***4. Контрольные работы***

***4.1. Общие методические указания***

* Номер варианта контрольной работы определяется последней цифрой номера зачетной книжки студента. контрольную работу следует выполнять в отдельной тетради, обязательно полностью переписав условие задачи и оставляя место на полях для замечаний рецензента. На титульном листе необходимо указать номер контрольной работы, наименование дисциплины, фамилию и инициалы студента, шифр и домашний адрес.
* приступая к решению задачи, хорошо вникните в ее смысл и постановку вопроса. Запишите кратко данные, переведите единицы измерения физических величин в СИ.
* Если в задаче присутствуют векторные величины, то, как правило, необходимо сделать рисунок, поясняющий сущность задачи.
* Решать задачу рекомендуется сначала в общем виде, то есть в буквенных обозначениях величин, приведенных в условии задачи. Решение в общем виде позволяет установить определенную закономерность, показывающую, как зависит искомая величина от заданных величин.
* Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность, так как неверная размерность является признаком ошибочности решения.
* Приступая к вычислениям, следует помнить правила действий с приближенными числами и, получив численный ответ, рекомендуется оценить его правдоподобность. Такая оценка может иногда обнаружить ошибочность полученного результата.
* Решение задач необходимо сопровождать исчерпывающими пояснениями, указывать те основные законы и формулы, на которых основывается решение задачи.
* В конце контрольной работы следует указать учебники (или учебные пособия), использованные при решении задачи.

Примечание. Контрольные работы, выполненные не по своему варианту, не засчитываются.

***4.2. Варианты контрольных заданий и методические указания***

* Законы движения удобнее записывать в координатной форме, для чего рекомендуется выбрать систему координат так, чтобы математическое решение было наиболее простым.
* Задачи по механике, как правило, следует сопровождать поясняющим рисунком.
* При использовании законов Ньютона особое внимание надо уделять анализу сил, действующих на рассматриваемое тело, который должен включать: происхождение сил – в результате взаимодействия с каким телом возникла данная сила; природу силы – тяготение, упругость, трение и т.п.; характер – от каких величин и как действует данная сила; точку приложения силы.
* Уравнения второго закона Ньютона следует записывать вначале в векторной форме, а затем переходить к скалярным равенствам и решать систему уравнений.
* При составлении уравнений на основании закона сохранения импульса следует помнить о векторном характере закона, а также обращать внимание на то, что скорости всех рассматриваемых тел должны отсчитываться от относительно одной и той же системы отсчета.
* При определении изменения энергии следует знать, что изменение потенциальной энергии тела в поле консервативных сил равно работе сил поля, взятой с обратным знаком. Сама же потенциальная энергия не может быть вычислена без выбора начала отсчета.
* При использовании закона сохранения момента импульса следует рассматривать моменты импульса всех тел системы относительно одной оси.
* Решая задачи темы «Механические колебания», необходимо начинать, как всегда, с анализа сил, действующих на тело или систему тел. В задачах обычно рассматриваются лишь одномерные колебания, поэтому для их описания достаточно одной координаты. В качестве гармонической функции в законе движения можно использовать либо синус, либо косинус. Выбор гармонической функции обычно определяется начальными условиями.

***Примеры решения задач***

**Пример 1.** Движение материальной точки в плоскости *ху* описывается законом *х* = *аt*; *у* = *Аt*(1 + *Вt*); где *А* и *В* – положительные постоянные. определите: 1) уравнение траектории материальной точки; 2) радиус – вектор точки; 3) скорость точки; 4) ускорение точки.

**Дано:** *х* = *аt*; *у* = *Аt*(1 + *Вt*).

**Найдите:** *у*(*х*); ; υ(*t*); *а*(*t*).

**Решение.** *х* = *аt*. Выразим время. , подставим в выражение для *у*, получим: *у* = *Аt*(1 + *Вt*) = . Это и есть уравнение траектории.

Радиус - вектор , т.е. получена зависимость радиуса – вектора от времени.

По определению . Значение скорости по модулю: .

Ускорение равно ; *а =* 2*АВ* = const, т.е. ускорение не зависит от времени.

**Пример 2.** Точка движется по окружности со скоростью υ = α*t*, где α = 0,5 м/с2. Найдите ее полное ускорение в момент, когда она пройдет *n* = 0,1 длины окружности после начала движения.

**Дано:** υ = α*t*, α = 0,5 м/с2, *n* = 0,1.

**Найдите:** *а*.

**Решение.** Полное ускорение равно

,

где *an* и *а*τ - нормальное и тангенциальное ускорения соответственно. Нормальное ускорение точки зависит от времени по закону



.

Тангенциальное ускорение определяется как , т.е. является постоянной величиной. Найдем время *t*0, за которое точка пройдет *n*-ю часть окружности. Зависимость пройденного пути от времени выражается формулой

.

Искомое время *t*0 можно найти из условия . Откуда  или . Тогда *an* = 4π*n*α.

Полное ускорение

 (м/с2).

**Пример 3.** Шар массой *m*1 = 20 г, движущийся горизонтально с некоторой скоростьюυ1, столкнулся с неподвижным шаром массой *m*2 = 40 г. Удар шаров абсолютно упругий, прямой, центральный. Какую долю ε своей кинетической энергии первый шар передал другому?

**Дано:** *m*1 = 20 г = 0,02 кг; *m*2 = 40 г = 0,04 кг.

**Найдите:** ε.

**Решение.** Долю энергии ε, переданной первым шаром второму, можно найти как

, (1)

где *Ек*1 - кинетическая энергия первого шара до удара; *Ек*2 и *u*2 - кинетическая энергия и скорость второго шара после удара.

По закону сохранения импульса

*m*1υ1 = *m*1*u*1 + *m*2*u*2, (2)

где *u*1 - скорость первого шара после удара.

По закону сохранения механической энергии

 (3)

Решая совместно уравнения (2) и (3), найдем скорость

 (4)

Подставим выражение (4) в (1), сократим на υ1 и *m*1 и получим

.

**Пример 4.** Платформа в виде сплошного диска радиусом 1,5 м и массой 180 кг вращается по инерции около вертикальной оси с частотой *n* = 10 мин-1. В центре платформы стоит человек массой 60 кг. Какую линейную скорость относительно пола будет иметь человек, если он перейдет на край платформы?

**Дано:** *R =* 1,5 м;*m*1 = 180 кг; *n* = 10 мин-1; *m*2 = 60 кг.

**Найдите:** υ.

**Решение.** Так как платформа вращается по инерции, то момент внешних сил относительно оси вращения *z*, совпадающий с геометрической осью платформы, равен нулю. При этом условии момент импульса *Lz* системы «платформа-человек» остается постоянным:

*Lz*= *Iz*ω = const, (1)

где *Iz* - момент инерции платформы с человеком относительно оси *z*; ω - угловая скорость платформы.

момент инерции системы равен сумме моментов инерции тел, входящих в состав системы, поэтому

*Iz*= *I*1*+ I*2,

где *I*1 - момент инерции платформы; *I*2 - момент инерции человека.

С учетом этого равенство (1) имеет вид:

(*I*1*+ I*2)ω = const,

или

(*I*1*+ I*2)ω =  , (2)

где величины, стоящие в левой части уравнения, относятся к начальному состоянию системы, в правой - к конечному состоянию.

момент инерции ***платформы*** (сплошного диска) относительно оси *z* при переходе человека не меняется:

*I*1 =  = .

момент инерции ***человека*** относительно той же оси будет меняться. Если рассматривать человека как материальную точку, то его момент инерции *I*2 в начальном положении (в центре платформы) можно считать равным нулю. В конечном положении (на краю платформы) момент инерции человека

 = *m*2*R*2.

Подставим в формулу (2) найденные выражения моментов инерции, а также выразим начальную угловую скорость ω вращения платформы с человеком через частоту вращения *т* (ω = 2π*n*) и конечную угловую скорость ω′ - через линейную скорость υ человека относительно пола :



После сокращения на *R*2 и простых преобразований находим скорость:

.

Учитывая, что *n =*10 мин-1 =  с-1, получим:

.

**Пример 5.** Материальная точка массой 0,01 кг совершает гармонические колебания с периодом 2 c. Полная энергия колеблющейся точки равна 10–4 Дж. Найдите амплитуду колебания, напишите уравнение колебания, найдите наибольшее значение силы, действующей на точку.

**Дано:** *m* = 0,01 кг; *T* = 2 c; *Е*полн = 10–4 Дж.

**Найдите:** *А*, *x*(*t*), *F*max.

**Решение.** Уравнение гармонических колебаний имеет вид

*x* = *A*sin(ω*t* + ϕ0).

Скорость υ колеблющейся точки - это первая производная от смещения по времени

.

Кинетическая энергия колеблющейся точки будет

.

Полная энергия точки равна максимальному значению кинетической энергии (полная энергия принимает максимальное значение, когда cos2(ω*t* + ϕ0) = 1).

.

Отсюда определим амплитуду колебаний точки

(м).

Значение циклической частоты (с–1).

Уравнение колебаний будет иметь вид *x* = 0,045⋅sin(π*t* + ϕ0).

Ускорение колеблющейся точки - это первая производная от скорости по времени

.

Максимальное значение ускорения будет при условии, когда

, *a*max = *A*⋅ω2,

а наибольшее значение силы будет

*F*max = *m*⋅*a*max = *m*⋅*A*ω2 = 0,01⋅0,045⋅π2 ≈ 4,4⋅10–3 (Н).

***Контрольная работа №1***

***Вариант № 2***

* + 1. Материальная точка, находящаяся в покое, начала двигаться по окружности с постоянным тангенциальным ускорением 0,6 м/с2. Определите нормальное и полное ускорения точки в конце пятой секунды после начала движения. сколько оборотов сделает точка за это время, если радиус окружности 5 см?
    2. Начальная кинетическая энергия мяча массой 0,25 кг, подброшенного вертикально вверх с поверхности Земли, равна 49 дж. На какой высоте (в метрах) его кинетическая энергия будет равна потенциальной? потенциальную энергию на поверхности Земли считайте равной нулю. сопротивление воздуха не учитывайте.
    3. Абсолютно упругий шар массой *m*1  = 1,8 кг сталкивается с покоящимся упругим шаром. В результате центрального прямого удара шар потерял 36% своей кинетической энергии. Определите массу *m*2.
    4. Сплошной цилиндр массой *m*  = 4 кг катится без скольжения по горизонтальной поверхности. Линейная скорость υ оси цилиндра равна 1 м/с. Определите полную кинетическую энергию цилиндра.
    5. На каком расстоянии от центра Земли находится точка, в которой напряженность суммарного гравитационного поля Земли и Луны равна нулю? Принять, что масса земли в 81 раз больше массы луны и, что расстояние от центра Земли до центра Луны равно 60 радиусам Земли.
    6. Какова скорость электрона, масса которого *m* превышает его массу покоя *m*0 в 1,4⋅104раз? с = 3⋅108м/с.
    7. Уравнение колебаний точки в виде *х* = 4⋅sin2*t*(длина выражена в сантиметрах, время в секундах). Определите максимальные скорость и ускорение точки.
    8. груз массой *m*  = 0,5 кг, подвешенный к пружине, жесткость которой *k* = 32 Н/м, совершает затухающие колебания. Определите логарифмический декремент затухания δ, коэффициент затухания β, период колебаний *Т*, если за время *N* = 100 колебаний амплитуда уменьшилась в *n* = 16 раз.

***Контрольная работа №2***

* Задачи этого раздела физики зачастую имеют расчетный характер. Поэтому очень важно сразу перевести единицы измерения всех данных в условии физических величин в СИ, а далее задачи обязательно довести до числового ответа и проанализировать его.
* Стандартные задачи на распределения Максвелла и Больцмана сводятся к определению средних физических величин и к нахождению числа частиц, обладающих некоторым свойством.
* Основная задача термодинамики равновесных процессов заключается в нахождении всех макросостояний системы. Если начальное и конечное состояния системы известны, то можно определить изменение ее внутренней энергии (при этом часто используют еще и уравнение Клапейрона - Менделеева).
* Если, кроме того, известны и промежуточные состояния системы (например, известен процесс), то можно найти работу, совершенную системой, рассчитать полученное (или отданное) системой количество теплоты.
* Основные теоретические вопросы, знать которые необходимо для решения задач этой контрольной работы, связаны с молекулярно - кинетической трактовкой (МКТ) давления, кинетической энергией хаотического движения молекул, скоростями молекул, средней длиной свободного пробега, основным уравнением МКТ, законом распределения Максвелла по величине скорости молекул, распределением Больцмана, первым началом термодинамики и его применением к изопроцессам (использование дифференциальной формы записи первого начала термодинамики целесообразно только в тех случаях, когда с помощью этого закона и уравнения состояния нужно найти уравнения процесса или теплоемкость газа).

***Примеры решения задач***

**Пример 1.** чему равны средние кинетические энергии поступательного и вращательного движения молекул, содержащихся в 2 кг водорода при температуре 400 К?

**Дано:** *m =*2 кг; *Т* = 400 К; *M* = 2⋅10-3 кг/моль.

**Найдите:** <*Е*пост>; <*Е*вр>.

**Решение.** На одну степень свободы молекулы приходится энергия <*Еi*> = *kT*. Поступательному движению приписывается три (*i* = 3), а вращательному две (*i* = 2) степени свободы. Тогда энергия одной молекулы <*Е*пост> = *kT*; <*Е*вр> = *kT*. Число молекул в массе газа, равной *m*: *N* = *N*A, где *N*A – число Авогадро.

<*Е*пост> = *N*A⋅*kT* =  *RT* , где *R* = *N*A⋅*k*.

<*Е*пост> = = 49,86⋅105 (Дж) = 4986 (кДж).

<*Е*вр> = *RT* =  = 33,24⋅105 (Дж) = 3324 (кДж).

**Пример 2.** Азот массой 2 кг охлаждают при постоянном давлении от 400 К до 300 К. Определите изменение внутренней энергии, внешнюю работу и количество выделенной теплоты.

**Дано:** *m =*2 кг; *M* = 28⋅10-3 кг/моль; *Т*1 = 400 К; *Т*2 = 300 К.

**Найдите:** Δ*U*, *A*, *Q*.

**Решение.** Изменение внутренней энергии газа (считаем азот идеальным газом) найдем по формуле

,

где *m* - масса газа; *М* - молярная масса; *сV* - молярная теплоемкость при постоянном объеме; *Т*1 - начальная температура; *Т*2 - конечная температура. Для всех двухатомных газов .

Тогда  (1)

Количество теплоты, выделяющееся при охлаждении газа при постоянном давлении, равно

, (2)

где *ср* - молярная теплоемкость при постоянном давлении; для всех двухатомных газов . С учетом *ср* формулу (2) запишем в виде

. (3)

Работа сжатия газа при изобарном процессе *А* = *р*⋅Δ*V*, где Δ*V* = *V*2 - *V*1 - изменение объема, которое найдем из уравнения Менделеева - Клапейрона. При изобарном процессе *р* = const:

; (4)

. (5)

Почленным вычитанием выражения (4) из (5) находим:

.

Следовательно,

. (6)

Подставляя числовые значения в формулы (1), (3) и (6), получим:

 (кДж);

 (кДж);

 (кДж).

**Пример 3.** Лед массой 2 кг, находящийся при температуре -10°С, нагрели и превратили в пар. Определите изменение энтропии.

**Дано:** *m* = 2 кг; *Т*1 = 263 К; *Т*2 = 273 К; *Т*3 = 373 К; *с*1 = 2.1⋅103 Дж/(кг⋅К); λ = 3.35⋅105 Дж/кг; *с*2 = 4.19⋅103 Дж/(кг⋅К); *r* = 2.26⋅106 Дж/кг.

**Найдите:** Δ*S*.

**Решение.** Изменение энтропии определяется по формуле

.

Общее изменение энтропии равно сумме , где Δ*Si* - изменения энтропии, происходящие на отдельных этапах про­цесса: .

**1.** Изменение энтропии Δ*S*1 происходит при нагревании льда от начальной температуры *Т*1 = 263 К до температуры плавления *Т*2 = 273 К:

, так как *dQ*1 = *mc*1*dT*, то ,

где *m* - масса льда; *с*1 - удельная теплоемкость льда.

**2.** Изменение энтропии Δ*S*2 происходит при плавлении льда. В этом случае Δ*Q*2 = *m*⋅λ. Тогда , где *Т*2 - температура плавления льда; λ - удельная теплота плавления.

**3.** Изменение энтропии Δ*S*3 происходит при нагревании воды от температуры *Т*2 до температуры кипения *Т*3 = 373 К. Величина Δ*S*3 вычисляется аналогично Δ*S*1: , где *с*2 - удельная теплоемкость воды.

**4.** Изменение энтропии Δ*S*4 происходит при испарении воды; так как Δ*Q* = *m*⋅*r*, то , где *r* - удельная теплота парообразования.

Общее изменение энтропии: 

.

***Контрольная работа № 2***

***Вариант № 2***

* + 1. Из баллона со сжатым кислородом израсходовали при постоянной тем­пе­ратуре такое его количество, что давление упало от 9,8 до 7,84 МПа. Какая доля кислорода израсходована?
    2. Сколько молекул азота находится в сосуде емкостью 1 л, если средняя квадратичная скорость движения молекул азота 500 м/с, а давление на стенки сосуда 1 кПа?
    3. Найдите изменение высоты Δ*h*, соответствующее изменению давления на Δ*р =*100 Па на некоторой высоте, где температура *Т =*220 К, давление *р =*25 кПа.
    4. Чему равно давление одноатомного газа, занимающего объем 2 л, если его внутренняя энергия равна 300 Дж? Результат представьте в атмосферах.
    5. Идеальный одноатомный газ массой 1 кг с молярной массой 4 г/моль нагревают так, что его температура, пропорциональная квадрату давления, возрастает от 300 К до 600 К. Определите работу, совершенную газом. Ответ представьте в килоджоулях.
    6. При адиабатном сжатии газа его объем уменьшился в 10 раз, а давление увеличилось в 21,4 раза. Определите отношение теплоемкостей *с*р/*с*v газа.
    7. Тепловая машина, рабочим телом которой является 1 моль идеального газа, совершает замкнутый цикл, изображенный на рисунке. Найдите КПД машины. Ответ представьте в процентах и округлите до целого числа.



* + 1. При температуре 250 К и давлении 1,013⋅103Па двухатомный газ занимает объем 80 л. Как изменится энтропия газа, если давление увеличить вдвое, а температуру повысить до 300 К?

***4.2. Варианты контрольных заданий и методические указания к выполнению контрольной работы № 3***

* Важнейшим законом электростатического поля является закон кулона, который справедлив для точечных и неподвижных зарядов.
* Для нахождения полей распределенных зарядов необходимо предварительно выделить дифференциально малые участки заряженного тела, которые можно принять за точечные заряды, и записать для них законы взаимодействия точечных зарядов. Затем применить правило интегрирования, с учетом заданных пределов и граничных условий.
* Основная задача электростатики заключается в расчете электрического поля, т.е. в расчете напряженности и потенциала поля по заданной конфигурации электрических зарядов. Методы расчета – принцип суперпозиции и теорема Гаусса (в интегральной форме).
* При использовании принципа суперпозиции электрических полей, создаваемых отдельными зарядами, необходимо обратить внимание на указание направлений векторов напряженности электрического поля на схемах или рисунках к задачам: вдоль линии от точки наблюдения к данному заряду, если он отрицательный, и в противоположном направлении, если заряд положительный. Результирующий вектор напряженности электрического поля находят по правилу сложения векторов. затем, выбрав систему координат, переходят от векторного к скалярному виду уравнений.
* Принцип суперпозиции позволяет найти потенциал как функцию координат. Далее, используя формулы дифференциальной связи, находят напряженность поля. В ряде случаев целесообразно определять независимо друг от друга и потенциал, и напряженность поля методом суперпозиции.
* Так как решение задачи для скалярной физической величины – потенциала электрического поля – более простое (нет необходимости находить проекции вектора напряженности), то в ряде случаев можно сначала найти решение для потенциала поля в заданной области, а затем использовать связь величины напряженности поля с градиентом потенциала.
* В задачах темы «Электроемкость. Энергия электростатического поля» рассматриваются вопросы внешнего воздействия на конденсаторы, связанного с изменением их электроемкости. При этом всегда предполагается, что любое перемещение зарядов, обусловленное изменением емкости системы, происходит настолько медленно, что потерями на джоулеву теплоту можно пренебречь.
* Для решения задач темы «Постоянный электрический ток» необходимо применять законы Ома и Джоуля-Ленца. Следует обратить внимание на различие между ЭДС, разностью потенциалов и напряжением. Например, на параллельных участках цепи, содержащих различные источники ЭДС, произведение *I*⋅*R* будет также различным. Фундаментальной величиной в явлении постоянного тока считается сила тока *I*. Найдя эту величину, можно определить любую другую – работу, мощность, энергию, количество теплоты и т.д.
* За основу расчета токов и падений напряжений в разветвленных цепях постоянного тока следует использовать правила Кирхгофа. Поэтому обязательно необходимо указать на схемах цепей выбранные Вами направления токов и знаки полюсов источника напряжения (ЭДС).

***Примеры решения задач***

**Пример 1.** В вершинах квадрата со стороной 0,1 м помещены заряды по 0,1 нКл. Определите напряженность и потенциал поля в центре квадрата, если один из зарядов отличается по знаку от остальных.

**Дано:** *q*1 = 10-10Кл; *q*2 = *q*3 = *q*4 = -10-10Кл; *а* = 0,1 м.

**Найдите:** *Е*, ϕ.

1

2

3

4

*а*

*Е*

4

*Е*

1

*Е*

2

*Е*

3

**Решение.** Напряженность  поля, создаваемого системой зарядов, равна геометрической сумме напряженностей  полей, создаваемых каждым из зарядов:



Как видно из рисунка

*Е* = *Е*1 + *Е*4,

а так как *Е*1 = *Е*4, то *Е* = 2*Е*1 или , где ε - диэлектрическая проницаемость (для воздуха ε = 1),  – расстояние от центра квадрата до заряда.

 (В/м).

Потенциал ϕ поля, создаваемого системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов ϕ полей, создаваемых каждым из зарядов:

ϕ = ϕ1 + ϕ2 + ϕ3 + ϕ4.

Учитывая знаки зарядов, имеем ϕ = ϕ3 + ϕ4, а так как ϕ3 = ϕ4, то ϕ = 2ϕ3.

(В).

**Пример 2.** Определите поток вектора напряженности электрического поля сквозь замкнутую шаровую поверхность, внутри которой находятся три точечных заряда +2, -3 и +5 нКл. Рассмотрите случаи, когда система зарядов находится в вакууме и в воде.

**Дано:** *q*1 = +2⋅10-9 Кл; *q*2 = -3⋅10-9 Кл; *q*3 = +5⋅10-9 Кл; ε1 = 1; ε2= 81.

**Найдите:** Ф*Е*.

**Решение.** В общем виде поток вектора напряженности ФЕ сквозь поверхность *s* равен

Ф*Е* = **,

где *Еn* - проекция вектора *Е* на нормаль *n* к поверхности, *Еn* = *Е*cosα.

Для шаровой поверхности, в центре которой помещен точечный заряд, α = 0, cosα = 1, следовательно, *Еn* = *Е*. в каждой точке шаровой поверхности *Е* - величина постоянная и определяется по формуле:

. (1)

тогда поток вектора напряженности Ф*Е* сквозь шаровую поверхность будет иметь вид:

Ф*Е* = *.* (2)

Подставляя (1) в (2), после преобразований для одного точечного заряда получаем

Ф*Е* = .

На основании теоремы Остроградского - Гаусса для системы зарядов полный поток вектора напряженности сквозь замкнутую поверхность произвольной формы (в том числе и шаровой) равен:

Ф*Е* = . (3)

Подставим в (3) числовые значения, получим:

а) в случае, когда заряды находятся в вакууме (ε1 = 1):

Ф*Е*1 = ;

Ф*Е*1 = .

б) в случае, когда заряды находятся в воде (ε2 = 81):

Ф*Е*2 = ;

Ф*Е*2 = .

**Пример 3.** Под действием силы притяжения 1 мН диэлектрик между обкладками конденсатора находится под давлением 1 Па. Определите энергию, объемную плотность энергии поля конденсатора, если расстояние между обкладками 1 мм.

**Дано:** *F* = 10–3 Н; *р* = 1 Па; *d* = 10–3 м.

**Найдите:** *W*, ω.

**Решение.** Известно, что давление

,

где *F* - сила, *s* - площадь. Сила *F*, с которой притягиваются обкладки конденсатора

,   где    .

Энергия поля конденсатора

.

Учитывая, что *U* = *E*⋅*d*, где *U* - напряжение на обкладках конденсатора, а , получим:

;

*W* = 10-3⋅10-3 = 10-6 (Дж).

Объемная плотность энергии:

 (Дж/м3).

**Пример 4.** сила тока в проводнике меня­ется со временем по закону *I = I*0*e-*α*t.* Начальная сила тока *I*0*=*20A*,* α = 102*c*-1, *R* = 2 Ом.Определите теплоту, выделив­шуюся в проводнике за время *t =* 10-2с.

**Дано:** *I = I*0*e-*α*t*; *I*0*=*20A; α = 102c-1; *R* = 2 Ом; *t =* 10-2с.

**Найдите:** *Q*.

**Решение.** В условии задачи задан закон изменения силы тока:

*I = I*0*e-*α*t*

По закону Джоуля – Ленца количество теплоты, выделяемое в проводнике при пропускании силы тока, определяется следующим выражением:

*dQ = I*2*Rdt*.

Проинтегрировав полученное выражение, получим:



После подстановки численных значений:



**Пример 5.** Лампа накаливания потребляет ток, равный 0,6 А. Температура вольфрамовой нити диаметром 0,1 мм равна 2200°С. Ток подводится медным проводом сечением 6 мм2. Определите напряженность электрического поля: 1) в вольфраме (удельное сопротивление при 0°С ρв = 55 нОм·м, температурный коэффициент сопротивления α = 0,0045°С-1); 2) в меди (ρм = 17 нОм·м).

**Дано:** *I =*0,6 А; *d =*10-4 м; *t* = 2200 К; *s* = 6⋅10-6 м2; *t*0*=*0 К; ρв0 = 55⋅10-9 Ом·м; α = 0,0045°С-1; ρм0 = 17⋅10-9 Ом·м.

**Найдите:** *Е*.

**Решение.** Напряженность поля в проводниках можно найти из закона Ома в дифференциальной форме:

,

здесь  – напряженность электрического поля, – вектор плотности тока, γ - удельная электропроводность проводника, γ = 1/ρ, где ρ – удельное сопротивление проводника. Для вольфрама удельное сопротивление указано в условии задачи при температуре 0°С. но поскольку температура равна 2200° С, то его удельное сопротивление находится из соотношения:

.

Таким образом, для вольфрама *Е*в = jвρtв, для меди *Е*м = jмρtм.

Плотность тока найдем по известной силе тока (одинаковой для меди и вольфрама) и площади поперечного сечения проводников:

*.*

Для вольфрама , для меди .

Окончательно получим:

.

(В/м) – для вольфрама.

; = 1,7·10-3 (В/м) = 1,7 (мВ/м) – для меди.

***Контрольная работа № 3***

***Вариант № 2***

* + 1. Два точечных заряда находятся в воздухе на расстоянии 0,2 м друг от друга. Заряды взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии нужно поместить эти заряды в масле, чтобы получить ту же силу взаимодействия? Диэлектрическая проницаемость масла равна 5, диэлектрическая проницаемость воздуха 1.
    2. Маленький шарик массой 0,3 г и зарядом 10 нКл подвешен на нити. К нему снизу подвели одноименный и равный ему заряд так, что сила натяжения нити уменьшилась в четыре раза. Чему равно при этом расстояние между зарядами?
    3. Тонкая длинная нить равномерно заряжена с линейной плотностью τ = 10 мкКл/м. Какова сила *F*, действующая на точечный заряд *q* = 10 нКл, находящийся на расстоянии *а* = 20 см от нити против ее середины?
    4. Найдите вектор напряженности  электрического поля, потенциал которого имеет вид , где  - постоянный вектор.
    5. От верхней пластины горизонтально расположенного заряженного плоского воздушного конденсатора падает дробинка массой *m*, несущая положительный заряд *q* = 2 мкКл. Напряженность электрического поля внутри конденсатора *Е* = 400 В/м, а расстояние между пластинами *d* = 4 см. скорость дробинки при подлете к нижней пластине равна υ = 4 м/с (влиянием силы тяжести пренебречь). Чему равна масса дробинки?
    6. Расстояние между пластинами плоского конденсатора *d* = 2 см, разность потенциалов *U* = 6 кВ. Заряд каждой пластины *q* = 10-8 Кл. Вычислите энергию поля конденсатора.

*V*

*A*

*K*

1 Ом



1,5 Ом

3 Ом

4 Ом

5 Ом

* + 1. До замыкания ключа *К* на схеме (см. рисунок) идеальный вольтметр *V* показывал напряжение 32 В. Внутреннее сопротивление 0,5 Ом. Что показывает идеальный амперметр *А* после замыкания ключа? Сопротивления резисторов указаны на рисунке.
    2. Сила тока в проводнике сопротивлением 100 Ом равномерно убывает с 10 А до 0 за 30 с. Определите количество теплоты, выделившееся в проводнике за это время.

***4.3. Варианты контрольных заданий и методические указания к выполнению контрольной работы № 4***

* Задачи охватывают темы: расчет магнитного поля в вакууме; расчет магнитного потока; действие магнитного поля на проводники с током и движущиеся заряды; магнитное поле в веществе; энергия магнитного поля; работа при повороте контура с током в магнитном поле.
* Расчет индукции магнитного производится на основании закона Био-Савара-Лапласа и принципа суперпозиции полей либо с применением теоремы о циркуляции вектора магнитной индукции . Во многих задачах от векторных соотношений надо перейти к скалярным, выбрав предварительно систему координат. проводник условно разбивается на участки, которые можно представить отрезком прямой линии либо дугой окружности. Для них выполняется интегрирование в соответствующих пределах.
* При решении задач, связанных с движением заряженных частиц в магнитном поле, нужно вспомнить правило векторного произведения. Здесь необходим рисунок, где были бы указаны направление вектора , вектора скорости , направление силы Лоренца. Если скорости частиц соизмеримы со скоростью света в вакууме, то следует учесть релятивистский эффект возрастания массы со скоростью и неприменимость формул классической механики.
* Физический анализ задач на электромагнитную индукцию уместно начинать с выяснения причин, вызывающих изменение магнитного потока, причин возникновения направленного движения зарядов. Это позволит найти знак ЭДС индукции с помощью правила ленца. Далее следует выяснить, в каком проводнике возникает ЭДС индукции. Если проводник замкнутый, магнитный поток сквозь который изменяется, то его целесообразно выразить как функцию времени. И тогда ЭДС находится дифференцированием этой функции. Если проводник движется в магнитном поле, то под изменением магнитного потока *d*Ф следует понимать абсолютное значение магнитного потока, пересеченного проводником за время *dt* его движения.
* В задачах, где рассматриваются явления самоиндукции и взаимоиндукции, следует обращать внимание на то, что индуктивность *L* и взаимная индуктивность *М* зависят от геометрии проводников, их взаимного расположения и магнитных свойств среды.
* Решение задач на расчет магнитного поля в ферромагнетиках возможно при наличии графика (или таблиц) зависимости *В* от *Н* для данного ферромагнетика, которые обычно приведены в справочных материалах задачников по курсу общей физики.

***Примеры решения задач***

**Пример 1.** Бесконечно длинный провод изогнут провод так, как показано на рисунке. Радиус *R* дуги окружности равен 10 см. определите величину магнитной индукции поля, создаваемого в точке *О* током *I* = 80 А.

**Дано:** *R =*10 см = 0,1 м; *I* = 80 А.

**Найдите:** *В*.

**Решение.** магнитную индукцию  в точке *О* найдем, используя принцип суперпозиции магнитных полей. Разобьем условно провод на три части: на два полубесконечных прямых провода и на дугу полуокружности. Используя правило буравчика, определим, что все векторы , ,  направлены в одну сторону. В проекции на ось z можно записать:

*х*

*у*

*z*

*О*



*I*

*В* = *В*1 + *В*2 + *В*3 .

Так что точка *О* лежит на оси одного из проводов (расположенного вдоль оси *Ох*), то для него

*В*3 = 0.

Магнитная индукция в центре кругового тока находится по формуле:

.

Магнитное поле создается лишь половиной такого кругового тока, поэтому запишем:

.

Для магнитной индукции, создаваемой прямым проводником конечной длины, имеется выражение:

.

Для нашего случая (полубесконечный провод):

, cos α1 = 0, α2 →π, cos α1 = -1.

Кратчайшее расстояние от точки наблюдения до провода *d* равно *R*. Поэтому, предыдущее выражение можно переписать в виде:

.

Окончательно получим:

.

(Тл).

**Пример 2.** Протон движется в магнитном поле напряженностью 105 А/м по окружности радиусом 2 см. Найдите кинетическую энергию протона.

**Дано:** *Н* =105 А/м; *r* = 0,02 м; *m* = 1,67⋅10–27 кг; μ = 1;

μ0 = 4π⋅10–7Гн/м; *q* = 1,6⋅10–19 Кл.

**Найдите:** *Е*.

**Решение.** Кинетическая энергия определяется по формуле

.

На протон, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца, *Fл* = *B*⋅*q*⋅υ, которая численно равна центростремительной силе

.

Из равенства сил можно найти скорость протона:

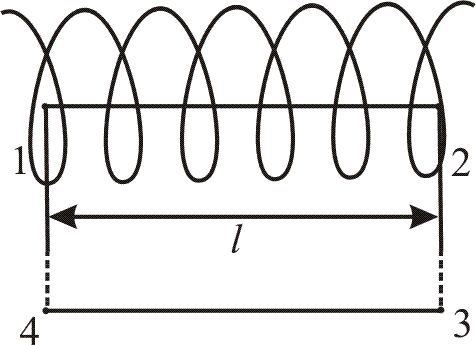
; , где *B* = μμ0*Н*.

;

*Е* = 4,8⋅10–17 (Дж) ≈ 300 (эВ).

**Пример 3.** Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов, стал двигаться в однородном магнитном поле с индукцией 50 мТл по винтовой линии с шагом 5 см и радиусом 1 см. определите ускоряющую разность потенциалов, которую прошел электрон.

**Дано:** *В*= 50 мТл = 5⋅10-2 Тл; *h* = 5 см = 5⋅10-2 м; *R* = 1 см = 10-2 м; *q* = -1,6⋅10-19 Кл; *m* = 0,91⋅10-30 кг.













**Найдите:** *U*.

**Решение.** Заряженная частица движется в однородном магнитном поле по винтовой линии в том случае, когда вектор скорости направлен к линиям магнитной индукции под углом, на равным прямому. В этом случае имеется компонента скорости, направленная вдоль линий индукции υ1 и компонента, направленная под прямым углом к линиям индукции υ2. С учетом знака заряда электрона, сила Лоренца будет направлена так, как показано на рисунке к задаче. Скорость υ1 в магнитном поле не будет изменяться, она обеспечивает смещение заряженной частицы вдоль линий индукции. За время одного полного оборота электрон сместится на величину *h* шага винтовой линии.

Под действием силы Лоренца непрерывно изменяется направление второй компоненты скорости электрона υ2, тогда как ее величина остается неизменной. Иначе говоря, одновременно с равномерным перемещением вдоль линий индукции поля, электрон движется по окружности. Радиус ее можно определить из равенства силы Лоренца и центростремительной силы:

*q*υ*B*sinα =  ⇒ .

Поскольку величина радиуса известна из условия задачи, можно получить выражение для расчета величины компоненты υ2, перпендикулярной линиям индукции магнитного поля:

.

Период обращения электрона связан с величиной радиуса и найденной компоненты скорости:

*Т* = .

Зная из условий задачи величину шага винтовой линии, найдем величину скорости равномерного прямолинейного движения:

.

Найдем квадрат полной скорости электрона:

,

.

Неизвестную величину разности потенциалов найдем из условия равенства кинетической энергии электрона работе, выполненной электростатическим полем по ускорению заряженной частицы:

.

В итоге получим следующее конечное выражение:

.



**Пример 4.** Квадратная проволочная рамка со стороной 5 см и сопротивлением 10 мОм находится в однородном магнитном поле с индукцией 40 мТл. Нормаль к плоскости рамки составляет угол 30° с линиями магнитной индукции. Найдите заряд *q*, который протечет по рамке при выключении магнитного поля.

**Дано:** *х* = 5 см = 0,05 м; *R* = 10 мОм = 10–2 Ом;

*В* = 40 мТл = 4⋅10–2 Тл; α = 30°.

**Найдите:** *q*.

**Решение.** При выключении магнитного поля происходит изменение магнитного потока. В рамке возникает ЭДС индукции

, (1)

приводящая к появлению в рамке индукционного тока. Мгновенное значение этого тока можно определить из закона Ома:

. (2)

Подставив (2) в (1), получим

. (3)

Мгновенное значение силы индукционного тока

. (4)

Тогда выражение (3) примет вид

 или . (5)

Проинтегрировав полученное выражение, найдем

. (6)

При выключенном поле Φ2 = 0, поэтому формула (6) запишется как

 (7)

По определению магнитного потока Φ1 = *Bs*⋅cosα, где *s* = *x*2 - площадь рамки. Тогда

Φ1 = *Bx*2⋅cosα. (8)

Подставляя (8) в (7), получим

 (Кл).

**Пример 5.** В колебательном контуре максимальная сила тока 0,2 А, максимальное напряжение на обкладках конденсатора 40 В. Найдите энергию колебательного контура, если период колебаний равен 15,7⋅10–6 с.

**Дано:** *Im* = 0,2 А; *Um* = 40 В; *T* = 15,7⋅10–6 с.

**Найдите:** *W*.

**Решение.** Энергия колебательного контура равна максимальной энергии магнитного поля или максимальной энергии электрического поля контура

,

отсюда

.

Период колебаний в контуре

 и .

Тогда

 (Дж).

***Контрольная работа № 4***

***Вариант № 2***

* + 1. Два длинных прямолинейных проводника расположены под прямым углом друг к другу. По одному проводнику течет ток 80 А, по другому ток 6 А. Расстояние между проводниками равно *d* = 10 см. определите индукцию магнитного поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам. Покажите на рисунке направление вектора магнитной индукции.
    2. Протон движется по окружности радиуса *r* = 80 см в однородном магнитном поле с индукцией *В* = 0,3 Тл перпендикулярно линиям индукции. Чему равна скорость протона?
    3. однородное электрическое поле напряженностью 20 кВ/м и однородное магнитное поле напряженностью 3200 А/м взаимно перпендикулярны. В этих полях прямолинейно движется электрон. Определите скорость электрона.
    4. По катушке индуктивностью 5 мкГн течет ток силой 3 А. При выключении ток уменьшился до нуля за время Δ*t* = 8 мс. Определите среднее ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре
    5. Рамка вращается в однородном магнитном поле и содержит 100 витков медного провода сечением 0,5 мм2. Длина одного витка 0,4 м. определите величину действующего тока в проводнике сопротивлением 5,64 Ом, присоединенным к концам рамки. Максимальная ЭДС, возникающая в рамке, равна 2 В. Удельное сопротивление меди 1,7⋅10-8 Ом⋅м.

*R*

**

+

**

*A*

*D*

* + 1. проводящая перемычка *AD* длиной 1 м скользит в однородном магнитном поле с индукцией 10 Тл по проводящим рельсам, замкнутым на резистор сопротивлением 1 Ом. Какую силу  нужно приложить к перемычке, чтобы двигать ее с постоянной скоростью υ = 1 м/с?
    2. В идеальном колебательном контуре в момент времени *t* напряжение на конденсаторе равно 1,2 В, а сила тока в катушке индуктивности равна 4 мА. Амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе 2,0 В. Найдите амплитуду колебаний силы тока в катушке.
    3. В колебательном контуре емкость конденсатора 2 мкФ, а максимальное напряжение на нем 5 В. Найдите максимальную энергию магнитного поля катушки. Ответ представьте в микроджоулях (1 мкДж = 10-6 Дж).