

# 58-я олимпиада по физике школьников Эстонии

9 апреля 2011 г. Заключительный тур. Задачи гимназии

**1. (ВОДА)** В открытом термосе находится вода при температуре  $t_0 = 100$  °С. Из этой воды 1% испарился. Оцените, на сколько изменится температура  $t$  оставшейся в термосе воды. Удельная теплоемкость воды  $c_v = 4,2$  кДж/(кг · К), удельная теплоемкость водяного пара  $c_a = 1,9$  кДж/(кг · К) и удельная теплота парообразования воды при температуре 100 °С равна  $L = 2,26$  МДж/кг. Предполагайте, что теплопотерь через стенки термоса нет. (6 б.)

**2. (СТЕРЖЕНЬ)** По шарнирно закрепленному к стене очень длинному и легкому стержню может скользить маленькое колечко массы  $m$ . Вначале колечко находится на расстоянии  $l$  от шарнира, а стержень горизонтален. В момент времени  $t = 0$  система начинает свободно двигаться. Найдите зависимость от времени угла  $\alpha$  между стержнем и горизонталью. Все движения происходят без трения. (6 б.)

**3. (СИЛЬНЫЙ ВЕТЕР)** Рассмотрим грузовую машину, попавшую в область сильного бокового ветра, как однородный прямоугольный параллелепипед. Ширина машины  $a = 2$  м, высота  $b = 3$  м, длина  $c = 5$  м. Каким должен быть коэффициент трения между колесами машины и поверхностью земли, чтобы достаточно сильный боковой ветер мог приподнять над землей колеса машины с ветреной стороны? (6 б.)

**4. (ТРУБА)** Две горизонтальные трубы разного диаметра соединены концами так, что их оси совпадают. По первой трубе течет вода со скоростью  $v_1$ . К обеим трубам присоединены маленькие вертикальные трубки, высота столба воды в них, соответственно,  $h_1$  и  $h_2$  (от оси труб). Найдите отношение диаметров горизонтальных труб. Трение не учитывайте. *Подсказка.* При горизонтальном течении жидкости справедлив закон Бернулли в виде  $\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{const}$ , где  $p$  — гидростатическое давление,  $\rho$  — плотность жидкости и  $v$  — скорость жидкости. (8 б.)

**5. (СОЛЕНОИД)** По соленоиду (длинной цилиндрической катушке) с полым сердечником течет ток  $I$ . Внутри соленоида движется электрон, траектория которого представляет собой винтовую спираль, число витков которой равно числу витков соленоида. Найдите компонент скорости этого электрона, параллельный оси соленоида. Можно предполагать, что компонент скорости электрона, перпендикулярный оси, достаточно маленький, и столкновений со стенками соленоида происходить не будет. Масса электрона  $m$ , заряд  $e$ . *Подсказка:* Внутри соленоида однородное магнитное поле  $B = \mu_0 n I$ , где  $n$  — количество витков соленоида на единицу длины,  $I$  — ток в соленоиде, и  $\mu_0$  — магнитная постоянная. (10 б.)

**6. (ФОТОГРАФ)** Фотограф фотографировал поток воды, ниспадающий с водопада; блестящие в лучах солнца капли получались на фото как вертикальные полоски. Когда фотоаппарат при съемке держали в нормальном положении, все полоски получились длиной в  $l_1 = 120$  пикселей; когда фотоаппарат перевернули "вверх ногами" (т.е. повернули вокруг главной оптической оси на 180 градусов), полоски стали длиной в  $l_2 = 200$  пикселей. Какой длины получились полоски, когда фотоаппарат держали в "портретном режиме" (т.е. его повернули вокруг главной оптической оси на 90 градусов)? Предпола-

гайте, что выдержка и направление главной оптической оси во всех случаях были одними и теми же. Если из приведенных данных однозначный ответ не получить, приведите все возможные варианты ответа.

*Подсказка.* Основные компоненты фотоаппарата — объектив (линза) и затвор. Объектив создает в плоскости дигитального сенсора (или пленки) изображение фотографируемых предметов. В нерабочем режиме это изображение не попадает на сенсор, так как затвор не дает прошедшему через объектив свету попасть на него. При нажатии на кнопку спуска затвор открывается на короткое время (называемое *выдержкой*): изображение предметов теперь действительно падает на сенсор, и каждый пиксель сенсора измеряет количество попавшей на него за выдержку световой энергии. Обычно затвор представляет собой две "шторки", которые расположены непосредственно перед сенсором и закрывают его. Вначале сенсор скрывает первая шторка, верхний край которой при нажатии кнопки спуска движется сверху вниз с постоянной скоростью  $v$ , открывая сенсор. Выдержку оканчивает вторая шторка, нижний край которой тоже движется сверху вниз с такой же скоростью  $v$ , как и первая шторка. Если выдержка очень короткая, сенсор не успевает полностью открыться: обе шторки движутся сверху вниз одновременно, и сенсор открыт падающему на него свету только в пределах узкой горизонтальной полоски между шторками (и эта полоска движется со скоростью  $v$  сверху вниз). (10 б.)

**7. (КОЛЬЦО)** Из проволоки с неоднородным распределением массы сделано кольцо в форме круга радиусом  $R$ . Центр масс кольца находится на расстоянии  $R/2$  от центра круга. Кольцо вешают на горизонтальный валик. Каким должен быть коэффициент трения  $\mu$  между кольцом и валиком, чтобы при медленном вращении валика кольцо по нему не проскальзывало? (10 б.)

**8. (ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА)** Из стекла с показателем преломления  $n$  изготовлена тонкая двояковыпуклая линза, радиус кривизны поверхностей которой равен  $r$  (толщина линзы  $d \ll r$ ). Одну поверхность линзы покрывают отражающим слоем металла. Найдите фокусное расстояние оптической системы из выпуклой линзы и вогнутого зеркала. *Подсказка.* Для нахождения фокусного расстояния можно рассматривать близкие к оптической оси лучи, которые распространяются под маленьким углом к ней. В таком случае можно применить формулу маленьких углов  $\sin \alpha \approx \tan \alpha \approx \alpha$ , где угол  $\alpha$  дан в радианах. (10 б.)

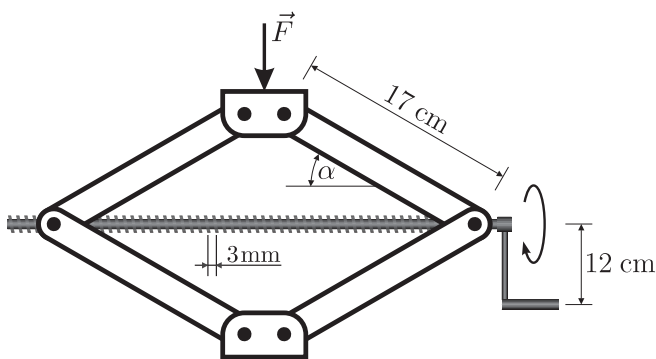
**9. (НЕРВНАЯ КЛЕТКА)** Мембрану нервной клетки можно рассматривать как тонкую пленку емкости  $C$ , через которую проходят ионные каналы, позволяющие зарядам проходить через мембрану. С точки зрения электрического баланса нервной клетки важными ионами являются натрий и калий. Если ион натрия (с зарядом  $+e$ ) проходит нервный канал (входя в клетку), химические силы совершают работу  $e\mathcal{E}_{\text{Na}}$ , так что можно сказать, что на ионы натрия в ионном канале действует электродвижущая сила  $\mathcal{E}_{\text{Na}}$ . В случае ионов калия процесс прохождения мембраны точно такой же, но эффективная электродвижущая сила равна  $\mathcal{E}_{\text{K}}$  ( $\neq \mathcal{E}_{\text{Na}}$ ). Кроме химических сил при движении заряда в ионном канале действуют также силы трения, которые можно описать с помощью электрического сопротивления: для ионов натрия сопротивление мембраны равно  $R_{\text{Na}}$ , для ионов калия —  $R_{\text{K}}$ . Какой заряд собирается на мембране нервной клетки, когда она достигает электрического равновесия? (10 б.)

**10. (ДОМКРАТ)** На рисунке изображен домкрат простой конструкции, шаг винта которого равен 3 мм. Машина давит на домкрат с силой  $F = 5$  кН. Рассмотрим момент, когда  $\alpha = 40^\circ$ . Размеры домкрата смотрите на рисунке.

a) Какую силу нужно применить к рукоятке домкрата для поднятия машины, если не учитывать трение между всеми проскальзывающими поверхностями? (9 б.)

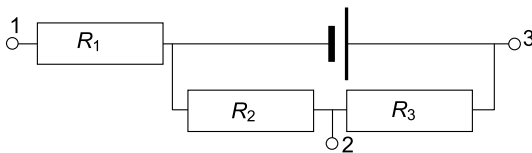
b) Если бы коэффициент трения и на самом деле был ничтожно мал, то домкрат не смог бы удержать машину: стоило бы только отпустить натянутую рукоятку, как она сразу же стала бы раскручиваться под тяжестью машины, и машина опустилась бы вниз. Ответьте на предыдущий вопрос, предполагая, что коэффициент трения настолько велик (т.е. не больше, чем нужно), чтобы домкрат мог остаться в поднятом положении. (3 б.)

(Всего 12 б.)



**Е1. (ШПРИЦ)** Определите внутренний диаметр иголки шприца. Оборудование: шприц (объемом  $V = 10$  мл), сосуд с водой, прикрепленная к штативу линейка, секундомер. (12 б.)

**Е2. (ЧЕРНЫЙ ЯЩИК)** Известно, что в черном ящике находится изображенная схема. Найдите значения сопротивления резисторов и электродвижущей силы батарейки. Оборудование: черный ящик с тремя выходными клеммами, мультиметр, который можно использовать в качестве вольтметра и в качестве миллиамперметра. Батарейку и мультиметр можно считать идеальными. (12 б.)



*Можно решать все предложенные задачи. В зачет идут 5 теоретических и 1 экспериментальная задачи, получившие наибольшее количество баллов. При решении экспериментальной задачи можно пользоваться лишь указанным в задаче оборудованием. Время решения — 5 часов.*