

УДК 372.853

Некоторые аспекты преподавания факультатива «внешний фотоэлектрический эффект» для обучающихся 11 класса

Коваленко Виктор Викторович

Профессор, доктор физико-математических наук,
профессор кафедры естественнонаучных дисциплин им. проф. В.М. Финкеля,
Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, Российская Федерация, Новокузнецк, ул. Кирова, 42;
e-mail: vikt.kowalencko@yandex.ru

Ковыршина Светлана Викторовна

Кандидат философских наук, доцент,
доцент кафедры гуманитарных, социально-экономических
дисциплин и информационных технологий управления,
Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний России,
654066, Российская Федерация, Новокузнецк, пр. Октябрьский, 49;
e-mail: kov.s.v@mail.ru

Аннотация

Сдача Единого государственного экзамена по дисциплине «Физика» на 85 и более баллов обусловлена интенсивной подготовкой и углубленным изучением предмета. Востребованность технических знаний в современных условиях очевидна, поэтому физика становится тем предметом, который выбирают большинство обучающихся, планируя поступать в ВУЗы индустриальной и технической направленности. В связи с этим появляется необходимость поиска новых вариантов эффективной подготовки по предмету. Целью статьи является анализ действующего факультативного курса по физике для школьников 11 класса «Внешний фотоэлектрический эффект». В практической части статьи предлагается апробированный вариант тематического планирования курса. Раскрываются возможные пути овладения умениями и навыками в процессе освоения материала. Резюмируется, что в результате реализации факультативного курса «Внешний фотоэлектрический эффект» обучающиеся приобретут умения и навыки решать качественные и расчетные физические задачи; объяснять условия применения физических моделей при их решении; самостоятельно изучать и готовить к работе экспериментальную установку для проверки закономерностей фотоэффекта и уравнения Эйнштейна, что позволит успешно сдать экзамен и более углубленно изучать предмет в ВУЗе.

Для цитирования в научных исследованиях

Коваленко В.В., Ковыршина С.В. Некоторые аспекты преподавания факультатива «внешний фотоэлектрический эффект» для обучающихся 11 класса // Педагогический журнал. 2024. Т. 14. № 5А. С. 124-135.

Ключевые слова

Факультатив, физика, внешний фотоэлектрический эффект, школьники, занятие, умение, навыки.

Введение

На юбилейном заседании, посвященном 80 - летию Курчатовского института, Валерий Фальков в торжественной речи, говоря о значимости физики, отметил, что разрабатываемая большая программа по подготовке специалистов в данной области, направлена, прежде всего, на стимулирование изучения физики школьниками. [Минобрнауки готовит программу по стимулированию интереса к физике у школьников, www...] Появляется необходимость в разработке новых методов обучения, созданию элективных курсов для более глубокого изучения предмета. Вместе с этим, отобранный материал для успешной сдачи ЕГЭ, должен быть и профессионально ориентирован.

В ФЗ «Об образовании в РФ» (ч.3, ст.66) акцентируется внимание на развитие у обучающихся навыков самостоятельной учебной деятельности на основе профессиональной ориентации и далее (ч.4, ст. 66) предусматривается углубленное изучение отдельных школьных предметов. Все это дает возможность для реализации факультативных и / или элективных курсов.

Основное содержание

Отмечая значимость и необходимость таких курсов, большинство исследователей отмечают, что к проведению факультативных занятий в средних учебных заведениях могут быть привлечены не только профессорско – преподавательский состав высшей школы и сотрудники научно-исследовательских учреждений, но также и специалисты народного хозяйства, деятели культуры. [Юдин, 2015, 7] Опираясь на собственный опыт и опыт коллег, результаты такой работы достаточно продуктивны: с одной стороны – обучающиеся получают целостное представление изучаемого предмета, явления, с другой стороны – преподаватель выстраивает собственную методику, связанную с поиском оптимальных методов преподавания для учащихся с разным уровнем подготовки. Что касается наполняемости групп, то они должны составлять не менее 10 человек. [Каменецкий, 2000, 212]

Изучение физики предполагает дополнительные занятия, так как в рамках отведенных часов на изучение в школьное время нет возможности более подробно осваивать определенные темы и осуществлять практическое решение задач.

Каждый преподаватель физики использует свою методику преподавания с учетом субъективных интересов, материально – технической базы образовательного учреждения, наличием учебно-методической литературы, уровня подготовки школьников и т.д. В этом кроется парадоксальность курса физики: с одной стороны – физика – объективная наука, с другой стороны – преподавание физики – гуманитарная наука (педагогика). Поэтому представляется необходимым найти оптимальное сочетание двух разделов дисциплинарной структуры науки: физической и гуманитарной. [Яковчук, 2024, 139] Предлагаемые учителями школ и преподавателями средне-специальных и высших учебных заведений методики вызывали и вызывают огромное количество дискуссий не только в печати и на учебно-методических объединениях, но и на конференциях различного уровня. [Царенко, 2015; Фролова, 2022] В

связи с этим, особую значимость приобретает предлагаемая разработка факультатива, связанная с углубленным изучением внешнего фотоэлектрического эффекта.

Цель данной статьи – анализ предлагаемого апробированного факультативного курса по физике для одиннадцатого класса «Внешний фотоэлектрический эффект».

Общими принципами разработки содержания программы факультативного курса для нас являлись не только связи факультатива с основным содержанием школьного курса физики; но и отражение положений современной научной картины мира. Не смотря на многообразие методик и задач при реализации курса физики, в том числе факультативного варианта основной задачей предлагаемого факультативного курса является формирование у учащихся познавательного интереса к важнейшим путям и методам применения физических законов и явлений через организацию практической (лабораторной работы). Учитывая междисциплинарность курса, авторы преследовали, в том числе, задачу реализации патриотического воспитания. Факультатив помогает адаптироваться вчерашнему школьнику – нынешнему первокурснику к образовательному процессу в ВУЗе, избежать неуспеваемости по предмету, в частности, физике. [Яковчук, 2024, 117-122].

В связи с этим появляется необходимость сказать несколько слов и о решении проблемы профессионального самоопределения. На поверку всплывает ряд противоречий, которые возможно если хотя бы не решить, то минимизировать: во – первых, это готовность современной школы способствовать формированию профессиональной ориентации, исходя из требований рынка труда, вместе с тем, через 5-8 лет предложение рынка труда может измениться коренным образом. Во – вторых, навязывание определенной траектории обучения, что зачастую вызывает у обучающихся нежелание поступать в ВУЗ. Поэтому факультативные / элективные курсы ориентированы на тех обучающихся, которые имеют четкое представление о значимости выбора профессии, понимания сложности ЕГЭ по физике, экономической составляющей будущей профессии и т.д.

На занятиях большое внимание уделено выполнению практических (лабораторных) работ, ориентированных на изучение физических принципов работы, механизмов, широко применяемых в практике.

Основными познавательными задачами этого раздела являются не только знакомство учащихся со специфическими законами, действующими в области микромира, но и формирование целостных представлений о строении вещества.

Вместе с этим, раздел «Квантовая физика» решает задачи политехнического образования. В процессе его изучения обучающиеся знакомятся с устройством и принципом действия фотоэлементов, с различными примерами их использования в технике, в медицине (в частности, в стоматологии), физическими основами спектрального анализа, ядерным реактором и применением ядерной энергии в мирных целях (что актуально в современной геополитической ситуации), с использованием радиоактивных изотопов в промышленности, сельскохозяйственном производстве (производство удобрений), в науке, быденной жизни (солярий, например).

Введение в понятие элементарных частиц дает веское подтверждение принципа неисчерпаемости материи (указывая на тесную связь с философскими принципами диалектики), учащиеся убеждаются в том, что материальные объекты и их свойства крайне многообразны, элементарные частицы не являются «простыми», они обладают множеством свойств и способны к взаимопревращениям.

Квантовая физика занимает финальное место в школьном курсе физики. До этого учащиеся

нигде на протяжении всего школьного курса физики учащиеся не встречались с дуализмом свойств частиц, вещества и поля, с дискретностью энергии, со свойствами ядра атома, с элементарными частицами. Таким образом, они получают пропедевтические знания по основам философской и научной картин мира.

Особенность содержания квантовой физики накладывает отпечаток и на методику ее преподавания. Для облегчения усвоения квантовой физики представляется обязательным в учебном процессе использовать по максимуму различные средства наглядности. Так как количество демонстрационных опытов, которые можно поставить при изучении этого раздела, в средней школе очень невелико, то кроме проведения экспериментов, необходимо использование рисунков, чертежей, графиков, фотографий треков, плакаты и диапозитивы. [Каменецкий, 2000; Коваленко, Кавыршина, 2014; Коваленко, Невский, 2013]

Явление фотоэффекта, его законы обнаружены сравнительно не так давно, поэтому можно говорить о квантовой физике, как о сравнительно молодой отрасли в истории физики. Диагностирование фотоэффекта привело к созданию квантовой теории вообще и квантовой теории света в частности. Хотя история изучения света и создание теории света берет начало у Эмпедокла. Для греков было важным понять, каким образом мы видим свет, что является его источником: внешний мир (свет отражают глаза) или внутренний мир (свет идет из глаз). Эту проблему пытались решить многие столетия. Поэтому данная тема очень сложна для самостоятельного изучения. Как следствие, возможностей для ее методического и методологического освоения неисчерпаемы. [Плетникова, 2016, с. 193-203]

Тема «Фотоэффект» представлена на изучение в 11 классе в разделе «Квантовая физика» в главе «Световые кванты». На освоение данного материала в учебнике отведено четыре параграфа. Если говорить об аудиторной нагрузке, то это четыре часа в профильных классах в профильных классах (речь идет только про данный профиль, так как обучающиеся именно данного профиля в большинстве своем ориентированы на сдачу ЕГЭ по физике). На фотоэффект, его теорию, фотоны и применение фотоэффекта отводится по 1 часу.

Данная тема имеет не только мировоззренческую и познавательную значимость, но и практическую (проверка законов фотоэффекта и т.д.), а вместе с тем и воспитательно - патриотическую (знакомство с биографией А.Г. Столетова).

Проследивая междисциплинарность связей, стоит отметить положительный момент: как правило, учащиеся, осуществляющие подготовку к ЕГЭ по физике, сдают и профильный экзамен по математике. Подготовка к физике, позволяет повторить курс математики, иногда информатики. Что, в свою очередь, не может не отразиться на получении более высокого балла на ЕГЭ по данным предметам.

Курс предусматривает как теоретическую, так и практическую части. Теоретическая часть представлена учебными занятиями каждого блока (модуля). Практическая часть – это проблемно-ориентированные задания, выполняемые самостоятельно учащимися под руководством преподавателя.

Предлагаемая продолжительность курса во втором полугодии – 10 часов (5 недель по 2 часа в неделю).

Теоретическая часть представлена лекциями, раскрывающими основные положения и принципы фотоэффекта, практическая же часть предлагает определенный набор задач с примерами, задания для практического выполнения (лабораторный практикум), просмотр фильма о жизни и деятельности А.Г. Столетова и видеороликов о Г. Герце, М. Планке, А. Эйнштейне.

Оценивание компетенций, сформированных в рамках освоения факультативного курса, происходит посредством балльно-рейтинговой системы. Максимальное количество баллов за курс – 100 (Таблица 1).

Таблица 1 Примерное содержание курса

№	Блок (модуль)	Кол-во часов	Оценочные средства	Количество баллов
1	Вводное занятие	1	Задания для групповой работы	10
2	Лекции по теме «Внешний фотоэлектрический эффект»	2	Задания для групповой работы	10
3	Лабораторный практикум	4	Задачи	30
4	Семинар по теме «Практическое применение внешнего фотоэлектрического эффекта»	2	Доклады, презентации учащихся	25
5	Контрольное занятие	1	Задачи	25

Примеры содержательного наполнения занятий (по учебнику Л.Э. Генденштейна, А.А. Булатовой).

Занятие 1. Гипотеза Планка. Явление фотоэффекта. (2 час.)

Содержание занятия:

1. Равновесное тепловое излучение абсолютно черного тела. Гипотеза Планка. Энергия кванта. Постоянная Планка. (§24 (п.1, 2); 1 час.)

2. Явление фотоэффекта. Опыт с электрометром, цинковой пластиной и ртутно-кварцевой лампой. Вольт-амперная характеристика фотоэлемента. Задерживающее напряжение. Закон сохранения энергии в фотоэффекте. (§24 (п. 3); 1 час.)

Демонстрации: анимация модели водородоподобного атома, опыта Герца, опыта Столетова, механической модели фотоэффекта, вольт-амперной характеристики фотоэлемента.

Занятие 2. Теория и законы фотоэффекта. Фотоны. Применение фотоэффекта (2 час.)

Содержание занятия:

1. Первый, второй и третий законы фотоэффекта. Красная граница фотоэффекта. (§24 (п. 4); 0,5 час.)

2. Теория фотоэффекта. Работа выхода фотоэлектронов. «Электронвольт». (§24 (п. 5); 0,5 час.)

3. Уравнение А. Эйнштейна для фотоэффекта. (§24 (п. 6); 0,5 час.)

4. Фотоны. Двойственная природа света. Свойства фотонов. Опыт Вавилова. (§24 (п. 5); 0,25 час.)

5. Применение фотоэффекта. Преобразование световой энергии в электрическую энергию. Солнечные батареи. (§24 (п. 7); 0,25 час.)

Демонстрации: видео / анимация опыта А.Г. Столетова, вольт-амперных характеристик фотоэлемента при различных освещенностях фотокатода с различными (фиксированными и нефиксированными) длинами волн, схемы двойственной природы света и опыта Вавилова, видео / анимация модели солнечной батареи.

Занятие 3. Решение задач базового, повышенного и высокого уровней сложности по теме «Внешний фотоэлектрический эффект. Законы А.Г. Столетова и уравнение А. Эйнштейна» (2 час.)

Содержание занятия:

1. Решение заданий основного / базового уровня. (§24; 0,25 час.)

1.1. Определить чему равна энергия фотона ультрафиолетового излучения частотой $6 \cdot 10^{15}$

Гц и выразить ее значение в джоулях и в электрон-вольтах.

1.2. Определить чему равна энергия одного фотона при длине волны света в 600 нм и выразить ее значение в джоулях и электронвольтах.

1.3. Определить чему равна работа выхода электронов для некоторого металла при длине волны света, соответствующего красной границе фотоэффекта для этого металла, равна 600 нм?

2. Решение заданий повышенного / высокого уровня. (§24; 1 час.)

2.1. Определить излучение с какой длиной волны направлено на поверхность цезия, если максимальная скорость фотоэлектронов, вырывааемых с его поверхности, равна 2000 км/с.

2.2. Определить максимальный импульс p , передаваемый поверхности металла при вылете электрона при условии, что фотоны с энергией $E = 5$ эВ вырывают фотоэлектроны из металла с работой выхода $A = 4,7$ эВ.

2.3. Какова частота падающего света, если работа выхода электронов из данного металла $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж при условии, что фотоэлектроны, вырванные из металла светом некоторой частоты, попадают в однородное магнитное поле с индукцией 0,4 мТл перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружностям, максимальный радиус которых 10 мм.

3. Решение задач методом исследования ключевых ситуаций (МИКС). (§24; 0,75 час.) Данный тип задания может быть согласован с учащимися и представлен в качестве примера.

Итоговым результатом изучения теории фотоэффекта становится лабораторный практикум «Внешний фотоэлектрический эффект. Измерение постоянной Планка и красной границы фотоэффекта» [10; 11]. Поэтому, закономерной для обучающихся становится цель лабораторной работы, связанной с практическим изучением явления фотоэффекта, которая определяет и постановку задач на практическом занятии.

Предваряя проведение занятия, необходимо напомнить обучающимся теоретические знания по теме, что изучение данного явления возможно, используя линии (синюю, зеленую, оранжевую, желтую, красную), выдаваемые узкополосными источниками. Используя экспериментальную установку, учащиеся должны решить следующие задачи:

1. Построить вольт – амперную характеристику фотоэлемента (ВАХ) $I_{\text{фото}}(U_a)$ при фиксированном значении освещенности (E) фотокатода.
2. Построить график зависимости задерживающей разности потенциалов от частоты света $|U_z|(\nu)$ и максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света $E_{\text{kmax}}(\omega)$.
3. Измерить значение постоянной Планка (h и \hbar).
4. Измерить красную границу фотоэффекта.

Для более эффективной работы предполагается раздача памяток (основ теоретического материала), в которых могут быть отражены исходные данные для проведения эксперимента: длина каждой световой волны отражается на дисплее; фототок, возникающий в цепи фотоэлемента, очень мал (порядка $10^{-10} \div 10^{-6}$ А), поэтому используется высокочувствительный усилитель.

Обращение к знаниям по химии, позволит объяснить почему материал фотокатода представляет собой химическое соединение Cs_3Sb : так как именно это соединение обладает яркими полупроводниковыми свойствами. Небольшое наличие вакансий цезия в решетке сообщает полупроводнику дырочный тип проводимости. Ширина запрещенной зоны ΔE равна примерно 1,66 эВ. Красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{max}} \approx 620-750$ нм. В максимуме спектральной характеристики ($\lambda \approx 420-450$ нм) квантовый выход фотоэмиссии достигает 0,25 электрон / фотон (число вылетевших из образца электронов в расчете на один фотон света).

Правила работы с установкой должны быть озвучены обучающимся, потому что являются правилами соблюдения техники безопасности, как следствие - воспитание ответственности и дисциплинированности, соблюдения чистоты и точности эксперимента.

1. Включать установку с разрешения преподавателя.
2. Не оставлять включенную установку без присмотра.
3. Избегая перегрева установки, каждые 45-50 минут работы делать перерыв на 10 минут.
4. После окончания работы отключить установку от источника питания.

Процедура подготовки установки к работе проводится под строгим контролем преподавателя.

Порядок выполнения работы

Первым заданием лабораторной работы является построение вольт- амперной характеристики фотоэлемента (ВАХ) $I_{\text{фото}}(U_a)$ при фиксированном значении освещенности (E) фотокатода. Процедура последовательности выполнения следующая:

1. Кнопкой «ДЛИНА ВОЛНЫ / ЭКСПЕРИМЕНТ» выбрать режим работы «ФОТОELEMENT*2» и нажать кнопку «ЗАПУСК».

Обратить внимание учащихся на то, что ручка «ИНТЕНСИВНОСТЬ» не действует и эксперимент проводится при $E=100$ лк автоматически.

2. Кнопкой «ДЛИНА ВОЛНЫ / ЭКСПЕРИМЕНТ» включить фиолетовый светодиод.

3. Медленно вращая ручку «НАПРЯЖЕНИЕ U_a » «плавно» и «ГРУБО» по часовой стрелке задавать 15 - 20 значений напряжения на аноде фотоэлемента U_a с шагом 0,05-0,1 В и одновременно фиксировать значения фототока $I_{\text{фото}}$ (при этом в области отрицательных значений на дисплее высвечивается знак минус). Измерения производить до тех пор, пока значения фототока не станут выходить на постоянное значение.

Далее, обращаем внимание на высокую чувствительность ручки «НАПРЯЖЕНИЕ U_a ».

Особо тщательно и внимательно произвести измерения напряжения на аноде фотоэлемента U_a с шагом 0,05÷0,07 В в области выхода отрицательных значений фототока на некоторое постоянное значение вблизи U_3 .

Таблица 2 - Результаты измерений

E = 100 лк					
$\lambda = 580$ нм; $\Delta \lambda_a = 0,5$ нм		$\lambda = 540$ нм; $\Delta \lambda_a = 0,5$ нм		$\lambda = 450$ нм; $\Delta \lambda_a = 0,5$ нм	
$\nu = 520$ ТГц; $\Delta \nu_a = 0,45$ ТГц		$\nu = 550$ ТГц; $\Delta \nu_a = 0,51$ ТГц		$\nu = 667$ ТГц; $\Delta \nu_a = 0,74$ ТГц	
Оранжевая		Зеленая		Синяя	
U, В	I, мкА	U, В	I, мкА	U, В	I, мкА
$\Delta U_{aa} = 0,05$ В	$\Delta I_{\text{фото}a} = 0,05$ мкА	$\Delta U_{aa} = 0,05$ В	$\Delta I_{\text{фото}a} = 0,05$ мкА	$\Delta U_{aa} = 0,05$ В	$\Delta I_{\text{фото}a} = 0,05$ мкА
Фиолетовая			Красная		
U, В	I, мкА	U, В	I, мкА	U, В	I, мкА
$\Delta U_{aa} = 0,05$ В	$\Delta I_{\text{фото}a} = 0,05$ мкА	$\Delta U_{aa} = 0,05$ В	$\Delta I_{\text{фото}a} = 0,05$ мкА	$\Delta U_{aa} = 0,05$ В	$\Delta I_{\text{фото}a} = 0,05$ мкА

4. Повторить измерения по п.п. 1-5 для синего, зеленого, желтого и красного светодиодов. Результаты измерений занести в таблицу 3.

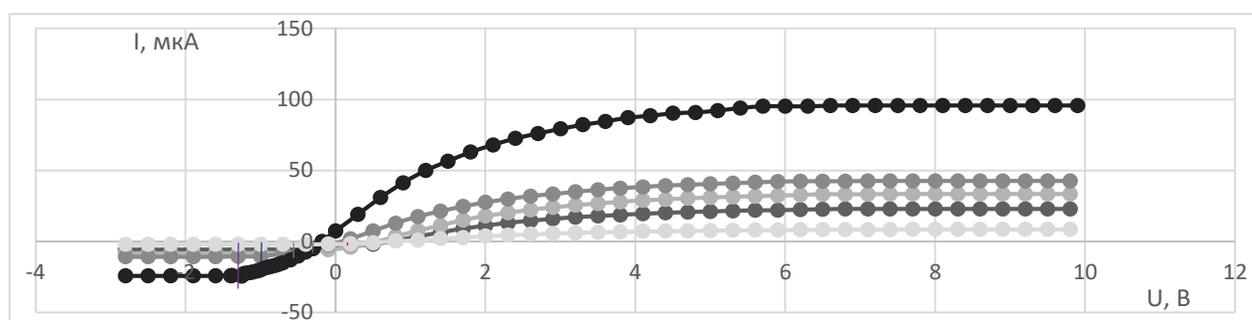
5. Для каждой длины волны вычислить частоту света $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ($c=3 \cdot 10^8$ м/с), при которой наблюдается фотоэффект.

Таблица 3 - Измерение максимальной кинетической энергии фотоэлектронов

Окраска линии	λ , нм	ν , ТГц	ω , ТГц	$\Delta\omega_{\alpha}$, ТГц	E_{kmax} , аДж	ΔE_{kmax} , аДж
Фиолетовая						
Синяя						
Зеленая						
Оранжевая						
Красная						

6. Построить на миллиметровой бумаге (или с использованием программы Microsoft Excell) семейство ВАХ для разных длин волн с учетом погрешностей. Учесть плавный ход кривых, подтверждающий различную скорость электронов.

7. Используя зависимости для обратных ветвей по каждой из них найти напряжение U_3 , соответствующее полной задержки электронов (Рисунок 2).

**Рисунок 2 - Напряжение U_3 , соответствующее полной задержки электронов**

8. Данные по п.9 свести в таблицу 4.

Таблица 4 - Измерение задерживающей разности потенциалов

Окраска линии	λ , нм	ν , ТГц	$\Delta\nu_{\alpha}$, ТГц	U_3 , В	$\Delta U_{3,\alpha}$, В
Фиолетовая					
Синяя					
Зеленая					
Оранжевая					
Красная					

Вторым заданием является построение зависимости задерживающей разности потенциалов $|U_3|(\nu)$ и максимальной кинетической энергии фотоэлектронов $E_{kmax}(\omega)$ от частоты света. Обучающимся нужно:

1. Оценить значение максимальной кинетической энергии фотоэлектронов E_{kmax} и погрешность вычисления характеристики $\Delta E_{kmax,\alpha}$. Результаты измерений занести в таблицу 3.

2. По графику зависимости $|U_3|(\nu)$ определить экспериментальное значение постоянной Планка h_3 , используя выражение:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{h_3}{e} = \frac{\Delta U_3}{\Delta \nu}; \quad h_3 = e \frac{\Delta U_3}{\Delta \nu},$$

где α – угол наклона прямой к оси частот,

h_0 – экспериментальное значение постоянная Планка,

e – модуль заряда электрона.

3. По графику зависимости $E_{kmax}(\omega)$ определить экспериментальное значение постоянной

Планка $\hbar_э$, используя выражение: $tg\alpha = \frac{\Delta E_{kmax}}{\Delta\omega} = \hbar_э$ где α – угол наклона прямой к оси частот,

$\hbar_э$ – экспериментальное значение постоянная Планка.

4. Сравнить полученные экспериментальные значения постоянной Планка $h_э$ и $\hbar_э$ с табличными h_T и \hbar_T .

5. Из графика определить значения порога фотоэффекта W и красной границы фотоэффекта ν_{min} .

*Все справочные данные имеют довольно большой разброс, поэтому к таким значениям следует относиться осторожно.

6. Оценить погрешности определения работы выхода ΔW_α и длины волны $\Delta \nu_{min,\alpha}$ и сопоставить полученные результаты с табличными ($\lambda_{max\ T} = (620-750)$ нм и $W_T = (1\div 2)$ эВ). Определить вид материала фотокатода (металл, полупроводник).

9. Представить результаты измерений характеристик в виде:

$$h_э = \bar{h} \pm \Delta h_\alpha = (6,62 \pm 0,05) \cdot 10^{-34} \text{ Дж};$$

$$\hbar_э = \bar{\hbar} \pm \Delta \hbar_\alpha = (1,00 \pm 0,07) \cdot 10^{-34} \text{ Дж};$$

$$W_э = \bar{W} \pm \Delta W_\alpha = (0,24 \pm 0,004) \text{ аДж};$$

$$W_э = \bar{W} \pm \Delta W_\alpha = (1,50 \pm 0,0025) \text{ эВ};$$

$$\nu_{min,\э} = \bar{\nu}_{min} \pm \Delta \nu_{min,\alpha} = (425 \pm 0,30) \text{ ТГц};$$

$$\lambda_{max,\э} = \bar{\lambda}_{max,\э} \pm \Delta \lambda_{max,\э} = (706 \pm 0,5) \text{ нм}.$$

Подводя и объясняя итоги и результаты выполнения лабораторной работы, необходимо подчеркнуть сложности, связанные с измерением, внимательностью и ответственностью процесса изучения внешнего фотоэффекта в полупроводнике и законов, лежащих в его основе. Учащиеся должны констатировать, что 1) полученные экспериментально графики зависимости силы фототока от напряжения на аноде (вольт – амперные характеристики фотоэлемента) для различных длин волн полихроматических источников света имеют вид немонотонных кривых. Кривые обнаруживают два характерных участка с насыщением, соответствующие выходу значений силы фототока на постоянное положительное значение при фиксированных значениях напряжения на аноде фотоэлемента (фототок насыщения) и соответствующие выходу значений силы фототока на постоянное отрицательное значение при фиксированных значениях напряжения на аноде фотоэлемента – значениях задерживающего (запирающего) напряжения, при котором фотоэмиссия электронов из полупроводника прекращается. 2) Плавный характер вольт – амперных зависимостей соответствует закономерностям, согласно которым эмитируемые из фотокатода под действием электромагнитного излучения электроны имеют различную скорость и кинетическую энергию. 3) По данным вольт – амперных зависимостей ими определены численные значения задерживающей разности потенциалов для различных длин волн, при которых фотоэффект прекращается. 4) Полученные экспериментально графики зависимости задерживающего напряжения от линейной частоты света и максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от циклической частоты света имеют вид прямых и качественно совпадают с теоретическими зависимостями данных характеристик.

Лабораторный практикум подтвердил уравнение А. Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

Согласно данным эксперимента определены экспериментальные значения постоянной Планка, красной границы фотоэффекта и работы выхода фотоэлектронов из металла в вакуум. Численные значения измеренных величин сопоставимы с табличными в пределах погрешности измерений с точность 15 - 20 %.

Выводы по ответу.

- 1) Полученное экспериментально значение постоянной Планка, равное $h_3 = \bar{h} \pm \Delta h_\alpha = (6,62 \pm 0,05) \cdot 10^{-34}$ Дж в пределах погрешности совпадает с табличным значением данной величины, равным $h_T = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж.
- 2) Полученное экспериментально значение постоянной Планка, равное $h_3 = \bar{h} \pm \Delta h_\alpha = (1,00 \pm 0,07) \cdot 10^{-34}$ Дж в пределах погрешности совпадает с табличным значением данной величины, равным $h_T = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж.
- 3) Полученное экспериментально значение величины порога фотоэффекта, равное $W_3 = \bar{W} \pm \Delta W_\alpha = (0,24 \pm 0,004)$ аДж = $(1,50 \pm 0,0025)$ эВ согласуется с табличным значением данной величины, имеющем значения $W_T = (1 \div 2)$ эВ для полупроводников.
- 4) Полученное экспериментально значение величины красной границы фотоэффекта (минимальной частоты или максимальной длины волны, при которых фотоэффект прекращается), равные $\nu_{\min,3} = \bar{\nu}_{\min} \pm \Delta \nu_{\min,\alpha} = (425 \pm 0,30)$ ТГц и $\lambda_{\max,3} = \bar{\lambda}_{\max,\alpha} \pm \Delta \lambda_{\max,\alpha} = (706 \pm 0,5)$ нм в пределах погрешности совпадают с табличными значениями данных характеристик, заключенных в интервалах, соответственно, $\nu_{\min T} = (484 \div 400)$ ТГц и $\lambda_{\max T} = (620 \div 750)$ нм.

Заключение

Таким образом, мы видим, что факультативные занятия стали гармоничным элементом современного образовательного пространства. Наряду с элективными курсами, имеющими ряд существенных отличий, факультативные курсы призваны оптимизировать решение педагогических задач.

Библиография

1. Минобрнауки готовит программу по стимулированию интереса к физике у школьников. URL: <https://tass.rus.obschestvo/16828673> (дата обращения 30.05.2024).
2. Юдин, В. И. Современный урок: рождение замысла и проектирование: методическое пособие для учителя. - Самара: МБОУ ОДПО ЦРО, 2015. - 91 с.
3. Каменецкий, С.Е. Теория и методика обучения физики в школе: Общие вопросы: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. - М.: Издательский центр «Академия», 2000. - 368с.
4. Яковчук И.Е. Актуальные проблемы и перспективы преподавания физики в школе // Кубанская школа. 2024. № 1 (73). С. 139-143.
5. Царенко В.И Патриотическое воспитание студентов при обучении их методике преподавания физики в школе // Наука сегодня: проблемы и перспективы развития. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции: в 3 частях. Научный центр «Диспут». 2015. С. 61-62.
6. Фролова М.С. Физика и методы ее преподавания в школе // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 5-1 (68). С. 276-280.
7. Фомина Н.П., Чучина Н.М. Инновационные технологии в преподавании физики в школе // Вестник научных конференций. 2020. № 7-2 (59). С. 146-147.
8. Шефер, О.Н., Антонова, Н.А. Адаптация будущих учителей физики к обучению в вузе // Профессиональное образование в России и за рубежом. 2023. № 2 (50). С. 117-122.
9. Каменецкий, С.Е. Теория и методика обучения физики в школе: Частные вопросы: учеб. пособие для студ. высш.

- пед. учеб. – М.: Издательский центр «Академия», 2000. – 384 с.
10. Коваленко, В.В., Ковыршина, С.В. Методологические аспекты преподавания квантовой физики // Вестник Брянского государственного университета. №1 (2014): Педагогика. Психология. Брянск: РИО БГУ, 2014. - 250 с.
 11. Коваленко, В.В., Невский, С.А. Новации в моделировании физических явлений квантовой оптики // Современные наукоемкие технологии. 2013. - 163 с.
 12. Плетникова Т.А. Применение дистанционных образовательных технологий в преподавании физики. Нескучно о фотоэффекте // Информационно – коммуникационные технологии в педагогическом образовании, Новокузнецк, 2016. – С. 193-203.
 13. Физика. 11 класс. Базовый и углубленный уровни : в 2 ч. Ч.2 / Л.Э. Генденштейн, А.А. Булатова и др.; под ред. В.А. Орлова. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний. 2017. – 208 с.

Some aspects of teaching the elective “external photoelectric effect” for 11th grade students

Viktor V. Kovalenko

Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor of the Department of Natural Sciences named after Prof. V.M. Finkel,
Siberian State Industrial University,
654007, 42, Kirova str., Novokuznetsk, Russian Federation;
e-mail: vikt.kovalenko@yandex.ru

Svetlana V. Kovyrshina

PhD in Philosophy, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Humanities,
Socio-Economic Disciplines and Management Information Technology
Kuzbass Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia
654066, 49, Oktyabrsky Ave., Novokuznetsk, Russian Federation;
e-mail: kov.s.v@mail.ru

Abstract

Passing the Unified State Exam in the discipline «Physics» by 85 or more points is due to intensive preparation and in-depth study of the subject. The demand for technical knowledge in modern conditions is obvious, therefore physics becomes the subject that most students choose when planning to enroll in universities of industrial and technical orientation. In this regard, there is a need to find new options for effective training in the subject. The purpose of the article is to analyze the current optional physics course for 11th grade students «External photoelectric effect». In the practical part of the article, an approved version of the thematic planning of the course is proposed. The possible ways of mastering skills and abilities in the process of mastering the material are revealed. It is summarized that as a result of the implementation of the optional course «External photoelectric effect» students will acquire the skills to solve qualitative and computational physical problems; explain the conditions for using physical models in solving them; independently study and prepare for work an experimental installation to test the laws of the photoelectric effect and the Einstein equation, which will allow them to successfully pass the exam and study the subject in more depth at the university.

For citation

Kovalenko V.V., Kovyrschina S.V. (2024) Nekotorye aspekty prepodavaniya fakul'tativa «vneshnij fotoelektricheskiy jeffekt» dlja obuchajushhihsja 11 klassa [Some aspects of teaching the elective “external photoelectric effect” for 11th grade students]. *Pedagogicheskii zhurnal* [Pedagogical Journal], 14 (5A), pp. 124-135.

Keywords

Elective, physics, external photoelectric effect, schoolchildren, occupation, skill, skills.

References

1. The Ministry of Education and Science is preparing a program to stimulate interest in physics among schoolchildren. Available at: <https://tass.rus.obschestvo/16828673> (accessed 30.05.2024). (In Russ).
2. Yudin, V. I. *Sovremenniy urok: rozhdenie zamysla i proektirovanie* [Modern lesson: the birth of the idea and design: a methodological guide for teachers] Samara : MBOU ODPO CRO, 2015. - 91 p. (In Russ).
3. Kameneckij, S.E. *Teoriya i metodika obucheniya fiziki v shkole: Obshchie voprosy* [Theory and methodology of teaching physics at school: General questions: studies. manual for students. higher. ped. studies. Institutions].– M.: Publishing center "Academy", 2000. – 368s. (In Russ).
4. YAKOVCHUK I.E. Aktual'nye problemy i perspektivy prepodavaniya fiziki v shkole. Kubanskaya shkola=Kuban school. 2024. No. 1 (73). pp. 139-143. (In Russ).
5. Carenko V.I. *Patrioticheskoe vospitanie studentov pri obuchenii ih metodike prepodavaniya fiziki v shkole. Nauka segodnya: problemy i perspektivy razvitiya = Science today: problems and prospects of development. Collection of scientific papers based on the materials of the international scientific and practical conference: in 3 parts. The scientific center "Disput". 2015. pp. 61-62. (In Russ).*
6. Frolova M.S. *Fizika i metody ee prepodavaniya v shkole. Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2022. No. 5-1 (68). pp. 276-280. (In Russ).*
7. Fomina N.P., Chuchina N.M. *Innovacionnye tekhnologii v prepodavanii fiziki v shkole. Vestnik nauchnyh konferencij=Bulletin of scientific conferences. 2020. No. 7-2 (59). pp. 146-147. (In Russ).*
8. Shefer, O.N., Antonova, N.A. *Adaptaciya budushchih uchitelej fiziki k obucheniyu v vuze. Professional'noe obrazovanie v Rossii i za rubezhom=Vocational education in Russia and abroad. 2023. No. 2 (50). pp. 117-122. (In Russ).*
9. Kameneckij, S.E. *Teoriya i metodika obucheniya fiziki v shkole: CHastnye voprosy. [studies. manual for students. higher pedagogical studies]. Moscow: Publishing center "Academy", 2000. – 384 p. (In Russ).*
10. Kovalenko, V.V., Kovyrschina, S.V. *Metodologicheskie aspekty prepodavaniya kvantovoj fiziki. Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta=Bulletin of the Bryansk State University. №1 (2014): Pedagogy. Psychology. Bryansk: RIO BSU, 2014. - 250 p. (In Russ).*
11. Kovalenko, V.V., Nevskij, S.A. *Novacii v modelirovanii fizicheskikh yavlenij kvantovoj optiki. Sovremennye naukoemkie tekhnologii=Modern high-tech technologies. 2013. - 163 p. (In Russ).*
12. Pletnikova T.A. *Primenenie distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij v prepodavanii fiziki. Neskuchno o fotoeffekte. Informacionno – kommunikacionnye tekhnologii v pedagogicheskom obrazovanii= Information and communication technologies in pedagogical education, Novokuznetsk, 2016. – pp. 193-203. (In Russ).*
13. *Fizika. 11 klass. [Basic and advanced levels: in 2 h. h.2.]. Moscow: BINOM. Laboratory of knowledge. 2017. – 208 p. (In Russ).*