

Домашняя работа по физике за 11 класс

к учебнику «Физика: Оптика. Тепловые явления.
Строение и свойства вещества: Учеб. для 11 кл.
общеобразоват. учреждений / С.В. Громов; под ред.
Н.В. Шароновой. — 3-е изд. — М.: Просвещение, 2002 г.»

ОПТИКА

Глава 1. ВОЛНОВАЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

§ 1. Поляризация цвета

1. Сначала ученые предполагали, что свет имеет волновую природу, Ньютон считал, что свет имеет корпускулярную природу.

В начале XIX в. свет считали распространяющимися в эфире упругими волнами. В 60-е гг. Максвелл обнаружил, что свет представляет собой электромагнитные волны.

2. Свет распространяется между двумя точками по пути, которому соответствует наименьшее время распространения.

3. В естественном свете колебания вектора напряженности происходят по всем направлениям, которые перпендикулярны направлению распространения света, а в линейно-поляризованном свете вектор напряженности направлен параллельно оси кристалла.

4. Исследуя явление поляризации, ученый О.Ж. Френель выяснил, что свет – это поперечные, а не продольные волны.

§ 2. Отражение света

1. Плоскость падения – это плоскость, в которой лежат волновые векторы падающей и отраженных волн.

2. Это ясно из соображений симметрии, так как нельзя отдать предпочтение ни одному из выходов («на нас» или «от нас»).

3. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Угол отражения равен углу падения.

4. а) проекции волновых векторов на ось x равны:

$$\left[k_x = k'_x, k_x = k \sin \alpha = \frac{\omega}{v} \sin \alpha, k'_x = k \sin \beta = \frac{\omega}{v_2} \right].$$

Поэтому

$$\sin \alpha = \sin \alpha'.$$

б) рассмотрим падение волны на плоскую границу раздела. По требованию минимальности времени распространения угол падения

будет равен углу отражения, так как любой другой путь требует большего времени для прохождения.

5. Изображение, даваемое плоским зеркалом, всегда прямое, мнимое, равное самому предмету по размеру и находящееся на таком же расстоянии за зеркалом, на котором предмет находится перед ним.

§ 3. Преломление света

1. Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть постоянная величина для двух данных сред, она равна отношению скоростей света в этих средах:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Доказательство:

$$k_x = k_x'', k_x = k \sin \alpha = \frac{\omega}{v_1} \sin \alpha.$$

$$k_x'' = k \sin \beta = \frac{\omega}{v_2} \sin \beta.$$

$$\frac{\omega}{v_1} \sin \alpha = \frac{\omega}{v_2} \sin \beta \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Что и требовалось доказать.

2. Нет, не может.

3. Относительный показатель преломления – это отношение синуса угла падения к синусу угла преломления.

4. Абсолютный показатель преломления равен отношению скорости света в вакууме к скорости света в данной среде.

5. Оптически более плотной называют ту среду, у которой показатель преломления больше, и в которой скорость света меньше.

6.

$$n_1 = \frac{c}{v_1}; n_2 = \frac{c}{v_2}; \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}; \frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Что и требовалось доказать.

7. Полное внутреннее отражение наблюдается при угле падения $\alpha > \alpha_0$, где

$$\alpha_0 = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right).$$

Его открыл И. Кеплер.

8. Время, которое необходимо свету для прохождения пути:

$$t = \frac{\sqrt{x^2 + h_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(a-x)^2 + h_1^2}}{v_2}.$$

Найдем производную и приравняем ее к 0:

$$t' = \frac{1}{v_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{x^2 + h_1^2}} - \frac{1}{v_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(a-x)^2 + h_2^2}};$$

$$t' = 0 : \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{(a-x)^2 + h_2^2}}{\sqrt{x^2 + h_1^2}} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}.$$

9. Закон преломления света имеет разный вид в зависимости от того, какой мы считаем природу света. В связи с этим спор о природе света и правильном законе преломления приобрел наиболее острый характер.

§ 4. Скорость света

1. Потому что его опыт был очень неточным.

2. Ремер наблюдал затмения спутника Юпитера Ио, который во время затмения оказывался в тени своей планеты и был невидим. Через некоторое время он вновь появлялся на небе. Так как Земля и Юпитер все время движутся, то расстояние, с которого велось наблюдение, все время менялось. Период обращения спутника вокруг своей планеты можно найти по формуле $T = t / N$, где N и t - число затмений и время, за которое они произошли, соответственно.

Скорость света Ремер рассчитывал по формуле

$$c = \frac{\Delta l}{\Delta t - nT} = \frac{\Delta l}{\tau},$$

где Δl — величина, на которую изменилось расстояние от Земли до Юпитера, n — количество оборотов, которое совершит спутник Юпитера, τ — время запаздываний появления Ио.

3. Ж. Фуко обнаружил, что скорость света в разных средах различается. Этот результат рассматривался физиками того времени как подтверждение волновой (а не корпускулярной) теории света.

4. Свою установку Майкельсон разместил на двух горных вершинах. Зеркалом служила восьмигранная стальная призма. После отражения от нее луч попадал на систему зеркал и возвращался обратно. Время распространения луча t должно составлять хотя бы $1/8$ от периода вращения призмы.

$$\frac{2l}{c} = \frac{T}{8}; \Rightarrow c = \frac{16l}{T} = \frac{16}{v},$$

где v — это частота, с которой должна вращаться призма.

5. Скорость света в вакууме равна 299 792 458 м/с.

§ 5. Дисперсия света. Цвета тел

1. Частота световой волны определяет свет, видимый глазом.

2. Дисперсией называют зависимость показателя преломления и скорости света от его частоты (или цвета).

3. Солнечный свет имеет сложный состав, в нем содержатся лучи всех цветов, а при прохождении через призму они преломляются под разными углами, и свет раскладывается в спектр.

4. Монохроматическим называют электромагнитное излучение определенной постоянной частоты.

5. Белый цвет снега объясняется его значительным коэффициентом отражения, черный цвет сажи — тем, что она поглощает почти весь падающий на нее свет. Зеленые листья поглощают весь свет, кроме зеленого, а красные стекла пропускают только красные лучи.

6. Если на красный лист бумаги посмотреть через синее стекло, он будет пурпурного цвета.

7. Да, потому что при переходе из одной среды в другую может изменяться длина волны, а, значит, и цвет излучения.

8. Потому что это красный, синий и зеленый — взаимно независимые цвета, в результате их смешения можно получить практически любой другой хроматический цвет.

§ 6. Спектральный анализ

1. Спектроскоп изобрел Йозеф Фраунгофер.

2. Спектрограф состоит из призмы, коллиматора и матового стекла (или фотопластинки). На одном конце коллиматора находится собирающая линза, на другом — ширма с щелью, которая нахо-

дится в фокусе этой линзы. Свет, который падает на ширму параллельным пучком, разлагается призмой в спектр. Он фиксируется на фотопластинке с помощью другой линзы.

3. Спектром излучения называют совокупность длин волн или частот, которые содержатся в излучении какого-нибудь вещества.

4. Линейчатый спектр дают вещества, которые находятся в атомарном газообразном состоянии, полосатый спектр — газы в молекулярном состоянии, а непрерывный (или сплошной) — плотные газы, твердые и жидкие тела, высокотемпературная плазма.

5. Спектр поглощения — это совокупность частот или длин волн, которые поглощаются данным веществом.

6. Спектральным анализом называют метод определения по спектру вещества его химического состава. Он основан на некоторых спектральных закономерностях:

а) атомы определенного химического элемента излучают волны определенного набора частот;

б) атомы данного химического элемента поглощают волны тех частот, которые сами могут излучать.

7. Высокой чувствительностью, простотой и возможностью определять химический состав отдельных тел.

8. Потому, что он сделал большой шаг вперед в развитии науки, в частности в области изучения спектров излучения и поглощения.

§ 7. Эффект Доплера

1. Эффект Доплера заключается в изменении частоты принимаемых волн при движении источника и приемника.

2. Частота принимаемых волн уменьшается при удалении источника и увеличивается при его приближении.

3. Высота звука, воспринимаемая пассажиром на станции, возрастает.

4. Воспользуемся приведенными формулами:

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 + v_x / c} \cdot \frac{\Delta\tau}{\Delta t} = \frac{\nu_0}{1 + v_x / c} \cdot \frac{\Delta t \cdot \sqrt{1 - v^2 / c^2}}{\Delta t} = \frac{\nu_0 \cdot \sqrt{1 - v^2 / c^2}}{1 + v_x / c}.$$

5. Да, когда источник света перпендикулярен к лучу зрения. Впервые этот эффект наблюдали в 1938 году Х. Айвс и Г. Стилуэл.

§ 8. Интерференция света (I)

1. Интерференцией света называют явление сложения двух или нескольких световых волн, при которых в одних точках пространства происходит ослабление интенсивности света, а в других — усиление.

2. Интенсивность световых волн пропорциональна среднему значению квадрата напряженности электрического поля в волне. Когда в данную точку пространства приходят две световые волны, они создают там поле, напряженность которого определяется по принципу суперпозиции. Если волны приходят в эту точку в одной фазе, то напряженность в этой точке возрастет, а если в противофазе — то уменьшится.

3. Интенсивность света будет максимальной в тех точках, в которых разность фаз равна нулю или четному числу π , и минимальна там, где разность фаз равна нечетному числу π .

4. Когерентными называют волны, разность фаз которых не зависит от времени.

5. Потому что для устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы разность фаз складывающихся световых волн не менялась с течением времени, то есть чтобы они были когерентными.

6. Они являются когерентными, если одинаковы их частоты.

7. Геометрическая разность хода двух волн — это разность расстояний от источников волн до данной точки.

8. Для того чтобы две волны давали максимум, необходимо, чтобы на их разности хода укладывалось целое число длин волн, а для минимума — нечетное число полуволн.

§ 9. Интерференция света (II)

1. Солнечный свет падал на экран с узкой щелью, а затем на экран с двумя щелями. Если поместить третий экран в область перекрытия световых волн от двух щелей, то на нем появятся интерференционные полосы.

2. Для красных лучей $760 \text{ нм} < \lambda < 620 \text{ нм} : 4 \cdot 10^{14} \text{ Гц} < \nu < 4,8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.
Для фиолетовых лучей $450 \text{ нм} < \lambda < 380 \text{ нм} : 6,7 \cdot 10^{14} \text{ Гц} < \nu < 8 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

3. В тонких пленках складываются световые волны, отраженные от передней и задней поверхностей пленки. Но у волн разной частоты максимумы наблюдаются в разных местах, это придает пленке радужную окраску.

4. Между стеклами линзы возникает тонкая прослойка воздуха, поэтому темное место, в котором соприкасаются линза с пластинкой, будет окружено цветными кольцами.

5. Просветление оптики — это уменьшение коэффициента отражения поверхностей линз оптических приборов. Для этого на них наносится одна или несколько пленок.

6. Потому что световые волны от обычных источников не являются когерентными.

7. В опытах Бийе линзу разрезали по диаметру, ее половинки раздвигали на некоторое расстояние, а этот промежуток закрывали непрозрачным зеркалом. От точечного источника образовывалось два изображения (оба действительные). Расходящиеся от них волны в области их перекрытия создавали интерференционную картину.

В опытах Ллойда одна часть волнового фронта от источника падала непосредственно на экран, а другая – после отражения от зеркала. В области пересечения фронтов происходила интерференция.

§ 10. Дифракция света

1. Дифракция света – это огибание световыми волнами непрозрачных тел и проникновение света в область геометрической тени.

2. Условие наблюдения дифракции:

$$l \geq \frac{D^2}{\lambda}.$$

3.

$$l \geq \frac{D^2}{\lambda}.$$

$$a) l \geq \frac{(10^9 \text{ нм})^2}{500 \text{ нм}} = 2 \cdot 10^{15} \text{ нм};$$

$$б) l \geq \frac{(0,5 \cdot 10^6 \text{ нм})^2}{500 \text{ нм}} = 5 \cdot 10^8 \text{ нм}.$$

4. Дифракционная картина – это результат интерференции вторичных волн, которые возникают в каждой точке поверхности, достигнутой данной световой волной к какому-либо моменту.

5. Для измерения длины волны, работы в различных областях спектра, для разложения электромагнитного излучения в спектр.

6. Разность хода волн:

$$\Delta r = d \sin \varphi; \quad \Delta \varphi = 2\pi n; \quad 2\pi n = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi; \quad d \sin \varphi = n\lambda.$$

7. Составные света в дифракционном и призматическом спектрах располагаются различно. В частности, красные лучи, имеющие большую длину волны, чем фиолетовые, отклоняются дифракционной решеткой сильнее. Призма же разлагает лучи в спектр по значениям показателя преломления. Следовательно, красные лучи, имеющие меньший показатель преломления, чем фиолетовые, отклоняются призмой слабее.

§ 11. Геометрическая оптика. Линзы

1. Геометрическая оптика – это раздел оптики, в котором свет рассматривается как совокупность отдельных и независимых друг от друга световых лучей.

2. Закон прямолинейного распространения света, закон преломления и закон отражения света.

3. Световой луч – это узкий световой пучок, который с помощью узкой диафрагмы можно выделить из светового потока.

4. Когда длина световой волны стремится к нулю.

5. Вогнутые и выпуклые; рассеивающие и собирающие; тонкие.

6. а) собирающая; б) рассеивающая; в) рассеивающая; г) рассеивающая.

7. Параксиальные лучи – это лучи, высоты которых, если отсчитывать их от главной оптической оси линзы, намного меньше радиусов кривизны ее поверхностей.

8. 1) Лучи, которые падают на линзу параллельно ее главной оптической оси после преломления проходят через главный фокус линзы (сами лучи либо их продолжения в обратную сторону, если линза рассеивающая)

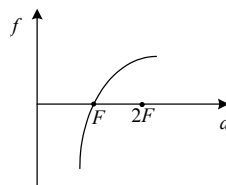
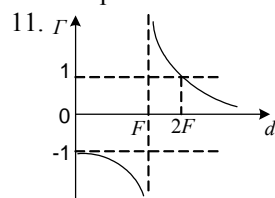
2) Лучи, которые падают на линзу параллельно ее побочной оптической оси после преломления проходят через ее побочный фокус (сами лучи либо их продолжения в обратную сторону, если линза рассеивающая).

3) Все лучи, которые вышли из какой – либо точки пространства после преломления в линзе сами или своими продолжениями в обратную сторону вновь пересекаются в одной точке.

9. По формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{|f|} = -\frac{1}{|F|}.$$

10. а) действительное, уменьшенное, перевернутое; б) действительное, равное предмету, перевернутое; в) действительное, увеличенное, перевернутое; г) изображение отсутствует; д) мнимое, увеличенное прямое.



12. Оптическая сила системы близкорасположенных линз равна сумме оптических сил всех линз этой системы.

13. Для устранения аберрации используют комбинации из нескольких линз, изготовленных из разных сортов стекла.

§ 12. Оптические явления в атмосфере

1. Черного, так как на Луне нет атмосферы.

2. Нет, так как там нет атмосферы и не возникают оптические явления.

3. Нет, потому что на Луне нет атмосферы.

4. Красного. Для него угол преломления равен $45^\circ 54'$, для синего — $45^\circ 36'$. Красный участок расположен ниже синего, и, соответственно, ниже фиолетового.

5. Радугу можно наблюдать, когда высота солнца над горизонтом не превышает 42° . Т.е. для географической широты Москвы зенит солнца должен быть не больше 8° , чего не может быть. Тогда в Москве радуга в полдень не наблюдается.

§ 13. Инфракрасное и ультрафиолетовое излучение

1. Английский ученый В. Гершель в 1800 году поместил за красный край разложенного в спектр света термометр и обнаружил увеличение температуры. Он пришел к выводу, что термометр нагрелся невидимыми лучами, которые присутствуют в спектре Солнца. Позже они были названы инфракрасными.

2. Они применяются при нагреве и сушке овощей, фруктов, лакокрасочных покрытий, в приборах ночного видения, в системах самонаведения, в биологии, медицине, криминалистике, астрономии и т.д.

3. Солнце, лампы накаливания с вольфрамовой нитью, газоразрядные лампы, некоторые лазеры, ртутные лампы высокого давления, угольная электрическая дуга.

4. Немецкий ученый И. В. Риттер в 1801 году обнаружил, что серебро чернеет, если его поместить за фиолетовый край спектра. Лучи, которые вызвали это почернение, назвали ультрафиолетовыми.

5. В медицине, косметологии, в люминесцентных лампах, в криминалистике, в искусствоведении, они также оказывают бактерицидное действие.

6. Солнце, звезды, другие космические объекты, высокотемпературная плазма, ртутные, газоразрядные лампы.

§ 14. Рентгеновское излучение

1. В.К. Рентген родился в 1845 году.
2. Они обладают очень сильной проникающей способностью.
3. В металлическом или стеклянном баллоне, из которого откачан воздух, находятся анод, катод и металлическая пластина. Через катод пропускают ток, он нагревается, из него вылетают электроны. Металлический цилиндр фокусирует электронный пучок, который разгоняется полем высокого напряжения. Они сталкиваются с пластиной (антикатодом), резко тормозят и излучают электромагнитные волны (рентгеновское напряжение).
4. В медицине, рентгеноструктурном анализе, дефектоскопии, искусствоведении, астрономии, криминалистике и т.д.

Глава 2. КВАНТОВАЯ ОПТИКА

§ 15. Гипотеза Планка

1. 14 декабря 1900 года. В этот день М. Планк на заседании Немецкого физического общества выступил с докладом, посвященным изучению абсолютно твердого тела. Планк отказался от классического представления о непрерывности и бесконечной делимости энергии излучающих частиц, допустив, что она является дискретной величиной, состоящей из целого числа конечных равных частей.

2. Тепловое излучение – это излучение с непрерывным спектром с максимумом, который зависит от температуры излучающего тела.

3. Тепловое равновесие между веществом и излучением невозможно.

4. Поглощение и излучение электромагнитных волн молекулами и атомами вещества происходит дискретно, то есть отдельными квантами, а не непрерывно.

5. Величина кванта энергии рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = h\nu.$$

§ 16. Фотоны

1. Эйнштейн обнаружил, что свет состоит из квантов электромагнитного излучения.

2. Фотоны – это кванты электромагнитного излучения (света).

3. 1) Заряд фотона равен 0.

2) Скорость фотона равна скорости света во всех системах отсчета.

3) Его энергия пропорциональна частоте того электромагнитного излучения, квантом которого он является.

4) Его импульс обратно пропорционален скорости и равен отношению его энергии к скорости.

5) Масса фотона равна 0.

4.

$$\varepsilon^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2; m = \frac{1}{c} \sqrt{(\varepsilon/c)^2 - p^2}; p = \frac{\varepsilon}{c} \Rightarrow m = 0,$$

что требовалось доказать.

$$5. M = \frac{1}{c} \sqrt{(E/c)^2 - P^2}$$

$$p_1 = p_2 = \frac{\varepsilon}{c}, \quad P^2 = 2(1 - \cos Q) \frac{\varepsilon^2}{c^2}$$

Тогда

$$M = \frac{\varepsilon}{c^2} \sqrt{2(1 - \cos Q)} = \frac{2\varepsilon}{c^2} \sin \frac{Q}{2},$$

что требовалось доказать.

6. Ученые того времени считали, что введение теории квантов равносильно крушению всей классической теории, потому что идеи Эйнштейна поставили под сомнение волновую теорию.

§ 17. Фотоэффект

1. Фотоэффект – это явление выбивания светом электронов из металла.

2. С позиции классической теории невозможно объяснить законы фотоэффекта и безынерционность фотонов.

3. Законы фотоэффекта были получены опытным путем, и их не удалось объяснить с точки зрения классической теории. Эйнштейн смог объяснить этот эффект, рассматривая свет как поток фотонов, движущихся со скоростью света в вакууме. Он считал, что поглощение и распространение света происходит порциями.

4.

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m\nu^2}{2}.$$

5. Задерживающее напряжение – это напряжение, при котором прекращается ток через фотоэлемент.

$$\frac{m\nu^2}{2} = eU_3.$$

6. Фотоэффект будет наблюдаться, когда энергии поглощенного фотона хватит на совершение электроном работы выхода из металла.

7. Красной границей фотоэффекта называют минимальную частоту света, при которой еще возможен фотоэффект.

8. Общее число фотоэлектронов, покидающих за 1 с поверхность металла, должно быть пропорционально числу фотонов, падающих на поверхность за это же время. Освещенность поверхности пропорциональна интенсивности света. Число ежесекундно падающих на поверхность фотонов пропорционально интенсивности. Поэтому

число фотоэлектронов, вылетающих из металла, пропорционально интенсивности света.

9.

$$N\hbar\nu = A_{\text{вых}} + \frac{m\nu^2}{2}; N = 2; \Rightarrow \nu_0 = \frac{A_{\text{вых}}}{2\hbar}.$$

§ 18. Другие квантовые эффекты

1. Химические действия света – это действия света, в результате которых в веществах, поглощающих свет, происходят фотохимические реакции. Например, фотосинтез в земных частях растений, выцветание тканей на солнце.

2. Эффект Комптона не может быть объяснен с позиций квантовой теории.

3. Вследствии неоднородности материалов (ткань, краска) коэффициенты поглощения различны.

4. При рассеянии на свободных электронах электромагнитного излучения частота излучения уменьшается.

5. Энергия связи валентных электронов с атомами ничтожно мала по сравнению с энергией рентгеновского фотона, и эти электроны можно считать свободными. Энергия фотонов оптического диапазона по порядку равна энергии связи. Поэтому фотоны взаимодействуют не со свободными, а со связанными электронами, и в балансе энергий следует учесть энергию связи электрона с атомом.

6. Воспользуемся формулой:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} - \frac{h}{mc} \cos \theta = \frac{2h}{mc} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ н.м.}$$

§ 19. Корпускулярно-волновой дуализм

1. В дифракции и интерференции.

2. В фотоэффекте, эффекте Комптона.

3. Свет – это поток фотонов.

4. Корпускулярно – волновым дуализмом называется возможность материальных объектов проявлять и корпускулярные, и волновые черты.

5. Нет, так как у фотонов нет массы.

6. Импульс фотона в среде находится по формуле:

$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

7. Корпускулярно – волновой дуализм является универсальным свойством объектов, которое характерно для фотонов и любых других микрочастиц.

8. Эту гипотезу подтверждают опыты Клинтона Дэвиссона, Лестера Джермера и Джорджа Томсона.

9.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{3,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}} = 3,63 \cdot 10^{-34} \text{ м}.$$

Глава 3.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

§ 20. Первое положение МКТ

1. Молекулярно – кинетической теорией называют теорию, которая объясняет тепловые свойства макроскопических тел, основываясь на представлении об их атомно – молекулярном строении.

2. 1) Все тела состоят из огромного количества частиц.

2) Частицы вещества хаотически и непрерывно движутся.

3) Частицы вещества взаимодействуют друг с другом.

3. Эксперименты, позволяющие наблюдать атомы и молекулы, тепловое расширение тел, их сжимаемость, растворение одних веществ в других и т. д.

4. Атом – это электрически – нейтральная микрочастица, которая состоит из положительно заряженного ядра и окружающей его оболочки.

5. Молекулами называют системы из небольшого числа атомов, которые связаны друг с другом.

6. Постоянная Авогадро – число атомов в 12 г углерода. Число Авогадро показывает число частиц, содержащихся в 1 моле любого вещества.

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

7. Молярная масса – это масса одного моля вещества. С помощью таблицы Менделеева находят относительные атомные массы элементов формулы, складывают их и получают относительную молекулярную массу M_r .

$$M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}.$$

8. $M_v = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $M_k = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $M_y = 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $M_{ж} = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

9. Вода, гелий, кислород, $\text{OH}_{22}\text{C}_{14}$.

10. Масса одной молекулы:

$$m_0 = \frac{M}{N_A}.$$

Диаметр молекулы:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{m_0}{\rho}}.$$

Число молекул:

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

§ 21. Второе положение МКТ

1. Частицы вещества движутся беспорядочно и непрерывно.
2. Диффузия и броуновское движение подтверждают это положение.
3. Броуновское движение – это беспорядочное движение взвешенных в газе или жидкости мелких частичек другого вещества. Было открыто в 1827 г. английским ботаником Р. Броуном.
4. Она увеличивается с ростом температуры среды и при уменьшении самих броуновских частиц, уменьшается в более вязкой среде и не зависит от материала броуновских частиц.
5. Броуновское движение универсально и непрерывно.
6. Непрерывное хаотичное движение молекул среды и отсутствие точной компенсации ударов со стороны окружающих молекул.
7. Альберт Эйнштейн создал первую количественную теорию броуновского движения, а Жан Перрен подтвердил ее с помощью экспериментов.

§ 22. Третье положение МКТ

1. Частицы вещества взаимодействуют друг с другом: притягиваются на небольших расстояниях и отталкиваются, когда они уменьшаются.
2. Это подтверждает сопротивление тел сжатию и растяжению (для всех тел, кроме газов).
3. Молекулярные силы имеют молекулярную природу, они возникают в результате взаимодействия заряженных частиц, которые входят в состав молекул и атомов тел. Силы межмолекулярного притяжения и отталкивания очень быстро убывают с увеличением расстояния между центрами молекул (но силы отталкивания убывают быстрее).
4. В газе радиус действия молекулярных сил в 10 раз меньше среднего расстояния между молекулами. Газы не образуют свобод-

ной поверхности, равномерно заполняют объем и не имеют собственной формы. Частицы газа движутся хаотически и почти свободно в пространстве.

Твердые тела сохраняют свой объем и форму. Различают кристаллические и аморфные тела. Движение частиц носит характер малых колебаний около положений равновесия.

Жидкости по своим свойствам занимают промежуточное место между другими двумя агрегатными состояниями. Она сохраняет объем, образует свободную поверхность, принимает форму сосуда, в котором она находится и обладает определенной прочностью на разрыв. В жидкости молекулы расположены почти вплотную друг к другу, их движение представляет собой сочетание колебательного движения около некоторых положений равновесия и перескоков молекул из одних центров колебаний в другие.

Глава 4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

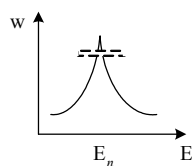
§ 23. Фазовое пространство

1. Фазовым пространством называют математическое пространство, число измерений которого равно количеству переменных, определяющих состояние данной системы.
2. Микросостояние — необходимо задать параметры состояния микрочастиц вещества. Макросостояние определяется небольшим числом макроскопических параметров (температура).
3. Для системы, состоящей из одной частицы размерность фазового пространства равна 6, из двух — 12, из трех — 18, из N — $6N$.
4. Размерность пространства координат для системы из одной частицы — 3, из двух — 6, из трех — 9, из N частиц — $3N$.
5. Размерность импульсного пространства для системы из одной частицы — 3, из двух — 6, из трех — 9, из N — $3N$.
6. $\Gamma_{\phi} = \Gamma_{\text{коор}} \cdot \Gamma_{\text{имп}}$, $\Gamma_{\text{коор}} = V$, $\Gamma_{\text{имп}} = \Delta p$, $\Gamma_{\phi} = V \cdot \Delta p$.
7. $p = mv$, $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{mp^2}{2 \cdot m} = \frac{p^2}{2m}$, $\Rightarrow p = \sqrt{2mE_k}$, что и требовалось доказать.
8. Молекулярный хаос — частицы вещества в состоянии теплового равновесия распределяются по всему его объему с равномерной плотностью и число частиц движущихся по каждому направлению в нем, одинаково.
9. Тепловое равновесие — макроскопическое состояние системы, при котором все ее термодинамические параметры имеют постоянные значения.
10. Любая макроскопическая система рано или поздно переходит в состояние теплового равновесия, из которого самопроизвольно выйти уже никогда не сможет.
11. 1903 год.

§ 24. Внутренняя энергия

1. Внутренняя энергия тела — это энергия взаимодействия и движения его частиц.
2. Полная энергия молекул газа складывается из энергий вращательного движения молекул, энергий колебательного движения атомов внутри молекул, кинетической энергии поступательного движения молекул и потенциальной энергии взаимодействия молекул между собой.

3. В состоянии теплового равновесия частицы тела всегда движутся так, чтобы их полная энергия оказывалась примерно равной своему среднему значению.



$$4. U = \bar{E} = \sum E_k + \bar{E}_n.$$

$$5. U = N\bar{E}_k.$$

6. Оно было введено в 1850 году Рудольфом Клаузиусом.

7. Потому что это энергия внутренних взаимодействий между атомами и молекулами тела, в ней не учитываются кинетическая энергия тела, потенциальная энергия тела.

§ 25. Способы изменения внутренней энергии

1. Существуют два способа изменения внутренней энергии – совершение работы и теплообмен.

2. Для расчета работы газа находят площадь под графиком, а работа внешних сил равна ей с точностью до знака.

$$A = -A_{\text{внеш}} = p\Delta V.$$

3. При изменяющемся давлении работа газа находится как площадь под графиком соответствующего процесса.

4. Работа газа в этом круговом процессе равна разности количества теплоты, полученного в процессе, к отданному и равна соответственно разности площадей под ветвями графика и равна площади под графиком. Она положительна.

5. Количеством теплоты называют часть внутренней энергии, переданной от одного тела к другому при теплообмене. Оно измеряется в джоулях.

6. Нагревание — $Q = cm(t_2 - t_1)$. Охлаждение $Q = cm(t_2 - t_1)$. Парообразование $Q = rm$. Конденсация $Q = -rm$. Плавление $Q = \lambda m$. Кристаллизация $Q = -\lambda m$.

7. Удельная теплоемкость, теплота парообразования и удельная теплота плавления измеряются в Дж/кг · К.

8. Удельная теплоемкость воды равна 1 кал = 4,2 Дж.

§ 26. Первый закон термодинамики

1. Изменение внутренней энергии системы при ее переходе из одного состояния в другое равно сумме количества теплоты, переданного системе, и работы внешних сил.

2. Адиабатный процесс – это процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой.

3. При сжатии будет увеличиваться, а при расширении – уменьшаться.

4. Это следствие первого закона термодинамики. Система замкнута, поэтому окружающие ее тела не могут совершить над ней работу или передать ей какое – либо количество теплоты. Поэтому увеличение внутренней энергии одного тела равно уменьшению внутренней энергии другого тела системы.

5. Система замкнута, работа не совершается, поэтому $\Delta U = Q$, выполняется уравнение теплового баланса.

6. Вечный двигатель может совершать работу только за счет уменьшения своей внутренней энергии, но в каждом цикле начальное и конечное состояния рабочего тела должны совпадать. Мы пришли к противоречию, следовательно, вечный двигатель невозможен.

§ 27. Энтропия

1. Энтропия системы – это физическая величина, которая пропорциональна логарифму объема той области пространства, где данная система проводит свое время.

2. В молекулярной физике термодинамической вероятностью называют число микроскопических способов, которыми может быть осуществлено данное макросостояние системы.

3. С увеличением Γ растет и W , а также S . Поэтому энтропию можно назвать мерой беспорядка в системе.

4. Энтропия увеличится.

5. С большой, так как энтропия прямо пропорциональна термодинамической вероятности.

6.

$$W = \Gamma / \Gamma_0.$$

Значит, заданные величины отличаются на некоторую константу $k \ln \Gamma_0$

7. Термодинамическая вероятность выпадения 12 равна 1, 2 равна 1, 8 равна 5, 1 равна 0.

8. Бюст был установлен на венском кладбище спустя 27 лет после его смерти в 1933 г.

§ 28. Второй закон термодинамики

1. Р. Клаузиус родился в 1822 году.
2. Потому что первый закон термодинамики не давал никаких указаний по поводу направления тепловых процессов.
3. Все самопроизвольные процессы в неравновесных системах происходят в том направлении, в котором энтропия возрастает, до тех пор, пока не достигнет своего максимального значения.
4. Например, кусок сахара, размешанный в стакане, не соберется обратно, сколько бы мы не ждали.
5. В макроскопических системах порядок всегда стремится уступить место беспорядку.
6. Уменьшает. Нет, не противоречит.
7. Необратимость тепловых процессов связана с переходом макроскопических систем из менее вероятных в более вероятные состояния.

§ 29. Температура

1. Температурой называют величину, которая характеризует состояние теплового равновесия макроскопической системы и интенсивность теплового движения ее частиц.
 2. Единицей абсолютной температуры является кельвин.
 3. 1) При контакте тел с разной температурой энергия переходит от тела с большей температурой к телу с меньшей.
 - 2) Все тела, которые находятся в тепловом равновесии друг с другом, имеют одинаковую температуру.
- Температура характеризует интенсивность теплового движения, поэтому у тела с большей температурой средняя кинетическая энергия частиц больше. Если привести эти тела в соприкосновение, то их частицы начнут сталкиваться, их средняя кинетическая энергия начнет выравниваться. Когда она станет одинаковой, наступит тепловое равновесие.
4. Такой прибор называется термометром. Впервые он был изготовлен в 1709 году Д. Г. Фаренгейтом.
 5. У ртути.
 6. Ртуть: от -35 до 750°C , спирт: от -80 до 70°C , пентан: от -200 до 35°C .

$$7. T = \frac{1}{S'}.$$

$$9. T = t + 273,15.$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 = t_1 - t_2 + 273,15 - 273,15 = t_1 - t_2 = \Delta t.$$

10.

$$\Delta S = \Delta U_1 \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} = \Delta U_1 \frac{-200 \text{ К}}{-1000 \text{ К}}; T_1 > T_2.$$

Тело T_1 будет терять энергию, поэтому оно более нагрето.

§ 30. Третий закон термодинамики

1. Вальтер Нерст родился в 1864 году.
 2. Первая формулировка третьего закона термодинамики появилась в 1912 году.
 3. Абсолютный ноль температуры недостижим, к нему можно лишь асимптотически приближаться.
 4. Абсолютным нулем называют температуру $T = 0$. При абсолютном нуле все вещества находились бы в твердом кристаллическом состоянии.
 5. Сверхтекучесть жидкого гелия – это квантовое явление, необъяснимое в рамках классической физики.
- Она впервые была открыта в 1941 году Л. Д. Ландау. В сверхтекучем состоянии гелий способен протекать сквозь такие узкие щели и капилляры, что преодоление их для обычной жидкости вследствие внутреннего трения просто не возможно.

§ 31. Тепловые двигатели

1. Тепловые двигатели - это устройства, которые за счет использования внутренней энергии топлива совершают механическую работу. К тепловым двигателям относят паровые и газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания, реактивные двигатели и т. д.
 2. Первую паровую машину изобрел в 1774 году Джеймс Уатт.
 3. Тепловой двигатель состоит из холодильника, нагревателя и рабочего тела.
 4. Холодильник поглощает часть энергии рабочего тела, он нужен для того, чтобы работа, совершаемая телом за один цикл, была положительной.
- В двигателе внутреннего сгорания роль холодильника играет атмосфера.
5. Коэффициентом полезного действия теплового двигателя называют отношение работы, совершаемой двигателем, к количеству теплоты, которая была получена от нагревателя.
 6. Из всех тепловых двигателей с заданными температурами нагревателя и холодильника максимальным КПД будет обладать тот

двигатель, каждый цикл работы которого представляет собой цикл Карно.

7. Применим формулу Клаузиуса:

$$Q_1 = T_1(S_2 - S_1); Q_2 = T_2(S_1 - S_2); \eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

8. Количество теплоты, получаемое рабочим телом в цикле Карно на участках 2-3 и 4-1 равно нулю.

9. Для этого необходимо повышать температуру нагревателя и понижать температуру холодильника.

10. По формуле:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}.$$

Так как $Q_2 \neq 0$, то КПД любого теплового двигателя меньше 1.

11. Это приводит к загрязнению окружающей среды, возникает угроза изменения климата.

Глава 5. ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

§ 32. Внутренняя энергия идеального газа

1. Идеальный газ представляет собой теоретическую модель газа, в которой пренебрегают силами взаимодействия молекул (кроме сил отталкивания при их столкновениях), молекулы рассматриваются как не имеющие размеров материальные точки.

2. Внутренняя энергия идеального газа определяется только его температурой и не зависит от занимаемого им объема.

3.

$$U = \frac{3}{2} NkT.$$

4. Абсолютная температура тела является мерой средней кинетической энергии поступательного движения его частиц.

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} NkT.$$

5. Средней квадратичной (тепловой) скоростью молекулы называется физическая величина, равная квадратному корню из среднего значения квадрата скорости молекулы.

6. $v_T = 500$ м/с;

$$v_H = \sqrt{\frac{2}{3}} v_T = 408,25 \text{ м/с},$$

$$v_{cp} = 1,13 \cdot v_H = 461,3 \text{ м/с}.$$

7. Азот, так как он легче.

8. Платиновая нить была покрыта тонким слоем серебра и расположена вдоль осей двух жестко связанных цилиндров. Воздух из них был откачан. Нить нагревалась, и с ее поверхности стало интенсивно испаряться серебро. Атомы серебра заполняли пространство внутри первого цилиндра. А часть атомов пролетала через узкую щель во второй цилиндр, чьи стенки охлаждались, и на них могли конденсироваться атомы серебра. Затем систему приводили во вращение с некоторой частотой, и полоска серебра смещалась на некоторое расстояние l .

Скорость теплового движения атомов можно определить по формуле:

$$v = 2\pi v R_2 (R_2 - R_1) / l.$$

9. Из-за броуновского движения.

10. **Доказательство:**

За Δt , в течении которого молекулы пролетали расстояние $S = R_2 - R_1$ от отверстия внутреннего цилиндра до внешнего, последний, благодаря вращению, сместился на расстояние l . Скорость поступательного движения молекул можно записать:

$$v = \frac{S}{\Delta t} = \frac{R_2 - R_1}{\Delta t}.$$

Но

$$\Delta t = \frac{l}{u},$$

где u — линейная скорость точек вращающегося цилиндра.

Учитывая, что $u = 2\pi R_2 v$, где R_2 — радиус внешнего цилиндра и v — частота вращения, получим

$$\Delta t = \frac{l}{2\pi R_2 v}.$$

Следовательно,

$$v = \frac{2\pi R_2 v (R_2 - R_1)}{l},$$

что и требовалось доказать.

§ 33. Уравнение состояния идеального газа

1. Давление, объем и температура.

2. Уравнением состояния называют уравнение, выражающее связь между макроскопическими параметрами вещества.

$$p = \frac{N}{V} kT.$$

3. Основной задачей МКТ является нахождение уравнения состояния того или иного тела.

4.

$$p = \frac{N}{V} kT; N = \frac{m}{M} N_A; \frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R; R = kN_A = 8,31 \text{ Дж/(моль·К)}$$

5. В равных объемах любых идеальных газов при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул.

По уравнению состояния число молекул в газе $N = pV/kT$. Отсюда видно, что при одинаковых температурах, объемах и давлениях одинаковым будет и число N .

6. Давление смеси не взаимодействующих химически идеальных газов равно сумме парциальных давлений этих газов.

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_n;$$
$$p = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_n}{V} kT = \frac{N_1}{V} kT + \dots + \frac{N_n}{V} kT = p_1 + \dots + p_n,$$

что и требовалось доказать.

7. Отношение произведения объема и давления к абсолютной температуре идеального газа есть постоянная для данной массы газа величина.

8. Этот закон справедлив для идеальных газов.

§ 34. Изопроцессы в идеальном газе

1. Изотермическим называется процесс, в котором температура неизменна.

2. Первый закон термодинамики для изотермического процесса:

$$A = Q.$$

3. Произведение давления данной массы идеального газа на его объем является постоянной при неизменной температуре.

$$pV = \text{const.}$$

Этот закон известен, как закон Бойля-Мариотта.

4. Изохорным называется процесс, в котором объем неизменен.

5. $\Delta U = Q$.

6. Отношение давления данной массы к абсолютной температуре идеального газа при неизменном объеме постоянно.

$$\frac{p}{T} = \text{const.}$$

7. Изобарными называют процессы, в которых давление остается неизменным.

8.

$$U_2 - U_1 = Q - p(V_2 - V_1)$$

9. Отношение объема данной массы идеального газа к его абсолютной температуре при неизменном давлении постоянно. Он был открыт Жаком Шарлем в 1787 году.

$$\frac{V}{T} = \text{const.}$$

10. Изохорное охлаждение: 2—3; изотермическое расширение: 4—5; изобарное нагревание: 1—2; 3—4; изохорное нагревание: 6—1; изобарное сжатие: 5—6.

11. Возьмем на графике точки с одинаковой абсциссой. Второй изотерме соответствует большее давление, значит, по уравнению Клайперона – Менделеева ей соответствует большая температура.

12. Возьмем на графике точки с одинаковой абсциссой. Второй кривой соответствует большее давление, значит, по уравнению Клайперона – Менделеева ей соответствует меньший объем.

13. Возьмем на графике точки с одинаковой абсциссой. Второй кривой соответствует больший объем, значит, по уравнению Клайперона – Менделеева ей соответствует меньшее давление.

§ 35. Основное уравнение МКТ идеального газа

1. Основное уравнение МКТ:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_T^2.$$

2.

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v^2 \rangle.$$

3. Оно обусловлено давлением газа на стенки сосуда и внутренним давлением газа.

4. Флуктуация — это случайное отклонение физической величины от своего среднего значения.

5. Броуновское движение обусловлено флуктуациями скорости.

6. Если газ находится в равновесии, то флуктуации будут очень малы. Среднее значение частиц, находящихся в левой части сосуда, равно $N/2$. Может. Это зависит от числа частиц в объеме. Чем больше частиц, тем меньше флуктуации.

Глава 6. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ

§ 36. Атмосфера Земли

1. Атмосфера состоит из азота, аргона углекислого газа неона, кислорода и некоторых других газов.
2. Атмосфера Земли состоит из слоев. Ее нижняя часть называется тропосферой, далее располагается переходный слой, называемый тропопаузой, а за ним – стратосфера.
3. Атмосферное давление зависит от высоты над уровнем моря. С ее увеличением давление соответственно убывает.
4. Стеклообразная трубка, запаянная с одного конца и заполненная ртутью с другого, переворачивалась и опускалась в другой сосуд с ртутью. При этом высота ртути в трубке уменьшалась. Измерив ее, по формуле $p = \rho gh$ можно рассчитать давление в паскалях.
5. Человек не чувствует атмосферного давления, потому что жидкости и газы, заполняющие ткани, сосуды и полости тела, сжаты до такого же давления, и уравнивают внешнее давление.
6. Ветры возникают из-за неравномерного распределения давления в разных местах атмосферы.

§ 37. Влажность воздуха

1. Общая масса в атмосфере Земли водяного пара составляет около $1,24 \cdot 10^{16}$ кг.
2. Насыщенным называют пар, который находится в тепловом равновесии со своей жидкостью.
3. При увеличении объема уменьшается концентрация, и наоборот.
5. Абсолютная влажность воздуха – это масса водяного пара, которая содержится в 1 м^3 воздуха.
6. Относительная влажность – это отношение парциального давления водного пара к давлению насыщенного пара при той же температуре.
7. Точкой росы называют температуру, до которой необходимо охладить пар, не изменяя давления, чтобы он стал насыщенным. При дальнейшем понижении температуры конденсация преобладает над испарением.
8. Относительная влажность при точке росы равна 100%.
9. С уменьшением температуры относительная влажность уменьшается.
10. Относительную влажность воздуха позволяют определить психрометры.
11. Для человека наиболее благоприятна влажность воздуха от 40 до 60%.

§ 38. Адиабатные процессы в атмосфере

1. Адиабатными называют процесс изменения объема и давления газа при отсутствии теплообмена с окружающими телами.

2. При адиабатном расширении газа его внутренняя энергия уменьшается, поэтому газ охлаждается. При адиабатном сжатии газа его внутренняя энергия увеличивается, и газ нагревается.

3. Облака появляются, когда в поднявшемся на некоторую высоту воздухе водяной пар начинает конденсироваться. Почти всегда облака представляют собой скопление мельчайших капелек воды.

4. Если в облаке капельки воды очень маленькие, то беспорядочные удары молекул воздуха не дают им падать вниз. Большие капли могут начать падать, но восходящие потоки воздуха и его сопротивление могут остановить и отбросить капли вверх. Если капли продолжают падать, могут испариться и даже не достичь земли.

5. Если влажный воздух охлаждать, то, в конце концов, давление водяных паров в нем сравняется с упругостью пара при этой температуре. Пар станет насыщенным и при дальнейшем понижении температуры начнет конденсироваться в воду. Туман появляется благодаря такому явлению.

6. Дождь идет из облаков, содержащих кристаллики льда вместе с каплями воды и имеющих температуру ниже 0°C . выпадая из облака, эти кристаллики тают и превращаются в капли дождя. Зимой они в виде снежинок попадают на землю, не растаяв. В связи со случайным замерзанием некоторых капель в облаке образуются зародыши градин. Они падают вниз и сталкиваются с водяными каплями.

Глава 7. ФИЗИКА АТОМА

§ 39. Ядерная модель строения атома

1. Атом имел вид положительно заряженного по всему объему шара, внутри которого находились электроны (как «пудинг с изюмом»).

2. Резерфорд и его помощники рассеивали α -частиц атомами золотой фольги. Им удалось наблюдать α -частицы, отклоняющиеся назад. Проанализировав данные, Резерфорд пришел к выводу, что модель Томсона неверна, а атом напоминает Солнечную систему (вокруг ядра вращаются электроны). Так появилась планетарная (или атомная) модель атома.

3. α -частицы представляют собой полностью ионизированные атомы гелия.

4. а) Атом состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него электронов.

б) Почти вся масса атома сосредоточена в его ядре, которое по размеру в десятки тысяч раз меньше размеров самого атома. Заряд ядра равен $+Ze$, где Z – порядковый номер элемента в таблице Д.И. Менделеева.

в) Вокруг ядра обращается Z электронов, их суммарный заряд равен $-Ze$.

5. α -частицы возвращающиеся «назад», налетают непосредственно на ядро, а так как размеры ядра очень малы по сравнению с размерами всего атома, то число таких частиц будет ничтожно мало.

6. Потому что масса α - частиц очень мала.

7. Нет, так как практически вся масса атома сосредоточена в его ядре.

8. Заряд ядра атома золота равен $+Ze = 79 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 1,26 \times 10^{-17} \text{ Кл}$.

9. В атоме водорода находится 1 электрон, в атоме золота – 79, а в атоме урана – 92.

§ 40. Постулаты Бора

1. Потому что они считали, что атом, описанный Резерфордом, существовать не мог.

2. 1) Атом может находиться не во всех состояниях, а только в особых (квантовых), каждому из которых соответствует своя определенная энергия. Атом в стационарном состоянии не излучает.

2) При переходе атома из одного квантового состояния в другое поглощается или излучается квант света с энергией, равной разности энергий стационарных состояний.

3) Электрон в стационарном состоянии может двигаться только по орбите, радиус которой удовлетворяет условию:

$$mvr = n\hbar,$$

где mv — импульс электрона, n — номер квантового состояния.

3. $E_n = -Ry/n^2$; $1 Ry = 13,6 \text{ эВ}$.

4. Главное квантовое число — это целое число, которое определяет энергию атома и его номер в этом состоянии.

5. Энергия атома водорода в основном состоянии равна $-13,6 \text{ эВ}$.

6. Бор допустил существование в атоме таких состояний, в которых движущиеся с ускорением электроны не излучают электромагнитных волн.

7. Раз кошки не существует, значит и двух хвостов у нее нет. Ну а тогда у настоящей кошки может быть только один хвост.

§ 41. Атом водорода

1. На первой баровской орбите ($n = 1$) $v_1 = \frac{c}{137} \Rightarrow$ мы можем в

основу теории атома положить классическое, а не релятивистское уравнение движения.

2. В раз $n^2 = 4$ больше.

3. Скорость пропорциональна $1/n$.

Следовательно, скорость движения электрона по второй орбите в два раза меньше.

4. В $137 \cdot 7 = 959$ раз.

5. Она уменьшается в 4 раза, так как энергия атома водорода в n -ом состоянии в n^2 раз меньше, чем в основном.

6. При увеличении n расстояние между соседними энергетическими уровнями атома уменьшается.

7. Постоянная Ридберга — это отношение ридберга к произведению скорости света в вакууме и постоянной Планка:

$$R = \frac{Ry}{hc} = 109,7 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}.$$

8. Радиус He^+ в 200 раз меньше радиуса атома водорода.

§ 42. Вынужденное излучение

1. Атом из возбужденного состояния спонтанно (самопроизвольно) переходит в основное состояние и излучает при этом квант света. Если же атом подвергнуть внешнему воздействию, то время его жизни в возбужденном состоянии сократится и возникнет индуцированное излучение.

2. Мазер (в пер. с англ. «усиление микроволн с помощью вынужденного излучения») – квантовый генератор, в котором вынужденное излучение преобладает над поглощением.

Лазер – квантовый генератор, в котором, в отличие от мазера, генерировалось излучение оптического, а не радио – диапазона.

Разер – это источник рентгеновского излучения, а гразер – источник гамма – излучения.

3. Рубин – это кристалл оксида алюминия, в котором часть атомов алюминия замещена на ионы хрома. Атомы хрома переводятся в возбужденное состояние из основного с помощью мощного импульса. Эти ионы за очень короткий промежуток времени самопроизвольно переходят на более низкий энергетический уровень, который называют метастабильным. Благодаря этому возникает возможность усиления света с помощью вынужденного излучения.

4. Выполните это задание самостоятельно.

§ 43. Возникновение квантовой механики

1. Квантовая механика – это нерелятивистская теория явлений, которые происходят в микромире.

Она учитывает вероятностное описание поведения микрочастиц и корпускулярно – волновой дуализм.

2. Интенсивность волны де Бройля пропорциональна вероятности ее обнаружения в этой точке.

3. В атоме движение электрона возможно лишь по стационарным круговым орбитам, радиусы которых называются радиусами Бора.

4. Неоценимый вклад в создание и развитие квантовой механики внесли Шрёдингер, Гейзенберг, Макс Борн, Паскуаль Йордан, Поль Дирак.

5. В том, что никакая планетарная система после столкновения с другой такой же системой не вернется в свое исходное состояние. А атом какого-либо вещества даже после столкновения с другими атомами или образования химического соединения остается тем же атомом.

§ 44. Соотношение неопределенностей Гейзенберга

1. В квантовой механике понятие траектории не имеет смысла. Принципиально невозможно точное определение положения и импульса частицы в один и тот же момент времени.

2. Допустим, мы решили локализовать частицу. В процессе сжатия области локализации неопределенность местоположения частицы уменьшается, а разброс возможных значений ее скорости увеличивается. Соответственно растет и неопределенность ее кинетической энергии, и в итоге она станет настолько большой, что частичку станет невозможно удерживать на месте и она покинет область локализации.

3.

$$\Delta v = 10^{-31} \text{ м/с}; \Delta x = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}; \Rightarrow \Delta t = \frac{10^{-3}}{10^{-31}} = 10^{28} \text{ с.}$$

4. Потому что, оказывая давление на пол, мы заставляем электроны в атомах пола приближаться к своим атомным ядрам, а это сопровождается квантово – механическим отталкиванием. В итоге и возникает сила, называемая в механике реакцией опоры.

5. Для того, чтобы классическое описание состояния было возможно и в микромире, необходимо, чтобы постоянная Планка была равна 0.

Глава 8. АТОМНОЕ ЯДРО

§ 45. Строение атомного ядра

1. Атомное ядро впервые было открыто Э. Резерфордом в 1910 году.

2. В 1932 году Е.Н Гапон, Д.Д. Иваненко и В. Гейзенберг предложили протонно-нейтронную модель ядра. Она состоит из нейтронов и протонов.

3. Протон обладает положительным зарядом, считается стабильной частицей, его масса в 1836,2 раза больше массы электрона. Число протонов в ядре равно числу электронов в нейтральном атоме.

Нейтрон в 1838, 7 раз тяжелее электрона, нейтрален, не является стабильной частицей. Число нейтронов равно разности между общим числом всех частиц в ядре и количеством в нем протонов.

5. Число нуклонов в ядре называется массовым числом.

6. Барионный заряд равен количеству барионов в системе. В силу того, что протоны и нейтроны являются барионами, то их число в атомном ядре является и барионным зарядом данного ядра, и его массовым числом.

7. Барионный заряд протона равен +1, для электрона он равен -1, нейтрона — 0.

8. Изотопами называют разновидности данного химического элемента, которые различаются массовым числом своих ядер.

9. У водорода их три: протий, дейтерий и тритий, а так же искусственно полученный изотоп ${}^4_1\text{H}$.

10. В дейтроне находятся один протон и один нейтрон.

11. Внутри тритона находится два нейтрона.

12. Барионный заряд протия равен одному.

13. Есть несколько методов разделения изотопов, например, метод, основанный на зависимости тепловой скорости движения частиц от их массы, другой основан на том же принципе, что и масс-спектрограф.

§ 46. Ядерные силы

1. Потому что в классической физике были известны только гравитационное, приводящее к притяжению составных частей ядра, и электромагнитное, стремящееся разрушить атомное ядро, взаимодействия.

2. 1) Они обеспечивают притяжение нуклонов друг к другу.

2) Они на 2-3 порядка интенсивнее электромагнитных.

- 3) Ядерные силы проявляются лишь на расстояниях, сравнимых с радиусом атомного ядра.
- 4) Они имеют обменный характер, по крайней мере частично.
3. Мезоны образуют вокруг нуклона облако, называемое мезонной «шубой». Благодаря этому между нуклонами возникает притяжение.
4. а) $1 = 1 + 0, 1 = 1 + 0, 1 = 1 + 0, 0 = 0 + 0$;
б) $1 = 1 + 0, 1 = 0 + 1, 1 = 1 + 0, 0 = 1 + (-1)$.

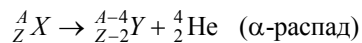
§ 47. Энергия связи и дефект массы ядра

1. Энергией связи атомного ядра называют минимальную энергию, которая необходима для полного расщепления ядра на отдельные нуклоны.
2. Дефектом массы называется разность между суммой масс нуклонов и массой состоящего из них ядра.
3. Закону сохранения массы.
4. Удельная энергия связи – это отношение полной энергии связи к числу нуклонов в ядре.
5. $\varepsilon_{\text{св}} \approx 7,25 \text{ МэВ}$.
6. Дефект массы гелия больше, чем у лития, так как его энергия связи больше, а она прямо пропорциональна дефекту массы.
- 7.

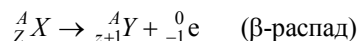
$$\Delta M = (Zm_p + Nm_n) - M_0; M_H \approx m_p; \text{ или } \Delta M = ZM_H + Nm_n - M_{\text{ат}}.$$

§ 48. Радиоактивность

1. Радиоактивность – это способность некоторых атомных ядер превращаться в другие ядра самопроизвольно, при этом испуская различные частицы.
2. α -частицы — это положительно заряженные атомы гелия, а β -частицы — это отрицательно заряженные электроны. Проникающая способность β -излучения гораздо больше, чем у α -частиц, т.к. это поток быстрых электронов.
3. Законы сохранения барионного и электрического зарядов выполняются:



$$A = A - 4 + 4; Z = Z - 2 + 2.$$



$$A = A + 0; Z = Z + 1 - 1.$$

4. Он противоречит закону сохранения лептонного заряда.
5. Радиоактивный распад ядра возможен только тогда, когда его масса превышает суммарную массу продуктов распада.
Да.
6. Нейтрино – это нейтральная частица с очень малой массой, возможно даже нулевой. Оно не является барионом его относят к лептонам. Его лептонный заряд равен -1 .
7. У античастиц все заряды другого знака.
8. В природе существуют четыре типа фундаментальных взаимодействий: сильное, слабое, гравитационное и электромагнитное.

§ 49. Закон радиоактивного распада

1. Период полураспада – это промежуток времени, в течение которого исходное число радиоактивных ядер в среднем уменьшится в два раза.

2. Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 2^{-t/T}.$$

3. Радиоактивные ядра характеризуются средним временем жизни:

$$\tau = 1,44 T.$$

За это время распадется все радиоактивное вещество.

4. Здесь нельзя применять закон радиоактивного распада, так как он является статистическим законом и справедлив только при большом числе ядер.

5. В этом методе исходят из того, что конечным продуктом распада урана является стабильный изотоп свинца. Поэтому в любом образце со временем содержание урана будет уменьшаться, но свинца – увеличиваться. Для определения возраста образца необходимо просто знать относительное содержание в нем изотопов свинца и урана.

$$t = T \log_2 (1 + N_{Pb} / N_u).$$

6. Из закона радиоактивного распада следует:

$$N_u = (N_u + N_{Pb}) 2^{-t/T};$$

$$-t/T = \log_2 \frac{N_u}{N_u + N_{Pb}};$$

$$t = T \log_2 (1 + N_{Pb} / N_u).$$

7. Для оценки объектов в пределах 60 000 лет применяется радиоуглеродный метод. Суть этого метода заключается в том, что после гибели процесс усвоения атмосферного углерода прекращается, и содержание ^{14}C в мертвых организмах уменьшается по закону радиоактивности. Поэтому измерив содержание радиоуглерода ^{14}C в находке можно установить ее возраст.

8. Торий почти не распался за очень долгое время, поэтому его период полураспада равен 14 млрд лет, а время жизни равно 20,16 млрд лет. Период полураспада трития равен 12 годам, а время жизни — 17,28 годам.

9.

$$A = \frac{N}{\tau},$$

следовательно, чем больше время жизни элемента, тем меньше его активность, поэтому у короткоживущих элементов активность больше.

§ 50. Ядерные реакции

1. Ядерная реакция – это превращения атомных ядер в результате взаимодействия с какими – либо элементарными частицами или друг с другом.

2. $Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4)c^2$.

3. Реакция называется экзотермической, если она идет с поглощением кинетической энергии, соответственно, необходимо, чтобы массы образовавшихся частиц были больше масс исходных частичек.

4. Например, радиоактивные препараты, ядерные реакторы, космические лучи, ускорители заряженных частиц.

5. Ускорители заряженных частиц служат источниками частиц, которые необходимы для изучения ядерных реакций в лабораторных условиях.

6. Тековые детекторы позволяют наблюдать треки частиц, счетчики позволяют вести счет частиц.

7. Протону.

8. Нейтрон открыл Дж. Чедвик в 1932 году, а протон – в 1920 году Резерфорд.

§ 51. Деление ядер урана

1. Тяжелое ядро захватывает нейтрон, потом, подобно капле, начинает деформироваться и принимает гантелеобразную форму, а затем оно разрывается на две части – осколки деления.

2. Медленными нейтронами делится только уран – 235.
3. Удельная энергия связи ядра урана равна 7,6 МэВ, а энергия теплового электрона равна 0,1 эВ. Она больше энергии связи в $7,6 \cdot 10^4$ раз.
4. Энергетический выход реакции деления:

$$Q = E'_{cv} - E_{cv}.$$

5. Энергия, выделяющаяся при делении одного ядра урана, больше энергии вызвавшего деление нейтрона в $1844 \cdot 10^3$ раз.
- 6.

$$Q = (M_u - M_{Sr} - M_{Xe} - \Delta m_n) \cdot c^2.$$

$$M_u = 92m_p + 43m_n - \Delta M_u.$$

$$M_{Xe} = 54m_p + 86m_n - \Delta M_{Xe}.$$

$$M_{Sr} = 38m_p + 56m_n - \Delta M_{Sr}.$$

Подставляем в первое уравнение, получим:

$$Q = E_{cv}^{Xe} + E_{cv}^{Sr} + E_{cv}^U.$$

§ 52. Цепная реакция деления

1. Цепная реакция деления — это самоподдерживающаяся реакция деления тяжелых ядер, в которой непрерывно воспроизводятся нейтроны, которые делят новые и новые ядра.
2. Она может протекать лишь на трех изотопах: уране – 235, уране – 233 и плутонии – 239.
3. Коэффициент размножения нейтронов – это отношение числа нейтронов в одной какой-нибудь популяции цепной реакции к породившему их числу нейтронов предшествующего поколения.
4. Коэффициент размножения нейтронов должен быть больше или равен одному.
5. Коэффициент размножения нейтронов для идеализированной реакции равен

$$k = \frac{N_i}{N_{i-1}} = \frac{2}{1} = 2.$$

6. Критическая масса – это масса активной зоны критических размеров.

7. Ядерный реактор представляет собой устройство, в котором происходит управляемая цепная реакция ядерного деления. Он состоит из блоков ядерного топлива, активной зоны, отражателя, регулирующих стержней, замедлителя и радиационной защиты.

8. В атомной электростанции энергия деления ядер преобразуется в электроэнергию.

§ 54. Термоядерные реакции

1. Интенсивное тепловое излучение, разрушительная ударная волна, проникающая радиация и мощный электромагнитный импульс.

2. В водородной бомбе в качестве запала используется обычная атомная бомба, а термоядерным веществом является дейтеридом.

3. Термоядерные реакции – это ядерные реакции между легкими ядрами при очень высоких температурах.

4. Для преодоления кулоновских сил отталкивания ядра должны обладать большой кинетической энергией, и, следовательно, высокой температурой.

5. Термоядерными реакциями обусловлено происхождение многих химических элементов в природе.

§ 55. Биологическое действие ионизирующих излучений

1. Ионизирующие излучения – это такие излучения, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул. К ним можно отнести рентгеновские, гамма – лучи, потоки альфа – частиц, нейтронов, протонов и электронов.

2. Эквивалентная доза облучения – это мера ожидаемой радиационной опасности.

3. Это приводит к появлению лучевой болезни, иногда с летальным исходом.

Глава 9. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

§ 56. Классификация элементарных частиц

1. Элементарными называются частицы, из которых построена вся материя, которые нельзя расщепить на составные части.
2. Переносчики взаимодействий, кварки, лептоны.
3. Из кварков состоят адроны.
4. Барионы состоят из трех кварков, а мезоны – из двух, один из которых должен быть антикварком.
5. Глюоны, фотоны, вионы и гравитоны.
6. Слабый промежуточный бозон.
7. π^- состоит из анти- u -кварка и d -кварка, π^+ состоит из анти- d -кварка и u -кварка.
8. Один из d -кварков нейтрона испускается.

§ 57. Античастицы

1. Античастицы были предсказаны Полем Дираком в 1931 году.
2. Позитрон был открыт американским физиком Карлом Андерсеном 2 августа 1932 года.
3. Антинейтрон отличается от нейтрона знаками лептонного, барионного и электрического зарядов, а среднее время жизни и масса у них одинаковы.
4. Антиатомы состоят из антипротонов, антинейтронов и антиэлектронов (позитронов).
5. Будет, но частицы будут отталкиваться, так как силы отталкивания больше.
6. Замена всех частиц на соответствующие им античастицы (и наоборот) с зеркальным отражением системы является преобразованием симметрии физических законов.

§ 58. Превращения элементарных частиц

1. В природе существуют два типа превращений элементарных частиц: распады частиц и реакции рождения частиц.
2. Аннигиляция – это реакция, в которых сталкивающиеся частица и античастица превращаются в какие-нибудь другие частицы или электромагнитное излучение.
3. С одной стороны, в микромире законы сохранения играют роль принципов запрета (то есть запрещают процессы, в которых нарушен хотя бы один из законов), а с другой стороны, если процесс

удовлетворяет всем законам сохранения, значит, он обязательно будет происходить.

4. Барионный заряд равен +1 для барионов, -1 для антибарионов и 0 для всех остальных частиц. Лептонный заряд равен +1 для лептонов, -1 для антилептонов и 0 для остальных частиц.

5. Электронное число равно +1 для электрона и электронного нейтрино, -1 для их античастиц и 0 для всех остальных частиц.

Мюонное число равно +1 для мюона и мюонного нейтрино, -1 для их античастиц и 0 для всех остальных частиц.

Таонное число равно +1 для таона и таонного нейтрино, -1 для их античастиц и 0 для всех остальных частиц.

6. Для протона p — 1, для остальных — 0.

7. Странность — это целое число S , равное

$$S = 2\bar{Q} - B.$$

8. Закон сохранения странности выполняется при отсутствии слабого взаимодействия.

9. При аннигиляции электрон - позитрон пары выделяется энергия, равная 1 МэВ.

ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

ОПТИКА

Глава 1

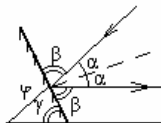
№ 1.

Дано: $\varphi = 60^\circ$

Найти: γ .

Решение:

I случай.



Из рисунка видно, $\varphi = 2\alpha \Rightarrow \alpha = 30^\circ$.

По закону отражения света $2\alpha + 2\beta = 180^\circ$

Следовательно,

$$\beta = 0,5(180^\circ - 2\alpha) = 0,5(180^\circ - 60^\circ) = 60^\circ.$$

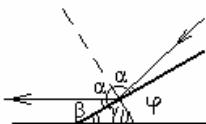
Из геометрических соображений видно, что $\gamma = \beta = 60^\circ$.

II случай.

Аналогично I случаю

$$\gamma = \beta = 0,5(180^\circ - 2\alpha) = 0,5(180^\circ - 120^\circ) = 30^\circ.$$

Ответ: $\gamma_1 = 60^\circ$; $\gamma_2 = 30^\circ$.

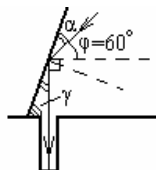


№ 2.

Дано: $\varphi = 60^\circ$

Найти: γ .

Решение:



Дно будет освещено, если угол между отраженным лучом и горизонталью будет прямым.

Пользуясь законом отражения света и геометрическими представлениями получаем $\alpha = 0,5(180^\circ - 90^\circ - \varphi) = 15^\circ$.

Из рисунка видно что, $\gamma = \alpha + \varphi = 15^\circ + 60^\circ = 75^\circ$.

Ответ: $\gamma = 75^\circ$.

№ 3.

Дано:

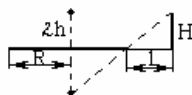
$$R = 5 \text{ м,}$$

$$h = 3 \text{ м,}$$

$$H = 1,8 \text{ м}$$

Найти: l .

Решение:



Пользуясь законом отражения света и подобием прямоугольных треугольников с катетами R , h и l , H , получаем $R/h = l/H$, $l = RH/h = 3 \text{ м}$

Ответ: $l = RH/h = 3 \text{ м}$

№ 4.

Дано:

$$a_1 = 6 \text{ см,}$$

$$a_2 = 8 \text{ см,}$$

$$l = 10 \text{ см}$$

Найти: φ .

Решение:



По условию задачи

$$SS' = a_1 = 6 \text{ см, } SS'' = a_2 = 8 \text{ см, } S'S'' = l = 10 \text{ см.}$$

Следовательно, $l^2 = a_1^2 + a_2^2$, т.е. $\varphi = 90^\circ$.

Ответ: $\varphi = 90^\circ$.

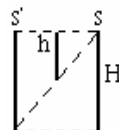
№ 5.

Дано:

$$H$$

Найти: h .

Решение:



При минимальном h прямая, соединяющая верхнюю точку человека и нижнюю точку его изображения, должна проходить так как это показано на рисунке.

Из геометрических соображений очевидно, что $h = H/2$.

Ответ: $h = H/2$.

№ 6.

Дано:

$$v = 2 \text{ м/с}$$

Найти: V .

Решение:

Так как изображение и предмет находятся на одинаковом расстоянии от зеркала, то при изменении расстояния от зеркала до предмета на δs расстояние от зеркала до изображения изменится на δs .

Следовательно, изображение и предмет приближаются к зеркалу с одинаковой скоростью v . Значит, $V = 2v = 4 \text{ м/с}$.

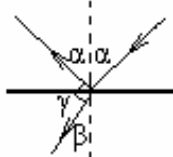
Ответ: $V = 4 \text{ м/с}$.

№ 7.

Дано: $n_1, n_2,$
 $\gamma = 90^\circ$

Найти: $\alpha.$

Решение:



Из условия задачи следует, что $\beta = 90^\circ - \alpha$, $\sin \beta = \cos \alpha$.

По закону преломления света: $\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1$, $\sin \alpha / \cos \alpha = n_2 / n_1$,

$\tan \alpha = n_2 / n_1$, $\alpha = \arctg(n_2 / n_1)$.

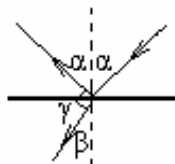
Ответ: $\alpha = \arctg(n_2 / n_1)$.

№ 8.

Дано:
 $\sin \alpha = 0,8, \gamma = 90^\circ$

Найти: $n.$

Решение:



Из условия задачи следует, что

$\beta = 90^\circ - \alpha$, $\sin \beta = \cos \alpha$.

По закону преломления света:

$n = \sin \alpha / \sin \beta = \sin \alpha / \cos \alpha$,

$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = 0,6$, $n = 0,8 / 0,6 \cong 1,33$.

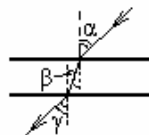
Ответ: $n = 1,33$

№ 9.

Дано:
 α

Доказать: луч света не меняет своего направления после прохождения через плоскопараллельную пластину.

Доказательство:



По закону преломления света

$\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1$, $\sin \beta / \sin \gamma = n_1 / n_2$.

Следовательно, $\sin \alpha = n_2 / n_1 (n_1 \sin \gamma / n_2) = \sin \gamma$.

Так как $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, $0^\circ < \gamma < 90^\circ$, то $\gamma = \alpha$, то есть луч света не меняет своего направления после прохождения через плоскопараллельную пластину.

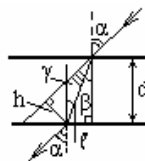
№ 10.

Дано:

α – угол падения, d – ширина пластины, n – показатель преломления

Найти: h .

Решение:



По закону преломления света $\sin \alpha / \sin \beta = n$, $\sin \alpha = n \sin \beta$.

Из рисунка видно, что $\gamma = \alpha - \beta$, $l = d / \cos \beta$, $h = l \sin \gamma$.

$$\begin{aligned} h &= \frac{d}{\cos \beta} \sin(\alpha - \beta) = d \sin \alpha \left[1 - \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} \right] = d \sin \alpha \left[1 - \frac{\sin \beta \cos \alpha}{\sin \alpha \cos \beta} \right] = \\ &= d \sin \alpha \left[1 - \frac{\cos \alpha}{n \cos \beta} \right] = d \sin \alpha \left[1 - \frac{\cos \alpha}{n \sqrt{1 - \sin^2 \beta}} \right] = \\ &= d \sin \alpha \left[1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right]. \end{aligned}$$

Ответ: $h = \left[1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right] d \sin \alpha$.

№ 11. Решение смотри в учебнике.

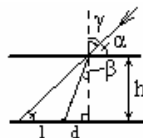
№ 12.

Дано:

$\alpha = 45^\circ$, $h = 40$ см,
 $n = 1,33$

Найти: h .

Решение:



Из геометрических соображений: $\gamma = 90^\circ - \alpha$.

По закону преломления света:

$$\sin \gamma / \sin \beta = n.$$

Следовательно, $\cos \alpha / \sin \beta = n$,

$$\frac{l + d}{h} = \tan \gamma \Rightarrow l = h \tan \gamma - d; \quad \frac{d}{h} = \tan \beta \Rightarrow d = h \tan \beta,$$

$$l = h(\tan \gamma - \tan \beta) = h(\operatorname{ctg} \alpha - \tan \beta) = h \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \right) =$$

$$= h \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{1}{n} \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} \right) = h \left(\operatorname{ctg} \alpha - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n - \cos^2 \alpha}} \right) \approx 14,9 \text{ см.}$$

Ответ: $h = 14,9$ см.

№ 13.

Дано:

а) $\alpha = 45^\circ$,

б) $\alpha = 50^\circ$,

$n = 1,33$

Найти: выйдет ли луч из воды?

Решение:

Пусть α — угол падения, β — угол преломления.

По закону преломления света $\sin \alpha / \sin \beta = 1/n$.

Луч не выйдет из воды, если $\alpha > \alpha_{\text{пр}}$, т.е. если $\sin \alpha > 1/n$.

а) $\sin 45^\circ \approx 0,7071 < 1/1,33 \approx 0,7519$;

б) $\sin 50^\circ \approx 0,766 > 1/1,33 \approx 0,7519$.

Следовательно, луч а) выйдет из воды, б) не выйдет при угле падения $\alpha = 50^\circ$ из воды.

Ответ: а) выйдет; б) не выйдет.

№ 14.

Дано: $\alpha_0 = 30^\circ$,

$h = 40$ см, $n_{\text{в}} = 1$,

$n_{\text{с}} = 1,36$

Найти: α_0 .

Решение:

По закону преломления света

$\sin \alpha_0 = n_{\text{в}}/n_1$, $n_1 = n_{\text{в}}/\sin \alpha_0$.

Аналогично, $\sin \alpha_0 = n_{\text{с}}/n_1 = n_{\text{с}} \sin \alpha_0 / n_{\text{с}} \approx 1,68$, $\alpha_0 \approx 43^\circ$.

Ответ: $\alpha_0 \approx 43^\circ$.

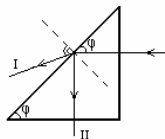
№ 15.

Дано:

$\phi = 45^\circ$

Найти: ход луча.

Решение:



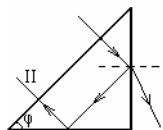
$I : \pi/2 - \phi < \alpha_{\text{пр}}$, $II : \alpha_{\text{пр}} < \pi/2 - \phi$

№ 16.

Дано: $\phi = 45^\circ$

Найти: ход луча.

Решение:



$I : \pi/2 - \phi < \alpha_{\text{пр}}$, $II : \alpha_{\text{пр}} < \pi/2 - \phi$

№ 17.

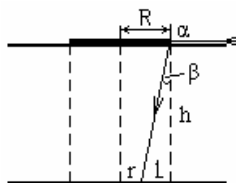
Дано:

$$R = 4 \text{ м}, h = 2 \text{ м},$$

$$n = 4/3$$

Найти: r .

Решение:



По закону преломления света: $\sin \alpha / \sin \beta = n$, $\alpha = \pi/2 \Rightarrow \sin \beta = 1/n$.

Из рисунка видно, что

$$\sin \beta = \frac{l}{\sqrt{l^2 + h^2}} = \frac{1}{n}, \quad nl = \sqrt{l^2 + h^2},$$

$$n^2 l^2 = l^2 + h^2, \quad l = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}}, \quad r = R - l = R - \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}}.$$

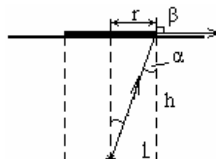
Ответ: $r = R - \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}} \approx 1,7 \text{ м}.$

№ 18.

Дано: $h = 2 \text{ м}, n = 4/3$

Найти: r_{\min} , при котором свет не выходит из воды.

Решение:



По закону преломления света: $\sin \alpha / \sin \beta = 1/n$, $\beta = \pi/2 \Rightarrow \sin \alpha = 1/n$.

Из рисунка видно, что

$$\sin \alpha = \frac{r}{\sqrt{r^2 + h^2}} = \frac{1}{n}, \quad nr = \sqrt{r^2 + h^2}, \quad n^2 r^2 = r^2 + h^2, \quad r = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}}.$$

Ответ: $r = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}} \approx 2,3 \text{ м}.$

№ 19.

Дано: $\delta = 15^\circ, \phi = 45^\circ$

Найти: n .

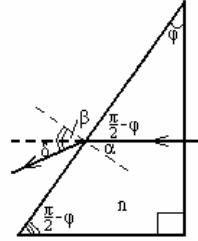
Решение:



1) Из простых геометрических соображений
 $\varepsilon = \pi/2 - \alpha$, $\lambda = \pi - \phi - \varepsilon = \pi - \phi - \pi/2 + \alpha = \pi/2 + \alpha - \phi$,
 $\gamma = \pi - \delta - \pi/2 + \alpha = \pi/2 + \alpha - \delta$, $\lambda = \pi - \gamma = \pi/2 - \alpha + \delta$,
 $\pi/2 - \alpha + \delta = \pi/2 + \alpha - \phi$, $\alpha = (\delta + \phi)/2$.
 2) По св-ву суммы углов четырехугольника:
 $2\beta + \delta + \pi - \delta + 2\pi - \pi - \phi = 2\pi$, $2\beta = \phi \Rightarrow \beta = \phi/2$.
 По закону преломления света
 $n = \sin\alpha / \sin\beta = \sin[(\delta + \phi) / 2] / \sin[\phi / 2]$.
Ответ: $n \approx 1,3$.

№ 20.

Дано: $\phi = 30^\circ$, $n = 1,4$ **Решение:**
Найти: δ .



Из простых геометрических соображений $\alpha = \pi/2 - \phi$,
 $\sin\alpha/\sin\beta = n \Rightarrow \sin\beta = \sin\alpha/n = \cos\phi/n$,
 $\beta = \arcsin(\cos\phi/n)$,
 $\delta = \pi/2 - \phi - \pi/2 + \beta = \arcsin(\cos\phi/n) - \phi \approx 14^\circ 30'$.
Ответ: $\delta \approx 14^\circ 30'$.

№ 21.

Дано: $\lambda = 510$ нм, $\nu = 440$ ТГц **Решение:**
Найти: n , ν .
 По определению показателя преломления
 $n = c/\nu = c/(\lambda\nu) \approx 1,3$.
Ответ: $\nu = 224400$ км/ч; $n = 1,3$.

№ 22.

Дано: $\lambda = 0,7$ мкм, $n = 1,3$ **Решение:**
Найти: λ_1 .
 По определению показателя преломления
 $n = c/\nu \Rightarrow \nu = c/n$,
 $\nu = \lambda_1\nu \Rightarrow \lambda_1 = \nu/\nu = (\lambda\nu)/(n\nu) = \lambda/n$, $\lambda_1 = 538$ нм.
Ответ: $\lambda_1 = 538$ нм.

№ 23.

Решение:

Белая бумага полностью отражает свет, падающий на нее. Следовательно, если ее осветить красным светом, то отраженный свет тоже будет красным, и надпись сольется с белой бумагой.

Ответ: надо осветить красным светом.

№ 24.

Решение:

Чтобы увидеть слово «физика», нужно смотреть через желтое стекло, так как оно пропускает только желтую часть спектра.

В отраженном от надписи свете не содержится этой части спектра, поэтому отраженный свет поглотится полностью стеклом. Слово «физика» будет черным.

Ответ: надо смотреть через желтое стекло.

№ 25.

Дано:

$$v_0 = 440 \text{ ТГц},$$

$$v = 560 \text{ ТГц}$$

Найти: v .

Решение:

$$v = v_0 \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c}}, \quad v + v \frac{v}{c} = v_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

$$v^2 + 2v^2 \frac{v}{c} + v^2 \frac{v^2}{c^2} = v_0^2 - v_0^2 \frac{v^2}{c^2}, \quad (v_0^2 + v^2) \frac{v^2}{c^2} + 2v^2 \frac{v}{c} + (v^2 - v_0^2) = 0,$$

$$\frac{v}{c} = \frac{-v^2 \pm \sqrt{v^4 - (v^2 + v_0^2)(v^2 - v_0^2)}}{v^2 + v_0^2} = \frac{-v^2 \pm v_0^2}{v^2 + v_0^2} \Rightarrow$$

$$v = \frac{-v^2 \pm v_0^2}{v^2 + v_0^2} c \approx 0,24 \text{ с.}$$

Ответ: $v = 0,24 \text{ с.}$

№ 26.

Дано: $\lambda_0 = 500 \text{ нм},$

$$v = 0,1 \text{ с}$$

Найти: v .

Решение:

$$v = v_c \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c}},$$

$$\lambda = \frac{c}{v} = \frac{c}{v_0} \frac{1 + \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \lambda_0 \frac{1 + \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \approx 550 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda = 550 \text{ нм.}$

№ 27.

Дано:

$\lambda = 400 \text{ нм}$

$\Delta = 4 \text{ мкм}$

Найти: ослабление или усиление света?

Решение:

По условию максимума интерференции волн

$$\Delta = \pm m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots,$$

$$m = \pm \Delta / \lambda = 4000 / 400 = 10 \Rightarrow$$

в точке схождения двух волн будет наблюдаться максимум, т.е. усиление света.

Ответ: усиление света.

№ 28.

Дано: $\lambda = 404 \text{ нм,}$

$\Delta = 17,17 \text{ мкм}$

Найти: ослабление или усиление света?

Решение:

По условию минимума интерференции 2 волн

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

$$m = (\pm \Delta / \lambda - 1) / 2 = 17170 / 404 = 10 \Rightarrow$$

в точке схождения 2 волн будет наблюдаться минимума, т.е. ослабление света.

Ответ: ослабление света.

№ 29.

Дано: $N = 500 \text{ мм}^{-1},$

$\lambda = 450 \text{ нм}$

Найти: $m_{\max}.$

Решение:

По условию максимума интерференции волн в дифракционной картине

$$d \sin \phi = \pm m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots, |\sin \phi| \leq 1 \Rightarrow m_{\max} = d / \lambda = 1 / (N\lambda) \approx 4.$$

Ответ: $m_{\max} = 4.$

№ 30.

Дано: $\lambda = 400 \text{ нм,}$

$\sin \phi = 0,04$

Найти: $N.$

Решение:

По условию максимума интерференции волн в дифракционной картине

$$d \sin \phi = \pm m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots, d = 1 / N.$$

Следовательно,

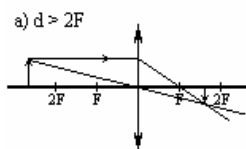
$$N = \sin \phi / (m\lambda) \approx 500 \text{ см}^{-1}.$$

Ответ: $N = 500 \text{ см}^{-1}.$

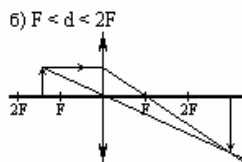
№ 31.

Найти: Построить изображение, даваемое собирающей линзой.

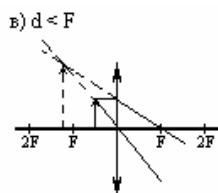
Решение:



а) действительное, б) обратное, в) уменьшенное,



а) действительное, б) обратное, в) увеличенное,

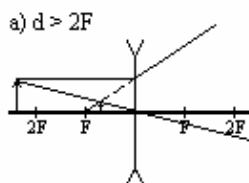


а) мнимое, б) прямое, в) увеличенное.

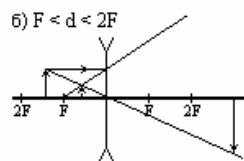
№ 32.

Найти: построить и охарактеризовать изображение, даваемое рассеивающей линзой.

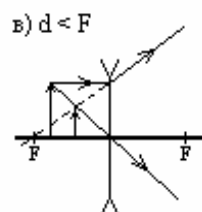
Решение:



а) мнимое, б) прямое, в) уменьшенное;



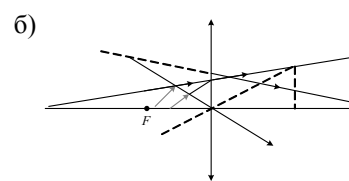
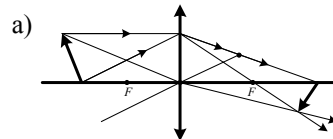
а) мнимое, б) прямое, в) уменьшенное;



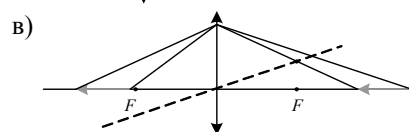
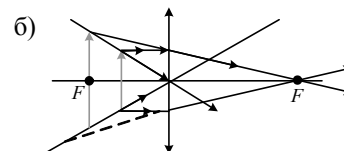
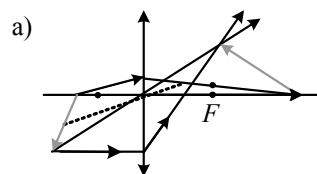
а) мнимое, б) прямое, в) уменьшенное.

№ 33.

Решение:



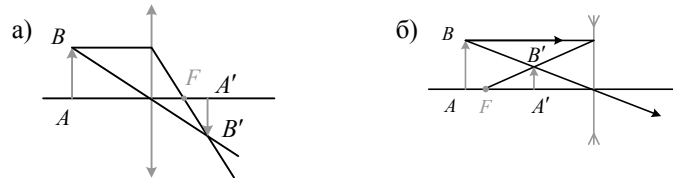
№ 34.



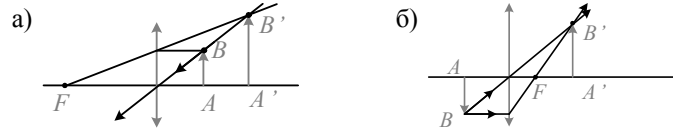
№ 35.

Найти: построение оптический центр линзы и ее фокусы.

Решение:

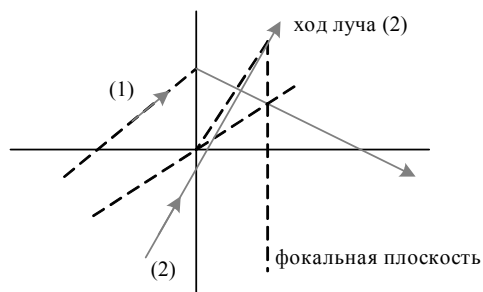


№ 36.



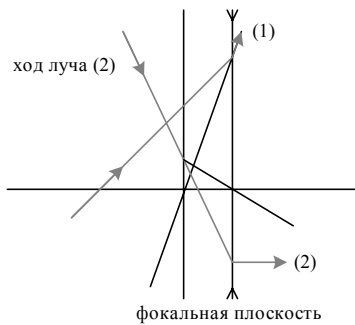
№ 37.

Решение:



№ 38.

Решение:



№ 39.

Дано: $f = 2$ см, $F = 7$ см	Решение: По формуле тонкой линзы $1/d - 1/ f = -(1/ F),$ $d = (F - f) / (F \cdot f) = 2,8$ см.
Найти: d .	Ответ: $d = 2,8$ см.

№ 40.

Дано: $d = 5$ см $f = -7$ см	Решение: По формуле тонкой линзы $1/d + 1/f = 1/F,$ $F = (df) / (d + f) = 17,5$ см.
Найти: F .	Ответ: $F = 17,5$ см.

№ 41.

Дано: $d = 30$ м $F = 1,5$ см $h = 2$ м	Решение: Из подобия треугольников $h'/d' = h/d.$ По формуле тонкой линзы $1/d + 1/d' = 1/F,$ $d' = (Fd) / (d - F).$ Следовательно, $h' = (Fh) / (d - F).$ Ответ: $h' \approx 1$ мм.
Найти: h' .	

№ 42.

Дано: $F = 15$ см, $h = 3$ м, $h' = 9$ мм	Решение: Из подобия треугольников $h/d = h'/d'.$ По формуле тонкой линзы $1/d + 1/d' = 1/F,$ $d' = (Fd)/(d - F).$ Следовательно, $d = F[1 + h/h'].$ Ответ: $d \approx 50$ м.
Найти: d .	

№ 43.

Дано: $a = 30$ см $l = 90$ см	Решение: Используя формулу линзы, получаем $\frac{1}{l-f} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$
Найти: F .	

Учитывая, что по условию $f_1 - f_2 = a$, находим

$$F = \frac{l^2 - a^2}{4l} = 20 \text{ см.}$$

Ответ: $F = \frac{l^2 - a^2}{4l} = 20 \text{ см.}$

№ 44.

Дано:

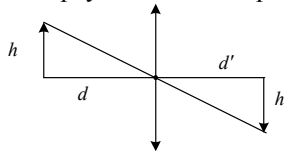
$$D = 8 \text{ дп}, n = 3,$$

$$h = h', h'_1 = h/3$$

Найти: Δd .

Решение:

1) Из подобия треугольников на рис. 1

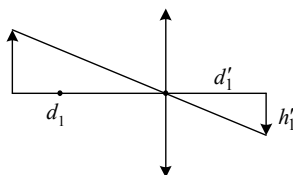


$$h/d = h'/d' \Rightarrow d = d' h/h = d'.$$

По формуле тонкой линзы $1/d + 1/d' = 1/F = D$.

Следовательно, $d = 2/D$.

2) Из подобия треугольников на рис. 2



$$h_1/d_1 = h'_1/d'_1 \Rightarrow d'_1 = d_1 h'_1/h_1 = (d_1 h)/(3h) = d_1/3.$$

По формуле тонкой линзы $1/d_1 + 1/d'_1 = D$.

Следовательно, $1/d_1 + 3/d'_1 = D$, $d_1 = 4/D$.

$$3) \Delta d = d_1 - d = 2/D - 4/D = -2/D = -2/8 = -0.25 \text{ см.}$$

Ответ: $\Delta d = 25 \text{ см.}$

№ 45.

Дано:

$$\Gamma = 2,$$

$$l = 20 \text{ см}$$

Найти: F .

Решение:

Из подобия треугольников

$$h/d = h'/d' \Rightarrow d' = dh'/h = 2d,$$

$$d + d' = l \Rightarrow 2d + d = 3d = l \Rightarrow d = l/3; d' = 2l/3.$$

По формуле тонкой линзы

$$1/d + 1/d' = 1/F \Rightarrow 3/l + 3/(2l) = 1/F \Rightarrow F = 2l/9 \approx 4,4 \text{ см.}$$

Ответ: $F = 4,4 \text{ см.}$

№ 46.

Дано:

$$F = 10 \text{ см},$$

$$a = 4 \text{ см},$$

$$h = 2 \text{ см}$$

Найти: h' .

Решение:

Так как линза собирающая, то мнимое изображение получается только если предмет находится между линзой и фокусом.

Из условия $l = a - F > 0$.

Из подобия треугольников $h/l = h'/\Gamma \Rightarrow \Gamma = lh'/h$.

По формуле тонкой линзы $1/l - 1/\Gamma = -1/F \Rightarrow 1/l - h/(h'l) = -1/F \Rightarrow h/(lh') = (F + l)/(Fl) = a/F \Rightarrow h' = hF/a = 5 \text{ см.}$

Ответ: $h' = 5 \text{ см.}$

№ 47.

Дано: $\Gamma = 3, F' = -F$	Решение: Из подобия треугольников
Найти: Γ' .	1) $h_1/h = l_1/l = \Gamma \Rightarrow l = l_1/\Gamma,$ 2) $h_1'/h = l_1'/l = \Gamma' \Rightarrow l = l_1'/\Gamma'.$

Из 1) и 2) $\Gamma' = \Gamma l_1'/l_1.$

По формуле тонкой линзы 3) $1/l - 1/l_1 = 1/F,$ 4) $1/l - 1/l_1' = -1/F.$

Сложим 3) и 4) $2/l - 1/l_1 - 1/l_1' = 0 \Rightarrow l_1'/l_1 = l/(2l_1 - l),$

$\Gamma' = l/(2l_1 - l)\Gamma = \Gamma/(2\Gamma - 1) = 0,6.$

Ответ: $\Gamma' = 0,6.$

№ 48.

Дано: $\Gamma = 3, D = 2D'$	Решение: Из условия $1/F = 2/F' \Rightarrow F' = 2F.$
Найти: Γ' .	

Из подобия треугольников

1) $h_1/h = l_1/l = \Gamma \Rightarrow l = l_1/\Gamma,$

2) $h_1'/h = l_1'/l = \Gamma' \Rightarrow l = l_1'/\Gamma'.$

Из 1) и 2) $\Gamma' = \Gamma l_1'/l_1.$

По формуле тонкой линзы

3) $1/l + 1/l_1 = 1/F,$ 4) $1/l - 1/l_1' = 1/(2F).$

Вычтем из 4) и 3), умножив 3) на 1/2:

$1/(2l) - 1/(2l_1) - 1/l_1' = 0 \Rightarrow l_1' = 2l_1l/(l_1 - l),$

$\Gamma' = \Gamma l_1'/l_1 = 2ll_1/[l_1(l_1 - l)]\Gamma = 2\Gamma l/(l_1 - l) = 2\Gamma/(\Gamma - 1) = 3$

Ответ: $\Gamma' = 3.$

№ 49.

Дано: $F_1 = 10 \text{ см},$ $F_2 = 5 \text{ см}, d_1 = 25 \text{ см},$ $L = 35 \text{ см}$	Решение: Запишем формулы тонкой линзы: $\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F_1}, \Rightarrow f_1 = \frac{F_1 \cdot d_1}{d_1 - F_1} = 16,7 \text{ см.}$
Найти: где находится изображение, $\Gamma.$	Тогда для второй линзы:

$d_2 = L - f_1 \approx 18,3 \text{ м.}$

Значит для второй линзы мы можем дописать:

$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_2}, \Rightarrow f_2 = \frac{F_2 \cdot d_2}{d_2 - F_2} \approx 6,89 \text{ см.}$

Т.е. изображение будет находится за второй линзой на расстоянии $f_2 = 6,89$ см.

Найдем увеличение, даваемое системой:

$$\Gamma = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2 = \frac{f_1}{d_1} \cdot \frac{f_2}{d_2} = 0,25 \text{ см}$$

Ответ: $\Gamma = 0,25$ см

№ 50

Дано: $F_1 = 10$ см,
 $F_2 = 15$ см, $d_1 = 12$ см,
 $L = 30$ см

Найти: l .

Решение:

Для рассеивающей линзы справедливо:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{|f_1|} = \frac{1}{|F_1|}, \Rightarrow f_1 = \frac{|F_1| \cdot d_1}{d_1 + |F_1|} = 5,45 \text{ см},$$

т.е. $d_2 = L + f_1 = 35,45$ см.

Для собирающей линзы:

$$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_2}, \Rightarrow f_2 = \frac{|F_2| \cdot d_2}{d_2 - |F_2|} = 26 \text{ см}.$$

Тогда расстояние от источника до его действительного изображения будет: $l = d_1 + L + f_2 = 12 + 30 + 26 = 68$ см.

Ответ: $l = 68$ см.

№ 51.

Дано: $F_1 = 10$ см,
 $D_1 = 5$ дп

Найти: $D_2 = ?$.

Решение: Поскольку линзы сделаны из одного и того же сорта стекла, и радиусы кривизны совпадают по числовому значению, отличаются лишь в знаке, то $D_2 = -5$ дп.

Ответ: $D_2 = -5$ дп.

№ 52.

Дано:
 $F = 25$ см

Найти: D .

Решение: Так как зеркало не влияет на расположение фокуса линзы, лежащей на нем, то оптическая сила этой системы будет равна оптической силе линзы:

$$D = 1/F = 8 \text{ дп}$$

Ответ: $D = 8$ дп

№ 53. Задача дана в учебнике с решением.

№ 54.

Дано:
 $d_o = 25$ см,
 $D = 2$ дп

Решение:

$$1) 1/f + 1/d_o = D_r + D_o,$$

$$2) 1/f + 1/d_o = D_r.$$

Найти: d_o'	Вычтем 2) из 1) $1/d_o - 1/d_o' = D_o \Rightarrow d_o' = d_o/(1 - D_o d_o) = 50 \text{ см.}$ Ответ: $d_o' = 50 \text{ см.}$
----------------------	--

Глава 2

№ 55.

Дано:

$$\lambda = 500 \text{ нм}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Найти: E .

Решение:

По формуле для энергии кванта света

$$E = h\nu = hc/\lambda, E = 3,96 \cdot 10^{-17} \text{ Дж.}$$

Ответ: $E = 3,96 \cdot 10^{-17} \text{ Дж.}$

№ 56.

Дано:

$$E = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Найти: ν .

Решение:

По формуле для энергии кванта света

$$E = h\nu \Rightarrow \nu = E/h = 606 \text{ ТГц.}$$

Ответ: $\nu = 606 \text{ ТГц.}$

№ 57.

Дано:

$$\nu = 800 \text{ ТГц}$$

Найти: p .

Решение:

$$p = mc, E = mc^2 \Rightarrow m = E/c^2.$$

Следовательно, $p = E/c = h\nu/c = 1,77 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$

Ответ: $p = 1,77 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$

№ 58.

Дано:

$$p = 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

Найти: λ .

Решение:

$$p = E/c \Rightarrow E = pc, E = 3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж,}$$

$$E = hc/\lambda \Rightarrow hc/\lambda = pc \Rightarrow \lambda = h/p.$$

$$\lambda = 660 \text{ нм}$$

Ответ: $\lambda = 660 \text{ нм, } E = 3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$

№ 59.

Дано:

$$D = 600 \text{ ТГц}$$

Найти: $2m$.

Решение:

Для одной частицы

$$E = h\nu, E = pc \Rightarrow p = \frac{h\nu}{c}, p = mc \Rightarrow m = \frac{h\nu}{c^2},$$

$$2m = \frac{2h\nu}{c^2} = 8,8 \cdot 10^{-36} \text{ кг.}$$

Ответ: $8,8 \cdot 10^{-36} \text{ кг.}$

№ 60.

Дано:

$$D = 450 \text{ ТГц}$$

Найти: m .

Решение:

Из геометрии получаем:

$$p_{\text{общ}} = \sqrt{2} p_1 = mc, p_1 = \frac{h\nu}{c}, \Rightarrow m = \frac{\sqrt{2} h\nu}{c^2} =$$

$$= 4,7 \cdot 10^{-36} \text{ кг.}$$

Ответ: $4,7 \cdot 10^{-36} \text{ кг.}$

№ 61.

Дано:

$$P = 60 \text{ Вт}, \lambda = 1,2 \text{ мкм},$$

$$p = 10^{-27} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

Найти: N .

Решение:

$$P = \Delta E / \Delta t, \Delta E = N \Delta t E_o = N \Delta t \cdot hc / \lambda,$$

$$N = \Delta E / \Delta t \cdot \lambda / (hc) = P \cdot \lambda / (hc) = 3,6 \cdot 10^{20}.$$

Ответ: $N = 3,6 \cdot 10^{20}$.

№ 62.

Дано:

$$P = 100 \text{ Вт},$$

$$N = 5 \cdot 10^{-27} \text{ с}^{-1}$$

Найти: ν .

Решение:

$$P = \Delta E / \Delta t, \Delta E = N \Delta t E_o = N \Delta t \cdot h \nu,$$

$$\nu = \Delta E / \Delta t \cdot 1 / (hN) = P / (hN) = 300 \text{ ТГц}.$$

Ответ: $\nu = 300 \text{ ТГц}$.

№ 63. Дана в учебнике с решением.

№ 64.

Дано:

$$n = 1,3, \lambda = 590 \text{ нм}$$

Найти: E .

Решение:

По определению коэффициента преломления

$$n = c / \nu \Rightarrow \nu = c / n, \nu = \lambda \nu \Rightarrow \nu = \nu / \lambda = c / (n \lambda),$$

$$E = h \nu = (hc) / (h \lambda) = 2,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $E = 2,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

№ 65.

Дано:

$$A = 2,4 \text{ эВ}, \lambda = 400 \text{ нм}$$

Найти: $E_{k\max}$.

Решение:

По формуле Эйнштейна для фотоэффекта

$$h \nu = A + E_{k\max}, E_{k\max} = h \nu - A \approx 2,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Ответ: $E_{k\max} = 2,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

№ 66.

Дано:

$$A = 2,2 \text{ эВ},$$

$$\nu = 800 \text{ ТГц},$$

$$m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

Найти: v_{\max} .

Решение:

По формуле Эйнштейна для фотоэффекта

$$h \nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}, v_{\max} = \sqrt{\frac{2}{m}(h\nu - A)} \approx 600 \text{ км/с}.$$

Ответ: $v_{\max} = 600 \text{ км/с}$.

№ 67.

Дано:

$$A = 4,2 \text{ эВ},$$

$$\lambda = 450 \text{ нм}$$

Найти: возникнет
или не возникнет
фотоэффект?

Решение:

По формуле Эйнштейна для фотоэффекта

$$h \nu_o = A, \nu_o = A / h \Rightarrow c / \lambda_o = A / h,$$

$$\lambda_o = ch / A \approx 300 \text{ нм}, \lambda_o = 300 \text{ нм} < \lambda = 450 \text{ нм}$$

\Rightarrow фотоэффект не возникнет.

Ответ: фотоэффект не возникнет.

№ 68.

Дано: $\nu_o = 1,04 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$	Решение: По формуле Эйнштейна для фотоэффекта
Найти: A .	$h\nu_o = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} = A, A = h\nu_o \approx 4,3 \text{ эВ.}$
	Ответ: $A = 4,3 \text{ эВ.}$

№ 69.

Дано: $v_{\max} = 2000 \text{ км/с,}$ $\lambda_o = 690 \text{ нм, } m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$	Решение: По формуле Эйнштейна для фотоэффекта
Найти: λ .	$A = h\nu_o = hc/\lambda_o.$

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \Rightarrow \nu = \frac{A + \frac{mv_{\max}^2}{2}}{h},$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{ch}{A + \frac{mv_{\max}^2}{2}} = \frac{ch}{h\frac{c}{\lambda_o} + \frac{mv_{\max}^2}{2}} \approx 75 \text{ нм.}$$

Ответ: $\lambda = 75 \text{ нм.}$

№ 70.

Дано: $v_{\max} = v,$ ν — частота, падающего света	Решение: 1) Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:
Найти: ν_o .	$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \Rightarrow A = h\nu - \frac{mv_{\max}^2}{2};$ 2) $A = h\nu_o \Rightarrow \nu_o = A/h = \nu - mv^2/(2h).$
	Ответ: $\nu_o = \nu - mv^2/(2h).$

№ 71.

Дано: $\nu_1 = 750 \text{ ТГц, } U = 2 \text{ В,}$ $\nu_2 = 390 \text{ ТГц, } U = 0,5 \text{ В}$	Решение: Из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта
Найти: h .	$h\nu_1 = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \Rightarrow$

Так как U_1 — задерживающее напряжение, то $\frac{mv_{\max}^2}{2} = eU_1,$

$$h\nu_1 = A + eU_1;$$

$$2. \text{ Аналогично } h\nu_2 = A + eU_1;$$

3. Из 1) и 2) $h(\nu_1 - \nu_2) = e(U_1 - U_2)$, $h = e(U_1 - U_2)/(\nu_1 - \nu_2)$.

Ответ: $h = e(U_1 - U_2)/(\nu_1 - \nu_2)$.

№ 72.

Дано: $U = 2 \text{ В}$, $\lambda_o = 600 \text{ нм}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$	Решение: По формуле Эйнштейна для фотоэффекта $h\nu_o = A$,
Найти: λ .	$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} = A + eU = h\nu_o + eU$,

$$\nu = \nu_o + eU/h = c/\lambda_o + eU/h,$$

$$\lambda = \frac{c}{\frac{c}{\lambda_o} + \frac{eU}{h}} = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_o} + \frac{eU}{hc}} = \frac{\lambda_o hc}{hc + eU\lambda_o} = 305 \text{ нм}.$$

Ответ: $\lambda = 305 \text{ нм}$.

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

Глава 3

№ 73.

Дано:

O_2 , H_2SO_4 ,
алмаз (C)

Найти: M_r , M .

Решение: Из курса химии известно: относительная молекулярная масса вещества (M_r) численно равна сумме относительных масс всех атомов (A_r), входящих в состав молекулы вещества.

$M_r(O_2) = 2 \cdot A_r(O) = 31,99$; $M_r(C) = 12$;

$M_r(H_2SO_4) = 2 \cdot A_r(H) + A_r(S) + 4 \cdot A_r(O) = 98,07$.

Чтобы найти молярную массу этих веществ необходимо взять относительную массу вещества, умножить на 1 а.е.м = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

$M(O_2) = 53,1 \cdot 10^{-27}$ кг; $M(C) = 19,92 \cdot 10^{-27}$ кг;

$M(H_2SO_4) = 16,279 \cdot 10^{-26}$ кг.

Ответ: $M_r(O_2) = 31,99$; $M_r(C) = 12$; $M_r(H_2SO_4) = 98,07$;

$M(O_2) = 53,1 \cdot 10^{-27}$ кг; $M(C) = 19,92 \cdot 10^{-27}$ кг;

$M(H_2SO_4) = 16,279 \cdot 10^{-26}$ кг.

№ 74.

Дано: CO_2 , $NaHSO_4$

Найти: M_r , M .

Решение: Аналогично предыдущей задаче

$M_r(CO_2) = A_r(C) + 2A_r(O_2) = 43,988$;

$M_r(NaHSO_4) = A_r(Na) + A_r(H) + A_r(S) + A_r(O) = 120,05$;

$M(CO_2) = 73,02 \cdot 10^{-27}$ кг.

$M(NaHSO_4) = 199,28 \cdot 10^{-27}$ кг.

Ответ: $M_r(CO_2) = 43,988$; $M_r(NaHSO_4) = 120,05$;

$M(CO_2) = 73,02 \cdot 10^{-27}$ кг; $M(NaHSO_4) = 199,28 \cdot 10^{-27}$ кг.

№ 75. Масса атома золота: $M(Au) = 326,96 \cdot 10^{-27}$ кг.

№ 76.

Дано:

$M = 197$ г/моль

Найти: m_0 .

Решение: Масса молекулы $m_0 = M/N_A$, т.к. число Авогадро обозначает число молекул, содержащихся в одном моле вещества, т.о.

$m_0 = M/N_A = 32,7 \cdot 10^{-23}$ г.

Ответ: $m_0 = M/N_A = 32,7 \cdot 10^{-23}$ г.

№ 77.

Дано: $m = 5,4$ кг,

$M = 27$ г/моль

Найти: ν .

Решение: Количество вещества выражается по формуле: $\nu = m/M = 200$ моль.

Ответ: $\nu = m/M = 200$ моль.

№ 78.

Дано:

$$\nu = 10 \text{ моль,}$$
$$M = 201 \text{ г/моль}$$

Найти: m .

Решение:

Количество вещества выражается по формуле: $\nu = m/M \Rightarrow m = \nu M = 2 \text{ кг}$.

Ответ: $m = \nu M = 2 \text{ кг}$.

№ 79.

Дано:

$$m = 280 \text{ г,}$$
$$M = 28 \text{ г/моль}$$

Найти: N .

Решение:

Число частиц $N = m/m_0$, где m_0 — масса одной молекулы.

$m_0 = M/N_A$, т.к. число Авогадро обозначает число молекул, содержащихся в одном моле вещества.

$$N = \frac{mN_A}{M} = 6 \cdot 10^{24}.$$

Ответ: $N = \frac{mN_A}{M} = 6 \cdot 10^{24}.$

№ 80.

Дано:

$$m = 195 \text{ г,}$$
$$M = 195 \text{ г/моль}$$

Найти: N .

Решение:

Число частиц $N = m/m_0$, где m_0 — масса одного атома (платина является одноатомным веществом).

$m_0 = M/N_A$, т.к. число Авогадро обозначает число молекул (атомов), содержащихся в одном моле вещества.

$$N = \frac{mN_A}{M} = 6 \cdot 10^{23}.$$

Ответ: $N = \frac{mN_A}{M} = 6 \cdot 10^{23}.$

№ 81.

Дано:

$$S = 30 \text{ см}^3, h = 10 \text{ см,}$$
$$m = 0,01 \text{ г, } V_0 = 2 \text{ мл}$$

Найти: N_0

Решение:

Найдем объем стакана: $V = Sh$.

Найдем число молекул во всем кристаллике соли:

$$N = m/m_0,$$

где m_0 — масса одной молекулы.

$m_0 = M/N_A$, т.к. число Авогадро обозначает число молекул, содержащихся в одном моле вещества, следовательно

$$N = \frac{mN_A}{M}$$

Т. к. после растворения соль равномерно распределилась по всему объему, то

$$\frac{N}{N_0} = \frac{V}{V_0} \Rightarrow N_0 = N \frac{V_0}{V} = \frac{mN_A V_0}{MSh} = 6,7 \cdot 10^{17}.$$

Ответ: $N_0 = \frac{mN_A V_0}{MSh} = 6,7 \cdot 10^{17}.$

№ 82.

Дано:

$$m = 200 \text{ г},$$

$$N_0 = 2 \text{ мл}$$

Найти: t .

Решение:

Найдем число молекул воды в стакане:

$$N = m/m_0,$$

где m_0 — масса одной молекулы.

$m_0 = M/N_A$, где M — молярная масса воды.

$$N = \frac{mN_A}{M}.$$

Время испарения равно отношению всего числа молекул к числу молекул, испаряющихся в единицу времени.

$$t = \frac{mN_A}{MN_0} = 19 \text{ сут.}$$

Ответ: $t = \frac{N}{N_0} = \frac{mN_A}{MN_0} = 19 \text{ сут.}$

№ 83.

Дано:

$$V = 1 \text{ мм}^3,$$

$$\rho = 800 \text{ кг/м}^3,$$

$$\mu = 0,016 \text{ кг/моль}$$

Найти: S_{\max} .

Решение:

$$m = \rho V, \quad \nu = m/\mu = \rho V/\mu, \quad N = N_A \nu = N_A \rho V/\mu,$$

$$V_o = V/N = \mu/(N_A \rho),$$

$$d = \sqrt[3]{V_o} = \sqrt[3]{\frac{\mu}{N_A \rho}}, \quad S = \frac{V}{h} = \frac{V}{d} = V \sqrt[3]{\frac{N_A \rho}{\mu}} \approx 3,1 \text{ м}^2.$$

Ответ: $S_{\max} = 3,1 \text{ м}^2.$

№ 84.

Дано:

$$V = 0,1 \text{ см}^3,$$

$$m = 1,932 \text{ г}$$

Решение:

$$\mu = 0,197 \text{ кг/моль}, \quad \nu = m/\mu, \quad m = \rho V, \quad N = N_A \nu =$$

Найти: d .

$$N_A m / \mu,$$

$$V_o = V/N = \mu V / (N_A m),$$

$$d = \sqrt[3]{V_o} = \sqrt[3]{\frac{\mu V}{N_A m}} \approx 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Ответ: $d = 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$

Глава 4

№ 85.

Дано: $m = 10$ г,

$U = 10$ кДж

Найти: $\langle E_k \rangle$.

Решение:

Найдем количество вещества, содержащееся в 10 г гелия:

$\nu = m/M$, где M — молярная масса гелия.

Число частиц в данном количестве вещества:

$$N = \nu N_A = m N_A / M, \quad U = \langle E_k \rangle N = \langle E_k \rangle m N_A / M \Rightarrow \langle E_k \rangle = \frac{MU}{m N_A}.$$

Ответ: $\langle E_k \rangle = 6,65 \cdot 10^{-21}$ Дж.

№ 86.

Дано:

$U = 20$ кДж,

$\langle E \rangle = 6 \cdot 10^{-21}$

Найти: N .

Решение: $U = \langle E \rangle N$, где N — число частиц

↓

$$N = U / \langle E \rangle = 3,3 \cdot 10^{26}$$

Ответ: $N = U / \langle E \rangle = 3,3 \cdot 10^{26}$.

№ 87.

Дано: $p = \text{const}$,

$A = 20$ кДж,

$V_2 - V_1 = 0,2$ м³

Найти: p .

Решение:

Т.к. давление постоянно, то работа газа равна:

$$A = p(V_2 - V_1) \Rightarrow p = A / (V_2 - V_1) = 10 \text{ кПа.}$$

Ответ: $p = A / (V_2 - V_1) = 10$ кПа.

№ 88.

Дано: $V_1 = 0,3$ м³,

$V_2 = 0,1$ м³,

$p = 100$ кПа

Найти: $A_{\text{г}}$, $A_{\text{вн}}$.

Решение: При сжатии газа внешние силы совершают положительную работу. Т.к. давление постоянно, то эта работа равна:

$$A_{\text{вн}} = (V_1 - V_2)p = 20 \text{ кДж.}$$

По третьему закону Ньютона работа газа равна по абсолютному значению и противоположна по знаку:

$$A_{\text{г}} = -A_{\text{вн}} = (V_2 - V_1)p = -20 \text{ кДж.}$$

Ответ: $A_{\text{вн}} = (V_1 - V_2)p = 20$ кДж; $A_{\text{г}} = (V_2 - V_1)p = -20$ кДж.

№ 89.

Дано:

См. рис.

Найти: $A_{\text{г}}$.

Решение:

И процесс:

давление постоянно, следовательно $A_{\text{г}} = p(V_2 - V_1)$; величина является отрицательной, т. к. газ сжимается под действием некоторой внешней силы.

$$\text{Т.о. } A_{\text{г}} = p(V_2 - V_1) = -0,4 \text{ мДж.}$$

II процесс:

На участках 2–3 и 4–5 не совершается механическая работа, а работа на остальных участках считается аналогично предыдущему процессу.

Пусть $V_1 = 1 \text{ м}^3$, $V_2 = 2 \text{ м}^3$, $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$, $p_3 = 0,1 \text{ МПа}$.
 $A_2 = p_1(V_2 - V_1) + p_2(V_1 - V_2) + p_3(V_2 - V_1) = (p_1 - p_2 + p_3)(V_2 - V_1) =$
 $= 0,2 \text{ МДж}$.

III процесс:

Работа по замкнутому циклу равна площади внутри цикла.

Пусть $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$, $V_1 = 0,5 \text{ м}^3$, $V_2 = 1 \text{ м}^3$.

$A_3 = 0,5(p_2 - p_1)(V_2 - V_1) = 25 \text{ кДж}$.

Ответ: $A_1 = -0,4 \text{ МДж}$; $A_2 = 0,2 \text{ МДж}$; $A_3 = 25 \text{ кДж}$.

№ 90.

Дано:

См. рис.

Найти: A_T

Решение:

I процесс:

Давление постоянно, следовательно

$A_T = p(V_2 - V_1)$.

Газ расширяется, следовательно совершает положительную работу.

Т.о. $A_1 = p(V_2 - V_1) = -0,4 \text{ МДж}$.

II процесс:

На участках 2-3 и 4-5 не совершается механическая работа, а работа на остальных участках считается аналогично предыдущему процессу.

Пусть $V_1 = 1 \text{ м}^3$, $V_2 = 2 \text{ м}^3$, $p_1 = 0,3 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$, $p_3 = 0,1 \text{ МПа}$.

$A_2 = p_1(V_1 - V_2) + p_2(V_2 - V_1) + p_3(V_1 - V_2) = (p_1 - p_2 + p_3)(V_1 - V_2) = -$
 $0,2 \text{ МДж}$.

III процесс:

Работа по замкнутому циклу равна площади внутри цикла. Пусть $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $p_2 = 0,2 \text{ МПа}$, $V_1 = 0,5 \text{ м}^3$, $V_2 = 1 \text{ м}^3$.

$A_3 = 0,5(p_2 + p_1)(V_2 - V_1) + (V_1 - V_2)p_2 = 0,1 \text{ МДж}$.

Ответ: $A_1 = -0,4 \text{ МДж}$; $A_2 = -0,2 \text{ МДж}$; $A_3 = 0,1 \text{ Дж}$.

№ 91.

Дано:

$S = 1 \text{ дм}^2$

$m = 10 \text{ кг}$

$h = 20 \text{ см}$

$p_0 = 100 \text{ кПа}$

Найти: A

Решение: Рассмотрим силы, действующие на поршень. Сила давления со стороны газа внутри цилиндра действует вертикально вверх, вес поршня и сила давления со стороны внешней среды действуют на поршень вертикально вниз. При этом после подъема на высоту h поршень остановился.

Запишем второй закон Ньютона:

$$pS - p_0S - mg = 0 \Leftrightarrow p = p_0 + mg/S. \quad (1)$$

Будем считать, что в процессе нагрева воздуха давление в цилиндре остается постоянным, тогда работа газа положительна и равна:

$$A = p(V_2 - V_1) \quad (2)$$

Выразим разницу начального и конечного объемов через известные величины:

$$V_2 - V_1 = Sh \quad (3)$$

Из (1), (2) и (3):

$$A = (p_0 + mg/S)Sh = 39,6 \text{ Дж.}$$

Ответ: $A = (p_0 + mg/S)Sh = 39,6 \text{ Дж.}$

№ 92.

Дано:

$$S = 0,01 \text{ м}^2$$

$$A = 102 \text{ Дж}$$

$$h = 10 \text{ см}$$

$$p_0 = 100 \text{ кПа}$$

Найти: m

Решение:

Рассмотрим силы, действующие на поршень.

Сила давления со стороны газа внутри цилиндра действует вертикально вверх, вес поршня и сила давления со стороны внешней среды действуют на поршень вертикально вниз. При этом после подъема на высоту h поршень остановился.

Запишем второй закон Ньютона:

$$pS - p_0S - mg = 0 \Leftrightarrow p = p_0 + mg/S \quad (1)$$

Будем считать, что в процессе нагрева воздуха давление в цилиндре остается постоянным, тогда газ совершает отрицательную работу, которая равна:

$$A = p(V_1 - V_2) \quad (2)$$

Выразим разницу начального и конечного объемов через известные величины:

$$V_1 - V_2 = Sh \quad (3)$$

Из (1), (2) и (3):

$$A = (p_0 + \frac{mg}{S})Sh \Leftrightarrow m = \frac{A - p_0Sh}{gh} = 2 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = \frac{A - p_0Sh}{gh} = 2 \text{ кг.}$

№ 93. Дана в учебнике с решением.

№ 94.

Дано:

m, v, M

Найти: Q .

Решение: Через некоторое время после попадания кирпича на тележку он остановится относительно нее из-за действующих на него сил трения, в результате тележка и кирпич будут двигаться как единое целое с некоторой скоростью u .

Запишем законы сохранения импульса и энергии для состояний до и после падения в проекции на ось (x): $mv = (m + M)u$.

Из этих уравнений:

$$Q = \frac{mv^2}{2} - \frac{(m + M)m^2v^2}{2(m + M)^2} = \frac{m^2v^2 + mMv^2 - m^2v^2}{2(m + M)} = \frac{mMv^2}{2(m + M)},$$

$$\frac{mv^2}{2} = Q + \frac{(m + M)u^2}{2}.$$

Ответ: $Q = \frac{mMv^2}{2(m + M)}.$

№ 95.

Дано: $m = 1$ кг,

$\alpha = 30^\circ, l = 20$ м,

$v = 4$ м/с

Найти: Q .

Решение: В процессе движения часть механической энергии бруска переходит во внутреннюю, в результате выделяется некоторое количество теплоты, которое равно изменению механической энергии системы.

$$Q = mgl \cdot \sin \alpha - 0,5mv^2 = 90 \text{ Дж}$$

Ответ: $Q = 90$ Дж, знак «−» из-за того, что это тепло система теряет.

№ 96.

Дано: $M = 2000$ т,

$a = 0,3$ м/с²,

$t = 50$ с

Найти: Q .

Решение: Пусть в момент начала торможения поезд имел скорость, через 50 с после этого поезд остановился. Запишем уравнение движения и найдем начальную скорость:

$$0 - v = -at. \quad (1)$$

В процессе торможения кинетическая энергия движения поезда перешла во внутреннюю вследствие наличия работы силы трения.

Запишем теорему о кинетической энергии:

$$0,5mv^2 = Q. \quad (2)$$

Из (1) и (2): $Q = 0,5Ma^2t^2 = 225 \cdot 10^6$ Дж.

Ответ: $Q = 0,5Ma^2t^2 = 225 \cdot 10^6$ Дж.

№ 97.

Дано:

$$m_1 = 70 \text{ г}$$

$$m_2 = 60 \text{ г}$$

$$v_1 = 6 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 4 \text{ м/с}$$

Найти: Q .

Решение: В результате абсолютно неупругого столкновения шары слипаются и часть их механической энергии переходит во внутреннюю. Количество теплоты, выделяющееся в процессе теплообмена с окружающей средой, равно изменению механической энергии системы:

$$Q = E_2 - E_1 = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2} - \left(\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \right). \quad (1)$$

Запишем закон сохранения импульса:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}.$$

В проекциях на оси:

$$Ox: m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_x$$

$$Oy: -m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_y$$

↓

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 = \frac{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}{(m_1 + m_2)^2} \quad (2)$$

Из (1) и (2):

$$Q = \frac{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}{2} - \frac{m_1^2 v_1^2 + m_2^2 v_2^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1^2 + v_2^2).$$

$$\text{Ответ: } Q = \frac{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}{2} - \frac{m_1^2 v_1^2 + m_2^2 v_2^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1^2 + v_2^2).$$

Задача № 98.

Дано:

$$m, v_1, M, v_2$$

Найти: ΔE .

Решение: В процессе столкновения пули с кубом часть механической энергии системы перешла во внутреннюю за счет наличия сил трения.

Количество теплоты, выделяющееся в процессе теплообмена с окружающей средой, равно изменению механической энергии системы.

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{Mu^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (1)$$

Будем считать, что скорость пули такова, что в процессе движения ее траектория не меняется.

Запишем закон сохранения импульса:

$$mv_1 = Mu + mv_2 \Leftrightarrow u = \frac{m(v_1 - v_2)}{M} \quad (2)$$

$$\text{Из (1) и (2): } \Delta E = \frac{mv_2^2 - mv_1^2}{2} + \frac{m^2(v_1 - v_2)^2}{2M}.$$

$$\text{Ответ: } \Delta E = \frac{mv_2^2 - mv_1^2}{2} + \frac{m^2(v_1 - v_2)^2}{2M}.$$

№ 99.

Дано:

$$m = 100 \text{ г},$$

$$t_1 = 200^\circ\text{C},$$

$$t_2 = -10^\circ\text{C}$$

Найти: Q .

Решение:

В процессе превращения воды в лед теплота будет выделяться за счет охлаждения тела и за счет наличия процесса перехода из жидкого состояния в твердое.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q = c_B m t_1 + \lambda m + c_A m |t_2|,$$

где c_B — удельная теплоемкость воды; c_A — удельная теплоемкость льда; λ — удельная теплота плавления льда.

Ответ: $Q = 39,4 \text{ кДж}$.

№ 100.

Дано:

$$m = 10 \text{ г},$$

$$t_1 = 0^\circ\text{C},$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

Найти: Q .

Решение:

В процессе превращения льда в пар необходимо количество теплоты для превращения льда в воду, на нагрев воды на 100°C и на превращение воды в водяной пар.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$Q = \lambda_1 m + (t_2 - t_1) m c + \lambda_2 m,$$

где λ_1 и λ_2 — удельная теплота плавления льда и парообразования воды; c — удельная теплоемкость воды.

$$Q = 30 \text{ кДж}.$$

Ответ: $Q = 30 \text{ кДж}$.

№ 101. Смотри решение задачи в учебнике.

№ 102.

Дано:

$m_1 = 1 \text{ кг}, m_2 = 10 \text{ кг},$
 $m_3 = 5 \text{ кг}, t_1 = 6^\circ\text{C},$
 $t_2 = -40^\circ\text{C}, t_3 = 60^\circ\text{C},$
 $c_1 = 2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{C}),$
 $c_2 = 4 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{C}),$
 $c_3 = 2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{C})$

Найти: θ .

Решение:

Будем считать систему теплоизолированной, тогда по закону сохранения энергии количество теплоты, выделенное элементами системы (в данном случае различными жидкостями), равно количеству теплоты, поглощенной элементами системы.

Возможно 2 случая в зависимости от условий задачи: либо первая жидкость будет нагреваться, тогда, либо первая жидкость будет охлаждаться, тогда. В любом случае вторая жидкость будет нагреваться, а третья — охлаждаться.

Рассмотрим оба случая и для каждого запишем уравнение теплового баланса.

I случай $\theta > 6$.

$$c_1 m_1 (\theta - t_1) + c_2 m_2 (\theta - t_2) = c_3 m_3 (t_3 - \theta).$$

В условиях данной задачи:

$$2(\theta - 6) + 40(\theta + 40) = 10(60 - \theta) \Leftrightarrow 52\theta = -988 < 0, \text{ но по предположению } \theta > 6, \text{ следовательно имеет место второй случай.}$$

II случай $\theta < 6$.

$$c_1 m_1 (t_1 - \theta) + c_3 m_3 (t_3 - \theta) = c_2 m_2 (\theta - t_2).$$

По условию задачи:

$$2(6 - \theta) + 10(60 - \theta) = 40(40 + \theta) \Leftrightarrow 52\theta = -988 \Leftrightarrow \theta = -19.$$

Ответ: $\theta = -19$.

№ 103.

Дано:

$m_1 = 250 \text{ г}, m_2 = 500 \text{ г},$
 $t_1 = 12^\circ\text{C}, t_2 = 100^\circ\text{C},$
 $C = 63 \text{ Дж}/\text{C},$
 $\theta = 33^\circ\text{C},$
 $c_2 = 380 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$

Найти: c_1 .

Решение:

Будем считать систему теплоизолированной, тогда по закону сохранения энергии количество теплоты, выделенное элементами системы, равно количеству теплоты, поглощенной элементами системы. В данной системе после опускания медного тела в масло медное тело будет остывать, а масло с калориметром — охлаждаться.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$C(\theta - t_1) + c_1 m_1 (\theta - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - \theta) \Leftrightarrow c_1 =$$

$$= \frac{c_2 m_2 (t_2 - \theta) - C (\theta - t_1)}{m_1 (\theta - t_1)} = 2,17 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}.$$

Ответ: $c_1 = 2,17 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$.

№ 104.

Дано:

$m_1 = 0,3 \text{ кг}, m = 0,2 \text{ кг},$
 $m_2 = 1,27 \text{ кг}, t_2 = 15^\circ\text{C},$
 $c = 380 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)},$
 $c_1 = 460 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)},$
 $\theta = 32^\circ\text{C}$

Найти: t_1 .

Решение:

Будем считать систему теплоизолированной, тогда по закону сохранения энергии количество теплоты, выделенное элементами системы, равно количеству теплоты, поглощенной элементами системы. В данной системе после опускания стального цилиндра в медный сосуд с водой температура цилиндра понизилась, а сосуда с водой — увеличилась.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$m_1 c_1 (t_1 - \theta) = (mc + m_2 c_2) (\theta - t_2) \Leftrightarrow t_1 = \theta + \frac{mc + m_2 c_2}{m_1 c_1} (\theta - t_2) = 692^\circ\text{C}.$$

Ответ: $t_1 = 692^\circ\text{C}$.

№ 105. Решена в учебнике.

№ 106.

Дано:

$m_1 = 2 \text{ кг},$
 $m_2 = 4 \text{ кг},$
 $t_1 = 30^\circ\text{C},$
 $t_2 = -20^\circ\text{C},$
 $c_v = 4,2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$
 $c_l = 2,2 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$
 $\lambda_l = 332,4 \text{ кДж/кг}$

Найти: состав смеси и температуру?

Решение:

Рассмотрим теплоизолированную систему. При охлаждении всей воды до 0° выделится количество теплоты.

$$Q_v = c_v \cdot m_1 \cdot t_1 = 252 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C}.$$

Что меньше тепла необходимого на нагрев льда до 0° и его плавление.

Т.е. после установления мы будем наблюдать смесь из воды и льда. При температуре 0°C найдем массовые доли компонентов.

На нагрев льда уйдет

$$Q_l = c_l \cdot m_2 \cdot t_2 = 176 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}.$$

Q на плавление

$$Q_l = Q_v - Q_l = 76 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$$

$$Q = m_o \lambda_l,$$

где m_o — масса растаявшего льда.

$$m_o \frac{Q}{\lambda_{\text{л}}} = 0,22 \text{ кг}, m_{\text{в}} = m_1 + m_o = 2,22 \text{ кг}; m_{\text{л}} = m_2 - m_o = 3,78 \text{ кг}.$$

Ответ: смесь из 2,2 кг воды и 3,78 кг льда при температуре 0°C .

№ 107.

Дано:

$$m_1 = 10 \text{ кг}, m_2 = 2 \text{ кг}, \\ t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 500^\circ\text{C}, \\ c_{\text{ст}} = 380 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C}), \\ \theta = 24^\circ\text{C}$$

Найти: m .

Решение:

Т. к. система теплоизолирована, то по закону сохранения энергии количество теплоты, выделенное элементами системы, равно количеству теплоты, поглощенной элементами системы. В данной теплота от стального предмета пошла на нагрев воды и на превращение ее части в пар.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$(m_1 - m)c_{\text{в}}(\theta - t_1) + mc_{\text{в}}(100^\circ - t_1) + m\lambda = m_2c_{\text{ст}}(t_2 - \theta) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow mc_{\text{в}}(100^\circ - t_1 + t_2 - \theta) + m\lambda = m_2c_{\text{ст}}(t_2 - \theta) - m_1c_{\text{в}}(\theta - t_1) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow m = \frac{m_2c_{\text{ст}}(t_2 - \theta) - m_1c_{\text{в}}(\theta - t_1)}{c_{\text{в}}(100^\circ - t_1 + t_2 - \theta) + \lambda} = 0,1 \text{ кг}.$$

Ответ: 0,1 кг.

№ 108.

Дано:

$$m_1 = 1,5 \text{ кг}, m_2 = 200 \text{ г}, \\ t_1 = 15^\circ\text{C}, t_2 = 100^\circ\text{C}$$

Найти: θ .

Решение:

В условиях данной задачи заранее не известно, в каком агрегатном состоянии будет находиться конечная система.

Рассмотрим количество теплоты, выделившееся при превращении всего пара массы m_2 в воду при температуре 100°C :

$$Q_1 = \lambda m_2 = 0,2 \cdot 2257 = 451,4,$$

где λ — удельная теплота парообразования воды.

Количество теплоты, необходимое для нагрева воды массы m_2 до температуры 100°C :

$$Q_2 = cm_1(100^\circ - t_1) = 4,2 \cdot 1,5 \cdot 85 = 535,5,$$

где c — удельная теплоемкость воды.

Т.к. $Q_2 > Q_1$, то в системе весь пар превратится в жидкость при некоторой температуре $\theta < 100^\circ\text{C}$. Запишем общее уравнение теплового баланса:

$$Q_1 + m_2 c (100^\circ - \theta) = m_1 c (\theta - t_1) \Leftrightarrow \lambda m_2 + m_2 c t_2 + m_1 c t_1 = \theta (m_1 c + m_2 c) \Leftrightarrow \theta = \frac{\lambda m_2 + m_2 c t_2 + m_1 c t_1}{(m_1 + m_2) c} = 88,2^\circ\text{C}$$

Ответ: $\theta = 88,2^\circ\text{C}$.

№ 109.

Дано:

$m_1 = 200 \text{ г}, m_2 = 20 \text{ г},$
 $t_1 = 15^\circ\text{C}, t_2 = 10^\circ\text{C},$
 $C = 164 \text{ Дж/}^\circ\text{C}$

Найти:

Решение:

Мокрый снегом называется смесь воды и льда, находящаяся при температуре 0°C . Т.к. в системе установилась положительная температура, то весь лед, содержащийся в снеге, растаял.

Напишем общее уравнение теплового баланса:

$$c_v m_1 (t_1 - t_2) - c(t_1 - t_2) = -c_v m t_2 + \lambda(m_1 - m)$$

$$m = \frac{c_v m_1 (t_1 - t_2) - c(t_1 - t_2) - \lambda m_2}{-c_v (t_2) - \lambda} = 0,0087 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 8,7 \text{ г.}$

№ 110.

Дано:

$m_b = 4 \text{ кг},$
 $t_b = -20^\circ\text{C},$
 $t_1 = 60^\circ\text{C},$
 $t_2 = 20^\circ\text{C}$

Найти: C .

Решение:

Количество теплоты, выделяющееся при охлаждении печи на температуру $t_1 - t_2$: $Q_1 = C(t_1 - t_2)$,

$$Q_2 = c_{\text{л}} m_{\text{л}} (0^\circ - t_{\text{л}}) + \lambda_{\text{л}} m_{\text{л}} + c_{\text{в}} m_{\text{в}} 100^\circ + r_{\text{в}} m_{\text{в}},$$

Количество теплоты, необходимое для превращения в пар льда при заданных массе и температуре:

где $c_{\text{л}}$ — удельная теплоемкость льда; $c_{\text{в}}$ — удельная теплоемкость воды; $\lambda_{\text{л}}$ — удельная теплота плавления; $r_{\text{в}}$ — удельная теплота парообразования.

По условию задачи

$$Q_1 = Q_2 \Leftrightarrow C = \frac{c_{\text{л}} (0^\circ - t_{\text{л}}) + \lambda_{\text{л}} + c_{\text{в}} 100^\circ + r_{\text{в}}}{t_1 - t_2} m_{\text{л}} = 305,3 \cdot 10^3.$$

Ответ: $C = 305,3 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}.$

№ 111.

Дано:

$h = 10 \text{ м}, \eta = 0,5$

Решение:

По условию задачи η механической энергии

Найти: $\Delta t = t_2 - t_1$.	движения воды переходит во внутреннюю. Т. к. кинетическая энергия воды не меняется, то имеется в виду потенциальная энергия.
--	--

Рассмотрим некоторую массу воды и запишем для нее выражение для потенциальной энергии на вершине водопада: $mgh = E$.

$$E\eta = Q = cm\Delta t \Rightarrow mgh\eta = cm\Delta t \Leftrightarrow \Delta t = \frac{gh\eta}{c} = 0,11^\circ\text{C}.$$

Ответ: $\Delta t = \frac{gh\eta}{c} = 0,11^\circ\text{C}.$

№ 112.

Дано: $m = 1 \text{ т},$
 $V = 250 \text{ см}^3,$
 $t_1 = 100^\circ\text{C},$
 $t_2 = 20^\circ\text{C}$

Найти: $h.$

Решение: Энергия, необходимая для поднятия груза на высоту h , равна потенциальной энергии тела, поднятого над землей на данную высоту, т.о. $E = mgh$.

Энергия, выделившаяся при остывании воды:

$$Q = cm(t_1 - t_2) = c\rho V(t_1 - t_2),$$

где ρ — плотность воды.

Т. к. предполагается, что вся выделившаяся энергия расходуется на поднятие груза, то

$$Q = E \Leftrightarrow mgh = c\rho V(t_1 - t_2) \Leftrightarrow h = \frac{c\rho V(t_1 - t_2)}{mg} = 8,57 \text{ м}.$$

Ответ: $h = 8,57 \text{ м}.$

№ 113.

Дано: $t_0 = 327^\circ\text{C},$
 $v_1 = 400 \text{ м/с}, v_2 = 290 \text{ м/с},$
 $t_1 = 107^\circ\text{C}, \eta = 80\%,$
 $c = 130 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{C)}$

Найти: $k = m_0/m.$

Решение: Работа, совершенная при ударе, равна разности кинетических энергий пули до и после столкновения с плитой:

$$A = E_1 - E_2 = 0,5(mv_1^2 - mv_2^2).$$

Внутренняя энергия пули по условию увеличивается на величину

$$Q = \eta A. \quad m\eta \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} = cm(t_0 - t_1) + \lambda m_0 \Leftrightarrow k = \frac{m_0}{m} =$$

$$= \frac{\eta(v_1^2 - v_2^2) - cm(t_0 - t_1)}{2\lambda} = 0,07.$$

Ответ: $m_0/m = 0,07.$

№ 114.

Дано:

$$v = 200 \text{ м/с}, \eta = 80\%,$$

$$c = 130 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$$

Найти: Δt .

Решение:

Найдем кинетическую энергию пули до столкновения с препятствием:

$$E = 0,5mv^2c.$$

Внутренняя энергия пули по условию увеличивается на величину $Q = \eta E$.

С другой стороны, количество теплоты, необходимое для нагрева пули, равно $Q = cm\Delta t$. Т.о.

$$cm\Delta t = \frac{m\eta v^2}{2} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{\eta v^2}{2c} = 120^\circ\text{C}.$$

Ответ: $\Delta t = \frac{\eta v^2}{2c} = 120^\circ\text{C}.$

№ 115.

Дано: $v = 900 \text{ км/ч},$

$$S = 1800 \text{ км},$$

$$m = 4 \text{ т},$$

$$N = 5900 \text{ кВт},$$

$$\eta = 23 \%$$

Найти: q .

Решение: Время пролета самолета: $t = S/v$

За это время двигатель совершил работу

$$A = Nt = NS/v.$$

Теплота, выделившаяся при сгорании топлива за найденное время $A = \eta Q$, следовательно

$$Q = \frac{A}{\eta} = \frac{NS}{v\eta}.$$

С другой стороны, $Q = qm$.

В итоге получаем:

$$qm = \frac{NS}{v\eta} \Leftrightarrow q = \frac{NS}{mv\eta} = 769,6 \text{ Дж/кг}.$$

Ответ: $q = \frac{NS}{mv\eta} = 769,6 \text{ Дж/кг}.$

№ 116.

Дано:

$$v = 700 \text{ м/с}, m = 10 \text{ г},$$

$$\eta = 30 \%,$$

$$q = 3,8 \text{ МДж/кг}$$

Решение: Теплота, выделяемая при сгорании пороха, расходуется на совершение работы, т. е. на передачу пули задан-

Найти: m .

ной скорости.

$$A = 0,5 mv^2 = \eta Q \quad (1)$$

$$Q = qm. \quad (2)$$

Из (1) и (2):

$$m = \frac{mv^2}{2q\eta} = 2,1 \text{ г.}$$

Ответ: $m = 2,1 \text{ г.}$

№ 117.

Дано: $u = 220 \text{ В,}$
 $S = 0,84 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$
 $m = 2 \text{ кг,}$
 $t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 100^\circ\text{C},$
 $\eta = 80\%,$
 $\rho = 0,42 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м,}$
 $\tau = 600 \text{ с,}$
 $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$

Найти: l .

Решение: Мощность нагревателя есть тепло, которое оно выделяет за единицу времени:

$$P = \frac{Q}{\tau\eta}, \quad (1)$$

где $Q = c_{\text{в}}m(t_2 - t_1)$ тратится на нагрев воды.

С другой стороны: $P = Iu = \frac{u^2}{R},$

$$\text{т.к. по определению } R = \rho \frac{l}{S} \Rightarrow P = \frac{u^2 S}{\rho l} \Rightarrow l = \frac{u^2 S}{\rho P}.$$

Учитывая формулу (1) окончательно получим:

$$l = \frac{u^2 S \tau \eta}{\rho c_{\text{в}} m (t_2 - t_1)} \approx 69 \text{ м.}$$

Ответ: $l = 69 \text{ м.}$

№ 118.

Дано: $\tau = 20 \text{ мин,}$
 $R = 160 \text{ Ом, } u = 220 \text{ В,}$
 $m = 0,5 \text{ кг, } t_1 = 20^\circ\text{C,}$
 $t_2 = 100^\circ\text{C, } \eta = 80\%,$
 $r_{\text{в}} = 2257 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$
 $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$

Найти: m_0 .

Решение: Мощность нагревателя идет на нагрев воды и на парообразование:

$$P = \frac{u^2}{R} \rightarrow Q = c_{\text{в}}m(t_2 - t_1) + m_0 r.$$

$$Q = \rho \tau \eta = \frac{u^2}{R} \tau \eta.$$

Тогда

$$m_0 = \frac{\frac{u^2}{R} \tau \eta - c_{\text{в}}m(t_2 - t_1)}{r} = 0,054 \text{ кг.}$$

Ответ: $m_0 = 54 \text{ г.}$

№ 119.

Дано:

$$Q = 8 \text{ мДж},$$

$$A = 3 \text{ мДж}$$

Найти: ΔU .

Решение: По первому закону термодинамики теплота, полученная газом, расходуется на изменение внутренней энергии газа и на совершение газом работы:

$$Q = A + \Delta U \Rightarrow \Delta U = Q - A = 5 \text{ мДж}.$$

Т.о. внутренняя энергия газа увеличилась.

Ответ: $\Delta U = Q - A = 5 \text{ мДж}$.

№ 120.

Дано:

$$Q = 0$$

$$A = 1 \text{ МДж}$$

Найти: ΔU .

Решение: По первому закону термодинамики теплота, полученная газом, расходуется на изменение внутренней энергии газа и на совершение газом работы. В данном случае процесс адиабатический, след.

$$0 = A + \Delta U \Rightarrow \Delta U = -A = -1 \text{ МДж}.$$

Т.о. внутренняя энергия газа уменьшилась.

Ответ: $\Delta U = -A = -1 \text{ МДж}$.

№ 121.

Дано:

$$\Delta t = 20^\circ\text{C},$$

$$m = 30 \text{ г},$$

$$c = 655 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$$

Найти: ΔU .

Решение: По первому закону термодинамики теплота, полученная газом, расходуется на изменение внутренней энергии газа и на совершение газом работы. В данной задаче работа не совершается, след.

$$Q = \Delta U \Rightarrow \Delta U = cm\Delta t = 393 \text{ Дж}.$$

Т. о. внутренняя энергия газа увеличилась.

Ответ: $\Delta U = cm\Delta t = 393 \text{ Дж}$.

№ 122.

Дано:

$$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 70^\circ\text{C}$$

$$m = 50 \text{ г}, \Delta V = 0,02 \text{ м}^3,$$

$$p = 100 \text{ кПа},$$

$$c = 1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$$

Найти: ΔU .

Решение: При нагреве газа затрачивается энергия: $Q = cm(t_2 - t_1)$.

По первому закону термодинамики $Q = \Delta U + A$, где $A = p\Delta V$, т.к. газ расширяется изобарически.

$$\Delta U = cm(t_2 - t_1) - p\Delta V = 500 \text{ Дж}.$$

Ответ: $\Delta U = cm(t_2 - t_1) - p\Delta V = 500 \text{ Дж}$.

№ 123.

Дано: $\eta = 20 \%$,

$$Q_+ = 1,5 \text{ МДж},$$

Решение: По определению КПД:

Найти: A, Q_- .	$\eta = A/Q_+ = 1 + Q_-/Q_+ \Rightarrow A = \eta Q_+, Q_- = Q_+(\eta - 1),$ $A = 0,3 \text{ МДж}, Q_- = -1,2 \text{ МДж}.$
--------------------------	---

Ответ: $Q_- = Q_+(\eta - 1) = -1,2 \text{ МДж}, A = \eta Q_+ = 0,3 \text{ МДж}.$

№ 124.

Дано: $T_H = 250^\circ\text{C},$ $Q_+ = 1,5 \text{ МДж},$ $Q_- = -1,2 \text{ МДж},$ $T_X = 30^\circ\text{C}$ Найти: $\alpha.$	Решение: По определению КПД $\eta = A/Q_+ = 1 + Q_-/Q_+.$ КПД любого цикла с заданными температурами нагревателя и холодильника не превышает КПД цикла.
---	--

Карно с теми же температурами, а КПД цикла Карно вычисляется по формуле:

$$\eta_K = 1 - T_X/T_H,$$

$$\alpha = \frac{\eta_K}{\eta} = \frac{1 - T_X/T_H}{1 - Q_-/Q_+} = 2,1.$$

Ответ: $\alpha = \frac{\eta_K}{\eta} = \frac{1 - T_X/T_H}{1 - Q_-/Q_+} = 2,1.$

№ 125.

Дано: $Q_+ = 40 \text{ кДж},$ $T_H = 150^\circ\text{C},$ $T_X = 25^\circ\text{C}$ Найти: $A.$	Решение: По определению КПД: $\eta = A/Q_+ = 1 + Q_-/Q_+.$ КПД цикла Карно вычисляется по формуле: $\eta = 1 - T_X/T_H,$
---	---

$$\frac{T_X}{T_H} = -\frac{Q_-}{Q_+} \Leftrightarrow Q_- = -\frac{T_X}{T_H} Q_+.$$

Т.о. по закону сохранения энергии:

$$A = Q_- + Q_+ = (1 - \frac{T_X}{T_H})Q_+ = 11,8 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A = Q_- + Q_+ = (1 - \frac{T_X}{T_H})Q_+ = 11,8 \text{ кДж}.$

№ 126.

Дано: $Q_+ = 10 \text{ кДж},$ $T_X = 20^\circ\text{C},$ $\eta = 30\%$ Найти: $T_H, Q_-.$	Решение: По определению КПД: $\eta = A/Q_+ = 1 + Q_-/Q_+. \quad (1)$ КПД цикла Карно вычисляется по формуле: $\eta = 1 - T_X/T_H \quad (2)$
--	--

Из (1) $Q_- = (\eta - 1)Q_+ = -7 \text{ кДж}.$

Из (2) $T_H = \frac{T_X}{1-\eta} = 418,6 \text{ K} = 145,6^\circ \text{C}$.

Ответ: $Q_- = (\eta - 1)Q_+ = -7 \text{ кДж}$, $T_H = \frac{T_X}{1-\eta} = 418,6 \text{ K} = 145,6^\circ \text{C}$.

№ 127.

Дано: $\eta = 16\%, \alpha = 20\%$ <hr/> Найти: η_1 .	Решение: По определению КПД: $\eta = A/Q_+ = 1 + Q_-/Q_+$ Для второго цикла:	(1)
--	---	-----

Из (1): $\frac{Q_-}{Q_+} = \eta - 1$.

Т.о. $\eta_1 = 1 - \frac{1-\alpha}{1+\alpha}(1-\eta) = 44\%$.

Ответ: $\eta_1 = 1 - \frac{1-\alpha}{1+\alpha}(1-\eta) = 44\%$.

№ 128.

Дано: $A = 100 \text{ Дж}$, $Q_- = -400 \text{ Дж}$ <hr/> Найти: η, Q_+ .	Решение: По определению КПД: $\eta = A/Q_+ = 1 + Q_-/Q_+ \Rightarrow Q_+ = A - Q_- = 500 \text{ Дж}$, $\eta = A/Q_+ = A/(A - Q_-) = 20\%$.
--	--

Ответ: $Q_+ = A - Q_- = 500 \text{ Дж}$, $\eta = \frac{A}{A - Q_-} = 20\%$.

Глава 5

№ 129.

Дано: $m = 10 \text{ г}, t = 27^\circ \text{C}$ <hr/> Найти: U .	Решение: Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы: $U_0 = 1,5kT$.
--	--

Внутренняя энергия данного количества вещества:

$$U = NU_0,$$

где N — число частиц.

Т. о. $U = \frac{m}{M} N_A \frac{3}{2} kT = \frac{3m}{2M} RT = 9,3 \text{ кДж}$.

Ответ: $U = \frac{3m}{2M} RT = 9,3 \text{ кДж.}$

№ 130.

Дано: $\nu = 5 \text{ моль,}$ $t = 37^\circ\text{C}$	Решение: Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы: $U_0 = 3/2kT$ (1)
Найти: U .	Внутренняя энергия данного количества вещества: $U = NU_0$ (2),

где N — число частиц.

По закону Авогадро

$$N = \nu N_A \quad (3)$$

Из (1), (2) и (3):

$$U = 3/2kTN_A\nu = 3/2\nu RT = 19,3 \text{ кДж.}$$

Ответ: $U = 3/2\nu RT = 19,3 \text{ кДж.}$

№ 131.

Дано: $\langle v^2 \rangle = 10^5 \text{ м}^2/\text{с}^2$	Решение: Средняя кинетическая энергия поступательно-го движения одной молекулы:
Найти: $\langle E_k \rangle$.	$\langle E \rangle = 0,5m\langle v^2 \rangle,$

$$N/N_A = m/M \Rightarrow (\text{т.к. рассматривается 1 частица}) m = M/N_A$$

$$\langle E \rangle = \frac{M \langle v^2 \rangle}{2N_A} = 2,7 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

Ответ: $\langle E \rangle = \frac{M \langle v^2 \rangle}{2N_A} = 2,7 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$

№ 132.

Дано: $\langle E \rangle = 6,21 \cdot 10^{-21}$	Решение: Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы: $\langle E \rangle = 1,5kT$
Найти: t .	

$$T = \frac{2 \langle E \rangle}{3k} = 300 \text{ K} \Rightarrow t = 27^\circ \text{C}.$$

Ответ: $t = \frac{2 \langle E \rangle}{3k} - 273^\circ = 27^\circ \text{C}.$

№ 133.

Дано: $t = 27^\circ\text{C}$	Решение: Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы: $U_0 = 3/2kT.$
Найти: v .	

С другой стороны $U = 0,5m\langle v^2 \rangle$,

$$\frac{m\langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2}kT \Leftrightarrow \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 517 \text{ м/с.}$$

Ответ: $\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 517 \text{ м/с.}$

№ 134.

Дано: $t_1 = 37^\circ\text{C}$, $t_2 = 40^\circ\text{C}$	Решение: Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы: $U_0 = 3/2kT$. С другой стороны
Найти: α .	

$$U = 0,5m\langle v^2 \rangle.$$

Т.о. для различных температур

$$m\langle v_1^2 \rangle = 3kT_1; m\langle v_2^2 \rangle = 3kT_2 \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{t_2 + 273^0}{t_1 + 273^0}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = 1 - \frac{v_2}{v_1} = 1 - \sqrt{\frac{t_2 + 273^0}{t_1 + 273^0}} = 0,005.$$

Ответ: $\alpha = 1 - \sqrt{\frac{t_2 + 273^0}{t_1 + 273^0}} = 0,5\%.$

№ 135.

Дано: $V = 0,1 \text{ м}^3$, $p = 10^5 \text{ Па}$	Решение: Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы: $U_0 = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad 3/2kT.$
Найти: U .	

(1)

Тогда внутренняя энергия ν молей идеального газа выражается по формуле:

$$U = \nu U_0 = 1,5\nu RT \quad (2)$$

По уравнению Менделеева - Клапейрона

$$pV = \nu RT. \quad (3)$$

Из (2) и (3)

$$U = \frac{3}{2} \frac{pV}{R} R = \frac{3}{2} pV = 15 \text{ кДж.}$$

Ответ: $U = \frac{3}{2} pV = 15 \text{ кДж.}$

№ 136.

Дано: $\nu = 1 \text{ моль,}$
 $V = 1 \text{ м}^3,$
 $t = 0^\circ\text{C}$

Найти: $p.$

Решение: Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT.$$

В данном случае $T = t + 273^\circ\text{C}.$

Т. о.

$$p = \frac{\nu R(t + 273^\circ)}{V} = 2,27 \text{ кПа.}$$

Ответ: $p = \frac{\nu R(t + 273^\circ)}{V} = 2,27 \text{ кПа.}$

№ 137.

Дано:
 $V = 1 \text{ см}^3,$
 $p = 0,1 \text{ нПа,}$
 $T = 300 \text{ К}$

Найти: $N.$

Решение:

Из основного уравнения МКТ идеального газа следует, что $p = nkT$, где n — концентрация молекул газа.

$n = N/V$, где N — общее число частиц в заданном объеме.

$$pV = NkT \Rightarrow N = \frac{pV}{kT} = 2,4 \cdot 10^4.$$

Ответ: $N = \frac{pV}{kT} = 2,4 \cdot 10^4.$

№ 138.

Дано:
 $p = 200 \text{ кПа,}$
 $t = 27^\circ\text{C}$

Найти: $n.$

Решение:

Из основного уравнения МКТ идеального газа следует, что $p = nkT$, где T — абсолютная температура, следовательно:

$$T = t + 273^\circ = 300 \text{ К.}$$

Т.о.

$$p = nk(t + 273^\circ) \Rightarrow n = \frac{p}{k(t + 273^\circ)} = 4,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Ответ: $n = \frac{p}{k(t + 273^\circ)} = 4,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$

№ 139.

Дано:

$$p = 200 \text{ кПа},$$

$$T = 240 \text{ К},$$

$$V = 40 \text{ л}$$

Найти: ν .

Решение:

Запишем для данного газа уравнение Менделеева - Клапейрона:

$$pV = \nu RT \Rightarrow \nu = \frac{pV}{RT} = 4 \text{ моль}.$$

Ответ: $\nu = \frac{pV}{RT} = 4 \text{ моль}.$

№ 140.

Дано:

$$V = 20 \text{ л}, t = 27^\circ\text{C},$$

$$m = 2 \text{ кг},$$

$$M = 29 \text{ г/моль}$$

Найти: p .

Решение:

Запишем для данного газа уравнение Менделеева-Клапейрона:

$pV = \nu RT$, где T — абсолютная температура, следовательно

$$T = t + 273^\circ = 300 \text{ К},$$

$$pV = \frac{m}{M} R(t + 273^\circ) \text{ так же } \nu = m/M,$$

следовательно $p = \frac{m R(t + 273^\circ)}{M V} = 8,2 \text{ МПа}.$

Ответ: $p = \frac{m R(t + 273^\circ)}{M V} = 8,2 \text{ МПа}.$

№ 141.

Дано:

$$p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па},$$

$$T_0 = 273 \text{ К}$$

Найти: ρ .

Решение:

Запишем для данного газа уравнение Менделеева-Клапейрона:

$p_0 V_0 = \nu R T_0$, где V_0 — объем, занимаемый 1 молем вещества.

$\rho = M/V$, где V — молярная масса, т.е. масса одного моля вещества.

Т. о. $\rho = \frac{M p_0}{R T_0} = 1,96 \text{ кг/м}^3.$

Ответ: $\rho = \frac{Mp_0}{RT_0} = 1,96 \text{ кг/м}^3$.

№ 142.

Дано:
 $V = 0,1 \text{ м}^3$,
 $m = 150 \text{ г}$,
 $p = 100 \text{ кПа}$

Найти: t .

Решение:

Запишем для данного газа уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT,$$

где T – абсолютная температура, следовательно

$$T = t + 273^\circ.$$

Так же $\nu = m/M$, следовательно:

$$pV = \frac{m}{M} R(t + 273^\circ) \Leftrightarrow t = \frac{pVM}{mR} - 273^\circ = -16^\circ \text{C}.$$

Ответ: $t = \frac{pVM}{mR} - 273^\circ = -16^\circ \text{C}.$

№ 143. Смотри решение в учебнике.

№ 144.

Дано:
 $m_1 = 32 \text{ г}$,
 $m_2 = 48 \text{ г}$,
 $m_3 = 44 \text{ г}$

Найти: M .

Решение: Молярная масса смеси газов определяется по формуле

$$M = mN_A/N,$$

где m — масса всей смеси, N — общее число присутствующих в смеси молекул, т.е.

$$m = m_1 + m_2 + m_3; N = N_1 + N_2 + N_3.$$

Распишем выражения для молярных масс газов по отдельности:

$$N_1 = \frac{m_1}{M_1} N_A, N_2 = \frac{m_2}{M_2} N_A, N_3 = \frac{m_3}{M_3} N_A.$$

Следовательно:

$$N = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \frac{m_3}{M_3} \right) N_A.$$

Т. о. получаем выражение для молярной массы смеси:

$$M = \frac{m}{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \frac{m_3}{M_3}} = 4,77 \text{ г/моль}.$$

Ответ: $M = \frac{m}{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \frac{m_3}{M_3}} = 4,77 \text{ г/моль.}$

№ 146.

Дано:
 $m = 100 \text{ г}$
 $p = 500 \text{ кПа}$
 $m_0 = 80 \text{ г}$
Найти: p_1

Решение:

После закрытия крана в сосуде опять установится равновесное состояние с той же температурой, но другим давлением. Запишем для начального и конечного состояний уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT, \quad (1)$$

$$p_1V = \frac{m-m_0}{M}RT. \quad (2)$$

Поделим уравнение (1) на уравнение (2):

$$\frac{p}{p_1} = \frac{m}{m-m_0} \Leftrightarrow p_1 = \frac{m-m_0}{m} p = 10 \text{ кПа.}$$

Ответ: $p_1 = \frac{m-m_0}{m} p = 10 \text{ кПа.}$

№ 147.

Дано:
 $t = 15^\circ\text{C},$
 $\alpha = 40\%,$
 $\Delta t = 8^\circ\text{C}$
Найти: $\beta.$

Решение:

По уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT,$$

где T — абсолютная температура, следовательно

$T = t + 273^\circ$, а $\nu = m/M$ (M — молярная масса)

$$p_1V = \frac{m}{M}R(t + 273^\circ),$$

$$p_2V = \frac{(1-\alpha)m}{M}R(t + \Delta t + 273^\circ).$$

Следовательно для двух состояний данной системы получаем

Поделим первое уравнение на второе:

$$\beta = \frac{p_1}{p_2} = \frac{t + 273^\circ}{(1-\alpha)(t + \Delta t + 273^\circ)} = 1,6.$$

Ответ: $\beta = \frac{t + 273^\circ}{(1 - \alpha)(t + \Delta t + 273^\circ)} = 1,6$.

№ 148.

Дано:
 $V_1/V_2 = 2$,
 $\Delta p = 120$ кПа,
 $T_2/T_1 = 1,1$
Найти: p_1 .

Решение: Запишем для начального и конечного состояний системы уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1, \quad (1)$$

$$(p_1 + \Delta p) V_2 = \nu R T_2. \quad (2)$$

Поделим уравнение (1) на уравнение (2):

$$\frac{p_1}{p_1 + \Delta p} = \frac{T_1 V_2}{T_2 V_1} \Leftrightarrow p_1 = \frac{\Delta p}{\frac{T_2 V_1}{T_1 V_2} - 1} = 100 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p_1 = \frac{\Delta p}{\frac{T_2 V_1}{T_1 V_2} - 1} = 100 \text{ кПа}.$

№ 149.

Дано:

$$p_1/p_2 = 1,004,$$

$$\Delta t = 1^\circ\text{C}$$

Найти: T .

Решение: Запишем для начального и конечного состояний системы уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V = \nu R T, \quad (1)$$

$$p_2 V = \nu R (T + \Delta t). \quad (2)$$

Поделим уравнение (2) на уравнение (1):

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T + \Delta t}{T} \Leftrightarrow T = \frac{\Delta t}{\frac{p_2}{p_1} - 1} = 250 \text{ K}.$$

$$t = T - 273 \text{ K} = -23^\circ\text{C}.$$

$$\text{Ответ: } t = \frac{\Delta t}{\frac{p_2}{p_1} - 1} - 237 \text{ K} = -23^\circ\text{C}.$$

№ 150.

Дано: $p_2/p_1 = 1,25,$

$$T_2/T_1 = 2$$

Найти: V_2/V_1 .

Решение: Запишем для начального и конечного состояний системы уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1, \quad (1)$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2. \quad (2)$$

Поделим уравнение (1) на уравнение (2):

$$\frac{p_1 V_1}{p_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} \Leftrightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} = 1,6.$$

$$\text{Ответ: } \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} = 1,6.$$

№ 151.

Дано:

$$p = 0,2 \text{ МПа},$$

$$t = 15^\circ\text{C}, V = 5 \text{ л}$$

Найти: V_1 .

Решение:

По закону Авогадро 1 моль любого газа при нормальных условиях занимает объем $V_0 = 22,4 \text{ л}$.

Следовательно для решения задачи необходимо найти количество вещества, содержащееся в данном газе.

Запишем для начального состояния системы уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT \Leftrightarrow \nu = \frac{pV}{R(t + 273^\circ)}, \quad V_1 = V_0 \nu = \frac{pVV_0}{R(t + 273^\circ)} = 9,4 \text{ л.}$$

Ответ: $V_1 = \frac{pVV_0}{R(t + 273^\circ)} = 9,4 \text{ л.}$

№ 152.

Дано:

$$p = 100 \text{ кПа,}$$

$$t = 15^\circ\text{C,}$$

$$V = 0,002 \text{ м}^3,$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C,}$$

$$V_1 = 0,004 \text{ м}^3$$

Найти: p_1 .

Решение: Запишем для начального состояния системы уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu R(t + 273) \quad (1)$$

$$p_1 V_1 = \nu R(t_1 + 273) \quad (2)$$

Из (1) и (2):

$$\frac{p_1 V_1}{pV} = \frac{t_1 + 273^\circ}{t + 273^\circ} \Leftrightarrow p_1 = \frac{pV(t_1 + 273^\circ)}{V_1(t + 273^\circ)} = 51 \text{ кПа.}$$

Ответ: $p_1 = \frac{pV(t_1 + 273^\circ)}{V_1(t + 273^\circ)} = 51 \text{ кПа.}$

№ 153. Смотри решение в учебнике.

№ 154. По аналогии с предыдущей.

№ 155.

$$\text{Дано: } p_1 = 95 \text{ кПа,}$$

$$t = \text{const, } V_1 = 230 \text{ см}^3,$$

$$V_2 = 225 \text{ см}^3$$

Найти: p_2 .

Решение: Т.к. температура остается постоянной, то по первому газовому закону:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2,$$

$$\text{следовательно } p_2 = p_1 V_1 / V_2 = 97 \text{ кПа.}$$

Ответ: $p_2 = p_1 V_1 / V_2 = 97 \text{ кПа.}$

№ 156.

$$\text{Дано: } p_1 = 96 \text{ кПа,}$$

$$t = \text{const, } V_1 = 500 \text{ см}^3,$$

$$p_2 = 98 \text{ кПа}$$

Найти: V_2 .

Решение: Т.к. температура остается постоянной, то по первому газовому закону:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2,$$

$$\text{следовательно } V_2 = p_1 V_1 / p_2 = 490 \text{ см}^3.$$

Ответ: $V_2 = p_1 V_1 / p_2 = 490 \text{ см}^3.$

№ 157.

Дано:

$$t_1 = 50^\circ\text{C, } p = \text{const,}$$

$$T_2 = 223 \text{ К}$$

Найти: $\alpha = V_1 / V_2$.

Решение:

Т.к. газ охлаждается изобарически

($p = \text{const}$), то по третьему газовому закону:

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2, \text{ где } T_1 \text{ и } T_2 \text{ — температуры по шкале Кельвина, следовательно}$$

$$\alpha = \frac{V_1}{V_2} = \frac{t_1 + 273^\circ}{T_2} = 1,45.$$

Ответ: $\alpha = \frac{t_1 + 273^\circ}{T_2} = 1,45.$

№ 158.

Дано:

$$t_1 = 0^\circ\text{C},$$

$$p = \text{const},$$

$$V_2/V_1 = 2$$

Найти: Δt .

Решение:

Т.к. газ охлаждается изобарически ($p = \text{const}$), то по третьему газовому закону:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2,$$

где T_1 и T_2 — температуры по шкале.

Кельвина, следовательно

$$\frac{V_1}{t_1 + 273^\circ} = \frac{V_2}{t_1 + \Delta t + 273^\circ} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{V_2(t_1 + 273^\circ)}{V_1} - t_1 - 273^\circ = 273^\circ\text{C}.$$

Ответ: $\Delta t = \frac{V_2(t_1 + 273^\circ)}{V_1} - t_1 - 273^\circ = 273^\circ\text{C}.$

№ 159.

Дано:

$$p_1 = 2,8 \text{ МПа},$$

$$t_1 = 7^\circ\text{C},$$

$$p_2 = 3 \text{ МПа},$$

$$V = \text{const}$$

Найти: t_2 .

Решение:

Т.к. газ заключен в баллон с постоянным объемом, то процессы, происходящие с газом, являются изохорными ($V = \text{const}$), следовательно по второму газовому закону:

$$p_1/T_1 = p_2/T_2,$$

где T_1 и T_2 — температуры по шкале Кельвина, следовательно

$$\frac{p_1}{t_1 + 273^\circ} = \frac{p_2}{t_2 + 273^\circ} \Rightarrow t_2 = \frac{p_2}{p_1}(t_1 + 273^\circ) - 273^\circ = 27^\circ\text{C}.$$

Ответ: $t_2 = \frac{p_2}{p_1}(t_1 + 273^\circ) - 273^\circ = 27^\circ\text{C}.$

№ 160.

Дано:

$$p_1 = 200 \text{ кПа},$$

$$t_1 = 0^\circ\text{C},$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

Найти: p_2 .

Решение:

Т.к. газ заключен в баллон с постоянным объемом, то процессы, происходящие с газом, являются изохорными ($V = \text{const}$), следовательно по второму газовому закону:

$$\frac{p_1}{t_1 + 273^\circ} = \frac{p_2}{t_2 + 273^\circ} \Leftrightarrow p_2 = p_1 \frac{t_2 + 273^\circ}{t_1 + 273^\circ} = 273 \text{ кПа.}$$

Ответ: $p_2 = p_1 \frac{t_2 + 273^\circ}{t_1 + 273^\circ} = 273 \text{ кПа.}$

№161.

1. Из графика $p(T)$ следует, что давление остается постоянным, т.е. процесс изобарный, температура при этом уменьшается, следовательно по третьему газовому закону $V_1/T_1 = V_2/T_2$ объем газа уменьшается.

2. Из графика $V(T)$ следует, что объем линейно зависит от температуры: $V = \alpha T$, следовательно из уравнения Менделеева-Клапейрона $p = \nu R/\alpha = \text{const}$, это изобарный процесс. Температура и объем уменьшаются.

3. Из графика $p(V)$ следует, что давление уменьшается, а объем увеличивается. На графике изображена изотерма ($T = \text{const}$).

Ответ: 1) $p = \text{const}$, $T \downarrow$, $V \downarrow$; 2) $p = \text{const}$, $T \downarrow$, $V \downarrow$; 3) $T = \text{const}$, $p \downarrow$, $V \uparrow$.

№162.

1. Из графика $p(V)$ следует, что давление остается постоянным, т.е. процесс изобарный, при этом объем возрастает, следовательно по третьему газовому закону $V_1/T_1 = V_2/T_2$ температура газа увеличивается.

2. Из графика $V(T)$ следует, что объем линейно зависит от температуры: $V = \alpha T$, следовательно из уравнения Менделеева-Клапейрона $p = \nu R/\alpha = \text{const}$, объем и температура при этом увеличивается.

3. Из графика $p(T)$ следует, что давление увеличивается, а температура остается постоянной, т.е. процесс изотермический, по первому газовому закону $p_1 V_1 = p_2 V_2$, следовательно объем уменьшается.

Ответ: 1) $p = \text{const}$, $T \uparrow$, $V \uparrow$; 2) $p = \text{const}$, $T \uparrow$, $V \uparrow$; 3) $T = \text{const}$, $p \uparrow$, $V \downarrow$.

№163.

Дано:

см. рис.

Найти: T_{\max} , T_{\min} .

Решение:

На изображенном графике изотермы будут выглядеть как гиперболы, симметричные относительно прямой $p = V$.

Чем дальше гипербола от начала координат, тем больше температура, следовательно, для нахождения максимальной и минимальной температуры нужно самые близко расположенные и самые далеко расположенные изотермы, имеющие общие точки с окружностью. Из свойств симметрии это будут две касательные к окружности ги-

перболю. Они касаются окружности в точках ее пересечения с прямой $p = V$.

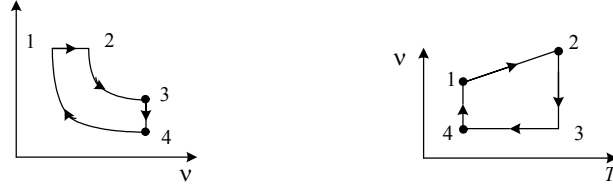
Ответ: точкам пересечения с прямой $p = V$.

№164.

Сделайте по аналогии с предыдущей задачей.

№ 165.

1—2 изобара; 1—4, 2—3: изотерма; 4—3: изохора.



№166.

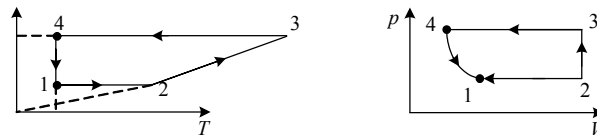
На рисунке изображен график зависимости. Определим, что происходит с давлением, в каждом процессе.

Процесс 1—2: объем линейно зависит от температуры, следовательно давление постоянно.

Процесс 2—3: объем постоянный, температура увеличивается, следовательно по второму газовому закону давление увеличивается.

Процесс 3—4: объем линейно зависит от температуры, следовательно давление постоянно, причем превышает давление в процессе 1—2.

Процесс 4—1: температура постоянна, объем увеличивается, следовательно по первому газовому закону давление уменьшается. Перерисуем этот график в других осях.



№ 167 и № 168 предлагаем выполнить самостоятельно, по аналогии с предыдущей.

№ 169.

Дано:

$T_1, T_3,$

$T_2 = T_4$

Найти: A .

Решение: Работа газа по замкнутому циклу можно найти, подсчитав площадь замкнутой фигуры, изображающей данный цикл в координатах $p(V)$. Т.о. работа

$$A = (p^2 - p_1)(V_4 - V_1) \quad (1)$$

Запишем для точек 1, 2, 3, 4 уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V_1 = RT_1, \quad (2)$$

$$p_2 V_1 = RT_2, \quad (3)$$

$$p_2 V_4 = RT_3, \quad (4)$$

$$p_1 V_4 = RT_2. \quad (5)$$

Из (3) и (5)

$$p_2 V_1 = p_1 V_4.$$

Перемножим уравнения (2) и (4):

$$p_1 V_1 p_2 V_4 = R^2 T_1 T_3 \Rightarrow p_1 V_4 = p_2 V_1 = R \sqrt{T_1 T_3}. \quad (6)$$

Из (1) $A = p_2 V_4 - p_1 V_4 - p_2 V_1 + p_1 V_1$.

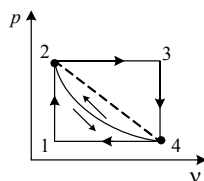
Из полученных выше результатов:

$$A = RT_3 - 2R\sqrt{T_1 T_3} + RT_1 \Leftrightarrow A = R(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2.$$

Ответ: $A = R(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1})^2$.

№170.

Изобразим происходящие процессы в координатах $p - V$, тогда работа газа по замкнутому циклу можно найти, подсчитав площадь замкнутой фигуры, изображающей данный цикл. Оба цикла совершаются по часовой стрелке, следовательно работа газа по обоим циклам положительна. Т.к. процесс 2—3 изображается на данном графике линией, лежащей ниже диагонали прямоугольника 1234, то площадь внутри цикла 1—2—3 меньше площади внутри цикла 2—4—3, следовательно работа по циклу 1—2—3 меньше работы газа по циклу 2—4—3.



Ответ: $A_{243} > A_{123}$.

№ 171.

Дано:

$$A_{\text{вн}} = 124,5 \text{ Дж},$$

$$\nu = 2 \text{ моль}$$

Найти: ΔT .

Решение:

Т.к. сжатие газа производится адиабатически, т.е. без теплообмена с окружающей средой, то по первому закону термодинамики:

$$A_{\Gamma} + \Delta U = 0, \quad (1)$$

где A_{Γ} — работа газа.

По третьему закону Ньютона

$$A_{\Gamma} = -A_{\text{вн}}. \quad (2)$$

Из (1) и (2):

$$\Delta U = A_{\text{вн}}.$$

С другой стороны $\Delta U = 1,5R \cdot T$.

$$A_{\text{вн}} = \frac{3}{2}RT \Leftrightarrow T = \frac{2A_{\text{вн}}}{3R} = 5 \text{ К.}$$

Ответ: $T = \frac{2A_{\text{вн}}}{3R} = 5 \text{ К.}$

№ 172.

Дано:

$$p_1 = 100 \text{ кПа,}$$

$$p_2 = 500 \text{ кПа,}$$

$$\Delta U = 5 \text{ кДж}$$

Найти: V .

Решение:

Т к. газ заключен в баллон с постоянным объемом, то нагревание газа происходит изохорно. Запишем для начального и конечного состояний

уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V = \nu R T_1, \quad (1)$$

$$p_2 V = \nu R T_2. \quad (2)$$

Вычтем из уравнения (2) уравнение (1):

$$(p_2 - p_1)V = \nu R \Delta T. \quad (3)$$

Внутренняя энергия ν молей идеального газа:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \quad (4)$$

Из (3) и (4):

$$(p_2 - p_1)V = \frac{2}{3} \Delta U \Leftrightarrow V = \frac{2\Delta U}{3(p_2 - p_1)} = 8,3 \text{ л.}$$

Ответ: $V = \frac{2\Delta U}{3(p_2 - p_1)} = 8,3 \text{ л.}$

№ 173.

Дано:

$$t = 50^\circ\text{C},$$

$$V_0 = 1 \text{ см}^3,$$

$$V = 20 \text{ л},$$

$$N = 10^{20}$$

Найти: U .

Решение:

Найдем концентрацию молекул газа в сосуде:

$$n = N/V_0$$

Из основного уравнения МКТ идеального газа:

$$p = nk(t + 273). \quad (1)$$

По уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu R(t + 273). \quad (2)$$

Из (1) и (2):

$$nkV = \nu R \Leftrightarrow \nu = \frac{nkV}{R} = \frac{NkV}{V_0 R}.$$

Используя полученный результат, найдем внутреннюю энергию данного количества газа:

$$U = \frac{3}{2} \nu R(t + 273^\circ) = \frac{3}{2} \frac{NkV}{V_0 R} R(t + 273^\circ) = 13,4 \text{ кДж}.$$

Ответ: $U = \frac{3NkV}{2V_0}(t + 273^\circ) = 13,4 \text{ кДж}.$

№ 174.

Дано:

$$t = 27^\circ\text{C},$$

$$V = 20 \text{ л},$$

$$p = 300 \text{ кПа},$$

$$\Delta T = -50 \text{ К}$$

Найти: ΔU .

Решение:

Внутренняя энергия ν молей газа:

$$\Delta U = 1,5 \nu RT. \quad (1)$$

Т. о. для решения задачи необходимо определить количество вещества в баллоне с гелием. Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu R(t + 273). \quad (2)$$

Из (1) и (2):

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{pV\Delta T}{t + 273^\circ} = -3 \text{ кДж}.$$

Ответ: $\Delta U = \frac{3}{2} \frac{pV\Delta T}{t + 273^\circ} = -3 \text{ кДж}.$

№ 175.

Дано: $m = 5$ кг, $\Delta t = 2^\circ\text{C}$, $\Delta Q = Q_p - Q_v = 41,55$ кДж	Решение: Рассмотрим поочередно изобарный и изохорный процессы нагрева газа.
Найти: M .	По первому закону термодинамики:

$$Q_p = A + \Delta U,$$

где A — работа газа, ΔU — изменение внутренней энергии.

$$A = p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T, \quad \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R\Delta T.$$

Следовательно

$$Q_p = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R\Delta T.$$

Т.к. работа не совершается, то вся теплота, полученная системой, расходуется на изменение внутренней энергии:

$$Q_v = \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R\Delta T.$$

Т. о.

$$\Delta Q = \frac{m}{M} R\Delta T \Leftrightarrow M = \frac{mR\Delta T}{\Delta Q} = 2 \text{ г/моль.}$$

Ответ: $M = \frac{mR\Delta T}{\Delta Q} = 2 \text{ г/моль.}$

№ 176.

Дано: T_1 , $n = p_1/p_2$, m , M	Решение: Запишем для точек 1, 2 и 3 уравнения Менделеева-Клапейрона:
Найти: ΔU .	

$$p_1 V_1 = p_2 V_3 = \nu R T_1, \quad (1)$$

$$p_2 V_1 = \nu R T_2. \quad (2)$$

В процессе 2—3 давление остается постоянным, поэтому работа газа выражается по формуле:

$$A = p_2 (V_3 - V_1) = (T_1 - T_2) \frac{m}{MR},$$

$$p_2/p_1 = T_2/T_1 = 1/n.$$

Следовательно

$$A = T_1 \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{m}{M} R.$$

Ответ: $A = T_1 \left(1 - \frac{1}{n}\right) \frac{m}{M} R.$

№ 177.

Дано:

$$t_1 = 7^\circ\text{C}, t_2 = 87^\circ\text{C}$$

Найти: $\alpha = 1 - N_2/N_1.$

Решение: Т.к. баня не является замкнутым помещением, то давление в ней не меняется и равно атмосферному.

Из основного уравнения МКТ газов следует, что:

$$p = nkT, \quad (1)$$

где n — концентрация молекул.

$$n = N/V, \quad (2)$$

где N — число молекул в бане.

Т.к. объем бани остается постоянным, то из (1) и (2):

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \alpha = 1 - \frac{N_2}{N_1} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 22\%.$$

Ответ: $\alpha = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 22\%.$

№ 178.

Дано:

$$t = 27^\circ\text{C}, V = 0,05 \text{ м}^3,$$

$$m = 300 \text{ кг},$$

$$S = 0,1 \text{ м}^2,$$

$$p_0 = 100 \text{ кПа},$$

$$\Delta T = 100 \text{ К}$$

Найти: $A_{\Gamma}.$

Решение: На поршень действуют 3 силы: сила тяжести, направленная вниз, сила давления со стороны атмосферы, направленная вниз, и сила давления со стороны воздуха под поршнем, направленная вверх. В состоянии равновесия эти силы уравнивают друг друга. Будем считать, что процесс нагрева воздуха состоит из множества равновесных процессов, тогда давление газа будет оставаться постоянным.

Найдем его с помощью второго закона Ньютона:

$$pS = mg + p_0S \Leftrightarrow p = \frac{mg}{S} + p_0. \quad (1)$$

Т. к. нагревание происходит изобарно, то работа выражается по формуле:

$$A = p\Delta V = \nu R\Delta T. \quad (2)$$

Второе равенство написано с использованием уравнения Менделеева-Клапейрона.

Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для начального состояния системы:

$$pV = \nu R(t + 273^\circ) \Leftrightarrow \nu = \frac{pV}{R(t + 273^\circ)}. \quad (3)$$

Из (1), (2) и (3):

$$A = \frac{pV\Delta T}{t + 273^0} = \frac{\frac{mg}{S} + p_0}{t + 273^0} V\Delta T = 2,5 \text{ кДж.}$$

Ответ: $A = \frac{\frac{mg}{S} + p_0}{t + 273^\circ} V\Delta T = 2,5 \text{ кДж.}$

№ 179.

Дано: $V_1 = 2,5 \text{ л,}$ $p_1 = 100$ кПа	Решение: Найдем теплоту для каждого процесса в отдельности. В процессе 1—2 работа не совершается, следовательно теплота расходуется только на изменение внутренней энергии газа:
Найти: ΔQ .	

$$Q_{12} = \frac{3}{2} R\Delta T = \frac{3}{2} p_1 V_1.$$

В процессе 2 - 3 давление остается постоянным

$$Q_{23} = \Delta U + 2p_1 V_1 = \frac{3}{2} R\Delta T + 2p_1 V_1 = 5p_1 V_1.$$

Т.о.

$$\Delta Q = Q_{12} + Q_{23} = 6,5 p_1 V_1 = 1,6 \text{ кПа.}$$

Ответ: $\Delta Q = 6,5 p_1 V_1 = 1,6 \text{ кПа.}$

№ 180.

Дано:

см. рисунок.

Найти: η .

Решение:

По определению КПД

$$\eta = A/Q_+ = 1 + Q_-/Q_+$$

Найдем теплоту, поглощаемую или выделяемую на каждом этапе.

В предыдущей задаче было доказано, что для изохорного процесса

$$Q = 1,5V\Delta p, \text{ а для изобарного } Q = 2,5p\Delta V.$$

$$Q_{12} = 1,5p_1V_1 > 0,$$

$$Q_{23} = 2,5 \cdot 2p_1V_1 = 5p_1V_1 > 0,$$

$$Q_{34} = -1,5p_12V_1 = -3p_1V_1 < 0,$$

$$Q_{41} = -2,5p_1V_1 < 0.$$

Т. о.

$$\eta = \frac{(1,5 + 5 - 3 - 2,5)p_1V_1}{(1,5 + 5)p_1V_1} = 15\%.$$

$$\text{Ответ: } \eta = \frac{(1,5 + 5 - 3 - 2,5)p_1V_1}{(1,5 + 5)p_1V_1} = 15\%.$$

№ 181. Смотри решение в учебнике.

№ 182.

Дано:

$$V = 2 \text{ л}, m_1 = 8 \text{ г},$$

$$m_2 = 7 \text{ г}, t = 0^\circ\text{C}$$

Найти: p .

Решение: Найдем по отдельности давления газов, при условии что каждый из них занимает весь объем.

Запишем для каждого газа уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$\text{O}_2 : p_1V = \frac{m_1}{M_1}RT \Leftrightarrow p_1 = \frac{m_1}{M_1V}RT,$$

$$\text{N}_2 : p_2V = \frac{m_2}{M_2}RT \Leftrightarrow p_2 = \frac{m_2}{M_2V}RT.$$

Найденные давления являются парциальными, следовательно, по закону Дальтона давление смеси выражается по формуле:

$$p = p_1 + p_2 = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) = 567 \text{ кПа}.$$

$$\text{Ответ: } p = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) = 567 \text{ кПа}.$$

№ 183.

Дано:

$$\begin{aligned} \nu &= 1 \text{ моль,} \\ p_1 &= 3 \cdot 10^5 \text{ Па,} \\ p_2 &= 5 \cdot 10^5 \text{ Па,} \\ T_1 &= T_2 \end{aligned}$$

Найти: p .

Решение: По закону Дальтона давление смеси газов равно сумме парциальных давлений. Напишем для начального состояния газов (до открытия крана) уравнения Менделеева-Клапейрона, учитывая, что в каждом сосуде находится по молю вещества при одинаковой температуре:

$$p_1 V_1 = RT = p_2 V_2. \quad (1)$$

Найдем парциальные давления газов после открытия крана с помощью закона Бойля - Мариотта:

$$p'_1 (V_1 + V_2) = p_1 V_1, \quad (2)$$

$$p'_2 (V_1 + V_2) = p_2 V_2. \quad (3)$$

$$p = p'_1 = p'_2.$$

Из (2) и (3):

$$p = \frac{p_1 V_1 + p_2 V_2}{V_1 + V_2}.$$

Учитывая (1):

$$p = 2 \frac{p_1}{1 + \frac{V_2}{V_1}} = 2 \frac{p_1}{1 + \frac{p_1}{p_2}} = \frac{2 p_1 p_2}{p_1 + p_2} = 3,75 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Ответ: $p = \frac{2 p_1 p_2}{p_1 + p_2} = 3,75 \cdot 10^5 \text{ Па.}$

№ 184.

Дано:

$$m_1, m_2, p, T$$

Найти: ρ .

Решение: Из закона Менделеева-Клапейрона следует, что $pM = \rho RT$.

В данном случае p — давление смеси, которое по закону Дальтона равно сумме парциальных давлений, ρ — плотность смеси. Докажем, что плотность смеси равна сумме плотностей ее составляющих газов:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2}{V} = \frac{m_1}{V} + \frac{m_2}{V} = \rho_1 + \rho_2.$$

Запишем для парциальных давлений законы Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M_1} RT, \quad p_2 V = \frac{m_2}{M_2} RT.$$

Сложим данные уравнения, тогда по закону Дальтона:

$$pV = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right) RT \Leftrightarrow V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right) \frac{RT}{p}.$$

Т.о.

$$\rho = \frac{m_1 + m_2}{V} = \frac{(m_1 + m_2)p}{\left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right) RT}.$$

Ответ: $\rho = \frac{(m_1 + m_2)p}{\left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right) RT}.$

№ 185.

<p>Дано: $n = 10^{25} \text{ м}^{-3}$ $v = 500 \text{ м / с}$</p>	<p>Решение: По основному уравнению МКТ газов: $p = 1/3 n m_0 v^2$, m_0 - масса одной молекулы.</p>
<p>Найти: p</p>	

Пусть M - молярная масса кислорода, тогда $m_0 = M/N_A$, т. к. число Авогадро обозначает число молекул, содержащихся в одном моле вещества.

Т. о.

$$p = \frac{1}{3} n \frac{M}{N_A} v^2 = 44,3 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p = \frac{1}{3} n \frac{M}{N_A} v^2 = 44,3 \text{ кПа}.$

№ 186.

<p>Дано: $p = 100 \text{ кПа}$, $v = 600 \text{ м/с}$</p>	<p>Решение: По основному уравнению МКТ газов: $p = 1/3 n m_0 v^2$, m_0 — масса одной молекулы.</p>
<p>Найти: p.</p>	

$$p = \frac{1}{3} n \frac{M}{N_A} v^2 \Leftrightarrow n = \frac{3pN_A}{Mv^2} = 1,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Пусть M — молярная масса азота, тогда $m_0 = M/N_A$, т.к. число Авогадро обозначает число молекул, содержащихся в одном моле вещества.

Т.о.

$$n = \frac{3pN_A}{Mv^2} = 1,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Ответ: $n = \frac{3pN_A}{Mv^2} = 1,8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$

№ 187.

Дано:

$$V = 0,1 \text{ м}^3,$$

$$p = 120 \text{ кПа},$$

$$v = 600 \text{ м/с}$$

Найти: N .

Решение:

По основному уравнению МКТ газов:

$$p = 1/3 n m_0 v^2, \quad (1)$$

m_0 — масса одной молекулы.

Пусть M — молярная масса углекислого газа, тогда $m_0 = M/N_A$.

Число частиц в объеме V выражается по формуле:

$$N = Vn \quad (2)$$

Т.о. из (1) и (2):

$$N = \frac{3pN_A V}{Mv^2} = 2 \cdot 10^{24}.$$

Ответ: $N = \frac{3pN_A V}{Mv^2} = 2 \cdot 10^{24}.$

№ 188.

Дано:

$$m = 600 \text{ г},$$

$$V = 1 \text{ м}^3,$$

$$p = 100 \text{ кПа}$$

Найти: v .

Решение: По основному уравнению МКТ газов:

$$p = 1/3 n m_0 v^2 \quad (1)$$

m_0 — масса одной молекулы.

Пусть M — молярная масса газа, тогда

$$m_0 = M/N_A.$$

С другой стороны давление газа выражается по формуле:

$$p = nkT. \quad (2)$$

Из (1) и (2):

$$1/3 m_0 v^2 = kT.$$

Домножим обе части на N_A и на число молей:

$$\frac{1}{3} v M v^2 = v R T \Leftrightarrow \frac{1}{3} m v^2 = v R T.$$

С помощью уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$\frac{1}{3} m v^2 = p V \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{3 p V}{m}} = 707 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v = \sqrt{\frac{3 p V}{m}} = 707 \text{ м/с}.$

№ 189.

Дано:

$$\rho = 1,35 \text{ кг/м}^3,$$

$$v = 500 \text{ м/с}$$

Найти: p .

Решение: По основному уравнению МКТ газов:

$$p = 1/3 n m_0 v^2 \quad (1)$$

m_0 — масса одной молекулы.

Пусть M — молярная масса углекислого газа, тогда $m_0 = M/N_A$.

С другой стороны давление газа выражается по формуле:

$$p = n k T. \quad (2)$$

Из (1) и (2):

$$1/3 M v^2 = k T N_A = R T. \quad (3)$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что:

$$p M = \rho R T. \quad (4)$$

Из (3) и (4):

$$p M = \rho \frac{1}{3} M v^2 \Rightarrow p = \frac{\rho v^2}{3} = 112,5 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p = \frac{\rho v^2}{3} = 112,5 \text{ кПа}.$

№ 190.

Дано:

$$v_2/v_1 = 1,22$$

Найти: p_2/p_1 .

Решение: По основному уравнению МКТ газов:

$$p = 1/3 n m_0 v^2, \quad (1)$$

m_0 — масса одной молекулы.

Т.к. сосуд закрыт, то состав и количество газа внутри сосуда не меняются, следовательно, концентрация и масса одной молекулы остаются постоянными, тогда из уравнения (1) следует, что:

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = 1,49.$$

Ответ: $\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = 1,49.$

№ 191.

Дано: $V = 1 \text{ м}^3$,
 $N = 3 \cdot 10^{22}$,
 $p = 100 \text{ кПа}$

Найти: E_K .

Решение:

По основному уравнению МКТ газов:

$$p = 1/3 n m_0 v^2, \quad (1)$$

m_0 — масса одной молекулы.

Число частиц в данном объеме: $N = nV$.

Домножим уравнение (1) на V :

$$pV = 1/3 V n m_0 v^2 = 1/3 N m_0 v^2. \quad (2)$$

Средняя кинетическая энергия молекулы выражается по формуле: $E_K = 1/2 m_0 v^2$, тогда из (2):

$$E_K = \frac{3pV}{2N} = 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

Ответ: $E_K = \frac{3pV}{2N} = 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$

№ 192.

Дано:
 $V = 0,01 \text{ м}^3$,
 $E_K = 7,5 \text{ кДж}$,
 $v = 2400 \text{ м/с}$

Найти: p , ρ .

Решение:

Средняя кинетическая энергия всех молекул газа:

$$E_K = 1/2 N m_0 v^2.$$

Давление газа:

$$p = 2/3 n E_0,$$

где E_0 — средняя кинетическая энергия одной молекулы.

$$E_0 = E_K / N$$

Т.о.

$$p = \frac{2nE_K}{3N} = \frac{2E_K}{3V} = 500 \text{ кПа.}$$

Плотность газа $\rho = m/V$

$$E_K = \frac{mv^2}{2} \Leftrightarrow m = \frac{2E_K}{v^2}.$$

Следовательно

$$\rho = \frac{2E_K}{Vv^2} = 0,26 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: $p = \frac{2E_K}{3V} = 500 \text{ кПа}$, $\rho = \frac{2E_K}{Vv^2} = 0,26 \text{ кг/м}^3$

Глава 6

№ 193.

Дано: $S = 1 \text{ см}^2$,
 $h = 40 \text{ см}$,
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$

Найти: F .

Решение: На пробку со стороны воды действует сила давления, численно равная давлению столба жидкости высотой h на площадку площадью S .

$$F = pS = \rho ghS = 0,4 \text{ Н}.$$

Ответ: $F = \rho ghS = 0,4 \text{ Н}$.

№ 194.

Дано: $p = 100 \text{ кПа}$,
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$

Найти: h .

Решение: Столб воды высоты h создает давление, равное весу такого столба с единичным поперечным сечением:

$$p = \rho gh \Leftrightarrow h = \frac{p}{\rho g} = 10 \text{ м}.$$

Ответ: $h = \frac{p}{\rho g} = 10$.

№ 195.

Дано: $n = 2$,
 $p = 100 \text{ кПа}$,
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$

Найти: h .

Решение: Пузырек увеличивает свой радиус при всплытии за счет того, что внешнее давление на него возрастает с глубиной.

Запишем условия равновесия пузырька на глубине h и у поверхности воды:

$$p + \rho gh = p_1, \quad (1)$$

$$p = p_2. \quad (2)$$

Применим закон Бойля-Мариотта к процессу всплытия пузырька:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Leftrightarrow p_1 \frac{4}{3} \pi R^3 = p_2 \frac{4}{3} \pi (2R)^3 \Leftrightarrow p_1 = 8 p_2. \quad (3)$$

Из (1), (2) и (3):

$$p + \rho gh = 8p \Leftrightarrow h = \frac{7p}{\rho g} = 70 \text{ м}.$$

Ответ: $h = \frac{7p}{\rho g} = 70 \text{ м}$.

№ 196.

Дано: $S = 2,5 \text{ см}^2$,
 $T_1 = 270 \text{ К}$,
 $p_0 = p_1 = 100 \text{ кПа}$,
 $F = 12,5 \text{ Н}$

Найти: ΔT .

Решение: Чтобы пробка вылетела из сосуда, необходимо, чтобы сила давления газа внутри сосуда превысила максимальную силу трения покоя. Найдем максимальное давление, при котором пробка еще удерживается.

$$F + p_0 S = p_2 S \Leftrightarrow p_2 = \frac{F}{S} + p_0 \quad (1)$$

Т. к. объем сосуда не меняется до начала вылета пробки, то по второму газовому закону:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_1 + \Delta T} \Leftrightarrow \Delta T = \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) T_1 \quad (2)$$

Т. к. $p_0 = p_1$, то из (1) и (2):

$$\Delta T = \left(\frac{F}{Sp_1} + 1 - 1 \right) T_1 = \frac{FT_1}{Sp_1} = 135 \text{ К}.$$

Ответ: $\Delta T = \frac{FT_1}{Sp_1} = 135 \text{ К}$.

№ 197. Дана в учебнике с решением.

№ 198.

Дано:
 l_1 — длина столбика воздуха;
 h — длина столбика ртути;
 p_1 — атм. давление;
 ρ — плотность ртути;
 α — угол трубки к горизонту

Найти: l_2 .

Решение:

а) По второму закону Ньютона
 $F_1 - F_2 - mg = 0$; $F_1 = p_1 S$; $F_2 = p_2 S$;
 $m = \rho V = \rho Sh$, $p_1 S - p_2 S - \rho Sh = 0$,
 $p_2 = p_1 - \rho gh$,
 $T = \text{const} \Rightarrow$ по закону Бойля-Мариотта

$$p_1/p_2 = V_2/V_1 = l_2/l_1, \quad l_2 = p_1 l_1 / (p - \rho gh);$$

б) По второму закону Ньютона

$F_1 - F_2 + m g \sin \alpha = 0$; $F_1 = p_1 S$; $F_2 = p_2 S$; $m = \rho V = \rho Sh$,
 $p_1 S - p_2 S - \rho g Sh \sin \alpha = 0$, $p_2 = p_1 + \rho g h \sin \alpha$, $T = \text{const} \Rightarrow$
 по закону Бойля-Мариотта
 $p_1/p_2 = V_2/V_1 = l_2/l_1, \quad l_2 = p_1 l_1 / (p + \rho g h \sin \alpha).$

Ответ: а) $l_2 = p_1 l_1 / (p - \rho gh)$; б) $l_2 = p_1 l_1 / (p + \rho g h \sin \alpha).$

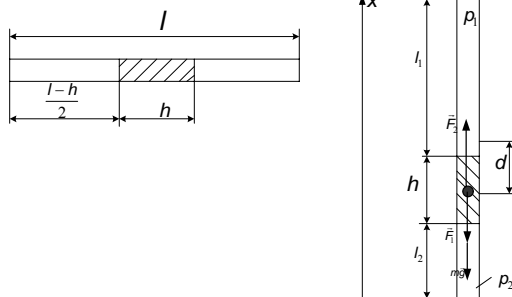
№ 199.

<p>Дано: $l = 1 \text{ м}$, $h = 25 \text{ см}$</p>	<p>Решение: 1) По второму закону Ньютона $F_1 + mg - F = 0$, $F_1 = p_1 S$; $F = pS$; $m = \rho V = \rho Sh$, $p_1 S + \rho g Sh - pS = 0$, $p = p_1 + \rho gh$.</p>
<p>Найти: p.</p>	

2) $T = \text{const} \Rightarrow$
 по закону Бойля-Мариотта
 $p/p_1 = V_1/V = Sl_1/(Sl/2) = 2(l-h)/l$, $p_1 = p/[2(l-h)]$.
 3) $p = p/[2(l-h)] + \rho gh = 2(l-h)\rho gh/(l-2h) \approx 750 \text{ мм рт. ст.}$
Ответ: $p = 750 \text{ мм рт. ст.}$

№ 200.

<p>Дано: $l = 1 \text{ м}$, $h = 20 \text{ см}$, $d = 10 \text{ см}$</p>	<p>Решение: 1) $l_1 = (l-h)/2 + d$, $l_2 = (l-h)/2 - d$; 2) По второму закону Ньютона $F_2 - F_1 - mg = 0$, $F_1 = p_1 S$; $F_2 = p_2 S$; $m = \rho V = \rho Sh$, $p_2 S - p_1 S - \rho g Sh = 0$, $p_2 = p_1 + \rho gh$.</p>
<p>Найти: p.</p>	



3) $T = \text{const} \Rightarrow$ по закону Бойля-Мариотта
 $p/p_1 = V_1/V = Sl_1/[S(l-h)/2] = 2l_1(l-h) = (l-h+2d)/(l-h)$,
 $p_1 = p(l-h)/(l-h+2d)$;
 4) $T = \text{const} \Rightarrow$ по закону Бойля-Мариотта
 $p/p_2 = V_2/V = Sl_2/[S(l-h)/2] = 2l_2(l-h) = (l-h-2d)/(l-h)$,
 $p_2 = p(l-h)/(l-h-2d)$;
 5) Из 2), 3) и 4)

$$p \left(\frac{l-h}{l-h-2d} - \frac{l-h}{l-h+2d} \right) = \rho gh,$$

$$p = \frac{\rho gh}{\frac{l-h}{l-h-2d} - \frac{l-h}{l-h+2d}} \approx 375 \text{ мм рт. ст.}$$

Ответ: $p = 375 \text{ мм рт. ст.}$

№ 201.

Дано: $p = 1,1 \text{ кПа}, p_n = 2,2 \text{ кПа}$	Решение: По определению относительной влажности $\phi = p/p_n = 50\%$.
Найти: ϕ .	Ответ: $\phi = 50\%$.

№ 202.

Дано: $p_n = 2,33 \text{ кПа},$ $\phi = 60\%$	Решение: По определению относительной влажности $\phi = p/p_n \Rightarrow p = \phi p_n \approx 1,4 \text{ кПа}.$
Найти: p .	Ответ: $p = 1,4 \text{ кПа}.$

№ 203. Приводится в учебнике с решением.

№ 204.

Дано: $t_1 = 16^\circ\text{C}, \phi = 55\%,$ $t_2 = 8^\circ\text{C}, p_{n1} = 1,8 \text{ кПа},$ $p_{n2} = 1,06 \text{ кПа}$	Решение: $\phi = p(t_p)/p_n(t_1) \Rightarrow p(t_p) = \phi p_n(t_1) \approx$ $\approx 0,99 \text{ кПа},$ $p(t_p) < p_{n2}(t_2) \Rightarrow t_p < t_2 \Rightarrow$ роса не выпадет;
Найти: выпадет ли роса?	Ответ: роса не выпадет.

№ 205.

Дано: $V = 100 \text{ м}^3, t = 0^\circ\text{C},$ $\phi = 20\%, p_n = 0,61 \text{ кПа}$	Решение: По определению относительной влажности $\phi = p/p_n \Rightarrow p = \phi p_n, pV = \nu RT \Rightarrow$
Найти: N .	

$\nu = pV/(RT) = \phi p_n V/(R(t + 273^\circ)),$
 $N = \nu N_A = N_A \phi p_n V/(R(t + 273^\circ)) \approx 3,2 \cdot 10^{24}.$ **Ответ:** $N = 3,2 \cdot 10^{24}.$

№ 206.

Дано: $V = 100 \text{ м}^3,$ $t = 20^\circ\text{C}, \phi = 60\%,$ $p_n = 2,3 \text{ кПа}$	Решение: По определению относительной влажности $\phi = p/p_n \Rightarrow p = \phi p_n, pV = m/\mu RT \Rightarrow$ $m = \mu pV/RT = \mu \phi p_n V/(R(t + 273^\circ)) \approx 1 \text{ кг}.$
Найти: m .	Ответ: $m = 1 \text{ кг}.$

№ 207.

Дано: $V_1 = 1 \text{ м}^3, V_2 = 2 \text{ м}^3,$ $V = 3 \text{ м}^3, \phi_1 = 20\%,$ $\phi_2 = 30\%$	Решение: Применим уравнение Менделеева-Клайперона для водяного пара $p_1 V_1 = \nu_1 RT, p_2 V_2 = \nu_2 RT,$ $pV = (\nu_1 + \nu_2)RT = \nu_1 RT + \nu_2 RT = p_1 V_1 + p_2 V_2 \Rightarrow$ $p = (p_1 V_1 + p_2 V_2)/V.$
Найти: ϕ .	

По определению относительной влажности

$$\phi_1 = p_1/p_n, \phi_2 = p_2/p_n,$$

$$\phi = p/p_n = (p_1/p_n V_1 + p_2/p_n V_2)/V = (\phi_1 V_1 + \phi_2 V_2)/V \approx 27\%.$$

Ответ: $\phi = 27\%$.

№ 208.

Дано:

$$t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 30^\circ\text{C},$$

$$\phi_1 = 0,8, p_{n1} = 2,3 \text{ кПа},$$

$$p_{n2} = 4,2 \text{ кПа}$$

Найти: ϕ_2 .

Решение:

1) По определению относительной влажности

$$\phi_1 = p_1/p_{n1} \Rightarrow p_1 = \phi p_{n1}, \phi_2 = p_2/p_{n2};$$

2) $V = \text{const} \Rightarrow$ по закону Шарля

$$p_1/T_1 = p_2/T_2 \Rightarrow p_2 = p_1 T_2/T_1 = \phi p_{n1} (t_2 + 273^\circ)/(t_1 + 273^\circ);$$

$$3) \phi_2 = p_2/p_{n2} = \phi p_{n1}/p_{n2} \cdot (t_2 + 273^\circ)/(t_1 + 273^\circ) \approx 45\%.$$

Ответ: $\phi_2 = 45\%$.

АТОМНАЯ ФИЗИКА

Глава 7

№ 209.

Дано:

$${}^{197}_{79}\text{Au}, Z = 79,$$

$$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

Найти: N_e, q .

Решение:

$$N_e = Z = 79.$$

$$q = N_e \cdot q_e = 12,6 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}.$$

Ответ: $N_e = 79, q = 12,6 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}.$

№ 210.

Дано:

$$N_e = 50$$

Найти: атом элемента, содержащий N_e электронов, q .

Решение:

Из условия электронейтральности атома

$$Z = N_e = 50, {}^{119}_{50}\text{Sn}.$$

$$q = N_e \cdot q_e = 8 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}.$$

Ответ: ${}^{119}_{50}\text{Sn}, q = 8 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}.$

№ 211.

Дано:

Найти: $N_e(\text{H}_2\text{O})$.

Решение:

Из условия электронейтральности атома

$$N_e(\text{H}) = Z_{\text{H}} = 1, N_e(\text{O}) = Z_{\text{O}} = 8,$$

$$N_e(\text{H}_2\text{O}) = 2N_e(\text{H}) + N_e(\text{O}) = 10.$$

Ответ: $N_e(\text{H}_2\text{O}) = 10.$

№ 212.

Дано:

$$m = 320 \text{ г},$$

$$\mu = 16 \text{ г/моль}$$

Найти: N_e .

Решение:

$$N = N_A \nu = N_A m / \mu.$$

Из условия электронейтральности атома

$$N_e = NZ = Z N_A m / \mu = 9,6 \cdot 10^{23}.$$

Ответ: $N_e = 9,6 \cdot 10^{23}.$

№ 213.

Дано:

$$n = 2$$

Найти: E_n .

Решение:

По формуле для энергии атома водорода

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{Z^2 m_e e^4}{8 h^2 \epsilon_0^2} \approx -3,4 \text{ эВ}.$$

Ответ: $E_n = -3,4 \text{ эВ}.$

№ 214.

Дано: $E_n = -1,51 \text{ эВ}$	Решение: По формуле для полной энергии атома водорода
Найти: n .	$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{Z^2 m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2},$
$n = \sqrt{-\frac{1}{E_n} \frac{Z^2 m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2}} = \frac{Ze^2}{2h\epsilon_0} \sqrt{-\frac{m_e}{2E_n}} \approx 3.$	

Ответ: $n = 3$.

№ 215.

Дано: $n_1 = 2, n_2 = 1$	Решение: По формуле для полной энергии атома водорода
Найти: ν .	$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{Z^2 m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2}.$

По второму постулату Бора

$$h\nu = E_1 - E_2 = \frac{Z^2 m_e e^4}{8h^2 \epsilon_0^2} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \approx 2,45 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

Ответ: $\nu = 2,45 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$

№ 216.

Дано: $n_1 = 3, n_2 = 2$	Решение: По второму постулату Бора
Найти: ν .	$h\nu = E_1 - E_2, hc/\lambda = E_1 - E_2,$
$\lambda = hc(E_1 - E_2)^{-1} = hc \frac{8h^2 \epsilon_0^2}{Z^2 m_e e^4} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)^{-1} =$	
$= \frac{8h^3 c \epsilon_0^2}{Z^2 m_e e^4} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)^{-1} \approx 660 \text{ нм.}$	

Ответ: $\lambda = 660 \text{ нм.}$

№ 217.

Дано: $n = 3$	Решение: Всего возможны 3 перехода:
Найти: количество, фотонов различных энергий, которое могут излучить атомы водорода.	$3 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 1, 3 \rightarrow 2.$ Каждому из этих переходов соответствует фотон со своей энергией, следовательно, $N = 3.$
Ответ: $N = 3.$	

№ 218.

Дано: $\Delta E = 4,9 \text{ эВ}$	Решение: По второму постулату Бора
Найти: λ .	$h\nu = E_m - E_n = \Delta E, hc/\lambda = \Delta E, \lambda = hc/\Delta E \approx 250 \text{ нм.}$
	Ответ: $\lambda = 250 \text{ нм.}$

№ 219.

Дано: $n = 1$	Решение: По второму закону Ньютона для электрона
Найти: ν, T .	$\frac{Z^2 e^4}{4\pi\epsilon_0 r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n}.$

По условию квантования $m_e v_n r_n = n\hbar$.

Следовательно,

$$v_n = \frac{Ze^2}{2n\epsilon_0 \hbar}, T = \frac{2\pi r_n}{v_n} = 2\pi \frac{n\hbar}{m_e v_n^2} = \frac{4n^3 \hbar^3 \epsilon_0^2}{m_e Z^2 e^4} \approx 1,5 \cdot 10^{-16} \text{ с.}$$

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{m_e Z^2 e^4}{4n^3 \hbar^3 \epsilon_0^2} \approx 6,7 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

Ответ: $T = 1,5 \cdot 10^{-16} \text{ с}, \nu = 6,7 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$

№ 220.

Дано: $n_1 = 1, n_2 = 3$	Решение: По второму закону Ньютона для электрона
Найти: v_{n1}/v_{n2} .	$\frac{Z^2 e^4}{4\pi\epsilon_0 r_n^2} = \frac{m_e v_n^2}{r_n}.$

По условию квантования

$$m_e v_n r_n = n\hbar.$$

Следовательно,

$$v_{n1} = \frac{Ze^2}{2n\epsilon_0 \hbar}, v_{n2} = \frac{Ze^2}{2n\epsilon_0 \hbar}, \frac{v_{n1}}{v_{n2}} = \frac{n_2}{n_1} = 3. \quad \textbf{Ответ: } v_{n1}/v_{n2} = 3.$$

№ 221.

Дано: $v_0 = 1,9 \cdot 10^7 \text{ м/с},$ $m = 6,6 \cdot 10^{-27} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2,$ $q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл},$ $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2,$ $Z = 79$	Решение: $E_{\kappa 1} = mv_0^2/2, E_{\kappa 1} = 0, E_{n1} = 0,$ $E_{n2} = kZeq/r_{\min}.$ По закону сохранения энергии $E = E_{\kappa} + E_n \Rightarrow E_{\kappa 1} = E_{n2} \Rightarrow$ $r_{\min} = 2kZeq/mv_0^2 \approx 3 \cdot 10^{-14} \text{ м.}$
Найти: $r_{\min}.$	Ответ: $r_{\min} = 3 \cdot 10^{-14} \text{ м.}$

№ 222.

Дано: $W = 12,8 \text{ эВ},$ $n_1 = 1, n = 2$	Решение: $E_2 = E_1 + W.$ По формуле для полной энергии атома водорода
Найти: $\lambda_i.$	$E_2 \leq -\frac{1}{n_2^2} \frac{m_e e^4}{8h^2 \epsilon_o^2},$

$$n_2 \leq \sqrt{-\frac{1}{E_2} \frac{Z^2 m_e e^4}{8h^2 \epsilon_o^2}} = \frac{Ze^2}{2h\epsilon_o} \sqrt{-\frac{m_e}{2(E_1 + W)}} \approx 4,3; n_2 = 4.$$

По второму постулату Бора

$$h\nu = E_i - E_j, hc/\lambda = E_i - E_j, \lambda = hc/(E_i - E_j)$$

$$1) \lambda_1 = \frac{hc}{E_{n_2} - E_{n_2-1}} = \frac{8h^3 c \epsilon_o^2}{m_e e^4} \left(\frac{1}{(n_2-1)^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)^{-1} \approx 1,89 \text{ мкм};$$

$$2) \lambda_2 = \frac{hc}{E_{n_2-1} - E_{n_2-2}} = \frac{8h^3 c \epsilon_o^2}{m_e e^4} \left(\frac{1}{(n_2-2)^2} - \frac{1}{(n_2-1)^2} \right)^{-1} \approx 0,66 \text{ мкм};$$

$$3) \lambda_3 = \frac{hc}{E_{n_2} - E_{n_2-2}} = \frac{8h^3 c \epsilon_o^2}{m_e e^4} \left(\frac{1}{(n_2-2)^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)^{-1} \approx 0,49 \text{ мкм}.$$

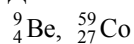
Ответ: 1) $\lambda_1 = 1,89 \text{ мкм}$; 2) $\lambda_1 = 0,66 \text{ мкм}$; 3) $\lambda_1 = 0,49 \text{ мкм}$.

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Глава 8

№ 223.

Дано:



Найти: d .

Решение:

A — массовое число, Z — зарядовое число,

N — количество нуклонов,

n — количество нейтронов,

p — количество протонов.

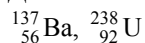
$$1) N = A = 9, p = Z = 4, n = A - Z = 5;$$

$$2) N = A = 59, p = Z = 27, n = A - Z = 32.$$

Ответ: ${}^9_4\text{Be}$: $N = 9$; $p = 4$; $n = 5$; ${}^{59}_{27}\text{Co}$: $N = 59$; $p = 27$; $n = 32$.

№ 224.

Дано:



Найти: d .

Решение:

A — массовое число, Z — зарядовое число,

N — количество нуклонов,

n — количество нейтронов,

p — количество протонов.

$$1) N = A = 137, p = Z = 56, n = A - Z = 81;$$

$$2) N = A = 238, p = Z = 92, n = A - Z = 146.$$

Ответ: 1) ${}^{137}_{56}\text{Ba}$: $N = 9$; $p = 4$; $n = 5$; 2) ${}^{238}_{92}\text{U}$: $N = 59$; $p = 27$; $n = 32$.

№ 225.

Дано:

$$A = 3, Z = 1,$$

$$m = 3,01605 \text{ а.е.м.}$$

Найти: Δm .

Решение:

A — массовое число, Z — зарядовое число,

$$m_{\alpha} = m + Zm_e \Rightarrow m = m_{\alpha} - Zm_e,$$

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m =$$

$$= [Zm_p + (A - Z)m_n] - m_{\alpha} + Zm_e \approx 0,0089 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: $\Delta m = 0,0089 \text{ а.е.м.}$

№ 226.

Дано:

$$A = 2, Z = 1,$$

$$m = 2,01410 \text{ а.е.м.}$$

Найти: Δm .

Решение.

A — массовое число, Z — зарядовое число,

$$m = m_{\alpha} + Zm_e \Rightarrow m_{\alpha} = m - Zm_e,$$

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m_{\alpha} =$$

$$= [Zm_p + (A - Z)m_n] - m + Zm_e \approx 0,00238 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: $\Delta m = 0,00238 \text{ а.е.м.}$

№ 227.

Дано:

$${}^8_5\text{B}, A = 8, Z = 5,$$

$$m = 8,02461 \text{ а.е.м.}$$

Найти: $E_{\text{св.}}$

Решение:

A — массовое число, Z — зарядовое число,

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m,$$

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2 = \{[Zm_p + (A - Z)m_n] - m\}c^2 \approx$$

$$\approx 37,76 \text{ МэВ.}$$

Ответ: $E_{\text{св}} = 37,76 \text{ МэВ.}$

№ 228.

Дано:

$${}^{10}_6\text{C}, A = 10, Z = 6,$$

$$m = 10,01683 \text{ а.е.м.}$$

Найти: $E_{\text{св.}}$

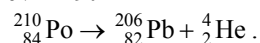
Решение:

Аналогично предыдущей задаче:

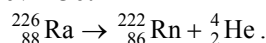
$$E_{\text{св}} = \{[Zm_p + (A - Z)m_n] - m\}c^2 \approx 6,03 \text{ МэВ.}$$

Ответ: $E_{\text{св}} = 6,03 \text{ МэВ.}$

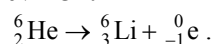
№ 229.



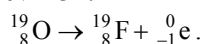
№ 230.



№ 231.



№ 232.



№ 233.

Дано:

$${}^{232}_{90}\text{Th}, A = 232,$$

$$Z = 90, n = 4, m = 2$$

Найти: A', Z'

Решение:

A — массовое число, Z — зарядовое число;

При каждом α -распаде A уменьшается на 4,

а Z — на 2;

при каждом β -распаде Z увеличивается на 1, а A не изменяется, следовательно,

$$A' = A - 4n = 216, Z' = Z - 4n + m = 84.$$

Значит, образуется изотоп ${}^{216}_{84}\text{Po}$.

Ответ: ${}^{216}_{84}\text{Po}$.

№ 234.

Дано:

$${}^{238}_{92}\text{U}, A = 238,$$

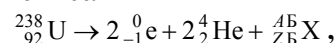
$$Z = 92, n = 2, m = 2$$

Найти: элемент, изотопом которого является ионий.

Решение:

A — массовое число, Z — зарядовое число;

Из закона сохранения массового и зарядового чисел



$$A' + 4n = A \Rightarrow 238 = 2 \cdot 4 + A' \Rightarrow A' = 230,$$

$$Z' + 2m - n = Z \Rightarrow 92 = 2 \cdot 2 - 2 + Z' \Rightarrow Z' = 90.$$

Ионий является изотопом тория: ${}^{232}_{90}\text{Th}$.

Ответ: ${}^{232}_{90}\text{Th}$.

№ 235.

Дано: $\Delta A = 16$ <hr/> Найти: n .	Решение: A — массовое число, Z — зарядовое число. При каждом α -распаде A уменьшается на 4, следовательно, $n = \Delta A / 4 = 4$. Ответ: $n = 4$.
--	---

№ 236.

Дано: ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + \dots$, $A = 238, Z = 92$ <hr/> Найти: m, n .	Решение: A — массовое число, Z — зарядовое число. Из закона сохранения массового и зарядового чисел ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow m {}^0_{-1}\text{e} + n {}^4_2\text{He} + {}^{206}_{82}\text{Pb}$,
---	---

$$\begin{cases} 4n + 206 = 238, \\ 2n - m + 82 = 92; \end{cases} \quad n = 8; m = 6.$$

Ответ: $n = 8, m = 6$.

№ 237.

Дано: $t = 4T_{1/2}$ <hr/> Найти: N_o/N .	Решение: По закону радиоактивного распада $N = N_o 2^{-t/T_{1/2}}, \quad \frac{N_o}{N} = 2^{t/T_{1/2}} = 2^4 = 16$. Ответ: $N_o/N = 16$.
---	--

№ 238.

Дано: $t = 6 \text{ с},$ $N_o/N = 8$ <hr/> Найти: $T_{1/2}$.	Решение: По закону радиоактивного распада $N = N_o 2^{-t/T_{1/2}}, \quad \frac{N_o}{N} = 2^{t/T_{1/2}}, \quad T_{1/2} = \frac{t}{\log_2 \frac{N_o}{N}} = 2 \text{ с}.$ Ответ: $T_{1/2} = 2 \text{ с}.$
--	--

№ 239.

Дано: $t = T_{1/2}/2$ <hr/> Найти: η .	Решение: По закону радиоактивного распада $N = N_o 2^{-t/T_{1/2}}, \quad \frac{N_o}{N} = 2^{t/T_{1/2}},$ $\eta = 1 - \frac{N_o}{N} = 1 - 2^{t/T_{1/2}} \approx 29\%.$ Ответ: $\eta = 29\%.$
---	--

№ 240.

Дано:

$$T_{1/2} = 18 \text{ ч,}$$

$$t = 3 \text{ дня}$$

Найти: η .

Решение:

По закону радиоактивного распада

$$N = N_o 2^{-t/T_{1/2}},$$

$$\eta = \frac{N}{N_o} = 2^{-t/T_{1/2}} = 2^{-4} = 6,25\%.$$

Ответ: $\eta = 6,25\%$.

№ 241.

Дано:

$$n = 16,$$

$$t = 4 \text{ мин}$$

Найти: $T_{1/2}$.

Решение:

A пропорционально N , следовательно,

$$A_1/A_2 = N_1/N_2 = n.$$

По закону радиоактивного распада

$$N_2 = N_1 2^{-t/T_{1/2}}, \quad T_{1/2} = \frac{t}{\log_2 N_1/N_2} = \frac{t}{\log_2 n} = 1 \text{ мин.}$$

Ответ: $T_{1/2} = 1 \text{ мин.}$

№ 242.

Дано:

$$t = 5T_{1/2}$$

Найти: A_1/A_2 .

Решение:

A пропорционально N ,

следовательно,

$$A_1/A_2 = N_1/N_2 = n.$$

По закону радиоактивного распада

$$N_2 = N_1 2^{-t/T_{1/2}},$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{N_1}{N_2} = 2^{t/T_{1/2}} = 2^5 = 32.$$

Ответ: $A_1/A_2 = 32$.

№ 243.

Дано:

$$\eta = 41 \%,$$

$$T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ лет}$$

Найти: t .

Решение:

$$N_o = N + N' = N + \eta N \Rightarrow N_o/N = 1 + \eta.$$

По закону радиоактивного распада

$$N = N_o 2^{-t/T_{1/2}},$$

$$t = T_{1/2} \log_2 \frac{N_o}{N} = T_{1/2} \log_2 (1 + \eta) \approx 2,25 \cdot 10^9 \text{ лет.}$$

Ответ: $t = 2,25 \cdot 10^9 \text{ лет.}$

№ 244.

Дано:

$$\eta = m_1/m_2 = 0,86,$$

$$T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ лет}$$

Найти: t .

Решение:

$$m_1 = \nu_1 \mu_1 = \mu_1 N_1 / N_A,$$

$$m_2 = \nu_2 \mu_2 = \mu_2 N_2 / N_A,$$

$$m_2/m_1 = \mu_2 N_2 / (\mu_1 N_1),$$

$$N_2/N_1 = \eta \mu_1 / \mu_2,$$

$$N_o = N_2 + N_1 = N_1 + N_1 \eta \mu_1 / \mu_2 \Rightarrow N_o/N_1 = 1 + \eta \mu_1 / \mu_2$$

По закону радиоактивного распада

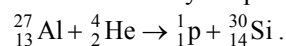
$$N_1 = N_o 2^{-t/T_{1/2}},$$

$$t = T_{1/2} \log_2 \frac{N_o}{N_1} = T_{1/2} \log_2 \left(1 + \frac{\mu_1}{\mu_2} \eta \right) \approx 4,5 \cdot 10^9 \text{ лет.}$$

Ответ: $t = 4,5 \cdot 10^9$ лет.

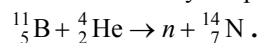
№ 245.

Согласно закону сохранения массового и зарядового чисел



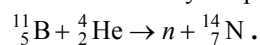
№ 246.

Согласно закону сохранения массового и зарядового чисел



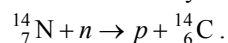
№ 247.

Согласно закону сохранения массового и зарядового чисел



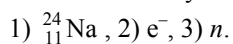
№ 248.

Согласно закону сохранения массового и зарядового чисел



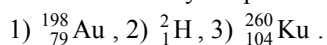
№ 249.

Согласно закону сохранения массового и зарядового чисел



№ 250.

Согласно закону сохранения массового и зарядового чисел



№ 251.

Дано:

$$\begin{aligned} m_a &= 7,01601 \text{ а.е. м.} \\ m_b &= 2,01410 \text{ а.е. м.} \\ m_c &= 1,008665 \text{ а.е. м.} \\ m_d &= 8,00531 \text{ а.е. м.} \end{aligned}$$

Найти: Q .

Решение: Энергетический выход ядерной реакции находится по формуле

$$Q = (m_a + m_b - m_c - m_d)c^2,$$

где $a + b \rightarrow c + d$.

$$Q = 14,5 \text{ МэВ.}$$

Ответ: $Q = 14,5 \text{ МэВ.}$

№ 252.

Дано:

$$\begin{aligned} m_a &= 7,01601 \text{ а.е. м.} \\ m_b &= 4,00260 \text{ а.е. м.} \\ m_c &= 1,008665 \text{ а.е. м.} \\ m_d &= 10,01294 \text{ а.е. м.} \end{aligned}$$

Найти: Q .

Решение: Энергетический выход ядерной реакции находится по формуле

$$Q = (m_a + m_b - m_c - m_d)c^2,$$

Если $Q < 0$, то реакция — эндотермическая, $Q > 0$ — экзотермическая.

$$Q = -2,7 \text{ МэВ} \Rightarrow \text{у нас эндотермическая реакция.}$$

Ответ: $Q = 2,7 \text{ МэВ}$, реакция — эндотермическая.

№ 253.

Дано:

$$\begin{aligned} M &= 0,235 \text{ кг/моль,} \\ m &= 10 \text{ кг, } \eta = 10 \%, \\ P &= 10 \text{ МВт, } Q_1 = 200 \text{ МэВ} \end{aligned}$$

Найти: t .

Решение:

$$N = N_A \nu = N_A m / M = N_A \eta m / M,$$

$$Q = Pt, N = Q/Q_1 = Pt/Q_1 \Rightarrow$$

$$t = Q_1 N / P = Q_1 N_A \eta m / (PM) \approx 95 \text{ дней.}$$

Ответ: $t = 95 \text{ дней.}$

№ 254.

$$\begin{aligned} \text{Дано: } M &= 0,235 \text{ кг/моль,} \\ P &= 10 \text{ МВт, } Q_1 = 200 \text{ МэВ,} \\ t &= 1 \text{ год} \end{aligned}$$

Найти: m .

$$\text{Решение: } Q = Pt, N = Q/Q_1 = Pt/Q_1 \Rightarrow$$

$$m = M \nu = MN/N_A = MPt/(Q_1 N_A) \approx$$

$$\approx 3,85 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 3,85 \text{ кг.}$

№ 255.

$$\begin{aligned} \text{Дано: } \eta &= 17 \%, \\ M &= 0,235 \text{ кг/моль,} \\ P &= 5 \text{ МВт,} \\ Q_1 &= 200 \text{ МэВ} \end{aligned}$$

Найти: m_t .

$$\text{Решение: } A = \eta Q = Pt, m_t = m/t = MN/(tN_A)$$

$$N = Q/Q_1 \Rightarrow$$

$$m_t = Q/(Q_1 t) \cdot M/N_A = MP/(\eta N_A Q_1) \approx$$

$$\approx 31 \text{ г/сут.}$$

Ответ: $m_t = 31 \text{ г/сут.}$

№ 256.

$$\begin{aligned} \text{Дано: } m_t &= 220 \text{ г/сут,} \\ M &= 0,235 \text{ кг/моль,} \\ \eta &= 25 \% \end{aligned}$$

$$\text{Решение: } N = N_A \nu = N_A m/M = N_A m_t/M \cdot t,$$

$$Q = NQ_1 = Q_1 N_A t \cdot m_t/M,$$

Найти: P .

$$P = A/t = \eta Q/t = \eta Q_1 N_A \cdot m_l/M \approx 52 \text{ МВт.}$$

Ответ: $P = 52 \text{ МВт.}$

Глава 9

№ 257.

1) Реакции $e^- + e^+ \rightarrow \pi^- + \pi^-$ не существует, так как не сохраняется электрический заряд.

№ 258.

Реакции 1 и 4 существуют, так как для них выполняются все законы сохранения.

№ 259.

1) согласно закону сохранения заряда и барионного числа

$$p + \gamma \rightarrow \pi^+ + n;$$

2) согласно закону сохранения заряда и лептонного числа

$$\nu_e + n \rightarrow e^- + p;$$

3) согласно закону сохранения заряда и барионного числа

$$n + p \rightarrow d + \gamma.$$

№ 260.

1) согласно закону сохранения заряда и лептонного числа

$$e^- + e^+ \rightarrow \tau^- + \tau^+;$$

2) согласно закону сохранения заряда и барионного числа

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n;$$

3) согласно закону сохранения заряда и лептонного числа

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu.$$

№ 261.

а) p : $S = 0$, б) γ : $S = 0$, в) Σ^- : $S = -1$, г) Ξ^0 : $S = 0$.

№ 262.

а) n : $S = 0$, б) Ω^- : $S = 0$, в) π^+ : $S = -1$, г) Λ^0 : $S = 0$.

№ 263.

1) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа

$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma;$$

2) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа

$$\pi^- + p \rightarrow \Sigma^+ + K^0 + \pi^-;$$

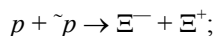
3) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа

$$K^- + p \rightarrow K^+ + \Xi^- + \pi^0;$$

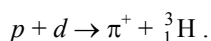
4) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа



5) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа

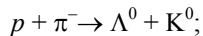


6) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа

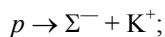


№ 264.

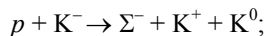
1) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа



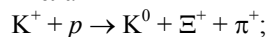
2) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа



3) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа



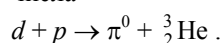
4) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа



5) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа



6) согласно закону сохранения заряда, странности и барионного числа



№ 265.

Реакций 1 и 3 не существует, так как в ходе нее не сохраняется странность.

№ 266.

Реакции 2 и 3 не существует, так как в ходе нее не сохраняется странность.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа 1.

Определение показателя преломления стекла

1. *Цель:* определение показателя преломления стекла.
2. *Оборудование:* плоскопараллельная стеклянная пластинка, линейка, четыре булавки, транспортир, таблицы Брадиса (или калькулятор, позволяющий находить значения тригонометрических функций), кусок картона.
3. *Последовательность действий:*
 - а) положите на тетрадный лист плоскопараллельную пластинку и обведите ее контуры карандашом.
 - б) положив под тетрадный лист кусок картона и расположив тетрадь с пластинкой на уровне глаз, воткните в лист одну за другой четыре булавки так, чтобы они загораживали друг друга.
 - в) убрав картон, пластинку и булавки, соедините точки проколов на листе ломаной линией.
 - г) обозначив угол падения как α , а угол преломления как β , посчитайте коэффициент преломления по формуле $n = \sin\alpha/\sin\beta$.

Лабораторная работа 2.

Определение длины световой волны

1. *Цель:* определение длины световой волны.
2. *Оборудование:* прибор для определения длины световой волны (с дифракционной решеткой), лампа накаливания.

Лабораторная работа 3.

Определение удельной теплоемкости твердого тела

1. *Цель:* определение удельной теплоемкости твердого тела.
2. *Оборудование:* калориметр, горячая и холодная вода, металлический цилиндр с нитью, термометр, мензурка, весы с гирями.

Дано: m_1 — масса воды,
 t_1 — температура воды,
 m_2 — масса цилиндра,
 t_2 — температура цилиндра, Θ — температура воды после наступления теплового равновесия

Найти: $c_{уд}$

Решение: Для определенности положим, что

$$t_1 < \Theta < t_2, Q_1 = c_в m_1 (\Theta - t_1),$$

$$Q_2 = c_{уд} m_2 (\Theta - t_2).$$

По закону сохранения энергии

$$Q_1 = -Q_2 \Rightarrow c_в m_1 (\Theta - t_1) = c_{уд} m_2 (\Theta - t_2),$$

$$c_{уд} = c_в (m_1/m_2) (\Theta - t_1) / (t_2 - \Theta).$$

$$\text{Ответ: } c_{уд} = c_в (m_1/m_2) (\Theta - t_1) / (t_2 - \Theta).$$

Лабораторная работа 4.

Определение атмосферного давления с помощью закона Бойля-Мариотта

1. **Цель:** определение атмосферного давления с помощью закона Бойля-Мариотта.
2. **Оборудование:** мензурка с водой комнатной температуры, линейка узкая стеклянная трубка, закрытая с одного конца.

Дано:

Решение:

Давление внутри трубки уравнивается давлением воды и атмосферы, т.е.

Найти: p .

$p_2 = p + \rho gh$, $T = \text{const} \Rightarrow$ по закону Бойля-Мариотта

$p/p_2 = V_2/V_1 = Sh_2/Sh_1 = h_2/h_1$, $p_2 = \rho h_1/h_2$,

$\rho h_1/h_2 = p + \rho gh$, $p = \rho gh/(1 - h_1/h_2)$.

Ответ: $p = \rho gh/(1 - h_1/h_2)$.