Домашняя работа №2

«Элементы квантовой механики»

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ДОМАШНИХ РАБОТ

1. Домашние работы выполняются **в отдельной тетради**.
2. **На обложке тетради** должны быть указаны **фамилия, имя и отчество, номер группы, название и номер домашней работы и номер варианта (если есть)**.
3. **Задачи** с решениями должны следовать **строго по порядку**.
4. **Каждая задача** должна начинаться **с нового листа**.
5. **В начале листа** должно быть записано **полное условие задачи**, далее краткое условие и решение задачи. Решение должно быть с обязательным пояснением хода решения и обоснованием используемых законов.

ЗАЩИТА ДОМАШНИХ РАБОТ

Домашнюю работу необходимо сдать в часы консультаций.
Работа считается сданной, если

- студент решил не менее 70% предложенных в домашнем задании задач,
- ответил на дополнительные вопросы преподавателя (в рамках тем домашнего задания),
- при необходимости воспроизвел самостоятельно любую из оформленных задач домашнего задания (выбор преподавателя),
- вывел самостоятельно формулу (выбор преподавателя).

Литература

1. Курс физики: Учебник для вузов: в 2 т. Т.2. /под ред. В.Н. Лозовского. – СПб.: Лань. - 2003. - 592 с.
2. Основы физики: Учебник для вузов: в 2 т. Т.2. /под ред. Калашников Н.П., Смондырев М.А. - М.: Дрофа. - 2004.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика: Нерелятивистская теория. – М.: Наука. - 1974. - 750 с.
4. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику: Учеб. Руководство. - М.: Наука. – 1988. - 328 с.
5. Квантовая физика: Учебное пособие. /под ред. Л.К. Мартинсона, А.Н. Морозова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2004. – 496 с.

Вариант 1

1. Кинетическая энергия свободного электрона $E0 = 10$ эВ. Длина волны де Бройля у электрона возросла в $\alpha = 2$ раза. На сколько изменилась энергия?

2. Волновая функция некоторой частицы имеет вид $\Psi = Ae^{r^2/2a^2}$ $A{*}e^{-r/a}$, где r - расстояние этой частицы до силового центра; a -некоторая постоянная. Определите наиболее вероятное расстояние $r_в$ электрона до ядра.

3. Покажите, что оператор координаты и оператор проекции импульса на другую координату коммутируют.

4. Можно ли одновременно точно определить: *а)* x -проекцию координаты и y - проекцию момента импульса частицы; *б)* x -проекцию момента импульса частицы и его величину, т.е. L_x и L ?

5. Частица находится в основном состоянии в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < l$). Найти вероятность пребывания частицы в области $\frac{l}{3} < x < \frac{2l}{3}$.

6. Выведите формулу для коэффициента отражения частицы от двух прямоугольных потенциальных барьеров высотой U_1 и U_2 соответственно и шириной l_1 и l_2 , если энергия налетающей частицы меньше высоты каждого из барьеров, т.е. $E < U_1$ и $E < U_2$ (рис. 1).

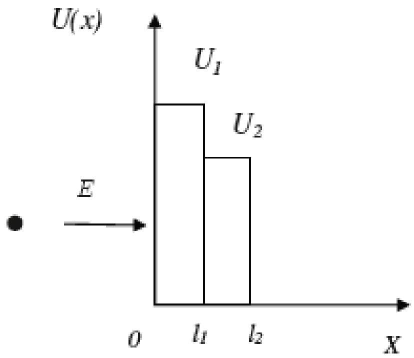

Рис. 1

7. Найти коммутатор $\left[\hat{L}_x, \hat{p}^2\right]$.

8. Частица массой m_0 находится в кубической потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками. Длина ребра куба равна a. Найдите разность энергий частицы на 3-м и 4-м уровнях ΔE_{34} и кратность вырождения этих уровней K_3 и K_4.

Вариант 2

1. Используя соотношение неопределенностей Гейзенберга, оцените минимальную кинетическую энергию электрона в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной: *а)* l=1 нм и l=1 мкм. Полученный результат объясните.

2. Волновая функция некоторой частицы имеет вид $\Psi = A{*}e^{-r/a}$, где r - расстояние этой частицы до силового центра; a –первый Боровский радиус. Определите наиболее вероятное расстояние $r_в$ электрона до ядра.

3. Найдите вид оператора $\left(\hat{x} + \frac{d}{dx}\right)^2$.

4. Можно ли одновременно точно определить: *а)* x -проекцию координаты и y -проекцию импульса частицы; б*)* x - и y -проекции импульса частицы?

5. Частица находится в основном состоянии в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < l$). Найти вероятность пребывания частицы в области $\frac{2l}{3} < x < l$.

6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

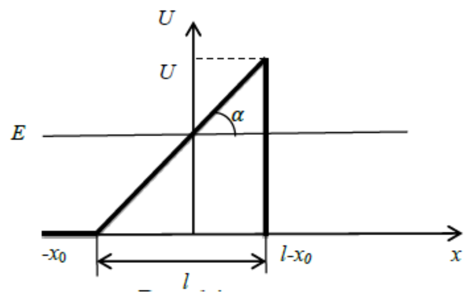

Рис. 1

7. Найдите коммутатор $[\hat{L}_x, \hat{p}_y]$.

8. Частица массой m_0 находится в кубической потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками. Найдите длину ребра куба, если разность энергий частицы на 3-м и 4-м уровнях равна ΔE.

Вариант 3

1. Пучок электронов падает нормально на диафрагму с двумя узкими щелями, расстояние между которыми d = 10 мкм. Расстояние между соседними дифракционными максимумами на экране, отстоящем от диафрагмы на расстоянии l = 75 см, равно Δx = 7,5 мкм. Найдите кинетическую энергию электронов.
2. Волновая функция некоторой частицы имеет вид $\Psi = Ae^{r^2/a^2}$ $A^*e^{-r/a}$, где r - расстояние этой частицы до силового центра; a -некоторая постоянная. Определите среднее значение квадрата расстояния $\langle r^2 \rangle$ электрона до ядра в основном состоянии.
3. Найдите эрмитово-сопряженный оператор для оператора дифференцирования $\widehat{D} = \frac{d}{dx}$.
4. Какой из указанных операторов $\left(\hat{A}f = \frac{1}{f}, \quad \hat{A}f = \sqrt{f}\right)$ является линейным?
5. Волновая функция частицы массой m для основного состояния в одномерном потенциальном поле $U(x) = \frac{kx^2}{2}$ имеет вид $\Psi(x) = Ae^{-\alpha x^2}$, где A и α – некоторые постоянные. Найти с помощью уравнения Шрѐдингера постоянную α и энергию E частицы в этом состоянии.

6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

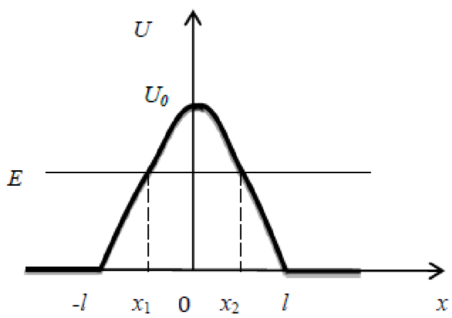

Рис. 1

7. Найти коммутатор $[\hat{L}_x, \hat{p}_x]$.

8. Частица массой m_0 находится в кубической потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками. Длина ребра куба равна a. Найдите разность энергий частицы на 5-м и 6-м уровнях ΔE_{56} и кратность вырождения этих уровней K_5 и K_6.

Вариант 4

1. Определите длину волны де-Бройля протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ кВ.

2. Волновая функция некоторой частицы имеет вид $\Psi = A^{*}e^{-r/a}$, где r - расстояние этой частицы до силового центра; a –первый Боровский радиус. Определите среднее значение квадрата расстояния $\langle r^2 \rangle$ электрона до ядра в основном состоянии.

3. Докажите, что для произведения операторов $\left(\hat{F}\hat{G}\right)^{+} = \hat{G}^{+}\hat{F}^{+}$.

4. Какой из указанных операторов $\left(\hat{A}f = \frac{df}{dx}, \quad \hat{A}f = 3x^2\frac{d^2x}{dx^2}\right)$ является линейным?

5. Волновая функция электрона в основном состоянии атома водорода имеет вид $\Psi = A^{*}e^{-r/a}$, где А – некоторая постоянная; a –первый Боровский радиус. Найти:

а) наиболее вероятное расстояние между электронами и ядром;
б) среднее значение модуля кулоновской силы, действующей на электрон;
в) среднее значение потенциальной энергии электрона в поле ядра;
г) энергию частицы в этом состоянии.

6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

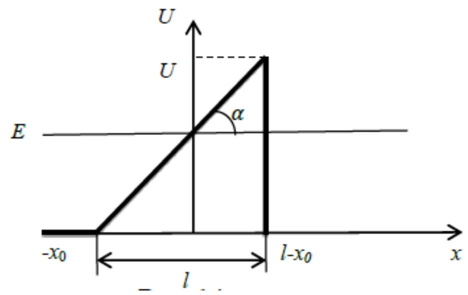

Рис. 1

7. Найти явный вид операторов $\hat{L}_z$, $\hat{L}_+$ в сферических координатах.

8. Докажите, что квадрат момента импульса частицы L^2 может быть одновременно измерим с ее кинетической энергией. **Указание:** найдите коммутатор $\left[\hat{L}^2, E_{\text{кин}}^2\right]$

Вариант 5

1. Определите длину волны де Бройля электрона, движущегося со скоростью, равной скорости движения электрона на первой Боровский орбите.
2. Волновая функция некоторой частицы имеет вид $\Psi = Ae^{r^2/2a^2}$ $A^*e^{-r/a}$, где r - расстояние этой частицы до силового центра; a -некоторая постоянная. Определите нормировочный коэффициент A.
3. Найдите вид оператора $\left(\hat{x} + \frac{d}{dx}\right)^3$.
4. Коммутируют ли между собой приведенные операторы: $\hat{A} = -i\hbar\frac{\partial}{\partial x}$ $\hat{B} = -i\hbar\frac{\partial}{\partial y}$?
5. Определите энергию электрона атома водорода в состоянии, для которого волновая функция имеет вид $\Psi(r) = A(1 + \alpha r)e^{-\alpha r}$, где А, и α – некоторые постоянные. Найдите их.

6. Выведите формулу для коэффициента отражения частицы от двух прямоугольных потенциальных барьеров высотой U_1 и U_2 соответственно и шириной l_1 и l_2 , если энергия налетающей частицы меньше высоты каждого из барьеров, т.е. $E < U_1$ и $E < U_2$ (рис. 1).

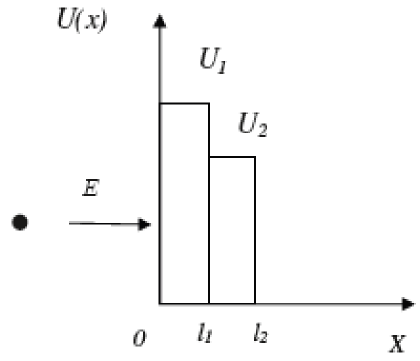

Рис. 1

7. Найти явный вид операторов $\hat{L}_y$, $\hat{L}_-$ в сферических координатах.

8. Частица массой m_0 находится в одномерной прямоугольной потенциальной «яме» с абсолютно непроницаемыми «стенками» в состоянии, описываемом волновой функцией $\Psi(x) = Ax(a - x)$, где А – некоторая постоянная, a – ширина ямы. Найдите среднее значение кинетической энергии частицы в этом состоянии.

Вариант 6

1. Используя соотношение неопределенностей Гейзенберга, оцените минимальную энергию гармонического осциллятора массы m, совершающего колебания с частотой ω.
2. Волновая функция некоторой частицы имеет вид $\Psi = A{*}e^{-r/a}$, где r - расстояние этой частицы до силового центра; a – первый Боровский радиус. Определите нормировочный коэффициент A.
3. Найдите вид оператора $(\hat{A} - \hat{B})(\hat{A} + \hat{B})$.
4. Коммутируют ли между собой приведенные операторы: $\hat{A} = x\frac{\partial}{\partial x}$ $\quad \hat{B} = x^2\frac{\partial^2}{\partial x^2}$?
5. Частица массой находится в двумерной прямоугольной потенциальной «яме» с абсолютно непроницаемыми «стенками». Найдите: а) возможные значения энергии частицы, если стороны ямы равны l_1 и l_2; б) значения энергии частицы на первых четырех уровнях, если яма квадратная со стороной l.
6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

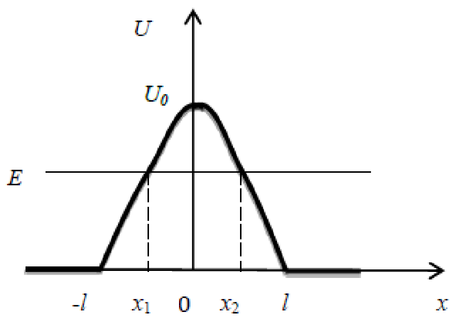

Рис. 1

7. Найти явный вид операторов $\hat{L}_x, \hat{L}^2$ в сферических координатах.
8. Частица находится в двумерной квадратной потенциальной «яме» с непроницаемыми «стенками» во втором невозбужденном состоянии. Найдите площадь ямы, если среднее значение квадрата импульса частицы $\langle p^2 \rangle$ равно p_0^2.

Вариант 7

1. Какую энергию необходимо дополнительно сообщить электрону, чтобы его де-Бройлевская длина волны уменьшилась от 100 до 50 пм?
2. Волновая функция некоторой частицы имеет вид $\Psi = A/r{*}e^{-r/a}$, где r - расстояние этой частицы до силового центра; a - некоторая постоянная. Определите нормировочный коэффициент A.
3. Найдите вид оператора $\left(\frac{d}{dx} + \frac{1}{x}\right)^3$.
4. Определите результат действия оператора на указанную функцию $\hat{A} = \frac{d}{dx}$ $\hat{B} = x, f(x) = e^x$ $\hat{A}\hat{B}f(x) = ?$ $(\hat{A} + \hat{B})f(x) = ?$
5. Частица массой m находится в одномерном потенциальном поле $U(x) = kx^2$, где k – положительная постоянная. Найдите среднюю потенциальную энергию частицы в состоянии, описываемом волновой функцией $\Psi = Ae^{-\alpha x^2}$, где A и α – неизвестные постоянные.
6. Выведите формулу для коэффициента отражения частицы от двух прямоугольных потенциальных барьеров высотой U_1 и U_2 соответственно и шириной l_1 и l_2 , если энергия налетающей частицы меньше высоты каждого из барьеров, т.е. $E < U_1$ и $E < U_2$ (рис. 1).

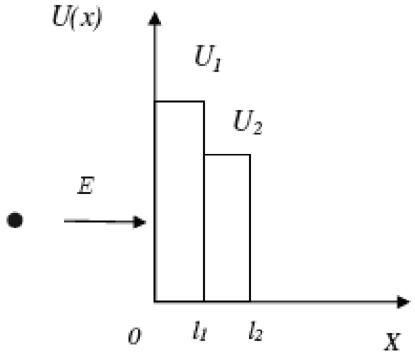

Рис. 1

7. Найти коммутатор $[\hat{L}_+, \hat{L}_-]$.
8. Найдите матрицу плотности смеси состояний $|+\rangle = \begin{pmatrix}1\\1\end{pmatrix}$ и $|-\rangle = \begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix}$, имеющих одинаковую вероятность 1/2.

Вариант 8

1. Электрон с кинетической энергией T ≈ 4 эВ локализован в области размером l = 1 мкм. Оцените с помощью соотношения неопределенностей относительную неопределенность его скорости $\frac{\Delta\upsilon_x}{\upsilon_x}$.
2. Частица, находится в бесконечно глубокой потенциальной яме $(0 \leq x \leq a)$, в состоянии $\Psi(x) = A\sin\frac{\pi x}{a}$. Определите нормировочный множитель A, среднюю координату частицы $\langle x \rangle$ и среднюю кинетическую энергию $\langle \mathrm{T} \rangle$.
3. Рассчитайте $[\hat{x}, \hat{p}_x^2]$.
4. Определите результат действия оператора на указанную функцию $\hat{A} = \frac{d}{dx}$ $\quad f(x) = x^5 + 3e^x$.
5. Электрон находится в одномерной прямоугольной "потенциальной яме" шириной l с бесконечно высокими "стенками". Определите вероятность W обнаружения электрона в средней трети "ямы", если электрон находится в возбужденном состоянии (n = 3). Поясните физический смысл полученного результата, изобразив графически плотность вероятности обнаружения электрона в данном состоянии.

6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

7. Найти коммутатор $[\hat{L}_-, \hat{L}_z]$.

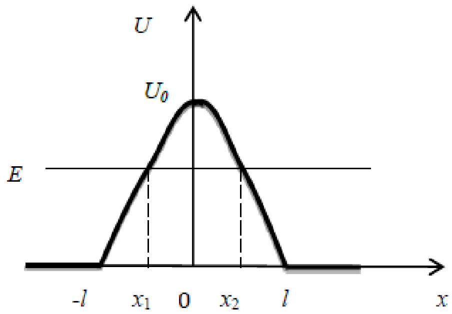

Рис. 1

8. Найдите собственные числа и собственные векторы матрицы $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$

Вариант 9

1. Молекулы йода I_2 находятся в газообразном состоянии при температуре 227°C. Оценить длину волны де Бройля молекул, имеющих наиболее вероятную скорость. Молярная масса атомов йода A_I = 127 г/моль.

1. Каким именно условиям, налагаемым на волновые функции, удовлетворяет функция $f = C\arcsin x$?
2. Рассчитайте $[\hat{x}^2, \hat{p}_x]$.
3. Коммутируют ли между собой приведенные ниже операторы: $a)\ \hat{A} = \frac{\partial}{\partial x}\quad \hat{B} = x$;

   б) $\hat{A} = \frac{\partial^2}{\partial x^2}, \hat{B} = U(x, y, z)$?
4. Частица в одномерной прямоугольной "потенциальной яме" шириной l с бесконечно высокими "стенками" находится в возбужденном состоянии (n = 3). Определите, в каких точках "ямы" (0 <= x <= l) плотность вероятности обнаружения частицы: 1) максимальна; 2) минимальна. Поясните полученный результат графически.
5. В одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 \le x \le$ a) находится частица в состоянии $\Psi(x) = Ax(a - x)$. Найдите волновую функцию в энергетическом представлении и вычислите среднюю энергию частицы.

6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

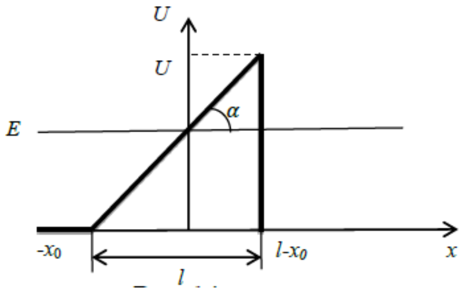

Рис. 1

7. Найти коммутатор $[\hat{L}_+, \hat{L}_z]$.

8. Найдите собственные числа и собственные векторы матрицы $\begin{pmatrix} 1 & -3 & 4 \\ 4 & -7 & 8 \\ 6 & -7 & 7 \end{pmatrix}$

Вариант 10

1. Во сколько раз отличаются де-Бройлевская длина волны электрона, прошедшего разность потенциалов в 1 В, и де-Бройлевская длина волны электрона, прошедшего разность потенциалов в 1 кВ?

2. Каким именно условиям, налагаемым на волновые функции, удовлетворяет функция $f = Csin\alpha x$?

3. Рассчитайте $[\hat{x}^2, \hat{p}_x^2]$.

4. Определите результат действия оператора на указанную функцию $\hat{A} = \frac{d}{dx}$ $\hat{B} = 3, f(x) = x^5 + 3e^x$ $(\hat{A} + \hat{B})f(x) = ?$

5. Частица массы m находится в основном состоянии в одномерной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме шириной a. Найти значения p_x, которые могут быть измерены в этом состоянии. Какова вероятность их измерения? Чему равно среднее значение величины p_x?

6. Выведите формулу для коэффициента отражения частицы от двух прямоугольных потенциальных барьеров высотой U_1 и U_2 соответственно и шириной l_1 и l_2 , если энергия налетающей частицы меньше высоты каждого из барьеров, т.е. $E < U_1$ и $E < U_2$ (рис. 1).

7. Найти коммутатор $[\hat{L}_x, \hat{L}^2]$.

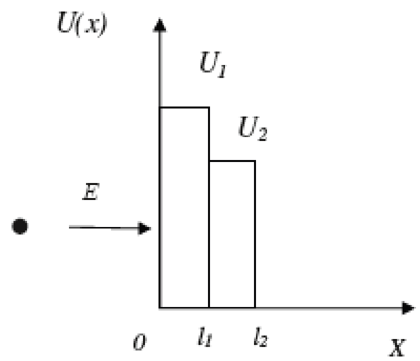

Рис. 1

8. Найдите собственные значения энергии и собственные функции частицы, находящейся в трехмерной потенциальной «яме» с бесконечно высокими стенками ($U = 0$ при $0 < x < a$, $0 < y < b$, $0 < z < c$, и $U = \infty$ вне этой области).

Вариант 11

1. Предполагая, что неопределенность координаты движущейся частицы равна де-Бройлевской длине волны, определите относительную неопределенность $\frac{\Delta p}{p}$ импульса этой частицы?

2. Каким именно условиям, налагаемым на волновые функции, удовлетворяет функция $f = Ce^{\alpha r}, 0 < r < +\infty$?

3. Докажите, что, если два эрмитовых оператора $\hat{F}$ и $\hat{G}$ коммутируют, то их произведение также является эрмитовым.

4. Определите результат действия оператора на указанную функцию $\hat{A} = \frac{d^2}{dx^2} \quad f(x) = e^{\alpha x^2}$.

5. Частица находится в возбужденном состоянии ($n = 3$) в двумерной прямоугольной потенциальной «яме» шириной l и длиной b с абсолютно непроницаемыми бесконечно высокими «стенками» ($0 < x < l$, $0 < y < b$). Найдите вероятность пребывания частицы в области $l < x < \frac{l}{4}, \frac{b}{3} < y < \frac{2b}{3}$. Поясните физический смысл полученного результата, изобразив графически плотность вероятности обнаружения частицы в данном состоянии.

6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

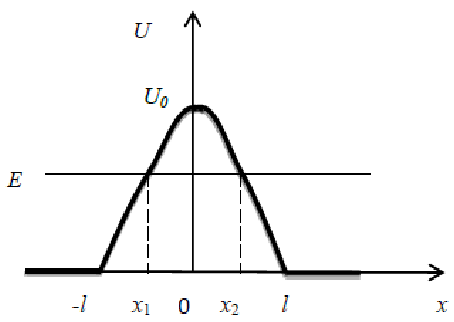

Рис. 1

7. Найти коммутатор $[\hat{L}_z, \hat{L}_x]$.

8. Частица массой m находится в одномерной полубесконечной потенциальной яме, глубина которой равна U_0, а ширина a. При каком соотношении глубины и ширины ямы будут существовать четыре дискретных энергетических уровня?

Вариант 12

1. Во сколько раз де Бройлевская длина волны частицы меньше неопределености Δx ее координаты, которая соответствует относительной неопределенности импульса в 1 %?

2. Каким именно условиям, налагаемым на волновые функции, удовлетворяет функция $f = e^{-imx}, -\infty < x < +\infty,\ m$ - вещественное число?

3. Покажите, что, если операторы $\hat{F}$ и $\hat{G}$ являются эрмитовыми операторами, то эрмитовым будет и оператор $\hat{S} = \frac{1}{2}\left(\hat{F}\hat{G} + \hat{G}\hat{F}\right)$.

4. Определите результат действия оператора на указанную функцию $\hat{A} = \frac{d}{dx}$ $\quad f(x) = sinx$.

5. Частица находится в возбужденном состоянии (n = 2) в двумерной прямоугольной потенциальной «яме» шириной l и длиной b с абсолютно непроницаемыми бесконечно высокими «стенками» (0 < x <l, 0 < y <b). Найдите вероятность пребывания частицы в области $\frac{l}{8} < x < \frac{3l}{8}, b < y < \frac{b}{4}$. Поясните физический смысл полученного результата, изобразив графически плотность вероятности обнаружения частицы в данном состоянии.

6. Выведите формулу для коэффициента отражения частицы от двух прямоугольных потенциальных барьеров высотой U_1 и U_2 соответственно и шириной l_1 и l_2 , если энергия налетающей частицы меньше высоты каждого из барьеров, т.е. $E < U_1$ и $E < U_2$ (рис. 1).

7. Найти коммутатор $[\hat{L}_y, \hat{L}_z]$.

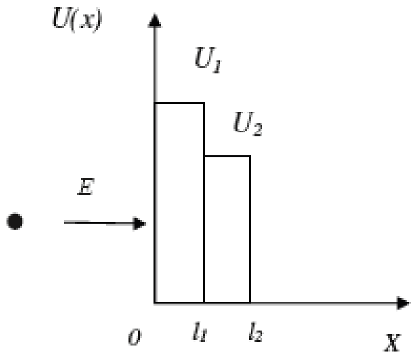

Рис. 1

8. Для свободной частицы, движение которой ограничено непроницаемой стенкой

$$U(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x > 0 \\ \infty, & \text{при } x < 0 \end{cases}$$

найти волновые функции стационарных состояний.

Вариант 13

1. Приняв, что минимальная энергия нуклона в ядре 10 МэВ, оцените, исходя из соотношения неопределенностей, линейные размеры ядра.

2. Каким именно условиям, налагаемым на волновые функции, удовлетворяет функция $f = e^{kx^2}, -\infty < x < +\infty, k > 0, k$ - волновое число?

3. Покажите, что оператор $-\frac{d^2}{dx^2}$ является эрмитовым.

4. Найдите собственное значение оператора $\hat{L} = \frac{d^2}{dx^2}$, соответствующее собственной функции $f(x) = \sin kx$.

5. Частица находится в возбужденном состоянии (n = 4) в одномерной прямоугольной потенциальной «яме» шириной l с абсолютно непроницаемыми бесконечно высокими «стенками» ($0 < x < l$). Найти вероятность пребывания частицы в области $\frac{l}{2} < x < \frac{2l}{3}$. Поясните физический смысл полученного результата, изобразив графически плотность вероятности обнаружения частицы в данном состоянии.

6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

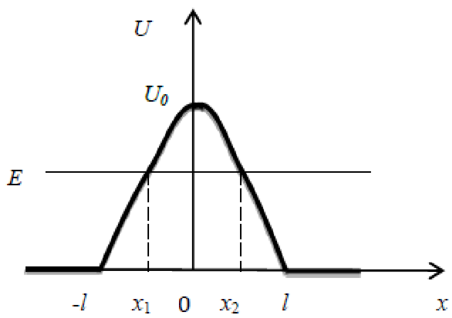

Рис. 1

7. Найти коммутатор $[\hat{L}_x, \hat{L}_y]$.

9. Частица массой m находится в одномерной полубесконечной потенциальной яме, глубина которой равна U_0 , а ширина a . При каком соотношении глубины и ширины ямы будут существовать три дискретных энергетических уровня?

Вариант 14

1. Фотон с энергией, в 2 раза превышающей энергию покоя электрона, испытал лобовое столкновение с покоившимся свободным электроном. Найдите радиус кривизны траектории электрона отдачи в магнитном поле В = 0,12 Тл. При решении, примите, что электрон отдачи движется перпендикулярно направлению поля.

2. Каким именно условиям, налагаемым на волновые функции, удовлетворяет функция $f = e^{-kx^2}, -\infty < x < +\infty, k > 0$, k - волновое число?

3. Докажите, что
$$[\hat{p}_x, f(\hat{x})] = -i\hbar\frac{\partial f}{\partial x}$$
$$[\hat{x}, f(\hat{p}_x)] = i\hbar\frac{\partial f}{\partial p_x}$$

4. Найти собственные значения и собственные функции оператора $\hat{F} = sin\frac{d}{d\varphi}$. φ – полярный угол.

5. Частица находится в возбужденном состоянии (n = 3) в одномерной прямоугольной потенциальной «яме» шириной l с абсолютно непроницаемыми бесконечно высокими «стенками» ($0 < x < l$). Найти вероятность пребывания частицы в области $\frac{l}{8} < x < \frac{3l}{8}$. Поясните физический смысл полученного результата, изобразив графически плотность вероятности обнаружения частицы в данном состоянии.

6. Воспользовавшись формулой для прозрачности барьера произвольной формы, найти для электрона с энергией E вероятность D прохождения потенциального барьера, ширина которого l и высота U_0, если барьер имеет форму, указанную на рис. 1.

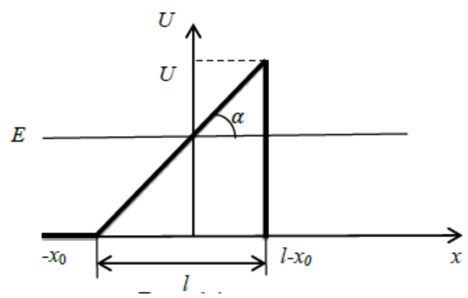

Рис. 1

7. С помощью операторов $\hat{a}^+$ и $\hat{a}^-$ найдите собственные значения и волновые функции гармонического осциллятора.

8. Электрон находится в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Разность энергий электрона на первом и на пятом энергетических уровнях составляет ΔE = 5 эВ . Определите ширину ямы.