

**Віктор СЛЮСАРЕНКО**, аспірант кафедри фізики та методики викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка

## **ІСТОРІЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ І ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ**

*В допомогу вчителям та учням пропоную історичний матеріал встановлення закону збереження і перетворення енергії, котрий можна використати як на уроках фізики, так і в позакласній роботі.*

Чому ми вважаємо справедливим закон збереження і перетворення енергії і впевнені, що він діє у всіх без виключення явищах природи? Адже очевидність не аргумент на користь істинності. Впевненість в справедливості цього закону заснована на тому, що він є підсумком багатовікового розвитку фізичної науки, підсумком, до якого йшла фізика складним, довгим, а часом і зигзагоподібним, шляхом. Не окремі досліди учених, а вся історія розвитку фізики обґрунтовує справедливість цього закону, і кращий спосіб переконатися в його істинності - прослідкувати за тим, як в історії фізики викристалізувалися ідеї, складові істинності даного закону.

Ідея збереження руху, з якої, зокрема, і виріс закон збереження енергії, була вперше висловлена ще в античну епоху. Вже тоді сформувалося переконання в тому, що ніщо безслідно не зникає і не виникає з нічого. Цю думку вперше висловив давньогрецький вчений Демокрит, а пізніше Лукрецій Кар. Так, у Демокріта ми знаходимо: «Ніщо не виникає з небуття і не зникає в небуття». Але це всього лише, тільки геніальні припущення. Свій розвиток ця ідея отримала лише в XVII столітті, в період становлення класичної механіки [4].

Аналізуючи механічний рух, Галілей встановив закон інерції і тим самим виявив незникність та збереженість механічного руху. Але у Галілея ще немає визначення міри руху, збереження якої виражало б загальну філософську ідею збереження руху. Його вперше вводить французький мислитель Рене Декарт. Він запропонував величину  $mv$  і вважав, що арифметична сума цих величин для всіх тіл системи зберігається (щоправда, в Декарта ще не було поняття маси, він говорив про «величину тіла», розуміючи під цим те, що нині виражає поняття маси). Тим самим Декарт вперше формулює закон збереження імпульсу, вважаючи його універсальним законом природи. Адже арифметична сума  $mv$  не завжди зберігається. Наприклад, після пострілу сума  $mv$  снаряда і знаряддя рівна 0, а після пострілу арифметична сума цих величин не рівна нулю; нуль дає геометрична сума алгебри, якщо напрям руху відображати. Величину  $mv$  маємо вважати векторною. Дуже багато фактів не вкладалися в декартовий закон

збереження.

Гюйгенс (1629—1695) побачив помилковість твердження Декарта про збереження арифметичної суми  $mv$ . Відзначаючи ігнорування даних Декарта, він зазначав: «Декарт, схоже, збирається вирішувати всі питання фізики, не піклуючись про те, міркує він правильно чи ні». Гюйгенс фактично вперше звернув увагу на векторний характер величини  $mv$ . Тілам з різним напрямком руху він приписував величині  $mv$  різні знаки, показуючи, що зберігається алгебраїчна сума цих величин. Разом з тим у Гюйгенса вперше з'являється інша міра руху -  $mv^2$  - прообраз майбутньої кінетичної енергії. Дійсно, якщо, наприклад, куля, яка рухається з швидкістю  $v$ , вдаряється об нерухому і удар є абсолютно пружним, перша куля зупиняється, а друга набуває швидкість. При цьому зберігається і сума величин  $mv$  для обох куль, і сума величин  $mv^2$ . Це і виявив Гюйгенс [3].

У 1686 році виходить в світ класичний твір І. Ньютона «Математичні початки натуральної філософії», в якій дається строга закінчена теорія механічного руху. Ньютон вводить поняття маси, дає визначення кількості руху як векторної величини, формулює з використанням цього поняття основний закон руху  $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ . З цього закону як наслідок отримуємо, що при відсутності зовнішніх сил векторна сума величин  $mv$  зберігається в системі тіл в цілому.

Проте Ньютон не додавав цьому закону істотного значення і не вважав його універсальним – він для нього всього лише як наслідок основного закону динаміки. Крім того, Ньютон не визнавав ідею збереження руху і перетворення одного виду в інший. Він вважав неможливість виникнення і знищення руху й вважав; що вся різноманітність явищ природи кінець кінцем зводиться до механічного руху. Згідно міркувань Ньютона, для підтримки і збереження руху необхідні зовнішні «активні початки». Аналізуючи непружний удар, Ньютон вважав, що механічний рух знищується (наприклад, при ударі кулі з глини об перешкоду). Таким чином, ідея збереження в працях Ньютона не розвивається. Але в тому ж 1686 році, в якому вийшли в світ «Почала» Ньютона, з'являється праця німецького філософа і математика Г. Лейбніца (1646—1716). В ній він аналізує проблему, яку обійшов в своїх працях Ньютон - проблему міри руху. В своїх подальших працях Лейбніц відкидає декартову міру руху  $mv$  як універсальну і вважає величину, введenu Гюйгенсом -  $mv^2$ , називає «живою силою», на відміну від величини  $mv$ , якій він дав назву «Мертва сила» [6].

Чому Лейбніц віддавав перевагу величині  $mv^2$  і вважав закон збереження «живої сили» універсальними? Під «живою силою» Лейбніц розумів здатність рухомого тіла проводити ту або іншу дію, приводити в рух інші тіла або, як ми сказали б тепер, здійснювати роботу, тобто під силою Лейбніц розумів те, що нині називають енергією, і «сила» у Лейбніца - це зовсім не те, що «сила» у Ньютона. По Лейбніцу про запас руху можна судити по проведеній за рахунок руху дії, наприклад по підйому вгору. Якщо б мірою руху була величина  $mv$ , те тіло, кинуте вгору з вдвічі більшою швидкістю, повинно було б піднятися на вдвічі

більшу висоту. Але насправді тіло, що має вдвічі більшу швидкість, піднімається на висоту, в 4 рази більшу. Примітно, що втрату «живої сили» при непружному ударі Лейбніц пояснює передачею «живої сили» (енергії) найдрібнішим частинкам тіл. Суперечка про те, що є дійсною мірою руху, продовжувалася тривалий час і сприяла формуванню енергетичних понять. Ідеї Лейбніца підтримував і розвивав Бернуллі (1667—1748) [6]. Проте, хоч ця полеміка і готувала фундамент для встановлення закону збереження енергії, в рамках цієї дискусії фізика не прийшла безпосередньо до закону збереження енергії. Адже в цей період неподільно панувала механіка, процеси ж перетворення форм руху не розглядалися. А для того, щоб «побачити» закон збереження і перетворення енергії, треба було вийти за межі механічного руху.

Отже, в ході розвитку механіки в XVI—XVIII століттях висувається ідея збереження деяких речовин. Це є першим напрямком розвитку науки, що прямує до встановлення загального закону збереження і перетворення енергії.

Другий напрям був пов'язаний не з теоретичною, а з прикладною механікою і полягав в поступовому затвердженні думки про неможливість вічного двигуна і у формуванні поняття про роботу. Створення машини, в якій би робоча частина знаходилася у вічному русі без повідомлення руху ззовні, - перспектива дуже примарна. Правда, вже механікам старовини було відомо, що скільки виграєш в зусиллі, стільки програєш в дорозі, але ідея неможливості виграти в роботі за допомогою простих механізмів ще не усвідомлювалася як ідея неможливості вічного двигуна. Починаючи з XIII століття проекти вічного двигуна сипляться як з рогу достатку, і можливість створити таку машину обговорюється серйозно серед учених епохи середньовіччя. Проте всі спроби такого роду виявлялися марними, хоч і було незрозуміло, чому не вдається створити вічний двигун. Поступово стала затверджуватися думка, що невдача створення вічного двигуна не випадкова, що створити вічний двигун принципово неможливо. Саме так відносилися до цієї проблеми І. Кеплер, Леонардо да Вінчі, Галілей, Гюйгенс, С. Стевін та ряд інших вчених [6]. Поступово виникає метод доказу шляхом «приведення до вічного двигуна, що неможливе». Таким шляхом С. Стевін доводив умову рівноваги тіл на похилій площині.

У XVIII столітті неможливість створення вічного двигуна усвідомлюється вже достатньо чітко. Не випадково в 1755 році Паризька академія наук оголошує, що заявки з проектами вічного двигуна надалі розглядатися не будуть. Але від принципу неможливості вічного двигуна до формулювання закону ще дуже довгий шлях. Дійсно, адже не так легко зрозуміти, що неможливість створити вічний двигун означає самоствореності і незникності руху.

Проблеми вдосконалення машин поставили питання про кількісну оцінку продуктивності машин. Рішення цього питання привело до поняття роботи. Природно, що підйомна машина (або насос) тим краще, чим більше вага того, що піднімається нею й чим на більшу висоту буде піднятий цей вантаж за певний час, тобто продуктивність машини можна оцінювати величиною  $Sh$ . Термін «робота» і

чітке визначення цього поняття, а також встановлення зв'язку роботи із зміною величини  $mv$  у вигляді формули  $F\Delta t = m \cdot \Delta v$ . У Т. Юнга (1773—1829) ми знаходимо перше вживання терміну «енергія» замість раніше використовуваного терміну «жива сила» по відношенню до величини  $mv^2$ . Проте поняття енергії міцно увійшло до науки на багато пізніше - лише в другій половині XIX столітті в результаті праць В. Томсона і В. Ранкіна [8].

Отже, другий напрям відкриття закону збереження енергії пов'язаний з вирішенням проблеми неможливості побудови вічного двигуна.

Третій напрям — це вивчення перетворення одних форм руху матерії в інші і, перш за все, вивчення взаємозв'язку механічних і теплових явищ. Розглянемо розвиток третього напрямку.

Загальний закон збереження і перетворення енергії був встановлений лише в середині XIX столітті. Але ж закон збереження механічної енергії Г. Лейбніц встановив ще в кінці XVII століття, а в XVIII столітті утвердилася ідея неможливості вічного двигуна. Чому ж так довго йшла фізика до загального закону? Що ще не вистачало для встановлення цього закону? Не вистачало розуміння перетворення однієї форми руху матерії в іншу. У основі ньютонівської теорії механічного руху лежить поняття сили, і успіхи механіки Ньютона свідчили про надзвичайну цінність поняття сили. Чи не можна і інші групи явищ пояснити за допомогою цього поняття, тим більше що авторитетом Ньютона була освячена думка про можливість всіх явищ природи звести до механічних? Така перспектива представлялася більш ніж принадною. Сили тяжіння діють між тілами і частинками, а електричні, магнітні сили зовсім не універсальні. Стали вважати, що електричні й магнітні сили проявляють не частинки речовини, а особливого роду невагомні матерії - електричний і магнітний флюїди, які виявляються носіями цих сил і відповідальні за всі електричні і магнітні явища. Аналогічно цьому теплові явища пояснювалися існуванням в тілах субстанції - теплорода. Явище горіння пов'язували з існуванням особливого флюїда - флогістона. Зрозуміло, що раз за кожну область явищ відповідає свій особливий флюїд, то ні про який зв'язок явищ мови бути не може і нічого досліджувати цю проблему. Тому ідея перетворюваності однієї форми руху в іншу, яка лежала в основі закону збереження і перетворення енергії могла затвердитися лише після поразок теорій, що спираються на уявлення про флюїди [6].

А ці уявлення були вельми живучими, а часом виявлялися вельми плідними, адже в рамках учення про теплород сформувалися всі основні поняття калориметрії: «кількість теплоти», «питома теплоємність» і т.д. Пояснення теплових явищ на основі вчення про теплород здавалися вельми природними й простими. Наприклад, теплопровідність пояснювалася як процес передачі теплорода, який тече від нагрітого тіла до холодного подібно до рідини по трубі; тепловий баланс при перерозподілі тепла пояснювався збереженням кількості теплорода; виділення теплоти при терті пояснювалося «вичавлюванням» теплорода з тіл, що взаємодіяли і т.д. Не випадково, що період розвитку фізики

XVIII століття називають «епохою невагомих».

В кінці XVIII – початку XIX століть різко зростає інтерес до проблеми теплоти, що пов'язане з розвитком металургії і створенням теплових машин. Крім речовинної теорії теплоти, заснованої на уявленні про теплород формується і кінетична теорія тепла, згідно якої суть теплоти в русі частинок речовини. Найбільшим прихильником цієї точки зору був М. В Ломоносов, заслуга якого не тільки в захисті кінетичної теорії тепла, але і у формулюванні одного з найважливіших законів збереження - закону збереження маси. Довгий час речовинна теорія тепла була поза конкуренцією, і лише в самому кінці XVIII століття в результаті праць англійських учених Румфорда і Деві, їй був завдано рішучого удару [8].

Румфорд, спостерігаючи висвердлювання каналів стволів гармат, був вражений тим, що при свердленні виділяється величезна кількість теплоти. Якщо теплота - це особлива речовина (теплород), то звідки береться необмежена його кількість? Або вона народжується з нічого, що украй підозріло, або породжується рухом. Прихильники теплороду стверджували, що при терті відділеної стружки відбувається зміна теплоємності. Якщо дійсно теплоємність стружки менша, ніж у такої ж кількості металу, взятого суцільним шматком, то при збереженні постійної кількості теплороду  $Q$  температура стружок повинна підвищитися при їх терті. Румфорд звичайним калориметричним методом порівняв теплоємність стружок і такої ж маси металу, взятого суцільним шматком, і виявив, що теплоємність в обох випадках одна і та ж. Отже, вчення, про теплород не може пояснити нагрівання тіл, що взаємодіють, і залишається визнати, що теплота - це рух частинок речовини. Такий же висновок витікав з дослідів Деві, який проводив плавлення шматків льоду за рахунок їх і тертя один об одного.

Отже, досліди Румфорда і Деві показали неспроможність теорії теплороду і ця теорія стала поступово поступатися своїми позиціями кінетичної теорії тепла. Таким чином, один флюїд фізики поступово вигнали, а разом з цим признали, що в процесах тертя механічний рух перетворюється на рух частинок речовини - в тепловий рух. Після цього прийшли до твердження, що в процесі роботи теплової машини відбувається процес зворотного перетворення теплового руху в механічний.

У першій третині XIX століття були зроблені ряд відкриттів, що поставили під сумнів існування електричних і магнітних флюїдів. Створення гальванічних елементів Вольта і вивчення явища електролізу (Деві, Фарадей) говорили про взаємоперетворення хімічних і електричних процесів. Відкриття теплової дії струму (У. У. Петров, Джоуль) і термоелектричного явища (Зеебек) і треба визнати взаємопроникність електричних і теплових явищ. Виявлення магнітної дії струму (Ерстед) і явища електромагнітної індукції (Фарадей) говорили про взаємозв'язок електричних і магнітних явищ. Електричний і магнітний флюїди розглядалися як абсолютно незмінна суть і припущення про перетворення одного флюїда в інший у рамках цього вчення було абсолютно неможливим [7].

Отже, розвиток фізики вимагало від вчених визнання ідеї взаємоперетвореності форм руху матерії і тим самим готували фундамент для встановлення закону, який вдягнувся б цю ідею в строгу і конкретну форму й з'єднав її з іншою найважливішою ідеєю - ідеєю збереження руху. Але вглядіти сам закон в украй обширному фактичному матеріалі, що накопичився, було нелегко. Для його аналізу і узагальнення потрібні були широта філософського підходу, строгість математичного аналізу досвідчених даних і скрупульозність експериментального дослідження. І так вже вийшло, що всі ці три «функції» розподілилися між трьома вченими — Р. Майєром, Г. Гельмгольцем і Д. Джоулем. Можливо, не випадковою обставиною було те, що жоден з них не був по суті фізиком-професіоналом: Майєр - лікар, Гельмгольц за освітою фізіолог, а потім вже фізик; Джоуль - промисловець. Для узагальнення фактичного матеріалу і висунення закону, що виходить за межі механіки, треба було відмовитися від упередженості і піднятися вище традиційного для фізиків-професіоналів того часу механістичного світогляду.

Р.Майєр першим сформулював закон еквівалентності механічної роботи і теплоти і розрахував механічний еквівалент теплоти (1842 р.). Д.Джоуль експериментально підтвердив припущення про те, що теплота є формою енергії і визначив міру перетворення механічної роботи в теплоту.

М.Гельмгольц у 1847 р. математично обґрунтував закон збереження енергії, показавши його загальний характер. Підхід усіх трьох авторів до становлення закону збереження енергії був різноманітним. Майєр відштовхувався більше від загальних положень, пов'язаних з аналогією між "живою силою" (енергією), що одержували тіла при своєму падінні відповідно до закону всесвітнього тяжіння, і теплотою, що віддавали стиснуті гази. Джоуль йшов від експериментів по виявленню можливості використання електричного двигуна як практичного джерела енергії (ця обставина і змушувала його задуматися над питанням про кількісну еквівалентність роботи і теплоти) [6].

М.Гельмгольц прийшов до відкриття закону збереження енергії, намагаючись застосувати концепцію прямування Ньютона до прямування великого числа тіл, що знаходяться під впливом взаємного тяжіння. Його висновок про те, що сума сили і напруги (тобто кінетичною і потенційною енергією) залишається постійною, є формулюванням закону зберігання енергії в його найбільше загальній формі. Цей закон - найбільше відкриття ХІХ сторіччя.

### Література:

1. Гельффер Я.М. Законы сохранения. – М.: Наука, 1967. – С. 245.
2. Горбов А.И. Флогістон. «Энциклопедический словарь». СПб., 1902, т. 71. – С. 139.
3. Гюйгенс Х. Три мемуари по механике. – М.: АН СРСР, 1951. – С. 298.
4. Материалисты древней Греции. – М.: Госполитиздат, 1966. – С. 62, 232.
5. Ломоносов М.В. Полное собрание сочинений, т. 2. – М.: АН СССР, 1956. – С. 53-649.
6. Слюсаренко В. В. Історичні коріння законів збереження. / Вісник Чернігівського

національного педагогічного університету. – Випуск 89. – Серія: Педагогічні науки. – Чернігів: ЧНПУ, 2011. – С. 157-161.

7. Слюсаренко В. В. Методика ознайомлення учнів з абсолютністю законів збереження в мікросвіті / Наукові записки. – Випуск 98. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2011. – С.127-130

8. Франкфурт У.И. Закон сохранения и превращения энергии. – М.: Наука, 1978. – 192 с.