**ФОТОЭФФЕКТ (+магнитное поле, электрическое поле)**

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  | img041  img041 |
|  |  |
|  | ЕГЭ 2-3 |
|  | ЕГЭ 3-3 |
|  | ЕГЭ 4-3 |
|  | ЕГЭ 5-3 |
|  | ЕГЭ 1-3 |
|  | В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор емкостью С. При длительном освещении катода светом c длиной волны λ = 300 нм фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд q = 11⋅10–9 Кл. Работа выхода электронов из кальция А = 4,42⋅10–19 Дж. Определите емкость конденсатора С.   |  |  | | --- | --- | | Образец возможного решения | | | Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  .  Условие равенства максимальной кинетической энергии электрона потенциальной энергии электрона в электростатическом поле: .  Уравнение, связывающее разность потенциалов с зарядом на конденсаторе: .  Решая систему уравнений, получим ответ в общем виде:  .  Ответ: . | | | Критерии оценки выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:  1) верно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении — уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, формула для заряда конденсатора и условие равенства максимальной кинетической энергии фотоэлектрона энергии электрона в электростатическом поле); | 3 | |
|  | В вакууме находятся две покрытые кальцием пластинки, к которым подключен конденсатор емкостью *С =* 8000 пФ. При длительном освещении одной из пластинок светом фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд *q* = 11нКл. Работа выхода электронов из кальция *А*= 4,42⋅10–19 Дж. Определите длину волны λ света, освещающего пластинку.   |  | | --- | | **Образец возможного решения** | | Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: .  Фототок прекращается, когда максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона равна модулю работы электростатического поля при торможении электрона: . Следовательно, .  Поскольку , то  = 300 нм. | | **Критерии оценки выполнения задания** | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:  1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении — *уравнение фотоэффекта, условие прекращения вылета фотоэлектронов, связь заряда конденсатора с его емкостью и напряжением на пластинах*); | 3 | |
|  | Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода 4,42⋅10–19 Дж), освещается светом с длиной волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией 8,3⋅10–4 Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности, по которой движутся электроны?   |  |  | | --- | --- | | Образец возможного решения | | | Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  .  Уравнение, связывающее на основе второго закона Ньютона силу Лоренца, действующую на электрон, с величиной центростремительного ускорения:.  Решая систему уравнений, получим ответ в общем виде: . Ответ в числовой форме: R ≈ 4,7⋅10–3 м. | | | Критерии оценки выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:  1) верно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении — уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, второй закон Ньютона, формулы для силы Лоренца, центростремительного ускорения, взаимосвязи частоты и длины волны); | 3 | |
|  | Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода А = 4,42∙10–19 Дж), освещается светом с частотой ν = 2∙1015 Гц. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и движутся по окружности максимального радиуса R = 5 мм. Каков модуль индукции магнитного поля В?   |  |  | | --- | --- | | Образец возможного решения | | | Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: .  Уравнение, связывающее на основе второго закона Ньютона силу Лоренца, действующую на электрон, с величиной центростремительного ускорения: .  Решая систему уравнений, получим ответ: .  . | | | Критерии оценки выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:  1) верно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении — уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, второй закон Ньютона, формула для силы Лоренца, формула для центростремительного ускорения); | 3 | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  | Для увеличения яркости изображения слабых источников света используется вакуумный прибор – электронно-оптический преобразователь. В этом приборе фотоны, падающие на катод, выбивают из него фотоэлектроны, которые ускоряются разностью потенциалов  В и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны для света от источника  нм, а для света, излучаемого экраном,  нм. Во сколько раз N прибор увеличивает энергию светового излучения, падающего на катод? Считать, что один фотоэлектрон рождается при падении на катод в среднем   фотонов. Работу выхода электронов Авых принять равной 1 эВ. Считать, что энергия падающих на экран электронов переходит в энергию света без потерь.   |  |  | | --- | --- | | Возможное решение | | | В электрическом поле электрон приобретает энергию  эВ.  Начальная энергия фотоэлектронов  эВ. Она много меньше Е, и ею можно пренебречь.  Энергия одного падающего фотона  эВ.  На выбивание 1 электрона тратится: 10 Еф ≈ 15 эВ.  Следовательно, .  Ответ: N = 1000 | | | Критерии оценивания выполнения задания | Баллы | | Приведено полное решение, включающее следующие элементы:  I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: изменение энергии частицы при движении в электрическом поле, формула Эйнштейна для фотоэффекта, формула для расчёта энергии фотона); | 3 | |

ФОТОНЫ, АТОМ, ЯДРО (законы сохранения)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  | В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии (*Е*(1) = – 13,6 эВ) поглощает фотон и ионизуется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра со скоростью *υ* = 1000 км/с. Какова частота поглощенного фотона? Энергией теплового движения атомов водорода пренебречь.   |  |  | | --- | --- | | Образец возможного решения | | | Из условия задачи следует, что в балансе энергии не должна участвовать кинетическая энергия атома водорода и образовавшегося иона.  В таком случае кинетическая энергия электрона, вылетевшего из атома,  согласно закону сохранения энергии подчиняется равенству , где  – энергия поглощенного фотона. Отсюда получаем  и .    = . Ответ: . | | | Критерии оценки выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:  1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении — *формула для расчета кинетической энергии, закон сохранения энергии*); | 3 | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  | Предположим, что схема энергетических уровней атомов некоего вещества имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией Е(1). Электрон, столкнувшись с одним из таких атомов, отскочил, приобретя некоторую дополнительную энергию. Кинетическая энергия электрона до столкновения равнялась 2,3⋅10– 19 Дж. Определите импульс электрона после столкновения с атомом. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь, до столкновения атом считать неподвижным.     |  |  | | --- | --- | | Образец возможного решения | | | Если при столкновении с атомом электрон приобрел энергию, то атом перешел в состояние Е(0). Следовательно, после столкновения кинетическая энергия электрона стала равной Е = Е0 + 3,5 эВ, где Е0 — энергия электрона до столкновения; отсюда: Е = 2,3⋅10– 19 + 3,5⋅1,6⋅10– 19 ≈ 7,9⋅10– 19 (Дж).  Импульс р электрона связан с его кинетической энергией соотношением , где m — масса электрона. Следовательно,  р ≈ 1,2⋅10– 24 (кг⋅м/с)  Ответ: 1,2⋅10– 24 кг⋅м/с. | | | Критерии оценки выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:  1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении — постулаты Бора, закон сохранения энергии, связь импульса тела с его кинетической энергией); | 3 | |
|  | Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле индукцией *В*, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжелый ион нового элемента. Трек тяжелого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом *R*. Выделившаяся при α-распаде энергия *E* целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Найдите модуль отношения заряда к массе  для тяжелого иона.   |  |  | | --- | --- | | Образец возможного решения (рисунок не обязателен) | | | Ядро атома первоначально покоится, поэтому суммарный импульс продуктов реакции будет равен нулю. По условию задачи суммарная кинетическая энергия продуктов реакции равна ΔЕ. Поэтому законы сохранения энергии и импульса для α-распада ядра покоящегося нейтрального атома:  В магнитном поле под действием силы Лоренца ион начинает двигаться по дуге окружности. Уравнение движения тяжелого иона с зарядом q = – 2e в магнитном поле:  = . | | | Решая систему трех уравнений, получаем:  ΔE = ⋅,  откуда ≈ 9.105 Кл/кг. | | | Критерии оценки выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:  1) приведены комментарии к использованию законов сохранения энергии и импульса, движения частицы в магнитном поле, верно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении — *законы сохранения энергии и импульса, второй закон Ньютона и формулы расчета центростремительного ускорения и силы Лоренца*); | 3 | |
|  | Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в одно­родном магнитном поле индукцией 0,50 Тл, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжелый ион нового элемента. Трек тяжелого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружнос­ти радиусом 78 см. Выделившаяся при α-распаде энергия 7,44 МэВ целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Найдите модуль отношения заряда к массе  для тяжелого иона.  **Образец возможного решения**  α-распад сопровождается образованием α-частииы с зарядом +2е и отрицательного иона тяжелого элемента с за­рядом -2е, где е —элементарный заряд (закон сохранения электрического заряда).  Ядро атома первоначально покоится, поэтому суммар­ный импульс продуктов реакции будет равен нулю:  или mV = Mu (1)  где т и M— массы, V и и — скорости α-частицы и иона соответственно.  3. По условию задачи суммарная кинетическая энергия продуктов реакции равна W:  (2)  В магнитном поле под действием силы Лоренца ион начинает двигаться по дуге окружности с центростремительным ускорением  . Величина силы Лоренца, действующей на ион, зависит от заряда иона, его скорости, индукции магнитного поля, взаимной ориентации векторов и и В:  Поскольку по условию задачи трек тяжелого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля, то сила Лоренца принимает максимальное значение: Fл = quB, или для данного иона: Fл = 2еиВ.  Так как сила Лоренца — единственная, которую нужно принимать во внимание в данной ситуации, то в соответ­ствии со вторым законом Ньютона Ma = Fл, или с учетом приведенных выше формул:  . (3)  Решая систему из трех уравнений (1 – 3), получаем:    Откуда  Домножив левую и правую части на, получим   |  |  | | --- | --- | | Критерии оценки выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включа­ющее следующие элементы:  приведены комментарии к использованию за­конов сохранения энергии и импульса, дви­жения частицы в магнитном поле, верно за­писаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в дан­ном случае — *законы сохранения энергии и импульса, второй закон Ньютона и формулы расчета центростремительного ускорения и силы Лоренца*); | 3 | |

**РАЗНОЕ**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | При изучении давления света проведены два опыта с одним и тем же лазером. В первом опыте свет лазера направляется на пластинку, покрытую сажей, а во втором – на зеркальную пластинку такой же площади. В обоих опытах пластинки находятся на одинаковом расстоянии от лазера и свет падает перпендикулярно поверхности пластинок.  Как изменится сила давления света на пластинку во втором опыте по сравнению с первым? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.   |  |  | | --- | --- | | Возможное решение | | | 1. Сила давления света во втором опыте больше, чем в первом.  2. В обоих опытах происходит поглощение световой волны. Этот процесс можно рассматривать как поглощение за время t большого числа N>>1 квантов света – фотонов. Каждый фотон при поглощении передаёт пластинке импульс , поэтому пластинка получает импульс, равный сумме импульсов поглощённых фотонов: .  3. В результате поглощения света пластинкой, покрытой сажей, она приобретает за время t импульс  в направлении распространения света от лазера. В соответствии с законом изменения импульса тела в инерциальной системе отсчёта скорость изменения импульса тела равна силе, действующей на него со стороны других тел или полей:  .  4. В результате отражения света от зеркальной пластины отражённый квант имеет импульс, противоположный по знаку импульсу кванта падающей волны: , поэтому отражённая волна имеет импульс . В итоге за время t импульс волны под действием зеркальной пластинки изменился. Это изменение  .  Импульс системы световая волна + зеркальная пластинка сохраняется:  поэтому . Но изменение импульса тела в инерциальной системе отсчёта происходит только под действием других тел или полей и характеризуется силой  .  Для хорошего зеркала  поэтому .  5. Сравнивая выражения для силы F1, действующей на пластинку, покрытую сажей, и силы F2, действующей на зеркало, приходим к выводу, что | | | Критерии оценивания выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае сила давления света увеличивается, п. 1), и полное верное объяснение (в данном случае п. 2–4) с указанием наблюдаемых явлений и законов  (в данном случае: связь силы со скоростью передачи импульса, разница в передаваемом импульсе при падении фотона на зеркало и на поглощающую пластину, выражения для энергии и импульса фотонов) | 3 | |
|  |  |
|  |  |
|  | Излучением лазера с длиной волны  м за время  с был расплавлен лёд массой 1 кг, взятый при температуре 0 °С, и полученная вода была нагрета на 100 °С. Сколько фотонов излучает лазер за 1 с? Считать, что 50% излучения поглощается веществом.   |  |  | | --- | --- | | Возможное решение | | | 1. Запишем выражение для энергии фотона:  .  Найдём энергию всех фотонов, излучаемых за время t:  где N – число фотонов, излучаемых за  с.  2. Найдём количество теплоты, которое требуется для плавления льда  и нагревания воды:  .  3. Используем закон сохранения энергии с учетом коэффициента  поглощения    4. Отсюда получим ответ:    Ответ: | | | Критерии оценивания выполнения задания | Баллы | | Приведено полное решение, включающее следующие элементы:  I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: формулы для энергии фотона, для количества теплоты, необходимого для плавления льда и нагревания воды, закон сохранения энергии); | 3 | |
|  | Определите коэффициент полезного действия атомной электростанции, расходующей за неделю уран-235  массой 1,4 кг, если её мощность равна 38 МВт. При делении одного ядра урана-235 выделяется энергия 200 МэВ.   |  |  | | --- | --- | | Возможное решение | | | Коэффициент полезного действия электростанции , где   – энергия, вырабатываемая электростанцией,  – энергия, выделяющаяся в результате ядерных реакций деления урана. В свою очередь,  где  – мощность электростанции,  – время её работы, а , где  – энергия, выделяющаяся в результате деления одного ядра урана,  – количество распавшихся ядер урана. Молярная масса урана-235 равна  кг/моль, следовательно, число распавшихся атомов можно связать с массой урана соотношением: . В итоге, получаем:    Ответ: | | | Критерии оценивания выполнения задания | Баллы | | Приведено полное решение, включающее следующие элементы:  I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: выражения для КПД; энергии, выделяющейся при ядерных реакциях; количества распавшихся ядер); | 3 | |
|  | Для разгона космических аппаратов и коррекции их орбит предложено использовать солнечный парус – скрепленный с аппаратом легкий экран большой площади из тонкой пленки, которая зеркально отражает солнечный свет. Какой должна быть площадь паруса S, чтобы аппарат массой 500 кг (включая массу паруса) имел ускорение 10–4g? Мощность W солнечного излучения, падающего на 1 м2 поверхности паруса, перпендикулярной солнечным лучам, составляет 1370 Вт/м2.   |  |  | | --- | --- | | Образец возможного решения | | | Формула для давления света при его зеркальном отражении: *р* = .  Для силы давления можно записать: *F* = ,  II закон Ньютона: *F* = *ma*.  Выполнив математические преобразования, получим ответ в общем виде:  *S* =  и числовой ответ:  *S* = 5,5∙104 м2. | | | Критерии оценки выполнения задания | Баллы | | Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:   1. Правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – *второй закон Ньютона, формула для давления света при зеркальном отражении*); | 3 | |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  | Мощность излучения лазерной указки с длиной волны  нм равна  мВт. Определите число фотонов, излучаемых указкой за 1 с.   |  |  | | --- | --- | | Возможное решение | | | 1. Для энергии одного фотона запишем:  ,  где *с* – скорость света в вакууме.  2. Мощность излучения указки:  , где  – число фотонов в единицу времени.  3. Число излученных фотонов в единицу времени:  с–1.  Ответ:  с–1 | | | Критерии оценивания выполнения задания | Баллы | | Приведено полное решение, включающее следующие элементы:  I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: *энергия фотона; мощность излучения указки*); | 3 | |
|  | В открытый контейнер поместили 1,5 г изотопа полония-210  Затем контейнер герметично закрыли. Изотоп полония радиоактивен и претерпевает альфа-распад с периодом полураспада примерно 140 дней, превращаясь в стабильный изотоп свинца. Через 5 недель давление внутри контейнера составило 1,4·105 Па. Определите объём контейнера. Температура внутри контейнера поддерживается постоянной и равна 45 °С. Атмосферное давление равно 105 Па.   |  |  | | --- | --- | | Возможное решение | | | 1. В герметично закрытом контейнере первоначально находятся полоний и атмосферный воздух. В процессе радиоактивного распада полония в контейнере будут образовываться атомы свинца и гелия, в результате чего искомое давление в контейнере будет складываться из парциальных давлений воздуха  и гелия  т.е.  2. Парциальное давление гелия можно определить с помощью уравнения Клапейрона – Менделеева: , где – объём контейнера;   – абсолютная температура в нём;  и  – соответственно масса и молярная масса гелия.  3. К определённому моменту времени  число атомов гелия  равно числу распавшихся атомов полония и может быть определено с помощью закона радиоактивного распада:  и , где  – начальное число атомов полония;  и  – соответственно начальная масса полония и его молярная масса  (0,210 кг/моль);  – оставшееся к моменту времени  число атомов полония;  – период полураспада полония.  4. Число молей получившегося в результате распада гелия равно числу молей распавшегося полония:  следовательно, .  В результате математических преобразований получаем:    Ответ: 75 см3 | | | Критерии оценивания выполнения задания | Баллы | | Приведено полное решение, включающее следующие элементы:  I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: *уравнение Клапейрона – Менделеева, закон Дальтона, закон радиоактивного распада*); | 3 | |
|  | В открытый контейнер объёмом 80 мл поместили изотоп полония-210  Затем контейнер герметично закрыли. Изотоп полония радиоактивен и претерпевает альфа-распад с периодом полураспада примерно 140 дней, превращаясь в стабильный изотоп свинца. Через 5 недель давление внутри контейнера составило 1,3·105 Па. Какую массу полония первоначально поместили в контейнер? Температура внутри контейнера поддерживается постоянной и равна 45 °С. Атмосферное давление равно 105 Па.   |  |  | | --- | --- | | Возможное решение | | | 1. В герметично закрытом контейнере первоначально находятся полоний и атмосферный воздух. В процессе радиоактивного распада полония в контейнере будут образовываться атомы свинца и гелия, в результате чего искомое давление в контейнере будет складываться из парциальных давлений воздуха  и гелия  т.е.  2. Парциальное давление гелия можно определить с помощью уравнения Клапейрона – Менделеева: , где – объём контейнера;   – абсолютная температура в нём;  и  – соответственно масса и молярная масса гелия.  3. К определённому моменту времени  число атомов гелия  равно числу распавшихся атомов полония и может быть определено с помощью закона радиоактивного распада:  и , где  – начальное число атомов полония;  и  – соответственно начальная масса полония и его молярная масса  (0,210 кг/моль);  – оставшееся к моменту времени  число атомов полония;  – период полураспада полония.  4. Число молей получившегося в результате распада гелия равно числу молей распавшегося полония:  следовательно, .  В результате математических преобразований (в решении они должны быть представлены) получаем:    Ответ:  г | | | Критерии оценивания выполнения задания | Баллы | | Приведено полное решение, включающее следующие элементы:  I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: уравнение Клапейрона – Менделеева, закон Дальтона, закон радиоактивного распада); | 3 | |