

**А. М. Негрійко**

# Лазерна спектроскопія

**ЛАЗЕРНА СПЕКТРОСКОПІЯ** – розділ оптичної спектроскопії, що базується на використанні [лазерів](#) як джерел [випромінювання](#), а іноді – й як спектральних приладів. [Лазерне випромінювання](#) має унікал. властивості порівняно з випромінюванням тепл. джерел, завдяки чому досягається суттєве покращення осн. параметрів, таких як чутливість, розділ. здатність, швидкодія традиц. методів оптич. спектроскопії (абсорбц., флуоресцент., фотоакуст., фотоіонізац., раманівської), а також створюються принципово нові методи – субдоплерівська надвисокої розділ. здатності, внутрішньорезонаторна, когерентна антистокс. раманівська, одиноч. молекул, атомів та іонів, нелінійна багатофотонна спектроскопії. Особливе місце лазер. випромінювання у спектроскопії визначається його високою часовою та просторовою когерентністю, наслідком чого є висока монохроматичність (для помір. ширини лінії лазера  $\Delta\nu = 100$  Гц та оптич. частоти  $\nu = 5 \cdot 10^{14}$  Гц монохроматичність, яка характеризується відношенням  $\Delta\nu/\nu$ , дорівнює  $5 \cdot 10^{-13}$ ), спектрал. яскравість (інтенсивність світла у Вт/м<sup>2</sup> на одиничну спектрал. смугу в 1 Гц на одинич. простор. кут 1 стерадіан для неперерв. гелій-неон. лазера потуж. тільки 10 мВт складає  $2,5 \cdot 10^5$  Вт/(м<sup>2</sup> ср Гц), для імпульс. неодим. лазера з модуляцією добротності –  $2 \cdot 10^{12}$  Вт/(м<sup>2</sup> ср Гц), тоді як спектрал. яскравість Сонця складає лише  $1,5 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> ср Гц), можливість генерації імпульсів надкороткої тривалості до 10-15 сек. та фокусування випромінювання у малий об'єм з характер. розмірами порядку довжини хвилі. Сучасні комерц. лазери генерують когерентне випромінювання у спектрал. діапазоні від вакуум. ультрафіолету (ексимерні лазери на F<sub>2</sub> з довж. хвилі 0,157 мкм та ArF з довж. хвилі 0,193 мкм) до далекого інфрачервоного діапазону 1200 мкм (лазери на CD<sub>3</sub>I, HCOOH), тому методи Л. с. можуть бути поширені на весь цей діапазон. Більшість лазерів генерують випромінювання на фіксов. довжині хвилі, тому ними формується тільки дискрет. набір довжин хвиль у вказаному діапазоні, за винятком спектрал. зони 0,2–1 мкм, яка повністю перекривається діапазоном плав. перебудови довжини хвилі генерації лазерів на барвниках. Уперше на практиці лазери (з фіксов. довжиною хвилі та високою спектрал. яскравістю) застосували у спектроскопії комбінац. (раманів.) розсіювання. З розвитком лазерів з перебудов. довжиною хвилі монохромат. лазерне випромінювання використовують для збудження резонанс. флуоресценції атомів і молекул, зокрема й з селектив. збудженням ізотопів

елементів. Знач. практич. застосування набув метод лазерно-еміс. спектроскопії (laser-induced breakdown spectroscopy), в якому сфокусований на поверхню зразка потуж. лазер. імпульс короткої тривалості формує плазм. факел, що містить збуджені атоми, характеристичні спектри випромінювання яких реєструються спектрал. апаратурою. Загалом за допомогою цього методу можна досліджувати усі елементи та зразки будь-якої природи (тверді, рідкі, газоподібні). Його можливості обмежуються лише потужністю лазера, чутливістю та спектрал. діапазоном детектора. Висока монохроматичність у поєднанні зі спектрал. яскравістю лазер. випромінювання лежить в основі методу надвисокої розділь. здатності – субдоплерів. спектроскопії насиченого поглинання та насиченої дисперсії. Під дією потуж. монохромат. світл. хвилі, резонансної з оптич. переходом атома (молекули, іона), внаслідок неліній. ефектів насичення поглинання для певної групи атомів, резонансних із полем, у широкому спектрал. контурі доплерів. розширеної лінії поглинання формуються вузькі субдоплерів. спектрал. структури, які можуть детектуватися проб. лазер. хвилею. Вузькі оптичні резонанси, які реєструються у методі субдоплерів. спектроскопії насиченого поглинання, дозволяють вивчати структуру спектрал. лінії, яка зазвичай маскується тепл. рухом часток і відповід. доплерів. розширенням, та використовуються як квант. репери для стабілізації частоти випромінювання лазерів, генерації еталон. довжин хвиль для практич. відтворення одиниці довжини – метра. Внутрішньорезонаторні методи Л. с. використовують високу чутливість спектра випромінювання лазерів з широкою лінією генерації (напр., лазерів на барвниках) до наявності в резонаторі лазера середовища з вузькими слабкими лініями поглинання. На фоні неперерв. спектра випромінювання лазера виникають вузькі провали, які відповідають слабким лініям, що не реєструються традиц. методами абсорбц. спектроскопії через малі рівні поглинання. Підсилення чутливості при розміщенні поглинаючого середовища у резонаторі лазера з широкою лінією генерації можна пояснити ефектом багатьох проходів лазер. випромінювання через поглинаюче середовище. Розміщення поглинаючого середовища у резонаторі лазера практикують також у методах неліній. Л. с. насиченого поглинання та багатьох практич. схемах стабілізованих за частотою лазерів, де корис. сигнал формується не як провал у широкосмуг. спектрі, а як резонансна зміна потужності лазера у вузькому діапазоні спектра. В Інституті фізики НАНУ (Київ) запропоновано та реалізовано внутрішньорезонаторну частотно-модуляц. спектроскопію з розділь. здатністю  $5 \cdot 10^{10}$  та експериментально показано, що нестабільність частоти випромінювання He-Ne лазера, стабілізованого за резонансами насиченого поглинання у метані  $\text{CH}_4$ , складає всього  $7 \cdot 10^{-15}$  за час усереднення 100 сек. У схемах з внутрішньорезонатор. розміщенням поглинаючого середовища, під дією якого змінюється спектр генерації, лазер сам виступає у ролі спектрал. приладу високої чутливості та розділь. здатності. Розвиток методів генерації коротких лазер. імпульсів відкрив можливість досліджувати швидкісні процеси на часових масштабах до сотень атосекунд (1 асек. =  $10^{-18}$  сек.). Достатньо вживаним методом вивчення

спектрів з високим часовим розділенням є метод pump-probe (накачування-детектування), коли досліджуване середовище резонансно збуджується коротким лазер. імпульсом, а спектр поглинання збудженої системи детектується пробним світл. полем, як правило, з широким спектром з наступною реєстрацією спектра поглинання класич. спектрал. приладами. Пробний світл. потік може формуватися також імпульс. лазером, зокрема у вигляді оптич. суперконтинууму, який утворюється під дією потуж. лазер. випромінювання фемтосекунд. тривалості. Такі пробні імпульси легко синхронізуються зі збуджуючими, а їхня коротка тривалість дає можливість реєструвати спектри поглинання з високим розділенням у часі.

## Рекомендована література

1. Летохов В. С., Чеботаев В. П. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. Москва, 1975;
2. Лукьяненко С. Р., Макогон М. М., Сеница Л. Н. Внутриврезонаторная лазерная спектроскопия. Основы метода и применения. Новосибирск, 1985;
3. P. W. Milonni, J. H. Eberly. Lasers. New York, 1988;
4. Данилейко М. В., Яценко Л. П. Резонансные явления в кольцевых газовых лазерах. К., 1994;
5. Handbook of Laser Wavelengths. 1998;
6. Мачехин Ю. П., Негрійко А. М., Соловьев В. С., Яценко Л. П. Оптические стандарты частоты. Ч. 1. He-Ne/I2 лазеры, практика создания и эксплуатации. Х., 2010.

### Покликання на статтю:

Лазерна спектроскопія / 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-53019>

2001-2023 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).