



Республиканская физическая олимпиада 2021 год. (III этап)

Теоретический тур

9 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.
3. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. При недостатке бумаги обращайтесь к организаторам!
3. Подписывать рабочие листы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.



Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!

Может, вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Пакет заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических задач (5 стр.);
- бланк к задаче 9-3 (1 стр.)

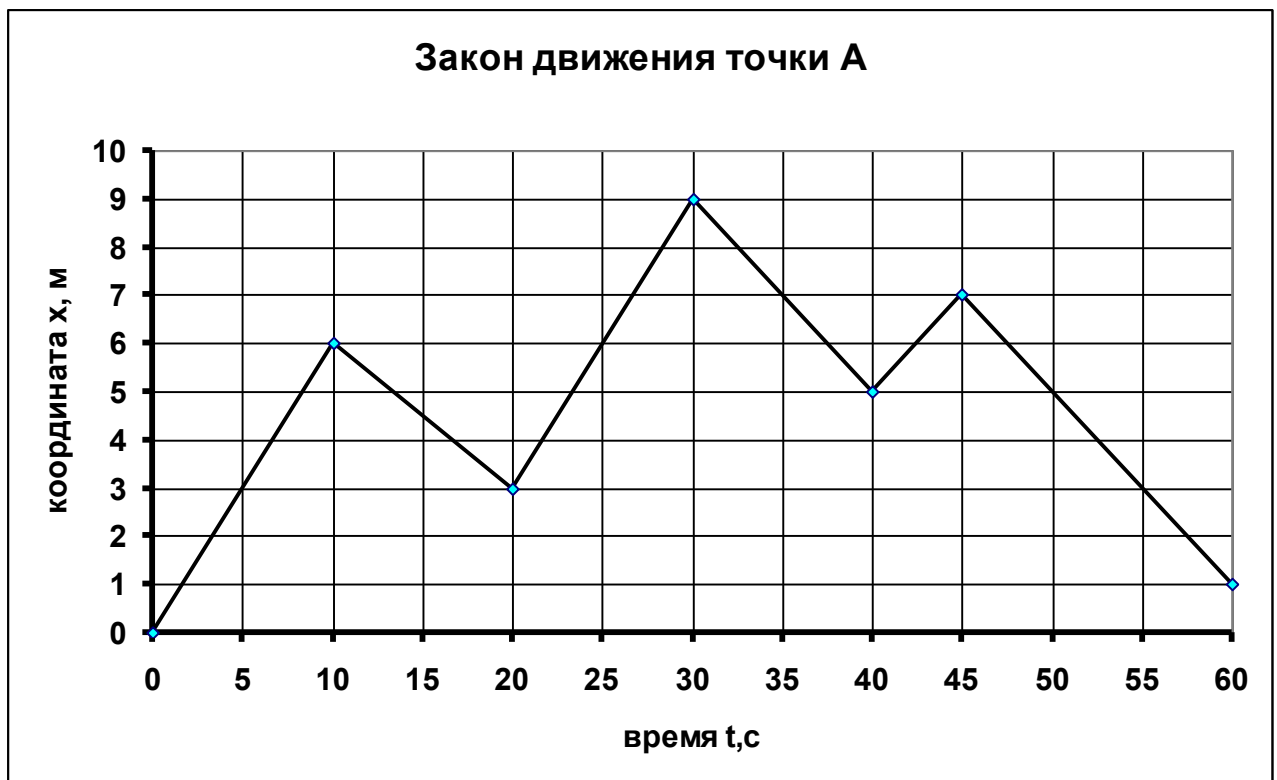
Задача 9-1. Собака и поводок

Всякая бродячая собака, по словам М. Булгакова, мечтает об ошейнике. Добавим к ошейнику и поводок. Когда собака бежит от радости, поводок с ручкой движется за ней, но... совсем по другому закону. Цель данной задачи научиться рассчитывать закон движения конца поводка по известному закону движения собаки.

Формализуем задачу: материальная точка A (т.е. собака) движется по заданному закону. Материальная точка B (конец поводка с ручкой) связана с точкой A гибкой невесомой нерастяжимой веревкой длины $l = 3,0\text{ м}$. Движение точки B зависит не только от того, как движется точка A , но и от характера сил, действующих на точку B , поэтому решить задачу о движении точки B в общем виде нельзя. Мы рассмотрим 3 частных случая такого движения.

Часть 1. Очень медленное движение (ползком).

Точка A движется вдоль прямой линии. График закона движения (зависимости координаты от времени) этой точки показан на рисунке. В начальный момент времени точка B находится в начале координат $x_B(0) = 0$.



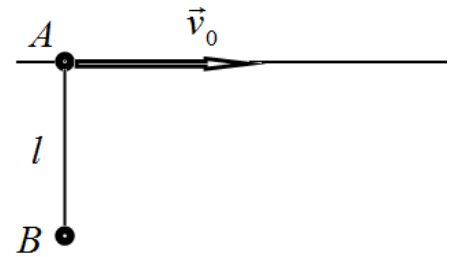
При медленном движении можно пренебречь инерционными свойствами точки B .

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1.1 Постройте график закона движения точки B.1.2 Рассчитайте пути, пройденные точками A и B за 60 секунд движения. |
|--|

Часть 2. Движение без трения.

В данной части будем считать, что точка B движется по гладкой поверхности без трения (например, по гладкому льду).

Точка A движется по прямой линии с постоянной скоростью $v_0 = 6,0 \frac{м}{с}$. В момент времени $t = 0$ точка B находится на расстоянии $l = 3,0 м$ в направлении перпендикулярном прямой, вдоль которой движется точка A . В этот момент поводок натянут, точка B покоится.



- | |
|---|
| <p>2.1 Кратко опишите словесно движение точки B.</p> <p>2.2 Постройте схематический рисунок траектории точки B.</p> <p>2.3 Чему равна максимальная скорость точки B в процессе движения?</p> |
|---|

Часть 3. Очень вязкое трение.

В данной части считаем, что на точку B действует сила вязкого трения пропорциональная скорости точки.

Подсказка. Если на тело действует внешняя сила \vec{F}_0 и большая сила вязкого трения, пропорциональная скорости $\vec{F}_{сопр.} = -\beta\vec{v}$, то в любой момент времени вектор скорости точки \vec{v} совпадает по направлению с вектором силы \vec{F}_0 .

Точка A движется по окружности радиуса $R = 2l = 6,0 м$ с постоянной по модулю скоростью $v_0 = 6,0 \frac{м}{с}$.

- | |
|---|
| <p>3.1 Определите по какой траектории движется точка B, укажите параметры этой траектории.</p> <p>3.2 Чему равен модуль скорости точки B в этом случае?</p> |
|---|

Задача 9.2. Почему линии электропередач высоковольтные?

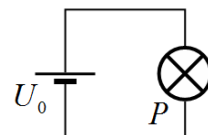
Часть 1. Элементарное введение.

Мощность любого электроприбора зависит от подаваемого напряжения. Поэтому каждый такой прибор рассчитывается на определенное напряжение U_0 , при котором работа прибора является оптимальной. Такое напряжение называется **номинальным**, а развиваемая при этом напряжении мощность называется **номинальной мощностью**. Именно эти характеристики указываются в паспорте прибора.

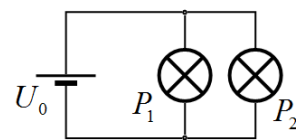
В данной задаче используются следующие приближения:

- напряжение источника постоянно и не зависит от сопротивления подключенной к нему цепи;
- сопротивления проводов и электрических приборов (нагрузки) постоянны и не зависят от силы протекающих токов;

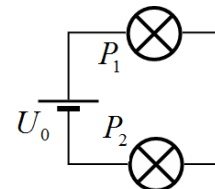
1.1 Номинальная мощность электрической лампочки равна $P = 100 \text{ Вт}$, при номинальном напряжении $U_0 = 220 \text{ В}$. Чему равно электрическое сопротивление этой лампочки?



1.2 Две лампочки с номинальными мощностями (при номинальном напряжении $U_0 = 220 \text{ В}$) $P_1 = 100 \text{ Вт}$ и $P_2 = 60 \text{ Вт}$ соединены параллельно и подключены к источнику напряжения $U_0 = 220 \text{ В}$. Чему равна суммарная мощность такой цепи?

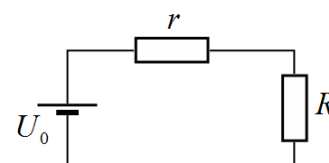


1.3 Эти же лампочки соединили последовательно и подключили к тому же источнику. Чему равна суммарная мощность в этой цепи?



Часть 2. Линия электропередачи.

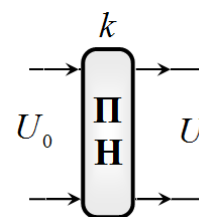
При передаче электроэнергии заметная ее часть теряется в проводах. Рассмотрим простейшую схему линии передач, состоящую из источника постоянного напряжения U_0 , проводной линии передачи (ее общее сопротивление равно r) и полезной нагрузки сопротивлением R .



- 2.1 Найдите электрическое напряжение на полезной нагрузке.
- 2.2 Рассчитайте коэффициент потерь линии электропередачи (отношение мощности, которая теряется в проводах к мощности, развиваемой источником).
- 2.3 Пусть электроэнергия передается от источника напряжения $U_0 = 220 \text{ В}$ на расстояние $5,0 \text{ км}$ по медным проводам с диаметром поперечного сечения $d = 1,0 \text{ мм}$. Номинальная мощность нагрузки потребителя $P_{ном} = 1,0 \text{ кВт}$. Рассчитайте реальную мощность, получаемую потребителем, и коэффициент потерь в этой цепи.
- Удельное электрическое сопротивление меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

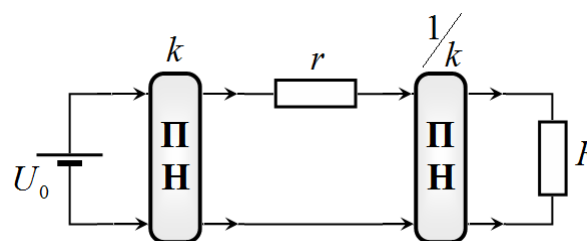
Часть 3. Линия с преобразованием напряжения.

Для уменьшения потерь электроэнергии увеличивают напряжение в подводящих проводах. В настоящее время вся электроэнергетика построена на основе переменного тока, основное достоинство которого и заключается в возможности достаточно просто преобразовывать напряжение с помощью трансформаторов. Изучение трансформаторов не входит в наши планы, поэтому мы воспользуемся простой моделью. Будем считать, что в нашем распоряжении имеется ПН (преобразователь напряжения) – устройство, преобразующее напряжение U_0 на входе в напряжение $U = kU_0$ на выходе без потери мощности тока. Коэффициент k называется коэффициентом трансформации.



Тогда схема линии электропередач включает следующие элементы:

Электрический ток, создаваемый источником напряжения U_0 (по-прежнему, считаем его идеальным, т.е. напряжение на источнике не зависит от сопротивления внешней среды) подается на повышающий преобразователь напряжения с коэффициентом трансформации k ; это повышенное напряжение подается на линию передачи (сопротивление которой равно r);



после линии передачи устанавливается понижающий преобразователь напряжения с коэффициентом трансформации $\frac{1}{k}$ (подавать высокое напряжение непосредственно потребителю нельзя по причинам безопасности); после этого ток при пониженном напряжении поступает потребителю (сопротивление нагрузки которого обозначаем R).

- | |
|--|
| <p>3.1 Найдите напряжение на нагрузке и силу тока через него в такой схеме линии электропередачи.</p> <p>3.2 Какую замену в параметрах цепи можно провести, чтобы воспользоваться формулами, полученными в Части 2?</p> <p>3.3 Рассчитайте коэффициент потерь в этой линии электропередачи.</p> <p>3.4 Рассчитайте значение коэффициента потерь в цепи с преобразованием напряжения (при $k = 1000$) и значениями сопротивлений линии и нагрузки, рассчитанными в п. 2.3.</p> |
|--|

Задание 9-3. Тень от расчески.

На отдельном бланке представлена фотография тени от расчески, освещаемой точечным источником света. Расческа располагалась вертикально, тени зафиксированы на миллиметровой бумаге. Высота зубьев расчески над бумагой равна $h = 4,5 \text{ см}$. Для удобства на фото нанесена разметка осей координат, которые вы должны использовать в этой работе. Оцифровка шкал проведена в сантиметрах. Обратите внимание, что, во-первых, фотография не совсем резкая, во-вторых, изображение немного искажено (имеет трапециевидную форму).

Поэтому решать данную задачу чисто графически не рекомендуется. Хотя вы можете проводить некоторые построения на этом рисунке. Кратко опишите их в своей работе и не забудьте сдать отдельный лист с вашими построениями. По вашему желанию, вы также можете не пользоваться приведенными шкалами, а провести собственные измерения необходимых вам величин на этой фотографии с помощью линейки.

На рис. 1 показано примерное положение расчески и точечного источника света. Там же указаны используемые координаты, которые совпадают с приведенными на фото.

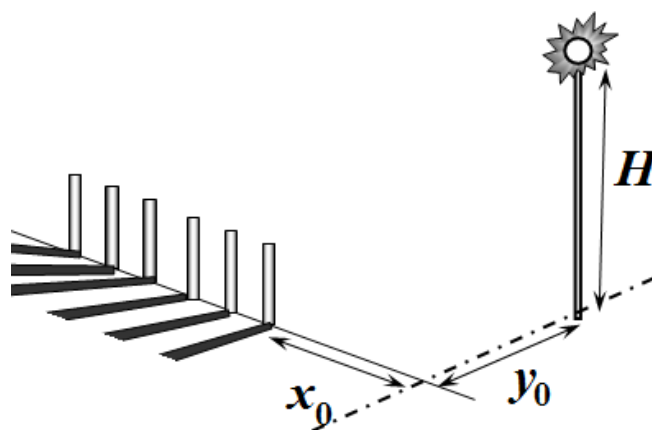


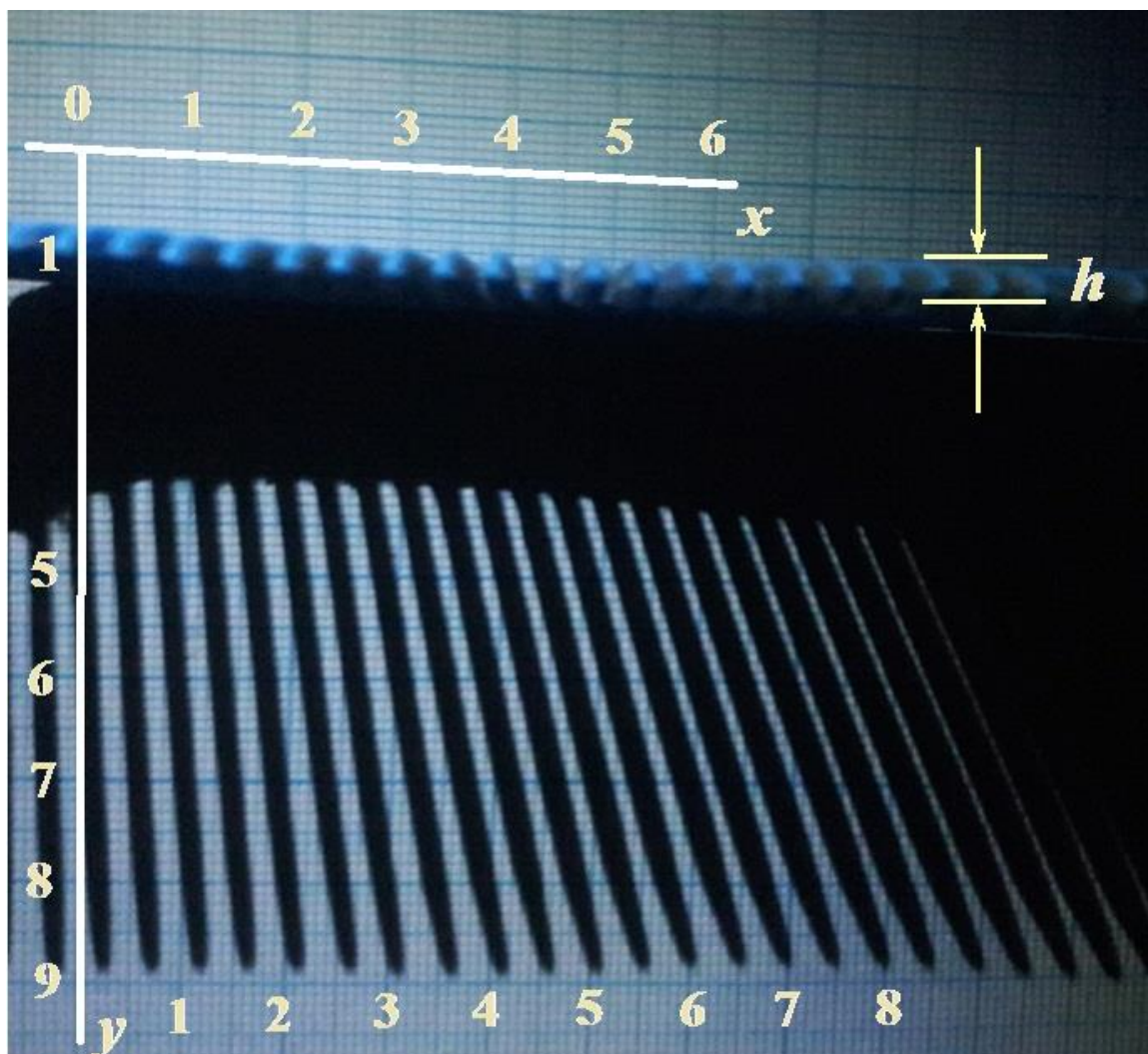
Рис. 1. Геометрия эксперимента.

Используя приведенную фотографию, определите координаты x_0, y_0 источника света, а также его высоту над поверхностью бумаги H .

Постарайтесь провести такую обработку, чтобы точность определения координат источника и его высоты была максимально возможной.

Бланк к задаче 9.1 Тени от расчески.

Не забудьте вложить его в свою работу!



Республиканская физическая олимпиада 2021 год. (III этап)

Теоретический тур

10 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.
3. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. При недостатке бумаги обращайтесь к организаторам!
3. Подписывать рабочие листы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.



Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!

Может, вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Пакет заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических задач (5 стр.);

Задача 10-1. Упругий жгут

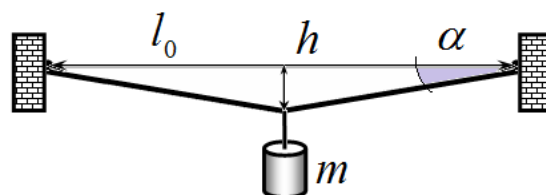
Упругий жгут длиной l_0 выдерживает максимальную силу натяжения равную F_{\max} (при большей силе он разрывается). Масса жгута равна m_0 . Можно считать, что вплоть до разрыва деформация шнура (удлинение) x связана с возникающей силой упругости F по закону Гука

$$F = kx. \quad (1)$$

где k - известный коэффициент упругости жгута.

1. Провисание шнура

Жгут закреплен горизонтально между двумя точками подвеса, находящимися на расстоянии l_0 (равному длине жгута в недеформированном состоянии). К середине жгута подвешивают груз массы m .



1.1 Найдите величину провисания жгута h .

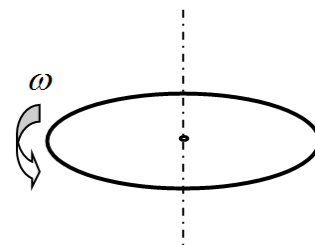
1.2 Какую максимальную массу груза может выдержать жгут при таком подвесе?

В данной части задачи массой жгута следует пренебречь, величину провисания, а также угол отклонения жгута α можно считать малыми. При малых углах справедливы следующие приближенные формулы

$$\begin{aligned} \sin \alpha &\approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha \\ \cos \alpha &\approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}. \end{aligned} \quad (2)$$

2. Вращающийся жгут

Из описанного жгута сделали круглое кольцо и раскрутили его до угловой скорости ω вокруг собственной оси.



2.1 Чему равна сила упругости (сила натяжения) жгута в этом случае?

2.2 До какой максимальной угловой скорости можно раскрутить жгут, чтобы он еще не разорвался?

2.3 Чему равна максимальная скорость вращения нерастяжимого кольца (при той же предельной силе натяжения)?

Задача 10-2. Термодинамика в химии

В данной задаче рассматривается ряд процессов, (в т.ч. химических) с участием газов. Во всех частях задачи газы считать идеальными. Молярные теплоемкости газов при постоянном объеме считать не зависящими от температуры и равными (R - универсальная газовая постоянная):

$$\text{одноатомного газа } c_1 = \frac{3}{2}R ;$$

$$\text{двухатомного газа } c_2 = \frac{5}{2}R ;$$

$$\text{водяного пара } c_3 = \frac{6}{2}R .$$

При решении задачи можете пользоваться приближенной формулой

$$\frac{1+x}{1+y} \approx 1+x-y ,$$

справедливой при $x, y \ll 1$

1. Введение

Два одинаковых теплоизолированных сосуда объема V соединены трубкой с краном. В одном сосуде находится одноатомный газ при температуре T_1 и под давлением P_1 ; во втором - двухатомный газ при температуре T_2 и под давлением P_2 .

1.1 Какая температура установится в сосудах, если открыть кран.

1.2 Найдите относительное изменение давления газовой смеси $\frac{\Delta P}{P}$, если газам сообщить малое количество теплоты Q .

2. Диссоциация газа

В сосуде находится один моль двухатомного газа при температуре T_0 . Газу сообщают небольшое количество теплоты Q .

2.1 На сколько повысится температура газа ΔT_0 , если его химический состав в процессе нагрева не изменяется.

Теперь вам необходимо учесть, что при нагревании двухатомного газа может происходить его диссоциация – молекула распадается на два атома. Пусть диссоциация начинается при температуре T_0 (той, при которой находится газ). В небольшом диапазоне температур больших T_0 степень диссоциации зависит от температуры по линейному закону

$$\eta = \alpha(T - T_0), \quad (1)$$

где α - известный постоянный коэффициент. Степенью диссоциации называется отношение числа двухатомных молекул, распавшихся на атомы, к начальному числу таких молекул. Для «развала» молекулы требуется дополнительная энергия (энергия диссоциации). Для данного газа молярная энергия диссоциации (энергия необходимая, чтобы разорвать один моль двухатомных молекул) равна q .

2.2 Найдите изменение температуры ΔT одного моля двухатомного газа при сообщении ему некоторого количества теплоты Q при учете частичной диссоциации молекул.

Считайте, что $\Delta T \ll T_0$.

2.3 Какая из величин ΔT_0 или ΔT больше? Укажите причины возникновения различия между этими величинами.

3. Горение водорода.

В термоизолированном сосуде большого объема (чтоб его не разорвало) находится смесь, состоящая из одного моля кислорода и одного моля водорода, находящаяся при температуре T_0 . В сосуде происходит химическая реакция горения по схеме



Реакция идет до конца (пока имеются необходимые реагенты). В уравнении химической реакции q - количество теплоты, которое выделяется, при использовании 1 моля кислорода.

3.1 Найдите, какая температура установится в сосуде после прекращения реакции.

3.2 Предположим (чисто гипотетически), что тепловой выход реакции $q = 0$. Что произойдет с температурой в этом случае, повысится или понизится? Кратко объясните почему.

Задание 10-3 Подводный телеграфный кабель.

В настоящее время подавляющий поток информации передается по спутниковым и оптическим каналам связи. Однако глобальная информатизация начиналась с трансатлантических телеграфных кабелей. Историю забывать не следует, поэтому данное задание посвящено изучению некоторых физических явлений, связанных с передачей электрических сигналов по кабелям на большие расстояния.

В задаче рассматривается одножильный медный кабель, диаметр цилиндрической жилы которого равен $d = 5,0 \text{ мм}$. Медная жила покрыта резиновым изоляционным слоем толщиной $h = 1,0 \text{ мм}$.

Удельное электрическое сопротивление меди $\rho_0 = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

Удельное электрическое сопротивление резины $\rho_1 = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

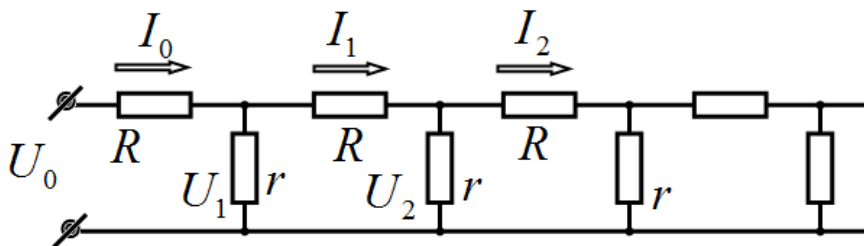
1. Введение.

- 1.1 Рассчитайте электрическое сопротивление R медной жилы длины $L = 1,0 \text{ км}$.
1.2 Рассчитайте электрическое сопротивление r резинового изоляционного слоя той же длины, через который возможна утечка тока в окружающую среду (например, воду для подводного кабеля).

2. Уменьшение силы тока в кабеле и его утечка.

Не смотря на высокое сопротивление изоляционного слоя, часть тока протекает через изоляционный слой, что приводит к уменьшению силы тока в кабеле. Строгое решение задачи о распределении тока в кабеле с утечкой требует вывода и решения дифференциальных уравнений.

Поэтому в данной задаче мы будем использовать дискретную модель, представляющую бесконечную цепочку резисторов, соединенных по схеме, показанной на рисунке.



В этой схеме резисторы R моделируют сопротивление центральной жилы кабеля, а резисторы r - сопротивление изоляции. Считайте, что их численные значения такие, как найдены в п. 1.1-1.2.

Пронумеруем все звенья цепи индексом $k = 0, 1, 2, \dots$. Силы токов через резисторы R обозначим I_0, I_1, I_2, \dots , а напряжения на резисторах r - U_0, U_1, U_2, \dots . Напряжение на входе цепи обозначим U_0 .

- 2.1 Выразите силу тока в k -том звене I_k через напряжения U_k и U_{k+1} и параметры элементов цепи.
2.2 Получите соотношение, связывающее между собой напряжения U_{k-1}, U_k, U_{k+1} и параметры элементов цепи.

Предположим, что последовательность напряжений $U_0, U_1, U_2 \dots$ представляет собой геометрическую прогрессию. Тогда, напряжения на резисторах утечки можно записать в явном виде

$$U_k = U_0 \lambda^k \quad (1)$$

2.3 Покажите, что сделанное предположение о виде зависимости (1) выполняется, найдите значение знаменателя прогрессии λ . Рассчитайте его численное значение.

2.4 Оцените во сколько раз убывает напряжение и сила тока в кабеле на расстоянии $l = 2000$ км.

Республиканская физическая олимпиада 2021 год. (III этап)

Теоретический тур

11 класс.

1. Полный комплект состоит из трех заданий.
2. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.
3. При оформлении работы каждое задание начинайте с новой страницы. При недостатке бумаги обращайтесь к организаторам!
3. Подписывать рабочие листы запрещается.
4. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
5. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.



Постарайтесь внимательно прочитать условия задач!

Может, вам покажется, что условия задач слишком длинные. Но мы сочинили их такими, чтобы Вам было легче решать. Поверьте, иногда решения короче таких условий! Не теряйте присутствия духа, смело беритесь за решение каждой задачи. Помните, оцениваются не только полные решения, но и их отдельные части и даже отдельные здравые мысли.

Пакет заданий содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических задач (6 стр.);

Задача 11.1. Алгебра и геометрия на наклонной плоскости

Кто-то умеет хорошо строить диаграммы векторов сил и предпочитает решать динамические задачи «геометрически». Кто-то рисовать совсем не умеет, и ему приходится заниматься громоздкими математическими преобразованиями.

В данной задаче вам предстоит рассмотреть несколько простых и знакомых задач, на примере которых вам предстоит продемонстрировать свои как алгебраические, так и геометрические способности.

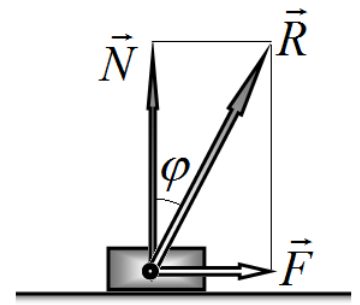
Во всех частях задачи мы будем рассматривать движение бруска по поверхности.

Коэффициент трения бруска о поверхность во всех частях задачи равен μ

1. Брусок на неподвижной наклонной плоскости

Брусок движется по горизонтальной поверхности. Как пишут в учебниках, на брусок со стороны поверхности действуют сила нормальной реакции \vec{N} и сила трения (которую здесь и далее) будем обозначать \vec{F} . Но на самом деле это не разные силы – это две компоненты одной силы, силы взаимодействия бруска и поверхности, которую мы обозначим \vec{R} (силы реакции).

Назовем угол φ между направлением силы реакции \vec{R} и нормалью к поверхности.



1.1 Выразите коэффициент трения μ через угол трения φ .

1.2 Выразите модуль силы реакции \vec{R} через модуль силы нормальной реакции \vec{N} и угол трения φ .

Брусок находится на наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом.

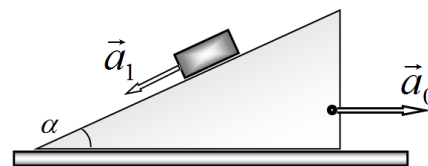
1.3 Нарисуйте взаимное расположение векторов силы реакции \vec{R} и силы тяжести $m\vec{g}$, если брусок скользит по наклонной плоскости.

1.4 При каком минимальном угле наклона α_0 брусок начнет соскальзывать с наклонной плоскости? Ответ выразите через угол трения φ . Как в этом случае будет направлен вектор \vec{R} ? Чему он будет равен?

1.5 Брусок поместили на наклонную плоскость, образующую угол α с горизонтом ($\alpha > \alpha_0$). Чему равно ускорение бруска в этом случае? Выразите ответ через углы α и φ . Дайте геометрическую интерпретацию полученного выражения.

2. Брусок на ускоренно движущейся призме

Брусок положили на наклонную грань треугольной призмы, наклоненную под углом α к горизонту. Под действием внешних сил призма движется горизонтально с постоянным ускорением \vec{a}_0 , как показано на рисунке.



2.1 Покажите, что движение бруска по поверхности ускоренно движущейся призмы можно описать как движение бруска по неподвижной призме, только с другим значением вектора ускорения свободного падения \vec{g}' (который можно назвать эффективным ускорением свободного падения). Найдите угол β между векторами \vec{g}' и g' .

2.2 Покажите, что движение бруска по ускоренно движущейся призме можно описывать, как движение бруска по неподвижной призме, но с другим углом наклона к горизонту α' . Выразите значение этого угла через ускорение призмы \vec{a}_0 , ускорение свободного падения \vec{g} и угол α .

2.3 Пусть угол наклона призмы к горизонту α меньше α_0 (найденного в п.1.4). Запишите соотношение для углов α, β, φ , при котором начнется скольжение бруска.

Из этого соотношения можно найти минимальное ускорение \vec{a}_0 , при котором начнется скольжение бруска, но искать это значение (т.е. решать полученное уравнение) не требуется.

Задача 11-2. Поле пластин

В данной задаче вам предстоит рассмотреть электростатическое поле, создаваемое участками равномерно заряженных плоскостей.

Для рассмотрения подобных конфигураций часто пользуются понятием телесного угла Ω . Телесный угол Ω – это часть пространства, которая является объединением всех лучей, выходящих из данной точки (вершины угла) и пересекающих некоторую поверхность (которая называется поверхностью, стягивающей данный телесный угол). Границей телесного угла является некоторая коническая поверхность.

Телесный угол измеряется отношением площади S той части сферы с центром в вершине угла, которая вырезается этим телесным углом, к квадрату радиуса R сферы: $\Omega = \frac{S_{сф}}{R^2}$, по аналогии с тем, как радианную меру угла определяют как отношение длины дуги, вырезаемой данным центральным углом, к радиусу окружности (Рис.1). Телесные углы измеряются в безразмерных величинах, называемых стерadiansами (ср). $\Omega = 1$ ср равен телесному углу, вырезающему из сферы радиуса R поверхность с площадью R^2 . Полная сфера образует телесный угол, равный 4π стерadians (полный телесный угол), для вершины, расположенной внутри сферы, в частности, для центра сферы.

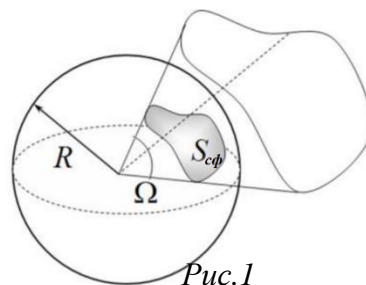


Рис.1

Часть 1. «Кусок» равномерно заряженной плоскости.

1.1. Покажите, что телесный угол, под которым «видна» небольшая часть плоскости (Рис.2) из точки наблюдения даётся выражением

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S \cos \theta}{r^2},$$

где θ – угол между радиус-вектором, проведенным из центра данной площадки к точке наблюдения, и единичным вектором \vec{n} нормали к поверхности.

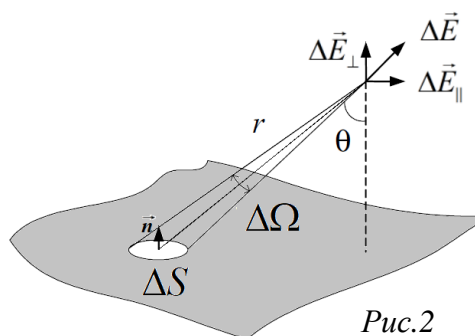


Рис.2

1.2. Докажите, что составляющая вектора напряженности электростатического поля, перпендикулярная поверхности равномерно заряженного участка плоскости (Рис. 3), определяется выражением:

$$E_{\perp} = \frac{\sigma\Omega}{4\pi\epsilon_0},$$

где σ – поверхностная плотность заряда, Ω – телесный угол, стягиваемый этим участком плоскости.

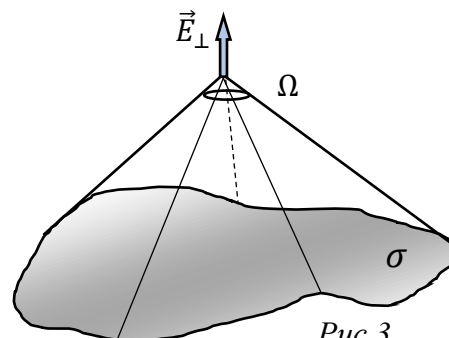


Рис.3

1.3. Найдите напряженность электростатического поля E , создаваемого бесконечной плоскостью, по которой равномерно распределен заряд, поверхностная плотность которого равна σ .

1.4. Найдите зависимость напряженности электростатического поля $E(z)$ равномерно заряженного диска радиуса R с поверхностной плотностью σ (Рис. 4) на его оси от расстояния z до его центра. Укажите, как изменяется данное выражение при $z \gg R$ и при $z \ll R$. Постройте схематический график полученной зависимости.

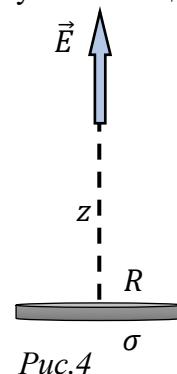


Рис.4

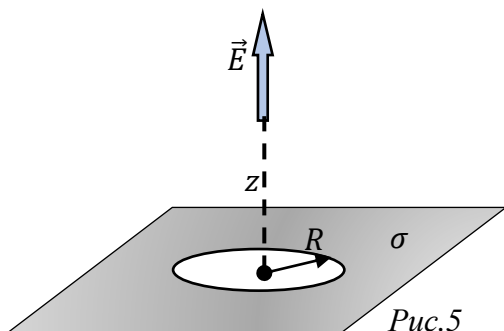


Рис.5

1.5. Пусть имеется бесконечная равномерно заряженная плоскость с круглым отверстием радиуса R (Рис. 5). Найдите зависимость напряженности электростатического поля $E(z)$ на оси симметрии системы от расстояния z до центра отверстия. Укажите, как изменяется данное выражение при $z \gg R$ и при $z \ll R$. Постройте схематический график полученной зависимости.

1.6. Найдите период малых колебаний точечного заряда Q массы m вблизи центра данного отверстия. Укажите, каким должен быть знак данного точечного заряда, чтобы подобное колебательное движение было возможным.

Часть 2. Плоский конденсатор

2.1. Найдите зависимость напряженности электростатического поля $E(z)$ между двумя бесконечными равномерно заряженными пластинами от расстояния до серединной плоскости между ними. Постройте график полученной зависимости.

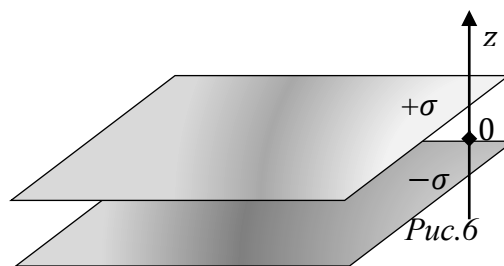


Рис.6

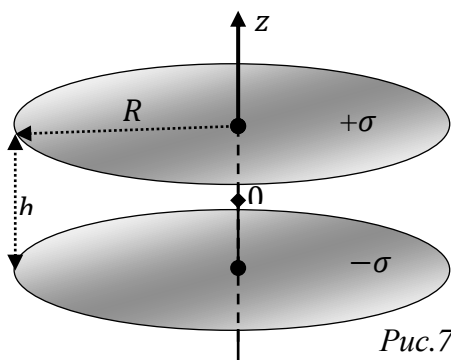
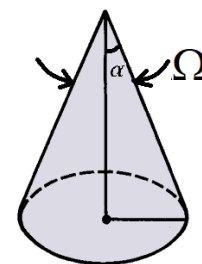


Рис.7

2.2. Пусть плоский конденсатор представлен в виде двух круглых равномерно заряженных пластин (рис.7). Найдите напряженность электростатического поля на оси данной системы $E(z)$ в зависимости от расстояния до середины отрезка, соединяющего центры пластин конденсатора. Укажите, как изменяется полученное Вами выражение при $z \gg R$. Постройте график полученной зависимости при $R = 2h$.

2.3. Найдите относительную погрешность при расчете напряженности при $z = 0$ без учета конечных размеров пластин конденсатора по сравнению с результатами, полученными в пункте 2.2, при а) $R = h$; б) $R = 10h$; в) $R = 100h$.

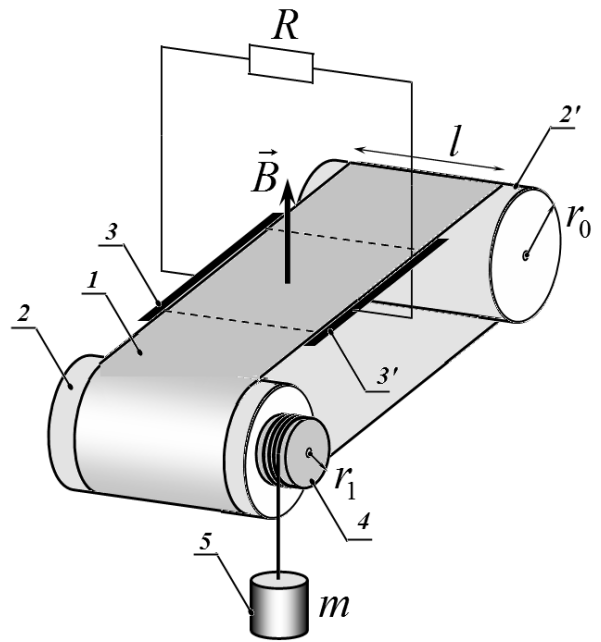
Подсказки: 1) Телесный угол, соответствующий конусу с углом полураствора α , определяется по формуле: $\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha)$
2) При малых $|x| \ll 1$ справедливо приближение: $(1 + x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$.



Задача 11-3. Электрогенератор и электродвигатель

Часть 1. Генератор

На рисунке показана конструкция генератора электрического тока. Замкнутая проводящая лента 1 ширины l натянута на два горизонтальных цилиндра 2 и 2', которые могут вращаться вокруг горизонтальных осей (трениям в осях можно пренебречь). Радиусы цилиндров равны r_0 . Трение ленты о цилиндры таково, что при ее движении, она не проскальзывает по поверхности цилиндров. Трение в осях цилиндров пренебрежимо мало. В верхней части лента скользит между двумя электрическими контактами 3 и 3'. Между контактами с помощью постоянных магнитов (на рисунке не показаны) создано однородное магнитное поле, индукция которого равна \vec{B} , направленное перпендикулярно плоскости ленты. К контактам подключена цепь нагрузки, электрическое сопротивление которой равно R . Электрическим сопротивлением ленты, скользящих контактов и соединительных проводов можно пренебречь. Также можно пренебречь индуктивностью данной установки.



К одному из цилиндров жестко присоединен вал 4 радиуса r_1 . На вал намотана крепкая нить, к концу которой прикреплен груз 5 массы m . При опускании груза лента приходит в движение, а в цепи нагрузки возникает электрический ток. Ускорение свободного падения равно g .

Вам необходимо рассчитать характеристики описанного электрического генератора. Все итоговые формулы должны быть выражены через параметры, которые заданы в условии задачи (m, R, B, r_0, r_1, g).

1.1 Покажите, что в данном устройстве реализуется стационарный (установившейся) режим, когда скорости движения груза и ленты, а также сила тока в цепи нагрузки остаются постоянными.

1.2 Рассчитайте следующие характеристики описанного генератора в стационарном режиме:

1.2.1 скорости движения ленты v_0 и груза v ;

1.2.2 ЭДС генератора ε и силу тока I через нагрузку;

1.2.3 мощность тока P , выделяющуюся в нагрузке;

1.2.4 КПД генератора η (самостоятельно укажите, что Вы понимаете под КПД генератора).

Часть 2. Электродвигатель

Электрические генераторы и двигатели обратимы. Так описанное устройство может работать как электродвигатель. Для этого вместо нагрузки R к скользящим контактам следует подсоединить источник постоянного тока. В вашем распоряжении имеется такой источник, ЭДС которого равно ε_0 , а внутреннее сопротивление R .

2.1 Укажите полярность подключения источника, при которой груз может подниматься.

2.2 Покажите, что данный электродвигатель также может работать в стационарном режиме.

2.3 Рассчитайте следующие характеристики электродвигателя в стационарном режиме:

- 2.3.1 минимальное значение ЭДС источника $\varepsilon_{0\min}$, при которой груз начнет подниматься (далее считайте, что $\varepsilon_0 > \varepsilon_{0\min}$);
- 2.3.2 силу тока I через источник;
- 2.3.3 скорость подъема груза v ;
- 2.3.4 механическую мощность P , развиваемую двигателем;
- 2.3.5 КПД двигателя η (укажите, что такое КПД в этом случае);