

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЛГПУ»)

Институт физико-математического образования, информационных и
обслуживающих технологий

Кафедра физики и методики преподавания физики

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ИФМОИОТ

_____ Е.А. Журавлева
«15» _____ 2025 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации
обучающихся по дисциплине «Основы теоретической физики
(квантовая механика)»

По направлению подготовки 44.03.05 ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ (С ДВУМЯ ПРОФИЛЯМИ ПОДГОТОВКИ)

Профиль подготовки **Физика. Математика**

Квалификация выпускника **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Курс **5 (9 семестр)**

Разработчики:

доцент кафедры физики
и методики преподавания
физики, канд. физ.-мат. наук
Сильчева А.Г.

Ассистент кафедры физики
и методики преподавания
физики Тхетелев Ю.В.

Врио заведующего кафедры физики
и методики преподавания физики

_____ Корчикова Н.В.

«13» января 2025 г.

Луганск, 2025

1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

1.1. Область применения

Фонд оценочных средств (ФОС) – неотъемлемая часть рабочей программы дисциплины «**Основы теоретической физики (Квантовая механика)**» и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений студентов, освоивших программу дисциплины .

1.2. Цели и задачи фонда оценочных средств

Цель ФОС – установить соответствие уровня подготовки обучающегося требованиям ФГОС ВО бакалавриата по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22.02.2018 г. № 125 (с изменениями и дополнениями).

1.3. Перечень компетенций, формируемых в процессе освоения основной образовательной программы

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций и индикаторов их достижения:

Код по ФГОС ВО	Индикатор достижения
Профессиональные	
ПК-1 Способен осваивать использовать теоретические знания и практические умения и навыки в предметной области при решении профессиональных задач	ПК-1.1. Знает структуру, состав и дидактические единицы предметной области (преподаваемого предмета). ПК-1.2. Умеет осуществлять отбор учебного содержания для его реализации в различных формах обучения в соответствии с требованиями ФГОС ОО.

1.4. Этапы формирования компетенций и средства оценивания уровня их сформированности

Структура дисциплины

Раздел 1: Экспериментальные основы квантовой теории

Раздел 2: Основные положения и математический аппарат квантовой механики

Раздел 3: Одномерные квантово-механические задачи

Раздел 4: Движение в центральном поле

Раздел 5: Теория возмущений. Квантовые переходы и теория излучения

Раздел 6: Многоэлектронные атомы. Молекула

Этапы формирования компетенций	Компетенции	Контрольно-оценочные средства / способ оценивания
Раздел 1	ПК-1.1 ПК-1.2	Решение задач. Контрольная работа 1
Разделы 1-2	ПК-1.1 ПК-1.2	Решение задач и тестирование по теоретическому материалу (Тест 1). Контрольная работа 2

Разделы 3-4	ПКО-1	Решение задач тестирование по теоретическому материалу (Тест 2). Контрольная работа 3
Разделы 1-4, 6	ПК-1, 2	Выполнение индивидуальных заданий
Раздел 3-6	ПК-1.1	Тестирование по теоретическому материалу (Тест 2)
Промежуточная аттестация	ПК-1.1 ПК-1.2	Экзамен (устный)

1.5. Описание показателей формирования компетенций

Код компетенции	Результаты сформированности	
ПК-1	<p>Знает: структуру, дисциплины, основные понятия, принципы и положения ;</p> <p>Умеет: применять полученные знания к отбору принципиально значимого материала теории для его применения в различных разделах физики в соответствии с требованиями ФГОС ВО.</p> <p>Владеет навыками: самостоятельной работы по освоению приемов и методов классической механики для решения профессионально ориентированных задач.</p>	

Вид учебной работы	Количество баллов
Выполнение контрольных работ	3x10=30
Выполнение индивидуальных заданий	20
Тестирование	2x20=40
Работа на практических занятиях	10
Всего за семестр	100

Накопительная система оценивания по 100-балльной шкале

система оценивания экзамена	100- балльная шкала	Буквенная шкала, соответствующая 100- балльной шкале	Система оценивания зачета
Отлично	90–100	А – отлично – теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы; все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их	

		выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному	Зачтено
Хорошо	83–89	В – очень хорошо – теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы; все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения большинства из них оценено числом баллов, близким к максимальному	
Хорошо	75–82	С – хорошо – теоретическое содержание курса освоено полностью; некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно; все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками	
Удовлетворительно	63–74	D – удовлетворительно – теоретическое содержание дисциплины освоено частично, но пробелы не носят существенного характера; необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы; большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, содержат ошибки	
Удовлетворительно	50–62	E – посредственно – теоретическое содержание курса освоено частично; некоторые практические навыки работы не сформированы, многие предусмотренные программой обучения учебные задания не выполнены либо качество выполнения некоторых из них оценено числом баллов, близким к минимальному	
Неудовлетворительно	21–49	FX – неудовлетворительно – теоретическое содержание курса освоено частично; необходимые практические навыки работы не сформированы; большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено либо качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному; при дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения учебных заданий	Не зачтено
Неудовлетворительно	0–20	F – неудовлетворительно – теоретическое содержание курса не освоено; необходимые практические навыки работы не сформированы; все выполненные учебные	

		<p>задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над материалом курса не приведет к какому-либо значимому повышению качества выполнения учебных заданий</p>	
--	--	---	--

2. КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

2.1. Оценочные средства текущего контроля

Контрольная работа 1 (пример)

Вариант 1

1. На какой угол рассеялся γ -квант с энергией $\varepsilon = 0,8$ МэВ в результате столкновения с покоящимся свободным электроном, если скорость электрона отдачи оказалась равной $v = 0,8c$?

2. В соответствии с теорией Бора определить магнитный момент электрона, движущегося на n -ой орбите атома водорода. Показать, что отношение магнитного момента к механическому постоянно для всех орбит.

Ответы: 1. $\cos \vartheta = 1 - \frac{m_e c^2 / \varepsilon}{4 - m_e c^2 / \varepsilon} = 0,85$ и $\vartheta = 30^\circ$ 2. $\mu = \frac{e\hbar}{2m} n$; 3. $\lambda = a^2$;

Контрольная работа 2 (пример)

Вариант 1

1. Частица массой m_0 движется поле одномерного потенциала

$$U(x) = 0 \quad \text{при } x \leq 0$$

$$U(x) = U_0 \quad \text{при } x \geq 0$$

с энергией $E < U_0$. Определить коэффициент отражения частицы от барьера

2. Определить среднее значение квадрата проекции момента импульса в состоянии, описываемом волновой функцией $\psi = A \cos \varphi$.

Ответ: 1. $R = 1$ 2. $\overline{L_z^2} = \hbar^2$

ПРИМЕР ТЕСТА 1 (по материалу разделов 1-4)

Вариант 1

1. Волна де Бройля для свободной частицы, движущейся в направлении x , может быть представлена в виде:

А) $\psi(x,t) = Ce^{-\frac{i}{\hbar}(Et+px)}$; Б) $\psi(x,t) = Ce^{-\frac{i}{\hbar}(Et-px)}$; В) $\psi(x,t) = Ce^{-\frac{i}{\hbar}(Et+px)}$;
Г) $\psi(x,t) = Ce^{-\frac{i}{\hbar}(Et+px)}$; Д) правильного ответа нет; Е) не знаю

2. Физический смысл волновой функции заключается в утверждении:

- А) волновая функция определяет длину волны частицы;
Б) модуль волновой функции есть плотность вероятности локализации частицы;
В) квадрат модуля волновой функции есть вероятность локализации частицы;
Г) квадрат модуля волновой функции есть плотность вероятности локализации частицы.
Д) правильный ответ отсутствует; Е) не знаю

3. Соотношение неопределенностей Гейзенберга является выражением

- А) влияния измерения на состояние движения микрочастицы; Б) принципа дополнительности;
В) корпускулярно-волнового дуализма частиц; Г) правильного ответа нет; Д) не знаю

4. Для собственных функций ψ_n и собственных значений физической величины F_n справедливо равенство

- А) $\hat{F}\psi_n = F\psi_n$; Б) $\hat{F}\psi = F_n\psi$; В) $\hat{F}\psi = F\psi$; Г) $\hat{F}\psi_n = F_n\psi_n$; Д) правильного ответа нет;
Е) не знаю

5. Две физические величины f_1 и f_2 , изображаемые операторами \hat{f}_1 и \hat{f}_2 , могут быть одновременно измеренными, если

- А) $\hat{f}_1 + \hat{f}_2 = \hat{f}_2 + \hat{f}_1$; Б) $\hat{f}_1\hat{f}_2 + \hat{f}_2\hat{f}_1 = 0$; В) $\hat{f}_1\hat{f}_2 - \hat{f}_2\hat{f}_1 = 0$; Г) правильного ответа нет;
Д) не знаю

6. В состоянии $\psi = a_1\psi_1 + a_2\psi_2$, где ψ_1 и ψ_2 - собственные функции физической величины F , имеющей дискретный спектр, вероятность наблюдения значения F_1 определяется выражением

- А) $W(F_1) = W_1 = |a_2|^2$; Б) $W(F_1) = W_1 = |a_1|^2 + |a_2|^2$; В) $W(F_1) = W_1 = |a_1|$;
Г) $W(F_1) = W_1 = |a_2|$; Д) $W(F_1) = W_1 = |a_1|^2$; Е) не знаю

7. Условие ортогональности собственных функций имеет вид:

- А) $\int \psi_n^*(\vec{r})\psi_m(\vec{r})dV = 1$ при $m = n$; Б) $\int \psi_n^*(\vec{r})\psi_m(\vec{r})dV = 1$ при $m \neq n$;
В) $\int \psi_n^*(\vec{r})\psi_m(\vec{r})dV = 0$ при $m = n$; Г) $\int \psi_n^*(\vec{r})\psi_m(\vec{r})dV = 0$ при $m \neq n$;
Д) правильного ответа нет; Е) не знаю

8. Оператор кинетической энергии имеет вид:

- А) $\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m}\Delta$; Б) $\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla$; В) $\hat{T} = \frac{\hbar^2}{2m}\Delta$; Г) $\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla$; Д) правильного ответа нет;
Е) не знаю

9. Спектр координаты микрочастицы

- А) непрерывный; Б) дискретный; В) смешанный; Г) правильного ответа нет; Д) не знаю

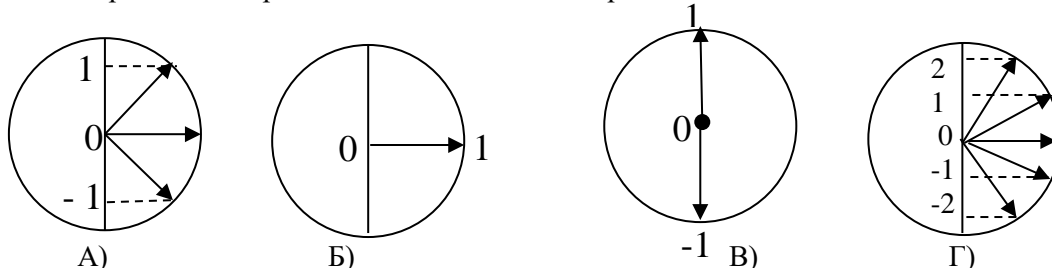
10. При движении в центрально-симметричном поле угловое распределение вероятности локализации частицы

- А) зависит от конкретного вида поля; Б) не зависит от конкретного вида поля;
В) зависит от полной энергии частицы. Г) Среди ответов правильного нет.

11. Чему равен модуль орбитального момента электрона, находящегося в d -состоянии?

- А) $3\hbar$; Б) $2\hbar$; В) $\hbar\sqrt{3}$; Г) $\hbar\sqrt{2}$; Д) $\hbar\sqrt{6}$; Е) $6\hbar$; Ж) не знаю

12. Электрон атома находится в p -состоянии. Какой из рисунков правильно отражает возможные ориентации орбитального момента электрона?



- Д) правильного рисунка нет; Е) не знаю

13. Стационарное уравнение Шредингера имеет вид:

- А) $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi$; Б) $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U(x, y, z)\psi$;
В) $-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U(x, y, z)\psi = E\psi$; Г) $-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi = E\psi$; Д) правильного ответа нет; Е) не знаю

14. Стационарными состояниями называются состояния, в которых

- А) полная энергия имеет определенное значение; Б) импульс имеет определенное значение;
В) потенциальная энергия имеет определенное значение;
Г) кинетическая энергия имеет определенное значение; Д) правильного ответа нет; Е) не знаю

15. Динамическая переменная, изображаемая оператором \hat{F} , является квантовомеханическим интегралом движения, если

- А) $\hat{H}\hat{F} + \hat{F}\hat{H} = 0$; Б) $[\hat{H}\hat{F}] = 0$; В) $\hat{H}\hat{F} = 0$; Г) правильного ответа нет; Д) не знаю

16. При одномерном финитном движении микрочастицы ее энергетический спектр

- А) непрерывный; Б) дискретный; В) смешанный; Г) правильного ответа нет; Д) не знаю

17. Нулевые колебания квантового гармонического осциллятора обусловлены:

- А) равенством нулю полной энергии; Б) равенством нулю кинетической энергии;
В) равенством нулю потенциальной энергии; Г) соотношением неопределенностей; Д) не знаю

18. Вероятность туннелирования сквозь потенциальный барьер

- А) пропорциональна ширине барьера и массе микрочастицы;
Б) обратно пропорциональна ширине барьера и прямо пропорциональна массе частицы
В) обратно пропорциональна ширине барьера и массе частицы;
Г) пропорциональна ширине барьера и обратно пропорциональна массе частицы
Д) не зависит ни от ширины барьера, ни от массы частицы; Е) не знаю

19. Энергия стационарного состояния атома водорода зависит от главного квантового числа n по закону:

- А) $E_n \sim 1/n$; Б) $E_n \sim 1/n^2$; В) $E_n \sim n$; Г) $E_n \sim n^2$; Д) правильного ответа нет; Е) не знаю

20. Орбитальный момент электрона в возбужденном атоме водорода может быть сориентированным пятью способами. На каком энергетическом уровне находится атом?

- А) $n = 1$; Б) $n = 2$; В) $n = 3$; Г) $n = 4$; Д) Правильного ответа нет; Е) не знаю

ПРИМЕР Теста 2 (по материалу разделов 5-6)
Вариант 1

1. n -ый энергетический уровень невозмущенной квантовой системы f -кратно вырожден. При наличии возмущения

- А) энергия системы не меняется; Б) энергетический уровень расщепляется на два подуровня; В) энергетический уровень расщепляется на f подуровней; Г) энергетический уровень расщепляется на n подуровней; Д) правильного ответа нет

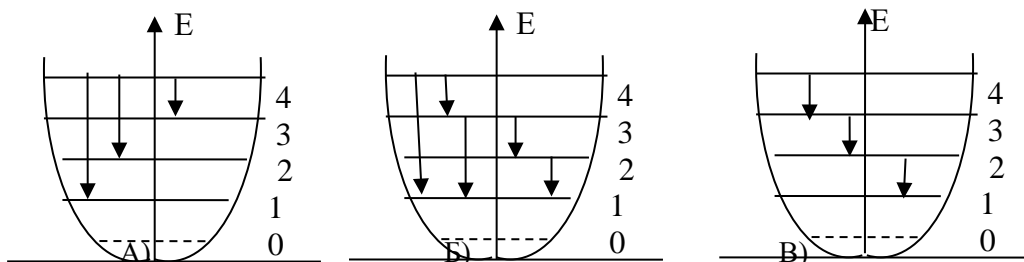
2. Квантовый переход электрона в атоме под действием вынуждающего излучения возможен, если

- А) в составе излучения имеется боровская частота перехода; Б) если выполняются правила отбора для всех квантовых чисел; В) если в составе излучения имеется боровская частота перехода и выполняются все правила отбора для всех квантовых чисел; Г) правильного ответа нет.

3. Правила отбора для орбитального квантового числа электрона в атоме имеют вид:

- А) $\Delta l = \pm 1$; Б) $\Delta l \neq 0$; В) $\Delta l = 1$; Г) $\Delta l = 0, \pm 1$; Д) $\Delta l = 0$; Е) правильного ответа нет.

4. Квантовый гармонический осциллятор находится в возбужденном состоянии на четвертом энергетическом уровне. Какие из указанных квантовых переходов допускаются правилами отбора?



Г) правильного ответа нет.

5. Какие из указанных ниже квантовых переходов допускаются правилами отбора?

- А) $2p \rightarrow 2s$; Б) $3p \rightarrow 2p$; В) $3d \rightarrow 2s$; Г) $4p \rightarrow 2s$; Д) $3s \rightarrow 2p$; Е) правильного ответа нет.

6. Время жизни в возбужденном состоянии τ связано с вероятностью спонтанного перехода в невозбужденное состояние λ соотношением

- А) $\tau = \frac{1}{\lambda}$; Б) $\tau \sim \lambda$; В) $\tau = \frac{2}{\lambda}$; Г) $\tau = \tau_0 e^{-t/\tau_0}$; Д) правильного ответа нет.

7. Гироманнитное отношение γ для орбитального движения электрона равно

- А) $\frac{e}{2m}$; Б) $-\frac{e}{2m}$; В) $\frac{e}{m}$; Г) $-\frac{e}{m}$; Д) правильного ответа нет.

8. Спин электрона есть

- А) собственный импульс электрона; Б) собственный механический момент электрона; В) собственный магнитный момент электрона; Г) проекция собственного механического момента; Д) правильного ответа нет

9. Волновая функция системы из двух фермионов удовлетворяет условию

- А) $\psi(1,2) = \psi(2,1)$; Б) $\psi(1,2) = -\psi(2,1)$; В) $\psi(1,2) = \psi(1)\psi(2)$; Г) $\psi(1,2) = -\psi(1)\psi(2)$; Д) правильного ответа нет.

10. Определить порядковый номер элемента, у которого К, L оболочки и 3s подоболочка заполнены электронами полностью, а 3p подоболочка – наполовину.

А) 10; Б) 12; В) 15; Г) 18; Д) 20; Е) правильного ответа нет. 9

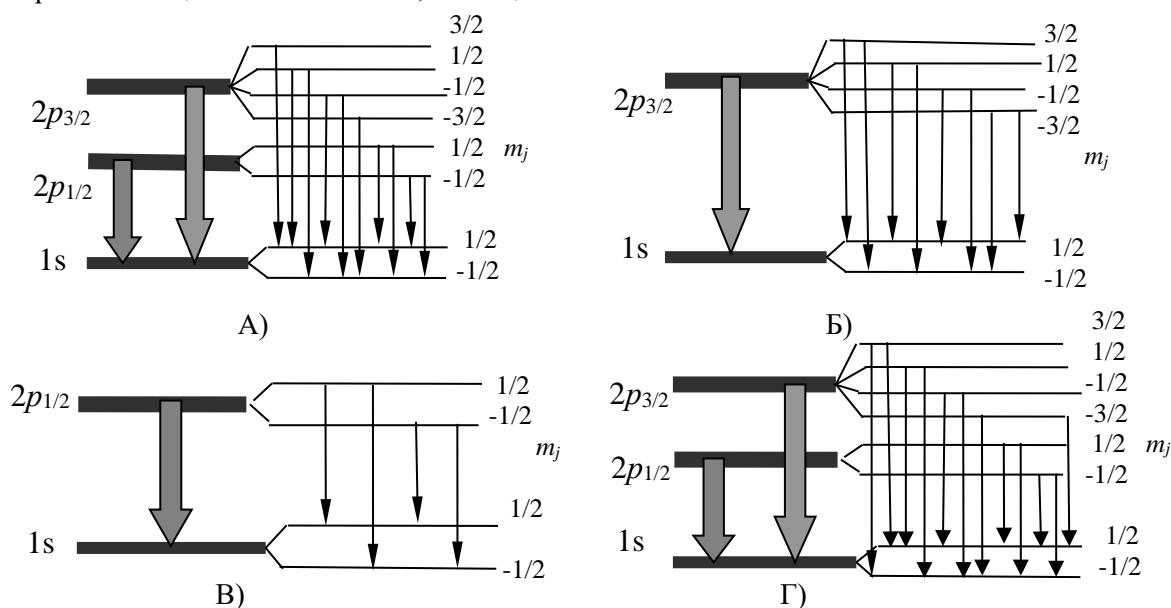
11. Атом железа с электронной конфигурацией $[\text{Ar}]3d^6s^2$ может находиться в состояниях 1S , 3S , 5S , 3P , 3D , 3F и 1G . Какое из этих состояний основное?

А) 1S ; Б) 3S ; В) 3F ; Г) 3P ; Д) 3D ; Е) 5S ; Ж) 1G

12. Какая из комбинаций правильно описывает возможные термы атома фосфора (электронная конфигурация $[\text{Ne}]3s^23p^3$)?

А) 2S , 4P , 2D ; Б) 2S , 2P , 4D ; В) 1S , 3P , 1D ; Г) 4S , 2P , 2D ; Д) 1S , 3P , 3D ; Е) правильного ответа нет.

13. На каком из рисунков правильно представлена тонкая структура переходов $2p - 1s$ в спектре атомов щелочных металлов, помещенных в слабое магнитное поле?



14. Магнитный момент атома M связан с его полным механическим моментом J соотношением $M = g\gamma J$, где γ - гиромангнитное отношение, а g – фактор Ланде. Отличие g от единицы обусловлено тем, что

- А) гиромангнитное отношение для полного механического момента отличается от гиромангнитного отношения для орбитального движения электрона;
 Б) магнитный момент обусловлен спином, а механический – орбитальным движением электрона;
 В) векторы магнитного и механического моментов атома не лежат вдоль одной прямой;
 Г) магнитный момент атома обусловлен орбитальным движением электронов, а механический – спином;
 Д) правильного ответа нет.

15. В системе из двух невзаимодействующих электронов синглетное состояние реализуется

- А) всегда; Б) при параллельной ориентации спинов; В) при антипараллельной ориентации спинов; Г) правильного ответа нет.

16. При параллельной ориентации спинов электронной пары энергия молекулы водорода

- А) $E = E_a + E_b + \frac{K + A}{1 + S^2}$; Б) $E = E_a + E_b + \frac{K - A}{1 + S^2}$; В) $E = E_a + E_b + \frac{K - A}{1 - S^2}$;
 Г) $E = E_a + E_b + \frac{K + A}{1 - S^2}$; Д) правильного ответа нет

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ:

номера и содержание задач представлены в пособии

Квантовая механика. Учебное пособие для самостоятельной работы студентов. Издание второе, переработанное./ Кара-Мурза С.В., Горбенко Е.Е., Грицких В.А., Жихарев И.В., Краснякова Т.В. – Луганск, ГУ «ЛНУ имени Тараса Шевченко» 2012 – 120с.

ВАРИАНТ														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Индивидуальное задание 1														
1.1. Корпускулярные свойства света														
1.3 1.19	1.4 1.20	1.5 1.21	1.6 1.22	1.7 1.23	1.8 1.24	1.9 1.25	1.10 1.26	1.11 1.27	1.12 1.28	1.13 1.29	1.14 1.30	1.15 1.33	1.16 1.34	1.17 1.35
1.2. Атом Резерфорда. Правила квантования Бора-Зоммерфельда														
1.53	1.38	1.40	1.41	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	1.50	1.51	1.52
1.3. Волновые свойства частиц. Соотношение неопределенностей														
1.57 1.66	1.56 1.67	1.55 1.68	1.56 1.69	1.61 1.70	1.60 1.71	1.59 1.72	1.58 1.73	1.57 1.74	1.56 1.75	1.55 1.76	1.62 1.71	1.63 1.72	1.64 1.73	1.65 1.74
2.1. Математический аппарат квантовой механики														
2.1 2.8	2.2 2.12а	2.3 2.11в	2.4 2.11б	2.5 2.11	2.6а 2.20	2.6в 2.13	2.7а 2.10	2.7б 2.9	2.6а 2.14	2.6в 2.14	2.11 2.15	2.10 2.16	2.7а 2.17	2.7б 2.19
Индивидуальное задание 2														
3. Одномерные квантовомеханические задачи														
3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.11	3.12	3.15	3.16	3.18	3.4	3.5
4. Движение в центральном поле														
4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11	4.12	4.13	4.14	4.15
6.1. Многоэлектронные атомы														
6.21	6.20	6.19	6.18	6.17	6.16	6.2	6.3	6.4	6.5	6.15	6.14	6.13	6.12	6.11
6.2. Атом в магнитном поле														
5.24	6.25	6.26	6.27	6.28	6.29	6.30	6.31	6.32	6.33	6.34	6.35	6.36	6.38	6.39

22. Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен)

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

Материал отчета 1 к разделам 1-4

1. Корпускулярные свойства света и волновые свойства частиц. Волны де Бройля.
2. Соотношение неопределенностей. Волновая функция и ее интерпретация.
3. Квантовомеханический способ описания состояния движения микрообъектов.
4. Квантовомеханический принцип суперпозиции состояний.
5. Вероятность определенного значения физической величины.
6. Средние значения физических величин. Операторы физических величин.

7. Условие одновременной измеримости величин.
8. Операторы координаты и импульса. Перестановочные соотношения. Собственные функции и собственные значения операторов координаты и импульса.
9. Операторы проекции и квадрата момента импульса. Перестановочные соотношения.
10. Собственные функции и собственные значения операторов проекции и квадрата момента импульса.
11. Операторы потенциальной и кинетической энергий. Оператор Гамильтона.
12. Принцип причинности в квантовой механике. Уравнение Шредингера.
13. Уравнение Шредингера в стационарных полях. Стационарное уравнение Шредингера и его решение. Стационарные состояния и их свойства.
14. Частица в потенциальной яме. Прохождение микрочастиц сквозь потенциальный барьер. Коэффициенты прохождения и отражения (без вывода).
15. Квантовый гармонический осциллятор.
16. Задача двух тел в квантовой механике. Общие закономерности движения в центрально симметричном поле.
17. Стационарное уравнение Шредингера в кулоновском поле. Энергетические уровни и волновые функции электрона в водородоподобном атоме.

Материал отчета 2 к разделам 5-6

1. Стационарные возмущения в отсутствие вырождения и при наличии вырождения.
2. Задача о вероятности вынужденных переходов и ее общее решение.
3. Вероятность квантовых переходов под действием возмущения, зависящего только от времени.
4. Элементарная квантовая теория излучения.
5. Правила отбора для дипольного излучения осциллятора и оптического электрона атома.
6. Время жизни в возбужденном состоянии. Естественная ширина спектральных линий.
7. Экспериментальные доказательства существования спина электрона. Спин. Волновая функция электрона с учетом спина.
8. Полный механический и магнитный моменты атома.
9. Правила отбора для оптического электрона с учетом спина. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
10. Принцип тождественности одинаковых микрочастиц. Бозоны и фермионы.
11. Волновые функции бозонов и фермионов. Принцип Паули.
12. Заполнение электронных оболочек в атомах. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
13. Сложение моментов. Векторная модель атома
14. Магнитный момент атома. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана.
15. Молекула водорода

КОНТРОЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ
КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА
КОНТРОЛЬНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

1. Волна де Бройля для свободной частицы, движущейся в направлении $x > 0$, может быть представлена в виде:

А) $\psi(x, t) = Ce^{-\frac{i}{\hbar}(Et + px)}$;

Б) $\psi(x, t) = Ce^{-\frac{i}{\hbar}(Et - px)}$;

В) $\psi(x, t) = Ce^{-\frac{i}{\hbar}(Et - px)}$;

Г) $\psi(x, t) = Ce^{-\frac{i}{\hbar}(Et + px)}$.

2. Физический смысл волновой функции заключается в утверждении:

А) волновая функция определяет длину волны частицы;

Б) модуль волновой функции есть плотность вероятности локализации частицы;

В) квадрат модуля волновой функции есть вероятность локализации частицы;

Г) квадрат модуля волновой функции есть плотность вероятности локализации частицы.

3. Собственными состояниями физической величины F , имеющей дискретный спектр значений F_n , называются такие состояния, в которых

А) измерение величины F дает какое-либо значение из ее спектра;

Б) измерение величины F дает достоверное значение F_n из ее спектра;

В) измерение величины F невозможно.

4. Для собственных функций ψ_n и собственных значений физической величины F_n , изображаемой оператором \hat{F} , справедливо равенство

А) $\hat{F}\psi_n = F\psi_n$; Б) $\hat{F}\psi = F_n\psi$; В) $\hat{F}\psi = F\psi$; Г) $\hat{F}\psi_n = F_n\psi_n$.

5. Собственные значения физической величины F и собственные функции, принадлежащие этим значениям, можно найти, решив уравнение

А) $\hat{F}\psi_n = F\psi_n$;

Б) $\hat{F}\psi = F_n\psi$;

В) $\hat{F}\psi = F\psi$;

Г) $\hat{F}\psi_n = F_n\psi_n$,

6. Волновая функция произвольного состояния может быть разложена в

ряд по собственным функциям некоторой физической величины $\psi = \sum_n a_n \psi_n$.
При этом коэффициенты a_n определяются равенствами

А) $a_n = \int \psi_n^* \psi dV$;

Б) $a_n = \int \psi_n \psi dV$;

В) $a_n = \int \psi_n \psi^* dV$;

Г) $a_n = \int \psi_n^* |\psi| dV$.

6. Волновая функция произвольного состояния может быть разложена в

ряд по собственным функциям некоторой физической величины $\psi = \sum_n a_n \psi_n$.
При этом коэффициенты a_n определяются равенствами

А) $a_n = \int \psi_n^* \psi dV$;

Б) $a_n = \int \psi_n \psi dV$;

В) $a_n = \int \psi_n \psi^* dV$;

Г) $a_n = \int \psi_n^* |\psi| dV$.

7. Волновая функция произвольного состояния может быть разложена в ряд

по собственным функциям некоторой физической величины $\psi = \sum_n a_n \psi_{F_n}$.

Вероятность получения при измерении F значения F_n из спектра F определяется равенством;

А) $W(F_n) = W_{F_n} = a_n$;

Б) $W(F_n) = W_{F_n} = a_n^2$;

В) $W(F_n) = W_{F_n} = |a_n|$;

Г) $W(F_n) = W_{F_n} = |a_n|^2$;

Д) $W(F_n) = W_{F_n} = a_n a_n^*$.

8. В состоянии $\psi = a_1 \psi_1 + a_2 \psi_2$, где ψ_1 и ψ_2 - собственные функции физической величины F , имеющей дискретный спектр, вероятность наблюдения значения F_1 определяется выражением

А) $W(F_1) = W_1 = |a_2|^2$;

Б) $W(F_1) = W_1 = |a_1|^2 + |a_2|^2$;

- В) $W(F_1) = W_1 = |a_1|$;
- Г) $W(F_1) = W_1 = |a_2|$;
- Д) $W(F_1) = W_1 = |a_1|^2$.

9. Две физические величины f_1 и f_2 , изображаемые операторами \hat{f}_1 и \hat{f}_2 , могут быть одновременно измеренными, если

- А) $\hat{f}_1 + \hat{f}_2 = \hat{f}_2 + \hat{f}_1$;
- Б) $\hat{f}_1 \hat{f}_2 + \hat{f}_2 \hat{f}_1 = 0$;
- В) $\hat{f}_1 \hat{f}_2 - \hat{f}_2 \hat{f}_1 = 0$.

10. Оператор кинетической энергии имеет вид:

- А) $\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta$;
- Б) $\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla$;
- В) $\hat{T} = \frac{\hbar^2}{2m} \Delta$;
- Г) $\hat{T} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla$.

11. Спектр координаты микрочастицы

- А) непрерывный;
- Б) дискретный;
- В) смешанный.

12. Операторы координат и функции координат

- А) не коммутируют между собой;
- Б) совпадают с координатами и функциями координат;
- В) не коммутируют, но операторы координат совпадают с функциями координатами;
- Г) не коммутируют, но операторы координат совпадают с координатами.

13. Оператор проекции импульса имеет вид:

- А) $\hat{p}_x = \frac{\partial}{\partial x}$;
- Б) $\hat{p}_x = x$;
- В) $\hat{p}_x = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$;

14. Оператор проекции момента импульса имеет вид:

А) $\hat{L}_z = i\hbar \frac{\partial}{\partial \varphi}$;

Б) $\hat{L}_z = -i\hbar \frac{\partial}{\partial \varphi}$;

В) $\hat{L}_z = i\hbar \frac{\partial}{\partial z}$;

Г) $\hat{L}_z = -i\hbar \frac{\partial}{\partial z}$;

Д) $\hat{L}_z = -\hbar \Delta_{\varphi}$.

15. Гамильтониан системы \hat{H} имеет вид:

А) $\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta$;

Б) $\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + U(x, y, z)$;

В) $\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla + U(x, y, z)$;

Г) $\hat{H} = U(x, y, z)$.

16. В микромире возможно измерение энергии

А) только кинетической;

Б) только потенциальной;

В) одновременно кинетической и потенциальной;

Г) только полной (кинетической и потенциальной) энергии

.

17. Собственные значения квадрата момента импульса и проекции момента импульса равны:

А) $L^2 = \hbar^2 l, L_z = m\hbar$;

Б) $L^2 = \hbar^2 l, L_z = l\hbar$;

В) $L^2 = \hbar^2 l(l+1), L_z = l\hbar$;

Г) $L^2 = \hbar^2 (l+1), L_z = m\hbar$;

Д) $L^2 = \hbar^2 (l+1), L_z = l\hbar$;

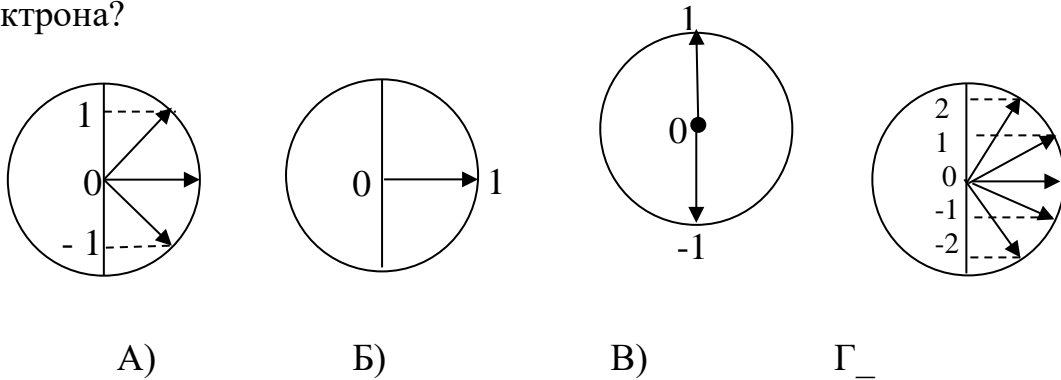
Е) $L^2 = \hbar^2 l(l+1), L_z = m\hbar$;

($l = 0, 1, 2, \dots$ $m = -l, -l+1, \dots, l-1, l$).

18. Чему равен модуль орбитального момента электрона, находящегося в d-состоянии?

- А) $3\hbar$;
- Б) $2\hbar$;
- В) $\hbar\sqrt{3}$;
- Г) $\hbar\sqrt{2}$;
- Д) $\hbar\sqrt{6}$;
- Е) $6\hbar$.

19. Электрон атома находится в p-состоянии. Какой из рисунков правильно отражает возможные ориентации орбитального момента электрона?



20. Временное уравнение Шредингера имеет вид:

- А) $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi$;
- Б) $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U(x, y, z)\psi$;
- В) $-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi = E\psi$;
- Г) $-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U(x, y, z)\psi = E\psi$.

21. Стационарное уравнение Шредингера имеет вид:

- А) $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi$;
- Б) $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U(x, y, z)\psi$;
- В) $-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi = E\psi$;
- Г) $-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + U(x, y, z)\psi = E\psi$.

22. Стационарными состояниями называются состояния, в которых

- А) полная энергия имеет определенное значение;
- Б) импульс имеет определенное значение;
- В) только потенциальная энергия имеет определенное значение.
- Г) только кинетическая энергия имеет определенное значение.

23. Волновая функция n-го стационарного состояния имеет вид:

А) $\psi_n = C_n e^{-\frac{i}{\hbar} E_n t}$;

Б) $\psi_n = C_n e^{-\frac{i}{\hbar} E_n t} \psi_n(x, y, z)$;

В) $\psi_n = E_n e^{-\frac{i}{\hbar} E_n t}$; $\psi_n = E_n \psi_n(x, y, z)$.

(E_n и $\psi_n(x, y, z)$ – решения стационарного уравнения Шредингера)

24. При движении частицы в поле потенциального барьера ее энергетический спектр

- А) непрерывный при любой энергии частицы;
- Б) дискретный при любой энергии частицы;
- В) дискретный, если энергия частицы меньше высоты барьера;
- Г) непрерывный, если энергия частицы больше высоты барьера.

25. Энергетический спектр частицы при ее движении в потенциальной яме

- А) непрерывный;
- Б) дискретный;
- В) смешанный.

26. Вероятность туннелирования сквозь потенциальный барьер

- А) пропорциональна ширине барьера и массе микрочастицы;
- Б) обратно пропорциональна ширине барьера и прямо пропорциональна массе частицы;
- В) обратно пропорциональна ширине барьера и массе частицы;
- Г) пропорциональна ширине барьера и обратно пропорциональна массе частицы;
- Д) не зависит ни от ширины барьера, ни от массы частицы.

27. Нулевые колебания квантового гармонического осциллятора обусловлены:

- А) равенством нулю полной энергии;
- Б) равенством нулю кинетической энергии;
- В) равенством нулю потенциальной энергии;
- Г) соотношением неопределенностей.

28. Энергия квантового гармонического осциллятора, находящегося на 2-ом энергетическом уровне

- А) $2\hbar\omega$;
- Б) $1/2\hbar\omega$;
- В) $\hbar\omega$;
- Г) $3/2\hbar\omega$;
- Д) $5/2\hbar\omega$.

29. Расстояние между энергетическими уровнями квантового гармонического осциллятора

- А) увеличивается с ростом n ;
- Б) уменьшается с ростом n ;
- В) уровни эквидистантны.

30. Энергия квантового гармонического осциллятора

- А) $E_n = n\hbar\omega$;
- Б) $E_n = \hbar\omega$;
- В) $E_n = \hbar\omega/2$;
- Г) $E_n = n\hbar\omega/2$;
- Д) $E_n = \hbar\omega(n+1/2)$

31. Энергия нулевых колебаний квантового гармонического осциллятора

- А) $E_n = n\hbar\omega$;
- Б) $E_n = \hbar\omega$;
- В) $E_n = \hbar\omega/2$;
- Г) $E_n = n\hbar\omega/2$;
- Д) $E_n = \hbar\omega(n+1/2)$

32. При движении в центрально-симметричном поле угловое распределение вероятности локализации частицы

- А) зависит от конкретного вида поля;
- Б) не зависит от конкретного вида поля;
- В) зависит от полной энергии частицы.

33. При движении в центральном поле одновременно могут быть измерены

- А) энергия, модуль и направление момента импульса;
- Б) энергия и две проекции момента импульса;
- В) энергия и все три проекции момента импульса;
- Г) энергия, модуль момента импульса и одна из его проекций.

34. Энергия стационарного состояния атома водорода зависит от главного квантового числа n по закону:

- А) $E_n \sim 1/n$;
- Б) $E_n \sim 1/n^2$;
- В) $E_n \sim n$;
- Г) $E_n \sim n^2$.

35. Возбужденный атом водорода характеризуется главным квантовым числом $n = 3$. В каких состояниях может находиться электрон атома?

- А) 3s, 3p и 3d;
- Б) 3s и 3p;
- В) 3s и 3d;
- Г) 3p и 3d;
- Д) 3s;
- Е) 3p;
- Ж) 3d ;

36. Орбитальный момент электрона в возбужденном атоме водорода может быть сориентированным пятью способами. На каком энергетическом уровне находится атом?

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

37. Энергия ионизации атома водорода в некотором квантовом состоянии равна 13,6 эВ. Какими квантовыми числами характеризуется состояние с такой энергией ионизации?

- А) $n = 1, l = 0, m = -1, 0, 1$;
- Б) $n = 1, l = 1, m = -1, 0, 1$;
- В) $n = 1, l = 0, m = 0$;
- Г) $n = 1, l = 0, m = 0, 1$;
- Д) правильного ответа нет;
- Е) не знаю.

38. Энергия ионизации возбужденного атома водорода равна 3,4 эВ. На каком энергетическом уровне находится этот атом?

- А) $n = 1$;
- Б) $n = 2$;
- В) $n = 3$;
- Г) $n = 4$;;

39. Атом водорода находится на n -м энергетическом уровне. Каким числом различных квантовых состояний реализуется эта энергия?

- А) 1;
- Б) 2;
- В) n ;
- Г) n^2 ;
- Д) правильного ответа нет;
- Е) не

40. Энергетические уровни электрона в атоме водорода, находящегося в n -м стационарном состоянии

- А) не вырождены;
- Б) n -кратно вырождены;
- В) $2n$ -кратно вырождены;
- Г) n^2 -кратно вырождены;
- Д) правильного ответа нет;
- Е) не знаю

41. n -тый энергетический уровень невозмущенной квантовой системы f -кратно вырожден. При наличии возмущения

- А) энергия системы не меняется;
- Б) энергетический уровень расщепляется на два подуровня;
- В) энергетический уровень расщепляется на f подуровней;
- Г) энергетический уровень расщепляется на n подуровней.

42. Если энергетический уровень m -го стационарного состояния не вырожден, то действие возмущения V приводит

- А) к расщеплению энергетического уровня на два подуровня;
- Б) к изменению энергии m -го стационарного состояния на величину возмущения V ;
- В) к изменению энергии m -го стационарного состояния на величину \bar{V} ;
- Г) энергия m -го стационарного состояния не меняется.

43. Если энергетический уровень m -го стационарного состояния не вырожден, то действие возмущения V приводит

- А) к расщеплению энергетического уровня на два подуровня;
- Б) к изменению энергии m -го стационарного состояния на величину возмущения V ;
- В) к изменению энергии m -го стационарного состояния на величину \bar{V} ;
- Г) энергия m -го стационарного состояния не меняется.

44. Необходимым условием возможности квантового перехода из m -го стационарного состояния системы в n -е под действием внешнего излучения является

- А) равенство нулю значения соответствующего матричного элемента дипольного момента системы D_{mn} ;
- Б) любое значение соответствующего матричного элемента дипольного момента системы;
- В) отличное от нуля значение дипольного момента системы;
- Г) отличное от нуля значение соответствующего матричного элемента дипольного момента системы D_{mn} .

45. Достаточным условием возможности квантового перехода из m -го стационарного состояния системы в n -е под действием внешнего излучения является

- А) наличие в спектральном составе излучения боровской частоты перехода ω_{nm} при неравном нулю значении соответствующего матричного элемента дипольного момента системы;
- Б) наличие в спектральном составе излучения боровской частоты перехода ω_{nm} ;
- В) высокая интенсивность излучения;
- Г) высокая интенсивность излучения при неравном нулю значении соответствующего матричного элемента дипольного момента системы.

46. Правилами отбора устанавливаются

- А) возможные вынужденные квантовые переходы под действием внешнего электромагнитного излучения;
- Б) невозможные вынужденные квантовые переходы под действием внешнего электромагнитного излучения;
- В) возможные вынужденные квантовые переходы под действием стационарного возмущения;
- Г) невозможные вынужденные квантовые переходы под действием стационарного возмущения.

47. Правила отбора для орбитального квантового числа электрона в атоме имеют вид:

- А) $\Delta l = 0$;
- Б) $\Delta l \neq 0$;
- В) $\Delta l = 1$;
- Г) $\Delta l = 0, \pm 1$;
- Д) $\Delta l = \pm 1$.

48. Правила отбора для главного квантового числа оптического электрона в атоме имеют вид:

- А) $\Delta n = \pm 1$;
- Б) $\Delta n \neq 0$;
- В) $\Delta n = 1$;

Г) $\Delta n = -1$.

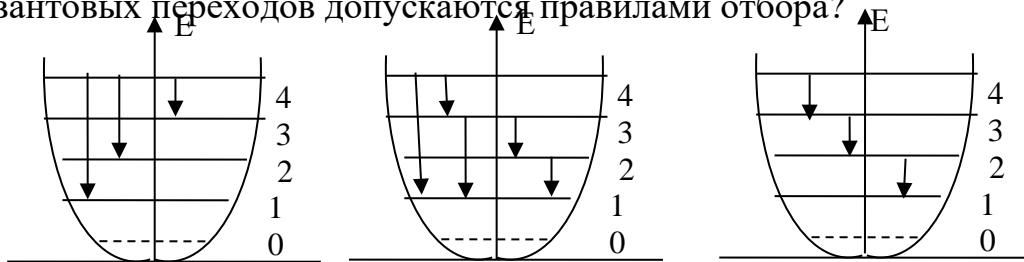
49. Правила отбора для магнитного квантового числа оптического электрона в атоме имеют вид:

- А) $\Delta m = \pm 1$;
- Б) $\Delta m \neq 0$;
- В) $\Delta m = 1$;
- Г) $\Delta m = -1$;
- Д) $\Delta m = 0, \pm 1$.

50. Правила отбора для квантового гармонического осциллятора

- А) $\Delta n = \pm 1$;
- Б) $\Delta n \neq 0$;
- В) $\Delta n = 1$;
- Г) $\Delta n = -1$.

51. Квантовый гармонический осциллятор находится в возбужденном состоянии на четвертом энергетическом уровне. Какие из указанных квантовых переходов допускаются правилами отбора?



А)

Б)

В)

53. Ширина возбужденного энергетического уровня связана с временем в этом состоянии соотношением

- А) $\frac{\Delta E}{\tau} \approx \hbar$;
- Б) $\frac{\tau}{\Delta E} \approx h$;
- В) $\Delta E \cdot \tau \cdot h \approx 1$;
- Г) $\Delta E \cdot \tau \approx h$.

54. Ширина спектральной линии Γ связана с временем жизни в возбужденном состоянии соотношением

- А) $\Gamma = \tau$;
- Б) $\Gamma \approx \frac{1}{\tau}$;

- В) $\Gamma \approx \frac{\hbar}{\tau}$;
 Г) $\Gamma \approx \frac{\tau}{\hbar}$.

55. Гиромагнитное отношение γ для орбитального движения электрона равно

- А) $\frac{e}{2m}$;
 Б) $-\frac{e}{2m}$;
 В) $\frac{e}{m}$;
 Г) $-\frac{e}{m}$.

56. Проекция магнитного момента, обусловленного орбитальным движением электрона, равна

- А) $M_z = \frac{e\hbar}{2m_e} m$;
 Б) $M_z = \frac{e\hbar}{2m_e}$;
 В) $M_z = \frac{e\hbar}{m_e} m$;
 Г) $M_z = \frac{m_e}{e\hbar} m$.

$$(m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots)$$

57. Спин электрона есть

- А) собственный импульс электрона;
 Б) собственный механический момент электрона;
 В) собственный магнитный момент электрона;
 Г) проекция собственного механического момента.

58. Проекция спина электрона определяется выражением

- А) $S_z = \hbar/2$;
 Б) $S_z = -\hbar/2$;
 В) $S_z = \pm\hbar/2$;
 Г) $S_z = \hbar$.

59. Проекция собственного магнитного момента электрона определяется соотношением

А) $\mu_z = \frac{e}{2m} h$;

Б) $\mu_z = \frac{e}{2m} \hbar$;

В) $\mu_z = \pm \frac{e}{2m} h$;

Г) $\mu_z = \pm \frac{e}{2m} \hbar$.

60. Волновая функция системы из двух фермионов удовлетворяет условию

А) $\psi(1,2) = \psi(2,1)$;

Б) $\psi(1,2) = -\psi(2,1)$;

В) $\psi(1,2) = \psi(1)\psi(2)$;

Г) $\psi(1,2) = -\psi(1)\psi(2)$.

61. Волновая функция системы из двух бозонов удовлетворяет условию

А) $\psi(1,2) = -\psi(1)\psi(2)$;

Б) $\psi(1,2) = -\psi(2,1)$;

В) $\psi(1,2) = \psi(1)\psi(2)$;

Г) $\psi(1,2) = \psi(2,1)$.

62. Волновая функция системы двух невзаимодействующих фермионов, находящихся в состояниях а и б соответственно, имеет вид

А) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) \pm \psi_a(2)\psi_b(1)$;

Б) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) + \psi_a(2)\psi_b(1)$;

В) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) - \psi_a(2)\psi_b(1)$;

Г) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2)$;

Д) правильного ответа нет.

63. Волновая функция системы двух невзаимодействующих фермионов, находящихся в состояниях а и б соответственно, имеет вид

А) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) \pm \psi_a(2)\psi_b(1)$;

Б) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) + \psi_a(2)\psi_b(1)$;

В) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) - \psi_a(2)\psi_b(1)$;

Г) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2)$.

64. Волновая функция системы двух невзаимодействующих бозонов, находящихся в состояниях а и б, имеет вид

- А) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) \pm \psi_a(2)\psi_b(1)$;
 Б) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) + \psi_a(2)\psi_b(1)$;
 В) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2) - \psi_a(2)\psi_b(1)$;
 Г) $\psi(1,2) = \psi_a(1)\psi_b(2)$.

65. Определить порядковый номер элемента, у которого К, L оболочки и 3s подоболочка заполнены электронами полностью, а 3p подоболочка – наполовину.

- А) 10;
 Б) 12;
 В) 15;
 Г) 18;
 Д) 20.

66. Квадрат модуля Полного механического момента импульса электрона в атоме $J^2 = \hbar^2 j(j+1)$ определяется квантовым числом j , принимающим значения

- А) $j = l+1/2$;
 Б) $j = l-1/2$;
 В) $j = (l-1/2), (l+1/2)$.

67. Проекция полного механического момента электрона в атоме $J_z = m_j \hbar$, где

- А) $m_j = \pm \frac{1}{2}, \pm \left(\frac{1}{2}+1\right), \dots, \pm \left(l-\frac{1}{2}\right), \pm \left(l+\frac{1}{2}\right)$,
 Б) $m_j = \pm \frac{1}{2}, \pm \left(\frac{1}{2}+1\right), \dots, \pm \left(l-\frac{1}{2}\right)$;
 В) $m_j = \pm \left(l-\frac{1}{2}\right), \pm \left(l+\frac{1}{2}\right)$;
 Г) $m_j = \pm \left(l-\frac{1}{2}\right)$;
 Д) $m_j = \pm \left(l+\frac{1}{2}\right)$.

68. Правила отбора для полного орбитального момента и его проекции определяются соотношениями:

- А) $\Delta j = \pm 1, \Delta m_j = \pm 1$;
 Б) $\Delta j = \pm 1, \Delta m_j = 0, \pm 1$;
 В) $\Delta j = \pm 1, \Delta m_j = 0$,

- Г) $\Delta j = \pm 1, \Delta m_j = \pm 1$;
 Д) $\Delta j = 0, \pm 1, \Delta m_j = 0, \pm 1$.

69. Магнитный момент атома M связан с его полным механическим моментом J соотношением $M = g\gamma J$, где γ - гиромагнитное отношение, а g – фактор Ланде. Отличие g от единицы обусловлено тем, что

- А) гиромагнитное отношение для полного механического момента отличается от гиромагнитного отношения для орбитального движения электрона;
 Б) магнитный момент обусловлен спином, а механический – орбитальным движением электрона;
 В) векторы магнитного и механического моментов атома не лежат вдоль одной прямой;
 Г) магнитный момент атома обусловлен орбитальным движением электронов, а механический – спином.

70. Проекция магнитного момента электрона, обусловленного его орбитальным движением, связана с проекцией орбитального момента соотношением

- А) $M_z = \frac{e}{2m_e} L_z$;
 Б) $M_z = -\frac{e}{2m_e} L_z$;
 В) $M_z = -\frac{e}{m_e} L_z$;
 Г) $M_z = \frac{e}{m_e} L_z$.

71. Полный магнитный момент атома определяется соотношением:

- А) $\vec{M} = \frac{e}{2m_e} (\vec{L} + \vec{S})$;
 Б) $\vec{M} = \frac{e}{m_e} (\vec{L} + \vec{S})$;
 В) $\vec{M} = \frac{e}{2m_e} \vec{L} + \frac{e}{m_e} \vec{S}$;
 Г) $\vec{M} = -\left(\frac{e}{2m_e} \vec{L} + \frac{e}{m_e} \vec{S} \right)$.
 (\vec{L} и \vec{S} - прецессирующие векторы)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	117
Б	Г	Б	Г	В	А	ГД	Д	В	А	А	Б	В	Б	Б	Г	Е

18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Д	А	Б	Г	А	Б	А	Б	В	Г	д	в	Д	В	Б	Г	Б

35	36	37	38	39	40
А	В	В	Б	Г	Б

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
В	В	Б	Г	А	А	Д	Б	Д	Д	А	В	ГД	Г	Б	А	А

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
Б	В	В	Б	Г	В	Б	В	В	А	Д	В	Б	Г			