

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Олимпиада «Ломоносов 2021/2022» по физике
Заключительный этап для 10-х – 11-х классов

Вариант 2 (решения)

1.3.1. Задача. На гладком льду озера лежит достаточно длинная доска массой $M = 1$ кг. На край доски ставят модель автомобиля с включённым двигателем, развивающим постоянную мощность $N = 2$ Вт. Все колёса автомобиля являются ведущими, а его масса в $n = 3$ раза меньше массы доски. Автомобиль начинает движение вдоль оси доски с проскальзыванием колёс. Коэффициент трения колёс о доску равен $\mu = 0,3$. Считая колёса автомобиля лёгкими, определите расстояние x , на которое сместится автомобиль относительно доски к моменту, когда колёса перестанут проскальзывать. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ м/с².

Вопросы. Как определяется импульс системы материальных точек? Сформулируйте закон сохранения импульса.

1.3.1. Решение. Будем решать задачу в системе отсчёта, связанной со льдом. Пусть к интересующему моменту автомобиль разогнался до скорости, модуль которой равен v , а доска приобрела скорость по модулю равную V . Согласно закону сохранения импульса $mv - MV = 0$, где $m = M/n$ – масса автомобиля. При этом доска сместилась на расстояние L , а автомобиль проехал расстояние $l = nL$ в противоположную сторону. При проскальзывании колёс мощность двигателя затрачивалась на разгон автомобиля и доски под действием сил трения скольжения между колёсами и доской и увеличение внутренней энергии взаимодействующих тел. Проскальзывание колёс прекратилось в тот момент, когда модули скоростей автомобиля и доски стали удовлетворять соотношению: $(v + V) \cdot \mu mg = N$, где g – модуль ускорения свободного падения. В дальнейшем модули скоростей увеличивались, а силы трения перестали быть силами трения скольжения и уменьшились по модулю. За время проскальзывания колёс кинетическая энергия автомобиля стала равной $\frac{mv^2}{2} = \mu mgl$, а доски – $\frac{MV^2}{2} = \mu mgL$. Из составленных уравнений получаем, что $x = L + l = \frac{N^2 n^3}{2\mu^3 g^3 M^2 (1+n)}$. **Ответ:** $x = \frac{N^2 n^3}{2\mu^3 g^3 M^2 (1+n)} = 0,5$ м.

2.2.1. Задача. Горизонтально расположенный цилиндр разделен подвижным поршнем массой $m = 5$ кг на две равные части объемом $V = 1$ л каждая. С одной стороны от поршня находится насыщенный водяной пар при температуре $t = 100^\circ\text{C}$, с другой – воздух при той же температуре. Цилиндр поставили вертикально так, что снизу оказался пар. На какое расстояние x опустится поршень, если температуру в обеих частях цилиндра поддерживают неизменной? Площадь основания цилиндра $S = 0,01\text{ м}^2$. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10\text{ м/с}^2$, а нормальное атмосферное давление $p_0 = 10^5\text{ Па}$.

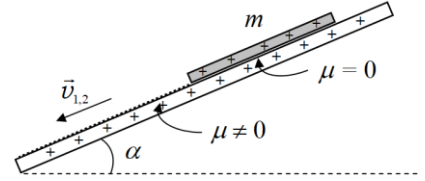
Вопросы. Дайте определения влажности и относительной влажности воздуха.

Решение. Когда цилиндр расположен горизонтально, давление воздуха равно давлению насыщенного водяного пара p_n , которое при $t = 100^\circ\text{C}$ равно нормальному атмосферному давлению p_0 . Записывая уравнение состояния воздуха, имеем $p_0V = \nu_b RT$, откуда количество молей воздуха $\nu_b = \frac{p_0V}{RT}$. Когда цилиндр поставили вертикально, давление водяного пара осталось прежним, а давление воздуха, как это следует из уравнения равновесия поршня, стало равным $p_0 - mg/S$. При перемещении поршня на расстояние x объем воздуха увеличился на xS и уравнение состояния воздуха приняло вид: $\left(p_0 - \frac{mg}{S}\right)(V + xS) = \nu_b RT = p_0V$. Из последнего соотношения легко найти величину x , а

именно:
$$x = \frac{mgV}{S(p_0S - mg)}.$$

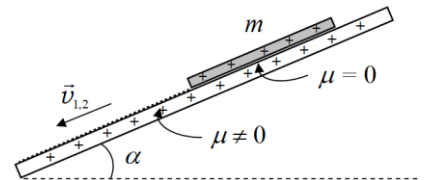
Ответ:
$$x = \frac{mgV}{S(p_0S - mg)} \approx 5,3\text{ мм}.$$

3.5.1. Задача. Длинная диэлектрическая плита наклонена под углом к горизонту и имеет две части поверхности – гладкую верхнюю и шероховатую нижнюю. Прямоугольная пластмассовая пластинка массой $m = 100$ г покоится, располагаясь целиком на шероховатой части, если угол наклона плиты не превышает $\alpha_{\text{пр}} = 30^\circ$. Пластинку смещают вдоль плиты так, что её нижний край совпадает с границей шероховатой части, и отпускают без начальной скорости. Скорость пластинки к моменту, когда она целиком окажется на шероховатой части плиты равна v_1 . Если же по плите равномерно распределён заряд с поверхностной плотностью $\sigma = +3$ мкКл/м², а по пластинке заряд $q = +3$ мкКл, скорость пластинки в том же положении окажется равной v_2 . Во сколько раз v_1 меньше v_2 ? Электрическую постоянную примите равной $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, а ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Поляризационными эффектами можно пренебречь.



Вопросы. Дайте определение емкости. Запишите формулу для емкости плоского конденсатора.

3.5.1. Решение. Незаряженная пластинка покоится на шероховатой части наклонной плоскости при условии $0 = mg \cdot \sin \alpha_{\text{пр}} - \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha_{\text{пр}}$. При соскальзывании из нового положения сила трения скольжения между пластинкой и плитой изменяется по линейному закону от нуля до значения μN , поэтому работа силы трения $A_{\text{тр}} = -\frac{1}{2} \mu N \cdot b$. Скорость движения пластинки удобно находить,



используя закон изменения механической энергии: $mg \cdot b \sin \alpha + A_{\text{тр}} = \frac{mv_{1,2}^2}{2}$. В отсутствии

электрического заряда нормальная составляющая силы реакции опоры равна $N_1 = mg \cdot \cos \alpha_{\text{пр}}$. Напряжённость электрического поля, созданного заряженной плитой

равна $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, поэтому нормальная составляющая уменьшается до значения

$N_2 = mg \cdot \cos \alpha_{\text{пр}} - qE$ (в случае одинаковых знаков зарядов). Решая систему приведённых

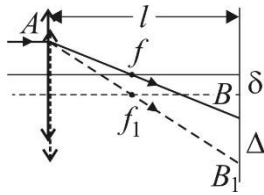
уравнений, находим искомое отношение скоростей $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{q\sigma \cdot \tan \alpha_{\text{пр}}}{2\epsilon_0 mg \cdot \sin \alpha_{\text{пр}}}}$. **Ответ:**

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{1 + \frac{q\sigma \cdot \tan \alpha_{\text{пр}}}{2\epsilon_0 mg \cdot \sin \alpha_{\text{пр}}}} \approx 1,26.$$

4.3.1. Задача. Узкий световой пучок падает на тонкую собирающую линзу параллельно ее главной оптической оси и образует светлое пятно на экране, параллельном плоскости линзы и расположенном за ней на расстоянии $l = 20$ см. Когда линзу передвинули на расстояние $\delta = 0,5$ см в направлении, перпендикулярном ее главной оптической оси, центр пятна сместился на величину $\Delta = 1$ см. Найдите фокусное расстояние линзы f .

4.3.1. Вопросы. Дайте определения фокусного расстояния и оптической силы тонкой линзы.

Решение.



Ход одного из лучей, образующих пучок, изображен на рисунке для случая, когда $l > f$. Сплошные линии соответствуют исходному положению линзы, штриховые – смещенному. Из подобия $\triangle A f f_1$ и $\triangle A B B_1$ следует, что $f = \frac{l\delta}{\Delta}$. Аналогично рассматривается случай, когда $l < f$. Наконец, если перемещение линзы выходит из плоскости

рисунка, то лучи, преломленные линзой в исходном и смещенном ее положениях, по-прежнему будут лежать в одной плоскости, в которой можно рассмотреть такие же подобные треугольники. Следовательно, связь между смещениями линзы и светового пятна на экране во всех случаях имеет один и тот же вид.

Ответ: $f = \frac{l\delta}{\Delta} = 10$ см.

Критерии оценки

Задачи (каждая задача оценивается максимально в 15 баллов)

1. Задача вовсе не решалась – **0 баллов**.
2. Задача не решена, но сделан поясняющий рисунок (если требуется), частично сформулированы необходимые физические законы – **1 – 5 баллов**.
3. Задача не решена, но правильно сформулированы физические законы и правильно записаны основные уравнения, необходимые для решения задачи – **6 – 10 баллов**.
4. Задача решена, но допущены незначительные погрешности – **11-14 баллов**.
5. Задача решена полностью и получен правильный ответ – **15 баллов**.

Теоретические вопросы (максимальная оценка 10 баллов)

1. Ответ по существу обеих частей вопроса полностью отсутствует – **0 баллов**.
2. Ответ является неполным (дан ответ только на одну часть вопроса) – **1 – 5 балла**.
3. Ответ является неполным (даны формально ответы на обе части вопроса, но отсутствуют или не полностью приведены необходимые пояснения) – **6 – 9 баллов**.
4. Ответ является полным (содержит по обеим частям вопроса необходимые физические понятия и величины с пояснением их смысла) – **10 баллов**.