**ФОТОЭФФЕКТ. ЭФФЕКТ КОМПТОНА. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ**

1. Определить энергию , импульс *р* и массу *m* фотона, длина волны которого = 500

нм.

1. Какую длину волны должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе по- коящегося электрона?
2. «Красная граница» кр фотоэффекта для рубидия равна 540 нм. Определить работу выхода *А* и максимальную скорость *v*max электронов при освещении поверхности ме- талла светом с длиной волны = 400 нм.
3. Какова максимальная скорость *v*max электронов, вылетающих с поверхности цезия под действием излучения с длиной волны = 360 нм. Работа выхода для цезия *А* = 1,89 эВ.
4. Определить «красную границу» кр фотоэффекта для лития, если работа выхода

*А* = 2,39 эВ.

1. Какая доля *x* энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона, если «красная граница» фотоэффекта кр = 332 нм и максимальная кинетическая энергия *W*max фотоэлектрона равна 1 эВ.
2. «Красная граница» фотоэффекта для серебра лежит при длине волны кр = 290 нм. Какая доля *x* энергии фотона, вызывающего фотоэффект, расходуется на работу вы- хода, если максимальная скорость электронов, вырванных с поверхности металла *v*max = 106 м/c.
3. При освещении поверхности цезия излучением с длиной волны = 360 нм задержи- вающий потенциал з = 1,47 В. Определить «красную границу» кр фотоэффекта для цезия.
4. Определить наименьший задерживающий потенциал з, необходимый для прекра- щения эмиссии с фотокатода, если его поверхность освещается излучением с длиной волны = 400 нм, и «красная граница» фотоэффекта для катодов данного типа ле- жит при кр = 670 нм.
5. На поверхность лития падает монохроматический свет (= 300 нм). Чтобы прекра- тить эмиссию электронов, нужно приложить задерживающую разность потенциалов *U*з не менее 1,75 В. Определить работу выхода *А*.
6. Фотоэлектроны, вырываемые с поверхности металла, полностью задерживаются при приложении обратного напряжения *U*з = 3 В. Фотоэффект для этого металла начина- ется при частоте падающего монохроматического света кр = 61014 Гц. Определить:
	1. работу выхода *А* электронов из этого металла; 2) частоту применяемого облуче- ния.
7. Определить, до какого потенциала зарядится уединённый серебряный шарик при облучении его ультрафиолетовым светом с длиной волны = 208 нм. Работа выхода электронов из серебра *А* = 4,28 эВ.
8. Задерживающее напряжение *U*1 для платиновой пластинки (работа выхода *А*1 = 5,3 эВ) составляет 3,7 В. При тех же условиях для другой пластинки задерживающее напряжение *U*2 = 4,7 В. Определить работу выхода *А*2 электронов из этой пластинки.
9. «Красная граница» фотоэффекта для калия лежит при длине волны кр = 577 нм. При какой разности потенциалов *U*з между анодом и катодом прекратится эмиссия элек- тронов с поверхности калия, если освещать катод излучением с длиной волны

= 400 нм? Контактная разность потенциалов *U*к между анодом и катодом равна

2 В, и контактное поле направлено от анода к катоду.

1. Какую разность потенциалов *U*з надо приложить между катодом и анодом, чтобы электрическое поле задерживало все фотоэлектроны? Задачу решить для случая цинкового катода, у которого «красная граница» фотоэффекта лежит при кр = 290 нм. Катод освещается монохроматическим излучением с длиной волны = 253,7 нм. Контактное поле между анодом и катодом тормозит электроны и соответствует раз- ности потенциалов *U*к = 0,5 В.
2. При поочерёдном освещении поверхности некоторого металла светом с длинами волн 1 = 0,35 мкм и 2 = 0,54 мкм обнаружено, что соответствующие максимальные скорости фотоэлектронов отличаются в = 2 раза. Определить работу выхода *А* электронов с поверхности металла.
3. При освещении катода вакуумного фотоэлемента монохроматическим излучением с длиной волны = 310 нм фототок прекращается при некотором задерживающем на- пряжении. При увеличении длины волны на 25% задерживающее напряжение ока- зывается меньше на *U*з = 0,8 В. Определить по этим экспериментальным данным постоянную Планка *h*.
4. Определить плотность тока насыщения *j*н, получаемого с фотокатода, если катод ос- вещается излучением с длиной волны = 360 нм, причём энергетическая освещён- ность равна *Е* = 60 мкВт/см2. Считать, что = 3% падающих фотонов выбивают электроны.
5. На поверхность металла падает лучистый поток = 5 мкДж/c. Длина волны падаю- щего света = 360 нм. Определить ток насыщения *I*н, если считать, что = 5% па- дающих фотонов выбивают электроны из металла.
6. Световой поток, падающий на фотокатод, создаёт ток насыщения *I*н = 1 мкА. При- нимая, что = 1% фотонов вызывают фотоэффект и что анод улавливает все осво- бождённые электроны, определить величину падающего светового потока . Длина волны падающего света λ = 400 нм.
7. Электромагнитное излучение с длиной волны = 300 нм падает на фотоэлемент, на- ходящийся в режиме насыщения. Соответствующая спектральная чувствительность составляет *J* = 4,8 мА/Вт. Найти квантовый выход *w*.

*Указание*. Квантовый выход число вылетевших электронов, приходящееся на один фо- тон, падающий на поверхность тела.

1. При освещении фотокатода монохроматическим излучением с длиной волны = 546 нм чувствительность составляет *J* = 12,5 мА/Вт. Вычислить квантовый выход *w* и задерживающий потенциал з, при котором фототок равен нулю. Работа выхода электрона для фотокатода *А* = 2 эВ.
2. Плоский серебряный электрод освещается монохроматическим излучением с дли- ной волны = 83 нм. Определить, на какое максимальное расстояние *x*max от по- верхности электрода может удалиться фотоэлектрон, если вне электрода имеется за- держивающее электрическое поле напряжённостью *Е* = 10 В/см. «Красная граница» для серебра кр = 264 нм.
3. Фотоны с энергией = 5 эВ вырывают фотоэлектроны из металла с работой выхода *А* = 4,7 эВ. Определить максимальный импульс *p*max, передаваемый поверхности это- го металла при вылете электрона.
4. Определить длину волны ультрафиолетового излучения, падающего на поверх- ность некоторого металла, при максимальной скорости фотоэлектронов *v*max = 10 Мм/с. Работой выхода электронов из металла пренебречь.
5. Определить максимальную скорость *v*max фотоэлектронов, вылетающих из металла под действием -излучения с длиной волны = 3 пм.
6. Определить максимальную скорость *v*max фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении -фотонами с энергией = 1,53 МэВ.
7. Максимальная скорость *v*max фотоэлектронов, вылетающих из металла при облуче- нии его -фотонами, равна 291 Мм/c. Определить энергию -фотонов.
8. Длина волны фотона равна комптоновской длине С электрона. Определить энер- гию и импульс *р* фотона.
9. Рентгеновское излучение с длиной волны = 7,210м рассеивается графитом. Оп- ределить длину волны рентгеновских лучей, рассеянных под углами 1 = и

2 = /2 к первоначальному направлению.

1. Определить комптоновское изменение длины волны при рассеянии рентгенов- ского излучения на протонах под углом = 120○ к первоначальному направлению.
2. Определить максимальное изменение ()max длины волны при комптоновском рас- сеянии: 1) на свободных электронах; 2) на свободных протонах.
3. В результате комптоновского рассеяния длина волны фотона с энергией = 0,3 МэВ изменилась на 20%. Определить энергию *W* электрона отдачи.
4. Фотон рентгеновского излучения с длиной волны = 2,1410м в результате эф- фекта Комптона испытал рассеяние под углом = /2 к первоначальному направле- нию. Какую часть *x* своей энергии фотон передал электрону?
5. В результате эффекта Комптона фотон с энергией = 0,3 МэВ испытал рассеяние под углом = 120○. Определить энергию рассеянного фотона и кинетическую энергию *W* электрона отдачи.
6. Фотон рентгеновского излучения при столкновении со слабо связанным электроном передаёт ему 25% своей энергии. Определить длину волны фотона, если рассеяние происходит под углом = 90○ к первоначальному направлению падающего излуче- ния.
7. Излучение с длиной волны = 70,8 пм рассеивается графитом. Наблюдается излу- чение, рассеянное под углом = 90○. Определить угол между падающим фотоном и электроном отдачи.
8. При облучении вещества рентгеновским излучением обнаружено, что максимальная кинетическая энергия *W*max электронов после комптоновского рассеяния составляет 0,44 МэВ. Определить длину волны падающего излучения.
9. Квант -излучения испытывает комптоновское рассеяние назад (= ) на свободном покоившемся электроне. Предполагая, что электрон отдачи является ультрареляти- вистским (*W* >> *mec*2) определить энергию рассеянного фотона.
10. Определить импульс *р* электрона отдачи при эффекте Комптона, если фотон с энер- гией, равной энергии покоя электрона был рассеян на угол = 180○.
11. Какая доля *x* энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если фотон претерпел рассеяние на угол = 180○. Энергия фотона до рассеяния

= 0,255 МэВ.

1. Фотон рассеялся под углом = 90○ на покоившемся свободном электроне. Угол , под которым вылетел электрон, равен 30○. Определить энергию падающего фото- на.
2. Узкий пучок монохроматического рентгеновского излучения падает на рассеиваю- щее вещество. При этом длины волн смещённых составляющих излучения, рассеян- ного под углами 1 = 60○ и 2 = 120○, отличаются друг от друга в = 2 раза. Считая, что рассеяние происходит на свободных электронах, найти длину волны падающе- го излучения.
3. Фотон с длиной волны = 6 пм рассеялся под прямым углом на покоившемся сво- бодном электроне. Найти: 1) частоту рассеянного фотона; 2) кинетическую энер- гию *W* электрона отдачи.
4. Фотон с импульсом *р* = 1,02 МэВ/*c*, где *c* скорость света, рассеялся на покоив- шемся свободном электроне, в результате чего импульс фотона стал *р* = 0,255 МэВ/*c*. Под каким углом рассеялся фотон?
5. Фотон рассеялся под углом = 120○ на покоившемся свободном электроне, в ре- зультате чего электрон получил кинетическую энергию *W* = 0,45 МэВ. Найти энер- гию фотона до рассеяния.
6. Фотон с энергией = 0,15 МэВ рассеялся на свободном электроне, в результате чего его длина волны изменилась на = 3 пм. Найти угол , под которым вылетел ком- птоновский электрон.
7. В параллельном пучке монохроматического излучения *N* = 7,6103 фотонов имеют суммарный импульс, равный среднему импульсу атома гелия (= 4 г/моль) при температуре *Т* = 300 К. Определить длину волны фотонов.
8. Нить лампы накаливания излучает «свет», средняя длина волны которого = 1200 нм. Сколько *n* фотонов ежесекундно испускается нитью, если мощность лампы *Р* = 200 Вт?
9. Чувствительность сетчатки глаза человека к электромагнитному излучению с дли- ной волны = 570 нм (жёлтый свет) составляет *Р*0 = 1,81018 Вт. Какому потоку *J*Ф фотонов это соответствует?
10. Лазерное излучение с длиной волны = 0,70 мкм распространяется в виде цилинд- рического пучка радиуса *r* = 0,10 мм. Мощность излучения лазера *Р* = 0,10 Вт. Оп- ределить плотности потоков фотонов *j*Ф, импульса *jр*, релятивистской массы *jm* в ла- зерном луче.
11. Вычислить длину волны де Бройля Б для: 1) -частицы; 2) нейтрона; 3) молекулы азота (= 28 г/моль), двигающихся с тепловой скоростью при температуре *t* = 25 ○C.
12. Вычислить кинетическую энергию *W*: 1) электрона; 2) молекулы кислорода (= 32 г/моль); 3) частицы, радиус которой *r* = 0,1 мкм и плотность = 2 г/см3, если каждой из этих частиц соответствует волна де Бройля Б = 0,1 нм.
13. При каком значении кинетической энергии *W* дебройлевская длина волны Б элек- трона равна его комптоновской длине волны С?
14. Электрон, движущийся со скоростью *v* = 5000 км/c, попадает в однородное уско- ряющее поле напряжённостью *Е* = 10 В/см. Какое расстояние *s* должен пройти элек- трон в поле, чтобы длина волны де Бройля Б стала равной 0,1 нм?
15. Какую энергию *W* необходимо дополнительно сообщить электрону, чтобы его деб- ройлевская длина волны уменьшилась от Б1 = 100 пм до Б2 = 50 пм?
16. Найти дебройлевскую длину волны Б молекул водорода (= 2 г/моль), соответст- вующую их наиболее вероятной скорости при комнатной температуре (*Т* = 300 К).
17. На узкую щель шириной *a* = 1 мкм направлен параллельный пучок электронов, имеющих скорость *v* = 3,65 Мм/с. Учитывая волновые свойства электронов, опреде- лить расстояние *x* между двумя максимумами первого порядка в дифракционной картине, полученной на экране, отстоящем на *l* = 10 см от щели.
18. Параллельный пучок моноэнергетических электронов падает нормально на диа- фрагму с узкой прямоугольной щелью ширины *a* = 1 мкм. Определить скорость *v* этих электронов, если на экране, отстоящем от щели на расстояние *l* = 50 см, ширина центрального дифракционного максимума *x* = 0,36 мм.
19. Параллельный поток электронов, ускоренных разностью потенциалов *U* = 25 В, па- дает на диафрагму с двумя узкими щелями, расстояние между которыми *d* = 50 мкм. Определить расстояние *x* между соседними максимумами интерференционной кар- тины на экране, расположенном на расстоянии *l* = 100 см от щелей.
20. Поток моноэнергетических электронов с дебройлевской длиной волны Б = 10 мкм, отвечающей «классическому» импульсу, падает нормально на щель шириной *a* = 0,10 мм. Оценить с использованием соотношения неопределённостей угловую ширину пучка за щелью.
21. След пучка электронов на экране электронно-лучевой трубки имеет диаметр

*d* 0, 5 мм. Расстояние от электронной пушки до экрана

*l* 20 см, ускоряющее на-

пряжение *U* = 10 кВ. Оценить с помощью соотношения неопределённостей неопре- делённость ∆*x* координаты электрона на экране.

1. Среднее время жизни атома в возбуждённом состоянии составляет 10с. При переходе в основное состояние атом испускает фотон со средней длиной волны

= 500 нм. Для ансамбля таких атомов оценить: 1) энергетическую ширину *W* ли- нии излучения; 2) спектральную ширину линии; 3) относительную ширину / линии.

1. Возбуждённый атом испускает фотон в течение 10с. Средняя длина волны из- лучения = 600 нм. Найти, с какой точностью могут быть определены энергия, дли- на волны и положение фотона в пространстве.

Индивидуальный график выполнения домашнего задания по теме «ФОТОЭФФЕКТ. ЭФФЕКТ КОМПТОНА. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ»

|  |  |
| --- | --- |
| Вариант | Задачи |
|  | 8 | 39 | 30 | 52 | 7 |
|  | 27 | 37 | 6 | 10 | 63 |
|  | 64 | 18 | 26 | 3 | 12 |
|  | 20 | 41 | 61 | 12 | 48 |
|  | 24 | 12 | 18 | 26 | 50 |
|  | 18 | 12 | 13 | 56 | 29 |
|  | 18 | 45 | 35 | 53 | 24 |
|  | 2 | 44 | 4 | 33 | 11 |
|  | 17 | 36 | 3 | 34 | 26 |
|  | 23 | 20 | 7 | 4 | 64 |
|  | 11 | 34 | 12 | 58 | 51 |
|  | 20 | 45 | 56 | 47 | 12 |
|  | 4 | 19 | 57 | 42 | 33 |
|  | 54 | 14 | 39 | 13 | 2 |
|  | 4 | 27 | 37 | 22 | 39 |
|  | 10 | 33 | 24 | 28 | 6 |
|  | 10 | 38 | 44 | 21 | 52 |
|  | 61 | 56 | 15 | 52 | 47 |
|  | 28 | 9 | 32 | 31 | 61 |
|  | 36 | 22 | 43 | 58 | 27 |
|  | 6 | 37 | 48 | 22 | 26 |
|  | 62 | 64 | 50 | 10 | 49 |
|  | 12 | 31 | 51 | 60 | 14 |
|  | 1 | 60 | 19 | 35 | 58 |
|  | 6 | 64 | 20 | 58 | 62 |
|  | 31 | 21 | 16 | 46 | 9 |
|  | 6 | 18 | 59 | 22 | 16 |
|  | 57 | 29 | 35 | 49 | 8 |
|  | 52 | 43 | 41 | 37 | 46 |
|  | 45 | 22 | 11 | 50 | 26 |