

Задача 1 (М.Ю. Замятнин)

Петя бросил мячик с балкона с начальной скоростью V стоящему на земле Васе. Через время $t_1 = 2,21$ с Вася поймал мячик, заметив, что в конце полета скорость мячика была направлена перпендикулярно его начальной скорости в момент броска, совершенного Петей. Затем Вася сделал несколько шагов, остановился и бросил мячик обратно на балкон Пете, сообщив мячику такую же по модулю начальную скорость V . Петя поймал мячик через время $t_2 = 1,72$ с, заметив, что конечная скорость мячика также направлена перпендикулярно начальной скорости мячика в момент броска, совершенного Васей. Определите разницу высот H между кистями рук Пети и Васи, а также определите, чему равен модуль скорости V . Сопротивлением воздуха можно пренебречь, модуль ускорения свободного падения считайте равным $g = 10$ м/с².

Ответ: разница высот H между кистями рук Пети и Васи равна $H = \frac{g(t_1^2 - t_2^2)}{4} \approx 4,8$ м; модуль

начальной скорости мячика равен $V = \frac{g}{2} \sqrt{t_1^2 + t_2^2} = 14$ м/с.

Критерии

Правильно найдена связь между начальной скоростью, конечной скоростью и временем полета мячика (в любой форме) – 3 балла (по 1,5 балла для каждого мячика).

Правильно найдена связь между разностью высот, начальной и конечной скоростью мячика (либо между разностью высот, начальной скоростью и временем полета мячика) – 3 балла (по 1,5 балла для каждого мячика).

Правильно найдено выражение для разности высот – 1 балл.

Получен правильный численный ответ для разности высот – 1 балл.

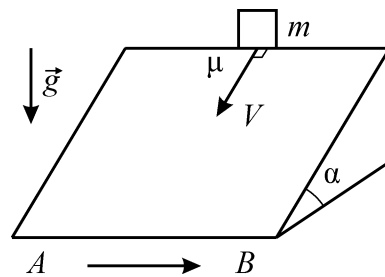
Правильно найдено выражение для модуля начальной скорости мячика – 1 балл

Получен правильный численный ответ для начальной скорости мячика – 1 балл.

ВСЕГО: 10 баллов.

Задача 2 (А.И. Бычков)

С наклонной поверхности клина с углом α при основании, движущегося по горизонтальному столу с постоянной скоростью вдоль направления AB , сталкивают небольшой груз массой m так, что в начальный момент его скорость V относительно клина направлена перпендикулярно AB вдоль наклонной поверхности (см. рисунок). Коэффициент трения между поверхностью клина и грузом равен μ ($\mu > \operatorname{tg} \alpha$). Чему будет равна работа силы трения, с которой клин действует на груз, к моменту, когда проскальзывание груза по поверхности клина прекратится? По какой траектории движется груз, пока проскальзывание еще не прекратилось? Ответ на оба вопроса нужно дать относительно системы отсчета, связанной со столом. Влиянием воздуха можно пренебречь.



Ответ: работа силы трения к моменту, когда проскальзывание груза по поверхности клина прекратится, будет равна $A_{\text{тр}} = -\frac{\mu v^2}{2(\mu - \operatorname{tg} \alpha)}$; относительно системы отсчета, связанной со столом, груз будет двигаться вдоль параболы (пока не остановится относительно клина).

Критерии

Для решения в системе отсчета, связанной со столом.

Правильно применен закон изменения механической энергии – 1 балл.

Правильно применен закон сложения скоростей для клина и груза – 1 балл.

Правильно найдено ускорение груза относительно клина – 2 балла.

Правильно найдено перемещение груза относительно клина (вдоль «линии падения воды» или вдоль вертикали) – 2 балла.

Правильно найдена искомая работа силы трения – 2 балла (если потерян знак – снимать 0,5 балла).

Правильно указан вид траектории груза относительно стола (до остановки) – 2 балла.

Для решения в системе отсчета, связанной с клином.

Правильно найдено ускорение груза относительно клина – 2 балла.

Правильно найдено перемещение груза относительно клина вдоль «линии падения воды» – 2 балла.

Правильно найден модуль действующей на груз силы трения – 2 балла.

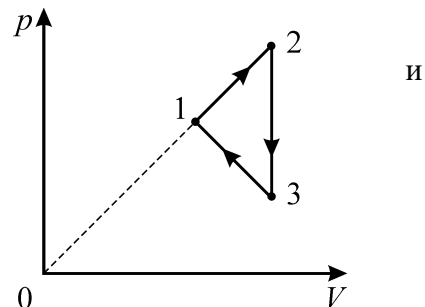
Правильно найдена искомая работа силы трения – 2 балла (если потерян знак – снимать 0,5 балла).

Правильно указан вид траектории груза относительно стола (до остановки) – 2 балла.

ВСЕГО: 10 баллов.

Задача 3 (А.И. Бычков)

С одним моле идеального одноатомного газа происходит циклический процесс 1–2–3–1, график которого приведен на pV -диаграмме. Температуры газа в состояниях 1, 2 и 3 равны $T_1 = 4T_0$, $T_2 = 9T_0$, $T_3 = 3T_0$ соответственно. 1) Чему равна работа, совершаемая газом за один цикл? 2) Определите КПД этого процесса.



Ответ: 1) работа, совершаемая газом за один цикл, равна $A = RT_0$; КПД процесса равен $\eta \cong 9,5\%$.

Критерии

Правильно найдены соотношения давлений и объемов в состояниях 1, 2 и 3 – 1 балл.

Правильно найдена работа за цикл – 1 балл.

Отмечено (пусть даже без доказательства), что в процессе 3-1 газ может как получать, так и отдавать теплоту – 1 балл

Правильно найдено (любым способом) «критическое» состояние 4 в процессе 3-1, соответствующее смену знака количества теплоты – 2 балла.

Правильно найдено полученное газом количество теплоты Q_{12} – 2 балла.

Правильно найдено полученное газом количество теплоты Q_{34} – 2 балла.

(если правильно найдены количества отданной теплоты в процессах 2-3 и 4-1, то также ставится по 1 баллу за каждое выражение)

Правильно найден КПД цикла – 1 балл.

ВСЕГО: 10 баллов.

Задача 4 (А.И. Бычков)

Два кубика с длинами ребер $3a$ и a и общим центром делят пространство на три области. Область внутри маленького кубика равномерно заряжена по объёму электрическим зарядом с плотностью $-\rho_1$ ($\rho_1 > 0$), пространство между поверхностями маленького и большого кубиков равномерно заряжено с объёмной плотностью заряда $+\rho_2$ ($\rho_2 > 0$), вне большого кубика электрических зарядов нет. Найдите отношение объёмных плотностей заряда ρ_1/ρ_2 , при котором потенциал в центре кубиков будет равен потенциалу бесконечно удаленной точки, то есть нулю.

Ответ: потенциал в центре кубиков будет равен потенциалу бесконечно удаленной точки при $\rho_1/\rho_2 = 8$.

Критерии

Отмечено, что потенциал пропорционален заряду – 1 балл.

Отмечено, что потенциал обратно пропорционален линейному размеру – 1 балл.

Получена правильная формула, выражающая связь потенциала в центре куба с длиной его ребра и с объёмной плотностью заряда – 2 балла.

Система зарядов правильно представлена как результат наложения друг на друга (суперпозиция) двух равномерно заряженных по объёму кубиков с соответствующими объёмными плотностями зарядов – 2 балла.

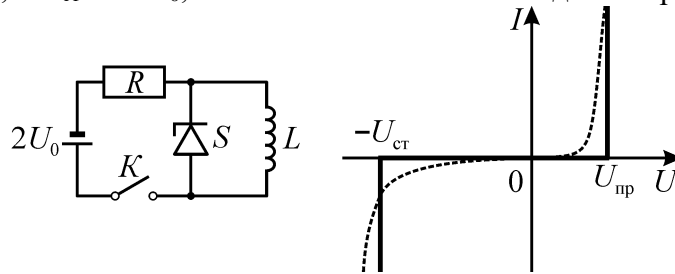
Составлено правильное уравнение для нахождения отношений объёмных плотностей заряда – 2 балла.

Получен правильный ответ – 2 балла.

ВСЕГО: 10 баллов.

Задача 5 (П. Крюков)

Из батарейки с ЭДС $2U_0$, резистора с сопротивлением R , которое намного больше внутреннего сопротивления батарейки, идеальной катушки индуктивностью L , стабилитрона S и ключа K собрали цепь, схема которой изображена на левом рисунке. Стабилитрон – это полупроводниковый элемент, подобный диоду, который при подключении в прямом направлении открывается (начинает проводить ток) при напряжении $U_{пр}$, а при подключении в обратном направлении – открывается при напряжении стабилизации $U_{ст}$. Идеализированная вольт-амперная характеристика (ВАХ) стабилитрона показана на рисунке справа сплошной жирной линией, а реальная ВАХ обозначена пунктирной линией. У используемого в данной цепи стабилитрона $U_{пр} = U_0$, а $U_{ст} = 10U_0$, его ВАХ можно считать идеализированной.



Ключ в цепи замыкают, ждут некоторое время и размыкают в тот момент, когда напряжение на резисторе составляет $3U_0/2$.

- 1) Найдите силу тока, текущего через резистор сразу после замыкания ключа.
- 2) Определите заряды, протекающие через стабилитрон при замкнутом и разомкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в стабилитроне за всё время?

Ответ: 1) сразу после замыкания ключа через резистор течет ток силой $I_0 = \frac{U_0}{R}$; 2) при замкнутом ключе через стабилитрон протекает заряд $q_s^{(1)} = \frac{LU_0}{2R^2}$, а разомкнутом ключе – заряд $q_s^{(2)} = \frac{9LU_0}{80R^2}$; в стабилитроне за всё время выделится количество теплоты $Q = \frac{13LU_0^2}{8R^2}$.

Критерии

Правильно найдена сила тока, текущего через резистор сразу после замыкания ключа – 1 балл.

Правильно найдена зависимость от времени силы тока, текущего через катушку при замкнутом ключе – 1 балл.

Правильно найдена зависимость от времени силы тока, текущего через открытый в прямом направлении стабилитрон при замкнутом ключе – 1 балл.

Правильно найден заряд, протекающий через стабилитрон при замкнутом ключе – 2 балла.

Правильно найдена сила тока, текущего через катушку и резистор перед размыканием ключа – 1 балл.

Правильно найдена зависимость от времени силы тока, текущего через открытый в обратном направлении стабилитрон при разомкнутом ключе – 1 балл.

Правильно найден заряд, протекающий через стабилитрон при разомкнутом ключе – 2 балла.

Правильно найдено количество теплоты, которая выделяется в стабилитроне за всё время – 1 балл (по 0,5 балла за каждый из промежутков времени – до размыкания ключа и после размыкания ключа).

ВСЕГО: 10 баллов.