

§ 37. ВИДИ СПЕКТРІВ. ОСНОВИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ



«Дві речі сповнюють душу завжди новим і все сильнішим здивуванням і благоговінням, чим частіше і триваліше ми розмірковуємо про них, — це зоряне небо наді мною і моральний закон у мені», — писав німецький філософ *Іммануїл Кант* (1724–1804). Утім світло, яке випромінюють зорі, — це не лише дивовижна краса: воно несе до нас інформацію про температуру і склад зір, про їх рух і процеси, що в них відбуваються. Слід лише навчитися зчитувати цю інформацію. Дізнаємось, які знання про будову атома допомогли «дотягнутися» до зір.

1 Лінійчасті спектри випромінювання і поглинання

Якщо кинути дрібочку кухонної солі в полум'я газового пальника, воно забарвлюється в жовтий колір. Причина цього явища вам уже відома з курсу хімії: до складу кухонної солі входить Натрій, і саме атоми цього елемента зумовлюють характерне жовте випромінювання. Розберемося в механізмі появи цього випромінювання.

У полум'ї пальника натрій нагрівається, і атоми Натрію переходять у збуджений стан. Повертаючись в основний стан, атоми *випромінюють*

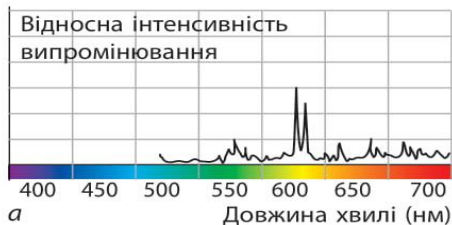


Рис. 37.1. Лінійчастий спектр Натрію: *a* — залежність відносної інтенсивності випромінювання полум'я, що містить атоми Натрію, від довжини хвилі; *б* — спектр випромінювання (подвійна жовта лінія на темному фоні); *в* — спектр поглинання (подвійна темна лінія на фоні неперервного спектра)

електромагнітні хвилі, причому відповідно до постулатів Бора — *чітко визначених частот, а отже, і довжин*. Для Натрію найбільша інтенсивність випромінювання припадає на довжини хвиль, які відповідають світлу жовтого кольору (рис. 37.1, *a*).

Численні дослідження довели, що за нагрівання до дуже високої температури атоми будь-якого хімічного елемента можуть випромінювати світло, вузький пучок якого розкладається призмою на кілька пучків. Якщо газ розріджений і перебуває в атомарному (не молекулярному) стані, то на екрані спектрографа спостерігаються *різнокольорові лінії, розділені широкими темними смугами*. Сукупність цих ліній називають **лінійчастим спектром випромінювання** (рис. 37.1, *б*).

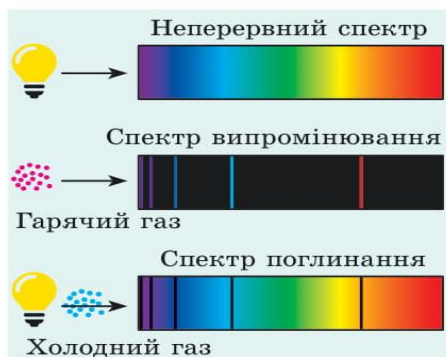
Існує і зворотнє явище: якщо біле світло пропускати через речовину в газоподібному стані, то спостерігаються *темні лінії на фоні неперервного спектра*. Сукупність цих ліній називають **лінійчастим спектром поглинання** (рис. 37.1, *в*).

Зазначимо, що *лінійчастий спектр будь-якого конкретного хімічного елемента не збігається з лінійчастим спектром інших хімічних елементів*, а отже, є своєрідною «візитівкою» елемента.

Лінійчасті спектри дають лише розрізнені гази в атомарному стані: спостерігаючи крізь призму за світінням газового розряду в газорозрядній трубці, можна побачити лінійчастий спектр випромінювання, характерний для газу, яким заповнена трубка.

Якщо густину газу збільшувати, то спектральні лінії поступово розширюються і, коли *міжмолекулярна взаємодія між частинками* (атомами, молекулами, йонами) *газу стає суттєвою*, лінії зливаються, утворюючи **неперервний спектр**. Саме тому *стиснені гази, рідини і тверді тіла в нагрітому стані дають неперервний спектр випромінювання*.

? Який спектр ви побачите, дивлячись крізь спектрометр на нитку розжарення лампи? на Сонце? на газовий розряд у неоновій трубці?



Зверніть увагу!

Газ найінтенсивніше поглинає світло саме тих довжин, які він випромінює в нагрітому стані, тому *темні лінії спектра поглинання розташовані точно в тих місцях, де спостерігаються світлі лінії спектра випромінювання*.

2

Молекулярні спектри

Спектри молекулярних газів відрізняються від атомних спектрів і виглядають як система смуг із численних і дуже близько розташованих одна до одної ліній. Такий спектр називають **смугастим спектром** (рис. 37.2).

Така спектральна картина пояснюється тим, що при збудженні молекули відбуваються як енергетичні переходи в атомах (атоми переходять у стани з більшим рівнем енергії), так і збудження коливань атомів усередині молекули й обертання молекули. Енергія коливального руху атомів усередині молекули та енергія обертального руху молекули теж підпорядковуються законам квантової фізики і мають низку дискретних значень. Таким чином, один енергетичний рівень розбивається на безліч коливальних підрівнів. Кількість можливих переходів (повернень в основний стан) різко збільшується, що зумовлює виникнення величезної кількості ліній спектра, які зливаються в широкі смуги.

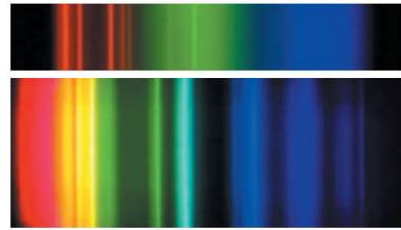


Рис. 37.2. Смугасті спектри складаються з низки смуг, розділених темними проміжками

3

Основи спектрального аналізу

Уже зазначалося, що дослідження лінійчастих спектрів випромінювання та поглинання одноатомних газів дозволяє ідентифікувати склад цих газів, адже кожний газ в атомарному стані дає власний набір ліній спектра (власний чітко визначений набір довжин хвиль). Ці лінії завжди розташовані в тих самих місцях спектра, незалежно від способу збудження атомів. Зараз визначено спектри всіх атомів й складено таблиці спектрів.

За інтенсивністю випромінювання можна визначити концентрацію певних елементів у даному розрідженому газі: чим більше атомів даного хімічного елемента в суміші газів, тим яскравіші відповідні лінії в спектрі випромінювання або темніші — в спектрі поглинання.

Метод якісного і кількісного визначення складу речовини за її спектром називають **спектральним аналізом**.

Методом спектрального аналізу було відкрито багато елементів. Першим із таких елементів був Цезій (від латин. *caesius* — блакитний) — один із найрідкісніших елементів на Землі. Цезій отримав назву завдяки двом яскравим блакитним лініям у спектрі випромінювання.

Спектральний аналіз — основний метод вивчення астрономічних об'єктів. Саме за його допомогою астрофізики дізналися про хімічний склад зір, газових хмар та інших астрономічних об'єктів.

Завдяки універсальності й надзвичайній точності (спектральний аналіз дозволяє виявити елемент у суміші або сполуці навіть якщо його маса не перевищує 10^{-10} г) метод спектрального аналізу широко застосовують у хімії, металургії, ядерній фізиці.

Зазначимо, що спектральний аналіз молекулярних газів здійснюється за їх молекулярними спектрами, а от визначити склад речовини, яка перебуває у твердому або рідкому стані, за допомогою спектрального аналізу неможливо — спочатку її слід перевести в газоподібний стан.

Звідки ми знаємо властивості далеких зір

Ще в 1802 р. англійський лікар і хімік *Вільям Хайд Волластон* (1766–1828), розглядаючи у спектроскоп Сонце, помітив декілька темних ліній, які перетинали райдужну різнокольорову смугу. Він не надав цьому значення, вважаючи лінії недоліком призми. Але через 17 років німецький фізик *Йозеф Фраунгофер* (1787–1826) переконався, що причина виникнення темних ліній криється власне в Сонці. «Наблизив зорі» — так написано на могилі Й. Фраунгофера, а спектр поглинання Сонця й досі називають *фраунгоферовими лініями*.

- **Лінії поглинання у спектрах зір дозволяють нам дізнатися про їхній хімічний склад, температуру, тиск, швидкість тощо.**

- За М. Планком, зі збільшенням температури зорі максимум потужності її випромінювання зміщується в бік фіолетового кольору, тому, порівнюючи потужності світла різних кольорів, можна *виміряти температуру поверхні зорі*.

- Вимірювати швидкості руху зір, відстані до них, а також відкривати екзопланети допомагає *ефект Доплера*. Він полягає в тому, що для спостерігача довжина хвилі від рухомого джерела змінюється: якщо джерело наближається, вона зменшується, якщо віддаляється — збільшується. Виявилось, що лінії спектрів віддалених галактик зміщуються в бік червоної частини спектра (**червоне зміщення**), тобто ці галактики віддаляються від нас із величезною швидкістю.



Підбиваємо підсумки

- Дослідження фізиків у XIX ст. довели атомарну структуру речовини й підтвердили, що атом має складну будову.
- Атоми газоподібних речовин в атомарному стані за підвищених температур випромінюють електромагнітні хвилі чітко визначених частот — їм властивий лінійчастий спектр випромінювання. Лінійчастий спектр кожного елемента характеризується індивідуальним для цього елемента набором частот.
- Якщо газ опромінюють білим світлом, на суцільному спектрі спостерігаються чорні смуги безпосередньо на тих частотах, на яких відбувається випромінювання даного елемента. Це — лінійчастий спектр поглинання.
- Спектри випромінювання газів у молекулярному стані відрізняються від аналогічних спектрів атомарних газів наявністю великої кількості близько розташованих ліній, які під час спостережень часто зливаються в смуги (смугастий спектр).
- Дослідження спектрів випромінювання дозволяє одержати інформацію про елементний склад речовин; дослідження спектрів поглинання зір та інших астрономічних об'єктів дозволяє дізнатися про їх хімічний склад, температуру, тиск, швидкість та інші важливі параметри.



Контрольні запитання

1. Чому атоми випромінюють світло? 2. Що мають спільного і чим відрізняються лінійчасті спектри випромінювання і поглинання? 3. Чому кожному хімічному елементу притаманний власний лінійчастий спектр? 4. Які речовини і в якому стані випромінюють лінійчастий спектр? смугастий спектр? неперервний спектр? 5. Назвіть характерні риси спектрів випромінювання молекул. 6. Де застосовують спектральний аналіз? 7. Наведіть приклади застосування спектрального аналізу в астрономії.



Вправа № 37

1. Яким є спектр розрідженого атомарного водню? молекулярного водню? Яким є спектр сильно стисненого водню?
2. На рис. 1 подано лінії спектра поглинання Гідрогену (*a*) і двох сумішей газів (*б*, *в*). У якій суміші є Гідроген?
3. На рис. 2 подано лінії спектра поглинання двох газів (*a*, *б*) і суміші газів (*в*). Чи є в суміші гази *a* і *б*?



Рис. 1



Рис. 2

4. Чому під час спектрального аналізу молекулярних сполук використовують характеристичне, а не гальмівне рентгенівське випромінювання?
5. Гелій у перекладі з грецької — «сонце», адже вперше його було виявлено саме на Сонці за допомогою спектрального аналізу. Дізнайтесь, які ще елементи були відкриті за допомогою спектрального аналізу.