

### Задача 1

По поверхности стоящего неподвижно небольшого школьного глобуса радиусом  $R = 9$  см бежит маленький таракан с постоянной по модулю скоростью  $V = 3$  см/с. По отношению к разметке глобуса его скорость все время направлена на северо-восток. Каково по модулю ускорение таракана в тот момент, когда он наступает на кружочек, соответствующий положению Санкт-Петербурга ( $\varphi = 60^\circ$  северной широты)? Глобус не вращается.

**Ответ:** модуль ускорения таракана в указанный момент равен  $a = \frac{V^2}{R} \sqrt{\frac{5}{2}} = \sqrt{\frac{5}{2}} \approx 1,58$  см/с<sup>2</sup>.

**Всякое полностью правильное решение оценивается в 10 баллов вне зависимости от выбранного участником способа решения! Не допускается снижать оценки за плохой почерк, решение способом, отличающимся от авторского и т.д.**

#### Критерии

1. Проекция ускорения на направление к центру глобуса равна  $a_1 = V^2/R$  1,5 балла.
2. От кружочка до места пересечения касательной линии с осью глобуса расстояние  $\frac{R}{\sqrt{3}}$  1,5 балла.
3. Через время  $\tau$  таракан сместится в направлении «на восток» на расстояние  $\frac{V\tau}{\sqrt{2}}$  1 балл.
4. И на такое же расстояние сместится в направлении «на север» 1 балл.
5. Угол между касательными линиями равен  $\sqrt{\frac{3}{2}} \frac{V\tau}{R}$  2,5 балла.
6. Вторая составляющая ускорения  $a_2 = \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{V^2}{R}$  2,5 балла.
7.  $a = \frac{V^2}{R} \sqrt{\frac{5}{2}} \approx 1,6$  см/с<sup>2</sup> 1 балл.

**ВСЕГО: 10 баллов.**

### Задача 2

Через шершавый цилиндрический шкив радиусом  $R$  с горизонтальной осью вращения была перекинута длинная невесомая и нерастяжимая верёвка, к концам которой прикреплены грузы массами  $m$  и  $5m$ . Шкив, приводимый в движение электромотором, равномерно вращался с угловой скоростью  $\omega$ , и грузы висели на одном уровне, не смещаясь по вертикали. В момент времени  $t = 0$  направление вращения шкива быстро изменилось на противоположное.

- 1) Какую мощность развивал электромотор до смены направления вращения шкива?
- 2) С какими по модулю ускорениями сразу после смены направления вращения двигались грузы?
- 3) Как модули ускорений грузов зависели от времени после смены направления вращения шкива?

**Примечание:** отношение модулей сил натяжения легкой веревки по разные стороны от шкива зависит только от коэффициента трения между шкивом и веревкой.

**Ответ:** 1) до смены направления вращения шкива электромотор развивал мощность  $N = 4MgR\omega$ ; 2) сразу после смены направления вращения модули ускорений грузов были равны  $a = 12g/13$ ; 3) после смены направления вращения шкива модули ускорений грузов изменялись по закону:  $a = 12g/13$  при  $0 < t < 13\omega R/(12g)$  и  $a = 0$  при  $t \geq 13\omega R/(12g)$ .

**Всякое полностью правильное решение оценивается в 10 баллов вне зависимости от выбранного участником способа решения! Не допускается снижать оценки за плохой почерк, решение способом, отличающимся от авторского и т.д.**

#### Критерии

1. Отношение модулей сил натяжения веревки по одну и по другую сторону от него равно отношению масс грузов 1,5 балла.

- |  |             |
|--|-------------|
| 2. $N = 4MgR\omega$  | 1,5 балла.  |
| 3. $5ma = 5mg - T$   | 1,5 балла.  |
| 4. $ma = 5T - mg$  | 1,5 балла.  |
| 5. $a = 12g/13$  | 0,75 балла. |
| 6. $t = \omega R/a = 13\omega R/(12g)$   | 0,75 балла. |
| 7. $a = 12g/13$ при $0 < t < 13\omega R/(12g)$ и $a = 0$ при $t \geq 13\omega R/(12g)$ | 2,5 балла.  |
- ВСЕГО: 10 баллов.**

### Задача 3

В цилиндрическом сосуде с площадью основания  $S$  находится  $\nu$  молей идеального одноатомного газа, отделенного от окружающей среды невесомым поршнем. Коэффициент трения между поршнем и стенками сосуда равен  $\mu$ . В начальном состоянии газ имеет объем  $V_0$ , температуру  $T_0$  и давление, равное давлению окружающей среды. При медленном нагревании газа поршень начинает смещаться, когда температура газа возрастает до значения  $1,2T_0$ . После достижения температуры  $2T_0$  нагрев прекращают, и газ остывает до исходной температуры  $T_0$ . Найдите

- 1) конечный объем газа;
- 2) количество теплоты, которое было подведено к газу в процессе его нагревания;
- 3) модуль силы реакции, действующей со стороны стенок сосуда на поршень.

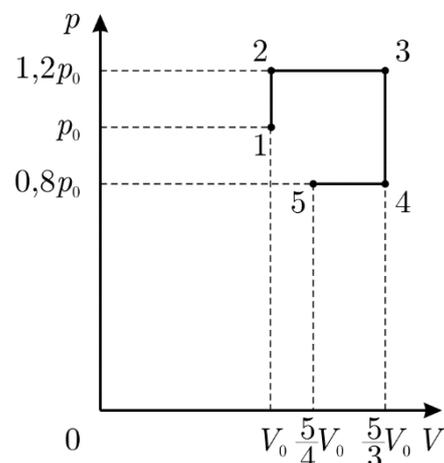
**Ответ:** 1) конечный объем газа равен  $V_5 = \frac{5}{4}V_0$ ; 2) в процессе нагревания к газу было подведено количество теплоты  $\Delta Q = 2,3\nu RT_0$ ; 3) модуль силы реакции, действующей со стороны стенок сосуда на поршень, равен  $N = \frac{0,2p_0S}{\mu} = \frac{0,2\nu RT_0S}{V_0\mu}$ .

**Всякое полностью правильное решение оценивается в 10 баллов вне зависимости от выбранного участником способа решения! Не допускается снижать оценки за плохой почерк, решение способом, отличающимся от авторского и т.д.**

#### Критерии

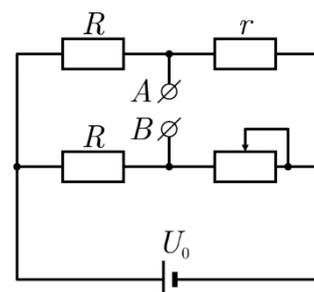
- |  |            |
|--|------------|
| 1. $\frac{p_0V_0}{T_0} = \frac{p_2V_0}{T_0} = \frac{p_2V_3}{2T_0}$ | 1,5 балла. |
| 2. $p_4 = p_5 = 0,8p_0$  | 2 балла.   |
| 3. $V_5 = \frac{5}{4}V_0$  | 1,5 балла. |
| 4. Правильный график   | 1 балла.   |
| 5. $Q = \Delta U_{13} + A$   | 0,5 балла. |
| 6. $Q = 2,3\nu RT_0$   | 1,5 балл.  |
| 7. $1,2p_0S = p_0S + \mu N$  | 1,5 балл.  |
| 8. $N = \frac{0,2\nu RT_0S}{V_0\mu}$                               | 0,5 балла. |

**ВСЕГО: 10 баллов.**



### Задача 4

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, сопротивления постоянных резисторов не известны, а сопротивление переменного резистора может изменяться в широком диапазоне – от нуля до значений, значительно превосходящих сопротивления других резисторов. Батарейка идеальная. Между контактами  $A$  и  $B$  сначала подключают идеальный вольтметр, который не только измеряет напряжение (напряжение холостого хода), но и показывает его полярность. Затем вольтметр отключают и подключают вместо него идеальный амперметр, измеряющий силу тока (ток короткого замыкания) и показывающий его направление. Такие же измерения проводят при разных значениях сопротивления переменного резистора – от очень маленьких до очень больших. В результате



измерений обнаружилось, что значения напряжений холостого хода лежат в интервале от  $-2$  В до  $+4$  В, а значения тока короткого замыкания от  $-30$  мА до  $+15$  мА. При этом отрицательным токам соответствуют отрицательные напряжения, а положительным – положительные. Определите по этим данным сопротивления  $r$  и  $R$  резисторов и напряжение  $U_0$  батарейки.

**Ответ:** сопротивления резисторов равны  $R = 200$  Ом и  $r = 100$  Ом; напряжение батарейки  $U_0 = 6$  В.

**Всякое полностью правильное решение оценивается в 10 баллов вне зависимости от выбранного участником способа решения! Не допускается снижать оценки за плохой почерк, решение способом, отличающимся от авторского и т.д.**

#### Критерии

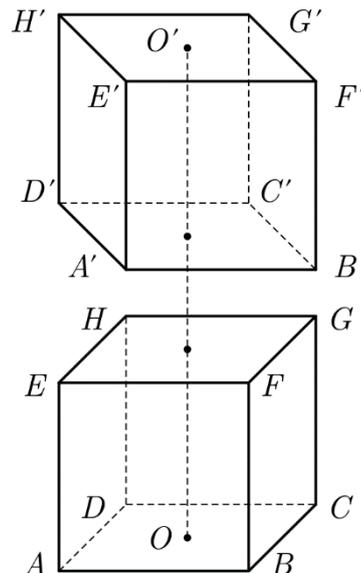
- Показания приборов при очень большом сопротивлении переменного резистора
  - $U_V = \frac{U_0 R}{R + r}$  1 балл.
  - $I_A = \frac{U_0}{R + 2r}$  1 балл.
- Показания приборов при очень маленьком сопротивлении переменного резистора
  - $U_V = \frac{U_0 r}{R + r}$  1 балл.
  - $I_A = \frac{U_0}{R}$  1 балл.
- $2 \text{ В} = \frac{U_0 r}{R + r}$  (если выбор значения «2 В» для подстановки  
в данную формулу обоснован) 1,25 балла.
- $4 \text{ В} = \frac{U_0 R}{R + r}$  (если выбор значения «4 В» для подстановки  
в данную формулу обоснован) 1,25 балла.
- $30 \text{ мА} = \frac{U_0}{R}$  (если выбор значения «30 мА» для подстановки  
в данную формулу обоснован) 1,25 балла.
- $15 \text{ мА} = \frac{U_0}{R + 2r}$  (если выбор значения «15 мА» для подстановки  
в данную формулу обоснован) 1,25 балла.
- $R = 200$  Ом 0,4 балла.
- $r = 100$  Ом 0,4 балла.
- $U_0 = 6$  В 0,2 балла.

В случае, если выбор значений токов (напряжений) в пунктах 3–6 не обоснован (сделан случайно), и при этом получено правильное решение, то за задачу ставится не более 8 баллов.

**ВСЕГО: 10 баллов.**

### Задача 5

Два одинаковых проводящих кубика с общей осью  $OO'$  расположены таким образом, что ребра  $AD$  и  $A'D'$  составляют угол  $\pi/4$  друг с другом (см. рисунок). Нижнему и верхнему кубикам сообщены заряды  $+3q$  и  $-q$  соответственно, при этом разность потенциалов кубиков равна  $\Delta\varphi$ . Кубики соединяют тонким проводником.



1) Какой заряд и в каком направлении протечет по этому проводнику?

2) Какое количество теплоты при этом выделится?

3) Чему будет равна разность потенциалов кубиков, если их зарядить, сообщив им заряды  $+q$  и  $-q$ ?

**Ответ:** 1) по проводнику протечет заряд  $+2q$  с нижнего кубика на верхний; 2) при этом выделится количество теплоты  $Q = q\Delta\varphi$ ; 3) разность потенциалов между кубиками, заряженными

зарядами  $+q$  и  $-q$ , будет равна  $\Delta\varphi_1 = \frac{\Delta\varphi}{2}$ .

**Всякое полностью правильное решение оценивается в 10 баллов вне зависимости от выбранного участником способа решения! Не допускается снижать оценки за плохой почерк, решение способом, отличающимся от авторского и т.д.**

#### Критерии

- |   |          |
|---|----------|
| 1. По проводнику протечет заряд $+2q$ с нижнего кубика на верхний   | 2 балла. |
| 2. Полная работа, совершаемая электрическими силами пропорциональна площади под графиком $\Delta\varphi'(q')$ | 2 балла. |
| 3. $Q = \frac{1}{2} \Delta\varphi \cdot 2q = q\Delta\varphi$  | 1 балла. |
| 4. $Q = \frac{1}{2} C \Delta\varphi^2$  | 2 балла. |
| 5. $C = \frac{2Q}{\Delta\varphi^2} = \frac{2q}{\Delta\varphi}$  | 1 балл.  |
| 6. $\Delta\varphi_1 = \frac{q}{C} = \frac{\Delta\varphi}{2}$  | 2 балла. |

**ВСЕГО: 10 баллов.**