

**В. І. Герасименко**

# Математична фізика

**МАТЕМАТИЧНА ФІЗИКА** – розділ математики, який вивчає математичні структури фізичних теорій. На відміну від суто матем. наук, М. ф. досліджує сутність явищ Всесвіту за допомогою матем. методів. Нині методи М. ф. застосовують до опису не лише фіз. явищ, а також до склад. систем різноманіт. природи, які є предметом дослідж., напр., біол. і соц. наук. Перші методи М. ф. сформулював наприкінці 17 ст. англ. учений, засн. класич. механіки І. Ньютон. У 18 ст. розвиток методів М. ф. пов'язаний з дослідж. колив., акуст. і гідродинам. процесів. Тоді закладено основи аналіт. механіки (франц. учені Ж.-Л. Лагранж, Ж.-Л. Даламбер, П.-С. Лаплас, рос. і нім. учений Л. Ейлер, нім. учені Г.-В. Ляйбніц, К.-Ф. Гаусс, швейцар. учений Я. Бернуллі). У 19 ст. відбувалося інтенсивне вивчення рівнянь, які виникли в теорії теплопровідності, дифузії, хвильових процесів, стійкості руху, електродинаміці, гідродинаміці, газовій динаміці, оптиці (франц. учені Ж.-Б. Фур'є, С.-Д. Пуассон, О.-Л. Коші, Ж.-А. Пуанкаре, Ж. Адамар, австр. учений Л. Больцман, рос. учені М. Остроградський, С. Ковалевська, О. Ляпунов, В. Стеклов, нім. учені Г.-Л. Діріхле, Б. Ріман, Г.-Р. Кірхгофф, Д. Гільберт, англ. учені Дж.-К. Максвелл, англ. Дж.-Г. Стокс). На поч. 20 ст. у зв'язку з дослідж. явищ квант. фізики та кінет. властивостей систем багатьох частинок сформульовано низку нових рівнянь М. ф., зокрема Шредінгера та Больцмана. У задачах класич. М. ф. розглядають 3 осн. типи диференціал. рівнянь у частин. похідних: Лапласа (однорідне рівняння Пуассона), теплопровідності та хвильове (обидва до рівняння Пуассона зводять в стаціонар. випадку). Їх доповнюють краєвими умовами – граничними (Діріхле, Неймана) або мішаними граничними; і початк. умовою, яка визначає задачу Коші для цих рівнянь. Оскільки матем. моделі фіз. явищ повинні мати відповідні властивості із задач класич. М. ф. виділяють задачі, для яких існує неперервно залежний від крайових умов єдиний розв'язок – клас коректно поставлених задач за Адамаром. Якщо задача поставлена некоректно, тоді виникає потреба в її переформулюванні, напр., із використанням методів регуляризації. У 20 ст. з'явилися нові можливості для дослідж. більш широкого кола фіз. явищ, унаслідок чого виникли нові фіз. теорії: квантова механіка, релятивіст. механіка, статист. механіка, квантова теорія поля, астрофізика (Ж.-А. Пуанкаре, Д. Гільберт, амер. учені Дж.-В. Гіббс, Дж. фон Нейман, А. Айнштайн, Ю.-П. Вігнер, С. Чандрасекар, Р.-Ф. Фейнман, Дж. Швінгер, Ф.-Дж. Дайсон, швейцар. учений В. Паулі, англ.

учені П.-А. Дірак, Р. Пенроуз, нім. учені В. Гейзенберг, Г. Вейль, австр. учені Е. Шредінґер, укр. учений М. Боголюбов, рос. учений В. Фок). Водночас сформульовано нові матем. методи: теорії операторів і узагальнених функцій, нескінченновимір. аналіз, ймовірнісні, алгебричні, топологічні методи, методи алгебрич. геометрії. У серед. 20 ст. тенденція до синергетич. взаємодії теор. фізики та математики призвела до виникнення сучас. М. ф. У наук. обіг цей термін увійшов у 1980-х рр. завдяки М. Боголюбову, який розглядав математику не тільки як засіб для обчислень, але й як метод отримання нового знання за допомогою математики: «У нас на очах за останні роки сформувалася цілковито нова галузь науки, яку найдоречніше назвати сучасною математичною фізикою. Вона має те ж генетичне походження, що й класична математична фізика... Фізики встигли переконатися, що з метою отримати розумну відповідь на свої питання вони мають глибше зрозуміти математичну природу об'єктів дослідження, таких як узагальнені функції або необмежені оператори, підвищити прийнятий стандарт доказової сили аргументації... Тоді стало очевидним, що сучасні математичні методи дозволяють отримувати іноді дуже сильні результати...». Тобто математика почала відігравати не лише роль інструмента для опису фіз. явищ, але й виявилось, що вона має здатність проникнення в їхню сутність. Один із напрямів розвитку сучас. М. ф. полягає в строгому виведенні рівнянь із фундам. еволюц. рівнянь, якими описують природу речей у Всесвіті. За сучас. уявленнями, будь-яка система характеризується спостережуваними об'єктами та станом. Тому існує два еквівалент. способи опису їхньої еволюції – за допомогою рівняння Гейзенберґа для спостережуваних або двоїстого до нього рівняння фон Неймана для стану (квант. рівняння Ліувілля). У класич. наближенні зазначені рівняння відомі як рівняння Ліувілля відповідно для спостережуваних і стану системи. Для опису еволюції т. зв. чистих станів, які не зображуються через ін. стани, у квант. випадку достатнім є застосування рівняння Шредінґера, а для класич. систем – рівняння Гамільтона. Рівняння Гейзенберґа для конкрет. систем (гамільтоніанів) квант. теорії поля зводяться до відомих еволюц. рівнянь для полів, квантами яких описують частинки в стандарт. моделі елементар. частинок: рівнянням Дірака описують три покоління лептонів і кварків, рівнянням Максвелла – фотони, рівняннями Янга–Міллса – проміжні бозони слабкої взаємодії та глюони сильної взаємодії, рівняннями Клейна–Гордона–Фока – гіґґсів. бозони, рівнянням Айнштейна – гравітац. поле. У статист. механіці еволюцію станів систем багатьох частинок описують також в еквівалент. спосіб за допомогою ієрархії еволюц. рівнянь ББґКІ (Боголюбов–Борн–Грін–Кірквуд–Івон). Розв'язок стаціонар. ієрархії рівнянь ББґКІ описує гіґґсів. рівноваж. стан систем частинок. Відповідні скейлінг. асимптотики розв'язку задачі Коші для ієрархії рівнянь ББґКІ описують кінет. рівняннями (Больцмана, Власова, Фоккера–Планка, Шредінґера) та для станів близьких до рівноваги – рівняннями гідродинаміки (рівняння Ейлера, Нав'є–Стокса, Барнетта). Нині М. ф. інтенсивно розвивається в багатьох провід. університетах і наук. центрах світу. Зокрема, це обумовлено дослідж. нових фіз. явищ, пов'язаних із відкриттям темної енергії та темної

матерії, чорних дірок, гравітац. хвиль; вивченням властивостей наноструктур і м'яких конденсов. речовин, а також із побудовою більш заг. теорій, ніж стандартна модель елементар. частинок, напр., суперсиметр. теорій і теорії струн. Від 1972 кожні 3 р. проводять міжнар. конгреси з М. ф. 1976 засн. Міжнар. асоц. з М. ф. Від 1997 найвагоміші досягнення в галузі М. ф. відзначають міжнар. премією А. Пуанкаре. В Україні осн. пріоритетні результати з М. ф. та її застосувань отримано у Києві в Інституті математики НАНУ та Інституті теор. фізики НАНУ (М. Боголюбов, О. Парасюк, Д. Петрина) й Харкові в матем. відділ. Фіз.-тех. інституту низьких т-р НАНУ (В. Марченко, Л. Пастур, Є. Хруслов).

## Рекомендована література

1. Боголюбов Н. Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. Москва, 1946;
2. Курант Р., Гильберт Д. Методы математической физики. Москва, 1951. Т. 1–2;
3. Владимиров В. С. Уравнения математической физики. Москва, 1981;
4. W. E. Thirring. A Course in Mathematical Physics. New York, 1983. Vol. 1–4;
5. R. Dautray, J. L. Lions. Mathematical Analysis and Numerical Methods for Science and Technology. New York, 2000. Vol. 1–6;
6. Modern Encyclopedia of Mathematical Physics. New York, 2008;
7. M. Reed, B. Simon. Methods of Modern Mathematical Physics. New York, 2015. Vol. 1–4.

### Бібліографічний опис:

Математична фізика / 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, 2018. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-66934>

2001-2024 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).