

С.И. Кузнецов, Т.Н. Мельникова, Е.Н. Степанова.

**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ
с решениями**

**Специальная теория относительности.
Атомная и ядерная физика.**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2011

УДК 53(075.8)
ББК 22.3я73
К891

Кузнецов С.И.

К891

Сборник задач по физике с решениями. Специальная теория относительности, атомная и ядерная физика: учебное пособие / С.И. Кузнецов, Т.Н. Мельникова, Е.Н. Степанова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 36 с.

В учебном пособии рассмотрены основные вопросы специальной теории относительности, даны разъяснения основных законов атомной и ядерной физики. Приведены методические указания по решению типовых задач, а так же представлены задачи для самостоятельного решения.

Пособие подготовлено на кафедре общей физики ФТИ ТПУ, по программе курса физики высших технических учебных заведений. Соответствует инновационной политике ТПУ, направлено на активизацию научного мышления и познавательной деятельности студентов.

Предназначено для межвузовского использования студентами технических специальностей очной и дистанционной форм обучения.

УДК 53(075.8)
ББК 22.3я73

Рецензенты

Доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой теоретической физики ТГУ
А.В. Шаповалов

Доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой общей информатики ТГПУ
А.Г. Парфенов

© ГОУ ВПО «Национальный
исследовательский Томский
политехнический университет», 2011
© Кузнецов С.И., Т.Н. Мельникова, Е.Н.
Степанова, 2011
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2011

*Не полагайся без сомнений
ты на любые ярлыки:
они от истинных суждений
порою очень далеки.*

Ч.Х. Спурджон

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

1. Внимательно прочитайте условия задачи. Сделайте сокращенную запись данных и искомых физических величин, предварительно представив их в системе СИ.

Система СИ состоит из *основных, дополнительных и производных* единиц. Основными единицами являются: единица длины – метр (м); массы – килограммы (кг); времени – секунда (с); силы электрического тока – ампер (А); термодинамической температуры – кельвин (К); количества вещества – моль (моль); силы света – кандела (кд).

Дополнительные единицы: единица плоского угла – радиан (рад); единица телесного угла – стерadian (ср).

Производные единицы устанавливаются через другие единицы данной системы на основании физических законов, выражающих взаимосвязь между соответствующими величинами.

В условиях и при решении задач часто используются множители и приставки СИ для образования десятичных и дольных единиц (см. Приложение).

2. Вникните в смысл задачи. Представьте физическое явление, о котором идет речь; введите упрощающие предположения, которые можно сделать при решении. Для этого необходимо использовать такие абстракции, как материальная точка, абсолютно твердое тело, луч света.

3. Если позволяет условие задачи, выполните схематический чертеж.

4. С помощью физических законов установите количественные связи между заданными и искомыми величинами, то есть составьте замкнутую систему уравнений, в которой число уравнений равнялось бы числу неизвестных.

5. Найдите решение полученной системы уравнений в виде алгоритма, отвечающего на вопрос задачи.

6. Проверьте правильность полученного решения, используя правило размерностей.

7. Подставьте в полученную формулу численные значения физических величин и проведите вычисления. Обратите внимание на точность численного ответа, которая не может быть больше точности исходных величин.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Специальная теория относительности (СТО)

- ◆ Преобразования Галилея

$$x = x' + vt', \quad y = y', \quad z = z', \quad t = t' \quad \text{или} \quad \vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}t'.$$

- ◆ Закон сложения скоростей в классической механике $u = v' + v$.

- ◆ Преобразования Лоренца

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad y = y'; \quad z = z'; \quad t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

- ◆ Интервал времени между событиями $\Delta t' = \frac{v(x_1 - x_2)}{c^2 \sqrt{1 - v/c^2}}$.

- ◆ Релятивистское (Лоренцево) сокращение длины стержня

$$l = l_0 \sqrt{1 - v/c^2}$$

- ◆ Релятивистское замедление хода часов $\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$

- ◆ Релятивистский закон сложения скоростей $u = \frac{v' + v}{1 + \frac{v'v}{c^2}}$.

- ◆ Масса релятивистской частицы $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$.

- ◆ Релятивистское выражение для импульса $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$.

- ◆ Связь между полной энергией и импульсом релятивистской частицы

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}.$$

- ◆ Релятивистское выражение для энергии $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

- ◆ Кинетическая энергия релятивистской частицы

$$K = E - E_0 = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right).$$

- ♦ Закон взаимосвязи массы и энергии $E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$.
- ♦ Энергия покоя $E_0 = mc^2$.
- ♦ Взаимосвязь массы и энергии покоя $\Delta E_0 = \Delta mc^2$.
- ♦ Масса образовавшейся частицы $M = \frac{2m}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} > 2m$.
- ♦ Энергия связи $E_{\text{св}} = c^2 \Delta M$.
- ♦ Дефект массы $\Delta M = \sum m_i - M$.
- ♦ Условие существования черной дыры $\frac{m_\gamma c^2}{2} \leq G \frac{m_\gamma M}{r_g}$
- ♦ Размеры черной дыры $r_g \leq G \frac{2M}{c^2}$.

Атомная физика

- ♦ Обобщенная формула Бальмера $\nu = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ или $\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right) (k = 1, 2, 3, \dots, m = k + 1, k + 2, k + 3, \dots)$.
- ♦ Первый постулат Бора (правило квантования орбит) $m_e v r = n \hbar, (n = 1, 2, 3, \dots)$.
- ♦ Второй постулат Бора (правило частот) $h\nu = E_n - E_k$.
- ♦ Уравнение Шредингера для электрона в атоме водорода $\Delta \Psi + \frac{2m}{\hbar} \left(E + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0$.
- ♦ Радиусы стационарных орбит $r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2 n^2}{k_0 m_e Z e^2}, (n = 1, 2, 3, \dots)$.
- ♦ Энергия электрона в водородоподобном атоме $E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e Z^2 e^4}{8h^2 \epsilon_0^2}, (n = 1, 2, 3, \dots)$.
- ♦ Энергия испускаемого кванта $h\nu = E_n - E_m = \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$.

- ♦ Энергия ионизации атома водорода $E_i = -E_1 = -\frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2}$.

Водородоподобные системы в квантовой механике

- ♦ Волновая функция положения электрона в атоме $\Psi(r) = \sqrt{\frac{1}{\pi r_1^3}} \cdot e^{-\frac{r}{r_1}}$.

- ♦ Потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром

$$E_n(r) = -k_0 \frac{Ze^2}{r}.$$

- ♦ Уравнение Шредингера для электрона в атоме $\Delta\Psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0$.

- ♦ Магнитный момент атома $P_m = \frac{e}{2m_e} L = \frac{e\hbar^2}{2m_e} \sqrt{l(l+1)} = \mu_B \sqrt{l(l+1)}$.

- ♦ Магнетон Бора $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ Дж} \cdot \text{Тл}^{-1}$.

- ♦ Квантование орбитального момента импульса $L = \hbar \sqrt{l(l+1)}$.

- ♦ Связь между магнитным моментом и орбитальным моментом импульса электрона $\vec{P}_m = -\gamma \vec{L}_e = -\frac{e}{2m_e} \vec{L}_e$.

- ♦ Орбитальное гиромагнитное отношение $\gamma = \frac{e}{2m_e}$.

- ♦ Квантование спина электрона $L_s = \hbar \sqrt{s(s+1)}$.

- ♦ Численное значение спина электрона $L_s = \pm \frac{\hbar}{2}$.

- ♦ Спиновое гиромагнитное отношение $\gamma_s = \frac{P_{msz}}{L_{sz}} = -\frac{e}{m_e}$.

- ♦ Принцип Паули $Z(n, l, m, m_s) = 0$ или 1.

Физика атомного ядра

- ♦ Радиус ядра $R = R_0 A^{1/3}$.

- ♦ Массовое число $A = Z + N$.

- ♦ Спин ядра $L_{яд} = \hbar \sqrt{I(I+1)}$.

- ♦ Связь между магнитным моментом ядра и спином $P_{m_{яд}} = \gamma_{яд} L_{яд}$.

- ♦ Ядерный магнетон $\mu_{\text{яд}} = \frac{e\hbar}{2m_p}$.
- ♦ Квадрупольный электрический момент ядра $Q = \frac{2}{5}Z_e(b^2 - a^2)$.
- ♦ Дефект массы ядра $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}} = \frac{W_{\text{св}}}{c^2}$.
- ♦ Энергия связи нуклонов в ядре .

$$W_{\text{св}} = \Delta mc^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - M_{\text{яд}}] \cdot c^2.$$
- ♦ Удельная энергия связи ядра $\omega_{\text{св}} = \frac{W_{\text{св}}}{A}$.
- ♦ Закон радиоактивного распада $N = N_0 e^{-\lambda T}$.
- ♦ Период полураспада $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.
- ♦ Среднее время жизни радиоактивного ядра $\tau = \frac{1}{\lambda}$.
- ♦ Активность нуклида $A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N$.
- ♦ Правило смещения для α -распада ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4} Y + {}_2^4 \text{He}$.
- ♦ Правило смещения для β^- -распада ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z+1}^A Y + {}_{-1}^0 e$.
- ♦ Правило смещения для β^+ -распада ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z-1}^A Y + {}_{+1}^0 e$.
- ♦ Символическая запись для ядерной реакции

$$X + a \rightarrow Y + b \text{ или } X(a, b)Y.$$
- ♦ Эффективное сечение поглощения ядерной реакции $\sigma = \frac{dN}{nNdx}$.
- ♦ Формула Вайцеккера

$$E_{\text{св}} = \alpha_1 A - \alpha_2 A^{2/3} - \alpha \frac{Z^2}{A^{1/3}} - \alpha_4 \left(\frac{A}{2} - Z \right)^2 A + \alpha_5 A^{-3/4}.$$
- ♦ Константа взаимодействия между элементарными частицами

$$\alpha = \frac{E}{m_0 c^2}.$$
- ♦ Три уровня микромира:
 - молекулярно-атомный: $E = 1 - 10 \text{ эВ}$, $\Delta r \approx 10^{-8} - 10^{-10} \text{ м}$;
 - ядерный: $E = 10^6 - 10^8 \text{ эВ}$, $\Delta r \approx 10^{-14} - 10^{-15} \text{ м}$;

элементарные частицы: $E > 10^8 \text{ эВ}$, $\Delta r < 10^{-15}$

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

1. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость $0,4c$, где c – скорость света в вакууме. В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения β - частицу со скоростью $0,75c$ относительно ускорителя. Определите скорость частицы относительно ядра. Ответ представьте в мегаметрах за секунду.

Дано:	Решение:
$v = 0,4c$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $v_x = 0,75c$	Используем релятивистский закон сложения скоростей.
$v_{x'} = ?$	$v_x = \frac{v_{x'} + v}{1 + \frac{v_{x'} \cdot v}{c^2}}$

Здесь v_x – скорость β - частицы в системе отсчета, связанной с ускорителем; $v_{x'}$ – скорость β - частицы в системе отсчета, связанной с ядром; v – скорость инерциальной системы, связанной с ядром, относительно системы отсчета, связанной с ускорителем.

Тогда скорость частицы относительно ядра

$$v_{x'} = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v_x \cdot v}{c^2}}$$

$$v_{x'} = \frac{0,75c - 0,4c}{1 - \frac{0,75c \cdot 0,4c}{c^2}} = \frac{c}{2} = 1,5 \cdot 10^8 (\text{м/с}) = 150 (\text{Мм/с}).$$

Ответ: $v_{x'} = 150 \text{ Мм/с}$

2. Собственное время жизни некоторой нестабильной частицы 10 нс. Найдите путь, пройденный этой частицей до распада в неподвижной системе отсчета, если её время жизни в ней 20 нс. Ответ представьте в единицах СИ и округлите до десятых.

Дано:	Решение:
$\tau_0 = 10 \text{ нс} = 10^{-8} \text{ с}$ $\tau = 20 \text{ нс} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	Путь, пройденный частицей до распада в неподвижной системе отсчета
$S = ?$	$S = v\tau.$ <p>τ и τ_0 связаны соотношением</p>

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Выразим отсюда скорость с которой движется частица.

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right)^2}.$$

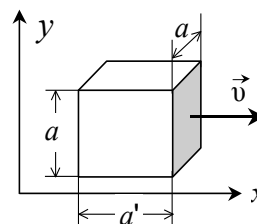
$$S = v\tau = c \sqrt{1 - \left(\frac{\tau_0}{\tau} \right)^2} \cdot \tau.$$

Подставим численные значения.

$$S = 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{10^{-8}}{2 \cdot 10^{-8}} \right)^2} \cdot 2 \cdot 10^{-8} = 5,2 \text{ (м)}.$$

Ответ: $S = 5,2 \text{ м}$

3. Какую скорость должно иметь тело в виде куба со сторонами a при движении вдоль оси x , как показано на рисунке, чтобы плотность тела увеличилась в два раза? Ответ представьте в мегаметрах за секунду и округлите до целого числа.



Дано:	Решение:
$\rho = 2\rho_0$	Плотность тела
$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	
$v = ?$	
	$\rho = \frac{m}{V}. \quad (1)$

С учетом того, что по условию задачи $\rho = 2\rho_0$ выражения (1) получим

$$\frac{m}{V} = 2 \frac{m_0}{V_0}, \quad (2)$$

где m – масса релятивистской частицы, m_0 – ее масса покоя.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (3)$$

Объем куба

$$V = a^3.$$

При движении со скоростью, близкой к скорости света, меняются линейные размеры тел в направлении движения. В нашем случае площадь поперечного сечения остается неизменной.

$$V = S \cdot a, \quad V_0 = S \cdot a_0. \quad (4)$$

Продольные размеры тел меняются по закону

$$a = a_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \quad (5)$$

Выражения (3), (4) и (5) подставим в уравнение (2) и выразим скорость.

$$\begin{aligned} \frac{m}{S \cdot a} &= 2 \frac{m_0}{S \cdot a_0}, \\ \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot a_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} &= 2 \frac{m_0}{a_0}, \\ 1 - \frac{v^2}{c^2} &= \frac{1}{2}. \quad v = \frac{c}{\sqrt{2}} = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{2}} = 2,12 \cdot 10^8 \text{ (м/с)} = 212 \text{ (Мм/с)}. \end{aligned}$$

Ответ: $v = 212 \text{ Мм/с}$

4. Вычислите радиус первой боровской орбиты атома водорода. Скорость электрона на первой боровской орбите $2,2 \text{ Мм/с}$.

$q_e = q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$. Ответ представьте в ангстремах и округлите до десятых.

Дано:	Решение:
$v = 2,2 \text{ Мм/с} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ $q_e = q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ $n = 1$ $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$	<p>Согласно первому постулату Бора, электрон в атоме водорода, не теряя энергии, вращается по круговым, стационарным орбитам. Момент импульса электрона на этих орбитах принимает дискретные (квантованные) значения</p> $m_e v r_n = n \hbar, \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$ <p>где m_e – масса электрона, v_n – скорость электрона на n-й орбите, r_n – радиус n-й орбиты, \hbar – постоянная Планка, равная</p>

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Из формулы (1) находим скорость v

$$v = \frac{n\hbar}{m_e r_n}. \quad (2)$$

Сила взаимодействия электрона с ядром, заряд которого равен по модулю заряду электрона, определяется законом Кулона

$$F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r_n^2}.$$

Эта сила сообщает электрону центростремительное ускорение

$$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{r_n}.$$

Следовательно, второй закон Ньютона для движения электрона по n -й стационарной орбите можно записать в виде

$$m_e a_{\text{цс}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r_n^2},$$

$$\frac{m_e v^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r_n^2} \quad \text{или} \quad m_e v^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r_n}. \quad (3)$$

Решая совместно (2) и (3) относительно радиуса первой боровской орбиты атома водорода, найдем

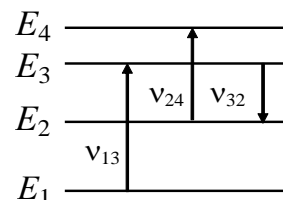
$$\frac{m_e n^2 \hbar^2}{m_e^2 r_n^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r_n}.$$

Отсюда радиус первой боровской орбиты атома водорода равен

$$r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{m_e q^2} = \frac{1,05 \cdot 10^{-68}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 2,56 \cdot 10^{-38}} = 0,5 \cdot 10^{-10} (\text{м}) = 0,5 (\text{\AA}).$$

Ответ: $r_n = 0,5 \text{ \AA}$

5. На рисунке изображены несколько энергетических уровней атома. Минимальная длина волны света, излучаемого при всех возможных переходах между уровнями E_1 , E_2 , E_3 и E_4 , равна 250 нм. Известно, что частоты переходов относятся друг к другу как $\nu_{13} : \nu_{24} : \nu_{32} = 9 : 7 : 4$. Какова длина световой волны с частотой ν_{32} ? Ответ представьте в нанометрах.



Дано:

Решение:

$\lambda_{\min} = 250 \text{ нм}$ $\nu_{13}:\nu_{24}:\nu_{32} = 9:7:4$ $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$	Минимальная длина волны света соответствует переходу между первым и четвертым уровнем, так как этот переход соответствует максимальной энергии излученного кванта (максимальной частоте), т.е. $\lambda_{\min} = \lambda_{14}.$
$\lambda_{32} = ?$	

Так как энергия кванта света определяется выражением

$$E = h\nu, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка, то заданное соотношение между частотами $\nu_{13}:\nu_{24}:\nu_{32} = 9:7:4$ можно заменить на аналогичное соотношение между энергиями кванта света

$$E_{13}: E_{24}: E_{32} = 9:7:4. \quad (2)$$

Отсюда

$$\frac{E_{13}}{E_{24}} = \frac{9}{7}; \quad E_{13} = \frac{9}{7} E_{24}. \quad (3)$$

Подставим E_{13} в уравнение (2), получим

$$E_{14} = E_{13} + E_{24} - E_{32} = \frac{9}{7} E_{24} + E_{24} - E_{32} = \frac{16}{7} E_{24} - E_{32}.$$

Так как

$$\frac{E_{24}}{E_{32}} = \frac{7}{4}; \quad E_{24} = \frac{7}{4} E_{32},$$

то

$$E_{14} = \frac{16}{7} E_{24} - E_{32} = \frac{16}{7} \cdot \frac{7}{4} E_{32} - E_{32} = 3 E_{32}.$$

С учетом выражения (1) и соотношения между частотой и длиной волны $\nu = \frac{c}{\lambda}$ получим

$$\frac{hc}{\lambda_{14}} = 3 \frac{hc}{\lambda_{32}}; \quad \frac{1}{\lambda_{14}} = \frac{3}{\lambda_{32}}.$$

$$\lambda_{32} = 3\lambda_{14} = 3 \cdot 250 = 750 \text{ (нм)}.$$

Ответ: $\lambda_{32} = 750 \text{ нм}$

6. Какой длины волны появятся спектральные линии при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией 12,5 эВ? 1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж; Известны постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; постоянная Ридберга $R' = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$. Ответы представьте в нанометрах и округлите до целого числа.

Дано:	Решение:
$\varepsilon = 12,5 \text{ эВ}$ $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $R' = 1,1 \cdot 10^{-34} \text{ м}^{-1}$ $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$	<p>В основном невозбужденном состоянии ($n = 1$) энергия электрона равна</p> $E_1 = -13,6 \text{ эВ.}$ <p>При возбуждении атомарного водорода электронами с энергией 12,5 эВ электрон в атоме водорода переходит на более высокий уровень с энергией</p> $E_n = E_1 + \varepsilon = -13,6 + 12,5 = -1,1 \text{ (эВ).}$
$\lambda = ?$	

Энергию E_n электрона на n -й стационарной орбите атома водорода можно рассчитать по формуле

$$E_n = E_1 \cdot \frac{1}{n^2},$$

где n – номер орбиты. Тогда

$$n = \sqrt{\frac{E_1}{E_n}} = \sqrt{\frac{-13,6}{-1,1}} = 3,52.$$

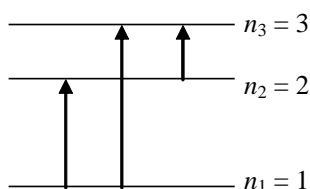
Так как n может принимать только целые значения, то дробную часть отбрасываем: $n = 3$.

Используя сериальную формулу, найдем длины волн спектральных линий, которые появятся при возбуждении атомарного водорода

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где λ – длина волны спектральной линии в спектре атома водорода, R' – постоянная Ридберга. Отсюда

$$\lambda = \frac{1}{R' \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)}.$$



При возбуждении атома электрон может перейти из невозбужденного состояния ($n = 1$) на третий энергетический уровень ($n = 3$) тремя путями: с первого уровня на третий; с первого на второй; со второго на третий.

$$\lambda_1 = \frac{1}{1,1 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)} = 122 \cdot 10^{-9} \text{ (м)} = 122 \text{ (нм)}.$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{1,1 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right)} = 102 \cdot 10^{-9} (\text{м}) = 102 (\text{нм}).$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{1,1 \cdot 10^7 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)} = 656 \cdot 10^{-9} (\text{м}) = 656 (\text{нм}).$$

Ответ: $\lambda_1 = 122 \text{ нм}$; $\lambda_2 = 102 \text{ нм}$; $\lambda_3 = 656 \text{ нм}$

7. Определите минимальную энергию, необходимую для разделения ядра углерода $^{12}_6\text{C}$ на три одинаковых частицы. Масса ядра углерода $m_{\text{C}} = 11,9967 \text{ а.е.м}$, масса ядра гелия $m_{\text{He}} = 4,0015 \text{ а.е.м}$, $1 \text{ а.е.м} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, скорость света $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Ответ представьте в мегаэлектронвольтах и округлите до десятых.

Дано:	Решение:
$^{12}_6\text{C}$ $N = 3$ $m_{\text{C}} = 11,9967 \text{ а.е.м}$ $m_{\text{He}} = 4,0015 \text{ а.е.м}$ $1 \text{ а.е.м} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$	$^{12}_6\text{C} \rightarrow 3\ ^4_2\text{He}.$ <p>Чтобы разделить ядро углерода $^{12}_6\text{C}$ на три одинаковых частицы, необходима минимальная для этого энергия, равная энергии связи углерода.</p> $W_{\min} = W_{\text{св}} = \Delta mc^2,$ <p>где c – скорость света.</p> $W_{\min} = c^2(m_{\text{C}} - 3m_{\text{He}}),$ $W_{\min} = 9 \cdot 10^{16} \cdot (11,9967 - 3 \cdot 4,0015) \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} = 11,6532 \cdot 10^{-13} (\text{Дж}).$ $W_{\min} = 7,3 \text{ МэВ}.$
$W_{\min} = ?$	Ответ: $W_{\min} = 7,3 \text{ МэВ}$

8. Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить скорость электрона от $0,6c$ до $0,8c$, где c – скорость света в вакууме, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Полученный ответ представьте в джоулях и округлите до целого числа.

Дано:	Решение:
$v_1 = 0,6c$ $v_2 = 0,8c$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	<p>Так как скорость электрона с течением времени меняется, то меняется и его кинетическая энергия. Воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии.</p> $A = W_{\text{к2}} - W_{\text{к1}}.$
$A = ?$	

В релятивистской физике кинетическая энергия рассчитывается по формуле:

$$W_k = W - W_0,$$

где W – полная энергия электрона, W_0 – его энергия покоя.

$$W = mc^2, \quad W_0 = m_0c^2,$$

m – релятивистская масса частицы, m_0 – масса покоя.

Тогда

$$A = (m_2c^2 - m_0c^2) - (m_1c^2 - m_0c^2) = m_2c^2 - m_1c^2 = c^2(m_2 - m_1).$$

Масса релятивистской частицы связана с массой покоя соотношением:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Подставив полученное выражение для массы частицы в уравнение для работы, имеем.

$$A = c^2 \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} - \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} \right) = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0,64c^2}{c^2}}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{0,36c^2}{c^2}}} \right).$$

$$A = W_0 \left(\frac{1}{0,6} - \frac{1}{0,8} \right) \approx 34 \cdot 10^{15} (\text{Дж}) = 34 (\text{фДж}).$$

Ответ: $A = 34$ фДж

9. Ядро покоящегося нейтрального атома радия ${}^{226}_{88}\text{Ra}$, находясь в однородном магнитном поле, индукция которого 0,5 Тл, испытывает α -распад. Масса M тяжелого иона равна $3,752 \cdot 10^{-25}$ кг. Выделившаяся при α -распаде энергия 4,871 МэВ полностью переходит в кинетическую энергию продуктов реакции. Трек α -частицы находится в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля. Начальная часть трека напоминает дугу окружности. Напишите уравнение α -распада для данного случая и определите радиус начальной части трека α -частицы. $m_\alpha = 6,764 \cdot 10^{-27}$ кг; $q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, 1 МэВ = $1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж.

Дано:

Решение:

$^{226}_{88}\text{Ra}$ $B = 0,5 \text{ Тл}$ $M = 3,752 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$ $\Delta E = 4,871 \text{ МэВ}$ $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ $m_\alpha = 6,764 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	$^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^4_2\alpha + ^{222}_{86}\text{X}.$ <p>Если частица влетает в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции, то в этом поле она будет двигаться по окружности радиуса R.</p> $R = \frac{m_\alpha v_\alpha}{q_\alpha B}. \quad (1)$
$R = ?$	

Таким образом, чтобы найти радиус начальной части трека α -частицы, нужно знать ее скорость v_α . Из условия задачи выделившаяся при α -распаде энергия ΔE полностью переходит в кинетическую энергию продуктов реакции.

$$\Delta E = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2} + \frac{M v^2}{2} \quad (2)$$

Из закона сохранения импульса

$$m_\alpha v_\alpha = M v. \quad (3)$$

определим скорость тяжелого иона.

$$v = \frac{m_\alpha v_\alpha}{M}. \quad (4)$$

Решая совместно (2) и (4) получим

$$2\Delta E = m_\alpha v_\alpha^2 + M \frac{m_\alpha^2 v_\alpha^2}{M^2}, \quad 2\Delta E = m_\alpha v_\alpha^2 \left(1 + \frac{m_\alpha}{M}\right).$$

$$v_\alpha = \sqrt{\frac{2\Delta E}{m_\alpha \left(1 + \frac{m_\alpha}{M}\right)}}. \quad (4)$$

Подставим полученное выражение для скорости (4) в уравнение (1) и найдем радиус трека α -частицы.

$$R = \frac{m_\alpha}{q_\alpha B} \sqrt{\frac{2\Delta E}{m_\alpha \left(1 + \frac{m_\alpha}{M}\right)}}.$$

$$R = \frac{6,64 \cdot 10^{-27}}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 0,5} \sqrt{\frac{2 \cdot 4,871 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13}}{6,64 \cdot 10^{-27} \left(1 + \frac{6,64 \cdot 10^{-27}}{3,752 \cdot 10^{-25}}\right)}} = 0,63 \text{ (м)}.$$

Ответ: $R = 0,63 \text{ м}$

10. В кровь пациента ввели 1 см^3 раствора, содержащего искусственный радиоизотоп $^{24}_{11}\text{Na}$, период полураспада которого равен 15 ч. Активность 1 см^3 крови, взятой у пациента через 5 ч, оказалась в 7300 раз ниже, чем у исходного раствора. Определите полный объем крови человека. Ответ представьте в литрах и округлите до десятых.

Дано:	Решение:
$V_0 = 10^{-6} \text{ м}^3$ $^{24}_{11}\text{Na}$ $T_{1/2} = 15 \text{ ч} = 5,4 \cdot 10^4 \text{ с}$ $t_2 = 5 \text{ ч} = 1,8 \cdot 10^4 \text{ с}$ $n = 7300$ $1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$	<p>Активность полного объема крови человека в момент времени t.</p> $a_1(t) = a_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$ <p>Активность образца крови человека объемом V_0 в момент времени t.</p> $a_2(t) = a_1(t) \frac{V_0}{V} = a_0 \frac{V_0}{V} \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$
$V = ?$	

Так как

$$n = \frac{a_0}{a_2(t)},$$

то

$$a_0 = n a_2(t)$$

Тогда

$$a_2(t) = n a_2(t) \frac{V_0}{V} \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Отсюда

$$V = n V_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

$$V = 7300 \cdot 10^{-6} \cdot 2^{-\frac{5}{15}} = 5,8 \cdot 10^{-3} (\text{м}^3) = 5,8 (\text{л}).$$

Ответ: $V_0 = 5,8 \text{ л}$

11. С помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле 0,01 Тл, наблюдается упругое рассеяние α -частицы на неподвижных ядрах дейтерия. Найдите начальную энергию α -частицы, если радиусы кривизны начальных участков траекторий ядра дейтерия и α -частицы после рассеяния оказались равными 0,1 м. Обе траектории лежат в плоскости, перпендикулярной линиям индукции магнитного поля. Масса протона $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, элементарный заряд $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Считать массу α -частицы равной $4m_p$, заряд $2q_p$; массу ядра

дейтерия – $2m_p$, заряд дейтерия q_p . Результат представьте в эВ ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$) и округлите до целого числа.

Дано:	Решение:
$B = 0,01 \text{ Тл}$ $R = 0,1 \text{ м}$ $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $m_\alpha = 4m_p, q_\alpha = 2q_p$ $m_d = 2m_p, q_d = q_p$ $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$	<p>Запишем закон сохранения энергии</p> $W_\alpha = W'_\alpha + W_d,$ <p>где W_α – энергия α-частицы до рассеяния; $W'_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2}$ – энергия α-частицы после рассеяния; W_d – энергия ядер дейтерия.</p> <p>На заряженную частицу в магнитном поле действует сила Лоренца, которая придает ей центростремительное ускорение.</p>

$W_\alpha = ?$

$$F_L = m_\alpha a_\alpha;$$

$$q_\alpha B v_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha^2}{R}. \quad v_\alpha = \frac{q_\alpha B R}{m_\alpha}.$$

Тогда

$$W'_\alpha = \frac{m_\alpha}{2} \left(\frac{q_\alpha B R}{m_\alpha} \right)^2 = \frac{(q_\alpha B R)^2}{2m_\alpha}.$$

Аналогично для ядер дейтерия

$$W_d = \frac{(q_d B R)^2}{2m_d}.$$

И тогда энергия α -частицы до рассеяния

$$W_\alpha = \frac{(q_\alpha B R)^2}{2m_\alpha} + \frac{(q_d B R)^2}{2m_d} = \frac{3}{4} \cdot \frac{(B R q_p)^2}{m_p}.$$

$$W_\alpha = \frac{3}{4} \cdot \frac{(0,01 \cdot 0,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})^2}{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 72 \text{ (эВ)}.$$

Ответ: $W_\alpha = 72 \text{ эВ}$

12. Энергия покоя электрона $0,51 \text{ МэВ}$ ($1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$). Какова скорость электрона после сообщения ему энергии 1 МэВ в ускорителе? Результат представьте в гигаметрах за секунду ($1 \text{ Гм/с} = 10^9 \text{ м/с}$) и округлите до сотых. Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Дано:	Решение:
-------	----------

$E_0 = 0,51 \text{ МэВ}$ $E_k = 1 \text{ МэВ}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ $1 \text{ Гм/с} = 10^9 \text{ м/с}$	Электрон в ускорителе приобретает кинетическую энергию, которую можно определить как разность между полной энергией и энергией покоя $E_k = E - E_0.$ Полная энергия $E = mc^2,$
$v = ?$ энергия покоя	

$$E_0 = m_0 c^2.$$

Масса релятивистской частицы и ее масса покоя связаны соотношением:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Тогда

$$\begin{aligned}
 E_k &= mc^2 - m_0 c^2 = c^2(m - m_0) = \\
 &= c^2 \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \right) = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).
 \end{aligned}$$

После математических преобразований находим скорость электрона

$$\begin{aligned}
 v &= c \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E_0 + E_k} \right)^2} \\
 v &= 3 \cdot 10^8 \sqrt{1 - \left(\frac{0,51}{0,51 + 1} \right)^2} = 2,82 \cdot 10^8 \text{ (м/с)} = 0,28 \text{ (Гм/с)}
 \end{aligned}$$

Ответ: $v = 0,28 \text{ Гм/с}$

13. На дифракционную решетку падает нормально пучок света от газоразрядной трубки, наполненной атомарным водородом. Постоянная решетки $5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$. С какой орбиты должен перейти электрон на вторую орбиту, чтобы спектральную линию в спектре пятого порядка можно было наблюдать под углом 41° . Постоянную Ридберга принять равной $1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Дано:

Решение:

$d = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ $m = 2$ $k = 5$ $\varphi = 41^\circ$ $R' = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ $n = ?$	<p>Орбиту, с которой электрон должен перейти на вторую, можно определить из сериальной формулы:</p> $\frac{1}{\lambda} = R' \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$ <p>Выразим отсюда номер орбиты n, на которую должен перейти электрон:</p>
--	---

$$n = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{m^2} - \frac{1}{R\lambda}}}.$$

Из полученной формулы видно, что для определения n необходимо сначала найти длину волны λ . Она находится из условия максимума на дифракционной решетке

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad \text{отсюда} \quad \lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}.$$

Тогда

$$n = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{m^2} - \frac{k}{Rd \sin \varphi}}}.$$

$$n = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{4} - \frac{5}{1,1107 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot \sin 41}}} = 3$$

Ответ: $n = 3$

14. В результате реакции слияния неподвижных ядер дейтерия (заряд ядра $Z = 1$, массовое число $A = 2$) и трития ($Z = 1$, $A = 3$) образуется новое ядро и нейтрон. Определите кинетическую энергию нейтрона. Зависимостью массы от скорости пренебечь. Принять: 1 а.е.м. = 931,49 МэВ; масса атома дейтерия – 2,0141 а.е.м.; масса атома трития – 3,01605 а.е.м.; масса атома гелия – 4,00260 а.е.м.; масса нейтрона – 1,00867 а.е.м. Результат представьте в мегаэлектрон-вольтах и округлите до целого числа.

Дано:

Решение:

${}^2_1\text{H}; {}^3_1\text{H}$ $m_{\text{д}} = 2,0141 \text{ а.е.м.}$ $m_{\text{тр}} = 3,01605 \text{ а.е.м.}$ $m_{\text{г}} = 4,00260 \text{ а.е.м.}$ $m_{\text{н}} = 1,00867 \text{ а.е.м.}$	<p>Реакция слияния неподвижных ядер дейтерия и трития:</p> ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ <p>Энергия, выделяемая при слиянии ядер дейтерия и трития:</p> $Q = [m_{\text{д}} + m_{\text{тр}} - m_{\text{г}} - m_{\text{н}}] \cdot c^2.$
--	--

$$Q = [2,0141 + 3,01605 - 4,00260 - 1,00867] \cdot 931,49 = 17,6 \text{ (МэВ)}$$

Эта энергия распределяется между атомами гелия и нейтрона. Запишем закон сохранения импульса:

$$0 = m_{\text{г}} \vec{v}_{\text{г}} + m_{\text{н}} \vec{v}_{\text{н}}.$$

В скалярной форме:

$$m_{\text{г}} v_{\text{г}} = m_{\text{н}} v_{\text{н}}.$$

Возведем последнее выражение в квадрат и разделим на 2:

$$(m_{\text{г}} v_{\text{г}})^2 = (m_{\text{н}} v_{\text{н}})^2,$$

$$\frac{m_{\text{г}}^2 v_{\text{г}}^2}{2} = \frac{m_{\text{н}}^2 v_{\text{н}}^2}{2}$$

Приведем полученное выражение к виду:

$$m_{\text{г}} \left(\frac{m_{\text{г}} v_{\text{г}}^2}{2} \right) = m_{\text{н}} \left(\frac{m_{\text{н}} v_{\text{н}}^2}{2} \right). \quad m_{\text{г}} E_{\text{к.г}} = m_{\text{н}} E_{\text{к.н}}.$$

Тогда, учитывая, что $m_{\text{г}} = 4m_{\text{н}}$, получим

$$E_{\text{к.г}} = \frac{E_{\text{к.н}}}{4}. \quad Q = E_{\text{к.г}} + E_{\text{к.н}} = \frac{5}{4} E_{\text{к.н}}$$

$$E_{\text{к.н}} = \frac{4Q}{5} = \frac{4 \cdot 17,6}{5} = 14 \text{ (МэВ)}.$$

Ответ: $E_{\text{к.н}} = 14 \text{ МэВ}$

15. Электрон в атоме водорода может находиться на круговых орбитах радиусами $0,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ и $2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Во сколько различаются угловые скорости электрона на этих орбитах?

Дано:	Решение:
$r_1 = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ $r_2 = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	<p>На электрон в атоме водорода действует кулоновская сила взаимодействия между электроном и ядром атома</p>

$\frac{\omega_1}{\omega_2} = ?$	$F_K = \frac{q_{\text{я}} e }{4\pi\epsilon_0 r^2}.$
---------------------------------	---

Здесь $q_{\text{я}}$ – заряд ядра, e – заряд электрона. Сила Кулона придает электрону центростремительное ускорение

$$F = ma_{\text{ц}},$$

где

$$a_{\text{ц}} = \omega^2 r.$$

Тогда

$$\frac{q_{\text{я}}|e|}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m\omega^2 r.$$

Запишем это соотношение для двух положений электрона:

$$\frac{q_{\text{я}}|e|}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = m\omega_1^2 r_1 \quad (1);$$

$$\frac{q_{\text{я}}|e|}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} = m\omega_2^2 r_2 \quad (2)$$

Разделив уравнение (1) на (2), получим:

$$\frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{\omega_1^2 \cdot r_1}{\omega_2^2 \cdot r_2},$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \sqrt{\frac{r_2^2}{r_1^2} \cdot \frac{r_2}{r_1}} = \sqrt{\frac{r_2^3}{r_1^3}} = \sqrt{\frac{(2 \cdot 10^{-8})^3}{(0,5 \cdot 10^{-8})^3}} = 8.$$

Ответ: $\frac{\omega_1}{\omega_2} = 8$

16. На сколько увеличится масса пружины жесткостью 10 кН/м (1 кН = 10^3 Н) при ее растяжении на 3 см. Скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8$ м/с. Результат представьте в аттокилограммах (1 акг = 10^{-18} кг).

Дано:	Решение:
$k = 10 \text{ кН/м} = 10^4 \text{ Н}$ $\Delta x = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $1 \text{ акг} = 10^{-18} \text{ кг}$	<p>Энергия свободной пружины равна нулю. Когда пружину растянули, она приобрела потенциальную энергию</p> $E_{\text{пот}} = \frac{k\Delta x^2}{2}, \quad (1)$
$\Delta m = ?$	

т.е. энергия пружины изменилась. А согласно Эйнштейну, если меняется энергия, то меняется и масса.

$$\Delta E = \Delta mc^2. \quad (2)$$

Увеличение массы пружины найдем, приравняв правые части полученных уравнений (1) и (2):

$$\Delta mc^2 = \frac{k\Delta x^2}{2}.$$

Отсюда

$$\Delta m = \frac{k\Delta x^2}{2c^2} = \frac{10^4 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 9 \cdot 10^{16}} = 50 \cdot 10^{18} (\text{кг}) = 50 (\text{акг}).$$

Ответ: $m = 50$ акг

17. Какая часть атомов радиоактивного кобальта $^{58}_{27}\text{Co}$ распадается за 20 суток, если период полураспада равен 72 суткам?

Дано:	Решение:
$^{58}_{27}\text{Co}$	Запишем закон радиоактивного распада:
$t = 20$ суток	$N = N_0 e^{-\lambda t},$
$T = 72$ суток	где N_0 – число нераспавшихся атомов в начальный момент времени; N – число нераспавшихся атомов в момент времени t ;
$\frac{\Delta N}{N_0} = ?$	$\Delta N = N_0 - N$ – число распавшихся атомов.
	$\Delta N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0(1 - e^{-\lambda t}).$

Здесь λ – постоянная радиоактивного распада, равная $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$. T – период полураспада. Тогда

$$\frac{\Delta N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\frac{\ln 2}{T} \cdot t} \text{ – доля распавшихся атомов.}$$

$$\frac{\Delta N}{N_0} = 1 - e^{-\frac{\ln 2}{72} \cdot 20} = 0,175.$$

Ответ: $\frac{\Delta N}{N_0} = 0,175$

18. Какое количество воды, взятой при 0°C можно перевести в пар, если использовать все тепло, выделяющееся при образовании из протонов и нейтронов 0,2 г гелия? Принять массу протона равной $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, массу нейтрона – $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, массу ядра – $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

Молярная масса гелия $4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, удельная теплота парообразования $r = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг, удельная теплоемкость воды $c_{уд} = 4190$ Дж/(кг·К), скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Результат представьте в тоннах (т) и округлите до целого числа.

Дано:	Решение:
$t_1 = 0^\circ\text{C}, T_1 = 273 \text{ K}$ $t_2 = 100^\circ\text{C}, T_2 = 373 \text{ K}$ $m_{\text{He}} = 0,2 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$ $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $r = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ $c_{уд} = 4190 \text{ Дж/(кг·К)}$ $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$	<p>Энергия, выделяющаяся при образовании из протонов и нейтронов гелия, идет на нагревание и парообразование воды</p> $E = Q_1 + Q_2, \quad (1)$ <p>где $Q_1 = c_{уд} m_{\text{в}} \Delta T$ – энергия, необходимая для нагревания воды от нуля градусов Цельсия до температуры кипения; $Q_2 = r \cdot m_{\text{в}}$ – энергия, необходимая для испарения; $E = \Delta m_{\text{He}} c^2 \cdot N$ – энергия, выделяющаяся при образовании из протонов и нейтронов гелия.</p>
$m_{\text{в}} = ?$	

Здесь N – число частиц в 0,2 г гелия, которое можно определить из соотношения:

$$N = \frac{m_{\text{He}}}{M_{\text{He}}} N_A.$$

Тогда уравнение (1) перепишем в виде:

$$\Delta m_{\text{He}} c^2 \frac{m_{\text{He}}}{M_{\text{He}}} N_A = c_{уд} m_{\text{в}} (T_2 - T_1) + r m_{\text{в}},$$

$$\Delta m_{\text{He}} c^2 \frac{m_{\text{He}}}{M_{\text{He}}} N_A = c_{уд} m_{\text{в}} (T_2 - T_1) + r m_{\text{в}},$$

где Δm_{He} – дефект массы ядра гелия

$$\Delta m_{\text{He}} = z m_p + n m_n - m_{\text{я}}.$$

Здесь $z = 2$ – число протонов, $n = 2$ – число нейтронов.

$$(z m_p + n m_n - m_{\text{я}}) \cdot c^2 \frac{m_{\text{He}}}{M_{\text{He}}} N_A = m_{\text{в}} [c_{уд} (T_{\text{к}} - T_1) + r]$$

$$m_{\text{в}} = \frac{(z m_p + n m_n - m_{\text{я}}) c^2 \frac{m_{\text{He}}}{M_{\text{He}}} N_A}{[c_{уд} (T_{\text{к}} - T_1) + r]}.$$

$$m_B = \frac{(2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} + 2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} - m_{\gamma}) \cdot 9 \cdot 10^{16} \cdot \frac{2 \cdot 10^4}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{[4200 \cdot (373 - 273) + r]} = 48 \cdot 10^3 \text{ кг} = 48 \text{ (т)}.$$

Ответ: $m_B = 48 \text{ т}$

19. Электрон, ускоренный электрическим полем, приобрел скорость, при которой его масса стала равна удвоенной массе покоя. Чему равна разность потенциалов, пройденная электроном? Масса покоя электрона $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, заряд электрона $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, скорость света в вакууме $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Результат представьте в мегавольтах ($1 \text{ МВ} = 10^6 \text{ В}$) и округлите до десятых.

Дано:	Решение:
$v_0 = 0$ $m = 2m_0$ $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $ e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $U = ?$	<p>Работа электрического поля при прохождении электроном разности потенциалов U равна</p> $A = e U. \quad (1)$ <p>Работа затрачивается на изменение кинетической энергии частицы.</p>

$$A = E_k.$$

Кинетическая энергия релятивистского электрона:

$$E_k = E - E_0.$$

$E = mc^2$ – полная энергия электрона. $E_0 = m_0c^2$ – энергия покоя. m_0 – масса покоя.

$$A = E_k = mc^2 - m_0c^2 = 2m_0c^2 - m_0c^2 = m_0c^2; \quad (2)$$

Приравняв правые части выражений (1) и (2), получим

$$|e|U = m_0c^2.$$

Отсюда разность потенциалов, пройденная электроном равна

$$U = \frac{m_0c^2}{|e|}. \quad U = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,51 \text{ (МВ)}.$$

Ответ: $U = 0,5 \text{ МВ}$

20. Сколько граммов урана с атомной массой $0,238 \text{ кг/моль}$ расщепляется за сутки работы атомной электростанции, тепловая мощность которой 10^6 Вт ? Дефект массы при делении ядра урана равен $4 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$. КПД электростанции составляет 20% .

Дано:	Решение:
-------	----------

$M = 0,238 \text{ кг/моль}$ $t = 1 \text{ сут} = 86400 \text{ с}$ $P = 10^6 \text{ Вт}$ $\Delta m = 4 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$ $\eta = 20\% = 0,2$	<p>Коэффициент полезного действия</p> $\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_3},$ <p>где $A_{\text{п}} = Pt$ – полезная работа, $A_3 = E$ – затраченная работа, выделяемой при расщеплении урана.</p>
$m = ?$	

$$E = (\Delta mc^2)N,$$

где N - число ядер урана в массе m . N можно найти через количество вещества.

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}.$$

Отсюда

$$N = \frac{m}{M} N_A.$$

Тогда

$$\eta = \frac{PtM \cdot 100\%}{(\Delta mc^2)mN_A}.$$

$$m = \frac{PtM}{\Delta mc^2 \eta N_A} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 4,7 \text{ г}.$$

Ответ: $m = 4,7 \text{ г}$

Чему равна масса фотона рентгеновского излучения с длиной волны $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$?

Дано:	Решение:
$\lambda = 2,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$	<p>Энергия фотона:</p> $\varepsilon = h \frac{c}{\lambda}.$
$m = ?$	<p>Энергия и масса фотона связаны соотношением:</p> $\varepsilon = mc^2.$

Тогда

$$mc^2 = h \frac{c}{\lambda}.$$

$$m = \frac{h}{c\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{3 \cdot 10^8 \cdot 2,5 \cdot 10^{-10}} = 8,8 \cdot 10^{-31} (\text{кг}).$$

Ответ: $m = 8,8 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$

21. Определите возраст минерала, в котором на один атом урана $^{238}_{92}\text{U}$ приходится один атом свинца. Считать, что в момент образования минерала, свинец в минерале отсутствовал. Свинец образовался только в результате радиоактивного распада урана. Период полураспада урана $^{238}_{92}\text{U}$ равен $4,5 \cdot 10^9$ лет. Полученный дайте ответ в годах.

Дано:	Решение:
$^{238}_{92}\text{U}$	Закон радиоактивного распада
$T = 4,5 \cdot 10^9$ лет	$N = N_0 e^{-\lambda t}$.
$t = ?$	Здесь N – число нераспавшихся частиц в момент времени t , N_0 – число нераспавшихся частиц в начальный момент времени, e – основание натурального логарифма, λ – постоянная радиоактивного распада.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}.$$

$$N = N_0 e^{\frac{\ln 2}{T} \cdot t}.$$

Из полученного уравнения выразим время t .

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\ln 2}{T} t}, \quad \frac{N_0}{N} = e^{\frac{\ln 2}{T} t}.$$

По условию задачи на один атом урана приходится один атом свинца, следовательно,

$$N = \frac{N_0}{2}.$$

Тогда

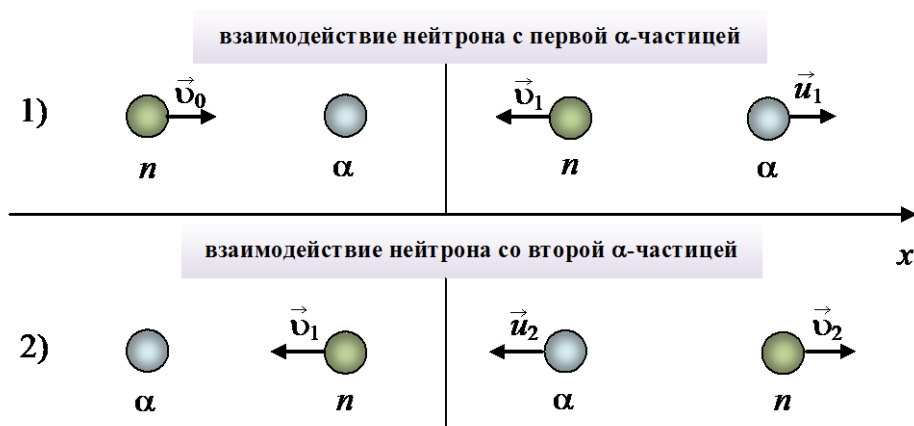
$$e^{\frac{\ln 2}{T} t} = 2. \quad \ln e^{\frac{\ln 2}{T} t} = \ln 2. \quad \frac{\ln 2}{T} t = \ln 2.$$

Отсюда

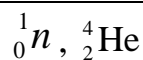
$$t = T = 4,5 \cdot 10^9 \text{ лет.}$$

Ответ: $t = 4,5 \cdot 10^9$ лет

22. Нейтрон испытывает упругое соударение с ядром ^4_2He и затем, отразившись, упруго соударяется с другим ядром ^4_2He . Ядра гелия до соударения были неподвижны. Определите, во сколько раз изменится кинетическая энергия нейтрона после двух соударений. Принять массы нейтрона и протона одинаковыми. Ответ округлите до десятых.



Дано:



$$\frac{E_0}{E_2} = ?$$

Решение:

Представим схему взаимодействия нейтрона с ядром гелия (α -частицей).

1) Т.к. нейтрон испытывает упругое соударение с ядром ${}_2^4\text{He}$, то для такого взаимодействия можно записать законы сохранения импульса (в проекции на ось Ox) и механической энергии:

$$m_n v_0 = -m_n v_1 + m_\alpha u_1$$

$$m_n v_0^2 = m_n v_1^2 + m_\alpha u_1^2.$$

Все члены уравнений с массой нейтрона перенесем влево, с массой протона – вправо и поделим второе уравнение на первое. Получим соотношение между скоростями:

$$v_0 - v_1 = u_1.$$

Полученное выражение для скорости u_1 подставим в закон сохранения импульса.

$$m_n v_0 = -m_n v_1 + m_\alpha v_0 - m_\alpha v_1$$

$$v_1(m_\alpha + m_n) = v_0(m_\alpha - m_n)$$

$$v_1 = v_0 \frac{m_\alpha - m_n}{m_\alpha + m_n}.$$

2) При втором соударении законы сохранения записываем в виде:

$$m_n v_1 = -m_n v_2 + m_\alpha u_2$$

$$m_n v_1^2 = m_n v_2^2 + m_\alpha u_2^2.$$

Проведем аналогичные преобразования и найдем скорость v_2 :

$$v_2 = v_1 \frac{m_\alpha - m_n}{m_\alpha + m_n}.$$

С учетом скорости v_1 имеем:

$$v_2 = v_0 \left(\frac{m_\alpha - m_n}{m_\alpha + m_n} \right)^2.$$

Тогда

$$\frac{E_0}{E_2} = \frac{m_n v_0^2}{2} \cdot \frac{2}{m_n v_2^2} = \left(\frac{v_0}{v_2} \right)^2.$$

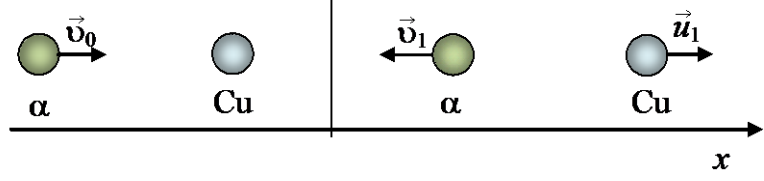
$$\frac{E_0}{E_2} = \left(\frac{v_0}{v_2} \right)^2 = \left(\frac{m_\alpha + m_n}{m_\alpha - m_n} \right)^4.$$

Т.к. $m_\alpha = 4m_n$, то

$$\frac{E_0}{E_2} = \left(\frac{4m_n + m_n}{4m_n - m_n} \right)^4 = \left(\frac{5}{3} \right)^4 = 7,7 \quad \text{или} \quad \frac{E_2}{E_0} = \frac{1}{7,7} = 0,1.$$

Ответ: $\frac{E_0}{E_2} = 7,7; \quad \frac{E_2}{E_0} = 0,1$

23. Резерфорд наблюдал, что при лобовом столкновении с ядрами атомов меди α - частица с энергией 5 МэВ отлетает назад с энергией 3,9 МэВ. Каково отношение масс ядра меди и α - частицы? Ответ округлите до целого числа.

Дано:	Решение:
$E_{\alpha 1} = 5 \text{ МэВ}$ $E_{\alpha 2} = 3,9 \text{ МэВ}$	 <p>При упругом взаимодействии закон сохранения энергии запишем в виде:</p>
$\frac{m_{\text{Cu}}}{m_\alpha} = ?$	

$$E_{\alpha 1} = E_{\alpha 2} + E_{\text{Cu}}.$$

Отсюда определим энергию, которую получил атом меди.

$$E_{\text{Cu}} = E_{\alpha 1} - E_{\alpha 2} = 5 - 3,9 = 1,1 \text{ (МэВ)}.$$

Кинетическая энергия частицы может быть определена по формуле:

$$E = \frac{mv^2}{2}.$$

Тогда скорости частиц будут равны:

$$v_{\alpha 1} = \sqrt{\frac{2E_{\alpha 1}}{m_{\alpha}}}; \quad v_{\alpha 2} = \sqrt{\frac{2E_{\alpha 2}}{m_{\alpha}}}; \quad v_{Cu} = \sqrt{\frac{2E_{Cu}}{m_{Cu}}}.$$

Подставим выражения для скоростей в закон сохранения импульса, записанный в проекции на ось 0x:

$$m_{\alpha}v_{\alpha 1} = -m_{\alpha}v_{\alpha 2} + m_{Cu}v_{Cu}.$$

$$m_{\alpha} \sqrt{\frac{2E_{\alpha 1}}{m_{\alpha}}} = -m_{\alpha} \sqrt{\frac{2E_{\alpha 2}}{m_{\alpha}}} + m_{Cu} \sqrt{\frac{2E_{Cu}}{m_{Cu}}}.$$

Массы частиц занесем под корень

$$\sqrt{2m_{\alpha}E_{\alpha 1}} = -\sqrt{2m_{\alpha}E_{\alpha 2}} + \sqrt{2m_{Cu}E_{Cu}}.$$

Подставим численные значения энергий и решим полученное уравнение. (Энергии можно брать в МэВ, т.к. размерность энергий сократится и только упростит расчеты).

$$\sqrt{2m_{\alpha} \cdot 5} + \sqrt{2m_{\alpha} \cdot 3,9} = \sqrt{2m_{Cu} \cdot 1,1}, \quad \sqrt{m_{\alpha}}(\sqrt{10} + \sqrt{7,8}) = \sqrt{m_{Cu}} \sqrt{2,2},$$

$$m_{\alpha}(\sqrt{10} + \sqrt{7,8})^2 = m_{Cu} \cdot 2,2, \quad \frac{m_{Cu}}{m_{\alpha}} = \frac{(\sqrt{10} + \sqrt{7,8})^2}{2,2} \approx 16.$$

Ответ: $\frac{m_{Cu}}{m_{\alpha}} = 16$

24. Покоившееся ядро радона $^{222}_{86}\text{Rn}$ выбросило α -частицу (ядро ^4_2He) со скоростью 16 Мм/с. Какую скорость получило оно вследствие отдачи? Массы протона и нейтрона считать одинаковыми и равными $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Ответ представьте в километрах за секунду и округлите до целого числа.

Дано:	Решение:
$^{222}_{86}\text{Rn}, \ ^4_2\text{He}$ $v_{\alpha} = 16 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ $m_p = m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$	$^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow ^4_2\alpha + ^{218}_{84}\text{X}.$ Ядро радона покоилось, следовательно, α -частица и образовавшееся ядро полетят в разные стороны. Тогда закон сохранения импульса в
$v_x = ?$	скалярной форме запишем в виде

$$m_{\alpha}v_{\alpha} = m_x v_x.$$

Отсюда выразим скорость v_x .

$$v_x = \frac{m_{\alpha} v_{\alpha}}{m_x}.$$

Массу частицы найдем через молярную массу.

$$m = \frac{M}{N_A}.$$

$$v_x = v_\alpha \frac{M_\alpha N_A}{N_A M_x} = v_\alpha \frac{M_\alpha}{M_x}. \quad v_x = 16 \cdot 10^6 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{218 \cdot 10^{-3}} = 294 \cdot 10^3 \text{ (м/с)}.$$

Ответ: $v_2 = 294 \text{ км/с}$

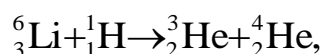
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. Космическая частица движется со скоростью $v = 0,95 c$. Какой промежуток времени t соответствует 1 мкс собственного времени частицы? [3,2]
2. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составит 25 %? [$1,98 \cdot 10^8$]
3. Фотонная ракета движется относительно Земли со скоростью $v = 0,6 c$. Во сколько раз замедлится ход времени в ракете с точки зрения земного наблюдателя? [1,25]
4. Ионизированный атом, вылетев из ускорителя со скоростью $v = 0,8 c$, испустил фотон в направлении своего движения. Определите скорость фотона относительно ускорителя. [c]
5. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость $v = 0,4 c$. В момент вылета из ускорителя ядро выбросило из ускорителя в направлении своего движения β -частицу со скоростью $u = 0,75 c$ относительно ускорителя. Найдите скорость частицы относительно ядра. [0,5 c]
6. Скорость частицы $v = 30 \text{ Мм/с}$. На сколько процентов релятивистская масса движущейся частицы больше массы покоящейся частицы? [0,5]
7. С какой скоростью должен лететь протон ($m_{0p} = 1 \text{ а.е.м.}$), чтобы его релятивистская масса была равна массе покоя α -частицы ($m_{0\alpha} = 4 \text{ а.е.м.}$)? [0,97 c]
8. Во сколько раз изменится плотность тела при его движении со скоростью $v = 0,8 c$? [в 2,8 раза]

9. При движении с некоторой скоростью продольные размеры тела уменьшились в $n = 2$ раза. Во сколько раз изменилась масса тела? [в 2,8 раза]
10. С единицы площади поверхности Солнца каждую секунду испускается энергия $W = 74 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. На сколько уменьшается масса Солнца за год? [$1,57 \cdot 10^{17}$]
11. Объем воды в мировом океане $V \approx 1,3 \cdot 10^9 \text{ км}^3$. На сколько возрастет масса воды в океане, если температура воды повысится на 1°C ? Плотность воды в океане $\rho = 1,03 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. [$6,57 \cdot 10^7$]
12. До какой кинетической энергии (в МэВ) можно ускорить протоны в циклотроне, если относительное увеличение массы частицы не должно превышать $\eta = 5 \%$. [47]
13. Релятивистская масса движущегося протона в $k = 1,5$ раза больше его массы покоя. Определите полную и кинетическую энергии этого протона. [$1,41 \cdot 10^3$; $4,7 \cdot 10^2$]
14. Максимальная скорость движения электронов в катодной трубке $v = 0,04 c$. Найдите разность потенциалов между электродами. [$5,07 \cdot 10^6$]
15. Электрон, кинетическая энергия которого $E_k = 1,5 \text{ МэВ}$, движется в однородном магнитном поле по окружности. индукция поля $B = 0,02 \text{ Тл}$. Определите период его вращения. Энергия покоя электрона $E_0 = 0,5 \text{ МэВ}$. [$7,14 \cdot 10^{-9}$]
16. Найдите массу фотона, импульс которого равен импульсу молекулы водорода при температуре $t = 20^\circ\text{C}$. Скорость молекулы равна среднеквадратичной скорости. [$2,1 \cdot 10^{-32}$]
17. Какова длина волны фотона, энергия которого равна средней кинетической энергии молекулы идеального одноатомного газа при температуре $T = 3000 \text{ К}$? [$3,2 \cdot 10^{-6}$]
18. Какой процент от массы нейтрального атома урана ${}^{238}_{92}\text{U}$ составляет масса его электронной оболочки? Относительную атомную массу урана принять равной его массовому числу. [0,02]
19. На какое наименьшее расстояние α - частица, имеющая скорость $v = 1,9 \cdot 10^7 \text{ м}/\text{с}$, может приблизиться к неподвижному ядру золота, двигаясь по прямой, проходящей через центр ядра? [$3,0 \cdot 10^{-14}$]

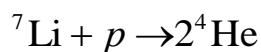
20. Определите частоту обращения электрона вокруг ядра атома водорода при движении по второй боровской орбите. [$8 \cdot 10^{14}$]
21. Во сколько раз отличаются напряженности E электрического поля на второй и третьей боровской орбитах атома водорода? Найдите эти напряженности. [5 ; $10,4 \cdot 10^{10}$; $1,2 \cdot 10^{10}$]
22. Определите силу тока, обусловленную движением электрона по первой боровской орбите атома водорода. [$1,05 \cdot 10^{-3}$]
23. Зная постоянную Ридберга $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$, подсчитайте максимальную энергию (в эВ), которую может иметь фотон, излучаемый атомом водорода. [$13,56$]
24. Вычислите энергию (в эВ), необходимую для возбуждения атома водорода. [$10,2$]
25. Найдите энергии (в эВ), соответствующие первым трем линиям серии Бальмера атома водорода. [$1,88$; $2,54$; $2,85$]
26. Атом водорода, находящийся в основном состоянии, переводят в возбужденное состояние. При переходе из возбужденного состояния в основное в спектре атома последовательно наблюдают два кванта с длинами волн $\lambda_1 = 1876 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 103 \text{ нм}$. На каком энергетическом уровне находился атом в возбужденном состоянии? [4]
27. Протон, движущийся со скоростью $v_0 = 4,6 \cdot 10^4 \text{ м/с}$, сталкивается с неподвижным свободным атомом гелия. После удара протон отскакивает назад со скоростью $v = 0,5 v_0$, а атом переходит в возбужденное состояние. Вычислите длину волны света, который излучает атом гелия, возвращаясь в первоначальное состояние. [$5,995 \cdot 10^{-7}$]
28. Фотон с длиной волны $\lambda = 800 \text{ Å}$ выбивает электрон из атома водорода, находящегося в основном состоянии. Вдали от атома электрон влетает в однородное электрическое поле, вектор напряженности которого $E = 100 \text{ В/м}$ совпадает с вектором скорости электрона. На какое максимальное расстояние (в см) от границы поля может удалиться электрон? [$1,9$]
29. Во сколько раз радиус ядра атома урана ^{238}U больше радиуса ядра атома водорода ^1H ? [$6,2$]
30. Какую часть от объема атома кобальта ^{59}Co составляет объем его ядра? Плотность кобальта $\rho = 4500 \text{ кг/м}^3$. [$2,5 \cdot 10^{-14}$]

31. Ядро висмута ^{212}Bi испытывает или α - распад, превращаясь в изотоп таллия Tl, или β - распад, образуя изотоп полония Po. Напишите соответствующие реакции.
32. За время t_1 начальное количество некоторого радиоактивного изотопа уменьшилось в $k_1 = 3$ раза. Во сколько раз оно уменьшится за время $t_2 = 2t_1$? [9]
33. Оцените количество тепла, которое выделяет полоний ^{210}Po массой $m = 1$ мг за время, равное периоду полураспада этих ядер, если испускаемые α - частицы имеют кинетическую энергию $W = 5,3$ МэВ? [1,2]
34. Какую минимальную работу (в МэВ) надо совершить, чтобы «расташить» ядро кальция $^{40}_{20}\text{Ca}$ на отдельные протоны и нейтроны? [342,1]
35. Какая энергия (в МэВ) могла бы выделиться при слиянии двух α - частиц и нейтрона в ядро атома бериллия ^9_4Be ? Удельные энергии связи: $\varepsilon_{\text{Be}} = 6,46$ МэВ/н, $\varepsilon_{\alpha} = 7,07$ МэВ/н. [1,58]
36. Какое количество теплоты выделится в ходе реакции



в результате которой образуется $m = 1$ кг ^4_2He ? Во сколько раз это количество теплоты больше энергии, выделяемой при сгорании нефти массой $m = 1$ кг? Считать известными массы атомов. $[9,86 \cdot 10^{13}; 2,14 \cdot 10^6]$

37. Подводная лодка «Наутилус» (США) имеет мощность топливных установок $P = 14,7$ МВт, КПД $\eta = 25$ %. Топливом служит обогащенный уран $m_0 = 1$ кг, при делении ядер которого выделяется энергия $E = 6,9 \cdot 10^{13}$ Дж. Определите запас горючего, необходимого для годового плавания лодки. [26,9]
38. Какую кинетическую энергию (в МэВ) необходимо сообщить протону, чтобы он мог расщепить покоящееся ядро тяжелого водорода ^2_1H ? [3,34]
39. Какую массу воды можно $m_{\text{в}}$ нагреть от 0°C до кипения, если использовать всю энергию, выделившуюся в ходе реакции:



при полном разложении $m = 1$ мг лития? Удельная теплоемкость воды $c = 4,18 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), удельные энергии связи ядер лития $\epsilon_{\text{Li}} = 5,61$ МэВ/н, $\epsilon_{\text{He}} = 7,07$ МэВ/н. [572]

40. Свободное неподвижное ядро иридия ^{192}Ir с энергией возбуждения $E_{\text{в}} = 129$ кэВ перешло в основное состояние, испустив γ - квант. Вычислите относительное изменение энергии γ - кванта, возникающее в результате отдачи ядра. [$3,6 \cdot 10^{-7}$]

Учебное издание

КУЗНЕЦОВ Сергей Иванович
МЕЛЬНИКОВА Тамара Николаевна,
СТЕПАНОВА Екатерина Николаевна

**Сборник задач по физике
с решениями
Специальная теория относительности.
Атомная и ядерная физика.**

Научный редактор
доктор педагогических наук, профессор
В.В. Ларионов

Редактор *Н.Т. Синельникова*

Верстка *Л.А. Егорова*


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати Формат 60×84/16.
Бумага «Снегурочка». Печать Хегох.
Усл. печ. л. 10,46. Уч.-изд. л. 9,47.
Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru