

В. І. Герасименко

Кінетична теорія, Фізична кінетика

КІНЕТИЧНА ТЕОРІЯ, ФІЗИЧНА КІНЕТИКА (від грец. *κίνησις* – той, що рухає) – складова частина *механіки статистичної*, що пояснює нерівноважні властивості матерії в термінах опису руху типової частинки системи багатьох частинок (атомів, молекул). Остан. часом К. т. застосовують для опису нерівноваж. властивостей не лише до таких традиц. фіз. систем, як гази, рідини або плазма, але й до речовини в конденсов. станах (напр., бозе конденсат), кварк-глюон. плазми, гранульов. середовищ (напр., піски пустель), а також до склад. систем різноманіт. природи, які є предметом дослідж. біол. і соц. наук. Математично нерівноважні властивості систем багатьох частинок у К. т. описують за допомогою кінет. рівнянь – еволюц. рівнянь, генератор яких складається з доданка, який описує вільну еволюцію типової частинки системи, та неліній. доданка, який моделює самовзаємодію типової частинки (інтеграл зіткнень). Розв’язок кінет. рівняння для класич. систем (одночастинк. функція розподілу) описує еволюцію стану системи багатьох частинок та інтерпретується як густина розподілу ймовірності того, що типова частинка системи знаходиться в певній точці простору і рухається з певним імпульсом (швидкістю) незалежно від того, де знаходяться та з якими імпульсами рухаються ін. частинки (нескінчена кількість частинок). За допомогою такої функції в К. т. визначають середні значення спостережув. величин систем частинок. Загальновідомий приклад кінет. рівняння – рівняння Больцмана, яким описують процес розсіяння частинок у розріджених газах. Квант. кінет. рівняння – відповідні узагальнення кінет. рівнянь класич. систем частинок. Із фіз. точки зору кінет. рівняннями описують певний етап процесу переходу (релаксації) з нерівноваж. стану у стан термодинам. рівноваги системи багатьох частинок. У заг. випадку в процесі релаксації довіл. нерівноважний стан системи частинок наближається до стану, який цілком описується в термінах одночастинк. функції розподілу (для квант. систем стан описують одночастинк. статистич. оператором, ядро якого відоме як одночастинк. матриця густини), яку визначають з відповід. кінет. рівняння залежно від потенціалу взаємодії частинок. На наступ. етапі релаксації такий стан системи частинок наближається до локально рівноваж. стану, що характеризується гідродинаміч. параметрами, еволюцію яких описують за допомогою рівнянь суціл. середовища (рівнянь гідродинаміки, дифузії).

Основа К. т. закладена в 2-й пол. 19 ст. у працях англ. фізика Дж.-К. Максвелла й австр. фізика Л. Больцмана. Хоча концепція атомів і молекул як частинок матерії стала загально прийнятою бл. 1906, Дж.-К. Максвелл увів поняття функції розподілу (максвеллів. розподіл) для опису стану газів майже на 40 р. раніше. Це був перший знач. успіх К. т. За допомогою такого розподілу він обчислив коефіцієнти переносу (в'язкість і теплопровідність) для газу твердих куль та встановив їхню залежність від температури і незалежність від густини газу, що згодом було підтверджено експериментально. 1872 Л. Больцман сформулював еволюц. рівняння для одночастинк. функції розподілу та встановив, що максвеллів. розподіл описує лише рівноваж. стан газу. Він довів т. зв. Н-теорему (про зростання ентропії), яка пояснювала незворотність макроскопіч. динаміки. Відтоді почався період розвитку К. т., в основу якого покладено феноменол. моделі кінет. явищ. Пізніше для узагальнення рівняння Больцмана на густі гази або рідини для системи багатьох пруж. куль було сформульовано кінет. рівняння Енскоґа (швед. фізиком Д. Енскоґом, 1922), для виділеної (броунів.) частинки в системі багатьох частинок (термостаті) – рівняння Фоккера–Планка (нідерланд. фізиком А.-Д. Фоккером, 1914; та нім. фізиком М.-К. Планком, 1917) і його частковий випадок – рівняння Смолуховського (польс. фізиком *М. Смолуховським*, 1906), для стохастич. динаміки системи частинок – рівняння Леонтовича (рос. фізиком М. Леонтовичем, 1935). Для систем електрично заряджених частинок (іоніз. гази, плазма) в цей період розвитку К. т. були також виведені: рівняння Ландау (рос. і укр. фізиком *Л. Ландау*, 1936), рівняння Власова (рос. фізиком А. Власовим, 1937), рівняння Ленарда–Гернсі–Балеску (амер. фізиками Е. Ленардом і Р.-Л. Гернсі та бельг. фізиком Р.-К. Балеску, 1960). З поч. розвитку квант. теорії запропоновано квант. аналог рівняння Больцмана – кінет. рівняння Нордґейма–Улінґа–Уленбека (амер. фізиками Л.-Ф. Нордґеймом 1928; Дж.-Ю. Уленбеком і Е.-А. Улінґом, 1933), як наближення серед. (самоузгодженого) поля для чистих квант. станів – рівняння Гартрі (англ. фізиком Д.-Р. Гартрі, 1928), яке розвинув згодом рос. фізик В. Фок (рівняння Гартрі–Фока, 1930). Пізніше в наближенні серед. поля для далекосяж. потенціалів взаємодії частинок сформульовано квант. рівняння Власова, для квант. систем у конденсов. станах – кінет. рівняння Боголюбова (амер. і укр. фізиком [М. Боголюбовим](#), обидва – 1947) та рівняння Ґросса–Пітаєвського (рос. фізиком Є. Ґроссом і рос. фізиком Л. Пітаєвським, 1961). У 2-й пол. 1940-х рр. розпочинається новий етап у розвитку К. т. – створення формаліз. теорії кінет. явищ. 1946 в Києві (Інститут математики АН УРСР) у своїй всесвітньо відомій монографії М. Боголюбов розвинув послідов. підхід до виведення кінет. рівнянь з динаміки систем багатьох частинок, а саме: еволюц. рівнянь, якими описують еволюцію всіх можливих станів систем частинок ієрархії рівнянь ББґКІ (М. Боголюбов, нім. фізик М. Борн, австрал. фізик Ґ.-С. Ґрін, амер. фізик Дж.-Ґ. Кірквуд, франц. фізик Ж. Івон). Ці рівняння зображено на 2-гривневій монеті, яка була викарбувана до сторіччя від дня народж. М. Боголюбова. За допомогою методів теорії збурень розроблено метод побудови узагальненого рівняння Больцмана (кінет. рівняння Боголюбова), кінет. рівнянь Власова та Ландау. Завдяки ньому став зрозумілим механізм виникнення незворотності макроскопіч.

еволюції систем багатьох частинок, динаміка яких на мікроскопіч. рівні описується зворот. у часі рівняннями руху, тобто вдалося пояснити незворотність кінет. рівнянь. У працях амер. фізика Г. Грета (1958) запропоновано підхід до обґрунтування кінет. рівнянь, як еволюц. рівнянь, якими описується асимптотика розв'язку ієрархії рівнянь ББГКІ у (скейлінговій) границі за відповід. малим параметром. Остан. часом такий підхід використовують як осн. метод строгого виведення кінет. рівнянь склад. систем різноманіт. природи. В цілому проблема строгого виведення кінет. рівнянь з динаміки систем багатьох частинок залишається відкритою проблемою К. т. На сучас. етапі розвитку К. т. найбільш розвиненою є матем. теорія неліній. рівняння Больцмана, яка закладена в працях франц. фізика та математика А. Пуанкаре (1906, привернув увагу математиків до необхідності обґрунтування К. т.), нім. математика Д. Гільберта (1912, встановив зв'язок розв'язку рівняння Больцмана з рівняннями гідродинаміки; частина 6-ї проблеми сформульована на Міжнар. конгресі математики 1900) та швед. математика Т.-Й. Карлемана (1932, матем. аналіз просторово однорід. рівняння Больцмана). Матем. теорія неліній. кінет. рівнянь почала інтенсивно розвиватися наприкінці 1980-х рр. Зокрема, для матем. моделювання кінет. процесів розроблено методи чисел. розрахунків за допомогою сучас. комп'ютер. техніки. Нині К. т. інтенсивно розвивається у багатьох провід. університетах і наук. центрах світу. Від 1949 кожні 3 р. відбувається (започаткована у Флоренції, Італія) міжнар. конф. зі статист. фізики, значна частина якої присвячена проблемам дослідж. кінет. процесів. В Україні вагомими результатами з К. т. та її застосувань отримано в наук. школах Києва (в Інституті математики НАНУ з матем. фізики – М. Боголюбов, *Д. Петрина*; в Інституті теор. фізики НАНУ з фізики плазм. процесів – *О. Ситенко*, [А. Загородній](#)), Львова (в Інституті фізики конденсов. систем НАНУ зі статист. фізики рідин та сумішей – *І. Юхновський*, *І. Мриглод*), Харкова (у Нац. наук. центрі «Харків. фіз.-тех. інститут» з теорії нерівноваж. процесів квант. систем – [О. Ахієзер](#), *С. Пелетмінський*, В. Бар'яхтар).

Рекомендована література

1. Боголюбов Н. Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. Москва, 1946;
2. Боголюбов М. М. Лекції з квантової статистики. К., 1949;
3. Ахиезер А. И., Пелетминский С. В. Методы статистической физики. Москва, 1977;
4. C. Cercignani. Mathematical methods in kinetic theory. New York, 1990;
5. H. Spohn. Large scale dynamics of interacting particles. New York, 1991;
6. C. Cercignani, R. Illner, M. Pulvirenti. The mathematical theory of dilute gases. New York, 1994;
7. C. Cercignani, V. I. Gerasimenko, D. Ya. Petrina. Many-particle dynamics and kinetic equations. Dordrecht, 1997.

Бібліографічний опис:

Кінетична теорія, Фізична кінетика / В. І. Герасименко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2013. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-6915>

2001-2025 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).