**Всероссийская олимпиада школьников. Муниципальный этап 2024/25 уч.г.**

**Физика, 11 класс, решения**

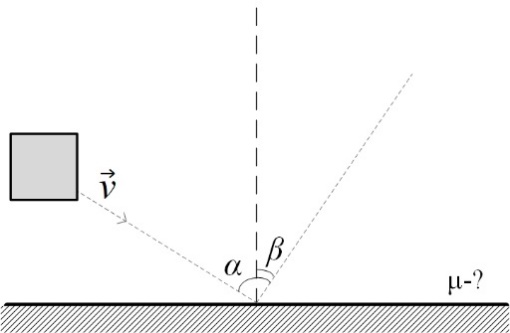
**Время выполнения 230 мин. Максимальное кол-во баллов – 50**

**Каждая задача оценивается в 10 баллов**

**Критерии оценивания заданий**

|  |  |
| --- | --- |
| **Баллы** | **Правильность (ошибочность) решения** |
| 10 | Полное (верное) решение |
| 7-9 | Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки, не влияющие на знак ответа |
| 5-7 | Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы |
| 3-5 | Решение содержит пробелы в обоснованиях, приведены не все необходимые для решения уравнения |
| 1-2 | Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении) |
| 0 | Решение неверное, продвижения отсутствуют |
| 0 | Решение отсутствует |

***\*Указания к оцениванию задач содержатся также в комментариях к решениям.*** ***В таблицах после решений задач указана примерная разбалловка***

**Задача 1.** Кубик падает под углом α на шероховатую стену (см. рис.). В процессе движения кубика к стенке одна из граней кубика остаётся параллельной стене. Стенка и кубик – абсолютно упругие тела. На отдельном листе приведён график зависимости угла отражения от угла падения . Используя график, определить коэффициент трения кубика о стену. Считать, что действие задачи протекает в условиях отсутствия гравитационного поля.

**Ответ.**

**Решение.** Запишем изменение проекций импульса кубика по осям за малое время взаимодействия со стенкой (время удара ). Одна ось параллельна стенке, вторая перпендикулярна. Внешними силами по отношению к кубику являются силы трения и сила нормальной реакции со стороны стенки:

Воспользуемся информацией о том, что стенка и кубик – абсолютно упругие тела, что в рамках задачи означает сохранение по величине проекции скорости кубика на ось перпендикулярную стенке: Подставляя в систему выше получаем:

Поделив нижнее уравнение на верхнее, получаем:

Здесь нужно обратить внимание, что не может быть отрицательным. Случай, когда соответствует полной потере кубиком проекции скорости на ось параллельную стенке из-за силы трения, после чего сила трения обращается также в ноль и больше не влияет на проекцию импульса вдоль стенки. Таким образом, имеем ответ: .

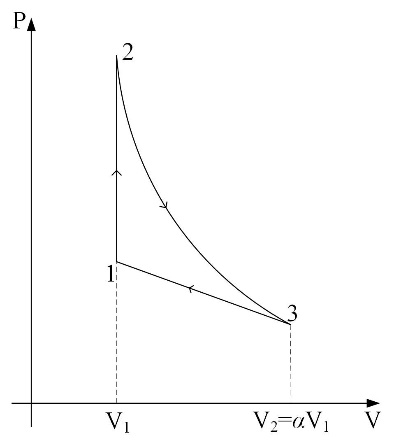
Чтобы найти коэффициент трения по графику, выберем на нём «пограничную» точку между двумя областями нашего решения. Эта точка соответствует углу c учётом погрешности в виде половины цены деления по горизонтальной оси. Приближённое вычисление даёт нам ответ:

.

***Примерная разбалловка***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Этапы решения** | **Уравнения, условия** | **Баллы** |
| 1 | Запись изменений проекций импульса по осям |  | 3+3 |
| 2 | Неизменность по величине модуля проекции импульса на ось перп. стенке. |  | 1 |
| 3 | Получение итоговой зависимости |  | 2 |
| 4 | Численный ответ из графика (любыми разумными рассуждениями) |  | 1 |

**Задача 2.** Рабочим телом тепловой машины является один моль одноатомного идеального газа. За один рабочий цикл газ совершает работу . Цикл состоит из изохорного нагревания 1-2, политропного расширения 2-3 и процесса 3-1, в котором давление газа линейно зависит от его объёма (см. рис.). Найти молярную теплоёмкость газа в процессе 2-3, если известно, что , и . При каком значении параметра процесс 2-3 был бы адиабатическим?

***Примечание:*** политропным процессом называется термодинамический процесс, в течение которого теплоёмкость газа остаётся постоянной.

**Ответ.** ; где

**Решение.** Тепло, подведённое к газу в процессе 2-3 по первому началу термодинамики:

Отметим, что . (площадь под графиком процесса, трапеция), при этом, так как:

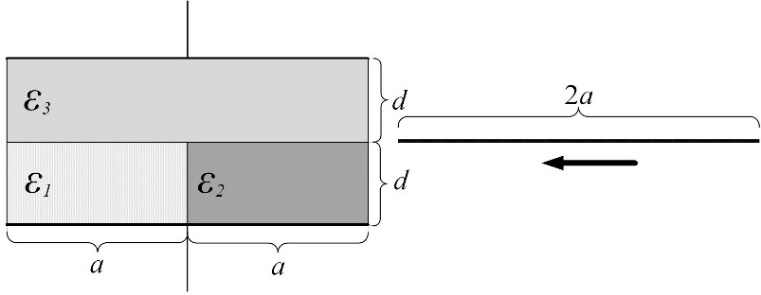
(тождественно равно ответу, указанному ранее).

Теперь найдём при котором процесс 2-3 превращается в адиабату. Адиабата – политропный процесс с теплоёмкостью равной нулю. То есть:

Решением этого уравнения относительно будет: где

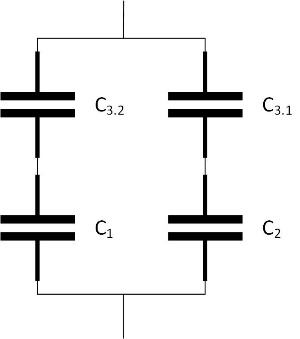
***Примерная разбалловка***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Этапы решения** | **Уравнения, условия** | **Баллы** |
| 1 | Определение молярной теплоёмкости |  | 1 |
| 2 | Первое начало термодинамики в процессе 2-3 |  | 1+1 |
| 3 | Связь и |  | 2 |
| 4 | Запись работы как площади под графиком и её явное выражение |  | 1+1 |
| 5 | Получение выражения для теплоёмкости  (или значения промежуточными подстановками) |  | 1 |
| 6 | Получение значения |  | 2 |

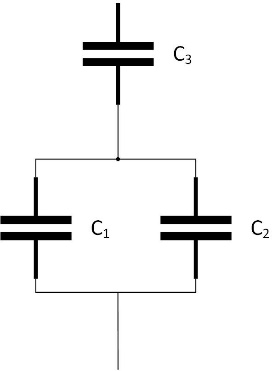
**Задача 3.** Плоский конденсатор заполнен пластичными диэлектриками трёх видов так, как это показано на рисунке. Диэлектрик с диэлектрической проницаемостью занимает половину объёма между прямоугольными обкладками конденсатора, диэлектрики с диэлектрическими проницаемостями и – по четверти объёма. Благодаря пластичности диэлектриков между ними можно вставить тонкую проводящую пластинку прямоугольной формы и такой же длины и ширины, как и обкладки конденсатора. Найти отношение ёмкостей конденсатора с полностью вставленной внутрь проводящей пластинкой и вовсе без неё. Диэлектрики имеют формы параллелепипедов.

**Ответ.**.

**Решение.** Разница в ёмкостях возникает из-за того, что границы раздела между диэлектриками ,

и , имеют разный потенциал, когда между диэлектриками нет проводящей пластины. В этом случае (отсутствия пластины между диэлектриками) эквивалентной схемой для вычисления ёмкости всего сложного конденсатора будет являться такая конфигурация (см. рис. слева). Где Дальнейший расчёт эквивалентной ёмкости приводит нас к таким выражениям:

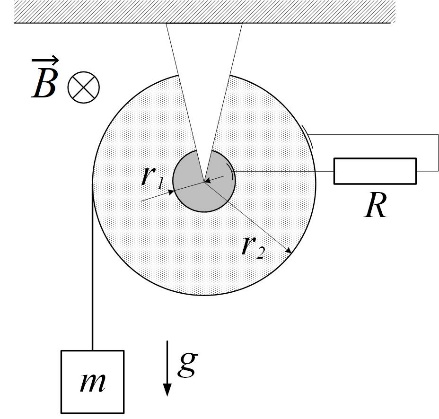
.



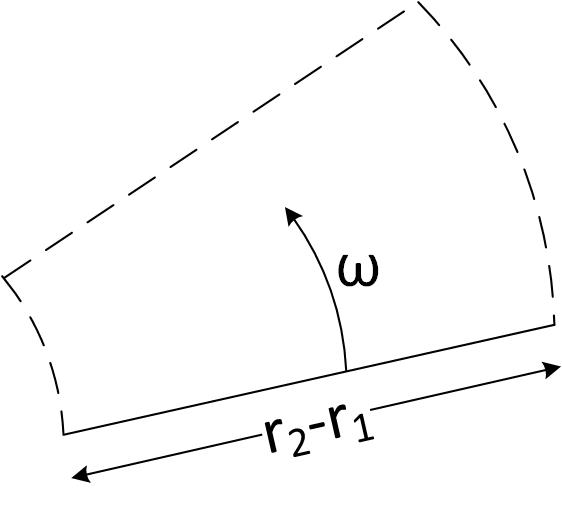
В случае же когда проводящая пластинка вставлена, то конденсаторы и оказываются подключены параллельно на эквивалентной схеме. Теперь обе пары их обкладок эквипотенциальны. Эквивалентная схема изображена справа. Здесь и рассчитываются аналогично предыдущему случаю, а . Тогда эквивалентна ёмкость рассчитывается как: Из выражений для и легко получается ответ задачи.

***Примерная разбалловка***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Этапы решения** | **Уравнения, условия** | **Баллы** |
| 1 | Физический обоснованна причина принципиальной разницы ёмкостей в двух случаях | випотенциальность границы между диэлектриками при наличии пластины | 3 |
| 2 | Вычисление |  | 3 |
| 3 | Вычисление |  | 3 |
| 4 | Ответ для соотношения |  | 1 |

**Задача 4.** Хорошо проводящую металлическую шайбу с внешним радиусом и внутренним радиусом закрепили на хорошо смазанной оси. Затем включили внешнее магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости шайбы, и подключили к внешнему и внутреннему ободам шайбы с помощью подвижных щёточных контактов резистор сопротивлением (см. рис.). На шайбу намотали длинную невесомую и нерастяжимую нить и прикрепили к её свободному концу груз массой . Далее груз отпускают. Найдите установившуюся угловую скорость вращения шайбы. Нить не проскальзывает по внешнему ободу шайбы и не слетает с него.

**Ответ.**

****Решение.** Сначала необходимо определить зависимость ЭДС индукции между подвижными контактами. Это можно сделать, рассмотрев очень узкий сектор шайбы, как увеличивающийся со временем контур. Один радиус такого «виртуального контура» остаётся на месте, а второй «уезжает» от него с угловой скоростью (см. рис.). Тогда поток через такой контур от времени будет зависеть так:

где – площадь сегмента диска (косинуса в потоке нет, потому что он равен единице, поле перпендикулярно плоскости шайбы). Откуда получаем величину ЭДС:

Аналогичное значение можно получить если рассмотреть фиксированный по размеру очень узкий сектор. ЭДС на его концах можно будет описать, как ЭДС, возникающую в проводящей палочке, двигающейся в магнитном поле, но немного сложнее из-за того, что скорости разных участков этого сектора не одинаковы, а растут по мере удаления от оси вращения. Просуммируем вклады в суммарную ЭДС от каждого маленько кусочка длины :

.

Видно, что функция слева от дифференциала линейная и серьёзно интегрировать тут не нужно, достаточно найти площадь под графиком от , то есть:

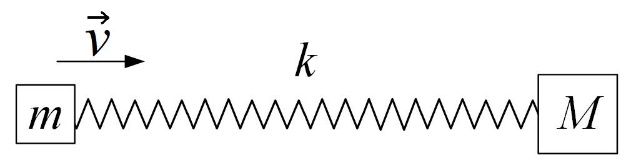
На создание этой ЭДС на резисторе тратится энергия. Так как трения в оси шайбы нет, то, когда угловая скорость установиться – тепловые потери на резисторе будут единственным диссипативным процессом, куда может теряться потенциальная энергия груза. Запишем связь между скоростью груза и угловой скоростью шайбы: . Тогда равенство мощности, развиваемой силой тяжести груза и мощности тепловых потерь будет выглядеть так (условие на то, что угловая скорость больше не увеличивается):

Откуда получаем: .

Также возможен вариант описания условия установившейся угловой скорости через запись равенства нулю суммы моментов силы натяжения нити (равной силе тяжести при установившейся скорости) и силы Ампера, действующей на ток в шайбе.

***Примерная разбалловка***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Этапы решения** | **Уравнения, условия** | **Баллы** |
| 1 | Обоснованное нахождение величины ЭДС индукции между внутренним и внешним ободами шайбы |  | 4 |
| 2 | Описание условия **и** запись уравнения на него, обеспечивающего постоянство скорости (энергии или моменты) |  | 2+2 |
| 3 | Правильный ответ |  | 2 |

****Задача 5.** Два груза, массами и , соединены лёгкой пружиной жёсткостью и покоятся на гладкой горизонтальной поверхности. Грузу массой придают скорость величины в направлении второго груза, вдоль пружины. Найти величину максимального удлинения пружины и минимальное время от момента начала движения, через которое максимальное удлинение будет достигнуто. На рисунке приведён вид на поверхность сверху.

**Ответ.**

**Решение.** В задаче нет внешних сил для системы «» с ненулевыми проекциями на горизонтальную плоскость. Это означает, что после начала движения скорость центра масс системы будет постоянной, а система отсчёта, связанная с центром масс – инерциальной. Найдём скорость центра масс:

Перейдём в систему отсчёта, связанную с центром масс. В ней скорости грузов будут:

В этой системе отсчёта колебания будут происходить около покоящегося центра масс. То есть, колебания каждого из грузов можно описывать как колебания груза на более короткой пружине, закреплённой одним концом в центре масс, а вторым на грузе. Длина недеформированной пружины между центром масс и грузом :

где – длина пружины. Для второго груза аналогичная эффективная длина пружины: .

Жёсткости таких «укороченных» пружин выше во столько раз, во сколько они короче изначальной пружины (при том же усилии деформация меньше пропорционально длине). Таким образом:

Тогда частоты колебаний грузов относительно центра масс:

Зная начальные скорости (максимальные в с. о. связанной с центром масс), можно найти максимальные отклонения от начального положения:

Так как частоты колебаний грузов одинаковы, то и своих максимальных отклонений они будут достигать за одно и то же время. В данной задаче в первый раз через периода от начала движения, так как чтоб достичь максимального удлинения пружины при данной в задаче начальной скорости грузам придётся 1 раз вернуться в стартовое положение равновесия (полпериода), а затем ещё достичь координаты с максимальным отклонением от равновесия (ещё четверть периода). Таким образом получаем ответы:

***Примерная разбалловка***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Этапы решения** | **Уравнения, условия** | **Баллы** |
| 1 | Обоснование удобства и поиск скоростей в с. о. ц. м. |  | 2(обосн.) + 2 |
| 2 | Нахождение «эффективных» жесткостей, на которых происходят колебания |  | 1+1 |
| 3 | Частоты колебаний |  | 1 |
| 4 | Нахождение максимальных деформаций и первого момента их достижения |  | 2+1 |