§ 37. ВИДИ СПЕКТРІВ. ОСНОВИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

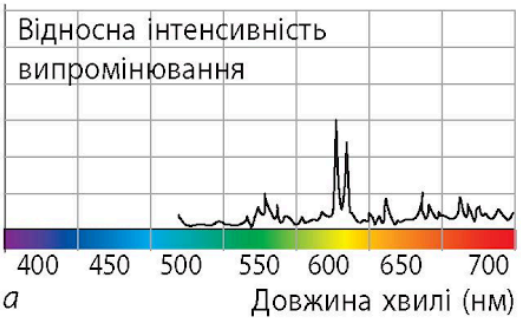


«Дві речі сповнюють душу завжди новим і все сильнішим здивуванням і благоговінням, чим частіше і триваліше ми розмірковуємо про них, — це зоряне небо наді мною і моральний закон у мені», — писав німецький філософ *Іммануїл Кант* (1724–1804). Утім світло, яке випромінюють зорі, — це не лише дивовижна 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*



а

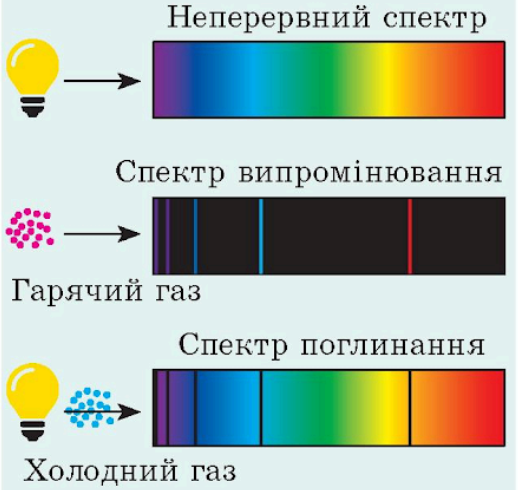


б



в

Рис. 37.1. Лінійчастий спектр Натрію: *а* — 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)



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.*

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, *а*).

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 зворотне 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 розріджені 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?

2 Молекулярні спектри

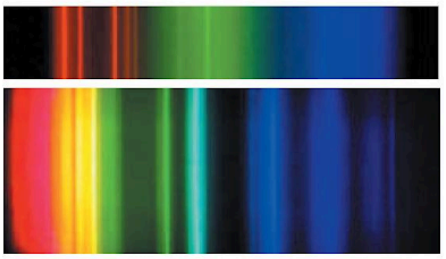


Рис. 37.2. Смугасті спектри складаються з низки смуг, розділених темними проміжками

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.

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.

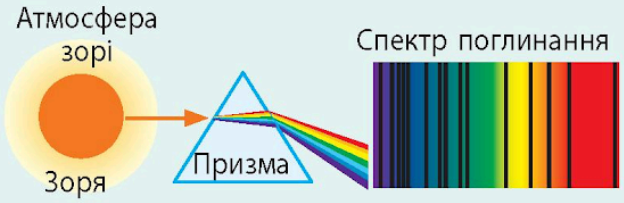
Звідки ми знаємо властивості далеких зір

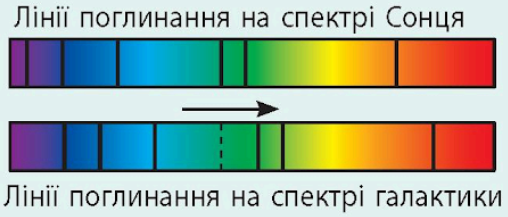
Ще в 1802 р. англійський лікар і хімік *Вільям Хайд Волластон* (1766–1828), розглядаючи у спектроскоп Сонце, помітив декілька темних ліній, які перетинали райдужну різнокольорову смугу. Він не надав цьому значення, вважаючи лінії недоліком призми. Але через 17 років німецький фізик *Йозеф Фраунгофер* (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 Допплера*. Він полягає в тому, що для спостерігача довжина хвилі від рухомого джерела змінюється: якщо джерело наближається, вона зменшується, якщо віддаляється — збільшується. Виявилося, 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 обєктів 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 (*а*) і двох сумішей газів (*б*, *в*). У якій суміші є Гідроген?

3. На рис. 2 подано лінії спектра поглинання двох газів (*а*, *б*) і суміші газів (*в*). Чи є в суміші гази *а* і *б*?

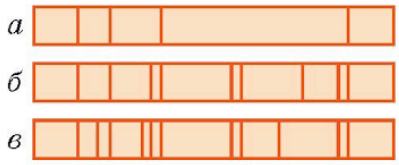


Рис. 1

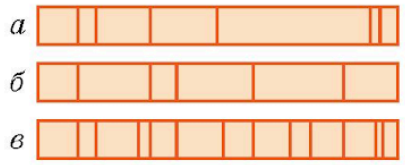


Рис. 2

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.