

Тихомиров Ю.В.

СБОРНИК

контрольных вопросов и заданий с ответами

для виртуального физпрактикума

Часть 3. Квантовая механика.

Физика атомов, ядер и элементарных частиц

3_1. ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ. 3

3_2. СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ АТОМАРНОГО ВОДОРОДА.. 8

3_3. ЭФФЕКТ КОМПТОНА.. 13

3_4. ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ. 19

3_5. ПРОХОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО 23

3_6. ЯДРА АТОМОВ. 28

Москва - 2011

3_1. ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Вопросы и задания для самоконтроля

ВОПРОС 1

Что такое фотоны?

ОТВЕТ

ФОТОНЫ это частицы (кванты), поток которых является одной из моделей электромагнитного излучения (ЭМИ).

ЗАДАНИЕ 2

Назовите все модели электромагнитного излучения.

ОТВЕТ

Модели электромагнитного излучения:

Луч

Электромагнитное поле (волна)

Поток (совокупность) фотонов

ЗАДАНИЕ 3

Напишите формулу энергии фотона. Что такое электрон-вольт?

ОТВЕТ

Формула связи энергии фотона с частотой излучения ν : $E_{\phi} = h \cdot \nu$.

ЭНЕРГИЯ часто измеряется во внесистемных единицах «электрон-вольтах».

$1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

ЗАДАНИЕ 4

Напишите формулу, связывающую энергию фотона и его массу.

ОТВЕТ

МАССА ФОТОНА связана с его энергией соотношением Эйнштейна:

$$E_{\phi} = m_{\phi} \cdot c^2 .$$

ЗАДАНИЕ 5

Напишите формулу связи массы фотона и частоты ЭМИ.

ОТВЕТ

$$\text{Формула для массы фотона: } m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} .$$

ЗАДАНИЕ 6

Напишите выражение импульса фотона и энергии фотона через его импульс.

ОТВЕТ

$$\text{Импульс фотона: } p_{\phi} = m_{\phi} \cdot c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = \frac{E_{\phi}}{c} , \text{ энергия фотона: } E_{\phi} = p_{\phi} \cdot c .$$

ЗАДАНИЕ 7

Дайте формулировку явления внешнего фотоэффекта.

ОТВЕТ

Внешний фотоэффект есть явление вылета электронов из вещества (например, металла) при его облучении электромагнитным излучением (ЭМИ), например, светом.

ВОПРОС 8

Что такое фотоэлектроны?

ОТВЕТ

Фотоэлектронами называются электроны, вылетевшие из вещества в результате фотоэффекта.

ЗАДАНИЕ 9

Опишите, что происходит с фотоном, падающим на границу металла.

ОТВЕТ

Фотон, падающий на границу металла, поглощается свободным электроном, отдавая ему всю свою энергию.

ЗАДАНИЕ 10

Опишите по шагам, что происходит со свободным электроном металла, после его взаимодействия с фотоном.

ОТВЕТ

Кинетическая энергия электрона внутри вещества увеличивается на энергию фотона $h\nu$, но при вылете фотоэлектрона из вещества им совершается работа $A_{\text{вых}}$ (работа выхода) против сил электростатического притяжения к металлу. Таким образом сообщенная электрону фотоном дополнительная энергия уменьшается на величину, равную работе выхода из металла (фотоанода), а оставшаяся часть имеет вид кинетической энергии фотоэлектрона вне металла (фотоанода).

ВОПРОС 11

Что происходит с электроном, входящим в состав атома металла, после его взаимодействия с фотоном, если энергия падающего фотона равна энергии перехода электрона в атоме?

ОТВЕТ

Если энергия падающего фотона равна энергии перехода электрона на более высокий свободный энергетический уровень, то происходит поглощение электроном фотона и переход электрона в другое квантовое состояние.

ВОПРОС 12

Что происходит с электроном, входящим в состав атома металла, после его взаимодействия с фотоном, если энергия падающего фотона не равна энергии перехода электрона в атоме?

ОТВЕТ

Если энергия падающего фотона не равна энергии перехода электрона на более высокий свободный энергетический уровень, то происходит абсолютно упругое столкновение фотона с атомом, после которого фотон рассеивается.

ВОПРОС 13

Что такое работа выхода? Чья это характеристика?

ОТВЕТ

Работой выхода называется минимальная энергия, которую надо сообщить электрону вещества, чтобы он мог его покинуть. Работа выхода есть характеристика данного вещества.

ЗАДАНИЕ 14

Напишите формулу Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

ОТВЕТ

Формула (закон) Эйнштейна для фотоэффекта: кинетическая энергия электрона, вылетевшего из фотокатода, равна $E_{\text{К.ЭЛ}}^{\text{ВНЕ}} = h \cdot \nu - A_{\text{ВЫХ}}$.

ЗАДАНИЕ 15

Дайте определение красной границы фотоэффекта.

ОТВЕТ

Красная граница фотоэффекта есть минимальная частота ЭМИ, при которой еще наблюдается фотоэффект, т.е. для которой энергия фотона равна работе выхода $h\nu_{\text{КР}} = A_{\text{ВЫХ}}$.

ВОПРОС 16

Как устроен фотоэлемент?

ОТВЕТ

Фотоэлемент включает в себя корпус, из которого откачан воздух. Корпус имеет окно, прозрачное для ЭМИ. Внутри корпуса находятся электроды, один из которых является фотокатодом, и на который попадает ЭМИ.

ВОПРОС 17

Почему катод фотоэлемента называют фотокатодом?

ОТВЕТ

Катод фотоэлемента называют фотокатодом, т.к. он эмитирует электроны при облучении электромагнитным излучением. Обычный катод эмитирует электроны в результате нагрева.

ВОПРОС 18

Что такое запирающее напряжение для данного фотокатода?

ОТВЕТ

Запирающим (задерживающим) напряжением называется минимальное тормозящее напряжение между анодом фотоэлемента и фотокатодом, при котором отсутствует ток в цепи фотоэлемента, т.е. фотоэлектроны не долетают до анода.

ВОПРОС 19

Как движется фотоэлектрон в фотоэлементе при потенциале анода ниже потенциала фотокатода?

ОТВЕТ

При потенциале анода ниже потенциала фотокатода фотоэлектрон тормозится электрическим полем и может возвратиться на фотокатод.

ВОПРОС 20

Как движется фотоэлектрон в фотоэлементе при потенциале анода выше потенциала фотокатода?

ОТВЕТ

При потенциале анода выше потенциала фотокатода фотоэлектрон ускоряется электрическим полем, попадает на анод и поглощается им.

ВОПРОС 21

Как связана кинетическая энергия электрона у катода с его потенциальной энергией у анода и почему?

ОТВЕТ

Потенциальная энергия фотоэлектрона у анода в сумме с его кинетической энергией равна кинетической энергии фотоэлектрона около фотокатода. Это есть следствие закона сохранения полной механической энергии.

ВОПРОС 22

Как связаны кинетическая энергия электрона у катода и потенциальная энергия электрона у анода при напряжении запирающего?

ОТВЕТ

При напряжении запирающего кинетическая энергия электрона у катода равна потенциальной энергии электрона у анода, где электрон неподвижен.

ВОПРОС 23

Какова формула для напряжении запирающего?

ОТВЕТ

Формула для напряжении запирающего: $U_{\text{зап}} = \frac{h\nu}{e} - \frac{A_{\text{вых}}}{e}$,

где e – абсолютная величина заряда электрона.

3_2. СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ АТОМАРНОГО ВОДОРОДА

Вопросы и задания для самоконтроля

ВОПРОС 1

Что такое спектр электромагнитного излучения (ЭМИ)?

ОТВЕТ

СПЕКТРОМ электромагнитного излучения (ЭМИ) называется совокупность электромагнитных волн, которые излучаются или поглощаются атомами (молекулами) данного вещества.

ВОПРОС 2

Что такое линейчатый спектр ЭМИ?

ОТВЕТ

ЛИНЕЙЧАТЫЙ спектр состоит из отдельных волновых составляющих, близких к гармоническим волнам и называемых спектральными линиями. Расстояние между линиями (по шкале длин волн или частот) много больше ширины линий.

ВОПРОС 3

Что является источником линейчатого спектра ЭМИ?

ОТВЕТ

Линейчатый спектр излучают атомарные газы.

ВОПРОС 4

Что такое полосатый спектр ЭМИ и что является его источником?

ОТВЕТ

ПОЛОСАТЫЙ спектр излучают молекулярные газы.

ВОПРОС 5

При каких условиях излучается сплошной спектр ЭМИ?

ОТВЕТ

СПЛОШНОЙ спектр излучается нагретыми телами.

ЗАДАНИЕ 6

Опишите планетарную модель атома.

ОТВЕТ

ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ атома: в центре атома расположено очень малое положительно заряженное ядро, вокруг которого по определенным (разрешенным) стационарным орбитам движутся электроны, масса которых во много раз меньше массы ядра.

ВОПРОС 7

При каких условиях электроны в атоме излучают или поглощают ЭМИ?

ОТВЕТ

При движении по орбите электрон не испускает электромагнитное излучение (ЭМИ). При

поглощении ЭМИ (фотона) электрон переходит на более «высокую» разрешенную орбиту, на которой его энергия становится больше на величину $\Delta E_{эл}$, равную энергии поглощенного фотона $E_{ф}$.

ВОПРОС 8

Как связаны друг с другом характеристики фотона и электрона, который излучает или поглощает данный фотон?

ОТВЕТ

При переходе между разрешенными энергетическими уровнями электрон испускает или поглощает фотон с такой же энергией: $E_{ф} = |\Delta E_{эл}|$.

ВОПРОС 9

Какое уравнение используется для анализа квантовой модели атома?

ОТВЕТ

Для анализа квантовой модели движения электрона в кулоновском поле ядра атома используется уравнение Шредингера.

ВОПРОС 10

Что является решением уравнения Шредингера?

ОТВЕТ

Решением уравнения Шредингера для электрона, движущегося вблизи ядра, является волновая функция.

ВОПРОС 11

Как описывается электрон и его движение в квантовой модели атома?

ОТВЕТ

КВАНТОВАЯ модель атома отличается от планетарной в первую очередь тем, что в ней электрон не имеет точно определенной координаты и скорости, поэтому бессмысленно говорить о траектории его движения. Можно определить (и нарисовать) только границы области его преимущественного нахождения (орбитали).

ВОПРОС 12

Что определяет квадрат модуля волновой функции?

ОТВЕТ

Квадрат модуля волновой функции определяет плотность вероятности нахождения электрона вблизи данной точки.

ЗАДАНИЕ 13

Дайте определение орбитали электрона в атоме.

ОТВЕТ

Орбиталью называется область, в которой преимущественно находится электрон. Граница орбитали соответствует уменьшению квадрата модуля волновой функции примерно в 10 раз.

ВОПРОС 14

Что определяет главное квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

ОТВЕТ

ГЛАВНОЕ квантовое число n определяет величину энергии электрона в атоме

$$E_n = \frac{E_i}{n^2}, \text{ где } E_i - \text{ энергия ионизации атома водорода (13.6 эВ).}$$

Оно может принимать целочисленные значения 1, 2,

ВОПРОС 15

Что определяет азимутальное квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

ОТВЕТ

АЗИМУТАЛЬНОЕ (ОРБИТАЛЬНОЕ) квантовое число l определяет модуль момента импульса электрона при его орбитальном движении

$$|\vec{L}| = \hbar \cdot \sqrt{l(l+1)}.$$

Оно принимает целочисленные значения $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$.

ВОПРОС 16

Что определяет магнитное квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

ОТВЕТ

МАГНИТНОЕ квантовое число m_l определяет проекцию вектора момента импульса L_z орбитального движения электрона на направление внешнего магнитного поля \vec{B} .

Оно принимает положительные и отрицательные целочисленные значения, которые по модулю меньше или равны l : $L_z = \hbar \cdot m_l$, где $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$

ВОПРОС 17

Что такое спин электрона?

ОТВЕТ

Спином называется внутреннее движение электрона, классической моделью которого является вращение вокруг своей оси. Этому движению соответствует вектор момента импульса собственного движения (спина), который часто также называют спином.

ВОПРОС 18

Что определяет спиновое квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

ОТВЕТ

Спиновое квантовое число определяет модуль спина: $|\vec{S}| = \hbar \cdot \sqrt{s(s+1)}$.

Для электрона $s = \frac{1}{2}$ (аналогично, для протона и нейтрона). Для фотона $s = 1$.

ВОПРОС 19

Что определяет магнитное спиновое квантовое число? Напишите формулу для его нахождения.

ОТВЕТ

МАГНИТНОЕ спиновое квантовое число m_s определяет проекцию вектора собственного момента импульса электрона (СПИНА \vec{S}) на направление внешнего магнитного поля \vec{B} :

$S_z = \hbar \cdot m_s$ и принимает только 2 значения: $m_s = +1/2, -1/2$.

ВОПРОС 20

Что такое вырожденные состояния?

ОТВЕТ

ВЫРОЖДЕННЫМИ называются квантовые состояния электрона с одинаковой энергией.

ВОПРОС 21

Как определить кратность вырождения состояния?

ОТВЕТ

КРАТНОСТЬ ВЫРОЖДЕНИЯ равна количеству состояний электрона с одной и той же энергией.

ЗАДАНИЕ 22

Расшифруйте краткую запись состояния электрона в атоме .

ОТВЕТ

КРАТКАЯ запись состояния электрона в атоме: первая - ЦИФРА, равная главному квантовому числу, вторая - БУКВА, определяющая азимутальное квантовое число. Как показатель степени записывается число, равное количеству электронов, обладающих данными главным и азимутальным квантовым числом.

ВОПРОС 23

Может ли электрон иметь состояние 2d и почему?

ОТВЕТ

Состояние электрона 2d невозможно, т.к. оно соответствует $n = 2$ и $l = 2$, что запрещено неравенством $l < n$.

ЗАДАНИЕ 24

Сформулируйте правило отбора для азимутального квантового числа. Каков его физический смысл?

ОТВЕТ

Электрон в атоме может переходить только между состояниями, удовлетворяющему правилу отбора азимутального квантового числа $\Delta l = \pm 1$. Это связано с законом сохранения момента импульса и с тем, что излучаемый или поглощаемый фотон имеет спиновое квантовое число, равное 1.

ВОПРОС 25

Что такое спектральная серия?

ОТВЕТ

СПЕКТРАЛЬНОЙ СЕРИЕЙ называется совокупность линий излучения, соответствующих переходу электрона в атоме на один и тот же нижний уровень энергии.

ЗАДАНИЕ 26

Как меняются состояния электрона при возникновении спектральной серии Бальмера в атоме водорода.

ОТВЕТ

Состояния электрона при возникновении спектральной серии Бальмера в атоме водорода

меняются следующим образом (N любое целое положительное число, большее 2):
 $Np \Rightarrow 2s$, $Ns \Rightarrow 2p$ и $Nd \Rightarrow 2p$.

3_3. ЭФФЕКТ КОМПТОНА

Вопросы и задания для самоконтроля

ЗАДАНИЕ 1

Назовите модели, с помощью которых описывается электромагнитное излучение.

ОТВЕТ

Модели, с помощью которых описывается электромагнитное излучение:

Луч

Электромагнитная волна

Поток фотонов

ЗАДАНИЕ 2

Назовите области физики в которых используются соответствующие модели электромагнитного излучения (ЭМИ).

ОТВЕТ

Луч используется в геометрической оптике

Электромагнитная волна используется в волновой оптике, радиофизике и т.д.

Поток фотонов используется в квантовой физике и квантовой оптике.

ВОПРОС 3

Что такое луч?

ОТВЕТ

Луч это линия, по которой распространяется ЭМИ.

ВОПРОС 4

Что такое гармоническая волна?

ОТВЕТ

Гармонической называется волна, у которой возмущение некоторой физической характеристики меняется во времени и в пространстве по закону синуса или косинуса.

Гармоническая волна имеет точно заданную длину волны (частоту).

ЗАДАНИЕ 5

Опишите квантовую модель ЭМИ.

ОТВЕТ

Квантовая модель ЭМИ это поток частиц, называемых фотонами, энергия которых пропорциональна частоте ЭМИ. Интенсивность ЭМИ пропорциональна плотности потока фотонов.

ВОПРОС 6

Где используется квантовая модель ЭМИ?

ОТВЕТ

Поток фотонов, который моделирует ЭМИ, применяется в квантовой теории различных процессов.

ЗАДАНИЕ 7

Сформулируйте связь между характеристиками ЭМИ в волновой и квантовой моделях.

ОТВЕТ

Частота ЭМИ связана с энергией одного фотона соотношением $\nu = E_{\text{ф}} / h$.

Длина волны ЭМИ связана с энергией фотона соотношением $\lambda = h \cdot c / E_{\text{ф}}$.

ВОПРОС 8

Что такое рентгеновское излучение?

ОТВЕТ

РЕНТГЕНОВСКИМ называется электромагнитное излучение, которое можно моделировать с помощью электромагнитной волны с длиной от 10^{-8} до 10^{-12} м, или с помощью потока фотонов с энергией от 100 эВ до 10^6 эВ.

ВОПРОС 9

Что такое эффект Комптона?

ОТВЕТ

ЭФФЕКТОМ КОМПТОНА называется увеличение длины волны при рассеянии веществом электромагнитного излучения рентгеновского диапазона.

ВОПРОС 10

Как моделируется ЭМИ, падающее на вещество в эффекте Комптона?

ОТВЕТ

Для описания рентгеновского излучения, распространяющегося от источника до вещества применяется волновая модель:

ЭМИ, падающее на вещество, представляется, как монохроматическая волна с длиной λ .

ВОПРОС 11

Как моделируется ЭМИ, рассеянное веществом в эффекте Комптона?

ОТВЕТ

Для описания рентгеновского излучения, распространяющегося от вещества до приемника ЭМИ (рентгеновского спектрометра РС), применяется волновая модель:

ЭМИ, регистрируемое приемником, представляется, как монохроматическая волна с длиной λ' .

ВОПРОС 12

Как моделируется процесс взаимодействия падающего ЭМИ с электронами вещества?

ОТВЕТ

ЭМИ, взаимодействующее с веществом, моделируется, как поток фотонов. Процесс столкновения падающего рентгеновского фотона, имеющего энергию $h \cdot \omega$ и импульс $h \cdot \vec{k}$, с электроном вещества моделируется, как абсолютно упругое столкновение.

ВОПРОС 13

Какие законы сохранения выполняются при взаимодействии фотона с электроном в эффекте Комптона?

ОТВЕТ

Взаимодействие фотона с электроном в эффекте Комптона считается абсолютно упругим столкновением, поэтому для него выполняются как закон сохранения импульса, так и закон сохранения полной механической энергии.

ЗАДАНИЕ 14

Сравните поведение фотонов после взаимодействия с электронами в эффекте Комптона и фотоэффекте.

ОТВЕТ

После столкновения с электроном фотон в фотоэффекте исчезает, а при эффекте Комптона фотон сохраняется (рассеивается), причем его энергия уменьшается, а длина волны рассеянного ЭМИ увеличивается.

ВОПРОС 15

Что такое комптоновская длина волны частицы?

ОТВЕТ

Комптоновская длина волны частицы есть коэффициент пропорциональности между изменением длины волны ЭМИ при рассеянии и определенной функцией от угла падения фотона на частицу.

ВОПРОС 16

Почему эффект Комптона практически не наблюдается при рассеянии фотонов на внутренних электронах атома, сильно связанных с ядром?

ОТВЕТ

Эффект Комптона не наблюдается при рассеянии фотонов на электронах, сильно связанных с ядром атома, поскольку в этом случае фотон рассеивается на атоме, масса которого слишком велика, чтобы можно было заметить комптоновское изменение длины волны падающего ЭМИ.

ВОПРОС 17

Как меняется энергия фотона при его комптоновском рассеянии?

ОТВЕТ

При комптоновском рассеянии энергия фотона уменьшается.

ВОПРОС 18

Что происходит с электроном после рассеяния на нем фотона?

ОТВЕТ

После рассеяния фотона на электроне электрон приобретает энергию «отдачи» и его кинетическая энергия увеличивается на данную величину.

ВОПРОС 19

Чем отличается масса от массы покоя? Когда они совпадают?

ОТВЕТ

Масса движущейся частицы всегда больше ее массы покоя. Масса частицы точно равна массе покоя, только если частица неподвижна.

ВОПРОС 20

Чему равны энергия и импульс электрона до столкновения с фотоном?

ОТВЕТ

Энергия электрона до столкновения равна его энергии покоя $m_{0e}c^2$, где m_{0e} – масса покоя электрона. Импульс электрона равен 0.

ЗАДАНИЕ 21

Напишите уравнение связи импульса фотона и волнового вектора \vec{k} .

ОТВЕТ

Формула для импульса фотона $\vec{p} = \hbar \cdot \vec{k}$.

ЗАДАНИЕ 22

Напишите формулу связи квадрата энергии и импульса электрона после столкновения.

ОТВЕТ

Формула квадрата энергии электрона после столкновения

$$E^2 = c^2 \cdot (p^2 + m_{0e}^2 \cdot c^2).$$

ЗАДАНИЕ 23

Напишите формулу для эффекта Комптона.

ОТВЕТ

Изменение длины волны рассеянного фотона: $\Delta \lambda = \lambda_c \cdot (1 - \cos\vartheta)$.

ВОПРОС 24

Какова формула для комптоновской длины волны электрона?

ОТВЕТ

Формула для комптоновской длины волны электрона $\lambda_c = h / (m_{0e} \cdot c)$.

ВОПРОС 25

Чему равно максимальное изменение длины волны рассеянного фотона и когда оно наблюдается?

ОТВЕТ

Максимальное изменение длины волны рассеянного фотона: $\Delta \lambda_{\max} = 2 \cdot \lambda_c$. Оно наблюдается при обратном рассеянии, т.е. когда угол рассеяния равен 360° .

3_4. ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

ЗАДАНИЕ 1

Сформулируйте модель, описывающую состояние движения микрообъекта, применяемую в квантовой физике?

Модель, описывающая состояние движения микрообъекта в квантовой физике имеет двойственный характер и выглядит, как совокупность двух моделей - волновой и корпускулярной. *

ВОПРОС 2

Какая классическая модель ЭМИ применяется в электромагнетизме?

Электромагнитное излучение (ЭМИ) в классической физике рассматривают, как волну (электромагнитную).*

ЗАДАНИЕ 3

Назовите примеры классических моделей объектов, применяемых в механике.

Объекты механики можно описывать, используя классические модели «материальная точка», «система материальных точек», «абсолютно твердое тело» и др. *

ВОПРОС 4

Какую модель надо применять при исследовании движения самолета из Москвы в Сочи?

При исследовании движения самолета из Москвы в Сочи следует применять модель «материальная точка». *

ВОПРОС 5

Каково устройство электронно-лучевой трубки?

Электронно-лучевая трубка имеет вакуумированную стеклянную колбу, в которую установлены катод, эмитирующий электроны, управляющие электроды и люминисцентный экран. *

ВОПРОС 6

Какова волновая модель электрона, если это частица, движущаяся с постоянной скоростью?

Волновой моделью электрона, движущегося с постоянной скоростью, является

гармоническая волна. *

ЗАДАНИЕ 7

Напишите формулу для длины волны де Бройля.

Длина волны де Бройля λ для частицы массы m , движущейся со скоростью V ,

$$\lambda = h/(mV). *$$

ВОПРОС 8

Что такое явление дифракции?

Дифракцией называется огибание волной области неоднородности, возникающее, например, при наличии непрозрачного экрана, имеющего щель или границу. При этом нарушаются законы геометрической оптики, в частности, волна проникает в область геометрической тени, и возникают интерференционные явления. *

ВОПРОС 9

Как выглядит волновая функция свободно движущейся частицы?

Волновая функция свободно движущейся частицы имеет вид гармонической функции, зависящей от координаты и времени

$$\psi(t) = \psi_0 \sin(\omega t - kx) . *$$

ВОПРОС 10

Почему у электрона, проходящего через щель, появляется вертикальная (в данной компьютерной установке) составляющая импульса?

При движении через щель электроны могут изменить направление своего движения, приобретя дополнительный импульс в вертикальном направлении, поскольку внутри щели у них имеется неопределенность вертикальной координаты, равная ширине щели. *

ВОПРОС 11

Каков физический смысл волны (волновой функции) приписываемой электрону?

Физический смысл волны (волновой функции) электрона: квадрат модуля волновой функции определяет плотность вероятности нахождения электрона вблизи данной точки. *

ЗАДАНИЕ 12

Напишите соотношение для синуса угла минимума при дифракции на прямоугольной щели.

Для угла n-го минимума θ_n^{\min} при дифракции на прямоугольной щели:

$$\sin(\theta_n^{\min}) = n(\lambda/\Delta x) . *$$

ЗАДАНИЕ 13

Напишите соотношение для синуса угла максимума при дифракции на прямоугольной щели.

Для угла n-го максимума при дифракции на прямоугольной щели

$$\sin(\theta_n^{\max}) = (n+1/2)(\lambda/\Delta x) . *$$

ВОПРОС 14

Чему прямо пропорционально смещение X первого максимума дифракционной картины на экране?

Смещение первого максимума по вертикальной оси X_{m1} пропорционально расстоянию L от диафрагмы до экрана и тангенсу угла θ_1^{\max} , под которым наблюдается первый максимум:

$$X_{m1} = L \cdot \operatorname{tg}(\theta_1^{\max}) . *$$

ВОПРОС 15

Какой формы график вы ожидаете получить при построении зависимости $\langle X \rangle = f(1/\Delta x)$?

График зависимости среднего значения координаты первого максимума от обратной ширины щели $\langle X \rangle = f(1/\Delta x)$ должен иметь вид прямой, проходящей через начало координат. *

ВОПРОС 16

Как вы определите длину волны де Бройля электрона в данной работе?

Чтобы определить длину волны де Бройля электрона в данной работе надо по графику найти тангенс угла наклона прямой $\langle X \rangle = f(1/\Delta x)$ и подставить его в формулу

$$\lambda = (2/3) \cdot L \cdot [\Delta X_{m1} / \Delta(1/\Delta x)] . *$$

ВОПРОС 17

С чем вы будете сравнивать полученное числовое значение длины волны электрона?

Рассчитанное числовое значение длины волны электрона λ надо сравнить со значением, приведенным на экране. *

ЗАДАНИЕ 18

Сформулируйте соотношение неопределенностей для координаты X и проекции импульса на нее.

Соотношение неопределенностей для координаты по оси X и проекции импульса на нее:

$$\Delta X \cdot \Delta p_x \geq \hbar . *$$

3_5. ПРОХОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО

ЗАДАНИЕ 1

Назовите основные процессы, которыми сопровождается распространение электромагнитного излучения (ЭМИ) внутри вещества.

Распространение электромагнитного излучения (ЭМИ) внутри вещества сопровождается поглощением ЭМИ, а также спонтанным и индуцированным излучением. *

ВОПРОС 2

Что такое фотоны?

Фотонами называют частицы, поток которых моделирует распространение электромагнитного излучения. *

ВОПРОС 3

Как связана энергия фотона с характеристиками гармонической электромагнитной волны?

Если волновой моделью электромагнитного излучения является гармоническая волна, имеющая длину волны λ , то это излучение можно моделировать с помощью потока фотонов, каждый из которых имеет одну и ту же энергию, определяемую формулой

$$E_{\text{ф}} = hc/\lambda. *$$

ЗАДАНИЕ 4

Опишите модель ЭМИ, используемую в данной лабораторной работе.

В данной лабораторной работе используется корпускулярная модель ЭМИ, представляющая собой поток фотонов. *

ЗАДАНИЕ 5

Опишите модель вещества, взаимодействующего с ЭМИ в данной лабораторной работе.

Для описания вещества, взаимодействующего с ЭМИ, используется двухуровневая модель, состоящая из одинаковых атомов, расположенных неподвижно. Каждый атом содержит один валентный электрон, который может находиться только в двух квантовых состояниях с энергией E_2 (верхнее) и энергией E_1 (нижнее). *

ВОПРОС 6

Что такое валентный электрон?

Валентным называется электрон, находящийся в атоме в квантовом состоянии, имеющем наибольшую энергию. *

ВОПРОС 7

Что такое рассеяние?

Рассеянием называется явление, возникающее при абсолютно упругом столкновении фотона с атомом, после которого энергия фотона меняется незначительно, а направление движения у разных фотонов направлено хаотически. *

ВОПРОС 8

Каково условие появления рассеяния ЭМИ в веществе?

Условием рассеяния является недостаточность энергии фотона для обеспечения перехода валентных электронов на более высокий уровень энергии. *

ВОПРОС 9

Каково условие резонансного поглощения ЭМИ веществом?

Условием резонансного поглощения ЭМИ веществом является равенство энергии возбуждения атома и энергии фотона, который с ним сталкивается. *

ВОПРОС 10

Как меняется со временем количество электронов на нижнем энергетическом уровне при резонансном поглощении?

При попадании в вещество и резонансном поглощении ЭМИ, имеющего постоянную интенсивность на входе в вещество, количество электронов на нижних энергетических уровнях экспоненциально убывает со временем. *

ВОПРОС 11

Что такое постоянная времени перехода электронов в возбужденное состояние?

Постоянная времени перехода электронов в возбужденное состояние, равна промежутку времени, за которое концентрация электронов в веществе, находящихся на нижних энергетических уровнях, уменьшается в $e = 2.73$ раза. *

ВОПРОС 12

Что такое спонтанное излучение?

Спонтанным излучением называется процесс перехода электронов с верхнего энергетического уровня, на свободный нижний уровень, который происходит через (как правило) очень короткое время после прекращения воздействия ЭМИ и носит случайный характер. *

ВОПРОС 13

Как меняется во времени количество электронов в возбужденном состоянии при спонтанном излучении?

При спонтанном излучении концентрация электронов в возбужденном состоянии экспоненциально убывает со временем. *

ВОПРОС 14

Что такое постоянная времени перехода электронов из возбужденного в стационарное состояние?

Постоянная времени перехода электронов из возбужденного в стационарное состояние, равна промежутку времени, за которое концентрация электронов в веществе, находящихся на верхнем энергетическом уровне, уменьшается в $e = 2.73$ раза.*

ВОПРОС 15

Что такое индуцированное излучение?

Индуцированным излучением называется процесс перехода электрона из возбужденного в невозбужденное состояние, происходящий под воздействием фотона, пролетающего вблизи атома.*

ВОПРОС 16

Сформулируйте зависимость интенсивности потока фотонов $u(L)$ от расстояния L , проходимого ЭМИ в веществе.

Концентрация влетевших в вещество фотонов $u(L)$ зависит от расстояния L , проходимого ЭМИ в веществе, по экспоненциальному закону:

$$u(L) = u(0) \cdot \exp\{-\alpha L\} . *$$

ВОПРОС 17

От чего зависит коэффициент затухания ЭМИ в данном эксперименте?

Коэффициент затухания ЭМИ в данном эксперименте зависит от коэффициентов Эйнштейна B_{12} и разности концентраций $(n_1 - n_2)$ по формуле

$$\alpha = \beta \cdot B_{12} \cdot (n_1 - n_2) . *$$

ВОПРОС 18

Что такое коэффициент усиления ЭМИ при его распространении в веществе?

Коэффициент усиления k ЭМИ при его распространении в веществе есть отношение концентрации фотонов на выходе из вещества $u(L)$ к концентрации на входе $u(0)$:

$$k = u(L)/u(0) . *$$

ВОПРОС 19

Что такое инверсная заселенность уровней?

Инверсной заселенностью уровней называется состояние среды, когда концентрация электронов на верхнем энергетическом уровне n_2 больше концентрации на нижнем n_1 , а количество фотонов на выходе из среды будет больше, чем на входе.*

ВОПРОС 20

Что такое активная среда?

Активной называется среда с инверсной заселенностью уровней.*

ВОПРОС 21

Какой элемент, помимо активной среды, необходим для генерации ЭМИ?

Для генерации ЭМИ, помимо активной среды, необходим источник накачки, создающий среду с инверсной заселенностью уровней.*

ВОПРОС 22

Что такое метастабильное состояние электрона в атоме?

Метастабильным называется такое квантовое состояние, в котором электрон может находиться значительно более долгое время (примерно в 100000 раз), чем в обычном возбужденном состоянии.*

ВОПРОС 23

Что такое коэффициент усиления интенсивности ЭМИ в данной модели?

Чем больше интенсивность накачки (коэффициент усиления интенсивности в некоторых относительных единицах), тем больше электронов «перебрасывается» с нижнего уровня на верхний за то же время.*

ВОПРОС 24

Сколько атомов входят в состав компьютерной модели? Как они себя ведут?

В данной компьютерной модели «двухуровневой среды» используются 20 атомов, которые считаются одинаковыми и неподвижными. Их валентные электроны, по одному на каждый атом, могут иметь только 2 энергетических состояния: нижнее с минимальной энергией E_1 и верхнее с более высокой энергией E_2 .*

3_6. ЯДРА АТОМОВ

ВОПРОС 1

Что называют ядром атома?

Ядром называется центральная часть атома, которая имеет очень малый размер и в которой сосредоточена основная масса атома. *

ВОПРОС 2

Что такое нуклон?

Нуклонами называют протоны и нейтроны, поскольку они входят в состав ядер атомов.*

ВОПРОС 3

Что такое зарядовое число ядра и чему оно равно?

Зарядовое число определяет электрический заряд ядра. Оно равно количеству протонов в данном ядре. *

ВОПРОС 4

Что определяет порядковый номер химического элемента в таблице Менделеева?

Порядковый номер данного химического элемента в таблице Менделеева равен зарядовому числу ядра. *

ВОПРОС 5

В чем состоит главное отличие нейтрона от протона?

Главное отличие нейтрона от протона заключается в том, что нейтрон не заряжен, а протон имеет положительный заряд.*

ВОПРОС 6

Какие характеристики нейтрона точно совпадают с аналогичными характеристиками протона?

У нейтрона точно такое же спиновое квантовое число, как и у протона.*

ВОПРОС 7

Что можно сказать о количестве протонов и нейтронов в ядрах?

Количество протонов точно равно количеству электронов в атоме. Количество нейтронов у легких ядер примерно равно количеству протонов, а у тяжелых ядер – примерно на 60% больше. Только у одного элемента - водорода - в ядре отсутствуют нейтроны. *

ВОПРОС 8

Что такое изотопы?

Изотопами данного элемента называются вещества, ядра которых имеют одно и то же количество протонов, но разное количество нейтронов. *

ЗАДАНИЕ 9

Назовите наиболее известные модели ядра атома.

Наиболее известными моделями ядер являются капельная и оболочечная.*

ЗАДАНИЕ 10

Опишите особенности капельной модели ядра.

В КАПЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ядро моделируется, как капля жидкости, частицы которой (нуклоны) участвуют в ядерном взаимодействии. Вне контакта нуклонов между ними действуют силы притяжения, при контакте и сжатии - отталкивания.*

ЗАДАНИЕ 11

Опишите движение нуклона в ядре согласно оболочечной модели.

Согласно оболочечной модели ядра каждый нуклон ядра движется колебательно в общем поле ядерных сил, создаваемом всеми нуклонами ядра.*

ЗАДАНИЕ 12

Запишите формулу энергии одномерного квантового осциллятора.

Формула энергии одномерного квантового осциллятора

$$E_n = \hbar\omega(n+1/2).*$$

ЗАДАНИЕ 13

Запишите формулу энергии трехмерного квантового осциллятора.

Формула энергии трехмерного квантового осциллятора

$$E_n = \hbar\omega(n+3/2).*$$

ВОПРОС 14

Сколько квантовых чисел определяют доступное квантовое состояние нуклона в ядре?

Назовите их и укажите их обозначения и числовые значения.

Тройка целых чисел n_x , n_y , n_z совместно с $m_s = \pm \frac{1}{2}$ (магнитное спиновое квантовое число нуклона) дают четверку чисел, полностью определяющую состояние нуклона в ядре.*

ЗАДАНИЕ 15

Дайте определение оболочки.

Оболочкой называют совокупность доступных состояний нуклонов с фиксированным числом n , определяющим энергию движения нуклона.*

ЗАДАНИЕ 16

Дайте определение подоболочки.

Подоболочкой называют совокупность доступных состояний нуклонов с фиксированной тройкой чисел n_x , n_y и n_z .*

ВОПРОС 17

Сколько квантовых состояний содержит оболочка?

Количество квантовых состояний в оболочке с номером n равно

$$K_n = (n+1)(n+2).*$$

ВОПРОС 18

Сколько квантовых состояний содержит подболочка?

Количество квантовых состояний в подболочке с любым номером равно 2. *

ВОПРОС 19

Какие свойства будут существенно разными у химических элементов, имеющих ядра с четным и нечетным количеством протонов?

Ядра будут иметь повышенную устойчивость и больше изотопов, если они содержат четное количество протонов и, следовательно, заполненные протонные подболочки. *

ВОПРОС 20

Что такое магические ядра?

Магическими называют ядра, у которых заполнены все протонные оболочки. Количество протонов в них называют «магическими числами». *

ВОПРОС 21

Что такое дважды магические ядра?

Дважды магическими называют ядра, у которых и количество протонов и количество нейтронов равно магическому числу. У них полностью заполнены оболочки, как для протонов, так и для нейтронов. *

ЗАДАНИЕ 22

Напишите формулу для определения магических чисел.

Формула для определения магического числа с номером m :

$$K_m = \sum_{n=1}^m (n+1)(n+2).*$$

ВОПРОС 23

Много или мало изотопов в среднем, как вы предполагаете, будут иметь химические элементы в заданном для вашей бригады диапазоне изменения Z и почему?

Особенно много изотопов будут иметь химические элементы, у которых ядра имеют состав, близкий к составу дважды магических ядер. *

ВОПРОС 24

Как примерно должен выглядеть график $N_{из}(Z)$ для четных и нечетных Z с учетом значений Z для вашей бригады, приведенных в табл.1?

График количества изотопов для элементов с нечетным Z будет проходить близко к горизонтальной оси, а для четных Z будут заметные отклонения в количестве изотопов с максимумами вблизи магических чисел. *

