

# XXXIII открытое соревнование по физике школьников Эстонии

3-е декабря 2022 г.

Задачи старшей группы (11–12 классы)

Просим решение каждой задачи писать на отдельном листе.

Время решения 5 часов. Каждый участник может решать все предложенные задачи.

В зачёт идут 6 решений, набравших наибольшее количество баллов.

Можно использовать только принадлежности для письма и черчения, а также калькулятор.

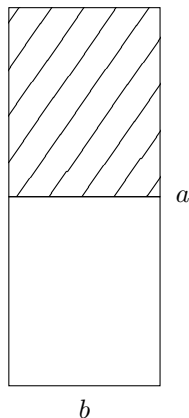
Прочие вспомогательные инструменты запрещены.

**1. (ОЗЕРО ТИТИКАКА)** Из озера Титикака на границе Боливии и Перу вытекает единственная река Десагуадеро со скоростью  $v = 10 \text{ м}^3/\text{с}$ . Площадь озера составляет  $S = 8400 \text{ км}^2$ , а средняя скорость испарения воды с поверхности озера за год равна  $b = 2000 \text{ мм}$ . Найдите солёность озера Титикака, если солёность входящей воды составляет  $c = 10 \text{ мг/л}$ . Полагайте, что концентрация соли в озере и уровень воды в каждый момент равномерны. (6 б.)

**2. (КАРАНДАШ)** Чтобы держать карандаш вертикально в воздухе, нужно применять такую же силу вне зависимости от того, берётся ли карандаш за кончик или за стороны. Коэффициент трения между пальцем и стороной карандаша —  $\mu_1 = 0,3$ , отточенной частью (кончиком) —  $\mu_2 = 0,5$ . Каков угол кончика карандаша  $\alpha$ ? (8 б.)



**3. (ПРОГУЛКА ПО ЭСКАЛАТОРУ)** Задача Сандры — дойти до верхнего правого угла прямоугольного коридора из нижнего левого. Коридор является продолговатым прямоугольником (вид сверху на рисунке) длиной  $a = 200 \text{ м}$  и шириной  $b = 4 \text{ м}$ . Себе в помощь Сандра может заменить верхнюю половину коридора движущейся эскалаторной лентой (как горизонтальные эскалаторы повсеместные в аэропортах) со свободно выбираемым направлением движения. Сандра хочет выбрать направление движения ленты так, чтобы она могла добраться как можно быстрее из нижнего левого угла коридора до верхнего правого угла. Под каким углом к левой стене коридора должна Сандра выбрать направление движения ленты? Сандра движется по отношению к поверхности под ней с максимальной скоростью  $v = 2 \text{ м/с}$ , лента движется с максимальной скоростью  $u = 3 \text{ м/с}$ .



*Примечание.* Если  $x \approx 0$ , то можно использовать приближения  $\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{x}{2}$  и  $\sin x \approx \tan x \approx x$  (угол  $x$  в радианах). (8 б.)

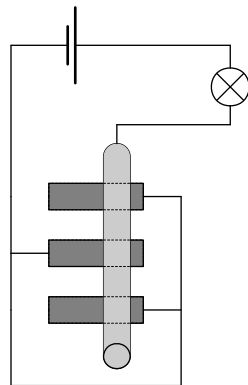
**4. (СУХОЙ ЛЁД)** Сухой лёд (твёрдый  $\text{CO}_2$ ) иногда применяют, чтобы с помощью сублимировавшего газа и капель воды создать низкий туман, например в театре или на съёмочной площадке. Молодой физик Герда хочет знать, что при таком применении случилось бы в закрытом помещении. Для этого она берёт немного сухого льда ( $m_{\text{CO}_2} = 10 \text{ г}$ ) при температуре сублимации ( $T_0 = -78,5^\circ\text{C}$ ) и помещает его в пустую бочку диаметром  $D = 1 \text{ м}$  и высотой  $h = 1,5 \text{ м}$ . Герда сразу закрывает бочку и запоминает, что вместе с сухим льдом внутри находится воздух при комнатной температуре ( $T_{\text{возд}} = 25^\circ\text{C}$ ). Предполагаем, что теплоёмкость стен бочки пренебрежимо мала и с внешней средой теплообмена не происходит.

(а) Каковы температура и давление воздуха в бочке, когда весь сухой лёд сублимирует?

(б) Как и почему бы изменились (увеличились, уменьшились, остались бы такими же) температура и давление воздуха, если бы Герда положила сухой лёд в полную воды ванну на дне бочки, как часто и применяют сухой лёд?

Теплота сублимации сухого льда  $\lambda_{\text{CO}_2} = 32,3 \text{ кДж/моль}$ . Молярные массы углерода и кислорода соответственно  $M_C = 12,0 \text{ г/моль}$  и  $M_O = 16,0 \text{ г/моль}$ . Плотность воздуха при комнатной температуре  $\rho_{\text{возд}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$ . Удельные теплоёмкости углекислого газа и воздуха при постоянном объёме соответственно  $C_{\text{CO}_2} = 0,657 \text{ кДж/К/кг}$  и  $C_{\text{возд}} = 0,718 \text{ кДж/К/кг}$ . Атмосферное давление  $p_0 = 101,3 \text{ кПа}$  и универсальная газовая постоянная  $R = 8,314 \text{ Дж/К/моль}$ . (8 б.)

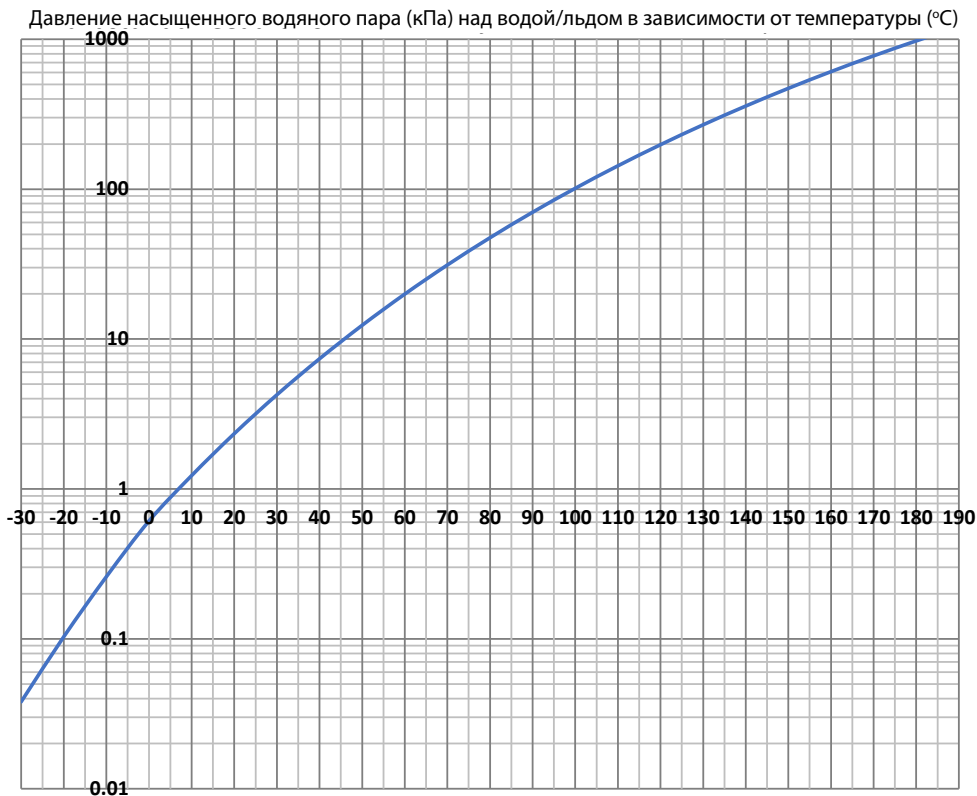
**5. (ОРИГИНАЛЬНЫЕ РЕОСТАТЫ)** Размеры тонких графитных пластин —  $100 \text{ мкм} \times 1 \text{ см} \times 10 \text{ см}$  и удельное сопротивление —  $\rho = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Три таких пластины располагаются параллельно на изоляторе и к одному концу каждой из них (не обязательно к одному и тому же для всех!) подсоединена клемма такой же ширины, что и пластина. Все три клеммы подсоединены проводами к одному концу батареи. Второй конец батареи подсоединён к одной из клемм потребителя с сопротивлением  $R = 10 \text{ кОм}$ . Вторая клемма этого потребителя подсоединена проводами к проводимой трубке, которая расположена поверх и перпендикулярно всем трём пластинам (см. рисунок). Электродвижущая сила батареи  $U = 12 \text{ В}$ , её внутреннее сопротивление пренебрежимо мало.



(а) Когда трубка касается всех пластин на расстоянии  $l = 8 \text{ см}$  от их левого края, потребитель затрачивает мощность приблизительно  $P = 2,65 \text{ мВт}$ . Сколько пластин подсоединено с левой стороны?

(б) Какую мощность затрачивал бы потребитель, если трубку подвинуть так, чтобы она касалась каждой пластины на расстоянии  $7 \text{ см}$  от левого края? (10 б.)

6. (БАНЯ) Субъективное ощущение жары в горячем воздухе очень хорошо описывает то, как сильно отличается точка росы от температуры тела. Точка росы - это температура, при которой из определённого воздуха начинает конденсироваться вода (предполагая, что давление остаётся равным атмосферному). Пусть температура воздуха в парилке  $T_l = 100^\circ\text{C}$ , точка росы воздуха бани  $T_k = 10^\circ\text{C}$  и объём парилки  $V = 10\text{ м}^3$ . До какой температуры поднимется точка росы, если на пар поддать (испарить)  $m = 200\text{ г}$  воды? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31\text{ Дж/К/моль}$ ; молярная масса воды  $\mu = 18\text{ г/моль}$ . (10 б.)



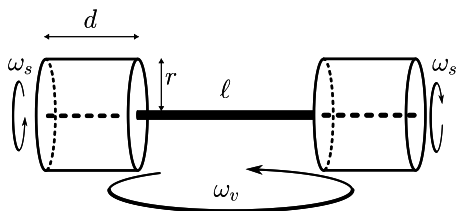
7. (ЭЛЕКТРОН И КОНДЕНСАТОР) Пластины плоского конденсатора - квадраты со стороной  $b$ ; расстояние между пластинами  $d$  намного меньше, чем  $b$ . Между пластинами применяется напряжение  $U$ . Какую наименьшую начальную скорость  $v$  должен иметь электрон массой  $m$  и зарядом  $e$ , чтобы преодолеть пространство между пластинами избегая столкновений с пластинами? Электрон должен покинуть пространство между пластинами с противоположной стороны от стороны вхождения. (10 б.)

**8. (ТОРГОВЫЙ КОРАБЛЬ)** Во время погрузки торговый корабль начинает качаться вверх-вниз с маленькой амплитудой в спокойной воде. Когда на корабль погружено  $m_1 = 1000$  тонн товара, частота колебаний равна  $f_1 = 10$  колебаний в минуту. Когда на корабль погружено  $m_2 = 10\,000$  тонн товара, частота колебаний становится  $f_2 = 8$  колебаний. Известно, что раскачивание корабля увлекает за собой определённое количество воды, увеличивая наблюдаемую инерцию корабля. Это значит, что в воде корабль реагирует на внешние силы так, будто его масса увеличена на значение массы увлечённой воды. Найдите массу пустого корабля  $M$  предполагая, что масса увлечённой воды вне зависимости от погруженного товара равна  $\frac{1}{2}M$ . Предполагайте, что у поверхности воды корпус корабля вертикален. (10 б.)

**9. (УГОЛ)** У шпиона дома есть собака, которую для практики шпионажа он хочет всегда держать в поле зрения. В доме есть коридор, посреди которого находится угол величиной  $\alpha$ , за которым собака иногда отдыхает у стены. Шпиону же нравится отдыхать по другую сторону угла, также у стены. Для таких случаев у шпиона есть выпуклая линза дискообразной формы радиусом  $r = 5$  см с фокусным расстоянием  $f = 10$  см, которую он может расположить в коридоре в свободно выбранном месте, со свободно выбранной ориентацией. Каков наименьший угол  $\alpha$ , при котором шпион может наблюдать за собакой в данной ситуации при помощи линзы?

*Примечание:* можно предполагать, что расстояние как от шпиона, так и от собаки до угла намного больше, чем их размеры, которые в свою очередь намного больше, чем радиус линзы. Линзу можно рассматривать как идеальную тонкую линзу. (12 б.)

**10. (ГАНТЕЛЬ И ВРАЩЕНИЕ)** Гантель состоит из двух одинаковых цилиндра радиусом  $r$  и высотой  $d$ , которые соединены коаксиально шестом длиной  $l$ . Внутри шеста находится мотор, который вращает цилиндры по отношению к шесту с одинаковыми угловыми скоростями  $\pm\omega_s$  в противоположных направлениях. Какую постоянную угловую скорость  $\omega_v$  имеет шест, если гантель располагают на гладкой горизонтальной поверхности? Предполагайте, что шест не начинает обращаться вокруг своей оси (например, это можно предотвратить, подвесив дополнительный груз в центре). (12 б.)



Задачи и решения олимпиады по физике находятся по адресу:  
<https://www.teaduskool.ut.ee/et/ainevoistlused/fuusika-lahtine>  
<http://efo.fyysika.ee>

Присоединяйтесь к нашей страничке в Facebook:  
<https://www.facebook.com/fyysikaolympiaad>