

## Тема 4.2.

### Спектри

#### План

1. Види спектрів. Спектральний аналіз
2. Ефект Доплера для електромагнітних хвиль
3. Інфрачервоне й ультрафіолетове випромінювання

#### 1. Види спектрів. Спектральний аналіз

Будь-яка речовина, що випромінює світло, характеризується спектром випромінювання - сукупністю частот (або довжин хвиль), що містяться у випромінюванні цієї речовини. Речовина, що поглинає світло, характеризується спектром поглинання - сукупністю частот (або довжин хвиль), що поглинаються даною речовиною при його опроміненні. Розрізняють три основні типи спектрів випромінювання: безперервні, лінійчаті й смугасті.

Безперервні спектри. Відомо, що при проходженні білого світла крізь призму випускається безперервна різнобарвна смуга, що охоплює кольори від фіолетового ( $\approx 400$  нм) до червоного ( $\approx 750$  нм) (мал. 4.1, а). Між окремими кольорами немає розриву: фіолетовий переходить у синій, синій - у зелений, зелений - у жовтий, жовтий - у жовтогарячий, жовтогарячий - у червоний, тому таку смугу кольорів називають безперервним спектром.

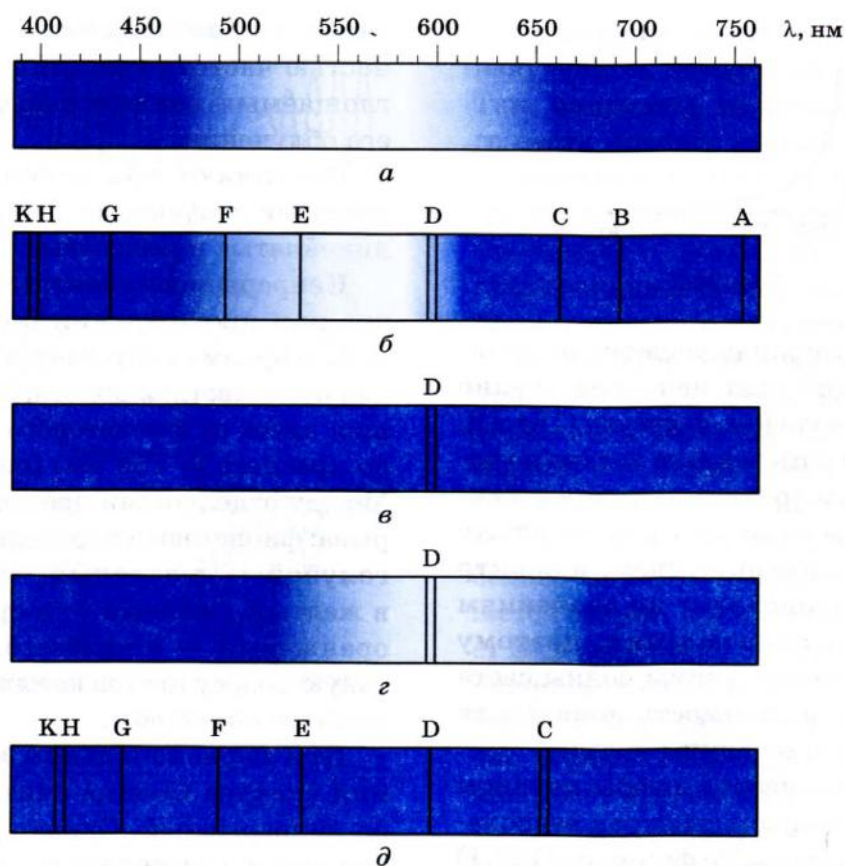


Рис. 4.1.

При первісним дослідженні спектра Сонця вважалося, що він безперервний. Однак детальні дослідження показали, що безперервний сонячний спектр перетинається темними лініями (мал. 4.1, б), названими фраунгоферовими лініями (на честь І. Фраунгофера - австрійського вченого, що відкрив їх).

Як показує досвід, безперервні (суцільні) спектри мають нагріті до високих температур (розпечені) тверді й рідкі речовини, а також стиснені гази. Доведено, що характер безперервного спектра визначається як властивостями окремих випромінюючих атомів, так і взаємодією атомів один з одним.

Лінійчаті спектри. Дослідження показали, що пари будь-якого хімічного елемента, нагрітого до високої температури, випромінюють світло, вузький пучок якого розкладає призмой в спектр, що складається з вузьких спектральних ліній на темнім тлі. Спектральні лінії мають певну інтенсивність і розділені темними проміжками. Подібні спектри називають лінійчатими спектрами випромінювання. Лінійчаті спектри мають також усі речовини в газоподібному атомарному (але не молекулярному) стані при невисоких тисках (коли атоми слабо взаємодіють один з одним).

Ізольовані атоми даного хімічного елемента випромінюють строго певну (властиву тільки цьому хімічному елементу) сукупність спектральних ліній. На мал. 4.1 як приклад наведені лінійчаті спектри пар натрію (мал. 4.1, в) і атома водню (мал. 4.1, д). Зі збільшенням щільності атомарного газу спектральні лінії розширюються, що при сильному стиску газу (при значній взаємодії атомів один з одним) приводить до їхнього перекриття - у результаті утворюється безперервний спектр.

Смугасті спектри. З дослідів випливає, що спектр збуджених молекул розрідженого газу складається з окремих смуг, розділених темними проміжками. Ці спектри називають смугастими. За допомогою спектральних приладів можна виявити, що кожна смуга - це сукупність безлічі тісно розташованих спектральних ліній. Так, смугасті спектри характерні для газів багатоатомних молекул (наприклад, кисню, вуглекислого газу, водяної пари).

Спектри поглинання. Якщо світло від джерела, що дає суцільний спектр, попередньо пропустити через розріджений газ (або пару), то в спектрі з'являються темні лінії (або смуги), які відповідають лініям (або смугам) спектра випромінювання цього ж розрідженого газу (або пари). Ці темні лінії на тлі безперервного спектра являють собою лінії поглинання, що утворюють лінійчатий спектр поглинання.

Таким чином, положення темних ліній у спектрі поглинання речовини в газоподібному стані при даній температурі точно збігається з положенням світлих ліній у спектрі його випромінювання. Ключ до пояснення цього факту дав німецький учений Г. Кірхгоф, який виявив, що будь-який хімічний елемент у газоподібному стані поглинає світло точно таких же довжин хвиль, як і випускає. Так, у лінійчатому спектрі пар натрію спостерігаються дві жовті лінії (мал. 4.1, в). Пари натрію поглинають світло тієї ж самої довжини хвилі, як це впливає з його спектра поглинання (мал. 4.1, г).

Повернемося до розгляду фраунгоферових ліній сонячного спектра (мал. 4.1, б). Порівняння спектрів, представлених на мал. 4.1, б и в, показує, що світлі

лінії, що випускаються натрієм, у сонячній світлі відсутні. Однак точно на їхніх місцях спостерігаються дві темні лінії (вони позначені  $D$ ). Звідси випливає висновок, що сонячний спектр дійсно безперервний, а темні лінії  $D$  виникають у результаті того, що пари натрію, що втримуються в зовнішній атмосфері Сонця, поглинають жовті лінії з його безперервного спектра. Зіставляючи фраунгоферові лінії сонячного спектра й лінії випромінювання різних хімічних елементів, можна визначити, які елементи існують у сонячній атмосфері в газоподібному стані. За допомогою даного методу в атмосфері Сонця був відкритий газоподібний елемент гелій (у перекладі із грецького «Сонце»), існування якого згодом було виявлено й на Землі.

Для спектрів гарячих зірок ( $T \approx 10^5$  К) характерні яскраві лінії випромінювання гелію й азоту, у спектрах найбільш холодних зірок ( $T \approx 3 \cdot 10^3$  К) спостерігаються смуги поглинання різних молекулярних сполук. Спектри зірок різняться інтенсивністю й числом хімічних елементів і сполук, що входять до складу їх атмосфер, однак в атмосферах будь-яких зірок присутні водень і гелій.

Дослідження лінійчатого спектра речовини дозволяє робити спектральний аналіз - метод визначення хімічного складу й інших параметрів речовини по спектрах випромінювання й поглинання.

У цьому випадку роблять кількісне порівняння змісту елемента (елементів) у досліджуваному зразку шляхом порівняння інтенсивності його окремих ліній з інтенсивністю лінії еталонного хімічного елемента.

Спектральний аналіз активно використовують при розвідці корисних копалин, для контролю сполук сплавів, одержання матеріалів із заданими властивостями, визначення хімічного складу й температури небесних тіл, атмосфер планет і зірок і ін.

## 2. Ефект Допплера для електромагнітних хвиль

Ефект Допплера для електромагнітних хвиль - це зміна частоти (довжини хвилі) електромагнітних хвиль, сприйманих приймачем (спостерігачем), внаслідок взаємного руху приймача й джерела.

Закономірності цього явища обґрунтовуються спеціальною теорією відносності, згідно з якою при взаємнім зближенні джерела й спостерігача зі швидкістю  $v$  уздовж з'єднуючої їх прямої (при русі джерела світла по променю зору щодо спостерігача) частота коливань, сприйманих приймачем

$$v = v_0 \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} > v_0, \quad (4.1)$$

де  $v_0$  - частота коливання джерела.

Таким чином, при зближенні джерела й приймача спостерігається зрушення в область більш коротких довжин хвиль ( $\lambda < \lambda_0$ ) - фіолетовий зсув.

При взаємнім віддаленні джерела й приймача (спостерігача) уздовж з'єднуючої їх прямої знаки в чисельнику й знаменнику у вираженні (4.1) потрібно поміняти на протилежні:

$$v = v_0 \sqrt{\frac{1 - v/c}{1 + v/c}} < v_0. \quad (4.2)$$

У цьому випадку спостерігається зрушення в більш довгохвильову область ( $\lambda > \lambda_0$ ) - червоний зсув.

Ефект Доплера пояснює відмінність спектрів зірок від спектрів, отриманих у лабораторних умовах: вони зміщені або у бік коротких, або у бік довгих хвиль; цей зсув обумовлений рухом зірок щодо земного спостерігача. Наявність червоного зсуву для дуже віддалених зірок (галактик) дозволяє по формулі (4.2) визначати швидкість їх віддалення.

### 3. Інфрачервоне й ультрафіолетове випромінювання

З розгляду шкали електромагнітних хвиль випливає, що до видимої області спектра примикає з однієї сторони інфрачервоне випромінювання ( $7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м} < \lambda < 10^{-3} \text{ м}$ ), а з іншого - ультрафіолетове випромінювання ( $10^{-8} \text{ м} < \lambda < 3,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ). Крім того, детальне вивчення призматичного й сонячного спектрів підтвердило, що поряд з видимим випромінюванням є невидимі області спектра - інфрачервона, що простирається за червону частину видимого спектра, і ультрафіолетова, що перебуває перед фіолетовою частиною видимого спектра (мал. 4.2).

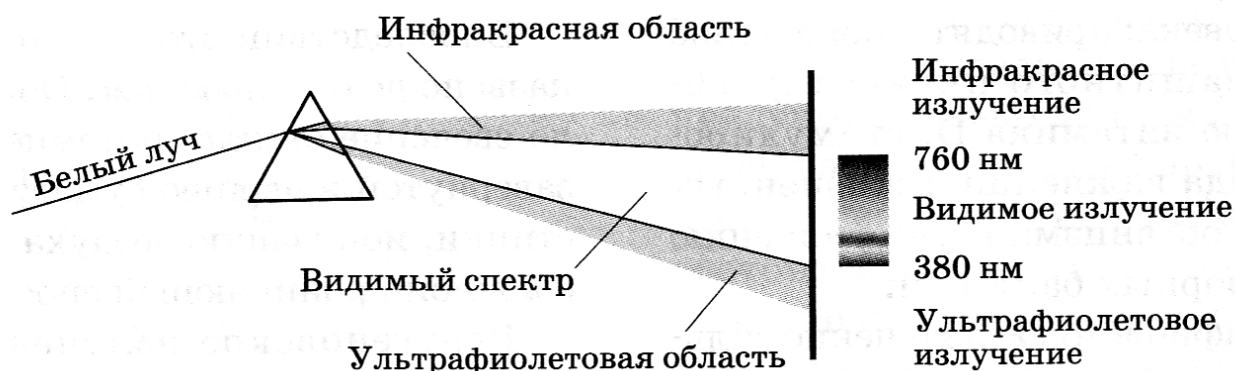


Рис. 4.2.

У 1799 р. англійський астроном У.Гершель, поміщаючи термометр за червоним кінцем сонячного спектра, виявив, що там температура вище, чим у будь-якій іншій точці спектра. Він припустив, що причина цього - невидимі теплові промені, що приходять від Сонця, подібно променям, що випускаються гарячою піччю або будь-яким нагрітим тілом. Ці промені були названі

інфрачервоними променями, у сучаснім розумінні - інфрачервоним випромінюванням.

Джерелами інфрачервоного випромінювання є всі нагріті тіла. Розрізняють штучні джерела - будь-які тіла, температура яких вище температури навколишнього середовища (наприклад, піч, батареї опалення, електрична лампочка, у якій ~95 % енергії перетворюється в інфрачервоне випромінювання й тільки ~3,5 % - у видиме); природні джерела - Сонце (~50 % енергії сонячного випромінювання доходить до Землі у вигляді енергії інфрачервоного випромінювання), зірки, планети.

Інфрачервоне випромінювання, як і випромінювання видимого діапазону, проходить, не поглинаючись, через одні середовища й поглинається іншими. Однак тут проявляються його специфічні властивості: наприклад, скло й вода, прозорі для видимого діапазону, непрозорі для інфрачервоного випромінювання; чорне скло, ебоніт - непрозорі для видимого випромінювання, навпаки, прозорі для інфрачервоного.

Інфрачервоне випромінювання широке застосовується в промисловості (опалення приміщень, сушіння пофарбованих поверхонь), у фотографії (фотографування можна здійснювати в будь-який час доби, а також одержувати чіткі зображення вилучених предметів), у військовій техніці (прилади нічного бачення), у сільському господарстві (у парниках інфрачервоне випромінювання Землі, відбиваючись від них, викликає додаткове нагрівання ґрунту, тобто має місце парниковий ефект).

В 1801 г. німецький фізик І. Ріттер і незалежно від нього англійський учений У. Волластон виявили, що в сонячному спектрі за його фіолетовою частиною є невидиме випромінювання, що справляє хімічну дію на хлорид срібла. Це випромінювання було названо ультрафіолетовим.

Джерела ультрафіолетового випромінювання бувають: штучні - розжарені до температур 3000 К і вище тверді тіла, високотемпературна плазма; природні - Сонце, зірки, туманності.

Ультрафіолетове випромінювання виявляється по його хімічній і біологічній дії. Досліджувати цей вид випромінювання зручно по його дії на фотоматеріали, по здатності збуджувати світіння речовин (наприклад, світіння екрана, покритого люмінофором) і викликати фотоефект.

Ультрафіолетове випромінювання виявляє сильний біологічний вплив на сітківку ока (тому в яскравий сонячний день використовують захисні окуляри), шкіру (може викликати опік) і т. д. Слід, однак, відзначити, що помірні дози ультрафіолету благотворно впливають на організм людини: приводять до появи засмаги (захисного пігменту), утворенню вітаміну *D*, стимулюванню низки найважливіших життєвих функцій організму й знищенню хвороботворних бактерій.

Ультрафіолетове випромінювання сильно поглинається різними речовинами, наприклад звичайним склом або атмосферою Землі. Так, виявлено, що поверхні Землі від Сонця досягає тільки довгохвильова частина ультрафіолетового випромінювання ( $\lambda \approx 290$  нм), у той час як його короткохвильова частина поглинається у верхніх шарах атмосфери шаром озону. Прозорими для ультрафіолетового випромінювання є кварцове скло, а

також різні штучні кристали. Саме вони й застосовуються в установках для дослідження відбиття й переломлення ультрафіолетового випромінювання.

Ультрафіолетове випромінювання застосовується для дослідження електронної структури атомів, молекул, твердих тіл (по спектрах випромінювання, поглинання й відбиття в ультрафіолетовій області), для створення газорозрядних ламп (у них ультрафіолетове випромінювання, що падає на люмінофор, який покриває лампу, перетворюється у видиме), у криміналістиці й мистецтвознавстві, у дефектоскопії, для стерилізації повітря в операційних, для виявлення шкідливих домішок в атмосфері і т. д.

### Питання для самоконтролю

1. Промені якого кольору переломлюються у призмі більше? Якого - менше? Чому?
2. Що називають спектром випромінювання? Спектром поглинання?
3. Перерахуйте та охарактеризуйте можливі види спектрів випромінювання.
4. За яких умов випромінюються безперервні спектри, лінійчаті спектри, смугасті спектри?
5. Чим різняться та чим схожі лінійчаті спектри випромінювання і поглинання одного й того самого хімічного елемента?
6. Що є ефект Доплера для електромагнітних хвиль?
7. Що таке фіолетовий зсув? Червоний зсув?
8. Яке практичне застосування має ефект Доплера?
9. Як можна виявити ультрафіолетове випромінювання? Інфрачервоне випромінювання?
10. Чи можна засмагнути в сонячну погоду, сидячи за зачиненим вікном?
11. Чи можна в інфрачервоний приціл бачити ціль у приміщенні за зачиненим вікном?

### Список літератури

1. Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / А.В.Фирсов; под ред. Т.И.Трофимовой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 352 с. (§§ 189-191)
2. Жданов Л.С. Физика для средних специальных учебных заведений: Учеб. / Л.С.Жданов, Г.Л.Жданов – 5-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 512 с. (§§ 34.5-34.16)