

Ф.М. Сабирова, Л.А. Мухутдинова

**СБОРНИК ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ
ПО ФИЗИКЕ**

Часть 3

ОПТИКА.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Казань 2013

УДК 531(075.8)

ББК 22.3я73

C12

Печатается по решению редакционно-издательского совета Елабужского института Казанского (Приволжского) федерального университета.

Рецензенты:

М.И. Конюхов, зав. кафедрой информационных технологий ЕФ КНИТУ (КАИ) канд. тех. наук, доцент;

Р.Р. Ибатуллин, зав. кафедрой информатики и дискретной математики Елабужского института КФУ, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Сабирова Ф.М., Мухутдинова Г.С.

Сборник тестовых заданий по физике. В 3-х ч. – Часть 3.

C12 Оптика. Квантовая физика: Учебно-методическое пособие для студентов вузов. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (редакционно-издательский отдел), 2013. – 146 с.: ил.

ISBN 978-5-906158-65-2

Учебно-методическое пособие предназначено для подготовки к Интернет-тестированию по физике, которое проводится в рамках ежегодного мониторинга качества учебного процесса учреждений высшего профессионального образования. В части 3 рассмотрены такие разделы учебного курса как «Волновая и квантовая оптика» «Квантовая физика и физика атома» и «Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц». Пособие может быть использовано как в учебном процессе, так и в процессе самостоятельной подготовки студентами к Интернет-экзамену по физике.

Охраняется действующим законодательством об авторских и смежных правах (Гражданский кодекс РФ, ч.4, гл.70). Воспроизведение всей книги или ее части на любых видах носителей запрещается без письменного разрешения издательства

© Сабирова Ф.М., Мухутдинова Л.А., 2013
ISBN 978-5-906158-65-2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Пособие является заключительной частью комплекса пособий, основной целью которого является подготовка студентов к Интернет-тестированию базовых знаний по физике и представляет собой сборник заданий по физике, относящихся к разделам (тематическим блокам) «Волновая и квантовая оптика», «Квантовая физика и физика атома» и «Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц».

Раздел «Волновая и квантовая оптика» в соответствии с требованиями ГОС к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы дисциплина «Физика» [1] включает в себя следующие темы:

- Интерференция и дифракция света;
- Поляризация и дисперсия света;
- Тепловое излучение. Фотоэффект;
- Эффект Комптона. Световое давление.

Раздел «Квантовая физика и физика атома» включает в себя темы:

- Спектр атома водорода. Правило отбора;
- Дуализм свойств микрочастиц. Соотношение неопределенностей Гейзенберга;
- Уравнение Шредингера (общие свойства);
- Уравнение Шредингера (конкретные ситуации).

Раздел «Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц» включает в себя темы:

- Ядро. Элементарные частицы;
- Ядерные реакции;
- Законы сохранения в ядерных реакциях;
- Фундаментальные взаимодействия.

Таким образом, в содержание сборника включено 12 тем. Нумерация тем сквозная и является продолжением первых двух частей пособия. В начале каждой темы приведены краткие теоретические сведения [2-5], затем рассмотрены задания с решениями и ответами, в третьей – набор заданий для

самостоятельного решения. Ответы к ним приведены в конце пособия.

Задания делятся на четыре типа, отличающиеся значками, которые стоят перед вариантами ответов: 1) с выбором одного правильного ответа; 2) с выбором двух и более ответов; 3) на установление соответствия или правильной последовательности; 4) с вводом правильного ответа.

В сборнике большинство тестовых заданий первого типа, в которых номера вариантов ответов для выбора приводится с круглыми скобками, например:

При интерференции двух когерентных волн с длиной волны 2 мкм интерференционный максимум наблюдается при разности хода волн, равной ...

- 1) 0,5 мкм; 2) 1 мкм; 3) 1,5 мкм; 4) 2 мкм.

Номера вариантов для выбора нескольких правильных ответов представлены за квадратными скобками, например:

Радиоактивный распад атомных ядер сопровождается выделением ...

- 1] быстрых частиц;
2] теплоты;
3] отравляющих веществ;
4] электрического тока.

Задания на установление соответствия либо преобразованы на задания с выбором ответа, либо требуют непосредственно выбрать необходимое соответствие (см., например, задание 32.30).

Подбор заданий сделан на основе учебного пособия [5], а также заданий, которые встречались среди АПИМ 2008-2013 гг., в демонстрационных материалах на сайте ФЭПО [1] и методических пособиях [6-9].

Пособие может быть использовано как в учебном процессе, так и в процессе самостоятельной подготовки к Интернет-экзамену по физике студентами и бакалаврами различных специальностей и профилей.

ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

21. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ И ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

Краткие теоретические сведения

1. *Интерференция* света – это особый случай сложения волн, при котором в одних точках пространства волны усиливают друг друга, а в других точках пространства гасят друг друга. Следовательно, при интерференции световая энергия перераспределяется в пространстве.

Интерференционная картина – чередование максимумов и минимумов интенсивности (светлых и темных полос).

2. Волны усиливают или ослабляют друг друга при условии: $\omega_1 = \omega_2$ (частоты колебаний одинаковы) и $\Delta\varphi = \text{const}$ (разность фаз постоянна). Волны, удовлетворяющие этому условию, называются *когерентными*. Таким образом, интерферируют только когерентные волны.

3. Амплитуда колебаний в той или иной точке пространства определяется разностью фаз:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l,$$

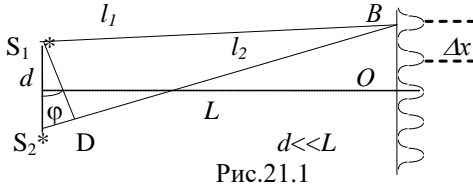
где Δ – оптическая разность хода интерферирующих волн от источника до рассматриваемой точки пространства.

Оптическая разность хода: $\Delta = l_1 - l_2,$

где l_1, l_2 – оптические длины световых волн в однородной среде с показателем преломления n ,

$$l = nr,$$

где r – геометрическая длина пути световой волны.



Если $\Delta\varphi = \pm 2k\pi$, где $k=0,1,2,\dots$, получим *условие максимума*:

$$\Delta l = \pm k\lambda = \pm \frac{2k\lambda}{2}.$$

Если $\Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi$, получим *условие минимума*:

$$\Delta l = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

Если $\Delta\varphi \neq \text{const}$, то *интерференция отсутствует*.

5. Расстояние между интерференционными полосами на экране, полученными в опыте Юнга (рис. 21.1):

$$\Delta x = \lambda \frac{L}{d},$$

где λ – длина волны света, L – расстояние от экрана до источника света, d – расстояние между источниками, $d \ll L$.

6. Условие максимального отражения света с длиной волны λ от тонкой пластинки толщиной d (рис. 21.2):

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} = m\lambda,$$

где i – угол падения света, m – целое число. Оптическая разность хода возникает из-за того, что луч, отраженный от задней поверхности, дважды проходит толщину пластинки с показателем преломления n .

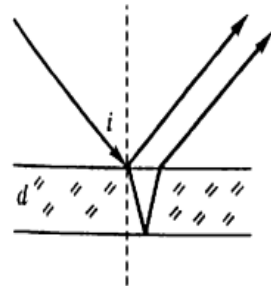


Рис.21.2.

7. Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_m = \sqrt{R\lambda\left(m - \frac{1}{2}\right)}, \quad m = 1, 2, \dots, \quad \text{где } m -$$

номер светлого кольца.

Радиусы темных колец:

$$r_m = \sqrt{R\lambda m}, \quad m = 1, 2, \dots, \quad \text{где } m - \text{ номер}$$

кольца (рис.21.3).

Значению $m=0$ соответствует центральное темное пятно.

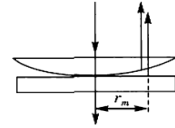


Рис.21.3

8. Дифракция света – это огибание световыми волнами препятствий. Препятствиями служат узкие щели, малые отверстия, непрозрачные экраны. При этом размер препятствия d сравним с λ длиной волны.

Дифракция света объясняется на основе принципа Гюйгенса-Френеля: любая точка пространства, до которой дошло колебание, становится источником вторичных когерентных волн.

9. Дифракция света на круглом отверстии и непрозрачном диске. Этот вид дифракции описывается методом зон Френеля. Пусть r – расстояние от точечного источника света до диафрагмы, r_0 – расстояние от диафрагмы до экрана, где наблюдается дифракционная картина (рис. 21.4).

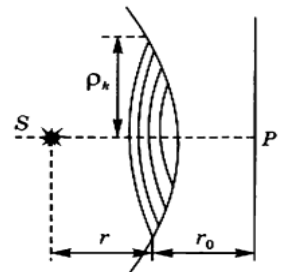


Рис.21.4

Радиус k -ой зоны Френеля в отверстии диафрагмы равен для сферической волны:

$$\rho_k = \sqrt{\frac{rr_0}{r+r_0}} k\lambda.$$

Радиус k -ой зоны Френеля для плоской волны ($r \rightarrow \infty$)

$$\rho_k = \sqrt{r_0 k\lambda}.$$

Если в отверстии помещается четное число зон Френеля, то в центре картины – темное пятно, если же отверстие оставляет

открытым нечетное число зон Френеля, то в центре картины – светлое пятно. Объясняется это тем, что колебания от двух (соседних) зон находятся в противоположных фазах ($\Delta r = \lambda / 2$) и, встречаясь на экране, гасят друг друга. Если амплитуды колебаний, возбуждаемых в точке P первой, второй и т.д. зонами, обозначим A_1 , A_2 и т.д., то амплитуда A результирующего колебания в точке P определяется выражением $A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots$

Если на пути световой волны поместить круглый непрозрачный диск, он закрывает какое-то число зон Френеля. До экрана доходят колебания от открытых зон Френеля. Если диск закрывает небольшое число зон Френеля, то картина на экране на фоне тени от диска в центре наблюдается светлое пятно, а вокруг тени система узких темных и светлых колец. Светлое пятно в центре тени объясняется действием первой из открытых зон Френеля. Колебания от остальных зон попарно накладываются и гасят друг друга.

10. Дифракция Фраунгофера от щели при нормальном падении света (рис. 21.5).

Условие минимумов интенсивности света:

$$a \sin \varphi = \pm k \lambda,$$

где a – ширина щели, φ – угол дифракции, $k=1, 2, 3, \dots$, λ – длина волны.

Характер дифракции зависит от значения безразмерного параметра $\eta = a^2 / l \lambda$, где l – расстояние от щели до экрана, a – ширина щели, λ – длина волны ($a \gg \lambda$):

$\eta \ll 1$ – дифракция Фраунгофера,

$\eta \sim 1$ – дифракция Френеля,

$\eta \gg 1$ – геометрическая оптика.

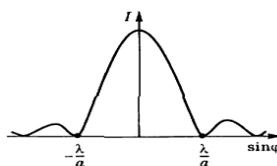


Рис. 21.5

11. Дифракция света на дифракционной решетке при нормальном падении света (рис. 21.6):

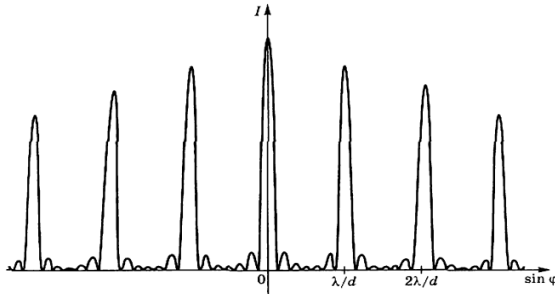


Рис. 21.6

Главные максимумы интенсивности:

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

где d – постоянная решетки (ее период), k – номер главного максимума, φ – угол между нормалью к поверхности решетки и направлением дифрагированных волн.

Главные минимумы интенсивности:

$$a \sin \varphi = \pm k \lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots;$$

Дополнительные (побочные) минимумы:

$$d \sin \varphi = \pm (k / N) \lambda, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, \text{ кроме } k = N, 2N, 3N, \dots,$$

где N – число щелей в решетке.

12. Разрешающая способность дифракционной решетки:

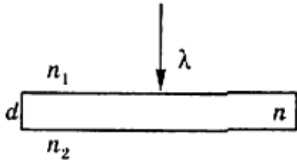
$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = kN,$$

где $\Delta \lambda$ – наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta \lambda$), при которой эти линии могут быть видны отдельно в спектре, полученном посредством данной решетки, k – порядковый номер наблюдаемого дифракционного максимума (порядок дифракции).

13. Угловой размер центрального максимума для дифракционной решетки: $\Delta \varphi = \frac{2\lambda}{a}$.

Примеры тестовых заданий

Задание 21-1. Тонкая стеклянная пластинка с показателем преломления n и толщиной d помещена между двумя средами с показателями преломления n_1 и n_2 , причем $n_1 > n > n_2$. На пластинку нормально падает свет с длиной волны λ . Оптическая разность хода интерферирующих отраженных лучей равна ...



- 1) $2d n_1$;
- 2) $2d n_2$;
- 3) $2d n + \lambda/2$;
- 4) $2d n$.

Решение. Интерферирующими лучами в данной задаче являются лучи, отраженные от верхней и нижней поверхности пластинки. В отличие от случая, изображенного на рис. 21.2, ни на одной из поверхностей не происходит скачкообразного сдвига фазы на π , который бы приводил к появлению слагаемого $(-\lambda/2)$ в левой части выражения $2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} = m\lambda$.

Правильный ответ: 4).

Задание 21-2. В опыте с интерферометром Майкельсона для смещения интерференционной картины на 500 полос потребовалось переместить зеркало на 0,161 мм. Длина волны падающего света в нанометрах равна ...

Решение. В интерферометре Майкельсона луч проходит плечо интерферометра дважды до отражения от зеркала и после. Если l – смещение зеркала, то дополнительная разность хода лучей $\Delta = 2l = k\lambda$, где k – число полос, на которое сместилась интерференционная картина. Отсюда находим $\lambda = \frac{2l}{k} = 644 \text{ нм}$.

Задание 21-3. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм, падающим по нормали к поверхности пластинки. Найти толщину h воздушного слоя между линзой и стеклянной пластинкой в том месте, где наблюдается четвертое темное кольцо в отраженном свете.

- 1) 1,35 мкм; 2) 1,05 мкм; 3) 1,2 мкм; 4) 2,4 мкм.

Решение. Условие минимума в отраженном свете: $2nh = k\lambda$.

По условию $k=4$, $n=1$, тогда $2h = 4\lambda$, откуда $h = 2\lambda = 1,2 \cdot 10^{-6}$ м.

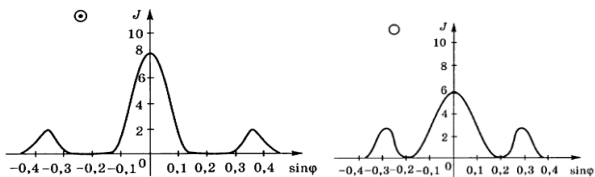
Правильный ответ: 3).

Задание 21-4. Если закрыть n открытых зон Френеля, а открыть только первую, то амплитудное значение вектора напряженности электрического поля ...

- 1) уменьшится в 2 раза;
2) увеличится в 2 раза;
3) увеличится в n раз;
3) не изменится.

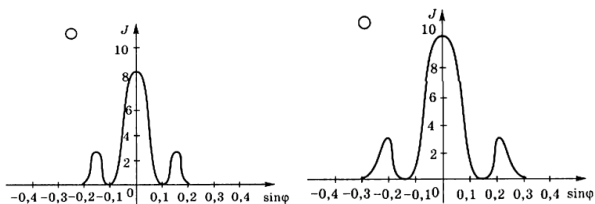
Решение. Амплитуда колебаний от вторичных источников волнового фронта, находящихся в первой зоне Френеля, в два раза больше, чем амплитуда от всех вторичных источников открытого волнового фронта. Считая, что число n в условии задачи достаточно велико, выбираем ответ: 2).

Задание 21-5. Имеются 4 решетки с различными постоянными d , освещаемые одним и тем же монохроматическим излучением различной интенсивности. Какой рисунок иллюстрирует положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой с наименьшей постоянной решетки (I – интенсивность света, φ – угол дифракции)?



1)

2)



3)

4)

Решение. Чем меньше постоянная решетки (т.е. расстояние между соседними щелями), тем дальше от центрального максимума находятся максимумы более высоких порядков дифракции ($d \sin \varphi = \pm k \lambda$) на приведенных рисунках максимумы первого порядка находятся на разном угловом расстоянии от центрального, причем самое большое расстояние имеет место на первом рисунке.

Правильный ответ: 1).

Задания для самостоятельной работы

21.1. Разность хода двух интерферирующих лучей $\lambda/4$. Разность фаз колебаний равна ...

- 1) 30° ; 2) 45° ; 3) 60° ; 4) 90° .

21.2. При интерференции когерентных лучей с длиной волны 500 нм максимум первого порядка возникает при разности хода ...

- 1) 250 нм; 2) 500 нм; 3) 1000 нм; 4) 1200 нм.

21.3. В данную точку пространства пришли две световые волны с одинаковым направлением колебаний вектора \vec{E} , с периодом

колебаний T_1 и T_2 и начальными фазами φ_1 и φ_2 . Интерференция наблюдается в случае ...

- 1) $T_1 = 2$ с; $T_2 = 4$ с; $\varphi_1 - \varphi_2 = \text{const}$;
- 2) $T_1 = 2$ с; $T_2 = 2$ с; $\varphi_1 - \varphi_2 = \text{const}$;
- 3) $T_1 = 2$ с; $T_2 = 2$ с; $\varphi_1 - \varphi_2 \neq \text{const}$;
- 4) $T_1 = 2$ с; $T_2 = 4$ с; $\varphi_1 - \varphi_2 \neq \text{const}$.

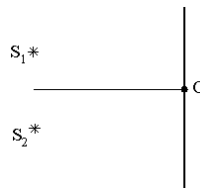
21.4. Два гармонических осциллятора, колеблющихся с одинаковыми частотой и начальной фазой, находятся на расстоянии $l=2\lambda$ друг от друга, где λ – длина волны излучения. Расстояние L до точки наблюдения M много больше расстояния l между осцилляторами. Амплитуда результирующей волны максимальна при угле излучения φ , равном...

- 1) 10° ;
- 2) 30° ;
- 3) 45° ;
- 4) 60° .

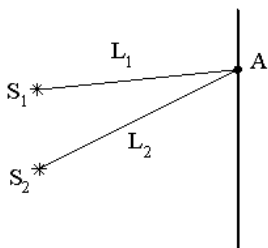


21.5. Если S_1 и S_2 – источники когерентных волн, то разность фаз колебаний, возбуждаемых этими волнами в точке O (центральный максимум), равна...

- 1) 0 ;
- 2) $\pi/2$;
- 3) π ;
- 4) 2π .

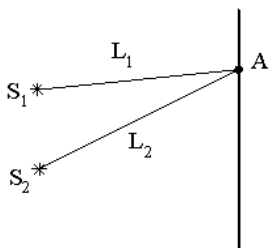


21.6. Если S_1 и S_2 – источники когерентных волн, а L_1 и L_2 – расстояния t . А до источников, то в точке А наблюдается **максимум** интерференции в воздухе при условии...



- 1) $L_2 - L_1 = (2m-1)\lambda/2, m = 1, 2, 3 \dots$;
- 2) $L_2 - L_1 = m\lambda/2, m = 0, 1, 2, \dots$;
- 3) $L_2 - L_1 = 2m\lambda/2, m = 0, 1, 2, \dots$;
- 4) $L_2 - L_1 = (2m-1)\lambda/4, m = 1, 2, 3 \dots$

21.7. Если S_1 и S_2 – источники когерентных волн, а L_1 и L_2 – расстояния т. А до источников, то в точке А наблюдается **минимум** интерференции в воздухе при условии...

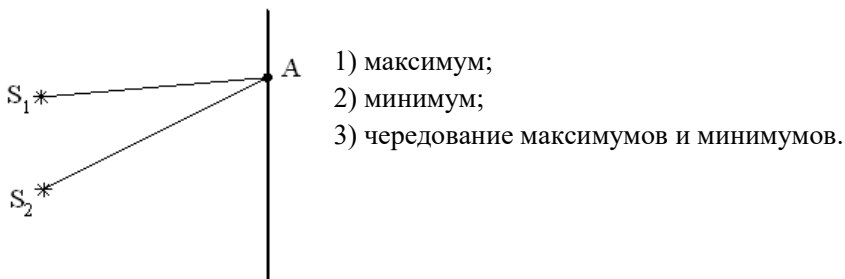


- 1) $L_2 - L_1 = (2m-1)\lambda/2, m = 1, 2, 3 \dots$;
- 2) $L_2 - L_1 = m\lambda/2, m = 0, 1, 2, \dots$;
- 3) $L_2 - L_1 = 2m\lambda/2, m = 0, 1, 2, \dots$;
- 4) $L_2 - L_1 = (2m-1)\lambda/4, m = 1, 2, 3 \dots$

21.8. Когерентные волны с начальными фазами φ_1 и φ_2 и разностью хода Δ при наложении максимально усиливаются при выполнении условия ($k = 0, 1, 2$)...

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1) $\varphi_1 - \varphi_2 = 2k\pi$; | 2) $\varphi_1 - \varphi_2 = (2k+1)\pi$; |
| 3) $\Delta = (2k+1)\lambda/2$; | 4) $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi/2$ |

21.9. Для точки А оптическая разность хода лучей от двух когерентных источников S_1 и S_2 равна 1,2 мкм. Если длина волны в вакууме 600 нм, то в точке А будет наблюдаться...



21.10. При интерференции двух когерентных волн с длиной волны 2 мкм интерференционный максимум наблюдается при разности хода волн, равной ...

- 1) 0,5 мкм; 2) 1 мкм; 3) 1,5 мкм; 4) 2 мкм.

21.11. При интерференции двух когерентных волн с длиной волны 2 мкм интерференционный минимум наблюдается при разности хода, равной

- 1) 0 мкм; 2) 1 мкм; 3) 2 мкм; 4) 4 мкм.

21.12. При какой разности хода лучей возникает максимум второго порядка в случае интерференции когерентных лучей с длиной волны 400 нм?

- 1) 200 нм; 2) 400 нм; 3) 800 нм; 4) 1200 нм.

21.13. Тонкая пленка, освещенная белым светом, вследствие явления интерференции в отраженном свете имеет зеленый свет. При уменьшении показателя преломления ее цвет ...

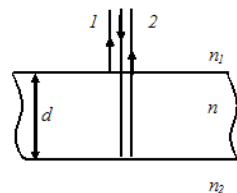
- 1) станет красным; 2) станет синим; 3) не изменится.

21.14. Тонкая плёнка, освещённая белым светом, вследствие явления интерференции в отражённом свете имеет зелёный цвет. При увеличении толщины цвет плёнки:

- 1) станет красным; 2) станет синим; 3) не изменится.

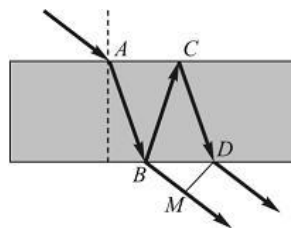
21.15. Тонкая стеклянная пластинка с

показателем преломления $n=1,5$ и толщиной $d=2$ мкм помещена между двумя средами с показателями преломления $n_1=1,2$ и $n_2=1,6$. На пластинку по нормали падает свет с длиной волны $\lambda=600$ нм. Разность хода интерферирующих отраженных лучей (в нм) равна...



21.16. Свет падает на тонкую пленку с показателем преломления n , большим, чем показатель преломления окружающей среды.

Разность хода лучей на выходе из тонкой пленки равна...

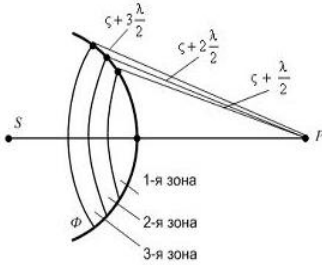


- 1) $(BC + CD)n - BM - \frac{\lambda}{2}$;
- 2) $BC + CD - BM - \frac{\lambda}{2}$;
- 3) $(BC + CD)n - BM$;
- 4) $BC + CD - BM$;
- 5) $BC + CD + BM$.

21.17. Волновой фронт точечного источника, разбитый на зоны одинаковой площади, представляет собой ...

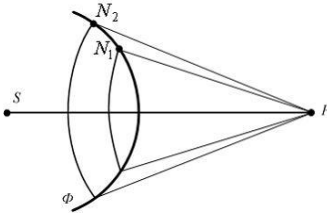
- 1) кольца Ньютона;
- 2) дифракцию от двух щелей;
- 3) дифракцию Фраунгофера;
- 4) зоны Френеля.

21.18. На рисунке представлена схема разбиения волновой поверхности Φ на зоны Френеля. Амплитуды колебаний, возбуждаемых в точке P 1-й, 2-й, 3-й и т.д. зонами, обозначим A_1, A_2, A_3 и т.д. Амплитуда A результирующего колебания в точке P определяется выражением...



- 1) $A = A_1 + A_3 + A_5 + A_7 + \dots$
- 2) $A = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - \dots$
- 3) $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots$
- 4) $A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots$

21.19. На рисунке представлена схема разбиения волновой поверхности Φ на зоны Френеля. Разность хода между лучами N_1P и N_2P равна...



- 1) 2λ ;
- 2) λ ;
- 3) $0,5\lambda$;
- 4) $1,5\lambda$;
- 5) 0.

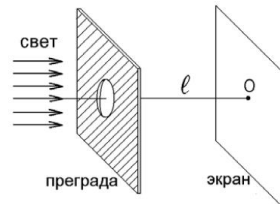
21.20. Плоская световая волна ($\lambda=600$ нм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием, радиус которого $r=0,6$ мм. Отверстие открывает только одну зону Френеля для точки, лежащей на оси отверстия на расстоянии (в см) от него, равном...

- 1) 10;
- 2) 30;
- 3) 40;
- 4) 60.

21.21. Белый свет падает нормально на плоскую преграду с прорезанным отверстием (см. рисунок). За преградой на удалении l установлен параллельный экран.

В центре экрана O из-за дифракции света на отверстии наблюдается максимум освещенности зеленого света.

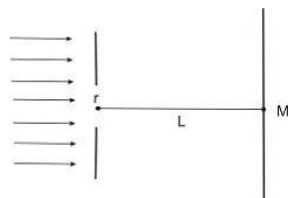
Экран начинают медленно отодвигать от преграды, увеличивая расстояние l . При этом в центре экрана O (выберите



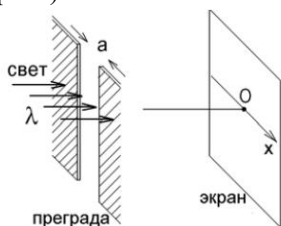
правильное утверждение):

- 1) максимум освещенности зеленого света сменяется максимумом освещенности голубого света;
- 2) максимум освещенности зеленого света сменяется максимумом освещенности желтого света;
- 3) сохраняется максимум освещенности зелёного света;
- 4) при малейшем перемещении экрана в точке 0 появляется темное пятно.

21.22. На диафрагму с круглым отверстием радиусом 2 мм падает нормально параллельный пучок света длиной волны 0,5 мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, на расстоянии 1 м помещен экран. В отверстии диафрагмы для точки М укладываются ___ зон (-ы) Френеля.



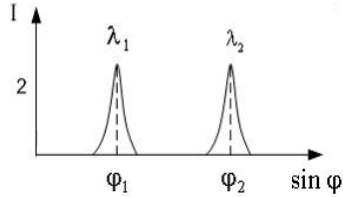
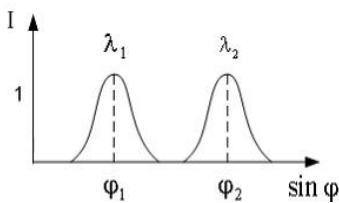
21.23. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ падает на узкую прорезь в плоской преграде, за которой установлен параллельный преграде экран. Ширину прорези a уменьшают. При этом ширина центрального дифракционного максимума (ширина дифракционного изображения щели на экране)...



- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не изменяется;
- 4) сначала увеличивается, а потом уменьшается.

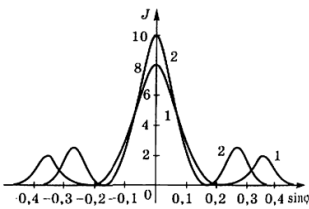
21.24. Свет от некоторого источника представляет собой две плоские монохроматические волны с длинами λ_1 и λ_2 . У экспериментатора имеется две дифракционные решетки. Число

щелей в этих решетках N_1 и N_2 , а их постоянные d_1 и d_2 , соответственно. При нормальном падении света на дифракционную решетку 1 получено изображение в максимуме m , показанное на рисунке 1. После того, как дифракционную решетку 1 поменяли на решетку 2, изображение максимума m стало таким, как показано на рисунке 2. Постоянная решетки и число щелей у этих решеток соотносятся следующим образом ...

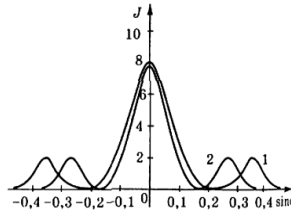


- 1) $N_2 > N_1$; $d_1 = d_2$; 2) $N_1 = N_2$; $d_1 > d_2$; 3) $N_1 > N_2$; $d_1 = d_2$

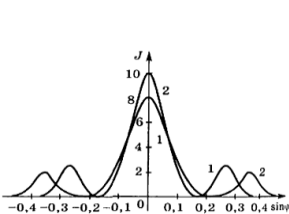
21.25. На дифракционную решетку падает излучение одинаковой интенсивности с длинами волн λ_1 и λ_2 . Укажите рисунок, иллюстрирующий положение главных максимумов, создаваемых дифракционной решеткой, если $\lambda_1 > \lambda_2$ (J – интенсивность, φ – угол дифракции):



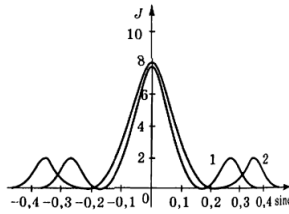
1)



2)

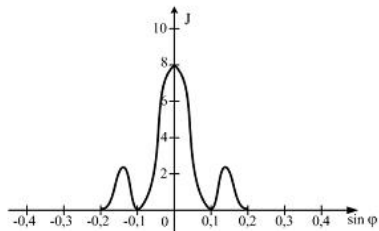


3)



4)

21.26. Зависимость интенсивности монохроматического излучения длиной волны $\lambda=500$ нм от синуса угла дифракции представлена на рисунке.

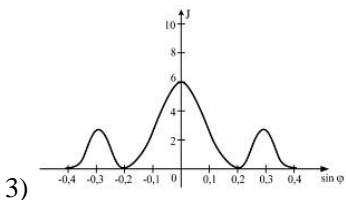
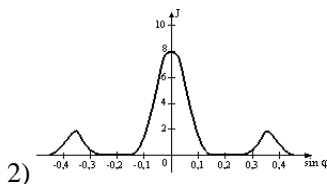
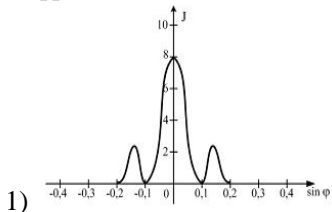


Дифракция наблюдается на щели шириной b (в мкм), равной...

21.27. Угол дифракции в спектре k -ого порядка больше для...

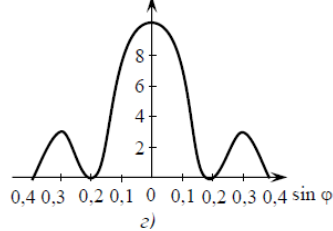
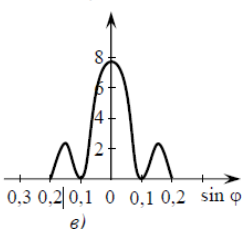
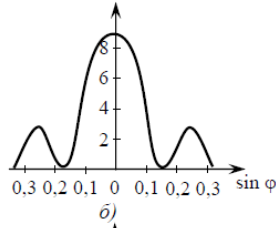
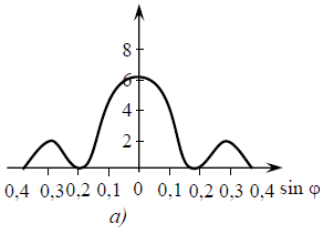
- 1) фиолетовых лучей;
- 2) желтых лучей;
- 3) зеленых лучей;
- 4) красных лучей.

21.28. Одна и та же дифракционная решетка освещается различными монохроматическими излучениями с разными интенсивностями. Какой рисунок соответствует случаю освещения светом с **наибольшей частотой**? (J – интенсивность света, φ – угол дифракции).



21.29. Одна и та же дифракционная решетка освещается различными монохроматическими излучениями с разными интенсивностями. Какой рисунок соответствует случаю освещения

светом с **наименьшей длиной волны**? (J – интенсивность света, φ – угол дифракции).



- 1) а; 2) б; 3) в; 4) г.

21.30. На дифракционную решетку спектрографа падает свет натриевой лампы, состоящий из двух монохроматических волн с $\lambda_1=589$ нм и $\lambda_2=589,6$ нм. Решетка характеризуется постоянной решетки d , шириной 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 отдельно, следует (выберите правильное утверждение)...

- 1) не меняя a и d , уменьшить N ; 2) не меняя a и N , уменьшить d
 3) не меняя N и d , увеличить a ; 4) не меняя a и d , увеличить N

21.31. На дифракционную решетку с постоянной решетки 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. Постоянную решетки d

увеличивают, не меняя λ и a . При этом (выберите правильное утверждение)...

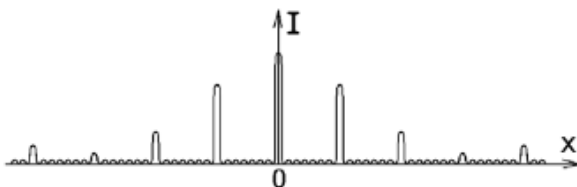
1) спектр m -го порядка сместится к центру интерференционной картины и станет виден;

2) спектр m -го порядка сместится от центра интерференционной картины и станет виден;

3) спектр m -го порядка по-прежнему не будет виден, поскольку положение дифракционного минимума на щели не изменится

4) спектр m -го порядка по-прежнему не будет виден, поскольку не меняется длина волны падающего света

21.32. 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 ее щелей и выбросили отломившийся кусок. Что произойдет с наблюдаемой на экране интерференционной картиной (выберите правильное утверждение)?



1) главные интерференционные максимумы раздвинутся от центра интерференционной картины;

2) главные интерференционные максимумы сдвинутся к центру интерференционной картины;

3) ширина главных интерференционных максимумов уменьшится;

4) ширина главных интерференционных максимумов увеличится.

21.33. На дифракционную решетку по нормали к ее поверхности падает плоская световая волна с длиной волны λ . Если постоянная решетки $d=4,5\lambda$, то общее число главных максимумов, наблюдаемых в фокальной плоскости собирающей линзы ...

21.34. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки, наполненной гелием. Красная линия гелия ($\lambda=670$ нм) спектра второго порядка накладывается на линию в спектре третьего порядка с длиной волны...

1) 223 нм; 2) 335 нм; 3) 447 нм; 4) 1005 нм.

21.35. Постоянная дифракционной решетки равна 2 мкм. Наибольший порядок спектра для желтой линии натрия $\lambda=589$ нм равен ...

22. ПОЛЯРИЗАЦИЯ И ДИСПЕРСИЯ СВЕТА

Краткие теоретические сведения

1. Световая волна, в которой колебания вектора \vec{E} в плоскости, перпендикулярной направлению распространения, непрерывно изменяются, называется *естественной*. Волна, в которой колебания вектора \vec{E} в указанной плоскости фиксировано, называется *поляризованной* (рис. 22.1.)

Если колебания светового вектора \vec{E} происходят только в одной проходящей через луч плоскости, то свет называется *линейно поляризованным*.

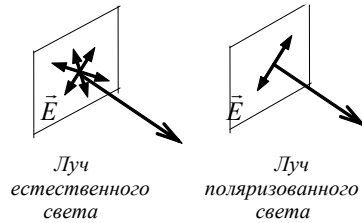


Рис.22/1.

Естественный свет представляет собой смесь волн, в которой равномерно представлены все направления поляризации.

Так как любое линейное колебание вектора \vec{E} можно разложить на два взаимно перпендикулярных, то условные обозначения естественного и поляризованного света (рис.22-2).

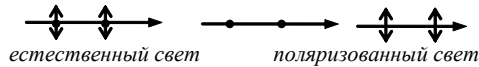


Рис. 22-2.

Частично поляризованный свет – это смесь естественного света с полностью линейно поляризованным.

2. Степень поляризации света:
$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где I_{\max} и I_{\min} – максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором. Для естественного света интенсивность пропускаемого света не зависит от положения анализатора, так что $I_{\max} = I_{\min}$ и $P = 0$. Для линейно

поляризованного света есть положение, когда свет через анализатор не проходит, так что $I_{min}=0$ и $P=I$.

3. При прохождении света через систему поляризатор-анализатор (рис.22.3) интенсивность его изменяется в соответствии с законом Малюса.

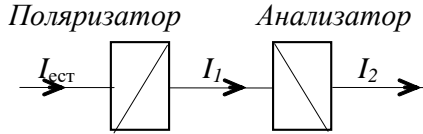


Рис.22.3.

Закон Малюса:

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi,$$

где I_2 – интенсивность линейно поляризованного света, прошедшего через анализатор, I_1 – интенсивность линейно поляризованного света, падающего на анализатор, φ – угол между направлением колебаний светового вектора волны, падающей на анализатор, и

плоскостью пропускания анализатора; $I_1 = \frac{1}{2} I_0$ (рис. 22.4).

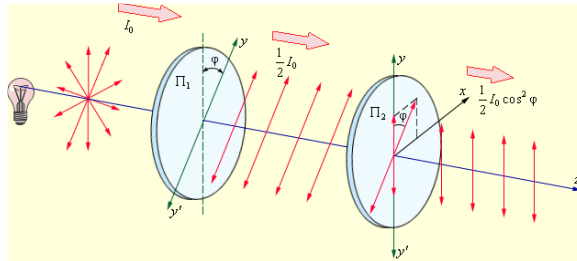


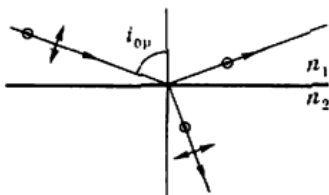
Рис.22.4.

4. *Закон Брюстера:*

$$\operatorname{tg} i_{Бр} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

где $i_{Бр}$ – угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована в плоскости, перпендикулярной плоскости

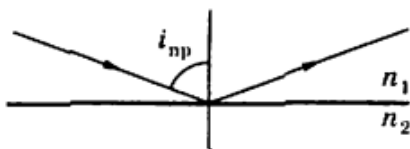
падения (угол Брюстера), n_1 – показатель преломления среды, на которую падает свет, n_2 – относительный показатель преломления второй среды относительно первой (рис. 22.5).



Ри.22.5

5. Предельный угол *полного отражения* при переходе света из среды более оптически плотной (n_1) в среду менее оптически плотную (n_2) (рис. 22-6) определяется из соотношения

$$\sin i_{np} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \quad n_2 < n_1.$$



Ри.22.6

6. Дисперсия света обусловлена зависимостью диэлектрической проницаемости ϵ и, следовательно, показателя преломления n от частоты. т.е. $n = f(\lambda)$ или $n = f(\omega)$. Эту зависимость можно изобразить графически (рис. 22.7).

Мерой дисперсии является изменение показателя преломления при изменении длины волны $dn / d\lambda$.

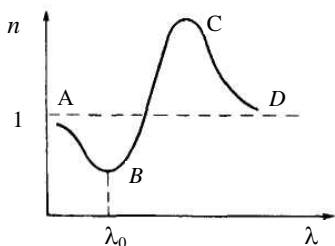


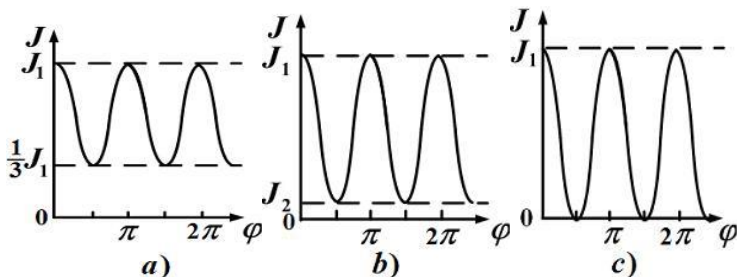
Рис.22.7.

При нормальной дисперсии $\frac{dn}{d\lambda} < 0$ (участки АВ и CD).

На участке BC $\frac{dn}{d\lambda} > 0$ – аномальная дисперсия.

Примеры тестовых заданий

Задание 22-1. На рисунке представлены графики зависимости интенсивности J света, прошедшего через поляризатор, от угла поворота φ поляризатора для трех разных световых пучков.



Для данных графиков верным соотношением степеней поляризации падающих на поляризатор световых волн всех трех пучков будет ...

- 1) $P_a > P_b > P_c$ 2) $P_a = P_b < P_c$ 3) $P_a < P_b = P_c$ 4) $P_a < P_b < P_c$

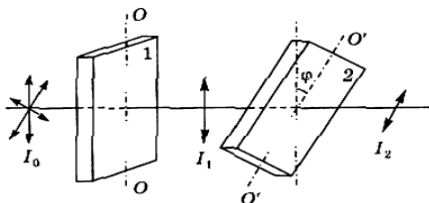
Решение. Свет, в котором вектор напряженности \vec{E} электрического поля колеблется только в одной проходящей через луч плоскости, называется плоскополяризованным (линейно поляризованным). Частично поляризованный свет – это смесь естественного света с всевозможными равновероятными ориентациями вектора \vec{E} и линейно поляризованного света.

Степенью поляризации называется величина: $P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$, где

I_{\max} и I_{\min} – соответственно максимальная и минимальная интенсивности поляризованного света, пропускаемого поляризатором. Из графиков определяем, что $P_a < P_b < P_c$.

Правильный ответ: 4).

Задание 22-2. На пути естественного света интенсивности I_0 помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если угол φ между направлениями OO и $O'O'$ равен 60° , то интенсивность I_2 света, прошедшего через обе пластинки, связана с I_0 соотношением ...



- 1) $I_2 = \frac{I_0}{2}$; 2) $I_2 = \frac{I_0}{8}$; 3) $I_2 = \frac{3I_0}{8}$; 4) $I_2 = \frac{I_0}{4}$.

Решение. Пусть на первую пластину турмалина (поляризатор) падает естественный свет с интенсивностью I_0 . После нее выйдет полностью линейно поляризованный свет, интенсивность которого I_1 составит половину интенсивности естественного света I_0 . Согласно закону Малюса, после второй пластины турмалина интенсивность света $I_2 = I_1 \cos^2 \varphi$. Таким образом, интенсивность света, прошедшего через обе пластинки, связана с I_0 соотношением

$$I_2 = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \varphi.$$

Подставляя значение $\cos \varphi = \cos 60^\circ = \frac{1}{2}$, получаем:

$$I_2 = \frac{1}{2} I_0 \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{8}.$$

Правильный ответ: 2).

Задание 22-3. На стеклянное зеркало под углом Брюстера падает луч естественного света. На пути отраженного луча расположена призма Николя (николь). Интенсивность отраженного луча равна I_1 . Если плоскость пропускания николя параллельна плоскости, в которой лежат падающий и отраженные лучи, то интенсивность луча, прошедшего николь, I_2 определяется как ...

$$1) \quad I_2 = I_1 \quad 2) \quad I_2 = 0 \quad 3) \quad I_2 = \frac{I_1}{2} \quad 4) \quad I_2 = \frac{I_1}{\sqrt{2}}$$

Решение. При падении естественного света под углом Брюстера отраженный свет полностью поляризован таким образом, что электрический вектор лежит в плоскости, перпендикулярной плоскости падения. Поэтому если отраженный свет пропустить через поляризатор с осью пропускания, параллельной плоскости падения, то свет через поляризатор проходить не будет.

Правильный ответ: 2).

Задание 22-4. Естественный свет с интенсивностью I_0 падает на вход устройства, состоящего из двух скрещенных поляроидов. Между поляроидами поместили третий поляризатор, ось которого составляет с осью первого угол α . Отношение интенсивности света, прошедшего через систему, к интенсивности падающего на систему равно...

$$1) 0; \quad 2) \frac{1}{16} \sin^2 2\alpha; \quad 3) \frac{1}{8} \sin^2 2\alpha; \quad 4) \frac{1}{4} \sin^2 2\alpha.$$

Решение. Первый поляризатор пропускает только половину интенсивности падающего естественного света. Свет становится поляризованным с интенсивностью $I_1 = \frac{1}{2} I_0$. После прохождения следующего поляризатора получим по закону Малюса

интенсивность $I_2 = I_1 \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha$. После прохождения

светом третьего поляроида получим интенсивность

$$I_3 = I_2 \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = I_2 \sin^2 \alpha = \frac{1}{8} I_0 \sin^2 2\alpha. \quad \text{Отношение}$$

интенсивности прошедшего света к интенсивности падающего

равно: $\frac{I_3}{I_0} = \frac{1}{8} \sin^2 2\alpha$.

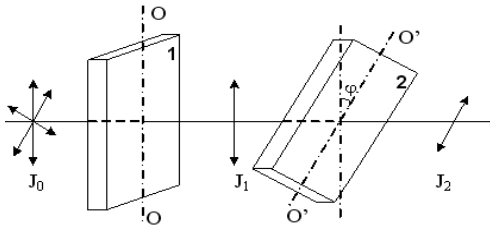
Правильный ответ: 3).

Задания для самостоятельной работы

22.1. На идеальный поляризатор падает свет интенсивности $I_{ест}$ от обычного источника. При вращении поляризатора вокруг направления распространения луча интенсивность света за поляризатором...

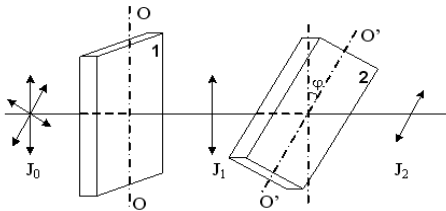
- 1) меняется от $I_{ест}$ до I_{max} ;
- 2) меняется от I_{min} до I_{max} ;
- 3) не меняется и равна $I_{ест}$;
- 4) не меняется и равна $(1/2)I_{ест}$.

22.2. На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если J_1 и J_2 – интенсивность света, прошедшего пластинки 1 и 2 соответственно, и угол между направлениями OO и $O'O'$ $\varphi = 30^\circ$, то J_1 и J_2 связаны соотношением...



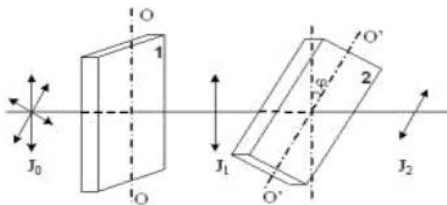
- 1) $J_1 = J_2$;
- 2) $J_2 = \frac{3}{4} J_1$;
- 3) $J_2 = \frac{J_1}{4}$;
- 4) $J_2 = \frac{J_1}{2}$.

22.3. На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если J_1 и J_2 – интенсивность света, прошедшего пластинки 1 и 2 соответственно, и $J_1 = J_2$, то угол между направлениями OO и $O'O'$ равен ...



- 1) 0° ;
- 2) 30° ;
- 3) 45° ;
- 4) 90° .

22.4. На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если J_1 и J_2 – интенсивность света, прошедшего пластинки 1 и 2 соответственно, и $J_2 = J_1/4$, тогда угол между направлениями OO и $O'O'$ равен ...



- 1) 30° ;
- 2) 45° ;
- 3) 60° ;
- 4) 90° .

22.5. Естественный свет проходит через стеклянную пластинку и частично поляризуется. Если на пути света поставить еще одну такую же пластинку, то степень поляризации света:

- 1) уменьшится; 2) не изменится; 3) увеличится.

22.6. Естественный свет падает на систему из 5 последовательно расположенных поляроидов, причем плоскость пропускания каждого последующего поляроида образует угол 30° с плоскостью пропускания предыдущего. Если поглощением света в поляроидах можно пренебречь, то интенсивность J света на выходе из системы связана с интенсивностью J_0 на входе соотношением...

$$1) J = \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^5 J_0; \quad 2) J = \frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^4 J_0;$$

$$3) J = \left(\frac{3}{4}\right)^5 J_0; \quad 4) J = \frac{1}{2} \left(\frac{3}{4}\right)^4 J_0.$$

22.7. Угол между плоскостями пропускания двух поляризаторов равен 45° . Если угол увеличить в 2 раза, то интенсивность света, прошедшего через оба поляризатора...

- 1) станет равной нулю; 2) уменьшится в два раза;
3) уменьшится в 4 раза; 4) увеличится в 4 раза.

22.8. При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован. Угол преломления равен 30° . Тогда показатель преломления диэлектрика равен ...

- 1) 1,50; 2) 1,73; 3) 1,33; 4) 1,41.

22.9. При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован при угле падения 60° . При этом угол преломления равен...

- 1) 90° ; 2) 60° ; 3) 45° ; 4) 30° .

22.10. При переходе света из вакуума (воздуха) в какую-либо оптически прозрачную среду (воду, стекло) остается неизменной...

- 1) длина волны;
- 2) направление распространения;
- 3) частота колебаний в световой волне;
- 4) скорость распространения.

22.11. Показатель преломления среды n , с точки зрения волновой теории света, равен...

1) $n = \frac{\lambda}{\lambda_0}$, где λ_0 – длина волны в вакууме; λ – длина волны в среде;

2) $n = \frac{c}{v}$, где c – скорость света в вакууме; v – скорость света в среде;

3) $n = \frac{\nu_0}{\nu}$, где ν_0 – частота волны в вакууме; ν – частота волны в среде;

4) $n = \operatorname{tg} i$, где i – угол падения, соответствующий полной поляризации отраженного света.

22.12. Пластинку из оптически активного вещества толщиной $d=2$ мм поместили между параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол $\varphi=30^\circ$. Поле зрения поляриметра станет совершенно темным при минимальной толщине (в мм) пластинки, равной ...

- 1) 0,7°;
- 2) 1,5°;
- 3) 3°;
- 4) 6.

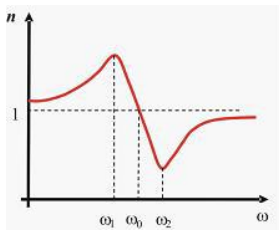
22.13. Свет переходит из оптически более плотной среды с показателем преломления n_1 в оптически менее плотную с показателем преломления $n_2 < n_1$. При угле падения лучей

$i > \arcsin \frac{n_2}{n_1}$ происходит ...

- 1) полное отражение света от прозрачной среды;
- 2) интерференционное гашение отраженного луча;

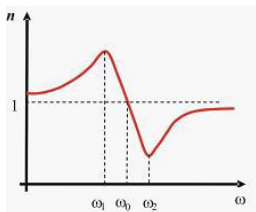
- 3) полная поляризация отраженного луча;
- 4) поворот плоскости поляризации.

22.14. На рисунке изображена дисперсионная кривая для некоторого вещества. Нормальная дисперсия имеет место в диапазоне частот...



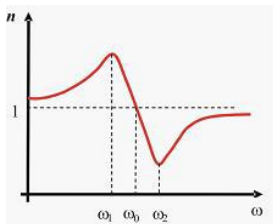
- 1) $\omega_1 < \omega < \omega_2$;
- 2) $\omega > \omega_2$;
- 3) $\omega < \omega_1$.
- 4) $\omega < \omega_1, \omega > \omega_2$.

22.15. Кривая дисперсии для некоторого вещества в области одной из полос поглощения имеет вид, показанный на рисунке. Групповая скорость u света в веществе больше фазовой скорости v для области частот...



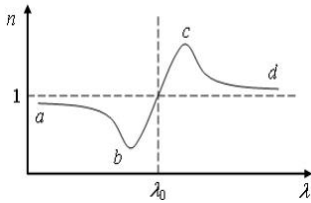
- 1) $\omega_1 < \omega < \omega_2$;
- 2) $\omega > \omega_2$;
- 3) $\omega < \omega_1$.
- 4) $\omega < \omega_1, \omega > \omega_2$.

22.16. На рисунке изображена дисперсионная кривая для некоторого вещества. Интенсивное поглощение света наблюдается для диапазона частот ...



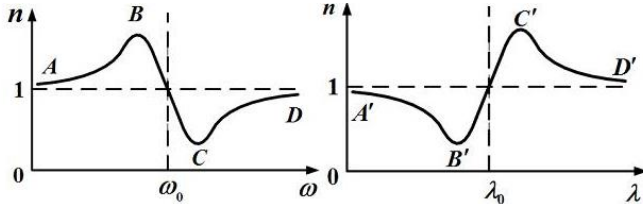
- 1) от $\omega_1 < \omega_0$;
- 2) от ω_2 до ∞ ;
- 3) от ω_1 до ω_2 ;
- 4) от 0 до ω_1 .

22.17. Кривая дисперсии в области одной из полос поглощения света имеет вид, показанный на рисунке. Соотношение между фазовой v и групповой u скоростями для участка bc имеет вид...



- 1) $u > v$;
- 2) $u > v > c$;
- 3) $u = v$;
- 4) $u < v$.

22.18. Графики дисперсионных кривых зависимостей показателя преломления среды от частоты и длины волны λ света имеют вид, представленный на рисунке:



Участки кривых AB и $C'D'$ соответствуют дисперсии...

- 1) AB – нормальной, $C'D'$ – нормальной;
- 2) AB – нормальной, $C'D'$ – аномальной;
- 3) AB – аномальной, $C'D'$ – аномальной;
- 4) AB – аномальной, $C'D'$ – нормальной.

22.19. При прохождении белого света через трехгранную призму наблюдается его разложение в спектр. Чем объясняется это явление?

- 1) интерференцией;
- 2) дифракцией;
- 3) поляризацией;
- 4) дисперсией;
- 5) поглощением.

22.20. Когда белый свет раскладывается на составляющие, луч какого цвета сильнее всего отклоняется от первоначального направления?

- 1) красный;
- 2) жёлтый;

3) фиолетовый;

4) зелёный.

22.21. Лучи какого цвета имеют наибольший показатель преломления в призме?

1) оранжевый;

2) фиолетовый;

3) красный;

4) синий.

22.22. Лучи какого цвета имеют наименьший показатель преломления в призме?

1) оранжевый;

2) фиолетовый;

3) красный;

4) синий.

22.23. При прохождении светового потока через коллоидный раствор наблюдается дифракционное рассеяние света, называемое..

1) эффект Рэлея;

2) конус Стокса;

3) эффект Шульца-Гарди;

4) конус Тиндаля.

22.24. Показатель преломления света в воде для красного света равен 1,329, а для голубого света равен 1,337. При прохождении света в воде для этих длин волн наблюдается

1) аномальная дисперсия;

2) дифракция;

3) нормальная дисперсия;

4) поляризация;

5) оптическая активность.

23. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. ФОТОЭФФЕКТ

Краткие теоретические сведения

1. Энергетическая светимость тела $R(T)$ – энергия, испускаемая в единицу времени единицей площади поверхности нагретого до температуры T тела. $[R(T)] = \text{Вт}/\text{м}^2$.

2. Испускательная (излучательная) способность тела – количество энергии, испускаемое в единицу времени единицей площади поверхности нагретого до температуры T тела, приходящееся на единичный интервал частот ($[r] = \text{Дж}/\text{м}^2$):

$$r_{\lambda,T} = \frac{dR_{\lambda}}{d\omega} \quad \text{или} \quad r_{\omega,T} = \frac{dR_{\omega}}{d\omega}.$$

3. Связь энергетической светимости и испускательной способности дается выражением

$$R_{\lambda} = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda \quad \text{или} \quad R_{\omega} = \int_0^{\infty} r_{\omega,T} d\omega$$

4. Поглощательная способность тела a_{ω} – отношение потока энергии, поглощенного телом в единичном интервале частот, к падающему потоку энергии. a_{ω} – безразмерная величина, не превышающая единицы. Тело, для которого $a_{\omega} = 1$ на всех частотах, называется *абсолютно черным телом*. Другие тела, для которых $a_{\omega} < 1$, называются *серыми*.

5. Закон Кирхгофа: отношение испускательной и поглощательной способности любого тела есть универсальная функция частоты и температуры

$$\frac{r_{\omega,T}}{a_{\omega,T}} = f(\omega, T). \quad \text{или} \quad \frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = f(\lambda, T)$$

Следовательно, $f(\omega, T)$ есть испускательная способность абсолютно черного тела. Из выражения $\frac{r_{\omega}}{a_{\omega}} = f(\omega, T)$ следует, что серое тело испускает меньше энергии, чем абсолютно черное тело при той же температуре.

6. Закон Стефана-Больцмана: энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени температуры:

$$R_s = \sigma T^4$$

где $\sigma = const = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^{-4}$.

7. Закон смещения Вина: длина волны, на которую приходится максимум излучательной способности абсолютно черного тела, обратно пропорциональна абсолютной температуре:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

где $b = const = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$.

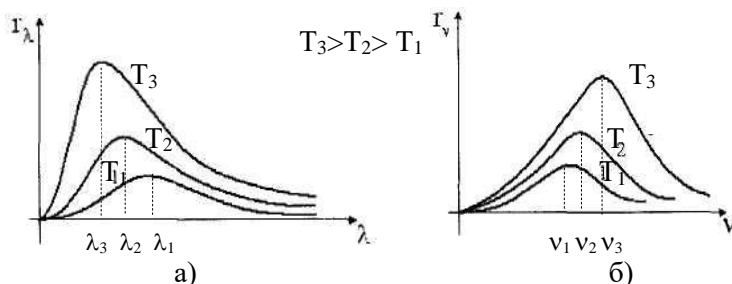


Рис.23.1.

В соответствии с законом смещения Вина максимум кривой при увеличении температуры сдвигается в сторону малых длин волн (рис.23.1а) или высоких частот (рис.23.1б)

8. На основании классических представлений, в соответствии с которыми считалось, что энергия излучается непрерывно и, согласно законам термодинамики, равномерно распределяется по степеням свободы Рэлей и Джинс получили следующих вид функций:

$$f(\omega, T) = \frac{\omega^2}{4\pi^2 c^2} kT$$

При $\lambda \rightarrow 0$ по формуле Рэлея-Джинса $r_\lambda \rightarrow \infty$. Это положение получило название в физике «ультрафиолетовой катастрофы».

9. Планк высказал гипотезу о том, что энергия может излучаться отдельными частями (порциями) или квантами. Энергия кванта $E = h\nu = \hbar\omega$, где ν – частота, $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота, h – постоянная Планка: $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Тогда любой элементарный излучатель обладает энергией: $E = nh\nu = n\varepsilon$, где $n = 1, 2, \dots$

Импульс фотона:

$$p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{\hbar\omega}{c} = \frac{2\pi\hbar}{\lambda} = \frac{h}{\lambda}.$$

Формула Планка для испускательной способности абсолютно черного тела:

$$f(\omega, T) = \frac{\hbar\omega^3}{4\pi^2 c^2} \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1},$$

10. Фотоэффект – явление изменения энергии электронов вещества под действием света. При внешнем фотоэффекте электроны вылетают с поверхности металлов.

Формула Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mV_{\text{max}}^2}{2}$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона из металла; $\frac{mV_{\text{max}}^2}{2}$ – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

Задерживающее напряжение U_3 связано с максимальной кинетической энергией вылетающих электронов зависимостью

$$\frac{mV_{\text{max}}^2}{2} = eU_3, \quad \text{тогда уравнение Эйнштейна примет вид:}$$

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3.$$

11. Красная граница фотоэффекта соответствует условию

$$\frac{m\nu_{\max}^2}{2} = 0 \Rightarrow \nu_{кр} = \frac{A_{\text{вых}}}{h} \text{ или } \lambda_{кр} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}}.$$

где $\lambda_{кр}$ и ν_{\min} – максимальная длина волны и минимальная частота излучения соответственно, при которых еще возможен фотоэффект.

Примеры тестовых заданий

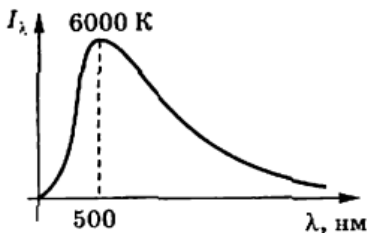
Задание 23-1. Абсолютно черное тело и серое тело имеют одинаковую температуру. При этом интенсивность излучения ...

- 1) больше у серого тела;
- 2) определяется площадью поверхности тела;
- 3) больше у абсолютно черного тела;
- 4) одинаковая у обоих тел.

Решение. Испускательная способность нагретого тела $r_{\omega} = a_{\omega} r_{\omega\text{ачт}}$, где a_{ω} – поглощательная способность нагретого тела (которая меньше единицы), $r_{\omega\text{ачт}}$ – испускательная способность абсолютно черного тела. Таким образом, серое тело испускает меньше, чем абсолютно черное тело.

Правильный ответ: 3).

Задание 23-2. На рисунке показана кривая зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины волны при $T=6000 \text{ K}$. Если температуру тела уменьшить в 4 раза, то длина волны, соответствующая максимуму излучения абсолютно черного тела ...

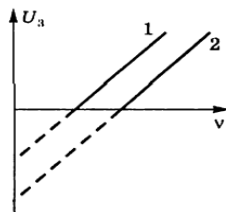


- 1) уменьшится в 2 раза;
- 2) уменьшится в 4 раза;
- 3) увеличится в 2 раза;
- 4) увеличится в 4 раза.

Решение. Согласно закону смещения Вина $\lambda_{\text{max}} = b/T$ при уменьшении температуры тела в 4 раза длина волны, соответствующая максимуму излучения абсолютно черного тела, увеличится в 4 раза.

Правильный ответ: 4).

Задание 23-3. На рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения U_3 от частоты ν падающего света для внешнего фотоэффекта.



Укажите **верные** утверждения:

- 1) зависимости получены для двух различных металлов;
- 2) с помощью этих зависимостей можно определить значение постоянной Планка;
- 3) $A_2 < A_1$, где A_1 и A_2 – значения работы выхода электронов из соответствующего металла;

Решение. Формула Эйнштейна для фотоэффекта с учетом выражений для задерживающего потенциала и красной границы фотоэффекта примет вид: $h\nu = h\nu_{\text{кр}} + eU_3$ или $U_3 = \frac{h}{e}(\nu - \nu_{\text{кр}})$.

Таким образом, на рисунке представлены две зависимости задерживающего напряжения U_3 от частоты ν падающего света для двух различных металлов, причем

$$v_{кр}(2) = \frac{A_{вых}(2)}{h} > v_{кр}(1) = \frac{A_{вых}(1)}{h},$$

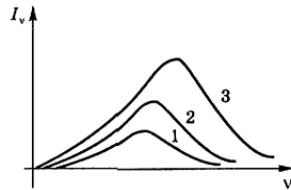
т.е. работа A_2 выхода электронов из второго металла больше работы A_1 выхода электронов из первого металла. Значит, третий вариант ответа не является правильным.

Тангенс угла наклона прямых $U_3=U(\nu)$ зависимостей задерживающего напряжения U_3 от частоты ν падающего света зависит от отношения h/e . Следовательно, с помощью этих зависимостей можно определить значение постоянной Планка.

Поэтому правильные ответы: 1] и 2].

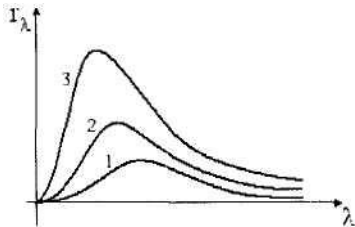
Задания для самостоятельной работы

23.1. На рисунке представлены графики зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от частоты при различных температурах. Наибольшей температуре соответствует график ...



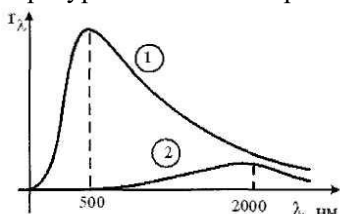
1) 1; 2) 2; 3) 3.

23.2. На рисунке представлены графики зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины волны при различных температурах. Наименьшей температуре соответствует график...



1) 1;
2) 2;
3) 3.

23.3. На рисунке показаны кривые зависимости спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела от длины волны при разных температурах. Если длина волны, соответствующая максимуму излучения, уменьшилась в 4 раза, то температура абсолютно черного тела ...



- 1) увеличилась в 2 раза;
- 2) уменьшилась в 4 раза;
- 3) увеличилась в 4 раза;
- 4) уменьшилась в 2 раза.

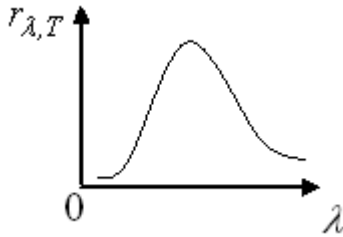
23.4. Электромагнитная теория света и теорема классической физики о равномерном распределении энергии системы со степенями свободы, будучи применены к тепловому равновесному излучению, приводят к ...

- 1) ультрафиолетовой катастрофе;
- 2) гипотезе квантов;
- 3) тепловой смерти Вселенной;
- 4) формуле Планка, представляющей распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела.

23.5. Числовое значение постоянной Стефана-Больцмана теоретически можно определить с помощью ...

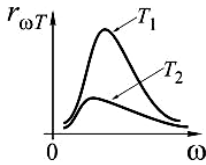
- 1) формулы Планка;
- 2) закона Кирхгофа;
- 3) закона Стефана-Больцмана;
- 4) закона смещения Вина.

23.6. На рисунке изображен спектр излучения абсолютно черного тела при температуре T . При температуре T_1 площадь под кривой увеличилась в 16 раз. Температура T_1 равна...

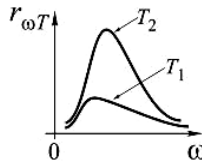


- 1) T ;
- 2) $2T$;
- 3) $4T$;
- 4) $16T$.

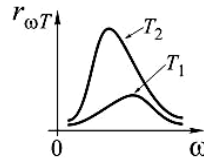
23.7. Распределение энергии в спектре абсолютно черного тела в зависимости от частоты излучения для температур T_1 и T_2 ($T_2 > T_1$) верно представлено на рисунке...



1)



2)



3)

23.8. При увеличении абсолютной температуры абсолютно черного тела в 2 раза длина волны в максимуме спектральной плотности излучения тела ...

- 1) уменьшается в 2 раза;
- 2) увеличивается в 4 раза;
- 3) увеличивается в 2 раза;
- 4) уменьшается в 4 раза;
- 5) не изменяется.

23.9. При увеличении абсолютной температуры абсолютно черного тела в 3 раза интегральная плотность его излучения ...

- 1) увеличивается в 81 раз;
- 2) не изменяется;
- 3) увеличивается в 3 раза;
- 4) увеличивается в 9 раз;
- 5) увеличивается в 27 раз.

23.10. При нагревании абсолютно черного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась от 750 нм до 500 нм. Энергетическая светимость тела при этом ...

- 1) увеличилась в 1,5 раза; 2) увеличилась в 7,6 раз;
 3) увеличилась в 5 раз; 4) уменьшилась в 5 раз.

23.11. Установите соответствие между приведенными характеристиками теплового равновесного излучения и характером их зависимости от частоты и температуры.

- А. Спектральная плотность энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, согласно формуле Рэля-Джинса, с увеличением частоты... 1) стремится к нулю;
- Б. Спектральная плотность энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, согласно формуле Планка, с увеличением частоты... 2) убывает пропорционально T^{-1}
- В. Энергетическая светимость абсолютно черного тела с увеличением температуры... 3) неограниченно возрастает;
- Г. Длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, с увеличением температуры... 4) возрастает пропорционально T^4
- 5) возрастает пропорционально T^2

23.12. Импульс фотона имеет наибольшее значение в диапазоне частот...

- 1) ультрафиолетового излучения; 2) инфракрасного излучения;
 3) рентгеновского излучения; 4) видимого излучения.

23.13. Два источника излучают свет с длиной волны 375 нм и 750 нм. Отношение импульсов фотонов, излучаемых первым и вторым источником равно...

- 1) 1/4; 2) 1/2; 3) 2; 4) 4.

23.14. Энергия первого фотона в четыре раза больше энергии второго. Отношение импульса первого фотона к импульсу второго равно...

- 1) $1/4$; 2) 2; 3) 4; 4) 8.

23.15. На твердое тело перпендикулярно его поверхности падает свет с длиной волны λ . Какой импульс передает телу один фотон при поглощении света, а какой импульс – при отражении света?

- 1) В обоих случаях $\frac{2h}{\lambda}$.
2) При поглощении $\frac{h}{\lambda}$, а при отражении $\frac{2h}{\lambda}$.
3) В обоих случаях h .
4) При поглощении $\frac{2h}{\lambda}$, а при отражении $\frac{h}{\lambda}$.
5) В обоих случаях $\frac{h}{\lambda}$.

23.16. Энергия первого фотона в три раза больше энергии второго. Отношение импульса первого фотона к импульсу второго равно...

23.17. Явление испускания электронов веществом под действием электромагнитного излучения называется ...

- 1) фотосинтезом; 2) электризацией;
3) фотоэффектом; 4) ударной ионизацией.

23.18. Металлический шарик в вакууме облучают неограниченно долго светом с длиной волны, меньшей красной границы фотоэффекта для этого металла $\lambda < \lambda_{кр}$. Фотоэффект на поверхности шарика продолжается до тех пор, пока...

- 1) все свободные электроны не вылетят из шарика;
2) потенциал шарика не сравняется с задерживающим потенциалом;

3) концентрация свободных электронов внутри металлического шарика не сравнивается с концентрацией электронов в электронном облаке у поверхности шарика;

4) шарик не нагреется до температуры плавления и не расплавится.

23.19. Интенсивность монохроматического света, падающего на катод фотоэлемента, увеличилась в два раза. В результате этого ...

1) максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов увеличилась в два раза;

2) фототок насыщения увеличился в два раза;

3) задерживающая разность потенциалов уменьшилась в два раза;

4) температура фотоэлемента увеличилась в два раза.

23.20. При изучении внешнего фотоэффекта увеличили освещенность катода. Это привело к ...

1) увеличению значения задерживающего напряжения;

2) уменьшению работы выхода электрона;

3) увеличению работы выхода электрона;

4) увеличению значения тока насыщения.

23.21. Наблюдается явление внешнего фотоэффекта. При этом с уменьшением длины волны падающего света ...

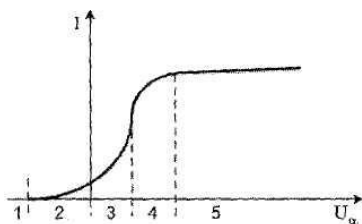
1) уменьшается энергия фотонов;

2) увеличивается величина задерживающей разности потенциалов;

3) уменьшается кинетическая энергия электронов;

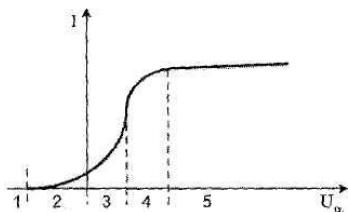
4) увеличивается красная граница фотоэффекта.

23.22. Полному торможению всех вылетевших в результате фотоэмиссии электронов на графике ВАХ внешнего фотоэффекта соответствует область, отмеченная цифрой...



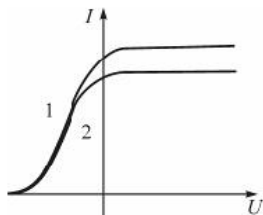
- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4;
- 5) 5.

23.23. На рисунке приведена вольтамперная характеристика (ВАХ) фотоприемника с внешним фотоэффектом. Какая область на графике этой ВАХ соответствует попаданию всех, вылетевших в результате фотоэмиссии электронов, на анод фотоприемника?



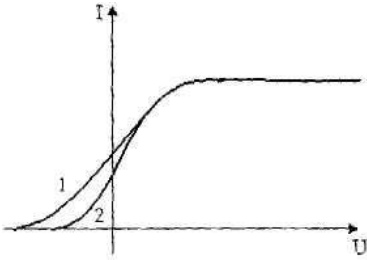
- 1) область 1;
- 2) область 2;
- 3) область 3;
- 4) область 4;
- 5) область 5.

23.24. На рисунке приведены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если E – освещенность фотоэлемента, ν – частота падающего на него света, то ...



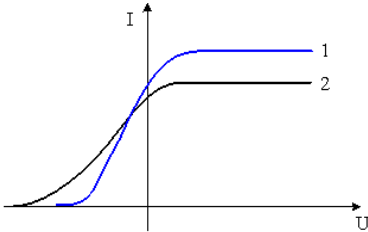
- 1) $\nu_1 > \nu_2$, $E_1 = E_2$;
- 2) $\nu_1 < \nu_2$, $E_1 = E_2$;
- 3) $\nu_1 = \nu_2$, $E_1 > E_2$;
- 4) $\nu_1 = \nu_2$, $E_1 < E_2$.

23.25. На рисунке представлены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если E – освещенность фотокатода, а ν – частота падающего на него света, то для кривых 1 и 2 справедливы следующие утверждения...



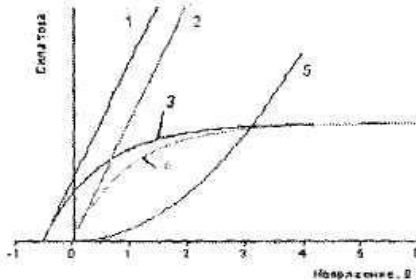
- 1) $\nu_1 = \nu_2, E_1 > E_2$
- 2) $\nu_1 < \nu_2, E_1 = E_2$
- 3) $\nu_1 > \nu_2, E_1 = E_2$
- 4) $\nu_1 = \nu_2, E_1 < E_2$

23.26. На рисунке представлены две вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если E – освещенность фотокатода, а λ – длина волны падающего на него света, то справедливо утверждение ...



- 1) $\lambda_1 < \lambda_2, E_1 > E_2$
- 2) $\lambda_1 < \lambda_2, E_1 < E_2$
- 3) $\lambda_1 > \lambda_2, E_1 < E_2$
- 4) $\nu_1 > \nu_2, E_1 > E_2$

22.27. Вольтамперная характеристика вакуумного фотоэлемента представлена на графике кривой ...



- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4;
- 5) 5.

23.28. Свет, падающий на металл, вызывает эмиссию электронов из металла. Если интенсивность света уменьшается, а его частота при этом остаётся неизменной, то...

1) количество выбитых электронов и их кинетическая энергия увеличиваются;

2) количество выбитых электронов остается неизменным, а их кинетическая энергия увеличивается;

3) количество выбитых электронов уменьшается, а их кинетическая энергия остаётся неизменной;

4) количество выбитых электронов увеличивается, а их кинетическая энергия уменьшается;

5) количество выбитых электронов остается неизменным, а их кинетическая энергия уменьшается.

23.29. Металл облучается светом с длиной волны λ . Красная граница фотоэффекта для этого металла равна $\lambda_{\text{кр}}$, работа выхода A . Если $\lambda = \lambda_{\text{кр}}/2$, то максимальная кинетическая энергия ε_M вырванных электронов...

1) $\varepsilon_M = A$; 2) $\varepsilon_M = \frac{3}{2} A$; 3) $\varepsilon_M = \frac{1}{2} A$;

4) фотоэффект не происходит.

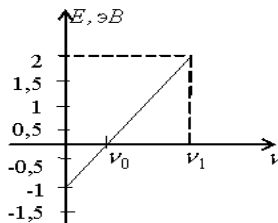
23.30. Металл облучается светом с длиной волны λ . Красная граница фотоэффекта для этого металла равна $\lambda_{\text{кр}}$, работа выхода A . Если $\lambda = 2\lambda_{\text{кр}}$, то максимальная кинетическая энергия ε_M вырванных электронов...

1) $\varepsilon_M = A$; 2) $\varepsilon_M = \frac{3}{2} A$; 3) $\varepsilon_M = \frac{1}{2} A$;

4) фотоэффект не происходит.

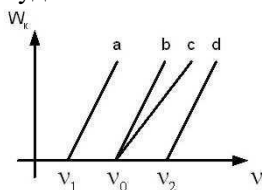
23.31. При освещении металла излучением с длиной волны λ_0 фототок прекращается при задерживающем напряжении U_3 . Если изменить длину волны излучения в 1,5 раза, то задерживающее напряжение увеличится в 2 раза. Работа выхода электронов $A=4$ эВ. Задерживающее напряжение U_3 в вольтах для излучения с длиной волны λ_0 равно...

23.32. На графике представлена зависимость кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Из графика следует, что для частоты ν_1 энергия падающего фотона равна ...



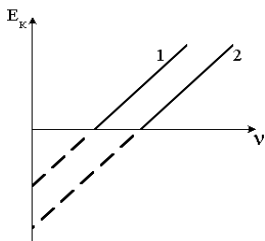
- 1) 1 эВ; 2) 2 эВ; 3) 3 эВ; 4) 4 эВ.

23.33. В опытах по внешнему фотоэффекту изучалась зависимость энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Для некоторого материала фотокатода на рисунке исследованная зависимость представлена линией b. При замене материала фотокатода на материал с меньшей работой выхода зависимость будет соответствовать прямой...



- 1) d, параллельной линии b;
 2) b, т.е. останется той же самой;
 3) c, имеющей меньший угол наклона, чем линия b;
 4) a, параллельной линии b.

23.34. На рисунке представлены две зависимости кинетической энергии фотоэлектронов E_k от частоты ν падающего света. Укажите верные утверждения:

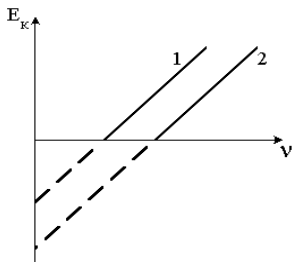


1] зависимости получены для двух различных металлов;

2] с помощью этих зависимостей можно определить значение постоянной Планка;

3] $A_2 < A_1$, где A_1 и A_2 – значения работы выхода электронов из соответствующего металла.

23.35. На рисунке представлены две зависимости кинетической энергии фотоэлектронов E_k от частоты ν падающего света. Укажите верные утверждения:



1] $A_2 > A_1$, где A_1 и A_2 – значения работы выхода электронов из соответствующего металла;

2] угол наклона зависимостей 1 и 2 одинаков;

3] зависимости получены для двух различных освещенностей одного металла.

24. ЭФФЕКТ КОМПТОНА. СВЕТОВОЕ ДАВЛЕНИЕ

Краткие теоретические сведения

1. Эффект Комптона: при рассеянии рентгеновских лучей наряду с излучением исходной длины волны λ появляются лучи с большей длиной волны λ' (рис. 24-1). Разность $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ не зависит ни от длины волны λ , ни от природы рассеивающего вещества, а определяется только углом рассеяния θ . Эффект Комптона является одним из ярких подтверждений корпускулярных свойств света.

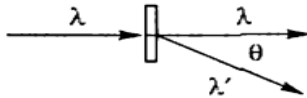


Рис. 24-1

2. Изменение длины волны при комптоновском рассеянии рентгеновских лучей:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta),$$

где m – масса покоя электрона.

3. Комптоновская длина волны:

$$\Lambda = \frac{h}{mc} = 0,0242\text{Å}$$

4. Давление, производимое световой волной, падающей под углом φ к нормали в точке падения:

$$p = \frac{E}{c}(1 + \rho)\cos^2\varphi = u(1 + \rho)\cos^2\varphi,$$

где E – облученность поверхности (энергия, падающая в единицу времени на единицу площади поверхности); c – скорость электромагнитного излучения в вакууме; $u = \frac{E}{c}$ – объемная плотность энергии излучения; ρ – коэффициент отражения.

5. Энергия фотона: $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ или $\varepsilon = \hbar\omega$,

где h – постоянная Планка, $\hbar = h/(2\pi)$, ν – частота света, ω – круговая частота, λ – длина волны.

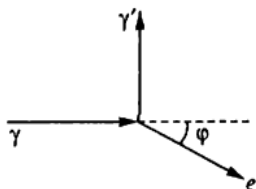
Тогда давление света, падающего нормально к поверхности:

$$p = \frac{N h \nu}{c} (1 + \rho),$$

6. Масса и импульс фотона выражаются соответственно формулами: $m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$; $p = mc = \frac{h}{\lambda}$.

Примеры тестовых заданий

Задание 24-1. На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° , направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi = 30^\circ$. Если импульс падающего фотона 3 (МэВ·с)/м, то импульс рассеянного фотона (в тех же единицах) равен...



- 1) 1,5;
- 2) $\sqrt{3}$;
- 3) $2\sqrt{3}$;
- 4) $1,5\sqrt{3}$.

Решение. Рассматриваемый в задаче эффект Комптона характеризует корпускулярные свойства света. Следовательно, в процессе рассеяния фотона на электроне должен выполняться закон сохранения импульса. В начальном состоянии у падающего фотона γ импульс имеет только горизонтальную составляющую. Поэтому в конечном состоянии горизонтальная составляющая импульса электрона $p_e \cos\varphi$ равна импульсу падающего фотона p_γ ($p_\gamma = p_e \cos\varphi$), а

вертикальная составляющая суммарного импульса электрона и рассеянного фотона равна нулю, или $p'_\gamma = p_e \sin \varphi$.

Таким образом,

$$p'_\gamma = p_e \sin \varphi = p_\gamma \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = p_\gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

Подставляя значение $p_\gamma = 3$ (МэВ·с)/м и $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{3}}{3}$, получаем

$$p'_\gamma = \sqrt{3}.$$

Правильный ответ: 2).

Задание 24-2. Параллельный пучок света падает по нормали на зачерненную плоскую поверхность, производя давление P . При замене поверхности на зеркальную давление света не изменяется, если угол падения (отсчитываемый от нормали к поверхности) будет равен ...

- 1) 60° ; 2) 45° ; 3) 30° ; 4) 0° .

Решение. Давление, производимое световой волной, падающей под углом φ (угол падения – угол между перпендикуляром к поверхности в точке падения и световым лучом):

$$p = \frac{E}{c} (1 + \rho) \cos^2 \varphi,$$

где E – освещенность; c – скорость света в вакууме; ρ – коэффициент отражения поверхности.

В первом случае $\varphi = 0$ и $\rho = 0$, поэтому $P_1 = \frac{E_\phi}{c}$.

Во втором случае $\rho = 1$ и $P_2 = \frac{E_\phi}{c} 2 \cdot \cos^2 \varphi, P_1 = P_2$,

если $\cos \varphi = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

Таким образом, при замене поверхности на зеркальную давление света не изменится, если угол падения будет равен

$$\varphi = 45^\circ = \frac{\pi}{4}.$$

Правильный ответ: 2).

Задания для самостоятельной работы

24.1. Величина изменения длины волны $\Delta\lambda$ излучения при комптоновском рассеянии зависит:

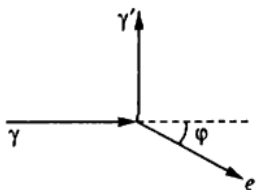
- 1) от угла рассеяния;
- 2) от энергии падающего фотона;
- 3) от свойств рассеивающего вещества.

24.2. При рассеянии фотона на свободном электроне кинетическая энергия отдачи электрона будет максимальной, если угол рассеяния в градусах равен ...

24.3. Длина волны γ -лучей при комптоновском рассеянии на свободных электронах увеличилась на $\frac{h}{mc}$. Угол рассеяния равен...

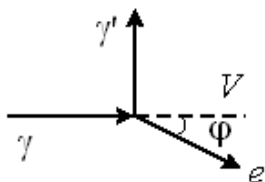
- 1) 0° ; 2) 60° ; 3) 90° ; 4) 180°

24.4. Эффект Комптона наблюдается на почти свободных электронах. На рисунке показаны направления падающего фотона (γ), рассеянного фотона (γ') и электрона отдачи (e). Угол рассеяния 90° . Направление движения электрона отдачи составляет с направлением падающего фотона угол $\varphi=30^\circ$. При рассеянии импульс фотона...



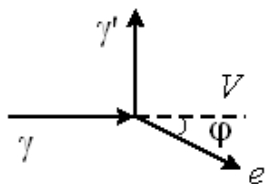
- 1) уменьшится в 2 раза;
- 2) уменьшится в $\sqrt{3}$ раз;
- 3) не изменится;
- 4) увеличится в $\sqrt{3}$ раз.

24.5. При наблюдении эффекта Комптона угол рассеяния фотона на покоящемся свободном электроне равен 90° , направление движения электрона отдачи составляет 30° с направлением падающего фотона (см. рис.).



При этом фотон теряет ____ % своей первоначальной энергии (Ответ округлите до целого числа.)

24.6. При наблюдении эффекта Комптона угол рассеяния фотона на покоящемся свободном электроне равен 90° , направление движения электрона отдачи составляет 30° с направлением падающего фотона (см. рис.).



Если импульс рассеянного фотона $2\sqrt{3}$ (МэВ·с)/м, то импульс падающего фотона (в тех же единицах) равен...

24.7. В явлении Комптона энергия падающего фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния равен $\pi/2$. Комптоновская длина волны

электрона: $\Lambda = \frac{h}{mc} = 2,4 \cdot 10^{-12}$ м. Длина волны рассеянного фотона в фемтометрах (10^{-15}) равна...

24.8. Монохроматическое рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = \frac{\Lambda}{2}$, где $\Lambda = \frac{h}{mc} = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м – комтоновская длина волны для электрона, падает на рассеивающее вещество. При этом отношение длин волн λ'_1 / λ'_2 излучения, рассеянного под углами $\varphi_1 = 120^\circ$ и $\varphi_2 = 60^\circ$ соответственно равно ...

24.9. Фотон с длиной волны 4,86 пм рассеялся на первоначально покоящемся свободном электроне. Комптоновская длина волны для электрона равна $2,43 \cdot 10^{-12}$ м. Отношение максимально возможной длины волны рассеянного фотона к его первоначальной длине равно...

24.10. Давление света зависит от ...

- 1) степени поляризованности света;
- 2) показателя преломления вещества, на которое падает свет;
- 3) энергии фотона;
- 4) скорости света в среде.

24.11. Один и тот же световой поток падает нормально на зеркальную и абсолютно черную поверхность. Отношение давления света на первую и вторую поверхности равно...

- 1) 0,25; 2) 0,5; 3) 2; 4) 4.

24.12. Свет, падая перпендикулярно, на абсолютно черную поверхность оказывает такое же давление, как на зеркальную. Угол падения (отсчитывая от нормали) на зеркальную поверхность составляет ...

- 1) 60° ; 2) 30° ; 3) 0; 4) 45° .

24.13. Один и тот же световой поток падает нормально на абсолютно белую и абсолютно черную поверхности. Отношение давления света на первую и вторую поверхности равно:

- 1) 0,25; 2) 0,5; 3) 2; 4) 4.

24.14. Параллельный пучок света, падающий на зеркальную поверхность под углом 60° по отношению к нормали к поверхности, производит давление 3 мкПа. Если этот же пучок света направить по нормали на зачерненную поверхность, то световое давление будет равно...

- 1) 1,5 мкПа; 2) 2,6 мкПа; 3) 3 мкПа;
4) 3 мкПа; 5) 12 мкПа;

24.15. На черную пластинку падает поток света. Если число фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени уменьшить в 2 раза, а черную пластинку заменить зеркальной, то световое давление...

- 1) увеличится в 2 раза;
2) уменьшится в 2 раза;
3) останется неизменным;
4) уменьшится в 4 раза.

24.16. На черную пластинку падает поток света. Если число фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени, увеличить в 2 раза, а черную пластинку заменить зеркальной, то световое давление...

- 1) увеличится в 4 раза;
2) уменьшится в 2 раза;
3) останется неизменным;
4) увеличится в 2 раза.

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

- 1) пропорционально N и не зависит от λ ;
- 2) пропорционально N/λ ;
- 3) пропорционально $N\lambda$
- г) пропорционально $1/\lambda$ и не зависит от N .

24.18. На черную пластинку падает поток света. Если число фотонов, падающих на единицу поверхности в единицу времени, увеличить в 4 раза, а черную пластинку заменить зеркальной, то световое давление увеличится в _____ раз(а).

24.19. Давление p света на поверхность, имеющую коэффициент отражения $\rho=0,5$, при энергетической освещенности $E=200 \text{ Вт/м}^2$ составляет _____ мкПа.

24.20. Лазер на рубине излучает в импульсе длительностью 0,5 мс энергию 1 Дж в виде почти параллельного пучка с площадью сечения 0,8 см². Если коэффициент отражения поверхности 0,8, давление света на площадку, расположенную перпендикулярно пучку, равно _____ мПа.

24.21. Солнечный свет падает на зеркальную поверхность по нормали к ней. Если интенсивность солнечного излучения равна 1,37 кВт/м², то давление света на поверхность равно _____. (Ответ выразите в мкПа и округлите до целого числа)

24.22. Давление света на поверхность, имеющую коэффициент отражения $\rho=0,25$, составило 0,25 мкПа. Энергетическая светимость этой поверхности (в Вт/м²) равна ... ()

24.23. Параллельный пучок света с длиной волны 600 нм падает на зачерненную поверхность по нормали к ней. Если концентрация

фотонов в пучке составляет $3,0 \cdot 10^{13} \text{ м}^{-3}$, то давление света на поверхность равна _____. (Ответ выразите в *мкПа* округлите до целого числа).

24.24. Лазерное излучение с длиной волны $3,3 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ используется для нагревания воды массой $0,5 \text{ кг}$. На сколько градусов можно нагреть воду за 700 с , если лазер излучает 10^{20} фотонов за 1 с ? Считать, что излучение лазера полностью поглощается водой.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ФИЗИКА АТОМА

25. СПЕКТР АТОМА ВОДОРОДА. ПРАВИЛО ОТБОРА.

Краткие теоретические сведения

1. В основе теории атома Бора лежат два постулата:

1) состояния электронов в атоме дискретны, они характеризуются определенным значением энергии E_i и определенным размером орбиты;

2) при переходах между этими состояниями электроны поглощают или теряют энергию, равную $h\nu = E_i - E_j$

2. Момент импульса электрона на стационарных орбитах:

$$L = mvr = n\hbar, (n = 1, 2, 3, \dots)$$

где m – масса электрона, r – радиус орбиты, ν – скорость электрона на орбите, n – главное квантовое число, \hbar – постоянная Планка.

3. Энергия электрона, находящегося на n -й орбите:

$$E_n = \frac{me^4}{32\pi^2\epsilon_0^2\hbar^2n^2}$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная.

4. Формула, определяющая длину волны λ или частоту ν света, излучаемого или поглощаемого атомом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое:

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), \quad \nu = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где R' и R – постоянные Ридберга ($R' = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$; $R = cR' = 3,290 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$); n_1 – номер серии спектральных линий ($n_1 = 1$ – серия Лаймана, $n_1 = 2$ – серия Бальмера, $n_1 = 3$ – серия Пашена и т.д.).

Для каждой серии $n_2 = n_1 + 1, n_1 + 2, n_1 + 3$ и т.д.

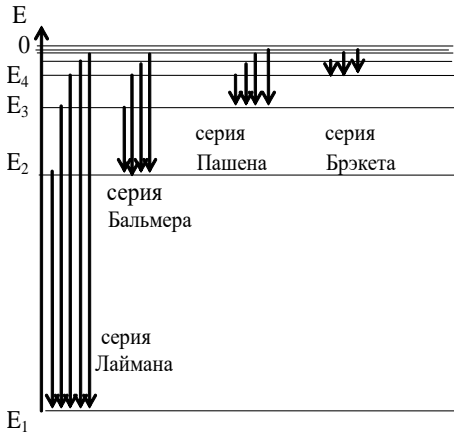


Рис.25.1.

5. Энергия фотона, испускаемого атомом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое:

$$\varepsilon = E_i \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

где E_i – энергия ионизации атома водорода: $E_i = 2\pi\hbar R = 13,6$ эВ.

6. Состояния электронов в атоме характеризуются четырьмя квантовыми числами. *Первое* их квантовых чисел – *главное квантовое число*: $n = 1; 2; 3, \dots$. Оно определяет уровни энергии электрона в атоме. *Второе* квантовое число – *орбитальное (или азимутальное) квантовое число* l , которое при данном n может принимать значения $0, 1, 2, \dots, n-1$. Это число определяет орбитальный момент импульса $L_l = mvr$ электрона относительно ядра. *Третье* квантовое число – *магнитное квантовое число* m_l , которое при данном l принимает значения $0; \pm 1; \pm 2, \dots, \pm l$; всего $2l + 1$ значений. Это число определяет проекции орбитального момента импульса электрона на некоторое произвольно выбранное направление Z . *Четвертое* квантовое число – *спиновое квантовое число* m_s . Оно может принимать только два значения $m_s = \pm 1/2$ и характеризует возможные значения проекции на ось Z спина (собственного механического момента импульса) L_s электрона.

7. Паули сформулировал принцип, согласно которому: в любом атоме не может быть двух электронов, находящихся в двух одинаковых стационарных состояниях, определяемых набором четырех квантовых чисел – главного n ; орбитального ℓ ; магнитного m и спинового m_s .

В атомной физике применяются условные обозначения состояний электрона с различными значениями момента импульса: s , p , d , f и т.д. Электрон, находящийся в состоянии с $l = 0$, называют s -электроном (соответствующее состояние – s -состоянием), с $l = 1$ – p -электроном, с $l = 2$ – d -электроном, с $l = 3$ – f -электроном и т.д.. Электроны, занимающие совокупность состояний с одинаковым значением главного квантового числа n , образуют электронную оболочку. Различают следующие электронные оболочки (или *слои*): K -слой при $n = 1$; L -слой при $n = 2$; M -слой при $n = 3$; N -слой при $n = 4$ и т.д.

Главное квантовое число	Электронная оболочка (слой)	Число электронов в состояниях				Максимальное число электронов
		s $\ell = 0$	p $\ell = 1$	d $\ell = 2$	f $\ell = 3$	
1	K	2	–	–	–	2
2	L	2	6	–	–	8
3	M	2	6	10	–	18
4	N	2	6	10	14	32

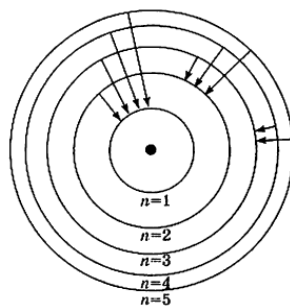
8. При испускании и поглощении света (фотона) происходят переходы электрона с одного уровня энергии на другой. Возможны только такие переходы, при которых квантовое число l изменяется на единицу:

$$\Delta l = \pm 1$$

Это условие называется *правилом отбора*, которое является следствием закона сохранения момента импульса.

Примеры тестовых заданий

Задание 25-1. На рисунке изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а также условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, в видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.



Наибольшей частоте кванта в серии Лаймана соответствует переход...

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1) $n=3 \rightarrow n=2$; | 2) $n=5 \rightarrow n=1$; |
| 3) $n=5 \rightarrow n=3$; | 4) $n=2 \rightarrow n=1$. |

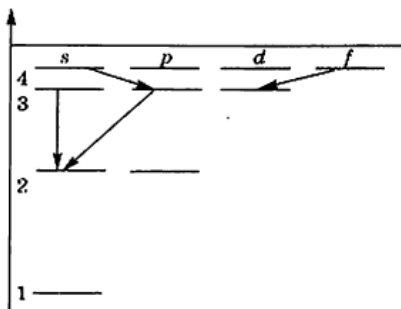
Решение. Частота света, излучаемого или поглощенного атомом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое, для серии Лаймана определяется формулой (3.4) с $n_1 = 1$:

$$\nu = R\left(1 - \frac{1}{n^2}\right),$$

где n – номер стационарной орбиты, с которой происходит переход на первую боровскую орбиту. Следовательно, чем больше n , тем большей частоте кванта соответствует переход.

Правильный ответ: 2).

Задание 25-2. При переходе электрона в атоме с одного уровня на другой закон сохранения момента импульса накладывает определенные ограничения (правило отбора). В энергетическом спектре атома водорода (см. рисунок) **запрещенным** переходом является...



- 1) $4f \rightarrow 3d$;
- 2) $3p \rightarrow 2s$;
- 3) $3s \rightarrow 2s$;
- 4) $4s \rightarrow 3p$.

Решение. В соответствии с правилом отбора, при поглощении или испускании фотона в атоме возможны переходы с $\Delta l = \pm 1$. Из приведенных вариантов на рисунке этому условию не удовлетворяет только переход $3s \rightarrow 2s$, так как и начальное и конечное состояния являются состояниями с $l = 0$.

Правильный ответ: 3).

Задание 25-3. Установить соответствие квантовых чисел, определяющих волновую функцию электрона в атоме водорода, их физическому смыслу:

- 1) n ;
- 2) l ;
- 3) m .

А. Определяет ориентации электронного облака в пространстве

Б. Определяет форму электронного облака

В. Определяет размеры электронного облака

Г. Собственный механический момент

1) 1 – Г, 2 – Б, 3 – А;

2) 1 – А, 2 – Б, 3 – В;

3) 1 – В, 2 – Б, 3 – А;

4) 1 – В, 2 – А, 3 – Г.

Решение. Главное квантовое число n определяет энергию соответствующего состояния в атоме. Чем больше энергия, тем больше размер электронного облака. Поэтому число n связано с размером этого облака. Азимутальное квантовое число l определяет форму электронного облака. Например, при $l=0$ это облако сферически симметрично, при $l=1$ оно представляет собой тор и т.д.

Квантовое число m определяет проекцию магнитного момента атома на выделенное направление в пространстве.

Правильный ответ: 3).

Задание 25-4. Фотон с энергией 16,5 эВ выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Выбитый электрон вдали от ядра атома будет иметь скорость v ...

- 1) $3 \cdot 10^8$ м/с; 2) $1 \cdot 10^8$ м/с; 3) $1 \cdot 10^7$ м/с;
4) $1 \cdot 10^6$ м/с; 5) $1 \cdot 10^5$ м/с.

Решение. Чтобы выбить электрон из невозбужденного атома водорода, необходимо сообщить ему энергию 13,6 эВ. В данном случае фотон передал электрону несколько большую энергию. Разность энергий 16,5 эВ и 13,6 эВ пошла на кинетическую энергию

электрон $\frac{mv^2}{2}$. Таким образом, $v = \sqrt{\frac{2e\Delta\phi}{m}}$

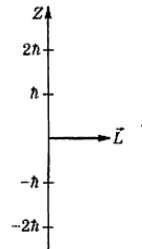
где e – заряд электрона, m – его масса, $\Delta\phi$ – разность энергий (в эВ).

Подставив соответствующие значения, получим $v = 10^6$ м/с.

Правильный ответ: 4).

Задание 25-5. На рисунке приведена одна из возможных ориентаций момента импульса электрона в p -состоянии. Какие еще значения может принимать проекция момента импульса на направление Z внешнего магнитного поля?

- 1] $2 \hbar$; 2] $-\hbar$; 3] $-2 \hbar$; 4] \hbar .



Решение. В атомной физике применяются заимствованные из спектроскопии условные обозначения состояний электрона с различными значениями момента импульса: s , p , d , f , и т.д. В p -состоянии $l = 1$. При данном значении l квантовое число m ($m =$

магнитное квантовое число, определяющее проекцию момента на некоторое направление Z (направление внешнего магнитного поля)) может принимать $2l + 1$ различных значений:

$$m = -l, -l+1, \dots, -1, 0, +1, l-1, l.$$

Следовательно, проекция момента импульса электрона в p -состоянии может принимать значения: $+\hbar, 0, -\hbar$.

Правильные ответы: 2] и 4].

Задания для самостоятельной работы

25.1. Одно из приведенных ниже высказываний правильно описывает способность атомов к излучению и поглощению энергии. Изолированные атомы могут ...

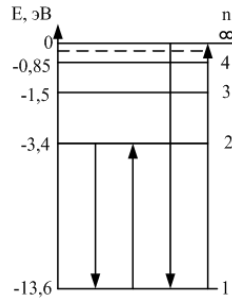
- 1) поглощать и излучать любую порцию энергии;
- 2) поглощать и излучать лишь некоторый дискретный набор значений энергии;
- 3) поглощать любую порцию энергии, а излучать лишь некоторый дискретный набор значений энергии;
- 4) излучать любую порцию энергии, а поглощать лишь некоторый дискретный набор значений энергии.

25.2. Атом водорода находился в нормальном состоянии. При первом столкновении с другим атомом, он перешел в возбужденное состояние, а при следующем столкновении был ионизирован. Энергия системы «ядро – электрон» имела ...

- 1) максимальное значение в нормальном состоянии атома;
- 2) максимальное значение в возбужденном состоянии атома;
- 3) максимальное значение в ионизированном состоянии атома;
- 4) одинаковое значение во всех трех состояниях.

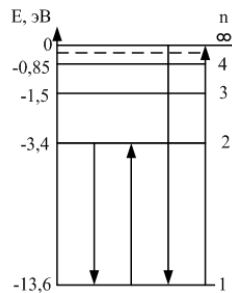
25.3. На рисунке схематически представлена система энергетических уровней атома водорода. При переходе между какими уровнями испускается квант света с наибольшей энергией?

- 1) $\infty \rightarrow 1$; 2) $2 \rightarrow 1$;
 3) $1 \rightarrow 2$; 4) $1 \rightarrow \infty$.



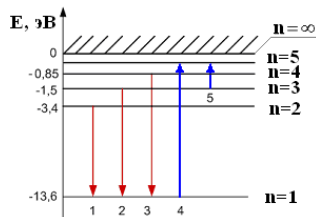
25.4. На рисунке схематически представлена система энергетических уровней атома водорода. При переходе между какими уровнями поглощается квант света с наименьшей энергией??

- 1) $\infty \rightarrow 1$; 2) $2 \rightarrow 1$;
 3) $2 \rightarrow 3$; 4) $1 \rightarrow 2$.



25.5. На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома водорода. **Излучение фотона с наименьшей длиной волны** происходит при переходе, обозначенном стрелкой под номером ...

- 1) 1; 2) 2;
 3) 3; 4) 4.

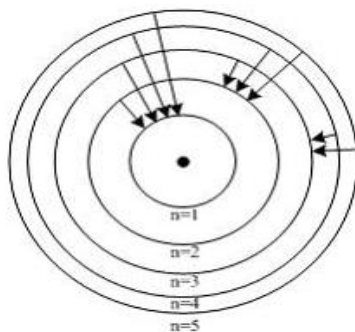


25.6. На рисунке изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а также условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию

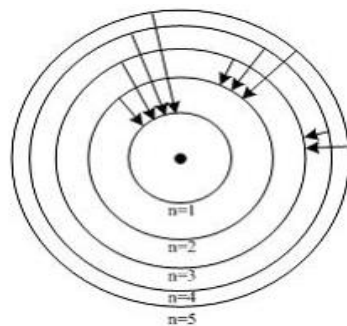
Лаймана, видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.

Наименьшей частоте кванта в серии **Лаймана** соответствует переход...

- 1) $n=4 \rightarrow n=3$;
- 2) $n=2 \rightarrow n=1$;
- 3) $n=5 \rightarrow n=1$;
- 4) $n=5 \rightarrow n=3$.



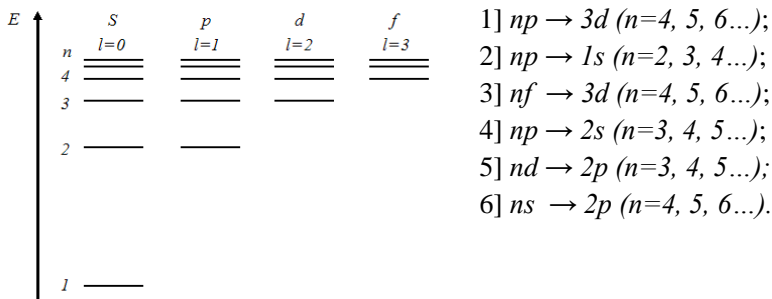
25.7. На рисунке изображены стационарные орбиты атома водорода согласно модели Бора, а также условно изображены переходы электрона с одной стационарной орбиты на другую, сопровождающиеся излучением кванта энергии. В ультрафиолетовой области спектра эти переходы дают серию Лаймана, видимой – серию Бальмера, в инфракрасной – серию Пашена.



Наибольшей частоте кванта в серии **Пашена** соответствует переход ...

- 1) $n=5 \rightarrow n=3$;
- 2) $n=5 \rightarrow n=2$;
- 3) $n=5 \rightarrow n=1$

25.8. На рисунке изображена схема энергетических уровней атома водорода. Показаны состояния с различными значениями орбитального квантового числа. Серию Бальмера дают переходы...



25.9. Собственные функции электрона в атоме водорода $\Psi_{nlm}(r, \vartheta, \varphi)$ содержат три целочисленных параметра: n , l и m . Параметр n называется главным квантовым числом, параметры l и m – орбитальным (азимутальным) квантовыми числами соответственно. Главное квантовое число n определяет ...

- 1) орбитальный механический момент электрона в атоме;
- 2) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление;
- 3) энергию стационарного состояния электрона в атоме;
- 4) собственный механический момент электрона в атоме.

25.10. Магнитное квантовое число m определяет ...

- 1) энергию стационарного состояния электрона в атоме;
- 2) модуль собственного момента импульса электрона;
- 3) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление;
- 4) орбитальный механический момент электрона в атоме.

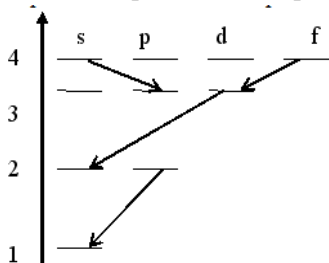
25.11. Азимутальное квантовое число l определяет ...

- 1) орбитальный механический момент электрона в атоме;
- 2) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление;
- 3) энергию стационарного состояния электрона в атоме;
- 4) собственный механический момент электрона в атоме.

25.12. Спиновое квантовое число m_s определяет ...

- 1) орбитальный механический момент электрона в атоме;
- 2) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление;
- 3) энергию стационарного состояния электрона в атоме;
- 4) проекцию собственного механического момента импульса на заданное направление.

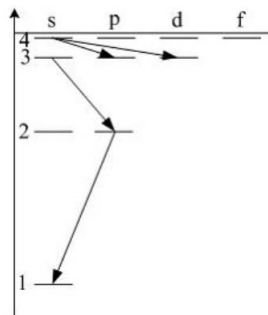
25.13. В атоме водорода электрон переходит с одного энергетического уровня на другой, как показано на рисунке. В соответствии с правилом отбора запрещенным является переход...



- 1) $3d - 2s$;
- 2) $4f - 3d$;
- 3) $2p - 1s$;
- 4) $4s - 3p$.

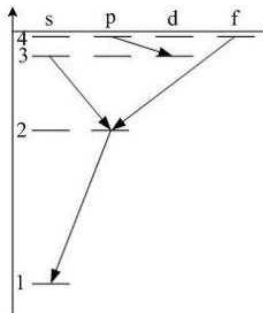
25.14. Закон сохранения момента импульса накладывает ограничения на возможные переходы электрона в атоме с одного уровня на другой (правило отбора). В энергетическом спектре атома водорода (рис) **запрещенным** переходом является ...

- 1) $4s - 3p$;
- 2) $4s - 3d$;
- 3) $2p - 1s$;
- 4) $3s - 2p$.



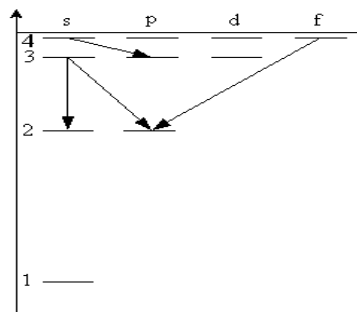
25.15. При переходах электрона в атоме с одного уровня на другой закон сохранения момента импульса накладывает определенные ограничения (правило отбора). В энергетическом спектре атома водорода (рис.) запрещенным переходом является...

- 1) $4p \rightarrow 3d$; 2) $3s \rightarrow 2p$;
 3) $2p \rightarrow 1s$; 4) $4f \rightarrow 2p$.



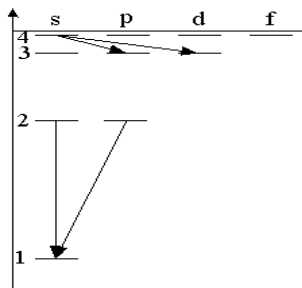
25.16. Закон сохранения момента импульса накладывает ограничения на возможные переходы электрона в атоме с одного уровня на другой (правило отбора). Какие переходы в энергетическом спектре атома водорода (см. рис.) являются **запрещенными**?

- 1] $4s \rightarrow 3p$; 2] $4f \rightarrow 2p$;
 3] $3s \rightarrow 2s$; 4] $3s \rightarrow 2p$.

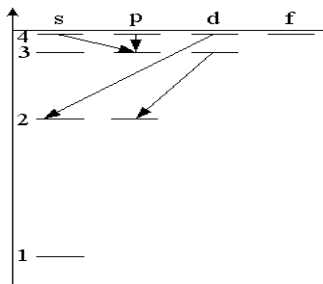


25.17. Закон сохранения момента импульса накладывает ограничения на возможные переходы электрона в атоме с одного уровня на другой (правило отбора). Какие переходы в энергетическом спектре атома водорода (см. рис.) являются **запрещенными**?

- 1] $2s \rightarrow 1s$; 2] $4s \rightarrow 3d$;
 3] $4s \rightarrow 3p$; 4] $2p \rightarrow 1s$.



25.18. При переходах электрона в атоме с одного уровня на другой закон сохранения момента импульса накладывает определенные ограничения (правило отбора). Если система энергетических уровней атома водорода имеет вид, представленный на рисунке, то запрещенными переходами являются...



- 1] $4p \rightarrow 3p$; 2] $4d \rightarrow 2s$; 3] $4s \rightarrow 3p$ 4] $3d \rightarrow 2p$.

25.19. В атоме K и L оболочки заполнены полностью. Общее число электронов в атоме равно ...

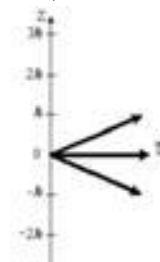
- 1) 6; 2) 8; 3) 10; 4) 18; 5) 28.

25.20. В атоме K , L и M оболочки заполнены полностью. Общее число электронов в атоме равно ...

- 1) 6; 2) 8; 3) 10; 4) 18; 5) 28.

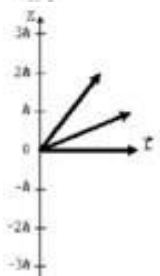
25.21. На рисунке приведены некоторые из возможных ориентаций момента импульса для электронов в d -состоянии. Какие еще значения может принимать проекция момента импульса на направление Z внешнего магнитного поля?

- 1] $3\hbar$; 2] $2\hbar$; 3] $-3\hbar$ 4] $-2\hbar$.



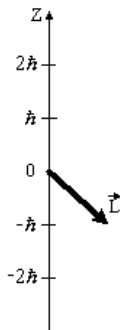
25.22. На рисунке приведены некоторые из возможных ориентаций момента импульса для электронов в d -состоянии. Какие еще значения может принимать проекция момента импульса на направление Z внешнего магнитного поля?

- 1] $-\hbar$; 2] $-2\hbar$; 3] $-3\hbar$ 4] $3\hbar$



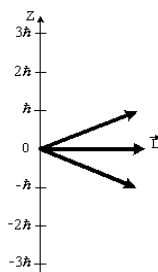
25.23. На рисунке приведены некоторые из возможных ориентаций момента импульса для электронов в p -состоянии. Какие еще значения может принимать проекция момента импульса на направление Z внешнего магнитного поля?

- 1] 0; 2] \hbar ; 3] $-2\hbar$; 4] $2\hbar$.



25.24. На рисунке приведены некоторые из возможных ориентаций момента импульса для электронов в d -состоянии. Какие еще значения может принимать проекция момента импульса на направление Z внешнего магнитного поля?

- 1] $-3\hbar$; 2] $3\hbar$; 3] $-2\hbar$; 4] $2\hbar$.



25.25. Установить соответствие квантовых чисел, определяющих волновую функцию электрона в атоме водорода (верхняя часть) их физическому смыслу (нижняя часть)

1. n ; 2. l ; 3. m .

-
- А. определяет ориентации электронного облака в пространстве
 Б. определяет форму электронного облака
 В. определяет размеры электронного облака
 Г. определяет собственный механический момент

- 1) 1-А, 2-Б, 3-В ;
 2) 1-Г, 2-Б, 3-А;
 3) 1-В, 2-Б, 3-А;
 4) 1-В, 2-А, 3-Г.

26. ДУАЛИЗМ СВОЙСТВ МИКРОЧАСТИЦ. СООТНОШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ГЕЙЗЕНБЕРГА

Краткие теоретические сведения

1. Дебройлевская длина волны частицы с импульсом p

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{2\pi\hbar}{p}.$$

В нерелятивистском случае ($v \ll c$): $p = mv = \sqrt{2mE_k}$,

где m, v, E_k – масса, скорость и кинетическая энергия частицы.

В релятивистском случае ($v \sim c$)

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{c} \sqrt{E_k(E_k + 2mc^2)} \quad 2.$$

2. Связь длины волны де Бройля с кинетической энергией частицы:

а) в нерелятивистском случае $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{\sqrt{2mE_k}}$,

б) в релятивистском случае $\lambda = \frac{2\pi\hbar c}{\sqrt{E_k(E_k + 2mc^2)}}$.

3. Соотношение неопределенностей Гейзенберга:

а) для координат и проекций импульсов частицы:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar, \quad \Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar, \quad \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar,$$

где $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – неопределенности координат частицы и $\Delta p_x, \Delta p_y, \Delta p_z$ – неопределенности проекций импульса частицы на соответствующую координатную ось;

б) для энергии и времени:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar,$$

где ΔE - неопределенности энергии данного энергетического состояния, Δt – неопределенность времени пребывания системы в этом состоянии.

Примеры тестовых заданий

Задание 26-1. Если протон и нейтрон двигаются с одинаковыми скоростями, то отношения их длин волн де Бройля $\frac{\lambda_p}{\lambda_n}$ равно

- 1) 1/2; 2) 1; 3) 2; 4) 4.

Решение. Согласно гипотезе Луи де Бройля о том, что корпускулярно-волновой дуализм присущ всем микрочастицам, можно записать связь длины λ с импульсом p движущейся частицы

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

где v - скорость и m_0 – масса покоя частицы.

Если предположить, что $m_p = m_n$ и протон и нейтрон движутся с одинаковыми скоростями, то длины волн де Бройля для протона и нейтрона одинаковы.

Правильный ответ: 2).

Задание 26-2. Высокая монохроматичность лазерного излучения обусловлена относительно большим временем жизни электронов в метастабильном состоянии $\sim 10^{-3}$ с.

Учитывая, что постоянная Планка $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$ эВ·с, ширина метастабильного уровня (в эВ) будет не менее...

- 1) $6,6 \cdot 10^{-13}$; 2) $1,5 \cdot 10^{-13}$; 3) $1,5 \cdot 10^{-19}$; 4) $6,6 \cdot 10^{-19}$.

Решение. В соответствии с соотношением (26.7), ширина метастабильного уровня определяется временем жизни электрона на нем

$$\Delta E \geq \frac{\hbar}{\Delta t} = \frac{6,6 \cdot 10^{-16} \text{ эВ} \cdot c}{10^{-3} c} = 6,6 \cdot 10^{-13} \text{ эВ}.$$

Правильным является ответ: 1).

Задание 26-3. Де Бройль распространил соотношение $p = \frac{h}{\lambda}$

для фотона на любые волновые процессы, связанные с частицами, импульс которых равен p . Тогда, если скорость частиц одинакова, наименьшей длиной волны обладают...

1) протоны; 2) нейтроны; 3) электроны; 4) α -частицы.

Решение. В нерелятивистском случае $p = m\nu$, поэтому

$\lambda = \frac{h}{m\nu}$. Отсюда следует, что наименьшей длиной волны будут

обладать наиболее массивные частицы. Из приведенных в вариантах ответа частиц таковыми являются α -частицы, состоящие из двух протонов и двух нейтронов.

Правильным является ответ: 4).

Задание 26-4. Если частицы имеют одинаковую длину волны де Бройля, то наименьшей скоростью обладает...

1) позитрон; 2) протон; 3) α -частицы; 4) нейтрон.

Решение. При одинаковой длине волны де Бройля наименьшую скорость будет иметь наиболее массивная частица. Поэтому правильным является ответ: 3).

Задания для самостоятельной работы

26.1. Отношение длин волн де Бройля электрона и протона $\frac{\lambda_e}{\lambda_p}$,

имеющих одинаковую скорость, составляет величину порядка ...

- 1) 10^{-3} ; 2) 1; 3) 10; 4) 10^3 .

26.2. Время жизни атома в возбужденном состоянии 10 нс. Учитывая, что постоянная Планка $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$ эВ·с, ширина энергетического уровня (в эВ) составляет не менее ...

- 1) $6,6 \cdot 10^{-10}$; 2) $1,5 \cdot 10^{-8}$; 3) $1,5 \cdot 10^{-10}$; 4) $6,6 \cdot 10^{-7}$.

26.3. Де Бройль обобщил соотношение $p = \frac{h}{\lambda}$ для фотона на

любые волновые процессы, связанные с частицами, импульс которых равен p . Тогда, если длина волны де Бройля частиц одинакова, то наибольшей скоростью обладают...

- 1) электроны; 2) α -частицы; 3) нейтроны; 4) протоны.

26.4. Де Бройль обобщил соотношение $p = \frac{h}{\lambda}$ для фотона на

любые волновые процессы, связанные с частицами, импульс которых равен p . Тогда, если длина волны де Бройля частиц одинакова, то наименьшей скоростью обладают...

- 1) электроны; 2) α -частицы; 3) нейтроны; 4) протоны.

26.5. Де Бройль обобщил соотношение $p = \frac{h}{\lambda}$ для фотона на

любые волновые процессы, связанные с частицами, импульс которых равен p . Тогда, если скорость частиц одинакова, то наибольшей длиной волны обладают...

- 1) электроны; 2) α -частицы; 3) нейтроны; 4) протоны.

26.6. Де Бройль обобщил соотношение $p = \frac{h}{\lambda}$ для фотона на

любые волновые процессы, связанные с частицами, импульс которых

равен p . Тогда, если длина волны де Бройля частиц одинакова, то наибольшей скоростью обладают...

- 1) позитроны; 2) α -частицы; 3) нейтроны; 4) протоны.

26.7. Де Бройль обобщил соотношение $p = \frac{h}{\lambda}$ для фотона на

любые волновые процессы, связанные с частицами, импульс которых равен p . Тогда, если скорость частиц одинакова, то наибольшей длиной волны обладают...

- 1) позитроны; 2) α -частицы; 3) нейтроны; 4) протоны.

26.8. Длина волны де Бройля частицы уменьшилась вдвое. Скорость этой частицы ...

- 1) уменьшилась в 4 раза;
2) уменьшилась вдвое;
3) увеличилась в 4 раза;
4) не изменилась;
5) увеличилась вдвое

26.9. Длина волны де Бройля частицы увеличилась вдвое. Скорость этой частицы ...

- 1) уменьшилась в 4 раза;
2) уменьшилась вдвое;
3) увеличилась в 4 раза;
4) не изменилась;
5) увеличилась вдвое.

26.10. Длина волны де Бройля увеличится в два раза, если кинетическая энергия микрочастицы ...

- 1) уменьшится в 4 раза;
2) увеличится в 4 раза;
3) увеличится в 2 раза;
4) уменьшится в 2 раза.

26.11. Кинетическая энергия классической частицы увеличилась в 4 раза. Длина волны де Бройля этой частицы...

- 1) не изменилась;
- 2) увеличилась в 4 раза
- 3) увеличилась в 2 раза
- 4) уменьшилась в 2 раза.

26.12. Согласно положению о корпускулярно-волновом дуализме свойств вещества электроны можно рассматривать как частицы и описывать их движение законами классической механики, не учитывая волновые свойства, в ...

- 1) электронно-лучевой трубке;
- 2) электронном микроскопе;
- 3) атоме;
- 4) металле.

26.13. Отношение длин волн де Бройля нейтрона и α -частицы, имеющих одинаковые скорости, равно...

- 1) 2; 2) 4; 3) 1/2; 4) 1/4.

26.14. Если протон и α -частица двигаются с одинаковыми скоростями, то отношения их длин волн де Бройля λ_p/λ_α равно ...

- 1) 1/2; 2) 1; 3) 2; 4) 4.

26.15. Групповая скорость волны де Бройля...

- 1) равна скорости света в вакууме;
- 2) больше скорости света в вакууме;
- 3) зависит от квадрата длины волны;
- 4) равна скорости частицы;
- 5) не имеет смысла как физическая величина.

26.16. Интервал частот, излучаемых атомом при радиационном распаде возбужденного уровня, составляет 100 кГц. Согласно принципу неопределенности время жизни атома на этом уровне можно оценить как...

- 1) 10^{-5} с; 2) 10^{-10} с; 3) 10^{-9} с; 4) 10^{-8} с.

26.17. Время жизни возбужденного состояния молекулы равно 10^{-6} с. Согласно принципу неопределенности диапазон частот, излучаемых молекулой при радиационном распаде этого состояния, составляет...

- 1) 0,01 МГц; 2) 0,1 МГц; 3) 1 МГц;
4) 10 МГц; 5) 100 МГц;

26.18. Время жизни атома в возбужденном состоянии 10 нс. Учитывая, что постоянная Планка $\hbar = 6,6 \cdot 10^{-16}$ эВ•с, ширина энергетического уровня (в эВ) составляет не менее ...

- 1) $6,6 \cdot 10^{-10}$; 2) $1,5 \cdot 10^{-8}$; 3) $1,5 \cdot 10^{-10}$; 4) $6,6 \cdot 10^{-8}$.

26.19. Положение атома углерода в кристаллической решетке алмаза определено с погрешностью $\Delta x = 5 \cdot 10^{-11}$ м. Учитывая, что постоянная Планка равна $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж•с, а масса атома углерода $m = 1,99 \cdot 10^{-26}$ кг, неопределенность скорости Δv_x его теплового движения (в м/с) составляет не менее...

- 1) 1,06; 2) $9,43 \cdot 10^{-3}$; 3) 0,943; 4) 106.

26.20. Электрон локализован в пространстве в пределах $\Delta x = 1,0$ мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6}$ м). Учитывая, что постоянная Планка $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж • с, а масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, неопределенность скорости Δv_x (в м/с) составляет не менее...

- 1) $87 \cdot 10^{-3}$; 2) 115; 3) 8,7; 4) 0,115.

26.21. Положение пылинки массой $m = 10^{-9}$ кг можно установить с неопределенностью $\Delta x = 0,1$ мкм. Учитывая, что постоянная

Планка $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, неопределенность скорости Δv_x (в м/с) будет не менее...

- 1) $1,05 \cdot 10^{-21}$; 2) $1,05 \cdot 10^{-24}$; 3) $1,05 \cdot 10^{-18}$; 4) $1,05 \cdot 10^{-27}$.

26.22. Протон локализован в пространстве в пределах $\Delta x = 1,0$ мкм. Учитывая, что постоянная Планка $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, а масса протона $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, неопределенность скорости Δv_x (в м/с) составляет не менее...

- 1) $1,59 \cdot 10^{-2}$; 2) $1,59 \cdot 10^{-5}$; 3) $6,29 \cdot 10^{-5}$; 4) $6,29 \cdot 10^{-2}$.

26.23. Электрон локализован в пространстве в пределах $\Delta x = 1,0$ мкм. Учитывая, что постоянная Планка $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, а масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, неопределенность скорости Δv_x (в м/с) составляет не менее...

- 1) 0,115 2) 115 3) $87 \cdot 10^{-3}$ 4) 8,7.

27. УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА (ОБЩИЕ СВОЙСТВА)

Краткие теоретические сведения

1. Общее уравнение Шредингера:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, \vec{r}) = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi(t, \vec{r}) + U(\vec{r}) \Psi(t, \vec{r}),$$

где $\Psi(t, \vec{r})$ – полная волновая функция, Δ – оператор Лапласа, $U(\vec{r})$ – потенциальная энергия частицы.

2. Оператор Лапласа в декартовых координатах:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

3. Для решения уравнения Шредингера должны удовлетворяться стандартные условия: конечность во всем пространстве, однозначность, непрерывность самой ψ -функции и ее первой производной. Должно быть выполнено также условие нормировки

$$\int_V |\psi(\vec{r})|^2 dV = 1,$$

где интеграл берется по всему пространству.

4. Общее решение уравнения Шредингера:

$$\Psi(t, \vec{r}) = e^{\frac{iEt}{\hbar}} \psi(\vec{r}),$$

где E – полная энергия частицы, $\psi(\vec{r})$ – координатная часть полной волновой функции, удовлетворяющая стационарному уравнению Шредингера:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi(\vec{r}) + U(\vec{r}) \psi(\vec{r}) = E \psi(\vec{r}).$$

5. Энергетические уровни одномерного осциллятора с потенциальной энергией $U(x) = \frac{m\omega^2 x^2}{2}$ даются выражением

$$E_n = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Примеры тестовых заданий

Задание 27-1. Стационарным уравнением Шредингера для линейного гармонического осциллятора является уравнение...

$$1) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2}\right)\psi = 0$$

$$2) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi = 0$$

$$3) \Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi = 0$$

$$4) \Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E + \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}\right)\psi = 0$$

Решение. Общее стационарное уравнение Шредингера имеет вид: $\Delta\psi(r) + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U(r))\psi(r) = 0$,

где U – потенциальная энергия взаимодействия.

Для линейного гармонического осциллятора: $U(x) = \frac{m\omega_0^2 x^2}{2}$.

Таким образом, стационарное уравнение Шредингера для линейного гармонического осциллятора:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2}\right)\psi = 0.$$

Правильный ответ: 1).

Задание 27-2. Установите соответствие уравнений Шредингера из физического смыслу:

- 1) нестационарное;
- 2) стационарное для микрочастицы в потенциальной одномерной яме;
- 3) стационарное для электрона в атоме водорода;
- 4) стационарное для гармонического осциллятора;

$$A. \nabla \psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0;$$

$$B. \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$$

$$B. \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0;$$

$$Г. -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t};$$

$$D. \nabla \psi + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0.$$

- 1) 1 – В, 2 – Б, 3 – А, 4 – Д;
- 2) 2) 1 – Г, 2 – Б, 3 – А, 4 – В;
- 3) 1 – А, 2 – Б, 3 – Г, 4 – В;
- 4) 1 – Г, 2 – В, 3 – А, 4 – Б

Решение. Нестационарное уравнение Шредингера содержит производную по времени от волновой функции. Поэтому выбираем 1 – Г. Стационарное уравнение Шредингера для частицы в бесконечно одномерной потенциальной яме не должно содержать выражения для энергии U , так как внутри ямы $U = 0$. Для этого случая подходят варианты В и Д, но выбираем именно В, так как уравнение Д относится не к одномерному, а к трехмерному случаю. Стационарное уравнение Шредингера для электрона в атоме водорода должно содержать выражение для потенциальной энергии в кулоновском поле (зависимость, содержащую r в знаменателе). Это вариант А. И, наконец, в стационарном уравнении Шредингера

для гармонического осциллятора должно присутствовать выражение для потенциальной энергии осциллятора (типа энергии сжатой пружинки). Этот вариант обозначен буквой Б.

Правильный ответ: 4).

Задания для самостоятельной работы

27.1. Задана пси-функция $\Psi(x, y, z)$ частицы. Вероятность того, что частица будет обнаружена в объеме V определяется выражением ...

- 1) $|\Psi(x, y, z)|^2$; 2) $\frac{\Psi^2(x, y, z)}{V}$;
3) $\frac{\Psi(x, y, z)}{V}$; 4) $\frac{|\Psi(x, y, z)|^2}{V}$;
5) $\int_V |\Psi(x, y, z)|^2 dV$

27.2. С помощью волновой функции Ψ , входящей в уравнение Шредингера, можно определить...

- 1) траекторию, по которой движется частица в пространстве;
- 2) импульс частицы в любой точке пространства;
- 3) с какой вероятностью частица может быть обнаружена в различных точках пространства.

27.3. Квадрат модуля волновой функции ψ , входящей в уравнение Шредингера, равен...

- 1) плотности вероятности обнаружения частицы в соответствующем месте пространства;
- 2) энергии частицы в соответствующем месте пространства;
- 3) импульсу частицы в соответствующем месте пространства.

27.4. Нестационарным уравнением Шредингера является уравнение...

$$1) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$$

$$2) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0;$$

$$3) \Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0;$$

$$4) -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\Psi + U\Psi = i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}.$$

27.5. Стационарное уравнение Шредингера в общем случае имеет вид: $\nabla^2\psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E-U)\psi = 0$, где U – потенциальная энергия микрочастицы. Электрону, движущемуся в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, соответствует уравнение...

$$1) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$$

$$2) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0;$$

$$3) \Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0;$$

$$4) -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\Psi + U\Psi = i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}.$$

27.6. Стационарным уравнением Шредингера для электрона в водородоподобном ионе является уравнение...

$$1) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$$

$$2) \frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0;$$

$$3) \Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0;$$

$$4) -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\Psi + U\Psi = i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}.$$

27.7. Стационарным уравнением Шредингера для частицы в трехмерном ящике с бесконечно высокими стенками является уравнение...

$$1) \psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \psi = 0;$$

$$2) \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi = 0;$$

$$3) \Delta\psi + \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right) E\psi = 0;$$

$$4) \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi = 0.$$

27.8. Верным для уравнения Шредингера

$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U_0)\psi = 0$, где $U_0 = \text{const}$ является утверждение:

- 1) Уравнение соответствует трехмерному случаю.
- 2) Уравнение является нестационарным.
- 3) Уравнение описывает линейный гармонический осциллятор.
- 4) Уравнение характеризует движение микрочастицы в области пространства, где потенциальная энергия – постоянная величина.

27.9. Из предложенных утверждений:

- А) уравнение стационарно;
- Б) уравнение соответствует трехмерному случаю;
- В) уравнение характеризует состояние частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме;

Г) уравнение характеризует движение частицы вдоль оси ОХ под действием квазиупругой силы, пропорциональной смещению частицы от положения равновесия, являются справедливыми для уравнения

Шредингера
$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi = 0 \dots$$

1) А, В;

2) А, Г;

3) А, Б;

4) Б, В.

28. УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА (КОНКРЕТНЫЕ СИТУАЦИИ)

Краткие теоретические сведения

1. В одномерном случае потенциальная энергия и волновая функция зависят лишь от одной из координат (пусть это будет координата x). Стационарное уравнение Шредингера в этом случае имеет вид:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x),$$

где m – масса микрочастицы, $U(x)$ – ее потенциальная энергия, E – полная энергия.

2. Условие нормировки:
$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(x)|^2 dx = 1.$$

3. Вероятность dW обнаружить частицу в интервале от x до $x + dx$ выражается соотношением

$$dW = |\psi(x)|^2 dx,$$

где квадрат модуля $|\psi(x)|^2$ волновой функции определяет плотность вероятности найти частицу в точке x .

4. Вероятность W обнаружить частицу в интервале от x_1 до x_2 :

$$W = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 dx$$

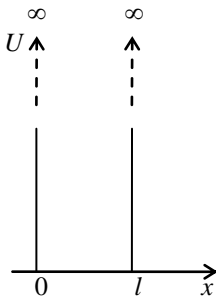


Рис.28.1.

5. Собственное значение энергии E_n микрочастицы, находящейся на энергетическом уровне с номером n в бесконечно глубокой одномерной прямоугольной потенциальной яме (рис. 28.1), определяется выражением:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n^2, \quad n=1,2,3,\dots,$$

где m – масса частицы, а l – ширина потенциальной ямы.

6. Соответствующая уровню n собственная волновая функция имеет вид:

$$\psi(x) = 0 \quad \text{для } x \leq 0 \text{ и } x \geq l,$$

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n x}{l} \quad \text{для } 0 \leq x \leq l.$$

7. Собственные функции стационарных состояний имеют узлы – точки, в которых они обращаются в нуль. Число узлов на единицу меньше номера соответствующего собственного значения энергии (рис. 28.2).

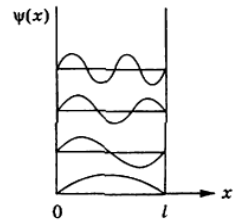
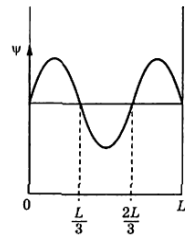


Рис.28.2

Примеры тестовых заданий

Задание 28-1. Вероятность обнаружить электрон на участке (a, b) одномерной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками вычисляется по формуле: $W = \int_a^b \omega dx$,

где ω – плотность вероятности, определяемая ψ -функцией.



Если ψ -функция имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на участке $\frac{L}{6} < x < \frac{5L}{6}$ равна...

- 1) 1/3; 2) 1/2; 3) 5/6; 4) 2/3.

Решение. На рисунке изображена волновая функция электрона в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной L , которая имеет вид

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{\pi n x}{L},$$

где x лежит в интервале $[0, L]$ и n – квантовое число, характеризующее состояние (для рассматриваемого в задаче рисунка $n=3$). Вероятность обнаружить электрон на участке $L/6 < x < 5L/6$ определяется интегралом

$$W = \int_{\frac{L}{6}}^{\frac{5L}{6}} |\psi_n|^2 dx = \int_{\frac{L}{6}}^{\frac{5L}{6}} \frac{2}{L} \sin^2 \frac{3\pi}{L} x dx.$$

Используя тригонометрическое равенство

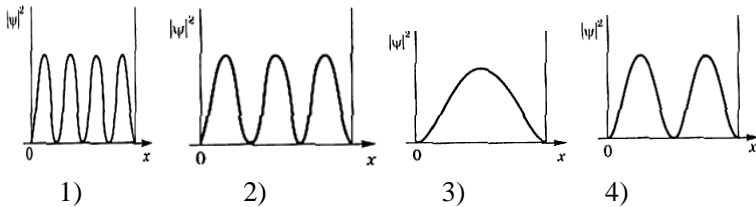
$$\sin^2 y = \frac{1}{2}(1 - \cos 2y),$$

получим:

$$W = \frac{2}{L} \int_{\frac{L}{6}}^{\frac{5L}{6}} \frac{1}{2} (1 - \cos \frac{6\pi}{L} x) dx = \frac{1}{L} \left\{ x \Big|_{\frac{L}{6}}^{\frac{5L}{6}} - \frac{L}{6} \sin \frac{6\pi}{L} x \Big|_{\frac{L}{6}}^{\frac{5L}{6}} \right\} = \frac{2}{3}.$$

Правильный ответ: 4).

Задание 28-2. На рисунке приведены картины распределения плотности вероятности нахождения микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Состоянию с квантовым числом $n = 4$ соответствует...

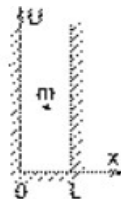


Решение. Количество нулей квадрата модуля волновой функции на единицу меньше номера n квантового состояния (см. рис. 28.2).

Поэтому правильный ответ: 1).

Задания для самостоятельной работы

28.1. Микрочастица с массой m находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной L с бесконечно высокими стенками. Волновые функции, описывающие два разрешенных состояния частицы имеют вид:



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

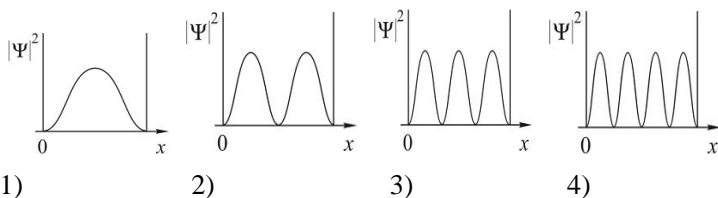
Величина разности значений энергии ΔE частицы в этих состояниях равна:

$$1) \frac{\pi^2 \hbar^2}{mL^2}; \quad 2) \frac{2\pi^2 \hbar^2}{mL^2}; \quad 3) \frac{6\pi^2 \hbar^2}{mL^2}; \quad 4) \frac{12\pi^2 \hbar^2}{mL^2}.$$

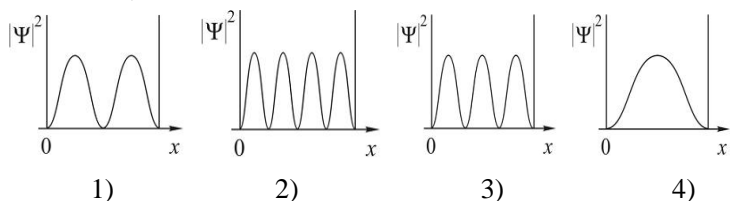
28.2. Микрочастица с массой m находится в одномерной потенциальной яме $U = \frac{kx^2}{2}$, где $k = \text{const}$, и может иметь только дискретные разрешенные значения энергии E_n где n – главное квантовое число. С ростом числа n расстояние между соседними разрешенными уровнями энергии $\Delta E = E_{n+1} - E_n$:

- 1) не изменяется;
- 2) уменьшается;
- 3) увеличивается;
- 4) сначала увеличивается, а начиная с некоторого значения n начинает уменьшаться

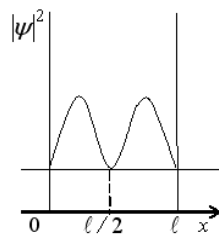
28.3. На рисунке приведены картины распределения плотности вероятности нахождения микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Состоянию с квантовым числом $n=2$ соответствует...



28.4. На рисунке приведены картины распределения плотности вероятности нахождения микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Состоянию с квантовым числом $n=1$ соответствует...

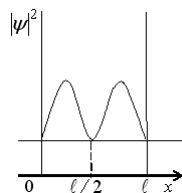


28.5. На рисунке изображена плотность вероятности обнаружения микрочастицы на различных расстояниях от «стенок» ямы. Вероятность ее обнаружения на участке $\frac{l}{4} < x < \frac{3l}{4}$ равна...



- 1) 1/4; 2) 0; 3) 3/4; 4) 1/2.

28.6. На рисунке изображена плотность вероятности обнаружения микрочастицы на различных расстояниях от «стенок» ямы. Вероятность ее обнаружения в центре ямы...



- 1) 1/4; 2) 0; 3) 3/4; 4) 1/2.

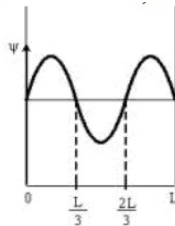
28.7. Вероятность обнаружить электрон на участке (a,b) одномерного потенциального ящика с бесконечно высокими стенками вычисляется по

формуле $W = \int_a^b w dx$, где w – плотность

вероятности, определяемая Ψ - функцией. Если Ψ – функция имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на участке

$\frac{L}{6} < x < L$ равна...

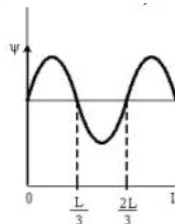
- 1) 2/3; 2) 5/6; 3) 1/3; 4) 1/2.



28.8. Если Ψ – функция имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на участке

$L/3 < x < 5L/6$ равна...

- 1) 1/2; 2) 1/3; 3) 2/3; 4) 5/6.

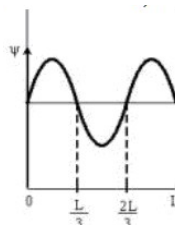


28.9. Вероятность обнаружить электрон на участке (a,b) одномерного потенциального ящика с бесконечно высокими стенками вычисляется по

формуле $W = \int_a^b \omega dx$, где ω – плотность

вероятности, определяемая ψ - функцией. Если ψ - функция имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на участке $L/6 < x < L/2$ — равна...

- 1) 5/6; 2) 2/3; 3) 1/2; 4) 1/3.

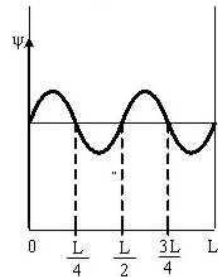


28.10. Вероятность обнаружить электрон на

участке (a,b) одномерного потенциального ящика с бесконечно высокими стенками вычисляется по

формуле $W = \int_a^b w dx$, где w – плотность

вероятности, определяемая Ψ - функцией. Если Ψ – функция имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на участке $L/8 < x < L/2$ равна...

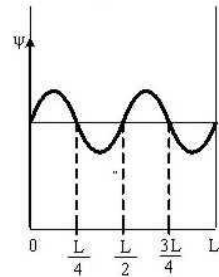


- 1) 1/4 2) 1/2 3) 3/8 4) 5/8.

28.11. Вероятность обнаружить электрон на участке (a,b) одномерного потенциального ящика с бесконечно высокими стенками вычисляется по

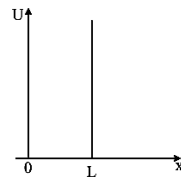
формуле $W = \int_a^b w dx$, где w – плотность

вероятности, определяемая Ψ - функцией. Если Ψ – функция имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на участке $3L/8 < x < L$ равна...



- 1) 1/2; 2) 1/4; 3) 5/8; 4) 3/8.

28.12. Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной L имеет вид: $\psi = A \sin \frac{n\pi x}{L}$.



Величина импульса этой частицы в основном состоянии равна:

- 1) $\frac{\pi\hbar}{L}$; 2) $\frac{\pi\hbar}{2L}$; 3) $\frac{2\pi\hbar}{3L}$; 4) $\frac{3\pi\hbar}{2L}$.

28.13. Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной L имеет вид:

$\psi = A \sin \frac{n\pi x}{L}$. Величина импульса в первом возбужденном состоянии ($n=2$) равна:

1) $\frac{2\pi\hbar}{L}$; 2) $\frac{\pi\hbar}{2L}$; 3) $\frac{2\pi\hbar}{3L}$; 4) $\frac{3\pi\hbar}{2L}$.

28.14. Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной L имеет вид:

$\psi = A \sin \frac{n\pi x}{L}$. Величина импульса во втором возбужденном состоянии ($n=3$) равна:

1) $\frac{\pi\hbar}{2L}$; 2) $\frac{\pi\hbar}{L}$; 3) $\frac{2\pi\hbar}{3L}$; 4) $\frac{3\pi\hbar}{L}$.

28.15. Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной L имеет вид:

$\psi = A \sin \frac{n\pi x}{L}$. Если величина импульса частицы равна $\pi\hbar/L$, то частица находится на энергетическом уровне с номером...

1) $n=1$; 2) $n=2$; 3) $n=3$; 4) $n=4$.

28.16. Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной L имеет вид:

$\psi = A \sin \frac{n\pi x}{L}$. Если величина импульса частицы равна $3\pi\hbar/L$, то частица находится на энергетическом уровне с номером...

1) $n=1$; 2) $n=2$; 3) $n=3$; 4) $n=4$.

28.17. Волновая функция частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками шириной L имеет вид:

$\psi = A \sin \frac{n\pi x}{L}$. Если величина импульса частицы равна $3\pi\hbar/L$, то длина волны де Бройля этой частицы равна ...

- 1) $3L$; 2) $2L/3$; 3) $L/3$; 4) $3L/2$.

28.18. Электрон находится в первой трети прямоугольного одномерного потенциального ящика с непроницаемыми стенками на втором энергетическом уровне. Вероятность найти электрон в центре этого потенциального ящика на этом же энергетическом уровне равна ...

- 1) 0; 2) 0,1; 3) 0,3; 4) 0,5; 5) 0,7.

28.19. Электрон находится в одномерном потенциальном ящике шириной a с бесконечно высокими стенками. В определенных точках плотность вероятности нахождения электрона на первом и втором энергетических уровнях одинакова. Плотность вероятности для этих точек равна...

- 1) $\frac{4}{3a}$; 2) $\frac{1}{2a}$; 3) $\frac{3}{2a}$; 4) $\frac{1}{4a}$.

28.20. Электрон находится в возбужденном состоянии ($n=2$) в одномерном потенциальном ящике шириной a с бесконечно высокими стенками. Плотность вероятности нахождения электрона максимальна в точках с координатами...

- 1) $x_1 = a/3$; $x_2 = 2a/3$;
2) $x_1 = 0$; $x_2 = a$;
3) $x_1 = a/4$; $x_2 = 3a/4$;
4) $x_1 = a/2$; $x_2 = a$.

ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

29. ЯДРО. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Краткие теоретические сведения

1. Основную массу ядра составляют нуклоны: протоны и нейтроны. Количество протонов в ядре определяет его зарядовое число Z , а также заряд ядра, равный $+Ze$, где e – величина заряда электрона. Число нуклонов обозначается буквой A и называется массовым числом ядра. Ядро обозначается символом

$${}^A_Z X,$$

где X – символ химического элемента. Число N нейтронов в ядре равно $N = A - Z$.

2. Ядра с одинаковым Z , но разным A называются **изотопами**. Ядра с одинаковым массовым числом A называются **изобарами**.

3. Размер ядер оцениваются числами $\sim 10^{-15}$ м.

4. Масса покоя M устойчивой системы n взаимодействующих частиц меньше суммы масс покоя m_i этих же частиц в свободном

состоянии. Разность:
$$\Delta m = \sum_{i=1}^n m_i - M$$

называется *дефектом масс системы частиц*.

5. Энергия связи ядра ${}^A_Z X$:

$$E_{св} = c^2 \Delta m = c^2 [Zm_p + (A - Z)m_n - M_X],$$

где m_p , m_n и M_X – массы протона, нейтрона и ядра соответственно.

Коэффициент пропорциональности c^2 (квадрат скорости света) можно выразить в разных единицах и пользоваться наиболее удобной формой в соответствии с единицами измерения массы и энергии $c^2 = 8,988 \cdot 10^{16}$ Дж/кг = 931,49 МэВ/а.е.м.

7. Для расчетов энергии связи (дефекта масс) удобнее пользоваться выражением, куда входят не массы ядер, а массы нейтральных атомов:

$$E_{cв} = c^2 \Delta m = c^2 [Zm_{1H} + (A - Z)m_{1n} - M_{a,x}]$$

где m_{1H} и $M_{a,x}$ – массы атома водорода и нейтрального атома с ядром A_ZX соответственно.

8. Удельная энергия связи (энергия связи на нуклон):

$$E_{уд} = \frac{E_{cв}}{A}$$

График зависимости удельной энергии связи от массового числа A приведен на рис.29.1. Из этого графика, в частности, следует, что с выделением энергии могут происходить реакции деления тяжелых ядер и синтез легких ядер.

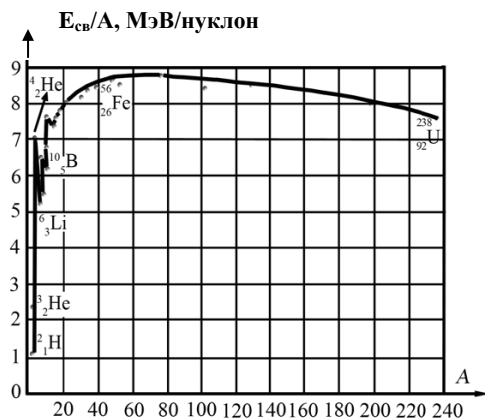
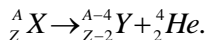


Рис.29.1

9. Радиоактивностью называется самопроизвольное превращение одних атомных ядер в другие, сопровождающееся испусканием элементарных частиц.

Альфа-распад – это испускание ядер гелия 4_2He . Схема протекания этой реакции



. Бета-распад – ядерные процессы с участием электронов или позитронов. Электрон или позитрон может испускаться ядром, либо один из электронов ближайших к ядру оболочек может захватываться ядром (e -захват или К-захват).

Схема электронного распада (β^- -распад):

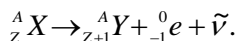


Схема позитронного распада (β^+ -распад):

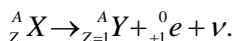
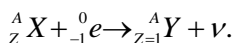


Схема электронного (К-) захвата:



10. Основной закон радиоактивного распада: $N = N_0 e^{-\lambda t}$, где $N = N(t)$ – число нераспавшихся атомов в момент времени t ; $N_0 = N(0)$ – число нераспавшихся атомов в момент, принятый за начальный ($t=0$); e – основание натуральных логарифмов; λ – постоянная радиоактивного распада.

Период полураспада $T_{1/2}$ – промежуток времени, за который число нераспавшихся атомов уменьшится в два раза. Период полураспада связан с постоянной распада λ соотношением

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Величина $\tau = 1/\lambda$, обратная постоянной распада, называется средним временем жизни радиоактивного атома (промежуток времени, за которое число нераспавшихся ядер уменьшается в e раз). Связь τ с периодом полураспада:

$$T_{1/2} = 0,69315 \tau, \tau = 1,4427 T_{1/2}.$$

11. Число ΔN ядер, распавшихся в интервале времени $t, t+\Delta t$:

$$\Delta N = N(t) - N(t+\Delta t) = N(t)(1 - e^{-\lambda \Delta t}).$$

При бесконечно малом интервале времени dt число $-dN$ распавшихся атомов равно

$$dN = N\lambda dt.$$

Активность A радиоактивного образца есть величина, равная отношению числа dN ядер, распавшихся в изотопе, к промежутку

времени dt , за которое произошел распад. Активность определяется

соотношением:

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

Активность образца со временем уменьшается по экспоненциальному закону:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}.$$

Примеры тестовых заданий

Задание 29-1. При α -распаде значение зарядового числа Z меняется...

- 1) не меняется; 2) на два; 3) на четыре; 4) на три.

Решение. α -частица содержит два протона и два нейтрона, поэтому при α -распаде заряд ядра уменьшается на два.

Правильный ответ: 2).

Задание 29-2. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}_{36}^{91}\text{Kr} + {}_{56}^{142}\text{Ba} + 3n$.

Ядро этого элемента содержит...

- 1) 94 протона и 144 нейтрона;
2) 94 протона и 142 нейтрона;
3) 92 протона и 144 нейтрона;
4) 92 протона и 142 нейтрона.

Решение. Произведем подсчет числа протонов и нейтронов в продуктах реакции.

Число протонов, определяющих заряд ядер: $36 + 56 = 92$.

Число нейтронов: $(91-36) + (142-56) + 3 = 144$.

Правильный ответ: 3).

Задание 29-3. Какая доля радиоактивных атомов распадется через интервал времени, равный двум периодам полураспада?

- 1) 25%; 2) 50%; 3) 75%; 4) 90%;

5) все атомы распадутся.

Решение. За интервал времени, равный одному периоду полураспада, распадается половина всех ядер. За второй такой же интервал распадется половина от оставшейся после первого интервала половины ядер. Значит, всего распадется $1/2 + 1/4 = 3/4$ часть всех ядер.

Правильный ответ: 3).

Задания для самостоятельной работы

29.1. В ядре изотопа углерода $^{14}_6\text{C}$ содержится...

- 1) 14 протонов и 6 нейтронов; 2) 14 протонов и 8 нейтронов;
3) 8 протонов и 6 нейтронов; 4) 6 протонов и 14 нейтронов;
5) 6 протонов и 8 нейтронов.

29.2. В ядре изотопа фосфора $^{32}_{15}\text{P}$ содержится ...

- 1) 15 протонов и 17 нейтронов; 2) 15 протонов и 32 нейтрона;
3) 32 протона и 17 нейтронов; 4) 17 протонов и 15 нейтронов.

29.3. В ядре изотопа кобальта $^{60}_{27}\text{Co}$ содержится ...

- 1) 33 протона и 60 нейтронов; 2) 33 протона и 27 нейтронов;
3) 27 протонов и 33 нейтрона; 4) 27 протонов и 87 нейтронов.

29.4. В ядре изотопа свинца $^{207}_{82}\text{Pb}$ содержится ...

- 1) 207 протонов и 125 нейтронов;
2) 125 протонов и 82 нейтрона;
3) 82 протона и 125 нейтронов;
4) 82 протона и 207 нейтронов.

29.5. Чем больше энергия связи ядра, тем ...

- 1) больше у него энергия покоя;
2) меньше энергии выделится при распаде этого ядра на отдельные нуклоны;
3) больше энергии выделится в реакции термоядерного синтеза этого ядра с другими ядрами;

- 4) большую работу нужно совершить, чтобы разделить это ядро на отдельные нуклоны
5) меньше у него дефект масс.

29.6. Радиоактивный распад атомных ядер сопровождается выделением ...

- 1] быстрых частиц; 2] теплоты;
3] отравляющих веществ; 4] электрического тока.

29.7. α -излучение представляет собой поток...

- 1) квантов электромагнитного излучения, испускаемых атомными ядрами при переходе из возбужденного состояния в основное;
2) электронов; 3) протонов; 4) ядер атомов гелия.

29.8. При α -распаде значение массового числа A меняется...

- 1) не меняется; 2) на два; 3) на три; 4) на четыре.

29.9. Испусканием ядер гелия обязательно сопровождается...

- 1) β^+ -распад; 2) β^- -распад; 3) α -распад; 4) K -захват.

29.10. Распад изотопа урана ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + ?$ сопровождается испусканием...

- 1) протонов; 2) β^+ -частиц; 3) β^- -частиц; 4) α -частиц.

29.11. Значение массового числа A при β -распаде меняется...

- 1) не меняется; 2) на единицу; 3) на два; 4) на четыре.

29.12. Значение зарядового числа Z при K -захвате меняется...

- 1) не меняется; 2) на единицу; 3) на два; 4) на четыре.

29.13. Значение зарядового числа Z при β -распаде меняется...

- 1) не меняется; 2) на единицу; 3) на три; 4) на четыре.

29.14. При β^- распаде калия ${}_{19}^{40}\text{K} \rightarrow Y + \beta^- + \tilde{\nu}_e$ в дочернем ядре Y...

1) число протонов уменьшится на 1, число нейтронов уменьшится на 1;

2) число протонов увеличится на 1, число нейтронов уменьшится на 1;

3) число протонов увеличится на 1, число нейтронов увеличится на 1;

4) число протонов уменьшится на 1, число нейтронов увеличится на 1.

29.15. Из перечисленных ниже типов превращений сопровождается испусканием электронов ...

1) β^- -распад; 2) β^+ -распад; 3) α -распад; 4) K-захват.

29.16. Позитрон является античастицей по отношению к ...

1) фотону; 2) нейтрону; 3) нейтрино;

4) протону; 5) электрону.

29.17. Из перечисленных ниже типов превращений сопровождается испусканием позитронов ...

1) β^+ -распад; 2) β^- -распад; 3) α -распад; 4) K-захват.

29.18. Из перечисленных ниже превращений к β^+ -распаду относится ...

1) ${}^A_Z X + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} X + \nu$; 2) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} X + e^- + \tilde{\nu}_e$;

3) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} X + {}^4_2\text{He}$; 4) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} X + e^+ + \nu_e$.

29.19. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}_{11}^{23}\text{Na} + e^+ + \nu_e$. Ядро этого элемента содержит...

- 1) 12 протонов и 12 нейтронов;
- 2) 11 протонов и 12 нейтронов;
- 3) 12 протонов и 11 нейтронов;
- 4) 11 протонов и 11 нейтронов.

29.20. Из перечисленных ниже превращений к К-захвату относится ...

- 1) ${}_Z^A X + e^- \rightarrow {}_{Z-1}^A X + \nu$;
- 2) ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z+1}^A X + e^- + \tilde{\nu}_e$;
- 3) ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z-1}^{A-4} X + {}_2^4\text{He}$;
- 4) ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z-1}^A X + e^+ + \nu_e$.

29.21. Частицы, составляющие радиоактивное излучение и не обладающие массой покоя, – это ...

- 1) позитроны;
- 2) альфа-частицы;
- 3) гамма-кванты;
- 4) электроны.

29.22. γ -излучение представляет собой поток...

1) квантов электромагнитного излучения, испускаемых ядрами при переходе из возбужденного состояния в основное;

- 2) электронов;
- 3) протонов;
- 4) ядер атомов гелия.

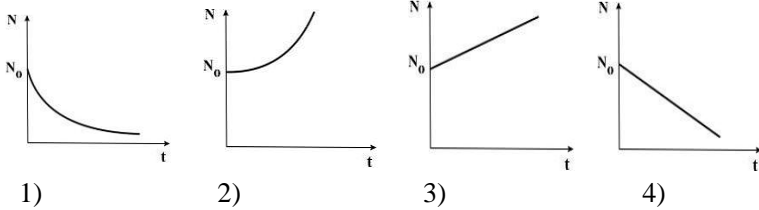
29.23. Радиоактивное излучение обладает очень большой проникающей способностью, относительно слабой ионизирующей способностью, не отклоняется электрическим и магнитным полями, не вызывает изменения заряда и массового числа распадающихся ядер, является ...

- 1) β^+ -излучением;
- 2) γ -излучением;
- 3) α -излучением;
- 4) β^- -излучением.

29.24. Между источником радиоактивного излучения и детектором помещен лист картона толщиной 2 мм. Какое излучение может пройти через него?

- 1) α и β ; 2) только β ; 3) β и γ ; 4) только γ .

29.25. Согласно закону радиоактивного распада изменение числа нераспавшихся ядер N (N_0 – начальное число) со временем иллюстрируется графиком...



29.26. Средним временем жизни радиоактивного атома называется ...

- 1) время, в течение которого распадается половина наличного количества атомов радиоактивного элемента;
- 2) время, в течение которого концентрация нераспавшихся ядер уменьшается в e раз;
- 3) время, в течение которого распадаются все атомы радиоактивного элемента;
- 4) время между моментами распада двух ядер атомов радиоактивных элементов.

29.27. Число радиоактивных ядер уменьшится в e раз через время ...

- 1) e^λ ; 2) λ ; 3) $e^{-\lambda}$; 4) $\frac{1}{\lambda}$

29.28. Периодом полураспада называется ...

- 1) время, в течение которого распадается половина наличного количества атомов радиоактивного элемента;
- 2) время, в течение которого концентрация распавшихся ядер увеличивается в e раз;
- 3) время, в течение которого распадаются все атомы радиоактивного элемента;

4) время между моментами распада двух ядер атомов радиоактивных элементов.

29.29. Период полураспада ядер атомов некоторого вещества составляет 17 с. Это означает, что...

- 1) за 17 с атомный номер каждого атома уменьшится вдвое;
- 2) один атом распадается каждые 17 с;
- 3) около половины изначально имевшихся атомов распадется за 17 с;
- 4) все изначально имевшиеся атомы распадутся через 34 с.

29.30. Период полураспада ядер атомов в процессах естественной радиоактивности ...

- 1) не зависит от внешних условий протекания процесса;
- 2) зависит от концентрации радиоактивного вещества в руде;
- 3) зависит от агрегатного состояния радиоактивного вещества;
- 4) зависит от внешней температуры и давления

29.31. Если через интервал времени t не распавшимися осталось 25% радиоактивных атомов, то это время равно ...

- 1) половине периода полураспада.
- 2) периоду полураспада;
- 3) двум периодам полураспада;
- 4) четырем периодам полураспада;

29.32. Через интервал времени, равный двум периодам полураспада, нераспавшихся радиоактивных атомов останется...

- 1) 25%; 2) 33%; 3) 50%; 4) 75%.

29.33. Если период полураспада равен 30 мин, то за 1 час распадется ____ % радиоактивных ядер.

- 1) 25; 2) 50; 3) 75; 4) 100.

29.34. В образце имеется $2 \cdot 10^{10}$ ядер радиоактивного изотопа цезия ${}_{55}^{137}\text{Cs}$, имеющего период полураспада 26 лет. Через сколько лет останутся нераспавшимися $0,25 \cdot 10^{10}$ ядер данного изотопа?

- 1) 26 лет; 2) 52 года; 3) 78 лет; 4) 104 года.

29.35. Какая доля радиоактивных атомов не распадется через интервал времени, равный трем периодам полураспада?

- 1) 6,25%; 2) 12,5%; 3) 25%; 4) 50%; 5) 75%.

29.36. Радиоактивный изотоп ${}^{11}_6\text{C}$ распадается по реакции ${}^{11}_6\text{C} \rightarrow {}^{11}_5\text{B} + e^+ + \nu$. Каким будет процентное содержание атомов через промежуток времени, равный периоду полураспада изотопа ${}^{11}_6\text{C}$?

- 1) 20% ${}^{11}_6\text{C}$ и 80% ${}^{11}_5\text{B}$; 2) 50% ${}^{11}_6\text{C}$ и 50% ${}^{11}_5\text{B}$;
3) 25% ${}^{11}_6\text{C}$ и 75% ${}^{11}_5\text{B}$; 4) 75% ${}^{11}_6\text{C}$ и 25% ${}^{11}_5\text{B}$.

29.37. Имеется 10^8 атомов радиоактивного изотопа йода ${}^{128}_{53}\text{I}$ период полураспада которого 25 мин. Какое количество ядер изотопа распадается за 50 мин?

- 1) $\sim 2,5 \cdot 10^7$; 2) $5 \cdot 10^7$ 3) $\sim 7,5 \cdot 10^7$; 4) $\sim 10^8$.

29.38. Какая доля свободных нейтронов распадется через 1 час, если период полураспада составляет 10 мин.

- 1) 98,5%; 2) 75,5%; 3) 10,5%; 4) 1,5%.

29.39. Радиоактивный изотоп имеет период полураспада 2 мин. Сколько из 1000 ядер этого изотопа испытает 1 радиоактивный распад за 2 мин?

- 1) точно 500 ядер;
2) 500 или немного меньше ядер;
3) 500 или немного больше ядер;
4) около 500 ядер, может быть, немного больше или немного меньше.

29.40. Активностью данного радиоактивного вещества называется величина, равная ...

- 1) вероятности распада ядер за одну секунду, т.е. доле ядер, распадающихся за единицу времени;
2) величине, обратной постоянной радиоактивного распада;

- 3) времени, в течение которого число нераспавшихся ядер уменьшится вдвое;
- 4) числу радиоактивных распадов за единицу времени.

29.41. Активность некоторого изотопа за 10 суток уменьшилась на 50%. Период полураспада этого изотопа...

- 1) 5 суток; 2) 7 суток; 3) 10 суток;
4) 20 суток; 5) 30 суток.

29.42. Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за 8 дней. Каков период полураспада этого элемента?

- 1) 2 дня; 2) 4 дня; 3) 16 дней; 4) 32 дня.

29.43. Имеется смесь двух элементов: стабильного изотопа углерода $^{12}_6\text{C}$ в количестве 2 моля и радиоактивного $^{11}_6\text{C}$ в количестве 4 моля. Через интервал времени, равный периоду полураспада углерода $^{11}_6\text{C}$, останется....

- 1) больше $^{12}_6\text{C}$, чем $^{11}_6\text{C}$; 2) больше $^{11}_6\text{C}$, чем $^{12}_6\text{C}$;
3) одинаковое количество $^{12}_6\text{C}$ и $^{11}_6\text{C}$.

30. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Краткие теоретические сведения

1. *Ядерными реакциями* называется искусственное превращение атомных ядер при их взаимодействии как друг с другом, так и с ядерными частицами, в результате чего образуются новые ядра и новые частицы. Символически ядерную реакцию можно записать:

$$X + a = Y + b \text{ или } X(ab)Y$$

где X и Y – исходное и конечное ядра, a и b – исходная и конечная частицы в реакции.

2. Ядерная реакция характеризуется *энергией ядерной реакции* Q , равной разности кинетических энергий частиц, полученных в результате реакции и кинетических энергий частиц, участвующих в реакции:

$$Q = E_{k(Y+b)} - E_{k(X+a)}.$$

Если $Q < 0$, реакция происходит с поглощением энергии и называется *эндотермической*; если $Q > 0$, то реакция идет с выделением энергии, реакция называется *экзотермической*.

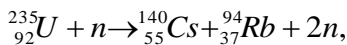
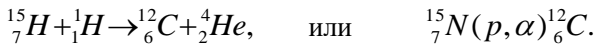
3. В ядерных реакциях выполняются законы сохранения энергии, импульса, электрического заряда и массовых чисел. Если применить закон сохранения масс и энергий для ядерной реакции, то можно записать:

$$m_x c^2 + m_a c^2 + E_{k(X+a)} = m_Y c^2 + m_b c^2 + E_{k(Y+b)},$$

где $m_i c^2$ - энергия покоя частиц или ядер.

$$\text{Поэтому } Q = [(m_x + m_a) - (m_Y + m_b)] \cdot c^2.$$

4. Примеры ядерных реакций;



Примеры тестовых заданий

Задание 30-1. Сколько α - и β^- -распадов должно произойти, чтобы ${}_{92}^{238}\text{U}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}_{82}^{206}\text{Pb}$?

- 1) 9 α -распадов и 5 β^- -распадов;
- 2) 6 α -распадов и 8 β^- -распадов;
- 3) 10 α -распадов и 4 β^- -распадов;
- 4) 8 α -распадов и 6 β^- -распадов.

Решение. При α -распаде заряд ядра уменьшается на две, а массовое число – на четыре единицы. При β^- -распаде заряд ядра увеличивается на одну единицу (за счет испускания электрона). Поэтому при превращении урана в свинец должно произойти $(238 - 206)/4 = 8$ α -распадов, во время которых заряд ядра уменьшается на 16 единиц, и 6 β^- -распадов, чтобы общее уменьшение заряда ядра стало равно $(92-82) = 10$.

Правильным является ответ: 4).

Задание 30-2. На рисунке показана область существования β -активных ядер. Прямая линия соответствует равновесным значениям Z_β , соответствующим β -стабильным ядрам. Здесь Z – порядковый номер элемента, а N – число нейтронов в ядре. В области $Z < Z_\beta \dots$



- 1) ядра обладают избытком протонов и β^- -активны;
- 2) ядра обладают избытком нейтронов и β^- -активны;
- 3) ядра обладают избытком протонов и β^+ -активны;
- 4) ядра обладают избытком нейтронов и β^+ -активны.

Решение. Схематическая диаграмма известных в настоящее время ядер приведена на рисунке. При рассмотрении этой диаграммы можно видеть ряд интересных особенностей систематики различных ядер.

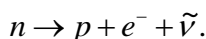
1. Устойчивые ядра с порядковыми номерами $Z \leq 20$ имеют приблизительно одинаковое число протонов и нейтронов ($Z \approx N$).

2. При $Z \geq 20$ в устойчивых ядрах начинает возрастать отношение числа нейтронов к числу протонов N/Z . Устойчивые ядра располагаются вдоль узкой полосы значений $N - Z$, называемой долиной устойчивости. Линия, соответствующая β -стабильным ядрам, может быть аппроксимирована соотношением:

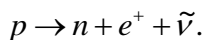
$$Z_{\beta} = \varepsilon N,$$

(где $\varepsilon \approx 0,7$). Это означает, что стабильные ядра содержат больше нейтронов, чем протонов. Ядерные силы – близкодйствующие, а кулоновские – дальнедействующие. С ростом атомного номера увеличивается кулоновское отталкивание протонов, и поэтому для поддержания стабильности ядер требуется большее число нейтронов, у которых имеется лишь ядерное притяжение. Следовательно, с ростом Z возрастает отношение N/Z .

3. Ядра, расположенные по склонам долины устойчивости (выше или ниже линии $Z_{\beta} = \varepsilon N$) могут переходить в устойчивое состояние путем радиоактивности распада, испуская β^+ или β^- - частицы. Ядра, расположенные ниже долины устойчивости $Z < Z_{\beta} = \varepsilon N$, имеют избыток нейтронов (нейтроно-избыточные). В нейтроно-избыточных ядрах возможен β^- -распад, сопровождающийся превращением нейтрона в протон и вылетом электрона и антинейтрино:



4. Ядра, расположенные выше долины устойчивости $Z > Z_{\beta} = \varepsilon N$ содержат избыток протонов и распадаются путем β^+ -распада:



Следовательно, в области $Z_{\beta} < \varepsilon N$ ядра обладают избытком нейтронов и β^- -активны.

Правильный ответ: 2).

Задания для самостоятельной работы

30.1. Внутри атомного ядра произошло самопроизвольное превращение нейтрона в протон: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$. С ядром в результате такого превращения произошел...

- 1) β^+ -распад;
- 2) β^- -распад;
- 3) α -распад;
- 4) ядерная реакция деления;
- 5) ядерная реакция синтеза.

30.2. Установить соответствие процессов взаимопревращения частиц:

- | | |
|----------------------|---|
| 1. β^- -распад | А. ${}^0_{-1}e + {}^0_{+1}e \rightarrow 2\gamma$ |
| 2. К-захват | Б. ${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_{+1}e + \nu_e$ |
| 3. β^+ -распад | В. ${}^1_1p + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n + \nu_e$ |
| 4. аннигиляция | Г. ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}_e$ |
| | Д. ${}^1_0n + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_1p + \nu_e$ |

- 1) 1-Б, 2-В, 3-А, 4-Д ; 2) 1-Г, 2-В, 3-Б, 4-А;
2) 1-Б, 2-Г, 3-А, 4-Д ; 4) 1-А, 2-Б, 3-Г, 4-Д .

30.3. Покоящееся ядро урана претерпевает α -распад: ${}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{231}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$. Из следующих утверждений верными являются:

- 1) процесс распада описывается соотношениями релятивистской механики;
- 2) движение ядер подчиняется законам классической механики;
- 3) процесс распада происходит в соответствии с законом сохранения массовых чисел;
- 4) образующиеся ядра движутся в одном направлении.

30.4. Изотоп ксенона ${}_{54}^{112}\text{Xe}$ после спонтанного α -распада превратился в изотоп...

- 1) ${}_{52}^{108}\text{Te}$; 2) ${}_{50}^{110}\text{Sn}$; 3) ${}_{55}^{111}\text{Sc}$; 4) ${}_{54}^{109}\text{Xe}$.

30.5. Ядро изотопа ${}_{84}^{216}\text{Po}$ образовалось после α -распада из ядра...

- 1) ${}_{80}^{214}\text{Hg}$; 2) ${}_{84}^{212}\text{Pb}$; 3) ${}_{86}^{220}\text{Rn}$; 4) ${}_{86}^{218}\text{Rn}$.

30.6. При бета-превращениях радиоактивных ядер ...

1) изменяется массовое число материнского ядра, но сохраняется заряд;

2) не происходит изменения заряда и массового числа материнского ядра;

3) изменяются массовое число и заряд материнского ядра;

4) изменяется заряд материнского ядра, но сохраняется массовое число.

30.7. Для ядер атомов **не справедливым** является утверждение: ...

1) между нуклонами в ядрах существует особое ядерное (сильное) взаимодействие

2) ядра всех атомов, за исключением обычного водорода, состоят из протонов и нейтронов, называемых нуклонами

3) протон – положительно заряженная частица с зарядом, равным элементарному электрическому заряду; нейтрон – электрически нейтральная частица

4) масса ядра равна сумме масс составляющих его нуклонов

30.8. Сколько α - и β - распадов должно произойти, чтобы изотоп америция ${}_{95}^{241}\text{Am}$ превратился в стабильный изотоп висмута

${}_{83}^{209}\text{Bi}$.

- 1) 6 α -распадов и 5 β^- -распадов;
- 2) 7 α -распадов и 3 β^- -распадов;
- 3) 8 α -распадов и 4 β^- -распадов;
- 4) 9 α -распадов и 3 β^- -распадов.

30.9. Сколько α - и β^- -распадов должно произойти, чтобы актиний ${}^{227}_{89}\text{Ac}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}^{207}_{82}\text{Pb}$?

- 1) 6 α -распадов и 3 β^- -распадов;
- 2) 5 α -распадов и 3 β^- -распадов;
- 3) 5 α -распадов и 5 β^- -распадов;
- 4) 4 α -распадов и 4 β^- -распадов.

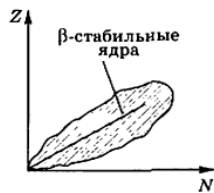
30.10. Сколько α - и β^- -распадов должно произойти, чтобы торий ${}^{232}_{90}\text{Th}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}^{208}_{82}\text{Pb}$?

- 1) 5 α -распадов и 5 β^- -распадов;
- 2) 4 α -распадов и 6 β^- -распадов;
- 3) 6 α -распадов и 4 β^- -распадов;
- 4) 7 α -распадов и 4 β^- -распадов.

30.11. Торий ${}^{232}_{90}\text{Th}$, испытав два электронных β^- -распада и один α -распад, превращается в элемент...

- 1) ${}^{236}_{94}\text{Pu}$; 2) ${}^{228}_{90}\text{Th}$; 3) ${}^{228}_{86}\text{Rn}$; 4) ${}^{234}_{86}\text{Rn}$.

30.12. На рисунке показана область существования β^- -активных ядер. Прямая линия соответствует равновесным значениям Z_β , соответствующим β^- -стабильным ядрам. Здесь Z – порядковый номер элемента, а N – число нейтронов в ядре. В области $Z > Z_\beta$...

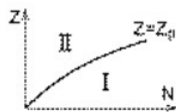


- 1) ядра обладают избытком протонов и β^- -активны;

- 2) ядра обладают избытком нейтронов и β^- -активны;
- 3) ядра обладают избытком протонов и β^+ -активны;
- 4) ядра обладают избытком нейтронов и β^+ -активны.

30.13. На рисунке показана область существования β^- -активных ядер, где Z – порядковый номер элемента, N – число нейтронов в ядре. Сплошная линия $Z=Z_\beta$ соответствует β^- -стабильным ядрам, не испытывающим β^- -распад. Выберите правильное утверждение:

- 1) в области I ($Z < Z_\beta$) ядра испытывают β^+ -распад;
- 2) в области I ($Z < Z_\beta$) ядра испытывают e^- -захват;
- 3) в области I ($Z < Z_\beta$) ядра испытывают β^- -распад;
- 4) в области II ($Z > Z_\beta$) ядра испытывают β^- -распад.



30.14. При бомбардировке протонами ядер лития ${}^7_3\text{Li}$ образуется α -частица. Вторым продуктом реакции является ...

- 1) α -частица;
- 2) 2 протона;
- 3) нейтрон;
- 4) протон;
- 5) 2 нейтрона.

30.15. Два ядра гелия ${}^4_2\text{He}$ слились в одно, при этом был излучен протон. В результате этой реакции образовалось ядро ...

- 1) ${}^7_4\text{Be}$;
- 2) ${}^6_3\text{Li}$;
- 3) ${}^7_3\text{Li}$;
- 4) ${}^6_4\text{Be}$;
- 5) ${}^8_3\text{Li}$.

30.16. Вторым продукт ядерной реакции, осуществленной Резерфордом, ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + X$ представляет собой ...

- 1) нейтрон;
- 2) α -частицу;
- 3) протон;
- 4) электрон;
- 5) γ -квант

30.17. При бомбардировке ядер изотопа азота ${}^{14}_7\text{N}$ нейтронами образуются изотоп бора ${}^{11}_5\text{B}$ и ...

- 1) протон;
- 2) 2 протона;
- 3) нейтрон;
- 4) α -частица.

30.18. Внутри атомного ядра произошло самопроизвольное превращение нейтрона в протон: $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$. С ядром в результате такого превращения произошел...

- 1) β^- -распад;
- 2) β^+ -распад;
- 3) α -распад;
- 4) ядерная реакция деления.

30.19. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}_4^8\text{Be} + p + e^- + \tilde{\nu}_e$.

Ядро этого элемента содержит...

- 1) 4 протона и 5 нейтронов;
- 2) 5 протонов и 4 нейтрона;
- 3) 5 протонов и 5 нейтронов;
- 4) 4 протона и 4 нейтрона.

30.20. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}_6^{13}\text{C} + n + e^+ + \nu_e$.

Ядро этого элемента содержит...

- 1) 6 протонов и 8 нейтронов;
- 2) 7 протонов и 8 нейтронов;
- 3) 6 протонов и 7 нейтронов;
- 4) 7 протонов и 7 нейтронов.

30.21. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}_{13}^{27}\text{Al} + n + e^+ + \nu_e$.

Ядро этого элемента содержит...

- 1) 14 протонов и 14 нейтронов;
- 2) 15 протонов и 13 нейтронов;
- 3) 14 протонов и 15 нейтронов;
- 4) 15 протонов и 14 нейтронов.

30.22. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}_{14}^{30}\text{Si} + n + e^+ + \nu_e$.

Ядро этого элемента содержит...

- 1) 15 протонов и 16 нейтронов;
- 2) 15 протонов и 17 нейтронов;

- 3) 14 протонов и 17 нейтронов;
- 4) 16 протонов и 15 нейтронов.

30.23. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}_{52}^{137}\text{Te} + {}_{40}^{97}\text{Zr} + 2n$.

Ядро этого элемента содержит...

- 1) 94 протона и 142 нейтрона;
- 2) 92 протона и 142 нейтрона;
- 3) 94 протона и 144 нейтрона;
- 4) 92 протона и 144 нейтрона.

30.24. В результате ядерной реакции произошло превращение ядра ${}_Z^A X$ в ядро ${}_Z^A Y$. Такой реакцией был:

- 1) α -распад;
- 2) γ -распад;
- 3) β^- -распад;
- 4) e -захват.

30.25. Образование радиоактивных элементов при бомбардировке альфа-частицами нерадиоактивных изотопов легких элементов – это пример ...

- 1) искусственной радиоактивности;
- 2) радиоактивационного анализа;
- 3) естественной радиоактивности;
- 4) альфа-распада.

30.26. Если E_1 и E_2 – энергии ядер, вступивших в реакцию, а E_3 и E_4 – энергии ядер, получившихся в результате реакции, то ее энергетический эффект Q равен ...

- 1) $E_3 + E_4 - E_1 - E_2$;
- 2) $E_1 + E_2 - E_3 - E_4$;
- 3) $E_3 + E_2 - E_1 - E_4$.
- 4) $E_3 - E_2 + E_1 - E_4$.

30.27. Стабильность атомных ядер, которая характеризуется удельной энергией связи (энергия, приходящаяся на один нуклон), с ростом числа нуклонов (A) сначала растёт, достигая максимума для ядер железа ($A=56$), а затем убывает. Из этого следует, что...

1] для ядер с $A < 56$ возможны реакции синтеза лёгких ядер с выделением энергии;

2] среди легких и тяжелых ядер нет стабильных изотопов;

3] в природе железо – самый распространенный химический элемент;

4] для ядер с $A > 56$ возможны реакции деления ядер с выделением энергии.

30.28. Для ядер тяжелых элементов энергетически выгодными являются

1) ядерные реакции синтеза трансурановых элементов;

2) реакции, сопровождающиеся поглощением свободных нейтронов;

3) цепные химические реакции;

4) ядерные реакции распада на ядра элементов средней части таблицы Менделеева.

30.29. Реакция деления ядер урана-235 становится цепной благодаря ...

1) соударениям дочерних ядер, возникающих при делении ядра урана, с другими ядрами урана;

2) соударениям дочерних ядер, возникающих при делении ядра урана, между собой;

3) поглощению нейтронов, возникающих при делении ядра урана, ядрами кадмия в регулирующих стержнях;

4) поглощению нейтронов, возникающих при делении одного ядра урана, другими ядрами урана.

30.30. Процесс деления тяжелых ядер сопровождается образованием ...

1) одного более легкого ядра и испусканием электронов;

2) нескольких более легких ядер и испусканием электронов;

3) двух-трех более легких ядер и испусканием нейтронов;

4) большого числа более легких ядер.

31. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

Краткие теоретические сведения

1. Элементарными частицами называются мельчайшие известные в настоящее время частицы материи. Этот термин в значительной мере условен. Характерной особенностью элементарных частиц является их способность к взаимным превращениям.

2. Классификация элементарных частиц основана на иерархии фундаментальных взаимодействий в природе. Таких взаимодействий известно четыре: *сильное, электромагнитное, слабое; гравитационное.*

Элементарные частицы, участвующие во всех видах взаимодействия, называются *адронами*. Адроны подразделяются на *мезоны* (не несущие барионного заряда) и *барионы* (нуклоны и гипероны).

Элементарные частицы, не участвующие в сильных взаимодействиях, называются *лептонами*. Всего их шесть электроны, мюоны, таоны, и три типа нейтрино, и для каждой имеется своя античастица.

3. Элементарным частицам приписываются следующие квантовые числа, некоторые из них называются зарядами:

q – электрический заряд;

L – лептонный заряд;

B – барионный заряд;

T – изотопический спин;

T_z – проекция изотопического спина на ось z ;

S – странность;

Y – гиперзаряд.

4. При взаимодействии частиц выполняются законы сохранения Q , L и B зарядов. В сильных взаимодействиях выполняются также законы сохранения S (или Y), T и T_z .

5. В 1964 г. была выдвинута гипотеза о том, что все адроны являются композицией сравнительно небольшого числа «истинно» элементарных частиц – кварков, имеющих дробный электрический заряд и не существующих отдельно друг от друга. Предполагается, что всего существует шесть различных кварков (d, u, s, c, b, t), каждый из которых может находиться в трех различных состояниях (цветах). Кроме того, каждому кварку соответствует антикварк. Итого получается 36 кварковых состояний адронной формы материи.

6. Некоторые квантовые числа кварков и лептонов приведены в таблице 31.1

Таблица 31.1

Частица	Q	B	L
e^-	-1	0	1
μ^-	-1	0	1
τ^-	-1	0	1
ν_e	0	0	1
ν_τ	0	0	1
ν_μ	0	0	1
d	-1/3	1/3	0
u	2/3	1/3	0
s	-1/3	1/3	0
c	2/3	1/3	0
b	-1/3	1/3	0
t	2/3	1/3	0

Квантовые числа античастиц имеют противоположные знаки.

8. В таблице 31.2 приведен кварковый состав некоторых адронов.

Таблица 31.2

Частица	Кварковый состав	Частица	Кварковый состав
Барионы		Мезоны	
p	(u, u, d)	π^-	$(\tilde{u}d)$
n	(u, d, d)	π^0	$\frac{1}{\sqrt{2}}(u\tilde{u} - d\tilde{d})$
Λ^0	(u, d, s)	π^+	$(u\tilde{d})$
Σ^-	(d, d, s)	K^+, K^-	$(u\tilde{s}), (s\tilde{u})$
Σ^0	(u, d, s)	K^0, \bar{K}^0	$(d\tilde{s}), (s\tilde{d})$
Σ^+	(u, u, s)		

Примеры тестовых заданий

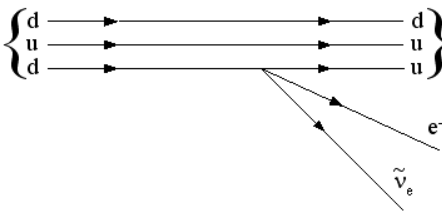
Задание 31-1. Реакция распада электрона по схеме $e^- \rightarrow \gamma + \gamma + \tilde{\nu}$ невозможно вследствие **невыполнения** закона сохранения ...

- 1) энергии;
- 2) лептонного заряда;
- 3) электрического заряда.

Запишем эту реакцию с учетом зарядовых чисел: $e^- = 2\gamma^0 + \tilde{\nu}$. Получили противоречие закону сохранения электрического заряда.

Правильный ответ: 3)

Задание 31-2. На рисунке показана кварковая диаграмма β^- -распада нуклона. Эта диаграмма соответствует реакции...



- 1) $n \rightarrow n + e^- + \tilde{\nu}_e$;
- 2) $p \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$;
- 3) $p \rightarrow n + e^- + \tilde{\nu}_e$;
- 4) $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$.

Решение. Нейтрон и протон состоят из трех кварков. В состав нейтрона входят u, d, d -кварки, в состав протона – u, u, d -кварки. На рисунке в начальном состоянии находится нейтрон, в конечном -- протон. Кварк d , входящий в состав протона, в результате слабого распада переходит в u -кварк, при этом излучаются электрон и электронное антинейтрино. Таким образом, рассматриваемая диаграмма соответствует реакции $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$.

Правильный ответ: 4).

Задания для самостоятельной работы

31.1. Из перечисленных ниже частиц считается нуклоном...

- 1) электрон; 2) нейтрон; 3) мюон; 4) фотон.

31.2. Для нуклонов верными являются следующие утверждения:

- 1) оба нуклона в свободном состоянии стабильны. Массы протона и антипротона одинаковы;
2) массы нуклонов одинаковы. Оба нуклона имеют античастицы;
3) спины нуклонов и антинуклонов одинаковы. Заряды нейтрона и антинейтрона равны нулю;
4) масса нейтрона больше массы антинейтрона. Магнитные моменты антинуклонов равны нулю.

31.3. Для нуклонов верными являются следующие утверждения:

- 1] оба нуклона обладают отличными от нуля магнитными моментами;
2] масса протона много больше нейтрона;
3] оба нуклона нейтральны;
4] спины нуклонов одинаковы.

31.4. Взаимодействие между нуклонами в ядре осуществляется...

- 1) путём обмена электронами;
- 2) путём обмена виртуальными частицами – пионами;
- 3) путём обмена γ -квантами;
- 4) за счёт кулоновского взаимодействия между нуклонами.

31.5. Нуклоны в ядре взаимодействуют посредством обмена виртуальными частицами. Процесс их образования соответствует схеме ...

- 1) $p \leftrightarrow p + \pi^+$; 2) $n \leftrightarrow p + \pi^-$;
- 3) $n \leftrightarrow p + \pi^+$; 4) $n \leftrightarrow n + \pi^-$.

31.6. Не обладают лептонным зарядом . . .

- 1) протон; 2) электрон; 3) позитрон; 4) таон.

31.7. Реакция $n \rightarrow p + e^+ + \nu_e$ **не может** идти из-за нарушения закона сохранения ...

- 1) электрического заряда;
- 2) барионного заряда;
- 3) лептонного заряда;
- 4) спинового момента импульса

31.8. Реакция $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu$ **не может** идти из-за нарушения закона сохранения...

- 1) электрического заряда;
- 2) лептонного заряда;
- 3) спинового момента импульса;
- 4) барионного заряда.

31.9. Законом сохранения электрического заряда **запрещена** реакция ...

- 1) $n + p \rightarrow e^+ + \tilde{\nu}_e$; 2) $n + \nu_e \rightarrow p + e^+$;
 3) $\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$; 4) $n + \nu_\mu \rightarrow p + \mu^-$.

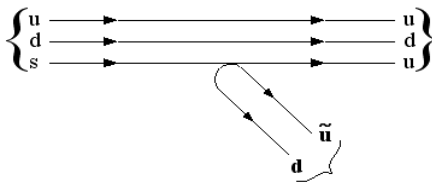
31.10. Реакция $p + n \rightarrow e^+ + \nu_e$ **не может** идти из-за нарушения закона сохранения ...

- 1) лептонного заряда;
 2) электрического заряда;
 3) спинового момента импульса;
 4) барионного заряда.

31.11. Превращение Σ^+ -гиперона соответствует схеме

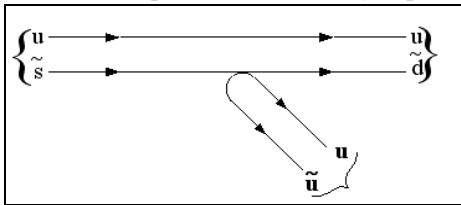
- 1) $\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$; 2) $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^0$;
 3) $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^-$; 4) $\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^+$.

31.12. На рисунке показана кварковая диаграмма распада Λ^0 -гиперона. Эта диаграмма соответствует реакции ...



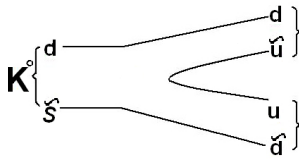
- 1) $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^+$;
 2) $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$;
 3) $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^0$;
 4) $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^-$.

31.13. На рисунке показана кварковая диаграмма распада K^+ -мезона. Эта диаграмма соответствует реакции ...



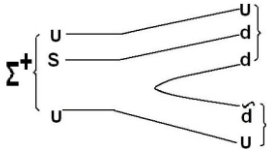
- 1) $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^-$;
 2) $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$;
 3) $K^+ \rightarrow \pi^0 + \pi^-$.

31.14. На рисунке показана кварковая диаграмма распада K^0 -мезона. Эта диаграмма соответствует реакции:



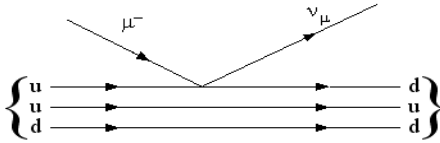
- 1) $K^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$;
- 2) $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$;
- 3) $K^0 \rightarrow e^+ + e^-$;
- 4) $K^0 \rightarrow n + \bar{n}$.

31.15. На рисунке показана кварковая диаграмма распада Σ^+ -гиперона. Эта диаграмма соответствует реакции:



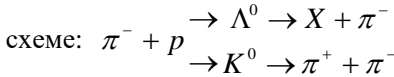
- 1) $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$;
- 2) $\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^-$;
- 3) $\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$;
- 4) $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^0$.

31.16. На рисунке показана кварковая диаграмма захвата нуклоном μ^- -мезона. Эта диаграмма соответствует реакции ...



- 1) $\mu^- + n \rightarrow \bar{n} + \nu_\mu$;
- 2) $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$;
- 3) $\mu^- + n \rightarrow p + \nu_\mu$;
- 4) $\mu^- + p \rightarrow \bar{p} + \nu_\mu$.

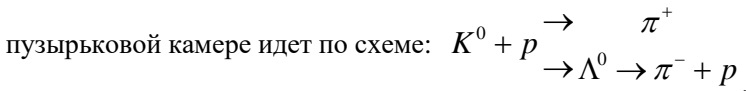
31.17. Взаимодействие π^- -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере с образованием неизвестной частицы X идет по



Если спин π -мезона $S=0$, то заряд и спин частицы X будут равны ...

- 1) $q < 0$; $S = 1/2$; 2) $q > 0$; $S = 0$; 3) $q > 0$; $S = 1/2$; 4) $q < 0$; $S = 0$.

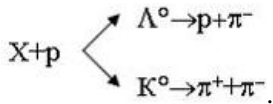
31.18. Взаимодействие K^0 -мезона с протоном в водородной



Если спин π -мезона $S=0$, то характеристиками K^0 -мезона будут...

- 1) $q=0; S=1/2$; 2) $q=0; S=0$; 3) $q>0; S=1/2$.

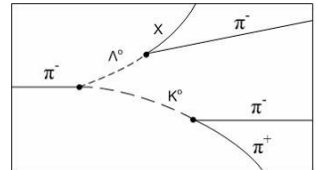
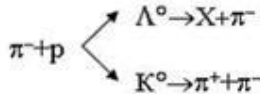
31.19. Взаимодействие неизвестной частицы X с протоном в водородной пузырьковой камере идет по схеме:



Если спин π -мезона $S=0$, то заряд и спин налетающей частицы будут равны...

- 1) $q < 0; S = 1/2$; 2) $q > 0; S = 1/2$;
3) $q > 0; S = 0$; 4) $q < 0; S = 0$.

31.20. На рисунке показана фотография взаимодействия π^- -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере, которое идет

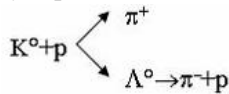


по схеме:

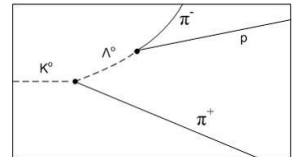
Если спин π^- -мезона $S=0$, то спин частицы X будет...

- 1) $S_x = 1/2$; 2) $S_x = 1$; 3) $S_x = 0$.

31.21. На рисунке показана фотография взаимодействия K^0 -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере, которое



идет по схеме



- 1) $q>0; S=0$; 2) $q=0; S=0$; 3) $q=0; S=1/2$; 4) $q>0; S=1/2$.

32. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Краткие теоретические сведения

В настоящее время известны четыре *фундаментальных* (т.е. не сводящихся друг к другу) *взаимодействия*.

Сильное взаимодействие имеет характер притяжения между большинством элементарных частиц, в частности, оно обеспечивает связь нуклонов (протонов и нейтронов) в атомных ядрах. Это взаимодействие проявляется только на очень малых расстояниях, сравнимых с размерами ядер ($\sim 10^{-15}$ м), т.е. является короткодействующим и на этих расстояниях существенно (более чем в сто раз) превосходит электромагнитное взаимодействие.

Электромагнитное взаимодействие обуславливает связь электрически заряженных частиц в атомах и молекулах, распространяется на значительные расстояния и описывается известными законами электричества и магнетизма. Это взаимодействие на два порядка слабее сильного.

Слабое взаимодействие проявляется при распаде некоторых элементарных частиц (например, при β^- -распаде нейтрона: $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \tilde{\nu}_e$). Оно осуществляется на очень малых расстояниях ($\sim 10^{-16}$ м) и играет важную роль в термоядерных реакциях, поэтому активно участвует в эволюции звезд и других космических объектов.

Наконец, *гравитационное взаимодействие* является самым универсальным, так как осуществляется между всеми материальными объектами. Оно распространяется на очень большие расстояния (как и электромагнитное), однако, в силу своей малости, играет несущественную роль в микромире вплоть до расстояний порядка 10^{-35} м.. Ожидается, что на столь малых расстояниях гравитационное взаимодействие становится «равноправным» участником событий. С другой стороны, гравитация является основным фактором, определяющим поведение объектов мегамира.

Все эти взаимодействия в масштабах микромира имеют по своей природе квантовый характер и могут интерпретироваться как обмен квантами соответствующего поля.

Приведем ряд характеристик перечисленных взаимодействий:

Тип взаимодействия	Механизм обмена	Сравнительная величина интенсивности взаимодействия	Радиус действия сил, м.	Длительность протекания процесса, с
Сильное	глюонами	1	10^{-15}	10^{-23}
Электромагнитное	фотонами	$10^{-2} \dots 10^{-3}$	∞	10^{-20}
Слабое	промежуточными бозонами	$10^{-10} \dots 10^{-14}$	10^{-18}	10^{-10}
Гравитационное	гравитонами	$10^{-38} \dots 10^{-40}$	∞	

По способности к тому или иному виду взаимодействия все элементарные частицы делятся на три группы:

1) *фотоны*; эта группа состоит всего лишь из одной частицы – фотона – кванта электромагнитного излучения;

2) *лептоны* (от греч. «лептос»- легкий), участвующие только в электромагнитном и слабом взаимодействиях. К лептонам относятся электронное и мюонное нейтрино, электрон, мюон и открытый в 1975 г. тяжелый лептон – t-лептон, или таон, с массой примерно $3487m_e$, а также соответствующие им античастицы. Название лептонов связано с тем, что массы первых известных лептонов были меньше масс всех других частиц. К лептонам относится также таонное нейтрино, существование которого в последнее время также установлено;

3) *адроны* (от греч. «адрос» — крупный, сильный). Адроны обладают сильным взаимодействием наряду с электромагнитным и слабым. К ним относятся также протон, нейтрон, пионы, каоны и гипероны.

В гравитационном взаимодействии участвуют все элементарные частицы.

Для всех типов взаимодействия элементарных частиц выполняются законы сохранения энергии, импульса, момента импульса и электрического заряда.

Каждой из элементарных частиц, за небольшим исключением, соответствует своя *античастица*.

В соответствии с принятой стандартной моделью, все адроны являются суперпозицией нескольких *кварков* и *антикварков*.

Генеральным направлением в физике микромира является установление единой первопричины всех четырех взаимодействий, т.е. создание такой теории, в которой все известные сейчас взаимодействия были бы частными случаями одного фундаментального взаимодействия.

Примеры тестовых заданий

Задание 32-1. Установите соответствие групп элементарных частиц характерным типам фундаментальных взаимодействий:

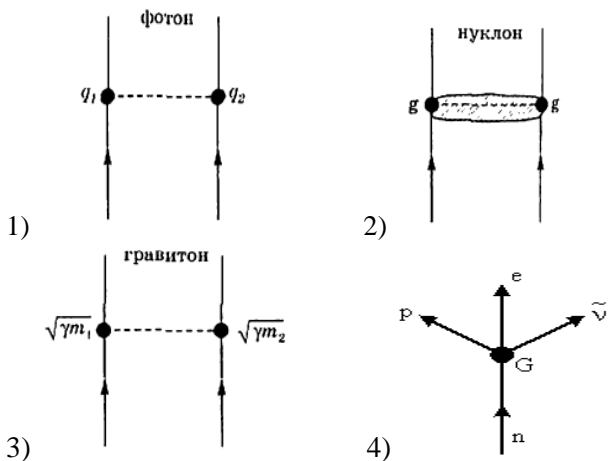
- | | |
|-------------|----------------------|
| 1. фотоны; | А. сильное; |
| 2. лептоны; | Б. электромагнитное; |
| 3. адроны; | В. слабое; |

- 1) 1 – Б, 2 – В, 3 – А; 2) 1 – А, 2 – В, 3 – Б;
3) 1 – В, 2 – А, 3 – Б

Решение. Как было сказано в теоретическом введении, в сильном взаимодействии участвуют только адроны, характерным для лептонов является участие в слабых взаимодействиях (хотя они участвуют также и в электромагнитных, и в гравитационных взаимодействиях), а фотоны являются переносчиками электромагнитных взаимодействий.

Правильный ответ: 1).

Задание 32-2. Укажите квантовую схему, соответствующую гравитационному взаимодействию.



Решение. На приведенных в задании вариантах ответов показаны так называемые диаграммы Фейнмана для разных типов фундаментальных взаимодействий. Первая диаграмма относится к электромагнитному взаимодействию, вторая – к сильному, третья – к гравитационному, четвертая – к слабому.

Правильный ответ: 3).

Задания для самостоятельной работы

32.1. В процессе гравитационного взаимодействия принимают участие ...

- 1) только частицы, имеющие нулевую массу покоя;
- 2) только нуклоны;
- 3) все элементарные частицы.

32.2. Участниками гравитационного взаимодействия являются..

- 1) только частицы, не имеющие электрического заряда;
- 2) только частицы;
- 3) все материальные объекты;
- 4) только волны.

32.3. К свойствам слабого взаимодействия относится его способность...

- 1) удерживать протоны и нейтроны в ядре;
- 2) охватывать области пространства чрезвычайно малой протяженности;
- 3) превышать по интенсивности электромагнитное взаимодействие;
- 4) влиять на макроскопические объекты

32.4. Участниками слабого взаимодействия являются...

- 1] электроны; 2] протоны; 3] нейтроны; 4] фотоны.

32.5. Укажите, какие из утверждений относятся к слабому взаимодействию...

- 1] его частица-переносчик – векторный бозон;
- 2] его частица-переносчик – фотон;
- 3] оно проявляется при бета – распадах частиц;
- 4] оно проявляется при взаимодействии тел с большой массой.

32.6. В процессе сильного взаимодействия принимают участие

- 1) фотоны; 2) нуклоны; 3) электроны.

32.7. В процессе сильного взаимодействия **не** принимают участия...

- 1) фотоны; 2) протоны; 3) нейтроны.

32.8. Внутреннюю структуру адронов и ядер определяет _____ взаимодействие.

- 1) слабое;
- 2) электромагнитное;
- 3) сильное;
- 4) гравитационное

32.9. В процессе электромагнитного взаимодействия принимают участие...

- 1) фотоны;
- 2) нейтрино;
- 3) нейтроны.

32.10. Укажите, какие из утверждений относятся к электромагнитному взаимодействию...

- 1] оно обеспечивает стабильность атомного ядра;
- 2] оно обеспечивает взаимодействие электрически заряженных частиц;
- 3] его частица-переносчик – фотон;
- 4] его частица-переносчик – глюон.

32.11. Участниками сильного взаимодействия являются ...

- 1] протоны;
- 2] нейтроны;
- 3] фотоны;
- 4] электроны.

32.12. Укажите, какие из утверждений относятся к сильному взаимодействию...

- 1] оно обеспечивает стабильность атомного ядра;
- 2] его частица-переносчик – глюон;
- 3] его частица-переносчик – гравитон;
- 4] оно обеспечивает взаимодействие электрически заряженных частиц.

32.13. Распад нейтрона объясняется существованием...

- 1) слабого взаимодействия;
- 2) сильного взаимодействия;
- 3) электромагнитного взаимодействия.

32.14. В природе осуществляются четыре типа фундаментальных взаимодействий. Фотоны участвуют в...

- 1) электромагнитном и гравитационном
- 2) сильном и гравитационном
- 3) слабым, электромагнитном и гравитационном
- 4) сильном, слабым и гравитационном.

32.15. И электроны, и фотоны являются участниками...

- 1] электромагнитного взаимодействия
- 2] гравитационного взаимодействия
- 3] сильного взаимодействия
- 4] слабого взаимодействия.

32.16. В сильном взаимодействии НЕ принимают участие..

- | | |
|-------------|---------------|
| 1] фотоны; | 2] электроны; |
| 3] протоны; | 4] нейтроны. |

32.17. В сильном и слабом взаимодействии **не участвуют**

- | | |
|-------------|---------------|
| 1) фотоны; | 2) нейтроны; |
| 3) протоны; | 4) электроны; |
| 5) мюоны. | |

32.18. Известно четыре вида фундаментальных взаимодействий. В одном из них участниками являются все заряженные частицы и частицы, обладающие магнитным моментом, переносчиками – фотоны. Этот вид взаимодействия характеризуется сравнительной интенсивностью 10^{-2} , радиус его действия равен ...

- 1) 10^{-18} м; 2) 10^{-15} м; 3) 10^{-10} м; 4) ∞

32.10. В порядке возрастания интенсивности фундаментальных взаимодействия располагаются следующим образом ...

- 1) слабое, сильное, гравитационное, электромагнитное;
- 2) электромагнитное, слабое, гравитационное, сильное;
- 3) электромагнитное, гравитационное, слабое, сильное;

- 4) гравитационное, слабое, электромагнитное, сильное;
- 5) гравитационное, электромагнитное, слабое, сильное.

32.20. Силы межмолекулярного взаимодействия в газообразных телах являются примером _____ взаимодействия.

- 1) слабого;
- 2) сильного;
- 3) гравитационного;
- 4) электромагнитного.

32.21. Укажите, какие из утверждений относятся к гравитационному взаимодействию.

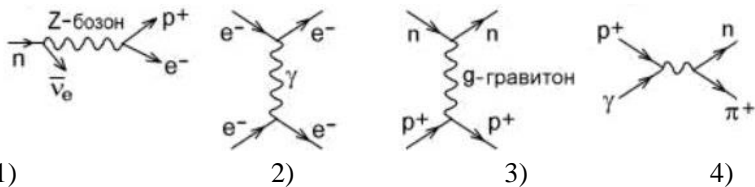
- 1] его частица-переносчик – векторный бозон;
- 2] его частица-переносчик – гравитон, который до сих пор не обнаружен экспериментально;
- 3] оно наиболее существенно при взаимодействии тел с большой массой;
- 4] оно проявляется при бета – распадах частиц.

32.22. Установите соответствие между типом взаимодействия и областью его действия:

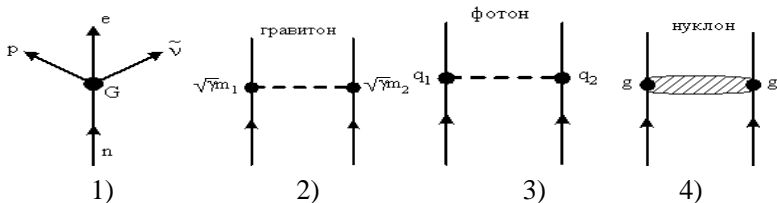
- | | |
|--|---------------------|
| 1) обеспечивает связь элементарных частиц в атомных ядрах; | А. Электромагнитное |
| 2) свойственно всем объектам Вселенной; | Б. Слабое |
| 3) отвечает за большинство распадов элементарных частиц | В. Сильное |
| | Г. Гравитационное |

- 1) 1 – Б, 2 – В, 3 – А
- 2) 1 – А, 2 – В, 3 – Б
- 3) 1 – В, 2 – Г, 3 – Б

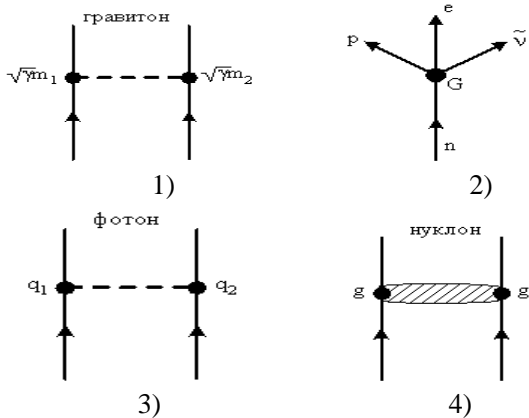
32.23. Выберите процесс, соответствующий электромагнитному взаимодействию элементарных частиц:



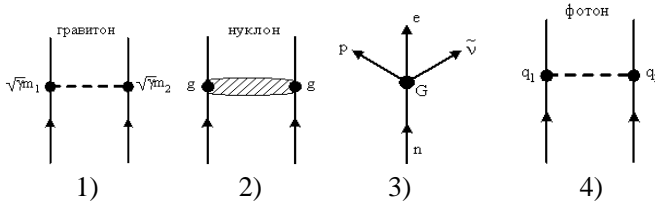
32.24. Укажите квантовую схему, соответствующую слабому взаимодействию.



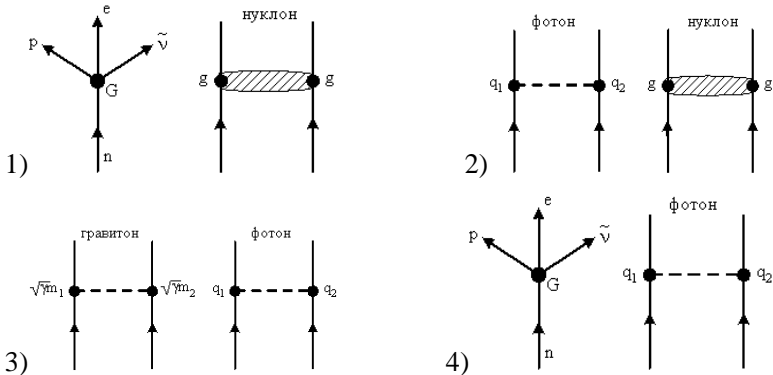
32.25. Укажите квантовую схему, соответствующую электромагнитному взаимодействию.



32.26. Укажите квантовую схему, соответствующую сильному взаимодействию.



32.27. Электрослабое взаимодействие соответствует объединению схем...



32.28. Среди всех элементарных частиц выделяется группа фундаментальных частиц, которые...

- 1) всегда обладают нулевой массой;
- 2) обязательно обладают бесконечным временем жизни;
- 3) не могут быть обнаружены во время их существования;
- 4) не обнаруживают внутренней структуры и конечных размеров в современных экспериментах

32.29. Существование четырех видов взаимодействия: гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного, признается в рамках _____ картины мира.

- 1) химической;
- 2) механической;
- 3) неклассической;
- 4) электромагнитной.

32.30. Установите соответствие между видами фундаментальных взаимодействий и переносчиками этих взаимодействий:

- | | |
|----------------------|--------------|
| 1) электромагнитное; | А. нейтроны |
| 2) сильное; | Б. гравитоны |
| 3) слабое; | В. глюоны |
| 4) гравитационное. | Г. фотоны |
| | Д. бозоны |

Ответы к заданиям для самостоятельной работы

21. Интерференция и дифракция света

21.1	21.2	21.3	21.4	21.5	21.6	21.7	21.8	21.9	21.10
4	2	2	2	1	3	1	1	1	4
21.11	21.12	21.13	21.14	21.15	21.16	21.17	21.18	21.19	21.20
2	3	2	1	6000	3	4	4	3	4
21.21	21.22	21.23	21.24	21.25	21.26	21.27	21.28	21.29	21.30
1	8	1	1	2	5	4	1	3	4
21.31	21.32	21.33	21.34	21.35					
1	4	9	3	3					

22. Поляризация и дисперсия света

22.1	22.2	22.3	22.4	22.5	22.6	22.7	22.8	22.9	22.10
4	2	1	3	3	4	1	2	4	3
22.11	22.12	22.13	22.14	22.15	22.16	22.17	22.18	22.19	22.20
2	4	1	4	1	3	1	1	4	3
22.21	22.22	22.23	22.24						
2	3	4	3						

23. Тепловое излучение. Фотоэффект

23.1	23.2	23.3	23.4	23.5	23.6	23.7	23.8	23.9	23.10
3	1	3	1	1	2	2	1	1	5
23.11	23.12	23.13	23.14	23.15	23.16	23.17	23.18	23.19	23.20
3142	3	3	3	2	3	3	2	2	4
23.21	23.22	23.23	23.24	23.25	23.26	23.27	23.28	23.29	23.30
2	1	5	3	3	1	3	3	1	3
23.31	23.32	23.33	23.34	23.35					
4	4	3	1,2	1,2					

24. Эффект Комптона. Световое давление

24.1	24.2	24.3	24.4	24.5	24.6	24.7	24.8	24.9	24.10
1	180	3	2	42	6	4800	2	2	3
24.11	24.12	24.13	24.14	24.15	24.16	24.17	24.18	24.19	24.20
3	1	3	4	4	1	2	8	1	150
24.21	24.22	24.23	24.24						
7	60	10	20						

25. Спектр атома водорода. Правило отбора.

25.1	25.2	25.3	25.4	25.5	25.6	25.7	25.8	25.9	25.10
2	3	1	3	3	2	1	4,5	3	3
25.11	25.12	25.13	25.14	25.15	25.16	25.17	25.18	25.19	25.20
1	4	1	2	4	2,3	1,2	1,2	3	5
25.21	25.22	25.23	25.24	25.25					
2,4.	1,2	1,2	3,4	3					

26. Дуализм свойств микрочастиц. Соотношение неопределенностей Гейзенберга

26.1	26.2	26.3	26.4	26.5	26.6	26.7	26.8	26.9	26.10
4	4	1	2	1	1	1	5	2	2
26.11	26.12	26.13	26.14	26.15	26.16	26.17	26.18	26.19	26.20
4	1	4	4	4	1	3	4	4	2
26.21	26.22	26.23							
3	4	2							

27. Уравнение Шредингера (общие свойства)

27.1	27.2	27.3	27.4	27.5	27.6	27.7	27.8	27.9	
5	3	1	4	2	3	3	4	2	

28. Уравнение Шредингера (конкретные ситуации)

28.1	28.2	28.3	28.4	28.5	28.6	28.7	28.8	28.9	28.10
3	2	2	4	4	2	2	1	4	3
28.11	28.12	28.13	28.14	28.15	28.16	28.17	28.18	28.19	28.20
3	1	1	4	1	3	2	1	3	3

29. Ядро. Элементарные частицы

29.1	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.7	29.8	29.9	29.10
5	1	3	3	4	1,2	4	4	3	4
29.11	29.12	29.13	29.14	29.15	29.16	29.17	29.18	29.19	29.20
1	2	2	2	1	5	1	4	3	1
29.21	29.22	29.23	29.24	29.25	29.26	29.27	29.28	29.29.	29.30
3	1	2	3	1	2	4	1	3	1
29.31	29.32	29.33	29.34	29.35	29.36	29.37	29.38	29.39.	29.40.
2	1	3	3	2	2	3	1	4	4
29.41	29.42	29.43.							
3	2	3							

30. Ядерные реакции

30.1	30.2	30.3	30.4	30.5	30.6	30.7	30.8	30.9	30.10
2	2	3	1	3	4	4	3	2	3
30.11	30.12	30.13	30.14	30.15	30.16	30.17	30.18	30.19	30.20
2	3	3	1	3	3	4	1	1	4
30.21	30.22	30.23	30.24	30.25	30.26	30.27	30.28	30.29	30.30
1	1	3	2	1	2	1,4	4	4	3

31. Законы сохранения в ядерных реакциях

31.1	31.2	31.3	31.4	31.5	31.6	31.7	31.8	31.9	31.10
2	3	1,4	2	2	1	1	2	2	4
31.11	31.12	31.13	31.14	31.15	31.16	31.17	31.18	31.19	31.20
1	2	1	2	1	2	4	2	4	1
31.21									
2									

32. Фундаментальные взаимодействия

32.1	32.2	32.3	32.4	32.5	32.6	32.7	32.8	32.9	32.10
3	3	2	1,4	1,3	2	1	3	1	2,3
32.11	32.12	32.13	32.14	32.15	32.16	32.17	32.18	32.19	32.20
1,2	1,2	2	1	1,2	1,2	1	3	4	1
32.21	32.22	32.23	32.24	32.25	32.26	32.27	32.28	32.29	32.30
2,3	3	2	1	3	2	4	4	3	ГВДБ

Список использованных источников

1. Федеральный Интернет-экзамен в сфере профессионального образования/ URL: <http://www.fepo-nica.ru/>(дата последнего обращения: 11.01.2013)
2. Сабирова Ф.М., Акулинина А.В. Оптика: Учебно-методическое пособие по физике Елабуга: изд-во Елабужского пед. ун-та, 2007.– 58 с.
3. Сабирова Ф.М. Лекции по курсу общей физики. Квантовая физика/ Учебно-методическое пособие для студентов физико-математического факультета педвуза и школьных учителей физики. Елабуга: изд-во Елабужского пед. ин-та, 2004.– 75 с.
4. Сабирова Ф.М. Физика. Часть 2. (Электричество. Оптика. Квантовая физика). *Учебно-методическое пособие для студентов биологического факультета.* Елабуга: изд-во Елабужского пед. ун-та, 2009.– 70 с.
5. Калашников Н.П., Кожевников Н.М. Физика. Интернет-тестирование базовых знаний: Учебное пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2009. – 160 с.
6. НИИ мониторинга качества образования, Интернет-тестирование в сфере образования. URL: <http://www.i-exam.ru/> (дата последнего обращения: 29.05.2013).
7. Помогаем сдать тестирование // <http://i-exam.net/fizika/> (дата последнего обращения: 29.05.2012).
8. Тестовый контроль знаний по физике Часть 1. Механика, механические колебания и волны: Учебно-методическое пособие / Под ред. А.Ф. Гусева. – Тверь: Изд-во Тверского ГТУ. – 2009, 40 с.
9. Попов В.Ю., Троицкий В.И. Методы решения тестовых задач по физике / Учебно-методическое пособие. – М: УВПО «Финансовый университет при правительстве Российской Федерации». – 2011, 72 с. – URL: <http://www.fa.ru/chair/pm/education/undergraduate/DocumentsМетоды решения задач-1.pdf>/(дата последнего обращения: 11.05.2013)

Содержание

Предисловие	3
ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА	5
21. Интерференция и дифракция света	5
25. Поляризация и дисперсия света	24
23. Тепловое излучение. Фотоэффект	37
24. Эффект Комптона. Световое давление	53
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И ФИЗИКА АТОМА	62
25. Спектр атома водорода. Правило отбора	62
29. Дуализм свойств микрочастиц. Соотношение неопределенностей Гейзенберга	76
27. Уравнение Шредингера (общие свойства)	84
28. Уравнение Шредингера (конкретные ситуации)	91
ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ	100
29. Ядро. Элементарные частицы	100
30. Ядерные реакции	112
31. Законы сохранения в ядерных реакциях	123
32. Фундаментальные взаимодействия	131
Ответы к заданиям для самостоятельной работы	142
Список использованных источников	145

САБИРОВА Файруза Мусовна

МУХУТДИНОВА Лейсан Актасовна

Сборник тестовых заданий по физике

Часть 3.

Оптика. Квантовая физика

Учебно-методическое пособие.

Техническое редактирование и компьютерная верстка

Ф.М. Сабировой

Подписано к печати 27.06.2013.

Сдано в печать 19.11.2013 г.

Формат 60×84. Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая.

Усл.печ.л. 9. Тираж 300 экз. Заказ № 216

Министерство образования и науки РТ

Редакционно-издательский центр

420111, Казань, Дзержинского, 3. Тел. 292-24-76

Отпечатано с готового оригинал-макета в РИО ГБУ «РИЦМКО»