

УДК 372.853

А. С. Лазаренко – кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри фізики та методики викладання фізики
Бердянського державного педагогічного університету

Використання дидактичної матриці для розв'язування фізичних задач з теми «Рівняння фотоефекту»

*Роботу виконано на кафедрі фізики та методики
викладання фізики БДПУ*

У статті описано алгоритмічний підхід до розв'язування фізичних задач з теми «Рівняння фотоефекту». Особливість підходу визначено використанням матриці, яка об'єднує всі можливі форми запису рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту. Під час аналізу умови задачі за допомогою цієї матриці здійснено оптимальний вибір форми запису і способу використання рівняння фотоефекту.

Ключові слова: фізична задача, зовнішній фотоефект, алгоритм розв'язування, рівняння Ейнштейна, дидактична матриця.

Лазаренко А. С. Использование дидактической матрицы для решения физических задач по теме «Уравнение фотоэффекта». В статье описан алгоритмический подход к решению физических задач темы «Уравнение фотоэффекта». Особенность подхода определена использованием матрицы, которая объединяет все возможные формы записи уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. Во время анализа условия задачи при помощи этой матрицы осуществлен оптимальный выбор формы записи и способа использования уравнения фотоэффекта.

Ключевые слова: физическая задача, внешний фотоэффект, уравнение Эйнштейна, алгоритм решения, дидактическая матрица.

Lazarenko A. S. Use of the Didactic Matrix for the Solution of Physical Tasks of the Theme «The equation of the Photoelectric Effect». The article describes an algorithmic approach to the solution of physical tasks of the theme «The equation of the photoelectric effect». Feature of the approach is determination by using of the matrix of the form of writing down Einstein's equations. During the analysis of the conditions of the task with the help of this matrix make up the optimal choice of the form of writing of equation of the photoelectric effect.

Key words: physical task, an external photoelectric effect, Einstein's equation, the solution algorithm, didactic matrix.

Постановка наукової проблеми та її значення. Аналіз досліджень із цієї проблеми. Особливе місце в навчальному процесі з фізики займає розв'язування задач. Ця навчальна діяльність за своїм характером дуже близька до повсякденної інтелектуальної діяльності будь-якої людини. Задача, в широкому розумінні цього слова, постає перед нами кожного разу, коли ми намагаємося знайти засоби для досягнення певної мети. Формулювання і розв'язування задачі – це пошук і використання засобів досягнення мети, яку неможливо здійснити безпосередньо в момент її усвідомлення.

Отож формування вмінь і навичок до розв'язування фізичних задач тісно пов'язане з розвитком загальних аналітичних здібностей і можливостей учнів. Інтелектуальний розвиток – це надзвичайно складний комплексний процес. Саме тому розв'язування задач завжди вважали найскладнішим елементом навчального процесу з фізики і воно традиційно викликало найбільші проблеми в учнів. Питаннями розробки методики розв'язування задач у різні роки займалися П. Атаманчук, О. Бугайов, С. Гончаренко, Є. Коршак, А. Павленко, М. Шут. Проте проблема використання дидактичних матриць для розв'язування фізичних задач не була окремим предметом їхніх досліджень. У той же час більшість підручників і збірників задач з фізики [1–4; 6–9] містить саме стандартні задачі. Стандартні задачі є основою обов'язкових тематичних контрольних робіт, підсумкових атестацій, зовнішнього оцінювання [1, 2, 5, 7, 8]. Розуміння фізичного змісту стандартних задач і навички їхнього розв'язування – це необхідна умова успішного розв'язання більш складних нестандартних задач, які не мають певного алгоритму пошуку відповіді. Відповідно, завдання розробки нових й удосконалення сучасних методик розв'язування типових фізичних задач є актуальними.

Мета статті полягає у визначенні особливостей використання дидактичної матриці форм запису рівняння Ейнштейна для розв'язування стандартних задач з теми «Рівняння фотоефекту».

Завдання дослідження:

- з'ясувати характер і причини проблем, які виникають в учнів під час розв'язування фізичних задач з теми «Рівняння фотоефекту»;
- поєднати всі можливі форми запису рівняння Ейнштейна в дидактичній матриці;
- розробити рекомендації з використання дидактичної матриці для розв'язування задач з теми «Рівняння фотоефекту».

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Результативне розв'язування фізичних задач вимагає від учнів чіткого розуміння фізичної сутності явищ, яких стосується умова задачі. Учні повинні вміти чітко співвідносити реальні прояви фундаментальних фізичних законів у конкретних процесах з модельними уявленнями про них і їхнім аналітичним відображенням у фізичних рівняннях і розрахункових формулах.

Під час вивчення тем і розділів класичної фізики формування таких вмінь дещо полегшується можливістю безпосереднього сприйняття відповідних фізичних явищ і використанням звичних інтуїтивних уявлень для побудови теоретичних моделей. Сприйняття навчального матеріалу розділу «Квантова фізика» шкільного курсу фізики, навпаки, ускладнюється тим, що усталені інтуїтивні уявлення про довколишній світ ґрунтуються на базових принципах класичної фізики, достатньо глибоко засвоєних учнями з попередніх розділів курсу. Непридатність «класичного підходу» до опису й аналітичної формалізації квантових явищ і процесів створює в учнів своєрідний психологічний бар'єр неприйняття нового теоретичного матеріалу. Виникають труднощі формування відповідних практичних умінь і навичок розв'язування задач. Ці труднощі пов'язані з неспроможністю учнів уявити квантовий процес і асоціювати його з необхідними рівняннями або розрахунковими формулами. При цьому, як правило, математичний апарат, необхідний для розв'язування задач розділу «Квантова фізика» шкільного курсу фізики, достатньо простий і не викликає утруднень у більшості учнів. Саме в таких випадках доцільно використовувати алгоритмічний підхід до розв'язування фізичних задач. Виконання послідовних кроків алгоритму дає змогу не лише отримати розв'язок задачі, але в поєднанні з детальним аналізом умови задачі та отриманого результату дає можливість поступово знизити бар'єр неприйняття і зробити основні квантові принципи інтуїтивно прийнятними.

Під час розв'язування задач, розрахованих на використання рівняння Ейнштейна (рівняння фотоефекту), в багатьох учнів виникає проблема вибору оптимальної форми запису цього рівняння. Вона виникає через те, що умови задач, пов'язаних з явищем зовнішнього фотоефекту, достатньо різноманітні. Деякі з таких умов можна навіть не асоціювати з явищем фотоефекту, якщо спиратися лише на ту форму запису рівняння Ейнштейна, яку найчастіше використовують у підручниках і довідниках:

$$h\nu = A_e + \frac{m_e v^2}{2},$$

де $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – це стала Планка; ν – частота кванта електромагнітного випромінювання; A_e – робота виходу електрона; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг – маса спокою електрона; v – швидкість фотоелектрона.

З іншого боку, кількість різних форм запису рівняння Ейнштейна для фотоефекту надто велика і для вивчення напам'ять, і для того, щоб вибирати необхідну форму простим механічним перебором варіантів.

Практика викладання фізики свідчить про те, що виявлену проблему можна вирішити, поєднавши всі форми запису рівняння Ейнштейна в дидактичній матриці (табл. 1).

Таблиця 1

Варіанти форм запису рівняння Ейнштейна для фотоефекту

Рівняння Ейнштейна для фотоефекту	Енергія фотона	Робота виходу	Кінетична енергія електрона
	1	2	3
A	$E_\phi =$	$A_e +$	K

Б	$h\nu =$	$h\nu_q +$	$\frac{m_e v^2}{2}$
В	$\frac{hc}{\lambda} =$	$\frac{hc}{\lambda_q} +$	$\frac{p_e}{2m_e}$
Г			eU_3

У матриці використовуємо такі умовні позначення: E_ϕ – енергія фотона; A_e – робота виходу електрона; K – кінетична енергія фотоелектрона; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – стала Планка; ν – частота фотона; ν_q – частота червоної межі фотоефекту; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ – маса електрона; v – швидкість фотоелектронів; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – швидкість світла у вакуумі; λ – довжина хвилі фотона; λ_q – довжина хвилі червоної межі фотоефекту; p_e – імпульс фотоелектрона; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ – модуль заряду електрона (елементарний заряд); U_3 – затримуюча напруга.

Алгоритм використання дидактичної матриці (табл. 1) для розв’язування задач визначають самою структурою таблиці і формулюють як таку послідовність дій:

- 1) з умови задачі визначити, які фізичні параметри фотонів відомі або які фізичні параметри фотонів необхідно знайти;
- 2) з другого стовпчика матриці вибрати форму запису енергії фотона через ці параметри;
- 3) з умови задачі визначити, яким чином задається робота виходу (безпосередньо через частоту червоної межі фотоефекту, через довжину хвилі червоної межі фотоефекту) або яку фізичну характеристику роботи виходу необхідно знайти (саму роботу, частоту червоної межі фотоефекту, довжину хвилі червоної межі фотоефекту);
- 4) з третього стовпчика матриці вибрати необхідну форму запису роботи виходу;
- 5) з умови задачі визначити, які фізичні параметри фотоелектронів відомі (кінетична енергія, швидкість, імпульс, затримуюча напруга) або які фізичні параметри фотоелектронів необхідно знайти;
- 6) з четвертого стовпчика матриці вибрати необхідну форму запису кінетичної енергії фотоелектронів;
- 7) записати рівняння Ейнштейна для фотоефекту в оптимальній для поставленої умови задачі формі та розв’язати його відносно невідомих.

Дидактична матриця містить і додаткові можливості. Так, другий стовпчик таблиці 1 фактично являє собою визначення енергії фотона через частоту або довжину хвилі світла. Його можна використовувати для розв’язання елементарних задач на визначення енергії фотона або зворотніх задач на визначення частоти і довжини хвилі через відому енергію фотона.

Третій стовпчик таблиці 1 аналогічним чином можна використовувати для розв’язання задач на визначення роботи виходу через частоту або довжину хвилі червоної межі фотоефекту і для зворотніх задач визначення частоти або довжини хвилі червоної межі фотоефекту з відомої роботи виходу.

Четвертий стовпчик таблиці 1 дає можливість розв’язувати задачі на визначення затримуючої напруги з відомої кінетичної енергії, швидкості або імпульсу фотоелектронів і відповідних зворотніх задач.

Розглянемо конкретні приклади використання цього алгоритму для розв’язування задач.

Задача 1. Пластинка нікелю, для якого робота виходу електрона дорівнює 5 еВ, освітлена ультрафіолетовим світлом з довжиною хвилі 200 нм. Визначити швидкість фотоелектронів.

Дано: $A_e = 5 \text{ еВ}$; $\lambda = 200 \text{ нм}$.

Знайти: v .

Розв’язок:

З умови задачі відома довжина хвилі світла, яке падає на нікелеву пластину. Відповідно для запису енергії фотона вибираємо вираз із чарунки **В1** таблиці 1.

З умови задачі відома робота виходу електронів з нікелю. Відповідно для запису роботи виходу вибираємо вираз із чарунки **A2** таблиці 1.

За умовою задачі необхідно знайти швидкість фотоелектронів. Відповідно для запису кінетичної енергії вибираємо вираз із чарунки **B3** таблиці 1.

Оптимальний варіант форми запису рівняння Ейнштейна має вигляд:

$$\frac{hc}{\lambda} = A_e + \frac{m_e v^2}{2}.$$

З цього рівняння шляхом елементарних математичних перетворень виражаємо швидкість:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m_e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_e \right)}.$$

Підставляємо в розрахункову формулу числові значення в системі СІ.

$$v = \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left(\frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{200 \cdot 10^{-9}} - 5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \right)} = 6,528 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Відповідь: $v = \sqrt{\frac{2}{m_e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_e \right)} = 6,528 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$

Задача 2. Найбільша довжина світлової хвилі, за якої може відбуватися фотоэффект для вольфраму, дорівнює 0,275 мкм. Визначити роботу виходу і енергію електронів, які вириваються з вольфраму світлом з довжиною хвилі 0,18 мкм.

Дано: $\lambda_{\text{ч}} = 2,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}; \lambda = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}.$

Знайти: $A_e, K.$

Розв'язок:

З умови задачі відома довжина хвилі світла, яке падає на нікелеву пластину. Відповідно для запису енергії фотона вибираємо вираз із чарунки **B1** таблиці 1.

З умови задачі відома довжина хвилі червоної межі фотоэффекту для вольфраму. Відповідно для запису роботи виходу вибираємо вираз із чарунки **B2** таблиці 1. Цей вираз одразу використовуємо для визначення роботи виходу:

$$A_e = \frac{hc}{\lambda_{\text{ч}}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,75 \cdot 10^{-7}} = 7,228 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 4,5 \text{ eV}.$$

За умовою задачі також необхідно знайти кінетичну енергію фотоелектронів. Відповідно для запису енергії фотоелектронів вибираємо вираз із чарунки **A3** таблиці 1.

Оптимальний варіант форми запису рівняння Ейнштейна має вигляд:

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\text{ч}}} + K$$

Звідси виражаємо кінетичну енергію фотоелектронів:

$$K = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{ч}}} \right).$$

Підставляємо в розрахункову формулу числові значення в системі СІ.

$$K = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \left(\frac{1}{1,8 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{2,75 \cdot 10^{-7}} \right) = 3,815 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,384 \text{ eV}.$$

Відповідь: $A_e = \frac{hc}{\lambda_{\text{ч}}} = 4,5 \text{ eV}; K = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{ч}}} \right) = 2,384 \text{ eV}.$

Задача 3. Визначити постійну Планка h , якщо фотоелектрони, що їх вириває з поверхні якогось металу світло з довжиною хвилі $\lambda_1 = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, затримуються електричним полем з напругою $U_1 = 3,1 \text{ В}$, а вирвані світлом з довжиною хвилі $\lambda_2 = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ затримуються напругою $U_2 = 8,1 \text{ В}$.

Дано: $\lambda_1 = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$; $\lambda_2 = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ м}$; $U_1 = 3,1 \text{ В}$; $U_2 = 8,1 \text{ В}$.

Знайти: h .

Розв'язок:

З умови задачі відомі довжини хвиль світла, що по черзі падають на поверхню металу. Відповідно для запису енергії кванта доцільно вибрати вираз із чарунки **В1** таблиці 1.

Роботу виходу в умові задачі не задано і її визначення умовою задачі не вимагається. Відповідно для позначення роботи виходу доцільно обрати найпростіший варіант з чарунки **А2**.

З умови задачі відомі значення затримуючої напруги. Відповідно для запису кінетичної енергії фотоелектронів доцільно вибрати вираз з чарунки **Г3** таблиці 1.

Оптимальний варіант форми запису рівняння Ейнштейна має вигляд:

$$\frac{hc}{\lambda} = A_0 + eU_3.$$

Запишемо це рівняння для обох випадків з умови задачі.

$$\frac{hc}{\lambda_1} = A_0 + eU_1;$$

$$\frac{hc}{\lambda_2} = A_0 + eU_2.$$

Маємо систему двох рівнянь для двох невідомих: постійної Планка h і роботи виходу A_0 . Визначення роботи виходу не вимагається умовою задачі. Віднімаємо з другого рівняння перше і отримуємо:

$$hc \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = e(U_2 - U_1).$$

З останнього рівняння виражаємо постійну Планка:

$$h = \frac{\lambda_1 \lambda_2 e (U_2 - U_1)}{c (\lambda_1 - \lambda_2)}.$$

Підставляємо в розрахункову формулу числові значення в системі СІ.

$$h = \frac{2,5 \cdot 10^{-7} \cdot 1,25 \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} (8,1 - 3,1)}{3 \cdot 10^8 (2,5 \cdot 10^{-7} - 1,25 \cdot 10^{-7})} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Відповідь: $h = \frac{\lambda_1 \lambda_2 e (U_2 - U_1)}{c (\lambda_1 - \lambda_2)} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$

Наведені приклади розв'язування задач демонструють можливості використання дидактичної матриці (табл. 1) для задач різного рівня складності.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Використання дидактичної матриці форм запису рівняння Ейнштейна на уроках фізики для розв'язування задач з теми «Рівняння фотоелектру» дає значний ефект, який виявляється в підвищенні рівня знань, умінь і навичок учнів.

Для успішного і результативного застосування дидактичної матриці слід дотримуватися відповідного алгоритму використання таких рекомендацій:

– на початковому етапі застосовувати дидактичну матрицю до розв'язування простих стандартних задач на пряму підстановку або елементарні математичні перетворення рівняння Ейнштейна для фотоелектру;

– як навчальні приклади послідовно обирати задачі з різними варіантами форми запису рівняння Ейнштейна;

– обов'язково поєднувати алгоритмічний підхід з детальним аналізом фізичного змісту умови задачі та результатами її розв'язання.

Використання дидактичної матриці для самостійного розв'язування задач дозволяє учням подолати бар'єр психологічного неприйняття фундаментальних принципів квантової фізики.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з використанням гнучких алгоритмічних схем, що дасть змогу ширше використовувати алгоритмічний підхід, в тому числі і до розв'язування задач підвищеного рівня складності.

Список використаної літератури

1. Атаманчук П. С. Тематичні завдання еталонних рівнів з фізики (9–11 кл.) : навч.-метод. посіб. / П. С. Атаманчук, А. М. Кух. – Кам'янець-Подільський : Інф.-вид. від. Кам'янець-Поділ. держ. пед. ун-ту, 2001. – 74 с.
2. Бугайов О. І. Тести. Фізика / О. І. Бугайов, Є. В. Коршак, К. В. Корсак. – К. : Освіта тижневик, 1993. – 95 с.
3. Гончаренко С. У. Фізика : підруч. для 11 кл. середньої заг. шк. / С. У. Гончаренко. – К. : Освіта, 2002. – 319 с.
4. Гончаренко С. У. Фізика. Методи розв'язування задач / С. У. Гончаренко. – К. : Либідь, 1996. – 128 с.
5. Збірник завдань для державної підсумкової атестації з фізики. 11 кл. / Л. В. Непорожня та ін. – К. : Освіта, 2011. – 61 с.
6. Коршак Є. В. Фізика. 11 кл. / Є. В. Коршак, А. І. Ляшенко, В. Ф. Савченко. – К. : Перун, 2007. – 288 с.
7. Пістун П. Ф. Збірник задач з фізики. 11 кл. (Для профільних класів) / П. Ф. Пістун. – К. : Підручники та Посібники, 2008. – 208 с.
8. Пістун П. Ф. Фізика. Самостійні та контрольні роботи. 11 кл. / П. Ф. Пістун, Б. Є. Будний. – Тернопіль : Навч. кн. – Богдан, 2000. – 48 с.
9. Рымкевич А. П. Сборник задач по физике / А. П. Рымкевич. – М. : Просвещение, 1992. – 223 с.

Статтю подано до редколегії
18.10.2011 р.