

Під час вивчення класифікації елементарних частинок слід акцентувати увагу студентів на тому, що довжина вільного пробігу є теж характеристикою частинок. Адрони затримуються залізною плитою товщиною порядку декількох десятків сантиметрів, а нейтрино проходить вільно таку плиту у декілька мільярдів сантиметрів.

Інтенсивність слабкої взаємодії швидко зростає із збільшенням енергії. На відстанях менших за 10^{-16} см, що складає комптонівську довжину дебройлівської довжини хвилі проміжних бозонів, слабка та електромагнітна взаємодії мають одну й ту ж інтенсивність [2, с. 693].

Процес парного народження Λ^0 -гіперона і K^0 -мезона на протоні у рідинно-водневій пузирьковій камері під дією π^- -мезона: $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$ ми пропонуємо подати студентам у вигляді схеми, *рис. 5*. На схемі також видно розпади $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$, $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ під дією слабкої взаємодії. У кожному процесі дивність змінюється на одиницю. Пунктирними лініями показані шляхи нейтральних частинок, які не залишають слід у камері [2, с. 124].

На *рис. 6* зображена схема народження та розпаду антигіперона у пузирьковій камері з рідким дейтерієм у магнітному полі. Антигіперон $\bar{\Omega}$ народжується у точці 1 у реакції $K^+ + d \rightarrow \bar{\Omega} + \Lambda^0 + p + \pi^+$.

Згідно закону збереження баріонного заряду B у сильній взаємодії з дивністю S , народження антибаріона $\bar{\Omega}$ ($B=-1$) на дейтроні ($B=+2$) супроводжується народженням трьох баріонів: Λ^0 , Λ^0 , p (у початковому стані $S=1$). Розпади частинок, що утворились проходять результати слабкої взаємодії із зміною S на одиницю. Один Λ^0 розпадається у точці 2 на p і π^- , а другий Λ^0 виходить із камери, не встигнувши розпастись (на *рис.* не показано, але підтверджуються законом збереження енергії та імпульсу). Античастинка $\bar{\Omega}$ розпадається у точці 3 на антілямбда-гіперон $\bar{\Lambda}^0$ і K^+ , а $\bar{\Lambda}^0$ розпадається у точці 4 на \bar{p} і π^+ . Антипротон \bar{p} у точці 5 анігілює з протоном і утворює декілька π -мезонів [2, с. 124].

Як показали результати педагогічного експерименту рівень засвоєння знань з квантової фізики студентами педагогічних вищих навчальних закладів значно зріс з використанням наведених вище наочних схем.

Список використаних джерел:

1. Акоста В. Основы современной физики / В. Акоста, К. Кован, Б. Грэм ; [пер. с англ. В.В. Толмачова, В.Ф. Три-

фонова] ; под ред. А.Н. Матвеева. – М. : Просвещение, 1981. – 495 с.

2. Физический энциклопедический словарь / [гл. ред. А.М. Прохоров ; ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов и др.]. – М. : Советская энциклопедия, 1983. – 928 с.

The methods of model image of elementary particles which are instrumental in the increase of scientific character of teaching of quantum physics are offered in this article.

Key words: design, elementary particles, interconversions of elementary particles, teaching of quantum physics.

Отримано: 12.07.2009

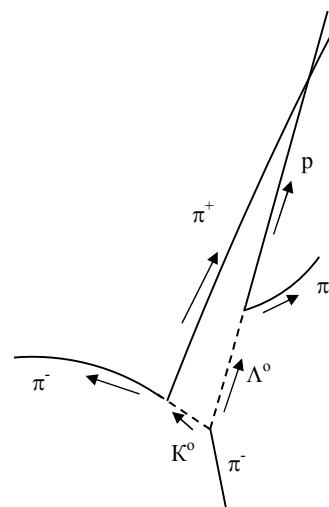


Рис. 5. Схематичне зображення парного народження Λ^0 -гіперона та K^0 -мезона

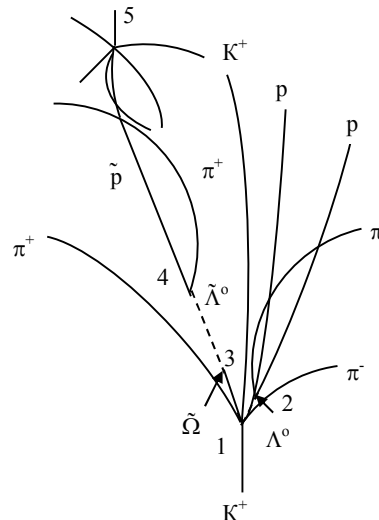


Рис. 6. Схематичне зображення народження і розпаду антигіперона

УДК 537.86

Б. А. Сусь¹, Б. Б. Сусь²

¹Національний технічний університет України «КПІ»
²Київський національний університет ім. Тараса Шевченка

МЕТОДИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТРАКТУВАННЯ ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ ПРИ ПОШИРЕННІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ

В роботі показано, що у фотоні, який являє собою частинку, що коливається, відбуваються коливання з перетворенням маси в енергію поля і навпаки у відповідності з формулою $W = mc^2$. Однак, оскільки зміна маси призводить до зміни механічного імпульсу (кількості руху), виконання закону збереження імпульсу за таких умов забезпечується завдяки тому, що механічний імпульс фотона $m\vec{c}$ при зміні маси перетворюється в електромагнітний імпульс (і навпаки).

Ключові слова: фотон, імпульс, електромагнітний імпульс, закон збереження.

Постановка проблеми. Світло має двоїсту природу – хвильову і квантову [1–4]. Незаперечним підтвердженням хвильових властивостей є явища інтерференції та дифракції. За сучасними уявленнями [1–4] світло є електромагнітною хвилею і являє собою коливання векторів напруженостей електричного \vec{E} і магнітного \vec{H} полів (*рис. 1*).

Зауважимо, що коливання векторів \vec{E} і \vec{H} , згідно з теорією електромагнітних хвиль Максвелла, відбуваються з однаковою фазою:

$$E = E_m \cos(\omega t - kx + \psi),$$

$$H = H_m \cos(\omega t - kx + \psi).$$

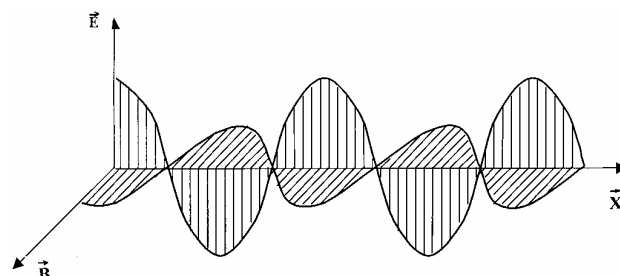


Рис. 1.

Це важливо для підходу до аналізу електромагнітних хвиль з точки зору закону збереження енергії. Оскільки електричне і магнітне поля мають енергію, перенесення якої характеризується вектором Умова-Пойнтінга $\vec{P} = [\vec{E}\vec{H}]$, то коливання E і H означає, що енергія при поширенні хвилі також коливається. Однак тоді виникає питання про те, **у що перетворюється енергія при її зміні**. Обґрунтованою може бути відповідь, що відбувається процес перетворення електромагнітної енергії $W = W_E + W_H$ у масу фотона, і навпаки, маси фотона – в електромагнітну енергію у відповідності зі співвідношенням $\Delta W = c^2 \Delta m$ [5]. Таким чином відбувається поширення електромагнітної хвилі і переміщення енергії в просторі.

З точки зору квантової теорії світло являє собою потік частинок – фотонів, які мають релятивістську (динамічну) масу і рухаються зі швидкістю $c = 300000$ км/с, отже, мають імпульс $\vec{p} = m\vec{c}$. Завдяки наявності імпульсу фотонів світло чинить тиск на речовину, на яку воно падає, що є одним з підтверджень корпускулярних властивостей світла. Наприклад, відомий дослід з вітрячком, у якому пластинки з одного боку чорні, а з іншого – блискучі. Такий вітрячок при попаданні на нього світлового потоку крутиться, оскільки зміна імпульсу фотонів при відбиванні від блискучої поверхні вдвічі більша, ніж при поглинанні зачорненою поверхнею. Підтвердженням корпускулярних властивостей фотонів є також фотоэффект і особливо дослід Боте, який переконливо показав, що фотон випромінюється не як хвиля в усі сторони одночасно, а як частинка лише в одному напрямку [5].

Як показано в роботі [6], фотони є особливими частинками і їх особливість як частинок в тому, що вони перебувають у **внутрішньому колівальному стані**, при якому відбувається перехід із стану поля в стан речовини, тобто із стану енергії в стан маси у відповідності із співвідношенням $\Delta W = c^2 \Delta m$. Таким чином можна легко і несуперечливо пояснити хвильові і корпускулярні властивості світла, поширення хвильового процесу у просторі. Однак при цьому виникає **проблема: оскільки маса фотона в процесі переміщення змінюється, то повинен змінюватися також імпульс**, що потребує пояснення з точки зору закону збереження імпульсу.

Розгляд проблеми. Ще з досліджень Томсона на початку минулого століття відомо, що крім механічного імпульсу (кількості руху), електромагнітне поле має електромагнітний імпульс. відомо ще. Тобто Томсон наділяв імпульсом саме електромагнітне поле. Він вважав, що електромагнітний імпульс настільки ж реальний, як і механічний, який обумовлений наявністю маси: “Важливо пам’ятати, що ця кількість руху ні в якому відношенні не відрізняється від звичайної механічної кількості руху і може бути додана чи віднята від кількості руху тіл, що рухаються” [7].

Електромагнітний імпульс проявляється при взаємодії світла з речовиною, і це також є причиною виникнення тиску світла. Під дією вектора напруженості електричної складової \vec{E} хвилі (фотона) електрони зміщуються у напрямку, перпендикулярному до променя. Це обумовлює появу швидкості електрона, яка напрямлена перпендикулярно до магнітної складової \vec{H} хвилі (фотона), і силу Лоренца, що діє в напрямку променя і спричинює тиск світла.

Тому цілком логічним буде вважати, що при поширенні електромагнітної хвилі (світла) відбуваються взаємні перетворення механічного – пов’язаного з масою, і елект-

ромагнітного імпульсів. Зміна напруженості електричного поля у світловій хвилі призводить до зміни електромагнітного імпульсу. Однак при зміні напруженості поля змінюється енергія, а значить і маса фотона. Наприклад, зменшення напруженості поля супроводжується зменшенням енергії, а зменшення енергії дає зростання маси і, відповідно, збільшення механічного імпульсу. Отже, зменшення електромагнітного імпульсу супроводжується збільшенням механічного імпульсу (і навпаки). Це й обумовлює збереження загального імпульсу.

Висновки. Розглядаючи електромагнітну хвилю як коливання векторів електричного поля \vec{E} і магнітного поля \vec{H} , приходимо до висновку, що з квантової точки зору електромагнітна хвиля являє собою потік фотонів як особливих частинок світла – частинок, що коливаються. Оскільки густина енергії виражається через вектори \vec{E} і \vec{H} , які коливаються за гармонічним законом, повинні відбуватися також коливання енергії. Вектори \vec{E} і \vec{H} коливаються з однаковими фазами, тому не може бути взаємного перетворення енергії магнітного поля в електричне і навпаки, як це спостерігається в колівальному контурі. Виконання закону збереження енергії за таких умов можливе за рахунок зміни маси у відповідності з формулою $W = m c^2$, тому при коливаннях фотона можливе перетворення енергії в масу. Однак, зміна маси призводить до зміни механічного імпульсу (кількості руху). Виконання закону збереження імпульсу за таких умов забезпечується завдяки тому, що механічний імпульс фотона mc при зміні маси перетворюється в електромагнітний імпульс (і навпаки).

Список використаних джерел:

1. Сивухин Д.В. Курс общей физики. Оптика. – М.: Наука, 1985. – С. 37.
2. Бутиков Е.И. Оптика. – М.: ВШ, 1986. – С. 12.
3. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – С. 665, 874.
4. Савельев И.В. Курс общей физики, т. 2. – М.: Наука, 1978.
5. Сусь Б.А., Коломоєць В.В., Шут М.І., Сусь Б.Б. Проблемний підхід при розгляді питання двоїстості природи світла // Збірник наукових праць Уманського державного пед. університету. – К.: Науковий світ, 2003. – С. 294-300.
6. Сусь Б.А. Сучасний погляд на проблему двоїстості природи світла // Проблеми інженерно-педагогічної освіти: збірник наукових праць Української інженерно-педагогічної академії. – Харків: УІПА, 2004, № 7. – С. 133-136.
7. Дж. Томсон. Электричество и материя. – М.: ГИЗ, 1928. – С. 21.

In work it is shown that in a photon which represents a part which fluctuates, there are fluctuations to transformation of mass into energy of a field and on the contrary according to formula $W = mc^2$. However, as mass change leads to change of a mechanical impulse (quantity of movement), performance of the law of conservation of impulse is under such circumstances provided due to that the mechanical impulse of a photon mc at mass change turns to an electromagnetic impulse (and on the contrary).

Key words: photon, impulse, electromagnetic impulse, that law of conservation.

Отримано: 28.08.2009