

## Обережно ! „Нове” означення поняття сили ?

Олександр Проказа

У нашому фаховому науково-методичному журналі „Фізика та астрономія в школі”, № 11 – 12 за 2010 рік надрукована стаття про сили [1,56] Автори зазначеної статі стверджують: „Дію над тілом може здійснювати лише інше тіло, а тому сила є характеристикою саме цього тіла, а не взаємодії тіл, і говорити, що „сила – міра взаємодії,” як це рекомендують програми, недоцільно” [ 1,56 ]. Тут здійснено посилання на „Програми для загальноосвітніх навчальних закладів: Фізика: Астрономія, 7 - 12 кл. – К.; Ірпінь; Перун, 2005. – 80с.”

Далі автори пропонують давати учням таке означення сили: „Прикладена сила – це властивість тіла змінювати швидкість іншого тіла (надавати прискорення), яка виявляється під час механічної взаємодії цих тіл.” Підкреслені слова виділені авторами жирним шрифтом.

Визиває непорозуміння і саме означення поняття сили, і те, що стаття опублікована під рубрикою „З історії науки”, адже в історії науки ніхто і ніколи не вважав силу властивістю тіла.

Ми проаналізували означення сили більше, ніж у двадцяти першоджерел (наукові статі, університетські та шкільні підручники, навчальні посібники, науково-методичні посібники, науково-популярні книги) і дійшли висновку, що найбільш розповсюдженим є таке означення поняття сили: Сила – це векторна величина, яка є кількісною мірою механічної взаємодії матеріальних тіл. Це узагальнення можна підтвердити відповідними цитатами із багатьох вищезгаданих першоджерел.

Особливості є, але вони виявляються тільки в тім, що розглядається взаємодія тіл ( у більшості означень) або дія на тіло другого тіла, а силу визначають як кількісну міру взаємодії або ж дії. Ми не знайшли таких наукових, науково-методичних чи навчальних публікацій, у яких би сила визначалась як властивість тіла.

Але ж відомо, що „більшістю голосів” наукові проблеми не вирішуються. В історії науки є переконливі випадки, коли „голоси меншості” (або ж одиничний голос !) мали вирішальне значення в наукових пошуках. А тому помірковано.

Маємо фізичні об’єкти, які мають певні фізичні властивості, чим і визначається їх специфіка. Ці фізичні об’єкти знаходяться у певних фізичних умовах і „дають про себе знати”, тобто певним чином проявляються, відбуваються фізичні явища. Ці фізичні явища здійснюються у відповідності з фізичними законами, які відображають конкретні причинно-

наслідкові зв'язки. Сутність фізичних законів визначається фізичними властивостями фізичних об'єктів та характерними фізичними умовами, у яких ці об'єкти знаходяться.

Відомі „внутрішні” фізичні властивості тіл: інертність, зарядженість, теплопровідність, електропровідність, пружність, в'язкість, пластичність і т. п. Тоді виникає запитання: Які внутрішні властивості тіла характеризує сила? Мірою яких внутрішніх „силових” властивостей є сила? Для фізики, як науки, такі „силові” властивості тіла невідомі. А тому означення сили, яке наведене у статті [1], необхідно визначити недоречним.

Підтвердимо цей умовивід найбільш характерними у цьому відношенні цитатами мовою оригіналу:

„Мы можем не только говорить о некотором взаимодействии тел, мы можем это взаимодействие измерить. Количественная мера воздействия тел друг на друга называется в механике силой” [2, 12].

„Таким образом, в современной науке слово „сила” употребляется в двух смыслах: во-первых, в смысле механической силы, и здесь она является точной количественной мерой взаимодействия, и, во-вторых, - гораздо чаще - обозначает наличие взаимодействия определенного сорта, точной количественной мерой которого может быть только энергия. Говоря, например, о ядерных силах, мы имеем в виду именно второе значение этого слова. Включить ядерные силы в рамки механики Ньютона принципиально невозможно” [2,24].

Отже, можна вважати, що „понятійна революція” у відношенні до наукового означення сили не має під собою надійного підґрунтя.

І все ж таки, поміркуємо над загальноновизнаним означенням сили, яке ми вже наводили. Всі означення поняття сили ґрунтуються на понятті міри без ретельного наукового аналізу цього поняття. Тому звернемося до наукового ( математичного ) означення поняття міри:

„ Функция  $\mu$  (A) множества A называется мерой, если:

- \* область определения  $D(\mu)$  есть полукольцо множеств;
- \* значения функции  $\mu$  (A) действительны и не отрицательны;
- \*  $\mu$  (A) аддитивна, т. е. для любого конечного разложения.

$$A = \bigcup_{i=1}^n A_i \vee A_i \cap A_j \neq \emptyset \quad i, j = 1, \dots, n \Rightarrow \mu(A) = \sum_{i=1}^n \mu(A_i),” [3].$$

Таким чином, мірою називають дійсну невід’ємну лічильно-аддитивну функцію, яка визначена на напівкільці. Звідси витікає необхідність конкретизації наукового поняття міри щодо поняття сили, яка, як зазвичай зазначається, є кількісною мірою взаємодії тіл або дії одного тіла на інше.

Із означення поняття міри випливає, що вона не може бути векторною величиною. Це є принципово скалярна величина, а сила – це принципово векторна величина; вона не може бути мірою, так як це суперечить науковому означенню поняття міри. Ось чому виникає необхідність конкретизації поняття сили, керуючись принципом науковості у навчанні :

Вектор сили  $\vec{F}$  – це математична модель фізичної величини, яка дійсно характеризує дію одного тіла на друге, а мірою цієї дії є модуль вектора сили.

Модуль – величина скалярна і невід’ємна, а тому таке ствердження не суперечить науковому означенню поняття міри

Зауважимо, що рівнодійна сила – це також математична модель, яка визначається так :  $\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$  . Такої одиночної сили  $\vec{F}$  , яка б характеризувала конкретну фізичну дію, немає. А якби така одинична сила була, то її реальна дія була б еквівалентною множенні сил, які характеризують реальні фізичні взаємодії, тобто :

$$\vec{F} \Leftrightarrow \left\{ \vec{F}_i \right\}_{i=1}^n !$$

І далі. Поняття міри пов’язане з процедурою порівняння. У нашому випадку виникає проблема можливості (чи не можливості) порівняння фізичних векторних величин, зокрема сил.

З математичної точки зору вектори можна задавати (геометрично), але порівняння векторів під кутом зору „більше - менше” для них втрачає сенс [4]. Проте поняття порівняння у математиці і фізиці не завжди є тотожними, а тому виникає проблема межі застосування математики у фізиці.

Порівняння – це один із методів гносеології, який передбачає здійснення аналізу через синтез. У загальному випадку порівняння має сенс тільки для множини однорідних величин, зокрема фізичних величин, які мають одну і ту ж фізичну сутність. Сила, як фізична величина, „троїста”, так як вона має певні модуль, напрямок та точку прикладання. (Учням подобається така метафора: Кожна сила має власні прізвище, ім’я та по-батькові”).

Сили як певний своєрідний клас векторів, можуть порівнюватись у відношенні „більше-менше” тільки стосовно модулів, а порівняння напрямків сил у цьому ж відношенні та точок їх прикладання, безумовно, є безглуздом, тим паче, якщо вектори сил не є колінеарними.

При взаємодії тіл кількісною мірою цієї взаємодії є не сила (так як їх завжди дві), а модуль цих сил (а він, як відомо, один і той же). Модулі сил гравітаційної взаємодії, пружної взаємодії, взаємодії тертям і є кількісними мірами цих взаємодій, а напрямки сил та їх точки прикладання завжди різні. Так як при кожній взаємодії завжди мають місце дві сили, то у цьому відношенні поняття сили „двоїсте”, або ж „дуальне”, кому як подобається . Якщо ж означення сили давати як кількісну міру дії на тіло іншого тіла, тоді ця „двоїстість” („дуальність”) має місце у неявному вигляді, що з дидактико-методичної точки зору менш доцільно.

А тепер деякі зауваження щодо практики, тобто конкретної технології навчання. Досить часто звертається увага тільки на „прізвище та ім’я” сили (модуль та напрямок), а „по-батькові” (точка прикладання) не тільки ігнорується, але й безпідставно змінюється. Ось характерний приклад. Тіло рухається з тертям по горизонтальній поверхні. Всі сили, які діють на тіло, зображаються векторами, початок яких в одній і тій же точці-центрі мас тіла

Сила тяжіння дійсно має цю точку прикладання. Сила реакції опори, яка обумовлена її деформацією, діє на нижню поверхню тіла. Так як тіло ми моделюємо як абсолютно тверде, то точку прикладання цієї сили можна перенести по лінії дії цієї сили і прикласти в центрі мас. А ось із силою тертя, яка діє у площині дотику, справа складніша. Без всякого пояснення, як це зазвичай робиться, цю силу прикладати в центрі мас не можна. Такий паралельний перенос сили „заборонений” теоремою Пуансо. Цією ж теоремою і дозволяється паралельний перенос сили, зберігаючи її модуль та напрямок, але цей перенос має бути компенсованим додатковим моментом сили відносно точки, в яку перенос здійснюється. Це значно ускладнює фізичну ситуацію, а також ускладнює можливість реалізації дидактичного принципа-диполя „Науковість – доступність”. Методико-технологічний вихід із цієї суперечливої навчальної ситуації може бути таким. Має „працювати” поняття матеріальної точки. Тіло моделюється як матеріальна точка (обгрунтовується ця процедура). Всі сили діють на тіло, отже вони мають діяти і на матеріальну точку, яка є моделлю цього тіла. Тільки у цьому випадку точка прикладання всіх сил буде єдиною (центр мас тіла).

У такому випадку принцип науковості у навчанні не порушується і оптимально поєднується з принципом доступності.

До речі, спочатку необхідно, не віддаляючись від фізичної реальності, зобразити тіло і вектори сил, точки прикладання яких різні (у кожній силі точка прикладання своя – „своє по-батькові”). А потім замінити тіло його моделлю, тобто зобразити матеріальну точку з масою, яка дорівнює масі тіла, та зобразити всі вектори сил, початок яких у цій точці.

У процесі навчання має „працювати” і дидактичний диполь „пояснення (вчитель) – розуміння (учень)”. Суттєву роль у цьому відношенні відіграє термінологічна семантика та логічна структура пояснення, яка будується на цій основі.

Наприклад, гравітаційна взаємодія. Дія одна – гравітаційна; взаємо – маємо два тіла, кожне з яких підлегле цій дії, а тому і сил завжди дві з одним і тим же модулем, так як дія – одна; взаємо – два взаємно протилежні напрямки та дві різні точки прикладання.

Отже, ми акцентували увагу тільки на деяких принципових положеннях щодо поняття сили. Означення фізичного поняття має відповідати принципу науковості, а формування наукового поняття тільки розпочинається з означення і має відбуватися весь час, доки фізика вивчається. Це означає, що наукове означення фізичного поняття має „працювати” у самих різноманітних фізичних ситуаціях. А для цього необхідно розробляти „тонкі педагогічні технології”. Що ж стосується поліпонятійності терміну „сила”, то ми досить ретельно розглядали це питання у своїх книжках [5; 6.] під кутом зору „Сили в природі, побуті та техніці.” У цих же книжках конкретизувалось поняття сили під час розв’язування питання: „Чи можна розділити нероздільне?” Мова йшла про закони Н’ютона, як триєдине наукове ціле (ядро класичної механіки) та навчальні частини цього цілого, як взаємо пов’язані між собою окремі

закони. Одним із основоположних понять цих законів є поняття сили. При вивченні законів Н'ютона поняття сили конкретизується, поглиблюється та краще усвідомлюється.

Що ж стосується „механізму” взаємодії, то про нього доцільно вести мову на академічному та профільному рівнях навчання, керуючись педагогічним принципом відкритої перспективи (або нетупіковості знань). Дидактично доцільно спрощуючи наукову інформацію (без її викривлення!), учням необхідно розповісти, як сучасна фізика пояснює „механізм” взаємодії фізичних об'єктів [7, 343.].

Фізичні об'єкти (елементарні частинки) випромінюють та поглинають віртуальні частинки (обмінюються квантами). Обмін цими квантами і обумовлює взаємодію фізичних об'єктів (притягання або відштовхування)

Одиничні акти обміну квантами мають вірогіднісно-статистичний характер, а тому методами класичної механіки не пояснюються. Сили взаємодії визначаються статистичним законом. Проте для фізичних макротіл модуль сил їх взаємодії є середнім значенням для дуже великої кількості актів обміну квантами, що і відображається у динамічних законах, наприклад, всесвітнього тяжіння Н'ютона, чи Кулона. У цих динамічних законах ми не тільки не враховуємо дисперсію, але навіть не ведемо про неї й мову, так як практично це недоцільно.

### Література

1. Микола Вознюк, Тетяна Гулак. Систематизація знань учнів про сили //Фізика та астрономія в школі, №11 – 12, 2010. – 57с.
2. Григорьев В. И., Мякишев Г. Я. Силы в природе. – М. : Наука,1969. – 416с.
3. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа: Учебник для вузов. 6-е изд., испр. – М. : Наука, 1989. – 624с.
4. Математическая энциклопедия : в 5-ти томах / гл. ред. И. М. Виноградов. – Т.2 – М. : Сов. энцикл. – 1512 с.
5. Иванов О. С. . Проказа О. Т. Книжка для читання з фізики. – К. : Рад. школа,1982. – 239с.
6. Иванов А. С., Проказа А. Т. Мир механики и техники : Кн. для учащихся. – М. : Просвещение, 1993. – 223с.
7. Левич В. Г . Курс теоретической физики. Т.1. – М. :Наука, 1969.