



УДК 378.091.33–027.22:53
DOI 10.32999/ksu2413-1865/2019-86-67

ЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ УЯВЛЕНЬ ПРО ПОНЯТТЯ «РЕЗУЛЬТАТ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ»

Соколов Є.П., к. фіз.-мат. н., доцент,
доцент кафедри фізики
Запорізький національний технічний університет

Лозовенко О.А., к. пед. н., доцент,
доцент кафедри фізики
Запорізький національний технічний університет

Для створення спеціального вступного односеместрового фізичного практикуму «Пошук фізичних закономірностей» автори проаналізували наявні погляди на поняття «результат лабораторної роботи» і запропонували класифікацію. Було виявлено існування таких п'яти класів парадигм, на яких базуються уявлення про це поняття, як наївно-точкова, точкова, синкретична, навчально-інтервальна та інтервальна. За кінцевий рівень вступного лабораторного практикуму автори пропонують прийняти рівень саме навчально-інтервальної парадигми і формують принципи, на яких має будуватися відповідне навчання.

Ключові слова: лабораторна робота, фізичний практикум, довірчий інтервал, навчально-інтервальна парадигма, точкова парадигма, синкретична парадигма.

Для создания специального вводного односеместрового физического практикума «Поиск физических закономерностей» авторы проанализировали существующие мнения о понятии «результат лабораторной работы» и предложили их классификацию. Было выявлено наличие таких пяти классов парадигм, на которых основываются представления о данном понятии, как наивно-точечная, точечная, синкретическая, учебно-интервальная и интервальная. В качестве конечного уровня для вводного лабораторного практикума авторы предлагают принять уровень именно учебно-интервальной парадигмы и формулируют принципы, которые должны быть положены в основу соответствующего обучения.

Ключевые слова: лабораторная работа, физический практикум, доверительный интервал, учебно-интервальная парадигма, точечная парадигма, синкретическая парадигма.

Sokolov Ye.P., Lozovenko O.A. LOGICAL ANALYSIS OF IDEAS ABOUT A CONCEPT OF
“THE RESULT OF LABORATORY WORK”

To create a special introductory one-semester laboratory physics course “Search for physics laws” the authors have analyzed the existing views on a concept of “the result of a laboratory work”, and offered their classification. Five classes of paradigms the existing views are based on have been found: the naive-point paradigm, point paradigm, syncretic paradigm, training-interval paradigm, interval paradigm. The first of them can be described as “the result of exactly performed single measurement is the true value of the measurand”. For university students thinking within the naive-point paradigm should be considered as a rudiment. Before studying physics the level of first-year university students corresponds to the level of the point paradigm. For the final level of the introductory laboratory physics course “Search for physics laws” it is proposed to choose the level of the training-interval paradigm. The following principles are offered for achieving this educational goal: a) the basic principles of the training-interval paradigm should be formulated at the first lesson as deep as possible and vividly interpreted; b) it is necessary to strictly adhere to this system of views during next lessons; c) intuitively understandable interpretation should be given to all abstract mathematical concepts. Besides, the reason for the ineffectiveness of the learning process which is based on the syncretic paradigm is indicated in the article.

Key words: laboratory work, physics practical course, confidence interval, training-interval paradigm, point paradigm, syncretic paradigm.

Постановка проблеми. Традиційне проведення фізичного лабораторного практикуму часто не дає головного, зокрема не створює у студентів загальної системи принципів опрацювання результатів вимірювання. Такий результат спостережень навів авторів на думку про створення спеціального вступного односеместрового фізичного практикуму «Пошук фізичних закономірностей» [11], головною метою якого було б формування у студентів комп-

лексу базових навичок щодо оброблення результатів експериментального дослідження. Підкреслимо, що думка про те, що на першому етапі навчання студентів методам експериментальної фізики має сенс сконцентруватися саме на другій частині лабораторного дослідження – на обробленні результатів вимірювання – неодноразово висловлювалася в літературі [13; 16].

Базовим питанням для створення зазначеного навчального курсу є питання про те,

що саме є результатом лабораторної роботи або експериментального дослідження. Стосовно цього є багато думок. Настільки багато, що у 1977 році Міжнародний комітет мір і ваг створив комісію, до якої увійшли спеціалісти таких авторитетних метрологічних організацій, як Міжнародне бюро мір і ваг та Міжнародна організація зі стандартизації. Ця комісія мала привести наявні погляди, наскільки це можливо, до загального знаменника [14]. Результатом роботи комісії стало видання, в якому були представлені інструкції щодо розрахунків та запису похибок в експериментальних дослідженнях. Але навіть в оновленому у 2008 році варіанті цього видання вказується не один, а чотири різних способи запису результату вимірювань [14, с. 25–26]. Це вказує на те, що проблема з'ясування логічної природи поняття «результат лабораторної роботи» є актуальною та нетривіальною, тому вимагає свого розв'язання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Не можна сказати, що проблема навчання студентів правильно розуміти отримані під час експерименту результати не привертала уваги викладачів вишів. Так, автор посібника [18] наводить не лише відповідні пояснювальні тексти, а і спеціальні вправи для студентів. У [16] та [15] описуються результати впровадження у навчання нових лабораторних курсів, що були сконструйовані саме для вирішення вказаної проблеми. Але більшість публікацій щодо лабораторних робіт із фізики присвячені створенню нових лабораторних робіт, особливостям використанню певного обладнання і т. ін.

Постановка мети. Головними цілями статті є проведення класифікації наявних уявлень про поняття «результат лабораторної роботи» та розроблення на її основі навчальної системи положень, яка б задовольняла певним вимогам. А саме: 1) запропонована система поглядів має бути логічно зв'язаною та несуперечливою; 2) за умов подальшого навчання її можна було б доповнювати без конфлікту з покладеними в її основу принципами; 3) вона має давати студентам можливість кваліфіковано формулювати результати експериментального дослі-

дження; 4) досягнення повного засвоєння запропонованої системи положень реально можливе у межах вступного курсу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для того, щоб зуміти охопити думкою все розмаїття уявлень про поняття «результат лабораторної роботи», ми розглянемо їх у порядку зростання логічної складності. Першими будуть початкові уявлення студентів.

Наївно-точкова парадигма. Уявлення студентів, які починають вивчати університетський курс фізики, про поняття «результат вимірювання» можна розділити на два класи (див. рис. 1). Кредо першого класу – *результат точно виконаного одиничного вимірювання є істинним значенням вимірюваної величини*. Кредо другого класу *потрібно провести декілька вимірювань та сформулювати відповідь, беручи до уваги всі результати (усю вибірку)*. У [16] для мислення, що виходить з уявлень першого типу, була запропонована назва «point-paradigm», а для мислення, що виходить з уявлень другого типу, – set-paradigm. Для того, щоб у подальшому в нас не виникла плутанина, то ми будемо використовувати запропоновані назви без перекладу.

Запропонована класифікація дозволяє нам сформулювати такі думки:

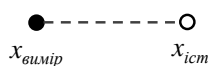
1) set-paradigm є уявленням більш високого логічного рівня, оскільки вимагає використання багатомісного відношення (доводиться мислити одночасно про декілька предметів). Для point-paradigm достатньо одномісного відношення;

2) природно очікувати, що point-paradigm буде «рідною» для школярів, мислення яких ще не досягло рівня формальних операцій (за Піаже). Зазначимо, що саме на такому рівні відбувається перше знайомство дітей із процесом вимірювання в початковій школі (природознавство, математика);

3) для студентів мислення у межах point-paradigm слід вважати рудиментом. Тому першим кроком до навчання студентів має бути перехід від point-paradigm до set-paradigm.

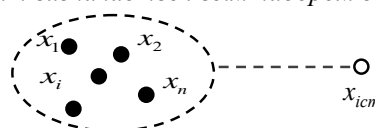
Наш досвід викладання однозначно показує, що, по-перше, студентів, які мислять у межах point-paradigm, порівняно небагато,

виміряне є результатом



a)

результат визначається всім набором даних



b)

Рис. 1. Перший крок – перехід від наївної point-paradigm до set-paradigm



а по-друге, відповідний перехід відбувається дуже легко і просто. Зазначимо також, що в дослідженні [13], яке проводилося серед першокурсників одного з американських університетів, таких студентів взагалі не було виявлено.

Тут ми розлучаємося з point-paradigm та переходимо до розгляду більш розвинених уявлень, які знаходять у межах set-paradigm. Зазначимо лише, що якщо б перед нами постало питання про вибір джерела point-paradigm – сприйняття чи мислення, то ми б однозначно обирали перше. Саме для суцесивного потоку інформації, з яким має справу сприйняття, характерна одиничність кожного сигналу [1]. У нашій класифікації ми будемо називати систему явлень point-paradigm *наївно-точковою парадигмою*.

Точкова парадигма. Після того, як set-paradigm прийнята, тобто прийнято те, що результат лабораторної роботи визначається всім набором даних, розвиток уявлень може рухатися у двох напрямках: частково повернутися назад (рис. 2, а) або робити крок уперед, переходячи на більш високий якісний рівень (рис. 2, в). У першому разі хоча і вважається, що істинне значення визначається усім набором даних, проте для механізму такого визначення пропонується найпримітивніший варіант. Так, *за набором даних потрібно визначити деяке число (представника), яке і потрібно вважати істинним значенням вимірюваної величини*. Таку систему уяв-

лень ми будемо називати в нашій класифікації *точковою парадигмою*. Що стосується способу визначення представника, то це, якщо згадати *висловлювання* студентів на заняттях, є підрахунком середнього значення. У [16] було проведено більш детальне вивчення цього питання і знайдено ще два варіанти вибору представника: вибір числа, що найчастіше зустрічається, і вибір медіани набору.

Порівнюючи усі три варіанти (рис. 3), ми можемо сказати, що два останніх з них однозначно мають своїм початком сприйняття: вибір за частотою – це вибір «за розміром», вибір медіани – це вибір «за розташуванням». Що стосується першого варіанта, то його логічний рівень більш високий. На наш погляд, це «ізолювано існуючий» *фрагмент* загальної математичної теорії похибок спостережень, який став частиною мислення студента в результаті навчання.

Розглядаючи усі три варіанти ще більш детально, ми знайдемо, що між ними немає прірви. Те, що і під час вибору за частотою, і під час вибору медіани відповідь розуміється як *число*, є реалізацією основної думки математики, тобто відповідь є числом. А вибір середнього пов'язаний зі сприйняттям своєю фрагментарністю – уявлення сприйняття фрагментарні, думка єдина [12].

Ці міркування змушують нас помістити усі три уявлення (та їм подібні) до однієї

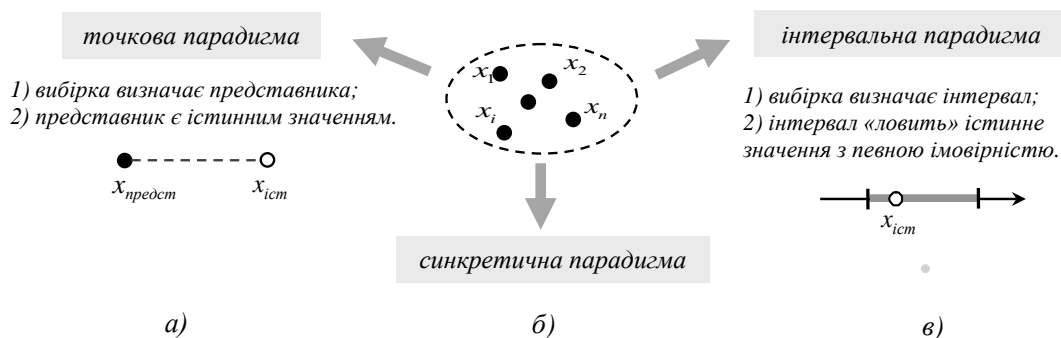


Рис. 2. Приймавши set-paradigm, ми можемо частково повернутися назад, до точкової парадигми (а), а можемо зробити крок уперед, до інтервальної парадигми (в). Між ними ми знаходимо синкретичну парадигму (б)



Рис. 3. Три варіанти вибору представника набору даних (вибірки), які можна виявити у практиці викладання



групи (точкова парадигма), а також розмістити цю групу між сприйняттям та мисленням. Виходить, що точкова парадигма є пограничною формою думки, яка ще не відривається повністю від сприйняття. Практичний висновок, який ми робимо з цього, такий: *під час навчання студентів потрібно виокремлювати дійсні в мисленні уявлення точкової парадигми та вказувати на те, що від них слід перейти до більш високої системи уявлень – до інтервальної парадигми.*

Наш досвід викладання однозначно показує, що повністю відмовитися від точкової парадигми для студентів досить не просто. Звичайно, під час спільного обговорення на занятті усі погоджуються з тим, що середнє не є істинним значенням. Але у подальшому «комфортні» точкові уявлення часто повертаються. Для того, щоб досягнути справжнього переходу до інтервальної парадигми, потрібна чимала спланована робота.

Інтервальна парадигма. Інтервальна парадигма – це система поглядів, що бере початок у математичних роботах Стьюдента (У.С. Госсет, 1908) [17], Ю. Неймана (1938) [9], та А.М. Колмогорова (1946) [4]. Її основні положення можна сформулювати так:

1) результатом експериментального дослідження є інтервал, який може містити («ловити»), а може і не містити істинного значення вимірюваної величини;

2) набір експериментальних даних (вибірка) є матеріалом для побудови інтервалу, який «ловить» істинне значення із заздалегідь указаною ймовірністю (довірчою ймовірністю).

У першому положенні декларується перехід від розуміння результату лабораторної роботи як числа (точки) до його розуміння як інтервалу. Важливість цього переходу, на наш погляд, полягає у тому, що він дозволяє усунути з поняття «результат лабораторної роботи» неминучу *алогічність* точкової парадигми. Справді, між двома точками (представником та істинним значенням) можна мислити лише два відношення: або вони збігаються, або

не збігаються (рис. 4, а). У застосуванні до нашої проблеми, залишаючись у межах точкової парадигми, ми маємо право сказати про результат лабораторної роботи або «представник збігається з істинним значенням», або «представник не збігається з істинним значенням», усе інше – *falsch!* Перше висловлювання є очевидною неправдою, а інше повністю знецінює отриманий результат.

Розуміючи відповідь до лабораторної роботи як *інтервал*, ми отримуємо повне логічне право сказати: «побудований інтервал «ловить» істинне значення» або «побудований інтервал «не ловить» істинне значення» (рис. 4, б).

Друге положення інтервальної парадигми реалізується шляхом надання формул для розрахунку середини довірчого інтервалу $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$ та абсолютної похибки

$$\Delta x = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 / n(n-1)}.$$

ни довірчого інтервалу Δx^α здійснюється шляхом множення Δx на коефіцієнт Стьюдента, $\Delta x^\alpha = t_n^\alpha \Delta x$, де α – довірча ймовірність. Інтервал, побудований так, «ловить» істинне значення із заданою ймовірністю α .

Підсумовуючи, проілюструємо сказане геометричними образами (рис. 5, а). Поняття «довірчий інтервал» містить і числовий інтервал, і значення довірчої ймовірності. Тому йому можна поставити у відповідність двовимірний многовид у просторі (x, P) . Початкові точкові уявлення наших студентів є лише точками цього простору (множинами корозмірності 2). Ми можемо зафіксувати цю різницю такою фразою, що інтервальна парадигма лежить на два логічні кроки вище точкової парадигми студентів. Наш досвід викладання однозначно свідчить про те, що подолати такий розрив у межах фізичного лабораторного практикуму технічного університету *не є можливим!*

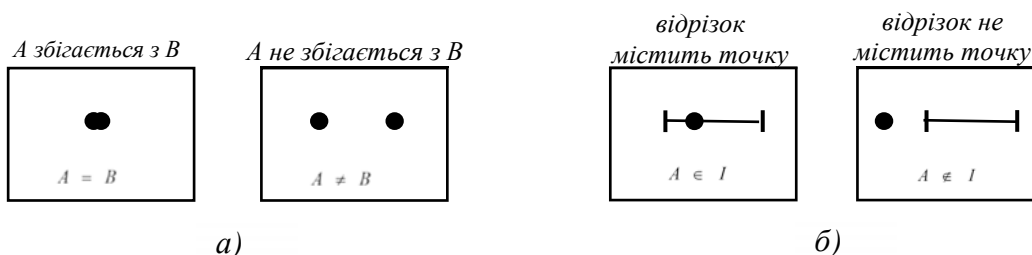


Рис. 4. Відношення, які можуть мислитися між: а) двома точками; б) точкою та відрізком

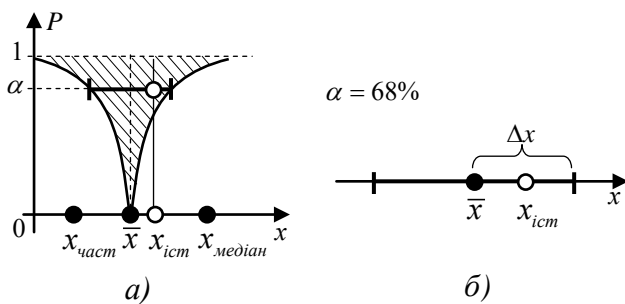


Рис. 5. Геометрична інтерпретація:
а) інтервальної парадигми;
б) навчально-інтервальної парадигми

Навчально-інтервальна парадигма. Опи-
 нившись у ситуації, коли досягнення ідеа-
 лу не є можливим, нам слід сконструювати
 більш просту навчальну систему уявлень –
 навчально-інтервальну парадигму.

За цю систему ми приймаємо систему
 таких тверджень:

1) результатом лабораторної роботи є
 числовий інтервал, координата середини
 та півширина якого визначаються середнім
 \bar{x} та абсолютною похибкою Δx ;

2) побудований таким чином інтервал
 «ловить» істинне значення у 68% випадках;

3) за необхідності отримання більш
 достовірних оцінок потрібно збільшити пів-
 ширину довірчого інтервалу; відповідний
 множник (коефіцієнт Стюдента) можна
 знайти у спеціальній літературі.

Таким чином, у цій системі тверджень
 поняття довірчої імовірності залишається,
 але фіксується її значення. Цей розумний
 підхід прийнятий у багатьох лабораторних
 курсах [5, 8, 10, 18]. Укажемо на дві позитивні
 риси такого підходу: 1) запропоно-
 вана система поглядів є логічно зв'язаною
 та несуперечливою; 2) її можна доповнити
 до повної інтервальної парадигми під час
 подальшого навчання без конфлікту з її
 принципами.

Наш досвід викладання говорить, що
 досягнення навчальної мети «навчально-
 інтервальна парадигма повністю прийма-
 ється студентами» є цілком реальним за
 виконання трьох умов: а) основні твер-
 дження мають бути сформульовані вже на
 першому занятті в якомога більш глибокій
 та яскравій інтерпретації; б) на наступних
 заняттях слід обов'язково дотримувати-
 ся цієї системи поглядів; в) за можливо-
 сті у процесі виконання практикуму усім
 абстрактним математичним формулам слід
 давати інтуїтивно зрозуміле трактування.

Отож, розглянемо систему уявлень тра-
 диційного лабораторного практикуму та
 висловимо свою думку щодо того, чому в
 межах цієї системи не вдається сформу-

вати правильне розуміння студентами суті
 поняття «результат лабораторної роботи».

Синкретична парадигма. Під традицій-
 ним лабораторним практикумом ми будемо
 розуміти лабораторний практикум, що
 базується на такій системі тверджень:

1) середнє значення результатів вимі-
 рювань \bar{x} дає наближене значення для
 істинного $x_{ист}$;

2) абсолютна похибка Δx характеризує
 точність використаного методу вимірювання;

3) запис відповіді до лабораторної робо-
 ти у вигляді інтервалу $x = \bar{x} \pm \Delta x$ є зручною
 формою одночасного запису двох резуль-
 татів;

4) коли викладач вимагає перерахувати
 відповідь для заданої довірчої імовірності,
 необхідно перерахувати величину абсо-
 лютної похибки за формулою $\Delta x^\alpha = t_n^\alpha \Delta x$,
 де коефіцієнт Стьюдента t_n^α потрібно взяти
 з таблиці.

Очевидно, що ця система тверджень є
 механічним поєднанням різних неоднорід-
 них тверджень, тобто синкретичним утво-
 ренням, що поєднує декілька суперечливих
 теорій на основі принципу нелогічної при-
 роди. У нашому випадку теоріями, що супе-
 речать одна одній, є точкова та інтервальна
 парадигми, а принципом, що їх об'єднує,
 є принцип достатності – наведені вище
 положення дозволяють виконати будь-яку
 вимогу викладача щодо результату лабо-
 раторної роботи. Ми будемо називати таку
 систему тверджень *синкретичною пара-
 дигмою*.

Двоїстість синкретичної парадигми має
 історичне підґрунтя – математична теорія
 похибок спостережень розвивалася у два
 етапи, спочатку як теорія *точкового оці-
 нювання*, але через сто років – як теорія
інтервального оцінювання.

Поява і розвиток теорії точкового оці-
 нювання пов'язані з такими іменами, як
 Т. Браге, Й. Кеплер, Д. Бернуллі, П. Лаплас,
 А. Лежандр [3, с. 418]. Теорія похибок спо-
 стережень була остаточно сформована в
 роботах К. Гаусса [2]. Математики ввели
 уявлення про одиничний результат експе-
 риментального вимірювання як про випад-
 кову величину, довели, що найкращими
 оцінками математичного сподівання та
 стандартного відхилення є наведені вище
 формули для \bar{x} та Δx . Передаючи свої
 результати фізикам, математики замінили
 математичні терміни «математичне споді-
 вання» та «стандартне відхилення» алогіч-
 ними термінами «наближене значення для
 істинного» та «наближене значення для
 стандартного відхилення» [6, с. 96]. Дещо
 нечесно з боку математиків, адже, відмо-
 вившись від відношення наближеної рівно-



сті всередині математики, вони залишили за собою право використовувати це відношення під час спілкування з представниками суміжних наук. На наш погляд, цей вчинок математиків був початком дуже стійкої традиції трактувати середнє як наближення для істинного значення.

Інтервальне оцінювання бере свій початок від робіт [4; 9; 17]. В цій математичній теорії результат експериментального дослідження почав розглядатися як числовий інтервал, і головним стало питання про те, з якою імовірністю цей інтервал «ловить» істинне значення. Розвиток цієї проблематики призвів до створення нової галузі математики – математичної статистики, а у фізику відповідні ідеї увійшли як метод Стюдента.

Традиційний практикум сприйняв ідеї інтервального оцінювання дуже просто – він додав до системи тверджень ще одне «інтервальне» твердження, не змінивши свого погляду на логічну природу поняття «результат вимірювань». Такий алогізм залишився непоміченим – фізики-дослідники чудово розуміють один-одного на будь-якій «мові», а для формальної логіки це питання занадто «приземлене».

У чому ж полягають недоліки синкретичної парадигми? Ми бачимо такі два недоліки. Перший із них лежить у методичній площині – положення синкретичної парадигми є механічним поєднанням положень різних систем, що не зв'язані єдиною думкою. Викладаючи логічно зв'язаний матеріал, ми можемо сподіватися на його ефективне засвоєння за рахунок роботи логічної пам'яті та мислення [7]. Коли ж матеріал логічно суперечливий, то він може бути засвоєний лише за рахунок механічного запам'ятовування, тобто як результат муштри та зазубрювання. Ми, по-перше, не приймаємо такий метод навчання, а по-друге, вважаємо, що він є зовсім неефективним, оскільки породжує «порочне коло».

«Порочне коло» синкретичної парадигми. Фактичний матеріал теорії похибок містить велику кількість складних формул та правил. Під час механічного запам'ятовування ці факти запам'ятовуються студентами як окремі фрагменти (нагадаємо, що фрагментарність характерна для нижнього рівня пізнання – сприйняття). За відомим висловлюванням М. фон Лауе «освіта – це те, що залишається після того, як все вивчене забувається», коли формули та правила будуть забуті, у студентів залишиться лише одне – розуміння результату лабораторної роботи як наближення для істинного значення. А якщо робота думки піде далі (адже

наближення може бути дуже добрим), то з часом може зникнути і слово «наближення», і остаточно думка перетвориться у «середнє є істинне». Відбувається повернення до вихідної точки – до точкової парадигми.

Укажемо на ще один негативний наслідок логічної незв'язаності синкретичної парадигми. Навіть сильний студент, який упевнено виконує всі пункти інструкції, не отримує при цьому загального розуміння принципів теорії похибок. Він не може сконструювати процес оброблення експериментальних даних під час самостійного дослідження – відповідна компетентність у нього не сформована. Зазначимо, що часто і для викладачів саме процес обробки результатів є *petra scandali* під час створення нових лабораторних робіт.

Другий недолік синкретичної парадигми лежить у логічній площині. Це використання «паразитичного» відношення наближеної рівності для зв'язку середнього та істинного значень.

Відношення наближеної рівності з точки зору логіки є «паразитичним» відношенням, адже воно стягує все знання у точку, коли «що б не сказав, все є істина» (філософія Протагора). Першими на це звернули увагу логіки та математики. Вони зрозуміли, що якщо в логіці прийняти за істинне «найнезначніше» неправдиве твердження, то тоді за істинне необхідно буде прийняти і будь-яке інше твердження. У математиці, якщо прийняти за істинне рівність $1 = 1,000001$, необхідно буде прийняти за істинне і будь-яку іншу рівність, тобто перетворити всю систему математичних знань у філософію Протагора. У цьому і полягає причина того, що відношення наближеної рівності були принципово виключені з логіки та математики.

На відміну від логіків та математиків, фізики не бояться використовувати вказане відношення, вважаючи, що в них вистачить здорового глузду в потрібний момент розірвати ланцюжок наближених рівностей і уникнути перетворення системи фізичних знань у філософію Протагора. У такій позиції є три недоліки. По-перше, ми ризикуємо перетворити фізику в науку про погляди (що можна, а що не можна вважати наближено рівним). По-друге, використання відношення наближеної рівності маскує істинні логічні структури фізичних понять та приховано вбиває бажання їх шукати. І по-третє, зловживання відношенням наближеної рівності перетворює в очах студентів фізику, на відміну від математики, в науку наближену, аморфну, розпливчасту, що є неправильним та шкідливим.

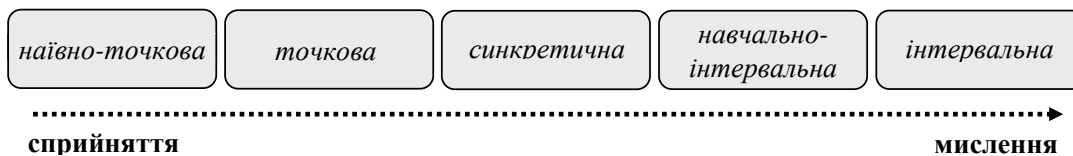


Рис. 6. Класифікація систем уявлень (парадигм) про поняття «результат лабораторної роботи»

Якщо прийняти вказані аргументи і відмовитися від використання відношення наближеної рівності, то перше твердження синкретичної парадигми перетворюється в одне з тверджень точкової парадигми – середнє є істинне. Виходить, що синкретична парадигма не є кроком угору логічними сходами. Це усього лише «підфарбована» точкова парадигма, тобто *falsch!*

Виявлені недоліки системи уявлень синкретичної парадигми, її залишкові зв'язки зі сприйняттям змушують нас розмістити її в загальній класифікації парадигм (див. рис. 6) нижче навчально-інтервальної парадигми.

Висновки з проведеного дослідження. Проведений логічний аналіз поняття «результат лабораторної роботи». Запропонована класифікація систем дійсних уявлень про це поняття. Вона містить таких п'ять класів, як наївно-точкова парадигма, точкова парадигма, синкретична парадигма, навчально-інтервальна парадигма, інтервальна парадигма.

Рівень студентів, які починають вивчати університетський курс фізики, відповідає рівню точкової парадигми. За кінцевий рівень вступного лабораторного практикуму «Пошук фізичних закономірностей» пропонується прийняти рівень навчально-інтервальної парадигми.

Запропоновано такі принципи для досягнення поставленої навчальної мети: а) основні принципи навчально-інтервальної парадигми мають бути сформульовані вже на першому занятті в якомога більш глибокій та яскравій інтерпретації; б) на наступних заняттях слід неухильно притримуватися цієї системи поглядів; в) у процесі виконання практикуму всім абстрактним математичним поняттям слід дати інтуїтивно зрозуміле трактування.

Указано причину неефективності процесу навчання, що побудований на основі уявлень синкретичної парадигми. Вона полягає у відсутності єдиної логічної лінії.

Перспективи подальших досліджень. Для подальшого дослідження було б цікаво провести тестування для порівняння ефективності двох систем навчання: навчання на основі уявлень інтервальної парадигми і навчання на основі уявлень синкретичної парадигми.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Веккер Л.М. Психические процессы. Т. 1. Ленинград : ЛГУ, 1974. 334 с.
2. Гаусс К.Ф. Избранные геодезические сочинения / под общ. ред. С.Г. Судакова. Т. 1. Москва : Изд-во геодезической литературы, 1957. 152 с.
3. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятности. 6-е изд., перераб. и доп. Москва : Наука ; ГИФМЛ, 1962. 352 с.
4. Колмогоров А.Н. К обоснованию метода наименьших квадратов. *Успехи математических наук*. 1946. Т. 1(11). Вып. 1. С. 57–70.
5. Лабораторные занятия по физике : учебное пособие под ред. Л.Л. Гольдина. Москва : Наука ; ГИФМЛ, 1983. 704 с.
6. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. 2-е изд., доп. и исправл. Москва : ГИФМЛ, 1962. 352 с.
7. Марченко О.А., Мінаєв Ю.П., Циганок М.М. Проблема формування і розвитку в учнів середньої школи логічної пам'яті засобами фізики як навчального предмета. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету. Серія «Педагогічна»*. Коломия : ВПТ «ВІК», 2001. Вип. 7 : Модель середньої фізичної освіти в умовах переходу на 12-річний термін навчання. С. 148–153.
8. Модели и концепции физики: механика. Лабораторный практикум. Обработка результатов измерений. Москва : МФТИ, 2011. 42 с.
9. Нейман Ю. Статистическая оценка как проблема классической теории вероятности. *Успехи математических наук*. 1944. № 10. С. 207–229.
10. Сквайрс Дж. Практическая физика : учебное издание. Москва : Мир, 1971. 248 с.
11. Соколов Є.П., Лозовенко О.А. Реалізація ідеї поетапного формування розумовий дій в університетському лабораторному практикумі з фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія «Педагогічна»* / редкол. : П.С. Атаманчук (гол.) та ін. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2018. Вип. 24 : STEM-інтеграція як важлива передумова управління результативністю та якістю фізичної освіти. С. 80–84.
12. Фреге Г. Мысль: логическое исследование. *Философия, логика, язык* / сост. и предисл. В.В. Петрова ; пер. с англ. и нем. под общ. ред. Д.П. Горского и В.В. Петрова. Москва : Прогресс, 1987. С. 18–47.
13. Deardorff D.L. Introductory physics students' treatment of measurement uncertainty : PhD Thesis ; North Carolina State University. Raleigh, 2001. 113 p.



14. JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. Geneva : International Organization for Standardization, 2008. 120 p.

15. Lippmann R.F. Students' Understanding of Measurement and Uncertainty in the Physics Laboratory: Social construction, underlying concepts, and quantitative analysis : PhD Thesis. University of Maryland. College Park, 2003. 115 p.

16. Effectiveness of a GUM-compliant course for teaching measurement in the introductory physics laboratory / S. Pillay et al. *European Journal of Physics*. 2008. № 29. P. 647–659.

17. Student (Gosset W.S.). The problem error of a mean. *Biometrika*. 1908. № 6(1). P. 1–24.

18. Taylor J.R. An introduction to error analysis. 2nd ed. Sausalito, California, 2007. 327 p.