

3. Давыдов В.В. Виды обобщений в обучении. – М.: Педагогика, 1972.-423 с.
4. Якиманская И.С. Знание и мышление школьника. – М.: Знание, 1985. – 80 с.
5. Кабанова-Меллер Е.Н. Психология формирования знаний и навыков у школьников. – М., 1962.
6. Выготский Л.С. Избранные психологические исследования. – М., 1956. – 271 с.
7. Паламарчук В.Ф. Школа учит мыслить. – М.: Просвещение, 1987. – 208 с.
8. Колмогоров А.Н. Математика – наука и профессия. – М.: Наука, 1988. – 285 с.

Таточенко В.И.

**ДИДАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕУСПЕВАЕМОСТИ УЧАЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ
ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ**

Статья посвящена дидактическим детерминантам неуспеваемости учащихся в процессе обучения математике в средней общеобразовательной школе.

Ключевые слова: неуспеваемость, процесс обучения математике, дидактические детерминанты.

Tatochenko V. I.

**THE DIDACTIC ASPECTS OF THE FAILURE OF STUDENTS IN THE PROCESS OF
TEACHING MATHEMATICS**

The article is devoted to didactic determinants of the failure of students in the process of teaching mathematics in secondary school.

Key words: academic failure, the process of learning mathematics, didactic determinants.

УДК 53(07)

Терещук С.І.

**МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИВЧЕННЯ ДОСЛІДУ БОТЕ
У КУРСІ ФІЗИКИ СТАРШОЇ ШКОЛИ**

Актуальність матеріалу, викладеного у статті, зумовлена необхідністю перегляду та модернізації методики вивчення квантової оптики в умовах профільної школи. Це викликано, з одного боку, потребою періодичного перегляду основ наук, у зв'язку з невинним розвитком фізичної науки, і, водночас, у зв'язку з новими тенденціями та напрямками викладання фізики, пов'язані з розвитком профільної школи. У статті висунуто гіпотезу щодо удосконалення методики формування поняття “фотон”. Відповідно до висунутої гіпотези запропоновано новий підхід із формування фундаментальних понять квантової оптики та здійснено його обґрунтування на основі науково-методичного аналізу понять, що вивчаються. Наведено методичні рекомендації щодо особливостей формування понять “квант електромагнітного випромінювання” і “фотон” у контексті дослід Боте.

Ключові слова: профільна школа, квант електромагнітного поля, фотон, дослід Боте, рентгенівська флуоресценція, квантова оптика.

Програмою з фізики (профільний рівень) пропонується до вивчення дослід Боте, який має слугувати доказом існування фотонів. Нижче буде розглянуто особливості вивчення відповідних відомостей та пов'язані з цим методичні проблеми і можливі шляхи їх вирішення. Спочатку вкажемо на історію походження означеного дослід та суть фізичних процесів, покладених у його основу.

У 1925 р. Вальтер Боте (W.Bothe, 1891-1957) виконав дослід з виявлення квантів рентгенівського випромінювання. Принципова схема установки дослід зображена на рис. 1. Тонку мідну або залізну фольгу F розташовували між двома однаковими лічильниками Гейгера G_a і G_б, які незалежно один від одного були з'єднані із самопишучими пристроями а та б. Потрапляння до одного з лічильників фотону викликало його швидке спрацювання

(менш, ніж через 0,001с) і автоматичну реєстрацію відповідним пристроєм (а чи b) на рухомій смужці паперу P. У результаті цього на цій смужці з'являлась мітка (риска). Якщо лічильники, поглинаючи кванти рентгенівського випромінювання, спрацьовували одночасно, то на смужці з'являлися риси одна напроти одної. Поява мітки лише на одному краю смужки свідчила про те, що тільки один лічильник поглинув фотон.

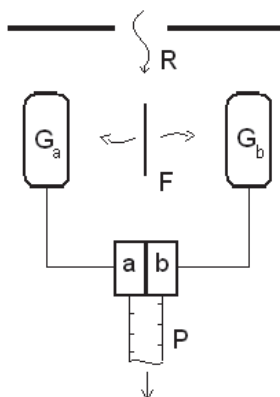


Рис. 1. Схема досліду Боте.

Під час досліду фольгу F опромінювали жорстким (короткохвильовим) рентгенівським випромінюванням R. У результаті опромінення фольги, остання ставала джерелом характеристичного випромінювання (рентгенівська флуоресценція). Тепер джерелом електромагнітних хвиль була фольга F. Поширюючись від вторинного джерела F, хвиля мала б одночасно досягти лічильників G_a і G_b . У такому разі на смужці паперу мали б з'являтися мітки одна напроти одної через певні проміжки часу (із незначними відхиленнями). Натомість проведений дослід показав, що мітки на смужці з'являлися неодноразово, тобто їх поява не співпадала у часі. Звідси робився висновок про існування фотонів – квантів електромагнітного випромінювання. Відповідно до хвильових уявлень енергія рентгенівської флуоресценції, попри її незначну величину, мала б переноситись хвилями в обидва боки до лічильників за однаковий проміжок часу, а відтак спрацювання лічильників відбувалося б майже однаково. Однак, дослід показав, що лічильники спрацьовували хаотично і незалежно одне від одного. Це відповідало квантовим уявленням: рентгенівське випромінювання поширювалося у вигляді квантів (фотонів), які виявлялися у певний момент часу випадково напрямлені до одного з лічильників. Саме цим і пояснюється неодноразове спрацювання лічильників.

Описаний вище експеримент, без сумніву, має методичну цінність як досить просте і наочне підтвердження існування квантів електромагнітної енергії. Однак, попри його методичну привабливість, існує методологічна недосконалість даного дослідження. Щоб розкрити її суть, розглянемо механізм протікання рентгенівської флуоресценції. В результаті одного елементарного акту квант $E = h\nu$ рентгенівського випромінювання повністю поглинається атомом речовини, який переходить у збуджений стан (рис. 2). Поглинання кванту речовиною означає, що ця порція енергії повністю передається одному з електронів внутрішніх оболонок (наприклад, електрону 1 з K-оболонки) збудженого атома і в результаті цього електрон 1 вибивається з атома. Утворена вакансія 1 заповнюється одним з електронів (наприклад, електроном 3 з L-оболонки), який перебуває на більшому віддаленні від атомного ядра, а відтак знаходиться у стані із більшою енергією порівняно з вакантним станом 1. Різниця цих енергій визначає енергію $E_x = E_L - E_K$ і частоту $\nu_x = \frac{E_L - E_K}{h}$ вторинного фотона, що випромінюється атомом як квант рентгенівського характеристичного випромінювання. Випускання вторинного фотона, внаслідок переходу електрона з верхніх орбітальних шарів на нижчі, називається флуоресценцією.

У досліді Боте падаюче на фольгу випромінювання, очевидно, переводить у збуджений стан випадкову групу (або групи) атомів. Інтерференція хвиль, випромінюваних цими атомами як елементарними осциляторами, може давати кутову діаграму випромінювання, що несиметрична відносно лічильників. Для абсолютної доказовості досліді Боте треба бути упевненим, що випромінює у фіксований момент часу один атом, і саме від одного атома фотони випадково потрапляють то в один, то в другий лічильник (хоча не обов'язково випромінений фотон мусить потрапити в лічильник). Однак, описана вище установка досліді, не передбачає фіксацію певного атома, тому такої впевненості немає.

Для більшої переконливості результатів досліді Боте варто навести приклади сучасного використання рентгенівської флуоресценції в науці і на виробництві. Дане явище покладено в основу роботи сучасних рентгенівських спектрометрів. Рентгенофлуоресцентна спектрометрія (загальноприйняті скорочення РФС або XRF) – метод аналізу атомарного складу речовин з метою виявлення концентрації хімічних елементів від берилію до урану у речовинах та матеріалах різного походження. В основу роботи спектрометрів покладено залежність інтенсивності рентгенівської флуоресценції (вторинного рентгенівського випромінювання) від концентрації елемента, який потрібно виявити у досліджуваному зразку. При опроміненні зразка жорстким рентгенівським випромінюванням виникає характеристичне флуоресцентне випромінювання атомів (як у досліді Боте), яке пропорційне їх концентрації у зразку. Потім, отримане флуоресцентне випромінювання розкладають у спектр, який обробляється методами математичної статистики. Це дозволяє провести кількісний та якісний аналіз складу досліджуваного зразка.



Рис. 2. Виникнення рентгенівського характеристичного випромінювання Ка лінії в результаті флуоресценції.

Розрізняють два типи спектрометрів – хвиледисперсійні (скорочено ХД або WD XRF) та енергодисперсійні (скорочено ЕД або ED XRF). У перших використовують хвильові властивості вторинного рентгенівського випромінювання: флуоресцентне випромінювання розкладається у спектр за допомогою кристалів-монокроматорів (аналізаторів) шляхом дифракції падаючих на кристал хвиль. В енергодисперсійних спектрометрах використовуються квантові властивості вторинного рентгенівського випромінювання: реєструється увесь діапазон енергій вторинного випромінювання від зразка, а виділене випромінювання потрапляє в детектор, в якому вимірюється кількість фотонів, що попадають в детектор щосекунди. На відміну від лічильника Гейгера, такий детектор працює як фотоелемент або як напівпровідниковий детектор. Робота останнього ґрунтується на іонізації всередині напівпровідника.

Рентгенофлуоресцентний аналіз використовують у наукових дослідженнях для з'ясування наявності тих чи інших хімічних елементів у речовинах і матеріалах. Особливо широке застосування даний метод отримав у дослідженнях складу мінералів і руд.

Таким чином, дослід Боте слід використовувати не як безпосередній доказ існування фотонів, а лише як одне з дослідних підтверджень існування цих частинок. Варто також звернути увагу на явище, покладене в основу даного дослідження – рентгенівську флуоресценцію. Корисно навести приклади використання даного явища в сучасній рентгенівській спектрометрії, що значно підвищить доказовість дослідження Боте і дозволить поглибити знання учнів з даного питання та переконає їх у існуванні квантів рентгенівського випромінювання.

Вивчення відомостей про фотони пов'язане із методичним та методологічними складнощами, суть яких у наступному. Поняття “фотон” має два трактування. З одного боку, фотон – це фундаментальна нейтральна безмасова частинка, відноситься до класу бозонів (має цілий спин 1), є переносником електромагнітної взаємодії. Водночас фотоном було названо квант світла (квант електромагнітного поля), що має енергію $E = h\nu$ та імпульс $p = \frac{h\nu}{c}$. Поєднання одним терміном кванту світла і частинки, пов'язано лише з тим, що

квант світла за властивостями схожий на частинку: має імпульс та енергію, рухається з певною швидкістю. Водночас фотон має властивості, яких не мають частинки: при нульовій швидкості фотон не існує, немає власної поверхні та об'єму, нелокалізований у просторі. З точки зору методології науки більш важливим у рамках квантової оптики є евристичне використання поняття “квант світла” для пояснення механізму протікання явищ, які неможливо пояснити з позицій хвильової теорії (фотоефект, ефект Комптона, люмінесценція). Загострення уваги на кванті електромагнітного випромінювання як на частинці, породжує протиріччя, викликане ненаочністю даного поняття, оскільки будь-яка частинка для учнів є класичним об'єктом – займає певний простір, локалізована в ньому, має масу, імпульс та енергію. Абстрагуючись від конкретної частинки, учень так чи інакше переносить властивості частинок на будь-які об'єкти, що відносяться до класу частинок. Тому фотон в уяві учня – частинка, яку можна уявити як кульку зі скінченними розмірами, масою та імпульсом. Особливо такому уявленню сприяли пояснення вчителя щодо маси фотона. Так, у методичній літературі [3; 4] та підручниках [1; 2] можна зустріти твердження про те, що фотон має масу. Для того, аби узгодити це із відсутністю фотона при його нульовій швидкості, вводили без належного обґрунтування поняття “динамічна маса”, “маса спокою”, “релятивістська маса”. Для пояснення походження динамічної маси, використовували зв'язок між енергією і масою тіла $E = mc^2$ (забуваючи, що дана формула стосується, по-перше, енергії спокою, а по-друге, застосовується до частинок, що мають масу). Усе це лише переконувало учнів у тому, що фотон це частинка, яка за властивостями близька до інших частинок – молекул, атомів та електронів.

Аналіз науково-методичної літератури, проведені спостереження і бесіди з учителями наштовхнули нас на припущення щодо методики формування понять “квант електромагнітного поля” та “фотон”. Для пояснення фотоефекту, тиску світла, дослід Боте достатньою і необхідною умовою буде використання лише терміна “квант світла” (“квант електромагнітного випромінювання”). На користь цього припущення можна пригадати історію успішного створення Ейнштейном теорії фотоефекту та теорії теплоємності твердих тіл. Розробляючи ці теорії, Ейнштейн оперував виключно поняттям “квант електромагнітного випромінювання”, не допускаючи думки про те, що квант це частинка. Використовуючи замість фотону квант світла, можна: а) значно зменшити інтелектуальне навантаження на учнів, пов'язане із протиріччями між класичними та квантовими уявленнями про частинки; б) уникнути плутанини із чисельними масами (динамічною, спокою, релятивістською та ін.), натомість формувати правильне уявлення про відсутність у фотона маси; в) сповна використати евристичну силу ідеї про квант світла при поясненні відповідних явищ. Лише згодом, при вивченні елементарних частинок, можна буде повернутися до поняття фотона як фундаментальної частинки, яка у фізиці високих енергій

відіграє важливу роль в обмінних процесах, покладених в основу механізму фундаментальних взаємодій. Одним з найвизначніших досягнень квантової фізики є встановлення єдності механізмів фундаментальних взаємодій, яка полягає в елементарних актах випускання і поглинання взаємодіючою частинкою іншої обмінної частинки, клас якої визначає тип взаємодії.

Таким чином, після того, як буде розглянуто механізм протікання зовнішнього фотоэффекту, утворення тиску світлом на поверхню тіл, ефекту Комптона, доцільно вводити поняття про частинку фотон, спираючись на дослід Боте. Такий підхід дозволить привести у відповідність зміст наукових понять квантової оптики зі змістом понять, що вивчаються у курсі фізики старшої школи. Наведемо методичні рекомендації щодо уведення поняття “фотон”.

Після того як учні засвоїли навчальний матеріал про фотоэффект, тиск світла, ефект Комптона, переходили до вивчення досліду Боте. Спочатку учитель проводив бесіду за наперед підготовленими запитаннями, під час якої нагадував учням, що пояснити вказані вище явища і процеси вдалося саме спираючись на поняття “квант світла” або “квант електромагнітного випромінювання”. Причому, в окремих випадках кванти енергії підкоряються законам збереження енергії та імпульсу і саме цим схожі на частинку (поводять себе як сукупність квазічастинок). Наприклад, пояснити ефект Комптона можна лише виходячи саме з таких уявлень. Учитель наголошував, що фотоэффект і ефект Комптона неможливо пояснити, спираючись на хвильову теорію.

Далі вчитель розповідав, що у 1926 році американський хімік Гільберт Льюїс (G.N.Lewis, 1875-1946) запропонував увести в науковий обіг термін “фотон”. Тут можна навести його слова, написані ним у тому ж 1926 році: “...я дозволю собі запропонувати для цього гіпотетичного нового атома, який не є світлом, але приймає суттєву участь в усіх процесах випромінювання, назву фотон” [5, с.118].

Після цього вчитель перераховував властивості фотона:

1. Фотон – ультрарелятивістська частинка, оскільки її швидкість у вакуумі завжди $c = 3 * 10^8 \frac{м}{с}$. Фотон у спокої не існує.
2. Фотон не є просторово локалізованим об’єктом, тобто неможливо визначити його положення у просторі.
3. Згідно з сучасними експериментами, маса фотона близька до нуля з величезною точністю: $m_\gamma < 10^{-51} г$.
4. Сукупність фотонів має певну масу, в той час як маса окремого фотона $m_\gamma = 0$. Ненульова маса сукупності фотонів впливає з неадитивності маси в теорії відносності.
5. Неадитивність маси означає, що повна маса m_n системи із n частинок не дорівнює сумі мас окремих частинок, які входять до цієї системи:
$$m_n \neq m_1 + m_2 + \dots + m_i$$
6. Так само, як і для електромагнітних хвиль, для фотонів також спостерігаються явища інтерференції і поляризації. Сучасні дослідження свідчать, що ці суто хвильові явища можна спостерігати для п’яти, чотирьох, трьох фотонів (для так званих “заплутаних квантових станів” (entangled states)) і навіть за участі одного фотона.
7. У фізиці високих енергій фотон відносять до класу фундаментальних частинок, із спіном 1, що дозволяє говорити про нього як про бозон.

Оскільки фотон – релятивістська частинка, варто нагадати учням основні положення спеціальної теорії відносності та наслідки з неї, які стосуються фотона. З цією метою учням пропонували такі запитання: 1. Чи може фотон перебувати в стані спокою в якій-небудь інерційній системі відліку? 2. Як, знаючи масу та швидкість релятивістської частинки, визначити її енергію? Імпульс? 3. Який зв’язок між повною енергією та імпульсом

релятивістської частинки? Скориставшись рівнянням $E = \sqrt{p^2 + m^2 c^2}$, учні разом з учителем приходили до висновку, що для випадку $m=0$ енергія частинки дорівнюватиме $E = cp$. З останньої формули випливає, що імпульс фотона $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$. Після цього вчитель розповідав про дослід Боте, демонстрував схему досліду (рис. 1). Для учнів, які поглиблено вивчають фізику, варто пояснити також механізм протікання рентгенівської флуоресценції, навести у якості прикладу застосування цього явища на практиці (рентгенівські спектрометри).

На завершення відзначимо, що застосування у шкільній практиці підходу, заснованого на вище викладеному науково-методичному аналізі та методиці вивчення відомостей про дискретність електромагнітного випромінювання, дозволяють на якісно новому рівні формувати основні поняття квантової оптики у профільних класах з поглибленим вивченням фізики.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гончаренко С.У. Фізика: Підручник для 11 класу середньої загальноосвітньої школи. – К.: Освіта, 2002. – 238 с.
2. Коршак Є.В. Фізика: 11 кл.: підруч. для загальноосвіт. навч. закл.: рівень стандарту / Є.В.Коршак, О.І.Ляшенко, В.Ф.Савченко. – К.: Генеза, 2011. – 256 с.
3. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы. Ч. 2 / В.П.Орехов, А.В.Усова, С.Е.Каменецкий и др.; Под ред. В.П.Орехова, А.В.Усовой. – М.: Просвещение, 1980. – 351 с.
4. Резников Л.И. Методика преподавания физики в средней школе: Оптика. Строение атома. Том IV. (педагогическая библиотека учителя). – М.: Изд-во АПН РСФСР, 1963. – 301 с.
5. Lewis G.N. Nature, 874 (1926).

Терещук С.И.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ОПЫТА БОТЕ В КУРСЕ ФИЗИКИ СТАРШЕЙ ШКОЛЫ

Актуальность материала, изложенного в статье, обусловлена необходимостью пересмотра и модернизации методики изучения квантовой оптики в условиях профильной школы. Это вызвано, с одной стороны, необходимостью периодического пересмотра основ наук, в связи с непрерывным развитием физической науки, и, одновременно, в связи с новыми тенденциями и направлениями преподавания физики, связанные с развитием профильной школы. В статье выдвинута гипотеза относительно усовершенствования методики формирования понятия “фотон”. В соответствии с выдвинутой гипотезой предложен новый подход к формированию фундаментальных понятий квантовой оптики, представлено его обоснование на основе научно-методического анализа понятий, которые изучаются. Приведены методические рекомендации формирования научных понятий “квант электромагнитного излучения” и “фотон” в контексте опыта Боте.

Ключевые слова: профильная школа, квант электромагнитного поля, фотон, опыт Боте, рентгеновская флуоресценция, квантовая оптика.

Tereshchuk S.I.

FEATURES STUDY METHODS EXPERIMENTS BOTHE IN HIGHSCHOOL PHYSICS COURSE

Relevance of the material presented in this paper due to the need to revise and modernize the teaching methods of quantum optics in a profile of the school. This is caused on the one hand, the need for periodic revision of the principles of science, due to the continuous development of physical science, and, simultaneously, in connection with the new trends and directions of teaching physics associated with the development of a profile of the school. The paper put forward the hypothesis regarding the improvement of methods of forming the concept of “photon”. In accordance with the hypothesis put forward, we propose a new approach to the formation of the fundamental concepts of quantum optics, presented his study on the basis of scientific and methodical analysis of the concepts that are studied. Methodical recommendations of formation of

scientific concepts, “a quantum of electromagnetic radiation” and “photon” in the context of the experience of Botha.

Key words: profile school, the quantum of the electromagnetic field, the photon, the experience of Bothe, X-ray fluorescence quantum optics.

УДК 372.853:53

Чижська Т.Г.

УРАХУВАННЯ ТИПІВ СПРИЙНЯТТЯ УЧНІВ ГУМАНІТАРНИХ КЛАСІВ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ

Існують три основні типи сприйняття інформації людиною: візуальний, аудіальний і кінестетичний. Відповідну систему сприйняття інформації людиною називають репрезентативною системою. Актуальність застосування в освітньому процесі таких педагогіко-психологічних прийомів зробить сприйняття учнями навчальної інформації найбільш ефективним. Для цього доцільно обрати таку форму подання навчального матеріалу, яка буде відповідати індивідуальному типу сприйняття кожного з учнів. У статті досліджені типи сприйняття інформації учнів гуманітарних класів.

Ключові слова: типи сприйняття інформації, візуал, аудіал, кінестет, гуманітарні класи.

Існують три (за іншими даними чотири) основні типи сприйняття інформації людиною: візуальний, аудіальний і кінестетичний (іноді виокремлюють дигітальний) [1, с. 209-211]. Відповідну систему сприйняття інформації людиною ще називають репрезентативною системою. Кожна людина так чи інакше використовує усі свої системи сприйняття інформації, але робить це підсвідомо, автоматично і мимовільно. Враховуючи, що зазвичай в людини домінуючою є якась одна з репрезентативних систем, саме ця система використовується частіше й становить собою найпростіший шлях доставки інформації до свідомості особистості. Візуальне сприйняття навколишнього світу відбувається переважно через малюнки, зображення, види тощо, аудіальний – через звуки, зокрема мову, кінестетичний – за допомогою органів чуття. Дигітальне, або розумове, сприйняття інформації пов'язано, переважно, зі сприйняттям фактів і логічних побудов на їх основі. Людина, зазвичай, сприймає все, що її оточує, за допомогою трьох складових, трьох типів сприйняття: візуального, аудіального і кінестетичного. Ці три типи безпосередньо пов'язані із фізіологічними особливостями організму людини. Дигітальний тип не є безпосередньо біологічно зумовленим.

Ще наприкінці XIX сторіччя фізіологи, зокрема відомий російський фізіолог академік І.П.Павлов, помітили, що існує значна різниця у будові нервів, за якими до головного мозку людини передається інформація від органів чуття. Так, зоровий нерв у кілька разів (приблизно в шість) товщий за слуховий. З цього було зроблено висновок про скоріше і краще сприйняття людиною саме візуальної інформації. Такий висновок підкріплюється також міркуванням про те, що людина за своїм еволюційним походженням є хижаком, отже, краще за все реагує на візуальне сприйняття руху.

Психологи і спеціалісти з маркетингу в ході досліджень особливостей просування товарів на ринку помітили, що перше враження людини відносно продавця, товару та багатьох інших речей складається за трьома каналами: вербальному (тобто мовному), звуковому і візуальному. Ефективність цих каналів є різною [2; 3]. Так, 10% від загального впливу на людину становить вербальний вплив, тобто значення слів, їй адресованих, якими описують певний предмет або явище. 30% від загального впливу на людину становлять тембр, мелодичність та ритм голосу, яким з нею говорять, тобто так звані парамовні ознаки. Решту – 60% впливу – становить вплив від візуальних компонентів, а саме жестів, руху,