

РЕТРОСПЕКТИВА СУТНОСТІ І ЗМІСТУ СПЕКТРОСКОПІЇ ТА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Едуард СІРИК

Спектральний метод дослідження є одним із загальнонаукових методів пізнання явищ природи. У статті розглядається сутність і зміст спектроскопії та різних видів спектрального аналізу. Проведена класифікація атомарного спектрального аналізу дозволяє встановити шляхи його практичного використання.

A spectral method of research is one of scientific methods of cognition of the phenomena of nature. Essence and maintenance of different types of spectroscopy and spectral analysis is examined in the article. Classification of atomic spectral analysis is conducted allows to set the ways of his practical use.

Сучасний розвиток фізичної науки досягнув такого рівня, при якому фізичні теорії і фізичні методи наукового дослідження стали загальноновизнаними не тільки в галузі природничих наук, а й поза їхньою сферою і дають вагомий результати в пізнанні внаслідок моделювання явищ і процесів різної природи. Одним з таких загальнонаукових методів, на нашу думку, є спектральний метод дослідження явищ і процесів.

Вперше, як відомо, розкладання світла в спектр було описано Ісааком Ньютоном (1643 – 1727), який спостерігав пучок сонячного світла, який проходив через круглий отвір у шторі затемненої кімнати, падав на скляну призму і давав на стінці, розміщеній з протилежного боку, райдужну картину – спектр. Це явище І.Ньютон пояснив на основі створеної ним корпускулярної теорії світла (1704р.). Детальніше сонячний спектр цей відомий англійський учений не досліджував. І лише через більше ніж 100 років Уільям Волластон (1766–1828), використовуючи замість отвору вузьку щілину, виявив у спектрі Сонця дивовижні чорні лінії і смуги, що були названі «фраунгоферові лінії» [3, с.79].

Відтак, виправданим є твердження, що поняття спектра вперше виникло і було пов'язано із вивченням саме оптичних явищ та оптичного випромінювання. Хоча й треба визнати, що сучасне уявлення про спектри вийшло далеко за межі оптики і отримало своє загальнонаукове тлумачення.

Зокрема фізичний словник за редакцією О.З.Жмудського дає таке означення: "**с п е к т р** – частотна характеристика коливальних процесів (звуку, радіохвиль, світла) або набору значень параметра якогось класу об'єктів (спектр мас елементарних частинок)" [1, с.284].

Безперечно у процесі своєї еволюції назване поняття отримало розвиток і розширення сфери використання. Тому фізичний енциклопедичний словник не обмежується вищезазначеним означенням і трактує та розширює його таким чином: **с п е к т р к о л и в а н ь** слід розглядати як сукупність гармонійних коливань, на які може бути розкладений деякий складний коливальний рух. Математично такий рух може бути поданий у вигляді періодичної, але не гармонійної функції $f(t)$ з частотою ω . Цю функцію можна подати у вигляді ряду гармонійних функцій: $f(t)=\sum A_n \cos n\omega t$ з частотою $n\omega$, які кратні основній частоті (де A_n – амплітуди гармонійних функцій, t –

час, n – номер гармонік). У загальному випадку спектр будь-якого коливання містить нескінченний ряд гармонік, амплітуди яких різко зменшуються зі збільшенням їхнього номера [2, с.702].

Таким чином, поняття спектра можна застосовувати для опису будь-яких явищ і процесів, що мають періодичний характер, незалежно від природи їхнього виникнення та галузі науково-практичної діяльності людини, у якій ці явища та процеси проявляються.

У фізичній галузі науки поряд з цим не менш важливими і значущими для ознайомлення школярів є і такі інші поняття, як *спектральний аналіз* та *спектроскопія*, що тісно пов'язані між собою та з поняттям спектра.

Відповідно до вже згаданого фізичного енциклопедичного словника **спектроскопію** слід розглядати як розділ фізики, присвячений вивченню спектрів електромагнітного випромінювання [2, с.711.]. Методами спектроскопії проводяться дослідження енергетичних рівнів атомів, молекул та утворених ними макроскопічних систем, а також квантові переходи між рівнями енергії, що в цілому дає дуже важливу інформацію про будову і властивості речовини. Тут же зазначається, що найважливішими галузями застосування спектроскопії є спектральний аналіз та астрофізика.

Наш аналіз свідчить, що до основних **етапів розвитку спектроскопії** відносяться такі:

перший етап: відкриття і дослідження на початку ХІХ ст. ліній поглинання в сонячному спектрі. Ці лінії вперше спостерігалися англійським фізиком У.Волластоном в 1802 році, а в 1814 році вони були виявлені і досить повно описані німецьким фізиком Й.Фраунгофером (1787–1826) і отримали правильне наукове пояснення німецьким фізиком Р.Кірхгофом (1824–1887). Нині спостерігаються більше 20 тис. фраунгоферових ліній в інфрачервоній, ультрафіолетовій та видимій ділянках спектра, більшість з яких аналогічні й ототоженні зі спектральними лініями відомих хімічних елементів;

другий етап: встановлення зв'язку між спектрами випромінювання і поглинання (Г.Р.Кірхгоф, 1859р.) і виникнення на основі цього зв'язку спектрального аналізу, що дозволило визначити склад астрономічних об'єктів – Сонця, зірок, туманностей;

третій етап: етап еволюційного розвитку спектроскопії як емпіричної науки, внаслідок чого був накопичений великий за обсягом і значний та вагомий емпіричний матеріал, встановлені закономірності розміщення спектральних ліній і смуг;

четвертий етап: пояснення Н.Бором (1885–1962) спектральних закономірностей 1913 року на основі квантової теорії, згідно якої спектри електромагнітного випромінювання виникають внаслідок квантових переходів між рівнями енергії атомних систем;

п'ятий етап, який відіграв вирішальну роль у створенні квантової механіки та квантової електродинаміки, котрі у свою чергу стали теоретичною базою спектроскопії.

Відтак, сучасна спектроскопія має надто широкий діапазон своїх наукових і технічних застосувань.

Разом з тим варто вказати, що *спектроскопію поділяють* за різними *ознаками*.

За діапазоном довжин (або частот) електромагнітних хвиль у спектроскопії виділяють: *радіоспектроскопію*, яка охоплює радіохвилі; *субміліметрову* спектроскопію; *мікрохвильову* спектроскопію; *оптичну* спектроскопію, яка вивчає оптичні спектри та інфрачервоний діапазон хвиль; *спектроскопію видимого випромінювання* і *ультрафіолетову* спектроскопію, *рентгенівську* спектроскопію та *гама-спектроскопію*.

Особливості та специфіка кожного із цих напрямків спектроскопії базуються на особливостях електромагнітного випромінювання відповідного діапазону довжин хвиль та методах отримання і дослідження спектрів. Зокрема, в радіоспектроскопії використовуються радіотехнічні методи, у рентгенівській – рентгенівські методи одержання і дослідження спектрів, в гама-спектроскопії застосовуються експериментальні методи ядерної фізики, в оптичній спектроскопії – оптичні методи у поєднанні з методами сучасної радіоелектроніки. Однак "Часто під терміном "спектроскопія" розуміють лише оптичну спектроскопію" [2, с.711] або частіше всього мають на увазі, що йдеться про дослідження оптичного діапазону електромагнітних хвиль.

Відповідно до різних конкретних експериментальних методів, що при цьому запроваджуються, виділяють спеціальні розділи спектроскопії – *інтерференційну*, що базується на використанні інтерферометрів, *вакуумну* спектроскопію, *лазерну* спектроскопію. Одним із розділів ультрафіолетової і рентгенівської спектроскопії є *фотоелектронна спектроскопія*.

За типом досліджуваних об'єктів спектроскопію поділяють на *атомну*, яка вивчає випромінювання атомів – атомні спектри, *молекулярну*, що досліджує випромінювання молекул – молекулярні спектри, і спектроскопію речовини у конденсованому стані (так звану спектроскопію кристалів). При цьому у молекулярній спектроскопії в залежності від руху молекул розрізняють спектроскопію електронну, коливальну, обертальну. Аналогічно розрізняють електронну і коливальну спектроскопію кристалів. Досліджуючи атоми, молекули і кристали, вчені широко використовують методи оптичної, рентгенівської та радіоспектроскопії.

Варто наголосити, що особливу галузь досліджень являє собою **ядерна спектроскопія**, до якої входить *гама-, альфа- та бета-спектроскопія*, бо із названих лише гама-спектроскопія відноситься до спектроскопії електромагнітного випромінювання, інші ж два напрямки дослідження стосуються досліджень елементарних частинок.

Поняття «**спектральний аналіз**» у фізичній галузі науки розглядається як сукупність фізичних методів якісного і кількісного визначення складу речовини, що оснований на отриманні та дослідженні спектрів [2, с.708]. Таким чином, основою спектрального аналізу є спектроскопія атомів й молекул і тому, як експериментальний фізичний метод дослідження періодичних процесів, спектральний аналіз класифікують як за метою, так і за типами спектрів. При цьому його поділяють на:

- **атомний спектральний аналіз**, який дає можливість визначити елементарний склад досліджуваного зразка за атомними (чи іонними) спектрами випускання і поглинання;

- **молекулярний спектральний аналіз**, що дозволяє визначити молекулярний склад речовини за молекулярними спектрами поглинання, *люмінесценції* та *комбінаційного розсіювання світла*;

- **емісійний спектральний аналіз**, що виконується за спектрами випускання, що викликане будь-якими джерелами електромагнітного випромінювання в діапазоні від γ -випромінювання до мікрохвильової ділянки спектра;

- **абсорбційний спектральний аналіз**, який здійснюють за спектрами поглинання досліджуваних об'єктів (атомів, іонів, молекул речовини).

Практика спектроскопічних досліджень у науці і техніці та аналіз спеціальної літератури дозволяє констатувати такий поділ атомного спектрального аналізу:

1. Якщо атомний спектральний аналіз здійснюється на основі співставлення одержаного спектра досліджуваної речовини зі спектральними лініями елементів, що

наведені у спеціальних таблицях і відповідних атласах, то тоді кажуть, що має місце **якісний атомний спектральний аналіз**.

2. Якщо ж в основу виконаного атомного спектрального аналізу покладено метод встановлення співвідношення, котре зв'язує концентрацію C певного хімічного елемента з відношенням інтенсивностей відповідних спектральних ліній, то має місце **кількісний атомний спектральний аналіз**.

За цих умов встановлюється співвідношення інтенсивності спектральної лінії в досліджуваній суміші (I_1) з інтенсивністю ліній порівняння (I_2), тобто аналізується вираз $I_1/I_2 = \alpha C^b$ (або $\lg I_1/I_2 = b \lg C + \lg \alpha$), де постійні величини α і b визначаються дослідним методом.

Відтак, маючи стандартні зразки (їх повинно бути не менше трьох), можна побудувати графік залежності $\lg(I_1/I_2)$ від $\lg C$ (градувальну криву, показану на рис.1.) і визначити за цим графіком постійні величини α і b , що характеризують досліджуваний зразок.

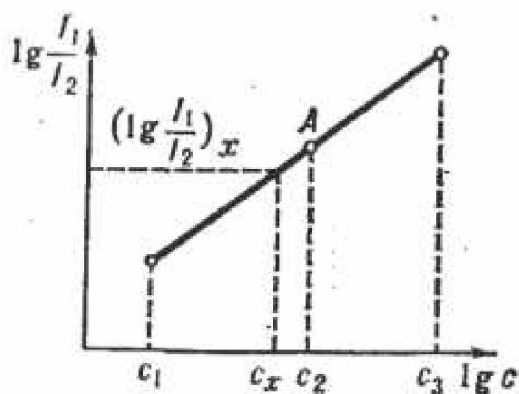


Рис.1. Градувальний графік (метод трьох еталонів).

Крім того інтенсивність спектральних ліній досліджуваного та стандартного зразка можна вимірювати фотоелектричним способом, або вимірюванням густини почорніння відповідних спектральних ліній при фотографічному способі реєстрації на фотопластинці.

3. Для виконання **емісійного атомного спектрального аналізу** спектр випускання досліджуваної речовини одержують внаслідок уведення проби, яка відображає її склад, в джерело випромінювання – **атомізатор**. В атомізаторі тверді чи рідкі проби випаровуються, дисоціюють, а утворені вільні атоми (чи іони) переходять у збуджені стани. Тоді їхнє випромінювання спостерігається візуально, або реєструється за допомогою *спектрального приладу*.

Для збудження спектра під час атомного спектрального аналізу використовують різні джерела світла і відповідні способи введення в них досліджуваних зразків.

4. **Атомно-абсорбційний та атомно-флуоресцентний спектральний аналіз** оснований на тому, що пробу перетворюють у пару в *атомізаторі* (у полум'ї, графітовій трубці, чи в плазмі стабілізованого ВЧ або СВЧ розряду).

За цих умов світло від джерела дискретного випромінювання, проходячи через пару речовини, в атомно-абсорбційному спектральному аналізі послаблюється і за ступенем послаблення інтенсивності ліній певного хімічного елемента судять про концентрацію його у пробі.

Різні методи атомного спектрального аналізу широко використовуються у промисловості, сільському господарстві, геології та багатьох інших галузях діяльності людини. Тому ознайомлення учнів з основами спектроскопії та спектрального аналізу

не тільки розширює їх світогляд, а й є важливим чинником оволодіння школярами основами сучасного виробництва, техніки і технології.

Урахування науково-методичних досліджень, головною метою яких є підвищення ефективності вивчення будови атома, різних видів (суцільного, смугастого та комбінованого) спектрів, спектрів випромінювання та поглинання для конкретних хімічних елементів тощо, що використовується у практичній спектроскопії та в науці, дозволяє виявити важливі напрямки вдосконалення системи навчального фізичного експерименту, що обумовлені, в першу чергу, необхідністю розробки та створення нового обладнання та ефективних прийомів його запровадження під час вивчення фізики в школі та у вищих навчальних закладах.

З цією метою в ході нашого дослідження було створено комплект (ККООВ), який складається з джерела еталонного випромінювання ДЕВ – 3Н, фотометра інтегрального ФІ-2, болометра. Відпрацьована методика виконання навчального експерименту з даним комплектом дозволяє не тільки якісно, а й кількісно вивчати залежність випромінювання абсолютно чорного тіла від температури [2] та проводити серію інших досліджень. Запропонована методика описана в окремому посібнику, пройшла експериментальну перевірку і була схвалена методичною комісією Міністерства освіти і науки України.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Біленко І.І. Фізичний словник / За ред. О.З.Жмурського. – К.: Вища школа, 1979. – 336 с.
2. Сірик Е.П. Самостійні спостереження та лабораторні роботи з вивчення спектрів. – 3б. ст.: Проблеми методики викладання фізики на сучасному етапі / Редколегія: С.П. Величко (наук. ред.) та ін. – Кіровоград: РВУ КДПУ ім. В. Винниченка, 2000. – С.181–185.
3. Сірик Е.П. Концептуальні засади запровадження спектрального методу дослідження у навчальний процес з фізики. Наукові записки. – Вип. 51. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВУ КДПУ ім. В. Винниченка, 2003. – ч. 2. – С. 121–124.
4. Сірик Е.П., Величко С.П. Вимірювання світлової енергії з використанням фотометра інтегрального. – Наукові записки. – Вип. 46. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВУ КДПУ ім. В. Винниченка, 2002. – С. 121–124
5. Физический энциклопедический словарь / Гл.ред.А.М.Прохоров. Ред.кол.:Д.М.Алексеев, А.М.Бонч-Бруевич, А.С.Боровик-Романов и др. – М.:Сов.энциклопедия, 1983. – 928 с.
6. Храмов Ю.А. Физика. Библиографический справочник. – К.: Наукова думка, 1977. – 512 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Сірик Едуард Петрович – викладач кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету ім.В.Винниченка.

Наукові інтереси: удосконалення системи навчального фізичного експерименту з оптики та квантової фізики.