

УДК 378.14

ВІКТОР МАЦЮК, ІГОР ЛАШКЕВИЧ

**ФУНДАМЕНТАЛЬНІСТЬ ІМОВІРНІСНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ
І МОЖЛИВОСТІ ЇХ ВИВЧЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ
НОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

На основі виокремлення методологічних проблем сучасної фізики обґрунтовано фундаментальність статистичних закономірностей дослідження еволюції основних фізичних теорій. Розкрито можливість використання комп'ютерних технологій для дослідження і вивчення ймовірнісних процесів. Доведено необхідність використання нових інформаційних технологій під час вивчення фізики.

Ключові слова: статистичні закономірності, динамічні закономірності, нові інформаційні технології, комп'ютерне моделювання.

ВІКТОР МАЦЮК, ИГОРЬ ЛАШКЕВИЧ

**ФУНДАМЕНТАЛЬНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИЗУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НОВЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

На основе выделения методологических проблем современной физики обоснована фундаментальность статистических закономерностей исследования эволюции основных физических теорий. Раскрыта возможность использования компьютерных технологий для исследования и изучения вероятностных процессов. Доказана необходимость использования новых информационных технологий при изучении физики.

Ключевые слова: статистические закономерности, динамические закономерности, новые информационные технологии, компьютерное моделирование.

VIKTOR MATSYUK, IGOR LASHKEVYCH

**FUNDAMENTALITY OF PROBABILITY REGULARITIES AND OPPORTUNITIES
OF LEARNING THEM BY MEANS OF NEW INFORMATION TECHNOLOGIES**

On the basis of methodological problems selection in modern physics, fundamentalism of statistical regularities of investigation the evolution of the basic physical theories is grounded. The possibilities of using computer technologies in research and learning process of probabilistic processes are revealed. Necessity of usage new information technologies in learning physics is proved.

Key words: statistical regularities, dynamic regularities, new information technologies, computer modelling.

Наука розглядає два основні типи причинно-наслідкових зв'язків і відповідно два типи закономірностей — динамічні й статистичні (ймовірнісні). Якщо перші дозволяють робити абсолютно конкретні й однозначні передбачення, то другі — ймовірнісні. Тривалий період домінуючу роль у фізиці відігравали динамічні закономірності. Вважалося, що статистичні закони обумовлені неповнотою знань людини і ймовірнісний опис застосовували тоді, коли невідомі деталі явища чи процесу, коли важко або неможливо врахувати всі дані й усі взаємодії.

Метою статті є виокремлення основних методологічних проблем сучасної фізики, їх висвітлення у практиці викладання фізики, а також обґрунтування висновку про фундаменталь-

ність імовірнісних закономірностей. Особливу увагу приділено доцільності використання нових інформаційних технологій під час вивчення статистичної фізики.

Сучасна фізика ґрунтується на положенні, що не тільки динамічні, але й статистичні закони виражають об'єктивні причинно-наслідкові зв'язки. Більше того, саме статистичні закономірності є фундаментальними порівняно з динамічними закономірностями вони глибше виражають вказані зв'язки.

Сучасну концепцію можна сформулювати так: «Динамічні закони являють собою перший, нижчий етап у процесі пізнання оточуючого нас світу; статистичні закони більш досконало відображають об'єктивні зв'язки у природі: вони є наступним, більш високим етапом пізнання» [8, с. 141].

До динамічних теорій відносять класичну механіку, механіку суцільних середовищ, тобто гідродинаміку, теорію пружності, фундаментальну термодинаміку, класичну електродинаміку, спеціальну та загальну теорію відносності. У цих теоріях стан фізичного об'єкта (системи) однозначно визначається заданням точних значень тих чи інших величин. Майже всі фундаментальні динамічні теорії були створені у XVIII–XIX ст. З динамічних теорій лише теорія відносності була створена у XX ст. «Теорія гравітації Ейнштейна — це останній тріумф динамічних закономірностей» [8, с. 33].

Терміни «динамічна теорія» і «статистична теорія» з'явилися у фізиці в середині XIX ст.

Дж. Максвелл у доповіді Кембрідзькому філософському товариству у 1859 р. писав: «Я вважаю, що найбільш важливе значення для розвитку наших методів мислення молекулярні теорії мають тому, що вони змушують робити відмінності між двома видами пізнання, які ми можемо назвати динамічними і статистичними» [8, с. 36].

У 1865 р. Р. Клаузіусом було введено важливе поняття для термодинамічної системи — поняття ентропії і встановлений принцип, який характеризує напрям протікання фізичних процесів. У 1872 р. Л. Больцман відкрив зв'язок ентропії фізичної системи з імовірністю її стану та довів статистичний характер другого закону термодинаміки. Дж. Максвелл (1859–1866) і Л. Больцман (1866) встановили статистичний закон розподілу молекул газу за швидкостями (закон розподілу Максвелла — Больцмана). У результаті такого нового підходу виникла перша статистична теорія — статистична механіка, яка обґрунтувала закони термодинаміки і встановила межі її застосування [10, с. 25–26]. І згодом виявилось, що застосування цієї теорії до теплових процесів дозволяє пояснити найважливіші положення феноменологічної термодинаміки і, перш за все, друге начало термодинаміки. Але визнання статистична фізика отримала після того, як на початку XX ст. А. Ейнштейн і М. Смолуховський створили теорію броунівського руху (1905–1906). Вони дали послідовне пояснення броунівського руху на основі молекулярно-кінетичної теорії, розвинувши теорію флуктуацій. На межі XIX і XX ст. Г. Лоренц заклав основи електронної теорії речовини — мікроскопічної електродинаміки. Це означає, що статистичні методи почали поширюватися на електричні й магнітні явища. Вирішальним аргументом на користь фундаментальності статистичних закономірностей була квантова механіка, виникнення і становлення якої припало на першу третину XX ст. Саме в цей час виникла сучасна концепція, яка закріпила примат статистичних закономірностей.

Таким чином, на сьогоднішній час можна дійти висновку, що ймовірнісні закономірності є більш глибокими, більш фундаментальними, і при вивченні фізики їм слід приділити особливу увагу [5; 7].

Широкі можливості для вивчення статистичних закономірностей відкриває впровадження в навчальний процес нових інформаційних технологій.

При дослідженні складних систем і їх підсистем виникають задачі, які вимагають оцінки кількісних і якісних закономірностей процесів функціонування таких систем, проведення структурного алгоритмічного і параметричного їх синтезу [11]. Ресурси сучасної інформаційно-обчислювальної техніки дають можливість ставити і розв'язувати задачі такої складності, які в недалекому минулому здавалися непосильними. Чимало задач статистичної фізики [2; 6] може бути розв'язано з використанням звичайних диференціальних рівнянь [4], а їх аналіз проведено за допомогою системи комп'ютерної алгебри MATLAB [1] або MAPLE [3].

Одним із засобів інтенсифікації процесу вивчення ймовірнісних закономірностей є створення комп'ютерних моделей і їх дослідження за тими ж принципами, що їх використовують у

традиційних лабораторних роботах. При цьому роль експериментальних методів відіграють методи комп'ютерного моделювання — метод Монте — Карло та метод молекулярної динаміки, а досліджувана система є схематичною комп'ютерною моделлю, параметри якої можна змінювати. Використання комп'ютерного моделювання дає можливість візуалізації фізичних процесів, які неможливо виконати і продемонструвати у навчальній лабораторії. З використанням методів комп'ютерного моделювання можна отримати можливість вивчати складні системи, які не досліджуються аналітично.

Так, у результаті комп'ютерного експерименту над моделлю ідеального газу отримана залежність тиску від температури (рис. 1).

У системі навчального фізичного експерименту виділяють віртуальну та мікрокомп'ютерну фізичну лабораторію. Під віртуальною розуміють лабораторну роботу, яка дає можливість за допомогою моделей певних фізичних явищ дослідити умови та процес протікання цих явищ, встановити зв'язок між певними фізичними величинами, проаналізувати отримані результати та зробити відповідні висновки. Особливої уваги при дослідженні статистичних закономірностей заслуговує проведення лабораторної роботи з використанням мікрокомп'ютерної лабораторії. Це проведення реального дослідження фізичних явищ і процесів з використанням різних видів датчиків (напруги, тиску, температури тощо), від яких сигнал надходить до комп'ютера та обробляється відповідною комп'ютерною програмою. Виконання лабораторної роботи у такий спосіб дає можливість проводити реальний фізичний експеримент одночасно з відображенням його результатів на екрані монітора, спостерігаючи зв'язок між конкретними фізичними величинами та їх графічним відображенням.

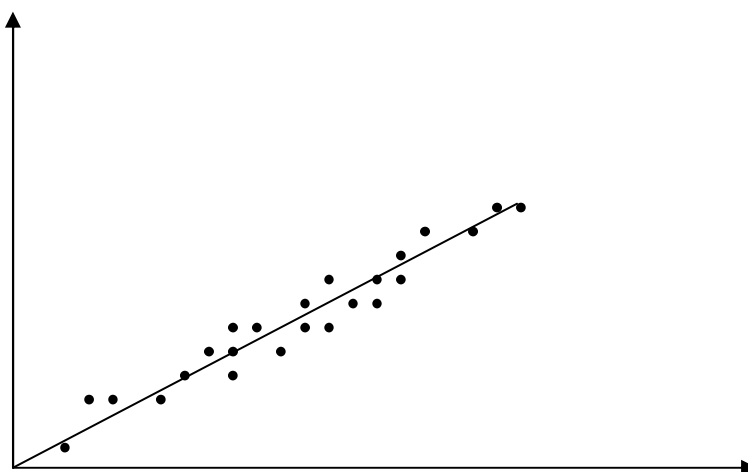


Рис. 1. Залежність тиску від температури

Одним з розробників комп'ютерних програм для мікрокомп'ютерної лабораторії є фірма Philip Harris — <http://www.philipharris.co.uk>.

Розглядаючи макроскопічну систему, яка складається зі значної кількості частинок (такою системою може бути ідеальний газ, який містить N молекул, або система з N спінів, або рідина, або кусок заліза), ми не можемо передбачити поведінку кожної частинки, яка утворює систему. У точному квантовомеханічному описі системи нестатистичні передбачення неможливі. При класичному описі точні передбачення про систему вимагають знань положення і швидкості частинок в певний момент часу. Така інформація нам недоступна.

Розв'язати таку проблему можна за допомогою комп'ютерної моделі [9], демонструючи ймовірну поведінку системи, виходячи з початкової умови, що всі частинки містяться у лівій половині посудини, і загальна їх кількість становить 40 (рис. 2).

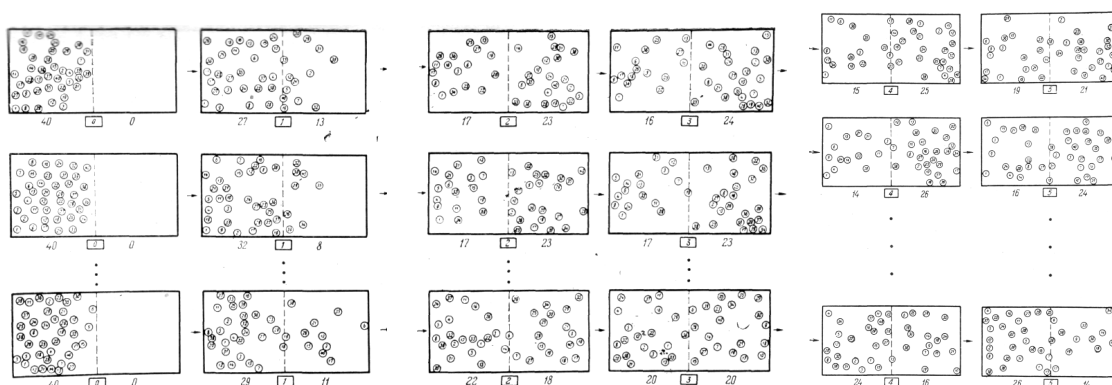


Рис. 2. Модель макроскопічної системи

На певному етапі розподіл частинок, а отже, і стан системи, не залежить від часу. Такий простий, на перший погляд, підхід дає можливість продемонструвати і наочно спостерігати складні статистичні закономірності, що дозволяє встановити основні співвідношення між імовірностями.

За допомогою комп'ютера можна розробити математичні ігри «цикл Карно», «флуктуації», «ентропія», «двигун Стірлінга» тощо, назви яких говорять самі за себе. Реалізація таких програм дає можливість вивчати фізику на новому якісному рівні, який відкриває широкі перспективи дослідження кількісних функціональних закономірностей.

Для прикладу наведемо програму для вивчення ентропії, написану на мові Бейсік [12], яку можна вдосконалювати і реалізовувати на інших мовах програмування. За допомогою цієї програми розраховують ентропію системи, що складається зі 100 атомів (система 1), навколишньої її системи з 1500 атомів (система 2), і їх суму (ентропія всесвіту Марк 1). Вибирають початкову кількість збуджених атомів (яка не перебільшує 100), при чому всі вони перебувають у системі 1. Далі ентропію обчислюють у ході того, як атоми системи 1 втрачають енергію, переходячи в незбуджений стан; одночасно з цим атоми в системі 2 збуджуються, поки всі 100 збуджені атоми не опиняться в системі 2. Таке дослідження є точним: больцманівську ймовірність W обчислюють комбінаторним способом, після чого ентропію S для кожної системи визначають за формулою $S = k \ln W$ (при $k = 1$). Результати обчислення можна виводити на дисплей. Максимум на графіку відзначають вертикальною рисою; він відповідає умові теплової рівноваги всесвіту (коли температури обох систем співпадають).

```

100 CLEAR: HOME
110 INPUT "Повна кількість збуджених атомів (від 1 до 100): "; N
120 INPUT "Друкувати (0) чи будувати графік (1) ? "; Z
130 IF Z = 0 THEN 170
140 INPUT "Масштабний множник по шкалі ентропії: "; M1
150 INPUT "Масштабний множник для числа атомів: "; M2
160 HGR: HCOLOR = 3: HPLLOT 0,0 TO 0,159 TO 279,159
170 FOR N2 = 0 TO N: REM Збуджені атоми поодинці виходять із системи
180 N1 = N - N2
190 IF N1 = 0 THEN 230: REM Випадок N1=0 вимагає окремого розгляду
200 FOR I = 0 TO N1 - 1: REM Обчислити ентропію системи 1
210 S1 = LOG ((100 - I)/(N1 - I)) + S1
220 NEXT I: GOTO 240
230 S1 = 0
240 IF N2 = 0 THEN 280: REM Випадок N2=0 вимагає окремого розгляду
250 FOR I = 0 TO N2 - 1: REM Обчислити ентропію системи 2
260 S2 = LOG ((1500 - I)/(N2 - I)) + S2
270 NEXT I: GOTO 290
280 S2 = 0
290 S = S1 + S2: IF Z = 0 THEN 480: REM При необх.перейти до команди PRINT
300 Y1 = 159 - M1 * S1: Y2 = 159 - M1 * S2: Y = 159 - M1 * S: X = M2 * N2
310 IF Y1 < 0 THEN 340: REM Тести на можливість графічного зображення
    
```

```

320 IF Y1 > 159 THEN 340
330 HCOLOR = 1: HPLOT X,Y1    REM Зелений колір для системи 1
340 IF Y2 < 0 THEN 370:      REM Тести на можливість графічного зображення
350 IF Y2 > 159 THEN 370
360 HCOLOR = 5: HPLOT X,Y2    REM Оранжевий колір для системи 2
370 IF Y < 0 THEN 400:      REM Тести на можливість графічного зображення
380 IF Y > 159 THEN 400
390 HCOLOR = 6: HPLOT X,Y:    REM Синій колір для всесвіту
400 IF S < U THEN 420:      REM Це процедура для знах. максимуму
410 U = S: GOTO 470
420 V = M2 * (N2 - 1)
430 IF V < 0 THEN 450
440 IF G = 1 THEN 460
450 HPLOT V,159 TO V,159 - U * M1: G = 1
460 U = S
470 GOTO 490
480 PRINT INT(S1), INT(S2), INT(S):  REM Процедура виводу на друк
490 S1 = 0: S2 = 0: NEXT N2
500 PRINT: PRINT
510 PRINT "Цей набір значень відповідає N= ";N
520 END

```

Як бачимо, фундаментальні статистичні закономірності можна вивчати на більш сучасному рівні, розробивши відповідну методику з використанням нових інформаційних технологій.

Висновки. Таким чином, у процесі дослідження обґрунтовано фундаментальність імовірнісних закономірностей у сучасній фізиці і показано, що у сучасній картині світу випадковість стала принципово новим атрибутом. Вона виступає у діалектичному зв'язку з необхідністю (динамічними закономірностями), що й визначає фундаментальність статистичних закономірностей.

Перспективи подальших досліджень. Дане дослідження відкриває можливості більш глибокого вивчення співвідношення методологічних питань сучасної фізики з питаннями діалектики. Особливо перспективним є використання новітніх програмних засобів для обробки статистичної інформації і її графічного моделювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ануфриев И. Е. MATLAB7 / Ануфриев И. Е., Смирнов А. Б., Смирнова Е. Н. — СПб.: БХВ — Петербург, 2005. — 1104 с.
2. Венгер Є. Ф. Основи статистичної фізики і термодинаміки: навч. посібник для студ. фіз.-мат. сек. вищ. пед. навч. закладів / Венгер Є. Ф. — К.: Вища школа, 2004. — 255 с.
3. Дьяконов В. П. Maple 9.5/10 в математике, физике и образовании / Дьяконов В. П. — М.: Солон-Пресс, 2006. — 720 с.
4. Егоров А. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения с приложениями / Егоров А. И. — 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2005. — 384 с.
5. Исихора Н. Статистическая физика / Исихора Н. — М.: Мир, 1971. — 300 с.
6. Кьерзон Хуанч. Статистическая физика / Кьерзон Хуанч — М.: Мир, 1963. — 350 с.
7. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. И. Статистическая физика / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. И. — М.: Наука, 1964. — 347 с.
8. Мякишев Г. Я. Динамические и статистические закономерности в физике / Мякишев Г. Я. — М.: Наука, 1973. — 459 с.
9. Рейф Ф. Статистическая физика: Учеб. руковод. / Рейф Ф.; пер с англ. (Берклевский курс физики) — М.: Наука, 1986. — 336 с.
10. Храмов Ю. А. Биография физики: Хронол. справочник / Храмов Ю. А. / отв. ред. А. Г. Ситенко. — К.: Техніка, 1983. — 344 с.
11. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем. Искусство и наука / Шеннон Р. — М.: Мир, 1978. — 418 с.
12. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе / Эткинс П.; пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 224 с.