

**УДК 372.531**

**Д. С. Лазаренко,**  
аспірант  
(Кіровоградський державний  
педагогічний університет)

### **ВИКОРИСТАННЯ ДРУГОГО ЗАКОНУ НЬЮТОНА В ГІДРОДИНАМІЦІ**

**Постановка проблеми.** Передача від покоління до покоління і збереження великої спадщини наукових (фізичних знань), накопичених людством за часи його існування, є одним із найважливіших завдань фізичної освіти. Вивчення фізики – це процес функціонування розумової діяльності людини, характерний високим рівнем логічного мислення, виявом умінь інтегрувати елементи одержаної інформації у відносно завершену теорію. Саме цей факт вимагає від вчителя підвищення рівня мотиваційної діяльності. Мотиваційний аспект – вагомий чинник активізації учнів до сприймання і опанування новою інформацією. Особливо вагомого значення він набуває для вивчення матеріалу, який має низький рівень наочного відображення. Завдання вчителя полягає в тому, щоб показати і глибоко переконати суб'єктів навчання у необхідності вивчення теоретичних основ, практично спрямувати розповідь, повідомлення на базі наведених прикладів, що охоплюють оточуюче середовище. Використання історичного матеріалу у більшості випадків є невід'ємною частиною змісту і процесу навчання фізики. Джерела інформації, які доступні суб'єктам навчання, у більшості випадків позбавлені багатьох історичних фактів, які досить цікаво сприймаються учнями і студентами та за умов їх використання ліквідовують прогалини у знаннях, розширюють розуміння фізичної картини світу. То ж є потреба зробити доступною таку інформацію для всіх суб'єктів навчання [7]. У статті пропонується матеріал, який може бути використано як під час викладання фізики в загальноосвітній школі, так і у процесі викладання курсів фізики й історії фізики у вищих педагогічних навчальних закладах.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Використання вчителем фізики принципу історизму у навчально-виховному процесі – не тільки підвищує ефективність навчання, а й посилює значення фізичної науки у усвідомленні учнів, що є тим самим поштовхом, який спонукає школярів і студентів до вивчення фізики. Використанню історичного компоненту в змісті навчання фізики багато приділяють уваги сучасні методисти: П. Атаманчук, О. Бугайов, М. Головка, С. Гончаренко, В. Ільченко, Л. Клименко, Є. Коршак, О. Ляшенко, М. Мартинюк, В. Мощанський, А. Павленко, Т. Попова, М. Садовий, М. Шут та ін. У своїх роботах вони приділяють належну увагу історичному матеріалу та зауважують на тому, що звертання до історії науки показує учневі, який важкий і тривалий шлях ученого до істини, що сьогодні формулюється у вигляді короткого рівняння або закону.

**Мета статті** – показати шляхи підвищення науковості викладання шкільного курсу фізики за рахунок уточнення деяких історичних фактів на основі показу значення і ролі використання другого закону Ньютона в гідродинаміці.

Ньютон сформулював другий закон так: зміна кількості руху (імпульсу) пропорційна рухомій силі і відбувається за напрямом тієї прямої, якою ця сила діє [6, с. 66]. Користуючись сучасною мовою, це формулювання краще записати так: похідна від кількості руху тіла дорівнює за величиною діючій силі і збігається з нею за напрямком. Якщо  $K$  – імпульс тіла,  $F$  – діюча сила, то в будь-який момент часу:

$$F = \frac{dK}{dt}, \text{ або } F = \frac{d}{dt}(mv). \quad (1)$$

І тільки в тому випадку, коли маса тіла залишається сталою в часі, можна величину маси винести за знак похідної і записати:

$$F = m \frac{dv}{dt}, \quad (2)$$

де  $\frac{dv}{dt}$  є прискоренням тіла.

С. Вавілов у книзі “Ісаак Ньютон” показав, що в такій формі другий закон може застосовуватися і в релятивістській динаміці. Лише в окремому випадку, коли маса тіла не залежить від швидкості і не змінюється з часом, ми можемо записати  $mdv = Fdt$  і, поділивши обидві частини рівності на  $\Delta t$ , перейти до окремої власної форми закону:  $ma = F$  [3]. У цьому одне з виражень дивовижної прозорливості Ньютона, яку підкреслював С. Вавілов. Ньютонівська форма другого закону має один особливо важливий дидактичний аспект. Написавши закон у вигляді  $F = m \frac{dv}{dt}$ , ми приходимо до простого трактування важкого

поняття сили. Можна стверджувати, що сила – причина зміни кількості руху тіла і пов’язана завжди із взаємодією тіла, що рухається, з іншими тілами під час зіткнення чи на відстані. Сила є мірою цієї взаємодії.

Із другого закону в ньютонівській формі випливає, що при  $F = 0$ ,  $mv = const$ , тобто ми приходимо до першого закону. Змінити стан руху тіла за цієї маси тим важче, чим більший його імпульс. Цьому є багато життєвих ілюстрацій. Ньютонівська форма другого закону динаміки застосовна і на практиці. Наприклад, всі механічні ефекти в гідро- та аеродинаміці оцінюються саме за зміною кількості руху. Під час виведення основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії в основу покладають закон у ньютонівській формі.

Гідродинаміка — розділ гідромеханіки про рух нестисливих рідин під дією зовнішніх сил і механічну взаємодію між рідиною й тілами за умови їхнього відносного руху. Під час вивчення певної задачі гідродинаміки використовують основні закони й методи механіки і, враховуючи загальні властивості рідин, дістають розв’язки, що дають змогу визначити швидкість, тиск або дотичні напруження зсуву в будь-якій точці простору, заповненого рідиною. Це дає змогу обчислити, зокрема, і зусилля, що виникають під час взаємодії між рідиною й твердим тілом.

Закони гідродинаміки використовують при проектуванні суден, літаків, турбін, трубопроводів, гідротехнічних споруд, під час дослідження морських течій, фільтрації підземних вод і нафти в родовищах. За Ньютоном рідина – це таке тіло, частини якого поступають будь-якій як би там не було прикладеній силі, поступаючись, вільно рухаються одна відносно іншої [5]. “Начала” Ньютона (1689) в гідродинаміці ознаменували собою перехід від аналогового моделювання “кулюкидання” до математичного. Становлення механіки, а значить, і фізики як точних наук почалося з рівняння Ньютона:

$$F = m \frac{dv}{dt}$$

Яке можна вважати за початкову парадигму всієї фізики.

Природно прийняти, що в теоретичній гідродинаміці парадигмами є математичні моделі перебігу рідини. Для застосування рівняння Ньютона до руху суцільного середовища слід було перейти Л. Ейлер (1707–1783) до опису течії у фіксованій точці простору, тобто віднести масу і силу до одиниці об’єму. Для цього ж потрібно було ввести субстанційне прискорення

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt} + (v, \nabla)v .$$

Нарешті, перехід від окремих тіл до континіуму зажадав замість зосередженої в точці сили введення нормальної напруги – тиск  $p$ . На відміну від ньютонівної механіки виявилось, що напруга не заданий априор, а самовиникає внаслідок руху рідини! Перехід до континіуму зробив петербурзький академік Л. Ейлер. Виведені їм в 1755 році рівняння руху суцільного середовища, що не втратили актуальності і в наш час, так і називаються – ейлеровими:

$$\rho \frac{dv}{dt} = -\Delta p, \nabla v = 0, \quad (3)$$

де  $\rho$  – густина рідини.

У ширшому сенсі рівняннями Ейлера називаються рівняння руху будь-якого ідеального середовища, будь то стискуваний газ або стратифікована рідина. Модель ідеального суцільного середовища фон Нейман образно і дотепно назвав “моделлю сухої води”. Вона стала першою парадигмою гідродинаміки. Гідродинаміка містить красу двох видів. З одного боку, це краса логіки, краса математичного факту. А з іншого боку – краса вихорів, краса непізної нелінійності. У динаміці вихорів помітні – але не роздільні! – три процеси: народження, еволюція і дифузія. Модель ідеальної рідини описує еволюцію, іноді – народження, але ніколи – дифузію вихорів. Для розуміння процесів народження і дисипації знадобилося перейти до складнішої моделі – моделі “микрої води”, що враховує вплив в’язкості рідини.

Якщо перша парадигма будувалася на спекулятивній основі, виходячи з основних принципів і понять механіки, то для побудови другої парадигми були потрібні деякі априори невідомої характеристики

властивостей даного суцільного середовища: у цьому випадку – в'язкість, а в загальному випадку – теплопровідності, стисливості, другої в'язкості тощо.

У гідродинаміці є три точні закони збереження: маси, імпульсу і енергії. На основі цих законів (перших принципів фізики) виводяться рівняння руху. Решта законів – наближені, емпіричні. До них відносяться так звані закони стану, що визначають залежність коефіцієнтів перенесення від макроскопічних параметрів: закони Клапейрона, Фіка, Ньютона, Дарсі і так далі. Де взяти ці закони стану? Природно спробувати їх добути у межах кінетичної теорії під час вивчення структури середовища в масштабі, меншому за порядком величини, чим гідродинамічний масштаб. Кажучи іншими словами, усереднити що відбуваються в середовищі внутрішні фізико-хімічні процеси по малих (атомно-молекулярним) масштабах. На жаль, така програма до цих пір не завершена. Проте це вже історія іншої науки (Джозеф, 1986). Уперше рівняння руху в'язкої рідини виписав французький вчений і інженер Луї Нав'є (1785–1836). Для цього потрібно було ввести тензор напруги, тобто врахувати не тільки нормальні, але і дотичні сили. У праву частину (3) Нав'є ввів адитивний член, відповідальний за прояв в'язкості. Рідина, напруга в якій лінійно пропорційна деформації, називається ньютонівською, тому що вперше таку гіпотезу було висунуто Ньютоном: “Опір, що походить від недоліку ковзкості рідини, за інших рівних умов передбачається пропорційним швидкості, з якою частинки рідини відокремлюються один з одним” [5, с. 486]. Сьогодні ми знаємо, як розуміти його неточний вислів “швидкості, з якими ...”. Це – поперечний градієнт швидкості рідини. Проте в конкретному завданні про коловий рух Ньютон виводить помилкову умову для тертя, на що через 158 років після виходу його “Начал” вказав Дж. Стокс.

Для ньютонівської рідини рівняння зберегли векторну форму:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \mu \nabla^2 v, \quad \nabla v = 0, \quad (4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості.

Значний внесок у дослідження цього рівняння зробив Стокс (1819–1903). Тому рівняння (4), а також їх узагальнення на випадок руху рідин з іншими властивостями називаються рівняннями Нав'є – Стокса. Рівняння Ейлера – окремий випадок рівнянь Нав'є – Стокса при  $v = 0$ . Сам Стокс “отримав по заслугах” – лінійне рівняння Нав'є – Стокса:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \mu \nabla^2 v \quad (5)$$

називається його ім'ям – стоксове рівняння.

Друга парадигма – це математична модель перебігу в'язкої рідини. Кожна частинка поточної рідини (газу) випробує дію з боку навколишніх частинок, ця дія визначається тиском  $p$ . Ми вже бачили, що зміну тиску визначає прискорення рухомої частинки. Виходячи з цих уявлень, виведемо основний закон динаміки для частинки рідини.

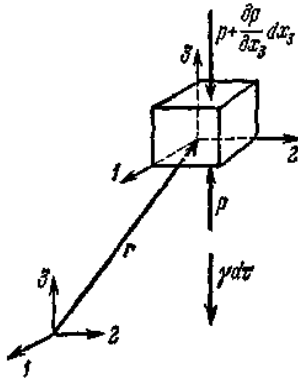


Рис. 1. Виділена частинка у формі куба

Припустимо, що виділена частинка у формі куба об'ємом  $d\tau = dx_1 dx_2 dx_3$ , що знаходиться в точці  $r(x_1, x_2, x_3)$  (рис. 1). На кожну грань куба діє сила тиску. Наприклад, на грань  $dx_1 dx_2$  знизу діє зусилля  $p dx_1 dx_2$ , а на протилежну грань – зусилля:

$$-\left(p + \frac{\partial p}{\partial x_3} dx_3\right) dx_1 dx_2.$$

Тому вздовж осі 3 на куб діє сила:

$$p dx_1 dx_2 - \left(p + \frac{\partial p}{\partial x_3} dx_3\right) dx_1 dx_2 = -\frac{\partial p}{\partial x_3} d\tau.$$

Окрім цього, на частинку діє сила тяжіння, рівна:  $-\gamma d\tau$ , направлена протилежно осі 3 (тут  $\gamma$  — питома вага рідини). Тоді за другим законом динаміки:

$$\rho d\tau \frac{dv_3}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_3} d\tau - \gamma d\tau,$$

або

$$\rho \frac{dv_3}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_3} - \gamma \quad (6)$$

де  $V_3$  – компоненту швидкості по осі 3.

Унаслідок достатньої малості об'єму  $d\tau$  ми вважаємо, що густина  $\rho$  постійна по всьому об'єму. Також тиск  $p$  на гранях куба однаковий в усіх точках і однакові швидкості  $v$ .

Аналогічним шляхом знайдемо, що у напрямку двох інших осей:

$$\rho \frac{dv_1}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_1}, \quad \rho \frac{dv_2}{dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_2}, \quad (7)$$

оскільки силу тяжіння спрямовано уздовж осі 3.

Тепер можна записати формули (6) і (7) у векторному вигляді. Якщо  $e_1, e_2, e_3$  – одиничні вектори по осях координат, то

$$\rho \frac{d}{dt}(v_1 e_1 + v_2 e_2 + v_3 e_3) = - \left( \frac{\partial p}{\partial x_1} e_1 + \frac{\partial p}{\partial x_2} e_2 + \frac{\partial p}{\partial x_3} e_3 \right) - \gamma e_3,$$

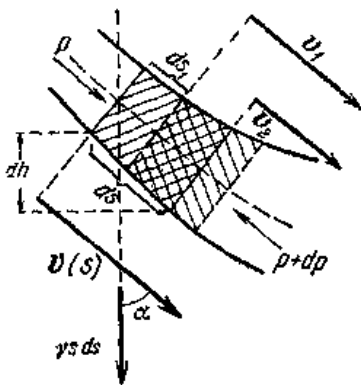
або

$$\rho \frac{dv}{dt} = -grad p + \rho g, \tag{8}$$

де вектор  $\frac{\partial p}{\partial x_1} e_1 + \frac{\partial p}{\partial x_2} e_2 + \frac{\partial p}{\partial x_3} e_3$ , позначений символом  $grad p$  і називається

градієнтом тиску  $p$ , вектор  $-\gamma e_3 = \rho g$ , де  $g$  – вектор прискорення тяжіння.

Формула (8) виражає основний закон гідродинаміки для ідеальної (без тертя) рідини або газу. У нестационарному потоці всі величини  $\rho, v, p$  залежать від місця  $r$  і часу  $t$ . У стаціонарному – тільки від місця  $r$ , тому при розгляді стаціонарної течії зручно скористатися уявленням про трубки струму: вони постійні, і закон динаміки для ідеальної рідини в достатньо тонкій трубці струму можна описати таким чином. Швидкість  $v = v(S)$  є функцією тільки координати  $s$  (координати уздовж осьової лінії трубки). Частинка, яка у момент часу  $t$  мала координату  $S$ , за час  $dt$  зсунеться на відрізок  $dS_1$  (рис. 2).



**Рис. 2. Рух стаціонарної течії – трубки струму**

Швидкість частинки в новому положенні буде інша, якась  $v_1$ , яку завжди

можна представити так:  $v = v(S) + \frac{dv}{dS} dS_1$ . Отже, різниця швидкостей

частинки у момент часу  $t$  і момент часу  $t + dt$  дає приріст швидкості частинки:

$$dv = v_1 - v(S) = \frac{dv}{dS} dS_1.$$

Замінивши в цьому виразі зсув частинки  $dS_1$  на  $v(S)dt$ , отримуємо

$$\frac{dv}{dt} = v \frac{dv}{dS} = \frac{d}{dS} \left( \frac{v^2}{2} \right). \quad (9)$$

Прискорення частинки за стаціонарної течії рівне похідній вздовж осі трубки струму від половини квадрату швидкості потоку. Тому основне рівняння динаміки для частинки ідеальної рідини (8) в цьому випадку можна записати так:

$$-\frac{dp}{dS} + \gamma \cos \alpha = \rho v \frac{dv}{dS} = \rho \frac{d}{dS} \left( \frac{v^2}{2} \right). \quad (10)$$

Тут  $\alpha$  – кут між вертикаллю і напрямком осьової лінії трубки струму в цьому перетині. Це рівняння справедливе для стаціонарного перебігу як нестискуваної рідини, позбавленої в'язкості, так і для стискуваного газу, що не володіє внутрішнім тертям.

**Висновки.** Другий закон Ньютона став основою для багатьох технічних досягнень протягом тривалого часу. На його фундаменті сформувалися багато методів наукових досліджень у різних галузях природознавства. Учні та студенти повині знати значення і роль фундаментальних законів динаміки, а особливо межі застосування другого закону Ньютона. Поданий матеріал дозволяє окреслити шляхи підвищення науковості викладання шкільного курсу фізики за рахунок уточнення деяких історичних фактів, а також доповнити зміст курсу історії фізики. Це є досить важливим, адже помилкові уявлення учнів і студентів виникають частіше за все під час викладання тих фізичних понять та ідей, які у процесі їх історичного формування отримали різні тлумачення. Це означає, що у процесі викладання фізики, як і будь-якої іншої природничої науки, треба особливу увагу приділяти саме розгляду тих питань, з приводу яких мали місце помилкові погляди та дискусії в ході розвитку науки.

**Перспективи подальших пошуків у напрямі дослідження.** Подальші дослідження лежать у площині використання означеного матеріалу під час викладання фізики в загальноосвітній школі та вищих навчальних закладах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бугайов А. И. Методика преподавания физики в средней школе: Теоретические основы / А. И. Бугайов. – М. : Просвещение, 1981. – 288 с.
2. Детлаф А. А. Курс физики : учеб. пособие для вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский, Л. Б. Милковская. – [изд. 4-е, перераб.]. – М. : Высшая школа, 1973. – 384 с.
3. Кудрявцев П. С. Курс истории физики : учеб. пособие для студ. пед. ин-тов по физ. спец. / П. С. Кудрявцев. – [2-е изд., испр. и доп.]. – М. : Просвещение, 1982. – 448 с.
4. Моисеев Н. Д. Очерки развития механики : учеб. пособие для ун-тов / Н. Д. Моисеев. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1961. – 478 с.
5. Ньютон И. Математические начала натуральной философии /

Исаак Ньютон. – М. : Наука, 1989. – 682 с.

6. Стрелков С. П. Общий курс физики. Механика : учеб. пособие для ун-тов / С. П. Стрелков. – [изд. 3-е, перераб.]. – М. : Наука, 1975. – 560 с.

7. Використання фрагментів історичного матеріалу для підвищення інтересу учнів до вивчення фізики : зб. наук. праць студентів і молодих науковців “Фізика. Новітні технології навчання” / наук. ред. С. П. Величко. – Випуск № 3 – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2005. – 230 с.

**УДК 37.026.9**

**Т. А. Лазарєва,**  
кандидат педагогічних наук, доцент  
(Українська інженерно-  
педагогічна академія, м. Харків)

### **МОТИВАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ-ТЕХНОЛОГІВ ХАРЧОВОЇ ГАЛУЗІ**

**Постановка проблеми.** Підготовка майбутніх інженерів-технологів харчової галузі у вищих навчальних закладах – це багатофакторний процес, основними елементами якого є формування глибоких теоретичних знань, практичних умінь і навичок, компетентностей, а також професійно важливих якостей. Рушійною силою, яка спонукає студентів навчатися й оволодівати професією є мотивація. Розглядають мотивацію навчальної діяльності, професійної діяльності та мотивацію соціальної поведінки. У становленні інженера-технолога як професіонала провідну роль виконує мотивація професійної діяльності.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Проблемам визначення і формування мотивації професійної діяльності присвячено роботи відомих педагогів і психологів, таких як: Е. Зеєр, О. Іванова, Є. Ільїн, Є. Клімов, В. Ковальов, Б. Коссов, Т. Кудрявцев, Н. Талізїна, В. Шадріков та ін. [1-8; 10; 11]. Науковцями визначено об'єкти професійного розвитку особистості, шляхи професійного становлення фахівця, основні напрями розвитку професійної компетенції фахівців. Проте недостатньо дослідженим залишається проблема визначення та формування мотивації професійної діяльності майбутніх інженерів-технологів харчової галузі.

Основною **метою статті** є проведення аналізу професійної діяльності інженера-технолога харчової галузі, визначення її видів, проведення аналізу результатів експериментального дослідження мотивації професійної діяльності студентів Української інженерно-педагогічної академії зі спеціальності “Професійна освіта. Технологія харчової промисловості та організація громадського харчування” як майбутніх інженерів-технологів харчової галузі.

Визначають наступні види професійної діяльності інженера-технолога [7]: науково-дослідна; проектно-конструкторська; технологічна або виробнича; організаційно-управлінська; експлуатаційна. Проведемо аналіз посадових обов'язків інженера-технолога харчової галузі [9] та визначимо зміст видів діяльності. Так, інженер-технолог харчової галузі здійснює науково-дослідну діяльність, яка пов'язана з: 1) розробкою і впровадженням програмних