

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

Том 108

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF PHYSICS

Volume 108

ИЗУЧАВАНЕ НА ЯВЛЕНИЕТО „ФОТОЕФЕКТ“ В СРЕДНОТО УЧИЛИЩЕ

ВЕСЕЛА ДИМОВА

Катедра „Методика на обучението по физика“

Весела Димова. ИЗУЧАВАНЕ НА ЯВЛЕНИЕТО „ФОТОЕФЕКТ“ В СРЕДНОТО УЧИЛИЩЕ

Статията разглежда проблема за поетапното изучаване на явлението „фотоефект“ и изграждане на основни елементи от квантовата оптика в средното училище. В методическия анализ на проблема използваме обобщени планове за основните структурни елементи на физичното знание – за явление, физична величина и закон. Използвани са учебниците за задължителна подготовка по „Физика и астрономия“ за 10. клас.

Vessela Dimova. STUDY OF THE PHENOMENON „PHOTOELECTRIC EFFECT“ IN HIGH SCHOOL

The article discusses the problem of phased study the phenomenon of „photoelectric effect“ and basic elements of quantum optics in high school. In the methodological analysis of the problem we use generalized plans for the structural elements of physical knowledge – phenomenon, physical quantity and law. We use textbooks for compulsory education in „Physics and Astronomy“ for the grade 10.

Keywords: physics education, methodological knowledge, quantization of light

PACS numbers: 01.04.Ej

За контакти: Весела Димова, Катедра „Методика на обучението по физика“, Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“, бул. „Джеймс Баучър“ 5, 1164 София, тел. +359 2 8161 793, E-mail: vdimova@phys.uni-sofia.bg

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Светлинните явления са получили своето описание и обяснение в по-късен период от развитието на науката в сравнение с другите области на физиката. Те са включени в учебното съдържание за задължителна подготовка по физика в средното училище на два етапа – в 7. и в 10. клас. Съществен елемент от усвояването на знанията за тази област природни явления представлява разглеждането на взаимодействието на светлината с веществото с най-добре застъпеното явление – „външен фотоэффект“. Изучаването му дава възможност на учениците: да проследят поэтапно различните страни в познавателния процес (по-специално при изучаване на природата) – от фактите, през хипотезите, моделите, понятията и законите до експеримента, с който се проверяват определени твърдения; да оценят връзката между теория и експеримент; да използват някои методи на познание в учебно-познавателната си дейност при изучаване на конкретно физично явление; да обосноват необходимостта от въвеждане на нова идея във физиката в съответния исторически момент (понятието *фотон*); да разгледат развитието на дадено понятие (физичната величина *енергия*); да съпреживеят раждането на нова хипотеза в науката (квантуване на енергията); да установят разликата и разкрият връзката между емпиричните закони и теоретичния закон, с които се обяснява явлението; да се запознаят с действието на някои методологични принципи на физиката, които водят до нови научни открития (принципите за запазване и допълнителност); да проследят в исторически план развитието на представите за светлината и приноса на някои учени за достигане до истините за природата; да открият някои функции на науката (да описва и да обяснява явленията, да прогнозира и да формира светоглед). Статията проследява как се решават тези методологични задачи с изучаване на явлението „фотоэффект“. В случая дейността на учениците се подпомага от обобщения план за физично явление.

На първия етап се представят опитите на Херц, довели до откриване на явлението. Посочват се външните белези, въвежда се наименованието и определението на явлението и се набелязват опити, с които то може да се изучи. На втория етап се разглежда устройството и принципът на действие на фотоклетка (за целта се използва обобщеният план за уред), интерпретират се експериментални данни. Като резултат се посочват условията, при които настъпва явлението, въвеждат се величините, с които количествено се описва то, отнасящи се до светлината (дължина на вълната), металът (отделителна работа) и механизмът на управление (спирачно напрежение), установяват се емпиричните закони, на които се подчинява явлението.

На следващия етап се прави опит да се обясни явлението с вълновата теория за светлината, формулира се изказаната от Планк и доразвита от Айнщайн хипотеза за квантуване на енергията и се интерпретира уравнението на Айнщайн като закон за запазване на енергията, с помощта на който се обос-

новата установените емпирични закони. Тук се прилага обобщеният план за физичен закон. Разглежда се важният от методологична гледна точка въпрос за границите на приложимост на закона. След това се разкрива връзката на изучаваното явление с други явления, посочват се някои приложения. С решаване на подходящо подобрени количествени и качествени задачи върху фотоэффект се развиват уменията на учениците да работят с графики, с квантувани величини и да прилагат методите на познание в практиката.

2. ОПТИЧНИТЕ ЯВЛЕНИЯ В ЗАДЪЛЖИТЕЛНАТА ПОДГОТОВКА ПО „ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ“ В СРЕДНОТО УЧИЛИЩЕ

Разделът „Оптика“ се изучава в 7. и 10. клас на задължителната подготовка по физика и астрономия в средното училище. В 7. клас учениците усвояват основни знания, свързани със следните въпроси: праволинейно разпространение на светлината в еднородна среда; явления, които се обясняват с тези представи – отражение и пречупване; закони за отражението, разлагане на светлината, цветове, огледала и лещи, оптични уреди.

По-нататък в курса по оптика в 10. клас се разширяват и задълбочават знанията на учениците за светлината. Изучаването на вълновата оптика е етап от формирането на съвременните представи за светлината, в които квантово-вълновият модел заема централно място. Тази идея има познавателна и светогледна стойност. В познавателно отношение тя разкрива такива свойства на светлината, които я характеризират като вълна. До правилното разбиране на тези свойства се достига върху основата на експеримента и анализа на получените резултати. Предварителното запознаване на учениците с основните характеристики на вълновите процеси позволява да се използват вече известни общи понятия, които добиват конкретен смисъл при разглеждането на светлинните явления. Понятията *вълна*, *кохерентност*, *интерференция* и *дифракция*, въведени първоначално при механичните вълни, се осмислят при електромагнитните вълни. За формирането на научния светоглед на учениците значение има [1]:

1. Разширяването на понятията за електромагнитните вълни с включване на електромагнитни трептения във видимата област (тясното понятие светлина) и тези от инфрачервената и ултравиолетовата област. Така се създава възможност да се обединят две твърде различни на пръв поглед физични явления върху една обща основа – електромагнитната теория.
2. Усвояването на вълновия модел за светлината като крачка към разкриване на една от основните идеи на съвременната физика – идеята за квантово-вълновия модел.

Главната цел при изучаването на вълновата оптика е да се докаже, че светлината има вълнов характер и че светлинните вълни са електромагнитни.

Разделът продължава с разглеждането на въпроса за източниците на светлина и различните видове лъчи. Учениците се запознават с топлинни, луминесцентни източници на светлина и лазери. Рентгеновите, инфрачервените и ултравиолетовите лъчи се изучават от гледна точка на тяхното приложение и влияние върху човека.

След източниците на светлина се изучава квантовата оптика, като част от квантовата физика, без която построяването на съвременния училищен курс по физика е немислимо. Квантовата физика е физиката на микросвета. Целите, които са поставени с изучаването ѝ, са [1]:

1. Учениците да получат познания за законите, които действат в микросвета.
2. Да могат да оценят значението на тези познания за разбирането на свойствата на макротелата.
3. Да получат представа за границите на приложимост на понятията и законите на класическата физика.
4. Да разбират специфичните особености на физичния експеримент при изследване на микрообектите и неговата роля в развитието на квантовата теория.
5. Да свързват постиженията на квантовата физика с постижения в областта на техниката.

Основният проблем, който се опитва да реши квантовата оптика, е описание на взаимодействието на светлината с веществото, като се отчита квантовата природа на обектите. В няколко последователни урочни единици се развива идеята за квантовия характер на електромагнитното лъчение. В тази връзка се разглеждат две основни явления: топлинно излъчване на светлината и фотоелектричен ефект.

Урокът, посветен на топлинното излъчване, изпълнява функциите на уводен в областта на квантовата теория. С разглеждането на това явление учениците се въвеждат в идеите на Планк за дискретен характер на електромагнитното излъчване. Целите на урока са свързани главно със следното [1]:

1. Да се разкрие несъответствието между класическата теория и експериментите с нагрети тела.
2. Да се въведе основното понятие на теорията на Планк – *квант енергия*, и с това да се постави началото на развитието на квантовите идеи във физиката.

В учебното съдържание по тази тема е заложено: въвеждане на модела *абсолютно черно тяло*, разглеждане на експериментално установените закони за топлинното излъчване (закон на Стефан и закон на Вин), дефиниране на понятието *квант енергия* на електромагнитното излъчване.

За изучаването на фотоелектричния ефект са определени два урока, в които е представено съдържанието на темата и идеите на Айнщайн за обяснение на явлението. С тези уроци се цели [2]:

1. Да се разкрият нови страни от сложната природа на светлината.
2. Да се покаже несъвършенството на модела *електромагнитна вълна*, когато трябва да се обясни отделянето на електрони при взаимодействие на светлината с веществото.
3. Да се въведе нов модел за светлината – посредством понятието *фотон*.
4. Да се запознаят учениците с приложенията на фотоэффекта.
5. Да се приложат обобщените планове за изучаване на ново явление, физична величина и закон.

Разделът „Оптика“ в 10. клас завършва с урок за вълновите свойства на частиците. В него учениците се запознават с хипотезата на Дьо Бройл, според която всеки движещ се електрон (или друга частица) притежава вълнови свойства (подобно на фотона), и с нейното експериментално потвърждение.

3. МЕТОДИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ИЗУЧАВАНЕ НА ЯВЛЕНИЕТО „ФОТОЕФЕКТ“ В ЗАДЪЛЖИТЕЛНАТА ПОДГОТОВКА ПО „ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ“ В СРЕДНОТО УЧИЛИЩЕ

Образователните и възпитателните цели на тази тема са свързани с това учениците да [2]:

- изказват определение за явлението фотоелектричен ефект;
- изброяват условията за настъпване на фотоелектричния ефект;
- описват устройството и принципното действие на фотоклетката;
- могат да анализират волт-амперна характеристика на фотоклетка;
- пресмятат спиращо напрежение;
- дефинират и разбират основните закономерности при фотоэффекта;
- дефинират понятието *фотон* и пресмятат енергията на фотон;
- изказват закона на Айнщайн за фотоелектричния ефект като закон за запазване на енергията и да го прилагат при обяснение на явлението;
- посочват някои приложения на външния фотоэффект;
- развиват физичен стил на мислене посредством въведените нови понятия при обяснение на емпиричните закони за фотоэффекта;
- изграждат навици и умения за аналитико-синтетична дейност и систематизиране на знанията чрез проследяване на историческото развитие на идеята за квантуване на светлината и чрез разглеждане на отношението между теория и експеримент във физиката, между теоретичен и емпиричен закон при изучаване на явлението фотоэффект;
- формират научен светоглед посредством изграждане на квантови представи за светлината и обяснение на взаимодействието на светлината с веществото;
- повишават и задълбочават интереса си към физиката чрез разкриване на хуманитарния потенциал на физичното знание посредством разглеждане на избрани моменти от живота на Айнщайн и просле-

дяване на отражението на научните открития върху развитието на обществото.

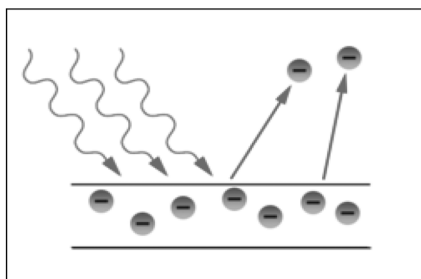
Изучаването на явлението външен фотоефект се извършва по обобщения план за физично явление [3]:

1. Откриване на външните признаци на явлението.
2. Посочване на условията, при които то протича.
3. Изследване на явлението в лабораторни условия или запознаване с резултатите от такова изследване.
4. Обяснение на явлението.
5. Изясняване на връзките на дадено явление с други явления.
6. Запознаване с най-важните приложения.

С използването на този обобщен план се дава възможност на учениците да извървят всяка стъпка от цикъла на научно познание при изучаването на едно конкретно физично явление (фотоелектричния ефект) – от експеримента към теорията и отново към експеримента. Ще проследим последователно тези стъпки в дидактически план.

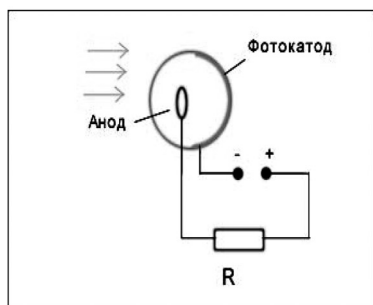
Като въведение в темата се използва описание на опитите на Херц (по възможност и демонстриране) и коментиране на експерименталните факти. След проведения анализ се стига до посочване на външните признаци на новото явление – белезите, по които то се отличава от познатите ни явления.

На учениците може да бъде демонстриран опит с цинкова пластина, а след това и с други метали. Опитната постановка се състои от цинкова пластина, съединена с електроскоп, който е зареден отрицателно. При осветяването на пластинката зарядът на електроскопа бързо намалява. Ако той е зареден положително, при осветяване на пластинката такова намаляване на заряда не се наблюдава. Този факт се обяснява с отделянето на електрони от повърхността на цинка при осветяването му. Наблюдаваното явление се нарича външен фотоефект (фиг. 1).

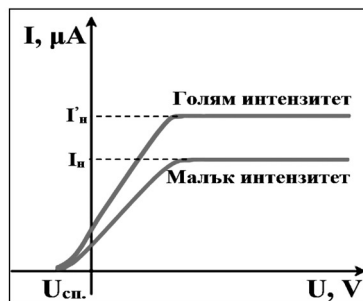


Фиг. 1. Схема на избиране на електрони от повърхността на метал при облъчването му със светлина

По-нататък е необходимо да се изследва явлението, за да се определят условията, при които то протича, и закономерностите, на които се подчинява.



Фиг. 2. Фотоклетка



Фиг. 3. Волт-амперна характеристика

Експерименталното изследване на явлението включва описание на опити и формулиране на установени закономерности. В този случай се демонстрира опит с фотоклетка. Учениците се запознават с устройството и принципа на действие на фотоклетка (фиг. 2). За целта се използва обобщен план за уред [3]:

1. Название на уреда.
2. Принцип на действие.
3. Устройство на уреда.
4. Правила за използването му.
5. Област на приложение.

След като учениците са запознати с опитната постановка и експерименталните резултати, разглеждането на явлението преминава на следващия етап – обяснението му. За тази цел ще бъде разгледана зависимостта на тока от приложеното напрежение. Първоначалната формулировка на законите може да се даде чрез макровеличините, които се определят в опита: големината на фототока I , осветеност на катода E , спирачно напрежение $U_{\text{сп}}$, а след това да се преформулират с използване на микроструктурни представи. Учениците са подготвени за работа с макровеличините от изученото в областта на електромагнитните явления и при представяне на нова величина използват обобщения план за физична величина [2, 3]:

1. Какво явление или свойство характеризира величината.
2. Как се дефинира величината.
3. Каква е формулата, по която я определяме.
4. Каква е величината – скаларна или векторна.
5. Коя е основната ѝ единица в SI.

Анализът на волт-амперната характеристика на фотоклетка (фиг. 3) е необходим елемент в усвояването на закономерностите на фотоефекта. Интерпретирането ѝ може да се възложи на учениците, тъй като е аналогично на това при ток във вакуум.

В резултат на многобройни експериментални изследвания са установени следните основни закономерности при фотоефекта:

1. При осветяване с монохроматична светлина броят на отделените за единица време от дадена повърхност електрони е право пропорционален на интензитета на светлината.
2. За всеки метал съществува червена граница на фотоэффекта, т.е. максимална дължина на вълната λ_{\max} на светлината, при която все още е възможно отделянето на фотоелектрони. Ако $\lambda > \lambda_{\max}$, фотоэффект не се наблюдава дори при голям интензитет на падащата светлина.
3. Максималната кинетична енергия $E_{k,\max}$ на фотоелектроните не зависи от интензитета на светлината. $E_{k,\max}$ нараства линейно при увеличаване честотата ν на падащата светлина.
4. Фотоелектроните се отделят практически едновременно с осветяването (по-малко от 10^{-9} s след осветяването на повърхността на метала), дори когато интензитетът на светлината е много малък.

С помощта на тези закономерности се описват процесите на микроиво, но те не могат да обяснят изследваното явление. Опитите това да стане с вълновата теория на Максвел водят до неуспех. Възниква необходимост да се разгледат нови идеи и хипотези във физиката, които променят представите ни за светлината.

При обяснение на явлениято в урока се използва исторически подход към проблема – от квантовите идеи на Планк към теорията на Айнщайн. Обяснението се изгражда върху основата на въведеното ново понятие *фотон* и теоритично изведения закон на Айнщайн за фотоэффекта. Последователно се показва как всеки от емпиричните закони при фотоэффекта следва от уравнението на Айнщайн:

$$h\nu = \frac{1}{2}(mv_{\max}^2) + A_{\text{отд}}.$$

При изучаването му се коментират всички точки от общия план за физичен закон [3]:

1. Изясняване за какви явления (процеси) се отнася законът; връзка между какви величини изразява.
2. Формулиране на закона и математическото му изразяване.
3. Опити, в които се установява законът.
4. Обяснение на закона. Какво е мястото на закона в съответната теоретична система.
5. Граници на приложимост.
6. Отчитане и използване на закона в практиката.

Учениците успешно могат да бъдат привлечени в последователното изграждане на обясненията, както и в самостоятелна работа по прилагане на уравнението в конкретни задачи [3]. Интерес представлява опитното определяне на константата на Планк, което се разглежда като експериментална проверка на теорията на Айнщайн.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение ще отбележим, че цялото това (физично) знание, което се преподава в съвременното училище, не би имало смисъл, нещо повече – превръща се в товар, – ако то не води към повишаване съзнанието на човека, ако не се вгради в нравствената система на индивида. Затова е нужно в обучението по физика да насочим вниманието си към непреходните хуманни ценности. Вече не може да се преподава и да се търси у подрастващите определено интелектуално постижение „на всяка цена“. Придобитото чрез насилие предопределя и начина за неговото използване в бъдеще. То не е благо дори и за неговия притежател. Затова съвременната младеж се отдръпва от такова знание.

Днес световната културна общественост в лицето на развитите държави, ако предявява претенциите да има водеща роля в еволюционното развитие на човечеството, трябва да отговори на редица наболели въпроси от нравствен и морален характер: за какво служи науката, как се използва от всеки индивид придобитото знание, което представлява колективно постижение на човечеството, помага ли то за добруването на всички същества на планетата и за повдигане на съзнанието на хората. Ако на подобни въпроси не съумеем да отговорим подобаващо – въпроси, които самият живот поставя пред нас, – няма да можем да направим следващата стъпка в развитието на обществото (и в науката) в желаната от всички ни посока. Знанието трябва да бъде осмислено в този аспект, за да може да изиграе своята роля в учебно-познавателната дейност на подрастващите, за да говорим за ефективен процес на обучение.

Научното знание само по себе си не може да осмисли човешкото съществуване и познание, затова е необходима наложителна ревизия на ценностите, вглеждане в дълбините на човешката същност, за да се открие и задвижи естествено вложеният стремеж в човека към познание, за да се разкрият и приложат новите методи за достигане до истините за природата и обществото, за да се изгради живот, какъвто трябва – живот, в който човек не влиза в конкурентна борба със себеподобните си, не нарушава основни нравствени закони, не изопачава истината.

Съвременното общество, нация, индивид се нуждае от такива знания и такъв морал, с които да издържа изпитите на живота. Учителите са призвани първи да дадат такъв пример – не само и не толкова със знанията си в съответната научна област, а с цялостния си начин на живот, с отношението си към учебно-познавателния процес, природата и човека, с поведението си, в което се проявява истината и доброто. Това оказва повече влияние върху учениците в процеса на обучение, отколкото проследяването на придобитите от тях знания като краен (едностранчив) продукт. В този смисъл учителите вече имат своя принос във възпитанието и приобщаването на подрастващите към непреходните хуманни ценности и изграждането на добродетели в човека.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кюлджиева, М. Дидактика на физиката в средното училище. Шумен, 1997.
- [2] Димитрова, П. Дипломна работа „Изучаване на явлението фотоефект“. София, 2014.
- [3] Усова, А. Теория и методика обучения физике. Санкт Петербург, 2002.
- [4] Учебници за СОУ по „Физика и астрономия“, 7.–10. клас, задължителна подготовка.