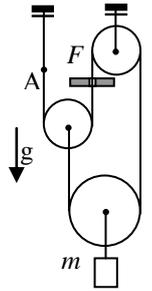


## 11 класс

## 1. Ускорение с трением

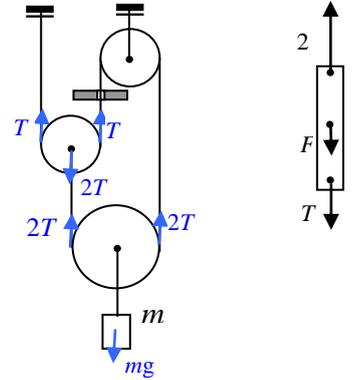
(Замятин М.)

Определите ускорение груза массой  $m$  в системе, состоящей из трех невесомых блоков и невесомой нерастяжимой нити, пропущенной через отверстие (в лапке штатива), в котором при скольжении нити возникает сила трения  $F$ . Найдите силу  $T_A$  натяжения нити в районе узелка А. Трение в осях блоков отсутствует.



## Возможное решение

Предположим, что проскальзывание нити в отверстии есть. Тогда силы натяжения, действующие на левый подвижный блок, вследствие его невесомости, отличаются в два раза. Из-за невесомости фрагмента нити пропущенного через отверстие  $2T = F + T$ . Откуда  $T = F$ . Из второго закона Ньютона для груза  $a = g - \frac{4F}{m}$ . Что возможно при  $F < \frac{mg}{4}$ . В противном случае система неподвижна, и сила трения меньше максимального значения  $F$ . В покоящейся системе ( $a = 0$ ) сила натяжения нити  $T = \frac{mg}{4}$ . Если проскальзывание есть, то  $T = F$ .



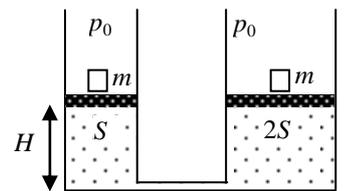
## Критерии оценивания

- Учет невесомости блока в расстановке сил 1 балл
- Учет невесомости нити в расстановке сил 1 балл
- Правильный учет силы трения на нить 2 балла
- Нахождение силы натяжения нити (учет двух случаев) 3 балла
- Нахождение ускорения (учет двух случаев) 3 балла

## 2. Кубики

(Замятин М.)

Два вертикальных цилиндра с сечениями  $S$  и  $2S$ , соединенные снизу тонкой трубкой, заполнены одноатомным газом и закрыты сверху подвижными невесомыми поршнями, находящимися изначально на одинаковой высоте  $H$  от основания. Давление  $p_0$  над поршнями атмосферное. Одновременно на оба поршня кладут кубики одинаковой массы  $m$ . В каком направлении сместятся поршни к тому моменту, когда система придет в новое равновесное состояние. Определите, на какие расстояния сместятся поршни. Температуру газа можно считать неизменной. Трение между стенками цилиндра и поршнем не учитывайте.



## Возможное решение

Для того чтобы оба поршня находились над газом необходимо, чтобы под ними были давления  $p_1 = p_0 + \frac{mg}{S}$  и

$p_2 = p_0 + \frac{mg}{2S}$  соответственно. Но так как сосуды сообщаются, то разные давления в правом левом сосуде невозможны. Газ полностью перетечет из левого сосуда в правый. Поэтому смещение левого поршня находится сразу  $h_1 = H$ . Для определения смещения правого поршня запишем уравнение Клапейрона для начального и

конечного состояния газа  $3p_0SH = \left(p_0 + \frac{mg}{2S}\right)2S(h_2 + H)$ . Откуда  $h_2 = H \frac{p_0S - mg}{p_02S + mg}$ . Видно, что правый

поршень может как подняться, так и опуститься в зависимости от массы кубика. Для нормального атмосферного давления  $p_0 = 10^5$  Па высота кубика сделанного даже из ртути должна составлять около метра. Но если атмосфера разрежена, то такой вариант возможен.

Сегодня, 19 декабря 2015 года, на портале [online.mipt.ru](http://online.mipt.ru) составители олимпиады проведут онлайн-разборы задач. Время начала разборов: 7 класс 15:30, 8 класс 16:30, 9 класс 17:30, 10 класс 19:00, 11 класс 20:30.

Для участия в разборе необходимо заранее зарегистрироваться на портале [online.mipt.ru](http://online.mipt.ru).

Заметим, что начальное состояние системы неустойчивое. Если на один из поршней положить малый перегрузок, то поршень опустится до основания цилиндра.

### Критерии оценивания

- |   |         |
|---|---------|
| • Новое давление под поршнями                         | 2 балла |
| • Описание нового состояния равновесия                | 2 балла |
| • Изменение высоты левого поршня                      | 1 балл  |
| • Уравнение Клапейрона для газа                       | 2 балла |
| • Изменение высоты правого поршня                     | 2 балла |
| • Анализ возможных вариантов подъема/опускания поршня | 1 балл  |

### 3. Теплота и энергия

(Фольклор)

Электрическая цепь состоит из соединенных последовательно: идеального источника тока, с ЭДС  $E = 15$  В, резистора, ключа и незаряженного конденсатора. Ключ замыкают. Определите напряжение  $U$  на конденсаторе для того момента, когда энергия, выделившаяся на резисторе, в 9 раз превысит энергию конденсатора.

#### Возможное решение

По закону сохранения энергии работа источника тока приводит к выделению теплоты на резисторе и накоплению электростатической энергии в конденсаторе:

$$Eq = W_R + W_C = 10W_C.$$

Энергия конденсатора  $W_C = \frac{qU}{2}$ . Откуда  $U = \frac{E}{5} = 3$  В.

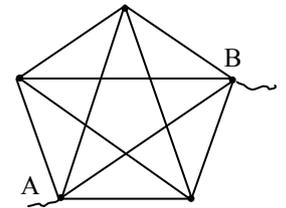
### Критерии оценивания

- |  |          |
|--|----------|
| • Записан закон сохранения энергии с учетом работы источника | 5 баллов |
| • Записано выражение для энергии конденсатора                | 3 балла  |
| • Найдено выражение для напряжения конденсатора              | 1 балл   |
| • Получено численное значение напряжения                     | 1 балл   |

### 4. Звезда и пентагон

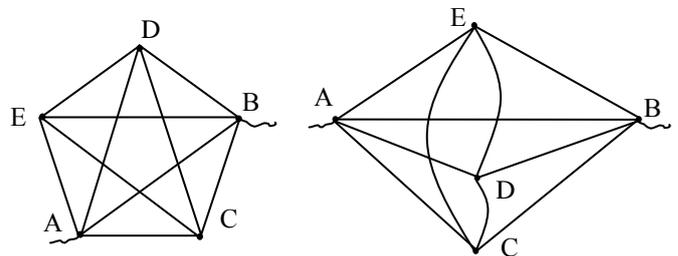
(Гордеев 3.)

Вычислите эквивалентное сопротивление  $R_0$  между узлами А и В проволочной конструкции, изображенной на рисунке. Сопротивление каждого отдельного провода  $R = 0,5$  Ом. Провода соединяются друг с другом только в узлах отмеченных точками в вершинах внешнего пятиугольника.



#### Возможное решение

Обозначим узлы схемы и перерисуем ее так, чтобы заметнее стала симметрия.



Получаем сбалансированную мостиковую схему. По проводам, соединяющим узлы Е, D, С, ток не пойдет, и при расчете общего сопротивления их можно не учитывать. Окончательно, между узлами А и В мы имеем четыре параллельные ветви (три с сопротивлением  $2R$  и одна с сопротивлением  $R$ , которая эквивалентна ещё двум параллельным ветвям с сопротивлениями по  $2R$ ). Их эквивалентное сопротивление  $\frac{1}{R_0} = \frac{5}{2R}$ , откуда

$$R_0 = \frac{2}{5}R = 0,2 \text{ Ом.}$$

Сегодня, 19 декабря 2015 года, на портале [online.mipt.ru](http://online.mipt.ru) составители олимпиады проведут онлайн-разборы задач. Время начала разборов: 7 класс 15:30, 8 класс 16:30, 9 класс 17:30, 10 класс 19:00, 11 класс 20:30.

Для участия в разборе необходимо заранее зарегистрироваться на портале [online.mipt.ru](http://online.mipt.ru).

Заметим, что сопротивление системы из  $N$  точек попарно соединенных одинаковыми проводниками с сопротивлением  $R$  не зависит от того между какими именно точками измеряется эквивалентное сопротивление и равно  $R_0 = \frac{2}{N} R$ .

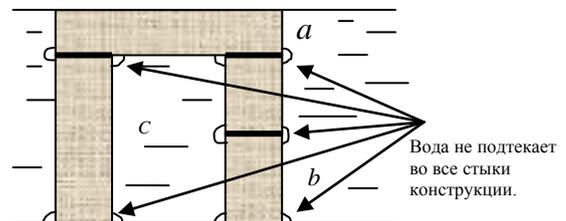
### Критерии оценивания

- Обоснование отсутствия тока по трем проводам схемы 5 баллов
- Расчет сопротивления упрощенной схемы 4 балла
- Численный ответ 1 балл

### 5. Подтекания нет!

(Кармазин С.)

Кирпич представляет собой параллелепипед, ребра которого относятся как  $a : b : c = 1 : 2 : 4$ . Плотность кирпича  $\rho_k = 3\rho_o$ , где  $\rho_o = 1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность воды. Кирпичная конструкция, изображенная на рисунке, состоит из 4-х кирпичей и находится на дне аквариума. Уровень налитой воды точно совпадает с верхней плоскостью верхнего кирпича. Все стыки этой конструкции тщательно проклеены герметиком, и поэтому вода в них не подтекает, но, в этих стыках сохранился воздух, находящийся там при атмосферном давлении. Чему равно отношение давления левой «ноги» на дно аквариума к давлению правой «ноги»? Массой и объемом герметика можно пренебречь.



### Возможное решение

Левая и правая ноги этой конструкции испытывают только боковое давление воды. Поэтому они (без верхнего кирпича) давят на дно с силой  $mg$  и  $2mg$  соответственно. На верхний кирпич, кроме силы тяжести, действует вверх сила давления воды  $Q$ . Площадь контакта воды с кирпичом равна

$S = (c-2a)b = (4a-2a)b = 2ab = (c/2)b = 4a^2$ . Нижняя грань кирпича находится на глубине  $a$ .

Таким образом  $Q = \rho_w g a (c/2)b = F/2$ , где  $F = \rho_w g a c b$  – сила Архимеда, которая действовала бы на кирпич, если бы он был полностью погружен в воду. Следовательно, верхний кирпич давит на две симметричные опоры с силой  $T = (mg - (F/2))/2 = 5F/4$  на каждую. Площадь основания левой ноги  $S_n = ab = 2a^2$ , площадь основания правой ноги равна  $S_n = ac = 4a^2$ . С учетом сказанного, давление на дно аквариума левой ноги  $P_n = (mg + T)/2a^2$ , а правой ноги  $P_n = (2mg + T)/4a^2$ . Так как по условию  $mg = 3F$ , получаем:  $P_n = (17F/8a^2)$  и  $P_n = (29F/16a^2)$ . Окончательно,  $P_n/P_n = 34/29$ .

### Критерии оценивания

- Указано, что давление по определению  $P = F/S$  1 балл
- Указано, что на ноги сила Архимеда не действует 1 балл
- Указано, что на верхний кирпич действует вверх сила давления воды 1 балл
- Вычислена сила  $Q$  давления воды, действующая на верхний кирпич 1 балл
- Указано, что верхний кирпич давит одинаково на обе опоры с силой  $(mg-Q)/2$  2 балла
- В вычислениях учтено, что  $mg = 3F$  или  $F = mg/3$  1 балл
- Правильно записаны площади опор (отличие в 2 раза) 1 балл
- Проведены вычисления и получен правильный ответ 2 балла