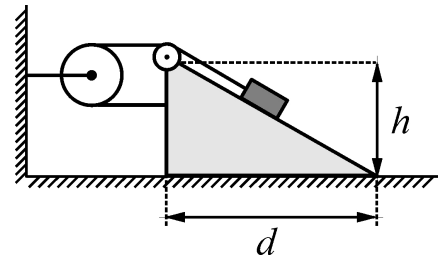


### Задача 1

На гладкой горизонтальной поверхности находится клин с высотой  $h = 30$  см и шириной основания  $d = 40$  см. На его гладкой наклонной плоскости находится маленькая шайба, соединенная с клином при помощи невесомой нерастяжимой нити, перекинутой через два блока (см. рисунок). Блоки невесомые и вращаются без трения, масса клина в  $n = 8$  раз больше массы шайбы. С каким ускорением начнет двигаться клин после отпускания? Ускорение свободного падения считайте равным  $g \approx 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Движение клина – поступательное.



**Ответ:** ускорение клина будет равно  $A = \frac{2g \sin \alpha}{n + 5 - 4 \cos \alpha} = \frac{6}{49} g \approx 1,2$  м/с<sup>2</sup>.

#### Критерии

##### Способ 1 (динамический)

На рисунке правильно показаны действующие на клин и на груз силы, необходимые для составления уравнений – 1 балл

Правильно записано уравнение движения клина – 1 балл

Правильно записано уравнение движения груза в проекции на горизонтальную ось  $OX$  – 1 балл

Правильно записано уравнение движения груза в проекции на вертикальную ось  $OY$  – 1 балл

Правильно найдена связь между проекциями на ось  $OX$  ускорения груза и ускорения клина – 2 балла

Правильно найдена связь между проекцией на ось  $OY$  ускорения груза и проекцией на ось  $OX$  ускорения клина – 1 балл

Решена система уравнений и получено выражение для ускорения клина – 2 балла

Правильно найдено численное значение ускорения клина – 1 балл

Всего – 10 баллов

##### Способ 2 (энергетический)

Правильно найдена связь между проекциями на ось  $OX$  скорости груза и скорости клина – 2 балла

Правильно найдена связь между проекцией на ось  $OY$  скорости груза и проекцией на ось  $OX$  скорости клина – 1 балл

Записано выражение для кинетической энергии груза, и она выражена через скорость клина – 2 балла

Записано выражение для уменьшения потенциальной энергии груза, и она выражена через скорость клина – 1 балл

Записан закон сохранения механической энергии – 1 балл

Получено выражение для ускорения клина – 2 балла

Правильно найдено численное значение ускорения клина – 1 балл

Всего – 10 баллов

### Задача 2

Гладкая полусферическая чаша неподвижно закреплена на столе так, что ее ось симметрии вертикальна. В чашу последовательно кладут два тонких неоднородных стержня одинаковой массы и одинаковой длины, меньшей диаметра чаши. Первый стержень в положении равновесия образует с горизонтом угол  $\alpha_1$ , а второй – угол  $\alpha_2 < \alpha_1$ . Затем стержни скрепляют друг с другом боковыми поверхностями так, что они образуют новый тонкий стержень прежней длины, и кладут получившийся составной стержень обратно в чашу. Какой угол с горизонтом будет образовывать в положении равновесия этот составной стержень?

**Ответ:** угол, который составной стержень будет образовывать с горизонтом в положении равновесия, равен  $\alpha = \arctg\left(\frac{1}{2}(\operatorname{tg}\alpha_1 \pm \operatorname{tg}\alpha_2)\right)$ .

### Критерии

Замечено, что в положении равновесия центр масс стержня будет находиться под центром чаши – 2 балла

Записано выражение для координаты центра масс стержня (относительно одного из его концов) – 2 балла

Записано выражение для координаты центра масс составного стержня для случая, когда более тяжелые части стержней находятся с одной стороны – 1 балл

Получено уравнение для определения угла  $\alpha$  в рассматриваемом случае – 1 балл

Найден угол  $\alpha$  для рассматриваемого случая – 1 балл

Записано выражение для координаты центра масс составного стержня для случая, когда более тяжелые части стержней находятся с разных сторон – 1 балл

Получено уравнение для определения угла  $\alpha$  в рассматриваемом случае – 1 балл

Найден угол  $\alpha$  для рассматриваемого случая – 1 балл

Всего – 10 баллов

### Задача 3

«Водяная ракета» представляет собой полуторалитровую ( $V = 1,5$  л) бутылку, в которую налито небольшое количество воды массой  $m = 200$  г. Ракета несет полезный груз, укрепленный на ее корпусе снаружи. Бутылка заткнута резиновой пробкой, а давление воздуха в ней равно  $p = 5$  атмосфер. Оцените, на какую высоту взлетит эта ракета, запущенная вертикально вверх из перевёрнутого положения в результате быстрого выброса воды после удаления пробки. В момент старта ракета была неподвижна. Общая масса взлетевшей ракеты с «боеголовкой»  $M = 0,5$  кг. Считайте, что давление в бутылке при выбросе воды меняется не сильно. Массой пробки и воздуха в бутылке пренебречь. Плотность воды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**Ответ:**  $h = \frac{K_M}{Mg} = \frac{(4/5)p\Delta V m}{Mg(m+M)} = \frac{4pm^2}{5\rho Mg(m+M)} \approx 4,6$  м.

### Критерии

Записано выражение для работы, совершаемой воздухом при выталкивании воды – 2 балла

Записан закон сохранения механической энергии для системы «вода – ракета» – 2 балла

Найдена доля работы воздуха, «приходящаяся» на ракету – 2 балла

Записан закон сохранения механической энергии для взлетающей ракеты – 2 балла

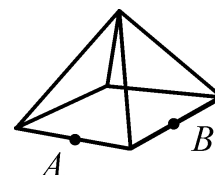
Получено выражение для высоты подъема ракеты – 1 балл

Получен правильный численный ответ для высоты подъема ракеты – 1 балл

Всего – 10 баллов

### Задача 4

Из проволоки сделали правильную четырехугольную пирамиду, все ребра которой имеют одинаковое сопротивление  $R$ . К серединам двух соседних (перпендикулярных) ребер основания подсоединили выводы  $A$  и  $B$  омметра – прибора для измерения сопротивлений. Что покажет омметр?



**Ответ:**  $2R/3$ .

### Критерии

Получена симметричная эквивалентная схема – 2 балла

Замечено, что некоторые точки цепи имеют одинаковые потенциалы, и указано, что их можно соединить проводниками – 3 балла

Получена упрощенная эквивалентная схема – 3 балла

Найдено выражение для сопротивления между точками  $A$  и  $B$  – 2 балла

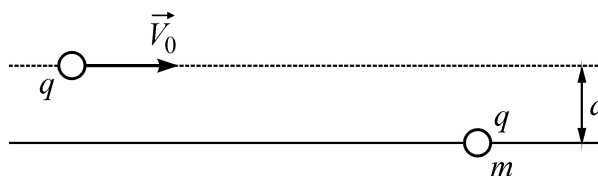
Всего – 10 баллов

### Задача 5

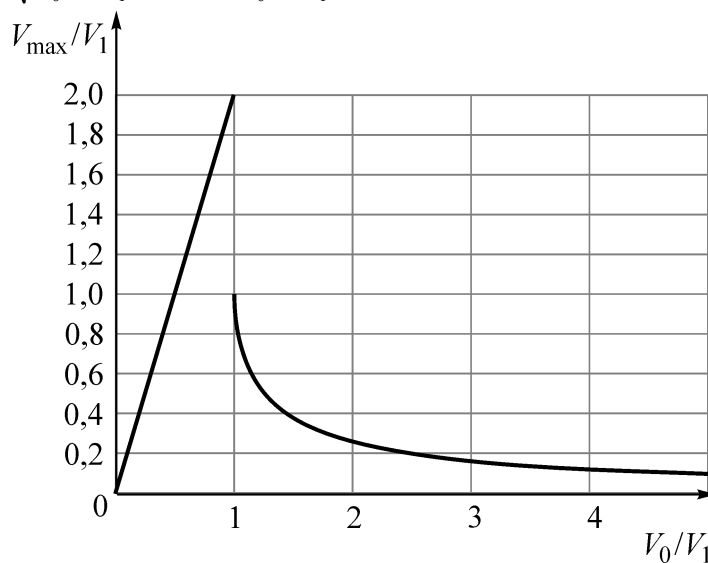
По длинному непроводящему стержню может без трения перемещаться бусинка массой  $m$  и зарядом  $q$ .

Вдоль стержня на расстоянии  $d$  от него перемещают с постоянной скоростью  $V_0$  точечный заряд  $q$ . Считая, что в начальный момент бусинка покоилась и была бесконечно удалена от точечного заряда, определите

максимальную скорость  $V_{\max}$  бусинки. Постройте график зависимости  $V_{\max}$  от  $V_0$ .



**Ответ:**  $V_{\max} = \begin{cases} 2V_0 & \text{при } V_0 < V_1 \\ V_0 - \sqrt{V_0^2 - V_1^2} & \text{при } V_0 > V_1 \end{cases}$ , где  $V_1 = \sqrt{\frac{2kq^2}{md}}$ ,  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ .



### Критерии

Осуществлен переход в систему отсчета, связанную с точечным зарядом, который перемещают с постоянной скоростью  $V_0$  – 2 балла

Для случая большой скорости  $V_0$  записан закон сохранения энергии для системы «заряд + бусинка» – 1 балл

Найдена минимальная скорость бусинки в движущейся системе отсчета – 1 балл

Указано, при каком минимальном (критическом) значении  $V_0$  существует такое решение – 1 балл

При помощи закона сложения скоростей найдена максимальная скорость бусинки в лабораторной системе отсчета для случая, когда скорость бусинки  $V_0$  больше критической – 1 балл

Найдена максимальная скорость бусинки в лабораторной системе отсчета для случая, когда скорость бусинки  $V_0$  меньше критической – 2 балла

Правильно построен (с указанием всех особенностей) график зависимости максимальной скорости  $V_{\max}$  бусинки от  $V_0$  – 2 балла