

25.09.2023

Група 34

Фізика і астрономія

Урок 15-16

Тема: Атомна та ядерна фізика. Формула Планка. Світлові кванти

Мета:

- Повторити теоретичний матеріал; узагальнити, систематизувати та поглибити знання учнів із теми; застосувати знання з фізики під час розв'язування прикладних задач; формувати уяву про процеси у природі;
- розвивати в учнів пізнавальний інтерес, уміння використовувати набуті знання, навички й уміння в нових ситуаціях; підвищити інтерес до вивчення фізики та астрономії; розвивати абстрактне та логічне мислення;
- виховувати у учнів повагу та зацікавленість до вивчення фізики та астрономії, старанність у навчанні; сприяти розширенню кругозору учнів.

Матеріали до уроку:



«...Ми знаємо, що світло — це хвильовий рух. Сумніватися в цих фактах більше неможливо, спростовувати ці погляди незбагненно для фізика...» — писав у 1889 р. Г. Герц. Наприкінці XIX ст. фізики не мали сумнівів у тому, що світло — це хвиля. Проте ми знаємо, що світло — це одночасно і хвиля, і частинка. А як зароджувалася наука про частинки світла? Які властивості мають ці частинки?

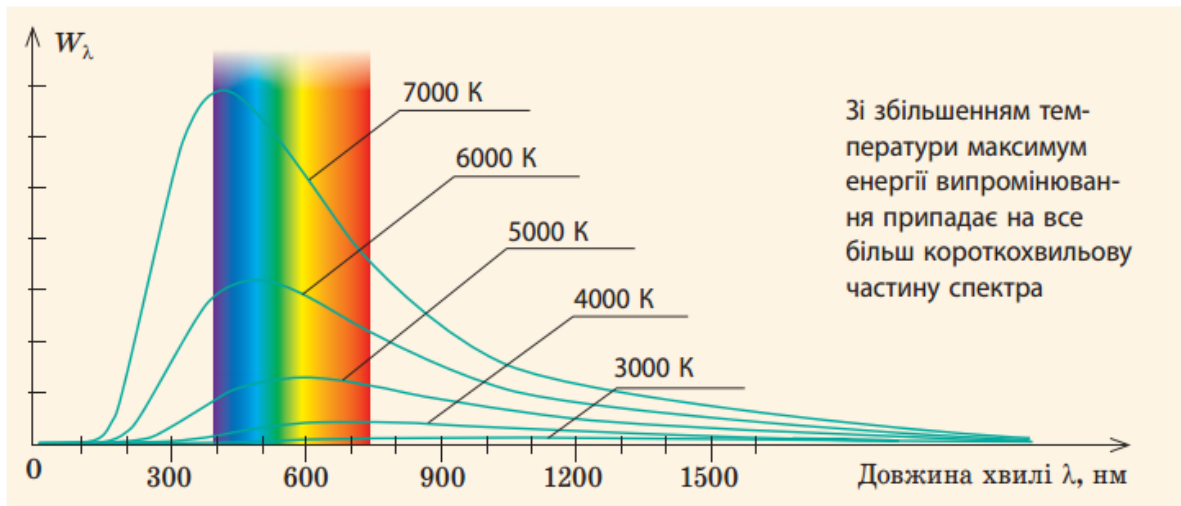
1 Зародження квантової теорії

Зародження квантової теорії пов'язане з установленням закономірностей випромінювання *абсолютно чорного тіла*.

Абсолютно чорне тіло — це фізична модель тіла, яке повністю поглинає будь-яке випромінювання, що падає на нього.

Незважаючи на назву, абсолютно чорне тіло може випромінювати світло. До випромінювання абсолютно чорного тіла близьке випромінювання багаття, нитки розжарення лампи, випромінювання більшості зір тощо. Спектр випромінювання абсолютно чорного тіла залежить лише від його температури. Експериментальні дослідження показали, що розподіл енергії випромінювання залежно від довжини хвилі має вигляд низки кривих (рис. 33.1). Але всі спроби вчених одержати універсальну формулу цієї залежності зазнавали поразки.

Восени 1900 р., зіставивши всі відомі на той час результати досліджень, німецький фізик *Макс Планк* (рис. 33.2) нарешті встановив формулу, яка повністю відповідала експериментальним кривим. Точніше, вчений цю формулу просто вгадав, він так і не зміг її вивести, спираючись на закони класичної електродинаміки Максвелла. Тому Планк був *змушений висунути гіпотезу, яка суперечила класичним уявленням про природу світла*.



Зі збільшенням температури максимум енергії випромінювання припадає на все більш короткохвильову частину спектра

Рис. 33.1. Залежність енергії W_λ електромагнітних хвиль, випромінюваних за 1 с з одиниці площі поверхні абсолютно чорного тіла, від довжини λ хвилі. Графік показує, яка частина всієї енергії випромінювання припадає на хвилі певної довжини



Рис. 33.2. Макс Карл Ернст Людвіг Планк (1858–1947) — видатний німецький фізик-теоретик, засновник квантової теорії — сучасної теорії руху, взаємодії та взаємних перетворень мікроскопічних частинок

Гіпотеза Планка:

Випромінювання електромагнітних хвиль атомами і молекулами речовини відбувається не безперервно, а дискретно, тобто окремими порціями, енергія E кожної з яких прямо пропорційна частоті ν випромінювання:

$$E = h\nu,$$

де h — стала величина.

Згодом «порції енергії» стали називати *квантами енергії*, а сталу h — *сталою Планка*. За сучасними даними, стала Планка дорівнює:

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

2 Знайомимось із властивостями фотонів

Щоб якось «примиритися» з класичними уявленнями про електромагнітну природу світла, М. Планк спочатку вирішив, що світло тільки випромінюється квантами, а поширюється й поглинається безперервно. Ситуація докорінно змінилася, коли *Альберт Ейнштейн* (1879–1955) розглянув властивості теплового випромінювання по-новому.

Використавши аналогію між відомими формулами для ідеального газу, Ейнштейн довів, що монохроматичне випромінювання малої густини поводить себе так, ніби складається з N «незалежних один від одного квантів енергії», кожний з яких має енергію $h\nu$. Урешті-решт Ейнштейн дійшов висновку, що річ не просто у квантах енергії, а в реальних частинках, з яких складається будь-яке електромагнітне випромінювання. Згодом частинки світла (*кванти світла*) стали називати **фотонами**.

Згідно із сучасними уявленнями, **фотони мають такі властивості**.

1. **Заряд фотона дорівнює нулю:** $q = 0$ — фотон є електрично нейтральною частинкою.
2. **Маса фотона дорівнює нулю:** $m = 0$ — фотон є безмасовою частинкою.
3. **Швидкість руху фотона** не залежить від вибору системи відліку, **завжди дорівнює швидкості поширення світла у вакуумі** ($v_\phi = c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$) і пов'язана з частотою і довжиною відповідної світлової хвилі **формулою хвилі:** $c = \lambda\nu$.

Фотон є безмасовою частинкою, проте світло в цілому (як потік фотонів) має масу. Так, для системи двох фотонів, які мають однакову енергію ($E = h\nu$) і летять під кутом θ один до одного, маса системи визначається співвідношенням:

$$M = \frac{2E}{c^2} \sin \frac{\theta}{2}.$$

Цей результат може здатися дивним, адже маса кожного фотона дорівнює нулю, а $0 + 0 = 0$. Але річ у тім, що відповідно до законів теорії відносності маса не є адитивною величиною, тобто повна маса системи тіл не дорівнює сумі мас тіл, що утворюють цю систему.

Зверніть увагу! Не слід плутати швидкість поширення світлової хвилі в речовині зі швидкістю руху фотона. Фотони в речовині рухаються від атома до атома, поглинаються ними і знову випромінюються.

4. *Енергія фотона* прямо пропорційна частоті електромагнітного випромінювання, квантом якого і є цей фотон: $E = h\nu$. У разі поглинання світла речовиною фотон передає всю енергію частинкам речовини.

5. *Імпульс фотона* дорівнює відношенню його енергії до швидкості руху та обернено пропорційний довжині хвилі фотона:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

6. *Фотони випромінюються* в разі переходу частинок речовини зі збудженого стану в стан із меншою енергією, в разі прискореного руху заряджених частинок, розпаду деяких частинок, анігіляції.

Наведені властивості фотонів були встановлені не відразу. На початку ХХ ст. навіть ідея існування частинок світла зустрічала різке неприйняття. Адже інтерференція і дифракція світла показували, що світло — це хвилі. Через 50 років після появи гіпотези М. Планка, коли існування фотонів уже не викликало сумнівів, А. Ейнштейн писав: «...після 50 років роздумів я так і не зміг наблизитися до відповіді на питання, що ж таке світловий квант».

Домашнє завдання: дати відповіді на запитання (у зошиті):

- 1) Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнатись, яка чутливість сітківки ока до жовтого світла? Яка до монохроматичного світла різних кольорів?
- 2) Які властивості фотонів суперечать вашим уявленням про навколишній світ? Опишіть свою думку та аргументуйте.

Зворотній зв'язок:

E-mail t.anastasia.igorivna@gmail.com