



ЛАЗЕРНА ФІЗИКА — розділ фізики, який вивчає лазери, їхню теорію, принципи роботи, будову, а також фундаментальні властивості та практичні застосування **лазерного випромінювання**. Основи Л. ф. закладені у 1950–60-х рр. у працях учених СРСР, США та багатьох ін. країн з теорії резонанс. взаємодії електромагніт. хвиль з квант. системами з інверсією населеності та підсилення світла у таких системах, методів створення інверсії населеності у квант. системах різних типів, теорії оптич. резонаторів і генерації електромагніт. коливань у мазерах і лазерах. Їм передували теор. дослідж. нім. фізиків **А. Айнштейна** (у 2-й пол. 1910-х рр.) та Р.-В. Ладенбурга (у 2-й пол. 1920-х рр.). Осн. напрями Л. ф.: теор. і експерим. основи лазер. генерації та динаміка лазерів, фізика актив. лазер. середовищ, зокрема методи накачування для створення інверсії населеності, теорія оптич. резонаторів, квант., нелінійна, сингулярна оптика когерент. лазер. пучків, фізика взаємодії когерент. лазер. випромінювання з речовиною. Теорія лазер. генерації розглядає підсилення світла в актив. середовищі, порог. умови генерації, три- та чотирирівневі схеми лазера, ефекти насичення підсилення у середовищах з однорід. і неоднорід. розширенням спектрал. ліній, ефекти просторового та спектрал. вигорання провалів у підсиленні, дірки Беннета та провали Лемба, ефекти конкуренції мод, спектрал. та енергет. характеристики лазер. випромінювання. Фундам. підхід до взаємодії оптич. випромінювання з середовищем має базуватися на використанні рівнянь Максвелла для поля та залеж. від часу рівняння Шредінгера для атомів середовища. На практиці атоми середовища можуть описуватися у певному наближенні рівняннями матриці густини, що є основою для вивчення когерент. і нелінійно оптич. ефектів взаємодії поля з середовищем. Подальшим наближенням є швидкісні рівняння для густини фотонів і населеності квант. системи, які широко використовують у Л. ф. Часова динаміка лазер. генерації включає широкий діапазон змін спектрал., енергет., поляризац. характеристик випромінювання залежно від режиму роботи лазера. Імпульсна генерація забезпечується використанням методів імпульс. накачування і вибором параметрів актив. середовища (напр., лазери на самообмежених переходах), модуляцією добротності лазер. резонатора, синхронізацією мод лазера з широкою лінією підсилення для отримання надкоротких (тривалістю кілька періодів коливання світл. хвилі) імпульсів генерації. Л. ф. вивчає методи генерації коротких лазер. імпульсів. Методи модуляції добротності резонатора, зокрема й активні методи, що базуються на використанні керованих фільтрів або затворів, які встановлюють у резонаторі

лазера та швидко змінюють рівень поглинання випромінювання, та пасивні, дія яких ґрунтується на зміні пропускання внаслідок неліній. оптич. ефекту — насичення поглинання, забезпечують генерацію лазер. імпульсів наносекунд. діапазону тривалості. Для генерації ще коротших імпульсів піко- і фемтосекунд. діапазону застосовують метод синхронізації мод. Мод. багатомод. лазера можна розглядати як окремі осцилятори, коливання яких при випадк. значеннях фаз у сумі дають усереднене значення амплітуди світл. коливань, квазінеперервне у часі. Якщо ж такі коливання з еквідистант. спектром частот синхронізовані за фазою, то когерентне додавання їх амплітуд призводить до генерації послідовності коротких світл. імпульсів, тривалість яких визначається шириною лінії підсилення, і для лазерів, що мають широку лінію підсилення (лазери на барвниках, титан-сапфір. лазер), є співмірною з періодом коливання світл. хвилі. Теорія генерації ультракоротких світл. імпульсів містить елементи неліній. оптики, теорії поширення коротких світл. імпульсів у середовищах із дисперсією групової швидкості, зокрема й імпульсів з контрольов. зміною несучої частоти, напр., за ліній. законом («чирповані» імпульси). Фізика актив. лазер. середовищ використовує методи атом. фізики, оптич. спектроскопії, фізики твердого тіла, квант. електроніки, фізики плазми та газового розряду з метою пошуку і дослідж. квант. систем, у яких можливе створення інверс. населеності енергет. рівнів. У цьому розділі Л. ф. вивчають теор. і практичні аспекти методів накачування актив. середовища, які включають передавання енергії до актив. середовища від зовн. джерел, дослідж. процесів збудження та релаксації квант. системи. Оптич. резонатор лазера формує стійку картину простор. розподілу світл. поля — моди резонатора. Теорія оптич. резонаторів базується на принципах теорії дифракції. Хвильове рівняння для монохроматич. світл. хвилі часто розглядають у параксіал. наближенні, коли хвиля поширюється вздовж осі резонатора або під малим кутом до неї. Важливі класи розв'язувань хвильового рівняння у параксіал. наближенні виражають через поліноми Ерміта і Лаґера та функцію Гауса, тому відповідні простор. розподіли поля називали пучками Лаґера-Гауса та Ерміта-Гауса. Клас розв'язувань з попереч. розподілом поля, що описується функцією Бесселя, має унікал. властивість поширюватися у просторі без дифракції. Поширеним типом лазер. пучків є ґаус. пучки, що відповідають найнижчому, або нульовому порядку згаданих більш загальних розв'язків. Поширення ґаус. пучків через оптичні системи зручно описувати через променеву ABCD матрицю. Якщо при послідов. від-

биваннях світл. пучка від дзеркал резонатора його поперечне зміщення залишається скінченним, лазер. резонатор є стійким. Стійкість резонатора визначається його параметрами (кривизною дзеркал і відстанню між ними). У практиці лазерів застосовують як стійкі, так і нестійкі резонатори. У лазер. техніці використовують резонатори, які вирізняються простор. конфігурацією, кількістю та характеристиками дзеркал, величиною оптич. втрат, тому теорія резонаторів і лазер. пучків — важлива складова Л. ф. Л. ф. розглядає поширення лазер. пучків у середовищах різних типів, включаючи атмосферу, матеріали різної природи, оптичні волокна, зокрема й передавання інформації за допомогою лазер. випромінювання. При взаємодії лазер. пучків із речовиною відбуваються ефекти, пов'язані з високою інтенсивністю лазер. поля (нелінійно-оптичні явища, фазові перетворення у речовині), когерентністю лазер.

випромінювання (осциляції Рабі, ефекти самоіндук. прозорості). Важливими практич. аспектами Л. ф. є взаємодія лазер. випромінювання з матеріалами, зокрема й з біологічними, з метою їхнього оброблення лазер. пучками. Див. також [Лазери в медицині](#), [Лазерна спектроскопія](#), [Лазерна технологія](#), [Лазерне зварювання](#) та [Лазерні матеріали](#).

Рекомендована література

1. Тихонов Е. А., Шпак М. Т. Нелинейные оптические явления в органических соединениях. К., 1979;
2. Handbook of Laser Wavelengths. Florida, 1998;
3. Звелто О. Физика лазеров. 4-е изд. С.-Петербург, 2008;
4. P. W. Milonni, J. H. Eberly. Laser physics. New Jersey, 2010.

[А. М. Негрійко](#)

Бібліографічний опис:

Лазерна фізика / А. М. Негрійко // 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, 2016. — Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-53021>

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