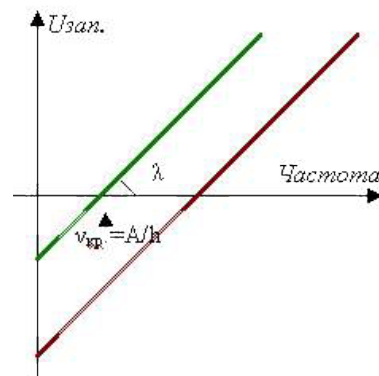
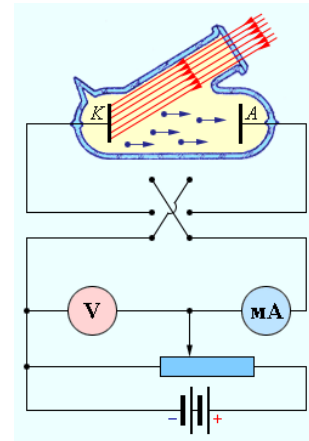
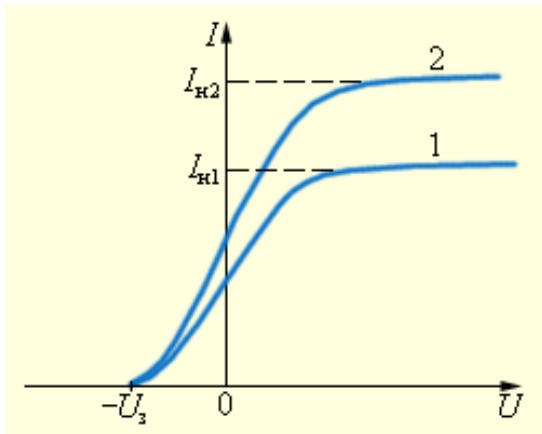


ДИДАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ К УРОКАМ ПО ТЕМЕ «ФОТОЭФФЕКТ»

Учебно-методическое пособие



Дидактический материал к урокам по теме «Фотоэффект». 11 класс.
Учебно-методическое пособие.

В пособии дается краткое изложение основного содержания темы по физике «Фотоэффект», оно содержит комплект заданий, решений типовых задач, тестов для контроля знаний обучающихся образовательных учреждений, вопросов для зачета. Пособие содержит качественные и расчетные задания, сгруппированные по видам: тестовые задания, графические задачи на фотоэффект с погрешностями, задания из ЕГЭ, разноуровневые задачи, задачи для самоконтроля. Данное учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся 11 классов при организации самостоятельных занятий в ходе изучения данной темы, а также при повторении изученного ранее материала при подготовке к экзамену по физике.

Пособие может быть полезным родителям выпускников средней школы, абитуриентам, школьным учителям. Пособие может быть использовано для закрепления и проверки знаний обучающихся, а также для самостоятельной работы ими дома.

Форма предлагаемых заданий такова, что любой пользователь может попытаться решить задачу самостоятельно и сравнить свое решение с приведенным в пособии. Если при попытке самостоятельного решения задачи возникнут затруднения, можно рассмотреть образец ее решения. Пособие способствует выявлению уровня знаний по основным вопросам темы, учителям помогает в составлении и проверке контрольных и срезовых тематических работ, состоящих из нескольких вариантов.

Предлагаемое пособие обеспечивает реализацию стандарта физического образования.

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. ВВЕДЕНИЕ	2
II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	
1. ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	4
1.1. Равновесное тепловое излучение	5
1.2. Ультрафиолетовая катастрофа	8
1.3. Гипотеза планка	8
1.4. История открытия фотоэффекта	9
1.5. Почему именно ультрафиолетовое излучение вызывает фотоэффект?	10
1.6. Анализ вольт - амперной характеристики	11
1.7. Законы фотоэффекта	12
1.8. Объяснение А. Эйнштейном в 1905 г. явления фотоэффекта.	13
1.9. Свет при испускании и поглощении ведет себя подобно потоку частиц - световых квантов	14
1.10. Применение фотоэффекта	16
а) внешний фотоэффект,	16
б) внутренний фотоэффект,	19
с) вентильный фотоэффект.	21
2. ГЛАВА 2. ПРАКТИКУМ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ	
2.1. Опорные конспекты по теме «фотоэффект»	23
2.2. Алгоритм применения уравнения Эйнштейна для фотоэффекта к решению задач	25
2.3. Примеры решения задач	29
2.4. Тесты по теме «фотоэффект»	49
2.4.1. Тестовое задание в соответствии с обязательным минимумом содержания образования	49
I Вариант	49
2.4.2. Коррекционный тест по теме «Фотоэффект»	50
I Вариант	50
2 Вариант	53
2.4.3. Тесты Родионовой О.Э.	57
I Вариант	
2 Вариант	62
2.4.4. Тестовое задание «Световые кванты»	63
I Вариант	
2 Вариант	63
3 Вариант	64
4 Вариант	64
2.4.5. Тестовые задания для тематического контроля	66
I Вариант	66
2 Вариант	68

3 Вариант	70
4 Вариант	74
2.4.6. Тестовые задания по физике	75
I Вариант	75
2 Вариант	76
2.4.7. Графическое решение задач на фотоэффект с погрешностями	77
I.4.8. Контрольная работа «фотоэффект» (с решением)	78
I Вариант	80
2 Вариант	81
3 Вариант	82
4 Вариант	83
5 Вариант	84
6 Вариант	85
7 Вариант	86
8 Вариант	87
I.4.9. Вопросы к зачету по теме «Фотоны. Фотоэффект»	88
I.4.10. Задания из ЕГЭ (с решениями)	89
2.4.11. Разноуровневые задачи (с ответами и решениями)	100
1) Первый уровень сложности	100
2) Второй уровень сложности	101
3) Третий уровень сложности	105
2.4.12. Задачи для самоконтроля	115
III. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	117
IV. ПРИЛОЖЕНИЕ	
5.1. Дополнительный материал	118
5.1.1. Макс Планк (Макс Карл Эрнест Людвиг)	118
5.1.2. Герц Генрих	122
5.1.3. Томсон Джозеф Джон	123
5.1.4. Столетов Александр Григорьевич	123
5.1.5. Вечная загадка мира - Альберт Эйнштейн	124

ДИДАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ К УРОКАМ ПО ТЕМЕ «ФОТОЭФФЕКТ»

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Основное содержание изучаемого материала задают учебная программа и обязательный минимум содержания по физике.

Глубина изложения материала определяется учебником Г.Я.Мякишева, Б.Б.Буховцева, В.М. Чаругина «Физика 11» (М. «Просвещение», 2009 г) и Л.Э. Генденштейна, Ю.И. Дик (М. «Илекса», 2009г.)

Тема рассматривается в разделе «Квантовая физика» в главе «Световые кванты». На изучение темы «Фотоэффект» в школьном учебнике по физике отводится всего четыре параграфа, в профильных классах это – 4 часа:

1. Фотоэффект
2. Теория фотоэффекта
3. Фотоны
4. Применение фотоэффекта

Тем не менее, она имеет большое методологическое, мировоззренческое и научно-техническое значение.

- Познавательная (история открытия фотоэффекта)
- Практическая (расчет красной границы фотоэффекта, компьютерная проверка законов фотоэффекта, расчет скорости фотоэлектронов, применение фотоэффекта)
- Воспитательная (развитие у школьников интереса к науке, патриотическое воспитание через знакомство с биографией А.Г.Столетова)
- Тема математизирована, поэтому следует повторить необходимые сведения из курса математики, а также осуществить межпредметные связи с историей и ОИиВТ.
- Максимальный результат может быть достигнут в классах с достаточно хорошей математической и компьютерной подготовкой, развитыми навыками самостоятельной работы при сформированном доброжелательном отношении ребят друг к другу.
- Задачи по фотоэффекту используются в ЕГЭ на всех уровнях сложности, включаются в абитуриентские олимпиады.

Поэтому усвоение данной темы должно быть качественным и эффективным. Прежде следует усвоить теорию.

Вспомним слова Ф.И.Тютчева:

Не то, что мните Вы, природа:

Не слепок, не бездушный лик, -

В ней есть душа, в ней есть свобода.

В ней есть любовь, в ней есть язык.

Да, у природы есть свой язык, и мы должны его понять. На каждом уроке физики, при изучении любого явления мы учимся понимать этот язык.

Путь познания природы таков: наблюдение - опыт - открытие - исследование - объяснение.

К концу 19-го века казалось твердо установленным, что свет имеет волновую природу, так как представляет собой электромагнитные волны. Однако такое представление о свете не могло дать объяснение тепловому равновесию между веществом и излучением.

Чтобы объяснить это равновесие, немецкий ученый Макс Планк предположил, что свет излучается и поглощается отдельными порциями (квантами).

1. РАВНОВЕСНОЕ ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Как хорошо известно, сильно нагретые тела *светятся*, то есть *излучают* свет — электромагнитные волны. Опыты показывают, однако, что тела излучают электромагнитные волны не только при высокой, а при *любой* температуре, отличной от абсолютного нуля. Это излучение называется *тепловым*.

Тепловое излучение не всегда представляет собой видимый свет: например, при комнатной температуре тело излучает инфракрасные волны.

РАВНОВЕСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

При излучении внутренняя энергия тела *уменьшается*. Но это не обязательно приводит к остыванию тела, так как наряду с излучением тело обычно и *поглощает* электромагнитные волны (рис. 18.1). При поглощении электромагнитных волн внутренняя энергия тела *увеличивается*.



Рис. 18.1. Излучение и поглощение электромагнитных волн, в результате которого между телом и излучением устанавливается тепловое равновесие

В результате излучения и поглощения электромагнитных волн устанавливается *тепловое равновесие* между телом и электромагнитным полем.

Электромагнитное излучение, находящееся в тепловом равновесии с телом, называется *равновесным*. Как вы уже знаете из

курса физики 10-го класса, условием теплового равновесия является равенство температур тела и излучения. Таким образом, равновесное излучение должно иметь такую же температуру, что и тело, находящееся с ним в тепловом равновесии.

2. «УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ КАТАСТРОФА»

Многочисленные наблюдения и опыты свидетельствуют, что вещество и электромагнитное поле могут находиться в тепловом равновесии при любой температуре: многие тела имеют постоянную температуру, все время обмениваясь энергией с окружающим их электромагнитным полем. Однако именно этот «простой» факт теплового равновесия между веществом и полем классическая физика объяснить не могла!

Расчеты, выполненные в рамках классической физики, с неизбежностью приводили к странному выводу: тепловое равновесие между веществом и излучением возможно только при абсолютном нуле температуры.

Ответственными за такое предельное охлаждение являлись бы электромагнитные волны с очень малой длиной волны, то есть находящиеся за фиолетовой границей видимого спектра. Поэтому описанное катастрофическое несоответствие предсказаний классической физики с опытом ученые назвали «ультрафиолетовой катастрофой».

3. ГИПОТЕЗА ПЛАНКА

Причиной «ультрафиолетовой катастрофы» является положение классической физики о том, что излучение непрерывно и поэтому его поглощение и излучение веществом может происходить порциями со сколь угодно малой энергией.

Значит, чтобы избежать «ультрафиолетовой катастрофы», необходимо допустить, что излучению, как и веществу, свойственна дискретность, то есть что электромагнитное поле поглощается и излучается веществом отдельными порциями, причем энергия этих порций не может быть сколь угодно малой.

Именно такое предположение и сделал в 1900 году немецкий физик Макс Планк. Высказанная им гипотеза гласит:

свет излучается и поглощается веществом не непрерывно, а дискретно, то есть отдельными порциями — квантами¹ (рис. 18.2), причем энергия кванта E и частота излучения ν связаны соотношением $E = h\nu$.

Коэффициент пропорциональности h назвали постоянной Планка. Измерения показали, что $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

¹ От латинского *quantum* — количество.



Макс Планк
(1858—1947)



Рис. 18.2. Свет излучается
и поглощается квантами

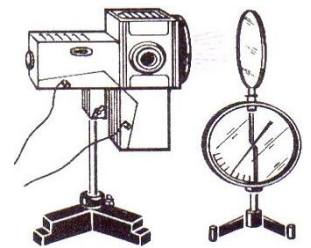
Выводы, следующие из гипотезы Планка, прекрасно согласовались с опытом. Но эта гипотеза не имела серьезного теоретического обоснования, и поэтому многие ученые (в их числе и сам Планк) рассматривали ее только как рабочую гипотезу, удобную для того, чтобы систематизировать опытные данные.

Однако развитие науки показало, что гипотеза Планка оказалась не рабочей гипотезой, а предвестником революции в физике. Как вы скоро увидите, она привела к рождению новой теории света и вещества — квантовой механике.

История открытия фотоэффекта

Слово «фотоэффект» состоит из двух слов: фото - свет (от греческого), эффект (от латинского) - действие, следовательно, «фотоэффект» - это действие света. Если это действие, то необходимо выяснить: какой эффект может произвести свет с веществом, каким законам он подчиняется, от каких характеристик зависит и где он нашёл применение.

В 1839 году Александр Беккерель наблюдал явление фотоэффекта в электролите. В 1873 году Виллоби Смит обнаружил, что селен является фотопроводящим. Затем эффект изучался в 1887 году Генрихом Герцем. При работе с открытым резонатором он исследовал электрические колебания, пытаясь обнаружить электромагнитные волны. Он заметил, что если посветить ультрафиолетом на цинковые разрядники, то прохождение искры заметно облегчается. Но Герца интересовали другие задачи, об этом явлении он только упомянул в своей статье.

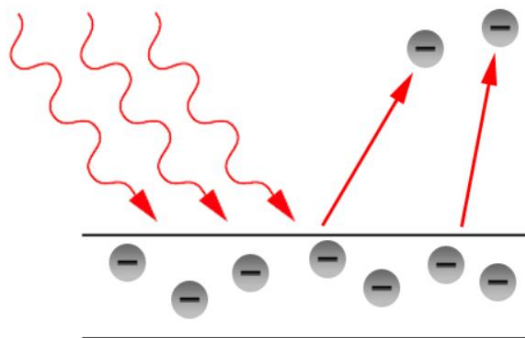


Этот факт заинтересовал профессора Московского университета Александра Григорьевича Столетова. Первые опыты по фотоэффекту были начаты Столетовым уже в феврале 1888 года. Он провел серию опытов. Для проведения опытов Столетов использовал электроскоп с присоединённой к нему цинковой пластинкой. Заряженную пластинку он освещал мощным источником света и обнаружил интересные моменты: если пластина была заряжена отрицательно, то заряд электроскопа уменьшался.

Уменьшение заряда цинковой пластинки Столетов объяснил потерей электронов под действием света.

Таким образом, фотоэффектом называют вырывание электронов из вещества под действием света.

Явление фотоэффекта доказывает квантовую природу света, но его изучали задолго до появления квантовой теории.



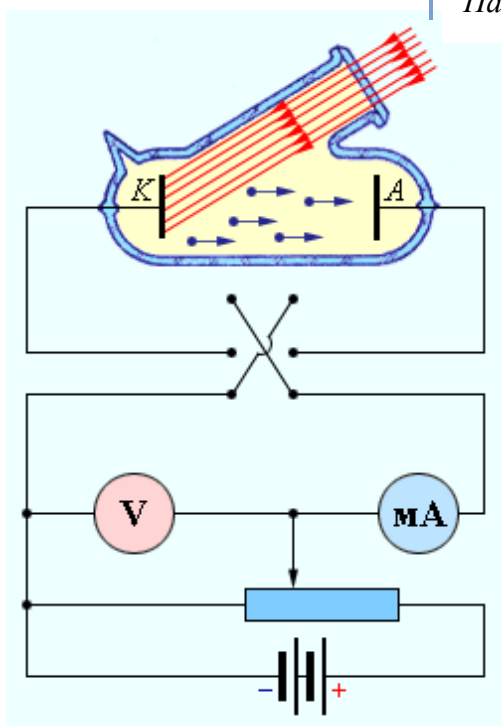
Но почему именно ультрафиолетовое излучение вызывает фотоэффект?



Дать объяснение этому факту Столетов не смог. Однако он сумел измерить количественные характеристики фотоэффекта и установить между ними связь.

Для измерения количественных характеристик данного явления Столетов изготовил прибор, который впоследствии получил название фотоэлемент.

Падающее излучение

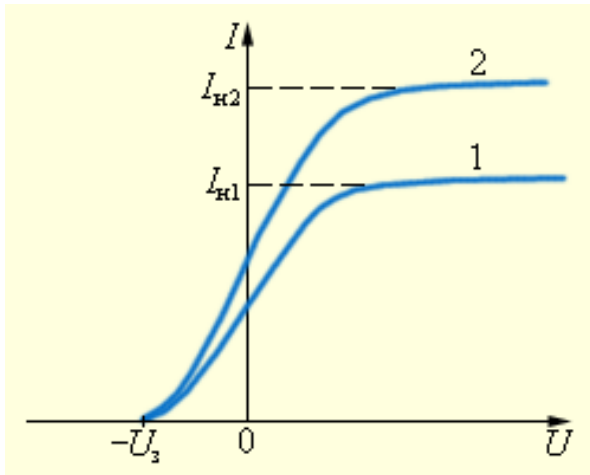


В экспериментах использовался стеклянный вакуумный баллон с двумя металлическими электродами, поверхность которых была тщательно очищена. К электродам прикладывалось некоторое напряжение U , полярность которого можно было изменять с помощью двойного ключа. Один из электродов (катод К) через кварцевое окошко освещался монохроматическим светом некоторой длины волны

Он соединил цинковую пластинку с отрицательным полюсом батареи. Включенный в цепь гальванометр показывает силу тока, создаваемого зарядами, покидающими пластину.

Используя вакуумный стеклянный

баллон с двумя электродами, ученый исследовал зависимость силы тока в баллоне от напряжения между электродами при различных условиях освещенности катода.

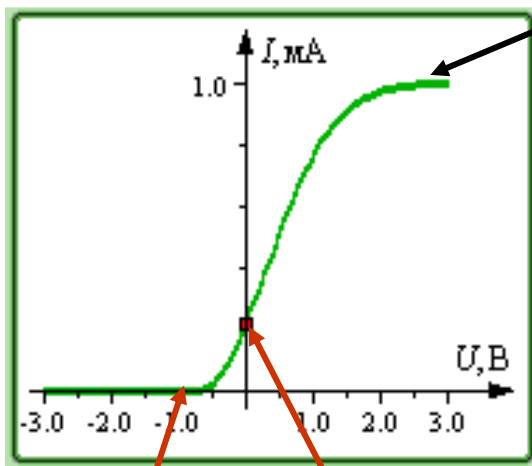


Зависимость силы фототока от приложенного напряжения. Кривая 2 соответствует большей интенсивности светового потока. $I_{н1}$ и $I_{н2}$ – токи насыщения, U_3 – запирающий потенциал

На графике показано, как выглядит вольтамперная характеристика фотоэлемента при неизменной освещенности катода.

- Световой поток, падающий на фотокатод, увеличивается, а его спектральный состав остается неизменным: $\Phi_2 > \Phi_1$
- Сила тока насыщения и, следовательно, число выбитых светом за 1 с электронов, увеличивается: $I_{нас,2} > I_{нас,1}$
- Значение запирающего напряжения не меняется!

Анализ вольт - амперной характеристики.



Начиная с некоторого значения напряжения, сила тока в цепи перестает изменяться, достигнув насыщения.

Сила тока насыщения прямо пропорциональна числу электронов, выбитых светом за 1 с с поверхности катода:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{|e|N}{1c} = const \equiv I_{нас}$$

- При $U = 0$ $I_0 \neq 0$ следовательно, выбитые электроны обладают кинетической энергией.
- При таком значении напряжения сила тока в цепи анода равна нулю. **Напряжение запирания (запирающее напряжение).**
- При $U > U_3$ в результате облучения электроны, выбитые из электрода, могут достигнуть противоположного электрода и создать некоторый начальный ток.

Если к освещаемой пластине присоединен положительный полюс батареи, то при некотором значении напряжения, называемом задерживающим, ток

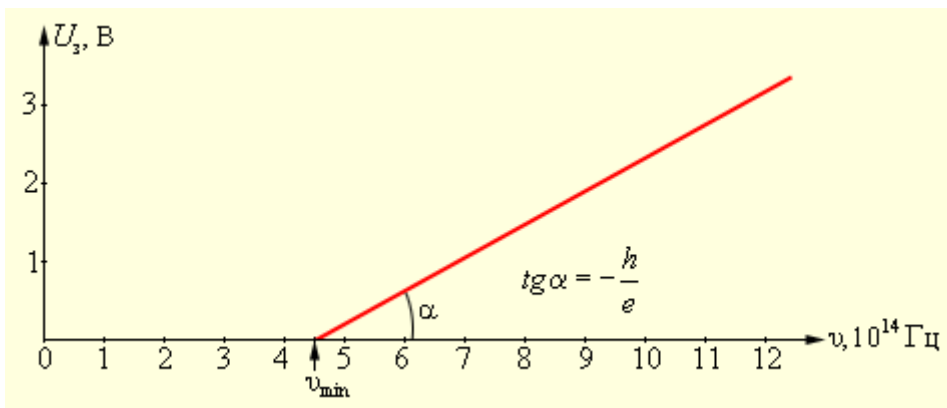
прекращается. Это происходит потому, что электроны, вырванные светом, электрическое поле возвращает на пластину. Используя закон сохранения энергии, можно найти максимальную кинетическую энергию электронов, вырванных светом, $eU = \frac{mv_{\max}^2}{2}$, где m - масса электрона, а v_{\max} - максимальная скорость фотоэлектрона. Если к освещаемой пластине присоединен отрицательный полюс батареи, то сначала с ростом напряжения ток растет, а затем наступает насыщение, т.е. величина тока перестает зависеть от приложенного напряжения.

Кривые показывают, что при достаточно больших положительных напряжениях на аноде A фототок достигает насыщения, так как все электроны, вырванные светом из катода, достигают анода.

Тщательные измерения показали, что ток насыщения I_n прямо пропорционален интенсивности падающего света. Когда напряжение на аноде отрицательно, электрическое поле между катодом и анодом тормозит электроны. Анода могут достичь только те электроны, кинетическая энергия которых превышает $|eU_3|$. Если напряжение на аноде меньше, чем $-U_3$, фототок прекращается. Измеряя U_3 , можно определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов:

$$\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\max} = eU_3$$

К удивлению ученых, величина U_3 оказалась независимой от интенсивности падающего светового потока. Тщательные измерения показали, что запирающий потенциал линейно возрастает с увеличением частоты ν света



Многочисленными экспериментаторами были установлены следующие основные закономерности фотоэффекта.

Законы фотоэффекта:

1. Количество электронов, вырываемых с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны. При некотором значении напряжения U_3 сила тока станет равной нулю. Это значит, что электрическое поле тормозит вырванные электроны до полной остановки, а затем возвращает их на электрод. Это напряжение называют задерживающим напряжением, и зависит от максимальной кинетической энергии, которую имеют вырванные светом электроны. Максимальное

значение кинетической энергии можно найти, применяя теорему о кинетической энергии: $mv^2/2 = eU_3$

При изменении интенсивности света задерживающее напряжение не меняется. Это означает, что не меняется кинетическая энергия электронов.

2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.
3. Каждому веществу соответствует минимальная частота излучения (красная граница), ниже которой фотоэффект невозможен.
4. Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света $\nu > \nu_{\min}$.

Все эти закономерности фотоэффекта в корне противоречили представлениям классической физики о взаимодействии света с веществом. Согласно волновым представлениям при взаимодействии с электромагнитной световой волной электрон должен был бы постепенно накапливать энергию, и потребовалось бы значительное время, зависящее от интенсивности света, чтобы электрон накопил достаточно энергии для того, чтобы вылететь из катода. Как показывают расчеты, это время должно было бы исчисляться минутами или часами. Однако, опыт показывает, что фотоэлектроны появляются немедленно после начала освещения катода. В этой модели также было невозможно понять существование красной границы фотоэффекта. Волновая теория света не могла объяснить независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока и пропорциональность максимальной кинетической энергии частоте света. Следовательно, энергия кванта должна быть больше этой работы $h\nu > A$. Предельную частоту ν_{\min} называют красной границей фотоэффекта.

$$\nu_{\min} = \frac{A}{h}$$

Наиболее полное исследование явления фотоэффекта было выполнено Ф. Ленардом в 1900 г.

К этому времени уже был открыт электрон (1897 г., Дж. Томсон, *приложение*), и стало ясно, что фотоэффект (или точнее – внешний фотоэффект) состоит в вырывании электронов из вещества под действием падающего на него света. Таким образом, электромагнитная теория света оказалась неспособной объяснить эти закономерности.

Одним из подтверждений правильности квантовой теории было объяснение А. Эйнштейном в 1905 г. явления фотоэффекта. Теоретическое объяснение наблюдаемых закономерностей фотоэффекта было дано Эйнштейном на основе гипотезы М. Планка о том, что свет излучается и поглощается определенными порциями, причем энергия каждой такой порции определяется формулой $E = h\nu$, где h – постоянная Планка. Эйнштейн сделал следующий шаг в развитии квантовых представлений. Он пришел к выводу, что свет имеет прерывистую (дискретную) структуру.

Электромагнитная волна состоит из отдельных порций – квантов, впоследствии названных фотонами. При взаимодействии с веществом фотон целиком передает всю свою энергию $h\nu$ одному электрону. Часть этой энергии электрон может рассеять при столкновениях с атомами вещества. Кроме того, часть энергии электрона затрачивается на преодоление потенциального барьера на границе металл–вакуум. Для этого электрон должен совершить работу выхода A , зависящую от свойств материала катода. Наибольшая кинетическая энергия, которую может иметь вылетевший из катода фотоэлектрон, определяется законом сохранения энергии:

$$\left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\max} = eU_3 = h\nu - A.$$

Эту формулу принято называть **уравнением Эйнштейна для фотоэффекта**. С помощью уравнения Эйнштейна можно объяснить все закономерности внешнего фотоэффекта. Из уравнения Эйнштейна следуют линейная зависимость максимальной кинетической энергии от частоты и независимость от интенсивности света, существование красной границы, безынерционность фотоэффекта. Общее число фотоэлектронов, покидающих за 1 с поверхность катода, должно быть пропорционально числу фотонов, падающих за то же время на поверхность. Из этого следует, что ток насыщения должен быть прямо пропорционален интенсивности светового потока.

Как следует из уравнения Эйнштейна, тангенс угла наклона прямой, выражающей зависимость запирающего потенциала U_3 от частоты ν , равен отношению постоянной Планка h к заряду электрона e :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{e}.$$

Это позволяет экспериментально определить значение постоянной Планка. Такие измерения были выполнены в 1914 г. Р. Милликеном и дали хорошее согласие со значением, найденным Планком. Эти измерения позволили также определить работу выхода A :

$$A = h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}},$$

где c – скорость света, $\lambda_{\text{кр}}$ – длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта. Явление фотоэффекта показало, что **свет имеет прерывистую структуру: излученная порциями световой энергии $E = h\nu$ сохраняет индивидуальность и в дальнейшем. Поглотиться может только вся порция целиком.**

Кинетическую энергию фотоэлектрона можно найти, применив закон сохранения энергии. Энергия порции света $h\nu$ идет на совершение работы выхода $A_{\text{вых}}$, т.е. работы, которую нужно совершить для извлечения электрона из металла, и на сообщение электрону кинетической энергии.

$$h\nu = A_{\text{out}} + W_e \quad \text{или} \quad h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

где ν - частота падающего света, m - масса электрона (фотоэлектрона), v - скорость электрона, h - постоянная Планка, $A_{\text{вых}}$ - работа выхода электронов из металла.

Это уравнение объясняет основные факты, касающиеся фотоэффекта.

За теорию фотоэффекта в 1921 году Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия.

Для каждого вещества фотоэффект наблюдается лишь в том случае, если частота света ν больше минимального значения ν_{min} . Чтобы вырвать электрон из металла даже без сообщения ему кинетической энергии, нужно совершить работу выхода. Значения работы выхода для различных веществ можно найти в справочных таблицах. Работа выхода $A_{\text{вых}}$ часто измеряется в электрон-вольтах: $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. У большинства металлов работа выхода $A_{\text{вых}}$ составляет несколько электрон-вольт. В квантовой физике электрон-вольт часто используется в качестве энергетической единицы измерения. Значение постоянной Планка, выраженное в электрон-вольтах в секунду, равно

$$h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}.$$

Среди металлов наименьшей работой выхода обладают щелочные элементы. Например, у натрия $A_{\text{вых}} = 1,9 \text{ эВ}$, что соответствует красной границе фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}} \approx 680 \text{ нм}$. Поэтому соединения щелочных металлов используют для создания катодов в **фотоэлементах**, предназначенных для регистрации видимого света.

Итак, законы фотоэффекта свидетельствуют, что свет при испускании и поглощении ведет себя подобно потоку частиц, получивших название **фотонов** или **световых квантов**.

Энергия фотонов равна

$$E = h\nu.$$

Фотон движется в вакууме со скоростью c .

Фотон не имеет массы, $m = 0$.

Фотон обладает импульсом

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}.$$

Таким образом, учение о свете, совершив виток длительностью в два столетия, вновь возвратилось к представлениям о световых частицах – корпускулах. Но это не был механический возврат к корпускулярной теории Ньютона. В начале XX века стало ясно, что свет обладает двойственной природой. При распространении света проявляются его волновые свойства (**интерференция, дифракция, поляризация**), а при взаимодействии с веществом – корпускулярные (фотоэффект). Эта двойственная природа света получила название **корпускулярно-волнового дуализма**. Позже двойственная природа была открыта у электронов и других элементарных частиц. Классическая физика не может дать наглядной модели сочетания волновых и корпускулярных свойств у микрообъектов. Движением микрообъектов

управляют не законы классической механики Ньютона, а законы квантовой механики. Теория излучения абсолютно черного тела, развитая М. Планком, и квантовая теория фотоэлектрического эффекта Эйнштейна лежат в основании этой современной науки.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭФФЕКТА

Фотоэффект используется в фотоэлектронных приборах, получивших разнообразные применения в науке и технике. На фотоэффекте основано превращение светового сигнала в электрический. Электрическое сопротивление полупроводника падает при освещении; это используется для устройства фотосопротивлений. При освещении области контакта различных полупроводников возникает фото-ЭДС, что позволяет преобразовывать световую энергию в электрическую (фотография наверху). Фотоэлектронные умножители позволяют регистрировать очень слабое излучение, вплоть до отдельных квантов. Анализ энергий и углов вылета фотоэлектронов позволяет исследовать поверхности материалов. В 2004 году японские исследователи создали новый тип полупроводникового прибора - фотоконденсатор, неразрывно соединяющий в себе фотоэлектрический преобразователь и средство хранения энергии. В преобразовании света новый прибор оказался вдвое эффективнее простых кремниевых солнечных батарей.

Открытие фотоэффекта имело очень большое значение для более глубокого понимания природы света. Но ценность науки состоит не только в том, что она выясняет сложное и многообразное строения окружающего нас мира, но и в том, что она даёт нам в руки средства, используя которые можно совершенствовать производство. Улучшать условия материальной и культурной жизни общества.

В природе существует **три вида фотоэффекта:**

- **внешний,**
- **внутренний**
- **вентильный.**

Фотоэлектрический эффект нашел широкое применение в технике.

Внешний фотоэффект



При внешнем фотоэффекте из металла под действием света вылетают электроны. Приборы, в основе принципа действия которых лежит явление фотоэффекта, называют **фотоэлементами**.

На основе внешнего фотоэффекта работают вакуумные и газонаполненные фотоэлементы. Вакуумный фотоэлемент

представляет собой стеклянный сосуд, в котором создан глубокий вакуум. Половину баллона покрывают тонким слоем серебра (это подложка), на который насыпают светочувствительный слой из металла, оксида бария или соединения сурьмы с цезием и т.п. Этот электрод служит катодом.



Сурьмяно-цезиевый фотоэлемент, использующий явление внешнего фотоэффекта.

В центре фотоэлемента помещают анод в виде кольца или цилиндра. При включении в цепь фотоэлемента, ток в ней не возникает из-за отсутствия свободных электронов между катодом и анодом. Однако если катод осветить, то из него вылетают фотоэлектроны, и в цепи течёт ток. А так

как сила фототока пропорциональна интенсивности света, то колебания освещенности катода вызывают колебания силы тока в цепи.

Сила фототока в вакуумных фотоэлементах мала. Для усиления тока используют иногда ударную ионизацию газа. С этой целью баллон заполняют инертным газом (чаще всего аргоном) под давлением около 1-10 Па. За счёт ударной ионизации сила тока возрастает в десятки раз. Вакуумные фотоэлементы применяются в схемах световой сигнализации, а также в звуковом кино для воспроизведения звука, записанного на киноплёнке.

Применяется в фотометрии для измерения силы света, яркости, освещенности, в кино для воспроизведения звука, в фототелеграфах и фототелефонах, в управлении производственными процессами.

В фотореле под действием света меняется напряжение на базе транзистора и срабатывает электромагнитное реле.



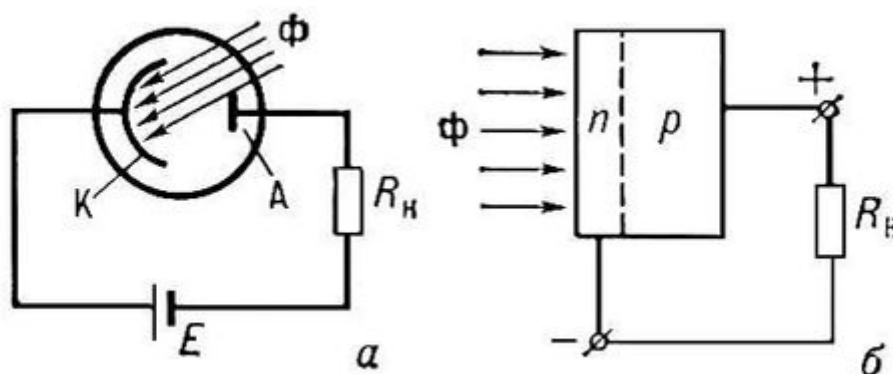
Оно может включать турникет в метро, устройство для счёта деталей на конвейере, работать в различных схемах автоматики и телемеханики.



Фотоэлементы безопасности - пульта для шлагбаумов

В кино фотоэлемент читает оптическую запись, записанную на киноплёнке и воспроизводит её с помощью усилителя и динамика. Свет от лампы концентрируется на звуковой дорожке киноплёнки, в том месте, где нанесена оптическая запись. Световой поток, проходя через звуковую дорожку, меняется и попадает на фотоэлемент. Чем больше света проходит через дорожку, тем громче звук в динамике.

Недостатками такого фотоэлемента являются слабый ток, малая чувствительность к длинноволновому излучению, сложность в изготовлении, невозможность использования в цепях переменного тока.



Освещение полупроводников может привести к появлению в них носителей тока. Если энергия поглощаемого фотона больше энергии, необходимой для освобождения электронов проводимости или дырок, то они участвуют в создании тока. **Проводимость, обусловленную появлением дополнительных свободных зарядов, называют фотопроводимостью.**

Не все заряды, освобожденные светом, участвуют в проводимости. Часть из них возвращается вновь на вакантные места, оставленные другими зарядами. Тем не менее, в результате облучения полупроводника светом с достаточно большой частотой концентрация свободных носителей тока возрастает и электропроводность полупроводника увеличивается. Это явление называют внутренним фотоэффектом.

Существуют светочувствительные полупроводники, повышение электропроводности которых вызывается излучением очень малых частот, приходящихся на далёкую инфракрасную область спектра. Такое тепловое излучение испускается нагретыми телами. Тем самым присутствие даже

слабо нагретых тел может быть обнаружено на больших расстояниях по тому действию, которое оказывает их излучение: в электрической цепи со светочувствительным полупроводником возрастает электропроводимость. С помощью усилителей такой ток может быть доведен до значений, позволяющих обнаружить нагретое и излучающее тело. В авионавигации, в военном деле широкое применение нашли фотоэлементы, чувствительные к инфракрасным лучам. Инфракрасные лучи невидимы, облака и туман для них прозрачны.



Существуют полупроводниковые фотоэлементы, в которых под действием света происходит изменение концентрации носителей тока. Они используются при автоматическом управлении электрическими цепями (например, в турникетах метро), в цепях переменного тока, в качестве невозобновляемых источников тока в часах, микрокалькуляторах, проходят испытания первые солнечные автомобили, используются в солнечных батареях на искусственных спутниках Земли, межпланетных и орбитальных автоматических станциях.

С явлением фотоэффекта связаны фотохимические процессы, протекающие под действием света в фотографических материалах.

На внешнем фотоэффекте основана работа электронно-оптического преобразователя (ЭОП), предназначенного для преобразования изображения из одной области спектра в другую, а также для усиления яркости изображений. В медицине ЭОП применяют для усиления яркости рентгеновского изображения, это позволяет значительно уменьшить дозу облучения человека. Если сигнал с ЭОП подать в виде развертки на телевизионную систему, то на экране телевизора можно получить «тепловое» изображение предметов. Части тела, имеющие разные температуры, различаются на экране либо цветом при цветном изображении, либо светом, если изображение черно-белое. Такая техническая система, называемая тепловизором, используется в термографии.



Внутренний фотоэффект

На явлении фотопроводимости, или **внутреннего фотоэффекта** основано устройство и действие приборов, называемых фоторезисторами, и фотоэлементов с внутренним фотоэффектом.

Простейший фоторезистор представляет собой стеклянную пластинку, на которую нанесён тонкий слой полупроводника; на поверхности последнего укреплены токопроводящие электроды. Всё это покрыто прозрачным лаком. Простейшее фотосопротивление представляет собой пластинку изолятора, на которую нанесен тонкий слой полупроводника. При освещении пластинки возникает фотопроводимость и в цепи фотосопротивления идет ток. Фотосопротивления применяются в звуковом кино, для сигнализации, в телевидении, автоматике и телемеханике. Фотосопротивления позволяют на расстоянии автоматически обнаружить нарушения нормального хода различных производственных процессов и останавливать в этих случаях процессы. При нарушениях нормального хода процесса может измениться световой поток, попадающий на фотоэлемент, в результате изменяется сила фототока, и изменяется ход всего процесса. Фотосопротивления применяются для сортировки массовых изделий по их размерам и окраске. Пучок света падает на фотоэлемент, отразившись от сортируемых изделий, которые непрерывно подаются на конвейер. Окраска изделия или его размер определяют световой поток, попадающий на фотоэлемент, и силу фототока. В зависимости от силы фототока автоматически производится сортировка изделий. Недостатком фоторезисторов является зависимость их свойств от температуры. Для создания фоторезисторов, работающих в области видимого света, применяют сульфит кадмия, сульфит таллия, в инфракрасной области - селенид и теллурид свинца.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом обладают инерционностью. Фототок не сразу достигает максимума при начале освещения и не сразу спадает до тернового тока при прекращении освещения. Полупроводниковые фотоэлементы обладают рядом преимуществ (механическая прочность, высокая чувствительность к различным областям спектра).

При внутреннем фотоэффекте под действием света в фоторезисторе увеличивается число свободных электронов и растёт ток. Фоторезистор состоит из полупроводника, расположенного между двумя сетками (расстояние между электродами маленькое, а площадь большая).

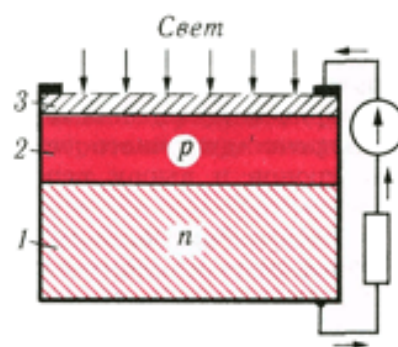
Фоторезистор используется в фотореле. Под действием света увеличивается сила тока в фоторезисторе. Срабатывает электромагнитное реле, которое включает уличное освещение, бакены, различные схемы автоматики и телемеханики. Но фотореле инерционно. Срабатывает через доли секунды, т.к. инерционен фоторезистор.

Фоторезистор очень чувствителен к малейшему изменению света. Его устанавливают в фокус телескопа и измеряют температуру звёзд. Он чувствителен к инфракрасным лучам и используется в инфракрасной технике.

Вентильный фотоэффект

При вентильном фотоэффекте электроны переходят из освещённой области в неосвещённую. В вентильном фотоэлементе под действием света возникает разность потенциалов, и он может служить источником тока.

- 1- металл,
- 2- окись металла,
- 3- золотое напыление



Фотоэлементы с вентильным фотоэффектом, называемые **вентильными фотоэлементами (фотоэлементами с запирающим слоем)**, обладая, подобно элементам с внешним фотоэффектом, строгой пропорциональностью фототока интенсивности излучения, имеют большую по сравнению с ними интегральную чувствительность (примерно 2—30 мА/лм) и не нуждаются во внешнем источнике ЭДС. К числу вентильных фотоэлементов относятся германиевые, кремниевые, селеновые, купроксные, сернисто-серебряные и др.

Кремниевые и другие вентильные фотоэлементы применяются для создания солнечных батарей, непосредственно преобразующих световую энергию в электрическую. Эти батареи уже в течение многих лет работают на космических спутниках и кораблях. К.п.д. этих батарей составляет 10% и, как показывают теоретические расчеты, может быть доведен до 22%, что открывает широкие перспективы их использования в качестве источников электроэнергии для бытовых и производственных нужд.

Рассмотренные виды фотоэффекта используются также в производстве для контроля, управления и автоматизации различных процессов, в военной технике для сигнализации и локации невидимым излучением, в технике звукового кино, в различных системах связи и т. д.

Вентильный фотоэлемент представляет собой две соприкасающиеся друг с другом металлические пластинки, на которые наносится тонкий слой селена, покрытый сверхтонким прозрачным слоем золота. На полупроводниковую пластинку нанесён тонкий прозрачный слой металла. Пограничный слой между металлом и его оксидной плёнкой обладает выпрямляющим свойством (p-n переход), он позволяет электронам проходить лишь в направлении от оксида к металлу, например от оксида меди к меди. Под действие света возникает поток электронов, идущий только от полупроводника к металлу. Никакого внешнего источника напряжения для управления потоком электронов при этом не требуется. Вентильный фотоэлемент является устройством, которое превращает энергию световой волны в энергию электрического тока. Такие источники тока используют в солнечных батареях, устанавливаемых на всех космических кораблях. Они также являются частью люксметров - приборов для измерения освещённости.

Чем больше света, тем выше напряжение. Это позволяет использовать фотоэлемент в люксметрах для определения освещенности.



В качестве источника тока вентильный фотоэлемент используется в солнечных батареях на космических станциях, а так же как источник питания малой мощности в микрокалькуляторах, часах, в транзисторных маломощных приёмниках.



70 000 фотоэлементов вырабатывают энергию для армии США

На солнечных электростанциях можно использовать разные типы фотоэлементов промышленного назначения, но все они должны удовлетворять комплексу требований:

- высокая надёжность при длительном (25-30 лет) ресурсе работы;
- высокая доступность сырья и возможность организации массового производства;
- приемлемые с точки зрения сроков окупаемости затраты;
- удобство техобслуживания.

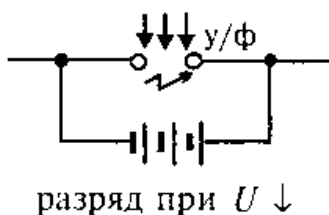
Наиболее вероятными материалами для фотоэлементов солнечных электростанций считаются кремний и арсенид галлия.

Изготовление фотоэлементов и сборка солнечных батарей на автоматизированных линиях обеспечит многократное снижение себестоимости батареи.

1. ГЛАВА 2. ПРАКТИКУМ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ
ОПОРНЫЕ КОНСПЕКТЫ ПО ТЕМЕ «ФОТОЭФФЕКТ»

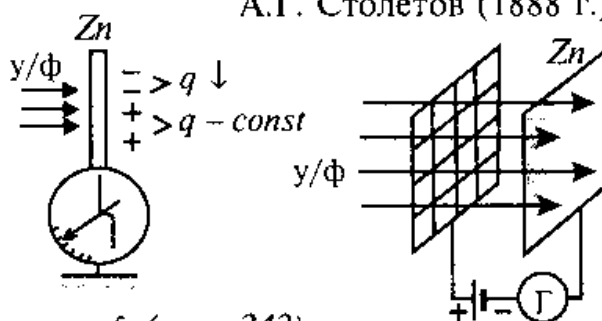
① Открытия и первые исследования

Г.Герц (1887 г.)



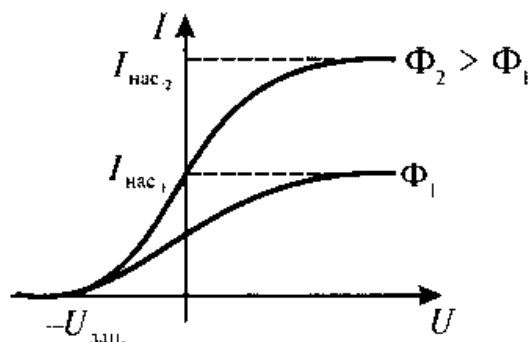
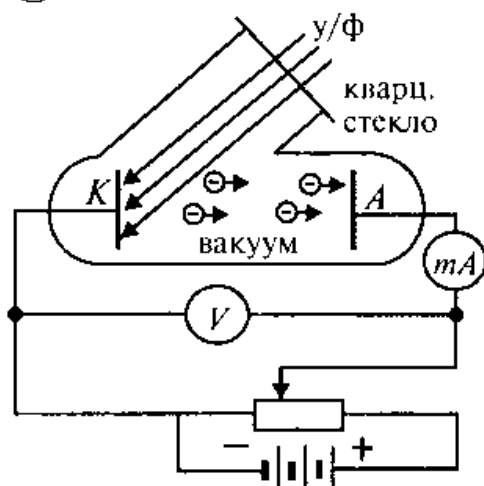
разряд при $U \downarrow$

А.Г. Столетов (1888 г.)



Ф/э наз. ... ξ (стр. 242)

② Законы фотоэффекта



1 з-н: $I_{нас.} \sim \Phi$

2 з-н: Если $U = U_{затт}$, то $I = 0$

з.с.э.: $\Delta E_k = A \Rightarrow \frac{mv^2}{2} = eU_{затт}$

$E_k \neq f(\Phi), E_k = f(\nu)$

(по волн. теории
 $\uparrow \Phi \Rightarrow \uparrow \nu, \uparrow N$)

3 з-н.: Для каждого в-ва существует красная граница
ф/э -- $\nu_{мин} (\lambda_{max})$, при которой набл. ф/э.

③ Объяснения фотоэффекта

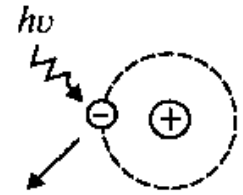
Эйнштейн (1905 г.) на основе идеи Планка —
— излучение и поглощ. света происходит порциями

$E = h\nu$ — энергия одной порции
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — пост. Планка

$h\nu = A_{\nu} + \frac{mv^2}{2}$ — ур-ие Эйнштейна

ф/э возможен при $h\nu \geq A_{\nu}$

Если $h\nu = A_{\nu} \Rightarrow \nu_{\min} = \frac{A_{\nu}}{h}$ — красная граница ф/э



④ Фотон (световой квант)

имеет энергию: $E = h\nu$

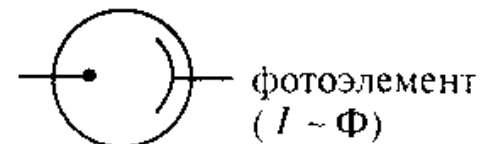
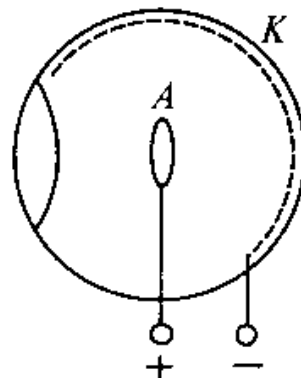
массу: $h\nu = mc^2 \Rightarrow m = \frac{h\nu}{c^2}$ ($m_{\text{покой}} = 0$)

импульс: $p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$

Дуализм св-в света $\left. \begin{array}{l} \rightarrow \text{волна} \\ \rightarrow \text{частица} \end{array} \right\}$ диалект. единство

Природа света одна — электромагнитная

⑤ Применение фотоэффекта



- автоматика, телемеханика
- фотоэкспонетр
- фототелеграф
- запись и воспроизведение звука в кино

АЛГОРИТМ ПРИМЕНЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ФОТОЭФФЕКТА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

- 1. Фотоэффект описывается уравнением Эйнштейна:** $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m\nu^2}{2}$,
в котором $\varepsilon_\gamma = h\nu$ - энергия светового кванта (фотона),

$A_{\text{вых}}$ - работа выхода электрона из металла,

$W_k = \frac{m\nu^2}{2}$ - кинетическая энергия фотоэлектрона.

2. Нахождение энергии фотона.

2.1. Если в задаче приводится значение длины волны, используйте формулу связи длины волны и скорости её распространения с частотой $c = \lambda \cdot \nu$.

2.2. Энергию одного фотона можно найти, зная энергию излучения:

$$\varepsilon_\gamma = \frac{\Delta E_{\text{ср}}}{N}, \text{ где } N - \text{число фотонов.}$$

Энергия излучения связана с интенсивностью излучения (поверхностной

плотностью потока излучения) соотношением $I = \frac{\Delta E_{\text{ср}}}{\Delta t \cdot S} = \frac{P_{\text{ср}}}{S}$.

2.3. Энергия фотона связана с собственными характеристиками фотона как

световой частицы. Формула связи импульса и энергии фотона: $p_\gamma = \frac{\varepsilon_\gamma}{c}$.

3. Нахождение работы выхода электрона из металла.

Значение работы выхода электрона может быть определено:

3.1. с помощью справочной таблицы «Работа выхода электрона из металла», если известен металл и нет усложняющих нахождение работы выхода величин.

3.2. через значение красной границы фотоэффекта для данного металла в

данном состоянии $A_{\text{вых}} = h\nu_{\text{мин}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{макс}}}$.

4. Поведение фотоэлектрона после вылета из металла может быть описано из следующих соображений:

4.1. В задерживающем однородном электрическом поле, согласно теореме о кинетической энергии, изменение кинетической энергии фотоэлектрона равно работе сил поля $W_{k2} - W_{k1} = e \cdot U_3$,

т. е. $\frac{m\nu^2}{2} = |e| \cdot U_3$

4.2. Следует помнить, что движение фотоэлектронов вдоль силовых линий однородного электрического поля – движение с постоянным

ускорением $a = \frac{F_{эл}}{m} = \frac{|e| \cdot E}{m} = \frac{|e| \cdot U_3}{m \cdot d}$. Поэтому, в зависимости от постановки вопроса задачи, следует применять либо формулы электростатики (например, формулу связи напряжённости и напряжения однородного электрического

поля $E = \frac{U}{d}$ для расчёта расстояния d , пройденного электроном до остановки в задерживающем поле), либо формулы кинематики равноускоренного движения, позволяющие рассчитать перемещение d и скорость v фотоэлектрона в определённый момент времени

$$d = v_{0x} \cdot t + \frac{a_x \cdot t^2}{2}, v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$$

4.3. Если фотоэлектроны попадают в однородное магнитное поле, то в зависимости от угла α между вектором скорости и вектором магнитной индукции они движутся прямолинейно ($\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 180^\circ$), по окружности ($\alpha = 90^\circ$) или по спирали ($90^\circ > \alpha > 0^\circ$).

Например, при $\alpha = 90^\circ$ фотоэлектрон движется под действием силы

Лоренца $F = |e| \cdot B \cdot v$ с ускорением $a = \frac{F}{m} = \frac{|e| \cdot B \cdot v}{m}$ по окружности

радиуса $r = \frac{m \cdot v}{|e| \cdot B}$, при этом период обращения фотоэлектрона

равен $T = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2\pi \cdot m}{|e| \cdot B}$.

4.4. В скрещенных электрическом и магнитном полях фотоэлектрон может двигаться прямолинейно с постоянной скоростью при условии $F_{эл} + F_m = 0$

4.5. Зная максимальную скорость вылета фотоэлектрона, несложно определить импульс электрона, длину волны де Бройля и т. д.

5. Полезно помнить, что в простейших случаях вычисления можно проводить во внесистемных единицах, принимая значение постоянной Планка $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Определите энергию, массу и импульс фотона видимого света с длиной волны $\lambda = 500$ нм

Дано:

$$\lambda = 500 \text{ нм} = 5 \cdot 10^2 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Найти:

$$E - ?$$

$$m - ?$$

$$p - ?$$

Решение:

Энергия фотона:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}; \quad E = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м/с}}{\text{м}} = \text{Дж} \right].$$

Масса фотона:

$$m = \frac{h}{\lambda c};$$

$$m = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{м} \cdot \text{м/с}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{м}^2} = \text{кг} \right]$$

Импульс фотона:

$$p = mc = \frac{h}{\lambda}; \quad p = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \right].$$

$$E = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$m = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{5 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^8} = 0,44 \cdot 10^{-35} = 4,4 \cdot 10^{-36} \text{ кг};$$

$$p = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{5 \cdot 10^{-7}} = 1,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

Ответ: $E = 4 \cdot 10^{-19}$ Дж; $m = 4,4 \cdot 10^{-36}$ м;
 $p = 1,3 \cdot 10^{-27}$ кг · м/с.

Задача 2. Найти энергию и длину волны излучения, масса фотонов которого равна массе покоя электрона.

Дано:

$$\begin{aligned}m &= m_0; \\c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \\m_0 &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}; \\h &= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}\end{aligned}$$

Найти:

$$\begin{aligned}E &- ? \\ \lambda &- ?\end{aligned}$$

Решение:

Энергия фотона:

$$E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Масса фотона $m = \frac{E}{c^2}$ по условию задачи равна массе покоя электрона $m = m_0$. Тогда энергия фотона при этом должна быть:

$$E = mc^2 = m_0 c^2.$$

Найдем длину волны излучения из (1):

$$\lambda = \frac{hc}{E}; \quad \lambda = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м/с}}{\text{Дж}} = \text{м} \right].$$

Можно определить длину волны и другим способом, если в эту формулу подставить выражение для энергии фотона E :

$$\lambda = \frac{hc}{m_0 c^2} = \frac{h}{m_0 c}.$$

Вычислим энергию фотона:

$$E = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 81,9 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{16} = 8,19 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$$

Длина волны излучения:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8} = 0,243 \cdot 10^{-11} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

Ответ: $E = 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}; \lambda = 2,43 \text{ пм}.$

Задача 3. Определить длину волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, пролетевшего ускоряющую разность потенциалов 4,9 В.

Дано:

$$U = 4,9 \text{ В};$$

$$p_\phi = p_e;$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$$

$$|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл};$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Найти:

$$\lambda - ?$$

Решение:

Импульс фотона

$$p_\phi = mc = \frac{h}{\lambda};$$

импульс электрона $p_e = m_e v$. Согласно условию задачи, $p_\phi = p_e$ и, следовательно,

$$\frac{h}{\lambda} = m_e v, \text{ откуда } \lambda = \frac{h}{m_e v},$$

где $m_e = m_0$ — масса покоя электрона, v — его скорость.

Скорость электрона, пролетевшего ускоряющую разность потенциалов U , определим, используя закон сохранения и превращения энергии, согласно которому работа электрического поля равна изменению кинетической энергии электрона, то есть

$$\frac{m_e v^2}{2} - \frac{m_e v_0^2}{2} = A.$$

Принимая начальную скорость электрона $v_0 = 0$ и учитывая, что $A = eU$, получим:

$$\frac{m_e v^2}{2} = e \cdot U, \text{ откуда: } v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}},$$

где e — модуль заряда электрона (модуль берется отрицательным зарядом).

Подставив значение скорости в уравнение длины волны, получим:

$$\lambda = \frac{h}{m_e \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}} = \frac{h}{\sqrt{2eUm_e^2}} = \frac{h}{\sqrt{2eUm_e}}$$

$$\lambda = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\sqrt{\text{Кл} \cdot \text{В} \cdot \text{кг}}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\sqrt{\text{Кл} \cdot \text{Дж} / \text{Кл} \cdot \text{кг}}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{с}^2 \cdot \sqrt{\text{кг} \cdot \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}} = \right.$$

$$\left. = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}}{\text{с} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}} = \text{м} \right];$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,9 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 0,56 \cdot 10^{-9} \approx 5,6 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

Ответ: $\lambda \approx 5,6 \cdot 10^{-10} \text{ м} \approx 0,56 \text{ нм}$.

Задача 4. Найти напряжение, при котором должна работать рентгеновская трубка, чтобы минимальная волна излучения была равна 1 нм.

Дано:

$$\lambda = 1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м};$$

$$|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Найти:

$$U - ?$$

Решение:

Согласно закону сохранения и превращения энергии энергия электрона в рентгеновской трубке eU (в данном случае энергия электрона выражена работой электрического поля по перемещению электрона) должна быть равна энергии фотона рентгеновского излучения

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}. \text{ Таким образом, } eU = \frac{hc}{\lambda}, \text{ откуда}$$

$$U = \frac{hc}{\lambda e}; U = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м/с}}{\text{м} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В} \right];$$

$$U = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 12,4 \cdot 10^2 \approx 1,24 \cdot 10^3 \text{ В}$$

Ответ: $U \approx 1,24 \text{ кВ}$.

Задача 5. Сколько фотонов попадает за 1 с в глаза человека, если глаз воспринимает свет с длиной волны 0,5 мкм при мощности светового потока $2 \cdot 10^{-17}$ Вт?

Дано:

$$\begin{aligned}t &= 1 \text{ с;} \\ \lambda &= 0,5 \text{ мкм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м;} \\ p &= 2 \cdot 10^{-17} \text{ Вт;} \\ h &= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с;} \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}\end{aligned}$$

Найти:

$$N - ?$$

Решение:

Полная энергия света, попавшего в глаз, равна произведению мощности светового потока и времени:

$$W = p \cdot t.$$

Энергия одного фотона

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}.$$

Тогда число фотонов, попавших в глаз за это время:

$$N = \frac{W}{E} = \frac{p \cdot t}{\frac{h \cdot c}{\lambda}} = \frac{p \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c};$$

$$N = \left[\frac{\text{Вт} \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м/с}} = \frac{\text{Дж/с} \cdot \text{с}}{\text{Дж}} = 1 \right];$$

$$N = \frac{2 \cdot 10^{-17} \cdot 1 \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 50.$$

Ответ: $N = 50$.

Задача 6. Энергия фотона равна кинетической энергии электрона, имевшего начальную скорость 10^6 м/с и ускоренного разностью потенциалов 4 В. Найти длину волны фотона.

Дано:

$$\begin{aligned} E &= E_k; \\ U &= 4 \text{ В}; \\ v_0 &= 10^6 \text{ м/с}; \\ |e| &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}; \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \end{aligned}$$

Найти:

$$\lambda - ?$$

Решение:

Энергия фотона

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \text{ откуда } \lambda = \frac{hc}{E} \quad (1)$$

По условию задачи,

$$E = E_k = \frac{m_e v^2}{2},$$

где m_e — масса покоя электрона, v — конечная скорость электрона, ускоренного электрическим полем.

Работа электрического поля равна изменению кинетической энергии электрона, то есть

$$\frac{m_e v^2}{2} - \frac{m_e v_0^2}{2} = A, \text{ откуда } \frac{m_e v^2}{2} = \frac{m_e v_0^2}{2} + A.$$

Поскольку работа электрического поля $A = eU$, то

$$\frac{m_e v^2}{2} = \frac{m_e v_0^2}{2} + eU,$$

где e — модуль заряда электрона.

Подставим это выражение в формулу длины волны (1). Получим:

$$\lambda = \frac{hc}{\frac{m_e v^2}{2} + eU}, \text{ так как } E = \frac{m_e v^2}{2} + eU,$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^6)^2}{2} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4} \approx 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Ответ: $\lambda \approx 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Задача 7. Определить наибольшую длину волны света, при которой может происходить фотоэффект для платины.

Дано:

$$A_{\text{вых}} = 8,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Найти:

$$\lambda_{\text{max}} - ?$$

Решение:

Найдем красную границу фотоэффекта для платины, учитывая, что

$$h\nu_{\text{min}} = A_{\text{вых}} \Rightarrow \lambda_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h},$$

где $A_{\text{вых}}$ — работа выхода электронов из платины — определяется по таблице.

Этой частоте соответствует искомая максимальная длина волны

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{c}{\nu_{\text{min}}},$$

с учетом выражения для наименьшей частоты, то есть выражения красной границы фотоэффекта:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{ch}{A_{\text{вых}}}; \lambda = \left[\frac{\text{м/с} \cdot \text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{Дж}} = \text{м} \right];$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{8,5 \cdot 10^{-19}} = 2,34 \cdot 10^{-7} = 234 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

Ответ: $\lambda_{\text{max}} = 2,34 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 234 \text{ нм}$.

Задача 8. Определить наибольшую скорость электрона, вылетевшего из цезия, при освещении его светом с частотой 750 ТГц.

Дано:

$$\nu = 750 \text{ ТГц} = 750 \cdot 10^{12} \text{ Гц} = 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Гц};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$$

$$A_{\text{вых}} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Найти:

$$v_{\text{max}} - ?$$

Решение:

Воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

Из этого уравнения выразим наибольшую скорость электрона:

$$\frac{m_e v_{\text{max}}^2}{2} = h\nu - A_{\text{вых}} \Rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2}{m_e} \cdot (h\nu - A_{\text{вых}})},$$

где $A_{\text{вых}}$ — работа выхода электронов из цезия, определяем по таблице; m_e — масса покоя электрона.

$$v = \left[\sqrt{\frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{Гц} - \text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \right]$$

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 7,5 \cdot 10^{14} - 3,2 \cdot 10^{-19})}{9,1 \cdot 10^{-31}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{31}}{9,1} \cdot 10^{-19} \cdot (4,97 - 3,2)} \approx 6,2 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v_{\text{max}} \approx 6,2 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$

Задача 9. Наибольшая длина волны света, при которой наблюдается фотоэффект для калия, $6,2 \cdot 10^{-5} \text{ см}$. Найти работу выхода электронов из калия.

Дано:

$$\lambda = 6,2 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 6,2 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Найти:

$$A_{\text{вых}} - ?$$

Решение:

Наибольшая длина волны, при которой наблюдается фотоэффект для металла (то есть длинноволновая граница фотоэффекта), связана с красной границей фотоэффекта для металла ν_{min} соотношением:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{c}{\nu_{\text{min}}},$$

где c — скорость света в вакууме.

По определению красной границы фотоэффекта:

$$A_{\text{вых}} = h \cdot \nu_{\text{min}}, \text{ или, с учетом } \lambda_{\text{max}},$$

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}}; A_{\text{вых}} = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м/с}}{\text{м}} = \text{Дж} \right];$$

$$A_{\text{вых}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6,2 \cdot 10^{-7}} \approx 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Ответ: $A_{\text{вых}} \approx 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$

Задача 10. Наибольшая длина волны света, при которой происходит фотоэффект для вольфрама, 0,275 мкм. Найти работу выхода электронов из вольфрама; наибольшую скорость электронов, вырываемых из вольфрама светом с длиной волны 0,18 мкм; наибольшую энергию этих электронов.

Дано:

$$\lambda_{\text{max}} = 0,275 \text{ мкм} = 2,75 \cdot 10^{-7} \text{ м;}$$

$$\lambda = 0,18 \text{ мкм} = 0,18 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ м;}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с;}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с;}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Найти:

$$A_{\text{вых}} \text{ — ?}$$

$$v_{\text{max}} \text{ — ?}$$

$$E_{\text{кmax}} \text{ — ?}$$

Решение:

Работу выхода электронов определим, используя понятие красной границы фотоэффекта (см. задачу 9).

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}}$$

Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$hv = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$$

Учитывая, что

$$v = \frac{c}{\lambda} \text{ и } E_{\text{кmax}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$$

максимальная кинетическая энергия электрона, перепишем это уравнение в виде:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кmax}}, \text{ откуда}$$

$$E_{\text{кmax}} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}$$

Зная наибольшую энергию вылетевших электронов, определим наибольшую скорость электронов, вырываемых из вольфрама:

$$E_{\text{кпmax}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} \Rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2E_{\text{кпmax}}}{m}},$$

где m — масса электрона.

Вычислим искомые величины:

$$A_{\text{вых}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,75 \cdot 10^{-7}} \approx 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$E_{\text{кпmax}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,8 \cdot 10^{-7}} - 7,2 \cdot 10^{-19} = (11,05 - 7,2) \cdot 10^{-19} = \\ = 3,85 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,85 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 0,92 \cdot 10^6 = 9,2 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Ответ: $A_{\text{вых}} \approx 7,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; E_{\text{max}} = 3,85 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$
 $v_{\text{max}} = 9,2 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$

Задача 11. Цезий освещают желтым монохроматическим светом с длиной волны $0,589 \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Работа выхода электрона $1,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Определите кинетическую энергию вылетающих из цезия электронов.

Дано:

$$\lambda = 0,589 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$A_{\text{вых}} = 1,9 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Найти:

$$E_{\text{к}} - ?$$

Решение:

Воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$$

Учитывая, что частота излучения связана с длиной волны соотношением: $\nu = \frac{c}{\lambda}$, а также, что $E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ — кинети-

ческая энергия вылетающих из металла электронов, то уравнение Эйнштейна можно переписать в виде:

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + E_k, \text{ откуда } E_k = h \cdot \frac{c}{\lambda} - A_{\text{вых}};$$

$$E_k = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5,89 \cdot 10^{-7}} - 2,9 \cdot 10^{-19} \approx 0,48 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Ответ: $E_k \approx 0,48 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Задача 12. В одном из опытов по фотоэффекту металлическая пластина освещалась светом с длиной волны 420 нм. Работа выхода электрона с поверхности пластины равна 2 эВ. При какой задерживающей разности потенциалов прекращается фототок?

Дано:

$$\lambda = 420 \text{ нм} = 420 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$A_{\text{вых}} = 2 \text{ эВ} = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Найти:

$$U_3 - ?$$

Решение:

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2},$$

откуда кинетическая энергия вылетевших фотоэлектронов

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A_{\text{вых}}$$

Вылет электронов с поверхности пластины прекратится, когда потенциальная энергия электрона eU_3 в задерживающем поле станет равной его кинетической энергии, то есть

$$\frac{mv^2}{2} = eU_3,$$

где U_3 — задерживающая разность потенциалов, или задерживающее напряжение.

Частота излучения $\nu = \frac{c}{\lambda}$. Следовательно,

$$eU_3 = \frac{mv^2}{2} = h \cdot \frac{c}{\lambda} - A_{\text{вых}}$$

Отсюда задерживающая разность потенциалов:

$$U_3 = \frac{hc}{\lambda e} - \frac{A_{\text{вых}}}{e}; U_3 = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м/с}}{\text{м} \cdot \text{Кл}} - \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В} \right];$$

$$U_3 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,2 \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} - \frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 0,96 \text{ В}$$

Ответ: $U_3 \approx 0,96 \text{ В}$.

Задача 13. Определить скорость фотоэффектов при освещении калия фиолетовым светом с длиной волны $4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, если работа выхода электронов с поверхности калия $2,2 \text{ эВ}$.

Дано:

$$\lambda = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м};$$

$$A_{\text{вых}} = 2,2 \text{ эВ} = 2,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3,52 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Найти:

$$v - ?$$

Решение:

По уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2} \Rightarrow \frac{mv^2}{2} = h\nu - A_{\text{вых}}$$

Так как $\nu = \frac{c}{\lambda}$, то кинетическая энергия вылетевших электронов

$$\frac{mv^2}{2} = h \cdot \frac{c}{\lambda} - A_{\text{вых}}$$

Найдем скорость фотоэлектронов:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m} \cdot \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)};$$

$$v = \left[\sqrt{\frac{1}{\text{кг}} \cdot \left(\frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м/с}}{\text{м}} - \text{Дж} \right)} = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \right.$$

$$\left. = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \right];$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31}} \cdot \left(\frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4,2 \cdot 10^{-7}} - 3,52 \cdot 10^{-19} \right)} \approx$$

$$\approx 10^6 \cdot \sqrt{0,27} \approx 5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

Ответ: $v \approx 5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

Задача 14. Какова наименьшая частота света, при которой еще наблюдается фотоэффект, если работа выхода электрона из металла $3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$?

Дано:

$$A_{\text{вых}} = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Найти:

$$\nu_{\text{min}} - ?$$

Решение:

Наименьшая частота света, при которой еще наблюдается фотоэффект, называется красной границей фотоэффекта и определяется формулой:

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h}; \nu = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{Дж} \cdot \text{с}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц} \right];$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{3,3 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 0,5 \cdot 10^{15} = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

Ответ: $\nu_{\text{min}} = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц} = 0,5 \text{ ПГц}$.

Задача 15. Свет какой частоты свет следует направить на поверхность платины, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна 3000 км/с ? Работу выхода электронов из платины принять равной 10^{-18} Дж .

Дано:

$$v_{\text{max}} = 3000 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^6 \text{ м/с};$$

$$A_{\text{вых}} = 10^{-18} \text{ Дж};$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с};$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Найти:

$$\nu - ?$$

Решение:

Воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}, \text{ откуда частота света: } \nu = \frac{A_{\text{вых}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}}{h};$$

$$\nu = \left[\frac{\text{Дж} + \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}}{\text{Дж} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж} + \text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Дж} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж} \cdot \text{с}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц} \right];$$

$$\nu = 10^{-18} + \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^6)^2}{2} \approx 0,77 \cdot 10^{16} \approx 7,7 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$$

Ответ: $\nu \approx 7,7 \cdot 10^{15} \text{ Гц} = 7,7 \text{ ПГц}$.

Задача 16. Работа выхода электрона из калия равна $3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Будет ли наблюдаться фотоэффект при освещении калия светом с длиной волны $0,7 \text{ мкм}$?

Дано:

$$\begin{aligned} A_{\text{вых}} &= 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; \\ \lambda &= 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}; \\ h &= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}; \\ c &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Найти:

$$\lambda_{\text{max}} - ?$$

Решение:

Определим красную границу фотоэффекта — наибольшую длину волны — из условия, что

$$A_{\text{вых}} = h\nu_{\text{min}} = h \cdot \frac{c}{\lambda_{\text{max}}}, \text{ так как } \nu_{\text{min}} = c \lambda_{\text{max}}.$$

$$\text{Следовательно, } \lambda_{\text{max}} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}};$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3,2 \cdot 10^{-19}} \approx 6,22 \cdot 10^{-7} \approx 0,622 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Фотоэффект будет наблюдаться, если $\lambda < \lambda_{\text{max}}$. Калий освещают светом с длиной волны $\lambda = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, которая больше длинноволновой границы фотоэффекта для калия, то есть $0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м} > 0,622 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Следовательно, фотоэффект наблюдаться не будет.

Ответ: Фотоэффекта не будет, так как $\lambda > \lambda_{\text{max}}$.

Задача 17. Протон летит со скоростью $4,6 \cdot 10^4$ м/с. Какая длина волны соответствует этому протону?

Дано:

$$\begin{aligned}v &= 4,6 \cdot 10^4 \text{ м/с}; \\m_p &= 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}; \\h &= 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}\end{aligned}$$

Найти:

$$\lambda - ?$$

Решение:

Импульс движущегося протона $p = mv$. Каждому движущемуся телу соответствует волна, импульс фотонов которой

$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

Приравнивая выражения для импульсов, получим:

$$mv = \frac{h}{\lambda},$$

откуда длина волны, соответствующая протону:

$$\lambda = \frac{h}{mv}; \lambda = \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{м/с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}} = \text{м} \right].$$

Подставляя данные задачи, получим:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 4,6 \cdot 10^4} = 0,86 \cdot 10^{-11} = 8,6 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

Ответ: $\lambda = 8,6 \cdot 10^{-12} \text{ м} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ нм}$.

Задача 18. Почему проявление фотографических снимков производится при красном свете?

Решение:

Красный свет не действует на фотопластинку ввиду малой энергии фотонов этой частоты и ее недостаточно для того, чтобы начались химические реакции в эмульсионном слое.

Задача 19. Можно ли фотографировать предметы в совершенно темной комнате?

Решение:

В совершенно темной комнате можно фотографировать предметы в инфракрасных или ультрафиолетовых лучах.

Задача 20

Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 537 нм. Определить работу выхода электронов из металла и энергию фотонов, сообщаящих фотоэлектронам максимальную скорость 0,77 Мм/с.

Работа выхода $A = \frac{hc}{\lambda}$

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$A = 3,704 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2.315 \text{ эВ}$$

Энергия фотонов $E = A + \frac{m \cdot v^2}{2}$

$$m = 9.31 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$E = (3,704 + 2,760) \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 6,464 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 4,04 \text{ эВ}$$

Задача 21

35.5. Для прекращения фотоэффекта, вызванного облучением ультрафиолетовым светом платиновой пластинки, нужно приложить задерживающую разность потенциалов $U_1 = 3,7 \text{ В}$. Если платиновую пластинку заменить другой пластинкой, то задерживающую разность потенциалов придется увеличить до 6 В. Определить работу A выхода электронов с поверхности этой пластинки.

Дано: $U_1 = 3,7 \text{ В}$ $U_2 = 6 \text{ В}$ <hr/> $A = ?$	Решение: Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид $\left. \begin{aligned} E &= A_{\text{ж}} + \varphi V_1, \text{ тогда} \\ E &= A_2 + \varphi V_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_1 + \varphi V_1 = A_2 + \varphi V_2 \Rightarrow$ $A_2 = A_1 + \varphi V_1 - \varphi V_2, A_2 = 10,1 \cdot 10^{-19} - 1,6 \cdot 10^{-19} (6 - 3,7) = 4 \text{ эВ}$ Ответ: $A_2 = 4 \text{ эВ}$
--	--

Задача 22

Найдите максимальную скорость электронов, освобождаемых при фотоэффекте светом с длиной волны $4 \cdot 10^{-7}$ м с поверхности материала с работой выхода 1,9 эВ.

Дано:

$$\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$A = 1,9 \text{ эВ} = 3,04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$v_{\text{max}} = ?$$

Решение

Для нахождения скорости электронов воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = A + E_k$.

Подставим в него выражение $E_k = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$ для максимальной кинетической энергии электронов.

$$\text{Следовательно, } h\nu = A + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}.$$

Частота связана с длиной волны соотношением

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \text{ отсюда } \frac{mv_{\text{max}}^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A;$$

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2hc - 2\lambda A}{\lambda m}} = 6,5 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$$

Ответ: максимальная скорость электронов около $6,5 \cdot 10^5$ м/с.

Задача 23

Определить работу выхода электрона из натрия, если красная граница фотоэффекта равна 500нм.

Дано:

$$\lambda_{\max} = 500\text{нм} = 5 \cdot 10^{-7}\text{м}$$

Найти:

$$A_{\text{вых}} - ?$$

Решение.

Красная граница фотоэффекта соответствует случаю, когда электрон выпадает с поверхности металла с нулевой скоростью, т.е.

$$h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2} \rightarrow A = h \frac{c}{\lambda_{\max}} \rightarrow A = \frac{6,64 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7}} = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Ответ.

$$3,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Задача 24

Дано: $\lambda_0 = 307\text{нм}; T_{\text{Max}} = 1\text{эВ};$

Найти: $\eta - ?$

Решение: Зная красную границу λ_0 , можем из уравнения Эйнштейна и определения красной границы как максимальной длины волны, при которой возможен фотоэффект, найдем работу выхода A :

$$\frac{hc}{\lambda_0} = A;$$

Зная максимальную кинетическую энергию вырываемых фотонов, можем определить энергию падающего света:

$$W = A + T_{\text{Max}};$$

Таким образом, работа вырывания составляет от общей энергии часть, равную:

$$\eta = \frac{A}{W} = \frac{A}{A + T_{\text{Max}}} = \frac{1}{1 + \frac{T_{\text{Max}}}{A}} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_0 T_{\text{Max}}}{hc}};$$

Подставляя численные значения:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{307 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}} = 80\%;$$

Ответ: $\eta = 80\%$;

Задача 25

Никогда не знаешь, что может тебе пригодиться в жизни!

Убедимся в этом, решив следующую задачу:

«Дверь имела хитроумное устройство: при попытке постороннего её открыть, ультрафиолетовая лампа с длиной волны 0.1 мкм освещала вольфрамовую пластинку фотоэлемента. Вырванные электроны замыкали электрическую цепь, которая открывала шлюз. В коридор устремлялась вода, кишущая пиявками, крокодилами, пираньями и акулами. Джеймс Бонд, агент 007, вдруг вспомнил, что в детстве мама говорила ему:

- Запомни, сынок, работа выхода электронов из вольфрама 4,5 эВ!

–Зачем это мне, мама? - Удивлялся маленький Джеймсик.

– Никогда не знаешь, что может пригодиться тебе в жизни, - отвечала мама.

Тогда он быстро произвел вычисления и подключил к фотоэлементу источник постоянного тока, дающий на его зажимах напряжение в 7,95 В, потянул за ручку двери и ...»

Какие же вычисления произвел Джеймс Бонд? Что, в итоге, произошло?

Задача 26

Найти величину задерживающего напряжения при освещении катода излучением с частотой 10^{15}Гц , если красная граница фотоэффекта $0,5 \cdot 10^{15} \text{Гц}$.

Дано:

$$\nu = 10^{15} \text{Гц}$$

$$\nu_{\min} = 0,5 \cdot 10^{15} \text{Гц} -$$

– красная граница

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{Дж} \cdot \text{с} -$$

– постоянная Планка

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{Кл} -$$

– заряд электрона

Найти:

$$U_3 - ?$$

Ответ:

$$U_3 \approx 2 \text{ В}$$

Решение:

$$e \cdot U_3 = \frac{m_e v_m^2}{2}, \quad \frac{m_e v_m^2}{2} = h\nu - A_e$$

$$e \cdot U_3 = h\nu - A_e$$

$$U_3 = \frac{h\nu - A_e}{e}$$

$$h\nu_{\min} = A_e$$

$$U_3 = \frac{h\nu - h\nu_{\min}}{e}$$

$$U_3 = \frac{h(\nu - \nu_{\min})}{e}$$

$$U_3 = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot (10^{15} - 0,5 \cdot 10^{15})}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 2 \text{ В}$$

Задача 27

При освещении материала фотокатода светом с длиной волны $\lambda_1=514$ нм запирающее напряжение составило $U_1=0,4$ В, при $\lambda_2=589$ нм, $U_2=0,1$ В. а) провести компьютерный эксперимент и найти запирающие напряжения, соответствующим длинам волн 514 нм и 589 нм; б) найти постоянную Планка; в) рассчитать максимальную длину волны и проверить ответ экспериментом.

Дано:

$$\lambda_1=514 \text{ нм}$$

$$\lambda_2=589 \text{ нм}$$

$$U_1=0,4 \text{ В}$$

$$U_2=0,1 \text{ В}$$

h - ?

λ_{max} - ?

Решение:

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2};$$

$$\begin{cases} \frac{hc}{\lambda_1} = h\nu_{min} + eU_1 \\ \frac{hc}{\lambda_2} = h\nu_{min} + eU_2 \end{cases} \Rightarrow h = \frac{e\lambda_1\lambda_2}{c(\lambda_2 - \lambda_1)}(U_1 - U_2)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1 U_1 - \lambda_2 U_2} (U_1 - U_2)$$

$$h = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 514 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^8 (589 - 514) 10^{-9}} (0,4 - 0,1)$$

$$= 6,45 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\lambda_{max} = \frac{514 \cdot 589 \cdot 10^{-9} \cdot 10^{-9} (0,4 - 0,1)}{514 \cdot 10^{-9} \cdot 0,4 - 589 \cdot 10^{-9} \cdot 0,1} = 619 \text{ нм}$$

Ответ:

$$h = 6,45 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$\lambda_{max} = 619 \text{ нм}$$

Задача 28

Возникнет ли фотоэффект в цинке под действием облучения, имеющего длину волны 450 нм?

(Ответ: не возникнет, так как красная граница фотоэффекта для цинка 295 нм.)

Задача 29

Наибольшая длина волны света, при которой может наблюдаться фотоэффект на калии, равна 450 нм. Найдите максимальную скорость фотоэлектронов, выбитых из калия светом с длиной волны 300 нм?

(Ответ: $v_{max} = \sqrt{\frac{2hc(\lambda_{\text{крас}} - \lambda)}{m\lambda_{\text{крас}}\lambda}}$; $v_{max} = 7 \cdot 10^5$ м/с.)

Задача 30

Красная граница фотоэффекта для материала фотокатода соответствует длине волны $\lambda_{кр.} = 700$ нм. Найти работу выхода электронов из катода.

Чему будет равна кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетевших из катода, если осветить его светом с длиной волны $\lambda_1 = 600$ нм ?

Катод затем освещают светом с длиной волны λ_2 . Отношение максимальных скоростей фотоэлектронов, вылетающих из катода при освещении его светом с длинами волн λ_1 и λ_2 , равно $n=3/4$. Найти длину волны λ_2 .

(Ответ: $A_{вых} = h \frac{\tilde{\nu}}{\lambda}$; $A_{вых} = 2,84 \cdot 10^{-19}$ Дж; $E_{k1} = hc \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)$;

$E_{k1} = 0,47 \cdot 10^{-19}$ Дж = 0,29 эВ; $\lambda_2 = \frac{1}{\frac{1}{n^2} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_{\text{кр}}} \right) + \frac{1}{\lambda_{\text{кр}}}}$; $\lambda_2 = 540$ нм.)

Задача 31

Какой длины волны надо направить свет на поверхность цезия, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была 2 Мм/с?

(Ответ: $\lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}} + \frac{m \vartheta_{\text{max}}^2}{2}}$; $\lambda = 94,3$ нм.)

Задача 32

Рентгеновское (тормозное) излучение возникает при бомбардировке быстрыми электронами металлического антикатада рентгеновской трубки. Определите длину волны коротковолновой границы спектра тормозного излучения, если скорость электронов равна $v = 0,4c$.

Коротковолновая граница тормозного рентгеновского спектра соответствует переходу всей кинетической энергии электрона в излучение при столкновении с атомом антикатада. В результате возникает квант рентгеновского излучения. При определении энергии кванта в формуле Эйнштейна можно пренебречь работой выхода A по сравнению с энергией

$$E_k = h\nu = hc / \lambda_0$$

электрона, поэтому

Здесь $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, λ_0 – длина волны коротковолновой границы рентгеновского спектра.

Так как скорость электронов сравнима со скоростью света c , необходимо использовать релятивистскую формулу для кинетической энергии:

$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} - mc^2 = mc^2(\gamma - 1).$$

Здесь $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ – релятивистский параметр, m – масса электрона.

Подстановка числовых значений в эти формулы дает $E_k = 7,4 \cdot 10^{-15}$ Дж = $4,6 \cdot 10^4$ эВ.

Значение E_k , выраженное в электрон-вольтах, показывает, что между катодом и антикатодом рентгеновской трубки было создано напряжение 46 кВ.

$$\lambda_0 = \frac{hc}{E_k} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ м} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ нм.}$$

Теперь можно определить длину волны λ_0 :

Расчет кинетической энергии по нерелятивистской формуле $E_k = mv^2/2$ приводит к значению $\lambda_0 = 3,0 \cdot 10^{-11}$ м.

Задача 33

В опытах по фотоэффекту было найдено, что для света с длиной волны $\lambda_1 = 300$ нм запирающий потенциал $(U_3)_1 = 3,0$ В, для $\lambda_2 = 400$ нм $(U_3)_2 = 2,0$ В. Определите из этих данных значение постоянной Планка h .

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, $h\nu_1 = A + eU_{31}, h\nu_2 = A + eU_{32}$

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad h(\nu_1 - \nu_2) = e(U_{31} - U_{32}) \quad h = \frac{e(U_{31} - U_{32})}{(\nu_1 - \nu_2)}$$

$$h = \frac{e}{c} \frac{(U_{31} - U_{32})}{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}} = 6,4 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Этот экспериментальный результат отличается от современного принятого значения h приблизительно на 3%.

Задача 34

В опытах по фотоэффекту было найдено, что для света с длиной волны $\lambda_1 = 300$ нм запирающий потенциал $(U_3)_1 = 3,0$ В, для $\lambda_2 = 400$ нм $(U_3)_2 = 2,0$ В. Определите из этих данных работу выхода A материала фотокатода.

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, $h\nu_1 = A + eU_{31}, h\nu_2 = A + eU_{32}$

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad \frac{1}{\nu_1} (A + eU_{31}) = \frac{1}{\nu_2} (A + eU_{32}) \quad A = e \frac{\nu_1 U_{32} - \nu_2 U_{31}}{\nu_2 - \nu_1}$$

Так как

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad A = e \frac{\lambda_2 U_{32} - \lambda_1 U_{31}}{\lambda_1 - \lambda_2} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Малая величина работы выхода заставляет предположить, что в эксперименте был использован в качестве фотокатода не чистый металл, а некоторое сложное соединение (возможно оксид цезия).

ТЕСТЫ ПО ТЕМЕ «ФОТОЭФФЕКТ»

Тестовое задание в соответствии с обязательным минимумом содержания образования

Вариант I

1. Какие из перечисленных явлений служат доказательством квантовой природы света. Выберите правильный ответ.

1–интерференция 2– поляризация 3 – дифракция 4 - фотоэффект
А-1, 2, 3; Б-3 и 4; В- 4

2. Какое из приведенных ниже выражений наиболее точно определяет понятие фотоэффекта? Укажите правильный ответ.

А. Испускание электронов веществом в результате его нагревания.

Б. Вырывание электронов из вещества под действием света.

В. Увеличение электрической проводимости вещества под действием света.

3. Кто из этих ученых сформулировал законы фотоэффекта. Выберите правильный ответ.



А-1;

Б-2;

В-3

1

2

3

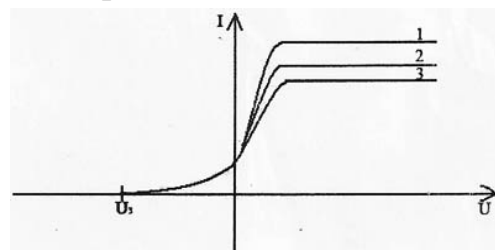
4. От каких параметров зависит максимальная кинетическая энергия электронов, вырываемых с металла светом?

А - от интенсивности света; Б- от частоты;

В - от работы выхода; Г - от частоты и работы выхода.

5. С помощью графика определите, в каком случае больше интенсивность света, падающего на металл?

А- 1; Б- 2; В-3.



6. Какое из приведенных ниже выражений точно определяет понятие работы выхода? Укажите правильный ответ.

А. Энергия необходимая для отрыва электрона от атома.

Б. Кинетическая энергия свободного электрона в веществе.

В. Энергия, необходимая свободному электрону для вылета из вещества.

7. Какое из приведенных выражений позволяет рассчитать энергию кванта излучения? Укажите правильные ответы.

А. $A_{\text{вых}} + E_{\text{к}}$

Б. $h\nu - E_{\text{к}}$

В. $A_{\text{вых}} + mv^2/2$

8. При каком условии возможен фотоэффект? Укажите правильные ответы.

А. $h\nu > A_{\text{вых}}$

Б. $h\nu \geq A_{\text{вых}}$

В. $h\nu < A_{\text{вых}}$

9. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов вырываемых из металла под действием фотонов с энергией $8 \cdot 10^{-19}$ Дж, если работа выхода $2 \cdot 10^{-19}$ Дж? Укажите правильные ответы.
 А. $10 \cdot 10^{-19}$ Дж; Б. $6 \cdot 10^{-19}$ Дж; В. $5 \cdot 10^{-19}$ Дж
10. Укажите вещество, для которого возможен фотоэффект под действием фотонов с энергией $4,8 \cdot 10^{-19}$ Дж. Укажите все правильные ответы.
 А. Платина ($A_{\text{вых}} = 8,5 \cdot 10^{-19}$ Дж); Б. Серебро ($A_{\text{вых}} = 6,9 \cdot 10^{-19}$ Дж);
 В. Литий ($A_{\text{вых}} = 3,8 \cdot 10^{-19}$ Дж).

Коррекционный тест по теме «Фотоэффект»

Вариант I

Как при внешнем, так и при внутреннем фотоэффекте электроны отрываются от атомов.

I. При внешнем фотоэффекте...

II. При внутреннем фотоэффекте...

1. электроны покидают облучаемое тело.
2. электроны не покидают облучаемое тело.
3. во всех случаях происходит вылет электронов с поверхности вещества.
4. во всех случаях не происходит вылета электронов с поверхности вещества.

В опыте по обнаружению фотоэффекта цинковая пластинка крепится на стержне электрометра, предварительно заряжается отрицательно и освещается светом электрической дуги так, чтобы лучи падали перпендикулярно плоскости пластинки.

Как изменится время разрядки электрометра, если...

III. Увеличить освещённость?

IV. Электрометр приблизить к источнику света?

V. Пластинку повернуть таким образом, чтобы лучи падали на неё под некоторым углом?

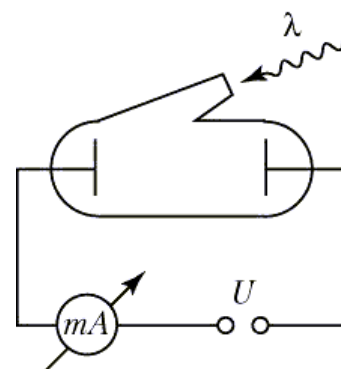
VI. Закрыть непрозрачным экраном часть пластинки?

VII. Поставить светофильтр, задерживающий инфракрасную часть спектра?

VIII. Поставить светофильтр, задерживающий ультрафиолетовую часть спектра?

1. Увеличится.
2. Уменьшится.
3. Не изменится

IX. Количество электронов, вырванных светом с единицы площади поверхности тел за единицу времени,...



XI. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов...

1. прямо пропорционально(а) интенсивности света и не зависит от его частоты (при любых частотах излучения).
2. прямо пропорционально(а) частоте света (при $\nu > \nu_0$) и не зависит от его интенсивности.
3. зависит от частоты излучения и его интенсивности.

XI. В своих опытах Столетов измерял максимальную силу фототока (ток насыщения) при освещении электрода ультрафиолетовым светом. Сила тока насыщения при увеличении интенсивности источника света будет...

1. увеличиваться.
2. уменьшаться.
3. оставаться неизменной.
4. сначала увеличиваться, затем уменьшаться.

XII. При наблюдении фотоэффекта значение его «красной границы» зависит от...

1. постоянной Планка.
2. формы освещаемого тела.
3. интенсивности излучения.
4. материала освещаемого тела

XIII. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия кванта, вызывающего фотоэффект, должна быть...

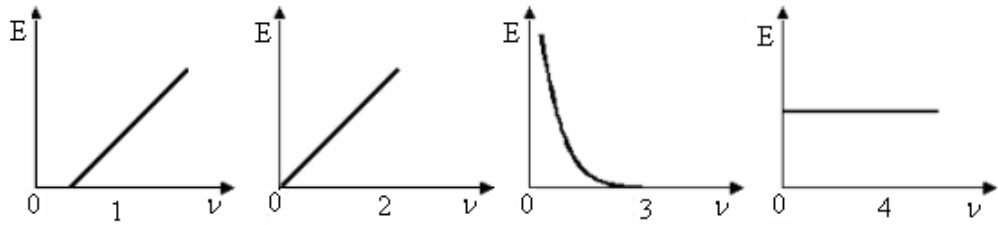
$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

1. больше работы выхода.
2. равна работе выхода.
3. больше или равна работе выхода.
4. равна кинетической энергии вылетающего электрона.

XIV. При облучении поверхностей железной и цинковой пластин светом одинаковой частоты максимальная скорость вылетающих электронов наблюдается у цинка. Сравните значения работы выхода A и частоты ν_0 , соответствующей красной границе фотоэффекта для железа и цинка.

1. ν_0 и A больше у цинка.
2. ν_0 и A больше у железа.
3. ν_0 больше у цинка, A больше у железа.
4. ν_0 больше у железа, A больше у цинка.
5. Значения ν_0 и A для железа и цинка одинаковы.

XV. Четырех учеников попросили нарисовать общий вид графика зависимости максимальной энергии E электронов, вылетевших из пластины в результате фотоэффекта, от частоты падающего света. Какой из приведенных рисунков выполнен правильно?

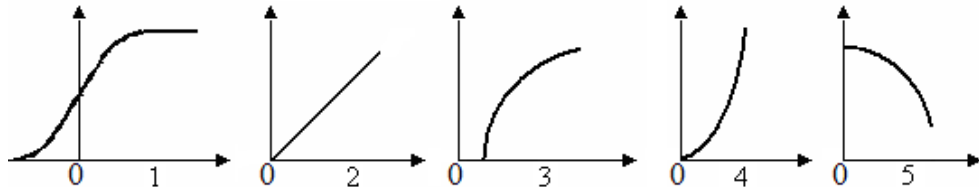


Укажите на рисунке график зависимости...

XVI. силы фототока от напряжения на фотоэлементе.

XVII. силы фототока от интенсивности света.

XVIII. скорости фотоэлектронов от частоты света.



Вы знаете закономерности внешнего фотоэффекта:

1. Число фотоэлектронов, вырываемых светом с поверхности металла за единицу времени, прямо пропорционально интенсивности света.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.
3. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота ν_0 , при которой ещё возможен фотоэффект.
4. Фотоэффект практически безынерционен, т. е. фотоэлектроны вылетают из металла почти одновременно с поглощением света частоты $\nu > \nu_0$.

Какими опытами и рассуждениями, приведёнными ниже, можно подтвердить эти закономерности?

XIX. При облучении цинковой пластинки светом от лампы накаливания фотоэффект не наблюдается, при облучении светом электрической дуги фотоэффект наличен.

XX. Если отрицательно заряженную цинковую пластинку облучить светом электрической дуги, падающим один раз перпендикулярно, а другой раз наклонно, то в первом случае пластина разряжается быстрее.

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

XXI. Если в формуле Эйнштейна

положить скорость электронов равной нулю, то получим, что критическая частота, ниже которой фотоэффект прекращается, выражается формулой $\nu_0 = \frac{A}{h}$.

XXII. Фотоэлементы применяются в телевидении, звуковом кино, фотореле, где с их помощью регистрируются кратковременные изменения освещённости или вспышки света.

XXIII. Если к фотоэлементу приложить небольшое тормозящее напряжение, то можно заставить фотоэлектроны вернуться на катод – фототок прекратится. Увеличивая при этом же тормозящем

напряжении частоту падающего света, можно снова наблюдать фототок.

XXIV. Энергия фотона, соответствующая красной границе фотоэффекта, для калия равна $7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, если на металл падает свет, энергия фотонов которого равна 10^{-18} Дж

1. $2,8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
2. 0.
3. $1,72 \cdot 10^{-18}$ Дж
4. $7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж

Пластины из вольфрама и золота освещаются монохроматическим светом, энергия квантов которого 5 эВ.

XXV. Из какого металла электрон вылетит с большей скоростью?

XXVI. Сравните задерживающие напряжения для электронов, вылетающих из этих металлов при данных условиях.

1. Больше для вольфрама.
2. Больше для золота.
3. Одинаковы.
4. Фотоэффект не возникает.

XXVII. В эксперименте обнаружено, что при очень высокой интенсивности облучения фотоэлектрический эффект происходит и при частотах фотонов ниже красной границы фотоэффекта. Как Вы думаете, чем можно объяснить этот эффект?

1. Это следствие соотношения неопределенностей.
2. Атомы могут поглощать одновременно два или более фотонов.
3. Возможен туннельный эффект.
4. При высоких интенсивностях облучения возможно нарушение закона сохранения энергии

Коррекционный тест по теме «Фотоэффект»

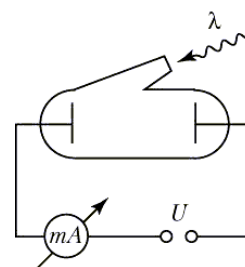
Вариант II

I. Для внешнего фотоэффекта справедливо утверждение:

1. максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света.
2. энергия фотона прямо пропорциональна частоте света.
3. сила фототока прямо пропорциональна частоте падающего света
4. сила фототока не зависит от интенсивности падающего света.

II. При исследовании фотоэффекта А.Г. Столетов выяснил, что...

1. энергия фотона прямо пропорциональна частоте света.
2. вещество поглощает свет квантами.
3. сила фототока прямо пропорциональна частоте падающего света.
4. фототок возникает при частотах падающего света, превышающих некоторое наименьшее значение.



III. Первая из двух одинаковых металлических пластинок имеет положительный электрический заряд, вторая – отрицательный.

Какая из них разрядится быстрее при освещении электрической дугой?

1.Первая. 2.Вторая. 3.Одновременно. 4.Пластинки не будут разряжаться.

IV. Для возникновения фотоэффекта при освещении металлической пластинки падающее излучение должно иметь...

1. частоту, выше определенного значения.
2. мощность, большую определенного значения.
3. длину волны, большую определенного
4. интенсивность, большую значения определенного значения.

V. Каким будет результат опыта, если ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами осветить незаряженную металлическую пластинку?

1. пластины заряжаются положительно.
2. пластины заряжаются отрицательно.
- 3.металлическая заряжается положительно, полупроводниковая остаётся нейтральной.
- 4.металлическая заряжается отрицательно, полупроводниковая остаётся нейтральной.
5. пластины останутся нейтральными – таким способом зарядить пластины нельзя.

VI. Каким будет результат опыта, если ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами осветить электрически нейтральные пластинки из металла и полупроводника?

1. пластины заряжаются положительно.
2. пластины заряжаются отрицательно.
3. металлическая заряжается положительно, полупроводниковая остаётся нейтральной.
- 4.металлическая заряжается отрицательно, полупроводниковая остаётся нейтральной.
5. пластины останутся нейтральными – таким способом зарядить пластины нельзя.

VII. Красная граница фотоэффекта определяется...

А. частотой света.

Б. свойствами вещества.

В. площадью катода.

1. А 2. Б 3. А и Б 4. А, Б и В

VIII. Если пластинке сообщить отрицательный заряд, то минимальная частота, при которой возникает фотоэффект, ...

1. не изменится. 2. увеличится. 3. уменьшится.
4. увеличится или уменьшится в зависимости от рода вещества.

IX. При освещении металлической пластины зелёным светом фотоэффекта нет. Будет ли он наблюдаться при облучении той же пластины красным светом?

1. Да. 2. Нет. 3. Результат зависит от интенсивности падающего света.

X. В каком из двух случаев вероятность появления фотоэффекта будет наибольшей: при освещении металла жёлтым или фиолетовым светом?

1. Одинакова в обоих случаях.
2. При освещении жёлтым светом.
3. При освещении фиолетовым светом.

XI. Энергия фотона, поглощённого при фотоэффекте, равна E . Кинетическая энергия электрона, вылетевшего с поверхности металла под действием этого фотона,

1. больше E .
2. меньше E .
3. равна E .
4. может быть больше или меньше E в зависимости от внешних условий.

XII. Из перечисленных ниже факторов выберите те, от которых зависит кинетическая энергия электронов, вылетевших с поверхности металлической пластины при ее освещении светом лампы.

A. Интенсивность падающего света.

B. Частота падающего света.

B. Работа выхода электрона из металла

1. только A
2. только B
3. B и B
4. A, B, B

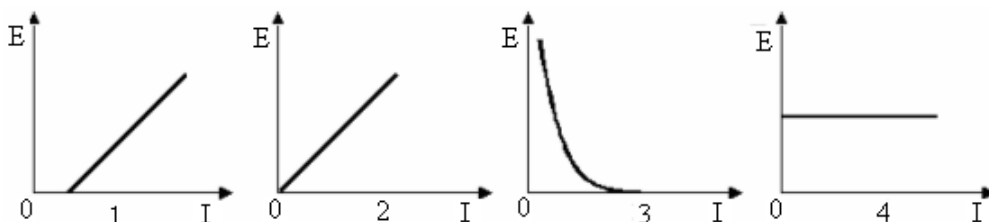
XIII. При облучении поверхностей железной и цинковой пластин светом одинаковой частоты максимальная кинетическая энергия вылетающих электронов наблюдается у цинка. Сравните значения работы выхода A и частоты ν_0 , соответствующей красной границе фотоэффекта для железа и цинка.

1. ν_0 и A больше у цинка.
2. ν_0 и A больше у железа.
3. ν_0 больше у цинка, A больше у железа.
4. ν_0 больше у железа, A больше у цинка.
5. Значения ν_0 и A для железа и цинка одинаковы.

XIV. Как изменится кинетическая энергия электронов при фотоэффекте, если увеличить частоту облучающего света, не изменяя общую мощность излучения?

1. Увеличится.
2. Уменьшится.
3. Не изменится.
4. Ответ неоднозначен.

XV. Четырех учеников попросили нарисовать общий вид графика зависимости максимальной энергии E электронов, вылетевших из пластины в результате фотоэффекта, от интенсивности падающего света с постоянной длиной волны. Какой из приведенных рисунков выполнен правильно?

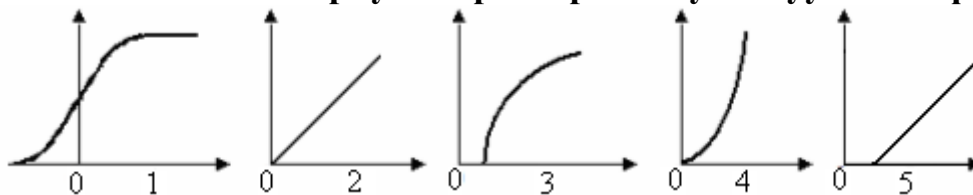


Укажите на рисунке ...

XVI. график зависимости силы фототока от мощности излучения.

XVII. график зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света.

XVIII. вольт–амперную характеристику вакуумного фотоэлемента.



Вы знаете закономерности внешнего фотоэффекта:

1. Число фотоэлектронов, вырываемых светом с поверхности металла за единицу времени, прямо пропорционально интенсивности света.
2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.
3. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота ν_0 , при которой ещё возможен фотоэффект.
4. Фотоэффект практически безынерционен, т. е. фотоэлектроны вылетают из металла почти одновременно с поглощением света частоты $\nu > \nu_0$.

Какими опытами и рассуждениями, приведёнными ниже, можно подтвердить эти закономерности?

XIX. При исследовании способности вызывать фотоэффект установлено, что этот эффект усиливается при перемещении к коротковолновому концу спектра.

XX. Фотоэффект на цинке прекращается, если на пути излучения поместить стеклянную пластинку.

XXI. В опытах по фотоэффекту было найдено, что для света с длиной волны $\lambda_1 = 300$ нм запирающий потенциал ($U_{з1} = 3,0$ В), для $\lambda_2 = 400$ нм запирающий потенциал уменьшился до значения ($U_{з2} = 2,0$ В).

XXII. В своих опытах Столетов измерял максимальную силу фототока (ток насыщения) при освещении электрода ультрафиолетовым светом. Сила тока насыщения при увеличении интенсивности источника света увеличивалась.

XXIII. Фотоэлементы используют в автоматике и телемеханике, фотометрии, измерительной технике, метрологии и др., где с их помощью регистрируются кратковременные изменения освещённости или вспышки света.

XXIV. На пластину из никеля падает электромагнитное излучение, энергия фотонов которого равна 8 эВ. При этом в результате фотоэффекта из пластины вылетают электроны с максимальной энергией 3 эВ. Какова работа выхода электронов из никеля?

1. 1 эВ.
2. 5 эВ.
3. 3 эВ.
4. 8 эВ.

Пластины из серебра и золота освещаются монохроматическим светом, энергия квантов которого 5 эВ.

XXV. Из какого металла электрон вылетит с большей скоростью?

XXVI. Сравните задерживающие напряжения для электронов, вылетающих из этих металлов при данных условиях.

1. Больше для серебра.
2. Больше для золота.
3. Одинаковы.
4. Фотоэффект не возникает.

XXVII. Между фотокатодом и анодом приложена такая разность потенциалов, что наиболее быстрые фотоэлектроны могут пролететь только половину расстояния между электродами. Смогут ли они долететь до анода, если расстояние между электродами уменьшить вдвое при той же разности потенциалов?

1. Смогут при неизменных остальных условиях.
2. Не смогут.
3. Смогут, если увеличить мощность излучения

О.Э. РОДИОНОВА <olga.ergardovna@ya.ru>,
лицей № 34, г. Новокузнецк, Кемеровская обл.

Вариант 1

1. Постоянная Планка – это коэффициент пропорциональности между порцией энергии, уносимой светом при излучении его атомом, и:
 - 1) длиной волны света;
 - 2) частотой изменения напряжённости электрического поля в световой волне;
 - 3) скоростью световой волны;
 - 4) амплитудой световой волны.
2. Фотоэффект – это:
 - 1) свечение металлов при пропускании по ним тока;
 - 2) нагрев вещества при его освещении;
 - 3) синтез глюкозы в растениях под действием солнечного света;
 - 4) выбивание электронов с поверхности металла при освещении его светом.
3. Из перечисленных ниже фактов выберите те, от которых зависит кинетическая энергия электронов, вылетевших с поверхности металлической пластины при её освещении светом лампы: А) интенсивность падающего света; Б) частота падающего света; В) работа выхода электрона из металла.
 - 1) только А;
 - 2) только Б;
 - 3) Б и В;
 - 4) А, Б, В.
4. Фототок насыщения при фотоэффекте при уменьшении падающего светового потока:
 - 1) увеличивается;
 - 2) уменьшается;
 - 3) не изменится;
 - 4) увеличивается или уменьшается в зависимости от условий опыта.
5. Красная граница фотоэффекта исследуемого металла соответствует длине волны $\lambda_{кр} = 600$ нм. Чему равна длина волны света, выбивающего из него

фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в 3 раза меньше энергии падающих фотонов?

- 1) 133 нм; 2) 300 нм; 3) 400 нм; 4) 1200 нм.

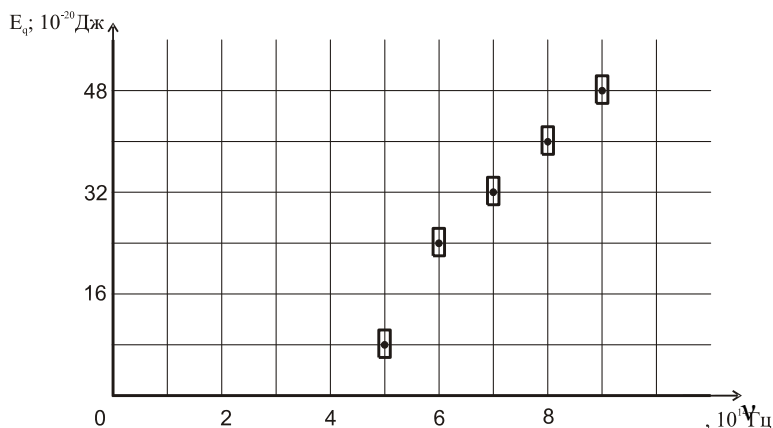
6. В некоторых опытах по изучению фотоэффекта фотоэлектроны тормозятся электрическим полем. В таблице приведены результаты одного из первых таких опытов при освещении одной и той же пластины.

Задерживающее напряжение U_3 , В	0,4	0,6
Частота ν , 10^{14} Гц	5,5	6,1

Постоянная Планка по результатам этого эксперимента равна:

- 1) $4,6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; 2) $5,3 \cdot 10^{-34}$ Дж · с;
3) $7,0 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; 4) $6,3 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

7. При изучении явления фотоэффекта исследовалась зависимость максимальной кинетической энергии вылетающих с поверхности освещённой пластины фотоэлектронов E_m от частоты падающего света ν . Погрешности измерения частоты света и энергии фотоэлектронов составляли соответственно $1 \cdot 10^{14}$ Гц и $4 \cdot 10^{-20}$ Дж. Результаты измерений с учётом их погрешности представлены на рисунке. Согласно этим измерениям, постоянная Планка приблизительно равна



- 1) $2 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; 2) $5 \cdot 10^{-34}$ Дж · с;
3) $7 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; 4) $9 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

8. Работа выхода для материала пластины равна 2 эВ. Пластина освещается монохроматическим светом. Чему равна энергия фотонов падающего света, если максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 1,5 эВ?

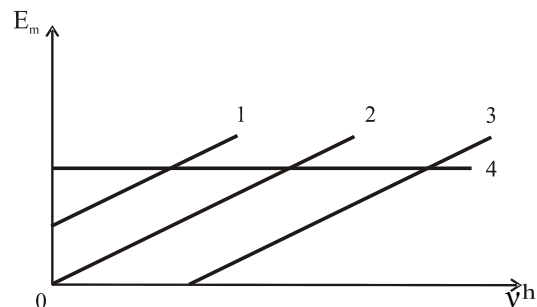
- 1) 0,5 эВ; 2) 1,5 эВ;
3) 2 эВ; 4) 3,5 эВ.

9. При исследовании фотоэффекта Столетов выяснил, что:

- 1) атом состоит из ядра и окружающих его электронов;
2) атом может поглощать свет только определённых частот;
3) сила фототока прямо пропорциональна частоте падающего света;

4) фототок возникает при частотах падающего света, меньше некоторой величины.

10. На рисунке приведены варианты графика зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от энергии падающих на фотокатод фотонов. В каком случае график соответствует законам фотоэффекта?



1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.

11. В опытах по фотоэффекту пластину из металла с работой выхода $3,4 \cdot 10^{-19}$ Дж освещали светом с частотой $3 \cdot 10^{14}$ Гц. Затем частоту увеличили в 2 раза, оставив неизменным число фотоэлектронов, падающих на пластину за 1 с. В результате этого число фотоэлектронов, покидающих пластину за 1 с,

1) не изменилось; 2) стало не равным нулю;
3) увеличилось в 2 раза; 4) увеличилось менее чем в 2 раза.

12. Металлическую пластинку освещают сначала светом с частотой $\nu_1 > \nu_m$, а затем с частотой $\nu_2 < \nu_m$, где ν_m – красная граница фотоэффекта. В каком случае (1 или 2) будет наблюдаться фотоэффект?

1) в случае 1; 2) в случае 2;
3) в обоих случаях; 4) ни в одном случае.

13. Металлическую пластинку освещают сначала светом с длиной волны λ_1 , а затем светом с длиной волны $\lambda_2 > \lambda_1$. В каком случае (1 или 2) скорость фотоэлектронов имеет большее значение?

1) в случае 1; 2) в случае 2;
3) скорость не изменится; 4) фотоэффекта не будет.

14. Кинетическая энергия фотоэлектронов при внешнем фотоэффекте увеличивается, если:

1) увеличивается работа выхода электронов из металла;
2) уменьшается работа выхода электронов из металла;
3) увеличивается интенсивность падающего света;
4) уменьшается энергия кванта падающего света.

15. В каком из технических устройств: 1) телекамера; 2) ксерокс, - используется явление фотоэффекта?

1) только 1; 2) только 2; 3) 1 и 2; 4) ни 1, ни 2.

16. При облучении металлической пластинки светом с её поверхности вылетают электроны. Число выбиваемых светом электронов зависит от:

1) температуры пластины;
2) частоты света;
3) от материала пластинки;
4) интенсивности света.

17. Как изменится энергия фотонов при увеличении длины световой волны в 2 раза?

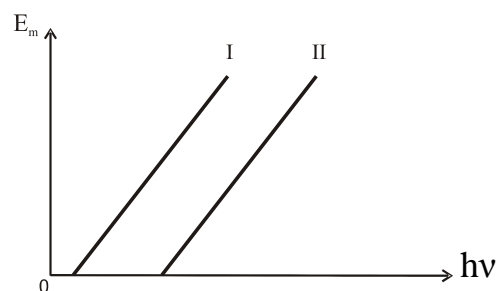
1) увеличится в 2 раза;

- 2) увеличится в 4 раза;
- 3) уменьшится в 2 раза;
- 4) зависит от вида излучения.

Вариант 2

1. Фотоэффект – это явление:
 - 1) почернения фотоэмульсии под действием света;
 - 2) испускания электронов с поверхности вещества под действием света;
 - 3) свечение некоторых веществ в темноте;
 - 4) излучения нагретого твёрдого тела.
2. При освещении катода вакуумного фотоэлемента потоком монохроматического света происходит выбивание фотоэлектронов. Как изменится максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов при увеличении частоты падающего на катод света в 2 раза?
 - 1) не изменится;
 - 2) увеличится в 2 раза;
 - 3) увеличится более чем в 2 раза;
 - 4) увеличится менее чем в 2 раза.
3. В опытах Столетова было обнаружено, что кинетическая энергия электронов, вылетевших с поверхности металлической пластины при её освещении светом:
 - 1) не зависит от частоты падающего света;
 - 2) линейно зависит от частоты падающего света;
 - 3) линейно зависит от интенсивности света;
 - 4) линейно зависит от длины волны падающего света.
4. Фототок насыщения при уменьшении интенсивности падающего света:
 - 1) увеличивается;
 - 2) не изменяется;
 - 3) уменьшается;
 - 4) увеличивается или уменьшается в зависимости от работы выхода.
5. Какие из явлений: А) фотоэффект; Б) световое давление - можно количественно описать с помощью фотонной теории света?
 - 1) Только А; 2) только Б; 3) А и Б; 4) ни А, ни Б.

6. На рисунке приведены графики зависимости максимальной энергии фотоэлектронов от энергии падающих на фотокатод фотонов. В каком случае материал катода фотоэлемента имеет меньшую работу выхода?



- 1) I; 2) II; 3) одинаковую;
 - 4) ответ неоднозначен.
7. Работа выхода электронов для исследуемого металла равна 3 эВ. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих с

поверхности металлической пластинки под действием света, длина волны которого составляет $2/3$ длины волны, соответствующей красной границе фотоэффекта для этого металла?

- 1) $2/3$ эВ; 2) 1 эВ; 3) $3/2$ эВ; 4) 2 эВ.

8. В некоторых опытах по изучению фотоэффекта фотоэлектроны тормозятся электрическим полем. Напряжение, при котором поле останавливает и возвращает назад все фотоэлектроны, назвали задерживающим напряжением. В таблице представлены результаты одного из первых таких опытов при освещении одной и той же пластины, в ходе которого было получено значение $h = 5,3 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

Задерживающее напряжение U_3 , В		0,6
Частота ν , Гц	5,5	6,1

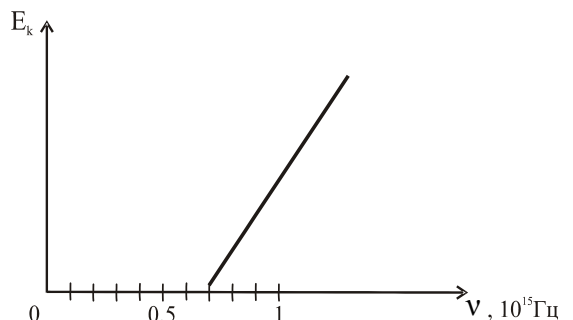
Чему равно пропущенное в таблице первое значение задерживающего потенциала?

- 1) 0,4 В;
 2) 0,5 В;
 3) 0,7 В;
 4) 0,8 В.
9. В опытах по фотоэффекту пластину из металла с работой выхода $3,4 \cdot 10^{-19}$ Дж освещали светом с частотой $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Затем частоту уменьшили в 2 раза, число, одновременно увеличив в 1,5 раза число фотонов, падающих на пластину за 1 с. В результате этого максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов
- 1) уменьшилась в 2 раза;
 2) стала равной нулю;
 3) увеличилось в 1,5 раза;
 4) уменьшилась менее чем в 2 раза.

10. Укажите неверное утверждение:

- 1) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой падающего света;
 2) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света;
 3) фототок насыщения прямо пропорционален интенсивности света, падающего на катод;
 4) красная граница фотоэффекта зависит от интенсивности света, падающего на катод.

11. На рисунке приведён график зависимости кинетической энергии фотоэлектронов E_k от частоты падающего света. Работа выхода электронов равна:



1) 0,44 эВ; 2) 0,92 эВ; 3) 2,9 эВ; 4) 4,4 эВ.

12. Металлическую пластинку освещают сначала светом с частотой ν_1 , а затем с частотой $\nu_2 < \nu_1$. В каком случае (1 или 2) скорость фотоэлектронов имеет большее значение?
 1) В 1 случае; 2) в случае 2;
 3) скорость фотоэлектронов не изменилась;
 4) в случае 2 фотоэффекта не будет.
13. Металлическую пластинку освещают сначала светом с длиной волны $\lambda_1 > \lambda_m$, а затем светом с длиной волны $\lambda_2 < \lambda_m$, где λ_m – красная граница фотоэффекта. В каком случае (1 или 2) будет наблюдаться фотоэффект?
 1) в случае 1; 2) в случае 2; 3) в обоих случаях;
 4) в обоих случаях фотоэффекта не будет.
14. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта представляет собой применение к данному явлению:
 1) закона сохранения импульса;
 2) закона сохранения энергии;
 3) закона отражения и преломления света;
 4) закона сохранения заряда.
15. Вылетающие при фотоэффекте фотоэлектроны задерживаются напряжением U_3 . Максимальная скорость электронов равна
 1) $\frac{mU_3}{e}$; 2) $\frac{eU_3}{m}$; 3) $\sqrt{\frac{eU_3}{m}}$; 4) $\sqrt{\frac{2eU_3}{m}}$.
16. При фотоэффекте значение задерживающей разности потенциалов зависит от:
 А) частоты падающего света; Б) интенсивности падающего света;
 В) работы выхода электронов из металла. Какие утверждения правильные?
 1) А и Б; 2) А и В; 3) Б и В; 4) А, Б и В.
17. Увеличение частоты падающего света на фотоэлемент приводит:
 1) к увеличению скорости фотоэлектрона;
 2) к увеличению тока насыщения;
 3) к уменьшению задерживающей разности потенциалов;
 4) не влияет на фотоэффект.

Ответы

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
В1	2	4	3	2	3	2	2	4	3	3	2	1	1	2	3	4	3
В2	2	3	2	3	3	1	3	1	2	4	3	1	2	2	4	2	1

Тестовое задание «Световые кванты»

I Вариант

1. Под фотоэффектом понимают явление взаимодействия света с веществом, при котором происходит:
А) вырывание атомов
Б) вырывание электронов
В) поглощение атомов
Г) поглощение электронов
2. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших при освещении поверхности металла, зависит от:
А) интенсивности света
Б) работы выхода электрона
В) частоты света
Г) работы выхода и частоты света
3. При фотоэффекте с увеличением интенсивности падающего светового потока ток насыщения:
А) уменьшается
Б) увеличивается
В) не изменяется
4. На поверхность металла с работой выхода A падает свет с частотой ν . Фотоэффект возможен в том случае, если:
А) $\nu > \frac{A}{h}$ Б) $\nu < \frac{A}{h}$ В) $\nu = \frac{A}{h}$
5. Работа выхода электрона из лития $3,84 \cdot 10^{-19}$ Дж. При облучении светом с частотой 10^{15} Гц максимальная энергия вырванных из лития электронов составит ____ Дж. $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж*с.

Тестовое задание «Световые кванты»

II Вариант

1. При увеличении светового потока увеличивается:
А) число электронов
Б) скорость электронов
В) энергия электронов
Г) скорость и энергия электронов
2. Первая из двух одинаковых металлических пластин имеет положительный электрический заряд, вторая пластина - отрицательный. При освещении электрической дугой быстрее разряжается:
А) первая Б) вторая В) обе одинаково
3. Красную границу фотоэффекта определяет:
А) частота света Б) вещество (материал) катода В) площадь катода
4. При фотоэффекте с увеличением частоты падающего излучения задерживающее напряжение:
А) увеличивается Б) уменьшается В) не изменяется
5. Энергия фотона с длиной волны $\lambda = 630$ нм (красный свет) равна ____ Дж.
($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с)

Тестовое задание «Световые кванты»

III Вариант

- Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших при освещении поверхности металла, зависит от:
А) работы выхода электрона Б) частоты света
В) интенсивности света Г) работы выходы и частоты света
- Под фотоэффектом понимают явление взаимодействия света с веществом, при котором происходит:
А) вырывание электронов Б) вырывание атомов
В) поглощение электронов Г) поглощение атомов
- При фотоэффекте с увеличением интенсивности падающего светового потока кинетическая энергия фотоэлектронов:
А) уменьшается Б) увеличивается В) не изменяется
- На поверхность металла с работой выхода $A_{\text{вых}}$ падает свет с частотой ν . Фотоэффект возможен в том случае, если:
А) $\nu = \frac{A}{h}$ Б) $\nu < \frac{A}{h}$ В) $\nu > \frac{A}{h}$
- Работа выхода электрона из калия $3,52 \cdot 10^{-19}$ Дж. При облучении светом с частотой 10^{15} Гц максимальная кинетическая энергия, вырванных из калия электронов, составит _____ Дж. $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж-с.

Тестовое задание «Световые кванты»

IV Вариант

- При увеличении светового потока увеличивается:
А) скорость электронов Б) энергия электронов
В) число электронов Г) скорость и энергия электронов
- Первая из двух одинаковых металлических пластин имеет положительный электрический заряд, вторая пластина - отрицательный. При освещении электрической дугой быстрее разряжается:
А) первая Б) вторая В) обе одинаково
- При фотоэффекте с увеличением частоты падающего излучения ток насыщения:
А) увеличивается Б) уменьшается В) не изменяется
- Под фотоэффектом понимают явление взаимодействия света с веществом, при котором происходит:
А) поглощение электронов Б) вырывание электронов
В) поглощение атомов Г) вырывание атомов
- Энергия фотона с длиной волны $\lambda = 440$ нм (фиолетовый свет) равна ? Дж ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж с; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с)

№ Задания	I Вариант	II Вариант	III Вариант	IV Вариант
1.	Б	А	Г	В
2.	Г	Б	А	Б
3.	Б	Б	В	В
4.	А	А	В	Б
5.	$2,79 \cdot 10^{-19}$	$3,15 \cdot 10^{-19}$	$3,11 \cdot 10^{-19}$	$4,5 \cdot 10^{-19}$

Показатели взаимоконтроля по результатам тестирования.

1. 5 верно выполненных заданий – оценка «пять»
2. 4 верно выполненных заданий – оценка «четыре»
3. 3 верно выполненных заданий – оценка «три»
4. 1-2 верно выполненных заданий – оценка «два»

Тестовые задания для тематического контроля

ВАРИАНТ 1

1. Какое из приведенных ниже выражений наиболее точно определяет понятие внешний фотоэффект?
 - А. Вырывание заряженных частиц из вещества под действием света.
 - Б. Испускание электронов веществом в результате его нагревания.
 - В. Вырывание электронов из вещества под действием света.
 - Г. Увеличение электрической проводимости вещества под действием света.
2. Как изменится заряд цинковой пластины после ультрафиолетового облучения сквозь кварцевое стекло, если она заряжена отрицательно?
 - А. Увеличится.
 - Б. Уменьшится.
 - В. Не изменится.
3. Какое из приведенных ниже выражений позволяет рассчитать кинетическую энергию фотоэлектронов?
 - А. $h\nu$.
 - Б. $A_{\text{в}} + E_{\text{к}}$.
 - В. $h\nu - A_{\text{в}}$.
 - Г. $h\nu - E_{\text{к}}$.
 - Д. $\frac{h\nu - E_{\text{к}}}{h}$.
4. При каком условии возможен фотоэффект?
 - А. $h\nu > A_{\text{в}}$.
 - Б. $h\nu < A_{\text{в}}$.
 - В. При любом соотношении величин.
5. Укажите вещество, для которого возможен фотоэффект под действием фотонов с энергией $2,4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - А. Цезий ($A_{\text{в}} = 3,0 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Б. Оксид бария ($A_{\text{в}} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - В. Калий ($A_{\text{в}} = 3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Г. Литий ($A_{\text{в}} = 3,8 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Д. Серебро ($A_{\text{в}} = 6,9 \cdot 10^{-19}$ Дж).
6. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вырываемых из металла под действием фотонов с энергией $8 \cdot 10^{-19}$ Дж, если работа выхода $2 \cdot 10^{-19}$ Дж?
 - А. $8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - Б. $2 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - В. $10 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - Г. $6 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - Д. 0 Дж.
7. Укажите, что является причиной выцветания тканей под действием солнечных лучей.
 - А. Вырывание электронов из вещества.
 - Б. Разрыв ковалентных связей.
 - В. Передача поверхности импульса фотонов.
 - Г. Разрушение молекул вещества.
 - Д. Ионизация молекул вещества.
8. Какие свойства электромагнитного излучения проявляются сильнее при увеличении частоты?
 - А. Волновые.
 - Б. Квантовые.
 - В. Как волновые, так и квантовые.
 - Г. Проявление свойств не зависит от частоты.
9. Как изменится сила тока насыщения в опытах по фотоэффекту при увеличении интенсивности облучающего света?
 - А. Увеличится.
 - Б. Уменьшится.
 - В. Не изменится.

10. Как изменится работа выхода электрона из вещества при уменьшении частоты облучения в 3 раза?

- А. Увеличится в 3 раза.
- Б. Увеличится в 9 раз.
- В. Уменьшится в 3 раза.
- Г. Уменьшится в 9 раз.
- Д. Не изменится.

11. Какое из выражений определяет энергию фотона?

- А. $\frac{mv^2}{2}$.
- Б. $\frac{h\nu}{c}$.
- В. $\frac{h\nu}{c^2}$.
- Г. $\frac{h}{\lambda}$.
- Д. $\frac{hc}{\lambda}$.

12. Какая точка вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента (рис. 1) соответствует силе тока, при которой только часть электронов, вырываемых светом с поверхности металла за 1 секунду, достигает анода?

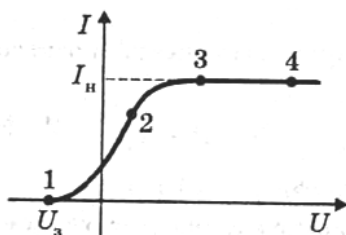


Рис. 1

- А. Точка 1.
- Б. Точка 2.
- В. Точка 3.
- Г. Точка 4.

13. Чему равна длина волны излучения, вызывающего фотоэффект, если максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $4,5 \cdot 10^{-19}$ Дж, а работа выхода у этого металла $3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж?

- А. $1,2 \cdot 10^{-7}$ м.
- Б. $2 \cdot 10^{-7}$ м.
- В. $2,5 \cdot 10^{-7}$ м.
- Г. $4,4 \cdot 10^{-7}$ м.
- Д. $5,7 \cdot 10^{-7}$ м.

14. Какой частоты свет излучает монохроматический источник мощностью 40 Вт, если за 1 с он испускает $2 \cdot 10^{20}$ фотонов?

- А. $3 \cdot 10^{14}$ Гц.
- Б. $6 \cdot 10^{14}$ Гц.
- В. $3 \cdot 10^{17}$ Гц.
- Г. $6 \cdot 10^{-14}$ Гц.
- Д. $3 \cdot 10^{-14}$ Гц.
- Е. $6 \cdot 10^{-17}$ Гц.

15. На рис. 2 изображены графики зависимости абсолютной величины задерживающего напряжения от частоты облучения для двух материалов. Сравните значения работ выхода у этих материалов.

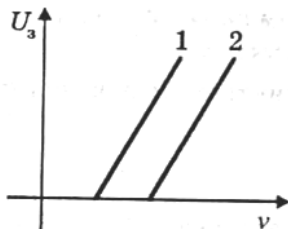


Рис. 2

- А. Работа выхода у обоих одинакова.
- Б. Работа выхода у первого больше, чем у второго.
- В. Работа выхода у второго больше, чем у первого.

ВАРИАНТ 2

1. Какое из приведенных ниже выражений наиболее точно определяет понятие работа выхода?

- А. Энергия, необходимая для отрыва электрона от атома.
- Б. Кинетическая энергия свободного электрона в веществе.
- В. Энергия, необходимая свободному электрону для вылета из вещества.
- Г. Энергия, необходимая свободному электрону для вылета из вещества и движения с некоторой скоростью.

2. Как изменится абсолютная величина заряда цинковой пластины после ультрафиолетового облучения, если она заряжена отрицательно?

- А. Увеличится.
- Б. Уменьшится.
- В. Не изменится.

3. Какое из приведенных ниже выражений позволяет рассчитать энергию кванта излучения?

- А. $A_{\text{в}} + E_{\text{к}}$.
- Б. $h\nu - E_{\text{к}}$.
- В. $h\nu - A_{\text{в}}$.
- Г. $\frac{mv^2}{2}$.
- Д. $\frac{h\nu - E_{\text{к}}}{h}$.

4. При каком условии возможен фотоэффект?

- А. $\nu > \nu_{\text{min}}$, где ν_{min} — красная граница фотоэффекта.
- Б. $\nu < \nu_{\text{min}}$.
- В. При любом соотношении величин ν и ν_{min} .

5. Укажите вещество, для которого возможен фотоэффект под действием фотонов с энергией $3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж.

- А. Калий ($A_{\text{в}} = 3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж).
- Б. Серебро ($A_{\text{в}} = 6,9 \cdot 10^{-19}$ Дж).
- В. Литий ($A_{\text{в}} = 3,8 \cdot 10^{-19}$ Дж).
- Г. Вольфрам ($A_{\text{в}} = 7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж).
- Д. Цезий ($A_{\text{в}} = 3,0 \cdot 10^{-19}$ Дж).

6. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, если фотоны с энергией $8 \cdot 10^{-19}$ Дж вызывают фотоэффект на металле, у которого работа выхода имеет такое же значение?

- А. $1 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Б. $8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- В. $16 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Г. $64 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Д. 0 Дж.

7. Укажите, что является причиной увеличения электрической проводимости полупроводника под действием света.

- А. Разрушение молекул вещества.
- Б. Вырывание электронов из вещества.
- В. Разрыв ковалентных связей.
- Г. Передача поверхности импульса фотонов.
- Д. Ионизация молекул вещества.

8. Какие свойства электромагнитного излучения проявляются сильнее при увеличении длины волны?

- А. Волновые.
- Б. Квантовые.
- В. Как волновые, так и квантовые.
- Г. Проявление свойств не зависит от длины волны.

9. Как изменится количество фотоэлектронов при уменьшении интенсивности света?

- А. Увеличится.
- Б. Уменьшится.
- В. Не изменится.

10. Как изменится скорость фотоэлектронов при увеличении интенсивности света в 2 раза?

- А. Увеличится в 2 раза.
- Б. Увеличится в 4 раза.
- В. Уменьшится в 2 раза.
- Г. Уменьшится в 4 раза.
- Д. Не изменится.

11. Какое из выражений определяет импульс фотона?

- А. $h\nu$.
- Б. $\frac{hc}{\lambda}$.
- В. $\frac{mv^2}{2}$.
- Г. $\frac{h\nu}{c^2}$.
- Д. $\frac{h\nu}{c}$.

12. Какая точка вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента (рис. 1) соответствует силе тока, при которой все электроны, вырывающиеся светом с поверхности металла за 1 с, достигают анода?

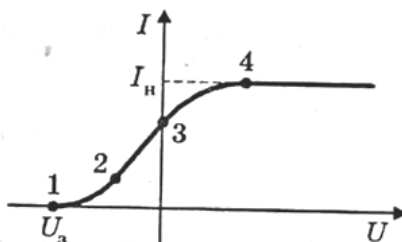


Рис. 1

- А. Точка 1.
- Б. Точка 2.
- В. Точка 3.
- Г. Точка 4.

13. Чему равна работа выхода, если излучение с длиной волны $2,5 \cdot 10^{-7}$ м вызывает фотоэффект с максимальной кинетической энергией фотоэлектронов $4,0 \cdot 10^{-19}$ Дж?

- А. 0 Дж.
- Б. $2 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- В. $4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Г. $8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Д. $32 \cdot 10^{-19}$ Дж.

14. Сколько фотонов за 1 с испускает источник монохроматического света мощностью 40 Вт, если частота излучения $6 \cdot 10^{14}$ Гц?

- А. $2 \cdot 10^{20}$.
- Б. $1 \cdot 10^{20}$.
- В. $2 \cdot 10^{19}$.
- Г. $2 \cdot 10^{17}$.
- Д. $1 \cdot 10^{17}$.

15. На рис. 2 изображены графики зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от частоты облучающего света для двух материалов. Сравните значения работ выхода у этих материалов.

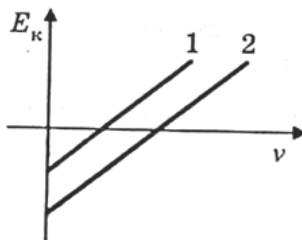


Рис. 2

- А. Работа выхода у первого больше, чем у второго.
- Б. Работа выхода у второго больше, чем у первого.
- В. Работа выхода у обоих одинакова.

ВАРИАНТ 3

1. Какое из приведенных ниже выражений наиболее точно определяет понятие внутреннего фотоэффекта?
- А. Вырывание электронов из вещества под действием света.
 - Б. Испускание электронов веществом в результате его нагревания.
 - В. Увеличение электрической проводимости вещества под действием света.
 - Г. Увеличение электрической проводимости вещества в результате нагревания.
2. Как изменится положительный заряд цинковой пластины, если ее освещать ультрафиолетовыми лучами?
- А. Увеличится.
 - Б. Уменьшится.
 - В. Не изменится.
3. Какое из приведенных ниже выражений позволяет рассчитать работу выхода электрона из вещества?
- А. $h\nu - A_{\text{в}}$.
 - Б. $h\nu - E_{\text{к}}$.
 - В. $A_{\text{в}} + E_{\text{к}}$.
 - Г. $\frac{h\nu - E_{\text{к}}}{h}$.
 - Д. $h\nu$.
4. При каком условии возможен фотоэффект?
- А. $\nu < \frac{A_{\text{в}}}{h}$.
 - Б. $\nu > \frac{A_{\text{в}}}{h}$.
 - В. При любом соотношении величин.
5. Укажите вещество, для которого возможен фотоэффект под действием фотонов с энергией $4,8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- А. Платина ($A_{\text{в}} = 8,5 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Б. Никель ($A_{\text{в}} = 7,7 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - В. Серебро ($A_{\text{в}} = 6,9 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Г. Алюминий ($A_{\text{в}} = 5,9 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Д. Литий ($A_{\text{в}} = 3,8 \cdot 10^{-19}$ Дж).
6. Чему равна энергия фотонов, вызывающих фотоэффект в металле, если максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов $4,5 \cdot 10^{-19}$ Дж, а работа выхода $3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж?
- А. $1 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - Б. $3,5 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - В. $4,5 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - Г. $8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - Д. $16 \cdot 10^{-19}$ Дж.
7. Укажите, что является причиной почернения фотопластинки под действием света.
- А. Передача поверхности фотопластинки импульса фотонов.
 - Б. Разрыв ковалентных связей.
 - В. Разрушение молекул вещества.
 - Г. Вырывание электронов из вещества.
 - Д. Ионизация молекул вещества.
8. Какие свойства электромагнитного излучения проявляются сильнее при уменьшении частоты?
- А. Волновые.
 - Б. Квантовые.
 - В. Как волновые, так и квантовые.
 - Г. Проявление свойств не зависит от частоты.
9. Как изменится кинетическая энергия фотоэлектронов при увеличении частоты облучающего света?
- А. Увеличится.
 - Б. Уменьшится.
 - В. Не изменится.

10. Как изменится работа выхода электрона из вещества при уменьшении частоты облучения в 2 раза?

- А. Увеличится в 2 раза.
- Б. Увеличится в 4 раза.
- В. Уменьшится в 2 раза.
- Г. Уменьшится в 4 раза.
- Д. Не изменится.

11. Какое из выражений определяет массу фотона?

- А. $h\nu$.
- Б. $\frac{h\nu}{c}$.
- В. $\frac{h\nu}{c^2}$.
- Г. $\frac{hc}{\lambda}$.
- Д. $\frac{m\nu^2}{2}$.

12. Какая точка вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента (рис. 1) соответствует прекращению движения фотоэлектронов между электродами?

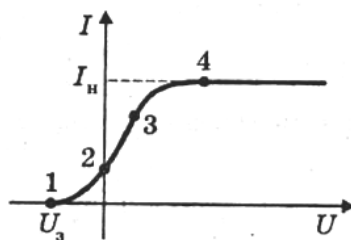


Рис. 1

- А. Точка 1.
- Б. Точка 2.
- В. Точка 3.
- Г. Точка 4.

13. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, если излучение с длиной волны $2,5 \cdot 10^{-7}$ м вызывает фотоэффект в металле, у которого работа выхода равна $2 \cdot 10^{-19}$ Дж?

- А. $8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Б. $2 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- В. $10 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Г. $6 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Д. 0 Дж.

14. Сколько фотонов за 1 с испускает источник ультрафиолетового излучения мощностью 40 Вт, если частота излучения $3 \cdot 10^{15}$ Гц?

- А. $1 \cdot 10^{17}$.
- Б. $2 \cdot 10^{17}$.
- В. $2 \cdot 10^{19}$.
- Г. $1 \cdot 10^{20}$.
- Д. $2 \cdot 10^{20}$.

15. На рис. 2 изображены графики зависимости абсолютной величины задерживающего напряжения от частоты облучения для двух материалов. Сравните у этих материалов значения работ выхода фотоэлектронов.

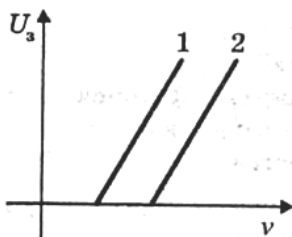


Рис. 2

- А. Работа выхода у первого меньше, чем у второго.
- Б. Работа выхода у второго меньше, чем у первого.
- В. Работа выхода у обоих одинакова.

ВАРИАНТ 4

1. Какое из приведенных ниже выражений наиболее точно определяет свойства фотона?
- А. Частица, движущаяся с большой скоростью и обладающая массой, зависящей от скорости.
 - Б. Частица, движущаяся со скоростью света и обладающая массой покоя, отличной от нуля.
 - В. Частица, движущаяся с большой скоростью, масса покоя которой равна нулю.
 - Г. Частица, движущаяся со скоростью света, масса покоя которой равна нулю.
2. Как изменится отрицательный заряд цинковой пластины, если ее через обыкновенное стекло освещать ультрафиолетовыми лучами?
- А. Увеличится.
 - Б. Уменьшится.
 - В. Не изменится.
3. Какое из приведенных ниже выражений позволяет рассчитать красную границу фотоэффекта?
- А. $h\nu$.
 - Б. $h\nu - E_k$.
 - В. $h\nu - A_{\text{в}}$.
 - Г. $A_{\text{в}} + E_k$.
 - Д. $\frac{h\nu - E_k}{h}$.
4. При каком условии возможен фотоэффект?
- А. $\lambda < \lambda_{\text{max}}$, где λ_{max} — длинноволновая (красная) граница фотоэффекта.
 - Б. $\lambda > \lambda_{\text{max}}$.
 - В. При любом соотношении величин λ и λ_{max} .
5. Укажите вещество, для которого возможен фотоэффект под действием фотонов с энергией $6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- А. Серебро ($A_{\text{в}} = 6,9 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Б. Вольфрам ($A_{\text{в}} = 7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - В. Никель ($A_{\text{в}} = 7,7 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Г. Алюминий ($A_{\text{в}} = 5,9 \cdot 10^{-19}$ Дж).
 - Д. Платина ($A_{\text{в}} = 8,5 \cdot 10^{-19}$ Дж).
6. Чему равна работа выхода электронов у металла, если фотоны с энергией $8 \cdot 10^{-19}$ Дж вызывают фотоэффект, при котором кинетическая энергия фотоэлектронов равна $4 \cdot 10^{-19}$ Дж?
- А. 0 Дж.
 - Б. $2 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - В. $4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - Г. $8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 - Д. $32 \cdot 10^{-19}$ Дж.
7. Укажите, что является причиной изменения заряда металлической пластины под действием света.
- А. Разрушение молекул вещества.
 - Б. Разрыв ковалентных связей.
 - В. Передача поверхности импульса фотонов.
 - Г. Вырывание электронов из вещества.
 - Д. Ионизация молекул вещества.
8. Какие свойства электромагнитного излучения проявляются сильнее при уменьшении длины волны?
- А. Волновые.
 - Б. Квантовые.
 - В. Как волновые, так и квантовые.
 - Г. Проявление свойств не зависит от длины волны.
9. Как изменится скорость фотоэлектронов при уменьшении частоты облучающего света?
- А. Увеличится.
 - Б. Уменьшится.
 - В. Не изменится.

10. Как изменится кинетическая энергия фотоэлектронов при увеличении интенсивности облучающего света в 3 раза?

- А. Увеличится в 3 раза.
- Б. Увеличится в 9 раз.
- В. Уменьшится в 3 раза.
- Г. Уменьшится в 9 раз.
- Д. Не изменится.

11. Какое из выражений определяет импульс фотона?

- А. $h\nu$.
- Б. $\frac{hc}{\lambda}$.
- В. $\frac{h}{\lambda}$.
- Г. $\frac{h\nu}{c^2}$.
- Д. $\frac{mv^2}{2}$.

12. В какой точке вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента (рис. 1) сила тока определяется только кинетической энергией фотоэлектронов?

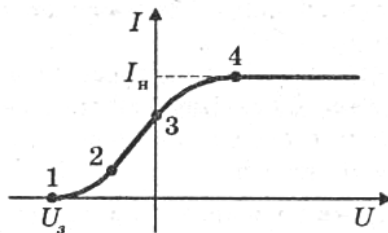


Рис. 1

- А. В точке 1.
- Б. В точке 2.
- В. В точке 3.
- Г. В точке 4.

13. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, если излучение с длиной волны $2,5 \cdot 10^{-7}$ м вызывает фотоэффект в металле с работой выхода $8 \cdot 10^{-19}$ Дж?

- А. 0 Дж.
- Б. $1 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- В. $8 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Г. $16 \cdot 10^{-19}$ Дж.
- Д. $64 \cdot 10^{-19}$ Дж.

14. Какова мощность источника рентгеновского излучения с частотой $3 \cdot 10^{17}$ Гц, если он за 1 с испускает $2 \cdot 10^{17}$ фотонов?

- А. 10 Вт.
- Б. 20 Вт.
- В. 30 Вт.
- Г. 40 Вт.
- Д. 50 Вт.

15. На рис. 2 изображены графики зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от частоты облучающего света для двух материалов. Сравните значения работ выхода у этих материалов.

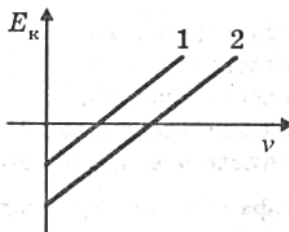


Рис. 2

- А. Работа выхода у первого больше, чем у второго.
- Б. Работа выхода у второго больше, чем у первого.
- В. Работа выхода у обоих одинакова.

Тема 13: Элементы квантовой физики

Вариант	Вопрос														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	В	Б	В	А	Б	Г	Г	Б	А	Д	Д	Б	В	А	В
2	В	Б	А	А	Д	Д	В	А	Б	Д	Д	Г	В	Б	Б
3	В	В	Б	Б	Д	Г	В	А	А	Д	В	А	Г	В	А
4	Г	В	Д	А	Г	В	Г	Б	Б	Д	В	В	А	Г	Б

Тестовые задания по физике

Вариант 1

1. Как изменяется со временем интенсивность испускания электронов цинковой пластиной при облучении ее ультрафиолетовым светом?

А. Уменьшается. Б. Увеличивается. В. Не меняется.

2. Как изменится кинетическая энергия электронов при фотоэффекте, если, не изменяя частоту, увеличить световой поток в 2 раза?

А. Уменьшится в 2 раза. Б. Увеличится больше чем в 2 раза. В. Не изменится. Г. Увеличится в 2 раза.

3. Как изменится фототок насыщения при увеличении частоты облучающего света и неизменном световом потоке?

А. Увеличится. Б. Не изменится. В. Уменьшится.

4. На рисунке 1 приведены графики зависимости запирающего напряжения от частоты света для двух разных материалов катода. Какой из материалов имеет большую работу выхода?

А. Материал II. Б. Материал I.

5. Частота облучающего света увеличилась в 2 раза. Как изменилось запирающее напряжение фотоэлемента?

А. Уменьшилось в 2 раза. Б. Увеличилось в 2 раза. В. Увеличилось больше чем в 2 раза. Г. Не изменилось.

6. По какому из приведенных выражений можно определить красную границу фотоэффекта? 1. $U_3 e = mv^2/2$. 2. hc/λ . 3. $h\lambda = A + mv^2/2$.

А. 1. Б. 2. В. 3.

7. Можно ли законы фотоэффекта объяснить на основе волновой теории света?

А. Можно. Б. Нельзя. В. Можно объяснить только существование красной границы фотоэффекта.

8. Незаряженную металлическую пластину освещают рентгеновскими или ультрафиолетовыми лучами. Каков результат опыта?

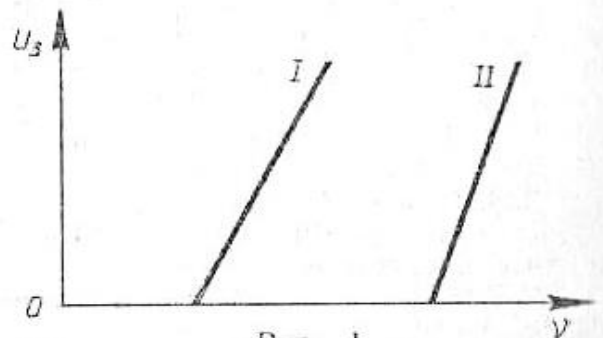
А. Таким способом зарядить пластину нельзя. Б. Пластина заряжается отрицательно. В. Пластина заряжается положительно.

9. Фотоны с энергией 4 эВ попадают на серебряную поверхность пластины. Работа выхода электронов серебра равна 4,3 эВ. Максимальная кинетическая энергия выбитых ими электронов равна:

А. 0,3 эВ. Б. 8,3 эВ. В. 0.

10. Как изменится время разрядки цинковой пластины, заряженной отрицательно, если поставить светофильтр, задерживающий инфракрасную часть спектра?

А. Уменьшится. Б. Не изменится. В. Увеличится.



Вариант 2

1. Какой заряд окажется на двух цинковых пластинах, одна из которых заряжена положительно, а другая — отрицательно, если их облучить ультрафиолетовым светом?

А. Обе пластины будут иметь отрицательный заряд. Б. Одна пластина приобретет положительный заряд, другая — отрицательный. В. Обе пластины будут иметь положительный заряд.

2. Какие факторы определяют красную границу фотоэффекта? 1. Длина волны. 2. Вещество катода. 3. Вещество анода.

А. 1; 2. Б. 2. В. 1; 3.

3. Как изменится скорость вылетающих из вещества электронов, если частота облучающего света увеличится?

А. Не изменится. Б. Увеличится. В. Уменьшится.

4. От каких параметров зависит значение фототока насыщения? 1. От светового потока. 2. От частоты облучающего света.

3. От скорости вылетающих электронов.

А. 1; 2. Б. 3. В. 1.

5. Как зависит запирающее напряжение фототока от длины волны облучающего света?

А. Прямо пропорционально длине волны. Б. Обратно пропорционально длине волны. В. Не зависит.

6. Длина волны облучающего света уменьшилась в 2 раза. Как изменилась работа выхода электронов?

А. Не изменилась. Б. Уменьшилась в 2 раза. В. Увеличилась в 2 раза.

7. Явление фотоэффекта можно объяснить:

А. Только волновой теорией света. Б. Волновой и квантовой теориями света.

В. Только квантовой теорией света.

8. При освещении пластины зеленым светом фотоэффекта нет. Будет ли он наблюдаться при облучении той же пластины красным светом?

А. Нет. Б. Да. В. Не знаю.

9. Если фотоны с энергией 6 эВ падают на поверхность вольфрамовой пластины, то максимальная кинетическая энергия выбитых ими электронов равна 1,5 эВ. Минимальная энергия фотонов, при которой возможен фотоэффект, для вольфрама равна:

А. 7,5 эВ. Б. 1,5 эВ. В. 4,5 эВ.

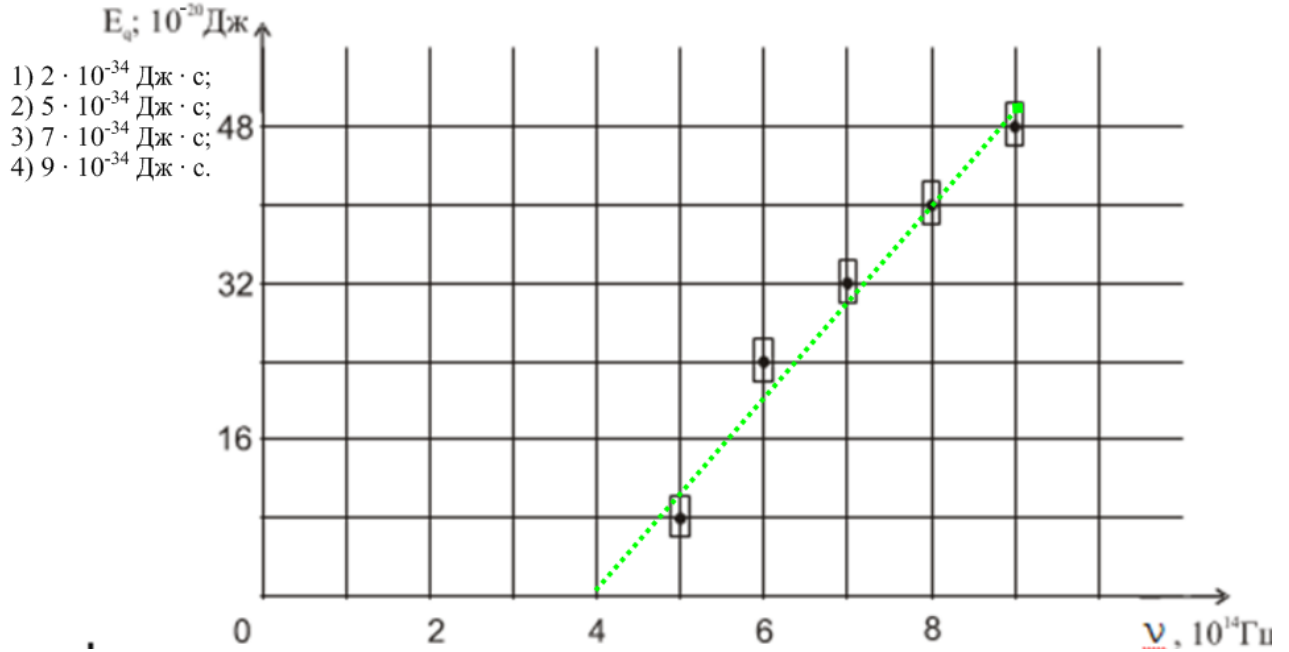
10. Как изменяется со временем разряд отрицательно заряженной цинковой пластины, если ее облучать ультрафиолетовыми лучами?

А. Уменьшается. Б. Увеличивается. В. Не изменяется.

Вопрос \ Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	А	В	Б	А	В	Б	Б	В	В	Б
2	В	Б	Б	В	Б	А	В	А	В	А

ГРАФИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ФОТОЭФФЕКТ С ПОГРЕШНОСТЯМИ

При изучении явления фотоэффекта исследовалась зависимость максимальной кинетической энергии вылетающих с поверхности освещённой пластины фотоэлектронов E_m от частоты падающего света ν . Погрешности измерения частоты света и энергии фотоэлектронов составляли соответственно $1 \cdot 10^{14}$ Гц и $4 \cdot 10^{-20}$ Дж. Результаты измерений с учётом их погрешности представлены на рисунке. Согласно этим измерениям, постоянная Планка приблизительно равна



КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА «ФОТОЭФФЕКТ»

Вариант 1.

1. Какой частоты свет следует направить на поверхность платины, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна 3000 км/с ? Работа выхода электронов из платины 10^{-18} Дж.
 2. Найдите импульс фотонов, вырывающих с поверхности металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов 3 В . Фотоэффект начинается при частоте $6 \cdot 10^{14}$ Гц.
-

Вариант 2.

1. Найдите скорость фотоэлектронов, вылетевших из цинка, при освещении его ультрафиолетовым светом с длиной волны 300 нм , если работа выхода электрона из цинка равна $6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 2. Красная граница фотоэффекта для вольфрама равна 275 нм . Найдите величину запирающего потенциала, если вольфрам облучается фотонами, масса которых равна $1,2 \cdot 10^{-35}$ кг.
-

Вариант 3.

1. Какова наименьшая частота света, при которой еще наблюдается фотоэффект, если работа выхода электрона из металла $3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж?
 2. Работа выхода электронов из кадмия $4,08\text{ эВ}$. Каков импульс фотонов, выбивающих из кадмия электроны, максимальная скорость которых 720 км/с ?
-

Вариант 4.

1. Какой должна быть длина волны ультрафиолетового света, падающего на поверхность цинка, чтобы скорость вылетающих фотоэлектронов составляла 1000 км/с ? Работа выхода электронов из цинка $6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 2. Определите массу фотона красного излучения, длина волны которого 720 нм .
-

Вариант 5.

1. Какова кинетическая энергия и скорость фотоэлектрона, вылетевшего из натрия при облучении его ультрафиолетовым светом с длиной волны 200 нм ? Работа выхода электронов из натрия $4 \cdot 10^{-19}$ Дж.
 2. Определите импульс фотона голубого излучения, длина волны которого 500 нм , при его полном поглощении и полном отражении телом.
-

Вариант 6.

1. Электрон выходит из цезия с кинетической энергией $3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Какова максимальная длина волны света, вызывающего фотоэффект, если работа выхода электронов из цезия $2,88 \cdot 10^{-19}$ Дж?
2. Определите импульс кванта рентгеновского излучения, длина волны которого 5 нм , при его поглощении.

Вариант 7.

1. Фотокатод осветили лучами с длиной волны 345нм. Запирающее напряжение при этом оказалось равным 1,33В. Возникает ли фотоэффект, если этот катод освещать лучами с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц?
 2. Красная граница фотоэффекта у цезия равна 653нм. Определите скорость вылета электронов при облучении цезия оптическим излучением с длиной волны 500нм.
-

Вариант 8.

1. Определите импульс фотона и энергию красного излучения, длина волны которого 700нм.
 2. Определите максимальную скорость вылета фотоэлектронов из калия, работа выхода электронов которого равна 2,26эВ, при освещении его ультрафиолетовым излучением с длиной волны 200нм.
-

Вариант 9.

1. Достаточно ли энергия фотона ультрафиолетового излучения частотой $8 \cdot 10^4$ Гц, чтобы вырвать электрон из молибдена? Работа выхода для молибдена равна $7 \cdot 10^{-19}$ Дж.
2. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона калия при его освещении лучами с длиной волны 400нм, если работа выхода электронов у калия равна 2,26эВ.

Вариант 1

1. Какой частоты свет следует направить на поверхность платины, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна 3000 км/с? Работа выхода электронов из платины 10^{-18} Дж.

Дано:

$$A_{\text{ВЫХ.}} = 10^{-18} \text{ Дж}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$v_{\text{max}} = 3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ.}} + E_k; \quad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ.}} + \frac{mv^2}{2}$$

$$\frac{mv^2}{2} = h\nu - A_{\text{ВЫХ.}} \Rightarrow \nu = \frac{A_{\text{ВЫХ.}} + \frac{mv^2}{2}}{h}$$

$$\nu = \frac{10^{-18} + \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^6)^2}{2}}{6,63 \cdot 10^{-34}} \\ = 7,68 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}$$

Найти: ν -?

Ответ: $\nu = 7,68 \cdot 10^{15}$ Гц

2. Найдите импульс фотонов, вырывающих с поверхности металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов 3В. Фотоэффект начинается при частоте $6 \cdot 10^{14}$ Гц.

Дано:

$$U_3 = 3 \text{ В}$$

$$\nu_{\text{min}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ.}} + E_k;$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c};$$

$$A_{\text{ВЫХ.}} = h\nu_{\text{min}}; E_k = U_3 e;$$

$$p = \frac{A_{\text{ВЫХ.}} + E_k}{c} = \frac{h\nu_{\text{min}} + U_3 e}{c};$$

$$p = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} + 3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^8} \\ = \frac{4 \cdot 10^{-19} + 4,8 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^8} \\ = 2,9 \cdot 10^{-27} \text{ (кг}\cdot\text{м/с)}$$

Найти: p -?

Ответ: $p = 2,9 \cdot 10^{-27}$ (кг · м/с)

Вариант 2

1. Найдите скорость фотоэлектронов, вылетевших из цинка, при освещении его ультрафиолетовым светом с длиной волны 300нм, если работа выхода электрона из цинка равна $6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Дано:

$$\lambda = 300 \text{ нм} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$A_{\text{вых.}} = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{вых.}} + E_k; \quad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых.}} + \frac{mv^2}{2}$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых.}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 * (\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых.}})}{m_e}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * (6,63 * 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} * \frac{3 * 10^8 \text{ м/с}}{3 * 10^{-7} \text{ м}} - 6,4 * 10^{-19} \text{ Дж})}{9,1 * 10^{-31} \text{ кг}}} =$$

$$= 2,24 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

Найти: v -?

Ответ: $v = 2,24 \cdot 10^5 \text{ м/с}$

2. Красная граница фотоэффекта для вольфрама равна 275нм. Найдите величину запирающего потенциала, если вольфрам облучается фотонами, масса которых равна $1,2 \cdot 10^{-35}$ кг.

Дано:

$$\lambda = 275 \text{ нм} = 2,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$m_{\text{ф}} = 1,2 \cdot 10^{-35} \text{ кг}$$

$$e = 1,9 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Решение:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}; \quad \frac{mv^2}{2} = U_3 e$$

$$E_k = U_3 e; \quad h\nu_{\text{min}} = A_{\text{вых.}}; \quad E = mc^2 - \text{энергия фотона}$$

$$h\nu = A_{\text{вых.}} + E_k;$$

$$h\nu = mc^2 \Rightarrow mc^2 = h\nu_{\text{min}} + U_3 e \Rightarrow$$

$$U_3 = \frac{mc^2 - h\nu_{\text{min}}}{e}$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{c}{\lambda}; \quad U_3 = \frac{mc^2 - \frac{hc}{\lambda}}{e} = c \frac{mc - \frac{h}{\lambda}}{e}$$

$$U_3 = \frac{1,2 \cdot 10^{-35} \text{ кг} (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 - \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} * 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}}}{1,9 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}$$

$$= 2,25 \text{ В}$$

Найти: U_3 -?

Ответ: $U_3 = 2,25$

Вариант 3

1. Какова наименьшая частота света, при которой еще наблюдается фотоэффект, если работа выхода электрона из металла $3,3 \cdot 10^{-19}$ Дж?

Дано:

$$A_{\text{ВЫХ.}} = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ.}} + E_k;$$

$$A_{\text{ВЫХ.}} = h\nu_{\text{min}};$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{ВЫХ.}}}{h}$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{3,3 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 0,5 \cdot 10^{15} \text{ (Гц)}$$

Найти: ν_{min} -?

Ответ: $\nu_{\text{min}} = 5 \cdot 10^{14}$ Гц

2. Работа выхода электронов из кадмия 4,08эВ. Каков импульс фотонов, выбивающих из кадмия электроны, максимальная скорость которых 720км/с?

Дано:

$$A_{\text{ВЫХ.}} = 4,08 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,08 \text{ Дж.}$$

$$v = 720 \text{ км/с} = 720 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Решение:

$$p = mc = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c};$$

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ.}} + E_k = \frac{hc}{\lambda};$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{ВЫХ.}} + \frac{mv^2}{2};$$

$$pc = A_{\text{ВЫХ.}} + \frac{mv^2}{2};$$

$$p = \frac{A_{\text{ВЫХ.}} + \frac{mv^2}{2}}{c};$$

$$p = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4,08 + \frac{9,1 \cdot 10^{-31} (720 \cdot 10^3)^2}{2}}{3 \cdot 10^8}$$

$$= \frac{6,5 \cdot 10^{-19} + 2358720 \cdot 10^{-25}}{3 \cdot 10^8} =$$

$$= \frac{6,5 \cdot 10^{-19} + 2,6 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^8}$$

$$= 3,03 \cdot 10^{-27} \left(\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \right);$$

Найти: p -?

Ответ: $p = 3,03 \cdot 10^{-27} \left(\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$

Вариант 4

1. Какой должна быть длина волны ультрафиолетового света, падающего на поверхность цинка, чтобы скорость вылетающих фотоэлектронов составляла 1000 км/с? Работа выхода электронов из цинка $6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж

Дано:

$$v = 1000 \text{ км/с} = 10^6 \text{ м/с}$$

$$A_{\text{вых.}} = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{вых.}} + E_k; \quad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых.}} + \frac{mv^2}{2}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{A_{\text{вых.}} + \frac{mv^2}{2}} = \frac{2h \cdot c}{2A_{\text{вых.}} + mv^2}$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2 \cdot 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot (1 \cdot 10^6 \text{ м/с})^2} = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Найти: λ -?

Ответ: $\lambda = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

2. Определите массу фотона красного излучения, длина волны которого 720 нм.

Дано:

$$\lambda = 720 \text{ нм} = 7,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

Решение:

$E = mc^2$ - энергия фотона

$$E = h\nu; \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$mv^2 = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow m = \frac{h}{\lambda \cdot c}$$

$$m = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}}{7,2 \cdot 10^{-7} \text{ м} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 0,3 \cdot 10^{-35} \text{ кг} = 3 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$$

Найти: m -?

Ответ: $m = 3 \cdot 10^{-36} \text{ кг}$

Вариант 5

1. Какова кинетическая энергия и скорость фотоэлектрона, вылетевшего из натрия при облучении его ультрафиолетовым светом с длиной волны 200нм? Работа выхода электронов из натрия $4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

<p>Дано:</p> <p>$A_{\text{ВЫХ.}} = 4 \cdot 10^{-19}$ Дж</p> <p>$c = 3 \cdot 10^8$ М/с</p> <p>$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с</p> <p>$\lambda = 200 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-7}$ м</p> <p>$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг</p>	<p>Решение:</p> <p>$h\nu = A_{\text{ВЫХ.}} + E_k$;</p> <p>$E_k = \frac{mv^2}{2} = h\nu - A_{\text{ВЫХ.}}$;</p> <p>$v = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow E_k = h \frac{c}{\lambda} - A_{\text{ВЫХ.}}$;</p> <p>$E_k = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-7}} - 4 \cdot 10^{-19} =$ $= 9,945 \cdot 10^{-19} - 4 \cdot 10^{-19}$ $= 5,945 \cdot 10^{-19} \approx 6 \cdot 10^{-19}$ (Дж);</p> <p>$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_k}{m_e}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}}$ $= \sqrt{1,32 \cdot 10^{12}} \left(\frac{\text{М}}{\text{С}}\right)$ $= 1,14 \cdot 10^6 \frac{\text{М}}{\text{С}}$</p>
<p>Найти: E_k -?</p> <p>v_e -?</p>	<p>Ответ: $E_k \approx 6 \cdot 10^{-19}$ Дж</p> <p>$v = 1,14 \cdot 10^6 \frac{\text{М}}{\text{С}}$</p>

2. Определите импульс фотона голубого излучения, длина волны которого 500нм, при его полном поглощении и полном отражении телом.

<p>Дано:</p> <p>$\lambda = 5 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-9}$ м</p> <p>$c = 3 \cdot 10^8$ М/с</p> <p>$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с</p>	<p>Решение:</p> <p>$P = mc$; $E = mc^2 = h\nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow P = \frac{h \cdot c}{c \cdot \lambda} = \frac{h}{\lambda}$</p> <p>1) $P = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{5 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 1,33 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{С}}$</p> <p>2) Полное отражение $p = 2P = 2 \cdot 1,326 =$ $= 2,652 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{С}}$</p>
<p>Найти: P -?</p>	<p>Ответ: $P_1 = 1,33 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{С}}$</p> <p>$p = 2,652 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{С}}$</p>

Вариант 6

1. Электрон выходит из цезия с кинетической энергией $3,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Какова максимальная длина волны света, вызывающего фотоэффект, если работа выхода электронов из цезия $2,88 \cdot 10^{-19}$ Дж?

Дано:

$$E_k = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$A_{\text{вых.}} = 2,88 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{вых.}} + E_k ;$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda_{\text{max}}}$$

$$\frac{hc}{\lambda_{\text{max}}} = A_{\text{вых.}} + \frac{mv^2}{2}$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{h \cdot c}{A_{\text{вых.}} + E_k}$$

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2,88 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}$$

$$= 3,27 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Найти: λ_{max} -?

Ответ: $\lambda_{\text{max}} = 3,27 \cdot 10^{-7} \text{ м}$

2. Определите импульс кванта рентгеновского излучения, длина волны которого 5нм, при его поглощении.

Дано:

$$\lambda = 5 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

Решение:

$$P = \frac{h \cdot \nu}{c}; \nu = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow P = \frac{h \cdot c}{c \cdot \lambda} = \frac{h}{\lambda}$$

$$P = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}}{5 \cdot 10^{-9} \text{ м}} = 1,33 \cdot 10^{-25} \text{ кг}\cdot\frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Найти: P -?

Ответ: $P = 1,33 \cdot 10^{-25} \text{ кг}\cdot\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Вариант 7

1. Фотокатод осветили лучами с длиной волны 345нм. Запирающее напряжение при этом оказалось равным 1,33В. Возникает ли фотоэффект, если этот катод освещать лучами с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц?

Дано:

$$\lambda = 345 \text{ нм} = 345 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$U_3 = 1,33 \text{ В}$$

$$\nu_1 = 5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ.}} + E_k = A_{\text{ВЫХ.}} + U_3 e ;$$

$$A_{\text{ВЫХ.}} = h\nu_{\text{min}} = h\nu - U_3 e ; \nu = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow$$

$$A_{\text{ВЫХ.}} = \frac{hc}{\lambda} - U_3 e \Rightarrow$$

$$A_{\text{ВЫХ.}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{345 \cdot 10^{-9}} - 1,33 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$= 0,058 \cdot 10^{-17} - 2,128 \cdot 10^{-19}$$

$$= 5,8 \cdot 10^{-19} - 2,13 \cdot 10^{-19}$$

$$\approx 3,672 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)}$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{ВЫХ.}}}{h} \Rightarrow$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{3,672 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} \approx 5,54 \cdot 10^{14} \text{ (Гц)}$$

$$\nu_1 < \nu_{\text{min}} \Rightarrow$$

Фотоэффекта не будет.

Найти: *Фотоэффект-?*

Ответ: Фотоэффекта не будет.

2. Красная граница фотоэффекта у цезия равна 653нм. Определите скорость вылета электронов при облучении цезия оптическим излучением с длиной волны 500нм.

Дано:

$$\lambda_{\text{max}} = 653 \text{ нм} = 653 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

$$\lambda = 500 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ.}} + E_k ; \quad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow$$

$$h \frac{c}{\lambda} = A_{\text{ВЫХ.}} + \frac{mv^2}{2} ; \quad A_{\text{ВЫХ.}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{max}}} \Rightarrow$$

$$A_{\text{ВЫХ.}} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{653 \cdot 10^{-9}} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)} ;$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{ВЫХ.}} \right)}{m_e}} \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{5 \cdot 10^{-7}} - 3 \cdot 10^{-19} \right)}{9,1 \cdot 10^{-31}}}$$

$$\approx \sqrt{0,215 \cdot 10^{12}} \text{ (м/с)}$$

$$\approx 0,46 \cdot 10^6 \text{ (м/с)}$$

Найти: v -?

Ответ: $v = 0,46 \cdot 10^6 \text{ (м/с)}$

Вариант 8

1. Определите импульс фотона и энергию красного излучения, длина волны которого 700нм.

Дано:

$$\lambda = 700 \text{ нм} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Решение:

$$P = \frac{h \cdot \nu}{c}; \nu = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow P = \frac{h \cdot c}{c \cdot \lambda} = \frac{h}{\lambda}$$

$$p = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{7 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 0,9 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$E_k = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E_k = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{7 \cdot 10^{-7} \text{ м}}$$

$$= 2,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Найти: p -?
 E -?

Ответ: $p = 0,9 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}; E_k = 2,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

2. Определите максимальную скорость вылета фотоэлектронов из калия, работа выхода электронов которого равна 2,26эВ, при освещении его ультрафиолетовым излучением с длиной волны 200нм.

Дано:

$$\lambda = 200 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$A_{\text{вых.}} = 2,26 \text{ эВ} = 2,26 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Решение:

$$h\nu = A_{\text{вых.}} + E_k; \quad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых.}} + \frac{mv^2}{2}$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых.}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых.}} \right)}{m_e}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2 \cdot 10^{-7} \text{ м}} - 3,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж})}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

Найти: v -?

Ответ: $v = 1,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$

<p align="center">ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ ПО ТЕМЕ «ФОТОНЫ. ФОТОЭФФЕКТ»</p>	
1. Что такое фотоэффект? Как объяснить это явление с точки зрения квантовой теории света? (Опыт)	Что такое фотоэффект? Как объяснить это явление с точки зрения квантовой теории света? (Опыт)
2. Зависимость фототока от напряжения на электродах лампы (график и его объяснение).	Зависимость фототока от напряжения на электродах лампы (график и его объяснение).
3. Первый закон фотоэффекта и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.	Первый закон фотоэффекта и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.
4. Второй закон фотоэффекта и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.	Второй закон фотоэффекта и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.
5. Третий закон фотоэффекта и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.	Третий закон фотоэффекта и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.
6. Четвертый закон фотоэффекта и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.	Четвертый закон фотоэффекта и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.
7. Фотон и его свойства. Энергия, масса и импульс фотона.	Фотон и его свойства. Энергия, масса и импульс фотона.
8. Внешний фотоэффект. Вакуумный фотоэлемент (устройство, принцип действия, использование в технике)	Внешний фотоэффект. Вакуумный фотоэлемент (устройство, принцип действия, использование в технике)
9. Внутренний фотоэффект. Полупроводниковый фотоэлемент (устройство, принцип действия, использование в технике)	Внутренний фотоэффект. Полупроводниковый фотоэлемент (устройство, принцип действия, использование)
10. Вентильный фотоэффект.	Вентильный фотоэффект.
11. Давление света и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.	Давление света и его объяснение с точки зрения квантовой теории света.
12. Химическое действие света.	Химическое действие света.

ЗАДАНИЯ из ЕГЭ

- С6** Фотон с длиной волны, соответствующей красной границе фотоэффекта, выбивает электрон из металлической пластинки (катода) сосуда, из которого откачан воздух. Электрон разгоняется однородным электрическим полем напряженностью $E = 5 \cdot 10^4$ В/м. До какой скорости электрон разгонится в этом поле, пролетев путь $S = 5 \cdot 10^{-4}$ м? Релятивистские эффекты не учитывать.

Возможное решение
<p>Начальная скорость вылетевшего электрона $v_0 = 0$. Формула, связывающая изменение кинетической энергии частицы с работой силы со стороны электрического поля: $A = \frac{mv^2}{2}$.</p> <p>Работа силы связана с напряженностью поля и пройденным путем: $A = FS = eES$.</p> <p>Отсюда $v^2 = \frac{2eES}{m}$, $v = \sqrt{\frac{2eES}{m}}$.</p> <p>Ответ: $v \approx 3 \cdot 10^6$ м/с.</p>

С6.

Источник в монохроматическом пучке параллельных лучей за время $\Delta t = 8 \cdot 10^{-4}$ с излучает $N = 5 \cdot 10^{14}$ фотонов. Лучи падают по нормали на площадку $S = 0,7$ см² и создают давление $P = 1,5 \cdot 10^{-5}$ Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.

Выражение для давления света

$$P = P_{отр} + P_{погл} = \frac{N_{отр} \Delta p_{отр} + N_{погл} \Delta p_{погл}}{S \Delta t}. \quad (1)$$

(Формула (1) следует из: $\vec{F} = \Delta \vec{p} / \Delta t$ и $P = F / S$)

Формулы для изменения импульса фотона при отражении и поглощении лучей

$\Delta p_{отр} = 2p$, $\Delta p_{погл} = p$; число отраженных $N_{отр} = 0,4N$ и поглощенных $N_{погл} = 0,6N$ фотонов.

Тогда выражение (1) принимает вид $P = \frac{1,4Np}{S \Delta t}$.

Для импульса фотона $p = \frac{h}{\lambda}$; Выражение для длины волны излучения $\lambda = \frac{1,4Nh}{PS \Delta t}$.

Ответ: $\lambda = \frac{1,4 \cdot 5 \cdot 10^{14} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}}{1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,7 \cdot 10^{-4} \cdot 8 \cdot 10^{-4}} = 5,5 \cdot 10^{-7}$ м.

С6.

При облучении металлической пластинки квантами света с энергией 3 эВ из нее выбиваются электроны, которые проходят ускоряющую разность потенциалов $\Delta U = 5$ В. Какова работа выхода $A_{\text{вых}}$, если максимальная энергия ускоренных электронов E_e равна удвоенной энергии фотонов, выбивающих их из металла?

Возможное решение

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = E_k + A$ или $h\nu = \frac{mv^2}{2} + A_{\text{вых}}$.

Энергия ускоренных электронов: $E_e = \frac{mv^2}{2} + e\Delta U = h\nu - A_{\text{вых}} + e\Delta U$. (1)

По условию $E_e = 2h\nu$. (2)

Отсюда $A_{\text{вых}} = e\Delta U - h\nu$.

Ответ: $A_{\text{вых}} = 2$ эВ.

A29. Работа выхода для материала пластины равна 2 эВ. Пластина освещается монохроматическим светом. Чему равна энергия фотонов падающего света, если максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 1,5 эВ?

- 1) 0,5 эВ 2) 1,5 эВ 3) 2 эВ 4) 3,5 эВ

С5. При облучении катода светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом $U = 1,4$ В. Определите красную границу фотоэффекта λ_0 для вещества фотокатода.

В20. Определить абсолютный показатель преломления среды, в которой свет с энергией кванта E_γ имеет длину волны λ .

Обозначим n показатель преломления среды, c — скорость света в вакууме, v — скорость света в среде, λ — длину волны в среде, ν — частоту колебаний, E_γ — энергию кванта в среде, h — постоянную Планка.

Дано:

ε_γ

λ

c

h

n — ?

Решение

Показатель преломления среды n связан со скоростью распространения света в этой среде v соотношением

$$n = \frac{c}{v}.$$

В свою очередь скорость света в прозрачной среде v связана с длиной волны в этой среде λ и частотой колебаний в волне ν соотношением

$$\lambda = \frac{v}{\nu}, \quad \text{откуда} \quad v = \nu \cdot \lambda.$$

С учетом этого

$$n = \frac{c}{\nu \lambda}. \quad (1)$$

Частоту колебаний в световой волне найдем из формулы Планка, поскольку энергия кванта E_γ нам известна:

$$E_\gamma = h\nu, \quad \text{откуда} \quad \nu = \frac{E_\gamma}{h}. \quad (2)$$

Подставим (2) в (1):
$$n = \frac{ch}{E_\gamma \lambda}.$$

Задача решена.

Ответ:
$$n = \frac{ch}{E_\gamma \lambda}.$$

В21. Источник света в течение 4 с испускает $8 \cdot 10^{10}$ фотонов с длиной волны 0,5 мкм. Какова мощность излучения?

Обозначим t время испускания числа N фотонов, λ — длину волны, P — мощность излучения, W — энергию испускаемого света E_γ — энергию одного фотона, h — постоянную Планка, c — скорость света в вакууме.

Дано:

$$t = 4 \text{ с}$$

$$N = 8 \cdot 10^{10}$$

$$\lambda = 0,5 \text{ мкм}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$P = ?$$

Решение

Энергия испускаемого света равна произведению его мощности P и времени свечения t : $W = Pt$.

Эту энергию можно представить как произведение числа фотонов N на энергию одного фотона E_γ :

$$W = NE_\gamma.$$

Следовательно, $Pt = NE_\gamma$.

Энергия фотона связана с его длиной световой волны формулой Планка:

$$E_\gamma = h \frac{c}{\lambda}.$$

С учетом этого $Pt = Nh \frac{c}{\lambda}$,

откуда

$$P = \frac{Nhc}{\lambda t} = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 4} \text{ Вт} \approx 8 \cdot 10^{-9} \text{ Вт} = 8 \text{ нВт}.$$

Ответ: $P \approx 8 \text{ нВт}$.

С19. Если скорость выбитого из металла фотоэлектрона увеличить в 3 раза, то во сколько раз надо увеличить запирающее напряжение на электродах?

Обозначим A работу запирающего электрического поля, отталкивающего фотоэлектроны от анода, E_k — кинетическую энергию летящих к аноду фотоэлектронов, e — модуль заряда электрона, m_e — его массу, U_1 — запирающее напряжение на электродах до увеличения их скорости, U_2 — запирающее напряжение на электродах после увеличения их скорости, v_1 — скорость фотоэлектронов до ее увеличения, v_2 — скорость фотоэлектронов после ее увеличения.

Дано:

$$\frac{v_2}{v_1} = 3$$

$$\frac{U_2}{U_1} = ?$$

Решение

Чтобы выбитые светом из катода электроны не долетели до анода, надо чтобы на аноде был минус и при этом работа запирающего электрического поля A , как минимум, равнялась (или превосходила) кинетическую энергию летящих к аноду фотоэлектронов:

$$A = E_k.$$

Как это следует из формулы работы электрического поля, где зарядом является электрон, $A = eU$.

А кинетическая энергия электрона

$$E_k = \frac{m_e v^2}{2}.$$

Следовательно,

$$eU = \frac{m_e v^2}{2}.$$

До увеличения скорости электрона эта формула имеет вид:

$$eU_1 = \frac{m_e v_1^2}{2},$$

а после увеличения $eU_2 = \frac{m_e v_2^2}{2}$.

Разделим эти равенства друг на друга:

$$\frac{eU_2}{eU_1} = \frac{m_e v_2^2 \cdot 2}{2m_e v_1^2}, \quad \text{откуда} \quad \frac{U_2}{U_1} = \frac{v_2^2}{v_1^2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = 3^2 = 9.$$

Ответ: $\frac{U_2}{U_1} = 9$.

С20. Катод освещается светом с длиной волны λ . К катоду и аноду подсоединен плоский воздушный конденсатор с площадью обкладок S и расстоянием между ними d (рис. 406). При освещении катода возникший фототок через некоторое время прекратился, и при этом на обкладках конденсатора появился заряд q . Определить красную границу фотоэффекта. Масса электрона m_e и модуль его заряда e известны.

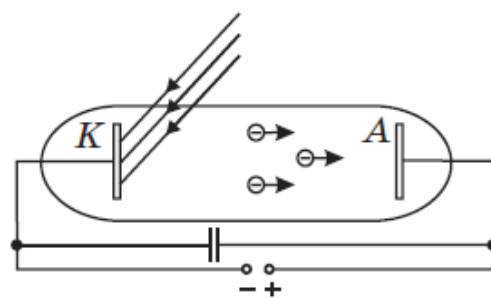


Рис. 406

Обозначим c скорость света в вакууме, h — постоянную Планка, E_k — кинетическую энергию электрона, ν — частоту световой волны, $A_{\text{вых}}$ — работу выхода электрона из катода, λ_0 — красную границу фотоэффекта, A — работу электрического поля между электродами, U — напряжение на обкладках конденсатора, C — емкость конденсатора, ϵ_0 — электрическую постоянную.

Дано:

λ

S

d

q

m_e

e

c

λ_0 — ?

Решение

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия фотона $h\nu$, упавшего на катод, расходуется на совершение работы выхода электрона из катода и на сообщение этому электрону кинетической энергии:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_k. \quad (1)$$

Частота световой волны связана с ее длиной волны формулой

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (2)$$

где c — скорость света в вакууме.

Теперь выразим работу выхода электрона через красную границу фотоэффекта. Согласно формуле

$$A_{\text{вых}} = h \frac{c}{\lambda_0}. \quad (3)$$

Кинетическая энергия выбитых светом электронов должна быть равна работе электрического поля конденсатора:

$$E_k = A = eU, \quad (4)$$

Напряжение связано с зарядом на обкладках конденсатора и его емкостью соотношением

$$U = \frac{q}{C}, \quad (5)$$

Емкость плоского воздушного конденсатора определяет формула

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}. \quad (6)$$

Осталось выполнить необходимые подстановки и найти искомую красную границу фотоэффекта. Подставим (6) в (5):

$$U = \frac{qd}{\varepsilon_0 S}. \quad (7)$$

Теперь подставим (7) в (4):

$$E_k = \frac{eqd}{\varepsilon_0 S}. \quad (8)$$

Нам осталось подставить выражения (2), (3) и (8) в формулу (1) и из полученного соотношения определить красную границу фотоэффекта λ_0 . Выполним эти действия:

$$h \frac{c}{\lambda} = h \frac{c}{\lambda_0} + \frac{eqd}{\varepsilon_0 S}.$$

Отсюда

$$\lambda_0 = \frac{\varepsilon_0 S \lambda h c}{\varepsilon_0 S h c - eqd \lambda}.$$

Ответ: $\lambda_0 = \frac{\varepsilon_0 S \lambda h c}{\varepsilon_0 S h c - eqd \lambda}.$

С21. Катод освещается светом с длиной волны 200 нм. Работа выхода электронов из него $4,5 \cdot 10^{-10}$ нДж. Вылетевшие из катода фотоэлектроны попадают в однородное магнитное поле индукцией 2 Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции и начинают двигаться по окружности. Найти диаметр этой окружности.

Обозначим λ длину световой волны, $A_{\text{вых}}$ — работу выхода электронов, h — постоянную Планка, n — частоту падающей на металл волны, c — скорость света в вакууме, e — модуль заряда электрона, m_e — массу электрона, B — индукцию магнитного поля, $F_{\text{л}}$ — силу Лоренца, $a_{\text{ц}}$ — центростремительное ускорение электрона, v — его линейную скорость, R — радиус орбиты электрона, d — диаметр его орбиты.

Дано:

$$B = 2 \text{ Тл}$$

$$\lambda = 200 \text{ нм}$$

$$A_{\text{вых}} = 4,5 \cdot 10^{-10} \text{ нДж}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$d \text{ — ?}$$

Решение

На электрон в магнитном поле действует сила Лоренца $F_{\text{л}}$, направленная по радиусу к центру окружности, которая является его траекторией. По второму закону Ньютона эта сила равна произведению массы электрона m_e и его центростремительного ускорения $a_{\text{ц}}$:

$$F_{\text{л}} = m_e a_{\text{ц}}. \quad (1)$$

Когда электрон влетает в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции, сила Лоренца равна:

$$F_{\text{л}} = Bve. \quad (2)$$

Центростремительное ускорение найдем по формуле

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R} = \frac{2v^2}{d}, \quad (3)$$

ведь радиус $R = \frac{d}{2}$.

Подставим правые части равенств (2) и (3) в формулу (1):

$$Bve = m_e \frac{2v^2}{d}, \quad \text{откуда} \quad d = \frac{2m_e v}{Be}. \quad (4)$$

Скорость электрона, влетевшего в магнитное поле, определим из формулы Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + \frac{m_e v^2}{2},$$

откуда $v = \sqrt{\frac{2}{m_e}(h\nu - A_{\text{ВЫХ}})}$.

Подставим правую часть этого равенства в формулу (4) вместо скорости:

$$d = \frac{2m_e}{Be} \sqrt{\frac{2}{m_e}(h\nu - A_{\text{ВЫХ}})} = \frac{2}{Be} \sqrt{2m_e(h\nu - A_{\text{ВЫХ}})}. \quad (5)$$

Теперь выразим частоту световой волны ν через известную нам длину волны λ . Согласно формуле

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Нам осталось подставить правую часть этой формулы в выражение (5), и задача в общем виде будет решена:

$$d = \frac{2}{Be} \sqrt{2m_e \left(h \frac{c}{\lambda} - A_{\text{ВЫХ}} \right)}.$$

Выразим все величины в единицах СИ:

$$200 \text{ нм} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}, \quad 4,5 \cdot 10^{-10} \text{ нДж} = 4,5 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Произведем вычисления:

$$d = \frac{2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \left(6,62 \cdot 10^{-34} \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-7}} - 4,5 \cdot 10^{-19} \right)} \text{ м} \approx \\ \approx 6,2 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 6,2 \text{ мкм}.$$

Ответ: $d = 6,2 \text{ мкм}$.

С23. Чему равна длина волны гамма-кванта, у которого энергия равна средней кинетической энергии теплового движения атомов идеального газа, если ν молей газа занимают объем V под давлением p ?

Обозначим E_γ энергию гамма-кванта, h — постоянную Планка, c — скорость света в вакууме, R — молярную газовую постоянную, T — абсолютную температуру газа, k — постоянную Больцмана, N_A — число Авогадро, \bar{E}_k — среднюю кинетическую энергию теплового движения атомов газа.

<i>Дано:</i>	<i>Решение</i>
ν	По формуле Планка энергия гамма-кванта
V	$E_\gamma = h\nu$, где частота $\nu = \frac{c}{\lambda}$,
p	поэтому
c	$E_\gamma = h \frac{c}{\lambda}$. (1)
h	
λ — ?	Средняя кинетическая энергия теплового движения атомов газа

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT.$$

Абсолютную температуру газа найдем из уравнения Менделеева — Клапейрона: $pV = \nu RT$,

откуда
$$T = \frac{pV}{\nu R}.$$

С учетом этого равенства

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} k \frac{pV}{\nu R}.$$

Постоянная Больцмана $k = \frac{R}{N_A}$, поэтому

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} \cdot \frac{pV}{\nu R} = \frac{3pV}{2N_A\nu}. \quad (2)$$

Приравняем правые части равенств (1) и (2):

$$h \frac{c}{\lambda} = \frac{3pV}{2N_A\nu}, \quad \text{откуда} \quad \lambda = \frac{2hcN_A\nu}{3pV}.$$

Ответ:
$$\lambda = \frac{2hcN_A\nu}{3pV}.$$

РАЗНОУРОВНЕВЫЕ ЗАДАЧИ

Первый уровень сложности

1а. С поверхности катода вакуумной трубки под действием света с длиной волны $\lambda = 400$ нм вырываются электроны (катод изготовлен из натрия).

1б. С поверхности катода вакуумной трубки под действием света с длиной волны $\lambda = 200$ нм вырываются электроны (катод изготовлен из цезия).

1. Рассчитайте энергию фотонов падающего света.
2. Найдите импульс фотонов.
3. Определите «красную границу» фотоэффекта.
4. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.
5. Чему равна задерживающая разность потенциалов?
6. Найдите максимальную скорость фотоэлектронов.

Ответ:

№	1	2	3	4	5	6
1а	3,1 эВ	$1,6 \cdot 10^{-27}$ кг м/с	$5,5 \cdot 10^{14}$ Гц	0,82 эВ	0,82 В	$0,5 \cdot 10^6$ м/с
1б	6,2 эВ	$3,2 \cdot 10^{-27}$ кг м/с	$4,3 \cdot 10^{14}$ Гц	1,32 эВ	1,32 В	$0,7 \cdot 10^6$ м/с

2. На сколько градусов нагреется за 1 с капля воды массой 0,2 г, если она ежесекундно поглощает $1 \cdot 10^{10}$ фотонов с длиной волны 750 нм? Потерями энергии пренебречь.

Ответ: $\Delta T = \frac{Nhc\alpha}{\lambda c_g m} = 3,16 \cdot 10^{-9}$ К.

3. При фотоэффекте с платиновой поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов 0,8 эВ. Найдите длину волны применяемого излучения и предельную длину волны, при которой ещё возникает фотоэффект? Работа выхода электронов из платины 5,3 эВ.

Ответ: $\lambda = 204$ нм; $\lambda_{max} = 234$ нм.

4. Найдите частоту света, вырываемого из металла электроны, которые полностью задерживаются разностью потенциалов 3 В. Фотоэффект начинается при частоте света $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Найдите в эВ работу выхода электронов из этого металла?

Ответ: $\nu = 1,32 \cdot 10^{15}$ Гц; $A_B = 2,48$ эВ.

Второй уровень сложности

1. Фотоны энергией 2,1 эВ вызывают фотоэффект с поверхности цезия, для которого работа выхода равна 1,9 эВ. На сколько надо увеличить энергию фотонов, чтобы максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов увеличилась в 2 раза?

Ответ: $\Delta E_{\phi} = E_{\phi 1} - A_{\text{в}} = 0,2$ эВ.

2. Наибольшая длина волны света, при которой ещё может наблюдаться фотоэффект на калии, равна 430 нм. Найти скорость электронов, вырванных из калия светом с длиной волны $3 \cdot 10^{-7}$ м. Ответ выразить в км/с.

Ответ: $v = \sqrt{\frac{2hc(\lambda_m - \lambda)}{m\lambda_m\lambda}} = 663$ км/с.

3. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн соответственно $\lambda_1 = 350$ нм и $\lambda_2 = 540$ нм. Каким было отношение максимальных скоростей фотоэлектронов в этих опытах, если работа выхода с поверхности металла была равна $A_{\text{в}} = 1,9$ эВ. (Тренировочный вариант ЕГЭ-2009).

Ответ: $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{(hc - A_{\text{в}}\lambda_1)\lambda_2}{(hc - A_{\text{в}}\lambda_2)\lambda_1}} = 1,98 \approx 2$.

4. При уменьшении в 2 раза длины волны света, падающего на металлическую пластинку, максимальная кинетическая энергия электронов увеличилась в 3 раза. Определите работу выхода электронов, если первоначальная энергия фотонов равнялась 10 эВ. Ответ выразить в эВ.

Ответ: $A_{\text{в}} = E_1/2 = 5$ эВ.

5. При каком напряжении на источнике тока электроны, выбиваемые из одной металлической пластины, не достигнут второй? Длина волны падающего света $\lambda = 663$ нм, работа выхода $A_{\text{в}} = 1,5$ эВ.

Ответ: $U_3 = \frac{1}{e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_{\text{в}} \right) = 0,375$ В.

6. Фотоэффект наблюдают, освещая поверхность металла светом фиксированной частоты. При этом задерживающая разность потенциалов равна U . После изменения частоты света задерживающая разность потенциалов увеличилась на $\Delta U = 1,2$ В. На сколько изменилась частота падающего света?

Ответ: $\Delta \nu = \frac{\Delta U e}{h} = 2,9 \cdot 10^{14}$ Гц.

7. Капля воды объёмом $0,3$ см³ нагревается светом с длиной волны 524 нм, поглощая ежесекундно 10^{17} фотонов. Определите, на сколько нагреется капля воды за 10 с. Потерями энергии пренебречь. Плотность воды 1000 кг/м³, удельная теплоёмкость 4200 Дж/(кг · К). Результат округлите до десятых долей градуса.

Ответ: $\Delta T = \frac{N h \nu}{\lambda c \rho V} = 0,3$ К.

8. При какой температуре средняя энергия теплового движения атомов одноатомного газа будет равна энергии электронов, выбиваемых из литиевого фотокатода монохроматическим светом с длиной волны 325 нм. Работа выхода электронов из лития 3,7 эВ. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа.

$$\text{Ответ: } T = \frac{2}{3k} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_B \right) = 940 \text{ К}.$$

9. Катод фотоэлектронного устройства освещается светом с частотой $1 \cdot 10^{15}$ Гц. При увеличении частоты в 1,2 раза задерживающее напряжение между катодом и анодом, при котором фототок становится равным нулю, необходимо увеличить в 1,5 раза. Определите частоту красной границы фотоэффекта для материала фотокатода. Ответ представьте в терагерцах.

$$\text{Ответ: } \nu_m = 0,6 \nu = 600 \text{ ТГц}.$$

10. Медный шарик, удалённый от других тел, облучается монохроматическим излучением, длина которого 200 нм. До какого максимального потенциала зарядится шарик, если работа выхода электронов с поверхности меди 4,5 эВ?

$$\text{Ответ: } \varphi_m = \frac{hc - A_B \lambda}{e \lambda} = 1,72 \text{ В}.$$

11. В опыте А. Столетова на цинковую пластинку направлялось излучение от электрической дуги. До какого максимального потенциала заряжалась при этом пластина, если наименьшая длина волны в спектре излучения дуги равнялась 300 нм? Работа выхода электронов из цинка 3,3 эВ. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до сотых.

$$\text{Ответ: } \varphi_m = \frac{hc - A_B \lambda}{e \lambda} = 0,84 \text{ В}.$$

12. Металлический шар радиусом 10 см облучают светом с длиной волны 200 нм. Определите установившийся заряд шара, если работа выхода электрона с его поверхности равна $7,2 \cdot 10^{-19}$ Дж.

$$\text{Ответ: } q = \frac{\left(\frac{hc}{\lambda} - A \right) R}{ke} = 1,9 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}, \text{ где } k = 9 \cdot 10^9 \text{ Нм}^2/\text{Кл}^2.$$

13. Изолированный шар из вольфрама радиусом $R = 10$ мм, покрытый тонким слоем цезия, освещают аргоновым лазером, дающим излучение длиной волны $\lambda = 800$ нм. Какой заряд Q может приобрести шар, если красная граница фотоэффекта для цезия на вольфраме равна $\lambda_m = 900$ нм?

$$\text{Ответ: } Q = \frac{hc(\lambda_m - \lambda)}{\lambda_m \lambda ke} = 1,9 \cdot 10^{-13} \text{ Кл}, \text{ где } k = 9 \cdot 10^9 \text{ Нм}^2/\text{Кл}^2.$$

14. При увеличении в 2 раза энергии фотонов, падающих на металлическую пластинку, максимальная энергия вылетающих фотоэлектронов увеличилась в 3 раза. Определите работу выхода из этого металла, если первоначальная энергия фотонов 10 эВ.

Ответ: $A_{\text{в}} = E_{\text{ф1}}/2 = 5$ эВ.

15. Фотон с длиной волны 500 нм вырывает с поверхности металла электрон, который описывает в однородном магнитном поле с индукцией 1 мТл окружность радиусом 1 мм. Найти в эВ работу выхода электрона из металла.

Ответ: $A_{\text{в}} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{(eBR)^2}{2m} = 2,5$ эВ.

16. Фотокатод, покрытый кальцием, освещается светом. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле индукцией $B = 4 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся в нём по окружности, максимальный радиус которых $R = 10$ мм. Чему равна частота ν падающего света, если работа выхода электронов из кальция $A_{\text{в}} = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж?

Ответ: $\nu = \frac{A_{\text{в}}}{h} + \frac{(eBR)^2}{2mh} = 1 \cdot 10^{15}$ Гц.

17. Катод фотоэлемента облучается монохроматическим светом с длиной волны 400 нм. Энергия светового потока, падающего на катод за 10 с, равна 0,15 Дж. Определить силу тока насыщения фотоэлемента при таком освещении?

Ответ: $I_{\text{н}} = \frac{eW \lambda}{hc} = 4,8$ мА.

18. На катод фотоэлемента падает световой поток мощностью 20 мВт. На каждые 10 квантов света, упавших на катод, в среднем приходится 1 выбитый фотоэлектрон. Определите силу фототока насыщения. Длина волны падающего света 200 нм.

Ответ: $I_{\text{н}} = \frac{eP\lambda}{nhc} = 0,322$ мА.

19. Катод фотоэлемента облучается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 400$ нм. Энергия светового потока, падающего на катод за время $\Delta t = 10$ с, равна $W = 0,15$ Дж. Определите силу тока насыщения фотоэлемента при таком освещении.

Ответ: $I_{\text{н}} = \frac{eW \lambda}{hc\Delta t} = 4,8$ мА.

20. Катод фотоэлемента освещается светом с длиной волны $\lambda = 5000$ Å. Мощность излучения, падающего на катод, $P = 30$ мВт. При этом в цепи фотоэлемента сила тока $I = 1$ мА. Найти отношение числа падающих фотонов к числу выбитых фотоэлектронов.

Ответ: $\frac{N}{n} = \frac{P\lambda e}{Ihc} \approx 12$.

21. Фотокатод осветили лучами с длиной волны 345 нм. Запирающее напряжение при этом оказалось равным 1,33 эВ. Возникнет ли фотоэффект, если этот катод освещать лучами с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц?

Ответ: $h\nu_2 < A_{\text{вых.}}$, не возникнет.

22. При облучении фотокатода, покрытого стронцием, излучением с длиной волны 550 нм, запирающее напряжение оказалось равным нулю. При освещении какими лучами с поверхности стронция будут вылетать электроны с максимальной кинетической энергией 1,6 эВ?

Ответ: $\lambda_2 = \frac{hc}{\frac{hc}{\lambda} + \frac{mv_m^2}{2}} \approx 320 \text{ нм}$.

23. «Красная граница» фотоэффекта для платины лежит около $\lambda_1 = 198$ нм. Если пластину прокалить при высокой температуре, то «красная граница» фотоэффекта станет равной $\lambda_2 = 220$ нм. На сколько прокалывание уменьшает работу выхода электронов?

Ответ: уменьшит, $\Delta A_{\text{в}} = hc \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)$;

$$\Delta A_{\text{вых}} = 4,14 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{220 \cdot 10^{-9} - 198 \cdot 10^{-9}}{220 \cdot 10^{-9} \cdot 198 \cdot 10^{-9}} = \frac{12,42 \cdot 10^{-7} \cdot 22}{220 \cdot 198 \cdot 10^{-9}} = \frac{12,42}{19,8} \approx 0,63 \text{ эВ}$$

24. На платиновую пластинку падают ультрафиолетовые лучи. Для задержания фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла, к электродам (одним из которых является эта пластинка) надо приложить задерживающую разность потенциалов 3,7 В. Если платиновую пластинку заменить пластинкой из другого металла, то задерживающую разность потенциалов следует увеличить до 6 В. Определите работу выхода электрона с поверхности этой пластинки. Работа выхода из платины 6,3 эВ.

Ответ: $A_{\text{в}2} = A_{\text{в}1} - (U_{\text{з}2} - U_{\text{з}1})e = 4 \text{ эВ}$.

25. Определите постоянную Планка, если известно, что фотоэлектроны, вырываемые с поверхности некоторого металла при действии на него излучения частотой $2,2 \cdot 10^{15}$ Гц полностью задерживаются напряжением 6,6 В, а при действии излучения частотой $4,6 \cdot 10^{13}$ Гц – напряжением 16,5 В.

Ответ: $h = \frac{e(U_{\text{з}2} - U_{\text{з}1})}{\nu_2 - \nu_1} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

Третий уровень сложности

1. При облучении цезия светом с длиной волны 0,4 мкм скорость вылетающих фотоэлектронов равна 660 км/с. Каков наименьший импульс фотона, который может вызвать фотоэффект в цезии?

$$\text{Ответ: } p_{\min} = \frac{h}{\lambda} - \frac{m v^2}{2c} = 1 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

2. Фотоны, имеющие энергию 5эВ, выбивают электроны с поверхности металла. Работа выхода электронов из металла равна 4,7 эВ. Какой импульс приобретает электрон при вылете с поверхности металла?

$$\text{Ответ: } p_e = \sqrt{2m(E_{\text{ф}} - A_{\text{в}})} \approx 3 \cdot 10^{-25} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

3. Какие максимальные скорость и импульс получают электроны, вырванные из натрия излучением с длиной волны 66 нм, если работа выхода составляет $4 \cdot 10^{-19}$ Дж?

$$\text{Ответ: } v = \sqrt{\frac{2(hc - A_{\text{в}}\lambda)}{\lambda m}} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ м/с}, \quad p = 2,2 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

4. При облучении литиевого фотокатода светом с длиной волны 300 нм из него выбиваются электроны, которые, пройдя ускоряющую разность потенциалов 5 В, попадают в мишень. Определите импульс, передаваемый мишени одним электроном, если работа выхода электрона из лития 2,3 эВ. Ответ представьте в единицах СИ, умножьте на 10^{25} и округлите до целого числа.

$$\text{Ответ: } p = \sqrt{2m \left(eU + \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{в}} \right)} \cdot 10^{25} = 14 \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

5. Фотон, падая на поверхность металла, находящегося в магнитном поле с индукцией 10^{-4} Тл, вырывает электрон, который, двигаясь перпендикулярно линиям магнитной индукции, описывает дугу, радиус которой 5 см. Работа выхода электрона из металла 2,5 эВ. Определите импульс фотона. Ответ представьте в единицах СИ, умножьте на 10^{27} и округлите до десятых.

$$\text{Ответ: } p = 10^{27} \cdot \frac{1}{c} \left[A_{\text{в}} + \frac{(BR_e)^2}{2m} \right] = 2,5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

6. При облучении металлической пластинки фотоэффект возникает только в том случае, если импульс падающих на неё фотоэлектронов превышает $9 \cdot 10^{-28}$ кг · м/с. С какой максимальной скоростью будут покидать пластинку электроны, если облучить её светом, частота которого вдвое больше?

$$\text{Ответ: } v = \sqrt{\frac{2pc}{m}} = 770 \text{ км/с}.$$

7. При облучении металла светом с длиной волны 245 нм наблюдается фотоэффект. Работа выхода из металла равна 2,4 эВ. Рассчитайте величину задерживающего электрического напряжения, которое нужно приложить к металлу, чтобы уменьшить максимальную скорость вылетающих фотоэлектронов в 2 раза?

$$\text{Ответ: } U_3 = \frac{3}{4e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_B \right) = 2 \text{ В.}$$

8. Красная граница фотоэффекта для некоторого металла равна 700 нм. Отношение скоростей вылетающих электронов при освещении светом длинами волн λ_1 и λ_2 равно 3 : 4. Определите λ_2 , если $\lambda_1 = 600$ нм.

$$\text{Ответ: } \lambda_2 = \frac{\left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 \lambda_1 \lambda_m}{\lambda_m - \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^2 \right] \lambda_1} = 540 \text{ нм.}$$

9. Красная граница фотоэффекта для вольфрама равна 275 нм. Найдите величину запирающего потенциала, если вольфрам облучается фотонами, масса которых равна $1,2 \cdot 10^{-35}$ кг.

$$\text{Ответ: } U_3 = \frac{c}{e} \left(m_\phi c - \frac{h}{\lambda} \right) = 2,2 \text{ эВ.}$$

10. Если поочерёдно освещать поверхность некоторого металла светом с длиной волны 350 нм и 540 нм, то максимальные скорости фотоэлектронов будут отличаться в 2 раза. Определите работу выхода электрона из этого металла. Ответ представьте в эВ и округлите до сотых.

$$\text{Ответ: } A_B = \frac{4}{3} hc \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{4\lambda_1} \right) = 1,88 \text{ эВ.}$$

11. При освещении фотокатода светом с длиной волны 400 нм, а затем 500 нм обнаружили, что задерживающее напряжение для прекращения фотоэффекта изменилось в 2 раза. Определите работу выхода электронов из этого металла. Ответ представьте в эВ.

$$\text{Ответ: } A_B = 2hc \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{2\lambda_1} \right) = 1,86 \text{ эВ.}$$

12. Катод фотоэлемента освещается монохроматическим светом с длиной волны λ . При задерживающей разности потенциалов 0,8 В ток в цепи прекращается. При изменении длины волны света в 1,5 раза для прекращения фототока потребовалось увеличить задерживающую разность потенциалов до 1,8 В. Найдите работу выхода электронов из материала катода. Ответ представьте в эВ.

$$\text{Ответ: } A_B = 2U_{32} - 3U_{31} = 1,2 \text{ эВ.}$$

13. При освещении металлической пластинки монохроматическим светом запирающее напряжение равно 1,6 В. Если увеличить частоту падающего света в 2 раза, запирающее напряжение станет равным 5,1 В. Определите в эВ работу выхода электрона из этого металла.

Ответ: $A_B = e(U_{32} - 2U_{31}) = 1,9$ эВ.

14. Поверхность некоторого металла освещается светом с длиной волны $\lambda = 350$ нм. Подбором определённой задерживающей разности потенциалов фототок запирают. При уменьшении длины волны света на $\Delta\lambda = 50$ нм задерживающую разность потенциалов пришлось увеличить на $\Delta U = 0,59$ В, чтобы фототок снова прекратился. Считая h и c известными, определите заряд электрона.

Ответ: $e = \frac{hc\Delta\lambda}{\Delta U(\lambda - \Delta\lambda)\lambda} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

15. При освещении металла монохроматическим светом длиной волны 400 нм фотоэлектроны приобрели наибольшую скорость $8,2 \cdot 10^5$ м/с, а при освещении этого же металла монохроматическим светом 600 нм наибольшая скорость оказалась равной $5,5 \cdot 10^5$ м/с. Определите постоянную Планка.

Ответ: $h = \frac{m(v_1^2 - v_2^2)\lambda_1\lambda_2}{2c(\lambda_2 - \lambda_1)} = 6,73 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

16. Для измерения постоянной Планка катод вакуумного фотоэлемента освещали монохроматическим светом. При излучении с длиной волны 620 нм ток фотоэлектронов прекратится, если в цепь между анодом и катодом включить запирающее напряжение не меньше определённого значения. При увеличении длины волны на 25% запирающее напряжение оказывается на 0,4 В меньше. Рассчитайте по этим данным постоянную Планка.

Ответ: $h = \frac{5\lambda e\Delta U}{c} = 6,61 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

17. Если длина падающего света равна λ_1 , то фототок прекращается при запирающем напряжении U_1 , а если длина волны равна λ_2 , то фототок прекращается при запирающем напряжении U_2 . Получите, пользуясь только этими данными, значение красной границы фотоэффекта λ_m .

Ответ: $\lambda_m = \frac{\lambda_1\lambda_2(U_1 - U_2)}{\lambda_1U_1 - \lambda_2U_2}$.

18. В вакууме находится два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор ёмкостью 8000 пФ. При длительном освещении катода светом фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд $q = 11$ нКл. Работа выхода электронов из кальция $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны света, освещающего катод.

Ответ: $\lambda = \frac{hcC}{A_B C + eq} = 300$ нм.

19. Одна из пластин плоского воздушного конденсатора освещается светом с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм. Выбитые светом электроны попадают на другую пластину конденсатора. Определите максимальную величину заряда, которую можно получить таким способом, если площадь пластины $S = 1000$ см², расстояние между пластинами $d = 2$ см, работа выхода электрона из металла $A = 3 \cdot 10^{-19}$ Дж.

$$\text{Ответ: } q_{\max} = \frac{(hc - A\lambda)\epsilon_0 S}{\lambda e d} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Кл.}$$

20. В вакууме находятся два электрода, к которым подключен конденсатор ёмкостью 2800 пФ. При длительном освещении одного из электродов (фотокатода) светом с длиной волны 250 нм фототок между электродами, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд 8 нКл. Определите работу выхода электронов из вещества фотокатода. Ответ представьте в эВ.

$$\text{Ответ: } A_{\text{в}} = \frac{hc - e\varphi\lambda}{c\lambda} = 2,1 \text{ эВ.}$$

21. На плоский электрод падает излучение с длиной волны 83 нм. На какое максимальное расстояние от поверхности от поверхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода создано задерживающее электрическое поле напряжённостью 7,5 В/см. «Красная граница» фотоэффекта соответствует длине волны 332 нм.

$$\text{Ответ: } l = \frac{hc(\lambda_m - \lambda)}{\lambda_m \lambda eE} = 1,5 \text{ см.}$$

22. Железная пластина облучается ультрафиолетовым светом длиной волны $\lambda = 168$ нм. Определите расстояние l , на которое электрон может удалиться от пластины, если вне пластины имеется задерживающее электрическое поле напряжённостью $E = 240$ В/м. «Красная граница» фотоэффекта для железа $\lambda_m = 288$ нм.

$$\text{Ответ: } l = \frac{hc(\lambda_m - \lambda)}{\lambda_m \lambda eE} = 1,28 \text{ см.}$$

23. На один из вольфрамовых электродов двухэлектродной лампы падает излучение с длиной волны 150 нм. Между электродами приложено напряжение 10 В. На каком расстоянии от облучаемого электрода скорость электронов уменьшится до нуля, если расстояние между электродами равно 40 см? Работа выхода электрона из вольфрама 4,5 эВ. [Задача со вступительного экзамена в ТУСУР]

$$\text{Ответ: } l = \frac{(hc - A_{\text{в}}\lambda)d}{eU\lambda} = 0,15 \text{ м.}$$

24. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с длиной волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное электрическое поле напряжённостью 10 В/м, силовые линии которого направлены против движения электронов. Определите, во сколько раз увеличится максимальная скорость электронов в течение 1 мкс.

Ответ: $\frac{v}{v_0} = 1 + \frac{eEt}{\sqrt{2m\left(\frac{hc}{\lambda} - A_B\right)}} = 3,5.$

25. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом длиной волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в зазор между двумя заряженными пластинами, которые создают однородное электрическое поле напряжённостью 100 мВ/м. Электроны влетают перпендикулярно силовым линиям этого поля. Протяжённость электрического поля составляет 1 м. Определите смещение электрона относительно первоначальной траектории на выходе из электрического поля.

Ответ: $\Delta y = \frac{eEL^2}{4\left(\frac{hc}{\lambda} - A_B\right)} = 1,8 \text{ см.}$

26. Фотокатод, покрытый кальцием ($A_B = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом. Вылетевшие из катода электроны попадают в зазор между двумя заряженными пластинами, которые создают однородное электрическое поле напряжённостью 1 В/м. Электроны вылетают перпендикулярно силовым линиям этого поля. Протяжённость электрического поля 1 м. На выходе из поля максимальный по модулю вектор скорости электронов направлен под углом 45° к первоначальной траектории. Определить длину волны падающего на фотокатод света. (Тренировочный вариант ЕГЭ-2007)

Ответ: $\lambda = \frac{hc}{0,5eEL + A_B} = 380 \text{ нм.}$

27. Одна из пластин незаряженного плоского конденсатора освещается рентгеновскими лучами, вырывающими из неё электроны со скоростью 1 Мм/с. Электроны собираются на второй пластине. Через какое время фототок между пластинами прекратится, если с каждого квадратного сантиметра площади вырываются каждую секунду $1 \cdot 10^{13}$ электронов? Расстояние между пластинами 10 мм.

Ответ: $t = \frac{m\varepsilon_0}{2nd} \left(\frac{v_m}{e}\right)^2 S\tau; t = 1,57 \cdot 10^{-7} \text{ с.}$

28. Одна из пластин плоского конденсатора, изготовленная из материала с работой выхода A_B , освещается излучением с длиной волны λ . Ежесекундно с каждого метра площади пластины вырывается N фотоэлектронов, которые собираются на второй пластине, находящейся на расстоянии d от первой. Через какой промежуток времени фототок прекратится?

$$\text{Ответ: } t = \frac{\tau \varepsilon_0 S \left(\frac{hc}{\lambda} - A_B \right)}{N d e^2}.$$

29. На уединённый никелевый шарик радиусом 0,5 см падает свет с длиной волны 250 нм и выбивает из него некоторое количество фотоэлектронов. Сколько фотоэлектронов покинет шарик *дополнительно*, если на него дополнительно направить свет с длиной волны 200 нм?

$$\text{Ответ: } N = 4\pi \varepsilon_0 \frac{hc}{e^2} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = 4,32 \cdot 10^6 \text{ фотоэлектронов.}$$

30. Две плоские заряженные металлические пластины расположены на расстоянии 1 см в вакууме. Напряжение между пластинами 10 В. Отрицательно заряженная пластина освещается узким пучком света, длина волны которого 130 нм. Определите радиус окружности на поверхности положительно заряженной пластины, ограничивающей область попадания фотоэлектронов. «Красная граница» фотоэффекта с поверхности пластины равна 330 нм.

$$\text{Ответ: } R = 2d \sqrt{\frac{hc}{Ue} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_m} \right)} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

31. Излучение аргонового лазера сфокусировано на плоском фотокатодом. Между плоским анодом, расположенным параллельно фотокатоду, и фотокатодом подключают источник питания с постоянным ЭДС. При ускоряющей разности потенциалов между анодом и фотокатодом диаметр пятна фотоэлектронов на аноде в 2 раза превышает диаметр пятна фотоэлектронов на аноде при смене полярности напряжения, т. е. при тормозящей разности потенциалов между анодом и фотокатодом. Работа выхода материала фотокатода $A_B = 2$ эВ. Длина волны излучения лазера $\lambda = 500$ нм. Определите ЭДС источника.

$$\text{Ответ: } \varepsilon = 1 = \frac{3}{4e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_B \right) = 0,362 \text{ В.}$$

32. В таблице приведены значения энергии стационарных состояний атома водорода.

	1	2	3	4	5	6
E , эВ	-13,60	-3,40	-1,50	-0,85	-0,54	-0,38

Возникнет ли фотоэффект на натрии, если его облучать светом, который испускают атомы водорода, при переходе из третьего стационарного состояния во второе?

Ответ: $\nu = 4,6 \cdot 10^{14} \text{ Гц} < \nu_{\text{кр.}}$, не возникнет.

33. Возникнет ли фотоэффект на серебре, если его облучить фотонами, которые испускают атомы водорода при переходе из стационарного состояния с энергией $-3,4$ эВ в состояние с энергией $-13,6$ эВ? Красная граница серебра равна 263 нм.

Ответ: $\nu = 2,5 \cdot 10^{15} \text{ Гц} > \nu_{\text{кр.}}$, возникнет.

34. Для увеличения яркости изображения слабых источников света используется вакуумный прибор электронно-оптический преобразователь (ЭОП). В этом приборе фотоны, падающие на катод, выбивают из него фотоэлектроны, которые ускоряются разностью потенциалов 12 кВ и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны падающего на катод света 622 нм, а света, излучаемого экраном, 430 нм. Какое количество фотонов, падающих на катод, приходится на один выбитый фотоэлектрон, если прибор увеличивает энергию светового излучения, падающего на катод, в 1000 раз? Работу выхода электронов принять равной 1 эВ. Считать, что энергия электронов переходит в энергию света без потерь. Ответ округлите до целого числа.

Ответ:
$$\frac{N_{1\phi}}{N_{\phi}} = \frac{hc - \lambda (A_{\text{в}} - e\Delta\phi)}{khc} = 6.$$

35. Для увеличения яркости изображения слабых источников света используется вакуумный прибор – электронно-оптический преобразователь (ЭОП). В этом приборе фотоны, падающие на катод, выбивают из него фотоэлектроны, которые ускоряются разностью потенциалов $\Delta U = 15000$ В и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны для падающего на катод света $\lambda_1 = 820$ нм, а для света, излучаемого экраном, $\lambda_2 = 410$ нм. Во сколько раз N прибор увеличивает число фотонов, если один фотоэлектрон рождается при падении на катод в среднем $k = 10$ фотонов? Работу выхода электронов $A_{\text{в}}$ принять равной 1 эВ. Считать, что энергия падающих на экран электронов переходит в энергию света без потерь.

$\Delta U = 15000 \text{ В,}$ $\lambda_1 = 820 \text{ нм} = 8,2 \cdot 10^{-7} \text{ м,}$ $\lambda_2 = 410 \text{ нм} = 4,1 \cdot 10^{-7} \text{ м,}$ $k = 10,$ $A_B = 1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж,}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с,}$ $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с,}$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	<p>Один электрон, попадая на флуоресцирующий экран, может излучить несколько фотонов. Число фотонов отношению энергии падающего фотоэлектрона к энергии фотона, излучаемого экраном:</p> $N_1 = \frac{E_{к2}}{E_{ф2}} \quad (1), \text{ Где (при падении одного электрона)}$ $E_{ф2} = \frac{hc}{\lambda_2} \quad (2)$ <p>Первоначальную кинетическую энергию фотоэлектронов определим из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:</p> $\frac{hc}{\lambda_1} = A_B + E_{к1} \Rightarrow E_{к1} = \frac{hc}{\lambda_1} - A_B. \quad (3)$ <p>Вылетевшие фотоэлектроны попадают в ускоряющее электрическое поле, работа сил которого $e\Delta U$, идёт на увеличение кинетической энергии фотоэлектронов:</p> $E_{к2} = E_{к1} + e\Delta U = \frac{hc}{\lambda_1} - A_B + e\Delta U = \frac{hc - A_B\lambda_1 + e\Delta U\lambda_1}{\lambda_1} \quad (4)$ <p>Подставим формулы (2) и (4) в (1) и для определения N учтём, что число вырванных электронов в k раз меньше числа падающих фотонов. Тогда</p> $N = \frac{N_{ф2}}{k} = \frac{E_{к2}\lambda_2}{khc} = \frac{[hc + \lambda_1(e\Delta U - A_B)]\lambda_2}{kh\lambda_1};$ $N = \frac{[6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 + 8,2 \cdot 10^{-7} (1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 15000 - 1,6 \cdot 10^{-19})] 4,1 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 8,2 \cdot 10^{-7}} \approx 500$
$N - ?$	<p><i>Ответ:</i> ЭОП в 500 раз увеличивает число фотонов.</p>

36. Излучение аргонового лазера с длиной волны 500 нм сфокусировано на плоском фотокатоде в пятно диаметром 0,1 мм. Работа выхода электрона с поверхности фотокатода 2 эВ. На анод, расположенный на расстоянии 30 мм от катода, подано ускоряющее напряжение 4 кВ. Найдите диаметр пятна фотоэлектронов на аноде. Анод считать плоским и расположенным параллельно поверхности катода.

<p><i>Дано:</i> $\lambda = 500 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $d = 0,1 \text{ мм} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м},$ $A_{\text{в}} = 2 \text{ эВ} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$ $L = 30 \text{ мм} = 0,3 \text{ м},$ $U = 4 \text{ кВ} = 4 \cdot 10^3 \text{ В},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$</p>	<p><i>Анализ и решение</i> Электронны, вылетевшие из фотокатода по касательной к поверхности в результате изменения траектории электрическим полем попадут на анод. Траектория этих электронов – ветвь $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с},$ параболы. Электроны, вылетевшие с края пятна на катоде, дадут край пятна на аноде. Обозначим отклонение электронов вдоль катода через $x.$ Тогда диаметр пятна фотоэлектронов на аноде равен $D = d + 2x \text{ (1)}.$</p>
---	---

$D - ?$

Из уравнения Эйнштейна для внешнего фотоэффекта $\frac{hc}{\lambda} = A_B + \frac{mv^2}{2}$ определим скорость вылета электронов из катода:

$$v = \sqrt{\frac{2(hc - A_B \lambda)}{\lambda m}} \quad (2).$$

Электрон вдоль катода движется по инерции, поэтому смещение фотоэлектронов

$$x = vt \quad (3).$$

Перпендикулярно катоду движение электрона равноускоренное под действием силы электрического поля $F = eU$, без начальной скорости. Расстояние от катода до анода равно

$L = \frac{at^2}{2} = \frac{eUt^2}{2m}$. Определим из этой формулы время движения электрона

$$t = L \sqrt{\frac{2m}{eU}} \quad (4).$$

Подставим значение скорости (2) и времени (4) в формулу (3): $x = 2L \sqrt{\frac{hc - A_B \lambda}{e\lambda U}}$, тогда диаметр пятна на аноде по формуле (1) будет равен $D = d +$

$$4L \sqrt{\frac{hc - A\lambda}{e\lambda U}}$$

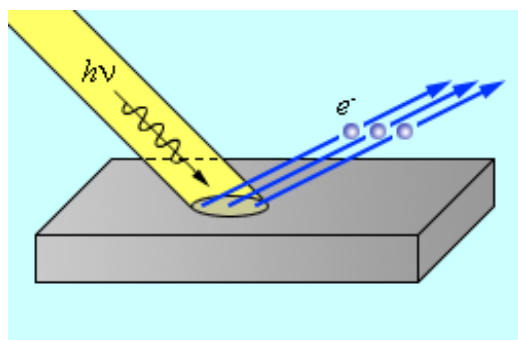
$$D = 1 \cdot 10^{-4} +$$

$$+ 4 \cdot 0,3 \sqrt{\frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 - 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-7}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^3}} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Ответ: диаметр пятна фотоэлектронов на аноде 1,3 мм.

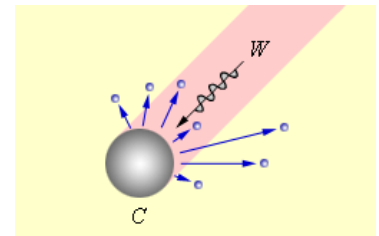
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В экспериментах по изучению фотоэффекта использовался монохроматический свет некоторой частоты. Оказалось, что ток прекращается при запирающем потенциале $U_3=1,25\text{В}$. Определите максимальную кинетическую энергию электронов, выбиваемых светом из фотокатода. Заряд электрона $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл.
($E_{k \max} = 2 \cdot 10^{-19}$ Дж)



2. Какую максимальную кинетическую энергию имеют электроны, вырванные из оксида бария, при облучении светом частотой 1 ПГц?
3. Красная граница фотоэффекта для металла $6,2 \cdot 10^{-5}$ см. Найти величину запирающего напряжения для фотоэлектронов при освещении металла светом длиной волны 330 нм?
4. Определите наибольшую скорость электрона, вылетевшего из цезия, при освещении его светом с длиной волны 400 нм?
5. Фотокатод, покрытый кальцием ($A_{\text{в}}=4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом, у которого длина волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле индукцией $8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Чему равен максимальный радиус окружности, по которой движутся электроны? Ответ выразить в мм.
Решение этой задачи строится на использовании формулы максимальной скорости электронов из задачи №3, а также понимания того, почему электрон в магнитном поле движется по окружности.
Необходимо вспомнить правило "левой руки", формулу силы Лоренца, 2-й закон Ньютона.
6. Красная граница фотоэффекта у лития 520 нм. Какова должна быть разность потенциалов, чтобы полностью затормозить электроны, испускаемые литием под действием ультрафиолетовых лучей длиной волны 200 нм?
7. В опыте по фотоэффекту на пластину падает свет длиной волны 420 нм. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов 0,95 В. Определите работу выхода электрона с поверхности пластины.
8. Под действием квантов света фотоэлектроны покидают металлическую пластинку с кинетической энергией 3 эВ. Каков (в вольтах) окончательный электрический потенциал металлической пластинки? ($U=3\text{В}$)
9. При освещении металлической поверхности фотонами с энергией 6.2 эВ обнаружено, что фототок прекращается при величине задерживающей разности потенциалов $U_3 = 3,7$ В. Определите (в электрон-вольтах) работу выхода электронов из металла. ($A = 2,5$ эВ)
10. Для калия красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}} = 564$ нм. Определите работу выхода A для калия (в электрон-вольтах). ($A = 2.2$ эВ)

11. Определите энергию (в электрон-вольтах) фотона видимого света ($\lambda = 500$ нм).
Постоянная Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. ($E = 2.48$ эВ)
12. В экспериментах по изучению фотоэффекта использовался монохроматический свет некоторой частоты. Оказалось, что ток прекращается при запирающем потенциале $U_3 = 1,25$ В. Определите максимальную скорость фотоэлектронов. Заряд электрона $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл, его масса $m = 0,911 \cdot 10^{-30}$ кг. ($v_{\max} = 6.62 \cdot 10^5$ м/с)
13. Для калия красная граница фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}} = 564$ нм. Определите значение запирающего потенциала U_3 при падении на калиевый фотокатод монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 400$ нм. ($U_3 = 0.9$ В)
14. Определите постоянную Планка, если фотоэлектроны, вырываемые с поверхности некоторого металла светом частотой $1,2 \cdot 10^{15}$ Гц, задерживаются разностью потенциалов $3,1$ В, а вырываемые светом длиной волны 125 нм – разностью потенциалов $8,1$ В.
15. Изолированный металлический шар емкостью $C = 2$ мкФ освещается монохроматическим светом. Энергия фотона $W = 5$ эВ. Работа выхода электронов 2 эВ. Какой будет (в микрокулонах) величина заряда шара при длительном освещении?
($q = 6$ мкКл)
16. Работа выхода электрона из некоторого металла равна 2 эВ. Фотон выбивает из этого металла электрон с энергией 3 эВ. Какова (в электрон-вольтах) минимальная энергия $W = h\nu$ такого фотона?
($E = 5$ эВ)



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генденштейн Л.Э., Дик Ю.И., Физика. 11 класс: Учебник базового уровня для общеобразовательных учебных заведений. -3-е издание - М.: «Илекса», 2009. – 320 с.
2. Ландсберг Г.С. «Элементарный курс физики», книга 3 "Колебания и волны. Оптика. Атомная и ядерная физика". М., Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 2001, - 663с.
3. Куперштейн Ю.С. Физика. Дифференцированные контрольные работы. 7–11 классы. СПб: Сентябрь, 2005.
4. Марон А.Е., Марон Е.А. Контрольные работы по физике. 10–11 классы. М.: Просвещение, 2003.
5. Луппов Г.Д. Опорные конспекты и тестовые задания по физике 11класс: Книга для учителя. – М.: просвещение: АО «Учеб. Лит.», 1996, - 288с.
6. Перлин А.З., Малышева Е.С., Малышев М.И., Меркулова С.С., Ясакова С.Р., Физика. Сборник заданий с выбором ответа для тематического контроля/М.: Дом педагогики, 1997, - 128с.
7. Родионова О.Э. <olga.ergardovna@ya.ru>, Методика решения задач по теме «Фотоэффект» лицей № 34, г. Новокузнецк, 2011
8. Справочник школьника. Решение задач по физике/ Сост. И.Г.Власова при участии А.А. Витебской. – М.: Филологическое общество «Слово», компания «Ключ-С», АСТ, Центр гуманитарных наук при факультете журналистики МГУ им. М.В. Ломоносова, 1997, - 640с.
9. Сподарец В.К. Физика. ЕГЭ. Типовые тестовые задания. М.: Экзамен, 2007.
10. Самое полное издание типовых вариантов реальных заданий ЕГЭ-2009. Физика / Авт-сост. А.В. Берков, В.А. Грибов. М.: Астрель. 2009.

1. <http://festival.1september.ru/articles/310598/>
2. http://www.aliev-hasan.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=123:gravitation&catid=51:11klass
3. <http://to-name.ru/biography/maks-plank.htm>
4. <http://www.physics.ru/courses/op25part2/content/chapter5/section/paragraph2/theory.html>
5. <http://iomn.net/?p=101>
6. <http://nplit.ru/books/item/f00/s00/z0000044/st011.shtml>
7. http://old.college.ru/physics/courses/op25part1/content/scientist/thomson_j.html
8. <http://www.physics.ru/courses/op25part2/content/scientist/hertz.html>
9. <http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/d7a7bd48-0191-423f-8f77-21b97e110148/kvant4.htm>

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

МАКС ПЛАНК (1858-1947)



(МАКС КАРЛ ЭРНЕСТ ЛЮДВИГ) — немецкий физик, один из основоположников квантовой теории, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1913) и почетный член АН СССР (1926). Ввел (1900) квант действия (постоянная Планка) и, исходя из идеи квантов, вывел закон излучения, назван его именем. Труды по термодинамике, теории относительности, философии естествознания. Нобелевская премия (1918).

Годы учебы

Макс Планк родился 28 апреля 1858 (Киль) в семье юриста, профессора права Кильского университета Иоганна Юлиуса Вильгельма фон Планка и Эммы Планк, урожденной Патциг. Когда мальчику исполнилось девять лет, семья переехала в Мюнхен. В Королевской Максимилиановской гимназии, учеником которой он стал, преподавателем математики был Г. Мюллер. Человек изобретательный и остроумный, умевший продемонстрировать на простых и убедительных примерах законы физики, он пробудил у одаренного ученика интерес к естественным и точным наукам. Впоследствии Планк писал, что закон сохранения энергии был принят им «как Евангелие», как первый из тех «абсолютных законов», которые управляют внешним миром.

Однако, выбирая профессию, Макс Планк не сразу избрал физику. Его привлекала и классическая филология, и музыка, незаурядные способности к которой он проявлял еще в детстве, выучившись играть на фортепиано и органе. И хотя физика одержала верх, музыка всегда оставалась на видном месте в жизни Планка и даже в некоторые периоды вытесняла остальные интересы.

После окончания гимназии в 1874 М. Планк три года занимался в Мюнхенском университете, где получил хорошую математическую подготовку. Но только после перехода в университет в Берлине, где он проучился год под руководством таких выдающихся физиков, как Герман Гельмгольц и Густав Кирхгоф, определилось его призвание. Как писал впоследствии Планк, это произошло благодаря изучению их трудов, а не лекциям (Гельмгольц как следует не готовился к лекциям и подчас ошибался у доски, а Кирхгоф, хотя и готовился очень тщательно, но читал скучно и монотонно), а также знакомству с публикациями немецкого физика Р. Клаузиуса, одного из основателей термодинамики и молекулярно-кинетической теории.

Обращение к термодинамике. Профессура в Киле.

Именно работы Клаузиуса обусловили на долгие годы особое пристрастие Планка к термодинамике. Не удовлетворившись определением необратимых процессов, данным Клаузиусом, Макс Планк предложил более общее определение. Эти работы, к огорчению Планка, не вызвали интереса в научных кругах, не помогли и личные контакты, и переписка с рядом известных специалистов по термодинамике. Но М.Планк продолжал упорно работать. В 1879 он защитил докторскую диссертацию, посвященную второму началу термодинамики, и уже через год получил должность приват-доцента Мюнхенского университета, а в 1885 стал профессором. В 1897 впервые появилась его книга «Лекции по термодинамике», впоследствии многократно переиздававшаяся и переведенная на многие языки.

В 1887 Макс Планку предложено место экстраординарного профессора в Кильском университете. День, когда пришло это приглашение, Планк считал одним из счастливейших в своей жизни. Он активно работает и добивается, в частности, важных результатов в области молодой и развивающейся науки — физической химии, в которой в изобилии совершаются открытия, а также разрабатывает термодинамическую теорию диссоциации газов, осмотического давления, изменения точки замерзания растворов.

Переезд в Берлин

В 1889 Планк приглашен на философский факультет Берлинского университета на кафедру теоретической физики вначале экстраординарным, а с 1892 ординарным профессором. Именно в это время он впервые получил возможность установить личные научные контакты с ведущими немецкими физиками того времени.

Не осталась в стороне и музыкальная деятельность. Департаменту физики была передана большая фисгармония со многими регистрами, которая, по предложению Гельмгольца, была выполнена в нетемперированной настройке. Освоив этот сложный инструмент, Макс Планк произвел сравнение с темперированной настройкой, введенной Бахом, и описал результаты сравнения в статье, опубликованной в 1893, в которой обосновал преимущества настройки Баха.

В середине 90-х гг. в физике сформировалась школа «энергетиков», придерживавшихся мнения, что на базе закона сохранения энергии можно объяснить все физические и химические явления. Против этой позиции выступил австрийский физик Людвиг Больцман. Планк также принял участие в дискуссии и в своей статье, вышедшей с 1896, поддержал Больцмана, хотя в то время (как сам Планк подчеркивал позже) он был не только безразличен к статистическому подходу Больцмана, но даже сомневался в его правильности. Причиной тому была убежденность Планка в универсальности закона возрастания энтропии, тогда как Больцман трактовал этот закон как вероятностный. По этому поводу также возникла дискуссия, порой принимавшая острые формы, и не слишком дружественное отношение Больцмана к Планку изменилось лишь после «атомистического» вывода последним законов теплового излучения.

Тепловое излучение

Интерес к проблемам теплового излучения тел возник у Планка под влиянием экспериментальных исследований, проводившихся в то время в Государственном физико-техническом институте (Берлин — Шарлоттенбург) и теоретических работ Кирхгофа, посвященных излучению абсолютно черного тела. Кирхгоф доказал, что спектральный состав равновесного излучения не зависит от природы излучающих тел и в этом смысле является универсальным. Это утверждение не могло не вызвать интереса Планка, склад ума которого делал для него особенно привлекательными положения, несущие черты чего-то «абсолютного». С другой стороны, оно открывало важные возможности теоретического анализа, поскольку позволяло, исследуя излучение, заменять реальные тела некими «моделями». Наиболее простой и поэтому удобной явилась предложенная Планком модель электрических осцилляторов — заряженных частиц, гармонически колеблющихся подобно маятникам. Уравнения Максвелла позволяли вычислить, как осцилляторы излучают и поглощают электромагнитные волны, а статистические законы Больцмана давали возможность связать особенности колебаний с температурой. На основании вышесказанного, можно было, казалось, точно рассчитать спектральный состав равновесного излучения. Однако все попытки такого рода встречали серьезные затруднения у исследователей.

Квант действия

Попытки самого Планка решить эту проблему, описать экспериментальные данные единой теоретической формулой, увенчались успехом только после того, как он (вопреки всем известным законам физики) фактически принял, что осциллятор, колеблющийся с частотой ν , излучает дискретными порциями (квантами), энергия которых пропорциональна частоте $E = h\nu$. Полученную формулу для распределения энергии в спектре электромагнитного излучения абсолютно черного тела Планк доложил 19 декабря 1900 на заседании Берлинского физического общества. Этот день по праву называют днем рождения квантовой теории. Изменения, начало которым он положил, явились поистине революционными. Их масштабы прекрасно понимал и сам Планк, писавший о кванте действия (так он называл множитель h , численное значение которого им было найдено, известный теперь как «постоянная Планка»), что это «... либо фиктивная величина, и тогда весь вывод закона излучения был в принципе ложным и представлял собой всего лишь пустую игру в формулы, лишённую смысла, либо же вывод закона излучения опирается на некую физическую реальность, и тогда квант действия должен приобрести фундаментальное значение в физике и означает собой нечто совершенно новое и неслыханное, что должно произвести переворот в нашем физическом мышлении, основывавшемся со времен Лейбница и Ньютона, открывших дифференциальное исчисление, на гипотезе непрерывности всех причинных соотношений».

Для Планка, который, по словам хорошо знавшего его Макса Борна, «от природы был консерватором, ничего не имел от революционера и весьма скептически относился к спекулятивным рассуждениям», было весьма нелегко примириться с идеей дискретности, противоречившей всем традициям классической теории. Планк много лет тщетно пытался преодолеть эти противоречия. Он с энтузиазмом встретил появление работ Эрвина Шредингера, создателя волновой механики, которому в 1928, достигнув 70 лет, передал кафедру теоретической физики в университете.

Но даже оставив кафедру, Макс Планк продолжал упорно работать. Он не создал того, что называют научной школой, но круг его научного общения был достаточно широк. Заметное место в нем занял Альберт Эйнштейн, для которого в 1913 Прусская академия, благодаря инициативе ряда ведущих ученых, в том числе и Планка, открыла специальную кафедру. Двух великих физиков сблизила и большая любовь к музыке, и, возможно, их отношение к вероятностной интерпретации квантовой механики.

Последние десятилетия

Последние десятилетия жизни Планка были омрачены трагическими событиями. Его первая жена, урожденная Мария Мерк, с которой он вступил в брак в 1885, умерла в 1909, оставив четверых детей, трое из которых не пережили Первой мировой войны (1914-18). В 1916 был убит воевавший во Франции старший сын Карл, в последующие два года умерли от родов две его дочери-близнецы. От первой жены оставался только один сын Эрвин, но и его пережил Планк. В 1944 Эрвин был вовлечен в заговор против Гитлера и казнен.

Планк воспринял приход фашистов в 1933 к власти в Германии как национальную трагедию. Человек сложившихся взглядов и религиозных убеждений, он открыто выступал в защиту еврейских ученых, изгнанных со своих постов и вынужденных эмигрировать за границу. Будучи президентом Общества фундаментальных наук Кайзера Вильгельма, Планк использовал все возможности, чтобы сохранить немецкую науку, прекратить преследования ученых-евреев. Порой его действия «приводили Гитлера в такой раж, что уже ничего не оставалось, как молча все выслушать и удалиться». В дальнейшем Планк изменил тактику, стал более сдержанным и осмотрительным, хотя нацисты, несомненно, знали о его взглядах.

Макс Планк не дожил несколько месяцев до своего девяностолетия. Он скончался в Пруссии — 4 октября 1947 года, в Геттингене. Его научные заслуги, прежде всего «открытие квантовой энергии», были отмечены Нобелевской премией по физике в 1919, избранием во все немецкие и австрийские академии и в академии многих других стран. Общество, президентом которого он был много лет, носит теперь его имя. Но самым значительным памятником Планку останется квантовая теория, отцом которой он может быть назван по праву.



ГЕРЦ (HERTZ) ГЕНРИХ (22.II.1857–1.I.1894)

Немецкий физик, один из основателей электродинамики. Исходя из уравнений Максвелла, Герц в 1886–89 экспериментально доказал существование электромагнитных волн и исследовал их свойства (отражение от зеркал, преломление в призмах и т. д.). Электромагнитные волны Герц получал с помощью изобретенного им вибратора. Герц подтвердил выводы максвелловской теории о том, что скорость распространения электромагнитных волн в воздухе равна скорости света, установил

тождественность основных свойств электромагнитных и световых волн. Герц изучал также распространение электромагнитных волн в проводнике и указал способ измерения скорости их распространения. Развивая теорию Максвелла, Герц придал уравнениям электродинамики симметричную форму, которая хорошо обнаруживает полную взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями. Построил электродинамику движущихся тел, исходя из гипотезы о том, что эфир увлекается движущимися телами. Однако его электродинамика оказалась в противоречии с опытом и позднее уступила место электронной теории Х. Лоренца. Работы Герца по электродинамике сыграли огромную роль в развитии науки и техники и обусловили возникновение беспроводной телеграфии, радиосвязи, телевидения, радиолокации и т. д.

В 1886–87 Герц впервые наблюдал и дал описание внешнего фотоэффекта. Герц разрабатывал теорию резонаторного контура, изучал свойства катодных лучей, исследовал влияние ультрафиолетовых лучей на электрический разряд. В ряде работ по механике дал теорию удара упругих шаров, рассчитал время соударения и т. д. Именем Герца названа единица частоты колебаний.



ТОМСОН (THOMSON) ДЖОЗЕФ ДЖОН
(18.XII.1856–30.VIII.1940)

Английский физик, член Лондонского королевского общества (с 1884, в 1915–20 – президент). В 1884–19 профессор Кембриджского университета и руководитель Кавендишской лаборатории; одновременно в 1905–18 профессор Королевского института в Лондоне. Ранние работы Томсона посвящены вычислению электромагнитного поля движущегося заряженного шара, теории вихрей, прецизионному измерению отношения абсолютных электрических единиц к электромагнитным. Занимаясь изучением газового разряда, Томсон совместно с сотрудниками выполнил серию классических работ, приведших его к открытию электрона (впервые измерил отношение заряда электрона к массе, 1897; Нобелевская премия, 1906). Томсон дал объяснение непрерывного спектра рентгеновского излучения, установил природу положительных ионов, предложил первую модель строения атома. В 1911 Томсон разработал так называемый метод парабол для измерения отношения заряда частицы к ее массе, который сыграл большую роль в исследовании изотопов.

Большое значение имела научно-организационная деятельность Томсона. Возглавляемая им Кавендишская лаборатория превратилась в ведущий научно-исследовательский физический центр, в котором под его руководством работали крупнейшие английские физики (Э. Резерфорд, Ч. Вильсон, Ф. У. Астон, У. Ричардсон и др.). Будучи убежденным сторонником классической физики, Томсон придерживался гипотезы эфира.



СТОЛЕТОВ АЛЕКСАНДР ГРИГОРЬЕВИЧ
(1839-1896)

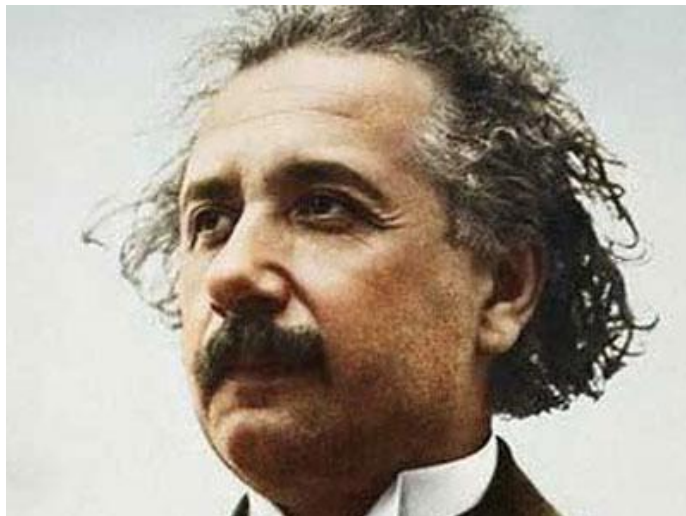
Русский физик, научные работы посвящены электромагнетизму, оптике, молекулярной физике, философским вопросам науки. Впервые показал, что при увеличении намагничивающего поля, магнитная восприимчивость железа сначала возрастает, а затем падает, проходя через максимум, осуществил ряд экспериментов для определения величины отношения электромагнитных и электростатических величин, получил значение, близкое к значению скорости света (1876г.). В 1888-90г. выполнил цикл работ по исследованию явления внешнего фотоэффекта, создал первый фотоэлемент (1888г.), является основоположником количественных методов исследования фотоэффекта, изучал несамостоятельный газовый разряд, исследовал критическое состояние вещества, многое сделал для развития

физики в России. В 1872г. создал первую физическую лабораторию и исследовательский институт при Московском университете.

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН (1879-1955)

ВЕЧНАЯ ЗАГАДКА МИРА

Ученый, еще при жизни ставший символом XX столетия, родился 19 марта 1879 года, или, как было зафиксировано это событие в метрической книге еврейской общины города Ульма, 19 адара 5639 года. Имя ему дали ветхозаветное — Авраам, но «в миру» мальчика стали звать Альбертом.



В раннем детстве ничто не говорило о том, что этот человек будет причислен когда-то к

величайшим гениям в истории науки. Малышу минуло три года, а он все еще не говорил. Его родители, владельцы небольшого электрохимического завода, были очень этим обеспокоены. Альберт рос тихим, рассеянным мальчиком. Семья к этому времени переехала в Мюнхен, и его отдали в гимназию Луитпольда. Альберту там так не понравилось, что он стал пропускать уроки, посвящая свое время чтению книг по математике, естествознанию и философии. Учителя об этом не знали и считали, что ничего путного из Эйнштейна не получится. В конце концов, Альберт бросил школу с ее механической зубрежкой и казарменной дисциплиной и решил поступить в цюрихское Федеральное высшее политехническое училище, однако провалился на вступительных экзаменах. Когда же он наконец поступил, то, по старой памяти, стал частенько пропускать занятия, чем вызывал серьезное недовольство преподавателей. К счастью, Эйнштейн подружился с одним из одноклассников. Друг любезно предоставлял Альберту во временное пользование свои конспекты лекций, и, если бы не эта «гуманитарная» помощь, кто знает, закончил ли бы Эйнштейн училище.

Необходимость зубрежки в период сдачи экзаменов настолько претила творческой натуре Альберта, что он целый год после окончания училища не мог себя заставить снова заняться размышлениями о глобальных проблемах. С весны 1900 года до весны 1902 года Эйнштейн провалялся репетиторством.

В 1902 году с помощью все того же однокашника Альберт получил место технического эксперта третьего класса в Швейцарском патентном бюро. Параллельно с описанной нами «внешней» жизнью Эйнштейна шла и другая, «внутренняя». Он самозабвенно занимался музыкой, изучал сложнейшие книги и много размышлял. В пятилетнем возрасте, получив в подарок от отца

карманный компас, мальчик был поражен до глубины души. Еще бы: магнитная стрелка, без какой бы то ни было видимой причины, все время указывала на север. Позже, в двенадцать лет, потрясающее впечатление на Альберта произвел случайно попавший ему в руки учебник геометрии. Вполне вероятно, что знакомство с множеством замечательных теорем, выведенных из небольшого числа простых аксиом, послужило ему впоследствии указанием на необходимость построения научных теорий на основе простых и универсальных принципов, играющих роль, аналогичную аксиомам в геометрии. В некотором смысле Эйнштейна можно считать самоучкой.

Скромный служащий патентного бюро продолжает вести, так сказать, двойную жизнь. Благо необременительная служба позволяет заниматься наукой. Эйнштейн делает свои величайшие открытия. В 1905 году были опубликованы его первые, очень дерзкие статьи. Нобелевская премия по физике, которой Эйнштейн был удостоен в 1922 году, как ни странно, досталась ему не за теорию относительности, а «за заслуги перед теоретической физикой, и особенно за открытие закона фотоэлектрического эффекта». Основой этой работы была формула, выведенная в первой же статье теоретика. Среди опубликованных в том «урожайном» году была и статья «К электродинамике движущихся тел». В ней изложено как раз то, что мы теперь называем специальной теорией относительности (СТО). Почти одновременно направил в печать свою объемистую работу и французский математик Анри Пуанкаре. Причем в ней содержались не только многие математические результаты, изложенные в эйнштейновской работе, но и ряд других математических выводов, которые у Эйнштейна отсутствовали. И все же приоритет в создании СТО отдается Эйнштейну. Следует, однако, заметить, что сам принцип относительности, давший название теории, был выдвинут А. Пуанкаре раньше, чем это сделал Альберт Эйнштейн, причем в более конкретной формулировке. Оба исследователя опирались в своих рассуждениях на теорию электромагнетизма. Ученые XIX века считали, что световые волны распространяются в мировом эфире — среде, которая, как предсказал Дж. Максвелл, заполняет всю Вселенную. Поисками эфира занимались многие выдающиеся умы. Так, до последних дней жизни не прекращал их Д.И. Менделеев. Строились различные модели светоносного эфира, выдвигались разнообразные гипотезы относительно его свойств, экспериментально, однако, не подтверждавшиеся. В основу СТО Эйнштейн положил два универсальных допущения, делавших гипотезу о существовании эфира излишней. Первое допущение и есть принцип относительности. Он гласит: если мы находимся в неускоренной лаборатории, то ее движение никак не влияет на что бы то ни было, происходящее внутри этой лаборатории. Другими словами: во всех инерциальных системах отсчета законы механики

одинаковы. Значит, любой эксперимент дает один и тот же результат в любой инерциальной системе.

И второе допущение: распространение света не зависит от движения его источника.

Постулаты СТО приводят ко многим замечательным следствиям, часто используемым писателями-фантастами в своих произведениях. К ним, например, относится парадокс близнецов, согласно которому время на борту космического корабля замедляется и близнец-путешественник по возвращении на Землю оказывается моложе своего брата-домоседа. СТО изменяет основное для физики Ньютона понятие «событие». Согласно Эйнштейну, одновременность двух событий относительна. Это значит, что если два события, произошедшие в разных точках, одновременны в одной инерциальной системе отсчета, то они не одновременны во всех других системах.

В том же 1905 году, вслед за «Электродинамикой движущихся тел» Эйнштейн опубликовал небольшую заметку под заголовком «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?» В ней ученый вывел как следствие из своей теории уравнение $E=mc^2$, которое означает, что энергия (E), заключенная в любой частице вещества, равна ее массе (m), умноженной на квадрат скорости света (c^2). Кроме того, он сформулировал закон взаимосвязи массы покоя и энергии: «Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии».

Согласно СТО, ни один материальный объект не может двигаться со скоростью, превышающей скорость света; с точки зрения наблюдателя, находящегося в состоянии покоя, размеры движущегося мимо объекта сокращаются в направлении движения, а масса объекта возрастает; чтобы скорость света была одинаковой для движущегося и покоящегося наблюдателя, движущиеся часы должны идти медленнее. Любопытного читателя мы отсылаем к популярной книге М. Гарднера «Теория относительности для миллионов», в которой в доступной форме на интересных примерах излагаются и принципы СТО, и следствия из нее. Релятивистские (вытекающие из теории относительности) эффекты при обычных скоростях и размерах, как правило, пренебрежимо малы. Однако при массах микрочастиц и скоростях света они весьма значительны. Эта особенность СТО пригодилась физикам лишь спустя четыре десятилетия после 1905 года. В частности, по формуле $E=mc^2$ физики смогли вычислить количество энергии, выделяющейся при взрыве атомной бомбы. В 1908 году немецкий математик Герман Минковский, бывший учитель Эйнштейна в Цюрихе, создал для СТО геометрию в четырехмерном пространстве. 21 сентября того же года на съезде немецких естествоиспытателей и врачей он прочел доклад «Пространство и время», заканчивавшийся словами: «Отныне пространство само по себе и время само по себе теряют всякий физический смысл, и лишь особого рода их сочетание сохраняет самостоятельность».

После публикаций «цикла 1905 года» к Эйнштейну пришло признание. Семилетнее «заточение» в патентном бюро закончилось, и в 1909 году физик был приглашен сначала в Цюрихский университет, а потом в Немецкий университет в Праге. В 1912 году Эйнштейн вернулся в Швейцарию и стал профессором цюрихского Федерального технологического института. Спустя два года ученый получил предложение из Германии, где и возглавил Физический институт кайзера Вильгельма. Одновременно он стал профессором Берлинского университета.

К 1916 году напряженная работа творческой мысли Эйнштейна приводит к созданию Общей теории относительности (ОТО). Она выходит далеко за рамки СТО, в которой движение рассматривалось как равномерное, а скорость была постоянной, т. е. она описывала инерциальные системы отсчета. ОТО распространяется и на неинерциальные системы отсчета. ОТО нередко называют современной теорией гравитационного поля, а также геометрией «пространства-времени». Уже специальная теория доказала, что пространство и время нельзя рассматривать отдельно, что нужно анализировать четырехмерный мир: пространство-время. Эйнштейн приходит к парадоксальному выводу, что геометрия пространства всецело определяется распределением и движением тяготеющих масс, а в искривленном пространстве законы движения изменяются. На основании ОТО неинерциальность системы отсчета эквивалентна появлению некоего гравитационного поля. Таким образом, движение тел в не-инерциальной системе отсчета должно подчиняться тем же законам, что и движение в инерциальной системе в присутствии гравитационных полей. Как остроумно заметил коллега Эйнштейна американский физик Дж. А. Уоллер, «пространство говорит материи, как ей двигаться, а материя говорит пространству, как ему искривляться».

На ОТО основана современная космогония. Подавляющее большинство наблюдаемых ею фактов укладывается в теоретические изыскания Эйнштейна. Приведем несколько самых наглядных экспериментов. Квант света, который движется в гравитационном поле, может приобретать или терять энергию в зависимости от разности гравитационных потенциалов. Это приводит к изменению частоты света. Данный эффект доказывается красным смещением линий в спектрах тяжелых звезд. Чтобы «покинуть» звезду, квант должен отдать часть энергии. В сильном гравитационном поле, например, вблизи звезды, луч света искривляется. Этот эффект был экспериментально подтвержден в 1919 году во время полного солнечного затмения. Ближайшая к Солнцу планета Меркурий медленно смещает свою орбиту в пространстве относительно других планет. Этот факт был обнаружен еще в 1845 году и не поддавался объяснению с точки зрения механики Ньютона. Вычисленное на основе ОТО смещение орбиты Меркурия полностью совпало с экспериментальными замерами. Эйнштейн наиболее известен конечно же как автор теории относительности.

Однако он внес большой вклад в изучение броуновского движения, разработал квантовую теорию, введя в нее понятие индуцированного излучения (оно легло в основу теории лазера), работал над созданием единой теории поля. Вместе с индийским ученым Шатъендранатом Бозе Эйнштейн создал статистику Бозе—Эйнштейна, описывающую поведение элементарных частиц бозонов.

И снова, как и в детстве, параллельно творческой шла иная, человеческая жизнь великого физика. Он дважды был женат. Первой его женой была Милева Марич, однокурсница Альберта по Федеральному технологическому институту в Цюрихе. От этого брака родилось два сына. В 1919 году супруги развелись, но примечательно, что Эйнштейн отдал бывшей супруге всю денежную часть Нобелевской премии, полученной в 1922 году. Второй женой физика стала его кузина Эльза, вдова с двумя детьми. Они поженились в 1919 году. Эйнштейну суждено было пережить обеих своих жен. Эльза скончалась в 1936 году, а Милева — в 1948-м. В шестилетнем возрасте Эйнштейн научился играть на скрипке и с тех пор не расставался с ней. История физики зарегистрировала, как Эйнштейн играл в паре с Максом Планком, великолепным пианистом, а также скрипичный концерт солиста Эйнштейна в 1934 году в Нью-Йорке. Этот концерт великий физик дал в пользу немецких ученых-эмигрантов. Выручка составила 6500 долларов.

Тридцатые годы стали самым драматичным периодом в жизни ученого. Когда Гитлер пришел к власти, Эйнштейн был за пределами Германии. Он так и не вернулся в Берлин. Новой родиной «гражданина мира» стали США. Пацифист по убеждениям, он говорил, что «ученые в поисках истины не считаются с войнами». И тем не менее он не устал бороться против человеческого безумия, правившего в Германии. В 1939 году он обратился к президенту Ф. Рузвельту с письмом, в котором сообщал, что в Берлине, по всей видимости, ведутся работы по созданию атомной бомбы. Ученый советовал и США активизировать эти работы, в которых, однако, сам принимать участия не стал. Потрясенный последствиями ядерных взрывов в японских городах, великий физик больше не верил, что злом можно победить зло. В 1945 году он провозгласил необходимость мирового правительства как единственный способ избежать глобального самоуничтожения. Конечно, идея эта была утопичной.

Но честной. Интересна его дискуссия по вопросам интерпретации основ квантовой механики с представителями копенгагенской школы, свидетельствующая об интеллектуальном и моральном одиночестве создателя теории относительности. Он писал Максу Борну: «В наших научных ожиданиях мы стали антиподами. Ты веришь в Бога, играющего в кости, а я в Совершенную Закономерность чего-то, объективно должного существовать в мире, закономерность, которую я грубо, спекулятивным образом стараюсь

ухватить. Большие первоначальные успехи квантовой теории не заставят меня поверить в фундаментальность игры в кости, хотя я хорошо знаю, что более молодые коллеги считают это следствием моего склероза». Выражение «Бог играет в кости» с тех пор стало шутливым афоризмом среди физиков. Приведем еще несколько, как нам кажется, самых ярких высказываний физика.

«Все здание научной истины можно возвести из камня и извести ее же собственных учений, расположенных в логическом порядке. Но чтобы осуществить такое построение и понять его, необходимы творческие способности художника. Ни один дом нельзя построить только из камня и извести».

«Наука существует для науки так же, как искусство для искусства».

«Вечная загадка мира — его познаваемость».

«Здравый смысл — это толща предрассудков, успевших отложиться в нашем сознании к восемнадцати годам».

«Юность всегда одна и та же, бесконечно одна и та же».

«Возьмем совершенно нецивилизованного индейца. Будет ли его жизненный опыт менее богатым и счастливым, чем опыт среднего цивилизованного человека? Думаю, что вряд ли.

Глубокий смысл кроется в том, что дети во всех цивилизованных странах любят играть в индейцев».

«Музыка и исследовательская работа в области физики различны по происхождению, но связаны собой между собой единством цели — стремлением выразить неизвестное».

Эти мудрые мысли Эйнштейн высказывал не то в шутку, не то всерьез. С высунутым языком он изображен на знаменитом снимке, сделанном в 1951 году по случаю дня рождения и разосланном всем друзьям. Показав человечеству язык, гений 18 апреля 1955 года покинул земной мир и улетел в измерения иного порядка.

