



Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный
университет»

ФИЗИКА

Часть 3

**Оптика, квантовая физика, атом, ядро,
элементарные частицы**

Сборник тестов

**для подготовки к интернет-тестированию
студентов всех направлений специалитета
и бакалавриата**

Екатеринбург

2013

Министерство образования и науки
Российской Федерации
ФГБОУ ВПО
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО

Методической комиссией ФГиГ

«_____» _____ 2013 г.

Председатель комиссии

_____ проф. В. И. Бондарев

ФИЗИКА

Часть 3

Оптика, квантовая физика, атом, ядро,
элементарные частицы

Сборник тестов

**для подготовки к интернет-тестированию
студентов всех направлений специалитета
и бакалавриата**

Рецензент: Виноградов В. Б., доц. каф. геофизики УГГУ, канд. геол. - минерал. наук.

Сборник тестов рассмотрен на заседании кафедры физики 03 июня 2013 г. (протокол № 66) и рекомендован для издания в УГГУ.

ФИЗИКА. Часть 3. Оптика, квантовая физика, атом, ядро,
Ф 48 элементарные частицы: сборник тестов для подготовки к интернет-тестированию студентов всех направлений специалитета и бакалавриата / Л. П. Житова, С. А. Смольников, С. Н. Шитова, М. В. Калачева; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. — 86 с.

Сборник тестов содержит краткие теоретические сведения по разделам физики: «Волновая и квантовая оптика», «Квантовая физика», «Физика атома, ядра и элементарных частиц». Тематическая структура определяется дидактическими единицами государственных образовательных стандартов.

Сборник тестов предназначен для студентов всех специальностей УГГУ для самостоятельной работы при подготовке к экзаменам по физике и интернет-тестированию. Рекомендуются для проверки знаний студентов на зачетах и экзаменах по физике в УГГУ.

© Житова Л. П., Смольников С. А.,
Шитова С. Н., Калачева М. В., 2013
© Уральский государственный горный
университет, 2013

V. ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА

21. Законы геометрической оптики. Интерференция и дифракция света

- **Абсолютный показатель преломления n** показывает, во сколько раз скорость света в вакууме больше скорости света в среде:

$$n = \frac{c}{v}$$

- **Относительный показатель преломления n_{21}** второй среды относительно первой – отношение абсолютных показателей n_2 и n_1 двух сред:

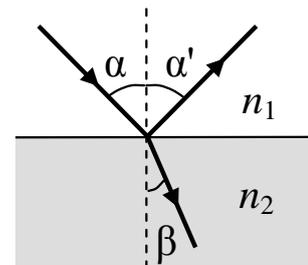
$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

- **Закон отражения** – угол падения равен углу отражения:

$$\alpha = \alpha'$$

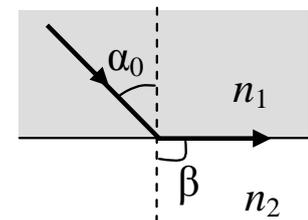
- **Закон преломления** – отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$



- **Явление полного отражения света** – явление, при котором свет, падающий на границу раздела двух сред, полностью отражается. Это возможно при переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную ($n_1 > n_2$; $v_1 < v_2$).

- **Предельный угол полного внутреннего отражения α_0** – такой угол падения, при котором преломлённый луч скользит по границе раздела двух сред (угол преломления $\beta = 90^\circ$):



$$\sin \alpha_0 = n_{21}$$

- **Когерентные волны** – волны, имеющие одинаковую частоту (длину волны) и постоянную разность фаз.

Для получения когерентных волн свет от одного источника делят на 2 части, которые после прохождения разных оптических путей снова сводят вместе. Практически это можно осуществить с помощью экранов и щелей (опыт Юнга), зеркал и преломляющих тел (зеркала и бипризма Френеля).

- **Монохроматические волны** – волны одной частоты (длины волны).
- **Белый свет** – немонахроматический, содержит волны всех частот (длин волн) видимого спектра.
- **Интерференция света** – сложение в пространстве двух или нескольких когерентных световых волн, при котором в разных его точках получается усиление (максимум) или ослабление (минимум) амплитуды результирующей волны.
- **Оптическая длина пути световой волны:**

$$L = n\ell,$$

где ℓ – геометрическая длина пути в среде с показателем преломления n .

- **Оптическая разность хода двух световых волн:**

$$\Delta = L_1 - L_2 = n(\ell_1 - \ell_2).$$

- **Условие интерференционного максимума** (усиления света) – оптическая разность хода двух лучей равна четному числу половолн (или разность фаз равна четному числу π):

$$\Delta_{\max} = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (\text{или } \Delta\varphi_{\max} = \pm 2k\pi),$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ – целое число, порядок максимума.

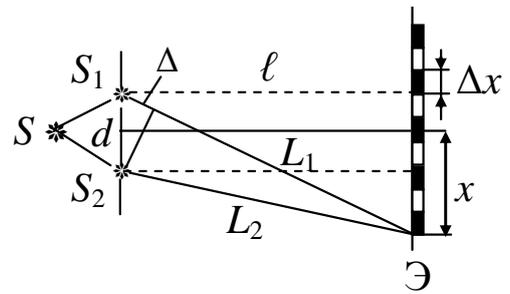
- **Условие интерференционного минимума** (ослабления света) – оптическая разность хода двух лучей равна нечетному числу половолн (или разность фаз равна нечетному числу π):

$$\Delta_{\min} = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (\text{или } \Delta\varphi_{\min} = \pm(2k + 1)\pi),$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ – целое число, порядок минимума.

При решении задач на интерференцию оптическую разность хода Δ приравнивают к условию минимума Δ_{\min} или максимума Δ_{\max} (в зависимости от условия задачи).

- **Опыт Юнга** (интерференция от двух щелей): интерференционная картина на экране представляет собой чередование светлых (или цветных) и тёмных полос равной ширины.



Оптическая разность хода:

$$\Delta = \frac{xd}{\ell},$$

где x – расстояние от центра экрана до рассматриваемой точки;

d – расстояние между щелями;

ℓ – расстояние от источников до экрана Э.

Положения (координаты) максимумов и минимумов:

$$x_{\max} = k \frac{\ell\lambda}{d}; \quad x_{\min} = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\ell\lambda}{d},$$

где k – номер максимума (или минимума);

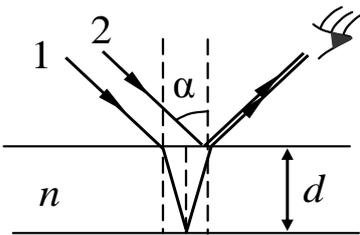
λ – длина волны падающего света.

Ширина интерференционной полосы (расстояние между соседними максимумами или минимумами):

$$\Delta x = \frac{\ell}{d} \lambda.$$

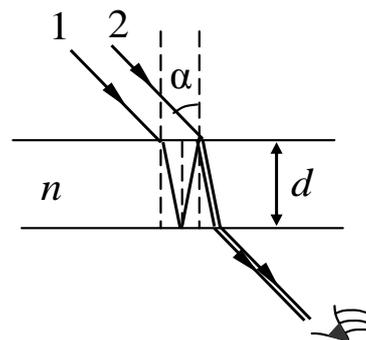
- **Оптическая разность хода при интерференции в тонких пленках:**

В отражённом свете



$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2};$$

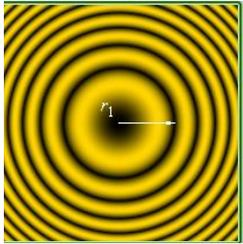
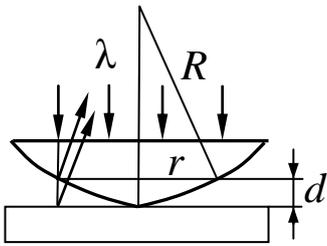
В проходящем свете



$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha},$$

где d – толщина пленки; n – показатель преломления пленки;

α – угол падения; $\frac{\lambda}{2}$ – половина длины волны, которая учитывается при отражении от оптически более плотной среды.



• **Кольца Ньютона** – концентрические окружности, которые образуются при отражении света от двух поверхностей воздушного зазора, образованного плоскопараллельной пластинкой и соприкасающейся с ней плоско-выпуклой линзой с большим радиусом кривизны.

• **Радиус светлого кольца Ньютона в отраженном свете** (или темного кольца в проходящем свете):

$$r_k = \sqrt{2Rd} = \sqrt{(2k-1)R \frac{\lambda}{2n}} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

где R – радиус кривизны линзы;

d – толщина воздушного зазора в месте k -го кольца (выводится из теоремы Пифагора);

λ – длина волны падающего света;

n – показатель преломления среды между линзой и пластинкой (для воздуха $n = 1$);

k – номер кольца.

• **Радиус темного кольца Ньютона в отраженном свете** (или светлого кольца в проходящем свете):

$$r_k = \sqrt{2Rd} = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n}} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

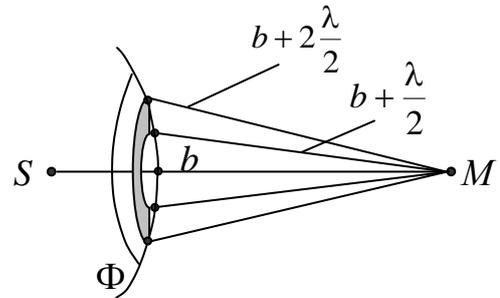
• **Дифракция** – любое отклонение от прямолинейного распространения волн вблизи препятствий от законов геометрической оптики. Это приводит к огибанию световыми волнами препятствий, попаданию света в область геометрической тени, проникновению через небольшие отверстия. (Размер препятствия или отверстия должен быть соизмерим с длиной волны).

Различают два вида дифракции:

а) **дифракция Френеля (в сходящихся лучах)**, когда дифракционная картина наблюдается на конечном расстоянии от препятствия (дифракция на диске или круглом отверстии);

б) **дифракция Фраунгофера (в параллельных лучах)**, когда источник света и точка наблюдения бесконечно удалены от препятствия (дифракция на щели и решетке).

- **Зоны Френеля** – кольцевые зоны одинаковой площади, на которые разбит фронт волны Φ , такого размера, чтобы расстояния от краёв зоны до точки наблюдения M отличались на $\lambda/2$.



- **Дифракция Френеля.**

а) *На круглом отверстии.*

Дифракционная картина имеет вид чередующихся темных и светлых колец с *темным* центром, если в отверстии укладывается *четное* число зон Френеля, и *светлым*, если – *нечетное* число зон Френеля.

б) *На диске.*

Дифракционная картина такая же, как и на отверстии, но в центре *всегда светлое* пятно.

- **Дифракция Фраунгофера на одной щели.**

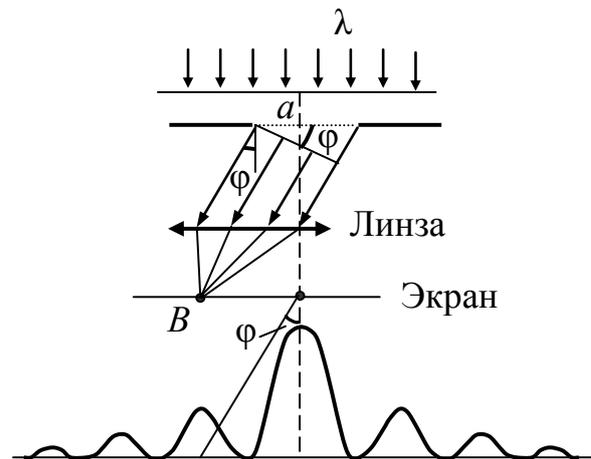
а) *Условие дифракционного максимума:*

$$a \sin \varphi = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где a – ширина щели;

φ – угол дифракции;

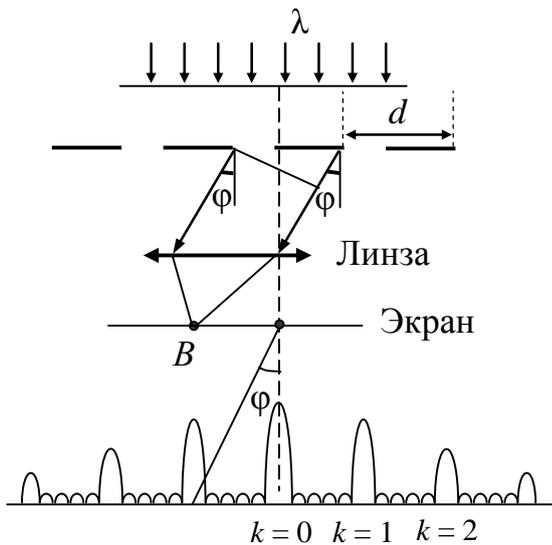
k – порядок максимума ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$).



б) *Условие дифракционного минимума:*

$$a \sin \varphi = \pm 2k \frac{\lambda}{2}.$$

- **Дифракционная решётка** – система параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделённых одинаковыми непрозрачными промежутками.



- **Период (постоянная) решётки d** – сумма ширины прозрачной щели a и ширины непрозрачного промежутка b :

$$d = \frac{\ell}{N} = \frac{1}{n},$$

- где ℓ – ширина решетки;
- N – число щелей;
- n – число щелей, приходящихся на единицу длины.

- **Условие главных дифракционных максимумов при дифракции на решётке:**

$$d \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Между двумя соседними главными максимумами располагаются добавочные максимумы. Чем *больше* N , тем больше побочных максимумов, тем *более узкие* главные максимумы.

При освещении решётки белым светом все максимумы, кроме центрального, разлагаются в спектр, *фиолетовая* область которого будет обращена *к центру* дифракционной картины, *красная* – *наружу* (поскольку $\lambda_{\text{ф}} < \lambda_{\text{кр}}$). При этом спектры разных порядков могут перекрываться.

- **Наибольший порядок спектра дифракционной решетки:**

$$k = \frac{d}{\lambda}.$$

(Поскольку k – целое число, то оно округляется всегда в меньшую сторону).

- **Наибольшее число главных максимумов дифракционной решетки:**

$$m = 2k + 1 = 2 \frac{d}{\lambda} + 1.$$

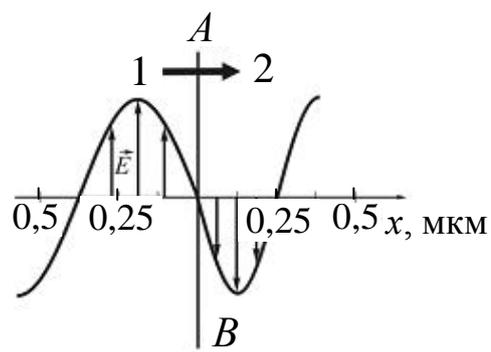
- **Разрешающая способность дифракционной решетки:**

$$R = kN,$$

где N – число щелей; k – порядок спектра.

Тестовые задания

21.1. На рисунке представлена мгновенная фотография электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела AB . Если среда 1 – вакуум, то абсолютный показатель преломления среды 2 равен...

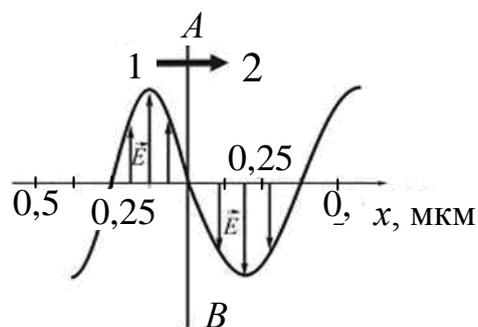


- 1) 1,75; 2) 0,84; 3) 0,67; 4) 1,5.

21.2. Для условия теста 21.1 скорость света в среде 2 равна ...

- 1) $1,5 \cdot 10^8$ м/с; 2) $2,4 \cdot 10^8$ м/с;
3) $2,0 \cdot 10^8$ м/с; 4) $2,8 \cdot 10^8$ м/с.

21.3. На рисунке представлена мгновенная фотография электрической составляющей электромагнитной волны, переходящей из среды 1 в среду 2 перпендикулярно границе раздела AB . Отношение скорости света в среде 1 к его скорости в среде 2 равно...



- 1) 1,75; 2) 1,5; 3) 0,67; 4) 0,84.

21.4. Радужные пятна на поверхности воды, покрытой тонкой пленкой бензина, объясняются...

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

21.5. Постоянно меняющаяся радужная окраска мыльных пузырей объясняется...

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

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

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

21.7. При интерференции двух когерентных волн с длиной волны 2 мкм интерференционный максимум 1-го порядка наблюдается при разности хода, равной...

- 1) 2 мкм; 2) 1 мкм; 3) 4 мкм; 4) 0.

21.8. При интерференции когерентных лучей с длиной волны $\lambda = 400$ нм максимум второго порядка возникает при разности хода, равной...

- 1) 100 нм; 2) 800 нм; 3) 200 нм; 4) 400 нм.

21.9. При интерференции когерентных лучей с длиной волны $\lambda = 500$ нм максимум первого порядка возникает при разности хода, равной...

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

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

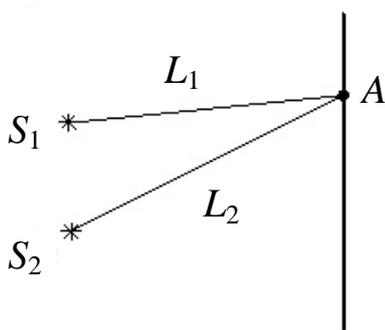
- 1) $\Delta = k\lambda$; 2) $\Delta = \lambda/4$;
3) $\Delta = (2k+1)\lambda/2$; 4) $\varphi_1 - \varphi_2 = 2k\pi$.

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

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

21.12. Разность хода двух интерферирующих лучей монохроматического света равна $\lambda/4$. При этом разность фаз колебаний равна...

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



21.13. Если S_1 и S_2 – источники когерентных волн, а L_1 и L_2 – расстояния от точки A до источников, то в точке A наблюдается максимум интерференции в воздухе при условии...

- 1) $L_2 - L_1 = (2m - 1)\frac{\lambda}{2}$, ($m = 1, 2, 3, \dots$);
2) $L_2 - L_1 = (2m - 1)\frac{\lambda}{4}$, ($m = 1, 2, 3, \dots$);
3) $L_2 - L_1 = 2m\frac{\lambda}{2}$, ($m = 0, 1, 2, \dots$);
4) $L_2 - L_1 = m\frac{\lambda}{2}$, ($m = 0, 1, 2, \dots$).

21.14. Для точки A теста 21.13 оптическая разность хода лучей от двух когерентных источников S_1 и S_2 равна $1,2 \text{ мкм}$. Если длина волны в вакууме 600 нм , то в точке A будет наблюдаться...

- 1) минимум интерференции, так как разность хода равна нечетному числу полуволн;
- 2) максимум интерференции, так как разность хода равна четному числу полуволн;
- 3) минимум интерференции, так как разность хода равна четному числу полуволн;
- 4) максимум интерференции, так как разность хода равна нечетному числу полуволн.

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

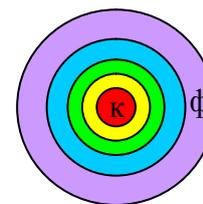
- 1) $\pi/2$;
- 2) 2π ;
- 3) 0 ;
- 4) π .



21.16. При наблюдении интерференции фиолетового света в опыте Юнга расстояние между соседними темными полосами на экране равно 2 мм . Если источник фиолетового света заменить источником красного света, длина волны которого в $1,5$ раза больше, то это расстояние станет равным...

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

21.17. Масляное пятно на поверхности воды имеет вид, показанный на рисунке (центр – красный, край – фиолетовый). Толщина пленки от края к центру...

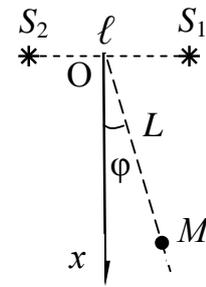


- 1) увеличивается;
- 2) не изменяется;
- 3) уменьшается;
- 4) сначала уменьшается, затем увеличивается;
- 5) сначала увеличивается, затем уменьшается.

21.18. Тонкая пленка, освещенная белым светом, вследствие явления интерференции в отраженном свете имеет зеленый цвет. При уменьшении толщины пленки ее цвет....

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

21.24. Два гармонических осциллятора, колеблющихся с одинаковыми частотой и начальной фазой, находятся на расстоянии $\ell = 2\lambda$ 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) 30° ; 2) 90° ; 3) 60° ; 4) 0° .

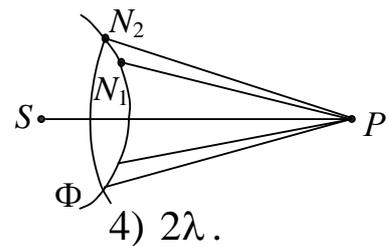
21.25. Волновой фронт точечного источника, разбитый на зоны одинаковой площади, представляет собой...

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

21.26. Если закрыть n открытых зон Френеля, а открыть только первую, то амплитудное значение вектора напряженности электрического поля...

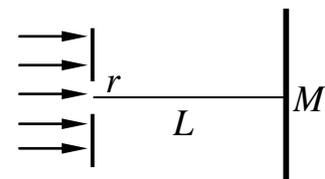
- 1) увеличится в 2 раза; 2) уменьшится в 2 раза;
3) увеличится в n раз; 4) не изменится.

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



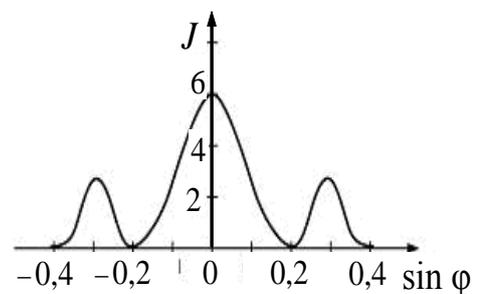
- 1) $\frac{\lambda}{4}$; 2) $\frac{\lambda}{2}$; 3) λ ; 4) 2λ .

21.28. 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 помещают экран. В отверстии диафрагмы для точки M укладывается число зон Френеля, равное...

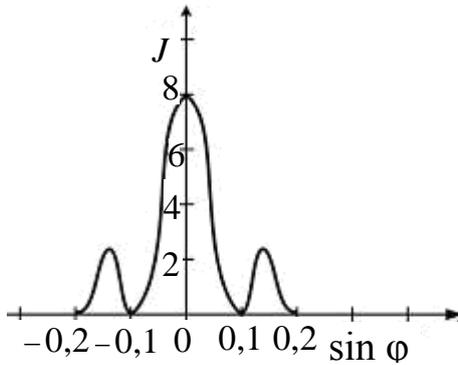


- 1) 2; 2) 8; 3) 4; 4) 5.

21.29. На узкую щель шириной b падает нормально плоская световая волна с длиной волны λ . На рисунке схематически представлена зависимость интенсивности света от синуса угла дифракции. Отношение $\frac{b}{\lambda}$ равно...



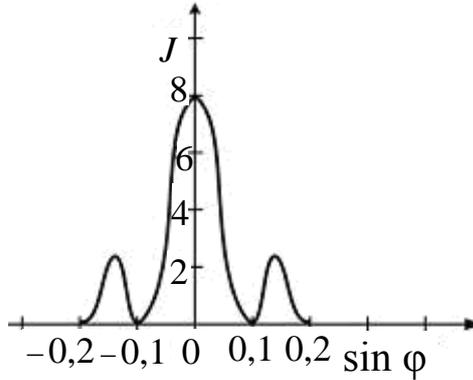
- 1) 2; 2) 4; 3) 6; 4) 5.



21.30. Зависимость интенсивности монохроматического излучения длиной волны $\lambda = 500$ нм от синуса угла дифракции представлена на рисунке. Дифракция наблюдается на щели шириной b , равной...

- 1) 5 мкм;
- 2) 2 мкм;
- 3) 1 мкм;

21.31. При дифракции дифракционной решетке $d = 0,004$ мм зависимость монохроматического синуса угла дифракции, на рисунке (изображены максимумы). Длина



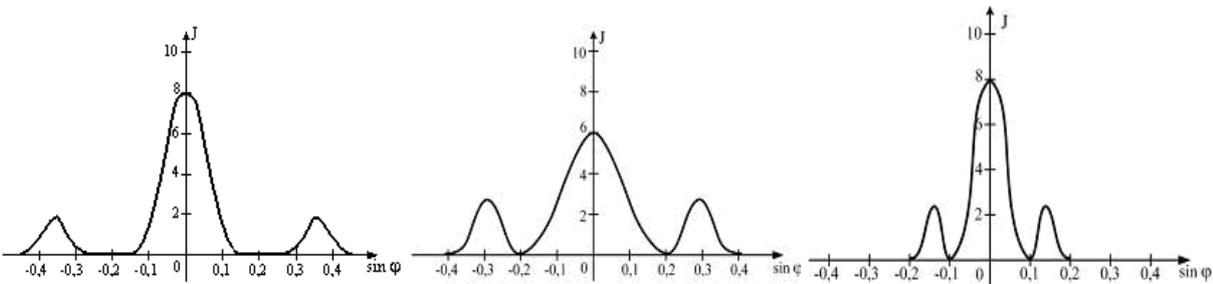
на с периодом наблюдается интенсивности излучения от представленная только главные волны равна...

- 1) 400 нм;
- 2) 500 нм;
- 3) 600 нм
- 4) 560 нм.

21.32. Дифракционная решетка освещается зеленым светом. При освещении решетки красным светом картина дифракционного спектра на экране...

- 1) исчезнет;
- 2) не изменится;
- 3) расширится;
- 4) сузится;
- 5) зависит от параметров решетки.

21.33. Одна и та же дифракционная решетка освещается различными монохроматическими излучениями с разными интенсивностями J . Какой рисунок соответствует случаю освещения светом с наименьшей длиной волны?



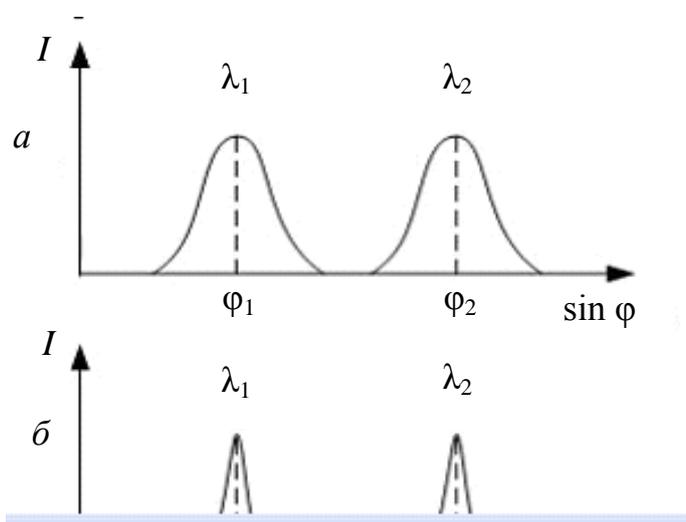
- 1)
- 2)
- 3)

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

- 1) 4; 2) 5; 3) 8; 4) 9.

21.35. Свет от некоторого источника представляет собой две плоские монохроматические волны с длинами волн λ_1 и λ_2 . Имеются две дифракционные решетки с числом щелей N_1 , N_2 и периодами d_1 , d_2 соответственно.

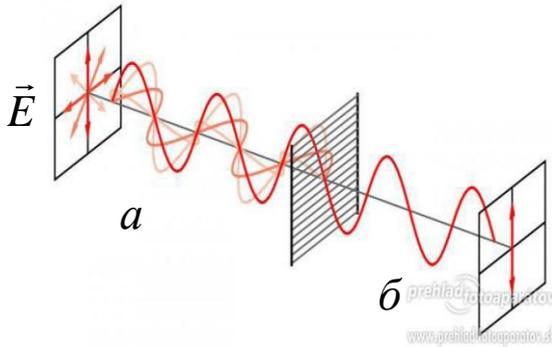
При нормальном падении света на решетку 1 получено изображение максимумов,



показанное на рис. а. После того как решетку 1 поменяли на решетку 2, изображение максимумов стало, как показано на рис. б. Периоды решеток и число щелей соотносятся следующим образом...

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

22. Поляризация и дисперсия света



- **Естественный свет** – свет, в котором световой вектор (вектор напряженности \vec{E} электрического поля) колеблется во всех направлениях (рис. а).

- **Поляризованный свет** – свет, в котором направления колебаний светового вектора каким-либо образом упорядочены.

- **Плоскополяризованный (линейно поляризованный) свет** – свет, в котором вектор \vec{E} колеблется только в одном направлении, перпендикулярном лучу (рис. б).

- **Степень поляризации:**

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

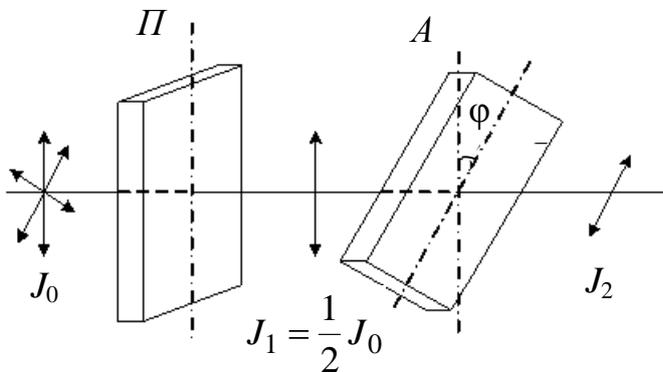
где I_{\max} и I_{\min} – максимальная и минимальная интенсивности света в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Для естественного света $I_{\max} = I_{\min}$ и $P = 0$.

Для плоскополяризованного света $I_{\min} = 0$ и $P = 1$.

- **Закон Малюса:**

$$J_2 = J_1 \cos^2 \varphi = \frac{1}{2} J_0 \cos^2 \varphi,$$



где J_0 – интенсивность естественного света;

J_1 – интенсивность света, прошедшего через поляризатор P ;

J_2 – интенсивность света, прошедшего через анализатор A ;

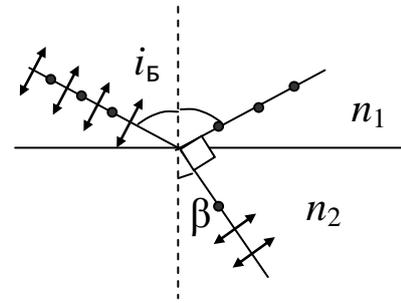
φ – угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора.

- **Закон Брюстера:** отражённый луч максимально поляризован при угле падения i_B (угол Брюстера), определяемым соотношением:

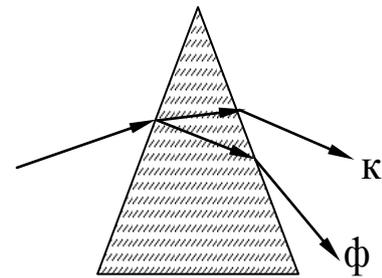
$$\operatorname{tg} i_B = n_{21} = \frac{n_2}{n_1},$$

где n_{21} – относительный показатель преломления.

Преломлённый луч поляризуется частично, при этом отражённый и преломлённый лучи взаимно перпендикулярны.



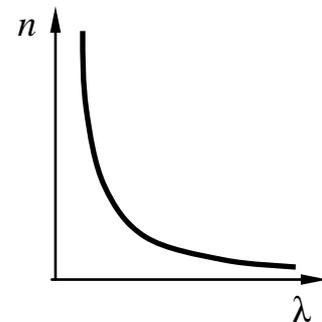
- **Дисперсия** – зависимость показателя преломления n от частоты ν (длины волны λ) света (или зависимость фазовой скорости v световых волн от его частоты).



Следствием дисперсии является разложение в спектр луча белого света при прохождении его через призму.

Дисперсия света проявляется лишь при распространении *не-монохроматических* волн.

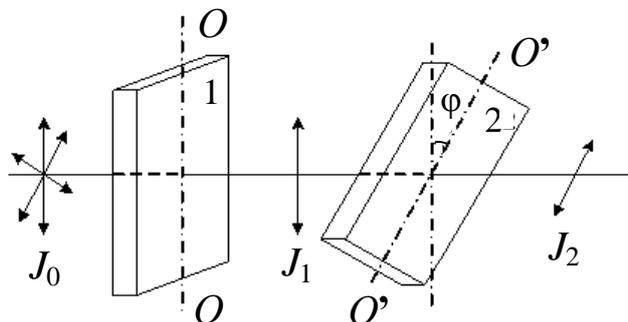
Для всех прозрачных веществ показатель преломления уменьшается с увеличением длины волны (уменьшении частоты). Такая дисперсия называется *нормальной* (см. рисунок).



Если показатель преломления вещества увеличивается с увеличением длины волны (уменьшении частоты), такая дисперсия называется *аномальной*.

При аномальной дисперсии групповая скорость света в веществе больше фазовой скорости.

Тестовые задания



22.1. На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки 1 свет полностью поляризован. Если J_1 , J_2 – интенсивности 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) 90° ; 3) 60° ; 4) 45° .

22.2. Для условия теста 22.1 $J_2 = 0$. Угол между направлениями OO и $O'O'$ равен...

- 1) 30° ; 2) 90° ; 3) 60° ; 4) 0° .

22.3. Для условия теста 22.1 угол между направлениями OO и $O'O'$ равен 45° . Отношение интенсивностей света J_1/J_2 равно...

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

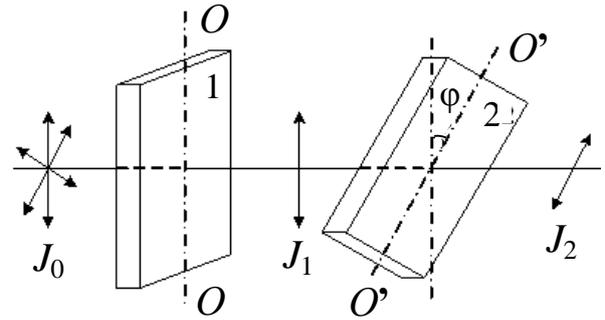
22.4. На идеальный поляризатор падает свет интенсивности $J_{\text{ест}}$ от обычного источника. При вращении поляризатора вокруг направления распространения луча интенсивность света за поляризатором...

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

22.5. Пучок естественного света проходит через два идеальных поляризатора. Интенсивность естественного света равна J_0 , угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен φ . Согласно закону Малюса, интенсивность света после второго поляризатора равна...

- 1) $J = \frac{J_0}{2}$; 2) $J = J_0 \cos^2 \varphi$;
 3) $J = J_0$; 4) $J = \frac{J_0}{2} \cos^2 \varphi$.

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



- 1) 30° ; 2) 90° ; 3) 60° ; 4) 0° .

22.7. Для условия теста 22.6 $J_2 = \frac{3}{4}J_1$, тогда угол между направлениями OO и $O'O'$ равен...

- 1) 30° ; 2) 90° ; 3) 60° ; 4) 0° .

22.8. Для условия теста 22.6 при угле между направлениями OO и $O'O'$, равном $\varphi = 0^\circ$, J_2 и J_1 связаны соотношением...

- 1) $J_2 = J_1/2$; 2) $J_2 = 0$; 3) $J_2 = J_1$; 4) $J_2 = J_1/4$.

22.9. Для условия теста 22.6 при угле между направлениями OO и $O'O'$, равном $\varphi = 30^\circ$, J_2 и J_0 связаны соотношением...

- 1) $J_2 = \frac{3}{4}J_0$; 2) $J_2 = \frac{1}{8}J_0$; 3) $J_2 = \frac{3}{8}J_0$; 4) $J_2 = \frac{1}{4}J_0$.

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

- 1) увеличится в 2 раза; 2) увеличится в $\sqrt{2}$ раз;
3) станет равной нулю; 4) увеличится в 3 раза.

22.11. Пластинку из оптически активного вещества толщиной $d = 2$ мм поместили между двумя параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол 30° . Поле зрения поляриметра станет совершенно темным при минимальной толщине пластинки, равной...

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

22.12. Естественный свет с интенсивностью J_0 падает на вход устройства, состоящего из двух скрещенных поляроидов. Между поляроидами поместили третий поляроид, ось которого составляет с осью первого угол α . Отношение интенсивности света, прошедшего через систему J_3 , к интенсивности падающего света J_0 равно...

- 1) $\frac{1}{4} \sin^2 \alpha$; 2) $\frac{1}{4} \cos^2 \alpha$; 3) $\frac{1}{8} \sin^2 2\alpha$; 4) $\frac{1}{8} \cos^2 2\alpha$.

22.13. На диэлектрическое зеркало под углом Брюстера падает луч естественного света. Для отраженного и преломленного луча справедливы утверждения:

- 1) преломленный луч полностью поляризован;
- 2) оба луча не поляризованы;
- 3) отраженный луч полностью поляризован;
- 4) отраженный луч поляризован частично.

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

- 1) 30° ; 2) 45° ; 3) 90° ; 4) 60° .

22.15. Для условия теста 22.14 показатель преломления диэлектрика равен...

- 1) 1,5; 2) 1,73; 3) 2,0; 4) 1,41.

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

- 1) 1,5; 2) $\sqrt{3}$; 3) 2,0; 4) $\sqrt{2}$.

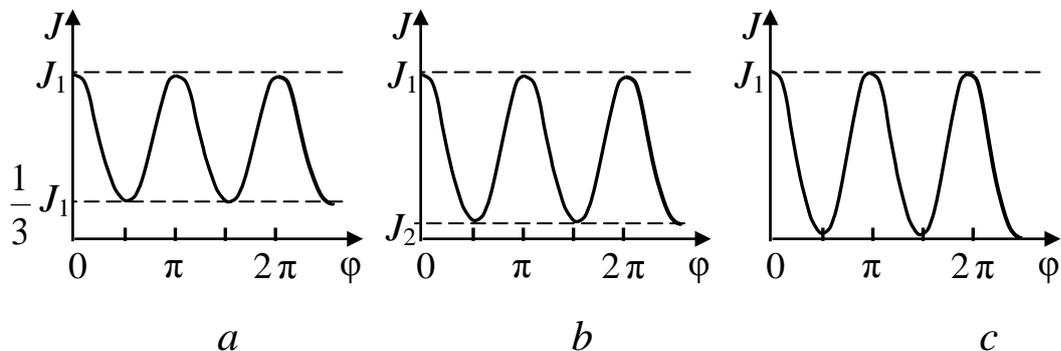
22.17. Для того чтобы уменьшить блеск водной поверхности озера, обусловленный отражением от нее солнечных лучей, применяют солнцезащитные очки с поляроидами. Под каким углом к горизонту находится солнце, если отраженные от поверхности озера лучи полностью гасятся? Как при этом ориентирована плоскость пропускания поляроида?

- 1) 37° , вертикально;
- 2) 37° , горизонтально;
- 3) 53° , вертикально;
- 4) 53° , горизонтально.

22.18. На рисунке представлены графики зависимости интенсивности света J , 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) $P_a < P_b < P_c$.

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

1) интерференцией света;

2) дисперсией света;

3) дифракцией света;

4) поляризацией света.

22.20. Радуга на небе объясняется...

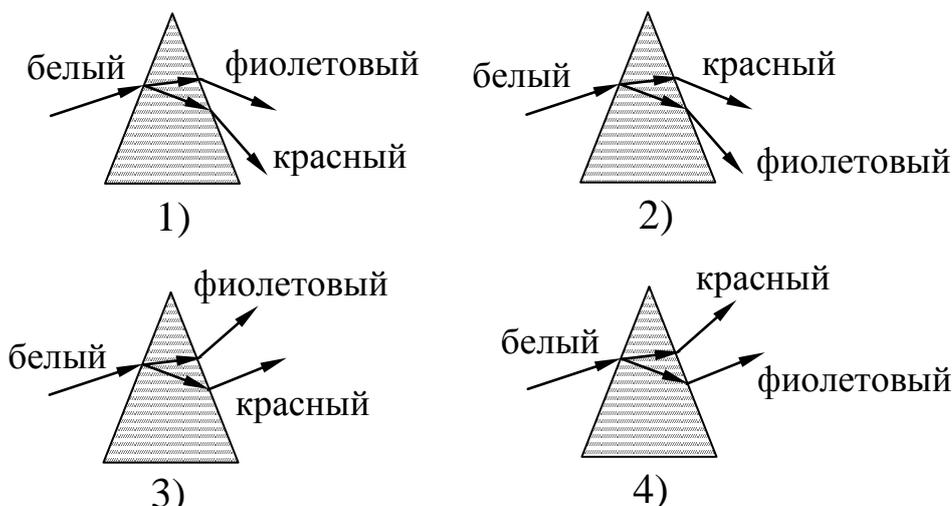
1) дифракцией света;

2) дисперсией света;

3) интерференцией света;

4) поляризацией света.

22.21. В стеклянной призме происходит разложение белого света в спектр, обусловленное дисперсией света. На рисунках представлен ход лучей в призме. Правильно отражает ход лучей рисунок...

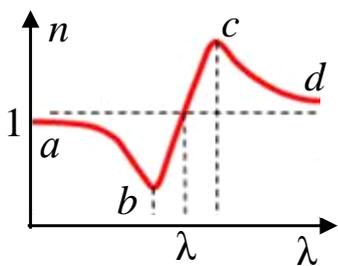


1) 1;

2) 2;

3) 3;

4) 4.

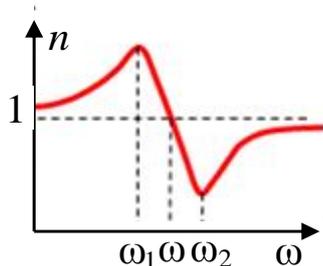


22.22. Кривая дисперсии в области одной из полос поглощения имеет вид, показанный на рисунке. Соотношение между фазовой v и групповой u скоростями для участка bc имеет вид...

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

22.23. Показатель преломления воды для красного света равен 1,329, а для голубого – 1,337. В связи с этим при прохождении света в воде наблюдается...

- 1) нормальная дисперсия;
- 2) аномальная дисперсия;
- 3) оптическая активность;
- 4) поляризация.



22.24. На рисунке изображена дисперсионная кривая. Нормальная дисперсия наблюдается в интервале частот...

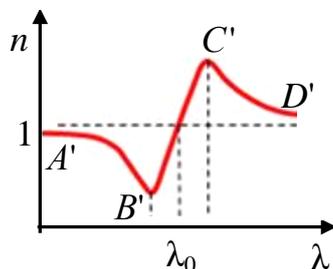
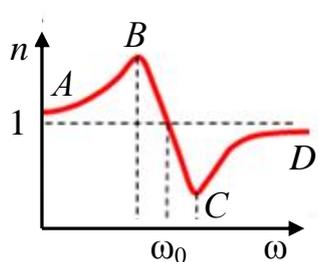
- 1) от ω_0 до ω_2 ;
- 2) от ω_1 до ω_2 ;
- 3) от ω_1 до ω_0 ;
- 4) от 0 до ω_1 и от ω_2 до ∞ .

22.25. Для рисунка теста 22.24 групповая скорость света в веществе больше фазовой скорости для области частот ...

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

22.26. Для рисунка теста 22.24 интенсивное поглощение света наблюдается для диапазона частот...

- 1) от ω_1 до ω_2 ;
- 2) от 0 до ω_1 ;
- 3) от ω_1 до ω_0 ;
- 4) от ω_2 до ∞ .



22.27. Графики дисперсионных кривых зависимостей показателя преломления среды от частоты ω и длины волны λ имеют вид, представленный

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

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

23. Тепловое излучение. Фотоэффект

- **Абсолютно черное тело** (АЧТ) – тело, способное при любой температуре полностью поглощать падающее на него излучение всех частот. (Цвет его может быть любым).
- **Энергетическая светимость** (интегральная излучательная способность) R_e – энергия, излучаемая единицей площади поверхности нагретого тела за единицу времени по всем направлениям во всём диапазоне длин волн (частот):

$$R_T = R_e = \frac{W}{S \cdot t} = \frac{\Phi}{S},$$

где $\Phi = \frac{W}{t}$ – мощность излучения (поток излучения).

- **Спектральная плотность энергетической светимости** (спектральная излучательная способность) $r_{T,\lambda}$ – энергия, излучаемая единицей площади поверхности нагретого тела в единицу времени по всем направлениям в единичном интервале длин волн (частот) вблизи данного значения длины волны (или частоты):

$$r_{T,\lambda} = \frac{dR_T}{d\lambda} \quad \text{или} \quad r_{T,\nu} = \frac{dR_T}{d\nu}.$$

- **Закон Стефана - Больцмана:** энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвёртой степени температуры:

$$R_e = \sigma \cdot T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – постоянная Стефана – Больцмана.

- **Энергетическая светимость серого тела:**

$$R_e = A \cdot \sigma \cdot T^4,$$

где A – коэффициент поглощения (степень черноты); $0 \leq A \leq 1$.

- **Вольт - амперная характеристика фотоэффекта** – график зависимости анодного тока I от разности потенциалов U , приложенных между катодом и анодом.

Опытные законы фотоэффекта

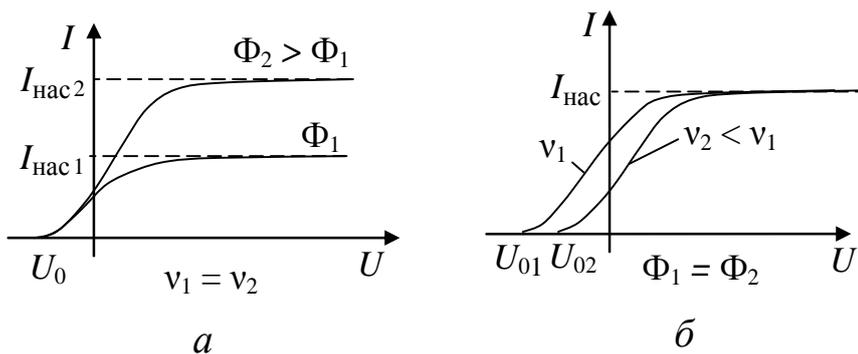
1. При неизменной частоте (длине волны) падающего света величина фототока насыщения (количество выбитых электронов) пропорциональна интенсивности света (количеству падающих фотонов) (рис. а):

$$I_{\text{нас}} \sim \Phi.$$

2. Максимальная начальная скорость фотоэлектронов, вылетающих из катода, *не зависит от интенсивности* падающего света, а определяется *только его частотой* (с увеличением частоты скорость возрастает) (рис. б):

$$v \sim \nu.$$

Вольт-амперные характеристики фотоэффекта

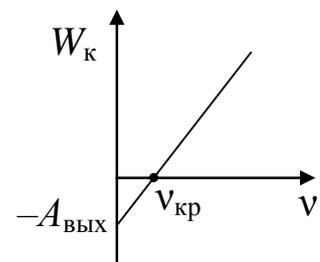


3. Для каждого вещества существует «красная граница» фотоэффекта, т. е. минимальная частота $\nu_{\text{кр}}$ (или максимальная длина волны $\lambda_{\text{кр}}$), при которой прекращается фотоэффект:

$$\nu \geq \nu_{\text{кр}} \text{ (или } \lambda \leq \lambda_{\text{кр}} \text{)}.$$

График зависимости кинетической энергии фотоэлектрона от частоты падающего света показан на рисунке.

$$W_{\text{к}} = h\nu - A_{\text{вых}}.$$



Тестовые задания

23.1. Абсолютно черное тело (АЧТ) – это тело...

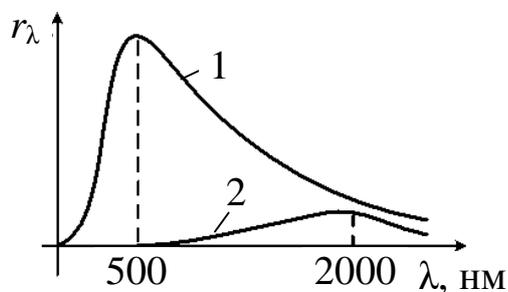
- 1) рассеивающее все падающее на него излучение;
- 2) не излучающее электромагнитные волны;
- 3) абсолютно черного цвета;
- 4) поглощающее все падающее на него излучение.

23.2. Абсолютно черное и серое тело имеют одинаковую температуру. При этом интенсивность излучения...

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

23.3. По мере нагревания твердого тела цвет излучения меняется в следующей последовательности:

- 1) красный, желтый, синий;
- 2) синий, красный, желтый;
- 3) синий, желтый, красный;
- 4) фиолетовый, зеленый, красный.



23.4. На рисунке показаны кривые зависимости спектральной плотности энергетической светимости АЧТ от длины волны при разных температурах. Если кривая 2 соответствует температуре 1450 К, то кривая 1 соответствует температуре...

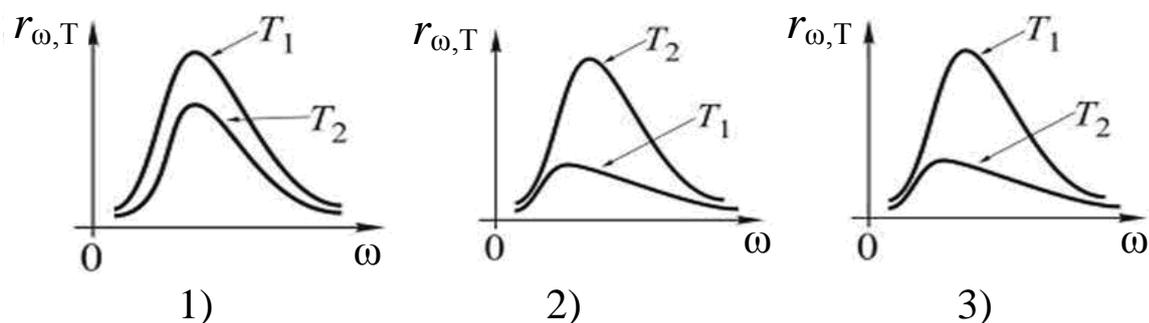
- | | |
|------------|------------|
| 1) 5800 К; | 2) 725 К; |
| 3) 2900 К; | 4) 1933 К. |

23.5. Для условия теста 23.4 отношение энергетических светимостей

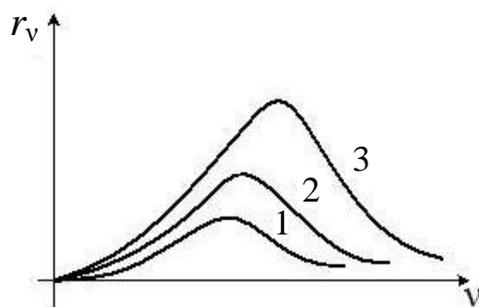
$\frac{R_{Э1}}{R_{Э2}}$ равно...

- | | | | |
|---------|--------|----------|-----------|
| 1) 256; | 2) 16; | 3) 1/16; | 4) 1/256. |
|---------|--------|----------|-----------|

23.6. Распределение энергии в спектре излучения АЧТ в зависимости от частоты излучения для температур T_1 и T_2 ($T_1 > T_2$) верно представлено на рисунке...



23.7. На рисунке представлены графики зависимости спектральной плотности энергетической светимости АЧТ от частоты при различных температурах. Наибольшей температуре соответствует график...

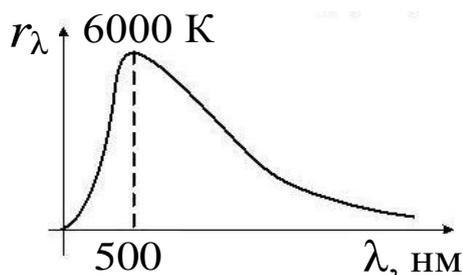


- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3.

23.8. Длина волны теплового излучения нагретого тела увеличилась в 2 раза. Его температура при этом...

- 1) увеличилась в 2 раза;
- 2) увеличилась в 16 раз;
- 3) уменьшилась в 16 раз;
- 4) уменьшилась в 2 раза.

23.9. На рисунке показан график зависимости спектральной плотности энергетической светимости АЧТ от длины волны при $T = 6000\text{K}$. Если температуру уменьшить в 4 раза, то длина волны, соответствующая максимуму излучения АЧТ...



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

23.10. На рисунке теста 23.9 показана кривая зависимости спектральной плотности энергетической светимости АЧТ от длины волны при температуре T . При температуре T_1 площадь под кривой увеличилась в 16 раз. Температура T_1 равна...

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

23.11. Температура АЧТ увеличилась в 2 раза. При этом энергия излучения...

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1) уменьшилась в 4 раза; | 2) увеличилась в 16 раз; |
| 3) увеличилась в 4 раза; | 4) уменьшилась в 16 раз. |

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

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

23.13. При исследовании внешнего фотоэффекта А. Г. Столетов выяснил, что...

- 1) энергия фотона прямо пропорциональна частоте света;
- 2) вырывание электронов с поверхности вещества происходит под действием света;
- 3) сила фототока прямо пропорциональна частоте падающего света;
- 4) фототок возникает при частотах падающего света, превышающих некоторое значение.

23.14. От чего зависит максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, выбиваемых из металла при фотоэффекте?

А. От частоты падающего света.

Б. От интенсивности падающего света.

В. От работы выхода электронов из металла.

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

23.15. Свет, падающий на металл, вызывает эмиссию электронов. Если интенсивность света уменьшается, а его частота остаётся неизменной, то...

- 1) количество выбитых электронов остаётся неизменным, а их кинетическая энергия увеличивается;
- 2) количество выбитых электронов уменьшается, а их кинетическая энергия остаётся неизменной;
- 3) количество выбитых электронов увеличивается, а их кинетическая энергия уменьшается;
- 4) количество выбитых электронов и их кинетическая энергия увеличиваются;
- 5) количество выбитых электронов остаётся неизменным, а их кинетическая энергия уменьшается.

23.16. При фотоэффекте задерживающая разность потенциалов *не* зависит...

- А. От частоты падающего света.
- Б. Интенсивности падающего света.
- В. Угла падения света.

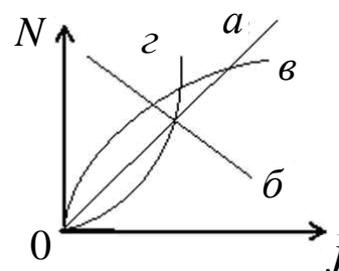
Какие утверждения правильны?

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

23.17. Кинетическая энергия электронов при внешнем фотоэффекте увеличивается, если...

- 1) уменьшается работа выхода электронов из металла;
- 2) увеличивается интенсивность светового потока;
- 3) уменьшается энергия падающего кванта;
- 4) увеличивается работа выхода электронов из металла.

23.18. На металлическую пластинку падает монохроматический свет, при этом количество N фотоэлектронов, вылетающих с поверхности металла в единицу времени, зависит от интенсивности J света согласно графику ...



- 1) в;
- 2) а;
- 3) б;
- 4) г.

23.19. При освещении катода вакуумного фотоэлемента потоком монохроматического света происходит освобождение фотоэлектронов. Если интенсивность света уменьшится в 4 раза, то количество фотоэлектронов, вырываемых светом за одну секунду,...

- 1) не изменится;
- 2) уменьшится в 2 раза;
- 3) уменьшится в 4 раза;
- 4) уменьшится в 16 раз.

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

- 1) увеличивается величина задерживающей разности потенциалов;
- 2) уменьшается кинетическая энергия электронов;
- 3) уменьшается энергия фотонов;
- 4) увеличивается красная граница фотоэффекта.

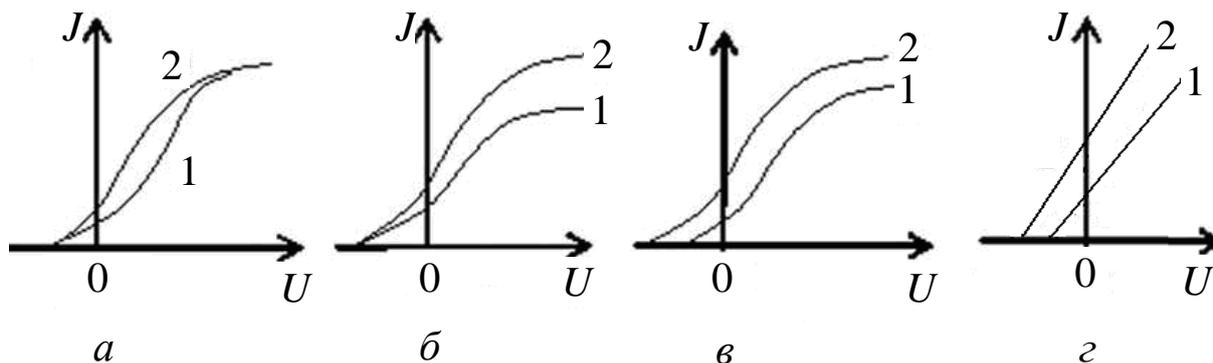
23.21. Внешний фотоэффект в металле вызывается монохроматическим излучением. При увеличении интенсивности этого излучения в 2 раза максимальная скорость фотоэлектронов, покидающих металл,...

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

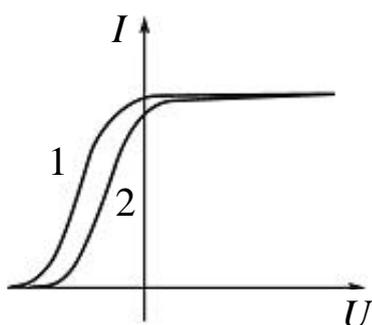
23.22. Красная граница фотоэффекта приходится на зеленый свет. Фотоэффект будет наблюдаться при освещении катода светом...

- 1) любым;
- 2) желтым;
- 3) красным;
- 4) фиолетовым.

23.23. Если длина волны света, падающего на фотоэлемент, остается неизменной, то при увеличении падающего светового потока $\Phi_2 > \Phi_1$ изменения в вольт-амперной характеристике правильно представлено на рисунке...

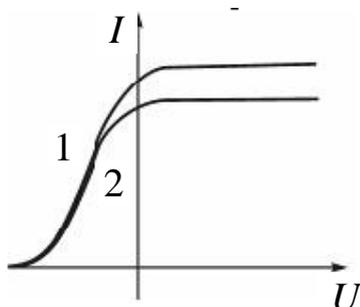


- 1) а;
- 2) б;
- 3) в;
- 4) г.



23.24. На рисунке приведены две вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если E – освещенность фотоэлемента, а ν – частота падающего на него света, то для данного случая справедливы соотношения...

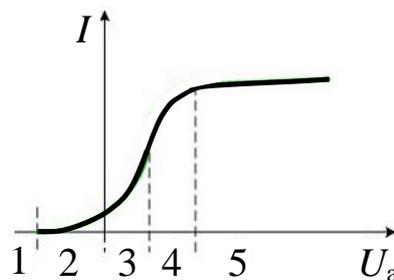
- 1) $\nu_1 < \nu_2, E_1 = E_2$;
- 2) $\nu_1 = \nu_2, E_1 < E_2$;
- 3) $\nu_1 = \nu_2, E_1 > E_2$;
- 4) $\nu_1 > \nu_2, E_1 = E_2$.



23.25. На рисунке приведены две вольт-амперные характеристики вакуумного фотоэлемента. Если E – освещенность фотоэлемента, а ν – частота падающего на него света, то для данного случая справедливы соотношения...

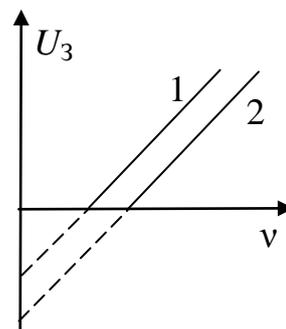
- 1) $\nu_1 > \nu_2, E_1 = E_2$;
- 2) $\nu_1 = \nu_2, E_1 > E_2$;
- 3) $\nu_1 = \nu_2, E_1 < E_2$;
- 4) $\nu_1 < \nu_2, E_1 = E_2$.

23.26. На рисунке приведена вольт-амперная характеристика фотоприемника с внешним фотоэффектом. Какая область на графике соответствует попаданию всех вылетевших в результате фотоэмиссии электронов на анод фотоприемника?



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

23.27. При изучении внешнего фотоэффекта были получены две зависимости задерживающего напряжения U_3 от частоты падающего света ν . Верным является утверждение, что зависимости получены...



- 1) для двух различных металлов, при этом работа выхода для второго металла больше;
2) двух различных металлов, при этом работа выхода для первого металла больше;
3) одного и того же металла при различных его освещенностях, при этом освещенность первого металла больше;
4) одного и того же металла при различных его освещенностях, при этом освещенность второго металла больше.

23.28. Уединенный медный шарик освещается ультрафиолетовым излучением с длиной волны $\lambda = 165$ нм. Если работа выхода электрона для меди $A = 4,5$ эВ, то максимальный потенциал, до которого может зарядиться шарик, равен... ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл)

- 1) 30 В; 2) 45 В; 3) 4,5 В; 4) 3,0 В.

23.29. Катод вакуумного фотоэлемента освещается светом с энергией квантов 10 эВ. Если фототок прекращается при подаче на фотоэлемент задерживающего напряжения 4 В, то работа выхода электронов из катода равна...

- 1) 6 эВ; 2) 14 эВ; 3) 7 эВ; 4) 3,0 эВ.

24. Световое давление. Эффект Комптона

- **Фотон** – элементарная частица, которая всегда (в любой среде) движется со скоростью света и, в отличие от других частиц (электрона, протона, нейтрона), не имеет массы покоя.

- **Энергия фотона:**

$$\varepsilon = mc^2 = \frac{hc}{\lambda} = h\nu,$$

где h – постоянная Планка; λ – длина волны, ν – частота.

- **Масса фотона:**

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda} = \frac{h\nu}{c^2}.$$

- **Импульс фотона:**

$$p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c}.$$

- **Давление, оказываемое монохроматическом светом, при нормальном падении на поверхность:**

$$p = \frac{E_e}{c} (1 + \rho) = \omega (1 + \rho),$$

где $E_e = R_e = \varepsilon N$ – энергетическая освещённость поверхности (энергия всех N фотонов, падающих на единицу площади поверхности в единицу времени);

ρ – коэффициент отражения поверхности (для абсолютно черной поверхности $\rho = 0$, для абсолютно белой (зеркальной) поверхности $\rho = 1$);

$\omega = \frac{E_e}{c}$ – объёмная плотность энергии.

- **Эффект Комптона** – упругое рассеяние коротковолнового электромагнитного (рентгеновского) излучения на свободных (или слабосвязанных) электронах вещества, сопровождающееся увеличением длины волны.

- **Формула Комптона:**

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos \Theta) = \lambda_C (1 - \cos \Theta) = 2\lambda_C \sin^2 \frac{\Theta}{2},$$

где λ, λ' – длины волн падающего и рассеянного фотона соответственно;

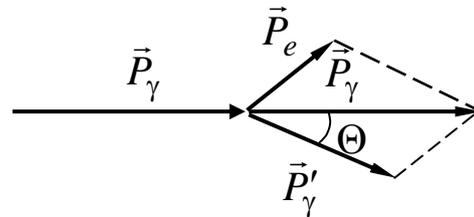
Θ – угол рассеяния;

λ_C – комптоновская длина волны. При рассеянии фотона на электроне $\lambda_C = \frac{h}{m_0c} = 2,43$ пм.

При каждом столкновении выполняются законы сохранения энергии и импульса:

$$W_0 + \varepsilon_\gamma = W + \varepsilon'_\gamma;$$

$$\vec{P}_\gamma = \vec{P}_e + \vec{P}'_\gamma,$$



где $W_0 = m_0c^2$ – энергия покоя электрона;

$\varepsilon_\gamma, \varepsilon'_\gamma$ – энергия падающего и рассеянного фотонов;

$W = \sqrt{P_e c^2 + m_e c^4}$ – релятивистская энергия электрона после столкновения;

$\vec{P}_\gamma, \vec{P}'_\gamma$ – импульс падающего и рассеянного фотонов;

\vec{P}_e – импульс электрона отдачи.

Эффект Комптона не может наблюдаться в видимой области спектра, так как энергия фотона видимого спектра меньше энергии связи электрона с атомом, при этом даже внешний электрон нельзя считать свободным.

Тестовые задания

24.1. Длина волны γ -лучей при комптоновском рассеянии на свободных электронах увеличилась на $\frac{h}{2mc}$. Угол рассеяния равен...

- 1) 30° ; 2) 60° ; 3) 90° ; 4) 45° .

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

- 1) 90° ; 2) 180° ; 3) 30° ; 4) 0° .

24.3. Монохроматическое рентгеновское излучение с длиной волны $\lambda = \frac{\Lambda}{2}$, где $\Lambda = \frac{h}{mc} = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ м}$ – комптоновская длина волны для электрона, падает на рассеивающее вещество. При этом отношение длин волн $\frac{\lambda'_1}{\lambda'_2}$ излучения рассеянного под углами $\varphi_1 = 120^\circ$ и $\varphi_2 = 60^\circ$ соответственно равно...

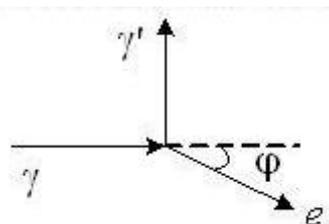
- 1) 1; 2) 2; 3) 4; 4) 1/2.

24.4. В явлении Комптона энергия падающего фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния равен $\frac{\pi}{2}$. Комптоновская длина волны электрона

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

- 1) 4800; 2) 2400; 3) 1200; 4) 9600.

24.5. 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 P_ϕ , то импульс рассеянного фотона равен...



- 1) $1,5\sqrt{3}P_\phi$; 2) $P_\phi/\sqrt{3}$; 3) $0,5P_\phi$; 4) $\sqrt{3}P_\phi$.

24.6. Для условия теста 24.5 импульс электрона отдачи равен...

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

24.7. Для условия теста 24.5, если импульс рассеянного фотона $2\sqrt{3}$ (МэВ·с)/м, то импульс падающего фотона (в тех же единицах) равен...

- 1) $2\sqrt{3}$; 2) 3; 3) 2; 4) 6.

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

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

24.9. Одинаковое количество фотонов с длиной волны λ нормально падает на непрозрачную поверхность. Наибольшее давление свет будет оказывать в случае, если...

- 1) $\lambda = 700$ нм, поверхность абсолютно черная;
2) $\lambda = 700$ нм, поверхность – идеальное зеркало;
3) $\lambda = 400$ нм, поверхность – идеальное зеркало;
4) $\lambda = 400$ нм, поверхность абсолютно черная.

24.10. Два источника излучают свет с длинами волн $\lambda_1 = 375$ нм и $\lambda_2 = 750$ нм. Отношение импульсов фотонов, излучаемых первым и вторым источником, равно...

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

24.11. Фотон с длиной волны $\lambda = 4,86$ пм рассеялся на первоначально покоившемся свободном электроне. Комптоновская длина волны для

электрона $\Lambda = \frac{h}{mc} = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м. Отношение максимально возможной

длины волны рассеянного фотона к его первоначальной длине равно...

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

24.12. Если зачерненную пластинку, на которую падает свет, заменить на зеркальную той же площади, то световое давление...

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

24.13. Если зеркальную пластинку, на которую падает свет, заменить на зачерненную той же площади, то световое давление ...

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

24.14. Если увеличить в 2 раза объемную плотность световой энергии, то давление света...

- 1) увеличится в 2 раза;
- 2) увеличится в 4 раза;
- 3) не изменится;
- 4) увеличится в 8 раз.

24.15. 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) 1/4;
- 2) 4;
- 3) 2;
- 4) 1/2.

24.16. Давление света на поверхность, имеющую коэффициент отражения $\rho = 0,25$, составило $0,25$ мкПа. Энергетическая освещенность этой поверхности равна...

- 1) 30 Вт/м^2 ;
- 2) 120 Вт/м^2 ;
- 3) 250 Вт/м^2 ;
- 4) 60 Вт/м^2 .

24.17. Солнечный свет падает на зеркальную поверхность по нормали к ней. Если интенсивность солнечного излучения равна $1,37 \text{ кВт/м}^2$, то давление света на поверхность приблизительно равно...

- 1) 18 мкПа ;
- 2) 90 мкПа ;
- 3) 3 мкПа ;
- 4) 9 мкПа .

24.18. На зеркальную поверхность направляют поочередно поток одинаковой интенсивности фиолетовых, зеленых, желтых, красных лучей. Давление света на эту поверхность будет наименьшим для лучей...

- 1) красного цвета;
- 2) желтого цвета;
- 3) фиолетового цвета;
- 4) зеленого цвета.

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

- 1) 1 мкПа ;
- 2) 10 мкПа ;
- 3) $0,01 \text{ мкПа}$;
- 4) $0,001 \text{ мкПа}$.

VI. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА. ФИЗИКА АТОМА

25. Спектр атома водорода.

Теория Бора для водородоподобных систем.

Правила отбора

В настоящее время принята *планетарная модель* строения атома (Резерфорда), согласно которой вокруг положительно заряженного ядра по замкнутым орбитам, (как планеты вокруг Солнца), движутся электроны, образуя электронную оболочку. Заряд ядра равен суммарному заряду электронов.

Постулаты Бора

1. Электроны могут двигаться в атоме только по определенным стационарным орбитам, находясь на которых, они не излучают и не поглощают энергии. Эти орбиты определяются условием:

$$L = m_e v_n r_n = n\hbar,$$

где m_e – масса электрона; v_n – скорость электрона на n -й орбите радиуса r_n ; $n = 1, 2, 3, \dots$ – номер орбиты;

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \text{ – постоянная Планка.}$$

2. При переходе с одной стационарной орбиты n_2 на другую n_1 электрон излучает (или поглощает) квант энергии:

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

где ε – энергия излучаемого (или поглощаемого) фотона;

E_{n_2} ; E_{n_1} – энергия электрона до и после излучения (или поглощения).

При переходе электрона в атоме с более удаленной от ядра орбиты на менее удаленную происходит *излучение* энергии (т. е. при переходе атома из состояния с бóльшей энергией в состояние с меньшей энергией, $E_{n_1} < E_{n_2}$).

Поглощение энергии происходит при обратном переходе ($E_{n_1} > E_{n_2}$).

- **Энергия электрона на n -й орбите в водородоподобном атоме:**

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{Zm_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} = -\frac{ZE_i}{n^2},$$

где Z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева;

E_i – энергия *ионизации* (энергия, необходимая электрону для перехода в атоме из *основного* состояния в *свободное*, т. е. с $n_2 = 1$ на $n_1 = \infty$).

Для атома водорода $Z = 1$, $E_i = -13,55$ эВ.

Состояние с наименьшей энергией, $n = 1$, называется *основным*.

Состояния с $n > 1$ называют *возбужденными*.

- **Радиус n -й орбиты атома водорода r_n :**

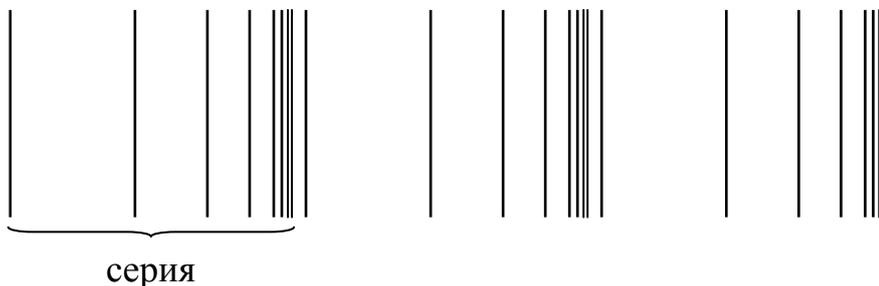
$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{e^2 m_e} n^2 = r_1 n^2,$$

где $r_1 = 5,29 \cdot 10^{-11}$ м – первый боровский радиус (радиус первой орбиты).

- **Скорость электрона на n -ной орбите v_n :**

$$v_n = \frac{\hbar}{m_e r_1 n}.$$

- **Линейчатый спектр** – спектр, состоящий из отдельных спектральных линий.
- **Серия** – группа спектральных линий, расположенных в определенном порядке (см. рисунок).



Спектральная линия появляется при переходе атома из одного энергетического состояния в другое (при переходе электрона в атоме с одной орбиты на другую). Положение линий описывается эмпирической формулой Бальмера.

- **Формула Бальмера** определяет длину волны (частоту) линии в спектре атома водорода:

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

где $R' = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$, $R = R' \cdot c = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – постоянная Ридберга;

n_1 – номер орбиты, на которую переходит электрон, определяет серию в спектре;

$n_1 = 1$ – серия Лаймана (ультрафиолетовая);

$n_1 = 2$ – серия Бальмера (видимая);

$n_1 = 3$ – серия Пашена (инфракрасная);

$n_1 = 4$ – серия Брэкета;

$n_1 = 5$ – серия Пфундта;

$n_1 = 6$ – серия Хэмфри;

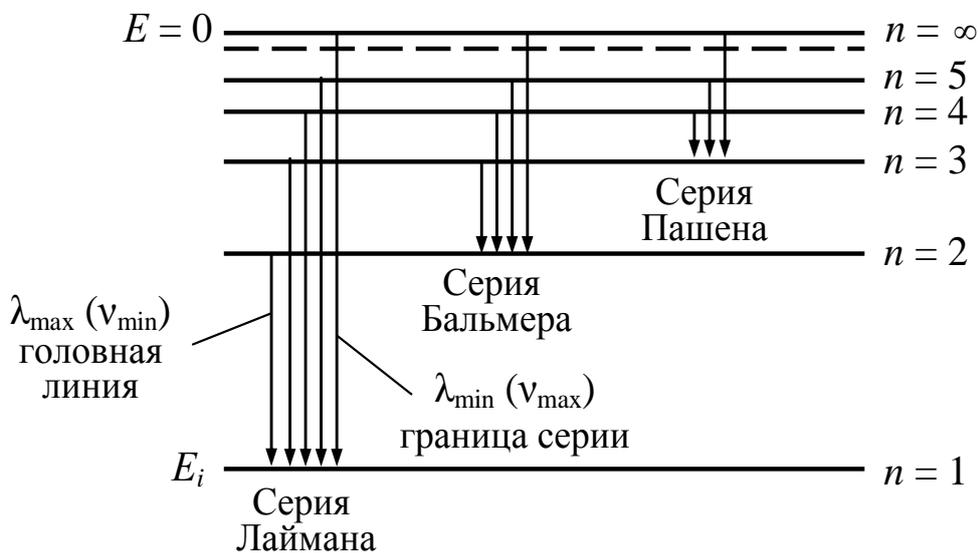
n_2 – номер орбиты, с которой осуществляется переход, определяет линию в данной серии, принимает значения от $(n_1 + 1)$ до ∞ .

$n_2 = (n_1 + 1)$ – 1-я линия (**головная**);

$n_2 = (n_1 + 2)$ – 2-я линия;

$n_2 = (n_1 + 3)$ – 3-я линия;

$n_2 = \infty$ – **граница** серии.



Квантовые числа

- n – **главное квантовое число**, определяет номер энергетического уровня электрона в атоме (*размер электронного облака*),
 $n = 1, 2, 3, \dots$

- ℓ – **орбитальное (азимутальное) квантовое число**, определяет величину (модуль) момента импульса L орбитального движения электронов (механический орбитальный момент) (*форму электронного облака*),

$$L = \hbar \sqrt{\ell(\ell + 1)};$$

$$\ell = 0, 1, \dots, (n - 1).$$

Для обозначения ℓ используются буквы латинского алфавита:

$$s(\ell = 0), \quad p(\ell = 1), \quad d(\ell = 2), \quad f(\ell = 3), \quad j(\ell = 4), \quad h(\ell = 5), \dots$$

- m_ℓ – **магнитное квантовое число**, определяет проекцию вектора момента импульса \vec{L}_e на направление z внешнего магнитного поля (*ориентацию электронного облака в пространстве*),

$$\vec{L}_e = m_\ell \hbar;$$

$$m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell.$$

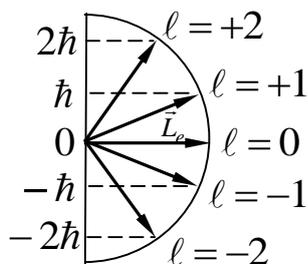
- m_s – **спиновое квантовое число**, определяет проекцию спина электрона L_{sz} на направление внешнего магнитного поля:

$$m_s = \pm 1/2.$$

Число возможных состояний электрона в атоме водорода с главным квантовым числом n (или максимальное число электронов в оболочке):

$$\sum_{\ell=0}^{n-1} (2\ell + 1) = n^2 \quad (\text{без учета спина});$$

$$\sum_{\ell=0}^{n-1} 2(2\ell + 1) = 2n^2 \quad (\text{с учетом спина}).$$



Пример: На рисунке показано $3d$ состояние:

$$n = 3;$$

$$\ell = 0, 1, 2;$$

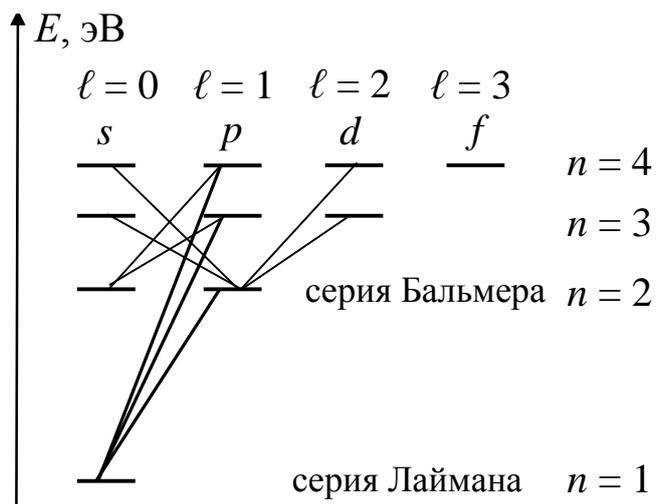
$$L = 0, \hbar\sqrt{2}, \hbar\sqrt{6};$$

$$m_\ell = 0, \pm 1, \pm 2;$$

$$L_e = 0, \pm \hbar, \pm 2 \hbar.$$

- **Правила отбора:** переходы между электронными состояниями возможны только в том случае, если:

- 1) $\Delta\ell = \pm 1$;
- 2) $\Delta m_\ell = 0, \pm 1$.



Распределение электронов в атоме по состояниям

Главное квантовое число n	1		2		3			4			
Символ оболочки	K		L		M			N			
Максимальное число электронов в оболочке	2		8		18			32			
Орбитальное квантовое число ℓ	0	0	1	0	1	2	0	1	2	3	
Символ подоболочки	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$	$3s^2$	$3p^6$	$3d^{10}$	$4s^2$	$4p^6$	$4d^{10}$	$4f^{14}$	
Максимальное число электронов в подоболочке	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	
Магнитное квантовое число m_ℓ	0	0	-1 0 +1	0	-1 0 +1	-2 -1 0 +1 +2	0	-1 0 +1	-2 -1 0 +1 +2	-3 -2 -1 0 +1 +2 +3	

Тестовые задания

25.1. В планетарной модели атома принимается...

- 1) число электронов на орбитах равно числу протонов в ядре;
- 2) число протонов равно числу нейтронов в ядре;
- 3) число электронов на орбитах равно сумме чисел протонов и нейтронов в ядре;
- 4) число нейтронов в ядре равно сумме чисел электронов на орбитах и протонов в ядре.

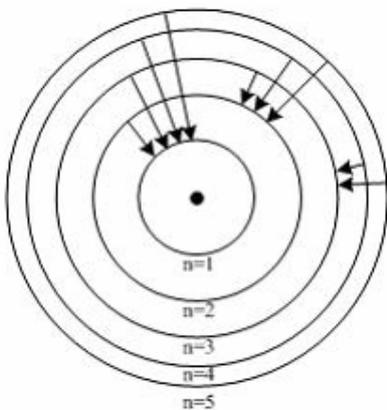
25.2. Излучение фотонов происходит при переходе из возбужденных состояний с энергиями $E_1 > E_2 > E_3$ в основное состояние. Для частот соответствующих фотонов ν_1, ν_2, ν_3 справедливо соотношение...

- 1) $\nu_1 < \nu_2 < \nu_3$;
- 2) $\nu_2 < \nu_1 < \nu_3$;
- 3) $\nu_2 < \nu_3 < \nu_1$;
- 4) $\nu_1 > \nu_2 > \nu_3$.

25.3. Фотон с энергией 16,5 эВ выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Выбитый электрон вдали от ядра будет иметь скорость v , равную...

- 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.

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

25.5. На рисунке к тесту 25.4 *наибольшей* частоте кванта в серии *Бальмера* соответствует переход...

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

25.6. На рисунке к тесту 25.4 *наименьшей* частоте кванта в серии Лаймана соответствует переход...

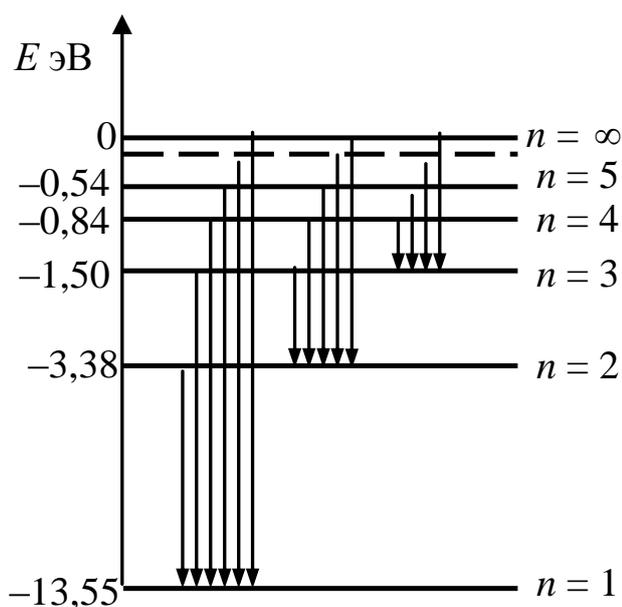
- 1) $n = 5 \rightarrow n = 3$; 2) $n = 5 \rightarrow n = 1$;
 3) $n = 2 \rightarrow n = 1$; 4) $n = 4 \rightarrow n = 3$.

25.7. На рисунке к тесту 25.4 *наименьшей* энергии кванта в серии Пашена соответствует переход...

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

25.8. На рисунке дана схема энергетических уровней атома водорода. *Наименьшая длина волны* спектральной линии серии Пашена равна ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с)...

- 1) 829 нм;
 2) 661 нм;
 3) 122 нм;
 4) 368 нм.



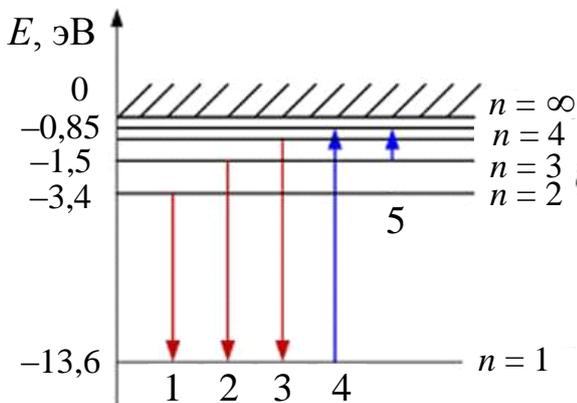
25.9. На рисунке теста 25.8 дана схема энергетических уровней атома водорода.

Наибольшая длина волны спектральной линии серии Лаймана равна ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с)...

- 1) 92 нм; 2) 661 нм; 3) 122 нм 4) 368 нм.

25.10. На рисунке теста 25.8 дана схема энергетических уровней атома водорода. Отношение *максимальной частоты* линии в серии Пашена к *минимальной частоте* линии в серии Бальмера $\frac{\nu_{\max\Pi}}{\nu_{\min\text{Б}}}$ равно...

- 1) 4/5; 2) 1/3; 3) 4/27; 4) 5/36.



25.11. На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома водорода. Поглощение фотона с наибольшей длиной волны происходит при переходе, обозначенном стрелкой под номером...

1) 1;

2) 2;

3) 3;

4) 4;

5) 5.

25.12. Электрон в атоме водорода перешел из основного состояния в возбужденное с $n = 3$. Радиус его боровской орбиты...

1) увеличился в 9 раз;

2) не изменился;

3) увеличился в 3 раза;

4) уменьшился в 3 раза.

25.13. Главное квантовое число n определяет...

1) энергию стационарного состояния электрона в атоме;

2) орбитальный механический момент электрона в атоме;

3) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление;

4) собственный механический момент электрона в атоме.

25.14. Азимутальное квантовое число ℓ определяет ...

1) энергию стационарного состояния электрона в атоме;

2) собственный механический момент электрона в атоме;

3) орбитальный механический момент электрона в атоме;

4) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление.

25.15. Магнитное квантовое число m определяет...

1) проекцию орбитального момента импульса электрона на заданное направление;

2) орбитальный механический момент электрона в атоме;

3) энергию стационарного состояния электрона в атоме;

4) собственный механический момент электрона в атоме.

25.16. В атоме водорода уровню энергии n отвечает (без участия спина)...

- 1) $(n - 1)^2$ различных квантовых состояний;
- 2) n^2 различных квантовых состояний;
- 3) $2n^2$ различных квантовых состояний;
- 4) $(n + 1)$ различных квантовых состояний.

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

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

25.18. Установить соответствие квантовых чисел, определяющих волновую функцию электрона в атоме водорода, их физическому смыслу:

1. n 2. ℓ 3. m .

А. Определяет ориентацию электронного облака в пространстве.

Б. Определяет форму электронного облака.

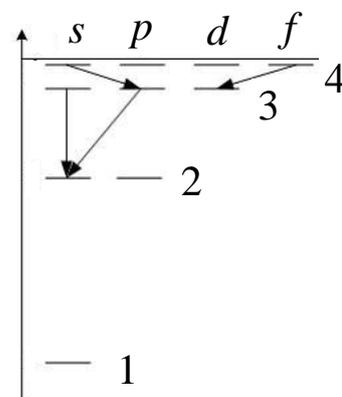
В. Определяет размеры электронного облака.

Г. Определяет 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.

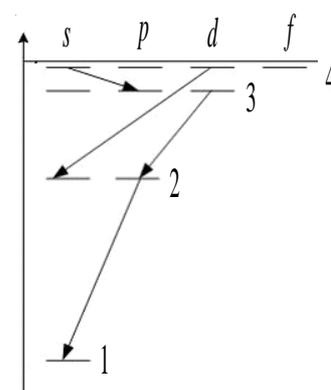
25.19. Закон сохранения момента импульса накладывает ограничения на возможные переходы электрона в атоме с одного уровня на другой (правило отбора). В энергетическом спектре атома водорода (см. рисунок) *запрещенным* переходом является...

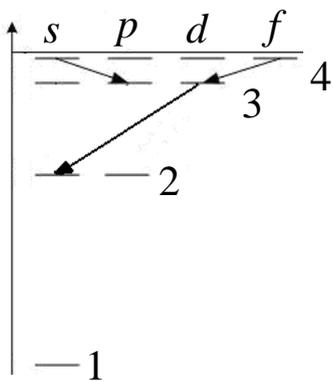
- 1) $3p - 2s$;
- 2) $3s - 2s$;
- 3) $4s - 3p$;
- 4) $4f - 3d$.



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

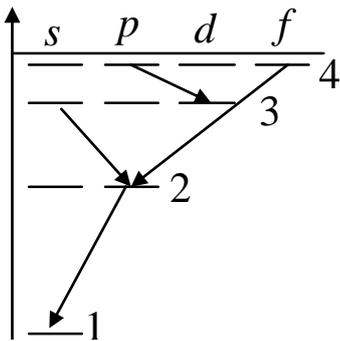
- 1) $2p - 1s$;
- 2) $3d - 2p$;
- 3) $4s - 3p$;
- 4) $4d - 2s$.





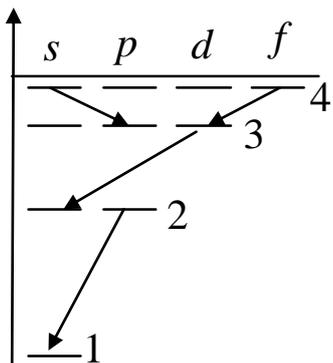
25.21. Закон сохранения момента импульса накладывает ограничения на возможные переходы электрона в атоме с одного уровня на другой (правило отбора). В энергетическом спектре атома водорода (см. рисунок) *запрещенным* переходом является...

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



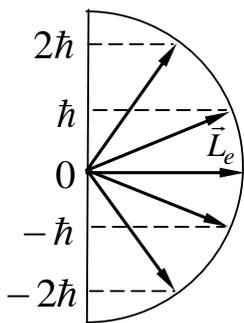
25.22. Закон сохранения момента импульса накладывает ограничения на возможные переходы электрона в атоме с одного уровня на другой (правило отбора). В энергетическом спектре атома водорода (см. рисунок) *запрещенным* переходом является...

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



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

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



25.24. Момент импульса электрона в атоме и его пространственные ориентации могут быть условно изображены векторной схемой, на которой длина вектора пропорциональна модулю орбитального момента импульса \vec{L}_e электрона. На рисунке приведены возможные ориентации вектора \vec{L}_e . Минимальное значение главного квантового числа n для указанного состояния равно...

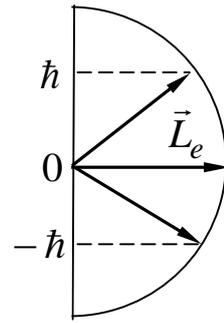
- 1) 3; 2) 2; 3) 1; 4) 4.

25.25. Для условия 25.24 максимальное значение орбитального квантового числа для указанного состояния равно...

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

25.26. На рисунке приведены возможные ориентации вектора \vec{L}_e электрона в атоме. Величина орбитального момента импульса (в единицах \hbar) для указанного состояния равно...

- 1) $\sqrt{2}$;
- 2) $\sqrt{6}$;
- 3) 2;
- 4) 3.



25.27. Для условия теста 25.26 значение орбитального квантового числа и минимальное значение главного квантового числа для указанного состояния равны...

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

26. Дуализм свойств микрочастиц. Волны де Бройля. Соотношение неопределенностей Гейзенберга

- **Формула де Бройля** – определяет длину волны λ любой частицы, обладающей импульсом:

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

где $p = m v$ – импульс частицы (классический случай);

$$p = m c = \frac{m_0 c}{\sqrt{1 - \beta^2}} \text{ – релятивистский импульс}$$

- **Длина волны де Бройля, выраженная через энергию:**

а) классический случай:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}};$$

б) релятивистский случай:

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E(E + 2E_0)}},$$

где E – полная энергия частицы; E_0 – энергия покоя.

- **Соотношение неопределённости Гейзенберга:**

а) для координаты и проекции импульса:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar,$$

где Δx – неопределенность координаты;

$\Delta p = m \Delta v$ – неопределенность импульса;

б) для энергии и времени:

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

где ΔE – неопределенность энергии некоторого состояния;

Δt – промежуток времени, в течение которого это состояние существует (неопределенность времени).

Тестовые задания

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

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

26.2. Де Бройль обобщил соотношение $p = h/\lambda$ для фотона на любые волновые процессы, связанные с частицами, импульс которых равен p . Тогда если скорость частиц одинакова, то наименьшей длиной волны обладают...

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

26.3. Длина волны де Бройля частицы уменьшилась вдвое. Скорость частицы...

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

26.4. Если частицы имеют одинаковую длину волны де Бройля, то наименьшей скоростью обладает...

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

26.5. Если частицы имеют одинаковую длину волны де Бройля, то наибольшей скоростью обладает ...

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

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

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

26.7. Отношение длин волн де Бройля протона и α -частицы, имеющих одинаковую кинетическую энергию равно...

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

26.8. Если молекула водорода, позитрон, протон и α -частица имеют одинаковую длину волны де Бройля, то наибольшей скоростью обладает ...

- 1) молекула водорода; 2) α -частица;
3) позитрон; 4) протон.

26.9. Отношение скоростей двух микрочастиц $\frac{v_2}{v_1}$ равно 2. Если их длины волн де Бройля одинаковы, то отношение масс этих частиц m_1/m_2 равно...

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

26.10. Отношение скоростей протона и α -частицы, длины волн де Бройля которых одинаковы, равно...

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

26.11. Отношение скоростей двух микрочастиц $\frac{v_1}{v_2} = 4$. Если их длины волн де Бройля удовлетворяют соотношению $\lambda_2 = 2 \lambda_1$, то отношение масс этих частиц m_1/m_2 равно...

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

26.12. Если протон и дейтрон прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов, то отношение их длин волн де Бройля равно...

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

26.13. Отношение длин волн де Бройля для дейтрона и α -частицы, прошедших одинаковую ускоряющую разность потенциалов, равно...

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

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

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

26.15. Высокая монохроматичность лазерного излучения обусловлена относительно большим временем жизни электронов в метастабильном состоянии $\sim 10^{-3}$ с. Учитывая, что постоянная Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-16}$ эВ·с, ширина метастабильного состояния будет не менее...

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

26.16. Положение пылинки массой $m = 10^{-9}$ кг определяется с неопределенностью $\Delta x = 0,1$ мкм. Учитывая, что постоянная Планка $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, неопределенность скорости Δv_x будет не менее...

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

26.17. Ширина следа электрона на фотографии, полученной с использованием камеры Вильсона, составляет 1 мм. Учитывая, что постоянная Планка $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, а масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, неопределенность скорости электрона будет не менее...

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1) 0,12 м/с; | 2) 0,12 мм/с; |
| 3) $1,05 \cdot 10^{-31}$ мм/с; | 4) $1,05 \cdot 10^{-34}$ мм/с. |

26.18. Отношение неопределенностей проекций скоростей нейтрона и α -частицы на некоторое направление при условии, что соответствующие координаты частиц определены с одинаковой точностью, равно...

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

27. Уравнение Шредингера (конкретные ситуации). Волновая функция для микрочастицы в потенциальной яме

- Значение энергии частицы в потенциальной яме (ящике):

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mL^2} n^2,$$

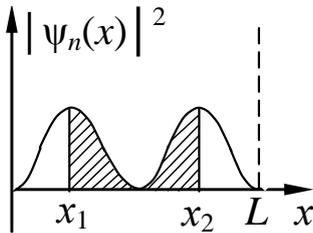
где m – масса частицы; L – ширина ямы;
 n – главное квантовое число.

- Собственные значения волновой функции (ψ -функции) частицы в потенциальной яме с учетом нормировки:

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{\pi n}{L} x.$$

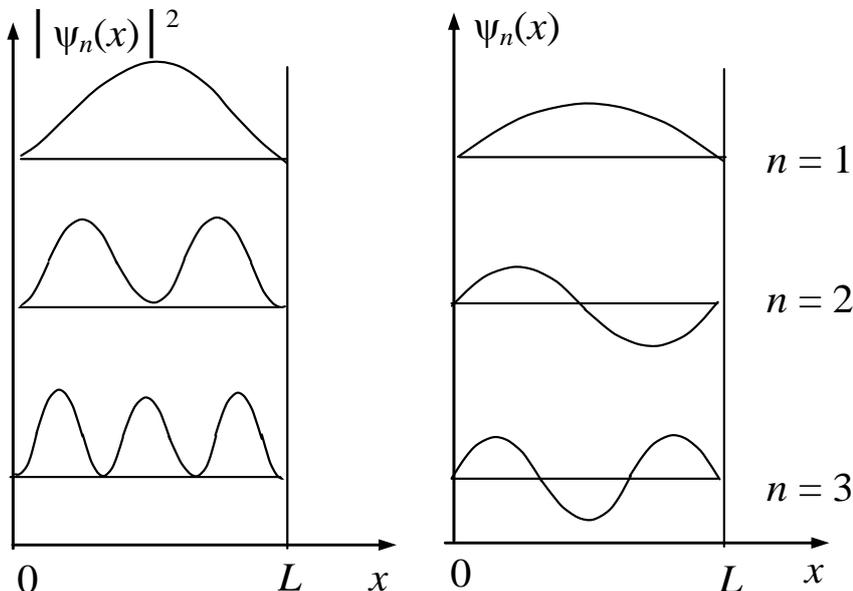
- Вероятность обнаружить частицу в потенциальной яме в интервале $x_1 < x < x_2$:

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} |\Psi|^2 dV = \frac{1}{L} \left(x \Big|_{x_1}^{x_2} - \frac{L}{2\pi n} \sin \frac{2\pi n}{L} x \Big|_{x_1}^{x_2} \right).$$



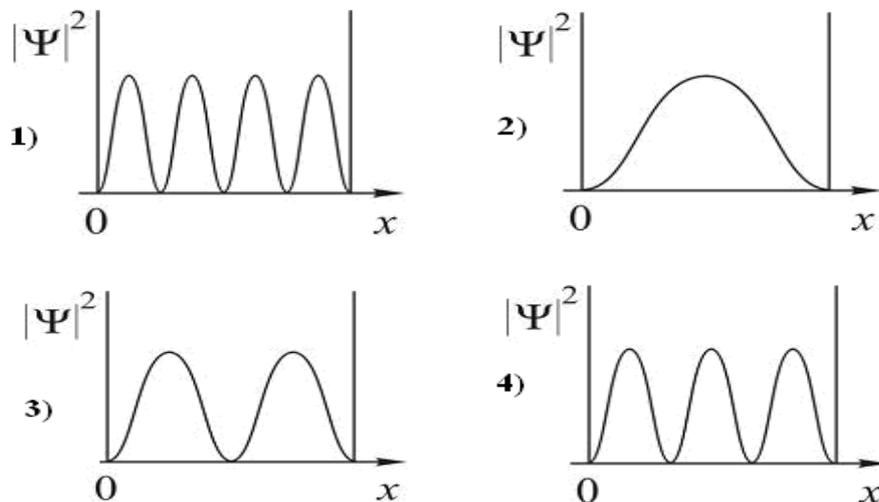
Графически вероятность обнаружить частицу в заданном интервале равна отношению площади фигуры, ограниченной графиком $|\psi_n(x)|^2$, осью абсцисс и прямыми x_1 и x_2 ко всей площади.

- Графики собственных ψ -функций и соответствующие им $|\psi_n(x)|^2$ для различных значений n :



Тестовые задания

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



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

27.2. Из рисунков теста 27.1 показать состояние микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками с квантовым числом $n = 2$.

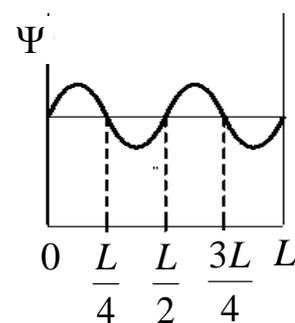
- 1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4.

27.3. Из рисунков теста 27.1 показать состояние микрочастицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками с квантовым числом $n = 4$.

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

27.4. 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



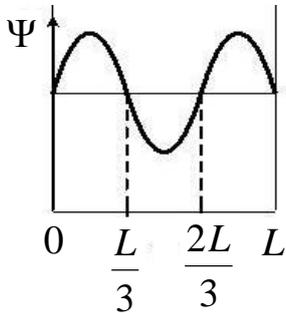
вероятности, определяемая Ψ -функцией. Если Ψ -функция имеет вид, указанный на рисунке, то

вероятность обнаружить электрон на участке $\frac{L}{8} < x < \frac{L}{2}$ равна...

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

27.5. В состоянии с $n = 4$ вероятность обнаружить электрон в интервале от $\frac{3L}{8}$ до L равна...

- 1) $5/8$; 2) $3/8$; 3) $3/4$; 4) $7/8$.



27.6. Если Ψ -функция имеет вид, указанный на рис., то вероятность обнаружить электрон на участке $\frac{L}{6} < x < \frac{L}{2}$ равна...

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

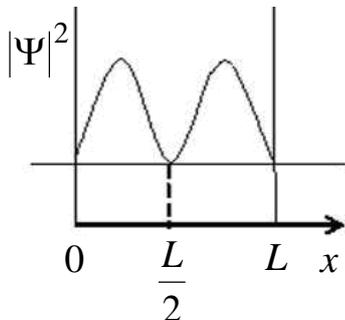
27.7. Если Ψ -функция имеет вид, указанный на рисунке теста 27.6, то вероятность обнаружить электрон на участке $\frac{L}{6} < x < L$ равна...

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

27.8. Для условия теста 27.6 вероятность обнаружить электрон на участке $\frac{L}{6} < x < \frac{5L}{6}$ равна...

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

27.9. Если функция $|\psi_n(x)|^2$ имеет вид, указанный на рисунке, то вероятность обнаружить электрон на участке $\frac{L}{4} < x < \frac{3L}{4}$ равна...



$\frac{L}{4} < x < \frac{3L}{4}$ равна...

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

27.10. Для условия теста 27.9 вероятность обнаружить частицу в центре ямы равна...

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

27.11. Для условия теста 27.9 вероятность обнаружить частицу на участке $\frac{L}{4} < x < L$ равна...

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

27.12. Частица находится в одномерном потенциальном ящике с непроницаемыми стенками шириной 0,2 нм. Если энергия частицы на втором энергетическом уровне равна 37,8 эВ, то на четвертом энергетическом уровне равна...

- 1) 9,45 эВ; 2) 151,2 эВ; 3) 75,6 эВ; 4) 18,9 эВ.

27.13. Собственные функции электрона в одномерном потенциальном ящике с бесконечно высокими стенками имеют вид

$$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{\pi n}{L} x, \text{ где } L - \text{ ширина ящика; } n - \text{ квантовое число}$$

(номер энергетического уровня). Если N – число узлов Ψ_n -функции на участке $0 \leq x \leq L$ и $\frac{N_{n+1}}{N_{n-1}} = 1,5$, то n равно...

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

27.14. Частица находится в потенциальном ящике шириной L с бесконечно высокими стенками в определенном энергетическом

состоянии E_n с квантовым числом n . Известно, что $\frac{E_{n+1}}{E_{n-1}} = 4$. В этом

случае n равно...

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

28. Уравнение Шредингера (общие свойства)

<p>Нестационарное ($\neq 0$) (зависит от t)</p>	<p style="text-align: center;"><i>Многомерное</i></p> $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$ <p style="text-align: center;"><i>Одномерное</i></p> $\frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} U\Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$
<p>Стационарное ($= 0$) (не зависит от t)</p>	<p style="text-align: center;"><i>Многомерное</i></p> $\nabla^2 \Psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\Psi = 0$ <p style="text-align: center;"><i>Одномерное</i></p> $\frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\Psi = 0$
<p>Для линейного гармонического осциллятора $U = \frac{m\omega^2 x^2}{2}$</p>	$\frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \Psi = 0$
<p>Под действием квазиупругой силы (<i>тот же гармонический осциллятор</i>) $U = \frac{kx^2}{2}$</p>	$\frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{kx^2}{2} \right) \Psi = 0$
<p>Для водородоподобного атома $U = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$</p>	$\nabla^2 \Psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0$
<p>Для частицы в потенциальной яме и свободной частицы $U = 0$</p>	$\frac{d^2 \Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0$

Обозначения в таблице: m – масса частицы; Ψ -пси - функция;

$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа;

U – функция координат и времени (для $t = \text{const}$ имеет смысл потенциальной энергии поля);

E – полная энергия частицы; $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Тестовые задания

28.1. Квадрат модуля волновой функции Ψ , входящей в уравнение Шредингера, равен...

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

28.2. Стационарное уравнение Шредингера имеет вид

$$\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}\right)\Psi = 0. \text{ Это уравнение описывает...}$$

- 1) состояние электрона в водородоподобном атоме;
- 2) движение свободной частицы;
- 3) состояние электрона в трехмерном потенциальном ящике;
- 4) линейный гармонический осциллятор.

28.3. Стационарное уравнение Шредингера имеет вид

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E - \frac{kx^2}{2}\right)\Psi = 0. \text{ Это уравнение описывает...}$$

- 1) линейный гармонический осциллятор;
- 2) состояние электрона в водородоподобном атоме;
- 3) состояние электрона в трехмерном потенциальном ящике;
- 4) движение свободной частицы.

28.4. Верным для уравнения $-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi + U(x, y, z)\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t}$

Шредингера является утверждение, что оно...

- 1) описывает состояние микрочастицы в одномерном бесконечно глубоком прямоугольном потенциальном ящике;
- 2) соответствует одномерному случаю;
- 3) является стационарным;
- 4) является нестационарным.

28.5. Стационарным уравнением Шредингера для линейного гармонического осциллятора является уравнение ...

- 1) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0;$
- 2) $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0;$
- 3) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \Psi = 0;$
- 4) $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0.$

28.6. Стационарным уравнением Шредингера для частицы в потенциальной яме с высокими стенками является уравнение...

- 1) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0;$
- 2) $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0;$
- 3) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \Psi = 0;$
- 4) $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0.$

28.7. Стационарное уравнение Шредингера в общем случае имеет вид: $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\Psi = 0.$ Электрону в атоме водорода соответствует уравнение ...

- 1) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0;$
- 2) $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0;$
- 3) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \Psi = 0;$
- 4) $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0.$

28.8. Стационарное уравнение Шредингера в общем случае имеет вид: $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0$, где U – потенциальная энергия микрочастицы. Движение частицы вдоль оси Ox под действием квазиупругой силы описывает уравнение...

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

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

$$3) \frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\Psi = 0;$$

$$4) \nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0.$$

28.9. Стационарное уравнение Шредингера в общем случае имеет вид: $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0$, где U – потенциальная энергия микрочастицы. Движение частицы в трехмерном бесконечно глубоком потенциальном ящике описывает уравнение...

$$1) \frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0;$$

$$2) \nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\Psi = 0;$$

$$3) \nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0;$$

$$4) \nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2} E\Psi = 0.$$

28.10. Стационарное уравнение Шредингера в общем случае имеет вид: $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0$, где U – потенциальная энергия микрочастицы. Одномерное движение свободной частицы описывает уравнение...

- 1) $\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}E\Psi = 0$;
- 2) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0$;
- 3) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}E\Psi = 0$;
- 4) $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E - \frac{kx^2}{2}\right)\Psi = 0$.

28.11. Установите соответствие уравнений Шредингера их физическому смыслу:

1	Нестационарное	А	$\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E + \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}\right)\Psi = 0$
2	Стационарное, для микрочастицы в потенциальной одномерной яме	Б	$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}\left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2}\right)\Psi = 0$
3	Стационарное, для электрона в атоме водорода	В	$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}E\Psi = 0$
4	Стационарное, для гармонического осциллятора	Г	$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + U\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{dt}$
		Д	$\nabla^2\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}E\Psi = 0$

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

VII. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

29. Ядро. Элементарные частицы

- **Ядро** – центральная часть атома, в котором сосредоточена практически вся масса атома и его положительный заряд.

Атомное ядро состоит из нуклонов (протонов и нейтронов).

- **Протон** 1_1p – положительная частица, стабилен,
 $q_p = +e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг $\approx 1836 m_e$.
- **Нейтрон** 0_1n – нейтральная частица, в ядре стабилен, в свободном состоянии радиоактивен,
 $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг $\approx 1839 m_e$.

- **Символ ядра** A_ZX ,

где X – символ химического элемента;

Z – зарядовое число (число протонов, соответствует номеру химического элемента в таблице Менделеева);

$A = Z + N$ – массовое число (число нуклонов), где N – число нейтронов.

- **Размер ядра** характеризуется радиусом

$$R = R_0 \sqrt{A},$$

где $R_0 = (1,3 \div 1,7) \cdot 10^{-15}$ м – коэффициент пропорциональности.

- **В зависимости от A и Z элементы делятся на:**

Изотопы – ядра с одинаковым Z , но разными A . Например:
 ${}^1_1\text{H}$; ${}^2_1\text{H}$; ${}^3_1\text{H}$.

Изобары – ядра с одинаковым A (числом нуклонов), но разными Z (числом протонов). Например: ${}^{10}_4\text{Be}$; ${}^{10}_5\text{B}$; ${}^{10}_6\text{C}$.

Изотоны – ядра с одинаковым N (числом нейтронов). Например:
 ${}^{14}_7\text{N}$; ${}^{13}_6\text{C}$.

- **Ядерные силы** – силы, обеспечивающие стабильность ядер, имеют не электрическую и не гравитационную природу, относятся к классу сильных взаимодействий.

Свойства ядерных сил:

- являются силами притяжения;
- являются короткодействующими (порядка 10^{-15} м);
- обладают зарядовой независимостью;
- зависят от взаимной ориентации спинов взаимодействующих нуклонов;

- не являются центральными;
- обладают свойством насыщения.

- **Энергия связи $E_{св}$** – работа, которую необходимо совершить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны:

$$E_{св} = \Delta m c^2,$$

где $c^2 = 931,4$ МэВ/а. е. м. – квадрат скорости света во внесистемных единицах; Δm – дефект массы в а. е. м.

- **Дефект массы Δm** – разность между суммой масс нуклонов в свободном состоянии и их массой в ядре:

$$\Delta m = Z m_{1H} + (A - Z) m_{0n} - m_a,$$

где m_{1H} , m_{0n} , m_a – массы атома водорода, нейтрона и атомная масса данного вещества соответственно.

- **Удельная энергия связи** – энергия связи, приходящаяся на один нуклон (т. е. необходимая для удаления из ядра одного нуклона):

$$E_{уд} = \frac{E_{св}}{A} = \frac{\Delta m c^2}{A}.$$

Классификация элементарных частиц

фотоны	лептоны	адроны	
Фотон γ	Электрон (позитрон) $e^-, (e^+)$	мезоны Пионы $\pi^0, \pi^-, (\pi^+)$	барионы Протон $p, (\tilde{p})$
	Мюоны $\mu^-, (\mu^+)$	Каоны $K^0, (\tilde{K}^0), K^-, (K^+)$	Нейтрон $n, (\tilde{n})$
	Таоны $\tau^-, (\tau^+)$	Эта-мезон η^0	Гипероны $\Lambda^0, (\tilde{\Lambda}^0)$ $\Sigma^0, (\tilde{\Sigma}^0)$ $\Sigma^+, (\tilde{\Sigma}^+)$ $\Sigma^-, (\tilde{\Sigma}^-)$ $\Xi^0, (\tilde{\Xi}^0)$ $\Xi^-, (\tilde{\Xi}^-)$ $\Omega^-, (\tilde{\Omega}^-)$
	Нейтрино (антинейтрино) $\nu_\mu, (\tilde{\nu}_\mu)$ $\nu_\tau, (\tilde{\nu}_\tau)$ $\nu_e, (\tilde{\nu}_e)$		

У каждой частицы есть античастица (в таблице указана в скобках). Их взаимодействие приводит к взаимной аннигиляции.

Например, при взаимодействии электрона с позитроном излучается два фотона:

$${}^0_{-1}e + {}^0_{+1}e = 2\gamma.$$

Элементарным частицам приписываются *квантовые числа*:

- Q – электрический заряд;
- L – лептонный заряд;
- B – барионный заряд;
- T – изотопический спин;
- T_z – проекция изотопического спина на ось z ;
- S – странность;
- Y – гиперзаряд.

Адроны состоят из кварков с дробным зарядом и барионным числом.

Кварковый состав некоторых адронов

Частица	Кварковый состав	Масса (МэВ)
<i>Барионы</i>		
p	(u, u, d)	938,28
n	(u, d, d)	939,57
Λ^0	(u, d, s)	1115,60
Σ^-	(d, d, s)	1197,34
Σ^0	(u, d, s)	1192,46
Σ^+	(u, u, s)	1189,36
<i>Мезоны</i>		
π^-	(d, \tilde{u})	139,6
π^+	(u, \tilde{d})	139,6
π^0	$(u, \tilde{u}), (d, \tilde{d})$	135,0
K^-	(s, \tilde{u})	493,7
K^+	(u, \tilde{s})	433,7
K^0	(d, \tilde{s})	497,7

Тестовые задания

29.1. В центральной части атома, занимая небольшой объем и обладая его основной массой, находится положительно заряженное ядро. Верным является утверждение...

- 1) ядерные силы обладают зарядовой независимостью;
- 2) масса ядра равна сумме масс нуклонов;
- 3) наименее устойчивые ядра с четными числами протонов и нейтронов;
- 4) ядра с одинаковыми массовыми, но разными зарядовыми числами называются изотопами.

29.2. В центральной части атома, занимая небольшой объем и обладая его основной массой, находится положительно заряженное ядро. *Неверным* является утверждение...

- 1) ядерные силы, удерживающие ядро, обладают зарядовой независимостью;
- 2) протоны, входящие в состав ядра, определяют его заряд;
- 3) масса ядра равна сумме масс образующих его нуклонов;
- 4) наиболее устойчивые ядра с четными числами протонов и нейтронов.

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

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

29.4. Нуклидами с одинаковым атомным номером называют...

- 1) изомеры;
- 2) изобары;
- 3) изотопы;
- 4) электроны в свободном состоянии.

29.5. Изобарами называются нуклиды...

- 1) обладающие одинаковым спином;
- 2) с невозбужденной оболочкой;
- 3) с одинаковым числом нейтронов;
- 4) с одинаковым массовым числом.

29.6. Для нуклонов *неверным* является следующее утверждение:

- 1) протон обладает зарядом, равным $+e$;
- 2) спин нейтрона меньше спина протона;
- 3) массы нуклонов практически одинаковы;
- 4) спины нуклонов одинаковы.

29.7. Для ядерных сил справедливым является утверждение, что они...

- 1) проявляются лишь на малых расстояниях (короткодействие);
- 2) являются центральными, т. е. действуют по линии, соединяющей центры взаимодействующих нуклонов;
- 3) обладают зарядовой зависимостью;
- 4) не зависят от взаимной ориентации спинов взаимодействующих нуклонов.

29.8. Для ядерных сил *не* характерно:

- 1) действие по линии, соединяющей центры взаимодействующих нуклонов, что характерно для центральных сил;
- 2) короткодействие;
- 3) насыщение;
- 4) зависимость от взаимной ориентации взаимодействующих нуклонов.

29.9. Чем меньше энергия связи ядра, тем...

- 1) меньше у него энергия покоя;
- 2) больше у него дефект масс;
- 3) меньшую работу нужно совершить, чтобы разделить его на нуклоны;
- 4) меньше энергии выделится в реакции термоядерного синтеза этого ядра с другими ядрами;
- 5) больше энергии выделится при его распаде на отдельные нуклоны.

29.10. Нуклоны в ядре взаимодействуют посредством обмена виртуальными частицами. Процесс их образования соответствует схеме...

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1) $n \rightleftharpoons n + \pi^0$; | 2) $n \rightleftharpoons p + \pi^+$; |
| 3) $p \rightleftharpoons n + \pi^-$; | 4) $n \rightleftharpoons n + \pi^-$. |

29.11. Позитрон является античастицей по отношению...

- 1) к нейтрину; 2) нейтрону; 3) фотону;
4) протону; 5) электрону.

29.12. Заряд в единицах заряда электрона равен +1, масса равна массе электрона, спин в единицах \hbar составляет 1/2. Это основные характеристики...

- 1) позитрона; 2) нейтрона; 3) мюона; 4) протона.

29.13. Заряд в единицах заряда электрона равен +1, масса в единицах массы электрона составляет 1836,2; спин в единицах \hbar составляет 1/2. Это основные характеристики...

- 1) протона; 2) нейтрона; 3) мюона; 4) позитрона.

29.14. Заряд равен 0, масса в единицах массы электрона составляет 1838,7; спин в единицах \hbar составляет 1/2. Это основные характеристики...

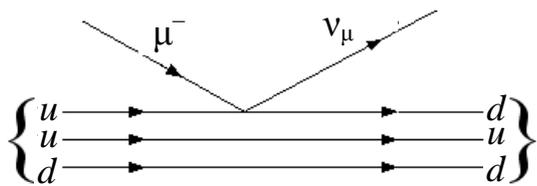
- 1) мюона; 2) протона; 3) нейтрона; 4) позитрона.

29.15. В единицах постоянной Планка \hbar спин фотона равен ...

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

29.16. Кварковый состав характерен...

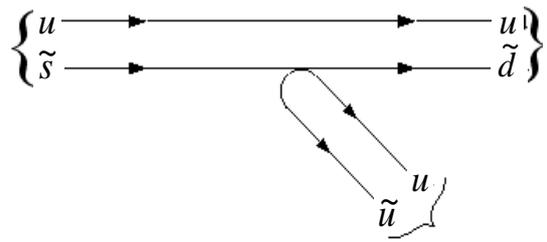
- 1) для мюонов; 2) нейтрино;
3) нейтронов; 4) электронов.



29.17. На рисунке показана кварковая диаграмма захвата нуклоном μ^- -мезона. Эта диаграмма соответствует реакции...

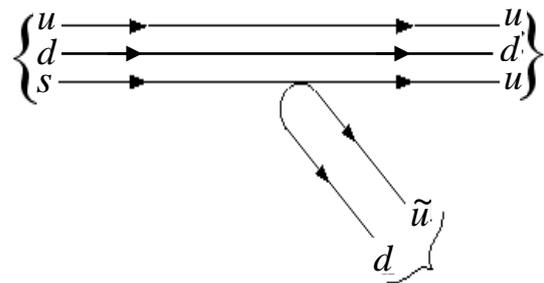
- 1) $\mu^- + n \rightarrow p + \nu_\mu$; 2) $\mu^- + p \rightarrow \tilde{p} + \nu_\mu$;
3) $\mu^- + n \rightarrow \tilde{n} + \nu_\mu$; 4) $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$.

29.18. На рисунке показана кварковая диаграмма распада K^+ -мезона. Эта диаграмма соответствует реакции...



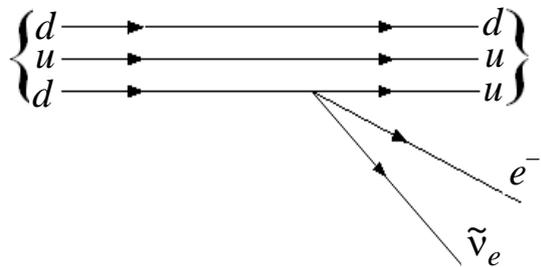
- 1) $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^-$;
- 2) $K^+ \rightarrow \pi^0 + \pi^-$;
- 3) $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$;
- 4) $K^+ \rightarrow \pi^0 + \pi^0$.

29.19. На рисунке показана кварковая диаграмма распада Λ -гиперона. Эта диаграмма соответствует реакции...



- 1) $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$;
- 2) $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^-$;
- 3) $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^0$;
- 4) $\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^+$.

29.20. На рисунке показана кварковая диаграмма β^- -распада нуклона. Эта диаграмма соответствует реакции ...



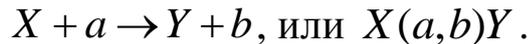
- 1) $p \rightarrow n + e^- + \tilde{\nu}_e$;
- 2) $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$;
- 3) $n \rightarrow n + e^- + \tilde{\nu}_e$;
- 4) $p \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$.

30. Ядерные реакции

- **Ядерная реакция** – процесс взаимодействия ядра с другим ядром или с элементарной частицей, приводящий к преобразованию данного ядра.

В ядерной реакции выполняются законы сохранения заряда и массового числа, а также законы сохранения энергии, импульса и момента импульса.

- **Символическая запись ядерной реакции:**



- **Экзотермические реакции** – реакции, проходящие с выделением энергии ($Q > 0$). **Эндотермические реакции** – реакции, проходящие с поглощением энергии ($Q < 0$).
- **Энергия ядерной реакции Q** – величина, численно равная разности суммарных энергий частиц, вступающих в реакцию и выходящих из неё:

$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)],$$

где $(m_1 + m_2)$ – сумма масс частиц, вступающих в реакцию;

$(m_3 + m_4)$ – сумма масс частиц, выходящих из неё.

- **Радиоактивность** – способность некоторых атомных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра, с испусканием различных видов излучений и элементарных частиц.

- **Закон радиоактивного распада:**

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_0 , N – начальное и конечное число нераспавшихся ядер;

λ – постоянная радиоактивного распада.

- **Период полураспада $T_{1/2}$** – время, за которое исходное число ядер уменьшается в 2 раза:

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

- **Среднее время жизни ядра τ** – время, за которое исходное число ядер уменьшается в e раз:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

- **Активность A** – число распадов, происходящих за 1 секунду:

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

Виды радиоактивного распада

Вид распада		Схема распада	Процессы, происходящие в ядре
α -распад (α -частица – ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$)		${}^A_Z X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2} Y + {}^4_2\text{He}$	
β -распад	Электронный (β^-)	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + {}^0_{-1} e + \tilde{\nu}$	${}^1_0 n \rightarrow {}^1_1 p + {}^0_{-1} e + {}^0_0 \tilde{\nu}$
	Позитронный (β^+)	${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_{+1} e + \nu$	${}^1_1 p \rightarrow {}^1_0 n + {}^0_{+1} e + {}^0_0 \nu$
	Электронный захват (e -захват, K -захват)	${}^A_Z X + {}^0_{-1} e \rightarrow {}^A_{Z-1} Y + {}^0_0 \nu$	${}^1_1 p + {}^0_{-1} e \rightarrow {}^1_0 n + {}^0_0 \nu$
γ -излучение не является самостоятельным, сопровождает α - и β -распады, возникает при ядерных реакциях			

Тестовые задания

30.1. Неизвестный радиоактивный химический элемент самопроизвольно распадается по схеме: $X \rightarrow {}_{36}^{91}\text{Kr} + {}_{56}^{142}\text{Ba} + 3n$. Ядро этого элемента содержит...

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

30.2. 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 17 нейтронов;
- 2) 14 протонов и 17 нейтронов;
- 3) 15 протонов и 16 нейтронов;
- 4) 16 протонов и 15 нейтронов.

30.3. 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 15 нейтронов;
- 2) 15 протонов и 13 нейтронов;
- 3) 15 протонов и 14 нейтронов;
- 4) 14 протонов и 14 нейтронов.

30.4. При бомбардировке ядер изотопа азота ${}_{7}^{14}\text{N}$ нейтронами образуется изотоп бора ${}_{5}^{11}\text{B}$. Ещё в этой ядерной реакции образуется...

- 1) протон;
- 2) α - частица;
- 3) нейтрон;
- 4) 2 нейтрона;
- 5) 2 протона.

30.5. Два ядра гелия ${}_{2}^{4}\text{He}$ слились в одно, при этом был излучен нейтрон. В результате этой реакции образовалось ядро...

- 1) ${}_{4}^{7}\text{Be}$;
- 2) ${}_{4}^{6}\text{Be}$;
- 3) ${}_{3}^{8}\text{Li}$;
- 4) ${}_{3}^{6}\text{Li}$.

30.6. В результате слияния двух ядер гелия ${}_{2}^{4}\text{He}$ образуется ядро лития ${}_{3}^{7}\text{Li}$ и...

- 1) позитрон;
- 2) протон;
- 3) электрон;
- 4) нейтрон.

30.7. В осуществлении ядерной реакции ${}^{14}_7\text{N} + X \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$ участвует...

- 1) α -частица; 2) протон; 3) нейтрон;
4) электрон; 5) γ -квант.

30.8. При α -распаде...

- 1) заряд ядра уменьшается на $2e$, масса ядра уменьшается на 4 а. е. м.;
2) заряд ядра уменьшается на $2e$, масса не изменяется;
3) заряд ядра уменьшается на $4e$, масса ядра уменьшается на 2 а. е. м.;
4) заряд ядра не изменяется, масса ядра уменьшается на 4 а. е. м.

30.9. При β -распаде значение зарядового числа Z меняется...

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

30.10. Из перечисленных ниже превращений к β^- -распаду относится...

- 1) ${}^A_Z X + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} X + \nu$; 2) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} X + {}^4_2\text{He}$;
3) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} X + e^- + \tilde{\nu}_e$; 4) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} X + e^+ + \nu_e$.

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

- 1) ${}^A_Z X + e^- \rightarrow {}^A_{Z-1} X + \nu$; 2) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} X + {}^4_2\text{He}$;
3) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} X + e^- + \tilde{\nu}_e$; 4) ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} X + e^+ + \nu_e$.

30.12. Испусканием ядер гелия обязательно сопровождается...

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

30.13. Один из видов радиоактивного излучения представляет собой поток быстро движущихся электронов. Это ...

- 1) γ -излучение; 2) α -излучение;
3) β^- -излучение; 4) β^+ -излучение.

30.14. α -излучение представляет собой поток...

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

30.15. γ -излучение представляет собой поток...

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

30.16. Внутри ядра произошло самопроизвольное превращение нейтрона в протон: $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$. С ядром в результате такого превращения произошел...

- 1) β^+ -распад;
- 2) α -распад;
- 3) β^- -распад;
- 4) ядерная реакция деления;
- 5) ядерная реакция синтеза.

30.17. β^+ - распадом является ядерное превращение, происходящее по схеме...

- 1) ${}_1^1p + {}_{-1}^0e \rightarrow {}_0^1n + \nu_e$;
- 2) ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_{+1}^0e + \nu_e$;
- 3) ${}_{+1}^0e + {}_{-1}^0e \rightarrow 2\gamma$;
- 4) ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e + \bar{\nu}_e$.

30.18. Произошло столкновение α -частицы с ядром бериллия ${}_4^9\text{Be}$. В результате образовался нейтрон и изотоп...

- 1) ${}_6^{12}\text{C}$;
- 2) ${}_3^8\text{Li}$;
- 3) ${}_5^{12}\text{B}$;
- 4) ${}_6^{13}\text{C}$.

30.19. Примером e -захвата может быть превращение бериллия ${}_4^7\text{Be}$ в...

- 1) ${}_3^8\text{Li}$;
- 2) ${}_3^7\text{Li}$;
- 3) ${}_5^{12}\text{B}$;
- 4) ${}_6^{13}\text{C}$.

30.20. Сколько α - и β^- -распадов должно произойти, чтобы ${}^{238}_{92}\text{U}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}^{206}_{82}\text{Pb}$?

- 1) 6 α -распадов и 8 β^- -распадов;
- 2) 8 α -распадов и 6 β^- -распадов;
- 3) 9 α -распадов и 5 β^- -распадов;
- 4) 10 α -распадов и 4 β^- -распада.

30.21. Сколько α - и β^- -распадов должно произойти при превращении америция ${}^{241}_{95}\text{Am}$ в стабильный изотоп висмута ${}^{209}_{83}\text{Bi}$?

- 1) 6 α -распадов и 5 β^- -распадов;
- 2) 9 α -распадов и 3 β^- -распадов;
- 3) 8 α -распадов и 4 β^- -распада;
- 4) 7 α -распадов и 3 β^- -распада.

30.22. Сколько α - и β^- -распадов произошло при превращении ${}^{227}_{89}\text{Ac}$ в ${}^{207}_{82}\text{Pb}$?

- 1) 4 α -распада и 5 β^- -распадов;
- 2) 5 α -распадов и 3 β^- -распадов;
- 3) 3 α -распада и 5 β^- -распадов;
- 4) 5 α -распадов и 5 β^- -распадов.

30.23. Сколько α - и β^- -распадов должно произойти, чтобы торий ${}^{232}_{90}\text{Th}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}^{208}_{82}\text{Pb}$?

- 1) 7 α -распадов и 3 β^- -распада;
- 2) 5 α -распадов и 5 β^- -распадов;
- 3) 4 α -распада и 6 β^- -распадов;
- 4) 6 α -распадов и 4 β^- -распада.

30.24. Сколько α - и β^- -распадов должно произойти, чтобы уран ${}^{235}_{92}\text{U}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}^{207}_{82}\text{Pb}$?

- 1) 8 α -распадов и 3 β^- -распада;
- 2) 7 α -распадов и 4 β^- -распада;
- 3) 6 α -распадов и 5 β^- -распадов;
- 4) 5 α -распадов и 6 β^- -распадов.

30.25. Установите соответствие процессов взаимопревращения частиц:

1	β^- -распад	А	${}^0_{+1}e + {}^0_{-1}e \rightarrow 2\gamma$
2	K -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	${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + \nu_e$
		Д	${}^1_0n + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_1p + \nu_e$

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

30.26. Периодом полураспада называется...

- 1) время, в течение которого концентрация распавшихся ядер увеличивается в e раз;
- 2) время, в течение которого распадаются все атомы радиоактивного элемента;
- 3) время, в течение которого распадается половина атомов радиоактивного элемента;
- 4) время между моментами распада двух ядер атомов радиоактивного элемента.

30.27. Какая доля радиоактивных атомов распадется через интервал времени, равный двум периодам полураспада?

- 1) 100 %; 2) 75 %; 3) 50 %; 4) 25 %.

30.28. Какая доля радиоактивных атомов останется *нераспавшейся* через интервал времени, равный двум периодам полураспада?

- 1) 0 %; 2) 75 %; 3) 50 %; 4) 25 % .

30.29. Активность некоторого изотопа за 10 суток уменьшилась на 50 %. Период полураспада этого изотопа равен...

- 1) 10 суток; 2) 5 суток; 3) 30 суток; 4) 20 суток.

30.30. Из 10^{10} атомов радиоактивного изотопа с периодом полураспада 20 мин. через 60 мин. не испытает превращения количество атомов, равное...

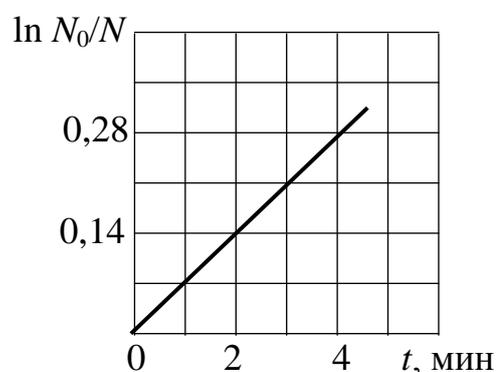
- 1) $1,25 \cdot 10^9$; 2) $5 \cdot 10^9$; 3) $2,5 \cdot 10^9$; 4) $7,5 \cdot 10^9$.

30.31. Возраст любого предмета, изготовленного из некогда живой ткани, например из дерева, можно приближенно определить по удельной активности (активности единицы массы) радиоактивного изотопа углерода $^{14}_6\text{C}$, период полураспада которого составляет примерно 5700 лет. Если удельная активность $^{14}_6\text{C}$ в деревянном предмете равна $1/4$ от удельной активности растущего дерева, то дерево, из которого было изготовлено орудие, было срублено примерно....

- 1) 11400 лет назад;
- 2) 1425 лет назад;
- 3) 2850 лет назад;
- 4) 22800 лет назад.

30.32. На рисунке в полулогарифмическом масштабе показан график зависимости изменения числа радиоактивных ядер изотопа $^{27}_{12}\text{Mg}$ от времени. Среднее время жизни данного изотопа равно...

- 1) 2 мин;
- 2) 4 мин;
- 3) 10 мин;
- 4) 14 мин.



31.33. Постоянная распада изотопа радия $^{219}_{88}\text{Ra}$ $\lambda = 700 \text{ c}^{-1}$. Число радиоактивных ядер уменьшится в e^2 ($e \approx 2,7$) раз за время...

- 1) 0,0028 с;
- 2) 0,0014 с;
- 3) 0,0005 с;
- 4) 0,001 с.

31. Законы сохранения в ядерных реакциях

При взаимодействии частиц выполняются законы сохранения электрического, лептонного и барионного зарядов.

Сводная таблица элементарных частиц

Группа	Название частицы	Символ		Заряд, ед. e	Масса покоя, ед. m_e	Спин, ед. \hbar	Изотопический спин	Лептонное число L	Барионное число B		
		Частицы	Античастицы								
ФОТОНЫ	Фотон	γ		0	0	1	–	0	0		
ЛЕПТОНЫ	Электрон	e^-	e^+	1	1	1/2	–	± 1	0		
	Электронное нейтрино	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0	1/2	–	± 1	0		
	Мюон	μ^-	μ^+	1	206,8	1/2	–	± 1	0		
	Мюонное нейтрино	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	0	1/2	–	± 1	0		
	Тау-лептон (таон)	τ^-	τ^+	1	3487	1/2	–	± 1	0		
	Таонное нейтрино	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	1/2	–	± 1	0		
АДРОНЫ	МЕЗОНЫ	Пионы		π^0		0	264,1	0	1	0	0
				π^-	π^+	1	273,1	0	1	0	0
		Каоны		K^0	\bar{K}^0	0	974,0	0	1/2	0	0
				K^-	K^+	1	966,2	0	1/2	0	0
		Эта-мезон	η^0		0	1074	0	–	0	0	
	БАРИОНЫ	Протон	p	\bar{p}	1	1836,2	1/2	1/2	0	+1	
		Нейтрон	n	\bar{n}	0	1838,7	1/2	1/2	0	+1	
		Гипероны									
		Лямбда	Λ^0	$\bar{\Lambda}^0$	0	2183	1/2	0	0	+1	
		Сигма		Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	0	2334	1/2	1	0	+1
				Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	1	2328	1/2	1	0	+1
				Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	1	2343	1/2	1	0	+1
		Кси		Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	0	2473	1/2	1/2	0	+1
				Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	1	2586	1/2	1/2	0	+1
Омега	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	1	3273	3/2	0	0	+1			

Примечание. Для лептонного числа L знак «+» относится к частице, а знак «–» – к античастице.

Тестовые задания

31.1. Реакция $n \rightarrow p + e^+ + \nu_e$ не может идти из-за нарушения закона сохранения...

- 1) лептонного заряда;
- 2) спинового момента импульса;
- 3) электрического заряда;
- 4) барионного заряда.

31.2. Реакция $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_e + \nu_\mu$ не может идти из-за нарушения закона сохранения...

- 1) лептонного заряда;
- 2) спинового момента импульса;
- 3) электрического заряда;
- 4) барионного заряда.

31.3. Законом сохранения электрического заряда *запрещена* реакция ...

- | | |
|--|--|
| 1) $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$; | 2) $n + \nu_e \rightarrow p + e^+$; |
| 3) $\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$; | 4) $n + \tilde{p} \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e$. |

31.4. Законом сохранения электрического заряда *запрещена* реакция...

- | | |
|--|--|
| 1) $\nu_\mu + n \rightarrow p + \mu^-$; | 2) $\tilde{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$; |
| 3) $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$; | 4) $n \rightarrow p + e^+ + \nu_e$. |

31.5. Реакция распада электрона по схеме $e^- \rightarrow \gamma + \gamma + \tilde{\nu}$ невозможна вследствие *невыполнения* закона сохранения...

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1) момента импульса; | 2) лептонного заряда; |
| 3) электрического заряда. | 4) барионного заряда. |

31.6. Законом сохранения лептонного заряда разрешена реакция...

- | | |
|--|--|
| 1) $\tilde{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$; | 2) $\nu_e + p \rightarrow n + e^+$; |
| 3) $n \rightarrow p + e^- + \nu_e$; | 4) $p + e^- \rightarrow n + \tilde{\nu}_e$. |

31.7. Законом сохранения электрического заряда разрешена реакция...

- | | |
|--|--|
| 1) $\nu_{\mu} + n \rightarrow p + \mu^{-}$; | 2) $p \rightarrow n + e^{-} + \nu_e$; |
| 3) $n \rightarrow p + e^{+} + \nu_e$; | 4) $n + \tilde{\nu}_e \rightarrow p + e^{+}$. |

31.8. Взаимодействие протона с нейтроном по схеме $p + n \rightarrow e^{+} + \nu_e$ не может идти из-за нарушения закона сохранения...

- | | |
|---------------------------|-----------------------|
| 1) лептонного заряда; | 2) барионного заряда; |
| 3) электрического заряда; | 4) спина. |

31.9. Законом сохранения лептонного заряда запрещен процесс, описываемый уравнением ...

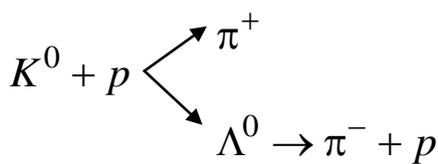
- | | |
|--|--|
| 1) $\tilde{\nu}_{\mu} + p \rightarrow n + \mu^{+}$; | 2) $\mu^{+} + e \rightarrow \nu_{\mu} + \tilde{\nu}_e$; |
| 3) $p + e^{-} \rightarrow n + \nu_e$; | 4) $n \rightarrow p + e^{-} + \nu_e$. |

31.10. Законом сохранения барионного заряда запрещен процесс, описываемый уравнением ...

- | | |
|--|--|
| 1) $e^{-} \rightarrow \gamma + \gamma + \nu$; | 2) $p \rightarrow e^{+} + \tilde{\nu} + \nu$; |
| 3) $n \rightarrow p + e^{-} + \nu_e$; | 4) $p \rightarrow n + e^{+} + \nu$. |

31.11. Законом сохранения барионного заряда запрещен процесс, описываемый уравнением ...

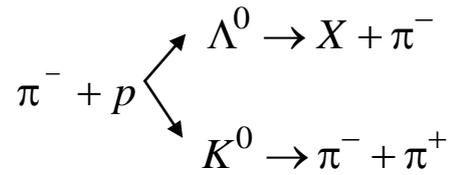
- | | |
|--|--|
| 1) $p + e^{-} \rightarrow n + \nu_e$; | 2) $p + n \rightarrow e^{+} + \nu_e$; |
| 3) $n \rightarrow p + e^{-} + \tilde{\nu}_e$; | 4) $p \rightarrow n + e^{+} + \nu_e$. |



31.12. Взаимодействие K^0 -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере идет по схеме, показанной на рисунке. Если спин π -мезона $S_{\pi} = 0$, то характеристиками K^0 -мезона будут...

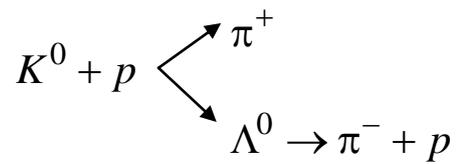
- 1) $q > 0, S = 1/2$;
- 2) $q = 0, S = 0$;
- 3) $q = 0, S = 1/2$.

31.13. Взаимодействие π^- -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере с образованием неизвестной частицы X идет по схеме, показанной на рисунке. Если спин π^- -мезона $S_\pi = 0$, то заряд и спин частицы X будут равны...



- 1) $q > 0, S = 0$;
- 2) $q > 0, S = 1/2$;
- 3) $q < 0, S = 1/2$.

31.14. Взаимодействие K^0 -мезона с протоном в водородной пузырьковой камере идет по схеме, показанной на рисунке. Если спин лямбда-гиперона равен $S = 1/2$, то характеристиками π^- -мезона будут...

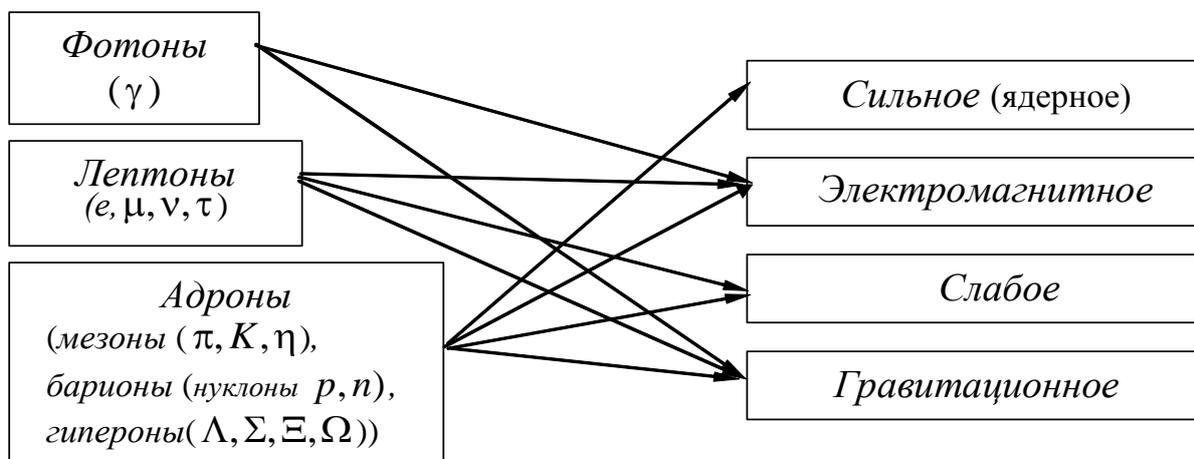


- 1) $q = -1, S = 0$;
- 2) $q = 0, S = 1/2$;
- 3) $q = +1, S = 0$;
- 4) $q = -1, S = 1/2$.

32. Фундаментальные взаимодействия

- **Сильное** (ядерное), обеспечивает связь частиц (протонов, нейтронов) в атомном ядре. Свойственно частицам, называемых *адронами*.
- **Электромагнитное**, осуществляется через электрическое и магнитное поля. Характерно для *электрически заряженных частиц и фотонов*.
- **Слабое**, проявляется при распаде некоторых частиц. В нем участвуют *все частицы, кроме фотонов*.
- **Гравитационное** обусловлено всемирным тяготением, присуще *всем частицам*.

Взаимодействие	Переносчики	Интенсивность	Длительность процессов	Радиус действия (см)
<i>Сильное</i>	<i>Глюоны</i>	1	10^{-23}	$10^{-14} \div 10^{-13}$
<i>Электромагнитное</i>	<i>Фотоны</i>	10^{-2}	10^{-20}	∞
<i>Слабое</i>	<i>Бозоны</i>	$10^{-14} \div 10^{-10}$	10^{-9}	10^{-16}
<i>Гравитационное</i>	<i>Гравитоны</i>	$10^{-38} \div 10^{-31}$	—	∞



Тестовые задания

32.1. Установите соответствие между переносчиками фундаментальных взаимодействий и видами этих взаимодействий:

1	Электромагнитное
2	Сильное
3	Слабое
4	Гравитационное

А	Фотоны
Б	Глюоны
В	Бозоны
Г	Гравитоны

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

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

32.2. Установите соответствие между видами фундаментальных взаимодействий и радиусами (в м) их действия:

1	Слабое
2	Сильное
3	Гравитационное

А	∞
Б	10^{-18}
В	10^{-15}
Г	10^{-10}

- 1) 1-А; 2-Б; 3-В;
3) 1-Д; 2-В; 3-Г;

- 2) 1-В; 2-Б; 3-Д;
4) 1-Б; 2-В; 3-А.

32.3. Установите соответствие между видами фундаментальных взаимодействий и их сравнительной интенсивностью:

1	Гравитационное
2	Электромагнитное
3	Сильное
4	Слабое

А	10^{-38}
Б	10^{-2}
В	1
Г	10^{-10}
Д	10^{-23}

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

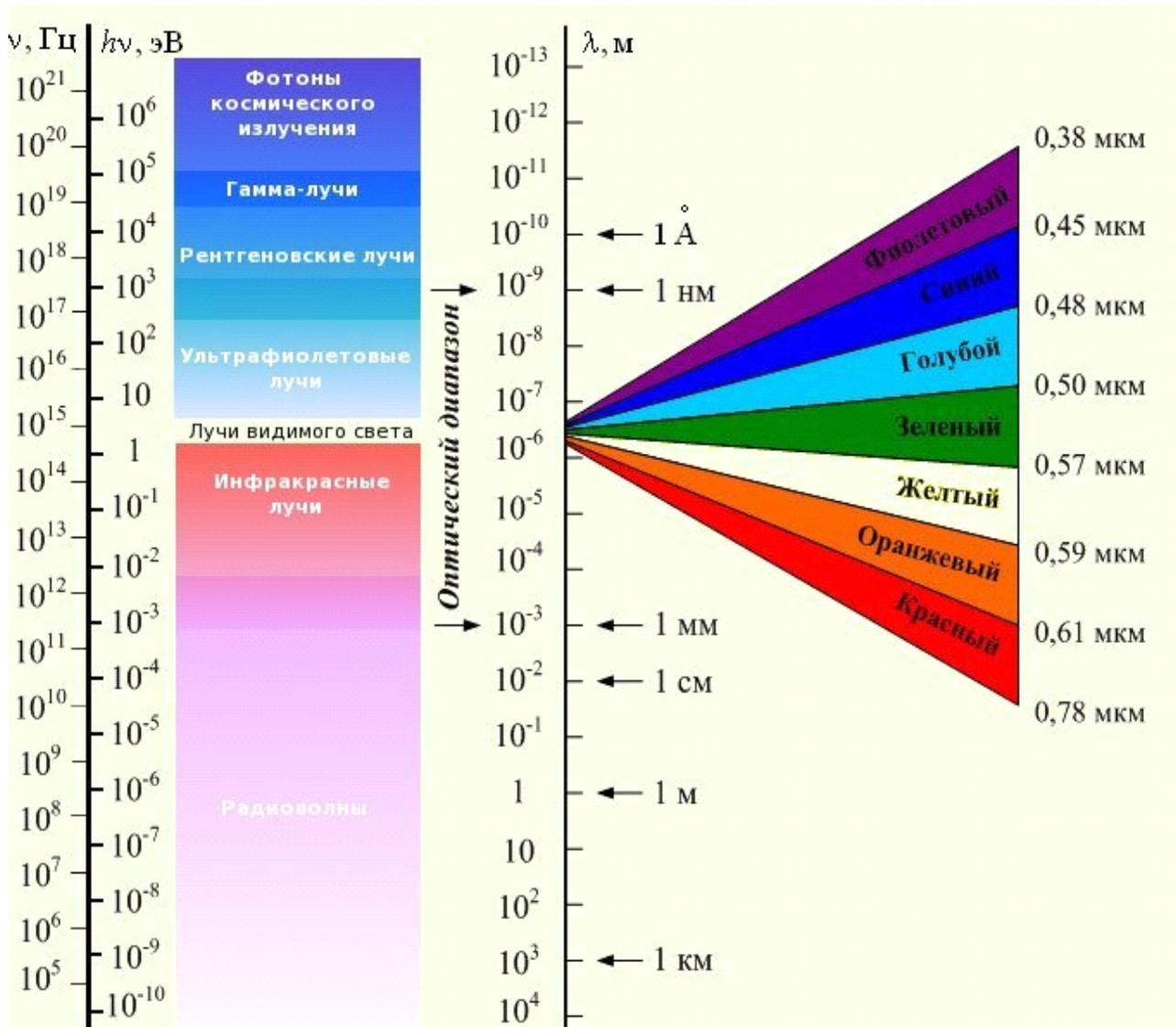
- 2) 1-Б; 2-В; 3-Д; 4-А;
4) 1-В; 2-Г; 3-А; 4-Б.

32.4. В природе осуществляются четыре типа фундаментальных взаимодействий. Фотоны участвуют...

- 1) в сильном и гравитационном;
2) сильном, слабом и гравитационном;
3) электромагнитном и гравитационном;
4) слабом, электромагнитном и гравитационном.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Шкала электромагнитных волн



СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Богатин А. С. Пособие для подготовки к ЕГЭ и централизованному тестированию по физике. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. 480 с.

Интернет-сайты: <http://www.fepo.ru>, <http://www.i-fgos.ru>.

Калашиников Н. П., Кожевников Н. М. Физика. Интернет–тестирование базовых знаний: учебное пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2009. 160 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

V. ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА	0
21. Законы геометрической оптики. Интерференция и дифракция света.....	3
Тестовые задания	9
22. Поляризация и дисперсия света	16
Тестовые задания	18
23. Тепловое излучение. Фотоэффект	23
Тестовые задания	26
24. Световое давление. Эффект Комптона	32
Тестовые задания	34
VI. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА. ФИЗИКА АТОМА.....	37
25. Спектр атома водорода. Теория Бора для водородоподобных систем. Правила отбора	37
Тестовые задания	42
26. Дуализм свойств микрочастиц. Волны де Бройля. Соотношение неопределенностей Гейзенберга	48
Тестовые задания	49
27. Уравнение Шредингера (конкретные ситуации). Волновая функция для микрочастицы в потенциальной яме	52
Тестовые задания	53
28. Уравнение Шредингера (общие свойства)	56
Тестовые задания	57
VII. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ	61
29. Ядро. Элементарные частицы	61
Тестовые задания	64
30. Ядерные реакции	68
Тестовые задания	70
31. Законы сохранения в ядерных реакциях.....	76
Тестовые задания	77
32. Фундаментальные взаимодействия	80
Тестовые задания	81
ПРИЛОЖЕНИЕ. Шкала электромагнитных волн	83
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	84

Учебное издание

Лидия Павловна Житова
Сергей Авенирович Смольников
Светлана Николаевна Шитова
Марина Владиславовна Калачева

ФИЗИКА

Часть 3

Оптика, квантовая физика, атом, ядро,
элементарные частицы

Сборник тестов

для подготовки к интернет-тестированию
студентов всех направлений специалитета и бакалавриата

Редактор *Л. В. Устьянцева*
Корректурa кафедры физики
Компьютерная верстка авторов

Подписано в печать . 2013 г. Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16.
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Печ. л. 5,5. Уч.-изд. л. 3,75. Тираж 300 экз. Заказ №

Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
Уральский государственный горный университет
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники УГГУ