять років у наукових дослідженнях. У листі

до К. Гюйгенса він писав: «Винайдення всіх машин ґрунтується на одному фундаментальному законі, а саме, що однакова сила потрібна для підняття вантажу, наприклад, в 100 фунтів на висоту двох футів і вантаж в 200 фунтів на висоту одного фута» [3]. Поняття «сила» вживається як дія сили. Через рік вчений писав М. Марсенну: «На кінець, Ви слово «сила» у цьому розумінні трактуєте, у якому я його розумію, коли говорю, що необхідна однакова сила для підняття вантажу в 100 фунтів на висоту одного фута, як вантажу в 50 фунтів на висоту 2 фута» [3].

На той час не було загальноприйнятого поняття «маса». Про силу Р. Декарт говорив у трьох вимірах: в статистиці – вага і зусилля людини чи тварини, у динаміці – «щось», яке впливає на рух і назване потужністю, ефектом, моментом. Слово «сила» могло визначати і поняття роботи. Із механічних положень Р. Декарт виводив необхідність збереження кількості руху у Всесвіті і приводить приклад. У всій створеній матерії є відома кількість руху, яка ніколи не збільшується і не зменшується. Якщо камінь падає з високого місця на землю, то у випадку, коли він не підскакує, а залишається, вчений допускає, що він коливає землю і передає їй свій рух. Але земля має, наприклад, в тисячу раз більшу матерію, ніж скільки міститься у камені, то передавши свій рух, він може передати тільки в тисячу разів меншу швидкість.

У книзі «Початки філософії» Р. Декарт виводить необхідність збереження запасу руху із теологічного характеру. За всіх недоліків, визначений ним закон збереження сприяв розвитку всієї механіки. Методологічний підхід вченого важливий для створення реальної картини перших кроків розвитку законів збереження.

У ранніх своїх творах Г. Лейбніц притримувався картезіанських поглядів і намагався пояснити явища тяжіння, пружності, магнетизму і теплоти, руху і сили. Пізніше він відійшов від картезіанства. Вчений запровадив поняття активної і пасивної сили (рівновага), замість терміну «маса» вживав термін «величина». Не розділяв точки зору, що творець намагається зберегти у природі одну і ту ж кількість руху. Г. Лейбніц стверджував, що величина сили змінюється не добутком маси на швидкість, а добутком маси на висоту падіння, яка викликає цю швидкість [4]. Неможливість побудови вічного двигуна Г. Лейбніц розглядає як аксіому. Істинною мірою є добуток із «величини тіла» на квадрат швидкості. В 1695 році вчений розділив поняття «мертвої» і «живої» сили. Для «мертвих» сил справедлива міра  $mv$  в її сучасному трактуванні. «Жива» сила сумується із нескінченного числа імпульсів «мертвої» сили. Строге доведення збереження «живої» сили дав К. Гюйгенс при розгляді теорії удару.

І. Бернуллі виступив у захист міри Лейбніца  $mv^2$ . Нині добуток швидкості та маси тіла є імпульсом тіла, а половина добутку маси тіла на квадрат його швидкості – кінетичною енергією. Триста років тому були одні сумніви. Значною мірою ці сумніви розвіяв син І. Бернуллі – Данило Бернуллі.

Данило Бернуллі застосував закон «живих» сил до різних задач механіки і поклав їх в основу своєї «Гідродинаміки» (1738 р.), де встановив закони руху рідини. Аналіз принципу «живих» сил, проведений Д. Бернуллі одержав високу оцінку Ж. Лагранжа. Він писав: «Данііл Бернуллі розширив цей принцип і вивів із нього закони руху рідких тіл, поміщених у посудини; до нього ця проблема завжди досліджувалась поверхово і довільно. На кінець, в «Memoires de Berlin» за 1748 р. він узагальнив цей принцип, показав, як його можна застосувати до руху тіл, що знаходяться під дією довільних сил взаємного притягання чи які притягуються до нерухомих центрів силами, пропорційними будь-яким функціям відстані» [6, с. 315-316]. Методичні прийоми Д. Бернуллі заслуговують на увагу і нині, бо вони якраз і розкривають основи динаміки руху рідини, чого бракує методиці навчання даної теми як у середній, так і у вищій школі.

Дискусії про міру «живої» сили вели й інші вчені К. Баумгарт, Г. Ріхман, К. Маклорена, В. Гравезанд, П. Мушенбрук, Г. Вольф. Лейбніцівської точки зору на міру руху притримувались В. Гравезандр, К. Більфінгер, П. Мушенбрук та інші. В той час Д. Папен, Д. Кларк, Ж. Дезаюльє притримувались декартівської міри руху.

У 30-ті роки XVIII ст. Філелейтер нападав на лейбнівців за їх трактування міри руху як  $mv^2$ . З приводу цього Г. Ріхман писав: «Взагалі дозволю замітити, що Філелейтер із Лондона 1) не відрізняє добре «живі» сили від мертвих; 2) не відрізняє добре силу центру тяжіння, що зазнає впливу від спряжених обставин, і силу центру тяжіння, що не зазнає впливу і вільну при підйомі й опусканні; 3) придумує явища та із них виводить наслідки, причому такі, які частіше всього не знищують принципу збереження «живих» сил» [12, с. 432].

Результати цієї дискусії певною мірою узагальнив Л. Ейлер за дорученням Академії. В той час в науці уже протистояли ньютоніанські і картезіанські напрямки. Послідовники І. Ньютона основну увагу звертали на опис явищ і на розробку математичного апарата, який застосовується до фізичних явищ. Послідовники Р. Декарта намагались шляхом сміливих гіпотез представити собі внутрішній механічний процес явищ, що спостерігаються.

Л. Ейлер – продовжувач справи І. Ньютона – все ж не заперечував і методичної значущості ідей Декарта. У праці «Основи динаміки точки» він дає модернізований виклад другого закону Ньютона. Виводить закон, що породження швидкості прямо пропорційне силам і часу та обернено пропорційне масі. Кількість «живої» сили вимірюється повною дією, яку вона в стані подати. На основі своєї аксіоми: «Різні тіла, наділені такими швидкостями, що вони можуть довести пружини до однакового ступеня напруги, мають однакові «живі» сили. Ці положення досить ясні, бо ми говоримо, що два тіла мають однакові сили, якщо вони приводять однакові дії. Тут же за дії приймається розтяг пружини до певного ступеня» [5].

Доцільно познайомити учнів з цікавою оцінкою принципу «живих» сил, що дав Ж. Лагранж. Він вважав, що всі принципи і теореми відомі під назвою принципів збереження «живих» сил, збереження руху центру тяжіння, збереження моментів обертання чи принципу площі і принципу найменшої дії [6, с. 314]. Їх потрібно розглядати не як первинні принципи динаміки, а загальні висновки із законів динаміки. Про принцип збереження «живих» сил він пише, що цей принцип був відкритий К. Гюйгенсом у формі, дещо відмінній від тієї, яка була дана в наступному. У К. Гюйгенса положення зводиться до рівності між зниженням і підвищенням центру тяжіння множини важких тіл, які падають будучи з'єднаними разом, а потім піднімаються окремо, причому кожне з них піднімається вгору з тією швидкістю, яку воно набуло при падінні. Але згідно з властивостями центра тяжіння шлях, пройдений центром в будь-якому напрямі, визначається відношенням суми добутоків маси кожного тіла на шлях, пройдений ним в тому ж напрямку, до суми цих мас. З іншого боку, згідно теореми Галілея вертикальний шлях, пройдений важким тілом, пропорційний квадрату швидкості, яку тіло набуло при вільному падінні і з якою воно може знову піднятися на ту ж висоту. Таким чином, принцип Гюйгенса зводиться до того, що при русі твердих тіл сума добутоків мас на квадрат швидкостей в будь-який момент має одне й те ж значення незалежно від того, рухаються тіла (перебуваючи якимсь чином зв'язаними одне з другим) чи вони вільно проходять ті ж вертикальні шляхи.

Другий принцип був висунутий Ньютоном, доводить, що стан спокою чи руху центра тяжіння декількох тіл не зміниться внаслідок взаємної дії цих тіл. Цей принцип визначає рух центра тяжіння.

Третій принцип – принцип збереження моментів обертання був відкритий Л. Ейлером, Д. Бернуллі і К. Дарсі і «полягає в тому, що при русі декількох тіл навколо

нерухомого центру, сума добутоків маси кожного тіла на його швидкість обертання навколо центру і на відстань його від того ж центру є завжди незалежною від взаємної дії, які тіла можуть здійснювати одне на друге, і повинна завжди залишатись незмінною, якщо немає якоїсь зовнішньої дії чи перепони» [6, с. 317].

До ідеї про міру «живої» сили дотикається дискусія про рух тіл під дією удару. Г. Галілей з цієї проблеми провів досліди з посудинами з водою з отворами у дні. Вченому не вдалось установити якісь закономірності і зв'язати їх з уявленням про збереження міри руху.

У 1639 р. чеський вчений Марці опублікував результати своїх досліджень з явища удару тіл. Він поділив тіла на м'які, крихкі і тверді, хоча досліджував тверді тіла. Висновки були як позитивні, так і неправильні.

У методиці навчання фізики рідко розкриваються суперечності, які виникали в ході дискусій, хоч вони є важливими для активізації мислення. Для прикладу, різко негативні відношення з боку механіків XVII ст. викликали до себе закони удару Р. Декарта. Основною помилкою вченого було те, що він не розділяв пружні та непружні тіла. Тому і висновки були різними. При розгляді удару вчений не враховував векторний характер швидкості. Розчарованим у висновках Декарта був і К. Гюйгенс, який на той час відкрив основні методи, за допомогою яких розв'язав задачу про пружний удар. В основу розрахунків він поклав:

- принцип відносності руху;
- теорему про однаковість швидкості зближення тіл до удару і відносною швидкістю віддалення тіл після удару;
- гюйгенсівську форму теорему про живі тіла [7, с. 298].

Повчальною для учнів і студентів є інформація про те, що у 1666 році Лондонське королівське товариство оголошує конкурс на тему удару. Учасників було три: Д. Валліс, К. Рен та К. Гюйгенс.

Д. Валліс в основу поклав положення Декарта про міру руху як добуток маси та швидкість.

К. Рен зводив удар до коливань маятників навколо центрів тяжіння.

К. Гюйгенс свої мемуари ґрунтував на:

- принципі інерції;
- принципі, за якого при ударі двох однакових твердих тіл, що мають однакові швидкості, кожне із тіл віддаляється з тією швидкістю, яку вони мали до удару;
- принципу відносності, за якого умови удару не змінюються, якщо швидкості тіл будуть підраховані по відношенню до рухомих тіл, що здійснюють рівномірний прямолінійний рух.

Конкурс виграв К. Гюйгенс, залишивши у фізиці теорію удару, яка використовується у підручниках і нині.

В 1677 р. вийшла праця Е. Маріотта «Про зіткнення або про удар тіл», де було узагальнення великої кількості експериментальних проблем удару.

Теоретичними дослідженнями явища удару займались Т. Юнг, С. Пуасон, Л. Навьє, Г. Герц. Нині поняття удару в фізиці і механіці уточнено [8, с. 638].

З методичної точки зору до питання про збереження і незнищення руху дотикається питання про інерцію. В «Нарисах загального плану» Ф. Енгельс писав: «Механіка: відправною точкою для неї була інерція, є лише від'ємним вираженням незнищуваності руху» [9, с. 343]. Поряд з поняттям про міру живої сили дискусії про поняття інерції було важливим і необхідним етапом у розвитку законів збереження і перетворення енергії.

Уявлення про прямолінійний рівномірний рух з інерції було розроблено Р. Декартом.

Г. Лейбніц вважав, що поняття інерції відкрито І. Кеплером.

П. Майерсон вніс суттєві зміни в трактуванні висловів Г. Лейбніца, поклавши, що поняття інерції пояснюється ним як синонім маси. Він писав: «Це твердження в головній частині своїй незмінно справедливе. Кеплер часто стверджує, що в силу «інерції» матерія чинить опір силі, яка намагається зсунути її з місця і, те що відбувається в результаті руху регулюється відповідно відношенням між цією інерцією і рухомою силою. А це в сучасних термінах означає, що матерії приписується числовий коефіцієнт, тобто саме суттєве із нашого поняття маси» [11, с. 494].

О. Конт назвав принцип інерції законом Кеплера, проте цьому заперечував П. Майерсон.

Поняття інерції та закон інерції у фізиці пов'язано з ім'ям великого мислителя і вченого Г. Галілея. Його ім'ям названо закон інерції. Все ж слід учням і студентам внести ясність. Вчений вважав, що природним є лише рух по колу. Тіло, що рухається по колу, вічно напрямлене туди, звідки воно виходить, в той час як прямолінійний рух є рух туди, куди дійти неможливо. «Я заключаю із цього, що якщо Земля за природою має намагання до руху, то таким може бути лише кругове, а прямолінійне залишається використання його частинами; і це не лише у Землі, але й у Місяця, у Сонця й у всіх других тіл, які входять у Всесвіт. Тому якщо частини будуть насильно віддалені від цілого і, відповідно, будуть приведені до поганого і хаотичного розміщення, то вони найшвидшим способом до цього цілого повернуться» [10, с. 94]. Таким чином, Г. Галілей був далеким від принципу прямолінійного руху з інерції. Як М. Копернік, так і Г. Галілей слідували древнім грекам і вважали, що в добре упорядкованому світі не має місця прямолінійному руху. Сальвіаті говорить «Але після того, досягнутого кращого розташування і розміщення, неможливо, щоб у тілах залишалась природна схильність до прямолінійного руху, в результаті якого тепер мали б тільки відхилення від належного і природного місця, тобто внесення безпорядку. Таким чином, чи можемо сказати, що прямолінійний рух може доставляти матеріал для спорудження, але останнє готове, то воно або залишається нерухомим, або, якщо і володіє рухом, то тільки круговим» [10, с. 115-116]. У перший день «Діалогу про дві головні системи світу» Г. Галілей відкинув Аристотелеву ідею про неземну природу небесних тіл. У другому дні Сальвіаті повертається до кругового руху. Про прямолінійний рух мови не йде.

Добре сприймається учнями та студентами листування дослідників. З листа Р. Декарта до П. Марсена можна зробити висновок, що уявлення про прямолінійний рівномірний рух з інерції вперше було розвинуто Р. Декартом. З проблем інерції Р. Декарт проводив дискусії з Р. Бекманом: «По перше, я передбачаю, що рух, який один раз надано деякому тілу, в ньому вічно залишається, якщо тільки воно не взято назад із тіла якоюсь іншою причиною, тобто, що почало рухатись в пустоті, рухається необмежено з тією ж швидкістю» [2, с. 247].

Р. Декарт пише: «... будь-яка річ окремо, оскільки вона проста і неподільна, продовжує по можливості перебувати в одному і тому ж стані і змінює його не інакше, як від зустрічі з другими» [2, с. 486]. Другий закон Декарта: «... кожна частинка матерії окремо намагається продовжити подальший рух не по кривій, а виключно по прямій, хоч деякі з цих частинок буває вимушені від неї відхилитись, зустрічаючись на своєму шляху з іншими частинками, а також тому, що, як було сказано раніше, при всякому русі утворюється круг, або кільце, із всієї матерії, що одночасно рухається» [2, с. 486]. Розглядаючи рух каменя, який вискочив з праці: «Це досить ясно доводить, що камінь весь час має схильність рухатись по прямій лінії і що по колу він іде лише з примусу ... Із всіх рухів тільки один рух по прямій досить простий» [2, с. 202-203].

Розглядаючи логіку дискусій з проблеми становлення основних принципів, на яких будується закон збереження та перетворення з методичної точки зору важливо показати, що у спорі про міру руху одним із аргументів був принцип неможливості побудувати вічний двигун. З історії фізики відомо, що вічний двигун намагались побудувати в 1245 р. Віллар д'Оннекер в Англії, в 1269 р. Пьер де Марікур у Франції та інші.

Леонардо да Вінчі ґрунтовно довів неможливість побудови такого двигуна. Після Леонардо італійський лікар і математик Д. Кардано (1501-1576) вказав на неможливість побудувати годинник, який би сам піднімав ваги та рухомі механізми. Проти можливості побудови вічного двигуна висловились С. Стевін, Г. Галілей, Р. Декарт, К. Гюйгенс.

В 1775 р. Парижська академія наук постановила не приймати до розгляду описи вічного двигуна.

Таким чином зародження і розвиток ідеї про збереження і перетворення «живих» і «неживих» сил лягли в основу теорії закону збереження та перетворення енергії. Цей творчий процес був тривалим і гостро дискусійним. Таким він є і у нинішній науці. Знання учнями та студентами цього процесу сприяє розвитку творчого початку у навчанні і сприяє формуванню наукового світогляду як у фахівців – учителів фізики, так у школярів.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Материалисты древней Греции. – М.: Госполитиздат, 1966. – С. 62, 232.
2. Descartes R. Oeuvres, publiee par Ch. Adam et P. Tannery, v. 1-12, et Suppl. Paris, 1897-1913, – P. 202-486.
3. Descartes R. Correspondance, v. 12. – Paris, 1969, – P. 436.
4. Leibnitz G.W. Leibnizens mathematische Schriften. C.J. Gerhardt (Hrsg.) Zweiter Abt., Bd II. Halle, 1860, S. 117-123.
5. Полак Л.С. Некоторые вопросы механики Леонарда Эйлера /В кн. Леонард Эйлер, 1707-1957. – М.: АН СССР, 1958. – С. 231-265.
6. Лагранж Ж.Л. Аналитическая механика. Т. 1.– М.: Наука, 1977. – С. 314 - 317.
7. Гюйгенс Х. Три мемуари по механике. – М.: АН СРСР, 1951. – С. 298.
8. Давиденков Н.Н., Ленский В.С. Удар. БСЭ. – 2-е изд. – Т. 43, – С. 638.
9. Энгельс Ф. Диалектика природы. Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения, т. 20. – М.: Политиздат, 1976. – С. 343.
10. Galilei G. Le opera, v. 1-20. – Edizioni nazionale, Firenze, 1840-1909, – P. 94-116.
11. Майерс Э. Тождественность и действительность. – СПб., 1912. – С. 494.
12. Рихман Г.В. Труды по физике. – М.: АН СССР, 1956. – С.432.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Бугайов Олександр Іванович** – професор, доктор педагогічних наук, відділ методики фізики та математики Інституту педагогіки АПН України.

*Наукові інтереси:* дидактика та історія фізики.

**Садовий Микола Ілліч** – доктор педагогічних наук, професор Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

*Наукові інтереси:* проблеми дидактики фізики.