

Министерство образования Московской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное
учреждение Московской области «Авиационный техникум имени В.А. Казакова»

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по УМР
_____М.В.Иванова

**Методическая разработка
МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ФОТОЭФФЕКТ»**

по дисциплине ОУД 10 ФИЗИКА

для студентов 1 курса

специальности 11.02.01 Радиоаппаратостроение
25.02.06. Производство и обслуживание авиационной техники
09.02.06. Сетевое и системное администрирование

РАССМОТРЕНО
на заседании предметно-цикловой комиссии
"Общеобразовательных и
естественнонаучных дисциплин"

СОСТАВИЛ:
Токарева Н.В.

Председатель ПЦК:

Басенкова В.Н.

Жуковский 2020

Содержание

Вступление.....	3
Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта	3
Дополнительные данные	4
Качественные задачи применяются с различными целями	4
Формулы, необходимые для решения комбинированных задач	9
Разноуровневые задачи	10
Первый уровень сложности.....	10
Второй уровень сложности.	10
Третий уровень сложности.....	12
Литература	15

ВСТУПЛЕНИЕ

- Тема «Фотоэффект» в учебнике по физике занимает немного места. Тем не менее, она имеет большое методологическое, мировоззренческое и научно-техническое значение. Поэтому усвоение данной темы должно быть качественным и эффективным.
- Прежде следует усвоить теорию.

Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

Основной формулой теории фотоэффекта является уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта

$$h\nu = A_{\text{в}} + \frac{m v_m^2}{2}$$

В данном виде уравнение описывает поглощение одного фотона «свободным» электроном, который находится внутри металла у его поверхности.

Уравнение представляет собой частный случай ЗСЭ: энергия фотона, поглощённая электроном частично расходуется на работу выхода электрона из вещества и частично на сообщение уже освободившемуся электрону максимальной кинетической энергии.

В этом уравнении три физических энергетических величины, которые можно определить не только из данного уравнения, но и другими способами. Для систематизации теоретических знаний удобно с учащимися перед решением задач составить следующую таблицу.

Энергия фотона	Работа выхода электрона	Максимальная кинетическая энергия электрона
<p>1. $E_{\text{ф}} = A_{\text{в}} + \frac{m v_m^2}{2}$</p> <p>2. $E_{\text{ф}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$</p> <p>Если фотон движется в веществе, то скорость фотона будет равна $v = \frac{c}{n}$</p>	<p>1. $A_{\text{в}} = h\nu - \frac{m v_m^2}{2}$</p> <p>2. $A_{\text{в}} = h\nu_m = \frac{hc}{\lambda_m}$</p> <p>3. Работу выхода можно определить по таблице.</p>	<p>1. $E_{\text{к м}} = h\nu - A_{\text{в}}$</p> <p>2. $E_{\text{к м}} = \frac{m v_m^2}{2} = eU_{\text{з}}$</p> <p>где $U_{\text{з}} = Ed$ для однородного электрического поля.</p>

Условие внешнего фотоэффекта можно записать тремя способами :

$$1. \nu \geq \nu_{\text{min}} \quad 2. \lambda \leq \lambda_{\text{max}} \quad 3. h\nu \geq A_{\text{в}} \quad \text{или} \quad \frac{hc}{\lambda} \geq A_{\text{в}},$$

где минимальной частоте «красной границы» фотоэффекта ν_{min} соответствует максимальная длина волны λ_{max} – длинноволновая граница фотоэффекта.

Фототок насыщения $I_{\text{н}} = ne$, где n – число фотоэлектронов, вылетающих с поверхности вещества в единицу времени.

Замечания:

1. В формуле $E_{\text{к м}} = eU_{\text{з}}$ заряд электрона e и значение запирающего напряжения $U_{\text{з}}$ берутся по модулю;

2. Если энергия фотона значительно меньше энергии покоя электрона, т. е. $h\nu \leq mc^2$, то для кинетической энергии электрона используется классическое выражение; если же $h\nu \geq mc^2$, то необходимо пользоваться релятивистским выражением для $E_{\text{к}}$;

3. когда учащиеся усвоят теорию, уравнение для внешнего фотоэффекта можно сразу записывать в одном из четырёх видов:

$$1) \quad h\nu = A_{\text{в}} + \frac{m v_m^2}{2}; \quad 3) \quad h\nu = A_{\text{в}} + eU_{\text{з}};$$
$$2) \quad \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{в}} + \frac{m v_m^2}{2}; \quad 4) \quad \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{в}} + eU_{\text{з}}.$$

Обратить внимание учащихся на следующее:

1. Фотоэффект наблюдается не только на металлической пластинке. В понятие фотоэффекта включается больше явлений: внутренний фотоэффект, выбивание электронов из полупроводников и диэлектриков, многофотонные процессы.

2. Интенсивность света пропорциональна числу фотонов, падающих на поверхность перпендикулярно поверхности в единицу времени.

Дополнительные данные

Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Постоянная Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж с} = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}$

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

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

Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$

Электрон-вольт: $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Ангстрем: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$

Тера (Т) $- 10^{12}$; Пета (П) $- 10^{15}$; атто (а) $- 10^{-18}$

Все задачи по фотоэффекту можно разделить на четыре группы: качественные задачи, задачи расчётные только на фотоэффект, графические задачи и комбинированные.

Качественные задачи применяются с различными целями

1. Усвоение явления фотоэффекта.

1. При каких явлениях, изученных ранее, из металла вылетают электроны?
2. Что общего у фотоэлектронов и термоэлектронов? В чём различие?
3. Что общего и в чём различие формул:

$$h\nu = A_{\text{в}} + \frac{m v_m^2}{2} \qquad \frac{3}{2} kT = A_{\text{в}} + \frac{m v_m^2}{2} ?$$

4. Учащийся, объясняя уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта, сказал: «Энергия падающего света равна работе выхода электронов и кинетической энергии их движения». В чём неточность ответа?

5. Покажите, что уравнение Эйнштейна для фотоэффекта непосредственно следует из закона сохранения энергии при определённых допущениях. Каковы эти допущения?

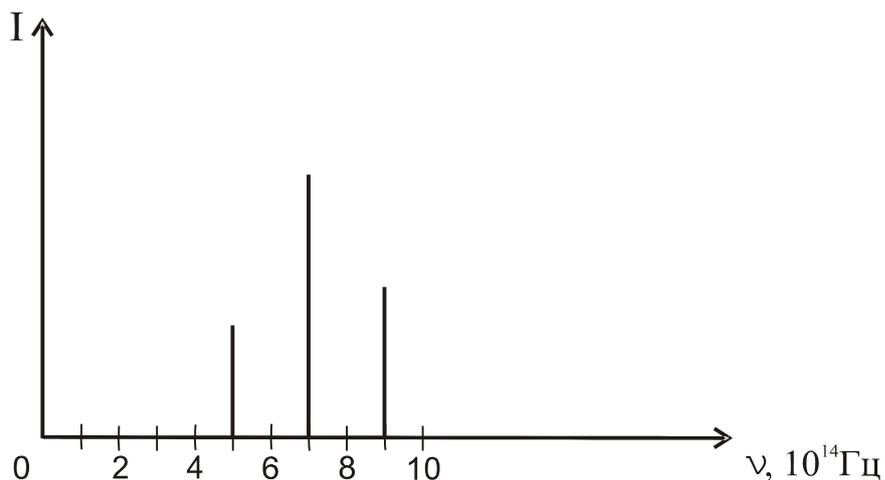
6. На отрицательно заряженную цинковую пластинку, закреплённую на электрометре, направляют лучи от электрической дуги. Произойдёт ли фотоэффект, если закрыть пластину обычным стеклом? Кварцевым стеклом?

7. В опыте по обнаружению фотоэффекта цинковая пластина крепится на стержне электрометра, предварительно заряжается отрицательно и освещается светом электрической дуги так, чтобы лучи падали перпендикулярно плоскости пластины. Как изменится время разрядки электрометра, если: а) пластину повернуть так, чтобы лучи падали под некоторым углом? б) электрометр приблизить к источнику света? в) часть пластины закрыть непрозрачным экраном?

г) увеличить освещённость? д) поставить светофильтр, задерживающий инфракрасную часть спектра? е) поставить светофильтр, задерживающий ультрафиолетовую часть спектра?

8. В опыте по фотоэффекту расстояние между цинковой пластиной и электрической дугой увеличили в 2 раза. Почему при этом фототок уменьшился в 4 раза? Не противоречит ли это законам Столетова?

9. На металлическую пластинку с работой выхода 2 эВ падает излучение, имеющее три частоты различной интенсивности I . Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.



1) 0,06 эВ; 2) 0,9 эВ; 3) 1,7 эВ; 4) 6,7 эВ.

10. Как зарядить цинковую пластину, закреплённую на стержне электрометра, положительным зарядом, имея электрическую дугу, стеклянную палочку и лист бумаги? Палочкой прикасаться к пластине нельзя.

Ответы:

1) Автоэлектронная эмиссия, термоэлектронная эмиссия.

2) Общее – в обоих явлениях происходит вылет электронов из вещества; различие – в виде дополнительной энергии, которую получают свободные электроны: в первом – за счёт электромагнитной энергии, во втором – за счёт тепловой.

3) Обе формулы представляют частный случай ЗСЭ, различие – в природе дополнительной энергии, поглощённой электроном.

4) По ЗСЭ дополнительная энергия, которую получил свободный электрон в веществе за счёт поглощения энергии фотона частично расходуется на работу вылета электронов из вещества и оставшаяся часть идёт на сообщение максимальной кинетической энергии электрону.

5) Уравнение Эйнштейна показывает, что энергия фотона не исчезает, а превращается в другие виды энергии. В уравнении не учитывается, что кинетическая энергия электронов может быть разной в зависимости от обработки поверхности вещества, наличия электрического поля и т. д.

6) Фотоэффект на цинковой пластинке происходит под действием ультрафиолетовых лучей. Обычное стекло не пропускает ультрафиолетовые лучи, а кварцевое пропускает.

7) a , b , e – увеличивается; b , z – уменьшается; d – не изменится.

8) Не противоречит, так как интенсивность света обратно пропорциональна квадрату расстояния.

9) 1,7 эВ.

10) Если облучать цинковую пластинку ультрафиолетовыми лучами, она зарядится положительно. Чтобы вылетевшие электроны не возвращались на пластинку, надо поднести стеклянную палочку, потёртую об лист бумаги. Стеклянная палочка, потёртая о бумагу, заряжается положительно.

2. Работа выхода из металла .

1. Какие металлы имеют наименьшую работу выхода? Наибольшую?

2. Почему у разных металлов работа выхода электронов разная?

3. Откуда: из вольфрама или лития электрон вылетит при фотоэффекте с большей скоростью, если он получит от излучения энергию 5 эВ?

4. Какую наименьшую энергию должен получить электрон от световой волны, чтобы он смог выйти из серебра?

5. Ультрафиолетовые лучи создают фотоэффект для цинка. Будет ли возникать фотоэффект, если облучать этими лучами цезий?

6. Как изменится минимальная частота, при которой возникает фотоэффект («красная граница фотоэффекта»), если пластинке сообщить отрицательный заряд?

а) не изменится;

б) увеличится;

в) уменьшится;

г) ответ зависит от рода вещества.

7. Как изменится минимальная частота, при которой возникает фотоэффект («красная граница фотоэффекта»), если пластинке сообщить положительный заряд?

а) не изменится;

б) увеличится;

в) уменьшится; г) ответ зависит от рода вещества.

8. В опыте по фотоэффекту при замене цинковой пластины на медную фотоэффект не наблюдается. У какого вещества – цинка или меди – работа выхода электрона больше?

9. Объясните существование красной границы фотоэффекта с точки зрения квантовой теории.

10. Изменится ли работа выхода электронов при нагревании металла? Почему? Если изменится, то как?

11. Изменится ли работа выхода электронов при прокаливании металла при высокой температуре? Почему? Если изменится, то как?

12. В какую энергию переходит энергия фотона, поглощённого веществом?

Ответы.

1. Обратит внимание, что маленькая работа выхода у щелочноземельных металлов, а также у окислов.

2. Работа выхода электронов зависит от кристаллического строения вещества, от обработки поверхности, заряда.

3. Лития.

4. 4,3 эВ.

5. Будет.

6. (в) – уменьшится.

7. (б) – увеличится.

8. Меди.

9. Согласно волновой теории света при поглощении световой энергии в веществе возникают вынужденные колебания электронов; при этом энергия электронов должна зависеть от интенсивности падающего света, так как при увеличении интенсивности света электрону передавалась бы большая энергия и электроны должны покидать вещество не независимо от частоты

падающего света. Согласно квантовой теории, энергия этого фотона передаётся одному электрону. Поэтому электрон вылетает из вещества, когда энергия фотона превосходит работу выхода: $\nu > \nu_{кр}$.

10. Если температура не достаточно высокая, то работа выхода не зависит. Увеличится только кинетическая энергия вылетевших электронов.

11. При прокаливании металла при высокой температуре на поверхности образуется слой окиси, что уменьшает работу выхода.

12. Во внутреннюю.

3. Установка по изучению законов фотоэффекта.

1. Для чего в баллоне создаётся вакуум?

2. Для чего окошко закрывается кварцевым стеклом?

3. Будет ли ток в цепи, если напряжение $U = 0$? Почему?

4. Что надо сделать, чтобы фототок прекратился? (назвать два способа).

5. Как изменится скорость фотоэлектронов, фототок насыщения, работа выхода и запирающее напряжение, если **увеличить интенсивность света**, освещающего фотокатод, не меняя при этом его частоту?

6. Как изменится скорость фотоэлектронов, работа выхода и запирающее напряжение, если **увеличить частоту света**, освещающего фотокатод, не меняя при этом его интенсивность?

7. От чего зависит количество фотоэлектронов, вырываемых из материала фотокатода при освещении?

Ответы:

1. Чтобы электроны двигались прямолинейно.

2. Кварцевое стекло пропускает не только видимые, но и ультрафиолетовые и инфракрасные лучи.

3. Будет, так как двигаясь по инерции, часть электронов достигнет анода.

4. Закрывать окошко обычным стеклом; подать обратное напряжение.

5. Не изменится, увеличится, не изменится, не изменится.

6. Увеличится, не изменится, увеличится.

7. Интенсивности падающего света.

4. Корпускулярная теория фотоэффекта.

1. Почему явление фотоэффекта имеет «красную границу»?

2. Почему существование «красной границы» фотоэффекта говорит в пользу корпускулярной теории света и против волновой?

3. Фотоэффект практически безинерционен: он наступает через 10^{-9} с от момента освещения поверхности тела светом частоты $\nu > \nu_{min}$. Почему этот факт подтверждает корпускулярную теорию света?

Ответы:

1. Потому что энергия фотонов пропорциональна частоте света. Фотоэффект начинается тогда, когда энергии электронов достаточно для совершения работы выхода, а это возможно, начиная с некоторой минимальной частоты.

2. Согласно волновой теории света энергия, поглощаемая электроном, зависит только от интенсивности падающего света, и чем больше интенсивность, тем больше энергия электрона и от частоты света она не зависит. Согласно квантовой теории света энергия фотона зависит только от частоты света.

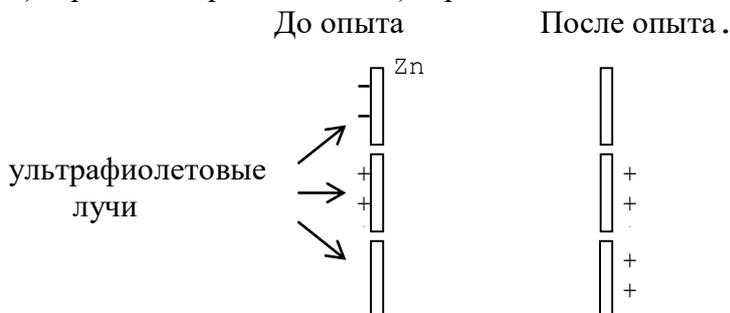
3. Согласно волновой электромагнитной теории света фотоэффект может наблюдаться, но вылет электронов с освещённой поверхности должен происходить не сразу в момент попадания света на поверхность твёрдого тела, а лишь некоторое время спустя после начала действия света,

которое нужно для «раскачивания» электронов до необходимой амплитуды. По квантовой теории света фотон поглощается электроном полностью и сразу.

5. Подготовка к решению комбинированных задач.

1. Что будет после облучения цинковой пластины, если пластина:

а) заряжена отрицательно; б) заряжена положительно; в) не заряжена?



2. Может ли в случае в) положительный заряд пластины возрастать бесконечно?

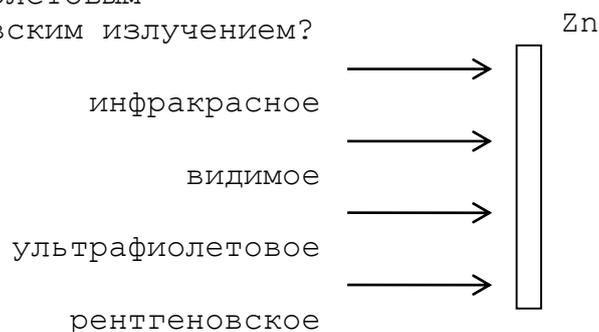
3. Что будет, если цинковую пластину, заряженную отрицательно, облучили :

а) инфракрасными лучами; б) видимым излучением; в)

ультрафиолетовым

рентгеновским излучением?

излучением: г)



4. В каком случае (см. задачу 3) максимальная скорость фотоэлектронов будет наибольшей?

5. Какие явления происходят, когда свет падает на диэлектрик, полупроводник, металл?

6. Имеются электрически нейтральные пластинки из металла и полупроводника. При освещении металла возникает внешний фотоэффект, а при освещении полупроводника – внутренний. Останутся ли пластинки электрически нейтральными? Как это можно объяснить?

7. Солнечные лучи, падающие на поверхность Земли, должны вызывать фотоэффект. Означает ли это, что заряд земного шара положителен?

Ответы:

1. а) Разрядится (если облучение непродолжительное), б) не изменится, в) зарядится положительно.

2. Будет заряжаться до тех пор, пока потенциал не достигнет «запирающего» значения.

3. а, б – не изменится, в, г – разрядится.

4. При облучении рентгеновскими лучами.

5. Диэлектрик – нагреется, в полупроводнике – внутренний фотоэффект, в металле – внешний фотоэффект.

6. Металл зарядится положительно, в полупроводнике произойдет внутренний фотоэффект и суммарный заряд не изменится.

7. Размеры Земли и явления, происходящие на ней, не позволяют применять теории фотоэффекта к данным условиям.

6. Техническое применение фотоэффекта.

1. Чем отличается внешний фотоэффект от внутреннего?

2. Почему электрическая проводимость полупроводников повышается при облучении их светом?

3. При какой полярности электродов фотоэлемента их электрическое поле будет тормозящим для фотоэлектронов? Какую работу совершает тормозящее электрическое поле по торможению фотоэлектронов за время движения их от катода к аноду?

Ответы:

1. При внешнем фотоэффекте уже свободные в веществе электроны вылетают из вещества, при внутреннем фотоэффекте электроны, находящиеся внутри атомов, освобождаются от связи с атомом и становятся свободными.

2. Происходит внутренний фотоэффект и освободившиеся электроны становятся электронами проводимости.

3. При положительном заряде катода и отрицательным зарядом анода, тормозящее электрическое поле совершает отрицательную работу, равную уменьшению кинетической энергии электронов до нуля.

Перед тем как решать комбинированные задачи, следует **повторить следующие формулы:**

$$v_x = v_{0x} + a_x t \qquad S_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \qquad x = x_0 + v_0 t + \frac{a t^2}{2}$$

– основные формулы кинематики.

$F = ma$ – второй закон Ньютона.

$a_{ц} = \frac{v^2}{R}$ – центростремительное ускорение.

$E_k = \frac{3}{2} kT$ – средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа.

$C = \frac{q}{U}$ – электроёмкость,

$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ – электрическая ёмкость плоского конденсатора.

$E = \frac{U}{d}$ – напряжённость электрического поля.

$F_3 = qE$ – электрическая сила.

$F_L = qvB \sin \alpha$ – сила Лоренца и знать «правило левой руки».

$W_{п} = k \frac{q_1 q_2}{r}$ – потенциальная энергия взаимодействия точечных зарядов,

где $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$.

$\varphi = k \frac{q}{r}$ – потенциал сферы.

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 [1]. На сколько градусов нагреется за 1 с капля воды массой 0,2 г, если она каждую секунду поглощает $1 \cdot 10^{10}$ фотонов с длиной волны 750 нм? Потерями энергии пренебречь.

Ответ: $\Delta T = \frac{Nhc\alpha}{\lambda c m} = 3,16 \cdot 10^{-9}$ К.

3 [2]. 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 [2]. 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; $A_{\text{в}} = 2,48$ 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: $\Delta E_{\text{ф}} = E_{\text{ф}1} - A_{\text{в}} = 0,2$ 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 $A_B = 1,9$ эВ.

Ответ: $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{(hc - A_B \lambda_1) \lambda_2}{(hc - A_B \lambda_2) \lambda_1}} = 1,98 \approx 2.$

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: $A_B = E_1 / 2 = 5$ эВ.

5 [3]. При каком напряжении на источнике тока электроны, выбиваемые из одной металлической пластины, не достигнут второй? Длина волны падающего света $\lambda = 663$ нм, работа выхода $A_B = 1,5$ эВ.

Ответ: $U_3 = \frac{1}{e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_B \right) = 0,375$ В.

6 [4]. 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. [5]. 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.

Ответ: $\nu_m = 0,6 \nu = 600$ ТГц.

8 [1]. 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?

Ответ: $\varphi_m = \frac{hc - A_B \lambda}{e \lambda} = 1,72$ В.

8 [2]. 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: $A_B = E_{\phi 1} / 2 = 5$ эВ.

9 [2]. 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.

10 [2]. 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?

$$\text{Ответ: } \lambda_2 = \frac{hc}{\frac{hc}{\lambda} + \frac{m v_m^2}{2}} \approx 320 \text{ нм.}$$

11. 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.

$$\text{Ответ: } A_{\text{в}2} = A_{\text{в}1} - (U_{\text{з}2} - U_{\text{з}1}) e = 4 \text{ эВ.}$$

12. 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.

$$\text{Ответ: } h = \frac{e(U_{\text{з}2} - U_{\text{з}1})}{\nu_2 - \nu_1} = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с.}$$

Третий уровень сложности(с решением)

1.[19]. 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 фотон 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> $N_1 = \frac{E_{k2}}{E_{\phi 2}} \quad (1),$ <p>Где (при падении одного электрона)</p> $E_{\phi 2} = \frac{hc}{\lambda_2} \quad (2)$ <p>Первоначальную кинетическую энергию фотоэлектронов определим из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:</p>
$N - ?$	$\frac{hc}{\lambda_1} = A_B + E_{k1} \Rightarrow E_{k1} = \frac{hc}{\lambda_1} - A_B. \quad (3)$ <p>Вылетевшие фотоэлектроны попадают в ускоряющее электрическое поле, работа сил которого $e\Delta U$, идёт на увеличение кинетической энергии фотоэлектронов:</p> $E_{k2} = E_{k1} + e\Delta U = \frac{hc}{\lambda_1} - A_B + e\Delta U = \frac{hc - A_B\lambda_1 + e\Delta U\lambda_1}{\lambda_1}. \quad (4)$ <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> $N = \frac{N_{\phi 2}}{k} = \frac{E_{k2}\lambda_2}{khc} = \frac{[hc + \lambda_1(e\Delta U - A_B)]\lambda_2}{k h \lambda_1};$ $N = \frac{[6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 + 8,2 \cdot 10^{-7} (1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 15000 - 1,6 \cdot 10^{-19})] 4,1 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 8,2 \cdot 10^{-7}} \approx 500$
<p>Ответ: ЭОП в 500 раз увеличивает число фотонов.</p>	

2. [12]. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода $A_B = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж), освещается светом с длиной волны $\lambda = 300$ нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией $B = 8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Рассчитайте максимальный радиус окружности R , по которой движутся электроны?

3. [20]. В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор ёмкостью $C = 8000$ пФ. При длительном облучении катода светом фототок, возникающий вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд $q = 11 \cdot 10^{-9}$ Кл. Работа выхода электронов из кальция $A_B = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны λ света, освещающего катод.

Задача 2	
<p>Дано:</p> <p>$A_B = 4,42 \cdot 10^{-19}$ Дж,</p> <p>$\lambda = 300$ нм = $3 \cdot 10^{-7}$ м,</p> <p>$B = 8,3 \cdot 10^{-4}$ Тл,</p> <p>$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл,</p> <p>$m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг,</p> <p>$h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с,</p> <p>$c = 3 \cdot 10^8$ м/с.</p>	<p><i>Анализ и решение</i></p> <p>Вылетевшие с фотокатода электроны попадают в однородное магнитное поле, перпендикулярно линиям индукции. Поэтому на электрон будет действовать сила Лоренца, равная</p> $F_{Л} = eBv_m \quad (1)$ <p>Поскольку $F_{Л} \perp \mathbf{v}$, сила Лоренца</p> $F_{Л} = ma_{ц} \quad (2)$ <p>создаёт центростремительное ускорение. По 2-му закону Ньютона, оно равно</p> $a_{ц} = \frac{v_m^2}{R} \quad (3)$
<p>$R_{max} - ?$</p>	<p>Подставив (2) и (3) в (1) определим</p> $R_{max} = \frac{mv_m}{eB} \quad (4)$ <p>В этой формуле не известна скорость фотоэлектрона. Запишем уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта</p> $\frac{hc}{\lambda} = A_B + \frac{mv_m^2}{2} \Rightarrow v_m = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A_B \right)}$ <p>Тогда $R_{max} = \frac{1}{eB} \sqrt{2m \left(\frac{hc}{\lambda} - A_B \right)} = 4,7$ мм.</p>
<p>Ответ: максимальный радиус окружности, по которому движутся электроны, 4,7 мм.</p>	

<p><i>Дано:</i> $C = 8000 \text{ пФ} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Ф},$ $q = 11 \cdot 10^{-9} \text{ Кл},$ $A_{\text{в}} = 4,42 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с},$ $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с},$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$</p>	<p><i>Анализ и решение</i> При облучении фотокатода он будет положительным зарядом до тех пор, пока напряжение между катодом и анодом не станет запирающим U_3. Поскольку конденсатор подключен к электродам параллельно, то напряжение на конденсаторе</p> $U_C = \frac{q}{C} = U_3 \quad (1).$ <p>Запишем уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта в виде</p> $\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{в}} + eU_3 \quad (2),$ <p>подставим формулу (1), определим λ:</p> $\frac{hc}{\lambda} = A_{\text{в}} + \frac{eq}{C} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{A_{\text{в}} + \frac{eq}{C}} = 300 \text{ нм}.$
<p>$\lambda - ?$</p>	
<p><i>Ответ:</i> длина волны, освещающей катод, равна 300 нм.</p>	

Литература

1. Куперштейн Ю.С. Физика. Дифференцированные контрольные работы. 7–11 классы. СПб: Сентябрь, 2005.
2. Коровин В.А., Степанова Г.Н. Физика. Сборник задач для проведения устного экзамена по физике за курс средней школы. 11 класс. М.: Дрофа, 2000.
3. Орлов В.А., Фадеева А.А., Ханнанов Н.К. Физика. ЕГЭ-2004: учебно-тренировочные материалы для подготовки к ЕГЭ. М.: Интеллект-Центр, 2004.
4. Бальва О.П., Фадеева А.А. Физика. Универсальный справочник. М.: ЭКСМО, 2010.
5. Веретельник В.И., Сивов Ю.А., Толмачёва Н.Д., Хоружий В.Д. Банк задач по физике. Томск: Томский политехнический университет, 2006.
6. Грибов В.А., Ханнанов Н.К. ЕГЭ 2010. Физика. Репетитор. М.: ЭКСМО, 2009.
7. Турчина Н.В., Рудакова Л.И., Суров О.И. и др. 3800 задач по физике для школьников и поступающих в вузы». М.: Дрофа, 2000.
8. Дмитриев С.Н. Физика. Сборник задач для поступающих в вузы. М., 1998.
9. Орлов В.А., Фадеева А.А., Ханнанов Н.К. Физика. ЕГЭ: учебно-тренировочные материалы для подготовки к ЕГЭ. М.: Интеллект-Центр, 2003.
10. Парфентьева Н.А. Сборник задач по физике для 10–11 классов. М.: Просвещение, 2007.
11. Марон А.Е., Марон Е.А. Контрольные работы по физике. 10–11 классы. М.: Просвещение, 2003.
12. Орлов В.А., Ханнанов Н.К. Единый государственный экзамен. Физика. 2002. М.: Просвещение. 2003.
13. Экзаменационные билеты по физике для поступающих в вузы. М.: КубК-а, 1996.
14. Баканина Л.П., Бенонучкин В.Е., Козел С.М. Сборник задач по физике: для 10–11 классов с угл. изучением физики. М.: Просвещение, 1999.
15. Попов Н.А., Шабунин С.А., Тихонин Ф.Ф. Физика: типовые тестовые задания. М.: 2016