

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗУМІННЯ УЧНЯМИ НАУКОВОЇ ФУНДАМЕНТАЛЬНОСТІ ПІД ЧАС НАВЧАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Тищук Віталій Іванович,
Шевчук Віталій Павлович,
Рівненський державний гуманітарний університет,
м. Рівне, Україна

Нині, завдяки доступу до комунікаційних мереж, учні повсякчас стикаються з новинами зі світу науки, конкретними науковими результатами, досягнутими переважно завдяки плідному функціонуванню найновішого фізичного та астрофізичного наукового інструментарію (коллайдера, космічних міжпланетних станцій, телескопів як наземного, так і космічного розташування тощо). Але, як засвідчують наші дослідження, навіть учні старших класів у переважній більшості не в змозі орієнтуватись в потужному інформаційному потоці наукових фактів, не можуть вказати на найбільш вагомий, вирішальний, значущий тобто фундаментальні результати науковців, часто взагалі не розуміють механізму їх отримання, принципу дії сучасних експериментальних установок. Враховуючи те, що науково-інформаційний потік лише починає стрімко наростати, слід передбачити шляхи і способи ознайомлення учнів з фундаментальними науковими досягненнями в галузі природничих наук, зокрема, фізики та астрофізики.

Пізнання учнями реалій оточуючого світу в навчальному процесі багато в чому подібне до наукового пізнання, тому досягти бажаних результатів у навчанні можна, приділяючи належну увагу методам і засобам, які є особливо характерними для фізичної науки. Зі сказаного випливає потреба в усвідомленні місця і ролі експериментального методу пізнання, співвідношення емпіричного і теоретичного у навчальному процесі. При цьому експериментальні методи пізнання не мають бути автономними і незалежними один від одного. Навпаки, в реальному пізнанні вони тісно пов'язані, взаємно обумовлені і взаємно проникають один в одного.

Переліки фізичних дослідів, передбачених програмами, містять певну кількість таких, які у свій час були поворотними пунктами, основними віхами у розвитку науки. Завдяки їм в значній мірі торувались нові шляхи у фізиці, започатковувались нові її області. нові методи наукових досліджень, кардинально змінювалось розуміння фізичних процесів, формувалася науковий світогляд, розвивалася техніка, виробництво і т.д. Зараз загальновизнано, що вони складають емпіричний базис сучасних фізичних теорій, експериментальну основу фізичної науки – це так звані фундаментальні фізичні досліді. Вивчення фундаментальних дослідів – це один із дієвих способів ознайомлення учнів з методами наукового пізнання, реалізація якого дозволяє створити на уроках ситуації активного наукового пошуку проблемного характеру [8]. Сучасні інноваційні дидактичні і технічні можливості, доступні вчителям, дозволяють по новому спроектувати ряд фундаментальних дослідів, навіть ті, які ще донедавна вважались малодоступними для експериментального вивчення або для самостійного дослідження їх учнями [9].

Фундаментальні досліді, які зараз займають достойне їм місце у навчальній літературі [2;3], витримали певну еволюцію: певний час вони містились серед історичних дослідів (В.І. Лебедев) [7], згодом іменувались як великі (визначальні) експерименти (Г. Ліпсон) [6], пізніше як вирішальні, ключові фізичні досліді (Дж. Трігг) [4; 5]. Вони тісно пов'язані з основними положеннями фізичних теорій: завдяки узагальненню і усвідомленню раніше експериментально встановлених фактів народжувались нові гіпотези, достовірність яких знову таки перевірялась фізичним експериментом, але організованим на нових ідеях. Так, підставою Дж. Максвелу для висловлення гіпотез (рівнянь Максвелла) слугували фундаментальні фізичні досліді Х. Ерстеда, А.-М. Ампера, М. Фарадея. Ці гіпотези, в свою чергу, перетворились в основні положення загальновизнаної теорії лише після перевірки їх наслідків знову ж таки у

фундаментальних фізичних дослідів Генр. Герца, П. Лебедева. Визначну роль у розвитку фізичних теорій відігравали фундаментальні дослідів, завдяки яким встановлювались важливі фізичні константи. Це, наприклад, дослідів О. Ремера, А. Фізо, Л. Фуко, А. Майкельсона щодо визначення швидкості світла. Можна стверджувати, що фундаментальні дослідів органічно пов'язані зі всіма елементами фізичних теорій і зі всіма найважливішими етапами їх розвитку. Тому, опускаючи, минаючи фундаментальні дослідів, неможливо з достатньою науковістю і без логічних протиріч висвітлити в шкільному курсі основи пануючих нині фізичних теорій. Навіть лише одне це зумовлює вести мову не просто про ознайомлення учнів з фундаментальними фізичними дослідівми, а про їх ґрунтовне їх вивчення і відповідне проведення, тобто про удосконалення методики і техніки їх організації і проведення.

В історії фізичної науки фундаментальні дослідів відігравали вагомі ґносеологічні та евристичні функції: вони дозволяли надійно пояснити результати і наслідки експериментальних дослідів, які вибудовувались на основі пануючої в той час фізичної теорії; дозволяли утвердити або відкинути принципово значущі теоретичні гіпотези; слугували фундаментом для формування або становлення нових наукових теорій, іноді нових галузей науки і техніки [1]. Відповідно до цих функцій у шкільному курсі фізики (в сучасних підручниках для старшої школи) можна виділити наступні чотири групи фундаментальних дослідів, а саме: – що привели до відкриття важливих фізичних законів: механіки (дослідів Галілео Галілея і ін.), молекулярної фізики (Р. Бойля, Е. Марієтта, Ж. Шарля і ін.), електродинаміки (дослідів Ш. Кулона, Г. Ома, Е. Ленца, А. Ампера, М. Фарадея і ін.), квантової фізики (О. Столетова, Е. Резерфорда і ін.); – що дозволили відкрити фізичні явища, які не передбачались пануючими теоріями: електричний струм (дослідів Л. Гальвані), зовнішній фотоефект (дослідів Г. Герца), рентгенівське випромінювання (дослідів І. Пулюя, В. Рентгена), радіоактивність (дослідів А. Беккереля), поділ ядер урану (дослідів О. Гана, Ф. Штрассмана); – що були покладені в основу створення нової теорії або такі, що незаперечно підтверджують наслідки нової теорії: електронна теорія будови речовини (дослідів Дж. Томсона), електронна теорія провідності металів (дослідів Е. Рікке, Л. Мандельштама, М. Папалексі, Р. Томлена, Ч. Стюарта), визначення швидкостей молекул газу і перевірка розподілу молекул за швидкостями (дослідів О. Штерна), квантова теорія світла (дослідів О. Столетова, А. Йоффе, С. Вавилова, Р. Міллікена), розсіювання рентгенівських променів атомами легких елементів (дослідів А. Комптона), дискретність енергетичних рівнів (дослідів Д. Франка, Г. Герца); – що дозволили визначити фізичні константи: гравітаційну сталу (дослідів Г. Кавендиша), швидкості світла (О. Рьомера, А. Фізо, Л. Фуко, Л. Майкельсона), елементарного електричного заряду (дослідів Р. Міллікена, А. Йоффе).

Роль фундаментальних дослідів у розвитку фізичних знань різноманітна: а) одні з них відкрили нові області дослідів і стали першоджерелами нових фізичних теорій (дослідів Х. Ерстеда, Генр. Герца, О. Столетова, І. Пулюя, А. Беккереля та ін.); б) інші підтверджували існуючі в свій час теоретичні передбачення (дослідів Дж. Франка, Густ. Герца, Е. Резерфорда, Ф. Содді та ін.); в) бували випадки, коли результати дослідів приходили у протиріччя з самою теорією, яка в своєму розвитку створила умови для постановки даних дослідів, а це призводило до виникнення нових ідей, теорій (дослідів А. Майкельсона, Е. Морлі, Дж. Релея, Дж. Джінса, Е. Резерфорда та ін.); г) в історії фізичної науки зустрічались дослідів, результати яких після впорядкування та систематизації створювали реальні можливості для народження нової теорії (дослідів Ш. Кулона, А.-М. Ампера, М. Фарадея та ін.); д) дослідів, які однозначно і з достатньою точністю дозволяли встановити значення основних фізичних констант (дослідів Г. Кавендиша, А. Авагадро, І. Фізо, А. Майкельсона та ін.).

В залежності від наукової і технічної значущості фундаментальні дослідів можна розділити на такі п'ять груп. 1). Дослідів, які стали емпіричним базисом у виявленні фізичних законів і у становленні наукових теорій. Наприклад, в механіці, – дослідів Г. Галілея, в молекулярній фізиці, – дослідів Р. Бойля, Е. Марієтта, в електродинаміці, – дослідів Ш. Кулона, Г. Ома, Х. Ерстеда, А.-М. Ампера, в квантовій фізиці, – О. Столетова, А. Беккереля, Е. Резерфорда. 2). Дослідів, що дозволили виявити фізичні явища, які надалі

знайшли широке використання у виробництві, науці, техніці. Наприклад, досліди Л. Гальвані (електричний струм), Х. Ерстеда (магнітна дія струму), О. Попова (радіозв'язок), В. Рентгена (рентгенівське випромінювання). 3). Досліди, на основі яких згодом були розроблені нові, широко розповсюджені зараз експериментальні методи досліджень. Наприклад, метод атомних і молекулярних пучків (дослід О. Штерна), метод схрещених полів (дослід Дж. Дж. Томсона), спектроскопічний метод (досліди Р. Бунзена, Г. Кірхгофа), метод рентгеноструктурного аналізу (досліди В. Рентгена, М. Лауе), метод мічених атомів (досліди І. Жоліо-Кюрі, Ф. Жоліо-Кюрі), голографічний метод (досліди Д. Габора, Ю. Денисюка, Е. Лейта) та ін. 4). Досліди, що лежать в основі сучасного промислового виробництва, створення високих технологій, які дали розвиток найбільш важливим напрямкам науково-технічного прогресу. Це досліди стосовно електромагнітної індукції (електроенергетика), індукованого випромінювання (лазерні технології), поділу ядер урану (ядерна енергетика) тощо. 5). Досліди, завдяки яким були встановлені і розраховані фізичні константи: швидкість світла, гравітаційна стала, число Авагадро, елементарний електричний заряд, стала Планка та ін.

Деякі фундаментальні досліди можна продемонструвати учням на наявному у фізичному кабінеті обладнанні, деякі інші – повторені учнями при виконанні лабораторних робіт фізичного практикуму. Але у всіх випадках себе виправдовує така послідовність розгляду фундаментальних дослідів: 1). З'ясовується історичний етап у розвитку фізичної науки. Учитель повідомляє обставини, які склались на момент проведення фундаментального дослідів в тій області фізичної науки, до якої цей експеримент відноситься. Учні висловлюють свої міркування і подають пропозиції щодо проведення “вирішального” дослідів. 2). Встановлюється ґносеологічна мета. В бесіді з учнями з'ясовується основне призначення і роль даного фундаментального дослідів для тієї чи іншої області фізичної науки. 3). З'ясовується, як здійснювалась розробка експериментального методу, тобто, як формувалась гіпотеза дослідів, як створювалось або підбиралось експериментальне обладнання, як проводились вимірювання, як фіксувалась отримана наукова інформація і які вибирались способи аналізу результатів даного експерименту. 4). Здійснюється словесний опис ходу і умов, які супроводжували цей фундаментальний дослід. Тут важливим є акцентування уваги учнів на з'ясуванні фізичного принципу, який реалізовано під час проведення даного експерименту. Доцільно наголосити на оригінальних ідеях вченого, а також розкрити позитивні людські риси автора фундаментального дослідів як видатної особистості. 5). З'ясовується, які здійснено узагальнення на основі результатів, отриманих з фундаментального дослідів. Вони необхідні для усвідомлення отриманих даних, їх значення для побудови фізичної картини світу, а також для встановлення філософської і світоглядної оцінок ролі використаних експериментальних методів у пізнання природи.

Для організації активної пізнавальної діяльності учнів при вивченні фундаментальних дослідів значну користь приносить використання відповідно підібраних учителем завдань (запитання, вправи, задачі). Такі завдання можуть використовуватись для запобігання чи подолання типових труднощів у розумінні учнями основного змісту кожного із вказаних фундаментальних дослідів. Щоб уявити роль фундаментального дослідів, в кожному конкретному випадку учням потрібно встановити його взаємозв'язок із фізичною теорією. Цей взаємозв'язок здійснюється через логічні компоненти, властиві даному експерименту, і в загальному випадку має такий вид. Наслідки теорії виступають в якості гіпотези, яка перевіряється експериментально, що й визначає мету даного фундаментального дослідів. Вибирається той чи інший спосіб відтворення фізичного явища в контрольованих умовах, тобто зароджується і формується основна ідея експерименту. Вона конкретизується методикою і технікою проведення дослідів аж до з'ясування послідовності необхідних операцій, вимірювань, схеми установки і т.п. Отримані експериментальні дані дослідів піддаються логіко-математичному опрацюванню, отримані результати порівнюються, зіставляються з гіпотезою і робиться висновок про їх узгодженість чи протиріччя. Так, наприклад, для розуміння ролі фундаментальних дослідів О. Столетова в обґрунтуванні

квантової теорії світла, учням потрібно чітко усвідомити, як мало б протікати явище фотоефекту згідно наслідкам хвильової теорії світла, встановити протиріччя їх результатам реального експерименту і зробити висновок про необхідність створення нової теорії.

Помилкові або неповні уявлення учнів про логічні компоненти можуть створити нові труднощі у вивченні і розумінні цінності проведених в свій час фундаментальних фізичних дослідів. 1). Вони можуть негативно позначитись на розумінні учнями ідеї досліду, будови і принципу дії використаної експериментальної установки, запропонованої методики експерименту. Адже вибір способів контрольованого відтворення фізичного явища чи процесу і наступних його спостережень та проведення кількісних вимірювань в кінцевому рахунку залежить від гіпотези, яка перевіряється у фундаментальному досліді чи серії дослідів. Саме гіпотеза й визначає мету, ідею і методику виконуваного дослідження, вона вимагає чіткого і ясного розуміння учнями того, що і як досліджується (чи досліджувалось) експериментально. 2). Вони можуть викликати труднощі в учнів щодо оцінки реально отриманих з проведених дослідів остаточних результатів. Адже самі по собі накопичені експериментальні дані без зв'язку з гіпотезою і застосованою методикою дослідження не мають вагомого наукового і пізнавального сенсу. Наприклад, спостережуване явище зависання чи переміщення краплі масла в електростатичному полі плоского конденсатора в дослідях Р. Міллікена учням відоме з раніше вивчених тем курсу фізики і тому не дає нічого нового. Але усвідомлення учнями ідеї досліду, розуміння вибраної методики, з'ясування гіпотези про те, що під дією світла крапля втрачає дискретну кількість електрики (електричного заряду) дозволяють зовсім інакше бачити ті ж самі явища зависання або переміщення зарядженої краплі в електричному полі і розуміти висновки, сформульовані за результатами експерименту. Все це вимагає формування в учнів чіткого уявлення про те, що і як в даному фундаментальному досліді досліджується, тобто розуміння ними гіпотези, ідеї досліду, принципу дії експериментальної установки, вибраної методики дослідження. Одна з причин, яка породжує перелічені труднощі, полягає в тому, що мета, ідея, методика і висновки з проведеного фундаментального досліду явно не виявляються в дії експериментальної установки, а можуть бути усвідомлені учнями лише в результаті їх активного мислення. Тому завдання, які учні будуть виконувати під керівництвом учителя на уроці або самостійно, сприятимуть активізації мисленевої діяльності учнів і досягненню бажаного педагогічного ефекту. Такі завдання повинні задовольняти методичним вимогам, а саме: 1) акцентувати увагу учнів на виокремлених питаннях, задачах; 2) вимагати їх розв'язання в процесі вивчення конкретного фундаментального досліду; 3) приводити до осмислення взаємозв'язку фундаментального досліду із фізичною теорією; 4) матеріалізувати в свідомості учнів узагальнений план вивчення фундаментального наукового досліду (гіпотеза — мета — ідея — методика проведення — результати — значення для теорії), який у наступному відіграє роль орієнтира для аналізу відомостей про інші фундаментальні фізичні дослідів; 5) включати таку інформацію про фундаментальний фізичний дослід, яка деталізує, актуалізує, доповнює його опис у підручниках. Деталізація дозволяє розбивати складне питання на більш прості, посилює для учнів дози, супроводжувати їх вказівками, спрямованими на повніше засвоєння основного його змісту. Актуалізація досягається акцентуванням в описі досліду найголовнішого, представленням його у формі запитання чи задачі. Зміст завдань і вказівок до них повинні передбачати і спонукати учнів до виконання різноманітних мисленевих операцій: порівняння, аналогії, аналізу і синтезу, доведення та ін. Все це разом забезпечує застосування знань про найбільш суттєві сторони фундаментального досліду на всіх рівнях засвоєння: від простого відтворення до розв'язання творчих задач, що сприяє розвитку мислення учнів.

Для прикладу наведемо фрагмент навчального матеріалу, де розглядається фундаментальний дослід, який був проведений Джеймсом Франком та Густавом Герцом. Насправді була проведена низка дослідів, розпочата в 1913 році, методика і техніка проведення яких поступово удосконалювалась. У 1917 році ними була віднайдена правильна інтерпретація отриманої ступінчастої кривої. Але це вже було отримане під впливом ідей

Нільса Бора, які на той час стали загальновизнаними. Зазначимо, що в навчальну літературу увійшли описи одиничних фундаментальних дослідів, які по суті є акумулюванням низки проведених вченими протягом деякого часу наукових експериментів. При цьому слід мати на увазі, що вчені, прізвища яких поєднані з описом фундаментального досліду, використовували удосконалені ними, але вже відомі в науці експериментальні установки і методики постановки експерименту, а їх ідеї, методики та установки знаходили подальший розвиток у наукових пошуках інших вчених. Так Дж. Франк і Г. Герц скористались експериментальною установкою, яка була розвитком вже відомої в науці установки Філіпа Ленарда, використаної ним в 1902 році для дослідження явища фотоелектричного ефекту. А, в свою чергу, В. Девіс і Ф. Гуше, удосконаливши метод і установку Дж. Франка і Г. Герца, увівши ще одну сітку, провели дослідження, які дозволили розрізнити потенціали збудження від іонізаційних. Для того, щоб з цих фундаментальних дослідів учні могли зробити висновок про дискретний характер зміни енергії атома, їм потрібно: 1). Встановити за графіком характер залежності анодного струму від напруги; 2). Пов'язати стрибкоподібну зміну сили струму із зміною кількості електронів, які досягли анода; 3). Зробити висновок про стрибкоподібну зміну кінетичної енергії електронів; 4). Встановити причину втрат енергії електронами в умовах даного досліду; 5). Дослідити характер зіткнень електронів з атомами парів ртуті чи інертного газу; 6). Проаналізувати зміну енергії атома у випадку пружних і не пружних співударів; 7). Сформулювати висновок про дискретний характер зміни енергії атома.

Зрозуміло, що однієї тільки чуттєвої наочності, яка досягається при демонстрації подібного досліду або його моделі, ще недостатньо для всебічного сприйняття такого роду складних і змістовно насичених експериментів. Учні зазнають значних труднощів як у їх розумінні, так і у відтворенні при відповіді довгої і розгалуженої мережі умовисновків. Використання в таких випадках послідовності завдань допомагає учням розшифрувати інформацію, яку видають прилади, і встановити взаємозв'язок спостережуваних у досліді явищ з досліджуваними. Вони, крім іншого, дозволяють великий за обсягом і складний за змістом фактичний матеріал розчленувати на окремі, посильні для засвоєння учнями дози, допомагають зрозуміти логіку наукового дослідження, а також планувати логічно обґрунтовану, лаконічну відповідь. Нижче наведені приклади таких завдань для вивчення фундаментального досліду Дж. Франка і Г. Герца: 1). Розгляньте на малюнках в підручнику схему і отриману в досліді Франка і Герца залежність сили анодного струму від напруги між катодом і сіткою. Як можна пояснити зростання сили струму на окремих ділянках і різкий спад її в деяких точках за умови неперервного збільшення напруги? 2). Що в цих дослідіх могло бути причиною зміни кількості електронів, які досягли анода, якщо кількість випущених катодом електронів підтримувалась незмінною? 3). Які електрони могли досягти анода і приймати таким чином участь у створенні анодного струму? 4). Які можливі причини втрат енергії електронами в умовах даного експерименту? 5). Дослідіть експериментальну криву, подану на малюнку, і обґрунтуйте, чи відбувається передача енергії атомам ртуті при зіткненні їх з електронами, якщо енергія останніх а) $0 < E < 4,9$ eV; б) $4,9$ eV $< E < 9,8$ eV; в) $E = 4,9$ eV; г) $E = 9,8$ eV? 6). Узагальніть результати попереднього завдання і виберіть з наведених нижче тверджень ті, які вірно описують характер зміни енергії атомів ртуті в досліді Франка і Герца. А). Енергія атомів може змінюватись неперервно. Б). Зміна енергії атома носить дискретний характер. В). Енергія атомів може змінюватись на будь-яку, довільну величину. Г). Енергія атомів може змінюватись лише на цілком визначену величину. 7). Який висновок про характер зміни енергії атомів будь-якої речовини можна зробити на основі результатів фундаментального експерименту Дж. Франка і Г. Герца?

Підсумовуючи викладене, зазначимо, що результати проведеного нами дослідження засвідчили: запропонована вище технологія організації і проведення навчального фізичного експерименту щодо вивчення фундаментальних фізичних дослідів дозволяє значно активізувати пізнавальну діяльність учнів, підвищити інтерес до пошукової діяльності, сприяє кращому засвоєнню предметних знань, а також розвитку цікавості до сучасних наукових

досліджень в галузі фізики та астрофізики, бачення у цих дослідженнях найбільш важливого, прогресивного, значущого для науки і техніки, для еволюційного розвитку людства.

Література

1. *Дорфман Я.Г.* Всемирная история физики (с начала XIX до середины XX вв.). – М.: Наука, 1979. – 317 с.
2. *Шахмаев Н.М., Шилов В.Ф.* Физический эксперимент в средней школе: Механика. Молек. физика. Электродинамика. – М.: Просвещение, 1989. – 255 с.
3. *Шахмаев Н.М., Павлов Н.И., Тицук В.И.* Физический эксперимент в средней школе: Колебания и волны. Квантовая физика. – М.: Просвещение, 1991. – 223 с.
4. *Тригг Дж.* Физика XX века. Ключевые эксперименты. – М.: Мир, 1988. – 378 с.
5. *Тригг Дж.* Решающие эксперименты в современной физике / Пер. с англ. Под ред. И.С. Алексеева. – М.: Мир, 1974. – 159 с.
6. *Липсон Г.* Великие эксперименты в физике / под ред. к.ф.-м.н. В.И. Рыдника. – М.: Мир, 1972. – 215 с.
7. *Лебедев В.И.* Исторические опыты по физике. Изд. 3. – М.: КомКнига, 2007. – 312 с.
8. *Пуришева Н.С., Шарова Н.В., Исаев Д.А.* Фундаментальные эксперименты в физической науке. Элективный курс. – М.: Бином, 2005. – 159 с.
9. *Левшенюк В.Я., Тицук В.И.* Робота фізичного практикуму "Дослідження броунівського руху" з використанням інноваційних технологій. – Ж-л Фізика та астрономія в школі. №1. Київ - 2009 р. – С. 19-23.