**Задания с развернутым ответом по квантовой физике**

**1.** Фотокатод облучают светом с длиной волны λ = 300 нм. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода λ0 = 450 нм. Какое напряжение Uнужно создать между анодом и катодом, чтобы фототок прекратился?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  (1)  Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:   (2)  Выражение для запирающего напряжения – условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле:  (3)  Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:  ≈ 1,4 B. |

**2.** Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода λ0 = 450 нм. При облучении катода светом с длиной волны λ фототок прекращается, когда напряжение между анодом и катодом U = 1,4 В. Определите длину волны λ.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  (1). Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:    (2) .  Выражение для запирающего напряжения – условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле:  (3).  Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:  ≈ 300 нм. |

**3.** При облучении катода светом с длиной волны λ = 300 нм фототок прекращается, когда напряжение между анодом и катодом U = 1,4 В. Определите красную границу фотоэффекта λ0 для вещества фотокатода.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  (1). Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:   (2).  Выражение для запирающего напряжения – условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения потенциальной энергии электрона при его перемещении в электростатическом поле:  (3).  Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем ответ:  = 450 нм. |

**3.** Покоящийся атом водорода в основном состоянии (*Е*1 = – 13,6 эВ) поглощает в вакууме фотон c длиной волны λ = 80 нм. С какой скоростью движется вдали от ядра электрон, вылетевший из атома в результате ионизации? Кинетической энергией образовавшегося иона пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Из условия следует, что кинетическая энергия исходного атома и кинетическая энергия образовавшегося иона в балансе энергии не участвуют.  Энергия поглощенного фотона . Согласно закону сохранения энергии, , где *Ек* — кинетическая энергия электрона, вылетевшего из атома, . Отсюда и ,  .  Ответ: . |

**4.** Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой эВ, где *n* = 1, 2, 3, … . При переходе атома из состояния *Е*2 в состояние *Е*1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Частота света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, νкр = 6⋅1014 Гц. Чему равна максимально возможная скорость фотоэлектрона?



|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Энергия фотона .  Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: .  Отсюда *υ*max *=* 1,65⋅106 м/с.  Ответ: *υ*max1,65⋅106 м/с. |

**5.** Препарат с активностью 1,7⋅1011 частиц в секунду помещён в металлический контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на 5,2 К. Известно, что данный препарат испускает -частицы с энергией 5,3 МэВ, причём практически вся энергия -частиц переходит во внутреннюю энергию контейнера. Найдите удельную теплоёмкость металла контейнера. Теплоёмкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| За время *t* в препарате выделяется количество теплоты *Q* = *A*⋅*ε*⋅Δ*t*, где  *А* – активность препарата*, ε* – энергия α-частицы.  Изменение температуры контейнера определяется равенством  *Q* = *с*⋅*m*⋅Δ*T*, где *с* – удельная теплоемкость металла, *m* – масса контейнера, Δ*Т* – изменение температуры контейнера.  Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера. Отсюда *c* = . *c* ≈ 400 Дж/(кгK).  Ответ: *c* ≈ 400 Дж/(кгK). |

**6.** В массивном образце, содержащем радий, за 1 с испускается 3,7⋅1010   
-частиц, движущихся со скоростью 1,5⋅107 м/с. Найдите энергию, выделяющуюся за 1 ч. Масса -частицы равна 6,7⋅10–27 кг. Энергией отдачи ядер, γ-излучением и релятивистскими эффектами пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Энергия одной -частицы: *Е*1 = .  За время *t* = 1 с в образце выделяется энергия: *E* = *NE*1 = *N*.  За время *Т* = 1 ч выделяется энергия: *E* = *E* = *N*.  Ответ: *E* 100 Дж. |

**7.** Свободный пион (π0-мезон) с энергией покоя 135 МэВ движется со скоростью *V*, которая значительно меньше скорости света. В результате его распада образовались два γ-кванта, причём один из них распространяется в направлении движения пиона, а другой – в противоположном направлении. Энергия одного кванта на 10% больше, чем другого. Чему равна скорость пиона до распада?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Пион, движущийся со скоростью *V*, имеет импульс и энергию , где *m* – масса пиона.  Энергия γ-кванта *E*γ и его импульс *р*γ связаны соотношением: .  При распаде пиона на два кванта энергия системы и её импульс сохраняются:  , .  Разделив второе уравнение на первое, получим: .  По условию задачи , так что .  Ответ: . |



**8.** На рисунке изображены энергетические уровни атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Какова длина волны для фотонов, излучаемых при переходе с уровня Е4 на уровень Е1, если 13 = 400 нм, 24 = 500 нм, 32 = 600 нм?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней. Поэтому имеем:  ν41 = ν31 + ν43, ν43 = ν42 – ν32. Отсюда: ν41 = ν31 + ν42 – ν32.  Имеем: ,  , .  Поэтому ν41 = 0,85⋅1015 Гц,  λ41 = . |

**9.** На рисунке представлены несколько энергетических уровней электронной оболочки атома и указаны частоты фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах между этими уровнями. Какова минимальная длина волны фотонов, излучаемых атомом при любых возможных переходах между уровнями Е1, Е2, Е3 и Е4, если ν13 = 7·1014 Гц, ν24 = 5·1014 Гц, ν32 = 3·1014 Гц?



|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Минимальная длина волны соответствует максимальной частоте. Частота фотона, испускаемого атомом при переходе с одного уровня энергии на другой, пропорциональна разности энергий этих уровней. Поэтому искомая частота равна ν41,  ν41 = ν13 + ν24 – ν32 = 1014(7 + 5 – 3) = 9⋅1014 (Гц),  = 3,3⋅10–7 (м). |

**10.** Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжелый ион нового элемента. Выделившаяся при α-распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек   
α-частицы находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом r. Масса α-частицы равна mα, ее заряд равен 2e, масса тяжелого иона равна M. Найдите индукцию B магнитного поля.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Законы сохранения энергии и импульса для α-распада ядра покоящегося нейтрального атома:  Уравнение движения α-частицы в магнитном поле:  Решая систему трех уравнений, получаем:  откуда |

**11.** Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле индукцией B, 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 ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Масса α-частицы равна mα, ее заряд равен 2e. Найдите модуль отношения заряда к массе  для тяжелого иона.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Законы сохранения энергии и импульса для α-распада ядра покоящегося нейтрального атома:  Уравнение движения тяжелого иона с зарядом q = – 2e в магнитном поле:  = .  Решая систему трех уравнений, получаем: ΔE = ⋅,  откуда |

**12.** Ядро покоящегося нейтрального атома, находясь в однородном магнитном поле, испытывает α-распад. При этом рождаются α-частица и тяжелый ион нового элемента. Выделившаяся при α-распаде энергия ΔE целиком переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек тяжелого иона находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности радиусом R. Масса α-частицы равна mα, ее заряд равен 2e, масса тяжелого иона равна M. Найдите индукцию B магнитного поля.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Законы сохранения энергии и импульса для α-распада ядра покоящегося нейтрального атома:  Уравнение движения тяжелого иона с зарядом q = – 2e в магнитном поле:  = .  Решая систему трех уравнений, получаем: ΔE = ⋅,  откуда В = ⋅. |

**13.** Препарат активностью 1,7⋅1011 частиц в секунду помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. На сколько повысилась температура контейнера за 1 ч, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает   
-частицы энергией 5,3 МэВ? Считать, что энергия всех -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию контейнера. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| За время *t* в препарате выделяется количество теплоты *Q* = *A*⋅*ε*⋅Δ*t*, где  *А* – активность препарата*, ε* – энергия α-частицы, Δ*t* – время.  Изменение температуры контейнера определяется равенством  *Q* = *с*⋅*m*⋅Δ*T*, где *с* – удельная теплоемкость меди, *m* – масса контейнера, Δ*Т* – изменение температуры контейнера.  Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера. Отсюда Δ*T* = . Δ*T* ≈ 2,7 K. |

**14.** Препарат активностью 1,7⋅1011 частиц в секунду помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. За какое время температура контейнера повышается на 1 К, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает -частицы энергией 5,3 МэВ? Считать, что энергия всех -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| За время t в препарате выделяется количество теплоты Q = A⋅ε⋅Δt, где  А – активность препарата, ε – энергия α-частицы, Δt – время.  Изменение температуры контейнера определяется равенством  Q = с⋅m⋅ΔT, где с – удельная теплоемкость меди, m – масса контейнера, ΔТ – изменение температуры контейнера.  Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера. Отсюда Δt = . Δt ≈ 23 мин. |

**15.** Радиоактивный препарат помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. За 2 ч температура контейнера повысилась на 5,2 К. Известно, что данный препарат испускает -частицы энергией 5,3 МэВ, причем энергия всех -частиц полностью переходит во внутреннюю энергию. Найдите активность препарата А, т.е. количество -частиц, рождающихся в нем за 1 с. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| За время t в препарате выделяется количество теплоты Q = A⋅ε⋅Δt, где  А – активность препарата, ε – энергия α-частицы, Δt – время.  Изменение температуры контейнера определяется равенством  Q = с⋅m⋅ΔT, где с – удельная теплоемкость меди, m – масса контейнера, ΔТ – изменение температуры контейнера.  Выделившееся количество теплоты идет на нагревание контейнера. Отсюда А = . А ≈ 1,71011 с–1. |

16. 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, перпендикулярной солнечным лучам, составляет 1370 Вт/м2.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Для простоты предположим, что солнечное излучение состоит из фотонов одинаковой частоты ν. Тогда W = Nhν, где N — число фотонов, падающих на 1 м2 паруса. Импульс каждого фотона , а импульс N фотонов . При зеркальном отражении, в соответствии с законом сохранения импульса, они передают 1 м2 паруса удвоенный импульс, создавая давление р = . При этом сила давления на весь парус  F = . Эта сила вызывает ускорение *а* космического аппарата, рассчитываемая по II закону Ньютона: F = m*a*.  Из двух последних уравнений получаем: S =  = 5,5∙104 м2. |

17. 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. Найдите массу космического аппарата, снабженного парусом в форме квадрата размерами 100 м × 100 м, которому давление солнечных лучей сообщает ускорение 10–4 g. Мощность W солнечного излучения, падающего на 1 м2 поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, составляет 1370 Вт/м2.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Для простоты предположим, что солнечное излучение состоит из фотонов одинаковой частоты ν. Тогда W = Nhν, где N — число фотонов, падающих на 1 м2 паруса. Импульс каждого фотона , а импульс N фотонов . При зеркальном отражении, в соответствии с законом сохранения импульса, они передают 1 м2 паруса удвоенный импульс, создавая давление р = . При этом сила давления на весь парус  F = . Эта сила вызывает ускорение *а* космического аппарата, рассчитываемая по II закону Ньютона: F = m*a*.  Из двух последних уравнений получаем: m =  = 91 кг. |

18. Фотокатод облучают светом с длиной волны λ = 300 нм. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода λ0 = 450 нм. Какое напряжение Uнужно создать между анодом и катодом, чтобы фототок прекратился?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, .  Красная граница фотоэффекта определяется работой выхода:  .  Запирающее напряжение определяется из равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле: .  Решая систему полученных уравнений, находим: ≈1,4 B. |

19. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода λ0 = 450 нм. При облучении катода светом с длиной волны λ фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом U = 1,4 В. Определите длину  
волны λ.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, .  Красная граница фотоэффекта определяется работой выхода:  .  Запирающее напряжение определяется из равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле: .  Решая систему полученных уравнений, находим: ≈ 300 нм. |

20. При облучении катода светом с длиной волны λ = 300 нм фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом U = 1,4 В. Определите красную границу фотоэффекта λ0 для вещества фотокатода.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, .  Красная граница фотоэффекта определяется работой выхода:  .  Запирающее напряжение определяется из равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле: .  Решая систему полученных уравнений, находим:  = 450 нм. |

21. Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода А = 4,42⋅10–19 Дж), освещается светом с длиной волны λ = 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией В = 8,3⋅10–4 Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности R, по которой движутся электроны?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно II закону Ньютона, сила Лоренца, действующая на электрон, связана с его центростремительным ускорением: .  Скорость электрона находим из уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  .  В результате получаем:  = 4,7⋅10–3 (м). |

22. Фотокатод, покрытый кальцием, освещается светом с длиной волны λ = 225 нм. Работа выхода электронов из кальция равна Авых = 4,42⋅10–19 Дж. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции этого поля и движутся по окружности с максимальным радиусом R = 5 мм. Каков модуль индукции магнитного поля В?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно II закону Ньютона, сила Лоренца, действующая на электрон, связана с его центростремительным ускорением: .  Скорость электрона находим из уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  hν = Авых + Ек или  = Авых + Ек.  В результате получаем:  = 1,1⋅10–3 (Тл). |

23. 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?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно II закону Ньютона, сила Лоренца, действующая на электрон, связана с его центростремительным ускорением: .  Скорость электрона находим из уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  .  В результате получаем: . |

24. Какие максимальные скорость и импульс получат электроны, вырванные из натрия излучением с длиной волны 66 нм, если работа выхода составляет

4⋅10–19Дж?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Скорость электрона находим из уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  hν = A +; или  = A +, откуда :  = 2,4⋅106 (м/с).  Импульс электрона: p = mv = 21,8⋅10–25 (кг⋅м/с). |

25. Фотоны, имеющие энергию 5 эВ, выбивают электроны с поверхности металла. Работа выхода электронов из металла равна 4,7 эВ. Какой импульс приобретает электрон при вылете с поверхности металла?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Импульс электрона: p = mv.  Скорость электрона находим из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:  hν= Авых + .  Отсюда: p =  = 3⋅10–25 (кг⋅м/с). |

26. Чему равна скорость электронов, выбиваемых из металлической пластины, если при задерживающем напряжении на ней U = 3 В фотоэффект прекращается?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Запирающее напряжение определяется из равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле: .  Отсюда: v = = 106 (м/с). |

27. Какова максимальная скорость электронов, выбиваемых из металлической пластины светом с длиной волны λ = 3⋅10–7 м, если красная граница фотоэффекта 540 нм?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, .  Красная граница фотоэффекта определяется работой выхода:  .  Отсюда: v =  = 800 (км/с). |

28. При какой температуре газа средняя энергия теплового движения атомов одноатомного газа будет равна энергии электронов, выбиваемых из металлической пластинки с работой выхода Авых = 2 эВ при облучении монохроматическим светом с длиной волны 300 нм?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Средняя кинетическая энергия теплового движения атомов к= kT.  Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: = Авых + Eк.  По условию задачи, к = Ек, т.е. kT =  – Авых.  Отсюда: T =  ≈ 16⋅103 (К). |

29. В вакууме находятся два покрытых кальцием электрода, к которым подключен конденсатор емкостью С = 8000 пФ. При длительном освещении катода светом 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 длину волны λ света, освещающего катод.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, .  Запирающее напряжение определяется из равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле: .  Разность потенциалов связана с зарядом конденсатора: .  Решив полученную систему уравнений, находим:  = 300 (нм). |

30. При облучении катода светом частотой ν = 1,0⋅1015 Гц фототок прекращается при приложении между анодом и катодом напряжения U = 1,4 В. Чему равна частотная красная граница фотоэффекта ν0 для вещества фотокатода (в Гц)?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, .  Красная граница фотоэффекта определяется работой выхода:  .  Запирающее напряжение определяется из равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле: .  Решая систему полученных уравнений, находим:  = 6,6⋅1014 Гц. |

31. 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.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта, .  Запирающее напряжение определяется из равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле: .  Разность потенциалов связана с зарядом конденсатора: .  Решив полученную систему уравнений, находим:  = . |

32. 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 *Е*= 5·104 В/м. До какой скорости электрон разгонится в этом поле, пролетев путь *S* = 5·10–4 м? Релятивистские эффекты не учитывать.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Начальная скорость вылетевшего электрона . Формула, связывающая изменение кинетической энергии частицы с работой силы со стороны электрического поля:  Работа силы связана с напряженностью поля и пройденным путем:    Отсюда 2 = ,  = .  Ответ:  ≈ 3·106 м/с. |

33. Источник в монохроматическом пучке параллельных лучей за время Δ*t* = 8·10–4 с излучает *N* = 5·1014 фотонов. Лучи падают по нормали на площадку *S* = 0,7 см2 и создают давление *P* = 1,5·10–5 Па. При этом 40% фотонов отражается, а 60% поглощается. Определите длину волны излучения.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Выражение для давления света  .  (1)  (Формула (1) следует из:  и )  Формулы для изменения импульса фотона при отражении и поглощении лучей ; число отраженных  и поглощенных  фотонов.  Тогда выражение (1) принимает вид .  Для импульса фотона .  Выражение для длины волны излучения .  Ответ: λ . |

34. При облучении металлической пластинки квантами света с энергией 3 эВ из нее выбиваются электроны, которые проходят ускоряющую разность потенциалов . Какова работа выхода *А*вых, если максимальная энергия ускоренных электронов *Е*е равна удвоенной энергии фотонов, выбивающих их из металла?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: *h*ν = *Е*к+ *A* или *h*ν = + *А*вых.  Энергия ускоренных электронов: *Е*е =  + *е*Δ*U* = *h*ν – *А*вых + *е*Δ*U.* (1)  По условию *Е*е = 2*h*ν.  (2)  Отсюда *А*вых = *е*Δ*U* – *h*ν.  Ответ:  *А*вых = 2 эВ. |

35. Красная граница фотоэффекта для вещества фотокатода λ0 = 290 нм. При облучении катода светом с длиной волны λ фототок прекращается при напряжении между анодом и катодом *U* = 1,9 В. Определите длину  
волны λ.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: . (1)  Условие связи красной границы фотоэффекта и работы выхода:  = *A*. (2)  Выражение для запирающего напряжения – условие равенства максимальной кинетической энергии электрона и изменения его потенциальной энергии при перемещении в электростатическом поле:  = *eU*. (3)  Решая систему уравнений (1), (2) и (3), получаем: .  Ответ: λ ≈ 200 нм. |

36. В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии (Е1 = – 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.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| При поглощении фотона атом приобретает импульс. Судя по условию задачи, этим импульсом можно пренебречь. Не учитывается и тепловое движение атомов. Следовательно, после ионизации атом тоже можно считать неподвижным.  Энергия поглощенного фотона, согласно закону сохранения энергии,  , где *Ек* — кинетическая энергия электрона, вылетевшего из атома, , , соответственно, ,  и .    = . Ответ: . |

37. Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой эВ, где *n* = 1, 2, 3, … . При переходе атома из состояния *Е*2 в состояние *Е*1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, λкр = 300 нм. Чему равна максимальная возможная скорость фотоэлектрона?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Энергия фотона .  Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: .  Отсюда *υ*max *=* 1,46⋅106 (м/с).  Ответ: *υ*max1,46⋅106 (м/с). |

38. 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 ∆*U* = 15000 В и бомбардируют флуоресцирующий экран, рождающий вспышку света при попадании каждого электрона. Длина волны для падающего на катод света λ1 = 820 нм, а для света, излучаемого экраном, λ2 = 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 *А*вых 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  Е = еΔU = 15000 (эВ).  Начальная энергия фотоэлектронов . Она много меньше Е, и ею можно пренебречь. Число фотонов, выбиваемых электронами, пропорционально числу электронов и отношению энергии электрона к энергии фотона Еф =  : ; число падающих фотонов nф1 = knэл. Отсюда: N =  =  ≈ 500.  Ответ: N ≈ 500. |

39. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн соответственно λ1 = 350 нм и λ2 = 540 нм. В этих опытах максимальные скорости фотоэлектронов отличались в **= 2 раза. Какова работа выхода с поверхности металла?

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта в первом опыте:  (1)  Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта во втором опыте:  (2)  Связь длины волны света с частотой в первом опыте:  (3)  Связь длины волны света с частотой во втором опыте:  (4)  Отношение максимальных скоростей фотоэлектронов:  . (5)  Решая систему уравнений (1) – (5), получаем: .  Ответ: *Авых* ≈ 3,0⋅10–19 Дж ≈ 1,9 эВ. |

40. π0-мезон массой 2,4⋅10–28 кг распадается на два γ-кванта. Найдите модуль импульса одного из образовавшихся γ-квантов в системе отсчета, где первичный π0-мезон покоится.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно закону сохранения импульса, фотоны от распада покоящегося π0-мезона разлетаются в противоположные стороны с равными по величине импульсами: . Энергия каждого фотона связана с величиной его импульса соотношением *Е* = *рс*.  Согласно релятивистскому закону сохранения энергии, в распаде  *mc*2 = 2*рс*.  Следовательно, |*p*| = *mc*/2.  Ответ:  кг∙м/с. |

41. Образец, содержащий радий, за 1 с испускает 3,7⋅1010 -частиц. За 1 ч выделяется энергия 100 Дж. Каков средний импульс -частиц? Масса   
-частиц равна 6,7⋅10–27 кг. Энергией отдачи ядер, γ-излучением и релятивистским эффектами пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| За время t = 1 с в образце выделяется энергия: *E* = *E*.  Энергия одной -частицы: *Е*1 =  = .  Импульс -частицы: *р* =  = .  *р*  1,0⋅10–19 кг⋅м/с. |

42. Препарат, активность которого равна 1,7⋅1012 частиц в секунду, помещен в калориметр, заполненный водой при 293 К. Сколько времени потребуется, чтобы довести до кипения 10 г воды, если известно, что данный препарат испускает -частицы энергией 5,3 МэВ, причем энергия всех   
-частиц полностью переходит во внутреннюю энергию? Теплоемкостью препарата, калориметра и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| За время *t* в препарате выделяется количество теплоты *Q* = *A*⋅*ε*⋅Δ*t*, где  *А* – активность препарата*, ε* – энергия α-частицы, Δ*t* – время.  Изменение температуры воды определяется равенством *Q* = *с*⋅*m*⋅Δ*T*,  где *с* – удельная теплоемкость меди, *m* – масса воды, Δ*Т* – изменение температуры воды.  Выделившееся количество теплоты идет на нагревание воды.  Отсюда *t* = . Ответ: *t* ≈ 2330 с ≈ 39 мин. |

43. При облучении металлической пластинки быстрыми α-частицами небольшая часть этих частиц в результате упругого взаимодействия с ядрами атомов меняет направление скорости на противоположное (аналог опыта Резерфорда). Найдите заряд ядра, если минимальное расстояние, на которое сближались ядро и частица, составило 5∙10–13 см. Масса и скорость α-частиц составляют соответственно 7∙10–27 кг и 26∙103 км/с. (Частицу считать точечной, а ядро – точечным и неподвижным. Релятивистским эффектом пренебречь. Потенциальная энергия ядра и α-частицы , где *r* – расстояние между ядром и α-частицей).

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Согласно закону сохранения энергии, Епот = Ек,0, где Ек =  — первоначальная кинетическая энергия α-частицы.  Поскольку , получаем:  = ; qядра =  ≈ 42∙10– 19 (Кл). |

44. Предположим, что схема энергетических уровней атомов некоего вещества имеет вид, показанный на рисунке, и атомы находятся в состоянии с энергией Е(1). Электрон, движущийся с кинетической энергией 1,5 эВ, столкнулся с одним из таких атомов и отскочил, приобретя некоторую дополнительную энергию. Определите импульс электрона после столкновения, считая, что до столкновения атом покоился. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.



|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Если при столкновении с атомом электрон приобрел энергию, то атом перешел в состояние Е(0). Следовательно, после столкновения кинетическая энергия электрона стала  Е = 1,5 эВ + 3,5 эВ = 5 эВ ≈ 8⋅10– 19 Дж.  Импульс р электрона связан с его кинетической энергией соотношением  , или р = , где m — масса электрона. Поэтому  р = ≈ 1,2⋅10– 24 (кг⋅м/с).  Ответ: 1,2⋅10– 24 кг⋅м/с. |

45. 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. Импульс электрона после столкновения с покоящимся атомом оказался равным



1,2⋅10–24 кг⋅м/с. Определите кинетическую энергию электрона до столкновения. Возможностью испускания света атомом при столкновении с электроном пренебречь.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| 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: Е0 = Е – 3,5 эВ. Импульс р электрона связан с его кинетической энергией соотношением , или Е = , где m — масса электрона. Следовательно, Е0 = – 3,5 эВ =  – 3,5⋅1,6⋅10– 19 ≈ 2,3⋅10– 19 (Дж).  Ответ: 2,3⋅10– 19 Дж. |

46. Электромагнитное излучение с длиной волны 3,3⋅10–7 м используется для нагревания воды массой 1 кг. Сколько времени потребуется для нагревания воды на 10 оС, если источник за 1 с излучает 1020 фотонов? Считать, что излучение полностью поглощается водой.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Энергии фотона: .  Энергия всех фотонов, излучаемых за время t: .  Количество теплоты, необходимое для нагревания воды: .  Согласно закону сохранения энергии, .  Отсюда: = 700 (с). |

47. Электромагнитное излучение используется для нагревания воды массой 1 кг. За время 700 с температура воды увеличивается на 10оС. Какова длина волны излучения, если источник испускает 1020 фотонов за 1 с? Считать, что излучение полностью поглощается водой.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Выражение для энергии фотона: ,  Энергия всех фотонов, излучаемых за время t: .  Количество теплоты, необходимое для нагревания воды: .  Закон сохранения энергии: .  Отсюда:  = 3,3∙10–7 (м). ответ:  м. |

48. Электромагнитное излучение с длиной волны 3,3⋅10–7 м используется для нагревания воды. Какую массу воды можно нагреть за 700 с на 10оС, если источник излучает 1020 фотонов за 1 с? Считать, что излучение полностью поглощается водой.

|  |
| --- |
| Возможное решение |
| Выражение для энергии фотона: ,  Энергия всех фотонов, излучаемых за время t: .  Количество теплоты, необходимое для нагревания воды: .  Закон сохранения энергии: .  Отсюда:  = 1 (кг). |