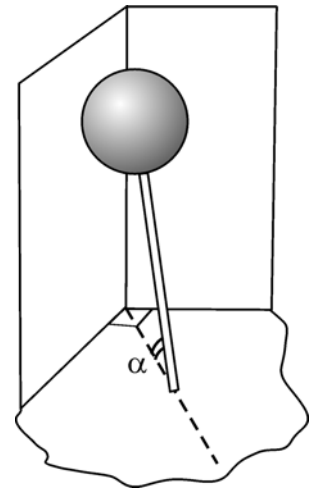


### Задача 1

«Чупа-чупс стоял в углу...» За что его поставили, неясно, но стоять ему не очень-то хотелось. Вот он и стал постепенно отставлять свою «ножку» все дальше вдоль биссектрисы того прямого угла между стенками, в который его поставили, а «головой» опираясь о стенки (см. рисунок). При каком угле  $\alpha$  между ножкой и полом чупа-чупс упадет? Считать, что вся его масса сосредоточена в однородной шарообразной «голове» радиусом  $R$ , расстояние от центра головы до конца ножки равно  $l$ , коэффициент трения головы о стенки угла –  $\mu_1$ , а ножки об пол –  $\mu_2$ . Решите задачу в общем виде, а затем проведите численный расчет угла  $\alpha$  для случая  $\mu_1 = \mu_2 = 0,6$ ,  $l = 4R$ .



**Ответ:**  $\alpha = \arccos\left(\frac{R}{l} \cdot \frac{\mu_1 \mu_2}{\sqrt{1 + \mu_2^2}}\right) - \arccos\frac{1}{\sqrt{1 + \mu_2^2}} \approx 54,6^\circ$ .

### Критерии

На рисунке правильно изображены силы – 1 балл

Правильно записано условие равенства нулю суммы проекций сил на горизонтальное направление – 2 балла

Правильно записано условие равенства нулю суммы моментов сил – 2 балла

(Если правильная система уравнений получена другим способом, то за нее ставится 4 балла)

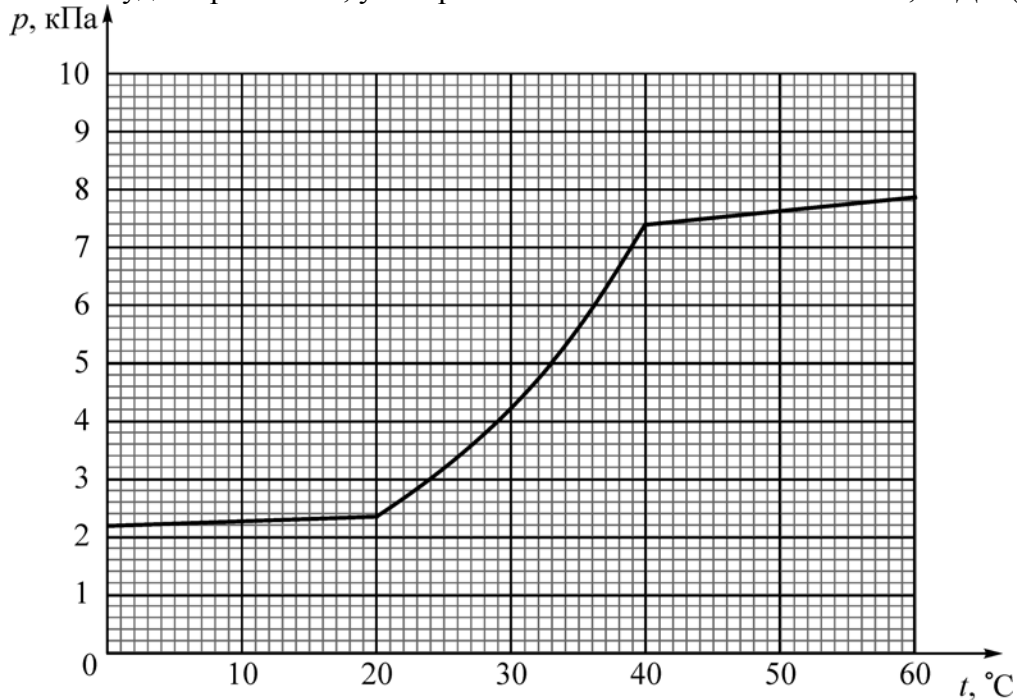
Получено аналитическое выражение для угла  $\alpha$  – 2 балла

Получен правильный численный ответ для угла  $\alpha$  – 1 балл

Всего: 8 баллов.

### Задача 2

Сосуд объемом  $V = 1 \text{ м}^3$  разделен на две части легким тонким подвижным теплопроводящим поршнем, по одну сторону от которого находится вода, по другую – азот. График зависимости давления в системе от температуры приведен на рисунке. Сколько молей воды и сколько молей азота находятся в сосуде? Трения нет, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$ .



**Ответ:**  $\nu_a \approx 0,97 \pm 0,01$  моль,  $\nu_b \approx 1,87 \pm 0,02$  моль.

### Критерии

Указано, что первый участок графика соответствует нахождению воды только в жидком состоянии и получена формула для давления в сосуде в этом случае – 1 балл

Указано, что второй участок графика соответствует нахождению воды в равновесии с насыщенным паром и что давление в сосуде в этом случае равно давлению насыщенного пара – 1 балл

Указано, что третий участок графика соответствует нахождению воды только в газообразном состоянии при давлении меньшем давления насыщенного пара и получена формула для давления в сосуде в этом случае – 1 балл

Определен с точностью до 0,1 Па/К угловой коэффициент первого участка графика – 1,5 балла

Определен с точностью до 0,1 Па/К угловой коэффициент третьего участка графика – 1,5 балла

(В случае если угловые коэффициенты определены менее точно, за каждый снимается по 0,5 балла)

Вычислено количество молей азота – 1 балл

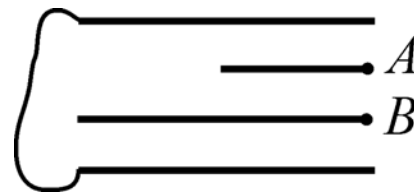
Вычислено количество молей воды – 1 балл

(За использование при вычислениях не очень точных значений угловых коэффициентов баллы дополнительно не снимаются)

Всего: 8 баллов.

### Задача 3

Электрическая емкость плоского конденсатора, состоящего из двух одинаковых параллельных друг другу пластин, находящихся на расстоянии  $d$ , равна  $C$ . Четыре такие пластины расположили параллельно друг другу на расстоянии  $d$ , соединив две внешние пластины тонким проводом. От одной из внутренних пластин отрезали и удалили половину. Какова емкость такой системы проводников, если ее измеряют между указанными на рисунке точками  $A$  и  $B$ ?



**Ответ:**  $C_{\Sigma} = 6C/7$ .

### Критерии

Высказана идея о возможности «раздвинуть» поверхности каждой из пластин  $A$  и  $B$  – 2 балла

Высказана идея о возможности «разделить» верхнюю пластину на две половины – 2 балла

Правильно изображена эквивалентная схема цепи – 2 балла

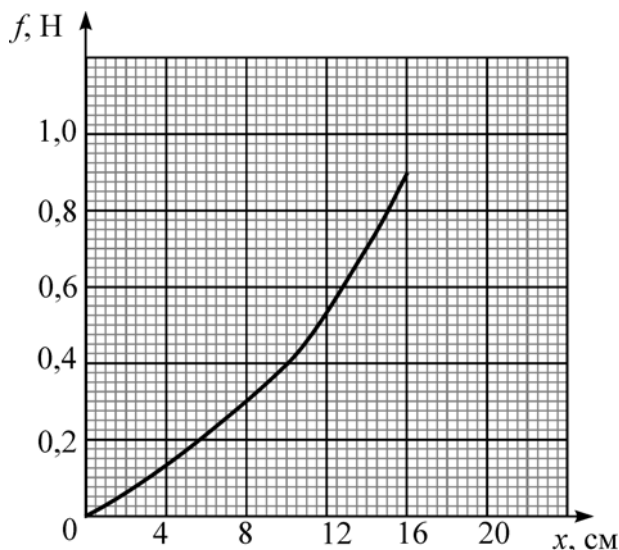
(Если правильная эквивалентная схема получена другим правильным способом, то за это ставится 6 баллов)

Правильно вычислена емкость системы конденсаторов – 2 балла

Всего: 8 баллов

### Задача 4

Резиновый жгут и пружина в нерастянутом состоянии имеют одинаковые длины. Коэффициент жесткости пружины равен  $k = 4$  Н/м. График зависимости модуля  $f$  силы растяжения жгута от его удлинения  $x$  приведен на рисунке. Пружина и жгут очень легкие. Пружину подвешивают за один из концов к потолку, а к ее второму концу прикрепляют конец жгута (при этом пружина и жгут оказываются соединенными последовательно).



1) К свободному нижнему концу жгута прикладывают направленную вниз силу с модулем  $F = 0,7$  Н. На какую суммарную величину  $X$  растянутся пружина и жгут?

2) Найдите массу  $m$  груза, который нужно подвесить к свободному нижнему концу жгута, чтобы суммарное удлинение системы в положении равновесия было равно  $L = 20$  см.

3) Оцените энергию  $E$ , которая будет запасена в жгуте при подвешивании к его свободному нижнему концу покоящегося груза найденной выше массой  $m$ .

4) Груз этой массой  $m$ , подвешенный к свободному нижнему концу жгута, заставили свободно колебаться с амплитудой  $A = 2$  мм вокруг положения равновесия. Пренебрегая трением, оцените, чему будет равен период таких колебаний груза.

При решении задачи считайте, что ускорение свободного падения равно  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**Ответ:**

1)  $X = 31,5$  см; 2)  $m = 40$  г;

3)  $E \approx 18 \pm 2$  мДж; 4)  $T \approx 0,84 \pm 0,05$  с.

### Критерии

#### Вопрос 1)

Записано условие равновесия элемента жгута, находящегося вблизи точки приложения силы  $F$ , и найдено удлинение жгута (14 см) – 1 балл

Записано условие равновесия элемента, находящегося вблизи точки соединения пружины и жгута, и найдено удлинение пружины (17,5 см) – 1 балл

Правильно найдено суммарное растяжение пружины и жгута  $X$  – 1 балл

Всего за вопрос 1 – 3 балла

**Вопрос 2)**

Записано условие равновесия пружины и жгута в форме  $mg = f(x) = kL - kx$  – 1 балл

Полученное уравнение решено графически и правильно найден его корень  $x_1 = 10$  см – 1 балл

Правильно найдена масса груза  $m$  – 1 балл

Всего за вопрос 2 – 3 балла

**Вопрос 3)**

Указано, что запасенная в жгуте энергия численно равна площади, ограниченной графиком зависимости  $f(x)$ , осью абсцисс и вертикальной прямой  $x = x_1$  – 1 балл

Площадь под графиком подсчитана «по клеточкам» и правильно оценена запасенная в жгуте энергия ( $18 \pm 2$  мДж) – 1 балл

Всего за вопрос 3 – 2 балла

**Вопрос 4)**

Указано, что из-за малости амплитуды колебаний участок зависимости  $f(x)$  при  $x \approx x_1$  можно считать приблизительно линейным – 1 балл

Указано, что коэффициент жесткости жгута при данном растяжении можно найти как угловой коэффициент касательной к графику зависимости  $f(x)$  при  $x \approx x_1$ , и построена эта касательная – 1 балл

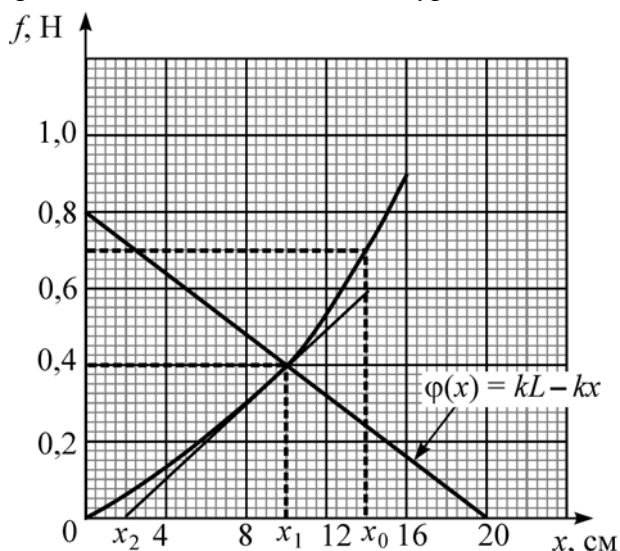
Правильно оценен коэффициент жесткости жгута при данном растяжении ( $5 \pm 1$  Н/м) – 1 балл

Записана формула для периода колебаний груза, подвешенного на двух последовательно соединенных пружинах с разными жесткостями – 1 балл

Правильно оценен период колебаний груза ( $0,84 \pm 0,05$  с) – 1 балл

Всего за вопрос 4 – 5 баллов

Всего – 13 баллов



**Задача 5**

Летом в ясный солнечный день школьник вышел во двор своего дома с прямоугольным зеркальцем в руках. Поймав зеркальцем солнечный свет, он направил зайчик перпендикулярно на неосвещенную стену дома и стал постепенно отходить от нее. Оказалось, что вначале зайчик имел квадратную форму со стороной  $d = 5$  см, а потом его края стали размываться, и он постепенно стал практически круглым, с небольшим размывом по краям. Пренебрегая явлением дифракции, объясните наблюдаемый эффект и оцените, при каком расстоянии  $L$  от стены ширина размывной области на краю зайчика станет менее 10% от диаметра его ярко освещенной круглой части. Размер зеркальца  $5 \times 7$  см, угловой размер Солнца  $\varphi \approx 0,01$  радиана.

**Ответ:**  $L > \frac{d}{0,1\varphi} \approx 50$  м.

**Критерии**

Указано, что от каждой точки зеркальца к стене идет конический световой пучок с угловой шириной  $\varphi \approx 0,01$  радиана – 1 балл

Объяснена причина размыва солнечного зайчика при увеличении расстояния от зеркальца до стены – 1 балл

Объяснена причина размыва краев круглого светового пятна на стене и показано, что ширина размывной области по порядку величины равна  $d$  – 2 балла

Записана формула для диаметра круглого светового пятна на стене – 2 балла

Записано неравенство, связывающее  $d$ ,  $L$  и  $\varphi$  – 1 балл

Получена оценка для  $L$  – 1 балл

Всего – 8 баллов