

териалы X сессии Международной школы социологии науки и техники / Под ред. С.А.Кугеля. — СПб., 1998. — С.45—50.

8. Бляхман Л.С. Экономика научно-технического прогресса. — М.: Высш.шк., 1979. — 272 с.

9. Трансформация академических институтов: документальный анализ и социологические оценки // Развитие науки и научно-технического потенциала в Украине и за рубежом.: Сб. аналит. материалов (приложение к научному журналу «Наука и науковедение»). — 1996. — № 2. — С. 4—120.

10. Мирская Елена. Российские академические ученые в зеркале социологии науки. — Отечественные записки. — 2002. — № 7. — С.350—358.

11. Арапов Михаил. Наука и информация // Там же. — С.167—180.

12. Белановский Сергей. Оценка состояния РАН (<http://www.polit.ru/dossier/2005/12/15/ran/html>).

13. Функціонування і перспективи розвитку Національної академії наук України: Короткий звіт про результати соціологічного опитування вчених. — К.: ЦДПІН НАН України, 2005.

14. *Frascati Manual 1993* — Proposed Standard Practice for Surveys of Research and Experimental Development. — Paris: OECD, 1994.

15. *Recommendation Concerning the International Standardization of Statistics on Science and Technology*. — Paris: UNESCO, 1978. (Цит. по [14; 15]).

*А.С. Литвинко,*

*ст. наук. співроб., канд. фіз.-мат. наук*

## **Передісторія статистичної фізики в Україні**

Статистична фізика є одним з фундаментальних розділів теоретичної фізики. У цьому розділі вивчаються специфічні закономірності макроскопічних систем, що складаються з дуже великого, практично незліченного числа однакових частинок (атомів, молекул, електронів, фотонів, квазічастинок), виходячи з властивостей цих частинок та взаємодії між ними. Такими системами, зокрема, є макроскопічні тіла, гази, кристали. Саме велика кількість частинок приводить до появи нових закономірностей поведінки цих систем — статистичних законів, яким притаманний ймовірнісний характер і які в принципі не можуть бути зведені до динамічних законів.

Головна задача статистичної фізики полягає у визначенні макрохарактеристик системи через властивості мікрочастинок та закономірності взаємодій між ними. Тому вона є мікроскопічною теорією, яка встановлює зв'язок між термодинамічними характеристиками фізичних тіл, що спостерігаються, та законами руху атомів і молекул. Інакше кажучи, дана теорія дає метод дослідження співвідношень між мікроскопічним та макроскопічним рівнями опису дійсності.

Діапазон явищ, які охоплює статистична фізика, надзвичайно широкий. Її методи застосовуються в молекулярній фізиці, фізиці твердого тіла, ядерній фізиці, радіофізиці, астрофізиці, оптиці, біофізиці, техніці. Вона описує такі фізичні об'єкти і явища, як агрегатні стани, фазові переходи, плазма, електропровідність, теплоємність тіл, флуктуації, поведінка електронів у металах, електролітів, макромолекул, важких ядер. В останні роки коло застосувань статистичної фізики продовжує розширюватись. Зокрема, синергетичний підхід, який лежить в основі побудови нової наукової картини світу, є далекоюсяжним узагальненням даної галузі.

До побудови статистичної механіки фізична картина світу, в основі якої лежала класична механіка, ґрунтувалася на понятті причинності, відповідно до якого можна, використовуючи формалізм диференціальних рівнянь, однозначно обчислити стан ізольованої системи в будь-який момент часу, якщо відомі початкові умови (лапласівський детермінізм).

У статистичній фізиці поняття причинності одержало інше тлумачення, бо явища природи розглядаються в ній як

масовий процес — сукупність безлічі елементарних явищ. Крім того, статистична фізика запровадила у фізику розуміння того, що необоротні процеси грають фундаментальну і конструктивну роль у фізичному світі.

З часом виявилось, що ймовірнісна концепція, яка лежить в основі статистичної механіки, є фундаментальною і притаманна самій природі речей. Це стало зрозумілим після створення квантової механіки, закони якої передбачають принципову статистичність у поведінці мікрооб'єктів.

Статистична фізика завдячує своїм виникненням в середині XIX ст. перш за все прагненню вчених пояснити на механічній основі закони термодинаміки (насамперед другий закон). У процесі еволюції статистичної фізики можна виділити три періоди:

1. Розвиток на основі атомістичної ідеї молекулярно-кінетичної теорії та її синтез з феноменологічною термодинамікою (Р.Клаузіус, Дж.Максвелл, Л.Больцман, середина XIX ст. — початок XX ст.).

2. Створення загальної статистичної механіки як фізичної теорії, метою якої є пояснити на основі уявлень про молекулярну будову і механізм взаємодії частинок системи значення фізичних величин, що спостерігаються у досліді в стані термодинамічної рівноваги (Дж. Гіббс, 1902). Значний внесок у цей період зробив своїми працями також А.Ейнштейн.

3. Виникнення квантової статистичної фізики. Цей період тісно пов'язаний з проникненням у термодинаміку і статистичну механіку квантової гіпотези М.Планка 1900 р., а також зі створенням у 1924—1925 рр. квантових статистик Ш.Бозе та А.Ейнштейном, а також Е.Фермі та П.Діраком.

Базою формування статистичної фізики виступає молекулярно-кінетична теорія, в основі якої лежить ідея дискретності матерії, або атомізму. Ця ідея, яка проходить через усю історію розвитку

природничих наук, є одним з найдавніших уявлень, витоки якого сягають античності. Видатний фізик-теоретик Р.Фейнман вважав атомістичну ідею настільки змістовною, що бажав би саме її зберегти у випадку гіпотетичної втрати всіх накоплених людством знань.

Згадки про припущення відносно перерваної будови матерії ми знаходимо у працях античних авторів Левкіппа, Демокріта, Лукреція Кара. У XVII—XVIII ст., коли центральне місце в природознавстві зайняла механіка, атомізм набув механістичного характеру. Мікροчастинки розглядались як кулі, які рухаються по точних орбітах.

Нове розуміння атомістичної ідеї як наукової гіпотези склалося у період з XVII — початку XIX ст. завдяки роботам П.Гассенді, Р.Декарта, Р.Бойля, Р.Гука, І.Ньютона, Д.Локка, Ф.Бекона, Х.Гюйгенса, І.Бернуллі, Д.Бернуллі, Л.Ейлера, М.Ломоносова, Р.Бошковица, Дж.Дальтона, А.Авогадро, в працях яких було сформовано молекулярно-кінетичну теорію.

Передісторія статистичної фізики в Україні охоплюється хронологічними межами XVII ст. — 30-х років XX ст. Питання тлумачення будови матерії вивчалось в Україні вже в XVII—XVIII ст., перш за все науковцями Києво-Могилянської академії. Вони розглядали матерію як основу природних речей і головний об'єкт фізики [1]. Так, І.Гізель, Ф.Прокопович, М.Козачинський, Г.Кониський та Г.Щербацький сформулювали погляд про єдність і однорідність як земної, так і небесної матерії. Ф.Прокопович, крім того, надавав їй властивості протяжності: ширини, довжини, глибини, висоти, запропонував принцип кількісного і якісного збереження матерії. Таке розуміння матерії створило передумови для виникнення на теренах України механіко-матеріалістичних концепцій, відповідно до яких матерія сприймалась як сукупність незмінних первинних елементів Всесвіту. Найближче підійшов до такого

розуміння матерії Г.Щербацький, котрий вважав, що вона є субстанцією, яка може являти собою атоми Демокріта.

На початку XIX ст. ідеї атомної будови матерії підтримував в Україні ряд вчених. Так, погляд на речовину як на сукупність частинок, що діють одна на одну із силами тяжіння та відштовхування, пропагував вчений-природознавець і філософ-матеріаліст Т.Ф.Осиповський, який працював у Харківському університеті з моменту його заснування. Прихильником реальності атомів, кінетичної теорії теплоти та противником теорії теплоруду був завідувач кафедри фізики цього університету з 1839 р. В.І.Лапшин. Із середини XIX ст. для вивчення курсу математичної фізики тут були рекомендовані монографії Клаузіуса та Максвелла. У Київському університеті курс механічної теорії теплоти читав М.І.Тализін.

Протягом XIX ст. та до початку 30-х років XX ст. в Україні був виконаний ряд робіт, що сприяли як експериментальному дослідженню того кола явищ, які в подальшому склали феноменологічну базу формування статистичної фізики, так і теоретичному осмисленню та подальшій розробці нових ймовірносних ідей. Це перш за все роботи в галузі критичного стану речовини М.Авенаріуса та його учнів, роботи в галузі термодинаміки та дифузії водних розчинів М.Умова, роботи щодо термодинамічного потенціалу М.Пильчикова та О.Грузинцева, теоретичні роботи М.Смолуховського з броунівського руху та праці з обґрунтування другого начала термодинаміки М.Шіллера, М.Пирогова та Т.Афанасьєвої-Еренфест.

Значний внесок у молекулярну фізику і вивчення критичного стану речовини належить професору Київського університету, засновнику першої в Україні науково-дослідної лабораторії експериментальної фізики М.Авенаріусу. Він перший вказав, що у критичній точці прихована теплота випаровування дорівнює нулю, запропонував новий метод визначення критичної температури

для ряду рідин. О.Г.Столетов так писав про Авенаріуса: «У літописах російської фізики М.П.Авенаріусу належить почесне місце і як досліднику, і як вчителю. Ім'я його не повинно бути забутим і в науці світовій» [2, с.432]. Авенаріус був також ініціатором створення при університеті Товариства дослідників природи.

Протягом 1875—1889 рр. він зі своїми учнями В.Зайончевським, О.Страусом, К.Жуком та О.Надеждіним виконав цикл досліджень критичних значень для багатьох речовин, які ввійшли в основний фонд фізичних величин і надовго залишилися незмінними [3]. М.Авенаріус також встановив формулу теплового розширення рідин, яка точно визначала зміну їх об'єму залежно від зміни температури на всьому проміжку температур аж до критичної [4].

Учень Авенаріуса В.Зайончевський опублікував у 1878 р. працю «Визначення пружності насиченої пари деяких рідин при високих температурах». Він виміряв пружності насиченої пари до критичної температури і знайшов критичні температури і тиски сірчаного ефіру, сірчистого ангідриду, сірчистого вуглецю, бензолу, ацетону, хлористого етілу, чотирихлористого вуглецю та інших речовин.

Особливий інтерес становило тоді визначення критичних величин для води. На основі спостережень за критичними температурами двох рідин О.Страус встановив емпіричну формулу для визначення критичної температури суміші за критичними температурами її компонент. Користуючись нею, він розробив (1882 р.) метод експериментального визначення критичної температури води, за яким ця температура становила  $370^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$  (сучасне значення  $374,15^{\circ}\text{C}$ ). Він же знайшов критичний тиск для води (195,5 атм), недоступний ще тоді безпосередньому визначенню (сучасне значення 225,65 атм).

Вперше пряме визначення критичної температури води виконав 7 березня

1885 р. Олександр Іванович Надеждин за допомогою винайденого ним прилада — диференціального денсиметра [5].

Активна наукова діяльність з фізики в Новоросійському (Одеському) університеті пов'язана з іменами М.О.Умова, М.Д.Пильчикова та Ф.Н.Шведова. У 1871 р. доцентом кафедри фізики Новоросійського університету було обрано Миколу Олексійовича Умова (1846—1915). У працях 1873—1874 рр., особливо в докторській дисертації «Рівняння руху енергії в тілах», Умов запровадив поняття про густину енергії та швидкість її руху, про потік енергії, подав диференціальні рівняння руху енергії в пружному твердому тілі й рідині, сформулював теорему, що пов'язує потік механічної енергії через площадку, тиск, якого вона зазнає, і швидкість її руху (теорема Умова). Він перший застосував закон збереження енергії до вивчення хвильових процесів, показавши, що поширення хвиль пов'язано з переносом енергії, і подав його формулювання.

Теоретичні дослідження Умова, виконані в університеті, стосувалися також теорії коливальних, термодинаміки, термопружності. Зокрема, він запровадив поняття теплових напруг, виконав експериментальні дослідження дифузії водневих розчинів та явищ поляризації світла в каламутних середовищах тощо [6].

З 1868 р. в Новоросійському університеті працював Федір Никифорович Шведов (1840—1905). З 1870 р. — професор, в 1895—1903 рр. — його ректор. У 1870 р. Ф.Н.Шведову присуджено ступінь доктора фізики після захисту дисертації «Про закони перетворення електрики в теплоту». Його наукові праці стосувалися молекулярної фізики, електрики, астрофізики. Шведов перший спостерігав (1889 р.) пружність форми й аномалію в'язкості колоїдних розчинів, вивчив процес релаксації напруг в колоїдах, вивів рівняння в'язкопластичної теорії дисперсних систем. Він є засновником нового наукового напрямку — реології дисперсних систем [7].

Експериментальні дослідження проводились також у Харківському університеті. У 1880—1894 рр. на кафедрі фізики працював відомий вітчизняний фізик Микола Дмитрович Пильчиков. Зокрема, його монографія »Матеріали щодо питання про застосування термодинамічного потенціалу до виведення електрохімічної динаміки» 1896 р. започаткувала вітчизняні дослідження термодинаміки процесів в електролітах [8].

У 1881—1919 рр. в Харківському університеті працював також О.П.Грузинцев. У праці «Застосування термодинаміки до хімічних реакцій з твердими фазами» ним було розроблено теорію хімічних реакцій, що базується на методі термодинамічного потенціалу, причому при розрахунках внутрішньої енергії він використовував квантову теорію твердого тіла, яка саме тоді створювалась Дебаєм, Борном і Карманом [9].

Розглянуті експериментальні роботи сприяли формулюванню на їх базі теоретичних узагальнень. Так, справжню теоретичну діяльність з фізики розпочав у найстарішому університеті на території України — Львівському — відомий польський фізик Маріан Смолуховський (1872—1917), який працював тут протягом 1898—1913 рр. Саме у цей час він виконав свої основоположні класичні праці зі статистичної фізики .

«Коло наукових інтересів Смолуховського охоплювало молекулярну теорію теплоти. Особливо його цікавили ті наслідки з молекулярної кінетики, які не можна було зрозуміти з точки зору класичної термодинаміки; він відчував, що тільки вивчивши ці явища, можна буде подолати сильний опір, який чинили молекулярній теорії вчені кінця XIX століття», — писав А.Ейнштейн [10, т.4.с.36]. Його дослідження з броунівського руху та з питань межі застосування другого закону термодинаміки обґрунтовували й розвивали ідеї Л.Больцмана. Виходячи з кінетичного закону розподілу енергії, Смолуховський створив у 1905—1906 рр. (незалежно від

А. Ейнштейна) теорію броунівського руху, яка довела справедливості кінетичної теорії теплоти та її висновків і сприяла її остаточному утвердженню.

Він встановив закони флуктуації рівноважних станів у молекулярних системах, які використав для обґрунтування обмеженості трактування Р.Клаузіусом другого начала термодинаміки. Його теорія дала можливість визначити час, через який настає новий аномальний стан системи, а отже, завдала серйозного удару гіпотезі «теплової смерті» Всесвіту. У 1908 р. на основі теорії флуктуації Смолуховський побудував теорію критичної опалесценції, у 1916 р. — теорію коагуляції розчинів. Смолуховський пояснив блакитний колір неба та червоний колір сходу Сонця. Ще в 1898 р. він теоретично обґрунтував явище температурного стрибка на межі «газ — тверде тіло», відкрите експериментально в 70-х роках XIX ст., що було досить сильним аргументом на користь молекулярної кінетики [11].

Слід зазначити, що великий вплив на усвідомлення статистичного характеру законів природи мала дискусія, яка виникла серед фізиків після формулювання другого закону термодинаміки.

Якщо перший закон термодинаміки після визнання закону збереження енергії не викликав заперечень, успішно застосовувався в суміжних з фізикою галузях — в хімії і біології — і цілком відповідав прийнятим загальним поглядам на природу, то сприйняття другого закону термодинаміки було іншим. Особливо багато заперечень виникало у зв'язку з поширенням другого закону на необоротні процеси. Адже новий закон затверджував досі невідому однібічність протікання всіх реальних процесів. Заперечення стосувалися насамперед того, що поняття ентропії формулювалося лише як безпосереднє узагальнення досвіду, а також не відокремлювалися два різних положення — принцип існування ентропії і принцип її зростання.

Пошуки чітких формулювань закладеної в другому законі термодинаміки ідеї необоротності та спроби усвідомити місце нового закону в системі фізичних законів мали принциповий вплив на подальший розвиток фізики в другій половині XIX ст. Численні спроби повному представити другий закон та гостра дискусія з цього приводу (Пирогов, Шіллер, Каратеодори, Цермело, Пуанкаре, Оствальд, Мах) вказували на внутрішню незадоволеність його логічною побудовою.

Альтернативним виявився шлях аксіоматичної побудови термодинаміки, розвинутий перш за все у працях М.Шіллера, К.Каратеодори і Т.Афанасьєвої-Еренфест. Першим фізиком, хто систематично розробляв даний підхід і довів існування ентропії на загальній основі, незалежно від еквівалентності теплоти і роботи, став М.Шіллер, який керував кафедрою фізики Київського університету після Авенаріуса протягом 1890—1903 рр. Його наукові дослідження стосувалися теоретичної механіки, термодинаміки, математичної фізики, електродинаміки, оптики, молекулярної фізики та інших галузей. Вивчаючи пружність насичених газів, М.Шіллер теоретично довів, що кривизна поверхні рідини відіграє роль додаткової сили і пружність насиченої рідини змінюється в той чи інший бік залежно від характеру дії, додатково прикладеної до поверхні рідини, над якою досліджується пружність насиченої пари (закон Томсона — Шіллера). Він не тільки розвинув теорію цього питання, а й підтвердив її. Шіллер одним із перших вітчизняних фізиків застосовував (1879 р.) закон термодинаміки до вивчення стану пружного тіла [12].

Поряд з оригінальними дослідженнями окремих наукових проблем Шіллер присвятив чимало праць аналізу основних понять і законів фізики, здебільшого термодинаміки. Він детально проаналізував основні термодинамічні питання і закони — температури, кіль-



кості теплоти, термічної рівноваги, перший і другий закони термодинаміки. Доповнивши й уточнивши поняття адіабатичного процесу, М.М.Шіллер показав, що диференціальне рівняння другого начала термодинаміки повинно мати інтегруючий дільник, який є універсальною функцією температури (другий закон за Шіллером).

У 1898 р. він запропонував нове формулювання другого закону, що приводить до тих же наслідків, що і класичні формулювання. Зводячи основний зміст даного закону до твердження про існування інтегруючого дільника для  $dQ$ , Шіллер дає таке його формулювання: «Для даного тіла не можна підібрати такого адіабатного кругового процесу зміни параметрів, незалежних від температури, за допомогою якого досягалось б безперервне підвищення або зниження температури тіла. Або ще інакше: при всякій оборотній адіабатній зміні тіла, яка характеризується за допомогою  $n$  незалежних один від одного параметрів, будь-який з вищезгаданих параметрів повертається до свого початкового значення, коли інші  $n-1$  параметрів повертаються до своїх» [13, с.8].

Ім'я іншої нашої співвітчизниці, що народилася в Києві, Тетяни Олексіївни Афанасьєвої-Еренфест, талановитого математика і фізика, на жаль, мало відоме науковій громадськості. Її праці, присвячені обґрунтуванню статистичної механіки, зокрема ролі поняття ентропії та ймовірності у фізичних процесах, почали публікуватися з 1906 р.

Тетяна Олексіївна поставила мету знайти логічне обґрунтування другого закону термодинаміки, поняття ентропії і принципу її існування. Саму можливість застосування методу статистичних ансамблів до реальних механічних систем строго довели П. і Т.Еренфести в 1911 р. у статті в «Математичній енциклопедії» [14]. Розробляючи ідеї Л.Больцмана, вони показали, що зміна функції  $H$ , яка залежить від процесу, підпорядковується виключно законам

теорії ймовірності, застосування яких у статистичному обґрунтуванні поняття ентропії не суперечить принципу детермінізму. Тетяна Олексіївна у праці «До питання про кінетичне тлумачення необоротних процесів» також показала, що несумісність властивостей квазіперіодичності та переважного спадання  $H$ -функції лише уявна. Т.Афанасьєва-Еренфест пояснила це тим, що обидві властивості є логічними наслідками з тих самих основ теорії ймовірності, а також побудувала функцію, що явно їх поєднує [15]. Тим самим нею було зроблено принциповий крок в узгодженні принципів, що лежать в основі кінетичної теорії газу, — припущення детермінізму всередині газу, з одного боку, і застосування формул теорії ймовірності, з іншого.

Т.Афанасьєва-Еренфест вводить поняття гіпотез першого і другого порядку і показує, що саме остання лежить в основі теорії газу в рівновазі, теорії стаціонарних процесів,  $H$ -теореми Больцмана. Тобто саме явище визначає і порядок гіпотези, і припустиму похибку. Незмінно застосовуючи гіпотезу одного порядку, ми тим самим припускаємо свого роду закономірність з боку досліджуваного явища, тобто застосування теорії в статистичному обґрунтуванні поняття ентропії ймовірності ніяк не суперечить принципів детермінізму. Розуміння цього факту сприяло формуванню у фізиці розуміння про новий клас закономірностей — статистичних, що охоплюють більш широке коло явищ та включають, на відміну від динамічних закономірностей, об'єктивну випадковість у саме своє формулювання.

Найбільш суттєвим результатом, отриманим Т.А.Афанасьєвою-Еренфест у 1925—1928 рр., став висновок, що другий закон термодинаміки можна обґрунтувати лише за допомогою аксіом, які перевіряються експериментально. Вона розділяє другий закон і формулює 4 аксіоми, що приводять її до його чотирьох еквівалентних формулювань для квазістатич-

них процесів. Ключовим моментом цих робіт стало доведення необхідності розрізнення принципу існування і принципу зростання ентропії, об'єднання яких відбулося історично. Крім того, Т.Афанасьєва-Еренфест вводить поняття елементарної необоротності (необоротності реальних, нестатичних процесів) і необоротності другого роду. Елементарна необоротність не збігається з поняттям нестатичності. Вона виводиться з двох аксіом: однієї, що забороняє оборотність нестатичного процесу, та іншої, що визначає його напрямок. Необоротність другого роду виводиться з властивостей квазістатичного процесу і відповідних аксіом. Від неї залежить існування ентропії. Зростання ж ентропії залежить від елементарної необоротності, що визначає односторонність реальних процесів [16].

Роботи з аксіоматичної побудови статистичної механіки Т.О.Афанасьєвої-Еренфест разом з роботами М.Шіллера, К.Каратеодори та інших створили базу для наступного кроку в узагальненні поняття необоротності, коли постала задача застосування поняття рівноваги до Всесвіту в цілому, і створення термодинаміки необоротних процесів як загальної теорії реальних процесів у природі.

Як вже відзначалося, спочатку роботи Л.Больцмана зі статистичного обґрунтування законів термодинаміки не привернули до себе уваги вчених. За життя Л.Больцмана лише один фізик уважно стежив за його роботами та усвідомлював глибину нових ідей. Це — наш співвітчизник М.Пирогов, син засновника сучасної хірургії Миколи Івановича Пирогова. Прогностичну цінність робіт М.Пирогова відзначав і сам Л.Больцман.

М.Пирогов підкреслював необхідність визнання поряд з динамічними законами існування об'єктивних статистичних законів [17—20]. Так, в одній зі своїх праць він писав: «Ще в 1860 році з'явився знаменний мемуар Clerk — Maxwella: Illus-

rations of the Dynamical Theory of Gases — мемуар, якому, очевидно, призначено стати однією з вихідних точок нової ери природознавства. Якщо період до шістдесятих років нинішнього століття справедливо може бути названий Newton'івською ерою, ерою вивчення закономірного, то із шістдесятих років виявляється з особливою силою майже у всіх галузях природознавства новий напрямок: вивчення закономірності випадкового» [20, с.198].

М.Пирогов обговорював ергодичну проблему, першим вірно вказав, що для суттєвого вдосконалення теорії реальних газів Ван-дер-Ваальса необхідно розглядати, крім парних взаємодій, ще взаємодію груп молекул, так званих агрегацій. Використовуючи цю модель, Пирогов дав якісний нарис теорії критичних явищ та загальної теорії двофазного стану газ — рідина.

У питанні про помилковість гіпотези теплової смерті Всесвіту він висловлювався навіть більш докладно, ніж Больцман. Заперечуючи Томсону і Клаузіусу, Пирогов писав: «Я думаю, що при сучасному стані наших відомостей з однаковим успіхом можна захищати два зовсім протилежних положення: 1) перемішуваність світу постійно зростає, тому що стан світу нестійкий, і 2) перемішуваність світу постійна, оскільки стан світу стаціонарний, і ті вражаючі нас зміни, що відбуваються у світі, суть не більш як немінучі коливання біля типового стаціонарного стану» [18, с.175].

Найбільш цікаві його результати відносяться до питання про статистичне обґрунтування другого закону термодинаміки і теорії реальних газів. Узагальнюючими дослідженнями М.М.Пирогова в цьому напрямку є праці 1890 р. «Про закон Boltzmann'a» і «Основи термодинаміки». Підхід до статистичного обґрунтування другого закону термодинаміки у М.М.Пирогова був іншим, ніж у Больцмана. В останнього значну роль грали модельні уявлення про будову газів і механізм зіткнень між молекула-

ми. Пирогов відразу ставить питання в загальному вигляді. Перш за все він розробляє спеціальний математичний апарат, що відноситься до теорії імовірності, який потім застосовує. Цей апарат містить ідеї майбутньої теорії випадкових процесів, яка почала розвиватися пізніше, вже в ХХ сторіччі

Щоб застосувати розроблений математичний апарат для статистичного обґрунтування другого закону термодинаміки, Пирогов розглядає макроскопічне тіло як систему з величезного числа  $N$  матеріальних точок. Стан кожної з них визначається шістьма величинами: координатами і компонентами швидкостей. Таким чином, загальний стан усієї системи може бути представлений як шестивимірна послідовність. Внаслідок величезного числа  $N$  ця послідовність може розглядатися як «суцільна». Аналізуючи передумови, що лежать в основі виведення розподілу швидкостей Максвеллом, Пирогов дійшов наступного висновку: закон розподілу Максвелла справедливий тільки для безмежного простору. На думку Пирогова, вплив зовнішнього середовища, наприклад стінок, що обмежують об'єм газу, не сприяє встановленню максвеллівського хаосу. Необхідно знайти особливий механізм взаємодії між стінкою і газом для того, щоб вважати, що в газі діє розподіл Максвелла. У сучасній статистичній фізиці припускають наявність флуктуаційних рухів у стінці, які й підтримують максвеллівський хаос у посудині. Однак цей шлях обходу труднощів, на які вказав М.М.Пирогов, не єдиний. Вирівнюючу дію зовнішнього середовища, що вносить у хаос деякий порядок, не треба намагатись звести до нуля. У випадку наявності вирівнюючих факторів можливо внести обмеження функції Максвелла, які приводять до молекулярно-кінетичного опису газу, що відповідає досліді. Пирогов вказав ці обмеження. Якщо відсутня вирівнююча дія на газ зовнішніх факторів, при обчисленні се-

редніх величин за допомогою максвеллівського розподілу необхідно брати інтеграл з нескінченними межами. У випадку, якщо дія зовнішніх вирівнюючих факторів не може бути усунута, Пирогов показав, що необхідно обчислювати середні величини за допомогою інтегралів з кінцевими межами. Виявляється, при певних умовах операції можна довести до кінця, і основні результати кінетичної теорії відповідають досліді.

Задовго до М.Планка М.Пирогов припускав, що у взаємодії матерії з «світлоносним ефіром» (чорного випромінювання) треба шукати причину багатьох явищ, що не піддаються опису з точки зору максвеллівського хаосу, наприклад залежність молекулярної теплоємності газу від температури. Так, якщо середню кінетичну енергію молекули обчислювати за допомогою максвеллівської функції, використовуючи, згідно Пирогову, граничні швидкості, тобто такі швидкості, що обмежують можливі рухи молекул газу, то виходить не лінійна залежність енергії молекули від абсолютної температури, а новий закон. Він з точністю співпадає із середньою енергією молекули газу, яку їй приписує квантова теорія Планка.

Таким чином, передісторію статистичної фізики в Україні слід датувати хронологічними межами ХVІІ ст.— 30-х років ХХ ст. Вперше питання тлумачення будови матерії в Україні розглядалися в ХVІІ—ХVІІІ ст. викладачами Києво-Могилянської академії, а у ХІХ ст. експериментальні роботи з термодинаміки М.Пильчикова та О.Грузинцева, з дифузії М.Умова, з молекулярної фізики та критичного стану речовини М.Авенаріуса, а також перші теоретичні узагальнення ймовірнісних уявлень М.Пирогова, М.Шіллера, М.Смолуховського та Т.Афанасьєвої-Еренфест сприяли осмисленню статистичного підходу та усвідомленню сфери його застосування і склали базу побудови статистичної фізики в Україні.



1. *Природознавство* в Україні до початку ХХ ст. в історичному, культурному та освітньому контекстах / Ю.В.Павленко, С.П.Руда, С.А.Хорошева, Ю.О.Храмов. — К.: Видавничий дім «Академперіодика», 2001. — 420 с.
2. *Столетов А.Г.* Собр. соч. — М.: Гостехиздат, 1941. — Т.2.
3. *Авенариус М.П.* Критическое состояние тел // Журн. элементарной математики. — 1884. — Т.1. — № 5.
4. *Авенариус М.П.* Расширение жидкости. — Киев, 1877. — 11 с.
5. *Nadéjdine A.* La détermination de la température critique dans les tubes opaques // Bulletin de l'Académie Imp. de. Sc. St. Petersburg. — 1886. — Т.30, № 5. — С.327—330.
6. *Умов М.А.* Избр. соч. — М.; Л., 1950.
7. *Де-Метц Г.Г.* Памяти Ф.Н. Шведова // Физическое обозрение. — Киев, 1906.
8. *Плачинда А.П.* Микола Дмитрович Пильчиков (1857—1908). — К., 1983.
9. *Физико-математический* факультет Харьковского университета за первые сто лет существования (1805—1905). — Харьков, 1906.
10. *Эйнштейн А.* Собр. науч. тр. — В 4 т. — М.: Наука, 1965 — 1967.
11. *Климишин І.А.* Про розвиток фізики у Львівському університеті.—Вісн. Львів. ун-ту. Сер. фіз. — 1962. — № 1.
12. *Косоногов И.И.* Николай Николаевич Шиллер (биографический очерк) // Физическое обозрение. — Киев, 1911.
13. *Звіти і протоколи* Фізико-математичного товариства при Університеті св.Володимира. — К., 1899.
14. *Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik* // Encyklopadie der mathematischen Wissenschaften. — Leipzig, 1911. — Bd.4, Т. 32. — S.3—90.
15. *Афанасьева-Эренфест Т.* К вопросу о кинетическом толковании необратимых процессов // Журн. Рус. физ.-хим. о-ва. — 1908. — Т. 40, вып. 8. — С. 277.
16. *Афанасьева-Эренфест Т.* //Журн. прикл. физики. — 1928. — Т.5, вып. 3 —4. — С.3—29.
17. *Пирогов Н.Н.* Применимость II начала термодинамики к системам, на которые действуют внешние силы // Журн. Рис. физ.-хим. о-ва, ч.физич. — 1887. — Т.19, отд.1, вып.4. — С.100—120.
18. *Пирогов Н.Н.* // Там же. — Вып.5. — С.157—176.
19. *Пирогов Н.Н.* О законе Больцмана // Там же. — 1890. — Т.22, отд.1, вып.5. — С.44.
20. *Пирогов Н.Н.* Основание термодинамики // Там же. — С.173.

*О.Ю. Колтачихіна,  
аспірант*

## **Сприйняття теорії відносності в Україні в першій третині ХХ ст.**

Публікація в 1905 році праці Альберта Ейнштейна [1], яка завершила формування спеціальної теорії відносності, ознаменувала початок нової фізики. Тим не менш відгуків на неї відразу не було, зокрема в наступних номерах журналу «Annalen der Physik» про неї не згадувалось. Першим, хто відреагував на її появу, був один з провідних фізиків того часу М.Планк. Він написав листа А.Ейнштейну з проханням роз'яснити деякі не зовсім зрозумілі йому питання. Завдяки його зацікавленості теорія відносності швидко стала пред-

метом дискусій і досліджень. Подальше ставлення до теорії Ейнштейна було як позитивним, так і негативним. Так, А.Майкельсон писав, що теорія відносності має бути сприйнята всіма.

У першій третині ХХ століття теорія відносності широко обговорювалась в наукових колах тогочасної України, основні напрямки її розвитку були пов'язані з релятивістською квантовою теорією, астрофізикою та космологією. В Україні нова теорія обговорювалась в працях Л.Й.Кордиша, О.П.Грузінцева, Я.І.Грдини, І.Є.Огієвецького, Б.П.Гера-