

Примеры тестовых заданий по физике (4 семестр)

В этом разделе приводятся примеры тестовых заданий, предлагаемых студентам в процессе тестирования при проведении двух текущих аттестаций, а также во время экзамена или зачета. Тестовые вопросы разбиты по темам, соответствующим порядку изучения учебного материала. Формулировка тестовых заданий, проверяющих приобретенные умения и навыки, предусматривает выбор ответа, но эти же задания могут быть предложены на экзамене (зачете) без вариантов ответа. Задания, предлагавшиеся в процессе проверки остаточных знаний ФЭПО отмечены символом (*).

Для ответа на данные тесты необходимо иметь представления об основных явлениях и законах оптики, атомной физики и физики атомного ядра и ознакомиться с этими законами и формулами физики в любом учебном пособии или на лекционных занятиях. Предполагается, что при подготовке студент будет самостоятельно искать правильный ответ, но для контроля правильные ответы приведены в конце раздела.

3.1. Интерференция света. Интерференционная схема Юнга

1.1*. Когерентные волны с длиной волны λ и с начальными фазами φ_2 и φ_1 создадут при сложении интерференционный максимум в точке экрана, где их оптическая разность хода равна Δ , если (m – целое число):

а) $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi/2$; б) $\varphi_2 - \varphi_1 = (2m+1)\pi$;

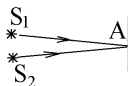
в) $\Delta = (2m+1)\lambda/2$; г) $\varphi_2 - \varphi_1 = 2m\pi$;

1.2*. При интерференции двух когерентных электромагнитных волн с длиной волны 2 мкм интерференционный минимум наблюдается в точке, где их оптическая разность хода равна:

а) 0 мкм; б) 0,5 мкм; в) 1 мкм; г) 2 мкм; д) 4 мкм;

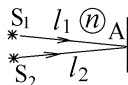
1.3*. Оптическая разность хода лучей, приходящих в точку А от двух когерентных источников S_1 и S_2 с длиной волны 600 нм, равна 1,5 мкм. В точке А наблюдается так как разность хода равна числу полуволн:

а) максимум, четному; б) минимум, четному;
в) максимум, нечетному; г) минимум, нечетному;



1.4*. Расстояния от когерентных источников света S_1 и S_2 с длиной волны λ до точки А на экране равны l_1 и l_2 .

Свет проходит эти расстояния в прозрачной среде с показателем преломления $n = 2$. В точке А наблюдается интерференцион-



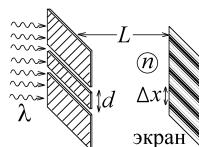
ный максимум при условии (число $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$):

а) $l_2 - l_1 = \frac{m\lambda}{4}$; б) $l_2 - l_1 = \frac{m\lambda}{2}$; в) $l_2 - l_1 = \frac{(2m+1)\lambda}{4}$; г) $l_2 - l_1 = \frac{(2m+1)\lambda}{2}$;

Решение. Интерференционный максимум возникает, если оптическая разность хода равна четному числу длин полуволн:

$$\Delta = (l_2 - l_1) \cdot n = 2m\lambda/2. \text{ Отсюда } l_2 - l_1 = 2m\lambda/2n = m\lambda/2 \text{ (ответ б).}$$

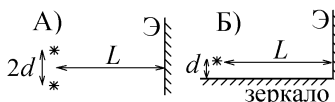
1.5. На непрозрачную преграду с двумя узкими параллельными прорезями, находящимися на расстоянии d друг от друга, падает нормально монохроматический свет с длиной волны λ . За преградой на большом удалении $L \gg d$ расположен экран.



Показатель преломления прозрачной среды между ними равен n . При одновременном уменьшении расстояния d в 2 раза и увеличении расстояния L в 2 раза ширина интерференционных полос Δx на экране: а) уменьшается в 4 раза; б) уменьшается в 2 раза; в) не изменяется; г) увеличивается в 2 раза; д) увеличивается в 4 раза;

Решение. Вспомните, как определяется ширина интерференционной полосы в интерференционной схеме Юнга. Так как на рисунке расстояние между двумя когерентными источниками (щелями) равно d , то эта ширина равна $\Delta x = L\lambda / (n_{\text{воздуха}} d)$. При увеличении L и уменьшении d величина Δx увеличится в 4 раза (ответ д).

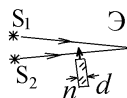
1.6. В первом опыте точечные источники света находятся на расстоянии $2d$ друг от друга на очень большом удалении L от экрана Э (рис.А). Во



втором опыте тот же источник света находится на расстоянии d над зеркалом на том же удалении L от экрана (рис.Б). При этом интерференционные картины на экране....., а ширины интерференционных полос Δx связаны соотношением

- а) совпадают, $\Delta x_A = \Delta x_B$; б) смещены на половину полосы, $\Delta x_A = \Delta x_B$;
в) смещены на одну полосу, $\Delta x_A = \Delta x_B$; г) не совпадают, $\Delta x_A = 2\Delta x_B$;

1.7. Лучи от двух когерентных источников S_1 и S_2 с длиной волны $\lambda = 500$ нм, находящихся в воздухе, попадают на экран Э, удаленный на большое расстояние. На сколько полос сдвинется интерференционная картина на экране, если на пути одного из лучей поместить прозрачную стеклянную пластинку толщиной $d = 2$ мкм с показателем преломления $n = 1,5$?



а) на половину; б) на одну; в) на две; г) на три; д) на четыре;

Решение. Оптическая разность хода изменится только на расстоянии толщины пластинки на величину $\Delta_{\text{доп}} = (n - n_{\text{воздуха}}) \cdot d = 1 \text{ мкм}$.

Картина сдвинется на $\Delta m = \Delta_{\text{доп}} / \lambda = 2$ полосы.

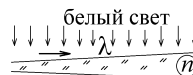
3.2. Интерференция света в тонких пленках

2.1*. Постоянно меняющаяся радужная окраска мыльных пузырей или бижутерии объясняется:

а) дифракцией света; б) поляризацией света; в) интерференцией света; г) дисперсией света; д) явлением двойного лучепреломления;

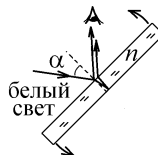
2.2*. Тонкая пленка, освещенная белым светом, вследствие явления интерференции в отраженном свете имеет желтый цвет. При постепенном уменьшении показателя преломления пленки этот цвет станет: а) оранжевым; б) зеленым; в) не изменится;

2.3. На тонкую пленку из прозрачного материала с показателем преломления n , находящуюся в воздухе, падает сверху белый свет. При этом на поверхности пленки наблюдаются интерференционные полосы. Цветовая окраска участка каждой из полос меняется в направлении слева направо, указанном стрелкой на рисунке следующим образом:



а) зеленая→синяя→желтая→оранжевая;
б) зеленая→желтая→оранжевая→красная;
в) оранжевая→желтая→синяя→зеленая;
г) красная→оранжевая→желтая→зеленая;
д) наблюдаются чередующиеся белые и темные полосы;

2.4. Луч белого света падает под углом α на очень тонкую прозрачную слюдяную пластинку с показателем преломления n . Наблюдатель видит, что отраженный свет в наибольшей степени окрашен в зеленый цвет. Пластинку очень медленно начинают поворачивать против часовой стрелки, уменьшая угол α . Что произойдет с цветом отраженного луча?



а) не изменится; б) окрасится в желтый цвет; в) окрасится в голубой цвет; г) отраженный свет постепенно полностью исчезнет;

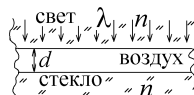
2.5. Монохроматический свет с длиной волны λ падает нормально на находящуюся в воздухе пленку толщины d , сделанную из прозрачного материала с показателем преломления $n = 1,5$. Условием интерференционного ми-



нимума для отраженного света будет (m – целое число):

- а) $2dn = m\lambda$; б) $2dn = (2m+1/2)\lambda$; в) $2d/n = m\lambda$; г) $2dn = (m+1/2)\lambda$;
 д) $2dn = (m+1/4)\lambda$; е) $2d/n = (2m+1)\lambda$; ж) $2d/n = (m+1/2)\lambda$;

2.6. Монохроматический свет распространяется в стекле с показателем преломления $n = 1,5$ и падает нормально на тонкую воздушную прорезь-прослойку толщины d . Интерференционный максимум для отраженного света наблюдается в том случае, когда длина



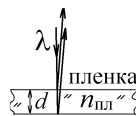
волны λ падающего света равна (выберите ответ, если $m = 1, 2, 3, \dots$).

- а) $\frac{2dn}{m}$; б) $\frac{2d}{m}$; в) $\frac{2d}{m \pm 1/2}$; г) $\frac{2dn}{(2m \pm 1)}$; д) $\frac{2dn}{m \pm 1/2}$; е) $\frac{2d}{(2m \pm 1)}$;

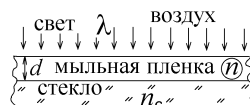


Если в задании приведено много однотипных ответов, не пытайтесь проверить каждый из них. Это займет много времени. Найдите то, что требуется в задании, сравните Ваш ответ с приведенными в условии и выберите из них правильный.

Решение. Оптическая разность хода лучей, отраженных от верхней и нижней поверхности пленки с показателем преломления $n_{пл}$ при нормальном падении света равна $\Delta = 2dn_{пл}(\pm\lambda/2) = 2m \cdot \lambda/2$ (условие интерференционного максимума). В задании пленкой является воздушная прослойка с показателем преломления $n_{пл} = 1$. При отражении от нижней, стеклянной поверхности с большим показателем преломления происходит сдвиг фаз на π (потеря $\lambda/2$). Условие интерференционного максимума в отраженном свете примет вид $\Delta = 2d \cdot 1 \pm \lambda/2 = 2m \cdot \lambda/2$, откуда $\lambda = 4d/(2m \pm 1)$ (ответ в).



2.7*. Монохроматический свет с длиной волны λ падает из воздушной среды нормально на плоскую прозрачную мыльную пленку толщины d с показателем преломления $n =$

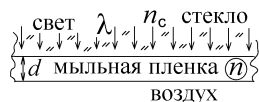


1,33, находящуюся на стекле с показателем преломления $n_c = 1,5$. Оптическая разность хода между лучами, отраженными от пленки равна:

- а) $2dn$; б) $2dn + \frac{\lambda}{2}$; в) $2dn + \lambda$; г) $2dn_c$; д) $\frac{2d}{n} + \frac{\lambda}{2}$; е) $2dn_c + \frac{\lambda}{2}$;

2.8. Монохроматический свет с длиной волны λ падает нормально сверху из стекла с показателем преломления $n_c = 1,5$, к нижней поверхности которого прилипла прозрачная мыльная пленка с показате-

лем преломления $n = 1,33$. Интерференционный минимум для отраженного от мыльной пленки света наблюдается в том случае, когда её толщина d равна (m – целое число):

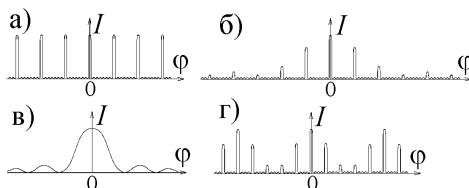


- а) $\frac{m\lambda}{2n_c}$; б) $\frac{(m+1/2)\lambda}{2n}$; в) $\frac{(m+1/2)\lambda}{2n_c}$; г) $\frac{m\lambda}{2n}$; е) $\frac{(2m+1)\lambda}{n_c}$;

3.3. Многолучевая интерференция. Дифракционная решетка

3.1. На дифракционную решетку падает нормально белый свет. Угол дифракции в спектре m -го порядка больше для лучей цвета:
а) зелёного; б) оранжевого; в) фиолетового; г) желтого;
д) одинаков для всех цветов;

3.2. На дифракционную решетку падает монохроматический свет. Укажите правильный рисунок распределения интенсивности I света, созданной за решеткой (φ – угол дифракции)



3.3. На дифракционную решетку с постоянной d и шириной каждой щели a падает монохроматический свет с длиной волны λ . За решеткой установлен экран, на котором наблюдается интерференционная картина. Спектр m -го порядка на этой картине не виден, поскольку его положение совпадает с положением дифракционного минимума на щели. Ширину a щелей решетки увеличивают, не меняя d и λ . При этом (выберите правильное утверждение):

- а) спектр m -го порядка сместится к центру интерференционной картины и станет виден;
б) спектр m -го порядка сместится от центра интерференционной картины и станет виден;
в) спектр m -го порядка станет виден, поскольку положение дифракционного минимума сместится от центра интерференционной картины;
г) спектр m -го порядка станет виден, поскольку положение дифракционного минимума сместится к центру интерференционной картины;

Решение. Картина распределения интенсивности I монохроматического света, отклоненного решеткой под углом дифракции φ , изображена на рис.3.1.

Положение узких линий интерференционных спектров определяется условием главных интерференционных минимумов $d \sin \varphi = m\lambda$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – порядок спектра. На интерференционную картину накладывается картина дифракции света на щели (штриховая линия на рис.3.1). Интенсивность (яркость) каждой спектральной линии определяется этой кривой (спектр 1-го порядка на рис.3.1

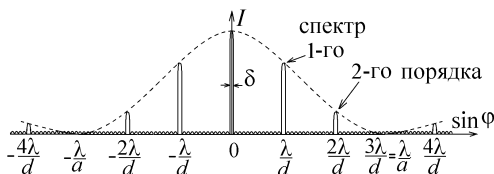


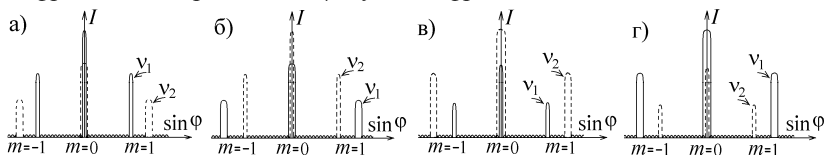
Рис.3.1

имеет большую яркость, чем спектр 2-го порядка). Положение дифракционных минимумов на щели определяется условием $a \sin \varphi = m\lambda$, где $m = \pm 1, \pm 2, \dots$. На рис.3.1 спектр $m=3$ -го порядка не виден, т.к. его положение совпало с положением дифракционного минимума.

При увеличении ширины щелей a , дифракционные минимумы $\sin \varphi = m\lambda/a$ сближаются к центру картины (штриховая линия сжимается) и спектр $m=3$ -го порядка станет виден.

При увеличении постоянной решетки d будут сближаться к центру все спектральные линии, и спектр 3-го порядка станет виден. При увеличении числа N освещенных щелей положение линий не изменится, но их толщина δ , обратно пропорциональная числу N , будет уменьшаться.

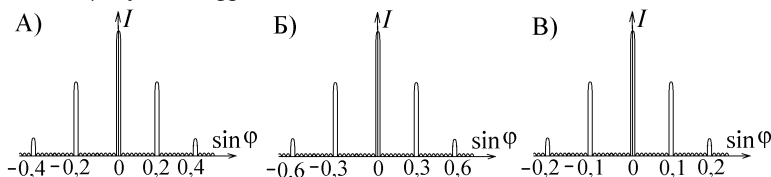
3.4*. На дифракционную решетку одновременно падает два монохроматических световых излучения с разными частотами $\nu_1 > \nu_2$ и с разными интенсивностями $I_1 > I_2$ соответственно. Укажите правильный рисунок главных интерференционных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой (φ – угол дифракции):



Решение. Интенсивность I_1 света с частотой ν_1 больше, поэтому интерференционные максимумы для этого света должны иметь боль-

шую величину (рис.а и г). Условие главных максимумов $d \sin \varphi = m\lambda$, $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ показывает, что меньшее значение $\sin \varphi$ соответствует линиям (спектрам) для света с меньшей длиной волны $\lambda_1 = c/v_1$. Поэтому правильным будет рисунок (а).

3.5*. Три дифракционные решетки с различными постоянными освещаются одним и тем же монохроматическим излучением. Укажите рисунки положения главных интерференционных максимумов, создаваемых решетками с наибольшей d_{\max} и наименьшей d_{\min} постоянной d (φ – угол дифракции):



а) А - d_{\max} , В - d_{\min} ; б) Б - d_{\max} , В - d_{\min} ; в) В - d_{\max} , Б - d_{\min} ;

3.6. Постоянная дифракционной решетки $d=2,6$ мкм, а длина волны падающего на решетку нормально монохроматического света $\lambda=600$ нм. Спектр какого максимального порядка m_{\max} можно наблюдать за решеткой (укажите правильный ответ):

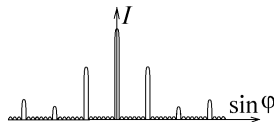
а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 7; з) 8;

Решение. Число видимых за решеткой спектров ограничено величиной синуса угла дифракции: $\sin \varphi = m\lambda/d \leq 1$, откуда $m \leq d/\lambda = 4,33$ и $m_{\max} = 4$.

3.7. Постоянная дифракционной решетки, на которую нормально падает монохроматический свет, равна 3,6 мкм. За решеткой под углом 30° к направлению падающего света наблюдается интерференционный максимум (спектр) 4-го порядка. Величина длины волны света равна:

а) 400 нм; б) 450 нм; в) 500 нм; г) 600 нм; д) 700 нм; е) 750 нм;

3.8. На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет. Зависимость интенсивности I света, прошедшего за решетку, от синуса угла дифракции φ показана на рисунке. Во сколько раз изменятся расстояния между интерференционными максимумами (спектрами) на этом рисунке, если постоянную решетки уменьшить в 2 раза, а длину волны падающего света увеличить в 2 раза?



- а) увеличатся в 4 раза; б) увеличатся в 2 раза; в) не изменятся;
г) уменьшатся в 2 раза; д) уменьшатся в 4 раза;

3.9. На дифракционную решетку падает нормально монохроматический свет. φ – угол дифракции, под которым за решеткой наблюдают главный интерференционный максимум (спектр) 2-го порядка. Во сколько раз изменится величина $\sin \varphi$, если постоянную решетки уменьшить в три раза, а длину волны падающего света увеличить в полтора раза (выберите правильный ответ):

- а) увеличится в 4,5 раза; б) увеличится в 3 раза; в) увеличится в 2 раза;
г) не изменится; д) уменьшится в 2 раза; е) уменьшится в 4,5 раза;

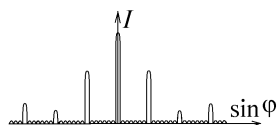
3.10. На дифракционную решетку спектрографа падает свет натриевой лампы, состоящий из двух монохроматических волн с $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм. Решетка характеризуется постоянной d , шириной каждой щели a и числом освещаемых щелей N . На экране спектрографа, расположенном за решеткой, две спектральные линии, соответствующие этим длинам волн, сливаются в одну. Чтобы увидеть их раздельно, следует (выберите правильное утверждение):

- а) не меняя a и d , уменьшить N ; б) не меняя a и d , увеличить N ;
в) не меняя a и N , уменьшить d ; г) не меняя d и N , увеличить a ;

Решение. Согласно критерию Рэлея две спектральные линии видны раздельно, если разность их длин волн $\Delta\lambda$ удовлетворяет условию $\Delta\lambda/\lambda \geq 1/mN$. Надо увеличить число освещаемых щелей N (ответ б).

3.11. На дифракционную решетку падает пучок монохроматического света, освещающий все щели решетки.

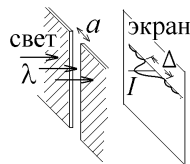
За решеткой на удаленном экране наблюдается интерференционная картина, изображенная на рисунке. Дифракционную решетку сломали вдоль одной из её щелей и выбросили отломившийся кусок. Укажите, что произойдет наблюдаемой на экране интерференционной картиной:



- а) главные интерференционные максимумы раздвинутся от центра интерференционной картины;
б) главные интерференционные максимумы сдвинутся к центру интерференционной картины;
в) ширина главных интерференционных максимумов уменьшится;
г) ширина главных интерференционных максимумов не изменится;
д) ширина главных интерференционных максимумов увеличится;

3.4. Дифракция на узкой щели

4.1. Монохроматический свет падает нормально на узкую прорезь-щель в непрозрачной преграде и создает на удаленном экране дифракционную картину. Что произойдет с шириной Δ центрального дифракционного максимума на экране, если ширину щели a уменьшить в 2 раза, а длину волны λ падающего света уменьшить в 1,5 раза (укажите правильный ответ):



- а) увеличится в 3 раза; б) увеличится в 2 раза; в) увеличится в 1,5 раза; г) увеличится в 1,33 раза; д) уменьшится в 1,33 раза;

4.2. Монохроматический свет падает нормально на узкую прорезь-щель ширины $a = 3,6$ мкм в непрозрачной преграде. Дифракционный минимум 3-го порядка наблюдается за щелью под углом 30° к направлению падающего света. Чему равна величина длины волны λ падающего света?



- а) 400 нм; б) 450 нм; в) 500 нм; г) 600 нм; д) 700 нм; е) 750 нм;

4.3. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм падает нормально на узкую прорезь-щель ширины $a = 3$ мкм в непрозрачной преграде. Дифракционный минимум наблюдается за щелью под углом $\varphi = 30^\circ$ к направлению падающего света. Сколько зон Френеля открывает щель для этого угла наблюдения?



- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 6; е) 8; ж) 12; з) нет правильного ответа;

Решение. Разность оптических длин путей, проходимых светом от противоположных границ зоны Френеля до точки наблюдения равна $\lambda/2$. Если щель открывает m зон Френеля, то самая большая разность хода от волновой поверхности АВ падающей плоской волны до волновой поверхности АС преломленной волны равна $BC = a \sin \varphi = m \cdot \lambda/2$



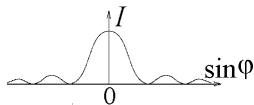
Рис.3.2

(см.рис.3.2). Подставляя заданные величины, находим $m = 6$ (ответ д).

4.4. Плоская монохроматическая световая волна падает на узкую прорезь в плоской преграде, за которой установлен параллельный преграде экран. Ширину прорези a увеличивают. При этом ширина дифракционного изображения щели на экране:

- а) увеличивается; б) уменьшается; в) не изменяется; г) сначала увеличивается, а потом уменьшается; д) сначала уменьшается, а потом увеличивается;

4.5. Монохроматический свет падает нормально на узкую щель-прорезь в непрозрачной преграде и распространяется за щелью под всеми возможными углами φ к направлению падения. Распределение интенсивности I прошедшего через щель света показано на рисунке. Что произойдет с шириной центрального максимума Δ на этом рисунке, если и ширину прорези, и длину волны падающего света уменьшить в 2 раза:



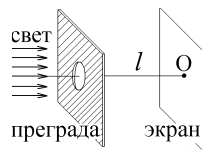
- а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; в) не изменится;
г) уменьшится в 2 раза; д) уменьшится в 4 раза;

3.5. Дифракция на круглом отверстии

5.1*. Круглое отверстие в непрозрачной преграде открывает для центральной точки экрана, лежащей на оси отверстия, только одну зону Френеля. Во сколько раз изменится амплитуда вектора напряженности электрического поля световой волны, приходящей в эту точку, если убрать преграду с отверстием, заслонявшую часть света?

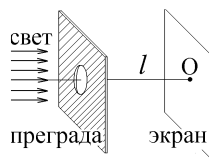
- а) увеличится в 4 раза; б) увеличится в 2 раза; в) увеличится в $\sqrt{2}$ раз;
г) не изменится; д) уменьшится в $\sqrt{2}$ раз; е) уменьшится в 2 раза;

5.2. Белый свет падает нормально на плоскую преграду с прорезанным отверстием. За преградой на удалении l установлен параллельный экран. В центре экрана O вследствие дифракции света на отверстии наблюдается максимум освещенности зеленого света. Экран начинают медленно придвигать к преграде, уменьшая расстояние l . При этом в центре экрана O :



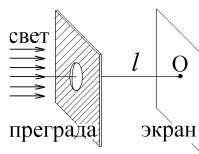
- а) появляется максимум освещенности желтого света;
б) появляется максимум освещенности голубого света;
в) сохраняется максимум освещенности зеленого света;

5.3. Монохроматический свет с длиной волны λ падает нормально на плоскую преграду с прорезанным круглым отверстием. За преградой на удалении l установлен экран. Чтобы в центре экрана O наблюдался дифракционный минимум освещенности, радиус отверстия r должен быть равен (выберите правильный ответ, где m – любое целое число):



- а) $\sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda l}$; б) $\sqrt{(2m+1)\lambda l}$; в) $\sqrt{2m\lambda l}$; г) $\frac{l^2}{2m\lambda}$; д) $\frac{l^2}{(2m+1)\lambda}$;

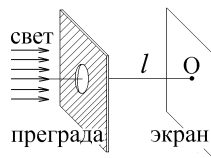
5.4. Монохроматический свет с длиной волны λ падает нормально на плоскую преграду с прорезанным круглым отверстием радиуса r . Экран, находящийся за преградой, постепенно приближают к ней, уменьшая расстояние l . Самое большое расстояние l , при котором в точке О экрана на оси отверстия будет наблюдаться дифракционный минимум, равно:



- а) $\frac{r^2}{\lambda}$; б) $\frac{r^2}{2\lambda}$; в) $\frac{2r^2}{\lambda}$; г) $\frac{\lambda^2}{r}$; д) $\frac{\lambda^2}{2r}$; е) $\frac{2\lambda^2}{r}$; ж) другой ответ;

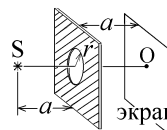
Решение. В случае падения на экран плоской световой волны от удаленного источника света, радиус m -й зоны Френеля определяется расстоянием l до экрана: $r_m = \sqrt{lm\lambda}$. Минимум в точке О наблюдается, если отверстие открывает четное число зон Френеля: $r = r_{2m} = \sqrt{2ml\lambda}$. При неизменном радиусе отверстия r самое большое расстояние l соответствует самому маленькому четному числу $2m = 2$, откуда $l_{\max} = r^2/2\lambda$ (ответ б).

5.5. Монохроматическая плоская световая волна падает нормально на плоскую преграду с прорезанным круглым отверстием. Экран установлен за преградой на самом большом возможном расстоянии l , при котором в точке О экрана на оси отверстия наблюдается дифракционный минимум освещенности. Наибольшее возможное расстояние l' от преграды до экрана, при котором в точке О будет наблюдаться дифракционный максимум равно:



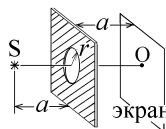
- а) $l/\sqrt{2}$; б) $l/4$; в) $2l$; г) $l/2$; д) $\sqrt{2}l$; е) $4l$; ж) другой ответ;

5.6. Точечный источник монохроматического света с длиной волны λ находится на расстоянии a от непрозрачной плоской преграды с прорезанным в ней круглым отверстием радиуса r . За преградой на таком же расстоянии a установлен экран. Для того, чтобы в точке О экрана (лежащей, как и источник света S, на оси отверстия) наблюдался дифракционный максимум освещенности, расстояние a должно быть равно (выберите ответ, где m – любое целое число):



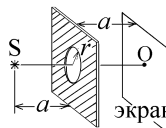
- а) $\frac{r^2}{m\lambda}$; б) $\frac{(m+1/2)r^2}{\lambda}$; в) $\frac{r^2}{\lambda(m+1/2)}$; г) $\frac{2mr^2}{\lambda}$; д) $\frac{r^2}{2m\lambda}$;

5.7. Точечный источник монохроматического света S с длиной волны λ и экран находятся на одинаковом расстоянии a от непрозрачной плоской преграды с прорезанным в ней круглым отверстием. Самый маленький радиус отверстия r , при котором в точке O экрана (лежащей, как и источник света S , на оси отверстия) будет наблюдаться дифракционный максимум, равен (выберите ответ):



- а) $\frac{2a^2}{\lambda}$; б) $\sqrt{\lambda a/4}$; в) $\frac{a^2}{\lambda}$; г) $\sqrt{\lambda a/2}$; д) $\frac{a^2}{2\lambda}$; е) $\sqrt{\lambda a}$; ж) $\sqrt{2\lambda a}$;

5.8. Точечный источник монохроматического света S с длиной волны λ и экран находятся на одинаковом расстоянии a от непрозрачной плоской преграды с прорезанным в ней круглым отверстием. При этом расстояние a имеет наибольшую возможную величину, при которой в точке O экрана (лежащей, как и источник света S , на оси отверстия) наблюдается дифракционный минимум освещенности. Что надо сделать с расстоянием a слева и справа от преграды, чтобы в точке O оказался соседний дифракционный максимум меньшего порядка (выберите правильный ответ):



- а) увеличить в 4 раза; б) увеличить в 2 раза; в) увеличить в $\sqrt{2}$ раз;
г) уменьшить в 4 раза; д) уменьшить в 2 раза; е) уменьшить в $\sqrt{2}$ раз;

Решение. Радиус m -й зоны Френеля при дифракции света от точечного источника равен $r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} m\lambda$, где b – расстояние от преграды до экрана. В нашем случае $b = a$, и отверстие открывает m зон Френеля: $r = \sqrt{am\lambda/2}$. В случае дифракционного минимума открыто четное число зон. Так как расстояние a имеет максимальную возможную величину, то $m = 2$ – наименьшее четное число и $a = r^2/\lambda$.

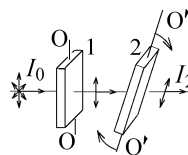
Соседний дифракционный максимум меньшего порядка соответствует нечетному числу открытых зон Френеля $m = 1$. Экран и источник света S при этом будут находиться на расстоянии a' от преграды, где $r = r_1 = \sqrt{a' \cdot 1 \cdot \lambda/2}$. Отсюда $a' = 2a$ (ответ б).

3.6. Поляризация света

6.1*. На поляризатор падает солнечный луч света с интенсивностью I_0 . При вращении оси пропускания поляризатора вокруг направления луча интенсивность света за поляризатором:

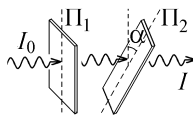
- а) меняется от I_{\min} до I_{\max} ; б) меняется от I_{\min} до I_0 ;
 в) не меняется и равна I_0 ; г) не меняется и равна $I_0/2$;

6.2*. На пути луча естественного света с интенсивностью I_0 установлены две пластинки из турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью плоскополяризован. Пластика 2 вначале установлена так, что не пропускает света. На какой угол φ надо после этого повернуть её ось $O'O'$ вокруг направления распространения луча света, чтобы она стала пропускать свет с интенсивностью $I_2 = 3I_0/8$: а) на 45° ; б) на 60° ; в) на 30° ;



Решение. Пластины являются поляризаторами. Интенсивность естественного света после прохождения поляризатора 1 уменьшается в 2 раза: $I_1 = I_0(\text{ест})/2$. Интенсивность света, прошедшего через второй поляризатор определяется законом Малюса: $I_2 = I_1 \cos^2 \alpha$, где α – угол между осями OO и $O'O'$. Вначале этот угол был равен 90° и свет не проходил через систему. После поворота оси $O'O'$ на угол φ , угол между осями станет равным $90^\circ - \varphi$, и вышедший свет имеет интенсивность $I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) = \frac{I_0}{2} \sin^2 \varphi = \frac{3I_0}{8}$, откуда $\sin \varphi = \frac{\sqrt{3}}{2}$ и $\varphi = 60^\circ$.

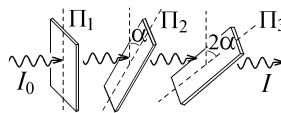
6.3. Естественный свет с интенсивностью I_0 проходит через систему из двух поляризаторов Π_1 и Π_2 . Угол α между осями пропускания поляризаторов увеличивают от значения $\alpha_1 = 30^\circ$ до значения



$\alpha_2 = 60^\circ$. При этом интенсивность I света, прошедшего через систему поляризаторов уменьшается (выберите правильный ответ):

- а) в $\sqrt{2}$ раз; б) в $\sqrt{3}$ раз; в) в 2 раза; г) в 3 раза; д) не изменяется;

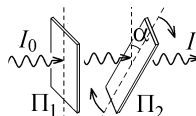
6.4. Естественный свет с интенсивностью I_0 проходит через систему из трех последовательных поляризаторов Π_1 , Π_2 и Π_3 . Оси пропускания поляризаторов Π_2 и Π_3



составляют, соответственно углы $\alpha = 30^\circ$ и $2\alpha = 60^\circ$ с осью пропускания первого поляризатора Π_1 (см.рисунок). При этом интенсивность I света, прошедшего через систему поляризаторов, равна:

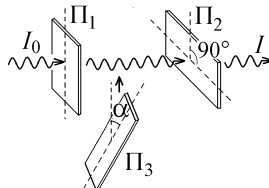
- а) 0; б) $\frac{I_0}{8}$; в) $\frac{3I_0}{8}$; г) $\frac{3I_0}{4}$; д) $\frac{3I_0}{16}$; е) $\frac{3I_0}{32}$; ж) $\frac{9I_0}{16}$; з) $\frac{9I_0}{32}$;

6.5. Естественный свет с интенсивностью I_0 проходит через систему из двух поляризаторов Π_1 и Π_2 . Угол α между осями пропускания поляризаторов меняют в пределах $0 \leq \alpha \leq 45^\circ$. При этом интенсивность I света, прошедшего через систему поляризаторов меняется в пределах:



- а) $0 \leq I \leq I_0$; б) $0 \leq I \leq \frac{I_0}{4}$; в) $\frac{I_0}{8} \leq I \leq \frac{I_0}{2}$; г) $\frac{I_0}{4} \leq I \leq \frac{I_0}{2}$;

6.6. Естественный свет падает на систему из двух поляризаторов Π_1 и Π_2 , оси пропускания которых скрещены под углом 90° . Между ними помещают третий поляризатор Π_3 , ось пропускания которого составляет угол $\alpha = 45^\circ$ с осью пропускания первого поляризатора (см.рисунок). Интенсивность света, прошедшего через систему из трех поляризаторов оказалась равной I . Чему равна интенсивность I_0 падающего на систему света (укажите правильный ответ):



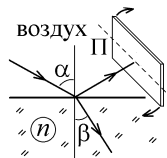
- а) I ; б) $\sqrt{2}I$; в) $2I$; г) $2\sqrt{2}I$; д) $8I$; е) $8\sqrt{2}I$; ж) $16I$;

Решение. Поляризатор Π_1 ослабит интенсивность естественного света в 2 раза. На выходе из поляризатора Π_3 , в соответствии с законом Малюса, получим интенсивность $(I_0/2) \cdot \cos^2 \alpha$. Угол между осями пропускания поляризаторов Π_3 и Π_2 равен $90^\circ - \alpha$, и на выходе из последнего поляризатора имеем $I = (I_0/2) \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 (90^\circ - \alpha) = I_0/8$, откуда $I_0 = 8I$ (ответ д).

6.7*. На плоскую поверхность раздела двух прозрачных диэлектрических сред под углом Брюстера падает луч естественного света. Можно сделать следующие утверждения: А) отраженный луч плоскополяризован; Б) преломленный луч плоскополяризован; В) отраженный луч частично поляризован; Г) преломленный луч частично поляризован; Д) отраженный луч не поляризован; Е) преломленный луч не поляризован. Укажите, какие из этих утверждений верны: а) В и Е; б) А и Б; в) В и Б; г) А и Г; д) Д и Е; е) В и Г;

6.8*. При падении луча естественного света из воздуха на плоскую границу прозрачного диэлектрика отраженный луч полностью плоскополяризован при угле падения 60° . При этом угол преломления равен: а) 15° ; б) 30° ; в) 45° ; г) 60° ; д) 75° ;

6.9. Луч естественного света падает из воздуха на плоскую границу диэлектрика. Угол падения $\alpha = 60^\circ$. На пути отраженного луча стоит поляризатор П. При некоторой ориентации оси пропускания поляризатора отраженный свет через него не проходит. Чему равен показатель преломления n диэлектрика?



- а) $\sqrt{2} = 1,41$; б) $1,5$; в) $\sqrt{3} = 1,73$; г) 2 ; д) другой ответ;

Решение. Поляризатор не пропустит плоскополяризованный свет, в котором вектор \vec{E} колеблется в плоскости, перпендикулярной оси пропускания поляризатора. Плоскополяризованный свет получается при отражении, если луч естественного света падает под углом Брюстера, величина которого определяется из условия $\tan \alpha = n/n_{\text{возд}} = n$.

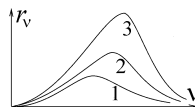
Поэтому $n = \tan 60^\circ = \sqrt{3}$ (ответ в). Заметим, что при падении света под углом Брюстера угол преломления $\beta = 90^\circ - \alpha$.

3.7. Тепловое излучение

7.1*. Абсолютно черное тело и серое тело имеют одинаковую температуру. При этом большую энергетическую светимость имеет:

- а) абсолютно черное тело; б) серое тело; в) их светимости одинаковы; г) результат зависит от соотношения площадей их поверхности;

7.2*. На рисунке представлены графики зависимости спектральной плотности энергетической светимости (излучательной способности) абсолютно черного тела от частоты излучения. Наибольшей температуре соответствует график: а) 1; б) 2; в) 3;



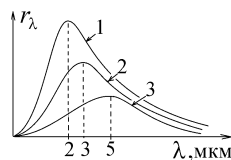
7.3. Частота, на которую приходится максимум излучательной способности абсолютно черного тела, увеличилась в 2 раза. Во сколько раз изменится величина энергии, излучаемой этим телом с единицы поверхности за 1 секунду? а) уменьшится в 16 раз;

- б) уменьшится в 4 раза; в) уменьшится в 2 раза; г) не изменится; д) увеличится в 2 раза; е) увеличится в 4 раза; ж) увеличится в 16 раз;

7.4*. На рисунке представлены графики зависимости спектральной плотности энергетической светимости (излучательной способно-

сти) абсолютно черного тела от длины волны излучения. Кривым 1, 2 и 3 соответствуют температуры T_1 , T_2 и T_3 . При этом отношение температур T_3/T_1 равно:

- а) 0,33; б) 0,4; в) 0,6; г) 1,5; д) 2,5;



Решение. В соответствии с законом смещения Вина произведение температуры абсолютно черного тела на величину длины волны, на которую приходится максимум теплового излучения, является постоянной величиной: $T \cdot \lambda_m = b = \text{const}$. Величины λ_m приведены на графике, согласно которому $T_3/T_1 = \lambda_{m1}/\lambda_{m3} = 0,4$ (ответ б).

7.5. Первоначально с единицы поверхности абсолютно черного тела испускалось тепловое излучение с мощностью $P_0 = 480$ Вт. Затем мощность этого излучения уменьшилась до величины $P = 120$ Вт. Во сколько раз изменилась при этом длина волны, на которую приходится максимум теплового излучения?

- а) уменьшилась в 1,41 раз;
б) уменьшилась в 2 раза; в) не изменилась; г) увеличилась в 2 раза;
д) увеличилась в 1,41 раз;

7.6. Абсолютно черное тело имело форму куба. Затем его объем увеличили в 8 раз, увеличив размер ребер куба в 2 раза, а температуру уменьшили в 2 раза. Во сколько раз изменилась величина энергии теплового излучения, испускаемого данным телом по всем направлениям за единицу времени?



- а) увеличилась в 16 раз; б) уменьшилась в 4 раза; в) не изменилась;
г) увеличилась в 4 раза; д) уменьшилась в 16 раз;

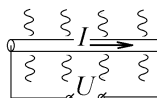
7.7. Абсолютно черное тело имело форму шара с диаметром 1 м. Затем начальную температуру этого тела увеличили в 4 раза. Во сколько раз надо изменить диаметр (не меняя шарообразную форму тела), чтобы энергия теплового излучения, испускаемого по всем направлениям за единицу времени не изменилась?



- а) увеличить в 2 раза; ...б) увеличить в 1,41 раз;
в) уменьшить в 16 раз; г) увеличить в 4 раза; д) уменьшить в 2 раза;

Решение. Энергия теплового излучения такого тела за время Δt определяется законом Стефана-Больцмана $W = \sigma T^4 \cdot S \cdot \Delta t$. Площадь поверхности сферы $S = \pi d^2$. Эта энергия не изменится, $W = W'$, если $T^4 d^2 = T'^4 d'^2$. Так как $T' = 4T$ по условию, то $d'/d = T^2/T'^2 = 1/16$.

7.8. Известно, что тепловое излучение испускается с боковой поверхности провода, который подключен к источнику постоянного напряжения U . T – температура боковой поверхности провода, S – площадь боковой поверхности провода, σ – постоянная Стефана-Больцмана. Считая провод абсолютно черным телом, можно вычислить текущий по проводу ток I по формуле:



- а) $\frac{U}{\sigma T^4}$; б) $\frac{US}{\sigma T^4}$; в) $\frac{U}{\sigma T^4}$; г) $\frac{\sigma T^4}{U}$; д) $\frac{\sigma T^4}{US}$; е) $\frac{\sigma ST^4}{U}$;

Решение. При пропускании по проводу электрического тока устанавливается тепловое равновесие: все выделяющееся джоулево тепло испускается в виде теплового излучения. Приравнявая их мощности (энергию, выделяющуюся согласно закону Джоуля-Ленца, и энергию, излучаемую согласно закону Стефана-Больцмана за 1 сек), $P = IU = \sigma T^4 \cdot S$, получаем $I = \sigma ST^4 / U$ (ответ е).

3.8. Явление фотоэффекта

8.1*. Свет, подающий на металл, вызывает эмиссию электронов из металла. Что происходит с количеством выбитых электронов ΔN и с их кинетической энергией E_k если интенсивность света уменьшается, а его частота при этом остается неизменной:

- а) ΔN уменьшается, E_k уменьшается; б) ΔN не меняется, E_k не меняется; в) ΔN не меняется, E_k уменьшается; г) ΔN уменьшается, E_k не меняется;

8.2*. Графики зависимости максимальной кинетической энергии электронов, выбитых из двух металлов “1” и “2” с соответственной величиной работы выхода электронов A_1 и A_2 , от величины энергии E_ϕ каждого из падающих на металл фотонов имеют вид, изображенный на рисунке. Выберите правильное утверждение:



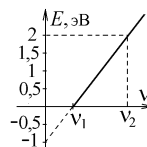
- а) $A_1 = A_2$; б) $A_1 < A_2$; в) $A_1 > A_2$;
г) рисунок неверен, т. к. для разных металлов различен наклон графика;

8.3. Что можно сказать о величине частоты ν_k , соответствующей красной границе фотоэффекта? С увеличением работы выхода A электрона из металла она (выберите правильное утверждение):

- а) не изменяется; б) увеличивается; в) уменьшается;
г) для ответа недостаточно данных, так как ν_k зависит не только от A , но и от энергии падающих на металл фотонов;

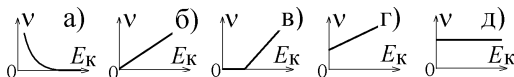
8.4*. На графике представлена зависимость кинетической энергии E фотоэлектронов от частоты падающего света ν . Из графика следует, что для частоты ν_2 энергия падающего фотона равна:

- а) 0,5 эВ; б) 1 эВ; в) 1,5 эВ; г) 2 эВ; д) 3 эВ;

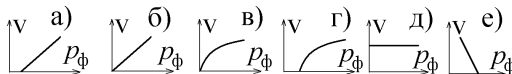


Решение. Работа выхода связана с частотой $\nu_1 = A_{\text{вых}}/h$ – красной границей фотоэффекта, при которой электроны начинают вылетать из металла. Из уравнения фотоэффекта $h\nu = A_{\text{вых}} + E$ находим линейную зависимость $E = h\nu - h\nu_1$. При $\nu = 0$ имеем $-h\nu_1 = -A_{\text{вых}} = -1$ эВ (см. график). Поэтому $h\nu_2 = h\nu_1 + 2$ эВ = 3 эВ (ответ д).

8.5. Выберите правильный график зависимости частоты ν падающих на металл фотонов от величины максимально возможной кинетической энергии E_k выбитого при фотоэффекте электрона:

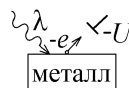


8.6. Выберите правильный график зависимости максимально возможной величины скорости v выбитого из металла при фотоэффекте электрона от величины импульса p_ϕ падающего на металл фотона:



Решение. Выразим энергию падающего фотона через его импульс и подставим в уравнение фотоэффекта: $E_\phi = cp_\phi = A_{\text{вых}} + mv^2/2$. Отсюда $v = \sqrt{2(cp_\phi - A_{\text{вых}})/m}$. Эта зависимость соответствует графику г.

8.7. Фотоны выбивают из металла электроны с зарядом $-e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, которые задерживаются разностью потенциалов U . При этом A – работа выхода электрона из данного металла; h – постоянная Планка, c – скорость света в вакууме. Длина волны λ таких фотонов равна:

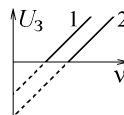


- а) $\frac{A + |eU|}{hc}$; б) $\frac{A - |eU|}{hc}$; в) $\frac{|eU| - A}{hc}$; г) $\frac{hc}{A - |eU|}$; д) $\frac{hc}{A + |eU|}$;

8.8. Что происходит с величиной задерживающей разности потенциалов при уменьшении работы выхода электрона из металла, если длина волны λ падающего на металл света не изменяется. Она:

- а) не меняется, т. к. не меняется λ ; б) уменьшается; в) увеличивается;
 г) не меняется, так как не меняется энергия каждого из фотонов;
 д) зависит только от количества фотонов, т.е. от интенсивности света;

8.9*. На рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения U_3 от частоты ν падающего света для внешнего фотоэффекта. Делаются утверждения:



- А) зависимости получены для двух разных металлов;
 Б) если A_1 и A_2 – работы выхода электрона из металлов 1 и 2, то $A_2 > A_1$;
 В) если $\lambda_{к1}$ и $\lambda_{к2}$ – значения красной границы фотоэффекта для металлов 1 и 2, то $\lambda_{к1} < \lambda_{к2}$; Г) линии 1 и 2 на рисунке параллельны лишь для металлов с одинаковой работой выхода.

Укажите, какие из утверждений верны:

- а) А и Б; б) Б и Г; в) А и В; г) Б и В; д) В и Г;

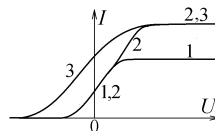
Решение. Вся кинетическая энергия выбитого из металла электрона затрачивается на работу против сил задерживающего электрического поля: $m\nu^2/2 = |eU_3|$. Уравнение внешнего фотоэффекта принимает вид $h\nu = A + |eU_3|$. Из этой линейной зависимости видно, что для металла с любой работой выхода наклон линии $U_3 = U_3(\nu)$ на графике должен быть одинаковым. При одинаковом значении ν точка U_{31} лежит выше точки U_{32} . Поэтому $A_2 > A_1$. Металлы имеют разную работу выхода, которая связана с красной границей фотоэффекта соотношением $A = hc/\lambda_k$, т.е. $\lambda_{к1} > \lambda_{к2}$. Верны только утверждения А и Б (ответ а).

8.10*. График зависимости максимальной кинетической энергии E_k электрона, выбитого из металла, от частоты ν падающего на металл света изображен на рисунке. Постоянную Планка надо искать по формуле:



- а) $h = \text{arctg } \alpha$; б) $h = \text{ctg } \alpha$; в) $h = \text{tg } \alpha/2$; г) верной формулы нет;

8.11*. На рисунке представлены три вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если N – число фотонов, падающих на фотокатод за единицу времени, а ν – их частота, то справедливо следующее утверждение:



- а) $\nu_3 < \nu_2 = \nu_1$, $N_1 < N_2 = N_3$; б) $\nu_3 > \nu_2 = \nu_1$, $N_1 > N_2 = N_3$;
 в) $\nu_3 > \nu_2 = \nu_1$, $N_1 < N_2 = N_3$; г) $\nu_3 < \nu_2 = \nu_1$, $N_1 > N_2 = N_3$;

Решение. Выбиваемые из катода электроны имеют максимальную скорость v и кинетическую энергию

$$E_{\text{кин}} = mv^2/2.$$

Если на анод фотоэлемента подать отрицательное обратное

запирающее напряжение $U_3 < 0$ (рис.3.3), то эта энергия будет затрачена на совершение электроном работы против сил запирающего электрического поля: $mv^2/2 = |eU_3|$. Согласно уравнению фотоэффекта

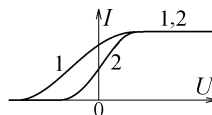
$$h\nu = A_{\text{вых}} + mv^2/2 = A_{\text{вых}} + |eU_3|.$$

Из рисунка, приведенного в условии видно, что $|U_{33}| > |U_{32}| = |U_{31}|$. Поэтому $v_3 > v_2 = v_1$.

С увеличением напряжения U текущий через фотоэлемент ток I увеличивается до насыщения (рис.3.3), когда все выбитые электроны достигают анода. Их число пропорционально числу N падающих фотонов. Поэтому $I_{\text{насыщ}} \sim N$. Из рисунка в условии видно: $N_1 < N_2 = N_3$.

8.12*. На рисунке представлены две вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если E – освещенность фотокатода, а λ – длина волны падающего на него света, то справедливо следующее утверждение:

- а) $\lambda_1 < \lambda_2$, $E_1 < E_2$; б) $\lambda_1 < \lambda_2$, $E_1 = E_2$; в) $\lambda_1 > \lambda_2$, $E_1 < E_2$;
г) $\lambda_1 > \lambda_2$, $E_1 = E_2$; д) $\lambda_1 = \lambda_2$, $E_1 < E_2$; е) $\lambda_1 < \lambda_2$, $E_1 > E_2$;



Решение. Как и в предыдущем примере, $E_{\text{фотона}} = hc/\lambda =$

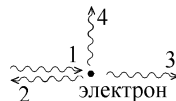
$$= A_{\text{вых}} + |eU_3|.$$

Поэтому $\lambda_1 < \lambda_2$. Часто при ответе считают, что созданная светом освещенность пропорциональна числу падающих фотонов, которое в данном примере одинаково: $N_1 = N_2$ (одинаков ток насыщения на приведенном рисунке). Однако освещенность E равна энергии светового пучка, приносимой светом за единицу времени на единицу поверхности. Эта энергия равна произведению числа падающих на катод фотонов на энергию одного фотона: $E \sim N \frac{hc}{\lambda}$. Поэтому $E_1 \sim N_1 \frac{hc}{\lambda_1} > E_2 \sim N_2 \frac{hc}{\lambda_2}$

(ответ е).

3.9. Комптон-эффект

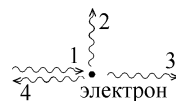
9.1. Фотоны “1” с длиной волны λ_1 падают на покоящийся электрон. В результате комптоновского рассеяния разлетаются фотоны “2”, “3” и “4” с длинами волн λ_2 , λ_3 и λ_4 соответственно (см. рисунок).



Выберите правильное соотношение между длинами волн:

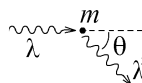
- а) $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4$; б) $\lambda_1 > \lambda_4 > \lambda_3 > \lambda_2$; в) $\lambda_4 > \lambda_3 > \lambda_2 > \lambda_1$;
 г) $\lambda_2 > \lambda_4 > \lambda_3 = \lambda_1$; д) $\lambda_1 = \lambda_3 > \lambda_4 > \lambda_2$; е) $\lambda_3 > \lambda_4 > \lambda_2 = \lambda_1$;

9.2. Фотоны “1” с частотой ν_1 падают на покоящийся электрон. В результате комптоновского рассеяния разлетаются фотоны “2”, “3” и “4” с частотами ν_2 , ν_3 и ν_4 соответственно (см. рисунок). **Наибольшую** величину имеет отношение:



- а) ν_2 / ν_3 ; б) ν_2 / ν_4 ; в) ν_3 / ν_4 ; г) ν_3 / ν_2 ; д) ν_4 / ν_2 ; е) ν_4 / ν_3 ;

Решение. При рассеянии на угол θ длина волны фотона увеличивается на величину $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \Lambda(1 - \cos \theta)$



(рис.3.4), где $\Lambda = h/(mc)$ - комптоновская длина волны

Рис.3.4

частицы с массой m . Наибольшую длину волны имеет фотон “4”, рассеянный на наибольший угол $\theta = 180^\circ$, а длина волны фотона “3”, не изменившего направления движения ($\theta = 0^\circ$), не изменится. Так как частота $\nu = c/\lambda$, то максимальной будет частота фотона “3”, а минимальной – фотона “4” (ответ в).

9.3. Фотоны с энергией E_0 , падающие на по-

коящийся электрон с комптоновской длиной волны Λ_k , рассеиваются на нем в разных направлениях

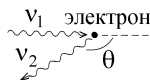
под разными углами θ . На рисунке показаны два рассеянных фотона “1” и “2” с длинами волн λ_1 и λ_2 соответственно.



Укажите правильное соотношение:

- а) $\lambda_2 > \lambda_1 > \Lambda_k$; б) $\lambda_1 > \lambda_2 > \Lambda_k$; в) $\Lambda_k > \lambda_2 > \lambda_1$; г) $\Lambda_k > \lambda_1 > \lambda_2$;

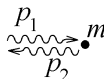
9.4. Фотон с частотой ν_1 рассеивается на покоящемся электроне под углом $\theta = 120^\circ$ к первоначальному направлению движения и имеет после рассеяния частоту ν_2 (см. рисунок). Величину комптоновской длины волны электрона Λ можно рассчитать по формуле (c – скорость света):



- а) $\frac{3c(\nu_1 - \nu_2)}{2\nu_1\nu_2}$; б) $\frac{2c(\nu_2 - \nu_1)}{3\nu_1\nu_2}$; в) $\frac{2c(\nu_1 - \nu_2)}{3\nu_1\nu_2}$; г) $\frac{3c(\nu_2 - \nu_1)}{2\nu_1\nu_2}$;

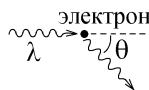
Решение. В уравнении Комптона надо выразить длины волн фотонов через частоты: $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{c}{\nu_2} - \frac{c}{\nu_1} = \frac{c(\nu_1 - \nu_2)}{\nu_1 \nu_2} = \Lambda(1 - \cos\theta)$ и подставить $\cos 120^\circ = -1/2$. Получим ответ в.

9.5. Фотон с импульсом p_1 рассеивается на покоящейся микрочастице, улетая после рассеяния противоположно первоначальному направлению движения, и имеет после рассеяния импульс p_2 . Величину массы m микрочастицы можно рассчитать по формуле (где c – скорость света):

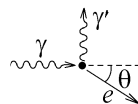


- а) $\frac{2(p_1 - p_2)}{cp_1 p_2}$; б) $\frac{2p_1 p_2}{c(p_1 - p_2)}$; в) $\frac{2p_1 p_2}{c(p_2 - p_1)}$; г) $\frac{p_1 p_2}{c(p_1 - p_2)}$;

9.6. Фотон с первоначальной длиной волны λ рассеивается под углом $\theta = 60^\circ$ к первоначальному направлению движения на покоящемся электроне, имеющем комптоновскую длину волны Λ . После рассеяния длина волны фотона: а) увеличится на 2Λ ; б) уменьшится на $\Lambda/2$; в) увеличится на Λ ; г) уменьшится на Λ ; д) увеличится на $\Lambda/2$;



9.7*. На рисунке показаны направления падающего фотона γ , рассеянного фотона γ' и электрона отдачи e . Угол рассеяния фотона на первоначально покоившемся электроне равен 90° , электрон отдачи движется под углом $\theta = 30^\circ$ к направлению движения падающего фотона. Если импульс электрона отдачи $3 \text{ (МэВ}\cdot\text{с)/м}$, то импульс падающего фотона (в тех же единицах) равен: а) $2\sqrt{3}$; б) $3/2$; в) $\sqrt{3}$; г) $3\sqrt{3}/2$; д) $2/\sqrt{3}$;



Решение. Закон сохранения импульса до и после рассеяния фотона, $\vec{p}_\Phi = \vec{p}_\Phi' + \vec{p}_e$, показан на рис.3.5. Из прямоугольного треугольника, образованного векторами импульсов частиц видно, что $p_\Phi = p_e \cos\theta =$

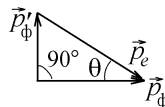


Рис.3.5

$= \sqrt{3}p_e/2$ (ответ г).

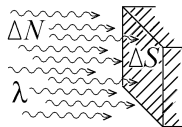
3.10. Фотоны. Давление света

10.1. Импульс фотона имеет наибольшее значение в следующем диапазоне частот: а) видимого света; б) инфракрасного излучения; в) рентгеновского излучения; д) ультрафиолетового излучения;

10.2. Лазер испускает N фотонов за единицу времени и имеет длину волны λ . Луч лазера падает на зеркальную поверхность. Давление, которое он оказывает на поверхность:

- а) пропорционально N и не зависит от λ ; б) пропорционально N/λ ; в) пропорционально $N\lambda$; г) пропорционально $1/\lambda$ и не зависит от N ; д) пропорционально λ/N ; е) пропорционально $1/(N\lambda)$;

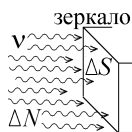
10.3. На зачерненную поверхность тела нормально падают фотоны монохроматического лазерного излучения с длиной волны λ , создавая давление p . Сколько фотонов ΔN попадает на площадку ΔS за время Δt , если тело поглощает всё падающее на него излучение (укажите правильную формулу, где h – постоянная Планка):



- а) $\frac{2p\lambda\Delta t\Delta S}{h}$; б) $\frac{p\Delta t\Delta S}{h\lambda}$; в) $\frac{hp\Delta t\Delta S}{\lambda}$; г) $\frac{p\lambda\Delta t\Delta S}{h}$; д) $\frac{p\lambda\Delta t\Delta S}{h}$;

Решение. Каждый фотон имеет импульс $p_{\text{ф}} = h/\lambda$. Все ΔN фотонов имеют импульс $\Delta p = \Delta N \cdot h/\lambda$, который будет передан зачерненному телу, поглощающему все падающие фотоны. Согласно закону Ньютона это создаёт силу давления $F_{\text{давл}} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{h\Delta N}{\lambda\Delta t}$. При этом давление $p = \frac{F_{\text{давл}}}{\Delta S} = \frac{h\Delta N}{\lambda\Delta t\Delta S}$. Отсюда $\Delta N = \frac{p\lambda\Delta t\Delta S}{h}$ (ответ г).

10.4. На поверхность тела нормально падают фотоны монохроматического излучения, действуя на поверхность с силой F . За время Δt на эту поверхность падает ΔN фотонов. Тело зеркально отражает всё падающее на него излучение. Частоту ν данного излучения можно вычислить по формуле (h – постоянная Планка, c – скорость света):



- а) $\frac{cF\Delta t}{2h\Delta N}$; б) $\frac{hcF\Delta t}{2\Delta N}$; в) $\frac{cF\Delta t}{h\Delta N}$; г) $\frac{c\Delta t}{hF\Delta N}$; д) $\frac{hcF\Delta t}{\Delta N}$; е) $\frac{c\Delta t}{2hF\Delta N}$;



Следите за тем, на какую поверхность падает свет. В предлагаемых тестовых вопросах считается, что зачерненная (черная) поверхность идеально поглощает весь падающий свет, а зеркальная поверхность идеально отражает весь свет.

Решение. В отличие от предыдущего примера, фотоны отражаются от зеркала с тем же импульсом $p_{\text{ф}} = h\nu/c$, с которым падают на него. В случае падения на зеркало передаваемый телу импульс удваива-

ется: $\Delta p = \Delta N \cdot 2p_{\text{ф}}$. Отсюда $F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = 2 \frac{h\nu \Delta N}{c \Delta t}$ и $\nu = \frac{cF \Delta t}{2h \Delta N}$ (ответ а).

10.5*. На зеркальную пластинку падает световой поток. Если число фотонов, падающих на единицу поверхности за единицу времени, увеличить в 2 раза, а зеркальную поверхность зачернить, то световое давление: а) уменьшится в 4 раза; б) уменьшится в 2 раза; в) не изменится; г) увеличится в 2 раза; д) увеличится в 4 раза;

10.6. Параллельный пучок света с длиной волны $\lambda_1 = 500$ нм падает нормально на зачерненную плоскую поверхность и производит на нее давление p . Какое давление будет производить другой падающий нормально на зеркальную поверхность параллельный пучок света с длиной волны $\lambda_2 = 750$ нм, если плотность фотонов в нем в 3 раза больше плотности фотонов в первом световом пучке:

а) $0,5p$; б) $0,667p$; в) $1,33p$; г) $1,5p$; д) $2p$; е) $4p$;

10.7*. Параллельный пучок света падал на зачерненную плоскую поверхность под углом $\theta = 45^\circ$ к нормали и производил на нее давление p . Угол падения света уменьшили до 30° . После этого пучок света стал производить давление:

а) $3p$; б) $2p$; в) $1,5p$; г) p ; д) $0,816p$; е) $0,5p$;

Решение. Световой пучок падает под углом θ на площадку ΔS (она изображена перпендикулярно плоскости рис.3.6). За время Δt на неё будут попадать фотоны, находящиеся в заштрихованном на рис.3.6,а объеме $c\Delta t \cdot \Delta S' = c\Delta t \Delta S \cdot \cos \theta$. Если плотность фотонов в пучке (число фотонов в единице объема) равна $n_{\text{ф}}$, и каждый фотон имеет импульс $p_{\text{ф}}$, их суммарный импульс, передаваемый зачерненной поверхности ΔS , равен $\Delta p = p_{\text{ф}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot c\Delta t \Delta S \cos \theta$.



Рис.3.6

Давление создается силой $\vec{F}_{\text{давл}} = \Delta p_{\perp} / \Delta t$, перпендикулярной к поверхности, поэтому следует учесть только нормальную составляющую импульсов падающих фотонов $p_{\text{ф}\perp} = p_{\text{ф}} \cos \theta$ (рис.3.6,б).

Поэтому величина давления светового пучка пропорциональна квадрату косинуса угла падения света: $p = F_{\text{давл}} / \Delta S = c p_{\text{ф}} n_{\text{ф}} \cdot \cos^2 \theta$.

В рассматриваемом примере $p' = p \cdot \cos^2 30^\circ / \cos^2 45^\circ = 1,5p$ (ответ в).

10.8*. Параллельный пучок света падал на зеркальную плоскую поверхность под углом 45° к нормали и производил на нее давление p . Укажите, какое давление будет производить тот же пучок света, падая нормально на зачерненную плоскую поверхность:

- а) $p/2$; б) p ; в) $2p$; г) $4p$; д) $8p$;

10.9*. Параллельный пучок света падает на зеркальную плоскую поверхность под углом 60° к нормали и производит давление p . При замене зеркальной поверхности на зачерненную давление света не изменится, если угол падения будет равен:

- а) 0° ; б) 23° ; в) 30° ; г) 45° ; д) 60° ; е) 67° ;

3.11. Волновые свойства микрочастиц. Волна де Бройля

11.1. Нерелятивистская микрочастица с зарядом q была ускорена разностью потенциалов $\Delta\phi$. После этого длина волны де Бройля частицы оказалась равной λ_B . Укажите формулу, по которой можно вычислить массу данной частицы, если h – постоянная Планка:

- а) $\frac{\lambda_B^2}{2qh^2\Delta\phi}$; б) $\frac{h^2}{q\Delta\phi\lambda_B^2}$; в) $\frac{2h^2}{q\Delta\phi\lambda_B^2}$; г) $\frac{\lambda_B^2}{qh^2\Delta\phi}$; д) $\frac{h^2}{2q\Delta\phi\lambda_B^2}$;

Решение. За счет работы электрического поля частица приобретает кинетическую энергию $q\Delta\phi = E_k = mv^2/2$, импульс $p = mv = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2mq\Delta\phi}$, а её дебройлевская длина волны будет равна $\lambda_B = h/p$, откуда $m = h^2 / (2q\Delta\phi\lambda_B^2)$ (ответ д).

11.2. Кинетическая энергия первой нерелятивистской микрочастицы в четыре раза больше кинетической энергии второй микрочастицы. Укажите правильную величину отношения $\lambda_{B1}/\lambda_{B2}$ длины волны де Бройля первой микрочастицы к длине волны де Бройля второй микрочастицы, если масса первой микрочастицы в два раза больше массы второй микрочастицы:

- а) $\sqrt{8}$; б) $0,5$; в) 2 ; г) $1/\sqrt{2}$; д) 4 ; е) 1 ; ж) $\sqrt{2}$; з) $1/\sqrt{8}$;

11.3*. Отношение величин скоростей нерелятивистских частиц 1 и 2 равно $v_1/v_2 = 0,25$, а отношение их длин волн де Бройля равно, соответственно, $\lambda_{B1}/\lambda_{B2} = 2$. Укажите правильную величину отношения m_1/m_2 массы первой частицы к массе второй частицы:

- а) 8 ; б) 4 ; в) 2 ; г) 1 ; д) $1/2$; е) $1/4$; ж) $1/8$;

11.4. Масса α -частицы (ядра гелия) в 2 раза больше массы дейтрона (ядра дейтерия, изотопа водорода). Первоначально они покоились. Затем дейтрон ускоряется электрическим полем с разностью потенциалов $\Delta\varphi_D$, а α -частица ускоряется электрическим полем с разностью потенциалов $\Delta\varphi_\alpha$. После ускорения обе частицы имеют одинаковую величину длины волны де Бройля. Укажите правильную величину отношения $\Delta\varphi_D/\Delta\varphi_\alpha$:

- а) 4; б) 0,25; в) 16; г) 1; д) 1/16; е) 2; ж) 0,5;

Решение. В примере 11.1 было получено $\lambda_B = h/p = h/\sqrt{2mq\Delta\varphi}$. По условию $\lambda_{B\alpha} = \lambda_{BD}$ и поэтому $2m_\alpha q_\alpha \Delta\varphi_\alpha = 2m_D q_D \Delta\varphi_D$. Но заряд ядра гелия в 2 раза больше заряда ядра дейтерия. Поэтому $\frac{\Delta\varphi_D}{\Delta\varphi_\alpha} = \frac{m_\alpha q_\alpha}{m_D q_D} = 4$ (ответ а).

11.5. Нерелятивистский протон был ускорен такой же разностью потенциалов, что и α -частица (ядро атома гелия). Укажите верную величину отношения $\lambda_{B\alpha}/\lambda_{Bp}$ длины волны де Бройля α -частицы к длине волны де Бройля протона:

- а) 1; б) $\sqrt{2}$; в) 2; г) $\sqrt{8}$; д) 4; е) $\frac{1}{\sqrt{2}}$; ж) $\frac{1}{2}$; з) $\frac{1}{\sqrt{8}}$; и) $\frac{1}{4}$;

3.12. Соотношения неопределенности

12.1. Неопределенность измерения энергии некоторой частицы равна $\Delta_n E$. Укажите соотношение для величины неопределенности $\Delta_n t$ времени измерения этой энергии, если $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с:

- а) $\Delta_n t \geq \frac{\hbar \Delta_n E}{2}$; б) $\Delta_n t = \frac{\hbar}{2\Delta_n E}$; в) $\Delta_n t \leq \frac{\hbar}{2\Delta_n E}$; г) $\Delta_n t \geq \frac{\hbar}{2\Delta_n E}$;

12.2. В некотором эксперименте величину проекции импульса на ось x измеряют настолько точно, что её неопределенность стремится к нулю: $\Delta_n p_x \rightarrow 0$. При этом неопределенность местоположения данной частицы (неопределенность её координаты x) (укажите правильное утверждение, где $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с):

- а) $\Delta_n x \rightarrow 0$; б) $\Delta_n x \rightarrow \hbar$; в) $\Delta_n x \rightarrow \hbar/2$; г) $\Delta_n x \rightarrow \infty$;
д) точности измерения $\Delta_n p_x \rightarrow 0$ нельзя добиться в принципе;

12.3. Проводя измерения различных параметров микрочастицы,

измеряют её: 1) полную энергию E ; 2) полный момент импульса L ; 3) проекцию момента импульса L_x на ось x ; 4) координату x ; 5) проекцию L_z момента импульса на ось z ; 6) координату z ; 7) проекцию импульса p_x на ось x ; 8) проекцию импульса p_y на ось y ; 9) момент времени измерения t .

Оказывается, что одновременно **нельзя** измерить или определить следующие величины (укажите правильный ответ из приведенных):

а) 1 и 5; б) 7 и 8; в) 1 и 2; г) 4 и 6; д) 6 и 7; е) 1 и 9; ж) 2 и 5;

Решение. Согласно квантовой теории, сопряженными величинами, которые нельзя измерить совместно, будут только те пары величин, для которых выполняются соотношения неопределенности:

$$\Delta_n x \cdot \Delta_n p_x \geq \hbar/2; \quad \Delta_n y \cdot \Delta_n p_y \geq \hbar/2; \quad \Delta_n z \cdot \Delta_n p_z \geq \hbar/2; \quad \Delta_n E \cdot \Delta_n t \geq \hbar/2;$$

$$\Delta_n L_x \cdot \Delta_n L_y \geq \hbar/2; \quad \Delta_n L_x \cdot \Delta_n L_z \geq \hbar/2; \quad \Delta_n L_y \cdot \Delta_n L_z \geq \hbar/2.$$

Среди приведенных ответов только пара E и t (ответ е) входит в эти соотношения. Остальные пары величин не являясь сопряженными, могут быть измерены одновременно: например, p_x и z ; L и L_x ; E и L и т.п.

12.4. Проводя измерения различных параметров микрочастицы измеряют её: 1) координату x ; 2) проекцию импульса p_x на ось x ; 3) проекцию импульса p_y на ось y ; 4) полный момент импульса L ; 5) координату y ; 6) проекцию момента импульса L_x на ось x ; 7) полную энергию E ; 8) момент времени измерения t .

Оказывается, что одновременно **нельзя** измерить или определить следующие величины (укажите два правильных ответа из приведенных):

а) 2 и 3; б) 3 и 5; в) 2 и 5; г) 7 и 8; д) 4 и 7; е) 4 и 6;

12.5. Проводя измерения различных параметров микрочастицы измеряют её: 1) полный момент импульса L ; 2) полную энергию E ; 3) проекцию момента импульса L_x на ось x ; 4) координату x ; 5) проекцию момента импульса L_z на ось z ; 6) координату z ; 7) проекцию импульса p_x на ось x ; 8) проекцию импульса p_y на ось y ; 9) момент времени измерения t .

Оказывается, что одновременно **можно** измерить или определить следующие величины (укажите два правильных ответа из приведенных):

а) 2 и 9; б) 4 и 7; в) 1 и 2; г) 2 и 5; д) 3 и 5;

12.6. При измерении полной энергии микрочастицы неопределенность времени измерения (длительность процесса измерения) оказалась равной $\Delta_n t = 10^{-10}$ с. При этом порядок неопределенности измеренной величины энергии микрочастицы можно оценить из соотношения: а) $\Delta_n E \geq 10^{34}$ Дж; б) $\Delta_n E \geq 10^{-34}$ Дж; в) $\Delta_n E \geq 10^{-19}$ Дж; г)

$\Delta_n E \geq 10^{-24}$ Дж ; д) $\Delta_n E \leq 10^{-24}$ Дж ; е) $\Delta_n E \leq 10^{-34}$ Дж ;

3.13. Волновые функции. Уравнение Шредингера

13.1. Микрочастица с массой m находится в стационарном потенциальном поле, а её состояние описывается волновой функцией $\psi(x)$, зависящей от координаты x . Если $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, то кинетическую энергию частицы можно вычислить из соотношения:

$$\begin{aligned} \text{а) } E_k &= \frac{-\hbar^2}{2m\psi(x)} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2}; \quad \text{б) } E_k = \frac{-2m}{\hbar^2\psi(x)} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2}; \quad \text{в) } E_k = \frac{\hbar^2\psi(x)}{2m \cdot d^2\psi(x)/dx^2}; \\ \text{г) } E_k &= \frac{-\hbar^2\psi(x)}{2m \cdot d^2\psi(x)/dx^2}; \quad \text{д) } E_k = \frac{\hbar^2}{2m\psi(x)} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2}; \quad \text{е) } E_k = \frac{2m}{\hbar^2\psi(x)} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2}; \end{aligned}$$

13.2. Микрочастица находится в стационарном потенциальном поле, в котором имеет потенциальную энергию $U(x, y, z)$ и полную энергию E , а её состояние описывается волновой функцией $\psi(x, y, z)$. Если $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, а Δ – дифференциальный оператор Лапласа, то массу m частицы можно вычислить из соотношения:

$$\begin{aligned} \text{а) } m &= \frac{\hbar^2}{2(U-E)} \cdot \frac{\Delta\psi}{\psi}; \quad \text{б) } m = \frac{2(E-U)}{\hbar^2} \cdot \frac{\Delta\psi}{\psi}; \quad \text{в) } m = \frac{2(U-E)}{\hbar^2} \cdot \frac{\Delta\psi}{\psi}; \\ \text{г) } m &= \frac{\hbar^2}{2(U-E)} \cdot \frac{\psi}{\Delta\psi}; \quad \text{д) } m = \frac{\hbar^2}{2(E-U)} \cdot \frac{\Delta\psi}{\psi}; \quad \text{е) } m = \frac{\hbar^2}{2(E-U)} \cdot \frac{\psi}{\Delta\psi}; \end{aligned}$$

13.3. Состояние свободной микрочастицы описывается волновой функцией $\psi(x) = A \cos(kx)$, где A и k – постоянные величины, масса частицы равна m , а её полная энергия равна E . Постоянную k можно вычислить из соотношения, где $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с :

$$\text{а) } k = -\frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}; \quad \text{б) } k = \frac{1}{\hbar} \sqrt{\frac{2m}{E}}; \quad \text{в) } k = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar}; \quad \text{г) } k = -\frac{1}{\hbar} \sqrt{\frac{2m}{E}};$$

13.4. Полная энергия свободной микрочастицы равна E . Её состояние описывается волновой функцией $\psi(x) = C \exp(i\alpha x)$, где C и α – постоянные величины, i – мнимая единица. Массу m частицы можно вычислить из соотношения ($\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с) :

$$\text{а) } m = \frac{\hbar^2}{2E\alpha^2}; \quad \text{б) } m = -\frac{\alpha^2\hbar^2}{2E}; \quad \text{в) } m = -\frac{\hbar^2}{2E\alpha^2}; \quad \text{г) } m = \frac{\alpha^2\hbar^2}{2E};$$

Решение. Вычислим производную $d^2\psi/dx^2 = (i\alpha)^2\psi = -\alpha^2\psi$ и подставим её в уравнение Шредингера $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - E_{\text{пот}})\psi = 0$. Потенциальную энергию свободной частицы можно считать равной нулю: $E_{\text{пот}} = 0$. Сокращая полученное равенство на ψ , приходим к ответу (г).

13.5. Состояния двух свободных электронов описываются волновыми функциями $\psi_1(x) = A_1 \cos(k_1x)$ и $\psi_2(x) = A_2 \cos(k_2x)$, где A_1, A_2, k_1 и k_2 – постоянные величины. Известно что электрон с волновой функцией ψ_1 имеет полную энергию E_1 . Укажите, какой должна быть полная энергия электрона с волновой функцией ψ_2 , если $k_2 = k_1/2$:

$$\text{а) } E_2 = \frac{E_1}{16}; \quad \text{б) } E_2 = \frac{E_1}{2}; \quad \text{в) } E_2 = 2E_1; \quad \text{г) } E_2 = \frac{E_1}{4}; \quad \text{д) } E_2 = 4E_1;$$

13.6. Волновая функция, описывающая состояние микрочастицы, движущейся вдоль оси x , имеет вид $\psi(x) = A \cdot \sqrt{\cos(kx)}$, где A и k – постоянные величины. Плотность вероятности обнаружения частицы максимальна в точке с координатой:

$$\text{а) } x = \frac{\pi}{8k}; \quad \text{б) } x = \frac{\pi}{k}; \quad \text{в) } x = \frac{\pi}{2k}; \quad \text{г) } x = \frac{\pi}{4k}; \quad \text{д) } x = \frac{2}{k};$$

Решение. В случае одномерного движения функция плотности вероятности обнаружения частицы равна $dP/dx = |\psi|^2 = A^2 |\cos(kx)|$. Она максимальна в точках, где $|\cos(kx)| = 1$, т.е. $kx = \pi n$, где n – целое число. Среди приведенных вариантов ответа это ответ (б).

13.7. Волновая функция, описывающая состояние микрочастицы в центрально-симметричном поле, имеет вид $\psi(r) = A \cdot \exp(-kr^2)$, где A и k – постоянные действительные величины, r – расстояние до центральной точки. Плотность вероятности обнаружения частицы на расстоянии r от центральной точки равна:

$$\begin{aligned} \text{а) } 4\pi A^2 r^2 \exp(-kr^2); \quad \text{б) } A^2 \exp(-2kr^2); \quad \text{в) } 4\pi A^2 \exp(-kr^2); \\ \text{г) } A^2 \exp(-kr^2); \quad \text{д) } 4\pi A^2 \exp(-2kr^2); \quad \text{е) } 4\pi A^2 r^2 \exp(-2kr^2); \end{aligned}$$

Решение. В этом случае функция плотности вероятности обнаружения частицы $dP/dr = 4\pi r^2 |\psi|^2$. Правильным ответом будет (е).

13.8. Состояние микрочастицы, движущейся в ограниченном центрально-симметричном поле, описывается волновой функцией $\psi(r) = A/r^2$, где A – константа, а r – расстояние до центральной точки. Отношение плотности вероятности обнаружения частицы в точке с координатой r_1 к плотности вероятности её обнаружения в точке r_2 равно (укажите правильный ответ):

- а) $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^6$; б) $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^4$; в) $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$; г) 1; д) $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$; е) $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^4$; ж) $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^6$;

13.9. Состояние микрочастицы, движущейся в центрально-симметричном поле, описывается волновой функцией $\psi(r)$, где r – расстояние до центральной точки. Вероятность обнаружения частицы в объеме, ограниченном условием $0 \leq r \leq a$ определяется соотношением (укажите правильный ответ):

- а) $\int_0^a 4\pi r^2 \psi^2 dr$; б) $\int_0^a \psi^2 dr$; в) $\int_0^a 4\pi r^2 \psi^* \psi dr$; г) $\int_0^a 4\pi \psi^2 dr$; д) $\int_0^a \psi^* \psi dr$;

3.14. Боровский одноэлектронный атом и постулат Бора

14.1. Электрон в одноэлектронном атоме переходит с шестой на вторую боровскую орбиту. При этом величина (модуль) $|E|$ его энергии:

а) увеличивается в 9 раз; б) увеличивается в 3 раза; в) не изменяется; г) уменьшается в 3 раза; д) уменьшается в 9 раз;

14.2. Электрон с массой m и с отрицательным электрическим зарядом $-q$ находится в поле кулоновского притяжения очень тяжелой частицы с положительным электрическим зарядом $+Q$, образуя одноэлектронный атом. Электрон переходит с четвертой на вторую боровскую орбиту. При этом его энергия уменьшается на величину ($k = 1/4\pi\epsilon_0$, $\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка):

- а) $\frac{1}{2} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$; б) $\frac{1}{4} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$; в) $\frac{3}{16} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$; г) $\frac{3}{32} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$;

14.3. Электрон с массой m и с отрицательным электрическим зарядом $-q$ находится в поле кулоновского притяжения ядра с массой M и с положительным электрическим зарядом $+Q$, образуя одноэлектронный атом. При этом $M \gg m$, $k = 1/4\pi\epsilon_0$, $\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка. Электрон переходит с шестой на третью боровскую орбиту. При этом атом испускает фотон с энергией:

а) $\frac{1}{2} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$; б) $\frac{1}{12} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$; в) $\frac{1}{6} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$; г) $\frac{1}{24} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2}$;

Решение. Энергия электрона на n -й боровской орбите одноэлектронного атома с зарядом ядра Q , имеет выражение $E_n = -\frac{k^2 Q^2 q^2 m}{2\hbar^2 n^2}$.

Энергия испущенного фотона будет равна разности энергий на шестой и третьей орбитах: $E_\phi = E_6 - E_3 = \frac{k^2 Q^2 q^2 m}{2\hbar^2} \left(\frac{1}{9} - \frac{1}{36} \right) = \frac{k^2 Q^2 q^2 m}{24\hbar^2}$ (ответ г).

14.4. Микрочастица с массой m и с отрицательным электрическим зарядом $-q$ находится в поле кулоновского притяжения микрочастицы с массой M и с положительным электрическим зарядом $+Q$. При этом $M \gg m$, $k = 1/4\pi\epsilon_0$, c – скорость света. Чтобы перейти из основного в первое возбужденное состояние такой квантовой системы, частица с массой m должна поглотить фотон с импульсом, равным:

а) $\frac{3}{4} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2 c}$; б) $\frac{3}{8} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2 c}$; в) $\frac{3}{2} \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2 c}$; г) $3 \frac{(k q Q)^2 m}{\hbar^2 c}$;

14.5. Электрон с массой m и с отрицательным электрическим зарядом $-q$ образует одноэлектронный атом вместе с очень тяжелым ядром, имеющим положительный электрический заряд $+Q$. Отношение величин (модулей) $|E_1|/|E_2|$ энергии E_1 первого возбужденного состояния электрона, и энергии E_2 электрона, находящегося на шестой боровской орбите равно:

а) 2; б) 3; в) 4,5; г) 6; д) 9; е) 12; ж) 24;

14.6. Если радиус n -й боровской электронной орбиты в одноэлектронном атоме равен шестнадцати радиусам первой боровской орбиты, то отношение $\lambda_{Бн}/\lambda_{Б1}$ длины волны де Бройля электрона, находящегося на n -й орбите к длине волны де Бройля электрона, находящегося на первой орбите, равно: а) 0,25; б) 0,5; в) 1; г) 2; д) 4;

14.7. Если величина (модуль) $|E_1|$ энергии электрона, находящегося на первой боровской электронной орбите одноэлектронного атома в 25 раз больше величины (модуля) $|E_n|$ энергии электрона, находящегося на n -й боровской орбите, то отношение $|L_1|/|L_n|$ величин моментов импульса электронов, находящихся на первой и на n -й боровских орбитах, равно:

- а) 0,2; б) 0,25; в) 0,4; г) 0,5; д) 1; е) 2; ж) 2,5; з) 4; и) 5;

Решение. Так как $|E_n| = |E_1|/n^2$, то $n = 5$. Согласно квантовому постулату Бора, момент импульса электрона на n -й боровской орбите равен $L_n = m r_n v_n = n\hbar$. Поэтому $|L_1|/|L_n| = 1/n = 1/5$ (ответ а).

14.8. Если величина L_n момента импульса электрона, находящегося на n -й боровской электронной орбите одноэлектронного атома, в три раза больше величины L_2 момента импульса электрона, находящегося на второй боровской орбите, то отношение r_n/r_2 радиуса n -й орбиты к радиусу второй орбиты равно:

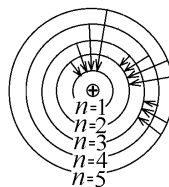
- а) 1/9; б) 1/6; в) 1/3; г) 1; д) 3; е) 6; ж) 9; з) другой ответ;

14.9. С увеличением номера n боровской электронной орбиты в одноэлектронном атоме величина скорости v_n электрона, находящегося на этой орбите:

а) уменьшается пропорционально n^3 ;
 б) уменьшается пропорционально n^2 ;
 в) уменьшается пропорционально n ;
 г) не изменяется;
 д) возрастает пропорционально n ;
 е) возрастает пропорционально n^2 ;
 ж) возрастает пропорционально n^3 ;

3.15. Спектральные серии одноэлектронного атома

15.1*. На рисунке схематически изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора. Также условно изображены переходы электрона с одной орбиты на другую, сопровождающиеся испусканием фотона. Наименьшей частоте излученного фотона в серии Пашена соответствует следующий переход из тех, что изображены на рисунке:



- а) $n=3 \rightarrow n=2$; б) $n=2 \rightarrow n=1$; в) $n=4 \rightarrow n=3$; г) $n=5 \rightarrow n=2$; д) $n=5 \rightarrow n=1$;

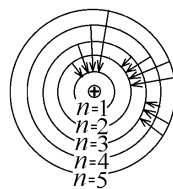


Помните, что спектральная серия Лаймана соответствует переходу электрона на первую боровскую орбиту $n \rightarrow 1$, серия Бальмера – переходу на вторую боровскую орбиту $n \rightarrow 2$, а се-

рия Паашена – переходу на третью орбиту $n \rightarrow 3$. Энергия испущенного при этом фотона, выраженная через его частоту, импульс или длину волны, $E_\phi = \hbar\omega = c p_\phi = 2\pi\hbar c/\lambda$, равна разности энергий начального и конечного состояния системы (атома): $E_\phi = |E_{\text{нач}} - E_{\text{кон}}|$.

Решение. Для серии Паашена при переходе с n -й орбиты на третью испускается фотон с энергией $E_\phi = \hbar\omega_{n \rightarrow 3} = E_n - E_3 = |E_1| \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, где $n > 3$, $|E_1| = 13,6$ эВ. Максимальным это выражение будет при самом большом возможном значении n , а наименьшим – при $n=4$ (ответ в).

15.2*. На рисунке условно изображены переходы электрона в одноэлектронном атоме с одной боровской орбиты на другую, сопровождающиеся испусканием фотона. Среди всех переходов, изображенных на рисунке, наибольшему импульсу испущенного фотона в серии Лаймана соответствует следующий переход:



а) $n=3 \rightarrow n=2$; б) $n=2 \rightarrow n=1$; в) $n=4 \rightarrow n=3$; г) $n=5 \rightarrow n=2$; д) $n=5 \rightarrow n=1$;

Решение. Для серии Лаймана $E_\phi = c p_\phi = E_n - E_1 = |E_1| \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$.

Наибольшая величина энергии E_ϕ и импульса p_ϕ соответствует наибольшему возможному значению $n=5$ на рисунке (ответ д).

15.3. Переход электрона с боровской орбиты с главным квантовым числом n на орбиту с главным квантовым числом n' в атоме водорода соответствует линии одной из спектральных серий излучения. При этом максимальной длине волны излучения в серии Бальмера соответствует переход:

а) $n = \infty \rightarrow n' = 1$; б) $n = \infty \rightarrow n' = 2$;
в) $n = \infty \rightarrow n' = 3$; г) $n = 2 \rightarrow n' = 1$; д) $n = 4 \rightarrow n' = 3$;
е) $n = 3 \rightarrow n' = 2$; ж) $n = 3 \rightarrow n' = 1$; з) $n = 4 \rightarrow n' = 1$;

Решение. Максимальная длина волны соответствует минимальной возможной энергии фотона $E_\phi = 2\pi\hbar c/\lambda = E_n - E_2 = |E_1| \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, которая в серии Бальмера соответствует переходу с третьей орбиты на вторую $n = 3 \rightarrow n' = 2$ (ответ е).

15.4. Максимальной частоте испущенного фотона в серии Лаймана соответствует следующий переход электрона с n -й боровской орбиты атома водорода на n' -ю орбиту:

- а) $n = \infty \rightarrow n' = 3$; б) $n = \infty \rightarrow n' = 3$; в) $n = \infty \rightarrow n' = 1$;
 г) $n = 2 \rightarrow n' = 1$; д) $n = 3 \rightarrow n' = 2$; е) $n = 4 \rightarrow n' = 3$;

15.5. Переход электрона с боровской орбиты с главным квантовым числом n на орбиту с главным квантовым числом n' в атоме водорода соответствует линии одной из спектральных серий излучения. При этом переходе $n = \infty \rightarrow n' = 3$ соответствует следующая длина волны излучения λ (укажите правильный ответ):

- а) минимальная в серии Лаймана; б) максимальная в серии Лаймана;
 в) минимальная в серии Бальмера; г) максимальная в серии Бальмера;
 д) минимальная в серии Пашена; е) максимальная в серии Пашена;

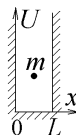
15.6. Переход электрона с боровской орбиты с главным квантовым числом n на орбиту с главным квантовым числом n' в атоме водорода соответствует линии одной из спектральных серий излучения. При том переходе $n = 3 \rightarrow n' = 2$ соответствует следующая величина импульса испущенного фотона (выберите правильный ответ):

- а) минимальная в серии Лаймана; б) максимальная в серии Лаймана;
 в) минимальная в серии Бальмера; г) максимальная в серии Бальмера;
 д) минимальная в серии Пашена; е) максимальная в серии Пашена;

3.16. Микрочастица в прямоугольной потенциальной яме

16.1*. Микрочастица с массой m находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины L с бесконечно высокими стенками. Два разрешенных состояния этой частицы описываются волновыми функциями, имеющими выражения

$$\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{2\pi x}{L} \quad \text{и} \quad \psi_2(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{4\pi x}{L}.$$



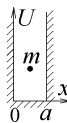
Если $\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка, то величина (модуль) разности значений энергии ΔE частицы в этих состояниях равна:

- а) $\frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$; б) $\frac{3\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$; в) $\frac{5\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$; г) $\frac{4\pi^2 \hbar^2}{mL^2}$; д) $\frac{9\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$; е) $\frac{6\pi^2 \hbar^2}{mL^2}$;

Решение. Частица в такой потенциальной яме может находиться в состояниях, описываемых волновыми функциями $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{\pi n x}{L}$, и иметь в этих состояниях разрешенные значения энергии $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2mL^2}$, где $n = 1, 2, 3, \dots$ – целое число. Согласно условию требуется найти вели-

чину $\Delta E = E_4 - E_2 = \frac{\pi^2 \hbar^2 (4^2 - 2^2)}{2mL^2} = \frac{12\pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$ (ответ е).

16.2. Микрочастица с массой m может находиться в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины a с бесконечно высокими стенками. в первом возбужденном состоянии и во втором возбужденном состоянии. Величина (модуль) разности значений энергии ΔE частицы в первом и во втором возбужденном состояниях равна ($\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка):

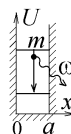


а) $\frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$; б) $\frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$; в) $\frac{5\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$; г) $\frac{7\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$; д) $\frac{9\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$; е) $\frac{12\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$;



Учитите, как нумеруются основной и возбужденные уровни энергии в прямоугольной (рис.1.44) и параболической (рис.1.41) потенциальной яме.

16.3. Микрочастица с массой m находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины a с бесконечно высокими стенками и переходит из четвертого возбужденного в основное состояние. При этом она испустит фотон с энергией, равной ($\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка):



а) $\frac{3\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$; б) $\frac{4\pi^2 \hbar^2}{ma^2}$; в) $\frac{15\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$; г) $\frac{12\pi^2 \hbar^2}{ma^2}$; д) $\frac{24\pi^2 \hbar^2}{ma^2}$;

Решение. Согласно рис.1.44, энергия испущенного фотона будет

равна $E_\phi = \hbar\omega = E_5 - E_1 = \frac{\pi^2 \hbar^2 (5^2 - 1^2)}{2ma^2}$ (ответ г).

16.4*. Микрочастица с массой m находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Два самых маленьких разрешенных значения энергии частицы в этой яме равны E_1 и E_2 , причем $E_2 > E_1$. Ширина a ямы равна (укажите ответ, где $\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка):

а) $\frac{\pi \hbar}{\sqrt{2m(E_2 - E_1)}}$; б) $\frac{3\pi \hbar}{\sqrt{2m(E_2 - E_1)}}$; в) $\frac{\sqrt{3} \pi \hbar}{\sqrt{2m(E_2 - E_1)}}$; д) $\frac{\sqrt{2} \pi \hbar}{\sqrt{2m(E_2 - E_1)}}$;

16.5. Микрочастица с массой m находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины a с бесконечно высокими стенками. Переходя из первого возбужденного в основное состояние, она

испускает фотон. Если и величина массы m , и ширина ямы a уменьшатся в два раза, то энергия такого фотона:

- а) увеличится в 16 раз; б) увеличится в 8 раз; в) увеличится в 4 раза; г) увеличится в 2 раза; д) не изменится; е) уменьшится в 2 раза; ж) уменьшится в 4 раза; з) уменьшится в 8 раз; и) уменьшится в 16 раз;

16.6*. Микрочастица с массой m , находящаяся в одномерной прямоугольной потенциальной яме ширины L с бесконечно высокими стенками, имела наименьшее разрешенное значение энергии. Укажите выражение для импульса фотона, который должна поглотить эта частица, чтобы оказаться на разрешенном энергетическом уровне, лежащем непосредственно над основным энергетическим уровнем (c – скорость света, $\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка):

- а) $\frac{3\pi^2\hbar^2 c}{2mL^2}$; б) $\frac{3\pi^2\hbar^2}{2mL^2 c}$; в) $\frac{\pi^2\hbar^2}{2mL^2 c}$; г) $\frac{\pi^2\hbar^2 c}{2mL^2}$; д) $\frac{3\pi^2\hbar^2}{4mL^2 c}$;

3.17. Квантовый гармонический осциллятор

17.1. Одномерный квантовый гармонический осциллятор, переходя с одного энергетического уровня на соседний энергетический уровень испускает или поглощает фотон с циклической частотой ω . Укажите правильное выражение для энергии этого осциллятора в третьем возбужденном состоянии, если $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с:

- а) $3\hbar\omega/2$; б) $2\hbar\omega$; в) $5\hbar\omega/2$; г) $3\hbar\omega$; д) $7\hbar\omega/2$; и) $9\hbar\omega/2$;

17.2. Собственная циклическая частота одномерного квантового гармонического осциллятора равна ω . Энергия некоторого фотона равна энергии пятого возбужденного состояния данного осциллятора. Циклическая частота ω_ϕ этого фотона равна:

- а) $5\omega/2$; б) 3ω ; в) $9\omega/2$; г) 5ω ; д) $11\omega/2$; е) 10ω ; ж) 11ω ;

Решение. В пятом возбужденном состоянии осциллятор имеет энергию $\hbar\omega(5+1/2)$ (см.рис.1.41). Поэтому $\omega_\phi = 11\omega/2$ (ответ д).

17.3. Микрочастица находится в одномерной потенциальной яме, где её потенциальная энергия имеет следующую зависимость от координаты: $U = kx^2/2$, где $k = \text{const}$. Отношение $E'':E':E$ трех **самых малых** разрешенных значений энергии частицы в этой яме равно:

- а) 2:1:0; б) 3:2:1; в) 6:3:1; г) 5:3:1; д) 4:2:1;

17.4. Микрочастица с массой m находится в стационарном состоянии в одномерной потенциальной яме, где её потенциальная энер-

гия имеет следующую зависимость от координаты: $U = kx^2/2$, где $k = \text{const}$. c – скорость света, $\hbar = 1,055 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Наименьшая величина импульса фотона, который может поглотить частица, равна:

- а) $\frac{\hbar}{c} \sqrt{\frac{2k}{m}}$; б) $\frac{\hbar}{c} \sqrt{\frac{k}{2m}}$; в) $\frac{\hbar}{c} \sqrt{\frac{k}{m}}$; г) $\frac{\hbar}{c} \sqrt{\frac{2m}{k}}$; д) $\frac{\hbar}{c} \sqrt{\frac{m}{2k}}$; е) $\frac{\hbar}{c} \sqrt{\frac{m}{k}}$;

Решение. Данная система является одномерным квантовым гармоническим осциллятором с частотой $\omega = \sqrt{k/m}$. В стационарном состоянии частица может иметь только разрешенные значения энергии $E_n = \hbar\omega(n+1/2)$. Поглотив фотон с наименьшим возможным импульсом p_ϕ и с энергией $E_\phi = cp_\phi = \hbar\omega$, частица переходит на соседний энергетический уровень (рис.1.41). Поэтому $p_{\phi \min} = \hbar\omega/c$ (ответ в).

17.5. Одномерный квантовый гармонический осциллятор переходит из третьего возбужденного в основное состояние, испуская фотон. Отношение энергии этого фотона к энергии основного состояния данного осциллятора равно:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 5; е) 6; ж) 9; з) 10; и) 12; к) 18;

17.6. Длина волны фотона равна λ_ϕ , а энергия этого фотона равна значению энергии четвертого возбужденного состояния некоторого одномерного квантового гармонического осциллятора. Укажите выражение для собственной циклической частоты ω данного осциллятора:

- а) $\omega = \frac{4\pi c}{9\lambda_\phi}$; б) $\omega = \frac{2\pi c}{9\lambda_\phi}$; в) $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda_\phi}$; г) $\omega = \frac{\pi c}{2\lambda_\phi}$; д) $\omega = \frac{3\lambda_\phi}{2\pi c}$;

17.7. Укажите величину отношения E_3/E_2 энергии третьего возбужденного состояния некоторого одномерного квантового гармонического осциллятора к энергии второго возбужденного состояния этого осциллятора:

- а) 3/2; б) 9/4; в) 7/3; г) 6; д) 7/2; е) 7/5; ж) 7/4; з) 4/3; и) 3;

3.18. Формулы квантования

момента импульса и магнитного момента электрона

18.1. Электрон находится в одной из d – подоболочек атома. Укажите, какие из перечисленных ниже значений **может** принимать проекция вектора орбитального момента импульса этого электрона на направление z внешнего магнитного поля:

- а) $-\hbar$ и $3\hbar$; б) 0 и $4\hbar$; в) 0 и $3\hbar$; г) $-2\hbar$ и \hbar ; д) \hbar и $4\hbar$;



Внимательно следите за тем, векторы каких моментов упоминаются в условии задания, и правильно записывайте формулы квантования их величин и проекций на выделенную ось z :

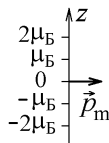
орбитальный момент импульса	$L = \hbar\sqrt{l(l+1)}, L_z = \hbar m,$
орбитальный магнитный момент	$p_m = \mu_B\sqrt{l(l+1)}, p_{mz} = \mu_B m,$
	где $l = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l,$
спиновый момент импульса	$L_s = \hbar\sqrt{s(s+1)}, L_{sz} = \hbar\sigma, \quad s = 1/2,$
спиновый магнитный момент	$p_m = 2\mu_B\sqrt{s(s+1)}, p_{mz} = 2\mu_B\sigma, \quad \sigma = \pm 1/2$

Здесь \hbar – постоянная Планка, μ_B – магнетон Бора.

Помните соответствие буквенных обозначений подболочек и орбитального квантового числа:

$l =$	0	1	2	3	4
подболочка	s	p	d	f	g

18.2. На рисунке приведена одна из возможных ориентаций вектора орбитального магнитного момента \vec{p}_m электрона из многоэлектронного атома. Укажите электронную подболочку, в которой находится этот электрон (μ_B – магнетон Бора, z – направление внешнего магнитного поля):

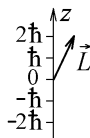


- а) g – подболочка; б) d – подболочка; в) p – подболочка;
г) s – подболочка; д) f – подболочка; е) нет правильного ответа;

Решение. Величина этого вектора и его проекция на ось z определяются орбитальным l и магнитным m квантовыми числами:

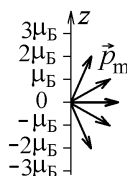
$p_m = \mu_B\sqrt{l(l+1)}, p_{mz} = \mu_B m$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$. Из рисунка видно, что величина вектора \vec{p}_m лежит в пределах $\mu_B < p_m < 2\mu_B$ или $1 < \sqrt{l(l+1)} < 2$. Этому условию удовлетворяет число $l = 1$ (ответ в).

18.3. На рисунке приведена одна из возможных ориентаций вектора орбитального момента импульса электрона из многоэлектронного атома. Укажите электронную подболочку, в которой находится этот электрон (\hbar – постоянная Планка, z – направление внешнего магнитного поля):



- а) g – подболочка; б) d – подболочка; в) p – подболочка;
г) s – подболочка; д) f – подболочка; е) нет правильного ответа;

18.4. На рисунке указаны все возможные ориентации вектора орбитального магнитного момента электрона из многоэлектронного атома относительно оси z , направленной вдоль линий индукции внешнего магнитного поля (μ_B – магнетон Бора). Величина этого вектора равна:



- а) $3\mu_B$; б) $\sqrt{6}\mu_B$; в) $\sqrt{8}\mu_B$; г) $\sqrt{15/2}\mu_B$; д) $\sqrt{12}\mu_B$;

18.5. Отношение величины (модуля) вектора орбитального момента импульса электрона, находящегося в $5g$ – подболочке возбужденного атома, к максимальному значению величины (модуля) проекции этого вектора на ось z равно:

- а) 1; б) $\sqrt{4/3}$; в) $\sqrt{5/2}$; г) $\sqrt{3/2}$; д) $\sqrt{5/4}$; е) 2,5; ж) $\sqrt{5}$;

18.6. Отношение величины (модуля) максимального значения проекции на ось z вектора орбитального момента импульса электрона, находящегося в $4f$ – подболочке атома, к модулю проекции вектора спинового (собственного) момента импульса этого электрона на ту же ось равно: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 6; е) 8; ж) 9;

18.7. Отношение величины (модуля) максимального значения проекции на ось z вектора орбитального магнитного момента электрона, находящегося в $4f$ – подболочке атома, к модулю проекции вектора спинового (собственного) магнитного момента этого электрона на ту же ось равно: а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) 6; е) 8; ж) 9;

18.8. Отношение величины (модуля) вектора орбитального магнитного момента электрона, находящегося в $3d$ – подболочке атома, к величине (модулю) спинового (собственного) магнитного момента этого электрона равно: а) 1; б) $\sqrt{2}$; в) $\sqrt{3}$; г) $\sqrt{6}$; д) $\sqrt{8}$; е) 3;

3.19. Заполнение электронных подболочек

Система квантовых чисел

19.1. Указанные далее подболочки атома урана заполнены электронами полностью. Отношение числа электронов в $4f$ – подболочке к числу электронов в $2p$ – подболочке равно:

- а) 1,5; б) 1,67; в) 2; г) 2,33; д) 2,67; е) 3; ж) 4; з) 6;

19.2. Укажите величину ΔN , на которую отличается число электронов в полностью заполненных $3d$ – и $2s$ – подболочках многоэлектронного атома: а) 2; б) 3; в) 4; г) 6; д) 8; е) 10; ж) 12;

19.3. Укажите все обозначения подоболочек многоэлектронного атома, которые записаны с ошибкой:

- а) $1s$; б) $3p$; в) $2d$; г) $4d$; д) $3s$; е) $5f$; ж) $3d$; з) ошибок нет;

19.4. Оболочки многоэлектронного атома с главными квантовыми числами $n=4$ и $n=3$. Разность чисел заполняющих их электронов равна: а) 1; б) 6; в) 8; г) 10; д) 14; е) 16; ж) 20; з) 24; и) 32;

19.5. В полностью заполненной оболочке гипотетического многоэлектронного атома с главным квантовым числом $n = 5$ находится N_1 электронов. N_2 – число электронов в последней подоболочке этой оболочки с максимальным значением орбитального квантового числа. Укажите правильную величину отношения N_1/N_2 :

- а) 1; б) $\frac{5}{4}$; в) $\frac{9}{5}$; г) $\frac{9}{7}$; д) $\frac{50}{9}$; е) $\frac{25}{7}$; ж) $\frac{25}{9}$; з) $\frac{32}{9}$;

Решение. В полностью заполненной оболочке с квантовым числом n находится $N_1 = 2n^2$ электронов, а в её подоболочке с наибольшим возможным квантовым числом $l = n - 1$ будет $N_2 = 2(2l + 1) = 2(2n - 1)$ электронов. Искомая величина $N_1/N_2 = 25/9$ (ответ ж).

19.6. Оболочка гипотетического атома с главным квантовым числом $n = 6$ полностью заполнена электронами. В подоболочках этой оболочки с максимальным и минимальным возможным значением орбитального квантового числа находится, соответственно, N_1 и N_2 электронов. Укажите величину отношения N_1/N_2 :

- а) 11; б) 10; в) 9; г) 8; д) 7; е) 6; ж) 5; з) 4; и) 3; к) 2;

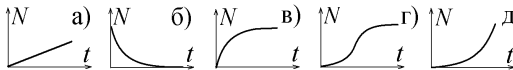
19.7. Если не учитывать влияние собственного магнитного момента электрона, то при включении внешнего магнитного поля энергетический уровень электрона, находящегося в $5f$ -подоболочке возбужденного атома водорода расщепится на подуровней:

- а) 2; б) 3; в) 4; г) 5; д) 6; е) 7; ж) 8; з) 9; и) 10; к) 12;

Решение. Во внешнем магнитном поле с индукцией \vec{B} , направленной вдоль оси z , электрон с орбитальным магнитным моментом \vec{p}_m приобретает дополнительную энергию $E_{\text{доп}} = -\vec{p}_m \vec{B} = -p_{mz} B = -m \mu_B B$, где μ_B – магнетон Бора, а $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \mp l$ – магнитное квантовое число, которое для f -подоболочки с орбитальным квантовым числом $l = 3$ принимает $2l + 1 = 7$ значений. Т.е. уровень энергии E_5 расщепится на 7 подуровней (ответ е).

3.20. Закон радиоактивного распада

20.1. В начальный момент времени $t=0$ радиоактивный образец имел N_0 ядер. Укажите график зависимости числа N распавшихся ядер этого образца от времени t :



20.2. Укажите, какая часть атомных ядер радиоактивного вещества распадается за время, равное трем периодам полураспада:

- а) $1/2$; б) $2/3$; в) $7/8$; г) $3/4$; д) $3/8$; е) $1/3$; ж) $1/8$; з) $1/2$;

20.3. Периоды полураспада ядер радиоактивных изотопов “1” и “2” равны, соответственно, $T_1 = 2$ с и $T_2 = 6$ с. В начальный момент времени $t_0 = 0$ число ядер обоих изотопов в образце одинаково. К моменту времени $t = 6$ с отношение числа сохранившихся ядер первого изотопа к числу сохранившихся ядер второго изотопа будет равно:

- а) $1/4$; б) $\exp(3)$; в) $1/2$; г) $\exp(-3)$; д) 8 ; е) 4 ; ж) $1/8$; з) 2 ;



Если заданный в условии интервал времени пропорционален периоду полураспада T : $t = nT$, где n – целое число, воспользуйтесь тем, что за каждый интервал времени $\Delta t = T$ число сохранившихся ядер уменьшается в 2 раза (рис.1.47). Поэтому к моменту времени $t = nT$ в образце сохранится $N_0/2^n$ ядер, а распадется $N_0(1 - 2^{-n})$ ядер.

20.4. В начальный момент времени $t = 0$ радиоактивный образец имел $8 \cdot 10^{20}$ ядер. В момент $t = 2$ с в нем сохранилось $4 \cdot 10^{20}$ ядер. Сколько радиоактивных ядер сохранится в этом образце в момент времени $t = 8$ с (выберите правильный ответ):

- а) $2 \cdot 10^{20}$; б) $5 \cdot 10^{19}$; в) 10^{20} ; г) $6,93 \cdot 10^{19}$; д) $1,5 \cdot 10^{20}$; е) $2,5 \cdot 10^{19}$;

Решение. Согласно условию, за время $t = 2$ с в образце распадается половина ядер. Это время будет периодом полураспада $T = 2$ с. Поэтому к моменту времени $t = 8$ с $= 4T$ в образце сохранится $N_0/2^4 = 8 \cdot 10^{20}/16 = 5 \cdot 10^{19}$ ядер (ответ б).

20.5. В начальный момент времени $t_0 = 0$ в образце содержалось N_0 ядер некоторого радиоактивного изотопа с периодом полураспада $T = 2$ с. Спустя какое время в образце распадется $7N_0/8$ ядер данного изотопа (выберите правильный ответ)?

- а) 2 с; б) 3 с; в) 4 с; г) 6 с; д) 7 с; е) 8 с; ж) 14 с; з) 16 с;

20.6. В начальный момент времени $t = 0$ радиоактивный образец имел $8 \cdot 10^{20}$ ядер. В момент $t = 0,5$ с в нем **распалось** $4 \cdot 10^{20}$ ядер. Сколько радиоактивных ядер **распадется** в этом образце к моменту времени $t = 2$ с (выберите правильный ответ):

- а) $4 \cdot 10^{20}$; б) $5 \cdot 10^{19}$; в) $7 \cdot 10^{20}$; г) $3,75 \cdot 10^{20}$; д) $7,5 \cdot 10^{20}$; е) $3,5 \cdot 10^{20}$;

20.7. В момент времени $t = 0$ в образце находилось в два раза больше ядер первого радиоактивного изотопа с периодом полураспада $T_1 = 1$ с, чем ядер второго радиоактивного изотопа с периодом полураспада $T_2 = 2$ с. Число еще не распавшихся ядер обоих изотопов в этом образце окажется одинаковым в момент времени:

- а) 0,5 с; б) 1 с; в) 2 с; г) 3 с; д) 4 с; е) 6 с; ж) 8 с; з) число ядер не сравняется никогда;

Решение. Первый изотоп с меньшим периодом полураспада распадается в 2 раза быстрее, чем второй. Пусть N_1 и N_2 – число ядер этих изотопов, сохранившихся к моменту времени t . Тогда к моменту $t = T_2 = 2T_1 = 2$ с окажется $N_2 = N_{20}/2$, $N_1 = N_{10}/2^2 = 2N_{20}/4 = N_2$ (ответ в).

3.21. Состав ядра, α -, β -, γ -распад. Энергетический выход реакции распада атомного ядра

21.1. Частицы 1) α -излучения; 2) β -излучения; 3) γ -излучения; 4) нейтроны пролетают область, в котором создано ускоряющее электрическое поле с разностью потенциалов $\Delta\phi$. Наибольшее приращение кинетической энергии после прохождения этого поля получают частицы:

- а) γ -излучения; б) β -излучения; в) α -излучения; г) нейтроны;

21.2. В результате ядерных распадов испускаются: 1) α -излучение; 2) β -излучение; 3) γ -излучение; 4) нейтроны. Среди перечисленных продуктов распада **наименьшей** проникающей способностью обладают:

- а) 1; б) 2; в) 3; г) 4;

21.3. В результате ядерных распадов испускаются частицы: 1) α -излучения с массой m_α ; 2) β -излучения с массой m_β ; 3) γ -излучения с массой m_γ ; 4) нейтроны с массой m_n . Надо расставить массы частиц данных излучений **в порядке убывания** (выберите правильный ответ):

- а) $m_\gamma > m_n > m_\beta > m_\alpha$; б) $m_\alpha > m_\beta > m_\gamma > m_n$; в) $m_n > m_\alpha > m_\beta > m_\gamma$; г) $m_\gamma > m_\beta > m_n > m_\alpha$; д) $m_\gamma > m_\beta > m_\alpha > m_n$; е) $m_\alpha > m_n > m_\beta > m_\gamma$;

21.4. Превращение ядра X_Z^A в ядро Y_{Z-1}^A соответствует:

а) α – распаду; б) γ – распаду; в) β^- – распаду; г) β^+ – распаду;

21.5. Ядро изотопа урана U_{92}^{235} испытывает α -распад и превращается в ядро: а) Pa_{91}^{235} ; б) Pa_{91}^{231} ; в) Th_{90}^{235} ; г) Pu_{94}^{235} ; д) Th_{90}^{231} ;

21.6. Ядро одного из изотопов рения Re_{75}^{182} испытывает β^+ – распад и превращается в ядро:

а) Os_{76}^{182} ; б) W_{74}^{178} ; в) Hf_{72}^{178} ; г) W_{74}^{182} ; д) Ta_{73}^{182} ; е) Ta_{73}^{178} ;

21.7. Ядро урана U_{92}^{235} испытывает последовательно сначала процесс α -распада, а затем процесс β^- – распада и превращается в ядро:

а) Pa_{91}^{231} ; б) Pa_{91}^{235} ; в) Ac_{89}^{231} ; г) Pu_{94}^{235} ; д) Th_{90}^{235} ; е) Th_{90}^{231} ;

21.8. Ядро изотопа урана U_{92}^{240} испытывает последовательно два процесса β^- – распада и превращается в ядро:

а) Pa_{91}^{240} ; б) Pu_{94}^{240} ; в) Ac_{89}^{236} ; г) Th_{90}^{236} ; д) Th_{90}^{240} ; е) Pa_{91}^{236} ;

21.9. Происходит превращение ядра X_Z^A в ядро Y_{Z-3}^{A-4} . Это превращение вызвано следующими ядерными реакциями:

а) α – распадом; б) α – и β^+ – распадом; в) β^- – распадом; г) α – и β^- – распадом; д) α – и γ – распадом; е) β^+ – распадом;

21.10. M – суммарная масса ещё не распавшихся ядер образца, обладающего естественной радиоактивностью; Q – выделившаяся в результате всех ядерных распадов энергия (тепло); c – скорость света. После окончания распадов суммарная масса всех продуктов распада начальных ядер будет равна: а) M ; б) $M + Q/c^2$; в) $M - Q/c^2$;

г) $Q/c^2 - M$; д) нет правильного ответа;

21.11. Энергетический выход распада ядра радиоактивного изотопа с периодом полураспада $T = 2$ с равен E_1 . К моменту времени $t = 8$ с за счет распада этих ядер выделилось тепло Q . В начальный момент $t_0 = 0$ число ядер изотопа определялось соотношением:

а) Q/E_1 ; б) $8Q/7E_1$; в) $Q/4E_1$; г) $4Q/3E_1$; д) $4Q/E_1$; е) $16Q/15E_1$;

Решение. Так как $t/T = 4$, то к моменту t сохранится $N_0/2^4$ ядер, а распадётся $\Delta N = N_0(1 - 2^{-4}) = 15N_0/16$ ядер с выделением тепла $Q = \Delta N \cdot E_1$. Поэтому начальное число ядер $N_0 = 16Q/15E_1$ (ответ е).

21.12. В начальный момент в образце находилось $4 \cdot 10^{22}$ ядер радиоактивного изотопа с периодом полураспада $T = 1$ с. За последующий интервал времени $\Delta t = 2$ с за счет распада этих ядер выделилось тепло $Q = 3$ Дж. Энергетический выход распада ядра данного изотопа равен: а) 10^{-22} Дж; б) $2 \cdot 10^{-22}$ Дж; в) $5 \cdot 10^{-23}$ Дж; г) $1,33 \cdot 10^{-22}$ Дж;

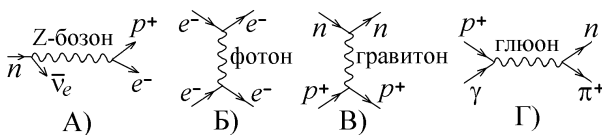
21.13*. На рисунке показана область существования β -активных ядер, где Z – порядковый номер элемента, N – число нейтронов в ядре. Линия $Z = Z_\beta$ соответствует β -стабильным ядрам, не испытывающим β -распад. При этом ядра испытывают следующий распад (выберите правильный ответ):

- а) β^+ – распад в области II; б) β^+ – распад в области I;
в) e^- – захват в области I; г) β^- – распад в области II;

Решение. В области II ($Z > Z_\beta$) ядро содержит избыточное число протонов, а в области I ($Z < Z_\beta$) – избыточное число нейтронов. В области I должны распадаться лишние нейтроны (β^- – распад), а в области II – лишние протоны: $p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ (β^+ – распад, ответ а).

3.22. Физика элементарных частиц

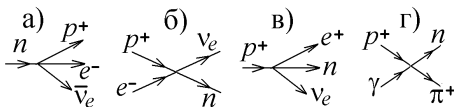
22.1*. Укажите правильное соответствие процессов с элементарными



частицами, приведенных на рисунке, типу их взаимодействия (1 – электромагнитное; 2 – гравитационное; 3 – слабое; 4 – сильное):

- а) А-1, Б-3, В-2, Г-4; б) А-3, Б-1, В-2, Г-4; в) А-4, Б-1, В-2, Г-3

22.2. Укажите процесс, не соответствующий слабому взаимодействию элементарных частиц:



Решение. Процессы а) (β^- – распад), б) (e^- – захват) и в) (β^+ – распад) обусловлены слабым взаимодействием элементарных частиц. Остается процесс г) распада протона на нейтрон и π^+ -мезон, происходящий за счет сильного взаимодействия частиц.

22.3. Укажите элементарную частицу, не принимающую участие в сильном взаимодействии:

а) нейтрон; б) π^0 – мезон; в) μ – мезон; г) протон; д) барион;

22.4. Имеются 4 вида фундаментальных взаимодействий элементарных частиц: А – сильное, Б – электромагнитное, В – слабое, Г – гравитационное. Лептоны не участвуют в следующем взаимодействии: а) А; б) Б и Г; в) Г; д) А и Б; е) В; ж) А и В; з) Б;

22.5. Полуцелым спиновым числом обладают:

а) мезоны; б) и мезоны, и барионы; в) барионы; г) фотоны;

22.6. Нейтрон состоит из: а) одного кварка; б) трех антикварков; в) двух кварков; г) кварка и антикварка; д) трех кварков;

22.7. Структуру из u , \bar{u} и d – кварков имеет:

а) π^0 – мезон; б) нейтрон; в) электрон; г) протон; д) π^+ – мезон;

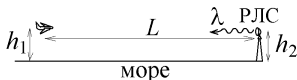
2.23. Задания, проверяющие владение изученным материалом

Такие задания приводятся в открытой форме без выбора варианта ответа. За ответы на них, и даже за правильную попытку ответа, дается максимальное число баллов.



Помните, что бóльшая часть подобных заданий аналогична заданиям с выбором ответа, и только построена в форме, позволяющей проверить умение студента самостоятельно оценить суть вопроса и выбрать подходящий закон или формулу для ответа.

Пример 1. В американских университетах студентам предлагают следующий пример: “Когда авиация союзных войск находилась на большом удалении L от берега над поверхностью моря на высоте h_1 , радиолокационные станции (РЛС) немецких войск, стоящие на берегу на высоте h_2 над уровнем моря и излучавшие электромагнитные волны с длиной волны λ , не получали отраженный от самолетов сигнал. Это позволяло авиации союзников беспрепятственно пролетать над линией обороны на берегу, и было одной из причин их по-



беды во II-й мировой войне”. Изложите свое мнение о том, какие законы волновой оптики могли бы позволить сделать такой вывод. Используя их, определите высоту h_1 . Приведите также свои аргументы о невозможности описанной ситуации.

Решение.

Для объяснения предполагается считать, что интерференция лучей, отраженных от самолета и от поверхности моря, как от зеркала, приведет к минимуму интерференционной картины в точке нахождения РЛС (интерференционная схема Юнга). Тогда, с учетом потери $\lambda/2$ при отражении от воды, координатой интерференционного минимума будет

$$x = h_2 = \frac{\lambda L}{2d} m, \text{ где } d = h_1. \text{ Отсюда } h_1 = m \frac{\lambda L}{2h_2}, \text{ где } m = 1, 2, 3, \dots$$

В действительности, интерференционного минимума не будет по следующим причинам: 1) самолет не является точечным источником отраженного сигнала, его размер сравним с расстоянием $\lambda L/2h_2$;

2) вода не является зеркалом, коэффициент отражения от воды значительно меньше 1 и отраженный луч будет значительно слабее прямого;

3) поверхность моря не образует идеальной горизонтальной плоскости;

4) излучение любой РЛС не является монохроматическим.

Пример 2. Известно, что дифракционная картина от непрозрачного тонкого предмета совпадает с дифракционной картиной от прорезищели в непрозрачном экране, имеющей ту же форму и размеры, что и предмет. Предложите на этом основании способ измерения толщины человеческого волоса оптическими методами. Нарисуйте картину эксперимента и приведите формулы для расчета толщины волоса.

Решение.



В формулировке вопроса уже можно найти указание на то, какую формулу или закон надо использовать для ответа.

Дифракционная картина на удаленном на большое расстояние L экране совпадает с дифракционной картиной на узкой щели, ширина которой равна диаметру d волоса. Измерив координаты дифракционных минимумов $x_m =$

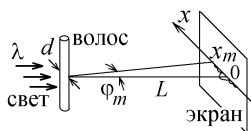
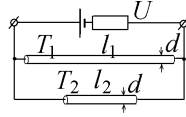


Рис.3.7

$$= L \cdot \operatorname{tg} \varphi_m \approx L \cdot \sin \varphi_m = L \cdot \frac{m\lambda}{d} \text{ (рис. 3.7), находим ширину дифракционного изображения } \Delta x = 2 \frac{L\lambda}{d}, \text{ откуда } d = 2 \frac{L\lambda}{\Delta x}.$$

Пример 3. К источнику постоянного напряжения U параллельно подключены два тонких металлических провода из одинакового материала, который можно считать абсолютно черным телом. Диаметры d проводов одинаковы, а их длины отличаются в два раза: $l_1/l_2 = 2$. Что можно сказать об отношении температур поверхностей этих проводов T_1/T_2 ? Ответ обосновать и подтвердить расчетом.



Решение.

Выделяемое при протекании тока джоулево тепло излучается с поверхности проводов в виде теплового излучения, $U^2/R = \sigma T^4 \cdot S$, где сопротивление каждого провода выражается через удельное сопротивление ρ материала, $R = 4\rho l/\pi d^2$, а площадь излучающей боковой поверхности $S = \pi d \cdot l$. Отсюда $T_1^4 l_1^2 = T_2^4 l_2^2$ и $\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$.

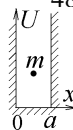
Пример 4. Определите, по какой причине ускоренные большой разностью потенциалов $\Delta\phi$ электроны, пролетая через узкую щель ширины a в непрозрачном препятствии, не могут рассеиваться за щелью под отдельными углами ϕ_n . Обоснуйте свое мнение физическими законами, приведите схему расчета и получите выражения для данных углов ϕ_n .



Решение.

При ускорении в электрическом поле электрон с зарядом $-e$ приобретает кинетическую энергию $\frac{mv^2}{2} = e\Delta\phi$ и скорость $v = \sqrt{\frac{2e\Delta\phi}{m}}$. Электроны обладают волновыми свойствами, и на очень узкой щели ведут себя подобно световой волне с длиной волны де Бройля $\lambda_B = h/mv = h/\sqrt{2em\Delta\phi}$. Условие дифракционных минимумов для такой волны $a \sin \phi_n = n\lambda_B$ позволяет найти величины углов рассеяния $\phi_n = \arcsin\left(nh/a\sqrt{2em\Delta\phi}\right)$, $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, под которыми электроны наблюдаться не будут.

Подстановка физических величин показывает, что ширина щели при этом должна быть значительно меньше 1 нм.



Пример 5. Микрочастица с массой m находится в одномерной потенциальной яме прямоугольной формы с бесконечными стенками ширины a , причем состояние микрочастицы описывается волновой функцией $\psi = A \cdot x(a-x)$, где A - нормировочная константа. Если подставить эту функцию в стационарное уравнение Шредингера $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U_0)\psi = 0$, где $U_0 = 0$ внутри ямы, то окажется, что полная энергия E частицы зависит от координаты x . В действительности частица может иметь только отдельные дискретные значения энергии: $E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ma^2} = \text{const}$, где $n = 1, 2, 3, \dots$. Предложите свою версию объяснения возникшего противоречия. Ответ необходимо обосновать и подтвердить физическими законами.

Решение.

Стационарное уравнение Шредингера действительно приводит к разрешенным значениям энергии E_n , которым соответствуют волновые функции $\psi_n = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{\pi n x}{a}\right)$. Но, согласно принципу квантовой суперпозиции, частица может находиться в смешанном состоянии с указанной волновой функцией $\psi = A \cdot x(a-x) = \sum_n C_n \psi_n$, где $|C_n|^2$ - это вероятность того, что при измерении энергия частицы будет равна E_n .

Пример 6. Радиоактивный образец содержит нестабильные ядра двух разных изотопов: период полураспада ядер первого изотопа равен 1 минуте, а ядер второго - 2 минутам. В исходный момент времени образец на 89,89% состоит из ядер первого изотопа и на 11,11% - из ядер второго изотопа. Оцените возможность того, что спустя некоторое время число ядер двух данных изотопов в образце сравняется. Если это возможно, то через какой промежуток времени это произойдет? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

Решение.

Для ответа можно воспользоваться законом радиоактивного распада $N_1 = N_{10} \exp(-t \ln 2 / T_1) = N_2 = N_{20} \exp(-t \ln 2 / T_2)$ с учетом начального условия $N_{10} / N_{20} = 8$.

Но можно не решать это уравнение, а учесть, что через каждый

интервал времени T число ядер убывает в 2 раза, и составить следующую диаграмму (рис.3.8). Из неё видно, что число ядер сравнивается в момент $t = 6$ мин.

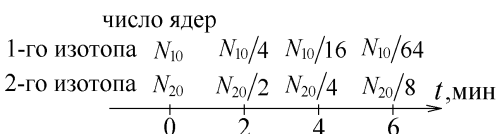


Рис.3.8

Примеры открытых тестов для поиска самостоятельного ответа.

23.1. Для улучшения оптических свойств на поверхность линз фотоаппаратов, биноклей и т.п. наносят покрытия в виде тончайших пленок. В результате в солнечном свете на поверхности линз видны фиолетово-красные блики. Объясните причину, по которой стеклянные линзы покрывают подобными пленками, а также причину и цвет таких бликов. Свой ответ обоснуйте с помощью необходимых физических законов, принципов и формул.

23.2. Белый немонохроматический свет падает на тонкую прозрачную пленку с показателем преломления n неравной толщины, находящуюся в воздухе. Почему на поверхности пленки видны полосы? Как определить расстояние между этими полосами? Опишите цвет каждой полосы в направлении, указанном на рисунке стрелкой. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

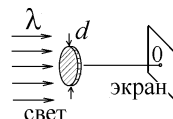


23.3. Плоская монохроматическая световая волна падает на узкую щель в непрозрачном препятствии. Ширина щели a сравнима с длиной волны λ света. На экране, стоящем за щелью на расстоянии l , освещен ряд параллельных полос. Каким образом по измеренным размерам Δx_1 , Δx_2 , Δx_3 наблюдаемых



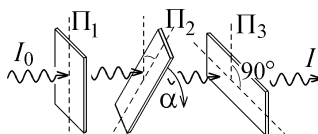
полос определить длину волны падающего света? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

23.4. На пути плоской монохроматической световой волны с длиной λ помещают непрозрачный диск достаточно большого диаметра d . На оси диска в точке 0 экрана, наблюдается темное пятно. Три экспериментатора, отвечая на вопрос о том, что будет происходить с освещенностью экрана в точке 0 при постепенном уменьшении диаметра диска d до очень малых размеров в доли миллиметра, высказывают разное мнение. Первый считает, что в точке 0 все время будет наблюдаться темное пятно, поскольку эта точка находится в об-



ласти тени. Второй уверен, что освещенность в точке 0 при постепенном уменьшении d начнет периодически меняться, и в точке 0 будет наблюдаться то максимум, то минимум освещенности. Третий полагает, что при постепенном уменьшении диаметра препятствия d освещенность точки 0, закрытой от прямого попадания света, постепенно станет такой же, как и при отсутствии диска. Выскажите свое мнение о том, кто из экспериментаторов прав и почему, обосновав его с помощью законов физики.

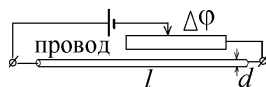
23.5. Естественный свет с интенсивностью I_0 , проходит через систему из трех поляризаторов. Оси пропускания двух поляризаторов Π_1 и Π_3 составляют угол 90° , а средний поляризатор Π_2 по-



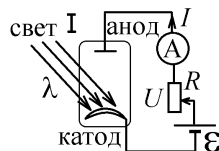
ворачивают вокруг луча света на угол $0 \leq \alpha \leq 360^\circ$ (см. рисунок). Найдите зависимость от угла α интенсивности I света, прошедшего через систему поляризаторов, и нарисуйте график зависимости I от α . Сколько раз при таком повороте интенсивность I будет достигать максимального значения? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

23.6. Поток энергии солнечного излучения на орбите Земли составляет $1,37 \text{ кВт}$ на 1 м^2 площади. Зная эту величину, предложите способ оценить среднюю температуру Земли и изложите свое мнение о том, что произошло бы с этой температурой при увеличении температуры поверхности Солнца, которая равна $\sim 6000 \text{ К}$, в 2 раза. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

23.7. С помощью реостата на концах металлического провода длины l с диаметром d создана разность потенциалов $\Delta\phi$. Объясните, как изменится температура поверхности провода, которую можно считать “серым” телом с коэффициентом поглощения A , если и диаметр d провода, и величину $\Delta\phi$ увеличить в два раза, не меняя длину l провода. Ответ обосновать и подтвердить формулами.



23.8. Монохроматический свет с длиной волны λ падает на катод двухэлектродной лампы. Движком реостата R меняют величину падения напряжения U на электродах лампы, увеличивая её от нуля. Кроме того, меняют интенсивность I падающего на катод света. Почему ток I через амперметр появляется только при $\lambda \geq \lambda_0$ при любом увеличении ин-



тенсивности падающего света? Как найти величину λ_0 ? Нарисуйте на одном поле несколько графиков зависимости тока I от напряжения U при разных значениях интенсивности I . Ответ обосновать и подтвердить формулами.

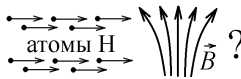
23.9. На покоящийся электрон с зарядом $-e$ и с массой m падают фотоны с длиной волны λ_0 , рассеиваясь на нем и разлетаясь в разные стороны. Что можно сказать о длине волны λ_1 и λ_2 фотонов, улетающих вдоль направления движения падающих фотонов и противоположно этому направлению? Чему равна величина разности $\lambda_1 - \lambda_2$? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

23.10. Радиусы трех последовательных боровских орбит электрона в двукратно ионизированном атоме лития Li^{++} равны 0,01764 нм; 0,07053 нм; 0,15869 нм. Объясните, чему будет равен радиус следующей боровской орбиты в этом ионе. Получите его. Ответ обосновать и подтвердить вычислением.

23.11. Возбужденный атом водорода испустил фотон, относящийся к спектральной серии Бальмера. Оцените возможность того, что в дальнейшем этот атом испустит фотон света в видимой человеческому глазу части оптического спектра. Определите возможный интервал длин волн дальнейшего излучения. Ответ обосновать и подтвердить с помощью физических законов и формул.

23.12. Чему равно отношение наибольшей длины волны λ_1 в спектральной серии Бальмера к наименьшей возможной длине волны λ_2 в спектральной серии Пашена для излучения нагретого водорода. Почему, по Вашему мнению, излучение с длиной волны λ_1 увидеть можно, а излучение с длиной волны λ_2 – нельзя? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

23.13. Два тонких пучка атомов водорода влетают в очень сильное неоднородное магнитное поле, линии индукции \vec{B} которого показаны на рисунке. В первом пучке атомы находятся в основном состоянии, а во втором пучке – в первом возбужденном состоянии. Выскажите свое мнение о том, что произойдет с пучками атомов после пролета через магнитное поле. Обоснуйте свой ответ с помощью физических законов и формул. Оцените величину изменений, происходящих с пучками, и подтвердите свою оценку формулами.



23.14. Объясните, как изменится энергетический уровень (энергия) каждого из электронов $3d$ -подоболочки атома железа, если этот атом попадет во внешнее очень сильное магнитное поле с индукцией B . На какую максимальную величину может измениться эта энергия? При ответе не учитывать влияние спина электрона. Ответ обосновать и подтвердить формулами.

23.15. Отношение величин орбитального магнитного момента первого и второго электрона в многоэлектронном атоме отличаются в $\sqrt{2}$ раз. В какой, по Вашему мнению, подоболочке находится первый электрон, если второй электрон находится в d -подоболочке? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

23.16. В результате цепочки радиоактивных превращений первоначальное ядро испытывает реакцию β^+ -распада, затем реакцию α -распада (испускание α -частицы), затем последовательно происходят две реакции β^- -распада. Какая ядерная реакция должна произойти после этого, чтобы оставшееся ядро превратилось в изотоп первоначального ядра? Ответ обосновать и подтвердить формулами.

3.24. Ответы на вопросы тестовых заданий

1.1. г	1.2. в	1.3. г	1.6. б	2.1. в	2.2. б	2.3. б
2.4. б	2.5. а	2.7. а	2.8. г	3.1. б	3.2. б	3.5. б
3.7. б	3.8. а	3.9. а	3.11. д	4.1. г	4.2. г	4.4. б
4.5. в	5.1. е	5.2. а	5.3. в	5.5. в	5.6. в	5.7. г
6.1. г	6.3. г	6.4. з	6.5. в	6.7. г	6.8. б	7.1. а
7.2. в	7.3. ж	7.5. д	7.6. б	8.1. г	8.2. б	8.3. б
8.5. г	8.7. д	8.8. в	8.10. а	9.1. г	9.3. а	9.5. б
9.6. д	10.1. в	10.2. б	10.5. в	10.6. е	10.8. б	10.9. г
11.2. з	11.3. в	11.5. з	12.1. г	12.2. г	12.4. б,г	12.5. в,г
12.6. г	13.1. а	13.2. д	13.3. в	13.5. г	13.8. в	13.9. в
14.1. а	14.2. г	14.4. б	14.5. д	14.6. д	14.8. ж	14.9. в
15.4. в	15.5. д	15.6. в	16.2. в	16.4. в	16.5. б	16.6. б
17.1. д	17.3. г	17.5. е	17.6. а	17.7. е	18.1. г	18.3. в
18.4. б	18.5. д	18.6. д	18.7. в	18.8. б	19.1. г	19.2. д
19.3. в	19.4. д	19.6. а	20.1. в	20.2. в	20.3. а	20.5. г
20.6. д	21.1. в	21.2. а	21.3. е	21.4. г	21.5. д	21.6. г
21.7. а	21.8. б	21.9. б	21.10. в	21.12. а	22.1. б	22.3. в
22.4. а	22.5. в	22.6. д	22.7. г			

23.1.	интерференционный минимум отраженного света рассчитывается для центральной желто-зеленой области видимого спектра
23.2	от фиолетового к красному; $\Delta x = \lambda / 2n \operatorname{tg} \alpha$
23.3.	$\lambda = a \Delta x_1 / 2l$
23.4.	освещенность возрастает монотонно
23.5.	$I_{\max} = I_0 / 8$; 4 раза
23.6.	$T_{\text{Земли}} = T_{\text{Солнца}} \sqrt[4]{R_{\text{Солнца}}^2 / 4AR_{\text{орбиты}}^2}$; возр. в 2 раза
23.7.	T увеличится в $\sqrt[4]{8} = 1,68$ раз
23.8.	$\lambda_0 = hc / A_{\text{вых}}$ - красная граница фотоэффекта
23.9.	эффект Комптона, $\lambda_1 - \lambda_2 = -2h/mc$
23.10.	т.к. $r_n = n^2 r_1$, то след. радиус $r_4 = 16r_1 = 0,28211$ нм
23.11.	$\lambda = \frac{8\pi\hbar c}{3 E_1 }$, где $E_1 = -13,6$ эВ; ультрафиолет. диапазон
23.12.	$\lambda_1/\lambda_2 = 0,8$; $\lambda_2 = 820,6$ нм – инфракрасн. диапазон
23.13.	1-й пучок расщепится на 2, а второй –или на 2, или на 5 пучков; эффект Штерна-Герлаха
23.14.	$E = E_3 - \vec{p}_m \vec{B} = E_3 \pm m\mu_B B$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2$ расщепление на 5 подуровней, $\Delta E_{\max} = 2\mu_B B$
23.15.	в f – подболочке; $\frac{p_{m1}}{p_{m2}} = \frac{\mu_B \sqrt{l(l+1)}}{\mu_B \sqrt{2(2+1)}} = \sqrt{2}$ т.е. $l = 3$
23.16.	еще один β^- – распад