

ЗМІСТ

Передмова	6
МАНІФЕСТ	10
1 ПАРТИТУРА ЗАНЯТЬ	12
ТЕМА 1. ЧОТИРИ АКсіОМИ ТЕОрії ВИМірЮВАНЬ	13
Заняття 1. Поняття про довірчий інтервал. Лабораторна робота №1 «Дослід Бюфона – де-Моргана»	13
Заняття 2. Початок геометричного методу. Лабораторна робота №2 «Вимірювання часу опускання тягарця»	20
ТЕМА 2. ЛІНІЙНА ЗАЛЕЖНІСТЬ	27
Заняття 3. Перше знайомство з лінійною залежністю. Побудова лінійної залежності в лабораторній роботі №3 «Визначення часу життя Всесвіту за Е. Габблом»	27
Заняття 4. Як не заплутатися в позначеннях. Самостійна побудова лінійної залежності у лабораторній роботі №4 «Визначення в'язкості рідини методом Стокса»	32
ТЕМА 3. ЛІНІЙНА ЗАЛЕЖНІСТЬ ЯК ОБ'ЄКТ ВИМірЮВАННЯ	37
Заняття 5. Побудова довірчого інтервалу для вільного члена лінійної залежності. Виконання цієї операції в лабораторній роботі №5 «Закон Гука. Визначення маси «чорного» тягарця»	37
Заняття 6. Побудова довірчого інтервалу для кутового коефіцієнта лінійної залежності та опосередковано вимірюваної величини. Лабораторна робота №6 «Закон Гука. Визначення модуля Юнга»	43
ТЕМА 4. СТЕПЕНЕВА ЗАЛЕЖНІСТЬ	47
Заняття 7. «Випрямлення» степеневих залежностей. Виконання цієї операції в лабораторній роботі №7 «Закон Стефана-Больцмана»	47
Заняття 8. Метод розмірностей. Степеневі випрямляючі координати. Лабораторна робота №8 «Математичний маятник»	52
ТЕМА 5. ВИПРЯМЛЯЮЧІ КООРДИНАТИ	56
Заняття 9. Побудова випрямляючих координат у загальному випадку. Лабораторна робота №9 «Визначення часу життя лампи розжарювання»	56
Заняття 10. Експериментальне доведення гіпотез. Лабораторна робота №10 «Залежність опору напівпровідника від температури»	61
ТЕМА 6. ОСНОВИ DATA MINING	65
Заняття 11. Основні поняття інтелектуального пошуку в базах даних: кластери, тренди та фізичні закони. Лабораторна робота №11 «Закон Дюлонга-Пті»	65
Заняття 12. Інтерпретація експериментальних закономірностей. Лабораторна робота №12 «Моделювання електростатичного поля за допомогою електропровідного паперу»	70

ТЕМА 7. ЗАЛІКОВІ ЗАНЯТТЯ	75
Заняття 13. Перший етап заліку: «Теоретичний мінімум»	75
Заняття 14. Другий етап заліку: «Пошук фізичних закономірностей»	79
Відповіді та розв'язки	86
ДОДАТОК А. Інструкції до лабораторних робіт	88
2 ІНТЕРВАЛЬНА ТЕОРІЯ	
ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ	110
1. Поняття, що лежать в основі інтервальної теорії	111
1.1. Перше логічне розщеплення «Студент – Викладач»	111
1.2. Друге логічне розщеплення «Випадкова величина – Реалізація»	113
1.3. Імовірнісна модель процесу вимірювання	115
1.4. Інструментальна похибка для моделі «цифровий прилад»	117
2. Канонічне представлення	119
2.1. Лабораторна робота як задача теорії ймовірностей	119
2.2. Рецепти приготування репрезентаторів та реалізацій (модель А)	124
2.3. Принцип збереження інформації	126
2.4. Теорія моделей. Маса експериментальних точок	130
2.5. Загальний випадок: результати та доведення	133
3. Розв'язок канонічної задачі	136
3.1. Геометричний метод	137
3.1.1. Гамма-оцінювання	137
3.1.2. Обернене гамма-оцінювання	138
3.2. Аналітичний метод Стьюдента	141
3.3. Теорія Стьюдента і фізичний лабораторний практикум	144
3.4. Список формул стандартної інтервальної теорії	147
4. Застосування інтервальної теорії до питань лабораторного практикуму	148
4.1. Структура «Загальне-окреме» в інтервальній теорії	148
4.2. Узагальнююче правило про ступені свободи	149
4.3. Розкриття парадоксу «наївних» формул	150
4.4. Єдина формула інтервальної теорії	152
4.5. Експериментальне підтвердження гіпотез першого роду	155
4.6. Експериментальне підтвердження гіпотез другого роду	158
4.6.1. Геометричний метод	159
4.6.2. Статистичний метод	160
5. Довірчі інтервали для опосередковано вимірюваних величин	165
5.1. «Внутрішні» опосередковано вимірювані величини	165
5.2. Пояснення одного таємничого експериментального факту	168
5.3. Випадок із систематичними похибками	169
5.4. Про оптимальну кількість вимірювань	173
Відповіді та розв'язки	174
ДОДАТОК Б. Основні формули для знаходження параметрів експериментальної прямої	178
Предметний покажчик	179
Список літератури	181

Передмова

Слон — це мотузка, — сказав перший мудрець.
Слон — це стіна, — сказав другий мудрець.
.....
Слон — це спис, — сказав сьомий мудрець.

Притча про сім сліпих мудреців

Що таке навчальний комплекс «Пошук фізичних закономірностей»?

1. Це *вступна частина університетського фізичного практикуму*. Його мета — підготувати студентів до самостійної діяльності в подальших експериментальних дослідженнях. Сама ідея про корисність спеціальних вступних лабораторних робіт не є новою. Ми посирили її та пропонуємо не декілька незв'язаних між собою занять, а єдину систему. Наш курс складається з чотирнадцяти занять, дванадцять з яких є лабораторними роботами, а два останніх — заліковими заняттями. Кінцева навчальна мета нашого курсу — студенти мають вміти самостійно здобувати фізичні закони з даних, отриманих в реальних фізичних дослідженнях.

2. Це *оболонка для всіх фізичних практикумів*, які в подальшому можуть бути створені за цим зразком. Якщо умовно розбити лабораторний практикум на дві частини: отримання даних і обробку даних, то наш курс націлений виключно на другу частину. Головним в наших лабораторних роботах є не те, що конкретно ми вимірюємо, а те, що ми можемо проілюструвати цими вимірюваннями. Кожен, хто захоче впровадити цей курс у свій навчальний процес, може підібрати замість запропонованих нами лабораторних робіт інші, які, на його погляд, будуть більш вдало ілюструвати досліджувані ідеї.

3. Це *єдиний, логічно послідовний виклад системи практичних дій* з обробки експериментальних даних. Керуючися ідеєю про поетапне формування розумових дій ми сконструювали систему занять, на яких студенти послідовно знайомляться та відпрацьовують практичні дії з обробки експериментальних даних. Основний метод, якому ми навчаємо студентів, — це геометричний метод. Він проходить через всі заняття, починаючи з першого (вимірювання фізичної величини) і закінчуючи останнім (поділ на тренди та залежності).

4. Це *пропедевтичне знайомство з методами математичної статистики*. Студенти повинні обов'язково опанувати геометричний метод, оскільки він дає інтуїтивне розуміння експериментальної ситуації, вміння читати графічну інформацію. Але геометричний метод — всього лише ілюстрація аналітичних прийомів обробки експериментальних даних. Незважаючи на інтуїтивну ясність геометричного методу, обґрунтування його коректності можна провести лише спираючися на аналітичні формули. Глибоко вивчати методи математичної статистики у вступному курсі ми вважаємо передчасним, але познайомити студентів з ними, на наш погляд, розумно. Для цього ми факультативно пропонуємо студентам в кінці кожного заняття написати програму для паралельного розрахунку результату лабораторної роботи тим чи іншим аналітичним методом.

5. Це *цілеспрямована робота над формуванням у студентів інтервальної парадигми*. Рівень студентів, які починають вивчати університетський курс фізики, переважно відповідає рівню точкової парадигми, тобто вони вважають, що в результаті виконання лабораторної роботи за набором даних потрібно визначити деяке число (представника), яке і потрібно вважати наближеним значенням істинного значення вимірюваної величини. Інтервальна ж парадигма — це система поглядів, яка ґрунтується на думці, що відповіддю до лабораторної роботи є довірчий інтервал. Довірчий інтервал пов'язаний з істинним значенням логічними відношеннями «інтервал ловить/не ловить» істинне значення.

6. Це новий підхід до впровадження ідей інтервального підходу до обробки експериментальних даних у вступний лабораторний практикум. Для того, щоб мати можливість провести через весь практикум інтервальний підхід, ми повинні запропонувати єдину модель для різноманітних об'єктів наших лабораторних робіт і повну систему принципів роботи з цією моделлю. Такою єдиною моделлю у нас стало поняття лінійної залежності. До лінійної залежності можна звести практично всі фізичні залежності, що вивчаються в традиційних практикумах, за винятком, можливо, резонансної кривої. Ми починаємо наш курс з вивчення вироджених випадків лінійної залежності, а закінчуємо — знайомством з багатомірними лінійними залежностями, які проявляються у фізичних вимірюваннях у вигляді трендів.

7. Це ліхтар для молодих викладачів. Традиційний фізичний практикум є для нас темною кімнатою, що заставлена меблями з усього будинку. У ньому багато різних рецептів і прийомів, підставою для присутності яких є лише традиція. Так само як в темній кімнаті щось незначне, з чим ми тільки-но зіткнулися, вважається нами величезним. А велике, чого ми не бачимо в темряві, вважається нами неіснуючим. У традиційному фізичному практикумі логічні зв'язки дуже короткі. І так само як в темній кімнаті ми, добре вивчивши найближчий предмет, нічого не можемо сказати про наступний. Зрозуміло, що молодому викладачеві, а автори теж були молодими викладачами, важко розібратися у всьому цьому синкретичному розмаїтті. Ми сподіваємося, що наш практикум стане тим ліхтарем, який освітить темну кімнату і дозволить кожному знайти в ній те, що дійсно необхідно та корисно.

Як був створений та апробований навчальний комплекс «Пошук фізичних закономірностей»?

Навчальний комплекс був створений у 2010-2015 роках на кафедрі загальної фізики факультету загальнотехнічної підготовки Запорізького національного технічного університету. Він пропонувався студентам, у яких фізика вивчалася протягом двох семестрів, а на лабораторні роботи відводилося одне заняття на тиждень (всього 14 двогодинних занять в семестр). Логіка його застосування була такою: на першому етапі ми вчимо студентів основним ідеям і прийомам роботи з даними. На другому етапі, у другому семестрі, ми пропонуємо студентам самостійно планувати і здійснювати обробку отриманих експериментальних даних: вибирати метод, будувати робочі таблиці і графіки, отримувати довірчий інтервал. Ми заохочували студентів використовувати комп'ютерні програми. Тестування, проведені авторами, показали, що рівень залишкових знань і навичок у студентів, які навчалися за новою методикою, вище, ніж у студентів, які навчалися в межах традиційного практикуму.

Зробимо тут зауваження, що може бути корисним учителям, які ведуть роботу з талановитою молоддю. Історично ідеї, що лежать в основі практикуму «Пошук фізичних закономірностей», з'явилися у авторів значно раніше, при роботі зі школярами в системі фізико-математичних гуртків. Головним генератором тут була робота щодо виконання завдань Турнірів юних фізиків. Завдання турніру традиційно мають оригінальний дослідницький характер, і тому для їх виконання часто доводилося виходити за рамки стандартів.

Сьогодні автори читають окремі частини курсу для багатьох категорій школярів, які цікавляться фізикою. Це і підготовка до фізичних олімпіад, і підготовка до виступів на конференціях Малої академії наук, і читання лекцій у літніх фізичних школах [23]. Така робота проводиться на всіх рівнях, починаючи зі шкільного та районного, і закінчуючи підготовкою школярів-учасників збірної України до міжнародних фізичних олімпіад. Виходячи зі свого досвіду, ми рекомендуємо всім вчителям, які працюють з талановитою молоддю, також використовувати елементи нашого комплексу у своїй роботі.

Структура занять практикуму «Пошук фізичних закономірностей»

Структура заняття «Лабораторна робота» (перші дванадцять занять) представлена в таблиці 1.

Таблиця 1. Структура заняття «Лабораторна робота»

1	Аудиторна робота		90 хвилин
1.1	<i>Письмове опитування.</i> Всі заняття, крім першого, починаються з письмового опитування. Студент отримує білет, що містить п'ять простих завдань за матеріалом минулого заняття. Зразки контрольних завдань надаються студентам заздалегідь.		10 хвилин
1.2	<i>Розповідь викладача.</i> Це найважливіша частина заняття — тут відбувається формування в мисленні студентів низки нових понять. Матеріали для розповіді наводяться в главі «Партитура занять».		40 хвилин
1.3	<i>Виконання лабораторної роботи.</i> Половина наших лабораторних робіт виконується фронтально, під керівництвом викладача. Іншу половину студенти виконують індивідуально (невеликими групами).		30 хвилин
1.4	<i>Загальна дискусія.</i> Нам подобається закінчувати лабораторну роботу загальною дискусією. Вона завжди проходить дуже жваво та емоційно. Ми розглядаємо це як підготовку до професійної комунікації.		10 хвилин
2	Самостійна робота студентів		90 хвилин
2.1	<i>Оформлення лабораторної роботи.</i> Студент повинен підготувати звіт з лабораторної роботи. Звіт містить: робочі таблиці (таблицю даних і таблицю обробки даних), побудований на міліметровому папері експериментальний графік, висновок, в якому повідомляється знайдений довірчий інтервал для вимірюваної величини.		60 хвилин
2.2	<i>Читання навчального тексту та відповіді на контрольні запитання.</i> Тексти наводяться в окремо виданому посібнику.		20 хвилин
2.3	<i>Розв'язування зразків контрольних завдань.</i>		10 хвилин

Два останніх заняття практикуму є заліковими.

На першому заліковому занятті перевіряються основні знання та вміння, починаючи з уміння округляти результати розрахунку і закінчуючи вмінням випрямляти фізичні залежності, вимірювати за графіком їхні параметри та записувати результат у вигляді математичної формули. Білет оформлений у вигляді тесту з вибором однієї відповіді з чотирьох. Він містить 25 запитань. Зразки білетів даються в кінці глави 1.

На другому заліковому занятті перевіряється вміння студента знаходити фізичні закони. Йому даються реальні результати фізичних вимірювань, його завдання — добути фізичний закон. Зазначимо, що ми не виносимо на цю частину заліку питання, пов'язані з похибками, тому всі дані даються в адаптованому вигляді — вони добре «лягають» на пряму ($\varepsilon = 1\%$). Зразки завдань даються в кінці глави 1.

Зауваження щодо виготовлення методичних матеріалів до нашого курсу. У зв'язку з обмеженим об'ємом посібника, ми змогли навести тут лише зразки контрольних завдань та макети для виготовлення інструкцій до лабораторних робіт. Повні матеріали, а також тексти для самостійного читання, будуть опубліковані окремо.

Висвітлення питань, пов'язаних зі створенням фізичного практикуму нового типу, в наукових публікаціях авторів

Аналіз уявлень студентів про поняття «результат лабораторної роботи» був виконаний авторами в [27]. Було показано, що традиційне проведення фізичного практикуму піднімає студентів від точкової парадигми до синкретичної. Однак цей успіх завжди тимчасовий — після закінчення навчання студенти повертаються до точкової парадигми («порочне» коло

синкретичної парадигми). Для практикуму нового типу була запропонована навчально-інтервальна парадигма.

В [30] було представлено спеціально сконструйоване навчальне заняття, на якому принципи інтервальної парадигми подаються студентам в глибокій та яскравій інтерпретації.

Аналіз правил і методів традиційного практикуму був проведений авторами в [28]. Було показано, що традиційний підхід до обробки результатів вимірювань у фізичному практикумі є фрагментарним — в ньому немає єдиного логічного стержня, який би зв'язував його прийоми та методи в єдине ціле. Не дивно, що в такій ситуації у студентів виникають труднощі із розумінням відповідного матеріалу.

В [29] проводиться аналіз експериментально-дослідницької діяльності для реалізації ідеї поетапного формування розумових дій в практикумі нового типу.

Перший крок до класифікації лабораторних робіт за логічною основою був зроблений в [22]. Було запропоновано поділ лабораторних робіт на апостеріорні та апріорні. Співвідношення кількості робіт першого і другого типу може бути використано для класифікації різних фізичних практикумів.

Питання вимірювання рівня залишкових знань студентів було розглянуто авторами в [25]. Був запропонований метод «нейтралізації» помилок, які допускаються студентами випадково.

Подяки

Автори висловлюють подяки тим людям, завдяки підтримці яких був створений цей курс. Проф. В.В. Левітіну (м. Марбург, Німеччина) за підтримку і допомогу на найперших етапах створення комплексу. Проф. Ю.А. Дрейзіну (м. Міннеаполіс, США) за озброєння авторів ідеєю про те, що сучасна фізична освіта неможлива без комп'ютерної складової. Проф. Е. Сікорські та проф. Х. Ціглеру (м. Оффенбург, Німеччина) за надану можливість познайомитися з фізичним практикумом Оффенбургського університету прикладних наук. Проф. О.І. Павленко за ряд цінних зауважень щодо методичного наповнення курсу. Доц. Ю.П. Мінаєву та доц. Д.І. Анпілогову за ряд цінних зауважень, що були зроблені ними у процесі тривалих та корисних обговорень. А також вчителю фізики та математики І.П. Даценко (Приватна школа «МудрАнгелики», м. Чернігів) за бесцінну допомогу під час підготовки тексту до друку.

Автори

МАНІФЕСТ фізичного практикуму «Пошук фізичних закономірностей»

Всьому, що треба знати, потрібно навчати.
Ян Коменський, «Велика дидактика»

1. Всьому потрібно вчити!

Так склалося, що на сьогоднішній день основною ідеєю традиційного проведення фізичного практикуму стала ідея «максимальної самоосвіти» студентів. Прихильникам традиційного навчання фізичний практикум видається такою собі квітучою райською галявиною, якою вільно бродять студенти з «добре написаними методичками» в руках і самі собою наповнюються знаннями та вміннями експериментального дослідження навколишнього світу. І цьому процесу зовсім не заважає викладач, якому відводиться роль стороннього спостерігача і контролера рівня наповненості студента знаннями.

Мрії про процеси, що «самі собою протікають» — це дуже по-людськи. І всі ми, звичайно, хотіли б вірити в те, що, дійсно, все може якось само-сабою влаштуватися, засвоїтися і скластися в систему. Але тут ми завжди помиляємося.

Придивившись неупереджено, але критично, до результатів, які дає традиційне проведення фізичного практикуму, кожен легко знайде, що вони дуже далекі від тих, що очікувалися. Саме це змусило нас створити нову систему проведення вступного фізичного практикуму. Головну роль ми відводимо в ній викладачу, який на кожному занятті *навчає* студентів основних ідей проведення експериментального дослідження.

Методом навчання ми обрали метод поетапного формування розумових дій. Ми розділили складну діяльність, пов'язану з проведенням експериментального дослідження, на окремі елементарні дії і склали програму послідовного навчання студентів цих дій. Глава «Партитура занять» презентує цю методику.

Наше кредо: «Якісне навчання — основа подальшої ефективної самоосвіти! Чим більше знають наші студенти, чим більше прийомів та навичок вони засвоїли, тим більшою є та область знань, в якій вони можуть усвідомлено та ефективно самостійно працювати».

Інформатика не більше є наукою про комп'ютер,
ніж астрономія — наука про телескоп.
Е. Дейкстра

2. Слід відірвати фізику від метрології та зробити фізичний закон головним об'єктом фізичного практикуму!

Традиційно наука фізика і наука метрологія сприймаються як одне єдине ціле. «Основа метрології — фізика, адже саме фізика надає метрології нові методи вимірювання» — кажуть одні. Інші їм вторять: «Основа фізики — метрологія, саме нові точні вимірювання дають фізиці матеріал для відкриття нових законів!»

Так, фізика та метрологія тісно пов'язані. Але створюючи *логічну* базу методики навчання основам експериментального дослідження, нам слід чітко розділити ці науки, на підставі того, що в кожній з них свій предмет дослідження!

Предмети дослідження метрології суть матеріальні об'єкти — тіла та поля. Матеріальні об'єкти мають нескінченну кількість фізичних властивостей. Метрологія знаходить числові характеристики цих властивостей, проводячи вимірювання за допомогою фізичних приладів: лінійок, ваг, амперметрів і вольтметрів.

Предмети дослідження фізики суть ідеальні об'єкти — *фізичні закони*. У фізичних законів характеристик зовсім мало. Для лінійних залежностей, які ми розглядаємо в нашому

курсі, це всього два параметри. Але характеристики фізичних законів мають зовсім іншу логічну природу, ніж характеристики матеріальних тіл, — для їхнього визначення потрібні не фізичні прилади, а логічні методи аналізу результатів вимірювання. Саме знайомство з методами обробки результатів вимірювань ми ставимо на перше місце у нашому курсі.

Зазначимо, що навчання методам аналізу експериментальних даних вимагає вирішення непростієї дидактичної проблеми. Чому нам слід вчити наших студентів: наочному, інтуїтивному, геометричному методу визначення параметрів лінійної залежності або строгим формальним методам математичної статистики?

Ми обрали такий підхід: на заняттях ми вчимо студентів геометричному методу, а у завданнях для самостійної роботи пропонуємо їм написати програму для формального розрахунку тих самих характеристик. Для бажаючих розібратися у всьому розмаїтті формул математичної теорії обробки результатів вимірювань ми даємо в другій частині нашої книги необхідні пояснення.

Ми маємо у своєму розпорядженні свободу вибору для того, щоб не погоджуватися із сумнівними речами і таким чином уникати помилок.

Декарт, «Про основи людського пізнання»

3. Слід покласти в основу інтервальну парадигму!

У традиційному фізичному практикумі результат експериментального дослідження як правило трактується студентами як наближене значення для істинного значення вимірюваної величини (точкова парадигма).

Ми поставили собі за мету послідовно та систематично здійснити виклад матеріалу в дусі *інтервальної парадигми*, коли відповіддю до лабораторної роботи вважається довірчий інтервал.

При цьому ми зіткнулися з необхідністю вирішення ряду проблем. В традиційних практикумах питання, що пов'язані з побудовою довірчого інтервалу, досить повно викладені лише для випадку обробки результатів вимірювання звичайної фізичної величини (метрологія). А далі — прірва: питання, які пов'язані з побудовою довірчого інтервалу для параметрів лінійної залежності або зовсім не розглядаються, або розглядаються фрагментарно та плутано.

У представленому курсі ми, виходячи із загальних єдиних принципів, будемо рецепти побудови довірчого інтервалу для всіх можливих випадків лінійної залежності, які можуть зустрітися в навчальному фізичному практикумі. Відповідні результати, придатні для практичного застосування, ми наводимо в кінці кожної лабораторної роботи. В системі вони викладаються в другій главі нашого посібника. При цьому частина результатів є загальновідомою, частина — відомою, але викладеною в більш ясному вигляді.

Автори

Глава 1

ПАРТИТУРА ЗАНЯТЬ

Партитурою називається запис твору, що складається з декількох партій.

*Енциклопедичний словник
Брокгауза та Ефрона*

Як фізики на досліді відкривають закони? Що саме вони роблять? Знайомство з технологією відкриття законів на класичних прикладах — це перша партія нашого курсу.

Друга партія — це професійні «секрети» фізиків. Тут можна багато про що розповісти. Можна розповісти про те, як фізикам вдається заздалегідь передбачити результати своїх досліджень (теорія розмірностей). Про те, як вони отримують тверді знання там, де не вимірювали (екстраполяція та інтерполяція). Про те, як, провівши вимірювання на маленьких моделях, фізики правильно передбачають, що буде відбуватися з величезними греблями, літаками та кораблями (теорія подібності). Про те, чому вивчивши розподіл струму в провідному папері, вони впевнено судять про розподіл нейтронів в ядерних реакторах (математичне моделювання).

А є ще такі технологічні «дрібниці» проведення експериментального дослідження як організація запису результатів вимірювань, їхнє графічне представлення, читання з графіку остаточної відповіді. Цьому теж треба вчити, і це — третя партія нашого курсу.

Розвиток комп'ютерних технологій збагатив сучасну практику експерименту новими операціями. Це і експериментальне підтвердження або спростування гіпотез (критерій χ -квадрат), і виявлення прихованих параметрів та законів (data mining), і комп'ютерний розрахунок середніх та похибок. І, звичайно, нам захотілося, щоб ця партія теж прозвучала в нашому курсі. А ще ми визнали корисним навчити наших студентів правильно трактувати та інтерпретувати отримані результати. А ще . . .

Всі ці партії та супроводи народжувалися у процесі створення нашого практикуму, як природні розширення, що випливають із внутрішньої логіки розповіді. А спочатку було всього лише дві ідеї, навколо яких ми вирішили будувати наш вступний навчальний фізичний практикум.

1. Головним об'єктом лабораторної роботи є фізичний закон, а головною метою експериментального дослідження — вимірювання параметрів фізичного закону.

2. Відповіддю експериментального дослідження є довірчий інтервал (інтервальна парадигма); правила побудови довірчого інтервалу для всіх можливих випадків фізичних залежностей є тим головним, чого ми повинні навчити наших слухачів.

Така історія створення нашого курсу. Чи вдалося нам з'єднати все, про що нам хотілося розповісти, у щось цілісне — надаємо судити читачеві. Ми ж, слідуючи за класичною формулою, говоримо: *«Feci quod potui, faciant meliora potentes»*.

ТЕМА 1. ЧОТИРИ АКсіОМИ ТЕОрії ВИМірЮВАНЬ

Заняття 1. Поняття про довірчий інтервал. Лабораторна робота №1 «Дослід Бюфона – де-Моргана»

На цьому занятті студенти знайомляться з основною ідеєю теорії вимірювань: відповіддю до лабораторної роботи є довірчий інтервал. Для ілюстрації цієї ідеї студенти спільно з викладачем проводять лабораторну роботу, мета якої — експериментально визначити ймовірність випадання «герба». Після «вимірювань» формулюються правила побудови довірчого інтервалу. Результатом роботи є довірчий інтервал для ймовірності випадання «герба».

1. Теоретична частина. Три перші неприємні аксіоми теорії вимірювань

1. В цьому світі нічого немає!
2. А якщо щось і існує, то воно є непізнаваним!
3. А якщо щось ми і зможемо пізнати, то не зможемо нічого розказати іншому!

Три теореми софіста Горгія

4. А якщо щось і зможемо розказати, то це нікому не буде цікаво!

Д. фон-дер-Флаас

Приступаючи до вивчення експериментальних методів пізнання Світу, розумно поставити запитання: «Чи можна пізнати Світ? Зокрема, пізнати його експериментально?»

Питання про можливість пізнання Світу завжди цікавило філософів. І вони висловлювали з цього приводу прямо протилежні думки: від найоптимістичніших до найбільш песимістичних. Одну з таких песимістичних думок дають нам три теореми софіста Горгія [18], які ми навели в епіграфі. Це дуже сумні та дуже дивні твердження. І, можливо, від них можна було б і відмахнутися, якби не одне «але» — людство пам'ятає їх ось вже майже дві з половиною тисячі років! Чому? Мабуть тому, що в них є щось, що відображає ті глибокі та повністю неусвідомлені зв'язки, що існують між нашими знаннями та Світом.

Математик Д. фон-дер-Флаас, розмірковуючи про систему знань сучасної математики, знайшов, що чимало в ній можна характеризувати словами Горгія. Більш того, від додав до цих тверджень ще і четверте, не менш сумне [35].

У фізиці ми стикаємося з проблемами пізнання вже на найпершому етапі її вивчення — під час виконання навчальних лабораторних робіт. Що це за проблеми і як фізики їх вирішують ми і розглянемо в нашій першій лабораторній роботі.

Постановка завдання. Нехай метою нашого дослідження є знаходження шляхом вимірювання істинного значення деякої фізичної величини x . Ми проводимо n вимірювань та отримуємо для вимірюваної величини ряд значень x_1, x_2, \dots, x_n . Як за цими результатами знайти істинне значення $x_{\text{іст}}$ вимірюваної величини?

Мета нашого курсу — знайти відповідь на це запитання. І почнемо ми наш пошук з трьох неприємних тверджень.

По-перше, чи можна стверджувати, що результат i -го вимірювання (величина x_i), співпадає з істинним значенням $x_{\text{іст}}$?

Тут всі завжди солідарні: «Звичайно, ні!». Ось ми і отримали нашу першу неприємну аксіому:

1. Жодне з вимірених значень x_i не буде дорівнювати $x_{\text{іст}}$!

Тому той, хто здаючи лабораторну роботу покаже лише один із результатів своїх вимірювань, гарної оцінки не отримає!