

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Институт математики информационных технологий и физики
Кафедра общей физики

Типовые задания по физике с примерами решения
Квантовая физика

Учебно-методическое пособие



Ижевск
2023

УДК 530.145(075.8)

ББК 22.314я73

Т434

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом УдГУ

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник УдмФИЦ УрО РАН
В.Г. Лебедев;
канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник УдмФИЦ УрО РАН
И.В. Стерхова.

Составители: Меньшикова С.Г., Данилова А.С.

Т434 Типовые задания по физике с примерами решения. Квантовая физика : учеб.-метод. пособие / сост. С.Г. Меньшикова, А.С. Данилова. – Ижевск : Удмуртский университет, 2023. – 45 с.

В пособии представлены типовые практические задания с примерами решения, которые входят в программу обучения студентов Удмуртского государственного университета в рамках курса «Общая физика» по разделу «Квантовая физика».

Пособие предназначено для студентов естественно-научных направлений подготовки, в частности, 21.03.01 Нефтегазовое дело, 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия, 04.03.02 Химия, физика и механика материалов, 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии, осваивающих курс «Общая физика».

УДК 530.145(075.8)

ББК 22.314я73

© С.Г. Меньшикова, А.С. Данилова, сост., 2023

© ФГБОУ ВО «Удмуртский

государственный университет», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ	5
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	7
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ	10
ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ВАРИАНТ	10
ВАРИАНТ 1.	15
ВАРИАНТ 2.	16
ВАРИАНТ 3.	17
ВАРИАНТ 4.	18
ВАРИАНТ 5.	19
ВАРИАНТ 6.	20
ВАРИАНТ 7.	21
ВАРИАНТ 8.	22
ВАРИАНТ 9.	23
ВАРИАНТ 10.	24
ВАРИАНТ 11.	25
ВАРИАНТ 12.	26
ВАРИАНТ 13.	27
ВАРИАНТ 14.	28
ВАРИАНТ 15.	29
ВАРИАНТ 16.	30
ВАРИАНТ 17.	31
ВАРИАНТ 18.	32
ВАРИАНТ 19.	33
ВАРИАНТ 20.	34
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ.....	35
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	38
ПРИЛОЖЕНИЕ	40

ВВЕДЕНИЕ

В пособии представлены методические указания и алгоритмы решения типичных задач к разделу «Квантовая физика». Представлен демонстрационный вариант решения типичных задач. Приведён банк заданий, включающий 20 типовых вариантов с ответами для самостоятельного решения, а также тестовые задания с выбором ответа. Предполагается, что студентами в полной мере освоен теоретический материал, поэтому формулы и термины изучаемого раздела, необходимые для решения задач, не приводятся.

Квантовая физика-раздел теоретической физики, в котором изучаются квантово-механические системы и законы их движения. Создана в первой половине XX века учёными, среди которых большой вклад в развитие внесли Макс Планк, Альберт Эйнштейн, Эрвин Шрёдингер, Луи де Бройль, Поль Дирак, Нильс Бор, Вольфганг Паули, Вернер Гейзенберг, Макс Борн, Людвиг Больцман и др. Квантовая физика описывает поведение атомных и субатомных частиц, сосредоточена только на математическом описании процессов измерения и наблюдения. Для того, чтобы понять, как устроен микромир, вводится понятие квантовой системы. Это реальные или модельные системы, которые подчиняются законам квантовой физики. Описание сложных квантовых систем строится на языке квазичастиц, особенно в физике конденсированного состояния. К квантовым системам относятся свободные электроны или иные элементарные частицы, электроны в атоме водорода, электроны в кристалле (квазичастицы-электроны и дырки) и др.

Решение задач – процесс выполнения действий или мыслительных операций, направленный на достижение цели, заданной в рамках проблемной ситуации и является составной частью мышления. Процесс решения задач состоит из трёх этапов: нахождение проблемной ситуации, постановка задачи и нахождение решения. При этом под постановкой задачи может пониматься как сознательная работа, так и некие постулируемые неосознаваемые процессы переработки информации.

Цель настоящего пособия-привить студентам навыки решения теоретических и практических задач по разделу «Квантовая физика».

Пособие содержит элементы высшей математики, представлена таблица приставок для образования десятичных кратных и дольных единиц, таблица Менделеева, справочные таблицы.

Предложенные задания могут быть использованы для рубежных контрольных работ, для работы в парах (подобно тому, как выполняются аудиторские лабораторные работы), в качестве домашних контрольных работ и на аудиторных практических занятиях. Пособие может быть полезно репетиторам, преподавателям, а также абитуриентам.

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ



**Макс Планк
(1858-1947)
Основоположник
квантовой физики**

Доклад «Религия и естествознание» (май 1937)

*И религия, и естествознание
нуждаются в вере в Бога,
при этом для религии
Бог стоит в начале
всякого размышления,
а для естествознания - в конце.
Для одних Он означает фундамент,
а для других - вершину построения
любых мировоззренческих принципов.*



*...подробно изложены в книгах по квантовой
механике*

Задачи следует оформлять по стандартному требованию (см. общий алгоритм решения задач). При выполнении практических заданий все решения однотипны: записать условие, перевести исходные данные в систему СИ, записать необходимые уравнения, формулы, их решения в общем виде, выразив искомую величину, выполнить проверку размерности полученной искомой величины, подставить числовые значения в конечную формулу, получить и записать ответ.

Условия задач в контрольной работе переписываются полностью, без сокращений. Студент должен быть готов дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольные работы.

Если представленные типовые задания используются в качестве домашней контрольной работы, на листах формата А4 необходимо выполнить соответствующее оформление (см. образец оформления обложки к/р), наклеить на обложку тетради (разрезать под формат тетради). Если студенты выполняют контрольную работу в парах, отчёт с оформленными заданиями должен быть у каждого студента.

Образец оформления обложки к/р

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»

_____, _____,
институт

_____,
специализация

_____ курс

Контрольная работа № _____

Выполнил: студент _____, группа № _____, номер зачётки: _____
Ф.И.О.

Проверил: _____
должность Ф.И.О.

Ижевск
20__ - 20__ уч. год

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА СИ

Международная система единиц физических величин СИ
(*фр.* System international, SI) принята

11-й Генеральной конференцией по мерам и весам (1960 г.).

В ней семь основных единиц: секунда, метр, килограмм, ампер, кельвин,
моль, кандела и две дополнительные: радиан истерадиан.

ОБЩИЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Внимательно прочитать условие задачи.
2. Произвести краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений (СИ).
3. Выполнить рисунки или чертежи задачи.
4. Определить, каким методом будет решаться задача, составить план решения.
5. Записать основные уравнения, описывающие процессы, предложенные задачей системой.
6. Найти решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
7. Проверить правильность решения задачи в общем виде, произведя действия с наименованием величин.
8. Произвести вычисления.
9. Произвести оценку реальности полученного решения.
10. Записать ответ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. РАЗДЕЛ «ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ»

Алгоритм решения задач по теме «Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана, закон смещения Вина. Формулы Рэлея-Джинса и Планка»

1. Прочитать условие и произвести краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений.
2. Выяснить, какой закон подходит для решения задачи.
3. Записать требуемое для решения уравнение или его изменённую форму.
4. Решить полученное уравнение относительно неизвестной величины.
5. Решение проверить и оценить критически.
6. Записать ответ.

2. РАЗДЕЛ «ФОТОЭФФЕКТ»

Алгоритм решения задач по теме «Законы фотоэффекта»

1. Прочитать условие и произвести краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений.
2. Записать уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта в общем виде.
3. Определить границу фотоэффекта.
4. Найти решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
5. Выполнить проверку соответствия величин.
6. Решить полученное уравнение относительно неизвестной величины.
7. Решение проверить и оценить критически.
8. Записать ответ.

Алгоритм решения задач по теме «Фотоны»

1. Прочитать условие и произвести краткую запись условия задачи с помощью общепринятых буквенных обозначений.
2. Определить метод решения задачи, зачастую требуется определить энергию фотона или импульс фотона.
3. Записать требуемое для решения уравнение или его изменённую форму (для определения отдельных величин).
4. Найти решение в общем виде, выразив искомые величины через заданные.
5. Выполнить проверку соответствия величин.
6. Решить полученное уравнение относительно неизвестной величины.
7. Решение проверить и оценить критически.
8. Записать ответ.

3. РАЗДЕЛ «ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ АТОМОВ»

Алгоритм решения задач по теме «Постулаты Бора»

1. Внимательно прочитать условие задачи, произвести краткую запись.
2. Если необходимо, выполнить чертёж.
3. Составить план решения задачи.
4. Записать постулат Бора, необходимый для решения задачи.
5. Найти решение в общем виде.
6. Произвести вычисления. Оценить полученный результат.
7. Записать ответ.

Алгоритм решения задач по теме «Длина волны де Бройля»

1. Внимательно прочитать условие задачи, произвести краткую запись.
2. Составить план решения задачи.
3. Записать уравнение де Бройля.
4. Найти решение в общем виде.
5. Произвести вычисления. Оценить полученный результат.
6. Записать ответ.

Алгоритм решения задач по теме «Соотношение неопределённостей Гейзенберга»

1. Внимательно прочитать условие задачи, произвести краткую запись.
2. Составить план решения задачи.
3. Записать подходящее соотношение неопределённостей Гейзенберга.
4. Найти решение в общем виде.
5. Произвести вычисления. Оценить полученный результат.
6. Записать ответ.

Алгоритм решения задач по теме «Уравнение Шрёдингера»

1. Внимательно прочитать условие задачи, произвести краткую запись.
2. Составить план решения задачи.
3. Записать уравнение Шрёдингера.
4. Найти решение в общем виде.
5. Произвести вычисления. Оценить полученный результат.
6. Записать ответ.

Если в журнале по физике вы видите формулу, занимающую четверть страницы, забудьте о ней. Она неверна, природа не настолько сложна.

Леон Ледерман

4. РАЗДЕЛ «ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

Алгоритм решения задач по теме «Энергия связи нуклонов в ядре»

1. Определить количество протонов и нейтронов в ядре атома.
2. Вычислить дефект масс в атомных единицах массы.
3. Перевести атомные единицы массы в килограммы.
4. Вычислить энергию связи по формуле Эйнштейна.
5. Произвести вычисления. Оценить полученный результат.
6. Записать ответ.

Алгоритм решения задач по теме «Закон радиоактивного распада»

1. Внимательно прочитать условие задачи, произвести краткую запись.
2. Составить план решения задачи.
3. Записать закон радиоактивного распада.
4. Найти решение в общем виде.
5. Произвести вычисления. Оценить полученный результат.
6. Записать ответ.

Алгоритм решения задач по теме «Элементарные частицы»

1. Внимательно прочитать условие задачи, произвести краткую запись.
2. Составить план решения задачи.
3. Выяснить какая элементарная частица задействована в задаче.
4. Записать необходимые формулы. Найти решение в общем виде.
5. Произвести вычисления. Оценить полученный результат.
6. Записать ответ.



Квантовая физика доказала:

- 1) всё возникает из пустоты;
- 2) всё создаётся мыслью;
- 3) всё в мире наполнено энергией;
- 4) всё находится в движении;
- 5) материя-это энергия.

Квантовую физику невозможно понять, к ней просто нужно привыкнуть.

Джон фон Нейман

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ВАРИАНТ

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Считая Солнце чёрным телом, учитывая, что максимальной спектральной плотности энергетической светимости соответствует длина волны 0.5 мкм, определить температуру на поверхности Солнца, энергию, излучаемую Солнцем в виде электромагнитных волн за 20 минут и массу, теряемую Солнцем за это время.

Дано: $\lambda_{\max}=0.5 \text{ мкм}$ $t=20 \text{ мин}=1200 \text{ с}$ $R_c=6.9 \cdot 10^8 \text{ м}$ $b=2.9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ $\sigma=5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ $c=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Решение: Согласно закону смещения Вина $\lambda_{\max}=b/T$, откуда $T=b/\lambda_{\max}$ Излучаемую Солнцем энергию найдем по формуле: $W=R_c \sigma T^4 4\pi R_c^2 t$ Согласно формуле Эйнштейна $W=mc^2$, отсюда найдем теряемую массу Солнца $m=W/c^2$ Подставим числовые значения: $T=(2.9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К})/(5 \cdot 10^{-7} \text{ м}) = 5800 \text{ К}$ $W=[5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)] \cdot (5800 \text{ К})^4 \cdot 4 \cdot 3.14 \cdot (6.9 \cdot 10^8 \text{ м})^2 \cdot (1200 \text{ с}) = 4.68 \cdot 10^{29} \text{ Дж}$ $m=4.68 \cdot 10^{29} \text{ Дж}/(3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 5.2 \cdot 10^{12} \text{ кг}$ Ответ: $T=5800 \text{ К}$, $W=4.68 \cdot 10^{29} \text{ Дж}$, $m=5.2 \cdot 10^{12} \text{ кг}$
Найти: T, W, m?	

2. Фотоэффект

Калиевая пластина освещается монохроматическим светом с длиной волны 0.4 мкм. Определить наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекращается.

Дано: $\lambda=0.4 \text{ мкм}$ $A_{\text{вых}}=3.52 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $ q_e =1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $h=6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ $c=3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Решение: Для решения задачи используем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu=A_{\text{вых}}+(mV_{\max}^2)/2$, где $m(V_{\max}^2)/2= q_e U_0$ С учётом $\nu=c/\lambda$ получаем: $(hc)/\lambda=A_{\text{вых}}+ q_e U_0$, откуда $U_0=[(hc)/\lambda-A_{\text{вых}}]/ q_e$ Подставим числовые значения: $U_0=[(6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})/(5 \cdot 10^{-7} \text{ м}) - (3.52 \cdot 10^{-19} \text{ Дж})]/(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл})=0.9 \text{ В}$ Ответ: $U_0=0.9 \text{ В}$
Найти: U_0?	

3. Фотоны. Давление света

С какой скоростью движется электрон, если его импульс равен импульсу фотона, длина волны которого 0.5 мкм?

Дано: $p_e = p$ $\lambda = 0.5 \text{ мкм}$ $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$	Решение: Из формулы для определения импульса электрона $p_e = m_e V_e$ выразим скорость: $V_e = p_e / m_e$. Импульс фотона определим из формулы: $p = h / \lambda$. Т.к. $p_e = p$, получаем: $V_e = h / \lambda m_e$.
Найти: $V_e = ?$	Подставим числовые значения: $V_e = (6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}) / (0.5 \text{ мкм})(9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}) = 1.46 \cdot 10^3 \text{ м/с}$. Ответ: $V_e = 1.46 \cdot 10^3 \text{ м/с}$

4. Постулаты Бора

Найти максимальную длину волны, излучаемой в серии Бальмера.

Дано: $R = 1.097 \text{ м}^{-1}$	Решение: Воспользуемся формулой Бальмера-Ридберга: $1/\lambda = R(1/2^2 - 1/n^2)$ Максимальная длина волны соответствует минимальному значению разности: $(1/2^2 - 1/n^2)$, т.е. $(1/2^2 - 1/3^2) = 5/36$ Т.о.: $\lambda_{\text{max}} = 36/5R$
Найти: $\lambda_{\text{max}} = ?$	Подставим числовые значения: $\lambda_{\text{max}} = 36 / [5(1.097 \text{ м}^{-1})] = 0.66 \text{ мкм}$ Ответ: $\lambda_{\text{max}} = 0.66 \text{ мкм}$

5. Длина волны де Бройля

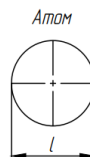
Найти длину волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью $7.3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

Дано: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $V_e = 7.3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ $h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$	Решение: Воспользуемся уравнением де Бройля: $\lambda = h/p$, где $p = m_e V$. Таким образом, конечная формула $\lambda = h/m_e V$.
---	--

Найти: λ -?	Подставим числовые значения: $\lambda = (6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}) / [(9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}) (7.3 \cdot 10^6 \text{ м/с})] = 10^{-10} \text{ м}.$ Ответ: $\lambda = 10^{-10} \text{ м}$
------------------------	---

6. Соотношение неопределённости Гейзенберга

Кинетическая энергия электрона в атоме водорода имеет значение порядка 10 эВ. Оценить минимальные линейные размеры атома, используя соотношение неопределённости Гейзенберга.



Дано: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $E = 1.6 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ $\hbar = 1.05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$	Решение: Воспользуемся соотношением неопределённости Гейзенберга: $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar/2$, где $\Delta x = l/2$ (см. рис.), $\Delta p_x = (2mE)^{1/2}$ Т.о. $l/2 \Delta p_x \geq \hbar/2$, откуда $l \geq \hbar / \Delta p_x$. Конечная формула: $l_{\min} \sim \hbar / (2mE)^{1/2}$ Подставим числовые значения: $l_{\min} \sim (1.05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}) / [2(9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг})(1.6 \cdot 10^{-18} \text{ Дж})]^{1/2}$ $m = 6 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ Ответ: $l_{\min} = 6 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Найти: $l_{\min}$ -?	

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Вычислить энергию связи ядра лития ${}^7_3\text{Li}$.

Дано: ${}^7_3\text{Li}$ $M_{\text{я}} = 7.01436 \text{ а.е.м.}$ $m_p = 1.00728 \text{ а.е.м.}$ $m_n = 1.00867 \text{ а.е.м.}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Решение: Определим число нуклонов: протоны $Z=3$, нейтроны $N=A-Z=7-4=3$ Энергию связи определим по формуле: $\Delta E_{\text{св}} = \Delta m c^2$, где Δm -дефект масс, который найдём по формуле: $\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{я}}$ $\Delta E_{\text{св}} = [(Zm_p + Nm_n) - M_{\text{я}}] c^2$
Найти: $\Delta E_{\text{св}}$ -?	Учтя, что $1 \text{ а.е.м.} = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, подставим числовые значения: $\Delta E_{\text{св}} = [(3 \cdot 1.00728 + 4 \cdot 1.00867) - 7.01436] \cdot (1.66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 6.3 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$ Ответ: $\Delta E_{\text{св}} = 6.3 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$

8. Закон радиоактивного распада

Период полураспада изотопа висмута ${}_{83}^{210}\text{Bi}$ равен пяти дням. Какая масса этого изотопа останется через 15 дней? Масса исходного образца 80 мг.

Дано: $t=15$ дней $T=5$ дней $m_0=80$ мг	Решение: Для решения задачи используем закон радиоактивного распада: $N=N_0 2^{(-t/T)}$
Найти: m -?	Учтя, что $N=N_0(m/M)$, перейдём к массам: $m=m_0 2^{(-t/T)}$ Подставим числовые значения: $m=(80 \text{ мг}) \cdot 2^{(-15/5)}=80/8 \text{ мг}=10 \text{ мг}$ Ответ: $m=10$ мг

9. Элементарные частицы

Ядро некоторого элемента в результате альфа-распада превратилось в ядро радона ${}_{86}^{222}\text{Rn}$. Определить исходный элемент.

Дано: ${}_{86}^{222}\text{Rn}$	Решение: В результате альфа-распада массовое число элемента A уменьшается на 4 единицы, зарядовое – на 2 единицы. Запишем реакцию альфа-распада: ${}_Z^AX \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{86}^{222}\text{Rn}$.
Найти: ${}_Z^AX$ -?	Согласно закону сохранения массового и зарядового числа: $A=4+222=226$, $Z=2+86=88$. В таблице Менделеева порядковый номер 88 принадлежит радю, т.о. искомый элемент ${}_{88}^{226}\text{Ra}$. Ответ: ${}_{88}^{226}\text{Ra}$

Тот, кто может размышлять о квантовой физике без головокружения, тем самым доказывает лишь, что он в ней ничего не понял.

Нильс Бор

10. Уравнение Шрёдингера

Задана волновая функция $\psi(x,y,z)$ для частицы. Написать выражение вероятности того, что частица будет обнаружена в области объёма V .

Дано: $\psi(x,y,z)$	Решение: Координатной волновой функцией $\psi(x,y,z)$ задается статистическое толкование: квадрат модуля волновой функции есть плотность вероятности найти частицу в элементарном объёме около точки (x,y,z) . Сама вероятность определяется соотношением: $dP= \psi(x,y,z) ^2 dx dy dz = \psi^*(x,y,z) \psi(x,y,z) dx dy dz$
Найти: P -?	Т. к. частица находится в данной точки объёма, её нахождение в других местах исключено. Следовательно, нахождения частицы в данный момент времени в разных местах объёма являются исключающими друг друга событиями. И вероятность того, что осуществится какое-либо из этих событий, равна сумме вероятностей всех этих событий. Следовательно, вероятность найти частицу около одной из точек области пространства, ограниченной объёмом V , равна интегралу по всему заданному объёму: $\int dP = \int_V \psi^* \psi dt, \text{ где } dt = dx dy dz$ Ответ: $\int dP = \int_V \psi^* \psi dt, \text{ где } dt = dx dy dz$

ВАРИАНТ 1.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Найти температуру печи, если известно, что излучение из отверстия в ней площадью 6.1 см^2 имеет мощность 34.6 Вт . Излучение считать близким к излучению абсолютно чёрного тела.

2. Фотоэффект

Определить наибольшую скорость электрона, покинувшего поверхность цезия, при освещении его светом с частотой $7.5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

3. Фотоны. Давление света

Найдите массу фотона рентгеновских лучей. Длина волны 25 пм .

4. Постулаты Бора

Найти длину волны λ фотона при переходе электрона со второй боровской орбиты на первую в однократно ионизированном атоме гелия.

5. Длина волны де Бройля

Чему равна длина волны де Бройля λ для электрона, движущегося по первой боровской орбите атома водорода?

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

В электронно-лучевой трубке электронный пучок ускоряется разностью потенциалов $U=0.5 \text{ кВ}$. Принимая, что неопределённость импульса равна 0.1% от его численного значения, определить неопределённость координаты электрона.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Определить, чему равна энергия связи последнего нейтрона в ядре изотопа $m_1({}_8^{16}\text{O})=15.994915 \text{ а.е.м.}$ Массы изотопа $m_2({}_8^{15}\text{O})=15.003076 \text{ а.е.м.}$

8. Закон радиоактивного распада

Для диагностики болезней кровообращения используется радиоактивный фосфор ${}_{15}^{32}\text{P}$, который имеет период полураспада 14.3 дня . Найти активность образца с числом атомов $N=5 \cdot 10^{16}$.

9. Элементарные частицы

Сколько нуклонов содержат ядра ${}_3^6\text{Li}$, ${}_{29}^{64}\text{Cu}$, ${}_{47}^{108}\text{Ag}$, ${}_{82}^{207}\text{Pb}$?

10. Уравнение Шрёдингера

Записать условие нормировки волновой функции, пояснив физический смысл записанного выражения.

ВАРИАНТ 2.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Излучение абсолютно чёрного тела составляет 10 кВт. Найти площадь излучающей поверхности тела, если максимум спектральной плотности его энергетической светимости приходится на длину волны 700 нм.

2. Фотоэффект

Найти наибольшую длину волны света, при которой возможен фотоэффект для цинковой пластины.

3. Фотоны. Давление света

Найти массу фотона красных лучей света, длина волны которых 700 нм.

4. Постулаты Бора

Определить длину волны λ фотона, соответствующую переходу электрона со второй боровской орбиты на первую в двукратно ионизированном атоме гелия.

5. Длина волны де Бройля

Найти длину волны де Бройля для пули массой 9 г, летящей со скоростью 100 м/с.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Оценить размер атома водорода, исходя из соотношения неопределённостей $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Чему равна энергия связи нуклонов в ядре атома азота ${}^{14}_7\text{N}$?

8. Закон радиоактивного распада

Период полураспада изотопа протактиния ${}_{91}^{234}\text{Pa}$ равен $T_{1/2}=1.18$ мин. Какая часть изотопов останется нераспавшейся через час?

9. Элементарные частицы

Какая из частиц более долговечна: нейтрино или свободный нейтрон?

10. Уравнение Шрёдингера

Состояние некоторой частицы описывается волновой функцией и имеет вид $\psi(r)=(Ae^{-r/a})/r$, где r -расстояние этой частицы до силового центра, a -постоянная. Используя условие нормировки вероятностей, определить нормировочный коэффициент A .

ВАРИАНТ 3.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Зачернённый шарик охладился от температуры 300 К до 293 К. На сколько изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости?

2. Фотоэффект

Определить работу выхода электронов из вольфрама, если наибольшая длина волны света, при которой происходит фотоэффект, для вольфрама равна 0.275 мкм.

3. Фотоны. Давление света

Найти массу фотона с длиной волны 1.24 пм.

4. Постулаты Бора

На сколько изменилась кинетическая энергия электрона в атоме водорода при излучении атомом фотона с длиной волны $\lambda=486$ нм?

5. Длина волны де Бройля

Кинетическая энергия протона в 4 раза меньше его энергии покоя. Вычислить дебройлевскую длину волны протона.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

В электронно-лучевой трубке электронный пучок ускоряется разностью потенциалов $U=1$ кВ. Определить неопределённость координаты электрона, если неопределённость его скорости составляет 0.2% от её числового значения. Являются ли электроны при данных условиях классическими частицами?

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Определить удельную энергию связи ядра атома лития ${}^7\text{Li}$.

8. Закон радиоактивного распада

Найти среднее время жизни изотопа радона ${}^{222}\text{Ra}$, если период его полураспада равен $T_{1/2}=3.82$ дня?

9. Элементарные частицы

В чем главный факт существования элементарных частиц?

10. Уравнение Шрёдингера

Состояние некоторой частицы описывается волновой функцией и имеет вид $\psi(r)=(Ae^{-r^2/a^2})/r$, где r -расстояние этой частицы до силового центра, a -постоянная. Используя условие нормировки вероятностей, определите нормировочный коэффициент A .

ВАРИАНТ 4.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Во сколько раз необходимо уменьшить термодинамическую температуру абсолютно чёрного тела, чтобы его энергетическая светимость ослабилась в 16 раз.

2. Фотоэффект

Определить наибольшую скорость электронов, вырываемых из вольфрама светом с длиной волны 0.18 мкм, работа выхода электронов $7.2 \cdot 10^{-19}$ Дж.

3. Фотоны. Давление света

Определить импульс фотонов с длинами волн: 0.5 мкм, 0.3 нм и 4.0 пм.

4. Постулаты Бора

При переходе электрона в атоме из стационарного состояния с энергией – 4.8 эВ излучается фотон, энергия которого равна 3.1 эВ. Определить энергию конечного состояния электрона.

5. Длина волны де Бройля

Определить длину волны де Бройля для пули массой 10 г, летящей со скоростью 660 м/с.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Пользуясь соотношением неопределённостей $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$, оценить минимально возможную полную энергию электрона в атоме водорода, приняв неопределённость координаты равной радиусу атома.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Найти энергию, которая выделится при реакции синтеза гелия ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ ($m({}^2_1\text{H}) = 2.0141$ а.е.м.; $m({}^3_1\text{H}) = 3.01605$ а.е.м.; $m({}^4_2\text{He}) = 4.0026$ а.е.м.)

8. Закон радиоактивного распада

Определить возраст минерала, полученного путём радиоактивного распада урана ${}_{92}^{238}\text{U}$ до свинца ${}_{82}^{206}\text{Pb}$. Период полураспада урана составляет 4.5 млрд. лет. Число атомов урана принять равным числу атомов свинца.

9. Элементарные частицы

Фотон с большой энергией в поле тяжёлого ядра превратился в пару частиц. Что представляют собой эти частицы?

10. Уравнение Шрёдингера

Состояние некоторой частицы описывается волновой функцией и имеет вид $\psi(r) = (Ae^{-r/a})/r$, где r – расстояние этой частицы до силового центра, a – постоянная, A – нормировочный коэффициент. Определить среднее расстояние $\langle r \rangle$ частицы до силового центра.

ВАРИАНТ 5.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Определить мощность, необходимую для поддержания температуры расплавленного никеля 1453°C неизменной, если площадь его поверхности равна 0.5 см^2 . Расплав никеля-чёрное тело. Потерями энергии пренебречь.

2. Фотоэффект

Определить красную границу фотоэффекта для цинка и максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с его поверхности электромагнитным излучением с длиной волны 250 нм .

3. Фотоны. Давление света

Чему равняется скорость электрона, при которой его импульс равен импульсу фотона с длиной волны 5.0 пм ?

4. Постулаты Бора

В сосуде находится разрежённый атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии ($E_1 = -13.6\text{ эВ}$) поглощает фотон частотой $3.7 \cdot 10^{15}\text{ Гц}$. С какой скоростью движется вдали от ядра электрон, вылетевший из атома в результате ионизации? Энергией теплового движения пренебречь.

5. Длина волны де Бройля

Определить длину волны де Бройля для электрона, движущегося в атоме со скоростью $2 \cdot 10^6\text{ м/с}$.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Используя соотношение неопределённостей, оценить естественную ширину излучаемой спектральной линии при переходе атома в нормальное состояние. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя длина волны которого 500 нм . Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии составляет 10 нс .

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Рассчитать энергию, которая выделяется при реакции деления ядра урана ${}_{92}^{235}\text{U}$: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{140}\text{Ce} + {}_{40}^{94}\text{Zr} + 6{}_0^1\text{n} + 2{}_0^1\text{n}$ ($m(\text{U}) = 23.0439\text{ а.е.м.}$; $m(\text{Ce}) = 139.9054\text{ а.е.м.}$; $m(\text{Zr}) = 93.9036\text{ а.е.м.}$)

8. Закон радиоактивного распада

Определить, какое количество полония из 10^6 атомов распадется за сутки.

9. Элементарные частицы

Что такое аннигиляция? Привести примеры.

10. Уравнение Шрёдингера

Решить уравнение Шрёдингера для стационарных состояний, описывающее движение свободной частицы массой m , импульс p в положительном направлении оси x . Определить собственные значения энергии.

ВАРИАНТ 6.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Нагретая до температуры 3000 К металлическая поверхность площадью 15 см^2 , излучает в одну минуту 100 кДж. Определить отношение энергетических светимостей этой поверхности и чёрного тела при данной температуре.

2. Фотоэффект

Определить показатель преломления среды, в которой свет с энергией фотона $4.4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ имеет длину волны $3.0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

3. Фотоны. Давление света

Определить энергию, массу и импульс фотона видимого света с длиной волны 500 нм.

4. Постулаты Бора

Определить длину волны, которая излучается при переходе электрона с более высокого уровня энергии на более низкий уровень, если при этом энергия атома уменьшается на $\Delta E = 10 \text{ эВ}$.

5. Длина волны де Бройля

Определить длину волны де Бройля для электрона, движущегося в атоме со скоростью $4 \cdot 10^6 \text{ м/с}$.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Используя соотношение неопределённостей Гейзенберга, оценить неопределённость координаты Δx при движении электрона вдоль оси x , если его скорость определяется с точностью $\Delta v = 1 \text{ см/с}$.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

В результате деления изотопа урана ${}_{92}^{235}\text{U}$ освобождается энергия, равная 200 МэВ, причем 84% этой энергии приобретают осколки деления. Считая, что этими осколками являются ядра бария ${}_{56}^{137}\text{Ba}$ и криптона ${}_{36}^{84}\text{Kr}$ и что импульсы их по модулю одинаковые, определить, чему равна энергия этих осколков.

8. Закон радиоактивного распада

Определить, какое количество радона из 10^6 атомов распадётся за сутки.

9. Элементарные частицы

Что такое антивещество, античастица? Привести примеры.

10. Уравнение Шрёдингера

В одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками в основном состоянии находится частица. Определить вероятность обнаружения частицы в области $0 \leq x \leq l/4$.

ВАРИАНТ 7.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Какая длина волны соответствует максимальной спектральной плотности энергетической светимости, равной $1.3 \cdot 10^{11}$ Вт/м³?

2. Фотоэффект

Определить энергию фотона, соответствующую длине волны $5.0 \cdot 10^{-7}$ м.

3. Фотоны. Давление света

Сколько фотонов попадает в глаз человека за 1 с, если глаз воспринимает свет с длиной волны 0.5 мкм при мощности светового потока $2 \cdot 10^{-17}$ Вт?

4. Постулаты Бора

Чему равна энергия фотона, испускаемого при переходе электрона с третьего энергетического уровня на второй?

5. Длина волны де Бройля

7. Определить длину волны де Бройля для электрона, движущегося в атоме со скоростью $8 \cdot 10^6$ м/с.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Используя соотношение неопределённостей Гейзенберга, оценить неопределённость координаты Δx при движении броуновской частицы массой 0.1 мг вдоль оси x , если его скорость определяется с точностью $\Delta v = 1$ см/с.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Вычислить, чему равна энергия, необходимая для разделения ядра неона ^{20}Ne на две α -частицы и ядро углерода ^{12}C , если удельные энергии связи в ядрах ^{20}Ne , ^4He и ^{12}C равны $E_{\text{св}}(\text{Ne}) = 8.03$ МэВ, $E_{\text{св}}(\text{He}) = 7.07$ МэВ и $E_{\text{св}}(\text{C}) = 7.68$ МэВ.

8. Закон радиоактивного распада

Чему равна активность радия массой 1 г?

9. Элементарные частицы

Определить, в результате какого радиоактивного распада плутоний ^{239}Pu превращается в уран ^{235}U .

10. Уравнение Шрёдингера

Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками находится в возбуждённом состоянии ($n=2$). Определить, в каких точках ямы $0 \leq x \leq l$ плотность вероятности обнаружения частицы максимальна. Ответ пояснить графически.

ВАРИАНТ 8.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Определить энергию, которая излучается за 1 мин из смотрового окошка площадью 8 см^2 плавильной печи, если её температура 1.2 кК .

2. Фотоэффект

Определить длину волны света, которым освещается поверхность металла, если фотоэлектроны имеют кинетическую энергию $4.5 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$, а работа выхода электрона из металла составляет $7.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

3. Фотоны. Давление света

Определить импульс и энергию рентгеновского фотона, если длина волны равна 10^{-10} м .

4. Постулаты Бора

Найти, чему равна длина волны, соответствующая спектральной линии в серии Пашена.

5. Длина волны де Бройля

Определить длину волны де Бройля для пули массой 10 г , летящей со скоростью 1320 м/с .

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Используя соотношение неопределённостей Гейзенберга, оценить неопределённость координаты Δx при движении дробинки массой 0.1 г вдоль оси x , если его скорость определяется с точностью $\Delta v = 1 \text{ см/с}$.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Найти энергию связи ядра, имеющего одинаковое количество протонов и нейтронов, радиус которого в полтора раза меньше радиуса ядра алюминия ${}_{13}^{27}\text{Al}$.

8. Закон радиоактивного распада

Определить, чему равна масса радона, активность которого равна $3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

9. Элементарные частицы

При облучении углерода ${}_{6}^{12}\text{C}$ протонами образовался изотоп углерода ${}_{6}^{13}\text{C}$. Какая при этом выбрасывается частица?

10. Уравнение Шрёдингера

Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками находится в возбуждённом состоянии ($n=2$). Определить, в каких точках ямы $0 \leq x \leq l$ плотность вероятности обнаружения частицы минимальна.

ВАРИАНТ 9.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Определить, на какую длину волны приходится максимум спектральной плотности излучательной способности абсолютно чёрного тела при температуре 0°C .

2. Фотоэффект

Красная граница фотоэффекта для материала катода соответствует длине волны 700 нм. Отношение максимальных скоростей фотоэлектронов, вылетающих из катода при его освещении светом с длинами волн λ_1 и λ_2 равно $n=3/4$. Определите λ_2 , если $\lambda_1=600$ нм.

3. Фотоны. Давление света

Определить импульс и энергию электрона, если длина волны равна 10^{-10} м.

4. Постулаты Бора

Определить, чему равна постоянная Ридберга и максимальная длина волны λ фотона, способного ионизировать атом водорода.

5. Длина волны де Бройля

Определить длину волны де Бройля для электрона, имеющего кинетическую энергию $E=10$ кэВ.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Найдите неопределённость координаты молекулы водорода, участвующей в тепловом движении при температуре 300 К.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Найти минимальную энергию, необходимую для расщепления ядра атома азота ${}^7_{14}\text{N}$ на протоны и нейтроны?

8. Закон радиоактивного распада

В ампулу помещен препарат, содержащий 1.5 г радия. Найти, какая масса радона накопится в ампуле по истечении промежутка времени, равного $t=T_{1/2}/2$, где $T_{1/2}$ -период полураспада радона.

9. Элементарные частицы

Сколько нуклонов, протонов, нейтронов и электронов содержат нейтральные атомы: ${}^{12}_{24}\text{Mg}$, ${}^{12}_{25}\text{Mg}$, ${}^{12}_{26}\text{Mg}$?

10. Уравнение Шрёдингера

Определить минимальную разность ΔE энергетических уровней электрона, находящегося в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной $l=1$ нм с бесконечно высокими стенками. Ответ представить в эВ.

ВАРИАНТ 10.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Определить температуру абсолютно чёрного тела, при которой максимум спектральной плотности излучательной способности приходится на красную границу видимого спектра $\lambda=750$ нм.

2. Фотоэффект

Красная граница фотоэффекта для никеля равна 0.257 мкм. Определить длину волны света, падающего на никелевый электрод, если фототок прекращается при разности потенциалов 1.5 В.

3. Фотоны. Давление света

Металлическая пластина освещается светом с длиной волны 450 нм. Работа выхода электронов из металла равна 2 эВ. До какого потенциала зарядится пластинка при непрерывном действии света?

4. Постулаты Бора

Чему равна энергия ионизации атома водорода и радиус первой орбиты?

5. Длина волны де Бройля

Определить длину волны де Бройля для электрона, имеющего кинетическую энергию $E=1$ МэВ.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Оценить, используя соотношения неопределённостей Гейзенберга, относительную неопределённость импульса $\Delta p/p$ для электронов, проходящих сквозь экран с узкой щелью шириной 10 нм. Пучок электронов с энергией 10 эВ падает на экран по нормали к щели.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Определить, чему равен дефект масс ядра бора ${}_{5}^{11}\text{B}$. Ответ записать в атомных единицах массы и килограммах.

8. Закон радиоактивного распада

Найти, чему равна масса полония ${}_{84}^{216}\text{Po}$, активность которого составляет $3.7 \cdot 10^{10}$ Бк.

9. Элементарные частицы

Сколько нуклонов, протонов, нейтронов и электронов содержат нейтральные атомы: ${}_{18}^{40}\text{Ar}$, ${}_{20}^{40}\text{Ca}$?

10. Уравнение Шрёдингера

При переходе электрона со второго энергетического уровня $n=2$ на первый $n=1$ испускается фотон с энергией $E=0.5$ эВ. Определить ширину l одномерной прямоугольной потенциальной ямы с бесконечно высокими стенками.

ВАРИАНТ 11.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Определить температуру абсолютно чёрного тела, при которой максимум спектральной плотности излучательности приходится на фиолетовую границу видимого спектра $\lambda=380$ нм.

2. Фотоэффект

Для фотокатода, выполненного из вольфрама, работа выхода электронов составляет 4.5 эВ. Определить, при какой максимальной длине волны происходит фотоэффект.

3. Фотоны. Давление света

Определить энергию, массу и импульс фотона, которому соответствует длина волны 380 нм.

4. Постулаты Бора

Определить, какие спектральные линии появляются при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией 12.1 эВ?

5. Длина волны де Бройля

Определить, чему равна длина волны де Бройля для атома водорода, движущегося при температуре 293 К с наиболее вероятной скоростью.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Положение центра шарика массой 1 г определено с ошибкой $\Delta x \sim 10^{-5}$ см. Какова будет неопределённость в скорости Δv_x для шарика?

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Определить энергию, которая может выделяться при образовании из протонов и нейтронов одного моля гелия ${}^4\text{He}$. Ответ выразить в джоулях.

8. Закон радиоактивного распада

Определить, чему равна удельная активность изотопа урана ${}_{92}^{235}\text{U}$.

9. Элементарные частицы

Сколько нуклонов, протонов, нейтронов и электронов содержат нейтральные атомы: ${}^6_{13}\text{C}$, ${}^7_{14}\text{N}$?

10. Уравнение Шрёдингера

Частица с энергией 100 эВ, двигаясь вдоль оси x в положительном направлении, встречает на своем пути бесконечно протяжённый прямоугольный потенциальный порог высотой $U_0=36$ эВ. Определить коэффициент отражения этой частицы от порога.

ВАРИАНТ 12.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Определить температуру печи, если известно, что из проделанного в ней отверстия площадью 4 см^2 за 1 с излучается энергия равная 22.7 Дж .

2. Фотоэффект

Фотон с длиной волны 0.2 мкм вырывает с поверхности фотокатода электрон с кинетической энергией 2 эВ . Найти работу выхода электрона и красную границу фотоэффекта.

3. Фотоны. Давление света

Определить давление солнечных лучей, нормально падающих на зеркальную поверхность. Интенсивность солнечного излучения равна 1.37 кВт/м^2 .

4. Постулаты Бора

Какую скорость будет иметь электрон вдали от ядра атома? Электрон выбит фотоном с энергией 16.5 эВ из невозбуждённого атома водорода.

5. Длина волны де Бройля

Ускоренная разностью потенциалов 200 В , заряженная частица имеет длину волны де Бройля 2.02 пм . Найти массу частицы, если её заряд численно равен заряду электрона.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Оценить относительную неопределённость $\Delta v/v$ электрона с кинетической энергией 15 эВ , находящегося в металлической пылинке диаметром 1 мкм .

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Какую минимальную работу нужно совершить, для того чтобы отделить нейтрон от изотопа натрия ${}_{11}^{23}\text{Na}$?

8. Закон радиоактивного распада

Определить, чему равна удельная активность изотопа радона ${}_{86}^{222}\text{Ra}$.

9. Элементарные частицы

Радиоактивный изотоп золота ${}_{79}^{196}\text{Au}$ может претерпевать как электронный, так и позитронный распад. Записать соответствующие реакции.

10. Уравнение Шрёдингера

Электрон с дебройлевской длиной волны $\lambda_1 = 0.1 \text{ нм}$, двигаясь в положительном направлении по оси x , встречает на своем пути бесконечно протяженный прямоугольный потенциальный порог высотой $U_0 = 120 \text{ эВ}$. Определить, чему равна длина волны де Бройля λ_2 после прохождения порога.

ВАРИАНТ 13.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела попадает на длину волны 680 нм. Определить, какое количество энергии излучает это тело площадью 1 см^2 за 1 с.

2. Фотоэффект

Кинетическая энергия электронов, выбитых из катода, равна 3 эВ, работа выхода составляет 1.8 эВ. Определить, при какой максимальной длине волны света выбиваются электроны.

3. Фотоны. Давление света

Определить, чему равна длина волны фотона, импульс которого равен импульсу электрона, прошедшего разность потенциалов 10 В.

4. Постулаты Бора

Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны 121.5 нм. Определить, чему равен радиус электронной орбиты возбуждённого атома водорода.

5. Длина волны де Бройля

Определить, чему равна длина волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью $2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Во сколько раз дебройлевская длина волны λ_B частицы меньше неопределённости Δx её координаты, которая соответствует относительной неопределённости импульса 1%.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Ядро кальция $^{40}_{20}\text{Ca}$ «растаскивают» на отдельные протоны и нейтроны. Какая при этом минимальная работа совершается?

8. Закон радиоактивного распада

Ядро радона $^{220}_{86}\text{Rn}$ испустило α -частицу. В ядро какого элемента превратилось ядро радона?

9. Элементарные частицы

Изотоп натрия $^{23}_{11}\text{Na}$ был получен путем распада радиоактивного изотопа магния $^{23}_{12}\text{Mg}$. Записать соответствующую реакцию. Какая частица при этом выбрасывается?

10. Уравнение Шрёдингера

Электрон с кинетической энергией 500 эВ, движется в положительном направлении по оси x и встречает на своем пути бесконечно протяженный потенциальный порог высотой $U_0=100 \text{ эВ}$. Во сколько при этом изменится дебройлевская длина волны?

ВАРИАНТ 14.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Температура абсолютно чёрного тела $T=1000$ К. Вычислить, какое количество энергии излучается за одну минуту с площади 1 см^2 .

2. Фотоэффект

Определить, какую часть энергии фотона составляет энергия, которая пошла на совершение работы выхода электронов из фотокатода, если красная граница для материала, из которого изготовлен фотокатод, равна 0.54 мкм . Кинетическая энергия электрона 0.5 эВ .

3. Фотоны. Давление света

Определить, чему равна энергия фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на второй.

4. Постулаты Бора

Определить максимальную и минимальную длину волны в ультрафиолетовой серии спектра атома водорода.

5. Длина волны де Бройля

Определить, чему равна длина волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью $2.2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Используя соотношение неопределённостей Гейзенберга $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar$, оценить низший энергетический уровень электрона в атоме водорода. Линейные размеры атома $l=0.1 \text{ нм}$.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

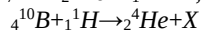
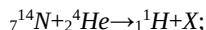
Вычислить удельную энергию связи для атома железа ${}_{26}^{56}\text{Fe}$.

8. Закон радиоактивного распада

Найти активность радона, образовавшегося из 1 г радия за 1 ч .

9. Элементарные частицы

Определить неизвестный продукт X каждой из ядерных реакций:



10. Уравнение Шрёдингера

Протон, обладающий дебройлевской длиной волны $\lambda=2.86 \text{ пм}$, движется в положительном направлении вдоль оси x и встречает на своем пути бесконечно протяженный потенциальный порог высотой $U_0=140 \text{ эВ}$. Определить коэффициент отражения волн де Бройля на границе потенциального барьера.

ВАРИАНТ 15.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Максимум спектральной плотности энергетической светимости Солнца приходится на длину волны 0.48 мкм. Определить температуру его поверхности и мощность, излучаемую поверхностью. Солнце считать абсолютно чёрным телом.

2. Фотоэффект

Определить, чему равна максимальная скорость электрона, вырванного с поверхности металла гамма-квантом с энергией 1.53 МэВ.

3. Фотоны. Давление света

Определить энергию, массу и импульс фотона рентгеновских лучей с длиной волны 100 пм.

4. Постулаты Бора

Определить, чему равна длина волны, соответствующая границе серии Бальмера.

5. Длина волны де Бройля

Определить, чему равна длина волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью $2.4 \cdot 10^8$ м/с.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

С какой точностью можно определить массу Δm нейтрального пиона, если время его жизни равно $8 \cdot 10^{-17}$ с?

7. Энергия связи нуклонов в ядре

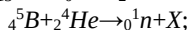
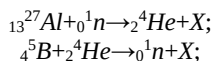
Вычислить удельную энергию связи для атома урана ${}_{92}^{238}\text{U}$.

8. Закон радиоактивного распада

Активность радона, помещенного в ампулу, равна $14.8 \cdot 10^9$ Бк. Найти, через какое время после наполнения ампулы активность радона будет равна $2.22 \cdot 10^9$ Бк.

9. Элементарные частицы

Определить неизвестный продукт X каждой из ядерных реакций:



10. Уравнение Шрёдингера

Электрон с энергией 4 эВ движется в положительном направлении по оси x и встречает на своем пути прямоугольный потенциальный барьер высотой $U_0 = 5$ эВ и шириной $l = 0.5$ нм. Определить коэффициент прозрачности D потенциального барьера.

ВАРИАНТ 16.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Температура абсолютно чёрного тела изменилась от 1327°C до 1727°C. На сколько изменилась при этом длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости?

2. Фотоэффект

Длина волны красной границы фотоэффекта для натрия равна 500 нм. Определить работу выхода электрона из вещества.

3. Фотоны. Давление света

Длина волны рентгеновского фотона равна 1 Å. Определить импульс и энергию фотона.

4. Постулаты Бора

Определить длину волны, соответствующую границе серии Пашена.

5. Длина волны де Бройля

Определить, чему равна длина волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью $2.6 \cdot 10^8$ м/с.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Предполагая, что неопределённость координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны, определить относительную неопределённость $\Delta p/p$ импульса этой частицы.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Определить удельную энергию ядра лития, если энергия связи изотопа ${}^7\text{Li}$ равна 39.24 МэВ?

8. Закон радиоактивного распада

В Таблице приведены результаты измерения зависимости активности некоторого радиоактивного элемента от времени. Найти период полураспада этого элемента.

$t, \text{ч}$	0	3	6	9	12	15
$a, 3.7 \cdot 10^7 \text{ Бк}$	21.6	12.6	7.6	4.2	2.4	1.8

9. Элементарные частицы

Записать ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке бора ${}^{11}\text{B}$ α -частицами и сопровождающуюся выбиванием нейтронов.

10. Уравнение Шрёдингера

Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину $l=0.15$ нм. Определить, при какой разнице энергий U_0-E вероятность W прохождения электрона сквозь барьер равна 0.5. Вероятность прохождения частицы сквозь потенциальный барьер по физическому смыслу совпадает с коэффициентом прозрачности D .

ВАРИАНТ 17.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Определить температуру печи, если мощность потока энергии, излучаемой из смотрового окна площадью 6 см^2 , равна 2.17 кВт .

2. Фотоэффект

На поверхность серебра направили ультрафиолетовое излучение с длиной волны 300 нм . Будет ли на поверхности серебра наблюдаться фотоэффект?

3. Фотоны. Давление света

Энергия одного импульса рубинового лазера составляет 50 Дж . Определить, каково число фотонов в одном импульсе, если длина волны излучаемого лазером света равна 698.3 нм .

4. Постулаты Бора

Чему равна частота вращения электрона по третьей орбите атома водорода в теории Бора?

5. Длина волны де Бройля

Определить, чему равна длина волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью $2.8 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Исходя из соотношения неопределенностей и приняв, что минимальная энергия нуклона в ядре равна 10 МэВ , оцените линейные размеры ядра.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Чему равна удельная энергия связи ядра дейтерия ${}^2_1\text{H}$, если энергия связи равна 2.224 МэВ ?

8. Закон радиоактивного распада

Определить возраст урановой руды, если известно, что на 1 кг урана ${}^{238}_{92}\text{U}$ в этой руде приходится 320 г свинца ${}^{206}_{82}\text{Pb}$.

9. Элементарные частицы

Какую частицу выбросило ядро тория ${}^{230}_{90}\text{Th}$, если оно превратилось в ядро радия ${}^{226}_{88}\text{Ra}$?

10. Уравнение Шрёдингера

Частица находится в одномерной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками. Выведите выражение для собственных значений энергии E_n .

ВАРИАНТ 18.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Рассчитать, на какую длину волны приходится максимальная спектральная плотность излучательности абсолютно чёрного тела $r^*_{\max}=4.16 \cdot 10^{11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$.

2. Фотоэффект

Определить, чему равна максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих с поверхности металла под действием гамма-излучения с длиной волны $3 \cdot 10^{-8} \text{ м}$.

3. Фотоны. Давление света

На зачёрнённую поверхность нормально падает монохроматический свет с длиной волны 600 нм , при этом он оказывает давление $5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$. Определить, какова концентрация фотонов вблизи поверхности и число фотонов, падающих на единичную площадь в единицу времени.

4. Постулаты Бора

Определить, чему равна длина волны спектральной линии, излучаемой при переходе электрона с более высокого уровня энергии на более низкий уровень, если при этом энергия атома уменьшилась на 10 эВ .

5. Длина волны де Бройля

Определить, чему равна длина волны де Бройля для α -частицы, движущейся по окружности радиусом 8.3 мм в однородном магнитном поле, напряжённость которого 18.9 кА/м .

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Определить минимальную неопределённость длины волны $\lambda=0.12 \text{ мкм}$ излучения при переходе атома в основное состояние. Среднее время жизни атома в возбуждённом состоянии составляет 12 нс .

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Рассчитать энергию связи и удельную энергию связи ядра алюминия $^{27}_{13}\text{Al}$.

8. Закон радиоактивного распада

Определить, какую наименьшую массу руды с содержанием 42% чистого урана нужно взять для того, чтобы получить 1 г радия.

9. Элементарные частицы

Сколько α и β -распадов испытывает изотоп урана $^{235}_{92}\text{U}$ в процессе последовательного превращения в свинец $^{207}_{82}\text{Pb}$?

10. Уравнение Шрёдингера

Частица находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с непроницаемыми стенками. Найти отношение разности энергий двух соседних энергетических уровней к полной энергии частицы в случае, если $n=3$.

ВАРИАНТ 19.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Определить температуру печи, из смотрового окошка которой излучается поток 4 кДж/мин . Площадь смотрового окна 8 см^2 .

2. Фотоэффект

Определить максимальную скорость фотоэлектронов, выбитых с поверхности цинковой пластины монохроматическим светом с длиной волны 220 нм .

3. Фотоны. Давление света

Фотоны с энергией 4.9 эВ вырывают с поверхности металла электроны. Работа выхода электронов равна 4.5 эВ . Определить, чему равен максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете каждого электрона.

4. Постулаты Бора

Определить, какая частота света излучается атомом водорода, при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом $n=2$. Радиус орбиты электрона изменился в $k=9$ раз.

5. Длина волны де Бройля

Определить длину волны де Бройля для электрона, кинетическая энергия которого равна 0.6 МэВ .

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Используя соотношение неопределённостей $\Delta E \Delta t \geq \hbar$, оцените ширину Γ энергетического уровня в атоме водорода, находящегося в основном состоянии.

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Рассчитайте энергию связи и удельную энергию связи ядра углерода ${}^{12}_6\text{C}$.

8. Закон радиоактивного распада

Чему равна активность полония ${}^{210}_{84}\text{Po}$, если его масса составляет 1 мкг ?

9. Элементарные частицы

Ядро урана ${}^{238}_{92}\text{U}$ испытывает один α -распад и два β -распада. Какой элемент при этом образуется?

10. Уравнение Шрёдингера

Известно, что нормированная собственная волновая функция, описывающая состояние электрона в одномерной прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками, имеет вид $\psi_n = \sqrt{(2/l)} \cdot \sin((\pi n x)/l)$. Определить среднее значение координаты $\langle x \rangle$ электрона.

ВАРИАНТ 20.

1. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина. Формула Рэлея-Джинса

Во сколько раз изменится энергия, излучаемая абсолютно черным телом, если его температура изменится от 727°C до 1727°C ?

2. Фотоэффект

Определить работу выхода и красную границу фотоэффекта, если максимальная энергия фотоэлектронов, вылетающих из металла при его освещении светом с длиной волны 325 нм , равна 1.44 эВ .

3. Фотоны. Давление света

Какую скорость приобрёл первоначально неподвижный атом водорода, испустивший фотон с длиной волны 121.5 нм ?

4. Постулаты Бора

Чему равна работа выхода электрона, которую необходимо совершить, для того, чтобы удалить электрон со второй боровской орбиты атома водорода за пределы притяжения его ядром?

5. Длина волны де Бройля

Определить длину волны де Бройля для электронов, прошедших разность потенциалов $U=1\text{ В}$.

6. Соотношение неопределённостей Гейзенберга

Используя соотношение неопределённостей $\Delta E \Delta t \geq \hbar$, оценить ширину Γ энергетического уровня в атоме водорода, находящегося в возбужденном состоянии. Время жизни атома в возбуждённом состоянии 10^{-8} с .

7. Энергия связи нуклонов в ядре

Дефект массы составляет $\Delta m=1\text{ а.е.м.}$. Определить, чему равна энергия связи в джоулях и электрон-вольтах.

8. Закон радиоактивного распада

Определить, какую массу радиоактивного изотопа висмута ${}_{82}^{219}\text{Bi}$ надо добавить к 5 мг нерадиоактивного изотопа ${}_{83}^{209}\text{Bi}$, чтобы через 10 суток после этого отношение числа распавшихся атомов к числу нераспавшихся было равно 50% ? Постоянную распада ${}_{88}^{210}\text{Bi}$ принять 0.14 сут^{-1} .

9. Элементарные частицы

Радиоактивный марганец ${}_{25}^{54}\text{Mn}$ получают двумя способами. Первый способ состоит в облучении изотопа железа ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ дейтронами, второй-облучение изотопа железа ${}_{26}^{54}\text{Fe}$ нейтронами. Написать ядерные реакции.

10. Уравнение Шрёдингера

Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с бесконечно высокими стенками находится в возбуждённом состоянии ($n=2$). Определить вероятность обнаружения частицы в области $(3/8)l \leq x \leq (5/8)l$.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ
(выбрать один вариант ответа)

1. Решением уравнения Шрёдингера является:

- а) кинетическая энергия микрочастицы;
- б) потенциальная энергия микрочастицы;
- в) волновая функция микрочастицы;
- г) координата микрочастицы.

2. Чему равна длина световой волны, если импульс фотона равен $1.325 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с:

- а) $3 \cdot 10^{-8}$ м;
- б) $5.5 \cdot 10^{-6}$ м;
- в) $5 \cdot 10^{-7}$ м;
- г) $4 \cdot 10^{-9}$ м.

3. В атоме максимальное число электронов, находящихся в состояниях, определяемых главным квантовым числом $n=3$, равно:

- а) 3;
- б) 6;
- в) 9;
- г) 18.

4. Квадрат модуля волновой функции определяет:

- а) энергию квантового осциллятора;
- б) собственные значения функции;
- в) условие нормировки вероятностей;
- г) плотность вероятности.

5. Если электрон и протон движутся с одинаковыми скоростями, чему равно отношение их дебройлевских длин волн?

- а) 0.504;
- б) 1840;
- в) 3680;
- г) 100.

6. При увеличении импульса в 5 раз дебройлевская длина волны частицы:

- а) уменьшится в 5 раз;
- б) увеличится в 5 раз;
- в) уменьшится в 25 раз;
- г) увеличится в 25 раз.

7. Внешние электроны, наиболее удаленные от ядра атома, называются:

- а) ковалентными;
- б) валентными;
- в) ковалентными полярными;
- г) полярниками.

8. Что произойдет с дебройлевской длиной волны при увеличении скорости атома в два раза?

- а) уменьшится в 4 раза;
- б) увеличится в 4 раза;
- в) уменьшится в 2 раза;
- г) увеличится в 2 раза.

9. Какое максимальное количество электронов, согласно принципу Паули, может находиться в атоме в одном состоянии, определяемом четырьмя квантовыми числами?

- а) 2;
- б) 3;
- в) 1;
- г) бесконечное число.

10. Постулаты Бора утверждают, что:

- а) атом может находиться только в одном из стационарных состояниях, в которых он не излучает электромагнитные волны;
- б) при переходе из одного стационарного состояния в другое атом поглощает или излучает квант электромагнитного излучения;
- в) в атоме электроны движутся по круговым орбитам и излучают при этом электромагнитные волны;
- г) в атоме электроны движутся по круговым орбитам и излучают радиацию.

11. Гипотеза де Бройля заключается в том, что:

- а) ускорение, приобретаемое частицей, обратно пропорционально массе частицы;
- б) частица, обладающая импульсом, имеет как волновые, так и корпускулярные свойства;
- в) строение атома имеет «планетарную» модель;
- г) заряд электрона по величине равен заряду протона.

12. Макс Планк выдвинул гипотезу о том, что:

- а) атом состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого по орбитам вращаются отрицательно заряженные электроны;
- б) атомы излучают электромагнитные волны не непрерывно, а определенными порциями-квантами;
- в) частота электромагнитного излучения, умноженная на постоянную Планка, равна разности полных механических энергий электрона на его начальной и конечной орбитах, между которыми совершается переход;
- г) энергия кванта электромагнитного излучения, испускаемого при переходе с одной орбиты на другую, равна кинетической энергии электрона.

13. Наименьшему значению энергии электрона в атоме:

- а) соответствует основное состояние атома;
- б) соответствует произвольное состояние атома;

- в) соответствует состояние, когда электрон находится только в определённых устойчивых состояниях;
- г) соответствует состояние, когда электрон находится только в определённых стационарных состояниях.

14. В опытах Франка и Герца были обнаружено:

- а) квантовый характер поглощения энергии атомами;
- б) волновые свойства света;
- в) корпускулярные свойства;
- г) волновые свойства электронов.

15. Указать ошибочное утверждение:

- а) поглощение света веществом-процесс, обратный излучению;
- б) атом, поглощая кванты света, переходит из низших энергетических состояний в высшие;
- в) частоты поглощаемого атомом света такие же, что и частоты, которые он излучает;
- г) в ультрафиолетовой области спектра атома водорода регистрируется серия Пашена.

16. Длина волны частицы де Бройля определяется по формуле:

- а) h^2/c ;
- б) h/c ;
- в) h/p ;
- г) hc/p .

17. Ядерный реактор-это:

- а) устройство, в котором выделяется тепловая энергия в результате управляемой цепной реакции деления ядер;
- б) тепловая машина;
- в) электрофорная машина;
- г) основа гидроэлектростанции.

18. Квантовая статистика-это:

- а) раздел теоретической физики, в котором изучаются квантово-механические и квантово-полевые системы и законы их движения;
- б) раздел статистической физики, исследующий системы, которые состоят из огромного числа частиц, подчиняющиеся законам квантовой механики;
- в) каноническое распределение Гиббса;
- г) некоторая система, совершающая одномерное движение.

19. Как называется идеальный газ, который описывается квантовой статистикой Ферми-Дирака:

- а) бозе-газ;
- б) ферми-газ;
- в) супер газ;
- г) ферми-газ.

20. Фонон-это:

- а) квазичастица, квант энергии согласованного колебательного движения атомов твёрдого тела, образующих идеальную кристаллическую решётку;
- б) античастица фотона;
- в) фундаментальная частица, квант электромагнитного излучения;
- г) бозе-частица.

21. Бозоны-это:

- а) частицы с нулевым и целочисленным спином, описываемые симметричными волновыми функциями, подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна;
- б) частицы с нулевым и целочисленным спином, подчиняются статистике Ферми-Дирака;
- в) частицы с полуцелым спином, описываемые симметричными волновыми функциями, подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна;
- г) частицы с полуцелым спином, подчиняются статистике Ферми-Дирака.

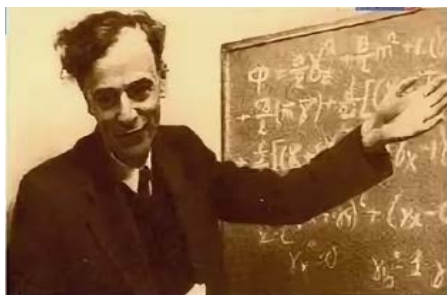
22. Тёмная материя-это:

- а) особая форма материи, имеющая электромагнитную природу, осуществляющая связь между всеми объектами Вселенной;
- б) в астрономии и космологии, а также в теоретической физике форма материи, не участвующая в электромагнитном взаимодействии и поэтому недоступная прямому наблюдению;
- в) чёрная бархатная ткань;
- г) совокупность астрономических объектов, подчиняющихся квантовым законам физики.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриева В. Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования. 6-е изд. стер. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 448 с.
2. Трофимова Т. И. Курс общей физики: Учеб. пособие для вузов. – 11-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2006 – 560 с.
3. Трофимова Т. И., Павлова З. Г. Сборник задач по курсу физики с решениями: Учеб. пособие для вузов. – 4 изд., стер. – М.: Высш. шк., 2003. – 591 с.: ил.
4. Фирганг Е. В. Руководство к решению задач по курсу общей физики. 4-е изд., испр. – М.: 2009. – 352 с.
5. <https://pandia.ru/text/77/502/3816.php>
6. <https://zaochnik.ru/blog/zadachi-na-postulaty-bora-s-resheniem/>
7. <https://100ballov.kz/mod/page/view.php?id=2786>
8. <https://enlib.ru/post/zadachi-na-princip-neopredelennosti-gejzenberga/>
9. <https://uchitel.pro/>
10. <https://zaochnik.ru/blog/zadachi-na-radioaktivnost-s-reshenijami/>

11. <https://yagu.s-vfu.ru/mod/book/tool/print/index.php?id=19584#ch550>



«Грош цена вашей физике, если она застилает для вас всё остальное — шорох леса, краски заката, звон рифм. Это какая-то усечённая физика. Физик, не воспринимающий поэзии, искусства — плохой физик».

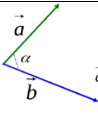
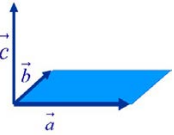
Лев Давидович Ландау

ПРИЛОЖЕНИЕ

КОНСТАНТЫ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Скорость света в вакууме	$c=3 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma=5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² ·К ⁴)
Постоянная Вина	$b=2.90 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	$h=6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	$\hbar=1.05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	$R=2.07 \cdot 10^{-18}$ с ⁻¹
	$R'=1.10 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Боровский радиус	$r=5.29 \cdot 10^{-11}$ м
Комптоновская длина волны	$\lambda_c=2.43 \cdot 10^{-12}$ м
Заряд электрона (по модулю)	$ q_e =1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Удельный заряд электрона	$ q_e /m_e=1.7 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Масса электрона	$m_e=9.31 \cdot 10^{-31}$ кг
Масса протона	$m_p=1.673 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса нейтрона	$m_n=1.675 \cdot 10^{-27}$ кг
Атомная единица массы	1 а.е.м.=1.66·10 ⁻²⁷ кг
Электрон-вольт	1 эВ=1.6·10 ⁻¹⁹ Дж
Диэлектрическая постоянная	$\epsilon_0=8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

СКАЛЯРНОЕ И ВЕКТОРНОЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ ВЕКТОРОВ

Скалярное	Векторное
 $\vec{a} \cdot \vec{b} = \vec{a} \cdot \vec{b} \cdot \cos \alpha$ $\vec{a} = (x_1; y_1; z_1) \quad \vec{b} = (x_2; y_2; z_2)$ $\vec{a} \cdot \vec{b} = x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2$ $\cos \alpha = \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2 + y_2^2 + z_2^2}}$	 $ \vec{c} = \vec{a} \cdot \vec{b} \cdot \sin(\widehat{a, b})$ $\vec{a} = (a_1, a_2, a_3), \quad \vec{b} = (b_1, b_2, b_3)$ $\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix} = \vec{i} \begin{vmatrix} a_2 & a_3 \\ b_2 & b_3 \end{vmatrix} - \vec{j} \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ b_1 & b_3 \end{vmatrix} + \vec{k} \begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}$

ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Дольные			Кратные		
приставка	обозначение	множитель	приставка	обозначение	множитель
деци	д	10^{-1}	дека	да	10^1
санти	с	10^{-2}	гекто	г	10^2
милли	м	10^{-3}	кило	к	10^3
микро	мк	10^{-6}	мега	М	10^6
нано	н	10^{-9}	гига	Г	10^9
пико	п	10^{-12}	тера	Т	10^{12}
фемто	ф	10^{-15}	пета	П	10^{15}
атто	а	10^{-18}	экса	Э	10^{18}

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АТОМНАЯ МАССА НЕКОТОРЫХ ИЗОТОПОВ (а.е.м.)

Элемент	Изотоп	Масса	Элемент	Изотоп	Масса
Нейтрон	n	1.00867	Азот	^{13}N	13.00574
Водород	^1H	1.00783		^{14}N	14.00307
	^2H	2.01410		^{15}N	15.00011
	^3H	3.01605	Кислород	^{16}O	15.99491
Гелий	^3He	3.01603		^{17}O	16.99913
	^4He	4.00260		^{18}O	17.99916
Литий	^6Li	6.01513	Фтор	^{19}F	18.99840
	^7Li	7.01601	Натрий	^{22}Na	21.99444
Бериллий	^7Be	7.01693		^{23}Na	22.98977
	^9Be	9.01219	Магний	^{23}Mg	22.99414
	^{10}Be	10.01354	Алюминий	^{30}Al	29.99817
Бор	^9B	9.01333	Кремний	^{31}Si	30.97535
	^{10}B	10.01294	Фосфор	^{31}P	30.97376
	^{11}B	11.00931	Калий	^{41}K	40.96184
Углерод	^{10}C	10.00168	Кальций	^{44}Ca	43.95549
	^{12}C	12.00000	Свинец	^{206}Pb	205.97446
	^{13}C	13.00335	Полоний	^{216}Po	209.98297
	^{14}C	14.00324			

Конечная цель физики-описать Вселенную одним-единственным уравнением, которое могло бы уместиться на майке.

Леон Ледерман

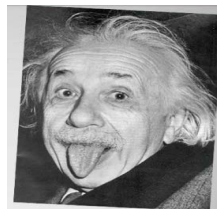
ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Изотоп	Тип распада	Период полураспада
Актиний $_{89}^{225}\text{Ac}$	α	10 сут
Йод $_{53}^{131}\text{I}$	β^- , γ	8 сут
Иридий $_{77}^{192}\text{Ir}$	β^- , γ	75 сут
Кобальт $_{27}^{60}\text{Co}$	β^- , γ	5.3 года
Магний $_{12}^{27}\text{Mg}$	β^-	10 мин
Радий $_{88}^{219}\text{Ra}$	α	0.01 с
Радий $_{88}^{226}\text{Ra}$	α , γ	1620 лет
Радон $_{86}^{222}\text{Rn}$	α	3.8 сут
Стронций $_{38}^{90}\text{Sr}$	β^-	28 лет
Торий $_{90}^{229}\text{Th}$	α , γ	7000 лет
Уран $_{92}^{238}\text{U}$	α , γ	$4.5 \cdot 10^9$ лет
Фосфор $_{15}^{32}\text{P}$	β^-	14.3 сут
Натрий $_{11}^{22}\text{Na}$	γ	2.6 сут

РАБОТА ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ С ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

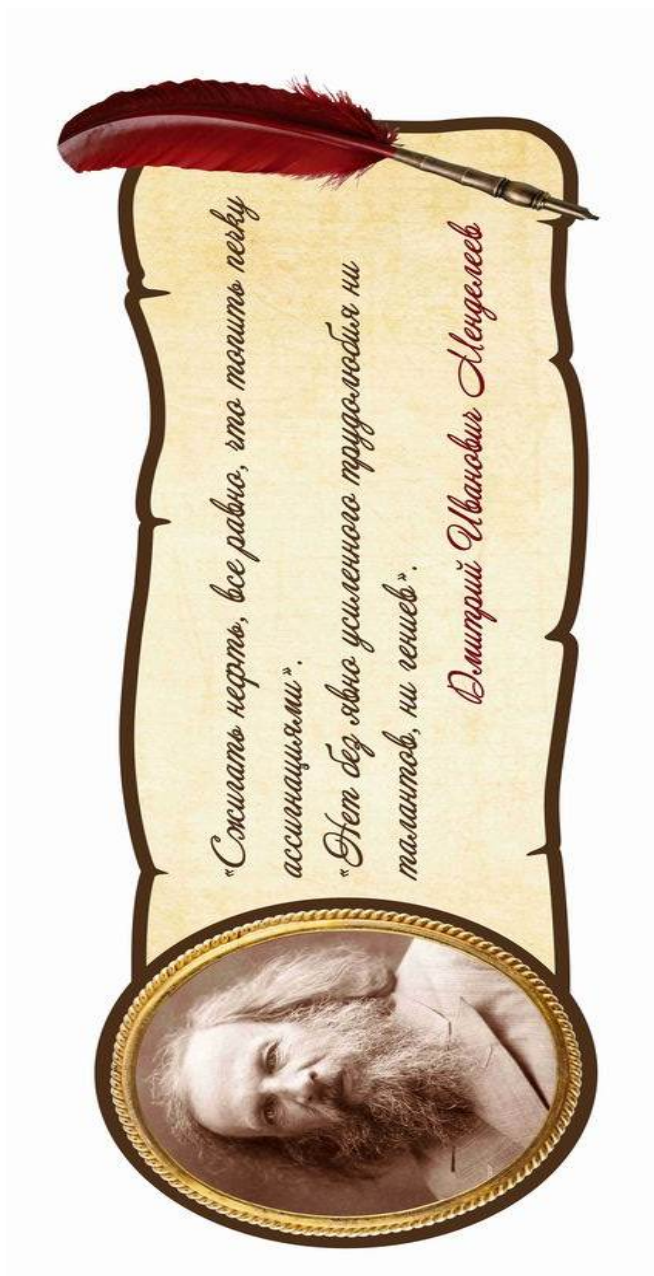
Металл	A, эВ	A, 10^{-19} Дж
Калий	2.2	3.5
Литий	2.3	3.7
Натрий	2.5	4.0
Платина	6.3	10.1
Серебро	4.7	7.5
Цинк	4.0	6.4

Знаменитая фотография была сделана в 1951 году на дне рождения физика. Эйнштейн подарил её ведущему научно-популярных передач Говарду Смиту, а на обратной стороне карточки написал: «Вам понравится этот жест, потому что он предназначен всему человечеству».



Всё в мире является энергией. Энергия лежит в основе всего. Если вы настроитесь на энергетическую частоту той реальности, которую хотите создать для себя, то вы получите именно то, на что настроена ваша частота. Это-не философия. Это-физика.

Альберт Эйнштейн



«Сжигать неертъ, все равно, что толкать пеньку
ассигнациями».

«Нет без явна усиленного трудолюбия ни
талантов, ни гениев».

Дмитрий Иванович Менделѣев

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА															
I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
1	H ¹ ВОДОРОД	2	Li ³ ЛИТИЙ	3	Be ⁴ БЕРИЛЛИЙ	4	B ⁵ БОР	5	C ⁶ УГЛЕРОД	6	N ⁷ АЗОТ	7	O ⁸ КИСЛОРОД	8	F ⁹ ФТОР
2		9	Na ¹¹ НАТРИЙ	10	Mg ¹² МАГНИЙ	11	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	12	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	13	P ¹⁵ ФОСФОР	14	S ¹⁶ СЕРА	15	Cl ¹⁷ ХЛОР
3		16	K ¹⁹ КАЛИЙ	17	Ca ²⁰ КАЛЬЦИЙ	18	Sc ²¹ СКАНДИЙ	19	Ti ²² ТИТАН	20	V ²³ ВАНАДИЙ	21	Cr ²⁴ ХРОМ	22	Mn ²⁵ МАРГАНЕЦ
4		23	Cu ²⁹ МЕДЬ	24	Zn ³⁰ ЦИНК	25	Ga ³¹ ГАЛЛИЙ	26	Ge ³² ГЕРМАНИЙ	27	As ³³ АРСЕН	28	Se ³⁴ СЕЛЕН	29	Br ³⁵ БРОМ
5		36	Rb ³⁷ РУБИДИЙ	37	Sr ³⁸ СТРОНЦИЙ	38	Y ³⁹ ИТРИЙ	39	Zr ⁴⁰ ЦИРКОНИЙ	40	Nb ⁴¹ НИОБИЙ	41	Mo ⁴² МОЛИБДЕН	42	Tc ⁴³ ТЕХНЕЦИЙ
6		44	Ag ⁴⁷ СЕРЕБРО	45	Cd ⁴⁸ КАДМИЙ	46	In ⁴⁹ ИНДИЙ	47	Sn ⁵⁰ ОЛОВО	48	Sb ⁵¹ СУРЬМА	49	Te ⁵² ТЕЛЛУР	50	I ⁵³ ИОД
7		54	Cs ⁵⁵ ЦЕЗИЙ	55	Ba ⁵⁶ БАРИЙ	56	La ⁵⁷ ЛАНТАНОН	57	Hf ⁷² ГАФНИЙ	58	Ta ⁷³ ТАНТАЛ	59	W ⁷⁴ ВОЛЬФРАМ	60	Re ⁷⁵ РЕНИЙ
8		62	Au ⁷⁹ ЗОЛОТО	63	Hg ⁸⁰ РУТУБЬ	64	Tl ⁸¹ <th>82</th> <td>Pb⁸² СВИНЕЦ</td> <td>65</td> <td>Bi⁸³ ВИСМУТ</td> <td>66</td> <td>Po⁸⁴ ПОЛОНИЙ</td> <td>67</td> <td>At⁸⁵ АСТАТ</td>	82	Pb ⁸² СВИНЕЦ	65	Bi ⁸³ ВИСМУТ	66	Po ⁸⁴ ПОЛОНИЙ	67	At ⁸⁵ АСТАТ
9		70	Fr ⁸⁷ ФРАНЦИЙ	71	Ra ⁸⁸ РАДИЙ	72	Ac ⁸⁹ АКТИНИЙ	73	Rf ¹⁰⁴ РЕЗЕРФОРДИЙ	74	Db ¹⁰⁵ ДУБИНИЙ	75	Sg ¹⁰⁶ СИБОГИЙ	76	Bh ¹⁰⁷ БОРИЙ
10		86	Rn ¹¹⁰ РАДОН	87	Fr ¹¹¹ ФРАНЦИЙ	88	Ra ¹¹² РАДИЙ	89	Ac ¹¹³ АКТИНИЙ	90	Th ¹¹⁴ ТОРИЙ	91	Pa ¹¹⁵ ПРОМЕТЕЙ	92	U ¹¹⁶ УРАН
11		94	Am ¹²³ АМЕРИЦИЙ	95	Cm ¹²⁴ КУРИОЛИЙ	96	Bk ¹²⁵ БЕРКЛИЙ	97	Cf ¹²⁶ КАЛИФОРНИЙ	98	Es ¹²⁷ ЭЙЗЕНСТАДТ	99	Fm ¹²⁸ ФЕРМИЙ	100	Mn ¹²⁹ МЕНДЕЛЕВИЙ
12		102	No ¹³⁰ НОБЕЛИЙ	103	Lr ¹³¹ ЛАНТАНОИД	104	La ¹³² ЛАНТАНОИД	105	Ce ¹³³ ЦЕРИЙ	106	Pr ¹³⁴ ПРОМЕТЕЙ	107	Nd ¹³⁵ НЕОДИМ	108	Pm ¹³⁶ ПРОМЕТЕЙ
13		110	Ds ¹¹⁰ ДАРШТАДТИЙ	111	Fr ¹¹¹ ФРАНЦИЙ	112	Ra ¹¹² РАДИЙ	113	Ac ¹¹³ АКТИНИЙ	114	Th ¹¹⁴ ТОРИЙ	115	Pa ¹¹⁵ ПРОМЕТЕЙ	116	U ¹¹⁶ УРАН
14		118	Xe ⁵⁴ КСЕНОН	119	Cs ⁵⁵ ЦЕЗИЙ	120	Ba ⁵⁶ БАРИЙ	121	La ⁵⁷ ЛАНТАНОИД	122	Ce ⁵⁸ ЦЕРИЙ	123	Pr ⁵⁹ ПРОМЕТЕЙ	124	Nd ⁶⁰ НЕОДИМ
15		126	Kr ³⁶ КРИПТОН	127	Rb ³⁷ РУБИДИЙ	128	Sr ³⁸ СТРОНЦИЙ	129	Y ³⁹ ИТРИЙ	130	Zr ⁴⁰ ЦИРКОНИЙ	131	Nb ⁴¹ НИОБИЙ	132	Mo ⁴² МОЛИБДЕН
16		130	Ar ¹⁸ АРГОН	131	K ¹⁹ КАЛИЙ	132	Ca ²⁰ КАЛЬЦИЙ	133	Sc ²¹ СКАНДИЙ	134	Ti ²² ТИТАН	135	V ²³ ВАНАДИЙ	136	Cr ²⁴ ХРОМ
17		134	Ne ¹⁰ НЕОН	135	Na ¹¹ НАТРИЙ	136	Mg ¹² МАГНИЙ	137	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	138	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	139	P ¹⁵ ФОСФОР	140	S ¹⁶ СЕРА
18		136	He ² ГЕЛИЙ	137	Li ³ ЛИТИЙ	138	Be ⁴ БЕРИЛЛИЙ	139	B ⁵ БОР	140	C ⁶ УГЛЕРОД	141	N ⁷ АЗОТ	142	O ⁸ КИСЛОРОД
19		140	Ne ¹⁰ НЕОН	141	Na ¹¹ НАТРИЙ	142	Mg ¹² МАГНИЙ	143	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	144	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	145	P ¹⁵ ФОСФОР	146	S ¹⁶ СЕРА
20		142	He ² ГЕЛИЙ	143	Li ³ ЛИТИЙ	144	Be ⁴ БЕРИЛЛИЙ	145	B ⁵ БОР	146	C ⁶ УГЛЕРОД	147	N ⁷ АЗОТ	148	O ⁸ КИСЛОРОД
21		146	Ne ¹⁰ НЕОН	147	Na ¹¹ НАТРИЙ	148	Mg ¹² МАГНИЙ	149	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	150	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	151	P ¹⁵ ФОСФОР	152	S ¹⁶ СЕРА
22		150	Ne ¹⁰ НЕОН	151	Na ¹¹ НАТРИЙ	152	Mg ¹² МАГНИЙ	153	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	154	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	155	P ¹⁵ ФОСФОР	156	S ¹⁶ СЕРА
23		154	Ne ¹⁰ НЕОН	155	Na ¹¹ НАТРИЙ	156	Mg ¹² МАГНИЙ	157	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	158	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	159	P ¹⁵ ФОСФОР	160	S ¹⁶ СЕРА
24		158	Ne ¹⁰ НЕОН	159	Na ¹¹ НАТРИЙ	160	Mg ¹² МАГНИЙ	161	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	162	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	163	P ¹⁵ ФОСФОР	164	S ¹⁶ СЕРА
25		162	Ne ¹⁰ НЕОН	163	Na ¹¹ НАТРИЙ	164	Mg ¹² МАГНИЙ	165	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	166	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	167	P ¹⁵ ФОСФОР	168	S ¹⁶ СЕРА
26		166	Ne ¹⁰ НЕОН	167	Na ¹¹ НАТРИЙ	168	Mg ¹² МАГНИЙ	169	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	170	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	171	P ¹⁵ ФОСФОР	172	S ¹⁶ СЕРА
27		170	Ne ¹⁰ НЕОН	171	Na ¹¹ НАТРИЙ	172	Mg ¹² МАГНИЙ	173	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	174	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	175	P ¹⁵ ФОСФОР	176	S ¹⁶ СЕРА
28		174	Ne ¹⁰ НЕОН	175	Na ¹¹ НАТРИЙ	176	Mg ¹² МАГНИЙ	177	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	178	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	179	P ¹⁵ ФОСФОР	180	S ¹⁶ СЕРА
29		178	Ne ¹⁰ НЕОН	179	Na ¹¹ НАТРИЙ	180	Mg ¹² МАГНИЙ	181	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	182	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	183	P ¹⁵ ФОСФОР	184	S ¹⁶ СЕРА
30		182	Ne ¹⁰ НЕОН	183	Na ¹¹ НАТРИЙ	184	Mg ¹² МАГНИЙ	185	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	186	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	187	P ¹⁵ ФОСФОР	188	S ¹⁶ СЕРА
31		186	Ne ¹⁰ НЕОН	187	Na ¹¹ НАТРИЙ	188	Mg ¹² МАГНИЙ	189	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	190	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	191	P ¹⁵ ФОСФОР	192	S ¹⁶ СЕРА
32		190	Ne ¹⁰ НЕОН	191	Na ¹¹ НАТРИЙ	192	Mg ¹² МАГНИЙ	193	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	194	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	195	P ¹⁵ ФОСФОР	196	S ¹⁶ СЕРА
33		194	Ne ¹⁰ НЕОН	195	Na ¹¹ НАТРИЙ	196	Mg ¹² МАГНИЙ	197	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	198	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	199	P ¹⁵ ФОСФОР	200	S ¹⁶ СЕРА
34		198	Ne ¹⁰ НЕОН	199	Na ¹¹ НАТРИЙ	200	Mg ¹² МАГНИЙ	201	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	202	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	203	P ¹⁵ ФОСФОР	204	S ¹⁶ СЕРА
35		202	Ne ¹⁰ НЕОН	203	Na ¹¹ НАТРИЙ	204	Mg ¹² МАГНИЙ	205	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	206	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	207	P ¹⁵ ФОСФОР	208	S ¹⁶ СЕРА
36		206	Ne ¹⁰ НЕОН	207	Na ¹¹ НАТРИЙ	208	Mg ¹² МАГНИЙ	209	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	210	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	211	P ¹⁵ ФОСФОР	212	S ¹⁶ СЕРА
37		210	Ne ¹⁰ НЕОН	211	Na ¹¹ НАТРИЙ	212	Mg ¹² МАГНИЙ	213	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	214	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	215	P ¹⁵ ФОСФОР	216	S ¹⁶ СЕРА
38		214	Ne ¹⁰ НЕОН	215	Na ¹¹ НАТРИЙ	216	Mg ¹² МАГНИЙ	217	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	218	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	219	P ¹⁵ ФОСФОР	220	S ¹⁶ СЕРА
39		218	Ne ¹⁰ НЕОН	219	Na ¹¹ НАТРИЙ	220	Mg ¹² МАГНИЙ	221	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	222	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	223	P ¹⁵ ФОСФОР	224	S ¹⁶ СЕРА
40		222	Ne ¹⁰ НЕОН	223	Na ¹¹ НАТРИЙ	224	Mg ¹² МАГНИЙ	225	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	226	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	227	P ¹⁵ ФОСФОР	228	S ¹⁶ СЕРА
41		226	Ne ¹⁰ НЕОН	227	Na ¹¹ НАТРИЙ	228	Mg ¹² МАГНИЙ	229	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	230	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	231	P ¹⁵ ФОСФОР	232	S ¹⁶ СЕРА
42		230	Ne ¹⁰ НЕОН	231	Na ¹¹ НАТРИЙ	232	Mg ¹² МАГНИЙ	233	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	234	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	235	P ¹⁵ ФОСФОР	236	S ¹⁶ СЕРА
43		234	Ne ¹⁰ НЕОН	235	Na ¹¹ НАТРИЙ	236	Mg ¹² МАГНИЙ	237	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	238	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	239	P ¹⁵ ФОСФОР	240	S ¹⁶ СЕРА
44		238	Ne ¹⁰ НЕОН	239	Na ¹¹ НАТРИЙ	240	Mg ¹² МАГНИЙ	241	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	242	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	243	P ¹⁵ ФОСФОР	244	S ¹⁶ СЕРА
45		242	Ne ¹⁰ НЕОН	243	Na ¹¹ НАТРИЙ	244	Mg ¹² МАГНИЙ	245	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	246	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	247	P ¹⁵ ФОСФОР	248	S ¹⁶ СЕРА
46		246	Ne ¹⁰ НЕОН	247	Na ¹¹ НАТРИЙ	248	Mg ¹² МАГНИЙ	249	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	250	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	251	P ¹⁵ ФОСФОР	252	S ¹⁶ СЕРА
47		250	Ne ¹⁰ НЕОН	251	Na ¹¹ НАТРИЙ	252	Mg ¹² МАГНИЙ	253	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	254	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	255	P ¹⁵ ФОСФОР	256	S ¹⁶ СЕРА
48		254	Ne ¹⁰ НЕОН	255	Na ¹¹ НАТРИЙ	256	Mg ¹² МАГНИЙ	257	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	258	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	259	P ¹⁵ ФОСФОР	260	S ¹⁶ СЕРА
49		258	Ne ¹⁰ НЕОН	259	Na ¹¹ НАТРИЙ	260	Mg ¹² МАГНИЙ	261	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	262	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	263	P ¹⁵ ФОСФОР	264	S ¹⁶ СЕРА
50		262	Ne ¹⁰ НЕОН	263	Na ¹¹ НАТРИЙ	264	Mg ¹² МАГНИЙ	265	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	266	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	267	P ¹⁵ ФОСФОР	268	S ¹⁶ СЕРА
51		266	Ne ¹⁰ НЕОН	267	Na ¹¹ НАТРИЙ	268	Mg ¹² МАГНИЙ	269	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	270	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	271	P ¹⁵ ФОСФОР	272	S ¹⁶ СЕРА
52		270	Ne ¹⁰ НЕОН	271	Na ¹¹ НАТРИЙ	272	Mg ¹² МАГНИЙ	273	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	274	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	275	P ¹⁵ ФОСФОР	276	S ¹⁶ СЕРА
53		274	Ne ¹⁰ НЕОН	275	Na ¹¹ НАТРИЙ	276	Mg ¹² МАГНИЙ	277	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	278	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	279	P ¹⁵ ФОСФОР	280	S ¹⁶ СЕРА
54		278	Ne ¹⁰ НЕОН	279	Na ¹¹ НАТРИЙ	280	Mg ¹² МАГНИЙ	281	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	282	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	283	P ¹⁵ ФОСФОР	284	S ¹⁶ СЕРА
55		282	Ne ¹⁰ НЕОН	283	Na ¹¹ НАТРИЙ	284	Mg ¹² МАГНИЙ	285	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	286	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	287	P ¹⁵ ФОСФОР	288	S ¹⁶ СЕРА
56		286	Ne ¹⁰ НЕОН	287	Na ¹¹ НАТРИЙ	288	Mg ¹² МАГНИЙ	289	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	290	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	291	P ¹⁵ ФОСФОР	292	S ¹⁶ СЕРА
57		290	Ne ¹⁰ НЕОН	291	Na ¹¹ НАТРИЙ	292	Mg ¹² МАГНИЙ	293	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	294	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	295	P ¹⁵ ФОСФОР	296	S ¹⁶ СЕРА
58		294	Ne ¹⁰ НЕОН	295	Na ¹¹ НАТРИЙ	296	Mg ¹² МАГНИЙ	297	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	298	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	299	P ¹⁵ ФОСФОР	300	S ¹⁶ СЕРА
59		298	Ne ¹⁰ НЕОН	299	Na ¹¹ НАТРИЙ	300	Mg ¹² МАГНИЙ	301	Al ¹³ АЛЮМИНИЙ	302	Si ¹⁴ КРЕМНИЙ	303	P ¹⁵ ФОСФОР	304	S ¹⁶

* ЛАНТАНОИДЫ																																								
58	Ce	140,12	Pr	140,91	59	Nd	144,24	60	Pm	(145)	61	Sm	150,40	62	Eu	151,96	63	Gd	157,25	64	Tb	158,93	65	Dy	162,50	66	Ho	164,93	67	Er	167,26	68	Tm	168,93	69	Yb	173,04	70	Lu	174,97
	ЦЕРИЙ		ПРАЗЕОДИМ		НЕОДИМ		ПРОМЕТИЙ		САМАРИЙ		ЕВРОПИЙ		ГАДОЛИНИЙ		ТЕРБИЙ		ДИСПРОСИЙ		ГОЛМАНИЙ		ЭРБИЙ		ТУЛИЙ		ИТТЕРБИЙ		ЛОЭРЕНЦИЙ													
** АКТИНОИДЫ																																								
90	Th	232,04	Pa	231,04	91	U	238,03	92	Np	237,05	93	Pu	[244]	94	Am	[243]	95	Cm	[247]	96	Bk	[247]	97	Cf	[251]	98	Es	[254]	99	Fm	[257]	100	Md	[258]	101	No	[259]	102	Lr	[260]
	ТОРИЙ	ПРОТОАКТИНИЙ	УРАН	НЕПТУНИЙ	ПУЛТОНИЙ	АМЕРИЦИЙ	КЮРИЙ	БЕРКЛИЙ	КАЛИФОРНИЙ	ЭЙНШТЕЙНИЙ	ФЕРМИЙ	МЕНДЕЛЕВИЙ	НОБЕЛИЙ	ЛОЭРЕНЦИЙ	ДОБЕРИНИЙ	МОНТЕВИДЕНСКИЙ																								

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Класс	Название частиц	Символ		Заряд, ед. e	Масса покоя		Спин, ед. $\hbar$	Время жизни τ , с
		Част.	Анти част.		m_e	МэВ		
Фотоны	Фотон	ν		0	0		1	Стабилен
Лептоны	Электрон	e^-	e^+	1		0,511	1/2	Стабилен
	Электронное нейтрино	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	0?	$<4,5 \cdot 10^{-6}$	1/2	Стабильно
	Мюон	μ^-	μ^+	1	207	106	1/2	$2,2 \cdot 10^{-6}$
	Мюонное нейтрино	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	0?	$<0,25$	1/2	Стабильно
	Таон	τ^-	τ^+	1	3487	1784	1/2	$3,5 \cdot 10^{-13}$
	Таонное нейтрино	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	0?	<70	1/2	?
Адроны	Мезоны	π^0		0	264	135	0	$0,8 \cdot 10^{-16}$
		π^+	π^-	1	273	140	0	$2,6 \cdot 10^{-8}$
		K^0		0	974	498	0	$10^{-10} - 10^{-8}$
		K^+	K^-	1	966	494	0	$1,2 \cdot 10^{-8}$
		η^0		0	1074	549	0	$0,7 \cdot 10^{-18}$
		D^+		1	3657	1869	0	$9 \cdot 10^{-13}$
		D^0		0	3650	1865	0	$5 \cdot 10^{-13}$
		F^+		1	3857	1971	0	$2 \cdot 10^{-13}$
	Барions	B^+		1	10315	5271	0	10^{-12}
		B^0		0	10321	5274	0	
		p		1	1836	938,2	1/2	Стабилен
		n		0	1839	939,6	1/2	$0,9 \cdot 10^3$
		Λ^0		0	2183	1116	1/2	$2,6 \cdot 10^{-10}$
		Σ^0		0	2334	1192	1/2	$5 \cdot 10^{-20}$
		Σ^+		1	2328	1189	1/2	$0,8 \cdot 10^{-10}$
		Σ^-		1	2343	1197	1/2	$1,5 \cdot 10^{-10}$
		Ξ^0		0	2573	1315	1/2	$2,9 \cdot 10^{-10}$
		Ξ^-		1	2586	1321	1/2	$1,6 \cdot 10^{-10}$
		Ω^-		1	3273	1673	3/2	$0,8 \cdot 10^{-10}$
		Λ_c^+		1	4464	2281	1/2	$(2-3) \cdot 10^{-13}$

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Составители:

Меньшикова Светлана Геннадьевна

Данилова Анастасия Степановна

Типовые задания по физике с примерами решения.

Квантовая физика

Учебно-методическое пособие

Авторская редакция

Компьютерная верстка: *А. Ж. Фаттахова*

Подписано в печать 26.09.23. Формат 60×84 ¹/₁₆.

Усл. печ.л. 5,23. Уч.-изд. л. 3,4.

Тираж 23 экз. Заказ № 1638.

Издательский центр «Удмуртский университет»

426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, 4Б, каб. 021.

Тел.: +7(3412) 916-364, E-mail: editorial@udsu.ru

Типография Издательского центра

«Удмуртский университет»

426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп.2.

Тел. 68-57-18