

Домашнее задание для студентов 2 курса к 6-му модулю: 1 этап
(По программе курса физики на 3 семестра)

Длина волны де – Бройля

1. Вычислить дебройлевскую длину волны:
 - a. а) Электрона и атома водорода, кинетические энергии которых равны 160 эВ .
 - b. б) Протона с кинетической энергией равной энергии покоя электрона.
 - c. в) Электрона, масса которого на 2% больше его массы покоя.
2. На сколько отличаются дебройлевские длины волн протона и нейтрона, движущихся с энергией равной 1 эВ ?
3. Каково соотношение длин волн де-Бройля протона и электрона, проходящих одинаковую ускоряющую разность потенциалов?
4. Найти разность потенциалов, которую должен пройти электрон, чтобы ему соответствовала такая же длина волны, что и протону, прошедшему разность потенциалов 20 В .
5. Найти энергию и импульс фотона с длиной волны $0,3 \text{ нм}$, а также кинетическую энергию и импульс электрона, длина волны де-Бройля которого имеет то же значение.
6. Вычислить дебройлевскую длину волны электрона и протона, движущихся с кинетической энергией $1,00 \text{ кэВ}$. При каких значениях кинетической энергии их длина волны будет равна $0,1 \text{ нм}$?
7. При увеличении энергии электрона на 200 эВ его дебройлевская длина волны изменилась в два раза. Найти первоначальную длину волны электрона.
8. Электрон, движущийся со скоростью $6 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ попадает в продольное электрическое поле с напряженностью 5 В/см . Какое расстояние должен пролететь электрон в таком поле, чтобы его длина волны стала 1 А ?
9. Какова скорость изменения дебройлевской длины волны протона, ускоряемого продольным электрическим полем напряженностью 3 кВ/см , в тот момент, когда его кинетическая энергия равна 1 кэВ ?
10. Какую работу необходимо совершить, чтобы дебройлевская длина волны электрона, имевшего импульс 20 кэВ/с (где c скорость света), стала равной 1 ангстрем ?
11. Определить, при какой скорости длина волны де-Бройля для электрона равна его комптоновской длине волны.
12. Определить, при какой кинетической энергии длина волны де-Бройля для электрона равна его комптоновской длине волны.
13. Какую дополнительную энергию необходимо сообщить электрону с импульсом 15 кэВ/с , где c скорость света, чтобы его дебройлевская длина волны стала равна $0,5 \text{ А}$?
14. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов 200 В , имеет длину волны де-Бройля равную $2,02 \text{ нм}$. Найти массу частицы, если ее заряд численно равен заряду электрона.
15. Поток моноэнергетических электронов падает нормально на диафрагму с узкой щелью шириной $b = 2,0 \text{ мкм}$. Найти скорость электронов, если на экране, отстоящем от щели на $l = 50 \text{ см}$, ширина центрального дифракционного максимума $\Delta x = 0,36 \text{ мм}$.
16. Параллельный пучок электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов 15 В , падает на длинную, узкую прямоугольную диафрагму шириной $0,08 \text{ мм}$. Найти ширину главного дифракционного максимума на экране, расположенном на расстоянии 60 см от диафрагмы.
17. Параллельный пучок электронов, движущийся с одинаковой скоростью 10^6 м/с , падает нормально на диафрагму с длинной щелью шириной 1 мкм . Проходя через щель, электроны рассеиваются и образуют дифракционную картину на экране, расположенном на расстоянии 50 см от щели и параллельном плоскости диафрагмы. Определить на экране расстояние между соседними дифракционными минимумами.
18. Электрон движется по окружности радиусом $0,5 \text{ см}$ в однородном магнитном поле с индукцией $B = 8 \text{ мТл}$. Определить длину волны де-Бройля электрона.
19. По окружности радиусом $8,3 \text{ мм}$ в однородном магнитном поле движется α -частица. Напряженность магнитного поля равна $18,9 \text{ В/м}$. Определить длину волны де-Бройля α -частицы.

Соотношения неопределенности Гайзенберга

20. Принимая, что электрон находится внутри атома диаметром $0,3 \text{ нм}$, определить в эВ неопределенность кинетической энергии данного электрона. Состояние атома – основное.
21. Оценить неопределенность скорости электрона в атоме водорода, полагая размер атома порядка $0,1 \text{ нм}$. Сравнить полученное значение со скоростью электрона на первой боровской орбите.
22. Сравнить дебройлевскую длину волны протона, ускоренного до потенциала 10^3 В , с величиной неопределенности его координаты, соответствующей неопределенности импульса в $0,1\%$.
23. Найти связь между скоростью и неопределенностью скорости движущейся частицы, для которой неопределенность координаты равна длине волны де-Бройля.
24. Оценить минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области размером $l = 0,10 \text{ нм}$.
25. Электрон с кинетической энергией $W = 10 \text{ эВ}$ локализован в области размером $l = 1,0 \text{ мкм}$. Оценить относительную неопределенность скорости электрона.
26. При эксперименте в водородной камере электрон образует след в том случае, если его кинетическая энергия не меньше величины порядка 2 кэВ . Можно ли по следу, ширина которого порядка 1 мкм , заметить отклонения в движении электрона от законов классической механики?
27. Электронный пучок выходит из электронной пушки под действием разности потенциалов 200 В . Определить, можно ли одновременно измерить траекторию электрона с точностью до 100 нм и его скорость с точностью 10% .
28. Оценить относительную неопределенность импульса и кинетической энергии частицы, у которой неопределенность координаты в 2000 раз больше ее дебройлевской длины волны.
29. Опираясь на соотношение Гайзенберга для Δp и Δx , найти аналогичное соотношение для ΔE и Δt , где Δt - неопределенность промежутка времени, в течение которого измеряется энергия.
30. Свободно движущаяся нерелятивистская частица имеет относительную неопределенность кинетической энергии порядка $1,6 \cdot 10^{-4}$. Оценить, во сколько раз неопределенность координаты такой частицы больше ее дебройлевской длины волны.
31. Неопределенность момента импульса электрона в атоме водорода составляет $0,2 \hbar$. Можно ли определить угловую координату электрона в атоме водорода?
32. Принимая, что неопределенность в импульсе может достигать 50% величины импульса, вычислить, какую наибольшую энергию может иметь электрон, локализованный в пространстве с точностью до 1 А (размер атома) и с точностью до 10^{-11} см (размер ядра). Какой вывод можно сделать из этих вычислений, если принять во внимание, что энергия связи ядерной частицы в ядре не превышает 10 МэВ ?
33. Атом излучил фотон с длиной волны $\lambda = 550 \text{ нм}$ за время равное $\tau = 10^{-8} \text{ с}$. Оценить неопределенность его координаты, энергии и относительную неопределенность его длины волны.
34. Возбужденный атом испускает фотон в течение 5 нс . Длина волны излучения равна 500 нм . Найти с какой точностью могут быть определены энергия, длина волны и положение фотона.
35. Атом испустил фотон с длиной волны $\lambda = 0,58 \text{ мкм}$ за время $\tau = 10^{-8} \text{ с}$. Оценить неопределенность Δx , с которой можно установить координату фотона в направлении его движения, а также неопределенность его длины волны.
36. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину энергетического уровня в атоме водорода, находящегося: а) в основном состоянии; б) в возбужденном состоянии (время жизни электрона в возбужденном состоянии равно 10^{-8} с).
37. Возбужденный атом испускает фотон в течение $0,01 \text{ мкс}$. Длина волны излучения равна 600 нм . Определить отношение естественной ширины энергетического уровня, на который был возбужден электрон, к энергии, излученной атомом.
38. При переходе атома в основное состояние испускается фотон, длина волны которого равна $0,5 \text{ мкм}$ за время равное 10 нс . Используя соотношение неопределенности, оценить естественную ширину излучаемой спектральной линии.

Атом водорода и водородоподобные ионы

39. Показать, что для атома водорода на боровских стационарных орбитах укладывается целое число длин волн де-Бройля. Определить длины волн на первой и третьей орбитах.
40. Как изменится длина волны де-Бройля электрона в атоме водорода при его переходе с четвертой боровской орбиты на вторую?
41. С какой минимальной скоростью должен двигаться атом водорода, чтобы в результате неупругого лобового соударения с другим, покоящимся атомом водорода, один из них испустил фотон? До соударения оба атома находились в основном состоянии.
42. Определить длину волны света, излучаемого атомом водорода при переходе возбужденного электрона с одной боровской орбиты на другую, радиусы которых отличаются в 2,25 раза.
43. Определить длину волны света, излучаемого атомом водорода при переходе возбужденного электрона с одной боровской орбиты на другую, радиусы которых отличаются в 4 раза.
44. Определив энергию ионизации атома водорода, найти энергию (в эВ) фотона, соответствующего головной линии серии Бальмера и ее длину волны.
45. Основываясь только на том, что первый потенциал возбуждения атома водорода равен 10,2 В, определить в эВ энергию фотона, соответствующего второй линии серии Бальмера и ее длину волны.
46. Вычислить кинетическую энергию электрона, выбитого из первого возбужденного состояния атома водорода фотоном, длина волны которого 0,3 мкм.
47. Вычислить кинетическую энергию электрона, выбитого из второго возбужденного состояния атома водорода фотоном, длина волны которого 0,2 мкм.
48. Электроны, прошедшие ускоряющую разность потенциалов U , бомбардируют атомы водорода в первом возбужденном состоянии. При этом в спектре люминесценции наблюдается 6 линий. Найти U .
49. Электроны, прошедшие ускоряющую разность потенциалов U , бомбардируют атомы водорода в основном состоянии. При этом в спектре люминесценции наблюдается 6 линий. Найти U .
50. Электроны, прошедшие ускоряющую разность потенциалов U , бомбардируют атомы водорода во втором возбужденном состоянии. При этом в спектре люминесценции наблюдается 6 линий. Найти U .
51. Атом водорода переведен из основного состояния в четвертое возбужденное. Какие спектральные линии могут быть испущены при возвращении электрона в исходное состояние? Найти их длины волн. Все ли они относятся к видимой части спектра?
52. Вычислить энергию электрона на первой, второй и третьей боровских орбитах атома водорода.
53. Определить спектральный интервал, в пределах которого лежат длины волн серии Лаймана в атоме водорода. (Постоянная Ридберга – $1,0965 \cdot 10^7 \text{ 1/м}$).
54. Определить длину волны кванта света, поглощение которого ведет к ионизации атома водорода из второго возбужденного состояния.
55. Один из возбужденных атомов водорода при переходе в основное состояние испустил последовательно три кванта с длинами волн 1611 нм; 486,6 нм; 121,6 нм. Какое главное квантовое число соответствует возбужденному состоянию? Постоянную Ридберга считать равной $R = 1,0965 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.
56. Определить квантовое число n возбужденного состояния атома водорода, если известно, что при переходе в основное состояние атом излучил:
- а) фотон с длиной волны $\lambda = 97,25 \text{ нм}$;
 - б) два фотона, с $\lambda_1 = 656,3 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 121,6 \text{ нм}$.
57. В спектре некоторых водородоподобных ионов известны длины волн трех линий, принадлежащих к одной и той же серии: 99,2; 108,5 и 121,5 нм. Какие спектральные линии можно предсказать еще?
58. В спектре испускания атомарного водорода известны длины волн двух линий серии Бальмера: 410,2 и 486,1 нм. К какой серии принадлежит спектральная линия, волновое число которой равно разности волновых чисел этих линий? Какова ее длина волны?
59. (Какие линии содержит спектр поглощения атомарного водорода в диапазоне длин волн от 94,5 до 130,0 нм?)
60. Найти для водородоподобных ионов кинетическую энергию электрона и его энергию связи в основном состоянии, а также потенциал ионизации. Вычислить эти величины для атома водорода и ионов He^+ и Li^+ .

61. На сколько *электронвольт* надо увеличить внутреннюю энергию иона He^+ , находящегося в основном состоянии, чтобы он смог испустить фотон, соответствующий головной линии серии Бальмера?
62. Вычислить скорость электронов, вырываемых электромагнитным излучением с длиной волны $\lambda = 18,0 \text{ нм}$ из ионов He^+ , находящихся в основном состоянии.
63. В спектре некоторых водородоподобных ионов длина волны третьей линии серии Бальмера равна $108,5 \text{ нм}$. Найти энергию связи электрона в основном состоянии этих ионов.
64. Определить длину волны кванта света, поглощение которого ведет к ионизации дважды ионизированного иона лития Li^{++} : 1) из основного состояния; 2) из первого возбужденного состояния; 3) из второго возбужденного состояния.
65. Определить длину волны кванта света, поглощение которого ведет к ионизации иона гелия He^+ : 1) из основного состояния; 2) из первого возбужденного состояния; 3) из второго возбужденного состояния.
66. Основываясь на том, что первый потенциал ионизации иона гелия равен $54,4 \text{ В}$, определить энергию электрона гелия, находящегося в первом и втором возбужденных состояниях.
67. В некотором водородоподобном ионе длина волны излучения первой линии серии Лаймана равна $30,4 \text{ нм}$. Определить длину волны, поглощение которой ведет к ионизации иона. (Постоянная Ридберга – $1,0965 \cdot 10^7 \text{ 1/м}$).
68. Значение термов водородоподобного иона для электрона в первом возбужденном состоянии $1,0965 \cdot 10^7 \text{ 1/м}$, а в третьем $0,274 \cdot 10^7 \text{ 1/м}$. Найти длину волны кванта света, поглощение которого ведет к изменению энергетического состояния электрона из первого в третье возбужденные состояния.
69. На какое расстояние приблизится α -частица с кинетической энергией 6 МэВ к неподвижному ядру атома ртути. Зарядовое число ртути равно 80, массовое – 200.

Дифракция на кристаллической структуре

70. Узкий пучок нейтронов падает на естественную грань монокристалла алюминия под углом 60° . Расстояние между соседними кристаллическими плоскостями, параллельными этой грани монокристалла, $d = 0,20 \text{ нм}$. При зеркальном отражении от естественной грани кристалла наблюдается дифракционный максимум 2-го порядка. Какова энергия и скорость нейтронов, падающих на монокристалл?
71. Моноэнергетический пучок нейтронов, полученный в результате ядерной реакции, падает на кристалл с периодом $0,15 \text{ нм}$. Определить скорость нейтронов, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается при угле скольжения равном 30° .
72. Узкий пучок моноэнергетических электронов падает под углом скольжения $\theta = 30^\circ$ на естественную грань монокристалла алюминия. Расстояние между соседними кристаллическими плоскостями, параллельными этой грани монокристалла, $d = 0,20 \text{ нм}$. При некотором ускоряющем напряжении U_0 наблюдали максимум зеркального отражения. Найти U_0 , если известно, что следующий максимум зеркального отражения возникал при увеличении ускоряющего напряжения U_0 в $\eta = 2,25$ раза.
73. Пучок электронов с кинетической энергией 10 кэВ проходит через тонкую поликристаллическую фольгу и образует систему дифракционных колец на экране, отстоящем от фольги на $l = 10,0 \text{ см}$. Найти межплоскостное расстояние, для которого максимум отражения третьего порядка соответствует кольцу с радиусом $r = 1,6 \text{ см}$.
74. В одном из опытов по дифракции электронов на монокристалле никеля, максимум четвертого порядка наблюдался в направлении, составляющем угол в 120° с направлением падающих на поверхность кристалла электронов при их энергии в 160 эВ . Вычислить межплоскостное расстояние кристаллической решетки - d . Определить под каким углом к поверхности кристалла ориентированы плоскости расположения атомов. Электроны падают на поверхность монокристалла нормально к ней.
75. В одном из опытов по дифракции на кристаллах пучок малоэнергетических электронов, ускоренных разностью потенциалов в $1,6 \text{ кВ}$ пропускаться через тонкую алюминиевую фольгу, которая представляла собой поликристаллическую структуру. На экране, расположенном на расстоянии 20 см от фольги, возникала система дифракционных колец. Рассеяние первого порядка от кристаллических

плоскостей образует кольцо диаметром 6 см. Вычислить межплоскостное расстояние для алюминия. Объяснить наличие дифракционных колец.

76. Пропуская пучок быстрых электронов с энергией 60 кэВ через тонкую медную пленку, исследователи наблюдали на экране результат дифракции электронов в поликристаллической пленке. Определить угол отклонения электронов, образующих дифракционное кольцо при отражении в четвертом порядке от кристаллических плоскостей, расстояние между которыми 2 ангстрем.

77. Найти первые три значения ускоряющей разности потенциалов, при которых наблюдается максимальное отражение электронов в следующем опыте: пучок электронов падает на естественную грань монокристалла под углом равным 60° , отраженные электроны наблюдаются под углом равным углу падения. Соответствующее межплоскостное расстояние равно 2 ангстрем. Преломлением электронных волн в кристалле пренебречь.

78. Узкий пучок моноэнергетических электронов падает под углом скольжения $\theta = 45^\circ$ на естественную грань монокристалла алюминия. Расстояние между соседними кристаллическими плоскостями, параллельными этой грани монокристалла, $d = 0,30$ нм. При некотором ускоряющем напряжении U_0 наблюдали максимум зеркального отражения. Найти U_0 , если известно, что следующий максимум зеркального отражения возникал при увеличении ускоряющего напряжения U_0 в $\eta = 1,44$ раза.

79. Пучок быстрых электронов с энергией 40 кэВ пропускали через тонкую алюминиевую пленку. Определить угол отклонения электронов, образующих дифракционное кольцо при отражении в третьем порядке от кристаллических плоскостей, расстояние между которыми 1,6 ангстрем.

Уравнение Шредингера

80. Электрон находится в основном состоянии в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Оценить силу, с которой электрон действует на стенку ямы, если ее ширина 1 ангстрем.

81. Определить длину волны фотона, испускаемого при переходе электрона из первого возбужденного состояния в основное в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной 0,2 нм с бесконечно высокими стенками.

82. В одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной 0,3 нм с бесконечно высокими стенками в третьем возбужденном состоянии находится электрон. Определить: 1) минимальную энергию электрона; 2) вероятность обнаружения электрона в средней трети ямы.

83. Частица находится в потенциальном ящике шириной L . Вычислить вероятность того, что частица находится на расстоянии $1/4$ от края ящика с точностью $0,08 L$, если энергия частицы соответствует второму уровню.

84. Частица находится в первом возбужденном состоянии в прямоугольной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти вероятность обнаружения этой частицы в области $\frac{3}{8}l < x < \frac{5}{8}l$.

85. Собственная функция, описывающая состояние частицы в потенциальном ящике, имеет вид $\psi_n(x) = C \sin(\pi n x / l)$. Используя условие нормировки, определить постоянную C .

86. Электрон находится в потенциальном ящике шириной l . В каких точках в интервале $(0 < x < l)$ плотность вероятности нахождения электрона на первом и втором энергетических уровнях одинакова? Вычислить плотность вероятности для этих точек. Решение пояснить графически.

87. Частица находится во втором возбужденном состоянии в прямоугольной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти вероятность обнаружения этой частицы в области $\frac{2}{6}l < x < \frac{3}{6}l$.

88. Частица находится в первом возбужденном состоянии в прямоугольной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками. Найти вероятность обнаружения этой частицы в области $0,4l < x < 0,6l$.

89. Частица находится во втором возбужденном состоянии в потенциальной яме шириной L с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < X < L$). Найти вероятность местонахождения этой частицы в области $1/3 L < X < 2/3 L$.

90. Частица находится в потенциальном ящике шириной L . Вычислить вероятность того, что частица находится на расстоянии $1/8 L$ от края ящика с точностью до $0,01 L$, если энергия частицы соответствует пятому уровню.

91. Частица находится в потенциальном ящике шириной L . Вычислить вероятность того, что частица находится на расстоянии $1/8 L$ от края ящика с точностью до $0,05 L$, если энергия частицы соответствует третьему возбужденному состоянию.

92. Электрон находится в бесконечно глубоком одномерном потенциальном ящике шириной L ($0 < X < L$). Определить вероятность того, что электрон, находящийся в первом возбужденном состоянии, будет обнаружен в интервале $1/4 L < X < 3/4 L$.

93. Частица находится в потенциальном ящике шириной L . Определить отношение плотностей вероятностей пребывания частицы в середине ящика и на расстоянии $1/4 L$ от края ящика. Вычисления производить для первого, второго и третьего уровней энергии.

94. Электрон заперт в одномерном прямоугольном ящике с абсолютно непроницаемыми стенками. Оценить величину минимально возможной энергии электрона, если ширина ямы $L = 3 \text{ ангстрем}$.

95. Вычислить энергию, которая необходима, чтобы перевести частицу, заключенную в потенциальном ящике, с третьего уровня на четвертый. Задачу решить: 1) для электрона при ширине ящика 1 ангстрем и 1 мм ; 2) для частицы с массой 1 мкг при ширине ящика 1 мм .

96. Найти собственное значение оператора \hat{A} , принадлежащее собственной функции ψ_A , если
$$\hat{A} = -\frac{d^2}{dx^2}, \quad \psi_A = \sin 2x.$$

97. Найти собственное значение оператора \hat{A} , принадлежащее собственной функции ψ_A , если
$$\hat{A} = -\frac{d^2}{dx^2} + x^2, \quad \psi_A = \exp(-x^2/2).$$

98. Электрон с энергией $1,2 \text{ кэВ}$ движется в положительном направлении оси x и встречает на своем пути прямоугольный потенциальный порог высотой 150 В . Определить, во сколько раз изменится длина волны де-Бройля при прохождении через этот потенциальный порог.

99. Потенциальный барьер имеет ширину $0,15 \text{ мм}$. Определить в эВ разность высоты барьера и энергии электрона, при которой вероятность прохождения этой частицы сквозь барьер составит $0,4$.

100. Протон и электрон, обладающие одинаковыми энергиями, движутся вдоль оси x и встречают на своем пути потенциальный барьер. Определить, во сколько раз надо уменьшить ширину барьера, чтобы вероятность прохождения его протоном была равна вероятности прохождения электроном.

101. Протон и электрон прошли одинаковую разность потенциалов 10 кВ . Во сколько раз для них отличаются коэффициенты прозрачности потенциального барьера высотой 20 кэВ и шириной $0,1 \text{ нм}$?

102. Частица массой m падает на прямоугольный потенциальный барьер, причем ее энергия E меньше высоты U_0 барьера. Найти вероятность прохождения электрона и протона с энергией $5,0 \text{ эВ}$ сквозь барьер, если высота барьера $10,0 \text{ эВ}$ и ширина $0,10 \text{ нм}$.

103. Определить коэффициент прозрачности барьера для электрона при высоте барьера 2 эВ и ширине 5 А , если энергия электрона составляет: а) $0,9$ от высоты барьера; б) $0,1$ от высоты барьера.

104. Электрон с энергией $4,5 \text{ эВ}$ падает на потенциальный барьер высотой 5 эВ . При какой ширине барьера вероятность прохождения электрона через него будет равна $0,1$?

Распределение по вариантам
задач первого этапа домашнего задания по атомной физике

№ вар.	№ задач								
1	6	14	33	25	48	69	73	80	92
2	5	11	23	36	47	67	77	87	96
3	11	17	36	26	39	60	70	89	102
4	9	15	29	21	49	68	72	95	87
5	12	2	32	23	46	62	76	81	88
6	10	16	27	33	41	59	70	96	99
7	15	5	37	27	54	42	76	86	102
8	4	19	21	35	42	61	78	92	104
9	17	7	20	31	53	66	75	98	90
10	2	8	24	30	45	64	78	84	100
11	18	3	26	25	44	65	71	99	84
12	1	12	38	37	55	58	79	82	97
13	14	4	30	29	57	56	75	83	89
14	16	1	22	34	40	61	73	90	101
15	10	6	34	22	50	63	74	97	102
16	7	13	30	38	43	59	72	85	91
17	3	11	31	24	51	62	71	93	100
18	19	9	35	28	56	63	74	88	101
19	13	18	25	32	58	64	79	94	103
20	8	10	28	20	52	41	77	91	104