

лише як доповнення реального навчального експерименту, а не його заміна. Доцільне поєднання реального експерименту і комп'ютера для забезпечення більш глибокого дослідження перебігу явищ, зокрема, через розширення меж зміни параметрів через комп'ютерне моделювання.

Наприклад, у процесі реального експерименту процес досліджується за значень напруги в межах до 4-х вольт (за наявності комплексу нових лабораторних джерел живлення – до 12 вольт). Продовження дослідження через віртуальний експеримент дозволяє значно розширити межі значень фізичних величин. Завдання експериментальної перевірки правил послідовного і паралельного з'єднання споживачів доцільно розширити в плані збільшення кількості споживачів, з'єднаних і послідовно і паралельно, а, відповідно, й одночасне вимірювання сили струму і напруги на окремих ділянках, що дуже важко забезпечити для реального експерименту, організація проведення якого згідно навчальних програм здійснюється в формі фронтальної лабораторної роботи. Для забезпечення виконання роботи п'ятнадцятьма ланками необхідно мати мінімум 30, а краще 60 лабораторних вольтметрів і 45 лабораторних амперметрів. Відповідні приклади організації і виконання експериментальних завдань детальніше наведені в публікації [4].

Для підвищення ефективності реалізації дидактичного потенціалу комп'ютера розробляються інтерфейси – пристрої-перетворювачі аналогових сигналів на дискретні і, навпаки, для сполучення комп'ютера з приєднаним до нього лабораторним обладнанням. За висновком В. Г. Разумовського [5], це дає змогу учню формулювати гіпотезу про досліджувану закономірність і підтверджувати або спростовувати її на основі спостережуваних результатів. У такий спосіб процес повідомлення готових знань та їх дослідна

перевірка замінюються експериментально-дослідницькою діяльністю, що сприяє можливості самостійного відкриття учню. На жаль, проблема належного і повного забезпечення шкіл комплектами датчиків є практично не вирішеною.

З використанням комп'ютера підвищується інтерес учнів до навчання фізики, максимально використовуються психофізичні та інтелектуальні ресурси особистості школяра, розвивається творчий потенціал, розширюється кругозір, здійснюється зв'язок теорії з практикою. Але використання лише комп'ютера не може замінити справжню фізичну лабораторію, в якій учні можуть з успіхом і старанням виконувати практичні і експериментальні завдання з використанням приладів, моделей, пристосувань.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Жук О.О. Фізичний експеримент на екрані комп'ютера / Жук О.О. // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. – Чернігів : ЧДПУ, 2000. - №3. – С. 217-220.
2. Калапуша Л.Р. Дидактичні можливості комп'ютерного моделювання у вивченні фізики / Калапуша Л.Р., Муляр В.П. // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. – Чернігів: ЧДПУ, 2000 - №3. – С. 64-66.
3. Ментова Н. О. Інтегративний підхід до змісту лабораторних робіт / Ментова Н. О. // Фізика. Нові технології навчання : зб. наук. праць студентів і молодих науковців. – Кіровоград : РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2007. – Вип. 5. – С. 122–127.
4. П'яних І. М. Використання комп'ютерних технологій при виконанні лабораторних робіт з фізики / П'яних І. М. // Фізика та астрономія в школі. – 2008. – №5–6. – С. 11–13.
5. Разумовский В. Г. ЭВМ и школа : науч.-пед. обеспечение / Разумовский В. Г. // Советская педагогика. – 1985. – № 9. – С. 12–16.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Ментова Наталія Олександрівна – кандидат педагогічних наук, викладач Первомайського філіалу Одеського державного університету ім. І. Мечникова.

Наукові інтереси: використання ІКТ у навчальному процесі з фізики.

ЕФЕКТ КОМПТОНА У КУРСІ ФІЗИКИ ВНЗ

Іван МОРОЗ, Володимир ІВАНІЙ, Роман ХОЛОДОВ

У статті аналізується ефект Комптона і робиться спроба суттєво розширити можливість евристичної його ролі для фізики у доведенні квантових властивостей електромагнітного випромінювання.

In the article an effect is analysed fruit Compton and given it a shot substantially rozshiri possibility of his heuristic role for physics in leading to of quantum properties of electromagnetic radiation.

Зазвичай ефект Комптона при вивченні фізики у вищих початкових закладах

розглядається як один із найбільш вагомих дослідних фактів, який підтверджує квантові властивості електромагнітного випромінювання і це є дійсно так. Але, на наш погляд, вивчення даного ефекту лише під таким кутом зору суттєво звужує його евристичну роль у фізиці. Для того щоб у цьому впевнитись, потрібно детально розглянути кінематику пружного зіткнення двох релятивістських частинок - це

випадає, коли дві частинки після взаємодії не змінюють свої внутрішні властивості.

Нехай дано дві частинки з масами m_1 і m_2 . Будемо використовувати позначення: $\vec{p}_{10}, \vec{p}_{20}$ - імпульси першої і другої частинки до зіткнення, \vec{p}_1 і \vec{p}_2 - імпульси частинок після зіткнення. Для простоти у лабораторній системі відліку розглянемо випадок, що друга частинка до зіткнення нерухома, тобто $\vec{p}_{20} = 0$. На рис.1 наведено схематичне зображення процесу зіткнення, де кут θ_1 - кут відхилення, θ_2 - кут віддачі.

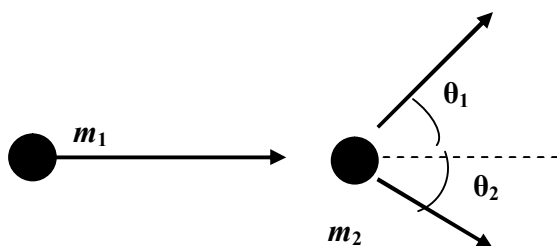


Рис. 1. Схематичне зображення зіткнення двох частинок

Одержимо вираз для кутів θ_1, θ_2 як функції енергій та імпульсів частинок. Для цього найпростіше використовувати коваріантну 4-х вимірну форму запису законів збереження енергії та імпульсу в рамках спеціальної теорії відносності (СТВ).

Закон збереження 4-імпульсу, в контраваріантній (індекс вгорі) і коваріантній (індекс вниз) формах відповідно, має вигляд [1]:

$$\begin{cases} p_{10}^i + p_{20}^i = p_1^i + p_2^i \\ p_{10i} + p_{20i} = p_{1i} + p_{2i} \end{cases} \quad (1)$$

Виразимо звідси контра і коваріантні 4-імпульси другої частинки після зіткнення і, перемножимо їх, одержимо:

$$\begin{aligned} p_2^i &= p_{10}^i + p_{20}^i - p_1^i, \\ p_{2i} &= p_{10i} + p_{20i} - p_{1i} \\ p_2^i p_{2i} &= p_{10}^i p_{10i} + p_{20}^i p_{20i} + p_1^i p_{1i} + \\ &+ 2p_{10}^i p_{20i} - 2p_{10}^i p_{1i} - 2p_{20}^i p_{2i}. \end{aligned}$$

З урахуванням співвідношення $p_i p^i = m^2 c^2$ [1], цей вираз набуде вигляду:

$$\begin{aligned} m_2^2 c^2 &= m_1^2 c^2 + m_2^2 c^2 + m_1^2 c^2 + \\ &+ 2p_{10}^i p_{20i} - 2p_{10}^i p_{1i} - 2p_{20}^i p_{2i}, \\ &\text{звідки випливає} \\ m_1^2 c^2 + p_{10}^i p_{20i} - p_{10}^i p_{1i} - \\ - p_{20}^i p_{2i} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Якщо у законі збереження (1) виділити контра і коваріантні 4-імпульси першої частинки і їх перемножити, то після аналогічних дій можна знайти

$$\begin{aligned} m_2^2 c^2 + p_{10}^i p_{20i} - p_{10}^i p_{2i} - \\ - p_{20}^i p_{2i} &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Знайдемо окремі доданки виразів (2) і (3), враховуючи означення скалярного добутку 4-векторів [1]:

$$A^i B_i = A^0 B^0 - \vec{A} \vec{B}.$$

Скористаємось також тим, що імпульси частинок, що зіштовхуються, $\vec{p}_{10}, \vec{p}_1, \vec{p}_2$ у лабораторній системі відліку розташовані так, як зображено на рис. 2, і до зіткнення $\vec{p}_{20} = 0, \varepsilon_{20} = m_2 c^2$. Тоді шукані доданки матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} p_{10}^i p_{20i} &= \frac{1}{c^2} \varepsilon_{10} \varepsilon_{20} - \vec{p}_{10} \vec{p}_{20} = \varepsilon_{10} m_2, \\ p_1^i p_{20i} &= \frac{1}{c^2} \varepsilon_1 \varepsilon_{20} - \vec{p}_1 \vec{p}_{20} = \varepsilon_1 m_2, \\ p_2^i p_{20i} &= \frac{1}{c^2} \varepsilon_2 \varepsilon_{20} - \vec{p}_2 \vec{p}_{20} = \varepsilon_2 m_2, \\ p_{10}^i p_{1i} &= \frac{1}{c^2} \varepsilon_{10} \varepsilon_1 - \vec{p}_{10} \vec{p}_1 = \\ &= \frac{1}{c^2} \varepsilon_{10} \varepsilon_1 - |\vec{p}_{10}| |\vec{p}_1| \cos \theta_1, \\ p_{10}^i p_{2i} &= \frac{1}{c^2} \varepsilon_{10} \varepsilon_2 - \vec{p}_{10} \vec{p}_2 = \\ &= \frac{1}{c^2} \varepsilon_{10} \varepsilon_2 - |\vec{p}_{10}| |\vec{p}_2| \cos \theta_2. \end{aligned}$$

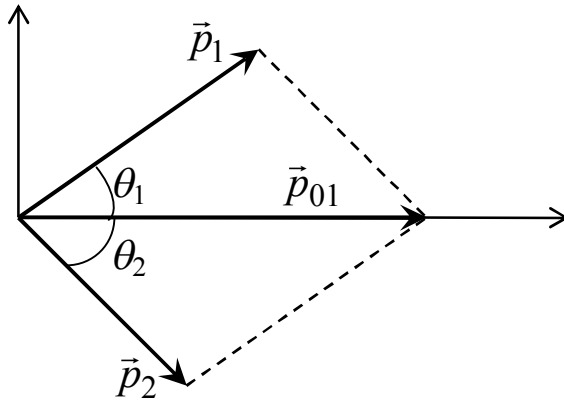


Рис. 2. Імпульси частинок, що зіштовхуються, у лабораторній системі відліку

Підставляючи ці доданки у співвідношення (2) і (3), знайдемо:

$$m_1^2 c^2 + \varepsilon_{10} m_2 - \frac{1}{c^2} \varepsilon_{10} \varepsilon_1 +$$

$$+ |\vec{p}_{10} \parallel \vec{p}_1| \cos \theta_1 - \varepsilon_1 m_2 = 0,$$

$$m_2^2 c^2 + \varepsilon_{10} m_2 - \frac{1}{c^2} \varepsilon_{10} \varepsilon_2 +$$

$$+ |\vec{p}_{10} \parallel \vec{p}_2| \cos \theta_2 - \varepsilon_2 m_2 = 0,$$

Звідки для кутів θ_1, θ_2 одержуємо шукані вирази:

$$\cos \theta_1 = \frac{\varepsilon_1 m_2 + \varepsilon_1 \varepsilon_{10} / c^2 - \varepsilon_{10} m_2 - m_1^2 c^2}{|\vec{p}_{10} \parallel \vec{p}_1|}, (4)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{\varepsilon_2 m_2 + \varepsilon_2 \varepsilon_{10} / c^2 - \varepsilon_{10} m_2 - m_2^2 c^2}{|\vec{p}_{10} \parallel \vec{p}_2|}$$

Ефект Комптона (комптон-ефект) – це пружне розсіяння електромагнітного випромінювання на вільних зарядах (заряджених частинках), яке супроводжується зменшенням частоти електромагнітної хвилі. Вперше цей ефект спостерігався американським фізиком А. Комптоном у 1922 році при дослідженні розсіяння рентгенівських променів у парафіні. В комптон-ефекті вперше проявились корпускулярні властивості випромінювання.

Нескладно побачити, що цей ефект є наслідком законів збереження релятивістської енергії та імпульсу. Для його отримання досить використовувати формули (4,5), якщо при цьому врахувати, що фотон – безмасова частинка, імпульс якої та енергія пов'язані

співвідношенням $p = \frac{\varepsilon_\delta}{c} = \frac{h\nu}{c}$. Таким

чином, задача про розсіяння електромагнітної хвилі на заряді (зарядженій частинці) фактично зводиться до задачі зіткнення фотона (як частинки) з іншою нерухомою зарядженою частинкою.

Нехай для визначеності першою частинкою буде налітаючий фотон, а другою – нерухомий електрон. Маси частинок дорівнюють

$$m_1 = 0, \quad m_2 = m_e.$$

Імпульси фотона до і після зіткнення виражаються через його енергії за формулами:

$$p_{10} = \varepsilon_{10} / c, \quad p_1 = \varepsilon_1 / c.$$

З урахуванням цих співвідношень вираз для косинуса кута відхилення першої частинки (4) можна привести до наступного вигляду:

$$\cos \theta = \frac{m_e c^2 \varepsilon_1 + \varepsilon_1 \varepsilon_{10} - m_e c^2 \varepsilon_{10}}{\varepsilon_1 \varepsilon_{10}}$$

$$= 1 + m_e c^2 \left(\frac{1}{\varepsilon_{10}} - \frac{1}{\varepsilon_1} \right),$$

де θ – кут відхилення фотона від первинного напрямку руху, який в теорії розповсюдження електромагнітних хвиль називають *кутом розсіяння електромагнітної хвилі*.

Виразимо із цього співвідношення енергію фотона після зіткнення:

$$\frac{m_e c^2}{\varepsilon_1} = 1 - \cos \theta + \frac{m_e c^2}{\varepsilon_{10}} \rightarrow$$

$$\rightarrow \varepsilon_1 = \frac{m_e c^2}{1 - \cos \theta + \frac{m_e c^2}{\varepsilon_{10}}}, (5)$$

або остаточно

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_{10}}{1 + \frac{\varepsilon_{10}}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}. (6)$$

Із знайденого виразу нескладно одержати закон зміни частоти хвилі в процесі розсіяння на електроні.

Дійсно, якщо врахувати зв'язок енергії і частоти хвилі $\varepsilon_\delta = \hbar \omega$, то із (6) одержимо:

$$\omega = \frac{\omega_0}{1 + \frac{\hbar\omega_0}{m_e c^2} (1 - \cos\theta)}, \quad (7)$$

де ω , ω_0 – циклічна частота хвилі до і після розсіяння відповідно. Відзначимо, що наявність у цій формулі двох фундаментальних констант \hbar і c свідчить про те, що ефект Комптона є ефектом суто квантовим і релятивістським.

Знайдений закон зміни частоти часто записують у наступному вигляді

$$\omega = \frac{\omega_0}{1 + \frac{\lambda_c}{\lambda_0} (1 - \cos\theta)}, \quad (8)$$

де введено позначення: $\lambda_0 = c / \omega_0$ – довжина початкової хвилі, а

$$\lambda_c = \hbar / m_e c \quad (9)$$

– комптонівська довжина хвилі електрона, $\lambda \equiv \lambda / 2\pi$.

Із співвідношення (8) випливає, що у загальному випадку частота хвилі ω після розсіяння на нерухомій зарядженій частинці виявляється завжди меншою початкової частоти, у чому і полягає сутність ефекту Комптона. Фізика цього ефекту дуже проста. Фотон при зіткненні з нерухомим електроном частину своєї енергії віддає електрону. В результаті енергія фотона після зіткнення завжди менша початкового її значення.

Отже, враховуючи співвідношення $\varepsilon_\phi = \hbar\omega$, ω завжди менша ω_0 . Аналогічні міркування приводять до явища, яке називається *зворотний Комптон ефект* – збільшення частоти хвилі при розсіянні на

рухомому заряді. Цей ефект має місце, якщо фотон зіштовхується з електроном, який рухається йому назустріч. У цьому випадку можна підібрати умови, коли уже електрон при зіткненні передаватиме частину своєї енергії фотону.

Відзначимо, що якщо довжина електромагнітної хвилі набагато більша за комптонівську довжину хвилі електрона

$$\lambda_0 \gg \lambda_c, \quad (10)$$

то у виразі (8) другим доданком у знаменнику можна знехтувати і одержати

$$\omega = \omega_0. \quad (0.1)$$

В результаті ми дійшли до відомого в класичній електродинаміці результату (так зване *томсонівське розсіяння*) – довжина хвилі класичної електромагнітної хвилі при розсіянні на вільному заряді не змінюється.

Таким чином, при вивченні ефекту Комптона доцільно не лише акцентувати його роль у доведенні квантових властивостей електромагнітного випромінювання, але й розглядати його як прекрасну ілюстрацію застосування законів збереження та релятивістських властивостей частинок для аналізу фізичних явищ.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Мороз І.А., Іваній В.С., Холодов Р.І. Основи спеціальної теорії відносності.-Суми: СУМГПИ, 1907, с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ:

Мороз Іван Олексійович – завідувач кафедри теоретичної фізики Сумського державного педагогічного університету ім. А.С.Макаренка.

Іваній Володимир Степанович – завідувач кафедри загальної фізики Сумського державного педагогічного університету ім. А.С.Макаренка.

Холодов Роман Іванович - викладач Сумського державного педагогічного університету ім. А.С.Макаренка.

Наукові інтереси: проблеми методики навчання фізики у ВНЗ.

МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ АЛГЕБРАЇЧНИХ ЗАДАЧ, ЇХ РОЛЬ ТА МІСЦЕ У НАВЧАННІ АЛГЕБРИ

Марина НАК

Обґрунтована необхідність систематичного та цілеспрямованого вивчення методів і способів розв'язування алгебраїчних задач у шкільному курсі алгебри. Процес навчання повинен включати вивчення алгоритму чи правила-орієнтиру методу (способу) та операційного складу як теоретичної основи методу.

Well-founded necessity of systematic and purposeful study of methods of untangling of algebraic problems in the school course of algebra. The process of studies must include the study of algorithm or rule-reference point of method and operating composition as theoretical basis of method.

У навчанні математики задачі мають велике і різноманітне значення. Розв'язуючи алгебраїчну задачу, учень пізнає багато нового: знайомиться з новою ситуацією, описаною в задачі, із застосуванням математичної теорії до її розв'язання, пізнає новий метод розв'язування чи нові теоретичні розділи алгебри, необхідні для розв'язання задачі і т.д. Іншими словами, при розв'язуванні