

# XXXI открытое соревнование по физике школьников Эстонии

21 ноября 2020 года. Задачи старшей группы (11-12 класс)

Время решения 5 часов.

Каждый участник может решать все предложенные задачи.

В зачёт идут 6 решений, набравших наибольшее количество баллов.

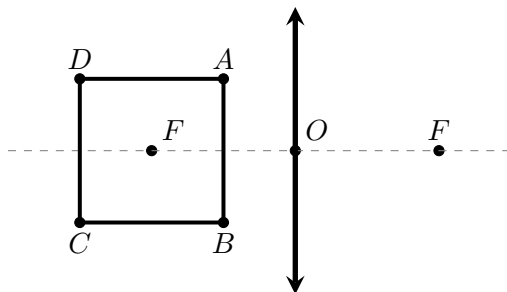
Можно использовать только принадлежности для письма и черчения, а также калькулятор.

Прочие вспомогательные инструменты запрещены.

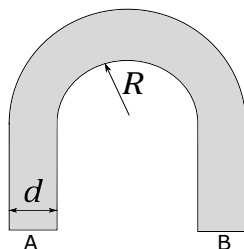
Просим решение каждой задачи писать на отдельном листе и сканировать в отдельные файлы.

**1. (БУТЫЛКА)** Бутылка из твёрдого материала (например, стекла) частично заполнена водой. Рита заметила, что из-за маленького отверстия из бутылки тяжело выпить всю жидкость. Найдите максимальный объём жидкости, который можно выпить не впуская воздух в бутылку. Объём бутылки  $V$  и Рита может создать в бутылке пониженное давление  $\Delta P = 0,25p_0$ , где  $p_0$  - атмосферное давление. Предполагайте, что Рита пьёт воду достаточно медленно, чтобы в воздух в бутылке оставался в тепловом равновесии с внешним воздухом. (6 б.)

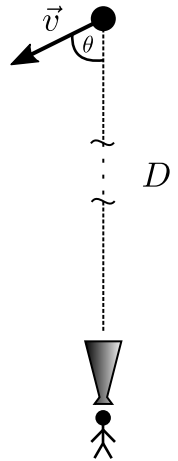
**2. (КВАДРАТ В ФОКУСЕ)** Постройте изображения вершин и сторон квадрата  $ABCD$  в выпуклой линзе, если известно, что центр квадрата  $F$  находится в фокусе, а фокусное расстояние линзы равно длине стороны квадрата ( $|AB| = |OF|$ , где  $O$  — оптический центр линзы). (8 б.)



**3. (U-СТЕКЛО)** Поперечным сечением U-образного куска стекла (см. рисунок) является прямоугольник. На грань А падает параллельный пучок света. Какому условию должен удовлетворять радиус кривизны  $R$  внутренней стороны, чтобы весь падающий свет вышел через грань В? Ширина структуры  $d = 3$  см, показатель преломления стекла  $n = 1,5$ , а грани А и В покрыты противоотражающей плёнкой. (8 б.)



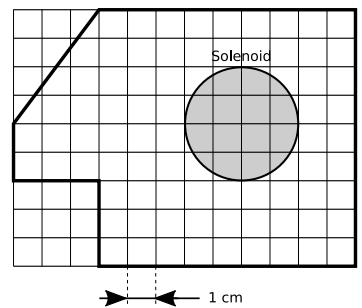
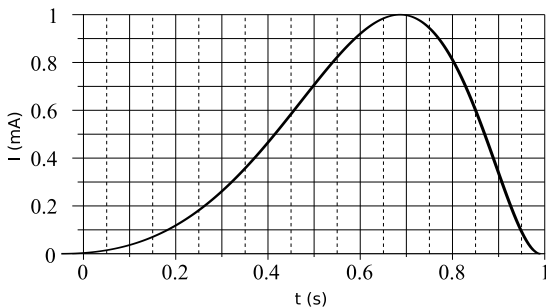
4. (НОВАЯ) Астроном-любитель Ярл наблюдает за взрывом новой с помощью телескопа и измеряет скорость одного из остатков взрыва. Известно, что настоящая скорость остатка  $v$  и угол между вектором скорости и направлением обзора  $\theta$ .



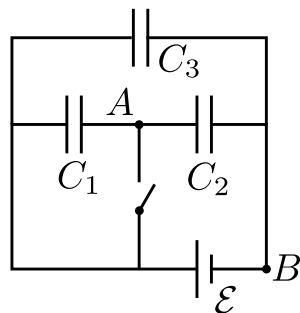
Из предыдущих измерений Ярл знает, что расстояние до новой  $D$ , но угла  $\theta$  он не знает. Поэтому Ярл предполагает, что остаток движется перпендикулярно направлению обзора и рассчитывает видимую скорость  $v'$  используя расстояние и изменение угла положения остатка на небе.

Найдите измеренную Ярлом видимую скорость  $v'$ , предполагая, что новая очень далеко ( $vt \ll D$ , где  $t$  - время наблюдения) и что космологическое расширение пренебрежимо мало. Скорость света -  $c$ . Возможно ли, чтобы видимая скорость остатка  $v'$  больше скорости света для каких-либо значений  $v$  и  $\theta$ , даже если  $v < c$ ? (10 б.)

5. (КАТУШКА И КОНТУР) Длинную катушку индуктивности проходит ток переменной силы, зависимость которого от времени приведена на левом рисунке. В катушке на 1 см приходится пять витков, а в плоскости, перпендикулярной оси катушки, расположен изображённый на правом рисунке проводящий контур с удельным сопротивлением  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом  $\cdot$  м и площадью поперечного сечения провода  $S_0 = 2,5$  мм<sup>2</sup>. Найдите наибольшее значение силы тока в контуре. Магнитная проницаемость вакуума равна  $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$  Гн/м. (10 б.)



6. (КОНДЕНСАТОРЫ) Источник напряжения с напряжением  $\mathcal{E}$  соединен с тремя конденсаторами с ёмкостями  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ . Вначале выключатель долгое время держат закрытым (проводящим). Во сколько раз изменится напряжение между точками  $A$  и  $B$ , если выключатель откроют после прохождения долгого времени? (10 б.)



7. (ПОЛУЦИЛИНДР В БАССЕЙНЕ) В бассейне шириной  $l$  полуцилиндр массой  $m$ , радиусом  $r$  и равной ширине бассейна длиной  $l$  не даёт воде перетекать из одной половины бассейна в другую. Ось, вдоль которой полуцилиндр разделён пополам, расположена на дне бассейна. Коэффициент трения между полуцилиндром и дном бассейна равен  $\mu$ , плотность воды в бассейне  $\rho$ , ускорение свободного падения  $g$ . Одна половина бассейна заполнена водой до верхнего края полуцилиндра, до высоты  $r$ . При ответе на вопрос полагайте, что трением между боковыми полукругами полуцилиндра и стенами бассейна можно пренебречь. Каково должно быть наименьшее значение  $\mu_0$  коэффициента трения  $\mu$ , чтобы освободив цилиндр, он не начал двигаться? (10 б.)

8. (ТЕРМОКАМЕРА) Термокамера рассчитывает температуры тел на основе интенсивности получаемого от тел теплового излучения, используя полную интенсивность в промежутке длин волн от 7-и до 14-и микронетров. Для простоты, в этой задаче будем считать, что для расчёта используется полная интенсивность по всем длинам волн (от нуля до бесконечности).

Коэффициент поглощения медной пластины  $\varepsilon = 0,03$ , то есть 3% всего падающего на неё теплового излучения поглощается, остальная часть отражается. Если маленькая медная пластина находится в комнате, состоящей в термодинамическом равновесии (то есть температуры всех тел равны комнатной температуре  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ), то термокамера верно показывает, что температура медной пластины  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ . Если же медную пластину нагреть до некой температуры  $T_1$ , то в той же комнате (при той же комнатной температуре) при измерении термокамерой получаем  $T_2 = 22^\circ\text{C}$  в качестве температуры пластины. Какова настоящая температура медной пластины  $T_1$ ?

*Подсказка.* Для тела в термодинамическом равновесии полная интенсивность его теплового излучения по всем длинам волны пропорциональна коэффициенту поглощения и абсолютной температуре тела в четвёртой степени (закон Стефана-Больцмана). Разница между шкалами абсолютных температур и Цельсия равна 273,15 К. Показатель термокамеры при каком-то излучении равен температуре абсолютно чёрного тела ( $\varepsilon = 1$ ), излучающего столько же. (12 б.)

**9. (ЛЕТО)** В один прекрасный день в далёком будущем, когда форма орбиты Земли изменится, она будет ближе всего к Солнцу в день летнего солнцестояния. В этот день Солнце светит на 30% ярче, чем в день зимнего солнцестояния в тот же год, т.е. на солнечную панель, расположенную перпендикулярно лучам солнечного света, падает на 30% более высокая мощность излучения.

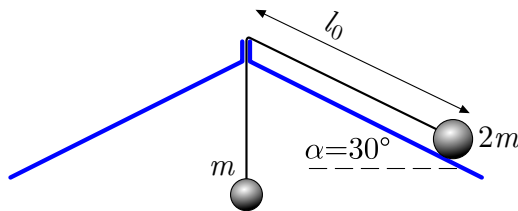
На сколько дней различаются продолжительность зимы и лета в этот год, и что из них длится дольше? Полагать, что лето и зима начинаются, соответственно, с дня летнего и зимнего солнцестояния, т.е. в момент, когда угол между отрезком, соединяющим Землю и Солнце, и отрезком, соединяющим центр Земли и северный полюс, соответственно, наименьший и наибольший. Лето и зима заканчиваются в момент, когда прямая, соединяющая Солнце и Землю, перпендикулярна оси вращения Земли. Полагать, что в течение года направление оси вращения Земли не меняется. Период обращения Земли  $T = 365,26$  дней. Эффектами атмосферы пренебречь.

*Подсказка.* Согласно 1-му закону Кеплера, орбитой планеты является всегда эллипс (который можно рассматривать как растянутый круг), причём Солнце расположено в какой-то точке на его длинной оси симметрии. Согласно 2-му закону Кеплера, отрезок, соединяющий планету и Солнце, проходит за одинаковые промежутки времени одинаковую площадь. (12 б.)

10. (КОНУС) На концах свободно изгибающейся нерастяжимой нити прикреплены грузики с массами  $m$  и  $2m$ , см. рисунок. Грузик с массой  $2m$  лежит на конической поверхности, которая образует угол  $\alpha = 30^\circ$  с горизонтом. Ускорение свободного падения  $g$  направлено вертикально вниз. Вначале нить напряжена, и вектор скорости лежащего на конусе грузика с модулем  $v_0$  лежит в плоскости поверхности конуса, образуя угол  $\beta$  с нитью (то есть с прямой, соединяющей грузик и вершину конуса). Второй грузик движется вертикально под действием напряжения нити и силы тяжести, с начальной скоростью  $v_0 \cos \beta$ . Все силы трения можно игнорировать.

(а) Через какое время второй грузик окажется в самом низком положении своей траектории, предполагая, что первый грузик всё время будет оставаться на конической поверхности?

(б) Какое неравенство должно быть удовлетворено, чтобы предположение, сделанное в предыдущем пункте, действовало, то есть чтобы второй грузик не сорвался с конической поверхности в воздух? (14 б.)



Задачи и решения открытых соревнований 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>