

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	1	2	3	Σ	экзаменационная оценка

Шкала оценок за экзаменационную работу

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0-2	3-4	5-6	7-9	10-12	13-15	16-20	21-23	24-26	27+

семинар	к/р	накопленная	экзаменационная	ИТОГОВАЯ

Правила вычисления оценок:

- $НО=0,6 КР+0,4СЕМ$ , округление по математическим правилам
- $ИО=0,4ЭКЗ+0,6НО$ , округление в пользу студента

## Экзаменационная контрольная работа по курсу «Основы квантовой физики»

### А. Выбрать ответ (отметить на листе) (1 балл за задание)

- Как можно описать поведение квантовой микрочастицы (например, электрона)?
  - описать состояние квантовой частицы невозможно
  - можно точно задать все физические характеристики (координаты, импульсы и т.д.)
  - при помощи волновой функции, которая позволяет определить вероятность обнаружения системы в различных состояниях
  - можно описать поведение частицы только в некоторых состояниях, имеющих определенное значение энергии
- Волновые свойства проявляют
  - все частицы
  - только безмассовые частицы
  - только релятивистские ( $V \approx c$ ) частицы
  - только нерелятивистские ( $V \ll c$ ) частицы
- Как проявляются колебательные степени свободы молекул?
  - никак, так как при возникновении колебаний молекула распадается
  - масса молекулы заметно отличается от массы составляющих ее атомов из-за энергии, запасенной в колебаниях
  - возникают дополнительные линии в спектрах поглощения
  - при возникновении колебаний прекращается поступательное движение молекул
- Для электронов в полупроводнике без примесей верно следующее:
  - при  $T=0$  все электроны связаны с родительскими ионами, проводимость отсутствует
  - при  $T=0$  имеется столько же свободных электронов, как и в металле
  - при  $T=0$  имеется небольшое (значительно меньшее, чем в типичном металле) количество электронов
  - в полупроводнике проводимость связано не с электронами, а только с дырками

5. Ядра атомов состоят из
  - a) альфа-частиц и бета-частиц
  - b) протонов и электронов
  - c) протонов и нейтронов
  - d) кварков
6. Размер ядра атома равен примерно
  - a) 1 нанометр ( $10^{-9}$  м)
  - b) 1 фемтометр ( $10^{-15}$  м)
  - c) 1 ангстрем ( $10^{-10}$  м)
  - d) 1 парсек
7. При альфа-распаде ядро испускает
  - a) протон
  - b) нейтрон
  - c) ядро атома гелия
  - d) ядро атома дейтерия
8. При каком условии при столкновении электронов и позитронов в коллайдере могут получиться пары протон-антипротон
  - a) если суммарная кинетическая энергия сталкивающихся частиц больше массы покоя образующихся частиц
  - b) процесс невозможен, так как конечные частицы состоят из кварков
  - c) при любой энергии сталкивающихся частиц
  - d) только если электроны и позитроны одновременно ударят по атому-мишени
9. Нейтрино на Солнце образуются в результате
  - a) альфа-распада
  - b) бета-распада
  - c) реакция деления ядер
  - d) реакций синтеза
10. Какое из перечисленных уравнений выражает соотношение неопределённостей Гейзенберга:
  - a)  $\hat{H} \Psi = E \Psi$
  - b)  $i \hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi$
  - c)  $\sqrt{\langle (\Delta x)^2 \rangle} \times \sqrt{\langle (\Delta p)^2 \rangle} \geq \frac{\hbar}{2}$
  - d)  $E_n = -Ry \frac{1}{n^2}$

## **В. Выписать определение, формулу, описание эффекта (2 балла за задание)**

1. Какими квантовыми числами описывается состояние электрона в водородоподобном атоме? Назовите смысл хотя бы двух из них.
2. Как может быть разрушено сверхпроводящее состояние сверхпроводника? Для полного ответа — назвать не менее двух способов.
3. Почему ускорители частиц становятся всё больше по размеру?
4. Чем полупроводники отличаются от металла?
5. В чём (в каком эффекте или в каком опыте) проявляется наличие у электрона собственного момента вращения (спина)? Достаточно одного примера.

**С. Решить задачи (№1-4 балла, №2-2 балла, №3-4 балла)**

1. Одним из методов датировки образцов в геологии является калий-аргоновый метод. Содержащийся в горных породах радиоактивный изотоп  $^{40}\text{K}$  (современное содержание около 0.01%) претерпевает с вероятностью 89% электронный бета-распад в  $^{40}\text{Ca}$  и с вероятностью 11% позитронный бета-распад в  $^{40}\text{Ar}$ . Среднее время полураспада равно 1.25 млрд. лет, будем считать его одинаковым для обоих каналов распада. Считая, что весь аргон-40 удерживается в структуре минерала определить, когда сформировался образец, в котором при анализе был обнаружен 1 г изотопа  $^{40}\text{K}$  и 0.5 г  $^{40}\text{Ar}$ .
2. Иглу туннельного микроскопа подводят к металлическом образцу. Оценить, при каком расстоянии от иглы до образца электрон сможет перейти между ними с вероятностью 10%. Работу выхода принять равной 4.5 эВ и считать одинаковой для материалов иглы и образца, приложенное к игле напряжение мало и его можно не учитывать.
3. Отрицательный мюон  $\mu^-$  ( $m=208m_e$ ,  $\tau=2.2$  мкс) может быть захвачен протоном, образуя мюонный атом. В рамках боровской модели оценить, сколько оборотов по первой орбите совершит мюон за время, равное периоду своего полураспада.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	1	2	3	Σ	экзаменационная оценка

Шкала оценок за экзаменационную работу

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0-2	3-4	5-6	7-9	10-12	13-15	16-20	21-23	24-26	27+

семинар	к/р	накопленная	экзаменационная	ИТОГОВАЯ

Правила вычисления оценок:

- $НО=0,6 КР+0,4СЕМ$ , округление по математическим правилам
- $ИО=0,4ЭКЗ+0,6НО$ , округление в пользу студента

## Экзаменационная контрольная работа по курсу «Основы квантовой физики»

### А. Выбрать ответ (отметить на листе) (1 балл за задание)

1. Каким свойством обладает стационарное состояние микрочастицы?
  - a) в этом состоянии плотность вероятности не меняется во времени
  - b) в этом состоянии волновая функция не меняется во времени
  - c) в этом состоянии одновременно точно определены координата и импульс
  - d) в этом состоянии энергия частицы не определена
2. Для квантовой частицы, помещенной в потенциальную яму, верно следующее:
  - a) частица покоится в состоянии с наименьшей энергией
  - b) импульс частицы равен нулю
  - c) энергия частицы принимает дискретные значения
  - d) частица с некоторой вероятностью всегда может покинуть яму
3. Вращательные степени свободы дают заметный вклад в теплоёмкость молекул
  - a) при всех температурах в соответствии с теоремой о равнораспределении
  - b) только при низких температурах
  - c) при температурах, больших чем энергия кванта вращательного движения
  - d) только если молекула помещена в сильное магнитное поле
4. Для электронов в металле верно следующее:
  - a) электроны в металле становятся свободными только при достаточно большой температуре
  - b) электроны в металле все имеют одинаковую энергию
  - c) все электроны в металле при  $T=0$  покоятся
  - d) электроны в металле постоянно движутся даже при  $T=0$
5. Типичный размер атома равен
  - a) 1 нанометр ( $10^{-9}$  м)
  - b) 1 фемтометр ( $10^{-15}$  м)
  - c) 1 ангстрем ( $10^{-10}$  м)
  - d) 1 парсек

6. Какая частица НЕ может испускаться ядром при бета-распаде:
- электрон
  - позитрон
  - нейтрино
  - альфа-частица
7. Как соотносятся массы ядра и массы составляющих его протонов и нейтронов:
- масса составного ядра больше массы отдельных протонов и нейтронов
  - масса составного ядра меньше массы отдельных протонов и нейтронов
  - масса составного ядра равна массе отдельных протонов и нейтронов
  - для разных изотопов верны разные из перечисленных выше утверждений
8. Как изменяется состояние сверхпроводника при пропускании через него тока:
- никак, сопротивление всегда остаётся равным нулю
  - при пропускании даже слабого тока возникает небольшое сопротивление, которое много меньше чем сопротивление нормального металла
  - сколь угодно слабый ток сразу полностью разрушает сверхпроводимость
  - сопротивление остаётся равным нулю пока ток не достигнет некоторого критического значения, зависящего от материала, после чего сверхпроводящее состояние полностью разрушается
9. Почему на Земле обнаруживается лишь 30% от ожидаемого количества электронных нейтрино, образующихся на Солнце:
- нейтрино превращаются в другие частицы по пути от Солнца до Земли
  - электронные нейтрино превращаются в нейтрино других типов (мюонное и тау) по пути от Солнца до Земли
  - это на Солнце образуется меньше нейтрино, термоядерные реакции на Солнце идут медленнее, чем считалось
  - нейтрино аннигилируют в космосе
10. Какое из перечисленных уравнений выражает соотношение стационарное уравнение Шредингера:
- $\hat{H} \Psi = E \Psi$
  - $i \hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi$
  - $\sqrt{\langle (\Delta x)^2 \rangle} \times \sqrt{\langle (\Delta p)^2 \rangle} \geq \frac{\hbar}{2}$
  - $E_n = -Ry \frac{1}{n^2}$

## **В. Выписать определение, формулу, описание эффекта (2 балла за задание)**

- В чём заключается принцип Паули? Как он проявляется в водородоподобном атоме?
- Как можно обнаружить нейтрино?
- На чём основан метод углеродной датировки?
- Что такое энергия Ферми? Привести определение, формулу и оценку величины для типичного металла.
- Какие экспериментальные результаты подтверждают теорию о передаче взаимодействия посредством обмена частицами-переносчиками взаимодействия (привести 1-2 примера).

**С. Решить задачи (№1-4 балла, №2-3 балла, №3-3 балла)**

1. В некотором полупроводнике ширина запрещённой зоны равна 2.17 эВ, но энергия создания водородоподобного связанного состояния электрона и дырки (экситона) оказалась равной 2.14 эВ. Считая диэлектрическую проницаемость полупроводника равной  $\epsilon=10$  оценить эффективные массы электрона и дырки, считая их одинаковыми.
2. Покоящийся пи-плюс-мезон ( $m_{\pi}c^2=140$  МэВ) распадается на положительный мюон ( $m_{\mu}c^2=105$  МэВ) и мюонное нейтрино  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ . Найти отношение кинетической энергии образовавшегося мюона к энергии нейтрино.
3. В одномерной квантовой яме с высокими стенками шириной  $d=1$  нм находятся два электрона в состоянии с минимальной полной энергией. Насколько нужно уменьшить ширину ямы, чтобы полная энергия электронов возросла в два раза.