Дополнительные задания

1. Добавьте в воду немного мыла. Опустите в мыльный раствор капилляр известного диаметра D. Измерьте несколько раз высоту h_1 подъема жидкости по капилляру, рассчитайте среднее значение $\langle h_1 \rangle$ и по формуле $\sigma_1 = \frac{\rho g D \langle h_1 \rangle}{4}$ найдите поверхностное натяжение мыльного раствора. Его плотность ρ примите равной плотности воды. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 3.

2. Добавьте в воду немного сахара. Опустите в нее капилляр известного диаметра D. Измерьте несколько раз высоту h_2 подъема жидкости в капилляре, рассчитайте среднее значение $\langle h_2 \rangle$ и по формуле $\sigma_2 = \frac{\rho g D \langle h_2 \rangle}{4}$ найдите поверхностное натяжение раствора сахара в воде. Его плотность ρ примите равной плотности воды. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Измерено			Вычислено	
	D, м	h_1, м	h_2, м	σ_1, $\frac{Н}{м}$	σ_2, $\frac{Н}{м}$
1					
2					
3					
Среднее значение					

3. Сравните поверхностные натяжения чистой воды σ, мыльного раствора σ_1 и водного раствора сахара σ_2. Сделайте выводы.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Действие каких сил является причиной подъема жидкости в капилляре?
2. Объясните физический смысл поверхностного натяжения жидкости.
3. Как изменяется высота подъема жидкости при уменьшении радиуса капилляра?
4. Какие природные явления обусловлены капиллярными эффектами?
5. Куда будет перемещаться вода в горизонтальном капилляре при его нагревании с одной стороны?
6. Если в две одинаковые химические пипетки набирают до одного и того же уровня воду: в одну — холодную, в другую — горячую, то из какой пипетки упадет больше капель до их полного опорожнения?

Занятие 9

Свойства насыщенного и ненасыщенного пара

ПОВТОРЕНИЕ

Испарение — процесс, при котором с поверхности жидкости вылетают молекулы, имеющие достаточную кинетическую энергию. При этом жидкость охлаждается, а над ее поверхностью образуется газообразная фаза, называемая паром.

Через некоторое время после начала процесса испарения концентрация вещества в газообразной фазе достигнет такого значения, что число молекул, возвращающихся в жидкость (в единицу времени), станет равным числу молекул, покидающих ее.

Пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью, называется **насыщенным**.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Влажность воздуха — это содержание водяного пара в воздухе.

Абсолютной влажностью называют массу водяного пара, содержащегося в 1 м^3 влажного воздуха, т. е. плотность водяных паров воды ρ, содержащихся в воздухе:

$$\rho = \frac{pM}{RT}.$$

Относительной влажностью называется отношение абсолютной влажности (ρ) к массе водяного пара, необходимого для насыщения 1 м^3 воздуха (ρ_0) при данной температуре:

$$\varphi = \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) \cdot 100\ \%.$$

Точкой росы называется **температура**, при которой пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным.

ЗАДАНИЯ

1. Определите максимальную высоту в горах, на которой можно сварить яйцо в открытой кастрюле, если белок свертывается при температуре $t = 80$ °С, давление насыщенного пара воды меняется на 10 % при изменении температуры на $\Delta t = 2{,}5$ °С, а атмосферное давление меняется на 10 % при подъеме на высоту $h = 700$ м.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

2. В сосуде под легким поршнем при температуре $T = 300\,\text{K}$ находится насыщенный водяной пар. При изотермическом сдвигании поршня была совершена работа $A = 1{,}5\,\text{кДж}$. Определите массу сконденсировавшегося пара.

3. Во сколько раз плотность водяного пара под крышкой кастрюли, в которой кипит жирный бульон, больше плотности масляного пара, если при температуре $t = 100\ ^\circ\text{C}$ давление насыщенного пара масла $p_{\text{м}} = 120\ \text{Па}$, а молярная масса масла $M = 80\,\dfrac{\text{г}}{\text{моль}}$.

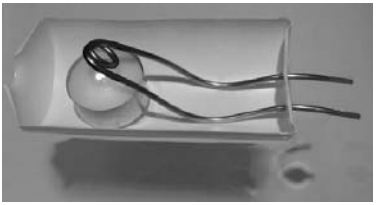
© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. При температуре $t = 36$ °C давление насыщенного водяного пара $p = 44{,}6$ мм рт. ст. Определите плотность воздуха с относительной влажностью $\varphi = 80$ % при той же температуре и давлении $p_0 = 760$ мм рт. ст.

5. В сосуд с поршнем налит слой воды толщиной $d = 0{,}50$ мм при температуре $t = 20$ °C. Определите минимальную высоту, на которую необходимо поднять поршень, чтобы вся вода испарилась, если при $t = 20$ °C давление насыщенного водяного пара $p = 2{,}33$ кПа. Температура постоянна. Воздуха под поршнем нет.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

6. Паровая лодка. Лодка, изображенная на фотографии, может двигаться при помощи свечи и металлической трубки с двумя открытыми концами, которые опущены в воду. Объясните принцип движения лодки и оптимизируйте ваш проект паровой лодки для достижения максимальной скорости.



ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Чем отличается газ от пара?
2. Давление насыщенного пара жидкости не зависит от внешнего давления, а температура кипения зависит от внешнего давления. Имеется ли тут противоречие?
3. Почему при одной и той же температуре жаркая влажная погода переносится значительно труднее, чем сухая?

Оцените результаты своей работы по 10-балльной системе, сравните оценку с оценкой учителя.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 10

Агрегатные состояния и фазовые превращения. Уравнение теплового баланса

ПОВТОРЕНИЕ

Уравнение теплового баланса: в замкнутой системе тел алгебраическая сумма количеств теплоты, отданных и полученных всеми телами, участвующими в теплообмене, равна нулю:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + ... + Q_n = 0.$$

В зависимости от условий задачи каждое слагаемое уравнения может быть как положительным, так и отрицательным. Общее правило знаков следующее: *количество теплоты, полученное телом, считают положительным* ($Q_i > 0$), *а отданное — отрицательным* ($Q_i < 0$).

Количество теплоты Q, необходимое для изменения температуры системы от t_1 до t_2, пропорционально массе m системы и изменению температуры $\Delta t = t_2 - t_1$: $Q = cm\Delta t = cm(t_2 - t_1)$ (c — удельная теплоемкость вещества).

Теплота парообразования $Q = Lm$ (L — удельная теплота парообразования).

Теплота плавления $Q = m\lambda$ (λ — удельная теплота плавления).

Теплота сгорания топлива $Q = qm$ (q — удельная теплота сгорания).

ЗАДАНИЯ

1. В стакан с горячим чаем один раз опустили серебряную ложку, а другой раз — алюминиевую такого же объема. В каком случае понижение температуры в стакане окажется более значительным?

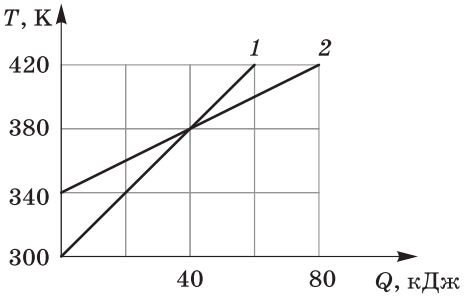
© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

2. Для приготовления ванны вместимостью $V = 200$ л смешали холодную воду при температуре $t_1 = 10$ °С и горячую при температуре $t_2 = 60$ °С. Какие объемы той и другой воды нужно взять, чтобы установилась температура $t_3 = 40$ °С?

3. В сосуд, содержащий воду массой $m_1 = 1{,}5$ кг при температуре $t_1 = 15$ °С, впускают водяной пар массой $m_2 = 200$ г при температуре $t_2 = 100$ °С. Какая температура t_3 установится в сосуде после конденсации пара?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. На рисунке изображены графики изменения температуры двух тел в зависимости от подводимого количества теплоты. Определите начальную и конечную температуру каждого тела. Найдите их удельные теплоемкости, если масса каждого из них $m = 2{,}0$ кг.



5. В алюминиевый калориметр массой $m_1 = 0{,}30$ кг опустили кусок льда. Температура калориметра и льда при этом $t_1 = -15\,°C$. Затем через калориметр пропустили водяной пар при температуре $t_2 = 100\,°C$, после чего температура смеси стала $t_3 = 25\,°C$, а масса смеси $m_2 = 0{,}50$ кг. Найдите массу m_3 сконденсировавшегося пара и массу m_4 льда, находившегося в калориметре в начале опыта.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Когда лед может быть нагревателем?
2. Какой термометр более чувствительный: ртутный или спиртовой (при прочих равных условиях)?
3. Почему горячий пар причиняет тяжелые ожоги коже человека?
4. Можно ли вскипятить воду, подогревая ее паром при температуре $t = 100$ °C и нормальном атмосферном давлении?

Занятие 11

Определение удельной теплоты плавления льда

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Цель: измерение удельной теплоты плавления льда.

Приборы и принадлежности: калориметр, термометр, сосуд с тающим льдом или снегом, сосуд с теплой водой, лед, весы, разновес.

Порядок выполнения работы

1. Измельчите в отдельном сосуде кусок льда объемом не более 50 см^3. Тщательно его перемешайте. Дождитесь, чтобы температура t_0 стала равной 0 °C. Данное значение температуры запишите в таблицу.

2. С помощью весов измерьте массу m_1 внутреннего сосуда калориметра. Налейте в этот сосуд теплую воду объемом $V = 150$ см^3 при температуре свыше 40 °C. Измерьте массу m_2 воды. Результаты запишите в таблицу.

3. Измерьте температуру воды t_2 в калориметре. Результаты измерений запишите в таблицу.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. В сосуд с теплой водой, стоящий на чаше весов, переложите тающий лед (снег). Измерьте его массу m_3. Тщательно размешайте смесь до полного расплавления льда. Измерьте конечную температуру смеси t. Полученные значения массы льда и установившейся температуры воды запишите в таблицу.

5. Эксперимент повторите несколько раз и рассчитайте средние значения: $\langle m_1 \rangle$, $\langle m_2 \rangle$, $\langle t_0 \rangle$, $\langle t_1 \rangle$, $\langle m_3 \rangle$ и $\langle t \rangle$. Запишите эти значения в последнюю строку таблицы.

6. Составьте уравнение теплового баланса и выразите из него удельную теплоту плавления льда λ, т. е. получите расчетную формулу.

7. По расчетной формуле, подставив в нее средние значения найденных в пункте 5 величин, найдите удельную теплоту плавления льда $\lambda_{изм}$. Полученный результат запишите в последнюю строку таблицы.

8. Сравните полученное экспериментальное значение удельной теплоты плавления льда $\lambda_{изм}$ с его табличным значением λ и оцените относительную погрешность по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(\lambda_{изм} - \lambda)}{\lambda} 100\ \%.$$

Результат вычислений запишите в таблицу.

9. Оцените абсолютную погрешность $\Delta\lambda = \varepsilon\lambda_{изм}$. Полученный результат запишите в таблицу.

Таблица измерений и вычислений

№ опыта	Измерено						Вычислено		
	m_1, кг	m_2, кг	t_0, °C	t_1, °C	m_3, кг	t, °C	λ, $\frac{Дж}{кг}$	ε, %	$\Delta\lambda$, $\frac{Дж}{кг}$
1							—	—	—
2									
3									
Среднее значение									

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

10. Запишите результат измерения в виде

$$\lambda = (\lambda_{изм} + \Delta\lambda)\frac{Дж}{кг}, \quad \varepsilon = ...\ \%.$$

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. При какой температуре плавится лед? Как при этом изменяется его объем?
2. В каком случае погрешность измерений будет меньше: при быстром выполнении всех операций или при медленном? Почему?
3. Какие условия необходимы для длительного хранения льда?
4. Почему при выполнении работы не учитывалась теплоемкость калориметра?

Занятие 12 Тепловое расширение тел

ПОВТОРЕНИЕ

Увеличение любого из линейных размеров тела при нагревании называют **линейным расширением.**

$$l_t = l_0(1 + \alpha\Delta t) = l_0(1 + \alpha(t - t_0)).$$

Температурный коэффициент линейного расширения

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t} = \frac{l_t - l_0}{l_0(t - t_0)}.$$

Увеличение объема определяется выражением, аналогичным линейному расширению:

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta t.$$

Температурный коэффициент объемного расширения

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} = \frac{V_t - V_0}{V_0(t - t_0)}.$$

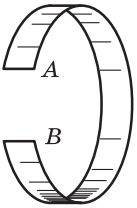
© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ЗАДАНИЯ

1. Объясните, почему стеклянный сосуд может расколоться, если одну из его частей нагреть или охладить быстрее, чем другие части.

2. Две линейки (медная и железная) наложены одна на другую так, что с одной стороны их концы совпадают. Определите их длины при температуре $t_1 = 10\,°C$, если разность их длин составляет l при любой температуре.

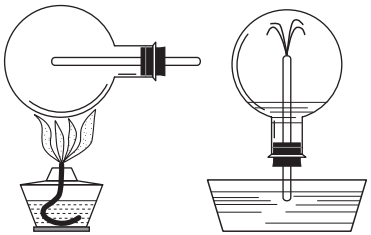
3. Стальная полоска изогнута так, как показано на рисунке. Как изменится расстояние AB, если полоску нагреть?



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. Нефть налита в цилиндрическую цистерну, высота которой $h = 6{,}0$ м. При температуре $t_1 = 0{,}0\,°C$ нефть не доходит до края цистерны на расстояние $\Delta h = 0{,}20$ м. При какой температуре нефть начнет выливаться из цистерны? Коэффициент объемного расширения нефти $\gamma = 10{,}0 \cdot 10^{-4}\ °C^{-1}$.

5. Стеклянный баллон с трубкой, открытой с обеих сторон (рис. *а*), нагревают на спиртовке. Если затем конец трубки опустить в воду (рис. *б*), то вода поднимается по трубке и бьет фонтанчиком. До какой температуры был нагрет воздух, если в баллон вошла вода, заполнившая его на 20 %? Температура окружающего воздуха $t_0 = 20\,°C$.



а *б*

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Объясните, почему при быстром нагревании стеклянной колбы, до краев заполненной жидкостью, уровень этой жидкости сначала несколько понижается, а затем повышается, и она начинает переливаться через край.

2. В центре диска сделано маленькое отверстие. Изменится ли его диаметр, если диск перенести их холодного помещения в теплое?

Занятие 13 Вода и ее свойства

ПОВТОРЕНИЕ

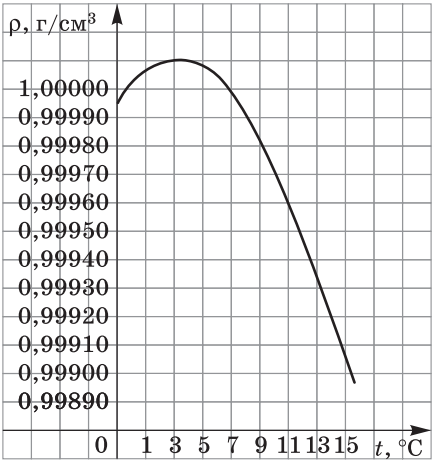
Аномальные свойства воды

Сведения из курса химии. *Одной из разновидностей межмолекулярного взаимодействия является водородная связь. Она осуществляется между положительно поляризованным атомом водорода одной молекулы и отрицательно поляризованным атомом другой молекулы. Образование водородной связи объясняется электростатическим взаимодействием между*

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

молекулами. Водородная связь в несколько раз сильнее, чем обычное молекулярное взаимодействие.

Самое распространенное на поверхности Земли вещество — вода. Она обладает уникальными физическими свойствами, причем в отличие от большинства веществ ряд ее свойств являются аномальными.



Зависимость плотности воды от температуры

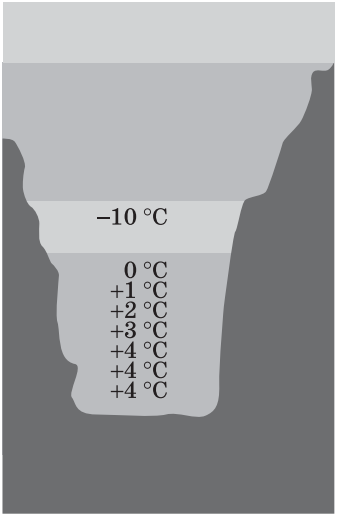
У большинства веществ частицы в кристаллическом состоянии упакованы более плотно, чем в жидком. У воды, а также у некоторых металлов и сплавов, например таких, как висмут или чугун, упаковка частиц в кристаллическом состоянии более «рыхлая», чем жидкостная. Вследствие этого плотность меньше плотности воды.

Вода ведет себя необычно и при нагревании. В отличие от большинства веществ, которые при повышении температуры расширяются, вода при нагревании от 0 °C до 4 °C сжимается. В результате ее объем уменьшается, наименьший объем и, следовательно, наибольшую плотность вода имеет при температуре 4 °C (см. рис.). У морской воды наибольшая плотность достигается примерно при температуре 3 °C.

Зимой на поверхности водоемов образуется слой льда, а глубинные слои воды в течение всей зимы сохраняют температуру, близкую к температуре наибольшей плотности воды ($t = 4$ °C) (см. рис. на с. 52). Когда толщина льда на поверхности достигает 15 см, он становится надежным теплоизолятором между водой и воздухом. В противном случае реки и озера промерзали бы до дна, и жизнь в них была бы невозможна.

Изменение удельной теплоемкости воды с повышением температуры аномально. При увеличении температуры от 0 °C до 37 °C она уменьшается, а при дальнейшем росте температуры до 100 °C — увеличивается. Таким образом, удельная теплоем-

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»



Распределение температуры воды в водоеме в зависимости от глубины

кость воды минимальна при температуре $t = 37\,°C$, которая является наиболее благоприятной для биохимических реакций в организме человека. Вспомните нормальную температуру человека.

Переход воды из твердого состояния в жидкое и газообразное происходит при температурах более высоких, чем следовало ожидать для водородных соединений элементов VI группы таблицы Менделеева (см. табл.). Это обусловлено наличием водородных связей, и для их разрушения необходима дополнительная энергия, чем и обусловлена большая удельная теплоемкость воды.

Таблица

Температуры плавления и кипения водородных соединений

Температура	Вода (H_2O)	Сероводород (H_2S)	Селеноводород (H_2Se)	Теллуроводород (H_2Te)
плавления	0 °C	–82 °C	–64 °C	–51 °C
кипения	100 °C	–61 °C	–42 °C	–4 °C

Удельная теплота испарения воды больше удельной теплоты испарения любой другой жидкости, а ее удельная теплота кристаллизации меньше только удельной теплоты кристаллизации аммиака.

Вода обладает самой большой среди известных веществ молярной теплоемкостью — $75{,}2\ \frac{Дж}{моль \cdot K}$. (Это количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 молю вещества для нагревания его на $\Delta T = 1\,K$.) Так как 79 % поверхности Земли

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

покрыто водой, это определяет ее большое влияние на климат нашей планеты. Вода является основным терморегулятором климата, накапливая тепло летом и отдавая его зимой.

Среди существующих в природе жидкостей поверхностное натяжение воды уступает только ртути. Вода в капиллярах не замерзает даже при температурах, значительно меньших 0 °С, при температуре $t = -30$ °С она становится вязкой, а при $t = -70$ °С напоминает стекловидное тело.

Молекулы воды, рассеянные в атмосфере в облаках и в виде паров, предохраняют Землю от космического холода.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. В чем проявляется аномальность физических свойств воды?
2. Чем обусловлены аномальные физические свойства воды?
3. В чем заключаются особенности теплового расширения воды?
4. Какая температура воды будет на дне глубокого озера зимой?
5. Увеличится или уменьшится выталкивающая сила F, действующая на алюминиевую чашку, погруженную в воду, если температура воды увеличится от $t_1 = 1$ °С до $t_2 = 4$ °С?
6. Объясните, почему добавлять воду в систему охлаждения перегретого автомобильного двигателя следует очень медленно и только при работающем двигателе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Если поместить кусочек льда в сосуд с растительным маслом, то с течением времени в системе возникнут колебания кусочка льда. Объясните наблюдаемое явление и сделайте возможные количественные оценки.
2. Тонкий провод переброшен через ледяной брусок при температуре $t = 0$ °С. По обеим сторонам бруска подвешены два груза. Было обнаружено, что провод проходит через ледяной куб,

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

но оставляет после себя сплошной лед. Этот процесс называется повторным замораживанием. Объясните, как это происходит, учитывая зависимость точки замерзания воды от давления.

Оцените результаты своей работы по 10-балльной системе, сравните оценку с оценкой учителя.

Занятие 14 Теплоемкость газа

ПОВТОРЕНИЕ

Внутренняя энергия одноатомного идеального газа

$$U = \left(\frac{m}{M} N_A\right)\left(\frac{3}{2}kT\right) = \frac{3}{2}\left(\frac{m}{M}\right)(kN_A)T = \frac{3}{2}\nu RT = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT.$$

Первое начало термодинамики является специальным случаем закона сохранения энергии, учитывающим внутреннюю энергию системы: **изменение внутренней энергии системы равно сумме сообщенного телу количества теплоты и работы, произведенной над системой внешними силами:**

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

Или: **количество теплоты, сообщенное системе извне, расходуется на увеличение ее внутренней энергии и на работу, совершаемую системой против внешних сил:**

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

Согласно определению теплоемкости при любом процессе

$$C = \frac{Q}{\Delta T}.$$

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ЗАДАНИЯ

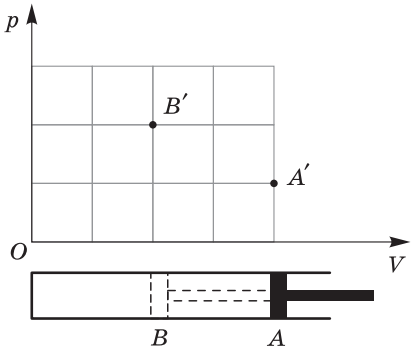
1. Объясните, почему топливо, подаваемое в камеру сгорания дизельного двигателя, при сжатии самовоспламеняется.

2. Чему равна теплоемкость газа при изотермическом процессе? при адиабатном процессе?

3. Температура воздуха в комнате объемом $V = 70\,\text{м}^3$ была $T_0 = 280$ К. После того как протопили печь, температура поднялась до значения $T_1 = 296$ К. Найдите изменение внутренней энергии воздуха в комнате и работу, совершенную им при расширении.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. Поршень перевели из положения A в положение B. В первом случае очень медленно, а во втором — очень быстро и выждали достаточное время. В обоих случаях точки A' и B' на диаграмме соответствуют начальному и конечному состояниям. Объясните происходящие процессы и постройте их графики.



5. Используя первое начало термодинамики, докажите, что при постоянном давлении молярная теплоемкость идеального одноатомного газа находится по формуле $C_P = \frac{5}{2}R$.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Почему при холостых выстрелах ствол пушки нагревается сильнее, чем при стрельбе снарядами?

2. Приведите пример нециклического процесса, при котором вся подведенная теплота превращается в работу.

Занятие 15 Второе начало термодинамики. Тепловые двигатели

ПОВТОРЕНИЕ

Второе начало термодинамики: в природе невозможен такой циклический процесс, единственным результатом которого было бы превращение теплоты, получаемой системой от нагревателя или окружающей среды, в работу.

Тепловые машины (двигатели) совершают механическую работу за счет внутренней энергии системы.

Любая тепловая машина состоит из трех основных частей: **нагревателя, рабочего тела** (газ или пар) и **холодильника**.

Коэффициент полезного действия (КПД) η тепловой машины определяют как отношение совершенной работы A к количеству теплоты Q_1, полученной от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}, \ (0 < \eta < 1).$$

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ЗАДАНИЯ

1. Согласно второму началу термодинамики в формулировке Клаузиуса «невозможен процесс, единственным конечным результатом которого был бы переход тепла от тела с более низкой температурой к телу с более высокой температурой». Покажите эквивалентность обеих формулировок второго начала термодинамики.

2. Нарисуйте функциональную схему теплового двигателя и объясните назначение всех его элементов.

3. Тепловой двигатель получает от нагревателя количество теплоты $Q_1 = 7{,}25$ кДж, совершая полезную работу $A = 2{,}25$ кДж. Определите КПД η этого двигателя.

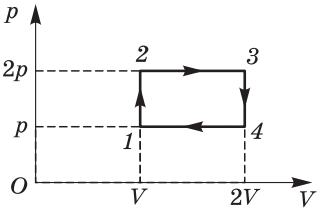
© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. Подвесной лодочный мотор имеет мощность $P = 30$ л. с. и КПД $\eta = 20$ %. На сколько километров пути l хватит бензина $\left(\rho_б = 800\ \frac{кг}{м^3}\right)$ объемом $V = 20$ л при скорости движения $\upsilon = 30\ \frac{км}{ч}$?

5. Двигатель реактивного самолета при полете со скоростью $\upsilon = 1800\ \frac{км}{ч}$ развивает силу тяги $F = 8{,}8$ кН и имеет КПД $\eta = 20\,\%$. Определите расход керосина (Δm) за промежуток времени $\Delta t = 60$ мин полета и развиваемую мощность P. Удельная теплота сгорания керосина $q = 46\ \frac{МДж}{кг}$.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

6. Вычислите КПД цикла, изображенного на рисунке. Рабочим телом тепловой машины является одноатомный идеальный газ.



ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Почему в формулировке второго начала термодинамики идет речь о невозможности именно циклического теплового процесса, единственным результатом которого было бы превращение теплоты в работу?

2. Вечным двигателем первого рода называется тепловая машина, которая может совершать работу без использования источника энергии. Покажите, что из первого начала термодинамики следует факт невозможности существования вечного двигателя первого рода.

3. Вечным двигателем второго рода называется тепловая машина, которая совершала бы работу только за счет получения тепла из окружающей среды. Покажите, что из второго начала термодинамики следует факт невозможности существования вечного двигателя второго рода.

4. Что является нагревателем, а что — холодильником в двигателе внутреннего сгорания?

5. Какие двигатели имеют больший КПД: бензиновые или дизельные? Чем это объясняется?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 16 Тепловые двигатели (конференция)

Занятие проводится в виде научно-практической конференции, где учащиеся выступают с докладами на темы (может быть добавлено или изменено учителем):

1. История создания и развития тепловых двигателей.
2. Двигатели внутреннего сгорания: история и современность.
3. Особенности двигателей внутреннего сгорания: перспективы и реальность.
4. Электромобиль: мифы или реальность?
5. Автомобили будущего — что нас ждет?

Занятие 17 Теоремы Карно

ПОВТОРЕНИЕ

Наиболее эффективный (обладающий максимальным КПД) цикл теплового двигателя **(цикл Карно)** состоит из двух изотерм и двух адиабат.

Первая теорема Карно: коэффициент полезного действия $\eta_к$ теплового двигателя, работающего по циклу Карно, не зависит от свойств рабочего тела и конструкции двигателя, а определяется только температурами нагревателя T_1 и холодильника T_2:

$$\eta_к = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Вторая теорема Карно: из всех циклических процессов в термодинамике, идущих при данных минимальной и максимальной температурах, наибольшим коэффициентом полезного действия обладает цикл Карно ($\eta_к \geq \eta$).

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ЗАДАНИЯ

1. Начертите диаграмму цикла Карно и отметьте ее характерные особенности.

2. Определите максимальный КПД $\eta_к$ теплового двигателя, работающего с нагревателем при температуре $t_1 = 480°C$ и холодильником при $t_2 = 300°C$.

3. Что дает большее увеличение КПД двигателя Карно и на сколько: повышение температуры нагревателя на $\Delta T = 20K$ или понижение температуры холодильника на $\Delta T = 20K$?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. Тепловой двигатель, который работает по циклу Карно, использует нагреватель при температуре $t_1 = 610\,°C$ и имеет КПД $\eta_к = 27\,\%$. Какой должна стать температура нагревателя, чтобы КПД повысился до $\eta_к = 35\,\%$?

5. Существует идея создания теплового двигателя, действие которого основано на наличии разности температур на поверхности океана и на глубине нескольких сотен метров. В тропических широтах эти температуры могут быть равны соответственно $t_1 = 25\,°C$ и $t_2 = 5\,°C$. Какой максимальный КПД η_{max} мог бы иметь такой двигатель? Почему его реализация была бы оправдана, несмотря на низкий КПД?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Реально ли создание теплового двигателя, работающего по циклу Карно?

2. Станет ли КПД тепловых машин равным 100 %, если трение в частях машины свести к нулю?

Занятие 18 Холодильник, кондиционер, тепловой насос

ПОВТОРЕНИЕ

Обратным циклом называется круговой процесс, в котором работа, совершаемая системой, отрицательна.

В зависимости от назначения и особенностей работы тепловые машины, работающие по обратному циклу, условно разделяют на *холодильники*, *кондиционеры* и *тепловые насосы*.

ЗАДАНИЯ

1. Нарисуйте функциональную схему холодильной машины и объясните назначение всех ее элементов.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

2. Холодильник, работающий по обратному циклу Карно, предназначен для охлаждения газообразного гелия до температуры $T_2 = 4{,}0$ К. Определите механическую энергию E, которая требуется для того, чтобы забрать у гелия, находящегося при этой температуре, теплоту $Q = 1{,}0$ Дж и передать ее воздуху в комнате при температуре $T_1 = 300$ К.

3. Идеальная холодильная установка, работая в обратимом режиме, извлекает количество теплоты $Q_1 = 45$ кДж из холодного резервуара и передает количество теплоты $Q_2 = 67$ кДж другому резервуару при температуре $T = 300$ К. Определите температуру резервуара, из которого теплота извлекалась.

4. Тепловой насос используется для поддержания температуры $t = 20$ °С внутри дома, если температура снаружи $t_1 = 3{,}0$ °С. Определите минимальную работу, которую необходимо совершить, чтобы передать количество теплоты $Q = 100$ Дж внутрь дома.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

5. Холодильник Карно (устройство, работающее по обратному циклу Карно) поглощает теплоту из морозильного отделения при температуре $t_2 = -17\,°C$ и отдает ее в комнату при температуре $t_1 = 25\,°C$. Определите работу, которую должен совершить холодильник для преобразования воды массой $m = 400$ г при температуре $t_1 = 25\,°C$ в лед при температуре $t_2 = -17\,°C$. Определите минимальное время, необходимое для этого, если мощность на выходе компрессора холодильника $P = 20$ Вт.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип работы холодильника, кондиционера, теплового насоса?

2. Как будет изменяться температура в комнате, если открыть дверцу работающего холодильника?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 19 Электрический заряд и электрическое поле

ПОВТОРЕНИЕ

Существуют два вида **электрических зарядов** — положительные и отрицательные. Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются.

Любой электрический заряд тела кратен **элементарному заряду** $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Закон сохранения электрического заряда: в любой замкнутой (электрически изолированной) системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной при любых взаимодействиях внутри нее:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + \ldots + q_n = \sum_i^n q_i .$$

Закон Кулона: силы взаимодействия $\vec{F}$ двух точечных электрических зарядов в вакууме, покоящихся в данной инерциальной системе отсчета, прямо пропорциональны их величинам q_1 и q_2, обратно пропорциональны квадрату расстояния r^2 между ними и направлены вдоль прямой, соединяющей эти заряды:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

Заряд создает в пространстве **электрическое поле**.

Напряженность электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ЗАДАНИЯ

1. Могут ли два одноименно заряженных тела притягиваться?

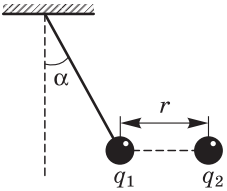
2. Найдите силу $\vec{F}$ электростатического взаимодействия двух электронов $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл в вакууме на расстоянии $r = 20$ см.

3. Тонкая шелковая нить выдерживает максимальное натяжение $F_н = 9{,}8$ мН. Подвешенный на этой нити шарик массой $m = 0{,}60$ г имеет заряд $q_1 = 11$ нКл. Снизу в направлении линии подвеса к нему подносят шарик, имеющий заряд $q_2 = -13$ нКл. При каком расстоянии r между шариками нить разорвется?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. Как изменится сила взаимодействия двух одинаковых металлических шаров, имеющих заряды $+q_1$ и $+q_2$, если шары привести в соприкосновение и затем раздвинуть на прежнее расстояние, существенно превышающее радиус шаров?

5. Шарик массой $m = 5{,}0$ г, несущий заряд $q_1 = 2{,}8 \cdot 10^{-7}$ Кл, подвешен на нити. При приближении к нему заряда q_2 противоположного знака нить отклонилась на угол $\alpha = 45°$ от вертикали. Найдите модуль заряда q_2, если расстояние $r = 5{,}0$ см.



ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Можно ли на концах стеклянной палочки получить два одновременно существующих разноименных заряда?
2. Почему экран телевизора быстро покрывается пылью?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 20 Силовая и энергетическая характеристики поля

ПОВТОРЕНИЕ

Напряженность электростатического поля $\vec{E}$ — векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой электростатического поля, определяется отношением силы, действующей со стороны поля на положительный точечный электрический заряд, находящийся в данной точке поля, к величине этого заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Потенциал электростатического поля φ — скалярная физическая величина, равная отношению потенциальной энергии W, которой обладает точечный заряд q в данной точке пространства, к величине этого заряда:

$$\varphi = \frac{W}{q}.$$

Потенциал электростатического поля в данной точке пространства численно равен работе, которую совершают силы поля при перемещении единичного положительного точечного заряда из данной точки пространства в бесконечность.

Связь между напряженностью $\vec{E}$ однородного электростатического поля и напряжением U, создаваемым этим полем между точками 1 и 2 в пространстве, определяется по формуле:

$$E = \frac{U}{d_1 - d_2} = -\frac{\Delta\varphi}{d_1 - d_2} = \frac{\Delta\varphi}{d_2 - d_1} = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta x}.$$

Электростатическое поле изображается графически с помощью **силовых линий** и эквипотенциальных поверхностей. В каждой точке силовой линии напряженность поля направлена по каса-

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

тельной к силовой линии. Эквипотенциальные поверхности представляют собой поверхности постоянного потенциала.

ЗАДАНИЯ

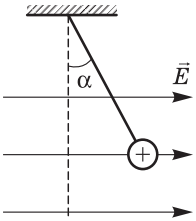
1. Найдите напряженность $\vec{E}$ электростатического поля на расстоянии от точечного заряда $q = 0{,}10$ мКл. С какой силой $\vec{F}$ будет действовать поле на электрический заряд $q_1 = 1{,}0$ мкКл, помещенный в данную точку поля? Как будет направлена эта сила?

2. Если потенциал φ в некоторой области постоянен, что можно сказать о напряженности электростатического поля $\vec{E}$? Если напряженность электростатического поля $\vec{E}$ в некоторой области постоянна, что можно сказать о потенциале φ в этой области?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

3. Электрон, перемещаясь в электростатическом поле из точки A в точку B, увеличил скорость от $v_A = 1000\,\frac{\text{км}}{\text{с}}$ до $v_B = 3000\,\frac{\text{км}}{\text{с}}$. Определите разность потенциалов $(\varphi_A - \varphi_B)$ между точками A и B электростатического поля. Отношение заряда электрона к его массе $\frac{e}{m} = 1{,}76 \cdot 10^{11}\,\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$.

4. На какой угол α отклонится небольшой заряженный шарик массой $m = 0{,}50$ г, подвешенный на шелковой нити в однородном горизонтальном поле напряженностью $E = 1{,}5 \cdot 10^5\,\frac{\text{В}}{\text{м}}$. Заряд шарика $q = 5{,}0 \cdot 10^{-9}$ Кл.



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

5. На каком расстоянии r от точечного заряда $q = 10$ нКл, находящегося в вакууме, модуль напряженности электростатического поля $E = 0{,}25\ \frac{\text{В}}{\text{м}}$? Определите потенциал φ электростатического поля на этом расстоянии от заряда.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Почему птицы слетают с провода высокого напряжения, когда включают ток?

2. Верно ли, что силовые линии поля — это траектории пробного заряда, внесенного в поле без начальной скорости?

3. Что можно сказать о напряженности электростатического поля в области пространства с одним и тем же потенциалом?

4. Существует ли в области между двумя равными положительными зарядами точка, в которой напряженность электростатического поля равна нулю? точка с нулевым потенциалом?

5. Если в некоторой точке потенциал равен нулю, то обязательно ли напряженность электростатического поля здесь тоже равна нулю? Приведите пример.

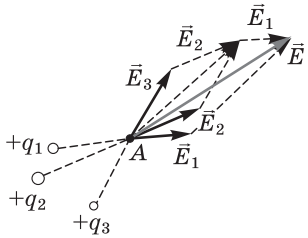
© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 21

Принципы суперпозиции напряженностей и потенциалов электростатических полей

ПОВТОРЕНИЕ

Принцип суперпозиции напряженностей электростатических полей: напряженность $\vec{E}$ электростатического поля системы точечных зарядов q_1, q_2, ..., q_n в некоторой точке пространства равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым из этих зарядов по отдельности в той же точке:



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + ... + \vec{E}_n .$$

На рисунке изображено построение напряженности поля для системы из трех точечных зарядов.

Принцип суперпозиции потенциалов электростатических полей: потенциал φ электростатического поля системы точечных зарядов q_1, q_2, ..., q_n в некоторой точке пространства равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым из этих зарядов по отдельности в этой же точке:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + ... + \varphi_n = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i .$$

Знак потенциала φ_i совпадает со знаком заряда.

ЗАДАНИЯ

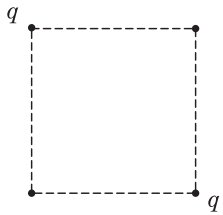
1. Определите потенциал φ поля в вершине C треугольника ABC, создаваемого зарядами $q_1 = 8{,}0$ мкКл и $q_2 = 4{,}0$ мкКл, нахо-

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

дящимися в вершинах A и B треугольника, если $AB = 20$ см, $BC = 40$ см и угол между ними $\alpha = 60°$.

2. Используя принципы суперпозиции, вычислите напряженность $\vec{E}$ и потенциал φ в центре равномерно заряженного проволочного кольца радиусом R. Заряд кольца q.

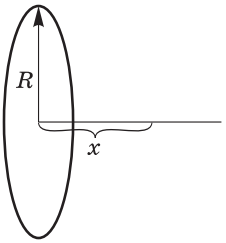
3. В двух противоположных вершинах квадрата со стороной $a = 20$ см находятся одинаковые заряды $q = 2{,}5 \cdot 10^{-7}$ Кл каждый. Найдите напряженность $\vec{E}$ и потенциал φ в двух других вершинах квадрата.



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. Один и тот же потенциал φ_0 имеют N одинаковых уединенных сферических капель ртути. Определите потенциал φ большой капли, если все капли сольются в одну.

5. Тонкое проволочное кольцо радиусом R имеет равномерно распределенный заряд q. Найдите зависимость модуля напряженности $E(x)$ электростатического поля на оси кольца от расстояния x до его центра. Постройте график полученной зависимости.



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Чему равны напряженность поля и потенциал в центре равномерно заряженной по поверхности сферы?

2. Будет ли устойчивым положение равновесия точечного заряда, находящегося между двумя одинаковыми точечными зарядами? Рассмотрите случаи различных знаков точечных зарядов.

Занятие 22 Графические задачи для электростатических полей

ПОВТОРЕНИЕ

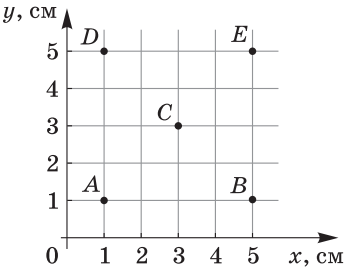
Электростатическое поле изображается графически с помощью силовых линий и эквипотенциальных поверхностей. В каждой точке силовой линии напряженность поля направлена по касательной к силовой линии. Эквипотенциальные поверхности представляют собой поверхности постоянного потенциала.

ЗАДАНИЯ

1. Какое электростатическое поле называется однородным? Изобразите картину силовых линий и эквипотенциальных поверхностей однородного электростатического поля.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

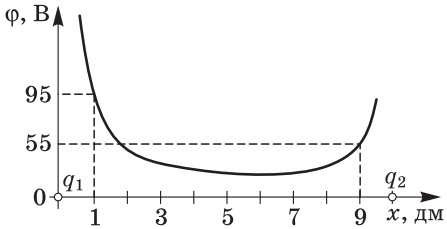
2. Заряд, помещенный в точку A (см. рис.), создает в точке B электростатическое поле, потенциал которого φ_0. Определите потенциал φ в точке B при помещении дополнительно еще одного такого же заряда в точку C.



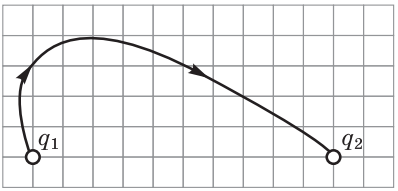
3. Два точечных тела, заряды которых $q_1 = q_2 = q = 10$ нКл, размещены в вакууме в точках A и B (см. рис. в задании 2). Найдите напряженность $\vec{E}$ электростатического поля в точке C.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

4. На рисунке изображен график зависимости потенциала электростатического поля, созданного в вакууме точечными зарядами q_1 и q_2, от координаты x. Определите проекцию напряженности E_x этого поля на ось Ox в точке с координатой $x = 0{,}50$ м, если заряды размещены в точках, координаты которых $x_1 = 0{,}0$ м и $x_2 = 1{,}0$ м.



5. На рисунке изображена силовая линия электростатического поля, созданного двумя неподвижными точечными зарядами q_1 и q_2. Определите заряд q_2, если $q_1 = 2{,}0$ нКл.



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Увеличивается или уменьшается потенциал электростатического поля при перемещении вдоль силовой линии?

2. Как направлен вектор напряженности электростатического поля при пресечении с эквипотенциальной поверхностью этого же поля?

3. Если напряженность электростатического поля постоянна в некоторой области, то что можно сказать о потенциале в этой области? Если потенциал в некоторой области пространства постоянен, то что можно сказать о напряженности электростатического поля?

Занятие 23 Электроемкость. Электроемкость конденсаторов

ПОВТОРЕНИЕ

Конденсатор — устройство, состоящее из изолированных друг от друга проводников, предназначенное для накопления (аккумуляции) электрического заряда и энергии.

Электроемкостью (емкостью) **конденсатора** называется скалярная физическая величина, равная отношению заряда конденсатора к разности потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ между его обкладками:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}.$$

Электроемкость конденсатора есть также отношение заряда конденсатора к напряжению на обкладках:

$$C = \frac{q}{U}.$$

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Электроемкость уединенного проводника определяется отношением заряда, сообщенного проводнику, к потенциалу, который он при этом приобрел:

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

Электроемкость плоского конденсатора вычисляется по формуле

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d},$$

где d — расстояние между его пластинами, S — площадь одной пластины, ε — диэлектрическая проницаемость вещества между пластинами конденсатора.

ЗАДАНИЯ

1. Вычислите электроемкость плоского воздушного ($\varepsilon = 1$) конденсатора, расстояние между обкладками которого $d = 1{,}0$ см, а площадь каждой пластины $S = 1{,}0$ м^2.

2. Вычислите электроемкость уединенного шара радиусом R, находящегося в диэлектрике, диэлектрическая проницаемость которого ε.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

3. Пластинка из слюды ($\varepsilon = 7{,}0$) находится между обкладками плоского конденсатора, присоединенного к источнику напряжения, и занимает весь его внутренний объем. Заряд на обкладках $q_1 = 28$ мкКл. Какой заряд q_2 пройдет по цепи при удалении пластины из конденсатора?

4. Площадь обкладок плоского конденсатора $S = 200$ см^2 и зазор между ними $d = 4{,}00$ мм. Конденсатор заряжается от батареи напряжением $U = 200$ В. Затем его отключают от батареи и между обкладками вводят пластину с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 3{,}50$ такой же площадью, как обкладки, и толщиной $l = 1{,}00$ мм. Определите: а) начальную емкость конденсатора с воздушным зазором; б) заряд (по модулю) на каждой обкладке до введения диэлектрика; в) разность потенциалов между обкладками после введения диэлектрика; г) модуль напряженности электростатического поля между обкладкой конденсатора и поверхностью диэлектрика; д) напряженность электростатического поля в диэлектрике; е) процент энергии, запасенной электростатическим полем, приходящейся на диэлектрик.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

5. Сферический конденсатор состоит из двух тонких концентрических оболочек радиусами R_1 и R_2 ($R_2 > R_1$). Выведите формулу для емкости такого конденсатора. Покажите, что при $R_2 - R_1 < R_1$ полученная формула сводится к формуле для емкости плоского конденсатора.

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Заряженные медный и стальной шары одинакового радиуса приводят в соприкосновение. Как распределятся на них заряды?

2. Изменится ли электроемкость плоского конденсатора, если в воздушный зазор между пластинами вдвинуть незаряженную металлическую пластину?

3. Будет ли заряд обкладок конденсатора одинаковым, если обкладки отличаются размерами и формой?

4. Как изменится емкость плоского конденсатора, если одну из обкладок наклонили так, что расстояние с одной стороны увеличилось до значения $2d$?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 24 Измерение электроемкости конденсатора

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Цель: исследование зависимости отброса стрелки гальванометра от электрического заряда, прошедшего через его обмотку. Определение электроемкости конденсатора путем измерения его заряда и напряжения между обкладками.

Приборы и принадлежности: гальванометр, источник электропитания (ИЭПП-2), вольтметр с пределом измерения до 15 В, батарея конденсаторов известной электроемкости (8 мкФ), конденсатор неизвестной электроемкости.

Расчетная формула

Метод измерения электрического заряда по отбросу стрелки прибора магнитоэлектрической системы называется баллистическим методом.

При кратковременном прохождении электрического тока через рамку амплитуда отклонения стрелки прибора пропорциональна модулю импульса подействовавшей силы:

$$A \sim F\Delta t.$$

Модуль силы Ампера пропорционален силе тока в рамке прибора, поэтому максимальное отклонение стрелки прибора пропорционально заряду q, прошедшему через обмотку (рамку) прибора:

$$A \sim q.$$

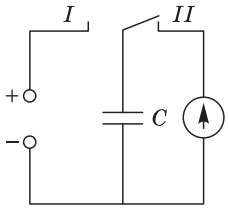
Для градуировки гальванометра зарядим конденсатор известной электроемкости до некоторого напряжения и заметим число n делений шкалы, на которое произошел отброс стрелки прибора.

Вычислим заряд по формуле $q_1 = C_1U$ и найдем коэффициент пропорциональности между числом делений шкалы гальванометра и электрическим зарядом:

$$kn = q_1 \Rightarrow k = \frac{q_1}{n}.$$

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Порядок выполнения работы



1. Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке.

2. Установите переключатель батареи конденсаторов в положение 1 мкФ. С помощью переключателя сначала подключите выводы батареи конденсаторов к выходу источника питания (I), а затем к выводам гальванометра (II). Заметьте показания гальванометра (число n делений шкалы при максимальном отклонении стрелки). Опыт повторите 3—5 раз и найдите среднее значение $\langle n \rangle$.

3. Увеличивайте напряжение от 2 В до 12 В через 2 В. Отсчитывайте при этом деления шкалы n_2, n_3, n_4, n_5. Результаты измерений запишите в таблицу.

Таблица

№	U, В	q, Кл	n, дел
1			
2			
3			
4			
5			
Среднее значение			

4. Постройте график зависимости числа n делений шкалы гальванометра от заряда q. По графику определите значение коэффициента k.

5. Включите в схему вместо батареи конденсаторов конденсатор неизвестной электроемкости. Заряжая и разряжая конденсатор через гальванометр, подберите такое напряжение, при котором отброс стрелки достигает 20 делений шкалы гальванометра. По измеренному напряжению и значению электрического заряда определите электроемкость конденсатора.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

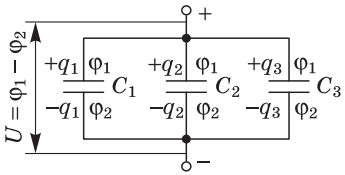
Дополнительное задание: спланируйте и выполните эксперимент, при котором подтверждается независимость коэффициента k для данного гальванометра от электроемкости используемого конденсатора.

Занятие 25 Соединения конденсаторов

ПОВТОРЕНИЕ

Конденсаторы соединяют в **батареи**, чтобы обеспечить требуемую электроемкость при заданном напряжении. Соединение конденсаторов в батарее может быть параллельным, последовательным или смешанным.

При **параллельном соединении конденсаторов** и подключении к источнику напряжением $U_{ист}$ (см. рис.) напряжение U на обкладках всех конденсаторов одно и то же:



$$U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n = U = U_{ист}.$$

Суммарный заряд батареи q равен сумме зарядов на каждом из конденсаторов:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n.$$

Емкость батареи конденсаторов при параллельном соединении определяется из соотношения

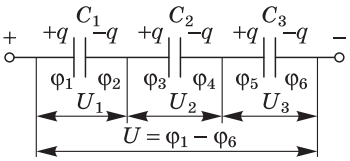
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n.$$

Таким образом, электроемкость батареи параллельно соединенных конденсаторов всегда превышает наибольшую из электроемкостей конденсаторов, составляющих ее.

В случае, когда $C_1 = C_2 = C_3 = ... = C_n = C_0$, емкость батареи $C = \frac{C_0}{n}$.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

При **последовательном соединении конденсаторов** (см. рис.) и подключении к источнику напряжением $U_{ист}$ одинаковым является заряд q каждого конденсатора, равный полному заряду батареи:



$$q_1 = q_2 = q_3 = ... = q_n = q,$$

а напряжение батареи последовательно соединенных конденсаторов равно сумме напряжений на всех конденсаторах:

$$U_{ист} = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n = U.$$

Емкость батареи конденсаторов при последовательном соединении можно определить из соотношения

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n}.$$

Таким образом, при последовательном соединении емкость батареи всегда не превышает наименьшей из емкостей конденсаторов, составляющих ее.

В случае, когда $C_1 = C_2 = C_3 = ... = C_n = C_0$, емкость батареи $C = nC_0$.

ЗАДАНИЯ

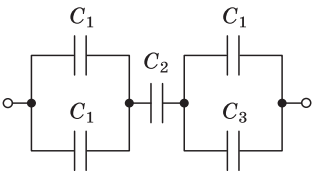
1. Вычислите электроемкость батареи из $N = 10$ одинаковых конденсаторов емкостью $C = 4{,}5$ мкФ каждый, если они подключены: а) параллельно, б) последовательно.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

2. Какие электроемкости можно получить, имея в своем распоряжении два ($n = 2$) конденсатора емкостью $C_0 = 200$ мкФ каждый, используя их различные соединения?

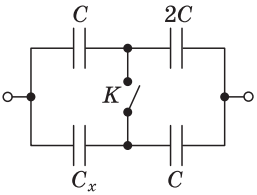
3. Конденсаторы емкостями $C_1 = 3{,}0$ мкФ, $C_2 = 4{,}0$ мкФ и $C_3 = 5{,}0$ мкФ соединены последовательно и присоединены к источнику постоянного напряжения $U = 220$ В. Определите заряды q_1, q_2, q_3 на каждом конденсаторе.

4. Определите электроемкость батареи конденсаторов, изображенной на рисунке, если $C_1 = 5{,}0$ мкФ, $C_2 = 10$ мкФ, $C_3 = 4{,}0$ мкФ.

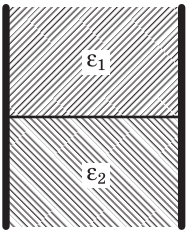


© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

5. В схеме, изображенной на рисунке, электроемкость цепи не изменяется при замыкании ключа K. Найдите электроемкость C_x, если $C = 30$ мкФ.



6. Пространство между обкладками плоского конденсатора, площадь пластин которого S и расстояние между ними d, заполнено диэлектриком, состоящим из двух частей равных размеров, но с разной диэлектрической проницаемостью ε_1 и ε_2. Найдите электроемкость такого конденсатора.



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Верно ли, что формулы для расчета электроемкости при последовательном и параллельном соединении конденсаторов эквивалентны: а) формулам для расчета сопротивления при последовательном и параллельном соединении резисторов; б) формулам для расчета жесткости при последовательном и параллельном соединении пружин?

2. Изменится ли электроемкость плоского конденсатора, если в воздушный зазор между пластинами вдвинуть незаряженную диэлектрическую пластину?

3. Три одинаковых конденсатора подключают к батарее. В каком случае они аккумулируют большую энергию — при последовательном или параллельном соединении?

Занятие 26 Напряжение, сила тока, электрическое сопротивление и проводимость

ПОВТОРЕНИЕ

Электрическим током называют упорядоченное движение электрических зарядов. За направление тока принято направление движения положительных зарядов.

Сила тока I — скалярная физическая величина, равная отношению заряда Δq, прошедшего за промежуток времени Δt через поперечное сечение проводника, к этому промежутку:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Сопротивление однородного проводника цилиндрической формы длиной l и площадью постоянного поперечного сечения S, имеющего удельное сопротивление ρ, определяется по формуле $R = \rho \frac{l}{S}$.

Напряжением U на участке цепи называется скалярная физическая величина, численно равная полной работе A, которая совершается электростатическими (кулоновскими) и сторонними силами при перемещении вдоль участка цепи положительного единичного заряда q:

$$U = \frac{A}{q}.$$

Закон Ома для однородного участка цепи: сила тока I на однородном участке цепи прямо пропорциональна напряжению U на концах этого участка. Коэффициент пропорциональности $G = \frac{1}{R}$ характеризует электрические свойства проводника и называется **электропроводностью:**

$$I = GU = \frac{U}{R}.$$

ЗАДАНИЯ

1. Определите сопротивление R мотка стальной проволоки диаметром $d = 1{,}0$ мм, масса которого $m = 300$ г.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

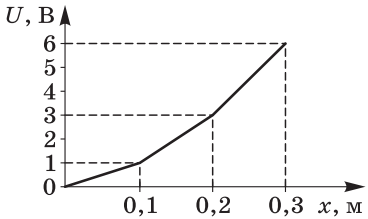
2. Проволока имеет сопротивление $R = 36$ Ом. Когда ее разрезали на n равных частей и соединили эти части параллельно, то общее сопротивление стало $R_0 = 1{,}0$ Ом. На сколько частей n разрезали проволоку?

3. Два резистора сопротивлениями $R_1 = 5{,}0$ Ом, $R_2 = 10$ Ом соединены последовательно. Определите отношение напряжений $\frac{U_1}{U_2}$ на этих резисторах при прохождении по ним электрического тока.

4. Электрическую лампу сопротивлением $R = 0{,}24$ кОм, рассчитанную на напряжение $U_1 = 0{,}12$ кВ, необходимо подключить к сети напряжением $U_2 = 0{,}22$ кВ. Какой длины нихромовый проводник ($\rho = 1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Ом · м) площадью поперечного сечения $S = 1{,}0$ мм^2 нужно включить последовательно с лампой?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

5. На рисунке изображен график падения напряжения на трех последовательно соединенных проводниках одинаковой длины. Вычислите отношение сопротивлений этих проводников.



ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Ученик по ошибке включил вольтметр вместо амперметра при измерении силы тока в цепи электролампы. Что при этом произойдет с накалом нити лампы?

2. Что произойдет, если по ошибке включить амперметр вместо вольтметра при измерении напряжения?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 27

Законы Ома для однородного и неоднородного участков цепи, полной цепи

ПОВТОРЕНИЕ

Участок цепи, на котором есть источник тока, называют **неоднородным участком цепи**.

Закон Ома для полной цепи: сила тока в полной цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе источника тока и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи:

$$I = \mathscr{E}\frac{1}{R+r}.$$

Максимально возможный ток через источник называют также **током короткого замыкания ($I_к$):**

$$I_к = \mathscr{E}\frac{1}{r}.$$

Закон Ома для неоднородного участка цепи: падение напряжения на неоднородном участке цепи равно произведению силы тока I на сопротивление участка цепи R:

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathscr{E}.$$

ЗАДАНИЯ

1. Можно ли сделать короткое замыкание, ремонтируя комнатный выключатель электрического освещения?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

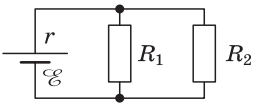
2. При присоединении к батарейке, ЭДС которой $\mathscr{E} = 3{,}0$ В, резистора сопротивлением $R = 20$ Ом падение напряжения на нем оказалось $U = 2{,}0$ В. Определите силу тока короткого замыкания $I_к$ для данной батарейки.

3. Когда к источнику тока подключили резистор сопротивлением $R_1 = 5{,}0$ Ом, сила тока в нем $I_1 = 1{,}0$ А, а когда подключили резистор сопротивлением $R_2 = 15$ Ом, то $I_2 = 0{,}50$ А. Определите ЭДС $\mathscr{E}$ источника и его внутреннее сопротивление r.

4. Какую наибольшую разность потенциалов можно получить, имея два одинаковых конденсатора и батарейку, ЭДС который $\mathscr{E}$?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

5. В схеме, изображенной на рисунке, $\mathscr{E} = 20$ В, $R_1 = 1{,}0$ Ом, $R_2 = 4{,}0$ Ом, а сила тока через резистор сопротивлением R_1 — $I_1 = 4{,}0$ А. Найдите внутреннее сопротивление r источника ЭДС.



ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Почему при коротком замыкании электрические лампы в помещении гаснут?

2. Почему батарейка делается так, чтобы ее клеммы не касались друг до друга?

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 28 Определения удельного сопротивления проводника

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Цель: определение удельного сопротивления проводника.

Приборы и принадлежности: амперметр (миллиамперметр), вольтметр, штангенциркуль, источник тока, реостат, резистор (проволока из вещества с большим удельным сопротивлением), измерительная лента, ключ, соединительные провода.

Расчетная формула

Удельное сопротивление вещества ρ проводника можно определить, используя формулы:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad S = \frac{\pi d^2}{4},$$

где R — сопротивление проводника, l — его длина, S — площадь поперечного сечения.

Сопротивление проводника можно определить, используя закон Ома для участка цепи:

$$R = \frac{U}{I}.$$

В этом случае формула для расчета удельного сопротивления проводника будет иметь вид:

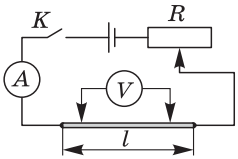
$$\rho = \frac{\pi R d^2}{4l} = \frac{\pi U d^2}{4Il}.$$

Порядок выполнения работы

1. Измерьте длину и диаметр проволоки, вычислите площадь ее поперечного сечения.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

2. Соберите электрическую цепь, соединив последовательно источник тока, резистор (проволоку), реостат, амперметр и ключ (см. рис.).



3. Присоедините параллельно проволоке вольтметр.

4. Замкните ключ и с помощью реостата добейтесь одинаковой силы тока I в цепи; стрелка миллиамперметра при этом должна отклоняться на всю шкалу. Измерьте силу тока I и напряжение U на концах резистора.

5. Вычислите удельное сопротивление вещества проволоки.

6. Рассчитайте относительную ε и абсолютную $\Delta\rho$ погрешности измерения удельного сопротивления проводника:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\rho}{\langle\rho\rangle} = \frac{\Delta U}{\langle U\rangle} + \frac{2\Delta d}{\langle d\rangle} + \frac{\Delta I}{\langle I\rangle} + \frac{\Delta l}{\langle l\rangle},$$

$$\Delta\rho = \varepsilon \cdot \langle\rho\rangle.$$

7. Запишите значение удельного сопротивления проводника в виде:

$$\rho = \langle\rho\rangle \pm \Delta\rho,\ \varepsilon = \ldots\ \%.$$

Таблица измерений и вычислений

№ опыта	l, м	d, м	U, В	I, А	ρ, Ом · м
1					
2					
3					
4					
5					
Среднее значение					

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ОТВЕТЬТЕ НА ВОПРОСЫ

1. Почему для изготовления нагревательных элементов применяют проводники с большим удельным сопротивлением, а для соединительных проводников — с малым?

2. Каким должно быть удельное сопротивление вещества для плавкого предохранителя? Ответ обоснуйте.

3. Почему электрические провода и контакты часто изготавливают из алюминия или меди?

Занятие 29

Измерение силы тока и напряжения. Шунт и добавочное сопротивление

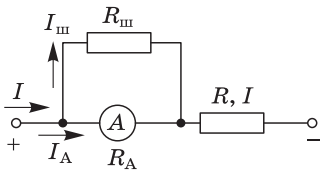
ПОВТОРЕНИЕ

Цена деления прибора — это значение наименьшего деления его шкалы.

Каждый электроизмерительный прибор, в том числе амперметр и вольтметр, рассчитан на определенный предел измерения, который нельзя превышать во избежание его порчи. Однако, расширив диапазон измерений прибора, можно измерить значение, превышающее максимально допустимое для него.

Силу тока измеряют **амперметром**. Он включается в цепь последовательно с тем элементом цепи, силу тока в котором нужно измерить.

Для расширения диапазона измерений амперметра параллельно ему присоединяют резистор (см. рис.). Он имеет специальное название — **шунт**. При этом сопротивление шунта $R_ш$ подбирается таким образом, чтобы сила тока, проходящего через амперметр, не превышала максимально допустимое значение I_A.



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Сила тока в неразветвленной части цепи

$$I = I_A + I_ш,$$

где $I_ш$ — сила тока, проходящего через шунт.

Поскольку амперметр и шунт соединены параллельно, то падения напряжений на них одинаковы:

$$I_A R_A = I_ш R_ш.$$

Отсюда $I_ш = I_A \dfrac{R_A}{R_ш}$.

Подставив выражение для силы тока $I_ш$ в соотношение для силы тока в цепи, получим

$$I = I_A \left(1 + \frac{R_A}{R_ш}\right).$$

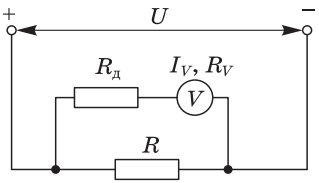
Если необходимо измерить силу тока, в n раз большую, чем та, на которую рассчитан амперметр, т. е. $\dfrac{I}{I_A} = n$, то к амперметру необходимо присоединить шунт сопротивлением

$$R_ш = \frac{R_A}{n-1}, \text{ или } R_ш = \frac{I_A R_A}{I - I_A}.$$

Следует иметь в виду, что при шунтировании сопротивлением $R_ш$ цена деления прибора, позволяющего измерять в n раз большую силу тока, также увеличится в n раз.

Таким образом, для существенного увеличения диапазона измерений амперметра необходимо, чтобы сопротивление шунта $R_ш$ было намного меньше сопротивления амперметра R_A ($R_ш << R_A$). (Напомним, что сопротивление амперметра мало, так как его подключение не должно существенным образом влиять на значение силы тока в цепи.)

Для измерения напряжения на участке цепи используется **вольтметр**. Вольтметр включают параллельно участку цепи (элементу), на котором измеряют напряжение.



Для увеличения пределов измерения напряжения вольтметра последовательно с ним включают резистор сопротивлением $R_д$, который

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ЗАДАНИЯ

1. Амперметр, внутреннее сопротивление которого $r = 20$ мОм, совместно с шунтом, сопротивление которого $R_ш = 5{,}0$ мОм, может измерять силу тока до $I = 10$ А. Определите максимальную силу тока, которую может измерить данный амперметр.

2. К гальванометру, сопротивление которого $r = 300$ Ом, присоединили шунт, понижающий его чувствительность в $k = 10$ раз. Определите сопротивление резистора, который необходимо включить последовательно с шунтированным гальванометром, чтобы общее сопротивление не изменилось.

3. Вольтметр, включенный последовательно с резистором сопротивлением $R = 10$ Ом, показывает напряжение $U = 50$ В при напряжении на концах цепи $U_0 = 120$ В. Определите показание вольтметра, если включить его последовательно с резистором

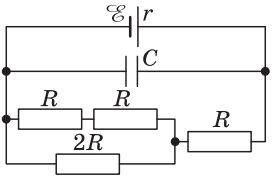
© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

ЗАДАНИЯ

1. Определите КПД источника тока при силе тока в цепи I = = 0,50 А, если сила тока короткого замыкания $I_к$ =1,6 А.

2. Определите КПД аккумулятора при замыкании его на резистор сопротивлением R_2 = 20 Ом, если при замыкании его на резистор сопротивлением R = 10 Ом его КПД η = 50 %.

3. Определите сопротивление R резисторов в цепи, если напряженность электрического поля между обкладками конденсатора $E = 2{,}0\ \frac{кВ}{м}$, ЭДС источника $\mathscr{E}$ = 10 В, внутреннее сопротивление r = 0,40 Ом, расстояние между обкладками конденсатора d = 0,25 см.



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Второй закон Фарадея: электрохимический эквивалент пропорционален химическому эквиваленту данного вещества:

$$K = C\frac{M}{Z}.$$

Оба закона Фарадея можно выразить одной формулой:

$$m = \frac{M}{Z}\frac{q}{F},$$

где $F = \frac{1}{C} = eN_A = 9{,}65 \cdot 10^4 \ \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$ — **постоянная Фарадея**, численно равная заряду, который должен пройти через электролит, чтобы на электроде выделился 1 моль одновалентного вещества.

ЗАДАНИЯ

1. Определите промежуток времени Δt, который необходим для разложения воды массой $m = 2{,}0$ г при силе тока $I = 2{,}0$ А.

2. Определите массу m алюминия, выделившегося на катоде при электролизе, если затрачено количество энергии $W = 40$ кВт · ч при напряжении между электродами $U = 12$ В. КПД установки $\eta = 90$ %.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

2. Запишите выражение для индукции магнитного поля на расстоянии x от прямого провода с током, по которому протекает ток силой I.

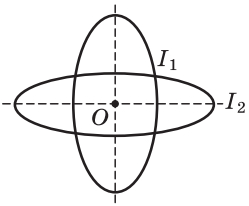
3. Определите максимальную силу тока I в длинном прямолинейном проводнике в вакууме, если индукция магнитного поля на расстоянии $r = 30$ см от проводника не должна превышать $B_{max} = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ Тл.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

2. Определите индукцию $\vec{B}$ магнитного поля в вакууме посередине между двумя длинными параллельными проводами на расстоянии $l = 10$ см один от другого, выразив ее через силу тока I в одном из проводников, если по другому течет ток $I_1 = 10$ А: а) в том же направлении; б) в противоположном направлении.

3. Определите индукцию магнитного поля в точке, равноудаленной от двух скрещенных под прямым углом бесконечно длинных прямых проводников, находящихся на расстоянии $d = 20$ см друг от друга, если по ним проходят токи силами $I_1 = 60$ мА и $I_2 = 80$ мА.

4. Два круговых проводника одинакового радиуса с общим центром O расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях и создают в этой точке индукцию магнитного поля $B = 20$ мТл. Определите индукцию B_2 магнитного поля второго проводника в точке O и силу тока I_2 в нем, если индукция магнитного поля первого проводника с током силой $I_1 = 8{,}0$ А в этой же точке составляет $B_1 = 16$ мТл.



© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

3. Определите изменение магнитного потока через контур в форме равностороннего треугольника со стороной $a = 50$ см, расположенного в магнитном поле индукцией $B = 100$ мТл так, что линии индукции поля перпендикулярны плоскости контура, если, не меняя плоскости расположения, преобразовать его в квадрат.

4. Определите заряд, проходящий через металлическое кольцо диаметром $d = 20$ см и сопротивлением $R = 2{,}0$ Ом, если кольцо, лежащее на столе, перевернули. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли $B_{\perp} = 5{,}0 \cdot 10^{-5}$ Тл.

5. Катушка квадратного сечения со стороной $a = 5{,}0$ см содержит $N = 100$ витков провода и расположена перпендикулярно однородному магнитному полю индукцией $B = 0{,}60$ Тл. Катушку быстро выводят из поля с постоянной скоростью, перемещая перпендикулярно $\vec{B}$, в область, где индукция магнитного поля B равномерно уменьшается до нуля за промежуток време-

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Содержание

От авторов 3

Занятие 1. Применение приближенных вычислений при решении задач 5

Занятие 2. Обработка результатов измерений. Погрешности косвенных измерений 9

Занятие 3. Микропараметры, макропараметры и их определение 15

Занятие 4. Уравнение Клапейрона — Менделеева 19

Занятие 5. Закон Дальтона 22

Занятие 6. Графические задачи 25

Занятие 7. Поверхностное натяжение. Смачивание и несмачивание. Капиллярные явления 30

Занятие 8. Изучение капиллярных явлений 34

Занятие 9. Свойства насыщенного и ненасыщенного пара ... 37

Занятие 10. Агрегатные состояния и фазовые превращения. Уравнение теплового баланса 42

Занятие 11. Определение удельной теплоты плавления льда 45

Занятие 12. Тепловое расширение тел 47

Занятие 13. Вода и ее свойства 50

Занятие 14. Теплоемкость газа 54

Занятие 15. Второе начало термодинамики. Тепловые двигатели 57

Занятие 16. Тепловые двигатели (конференция) 61

Занятие 17. Теоремы Карно 61

Занятие 18. Холодильник, кондиционер, тепловой насос ... 64

Занятие 19. Электрический заряд и электрическое поле 67

Занятие 20. Силовая и энергетическая характеристики поля 70

Занятие 21. Принципы суперпозиции напряженностей и потенциалов электростатических полей 74

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Занятие 22. Графические задачи для электростатических полей 77
Занятие 23. Электроемкость. Электроемкость конденсаторов 80
Занятие 24. Измерение электроемкости конденсатора 84
Занятие 25. Соединения конденсаторов 86
Занятие 26. Напряжение, сила тока, электрическое сопротивление и проводимость 90
Занятие 27. Законы Ома для однородного и неоднородного участков цепи, полной цепи 94
Занятие 28. Определение удельного сопротивления проводника 97
Занятие 29. Измерение силы тока и напряжения. Шунт и добавочное сопротивление 99
Занятие 30. КПД источника тока. Конденсатор в цепи постоянного тока 104
Занятие 31. Электрический ток в растворах и расплавах электролитов 107
Занятие 32. Магнитное поле электрического тока. Измерение индукции магнитного поля 110
Занятие 33. Принцип суперпозиции магнитных полей 114
Занятие 34. Закон электромагнитной индукции 117

Ответы 121

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»

Учебное издание

ФАКУЛЬТАТИВНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Жилко Виталий Владимирович
Маркович Леонид Григорьевич

ФИЗИКА. 10 КЛАСС
Решение творческих задач
Рабочая тетрадь

Пособие для учащихся общеобразовательных учреждений
с белорусским и русским языками обучения

2-е издание

Ответственный за выпуск *Д. Л. Дембовский*

Подписано в печать 27.10.2011. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 5,41. Тираж 2100 экз. Заказ

Общество с дополнительной ответственностью «Аверсэв».
ЛИ № 02330/0003944 от 03.02.2009. Ул. Н. Олешева, 1, офис 309, 220090, Минск.
E-mail: info@aversev.by; www.aversev.by
Контактные телефоны (017) 268-09-79, 268-08-78.
Для писем: а/я 3, 220090, Минск.

Республиканское унитарное предприятие
«Издательство “Белорусский Дом печати”».
ЛП № 02330/0494179 от 03.04.2009.
Просп. Независимости, 79, 220013, Минск.

© НМУ «Национальный институт образования»
© ОДО «Аверсэв»