								00 0	****								
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
2	4	1	3	1	2	4	1	4	3	4	1	4	1	5	5	5	1
B1	B2	В3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						
30	78	80	4	18	410	10	80	6	4	40	10						
								Вари	ант 2			-					
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18
5	3	3	4	2	4	5	5	2	3	3	2	1	1	5	2	5	3
B1	B2	В3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12						

В некоторых задачах я буду предлагать Вам краткие выдержки из теории. Не игнорируйте их, если хотите вникнуть в решение задачи.

53

20

4

Очень большое количество задач в этом тесте можно решить просто хорошо зная теорию. То есть вам не надо обладать глубокими познаниями в физике. Достаточно записать дано, вспомнить формулу по теме задачи и просто подставили данные. Все, задача решена! Если у вас есть более красивые решения отдельных задач – поделитесь! ©

2018/2019, 3 этап, первый вариант

- А1. Вспоминайте определение равномерного движения. Ответ: 2.
- **A2.** Рекомендую скачать у меня с сайта <u>www.repet.by</u> раздел «Кинематика» (он находится в свободном доступе) и внимательно изучить параграф 1.12. **Ответ:** 4.
- **А3.** Если вы скачали раздел «Кинематика», то в теме 1.14 вы найдете разбор аналогичной задачи. **ПРИМЕР.** Линейная скорость точек обода вращающегося колеса равна 50 см/с, а линейная скорость его точек, находящихся на 3 см ближе к оси вращения, равна 40 см/с. Определите радиус (в см) колеса. Выразим скорость каждой точки через расстояние до оси вращения и угловую скорость колеса

$$v_1 = \omega R$$
 $v_2 = \omega (R - l)$

где l=3 см. Решая систему уравнений (разделим первое уравнение на второе) получим

$$\frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{\omega R}{\omega (R-l)} \implies \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{R}{R-l}$$

Подставляем данные задачи и находим R = 15 см.

Единственное отличие этой задачи от задачи в РТ то, что нам даны не скорости, а соотношение между ними: $\upsilon_1 = 2,5\upsilon_2$. С учетом этого получим

$$v_1 = 2,5v_2$$
. С учетом этого получим
$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega R}{\omega (R - \Delta l)} \implies \frac{2,5v_2}{v_2} = \frac{R}{R - \Delta l} \implies \frac{2,5}{1} = \frac{R}{R - \Delta l} \implies 2,5R - 2,5\Delta l = R \implies R = \frac{5}{3}\Delta l$$

Ответ: 1.

20

81

80

5

22

2

11

90

А4. Импульсом тела (количеством движения) называют физическую векторную величину, являющуюся количественной характеристикой поступательного движения тела. Импульс обозначается p. Импульс тела равен произведению массы тела на его скорость: $\vec{p} = m\vec{\upsilon}$.

Из уравнения движения найдем начальную скорость тела и ускорение, с которым оно двигается (как это сделано описано в параграфе 1.13). А дальше все просто

$$p = mv = m(v_0 + at) = 2(-8 + 8 \cdot 2) = 16 \text{ (kg·m/c)}$$

Ответ: 3.

- **А5.** Раздел «Динамика» так же находится в свободном доступе у меня на сайте. Внимательно изучайте параграф 2.02. В нем есть решения аналогичных задач. **Ответ:** 1.
- А6. Основным отличием жидкостей от твердых (упругих) тел является способность легко изменять свою форму. Части жидкости могут свободно сдвигаться, перемещаясь друг относительно друга. Поэтому жид-

кость принимает форму сосуда, в который она налита. В жидкость, как и в газообразную среду, можно погружать твердые тела. В отличие от газов жидкости практически несжимаемы.

На тело, погруженное в жидкость или газ, действуют силы, распределенные по поверхности тела. Для описания таких распределенных сил вводится новая физическая величина – давление. Давлением называется скалярная физическая величина, равная отношению модуля силы F действующей перпендикулярно

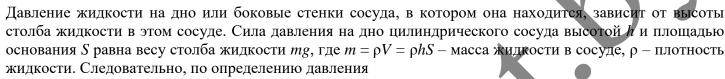
поверхности, к площади S этой поверхности: $p = \frac{F}{S}$. В системе СИ давление измеряется в паскалях

(Па): $1 \text{ Па} = 1 \text{ H/м}^2$. Если же сила направлена под некоторым углом а к перпендикуляру к площадке (см. рисунок), то создаваемое этой силой давление находится по формуле

$$p = \frac{F\cos\alpha}{S}.$$

При этом сила давления находится по формуле

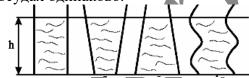
$$F = pS$$
 или $F = \frac{pS}{\cos \alpha}$



$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho h Sg}{S} = \rho gh \implies p = \rho gh.$$



 $p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho h Sg}{S} = \rho g h \implies p = \rho g h.$ Обратите внимание, что оказываемое давление **никоим образом не зависит от формы сосуда,** а зависит только от рода жидкости (плотности) и высоты столба жидкости. Например, давление на дно в этих сосудах одинаково.



Такое же давление на глубине h в соответствии с законом Паскаля жидкость оказывает и на **боковые** стенки сосуда. Давление столба жидкости рд называют гидростатическим давлением.

Возвращаемся к задаче. Так как гидростатическое давление столба жидкости или газа находится по формуле $p = \rho g h$ и по условию задачи в сосуды налита одинаковая жидкость до одинакового уровня, то давление жидкости на дно в обоих сосудах будет одинаковое. А вот сила давления, которая равна F = pS будет больше в том сосуде, в котором больше площадь основания. Ответ: 2.

А7. Гугл или любой справочник по физике в помощь. Ответ: 4.

А8. При своем движении молекулы газа непрерывно сталкиваются друг с другом. Из-за этого характеристики их движения непрерывно меняются. Поэтому говоря об импульсах, скоростях, кинетических энергиях молекул, всегда имеют в виду средние значения этих величин.

Задача молекулярно-кинетической теории состоит в том, чтобы установить связь между микроскопическими (масса, скорость, кинетическая энергия молекул) и макроскопическими (давление, температура) параметрами, характеризующими газ.

Число столкновений молекул газа при нормальных условиях с другими молекулами измеряется миллионами раз в секунду. Если пренебречь размерами и взаимодействием молекул (как в модели идеального газа), то можно считать, что между последовательными столкновениями молекулы движутся равномерно и прямолинейно. Естественно, подлетая к стенке сосуда, в котором расположен газ, молекула испытывает столкновение и со стенкой. Все столкновения молекул друг с другом и со стенками сосуда считаются абсолютно упругими столкновениями шариков. При столкновении со стенкой импульс молекулы изменяется. Значит, на молекулу со стороны стенки действует сила (вспомните второй закон Ньютона). Но по третьему закону Ньютона с точно такой же силой, направленной в противоположную сторону, молекула действует на стенку, оказывая на нее ДАВЛЕНИЕ. Совокупность всех ударов всех молекул о стенку сосуда приводит к возникновению давления газа. Важный вывод: давление газа – это результат столкновений молекул со стенками сосуда.

Если нет стенки или любого другого препятствия для молекул, то само понятие давления теряет смысл. Например, совершенно антинаучно говорить о давлении в центре комнаты, ведь там молекулы не давят на стенку. Почему же тогда поместив туда барометр мы с удивлением обнаружим, что он показывает какое—то давление? Все просто. Сам по себе барометр является той самой стенкой, на с которой сталкиваются молекулы. В результате столкновений оказывается давление на барометр.

Поскольку давление является следствием ударов молекул о стенку сосуда, очевидно, что его величина должна зависеть от характеристик отдельно взятых молекул (от средних характеристик, конечно, Вы ведь помните про то, что скорости всех молекул различны). Эта зависимость выражается ОСНОВНЫМ УРАВНЕНИЕМ МОЛЕКУЛЯРНО–КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА:

$$p=\frac{1}{3}nm_0v_{KB}^2,$$

где p — давление газа, n — концентрация молекул газа, m_0 — масса одной молекулы, $\upsilon_{\rm кв}$ — средняя квадратичная скорость (для простоты понимания считайте ее просто средней скоростью; обратите так же внимание, что в самом уравнении стоит квадрат средней квадратичной скорости). Физический смысл этого уравнения состоит в том, что оно устанавливает связь между характеристикой всего газа целиком (давлением) и параметрами движения отдельных молекул газа, то есть связь между макро— и микромиром.

СЛЕДСТВИЯ ИЗ ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ

В этой теме будет очень много формул. Нет, не так. Формул будет ОЧЕНЬ МНОГО!!! И это будут не все возможные формулы, а лишь их часть. Остальные вы должны научиться получать самостоятельно.

1. Начинам играть в формулы. Умножим и разделим правую часть уравнения на 2. Получим

$$p = \frac{1}{3}nm_0v_{\text{KB}}^2 = \frac{2}{3}n\frac{m_0v_{\text{KB}}^2}{2} = \frac{2}{3}nE_K$$
 \Rightarrow $p = \frac{2}{3}nE_K$,

где E_K — средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы идеального газа.

2. Продолжим игры. Теперь опять вернемся к исходному уравнению и раскроем концентрацию

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_{\text{kB}}^2 = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_{\text{kB}}^2 = \frac{1}{3} \frac{N m_0}{V} v_{\text{kB}}^2 = \frac{1}{3} \frac{m}{V} v_{\text{kB}}^2 = \frac{1}{3} \rho v_{\text{kB}}^2 \implies p = \frac{1}{3} \rho v_{\text{kB}}^2,$$

где ρ – плотность газа, $m = Nm_0$ – масса всего вещества.

3. Как уже было отмечено в предыдущем параграфе, скорость теплового движения молекул определяется температурой вещества. Для идеального газа эта зависимость выражается простой формулой

$$\upsilon_{_{\rm KB}} = \sqrt{3kT/m_0}$$

где $k = 1,38\cdot10^{-23}$ Дж/К — **постоянная Больцмана**, T — абсолютная температура.

Сразу же оговоримся, что далее во всех задачах Вы должны, не задумываясь, переводить температуру из градусов Цельсия в Кельвины (кроме задач на уравнение теплового баланса (тема 7), где вы в основном будете иметь дело с изменением температуры, а не самой температурой). Запомните простое правило: в градусах думают только алкоголики!!! Это же правило можно, кстати, применять и в кинематике, переводя углы из градусов в радианы.

Дальнейшие игры в формулы приведут нас к закону трех постоянных: $k \bullet N_A = R$, где R = 8,31 Дж/(моль:К) — универсальная газовая постоянная, которая в некоторых формулах заменяет собой сразу две постоянных — постоянную Больцмана и постоянную Авогадро.

Умножив числитель и знаменатель на постоянную Авогадро, получим еще одну формулу для связи скорости молекул и температуры

$$\upsilon_{\text{\tiny KB}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot k N_A \cdot T}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \ .$$

Запомнить эту формулу очень легко. На физическом сленге она называется формулой трех голодных животных:

$$u_{_{\mathrm{KB}}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{\mathrm{Tри}\ \mathrm{KoTa}}{\mathrm{Мышка}}} - \mathrm{Три}\ \mathrm{котa}\ \mathrm{нa}\ \mathrm{мышку}.$$
 $u_{_{\mathrm{KB}}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{\mathrm{Tpu}\ \mathrm{PTa}}{\mathrm{Mucka}}} - \mathrm{Tpu}\ \mathrm{pta}\ \mathrm{нa}\ \mathrm{миcky}.$

4. Итак, игры в формулы продолжаются. Подставим в формулу для **энергии одной молекулы** значение ее скорости

$$E_K = \frac{m_0 \nu_{\text{\tiny KB}}^2}{2} = \frac{3m_0 kT}{2m_0} = \frac{3}{2}kT \qquad \Longrightarrow \qquad E_K = \frac{3}{2}kT \ .$$

Оказывается, что средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул зависит только от температуры и одинакова при данной температуре для всех молекул. Если в задаче Вас попросят найти энергию молекул, содержащихся некотором количестве вещества, то надо будет просто умножить энергию одной молекулы на количество молекул

$$E_K = N \cdot \frac{3}{2}kT = \frac{m}{M}N_A \cdot \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2}\frac{m}{M}(N_A \cdot k)T = \frac{3}{2}\nu RT \implies E_K = \frac{3}{2}\nu RT$$

5. Подставим значение скорости в основное уравнение МКТ

$$p = \frac{1}{3}nm_0 \upsilon_{\text{\tiny KB}}^2 = \frac{1}{3}nm_0 \frac{3kT}{m_0} = nkT \qquad \Longrightarrow \qquad p = nkT \; .$$

6. Мы уже близки к финалу. Раскроем концентрацию в последнем полученном уравнении

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

Следовательно,

$$pV = NkT$$
.

pV = NkT. НЕМНОГО ТЕОРИИ О ТЕМПЕРАТУРЕ

Понятие температуры тесно связано с понятием теплового равновесия. Тела, находящиеся в контакте друг с другом, могут обмениваться энергией. Энергия, передаваемая одним телом другому при тепловом контакте, называется количеством теплоты.

Тепловое равновесие – это такое состояние системы тел, находящихся в тепловом контакте, при котором не происходит теплопередачи от одного тела к другому, и все макроскопические параметры тел остаются неизменными. Температура – это физический параметр, одинаковый для всех тел, находящихся в тепловом равновесии. Для измерения температуры используются физические приборы – термометры (не градусники, а именно термометры!!!), в которых о величине температуры судят по изменению какого-либо физического параметра. Для создания термометра необходимо выбрать термометрическое вещество (например, ртуть или спирт) и термометрическую величину, характеризующую свойство вещества (например, длина ртутного или спиртового столбика). В различных конструкциях термометров используются разнообразные физические свойства вещества (например, изменение линейных размеров твердых тел или изменение электрического сопротивления проводников при нагревании). Термометры должны быть откалиброваны. Для этого их приводят в тепловой контакт с телами, температуры которых считаются заданными. Чаще всего используют простые природные системы, в которых температура остается неизменной, несмотря на теплообмен с окружающей средой. Например, смесь льда и воды и смесь воды и пара при кипении при нормальном атмосферном давлении. По температурной шкале Цельсия точке плавления льда приписывается температура 0 °C, а точке кипения воды 100 °C. Изменение длины столба жидкости в капиллярах термометра на одну сотую длины между отметками 0 °C и 100 °C принимается равным 1 °C.

Английский физик У. Кельвин (Томсон) в 1848 г. предложил использовать точку нулевого давления газа для построения новой температурной шкалы (шкала Кельвина). В этой шкале единица измерения температуры такая же, как и в шкале Цельсия, но нулевая точка сдвинута: $T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$. То есть ноль по Кельвину соответствует -273,15 °C. Температуры ниже, чем ноль по Кельвину, не существует! В системе СИ принято единицу измерения температуры по шкале Кельвина называть кельвином и обозначать буквой К. Например, комнатная температура $T_{\rm C} = 20~{}^{\circ}{\rm C}$ по шкале Кельвина равна $T_{\rm K} = 293,15~{\rm K}$. Температурная шкала Кельвина называется абсолютной шкалой температур. Она оказывается наиболее удобной при построении физических теорий.

При решении задач считайте, что

$$T_{\rm K} = T_{\rm C} + 273$$
.

При решении задач нет необходимости переводить ИЗМЕНЕНИЕ температуры!!! То есть изменение температуры на 20 К НИКОГДА не будет равно изменению температуры на 293 °С!!! Например, была температура 290 К. Стала 310 К. Изменение составит 20 К. Если перевести в градусы Цельсия, то начальная температура была $T_1 = 290-273=17$ °C, конечная стала $T_2 = 310-273=37$ °C, то есть ИЗМЕ-НЕНИЕ равно 20 °С!!! Изменения температуры по шкале Цельсия и Кельвина равны!!!

Эта задача решается в одно действие. Главное подобрать формулу

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

Ответ: 1.

А9. Первый закон термодинамики является обобщением закона сохранения и превращения энергии для термодинамической системы. Он формулируется следующим образом.

 $m{L}$ Изменение ΔU внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно разности между количеством теплоты ${\it Q}$, переданной системе, и работой ${\it A}$, совершенной системой над внешними телами: $\Delta U = Q - A$.

Соотношение, выражающее первый закон термодинамики, часто записывают в другой форме. На мой взгляд, следующая запись более понятна

$$Q = \Delta U + A$$
.

Сформулируем первый закон термодинамики по этой записи.

Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы системой над внешними телами (или просто на совершение системой работы).

Первый закон термодинамики является обобщением опытных фактов. Согласно этому закону, энергия не может быть создана или уничтожена. Она передается от одной системы к другой и превращается из одной формы в другую. Важным следствием первого закона термодинамики является утверждение о невозможности создания машины, способной совершать полезную работу без потребления энергии извне и без каких-либо изменений внутри самой машины. Такая гипотетическая машина получила название вечного двигателя (perpetuum mobile) первого рода. Многочисленные попытки создать такую машину неизменно заканчивались провалом. Любая машина может совершать положительную работу Aнад внешними телами только за счет получения некоторого количества теплоты Q от окружающих тел или уменьшения своей внутренней энергии ΔU .

Применим первый закон термодинамики к изопроцессам в газах.

В изохорном процессе ($V = {\rm const}$) газ работы не совершает A = 0 (объем не меняется). Следовательно, $Q = \Delta U = U(T_2) - U(T_1).$

Здесь $U(T_1)$ и $U(T_2)$ – внутренние энергии газа в начальном и конечном состояниях при температурах T_1 и T_2 . Внутренняя энергия идеального газа зависит только от температуры. При изохорном нагревании тепло поглощается газом (Q>0) и его внутренняя энергия увеличивается. При охлаждении тепло отдается внешним телам (Q < 0). Таким образам для одноатомного газа и изохорного процесса получаем $Q = \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \quad \text{или} \quad Q = \Delta U = \frac{3}{2} V \Delta p$

$$Q = \Delta U = \frac{3}{2} V R \Delta T$$
 или $Q = \Delta U = \frac{3}{2} V \Delta p$

В изобарном процессе (p = const) работа, совершаемая газом, выражается соотношением

$$A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$$
 или $A = vR\Lambda T$

 $A=p(V_2-V_1)=p\Delta V\quad \text{или}\quad A=\nu R\Delta T$ Первый закон термодинамики для изобарного процесса будет иметь вид

$$Q = U(T_2) - U(T_1) + p(V_2 - V_1) = \Delta U + p\Delta V.$$

$$Q = U(T_2) - U(T_1) + p(V_2 - V_1) = \Delta U + p\Delta V.$$
 Если газ одноатомный, то можно получить более компактные соотношения
$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R\Delta T + \nu R\Delta T = \frac{5}{2} \nu R\Delta T \quad \text{или} \qquad Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} p\Delta V + p\Delta V = \frac{5}{2} p\Delta V$$

При изобарном расширении Q > 0 — тепло поглощается газом, газ совершает положительную работу и его внутренняя энергия возрастает. При изобарном сжатии Q < 0 – тепло отдается внешним телам. В этом случае A < 0. Температура газа при изобарном сжатии уменьшается $(T_2 < T_1)$ и внутренняя энергия убывает, то есть $\Delta U < 0$.

А теперь одна важная особенность изобарного процесса. Так как работа газа равна $A = vR\Delta T$, то для изобарного процесса будет справедливо следующее соотношение

$$Q = \frac{5}{2} vR\Delta T = \frac{5}{2} A \implies A = \frac{2}{5} Q = 0, 4Q,$$

то есть при изобарном процессе 40% теплоты, переданной газу, идут на работу газа. Остальные 60% идут на увеличение внутренней энергии газа. Другими словами, на изменение внутренней энергии при изобарном процессе идет в 1,5 раза большее количество теплоты чем на работу газа.

В изотермическом процессе температура газа не изменяется. Следовательно, не изменяется и внутренняя энергия газа, то есть $\Delta U = 0$. Первый закон термодинамики для изотермического процесса выражается соотношением Q = A. Количество теплоты Q, полученной газом в процессе изотермического расширения, превращается в работу над внешними телами. При изотермическом сжатии работа внешних сил, произведенная над газом, превращается в тепло, которое передается окружающим телам.

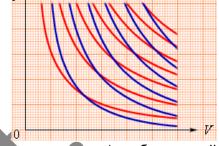
Наряду с изохорным, изобарным и изотермическим процессами в термодинамике часто рассматриваются процессы, протекающие без теплообмена с окружающими телами – адиабатические процессы. Со-

суды с теплонепроницаемыми стенками называются адиабатическими оболочками, а процессы расширения или сжатия газа в таких сосудах называются адиабатическими.

При адиабатическом процессе Q=0. Поэтому первый закон термодинамики принимает вид $A=-\Delta U$, то есть газ совершает работу за счет убыли его внутренней энергии. Вы сами не раз наблюдали такой процесс — расширение газа при открывании газированного напитка. Если напиток достаточно холодный, то при резком открывании из горлышка бутылки пойдет «туман». Почему так происходит? Дело в том, что при открывании бутылки мы даем газу возможность расшириться, то есть совершить работу. При этом никакого источника энергии для совершения работы у газа нет и он расширяется только за счет собственной внутренней энергии. Вследствие этого его температура резко падает и мы видим туман. Возможна ситуация, когда при таком открывании в бутылке резко образуются кусочки льда. Для

наблюдения такого явления необходимо охладить бутылку с газировкой практически до нуля градусов по Цельсию. В youtube есть достаточно много видео с этим красивым явлением. Рекомендую посмотреть.

На плоскости (p, V) процесс адиабатического расширения (или сжатия) газа изображается кривой, которая называется **адиабатой (на графике адиабата более крутая [синяя, в PDF-файле это видно])**. При адиабатическом расширении газ совершает положительную работу (A>0) и поэтому его внутренняя энергия уменьшается $(\Delta U<0)$. Это приводит к понижению температуры газа. Вследствие этого давление газа при



адиабатическом расширении убывает быстрее, чем при изотермическом расширении. Адиабатический процесс также можно отнести к изопроцессам.

А теперь оформим теорию, изложенную выше, в виде таблицы

Процесс	Изменение внутренней	Работа газа А	Полученное газом		
	энергии ΔU		количество теплоты $oldsymbol{\mathcal{Q}}$		
Изохорный V = const	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$ или	A = 0	$Q = \Delta U = \frac{3}{2} v R \Delta T$ или		
	$\Delta U = \frac{3}{2} V \Delta p$	7	$Q = \Delta U = \frac{3}{2}V\Delta p$		
Изобарный	A.I. 3	$A = \nu R \Delta T$	5 BAT		
p = const	$\Delta U = \frac{3}{2} v R \Delta T$ или	или	$Q = \frac{5}{2} v R \Delta T $ или		
	$\Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V$	$A = p\Delta V$	$Q = \frac{5}{2} p\Delta V$		
Изотермический		A=Q (площадь под	Q = A (площадь под		
T = const		графиком pV -	графиком pV -		
		координатах)	координатах)		
Адиабатный	$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$	$A = -\Delta U = -\frac{3}{2} \nu R \Delta T$	Q = 0		

Ответ к этой задаче найдите самостоятельно. Ответ: 4.

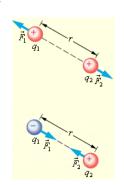
А10. Полезная работа это работа, ради которой создано устройство. Ответ: 3.

А11. А вот тут надо подумать! Во-первых, прочитайте параграф 2.01 в теме «Динамика». Во-вторых, надо вспомнить закон Кулона. Силы взаимодействия неподвижных зарядов прямо пропорциональны произведению модулей зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ни-

ми:
$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$
. Коэффициент равен $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ м/Ф, где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\mathrm{K}\pi^2}{\mathrm{H} \cdot \mathrm{M}^2}$ —

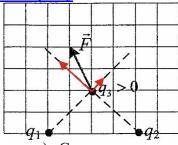
электрическая постоянная.

Такая запись закона Кулона справедлива для материальных точек, шаров, сфер, для которых r измеряется между центрами масс тел. То есть если у нас имеется шар и материальная точка, то r — расстояние между центром шара и материальной точкой. Это не значит, что заряженные тела произвольной формы не будут взаимодействовать. Она будут взаимодействовать, но мы не сможем вычислить силу их взаимодействия при помощи такой записи закона Кулона. Для тел произвольной формы формула будет гораздо сложней.



Силы взаимодействия между зарядами подчиняются третьему закону Ньютона: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. Они являются силами отталкивания при одинаковых знаках зарядов и силами притяжения при разных знаках (см. рисунок на предыдушей странице).

Возвращаемся к нашей задаче. Третий заряд положителен (по условию задачи). Так как результирующая сила направлена от первого и второго зарядов, то эти заряды будут такого же знака, как и третий заряд, то есть положитель-



ны. Раскладываем результирующую силу на две составляющих (красные вектора). Сразу же можно увидеть, что сила взаимодействия второго и третьего зарядов больше, чем сила взаимодействия первого и третьего заряда. Следовательно, второй заряд больше первого. Ответ: 4.

А12. При протекании тока по однородному участку цепи электрическое поле совершает работу. За время Δt по цепи протекает заряд $\Delta q = I \Delta t$. Электрическое поле на выделенном участке совершает работу

$$A = (\varphi_1 - \varphi_2)\Delta q = \Delta \varphi_{12} I \Delta t = UI \Delta t,$$

где $U = \Delta \phi_{12}$ – напряжение на участке цепи. Эту работу называют **работой электрического тока** $A = UI\Delta t$.

Используя закон Ома для участка цепи $I=\frac{U}{R}$, мы можем получить еще несколько формул $A=I\cdot U\Delta t=\frac{U}{R}\cdot U\Delta t=\frac{U^2}{R}\Delta t \qquad \text{или} \qquad A=I\cdot U\cdot \Delta t=I\cdot IR\cdot \Delta t=I^2R\Delta t \ .$ Таким образом, мы получили три формулы для работы тока на участке цепи

$$A = I \cdot U \Delta t = \frac{U}{R} \cdot U \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t$$
 или $A = I \cdot U \cdot \Delta t = I \cdot IR \cdot \Delta t = I^2 R \Delta t$.

$$A = IU\Delta t$$
 $A = \frac{U^2}{R}\Delta t$ $A = I^2R\Delta t$

Работа A электрического тока I, протекающего по неподвижному проводнику с сопротивлением R, преобразуется в тепло Q, выделяющееся на проводнике: $Q = A = I^2 R \Delta t$.

Закон преобразования работы тока в тепло был экспериментально установлен независимо друг от друга Дж. Джоулем и Э. Ленцем и носит название закона Джоуля-Ленца.

Какую формулу выбрать при решении задач? Если в задаче несколько потребителей подключены к одному источнику параллельно или к одну источнику по очереди подключают разные потребители (это может быть один и тот же потребитель с которым что-либо сделали, например, укоротили спираль), то выбираем формулу с напряжением и сопротивлением

$$A = \frac{U^2}{R} \Delta t \ .$$

Формула с напряжением применяется гораздо чаще, чем остальные!!! Если два потребителя соединенные **последовательно**, то обычно используем формулу с силой тока $A = I^2 R \Delta t$.

Сопротивление проводника R определяется по формуле $R = \rho \frac{l}{S}$, где l – длина проводника, S – площадь

его поперечного сечения, ρ – удельное сопротивление материала проводника (НЕ ПУТАТЬ С ПЛОТНОСТЬЮ ВЕЩЕСТВА!!!), которое характеризует способность материала проводника противодействовать прохождению тока. То есть это такая же характеристика вещества, как и многие другие: удельная теплоемкость, плотность, температура плавления и т.д. Единица измерения 1 Ом.м. Так как напряжение на спирали не меняется, то

$$Q_{2} = \frac{U^{2}}{R_{2}} \Delta t = \frac{U^{2}}{\rho \frac{l_{2}}{S}} \Delta t = \frac{U^{2}}{\rho \frac{l_{1}}{2S}} \Delta t = 2 \frac{U^{2}}{\rho \frac{l_{1}}{S}} \Delta t = 2 \frac{U^{2}}{R_{1}} \Delta t = 2 Q_{1}$$

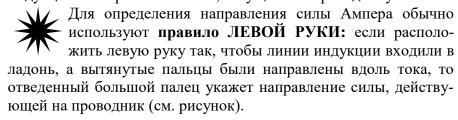
Ответ: 1.

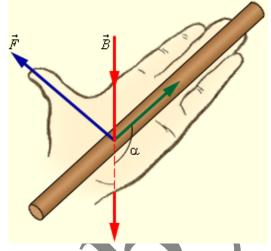
А13. Для описания магнитного поля необходимо ввести силовую характеристику поля, аналогичную вектору **напряженности** \vec{E} электрического поля. Такой характеристикой является вектор \vec{B} магнитной индукции. В системе единиц СИ за единицу магнитной индукции принята 1 тесла (Тл).

Если в магнитное поле с индукций B поместить проводник длиной l с током I, то на него будет действовать сила

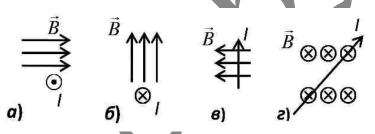
$$F = IBl \sin \alpha$$

где α — угол между вектором индукции магнитного поля и направлением силы тока в проводнике. Это соотношение принято называть **законом Ампера**, а силу, действующую на проводник с током помещенный в магнитное поле, — **силой Ампера**. Сила Ампера направлена перпендикулярно вектору магнитной индукции и направлению тока, текущего по проводнику.





ПРИМЕР. Определить направление силы взаимодействия тока с магнитным полем для каждого из случаев, показанных на рисунке. Такие задачи достаточно часто встречаются на ЦТ. Поэтому очень важно научиться применять правило левой руки. Обращаю ваше внимание на то, что этот пример надо не только



прочитать, но и разобрать при помощи собственной левой руки. Просто чтение вам не поможет. Если будете испытывать трудности – обратитесь ко мне.

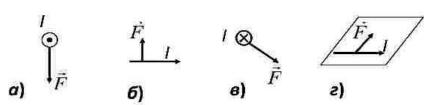
Случай А. Ток направлен к нам (стрела летит к нам). Следовательно, направляем 4 пальца левой руки на себя. Магнитное поле направлено слева—направо. По правилу левой руки магнитное поле должно входить в ладонь. Следовательно, нужно разместить руку так, чтобы ладонь смотрела налево. При таком расположении левой руки отведенный большой пален будет смотреть вверх. Следовательно, сила Ампера направлена вверх.

Случай Б. Ток направлен от нас (стрела летит от нас). Следовательно, направляем 4 пальца левой руки от себя. Магнитное поле направлено вверх. По правилу левой руки магнитное поле должно входить в ладонь. Следовательно, нужно разместить руку так, чтобы ладонь смотрела вниз. При таком расположении левой руки отведенный большой пален будет смотреть направо. Следовательно, сила Ампера направлена направо.

Случай В. Ток направлен вертикально вверх. Следовательно, направляем 4 пальца левой руки вертикально вверх. Магнитное поле направлено справа—налево. По правилу левой руки магнитное поле должно входить в ладонь. Следовательно, нужно разместить руку так, чтобы ладонь смотрела направо. При таком расположении левой руки отведенный большой палец будет смотреть на нас. Следовательно, сила Ампера направлена на нас.

Случай Г. Ток направлен вертикально на северо–восток (вспоминайте географию). Следовательно, направляем 4 пальца левой руки на северо–восток. Магнитное поле направлено от нас. По правилу левой руки магнитное поле должно входить в ладонь. Следовательно, нужно разместить руку так, чтобы ладонь смотрела на нас. При таком расположении левой руки отведенный большой палец будет смотреть на северо—запад. Следовательно, сила Ампера направлена на северо—запад.

ПРИМЕР. Определить направление магнитного поля для каждого из случаев, показанных на рисунке. Проводник помещают перпендикулярно магнитному полю



Задача очень похожа на предыдущую. Только в этой мы будем искать направление индукции магнитного поля. И опять я обращаю ваше внимание на то, что этот пример надо не только прочитать, но и разобрать при помощи собственной левой руки.

Случай А. Ток направлен к нам (стрела летит к нам). Следовательно, направляем 4 пальца левой руки на себя. Сила Ампера направлена вертикально вниз. Значит располагаем руку так, чтобы отведенный

большой палец смотрел вниз. При таком расположении руки ладонь будет смотреть направо. Так как магнитное поле входит в ладонь, то оно будет направлено справа—налево.

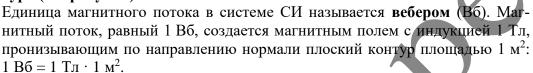
Случай Б. Ток направлен направо. Следовательно, направляем 4 пальца левой руки направо. Сила Ампера направлена вертикально вверх. Значит располагаем руку так, чтобы отведенный большой палец смотрел вверх. При таком расположении руки ладонь будет смотреть на нас. Так как магнитное поле входит в ладонь, то оно будет направлено от нас в сторону плоскости рисунка.

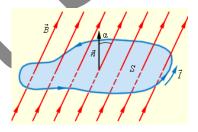
Случай В. Ток направлен от нас (стрела летит от нас). Следовательно, направляем 4 пальца левой руки от нас. Сила Ампера направлена на юго—восток (вспоминайте географию). Значит располагаем руку так, чтобы отведенный большой палец смотрел на юго—восток. При таком расположении руки ладонь будет смотреть на юго—запад. Так как магнитное поле входит в ладонь, то оно будет направлено из юго—запада в северо—восток.

Случай Г. Хитрый рисунок. Ток направлен направо в плоскости прямоугольника. Следовательно, направляем 4 пальца левой руки направо. Сила Ампера направлена вверх от силы тока. Значит располагаем руку так, чтобы отведенный большой палец смотрел вверх. При таком расположении руки ладонь будет смотреть вверх. Так как магнитное поле входит в ладонь, то оно будет направлено сторону плоскости прямоугольника.

Задачу решите самостоятельно. Ответ: 4.

А14. Магнитным потоком Φ через площадь S контура называют величину : $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$, где B — модуль вектора магнитной индукции, α — угол между вектором \vec{B} и нормалью (перпендикуляром) \vec{n} к плоскости контура (см. рисунок).





Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает ЭДС индукции $\epsilon_{\text{инд}}$, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус (на знак минус в большинстве задач мы не будем обра-

щать внимание):
$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$
.

Самоиндукция является важным частным случаем электромагнитной индукции, когда изменяющийся магнитный поток, вызывающий ЭДС индукции, создается током в самом контуре. Если ток в рассматриваемом контуре по каким—то причинам изменяется, то изменяется и магнитное поле этого тока. Следовательно, и собственный магнитный поток, пронизывающий контур, будет меняться. В контуре возникает ЭДС самоиндукции, которая согласно правилу Ленца, препятствует изменению тока в контуре. Это было определение из учебника. Я понимаю, что у вас могут возникнуть сложности с пониманием этого явления. Поэтому я постараюсь объяснить вам суть этого явления простым языком. Мы знаем, что если магнитный поток, который пронизывает контур, изменяется, то в контуре возникнет ЭДС индукции, которая порождает индукционный ток. Так же мы знаем, что любой ток порождает магнитное поле. Индукционный ток не является исключением из этого правила. Следовательно, и индукционный ток порождает магнитное поле. Порожденное индукционным током поле не постоянно. Следовательно, будет меняться магнитный поток, созданный этим полем. Следовательно, возникнет еще одна ЭДС, которую и назвали ЭДС самоиндукции. Эта ЭДС будет мешать ЭДС индукции, порожденной внешним магнитным полем.

Собственный магнитный поток Φ , пронизывающий контур или катушку с током, пропорционален силе тока I:

$$\Phi = LI$$
.

Коэффициент пропорциональности L в этой формуле называется коэффициентом самоиндукции или индуктивностью катушки. Единица индуктивности в СИ называется генри (Γ н). Индуктивность контура или катушки равна 1 Γ н, если при силе постоянного тока 1 A собственный поток равен 1 Вб:

$$1 \Gamma_{H} = 1 B6 / 1 A.$$

Индуктивность катушки зависит только от ее размеров и от материалов, из которых она изготовлена и не зависит от пронизывающего ее магнитного потока и силы тока в ней! Аналогичным образом плотность воды не зависит от объема сосуда, в который ее налили.

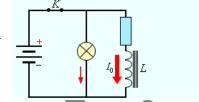
ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке с постоянным значением индуктивности, согласно формуле Фарадея равна

$$\varepsilon_{\scriptscriptstyle S\, \text{инд}} = \varepsilon_{\scriptscriptstyle L} = -rac{\Delta\,\Phi}{\Lambda t} = -Lrac{\Delta I}{\Lambda t}\,.$$

ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна индуктивности катушки и скорости изменения силы тока в ней.

Магнитное поле обладает энергией. Подобно тому, как в заряженном конденсаторе имеется запас электрической энергии, в катушке, по виткам которой протекает ток, имеется запас магнитной энергии. Если включить электрическую лампу параллельно катушке с большой индуктивностью в электрическую цепь постоянного тока (см. рисунок), то при размыкании ключа наблюдается кратковременная вспышка лампы. Именно поэтому рекомендуется сначала уменьшить напряжение в цепи и только потом размыкать цепь. Ток в цепи возникает под действием ЭДС самоиндукции. Источником энергии, выделяющейся при этом в электрической цепи, является магнитное поле катушки.

Из закона сохранения энергии следует, что вся энергия, запасенная в катушке, выделится в виде джоулева тепла. Если обозначить через R полное сопротивление цепи, то за время Δt выделится количество теплоты



$$\Delta Q = I^2 R \Delta t.$$

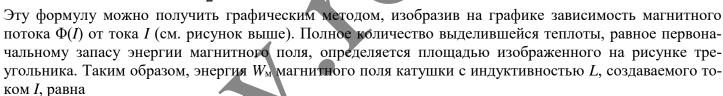
Ток в цепи равен

$$I = \frac{\varepsilon_L}{R} = -\frac{L}{R} \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Выражение для ΔQ можно записать в виде $\Delta Q = -LI\Delta I = -\Phi(I)\Delta I.$

В этом выражении $\Delta I < 0$; ток в цепи постепенно **убывает** от первоначального значения I_0 до нуля. Полное количество теплоты, выделившейся в цепи, можно получить, взяв среднее значение тока. Получим

$$Q = \frac{LI^2}{2}.$$



$$W_M = \frac{\Phi I}{2}$$
 или $W_M = \frac{LI^2}{2}$ или $W_M = \frac{\Phi^2}{2L}$.

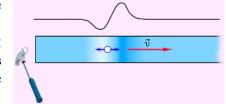
Задачу решите самостоятельно. Ответ: 1.

А15. Если в каком–нибудь месте твердой, жидкой или газообразной среды возбуждены колебания частиц, то вследствие взаимодействия атомов и молекул среды колебания начинают передаваться от одной точки среды к другой с конечной скоростью. Процесс распространения колебаний в среде называется волной.

Механические волны бывают двух видов. Если при распространении волны частицы среды колеблются в направлении, **перпендикулярном** направлению распространения, такая волна называется **попе**-

речной. Примером волны такого рода могут служить волны, бегущие по натянутому резиновому жгуту (см. рисунок) или по струне.

Если частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны (**продольно**), такая волна называется **продольной**. Волны в упругом стержне, возникающие при ударе (см. рисунок) или звуковые волны в газе являются примерами таких волн.



Волны на поверхности жидкости имеют как поперечную, так и продольную компоненты.

Важно понимать, что как в поперечных, так и в продольных волнах не происходит переноса вещества в направлении распространения волны. В процессе распространения волны частицы среды лишь совершают колебания около положений равновесия. При этом волны переносят энергию колебаний от одной точки среды к другой.

Характерной особенностью механических волн является то, что они распространяются в материальных средах (твердых, жидких или газообразных). Существуют волны, которые способны распространяться и в пустоте (например, световые волны). Для механических волн обязательно нужна среда, обладающая способностью запасать кинетическую и потенциальную энергию. Следовательно, среда должна обладать инертными и упругими свойствами. В реальных средах эти свойства распределены по всему объему. Так, например, любой малый элемент твердого тела обладает массой и упругостью. В простейшей одномерной модели твердое тело можно пред-

шей **одномерной модели** твердое тело можно представить как совокупность шариков и пружинок (см. рисунок). m + k + m

В этой модели инертные и упругие свойства разделены. Шарики обладают массой m, а пружинки — жесткостью k. С помощью такой простой модели можно описать распространение продольных и поперечных волн в твердом теле. В продольных волнах шарики испытывают смещения вдоль цепочки, а пружинки растягиваются или сжимаются. Такая деформация называется деформацией растяжения или сжатия. В жидкостях или газах деформация такого рода сопровождается уплотнением или разрежением.

Продольные механические волны могут распространяться в любых средах – твердых, жидких и газообразных.

Если в одномерной модели твердого тела один или несколько шариков сместить в направлении, **пер-пендикулярном** цепочке, то возникнет деформация **сдвига**. Деформированные при таком смещении пружины будут стремиться возвратить смещенные частицы в положение равновесия. При этом на ближайшие несмещенные частицы будут действовать упругие силы, стремящиеся отклонить их от положения равновесия. В результате вдоль цепочки побежит **поперечная** волна.

В жидкостях и газах упругая деформация сдвига не возникает. Если один слой жидкости или газа сместить на некоторое расстояние относительно соседнего слоя, то никаких касательных сил на границе между слоями не появляется. Силы, действующие на границе жидкости и твердого тела, а также силы между соседними слоями жидкости всегда направлены по нормали к границе — это силы давления. То же относится к газообразной среде. Следовательно, поперечные волны не могут распространяться в жидкой или газообразной средах.

Значительный интерес для практики представляют простые **гармонические** или **синусоидальные волны.** Они характеризуются **амплитудой** A колебания частиц, **частотой** ν и **длиной волны** λ . Синусоидальные волны распространяются в однородных средах с некоторой постоянной скоростью ν .

На рисунке (см. следующую страницу) изображены «моментальные фотографии» поперечной волны в два момента времени: t и $t+\Delta t$. За время Δt волна переместилась вдоль оси ОХ на расстояние $l=\upsilon\Delta t$. Волны, распространяющиеся в пространстве, принято называть бегущими (в отличие от **стоячих** волн). Длиной волны λ называют наименьшее расстояние между двумя точками на оси ОХ, колеблющимися в одинаковых фазах (или говорят просто, что точки колеблются синхронно, то есть одинаково). Расстояние, равное длине волны λ , волна проходит за период T. Следовательно, $\lambda = \upsilon T$, где $\upsilon - \varepsilon$ скорость распространения волны. Так как период волны и частота волны величины взаимообратные, то длина вол

ны, выраженная через скорость волны и частоту волны, будет равна $\lambda = \frac{\upsilon}{\nu}$. А дальше все просто

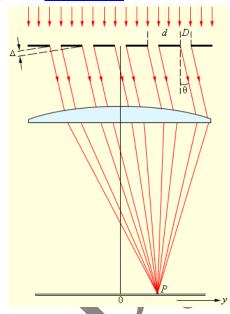
$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\frac{\upsilon}{v_1}}{\frac{\upsilon}{v_2}} = \frac{\upsilon}{v_1} : \frac{\upsilon}{v_2} = \frac{\upsilon}{v_1} \cdot \frac{v_2}{\upsilon} = \frac{v_2}{v_1} = 4$$

Отрет: 5

А16. Дифракцией света называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий (огибание светом препятствий). Как показывает опыт, свет при определенных условиях может заходить в область геометрической тени (то есть быть там, где его быть не должно). Если на пути параллельного светового пучка расположено круглое препятствие (круглый диск, шарик или круглое отверстие в непрозрачном экране), то на экране, расположенном на достаточно большом расстоянии от препятствия, появляется дифракционная картина — система чередующихся светлых и темных колец. Если препятствие имеет линейный характер (щель, нить, край экрана), то на экране возникает система параллельных дифракционных полос.

Задачи на дифракцию будут связаны в основном с дифракционными решетками. Дифракционные решетки представляют собой периодические структуры, выгравированные специальной делительной машиной на поверхности стеклянной или металлической пластинки (см. рисунок). У хороших решеток параллельные друг другу штрихи имеют длину порядка 10 см, а на каждый миллиметр приходится до 2000 штрихов. В качестве дифракционной решетки может быть использован кусочек компакт—диска или даже осколок граммофонной пластинки.

В каждой точке P на экране в фокальной плоскости линзы соберутся лучи, которые до линзы были параллельны между собой и распространялись под определенным углом θ к направлению падающей волны. Колебание в точке P является результатом интерференции вторичных волн, приходящих в эту точку от разных щелей. Для того, чтобы в точке P наблюдался интерференционный максимум, разность хода Δ между вторичными волнами, испущенными соседними щелями, должна быть равна целому числу длин волн: $\Delta = d \sin \theta_{\rm m} = m\lambda$.



Здесь d — период решетки (ширина щели плюс ширина промежутка между щелями см. рисунок, или 1 метр деленный на количество штрихов; иногда эту величину называет еще и постоянной решетки), m — целое число, которое называется **порядком дифракционного максимума** (m = 0, \pm 1, \pm 2, ...). В тех точках экрана, для которых это условие выполнено, располагаются так называемые главные максимумы дифракционной картины.

Если в задаче требуется найти максимально возможный порядок (m) наблюдаемого максимума, то вместо угла θ ставим угол 90° . При этом получившийся порядок максимума (например, m=8,75) округляем в **МЕНЬШУЮ** сторону (до 8).

Если в задаче требуется найти **ПОЛНОЕ КОЛИЧЕСТВО МАКСИМУМОВ**, то сначала находим максимальный порядок (например, он равен 6). Затем вспоминаем, что максимумы будут и с другой стороны. Следовательно, умножаем количество максимумов на 2 (получаем 12). И это НЕПРАВИЛЬНЫЙ ОТВЕТ! Надо к 12 прибавить еще 1, так как будет еще и центральный максимум. Значит, полное число максимумов будет 13. Задачу решите самостоятельно. **Ответ:** 5

А17. Фотоэлектрический эффект (или точнее — внешний фотоэффект) заключается в вырывании электронов из вещества под действием падающего на него света (фотонов). Для того чтобы вырвать электрон из металла фотон должен обладать некоторой минимальной энергией, равной так называемой работе выхода электрона из металла. Эта энергия разная для разных веществ и указывается в соответствующих таблицах. Работа выхода находится по формуле

$$A = hv_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\text{\tiny KD}}}.$$

где c — скорость света, $\lambda_{\rm KP}$ — длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта (то есть максимальная длина волны, при которой происходит вырывание электрона), $\nu_{\rm min}$ — минимальная частота фотона (обратите внимание, что частота минимальна, а длина волны — максимальна), h — постоянная Планка.

У большинства металлов работа выхода A составляет несколько электрон—вольт (1 эВ = $1,6\cdot10^{-19}$ Дж). В квантовой физике часто используется электрон—вольт в качестве энергетической единицы измерения. Многочисленными экспериментаторами были установлены следующие основные закономерности фотоэффекта:

- 1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света v и не зависит от его интенсивности.
- 2. Для каждого вещества существует так называемая **красная граница фотоэффекта**, то есть наименьшая частота v_{\min} , при которой еще возможен внешний фотоэффект.
- 3. Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света (количеству фотонов, падающих на вещество, в единицу времени).
- 4. Фотоэффект практически безинерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света $v > v_{\min}$.

Решение задач на фотоэффект сводится к решению уравнения Эйнштейна для фотоэффекта

$$hv = A + \left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\text{max}}.$$

То есть энергия падающего фотона расходуется на работу выхода электрона из металла и на сообщение вырванному электрону кинетической энергии. Законы фотоэффекта свидетельствуют, что свет при испускании и поглощении ведет себя подобно потоку частиц, получивших название фотонов или световых квантов.

Если установка для фотоэффекта находится во внешнем электрическом поле, то энергия вырванного электрона может быть поглощена полем и электрон может быть остановлен. То есть

$$\left(\frac{m\upsilon^2}{2}\right)_{\max} = eU_3,$$

где U_3 — запирающее напряжение или напряжение, которое полностью остановит вылетевший с поверхности вещества электрон. Таким образом уравнение фотоэффекта можно переписать в следующем виде

$$hv = A + \left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\text{max}} \implies hv = A + eU_3$$

С учетом того, что $A = \frac{hc}{\lambda_{_{\rm KD}}}$ и ч $\nu = \frac{c}{\lambda}$, мы получим окончательную формулу

$$hv = A + eU_3 \implies \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\rm kp}} + eU_3$$

Вычисления сделайте самостоятельно. Ответ: 5.

А18. Почти 90 % из известных 2500 атомных ядер нестабильны. Нестабильное ядро самопроизвольно превращается в другие ядра с испусканием частиц. Это свойство ядер называется **радиоактивностью**. Явление радиоактивности было открыто в 1896 году французским физиком А. Беккерелем, который обнаружил, что соли урана испускают неизвестное излучение, способное проникать через непрозрачные для света преграды и вызывать почернение фотоэмульсии.

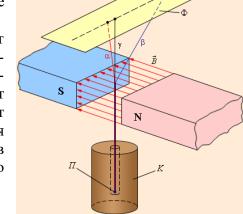
В последующие годы исследованием природы радиоактивных излучений занимались многие физики, в том числе Э. Резерфорд и его ученики. Было выяснено, что радиоактивные ядра могут испускать частицы трех видов: положительно заряженные, отрицательно заряженные и нейтральные. Эти три вида излучений были названы α–, β– и γ–излучениями. На рисунке изображена схема эксперимента, позволяющая обнаружить сложный состав радиоактивного излучения. В магнитном поле α– и β–лучи испыты-

вают отклонения в противоположные стороны, причем β –лучи отклоняются значительно больше. γ –лучи в магнитном поле вообще не отклоняются.

Эти три вида радиоактивных излучений сильно отличаются друг от друга по способности ионизировать атомы вещества и, следовательно, по проникающей способности. Наименьшей проникающей способностью обладает

 α –излучение. В воздухе при нормальных условиях α –лучи проходят путь в несколько сантиметров. β –лучи гораздо меньше поглощаются веществом. Они способны пройти через слой алюминия толщиной в несколько миллиметров. Наибольшей проникающей способностью обладают

γ-лучи, способные проходить через слой свинца толщиной 5–10 см. Во втором десятилетии XX века после открытия Э. Резерфордом



ядерного строения атомов было твердо установлено, что радиоактивность — это **свойство атомных ядер**. Исследования показали, что α –лучи представляют поток α –частиц — ядер гелия 4_2 Не, β –лучи — это поток электронов, γ –лучи представляют собой коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны $\lambda < 10^{-10}$ м и вследствие этого — ярко выраженными корпускулярными свойствами, то есть является потоком частиц — γ –квантов.

АЛЬФА–РАСПАД. Альфа—распадом называется самопроизвольное превращение атомного ядра с числом протонов Z и нейтронов X в другое (дочернее) ядро, содержащее число протонов X и нейтронов

N-2, нуклонов— A-4. При этом испускается α —частица — ядро атома гелия 4_2 Не. Примером такого процесса может служить α —распад радия

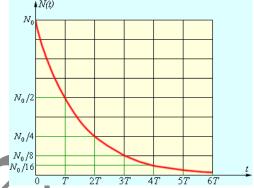
$$^{226}_{88}$$
Ra $\rightarrow ^{222}_{86}$ Rn + $^{4}_{2}$ He

БЕТА–РАСПАД. При бета–распаде из ядра вылетает электрон $\binom{0}{-1}e$). Например

$$^{238}_{92}$$
U \rightarrow^{234}_{92} U $+^{4}_{2}$ He $+2\cdot^{0}_{-1}e$.

ГАММА–РАСПАД. В отличие от α – и β –радиоактивности γ –радиоактивность ядер не связана с изменением внутренней структуры ядра и не сопровождается изменением зарядового или массового чисел. Как при α –, так и при β –распаде дочернее ядро может оказаться в некотором возбужденном состоянии и иметь избыток энергии. Переход ядра из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием одного или нескольких γ –квантов, энергия которых может достигать нескольких МэВ.

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА. В любом образце радиоактивного вещества содержится огромное число радиоактивных атомов. Так как радиоактивный распад имеет случайный характер и не зависит от внешних условий, то закон убывания количества N(t) **НЕРАСПАВШИХСЯ** к данному моменту времени t ядер может служить важной статистической характеристикой процесса радиоактивного распада. Закон радиоактивного распада имеет вид:



 $N=N_0 2^{-\frac{t}{T}}$, где N- число **НЕРАСПАВШИХСЯ** ядер через промежуток времени t, N_0- начальное число ядер. Величина T называется $N_0/16$ периодом полураспада.

Через время равное периоду полураспада распадается половина исходного количества радиоактивного вещества. Например, было 50 грамм радиоактивного вещества. Через период полураспада останется 25 грамм. Еще через период полураспада останется 12,5 грамм и так далее. То есть происходит постоянное деление пополам оставшегося количества нераспавшегося вещества.

Рисунок графически иллюстрирует закон радиоактивного распада.

Период полураспада — основная величина, характеризующая скорость радиоактивного распада. Чем меньше период полураспада, тем интенсивнее протекает распад. Так, для урана $T \approx 4,5$ млрд лет, а для радия $T \approx 1600$ лет. Поэтому активность радия значительно выше, чем урана. Существуют радиоактивные элементы с периодом полураспада в доли секунды. Задачу решите самостоятельно. **Ответ:** 1.

B1. И опять я предлагаю вам скачать у меня с сайта <u>www.repet.by</u> раздел «Кинематика» и внимательно изучить параграф 1.11. Там есть вся необходимая теория. Так как тело побывало на одной и той же высоте дважды с интервалом времени 4 секунды, то от максимальной высоты подъема до этой высоты те-

ло двигалось 2 секунды и за это время прошло путь, равный $S = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2} = \frac{gt^2}{2} = 20$ (м). Следовательно,

максимальная высота подъема будет равна 45 метров. Скорость, с которой подбросили тело, будет равна скорости, которую приобретет тело в результате свободного падения с этой же высоты. Значит скорость, которую сообщили телу, будет равна $\upsilon = \sqrt{2gH_{\rm max}} = 30$ (м/с). **Ответ:** 30.

В2. В задаче описаны так называемые гонки по вертикали. Запишем 2-ой закон Ньютона. В проекции на горизонтальную ось x, направленную от тела к центру окружности, второй закон Ньютона будет иметь следующий вид

$$N = ma_{\text{центр}} \implies N = m \frac{v_{\text{min}}^2}{R}$$

Теперь запишем второй закон Ньютона, в проекции на вертикальную ось

$$F_{\rm Tp} - mg = 0$$
.

При «благополучной» езде сила трения покоя, приложенная к катящимся по поверхности колесам, уравновешивает силу тяжести. Так как $F_{mp} = \mu N$, то

$$F_{mp} = \mu N \implies mg = \mu m \frac{\upsilon_{\min}^2}{R} \implies g = \mu \frac{\upsilon_{\min}^2}{R} \implies R = \mu \frac{\upsilon_{\min}^2}{g} = 7.8 \text{ (M)} = 78 \text{ (Дм)}.$$
 Ответ: 78.

В3. Энергетические характеристики движения вводятся на основе понятия **механической работы** или **работы силы.** Работой, совершаемой постоянной силой F, называется **скалярная** физическая величина,

равная произведению модулей силы и перемещения, умноженному на косинус угла α между векторами силы F и перемещения S: $A = FS \cos \alpha$

Работа является **скалярной** величиной. Она может быть как положительна ($0^{\circ} \le \alpha < 90^{\circ}$), так и отрицательна ($90^{\circ} < \alpha \le 180^{\circ}$). При $\alpha = 90^{\circ}$ работа, совершаемая силой, равна нулю. В системе СИ работа измеряется в **джоулях** (**Дж**). Джоуль равен работе, совершаемой силой в 1 H на перемещении 1 м в направлении действия силы.

Одну и ту же работу (например, поднять груз на некоторую высоту) можно совершить за разные промежутки времени. Поэтому вводится величина, характеризующая скорость выполнения работы.

Работа силы, совершаемая в единицу времени, называется **мощностью**. Мощность P (иногда обозначают буквой N) — физическая величина, равная отношению работы A к промежутку времени t, в течение

которого совершена эта работа: $P = \frac{A}{t}$. То есть работу можно выражать и через мощность: A = Pt

(если конечно известна мощность и время совершения работы). Единица мощности называется ватт (Вт) или 1 Джоуль в 1 секунду. С учетом того, что $A = FS\cos\alpha$, мощность равна

$$P = \frac{A}{t} = \frac{FS \cos \alpha}{t}.$$

Если движение равномерное, то $P = \frac{FS\cos\alpha}{t} = F\frac{S}{t}\cos\alpha = F\upsilon\cos\alpha \implies P = F\upsilon\cos\alpha$.

Коэффициент полезного действия (КПД) – характеристика эффективности системы (устройства, машины) в отношении преобразования или передачи энергии. Он определяется отношением полезно использованной энергии к суммарному количеству энергии, полученному системой.

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затрач}}} \cdot 100\,\% \ \text{ или } \eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{затрач}}} \cdot 100\,\% \ .$$

Как видно из формул КПД можно рассчитывать как через работу, так и через мощность. Какая работа (мощность) полезная, а какая затраченная определяется из условия конкретной задачи путем логического рассуждения. К примеру, если подъемный кран совершает работу по подъему груза на некоторую высоту, то полезной будет работа по поднятию груза (так как именно ради нее создан кран), а затраченной — работа, совершенная электродвигателем крана. В общем случае КПД показывает, как эффективно механизм преобразует один вид энергии в другой.

Мощность, развиваемая электровозом, будет равна затраченной мощности. Полезная мощность будет равна произведению силы тяги электровоза на его скорость. Окончательно получим

$$\eta = \frac{P_{\text{non}}}{P_{\text{затрач}}} \cdot 100\% = \frac{F\upsilon}{P} \cdot 100\%$$

При вычислениях не забываем перевести скорость в метры в секунду!!! Ответ: 80.

В4. На первый взгляд может показаться, что задача решается всего в одно действие. Просто умножим силу трения не пройденный телом путь и все. Однако это будет неверное решение. Дело в том, что при движении тела растягивается пружина. А чтобы пружина растянулась нам надо совершить работу. Таким образом, совершенная работа будет равна

$$A = A_{mpenus} + A_{npyxuunu} = F_{mp}l + \frac{kx^2}{2},$$

где x – удлинение пружины при равномерном движении груза. Так как тело двигается равномерно, то сумма сил, приложенных к телу, будет равна нулю. Это значит, что сила упругости будет равна силе трения. Используя это найдем удлинение пружины

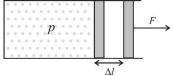
$$F_{mp} = F_{ynp} \implies kx = \mu mg \implies x = \frac{\mu mg}{k}$$

Окончательно получим

$$A = F_{mp}l + \frac{kx^2}{2} = \mu mg + \frac{k(\mu mg/k)^2}{2} = \mu mg + \frac{(\mu mg)^2}{2k}$$

Ответ: 4.

В5. Пусть газ находится в сосуде, закрытом подвижным поршнем. Давление газа будет равно внешнему давлению р, так как поршень подвижен. Это давление будет постоянно. Пусть газ расширяется. Например, его нагрели. По определению (вспоминаем параpграф 4.01), работа силы равна $A = F \cdot \Delta l$, где F = pS — сила давления газа на



$$A = F \cdot \Delta l = pS \cdot \Delta l = p\Delta V$$
 или $A = p\Delta V$.

поршень, Δl – расстояние, пройденное поршнем при расширении. Получаем

По этой формуле можно считать работу газа, если давление постоянно. Любой газ совершает работу только при изменении объема. При этом важно понимать, что при расширении газ будет совершать положительную работу, а при сжатии – отрицательную. Очевидно, что при изохорном процессе работа газа будет равна нулю (объем газа остается постоянным). Используя уравнение Менделеева –

Клайперона $pV = \frac{m}{M}RT$ можно получить еще одну формулу для работы газа

$$A = p\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T$$
или $A = \nu R\Delta T$.

С изменением температуры все ясно, найти его не проблема. А вот количество вещества мы не знаем. Найти количество вещества нам поможет уравнение состояния идеального газа. Запишем его для начального состояния газа

$$pV_1 = \nu RT_1 \implies \nu R = \frac{pV_1}{T_1}$$

Обращаю ваше внимание, что я выразил не просто количество вещества v, а vR, так как в формуле для работы как раз присутствует произведение этиъ величин. Давление р, под которым находится газ, постоянно и равно сумме давлений, оказываемых атмосферой и поршнем. Окончательно получим

$$A = vR\Delta T = \frac{pV_1}{T_1}\Delta T = \frac{\left(p_0 + \frac{mg}{S}\right)V_1}{T_1}(T_2 - T_1)$$

Ответ: 18.

В6. Если в результате теплообмена телу передается некоторое количество теплоты Q, то внутренняя энергия тела и его температура увеличиваются. Количество теплоты Q, необходимое для нагревания вещества массой m=1 кг на $\Delta T=1$ °C называют удельной теплоемкостью вещества $c: c=\frac{\mathcal{Q}}{m\Delta T}$. Еди-

ница измерения удельной теплоемкости вещества $[c] = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ °C}}$. Физический смысл

УДЕЛЬНОЙ теплоемкости вещества: она показывает какое количество теплоты надо сообщить телу массой 1 кг, чтобы увеличить его температуру на один градус Цельсия. Например, теплоемкость воды равна 4200 Дж/кг. Следовательно, для того чтобы нагреть 1 кг воды на 1 градус Цельсия надо затратить 4200 Дж энергии. Чем больше теплоемкость тела, тем медленней оно нагревается, и, естественно, тем медленней тело охлаждается. Из этого следует, что количество теплоты (энергии) необходимое для изменения температуры некоторого тела массой m от температуры T_1 до температуры T_2 можно рассчитать по формуле $Q = cm(T_2 - T_1) = cm\Delta T$. Важно понимать, что если мы нагрели некоторое тело от температуры T_1 до температуры T_2 и передали при этом телу некоторое количество теплоты Q, то при остывании этого тела от температуры T_2 до температуры T_1 это тело отдаст окружающей среде это же количество теплоты Q. Если $T_2 > T_1$ (тело нагревается), то Q > 0 (тело получает тепло). Если $T_2 < T_1$ (тело охлаждается), то Q < 0 (тело отдает тепло).

При решении этой задачи важно понимать, что количество теплоты, отданной жидкостью будет равно количеству теплоты, полученной шариком

$$Q_{
m omdahhoe} = Q_{
m nonyчehhoe} \ \Rightarrow \ c_{
m жидк} m_{
m жидк} \Delta T_{
m seudk} = c_{
m uap} m_{
m uap} \Delta T_{
m uup}$$

Учитывая данные с графика и то, что по условию задачи $m_{uap} = 2m_{\kappa u \partial \kappa}$ получает

$$c_{_{\mathcal{K}\mathcal{U}\partial\mathcal{K}}}m_{_{\mathcal{K}\mathcal{U}\partial\mathcal{K}}}\Delta T_{_{\mathcal{K}\mathcal{U}\partial\mathcal{K}}}=c_{_{uap}}m_{_{uap}}\Delta T_{_{uap}}\quad \Rightarrow\quad =c_{_{uap}}=\frac{c_{_{_{\mathcal{K}\mathcal{U}\partial\mathcal{K}}}}m_{_{_{\mathcal{K}\mathcal{U}\partial\mathcal{K}}}}\Delta T_{_{_{\mathcal{K}\mathcal{U}\partial\mathcal{K}}}}}{m_{_{uap}}\Delta T_{_{uap}}}=\frac{1640\cdot m_{_{_{\mathcal{K}\mathcal{U}\partial\mathcal{K}}}}\left(70-50\right)}{2m_{_{_{\mathcal{K}\mathcal{U}\partial\mathcal{K}}}}\left(50-10\right)}=410\left(\frac{\mathcal{I}_{\mathcal{K}}}{\kappa\Gamma\times K}\right)$$

Ответ: 410.

В7. Не лишним будет повторить теорию к задаче А9. Обычно при решении задач такого типа процесс перерисовывают в pV-координатах. Мы тоже это сделаем и рассмотрим каждый из процессов отдельно.

Процесс 1-2. Объем газа постоянен, давление растет. Газ получает теплоту.

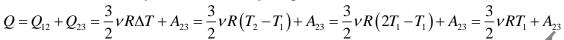
Процесс 2-3. Изотермическое расширение. Газ получает теплоту.

Процесс 3-1. Изобарное сжатие. Газ отдает теплоту.

Полезная работа, совершенная газом, будет равна разности между работой по расширению на участке 2-3 и работой по сжатию на участке 3-1

$$A_{11} = A_{23} - A_{31} = A_{23} - \nu R \Delta T = A_{23} - \nu R \left(T_3 - T_1 \right) = A_{23} - \nu R \left(2T_1 - T_1 \right) = A_{23} - \nu R T_1$$

Общее количество теплоты, полученное газом, будет равно



КПД цикла равен отношению полезной работы к количеству теплоты, полученному газом

$$\eta = \frac{A_{none3H}}{Q} = \frac{A_{23} - vRT_1}{\frac{3}{2}vRT_1 + A_{23}}$$

Осталось из этой формулы выразить A_{23} . В принципе можно и не выражать, а сразу же подставлять данные из условия задачи. В любом случае сделайте это самостоятельно. **Ответ:** 10.

В8. Рисунок к этой задаче обязателен!!! Без него вы не сможете решить задачу.

Пусть в начальный момент времени (верхний рисунок) расстояние между мальчиком и фонарем равно L. Треугольники ABC и EFC подобны. Следовательно,

$$\frac{h}{H} = \frac{s_1}{L + s_1} \implies L = \frac{s_1}{h}H - s_1$$

За 2 секунды мальчик пройдет расстояние vt и расстояние между ним и фонарем станет равно L-vt, а дли на тени уменьшится до s_2 . Показываем это все на следующем рисунке. Треугольники ABC_1 и $E_1F_1C_1$ так же подобны. Следовательно,

$$\frac{h}{H} = \frac{s_2}{L - vt + s_2} \implies L = \frac{s_2}{h}H + vt - s_2$$

А теперь приравняем полученные выражения, подставим числа и найдем высоту H, на которой находится фонарь. И не забывайте перевести скорость мальчика в метры в секунду, а полученную высоту фонаря в дециметры.

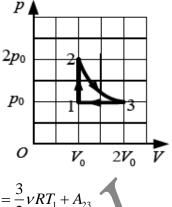
ную высоту фонаря в дециметры.
$$\frac{s_1}{h}H - s_1 = \frac{s_2}{h}H + \upsilon t - s_2 \implies \frac{2}{1,6}H - 2 = \frac{1,5}{1,6}H + 1 \cdot 2 - 1,5 \implies \frac{0,5}{1,6}H = 2,5 \implies H = 8 \text{ (м)} = 80 \text{ (дм)}$$

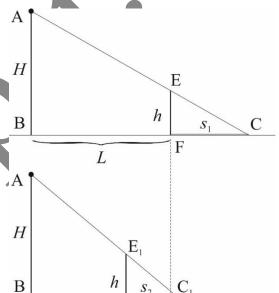
Ответ: 80.

В9. К этой задаче будет много теории.

По современным представлениям, электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно. Каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве электрическое поле. Это поле оказывает силовое действие на другие заряженные тела. Главное свойство электрического поля — действие на электрические заряды с некоторой силой. Таким образом, взаимодействие заряженных тел осуществляется не непосредственным их воздействием друг на друга, а через электрические поля, окружающие заряженные тела. Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью так называемого пробного заряда — небольшого по величине точечного заряда, который не вносит заметного искажения в исследуемое поле. Для количественной характеристики электрического поля вводится силовая характеристика поля — напряженность электрического поля.

Как можно определить напряженность поля и что это такое? Электрическое поле создается только зарядами, следовательно, действует только на заряды. Поэтому для исследования поля в некоторую его точку необходимо помещать пробные заряды и исследовать действие поля на них. Оказывается, что при помещении в одну и ту же точку поля разных зарядов сила, действующая на них со стороны поля, уве-





F

L-vt

личивается пропорционально величине заряда. То есть отношение силы, действующей на заряд, к заряду, помещенному в эту точку, остается неизменным для одной и той же точки поля. Логично предположить, что это отношение представляет собой некую характеристику поля в данной точке.

Напряженностью электрического поля называют физическую величину E, равную отношению силы F, с которой поле действует на положительный пробный заряд q_0 , помещенный в данную

точку пространства, к величине этого заряда: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$. Напряженность электрического поля – век-

торная физическая величина. Направление вектора \vec{E} совпадает в каждой точке пространства с направлением силы, действующей на **положительный** пробный заряд. Электрическое поле неподвижных и не меняющихся со временем зарядов называется **электростатическим**. Единица измерения напряженности 1 Н/Кл (смотрим внимательно на формулу выше) или 1 В/м (1 Вольт/метр; откуда взялась эта единица напряженности вы узнаете в параграфе 8.05).

В соответствии с законом Кулона, напряженность электростатического поля, создаваемого точечным зарядом Q на расстоянии r от него, равна по модулю:

$$E=rac{F_{
m Kyzioha}}{q_0}=rac{krac{Qq_0}{r^2}}{q_0}=krac{Q}{r^2}\,,$$
 то есть $E=krac{Q}{r^2}$ или $E=rac{1}{4\piarepsilon_0}rac{Q}{r^2}\,.$

Точно такая же формула определяет напряженность поля равномерно заряженных шаров и сфер снаружи от них (внутри напряженность поля равна нулю). При этом расстояние r измеряется от центра шара или сферы. Заряд, создающий поле, обозначен Q, а пробный заряд — q_0 (чтобы не спутать их). Такое поле точечного заряда называется кулоновским и поэтому часто в задачах силу, действующую на заряд со стороны поля, мы будем обозначать как F_k .

В кулоновском поле направление вектора \vec{E} зависит от знака заряда Q.

в кулоновском поле направление вектора E зависит от знака заряда Q .	
Если $Q>0$ (заряд положителен), то вектор \vec{E} направлен от заряда	
$Q < 0$ (заряд отрицателен), то вектор $ec{E}$ направлен κ заряду	

Напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке каждым зарядом в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

Это свойство электрического поля означает, что поле подчиняется <u>принципу суперпозиции</u>. Тут уместно будет в очередной раз (как и в параграфе 8.02) провести аналогию с разделом «Динамика» и задачами на нахождение результирующей силы.

Как находить направление и значение напряженности результирующего поля? Следующий пример продемонстрирует как это сделать.

Пусть у нас имеется два заряда $q_1 = -11$ Кл и $q_1 = 5$ Кл находящихся на расстоянии 5 см друг от друга. Необходимо найти напряженность поля в точке, удаленной на 3 см от первого заряда и на 4 см от второго.

На рисунке изображаем заряды.	q_1
Находим геометрическим построением точку, в которой необходимо найти напряженность поля. Очевидно, что так как стороны треугольника равны 3, 4 и 5 см, то треугольник будет прямоугольным (вспоминаем теорему Пифагора).	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
Ставим карандаш в найденную точку. Смотрим на знак первого заряда. Так как знак заряда отрицательный, то поле этого заряда в этой точке будет направлено в сторону заряда. НЕ ОТРЫВАЯ РУКИ рисуем из этой точки вектор напряженности E_1 . По формуле $E_1 = k \frac{q_1}{r_1^2}$	q_1 q_2 $+$ \vec{E}_1
находим напряженность поля первого заряда. Повторно ставим карандаш в найденную точку. Смотрим на знак второго заряда. Так как знак за-	q_1 q_2
ряда положительный, то поле этого заряда в этой точке будет направлено от заряда. НЕ ОТРЫ-ВАЯ РУКИ рисуем из этой точки вектор напряженности E_2 . По формуле	\vec{E}_1
$E_2 = k rac{q_2}{r_2^2}$ находим напряженность поля первого заряда.	\overrightarrow{E}_{2}
Результирующая напряженность поля находится по теореме Пифагора (так как у нас прямоугольный треугольник) $E = \sqrt{E_{\scriptscriptstyle 1}^2 + E_{\scriptscriptstyle 2}^2}.$	q_1 q_2 $+$ \overrightarrow{F}
Если получившийся треугольник не будет прямо- угольным, то для нахождения результирующего поля нам надо будет использовать теорему коси- нусов. Как это сделать было подробно описано в теме 8.02.	\vec{E}

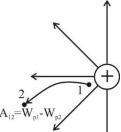
ЗАМЕЧАНИЕ. Возможны различные варианты взаимной направленности двух полей: в одном направлении (при этом могут смотреть как в одну, так и в разные стороны), под прямым углом друг к другу (как в нашем примере), под произвольным углом друг к другу (самый сложный случай). Так как напряженность поля величина векторная, результирующая напряжённость будет находиться так же как результирующая сила.

Свойство потенциальности (независимости работы от формы траектории) электростатического поля позволяет ввести понятие **потенциальной энергии** заряда в электрическом поле. Для этого в пространстве выбирается некоторая точка (0), и потенциальная энергия заряда q, помещенного в эту точку, принимается равной нулю (см. рисунок).

Потенциальная энергия заряда q, помещенного в любую точку (1) пространства, относительно фиксированной точки (0) равна работе A_{10} , которую совершит электростатическое поле при перемещении заряда q из точки (1) в точку (0): $W_{p1} = A_{10}$.

Обратите внимание, что в электростатике э**нергию принято обозначать буквой** W, так как буквой E обозначают напряженность поля.

Так же, как и в механике (вспоминайте про выбор нулевого уровня при отсчете потенциальной энергии тела), потенциальная энергия зависит от выбора опорной точки (0). Такая неоднозначность в определении потенциальной энергии не приводит к каким—либо недоразумениям, так как физический смысл имеет не сама потенциальная энергия, а разность ее значений в двух точках пространства.



Работа, совершаемая электрическим полем при перемещении точечного заряда $A_{12} = W$ q из точки (1) в точку (2) (см. рисунок), равна разности значений потенциальной энергии в этих точках и не зависит от пути перемещения заряда и от выбора точки (0).

Потенциальная энергия заряда q, помещенного в электрическое поле, пропорциональна величине этого заряда. Физическую величину, равную отношению потенциальной энергии электрического заряда в электростатическом поле к величине этого заряда, называют **потенциалом** ϕ электрического поля: $\phi = W_n/q$.

Таким образом, наряду с силовой характеристикой электростатического поля (напряженность поля E) появляется энергетическая характеристика электростатического поля — потенциал поля ϕ .

Работа A_{12} по перемещению электрического заряда q из начальной точки (1) в конечную точку (2) равна произведению заряда на **разность потенциалов** ($\varphi_1 - \varphi_2$) начальной и конечной точек (это единственная формула, где разность будет именно между начальным и конечным значением физической величины):

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} = q \varphi_1 - q \varphi_2 = q (\varphi_1 - \varphi_2).$$

В Международной системе единиц (СИ) единицей потенциала является Вольт (В): 1 B = 1 Дж / 1 Кл. Во многих задачах электростатики при вычислении потенциалов за опорную точку (0) удобно принять бесконечно удаленную точку. В этом случае понятие потенциала может быть определено следующим образом: Потенциал поля в данной точке пространства равен работе, которую совершают электрические силы при удалении единичного положительного заряда из данной точки в бесконечность: $\varphi_{\infty} = A_{\infty}/q$.

Потенциал ϕ поля точечного заряда Q на расстоянии r от него относительно бесконечно удаленной точки вычисляется следующим образом: $\varphi = k \frac{Q}{r}$ или $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r}$.

Эта же формула выражает потенциал поля **однородно заряженного шара** (или сферы) при $r \ge R$, где R — радиус шара. Внутри сферы потенциал будет равен потенциалу на поверхности. Если же в задаче просят найти потенциал на поверхности шара, то считайте его по формуле: $\varphi = k \frac{Q}{R}$.

Из принципа суперпозиции напряженностей полей, создаваемых электрическими зарядами, следует **принцип суперпозиции для потенциалов** (при этом знак потенциала поля зависит от знака заряда, создавшего поле): $\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + ...$ То есть когда у нас стоит задача найти потенциал поля созданного системой зарядов в некоторой точке пространства, то мы находим потенциал поля каждого заряда (с учетом его знака естественно) и просто складываем эти потенциалы. **Никаких векторов и никаких модулей!!!**

Возвращаемся к задаче. Так как по условию задачи потенциал в некоторой точке равен 0, то для этой точки должно выполнятся условие: $\varphi_1 + \varphi_2 = 0 \implies k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_2}{r_2} = 0$. При этом $r_1 + r_2 = 0,44$ (м). Выразим

 r_2 и найдем r_1

$$k\frac{q_1}{r_1} + k\frac{q_2}{0,44 - r_1} = 0 \implies \frac{1 \cdot 10^{-9}}{r_1} + \frac{-10 \cdot 10^{-9}}{0,44 - r_1} = 0 \implies \frac{1}{r_1} = \frac{10}{0,44 - r_1} \implies 0,44 - r_1 = 10r_1 \implies r_1 = 0,04 \text{ (M)}$$

Так как первый заряд **положителен**, то в найденной точке напряженность поля первого заряда будет направлена **от него**, то есть от первого заряда к второму заряду (см. рисунок). Так как второй заряд **отрицателен**, то в найденной точке



напряженность поля второго заряда будет направлена **к нему**, то есть опять от первого заряда к второму заряду. Результирующая напряженность будет равна

$$E = E_1 + E_2 = \frac{kq_1}{r_1^2} + \frac{k|q_2|}{r_2^2} = 6$$
 (kB/m). **Ответ:** 60.

В10. Когда конденсатор является единственным элементом цепи, подключенным к источнику постоянного тока, то напряжение на конденсаторе будет равно ЭДС источника (тока в цепи не будет, так как ток не может идти через конденсатор) и заряд на конденсаторе будет равен

$$q_1 = CU_1 = C\varepsilon$$

После того, как параллельно конденсатору к источнику тока подключили резистор, в цепи возникнет ток, силу которого мы можем найти по закону Ома для полной цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$$

При этом напряжение на источнике тока станет равно

$$U_2 = IR = \frac{\varepsilon R}{R + r}$$

Это напряжение будет и на конденсаторе. Поэтому заряд конденсатора станет равен

$$q_2 = CU_2 = C\frac{\varepsilon R}{R + r}$$

По условию задачи заряд на конденсаторе уменьшился в 1,2 раза. Следовательно

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{C\varepsilon}{C\frac{\varepsilon R}{R+r}} \implies 1, 2 = \frac{1}{\frac{R}{R+r}} = \frac{R+r}{R} \implies 1, 2R = R+r \implies r = 0, 2R = 4 \text{ (OM)}$$

Ответ: 4.

В11. Повторите теорию к задаче А14. Из закона Фарадея следует, что

$$arepsilon_{\text{инд}} = -rac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -rac{BS\cos lpha_2 - BS\cos lpha_1}{\Delta t} = -rac{BS\left(\cos lpha_2 - \cos lpha_1
ight)}{\Delta t}$$
 Так как рамку повернули на 180° , то $lpha_1 = 0^\circ$, $lpha_2 = 180^\circ$. Следовательно,

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{BS\left(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1\right)}{\Delta t} = -\frac{BS\left(-1 - 1\right)}{\Delta t} = \frac{2BS}{\Delta t}.$$

$$I = \frac{\varepsilon_{\text{инд}}}{R} = \frac{2BS}{R\Delta t} = \frac{2Ba^2}{R\Delta t}.$$

По закону Ома

$$I = \frac{\varepsilon_{\text{инд}}}{R} = \frac{2BS}{R\Delta t} = \frac{2Ba^2}{R\Delta t}.$$

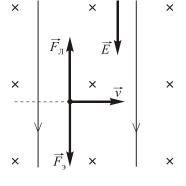
Ответ: 40.

В12. Очень простая задача. Если перед тем, как попасть в магнитное поле, заряженная частица разгоняется электрическим полем. Следовательно, скорость, которую приобретет частица, можно найти по теореме о кинетической энергии, которая гласит, что работа электростатического поля будет равна разности между конечной и начальной кинетической энергии частицы

$$\frac{m\upsilon^2}{2} - \frac{m\upsilon_0^2}{2} = qU \quad \Rightarrow \quad \frac{m\upsilon^2}{2} = qU \quad \Rightarrow \quad \upsilon = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

где U – ускоряющее напряжение (разность потенциалов), υ и υ_0 – скорости частицы до и после прохождения ускоряющего напряжения.

Как двигается частица после прохождения ускоряющей разности потенциалов? Равномерно! Следовательно, сила Лоренца, действующая со стороны магнитного поля, будет равна силе, действующей со стороны электрического поля



$$F_{\pi} = F_{\pi} \implies q \upsilon B = q E \implies B = \frac{E}{\upsilon} = \frac{E}{\sqrt{\frac{2qU}{m}}} = 10 \text{ (мТл)}$$

На всякий случай сделаем пояснительный рисунок, где покажем направление полей и сил (магнитное поле направлено от нас).

Ответ: 10.