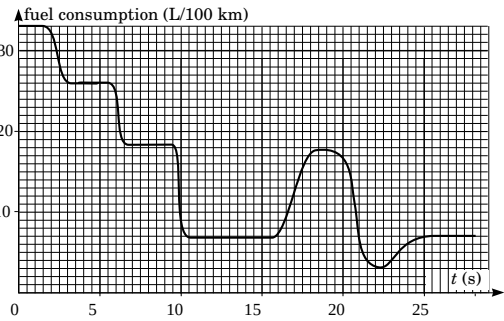


Estonian-Finnish Olympiad 2016

1. ПОТРЕБЛЕНИЕ ТОПЛИВА (5 points) — *Jaan Kalda*. Данный график (график большего размера находится на отдельной странице) показывает потребление топлива машиной как функцию времени. Известно, что машина начала движение на горизонтальном участке дороги с начальным ускорением $a_0 = 5 \text{ м/с}^2$. В момент времени $t_1 = 11 \text{ с}$ дорога всё ещё была горизонтальной и водитель включил круиз-контроль с постоянной скоростью $v_0 = 90 \text{ км/ч}$. Вскоре после этого машина начала двигаться в гору. Какова была высота наивысшей точки дороги через эту гору? Считать, что эффективность машины была постоянной на всём протяжении пути. *Примечание:* между секундами 2 и 10 на дороге могли быть подъёмы и/или спуски.



2. СТЕКЛЯННАЯ ПЛАСТИНКА (10 points) — *Rasmus Kisel, Mihkel Heidelberg*. Лазерный луч длиной волны λ и мощностью P падает перпендикулярно на тонкую стеклянную пластинку толщиной $a = (100,25\lambda)/n$, где n — коэффициент преломления стекла. Коэффициент отражения поверхности стекла равен r , что можно интерпретировать как вероятность, что фотон отразится от одной поверхности стекла.

i) (2 points) Найдите силу F_a , которую оказывает лазерный луч на стеклянную пластинку в случае, когда та сторона пластинки, на которую падает луч, раскрашена в абсолютно чёрный цвет.

ii) (3 points) Найдите силу F_b , которую оказывает лазерный луч на стеклянную пластинку

в случае, когда противоположная сторона пластинки раскрашена в абсолютно чёрный цвет.

iii) (5 points) Найдите силу F_c , которую оказывает лазерный луч на стеклянную пластинку в случае, когда её стороны не раскрашены.

3. МУЗЫКА (8 points) — *Lasse Frantti*. Музыкальная группа, состоящая из трёх физиков, находится на гастроях. Группа играет прогрессивную народную музыку на электрогитаре, органе и трубчатых колоколах, сделанных из стали. Их первое выступление проходит в клубе Tavastia в Хельсинки, где они настраивают свои инструменты перед выступлением. Воздух приятно сух и температура 25 градусов Цельсия.

i) (6,5 points) Их второе выступление проходит в Ливии, где температура равна 45 градусов Цельсия. Их инструменты расстроены из-за because of the обжигающей жары, но все их настроечное оборудование осталось дома. Насколько сильно расстроены их инструменты? Оцените слышимое изменение изначальной настройки в 330 Гц на всех трёх инструментах.

ii) (1,5 points) Гастрольный тур заканчивается частным концертом в лёгочной клинике. Температура в палате равна 25 градусов, но вместо воздуха помещение заполнено кислородно-гелиевой смесью (КГС или гелиокс). Как это скажется на слышимом звучании, производимом тремя инструментами?

Скорость звука в воздухе $v_a = 331,3 \text{ м/с} \sqrt{1 + \frac{t(^{\circ}\text{C})}{273,15}}$

Скорость звука в КГС $v_t = 1,7v_a$

Теплоёмкость стали 450 Дж/(кг · К)

Плотность стали 7900 кг/м³

Температура плавления стали 1540 °С

Теплопроводность стали 50 Вт/(м · К)

Модуль Янга стали 200 ГПа

Коэффициент теплового расширения стали $12,0 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$

Мощность усилителя гитары 500 Вт

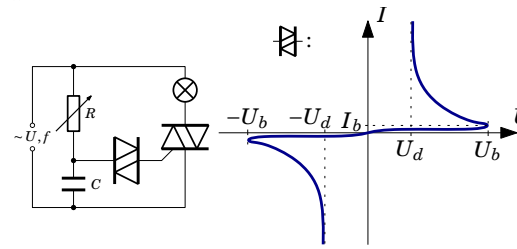
Диаметр гитарной струны E 0,30 мм

Свободная длина струны E 65 см

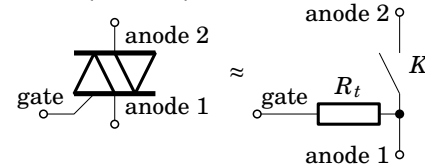
Частота струны E 330 Гц

Вы можете пренебречь эффектами температуры на корпус гитары. Высота звучания струны гитары определяется частотой поперечной стоячей волны в струне гитары. Высота звучания органа определяется частотой продольной стоячей волны воздуха в трубе. Высота звучания трубчатых колоколов определяется частотой поперечной стоячей волны стальной трубы. Вы можете использовать анализ размерности везде, где возможно. Считать модуль Янга стали не зависящим от температуры.

4. ДИММЕР (9 points) — *Siiim Ainsaar*. Диммер, который используют для регулировки яркости освещения, состоит из реостата, конденсатора, динистора и симистора, которые соединены как показано на схеме.



Динистор ∇ представляет собой элемент схемы, поведение которого описывает приведённая вольт-амперная диаграмма. Симистор ∇ можно в свою очередь представить как управляемый ток ключ — смотрите эквивалентную схему.

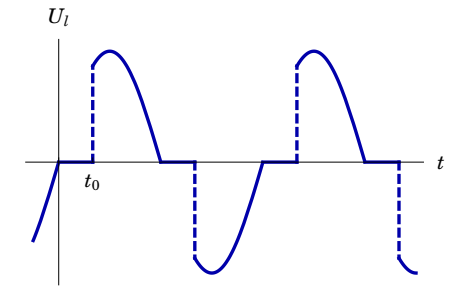


Ключ K_t открыт, пока ток в затворе симистора ("gate") остаётся меньше критического порога I_t ; закрывается, когда этот порог достигается (в любом направлении), и остаётся закрытым, пока через ключ K_t проходит ток (ток в затворе при этом не имеет значения, до тех пор, пока ключ снова не откроется).

i) (3 points) Будем полагать что сопротивление R_t достаточно велико, так что заря-

дом проходящим через динистор можно пренебречь. Пусть максимальное значение синусоидального напряжения источника равно U и частота f ; реостат пусть установлен на сопротивление R , а ёмкость конденсатора пусть равна C . Найдите максимальное значение напряжения конденсатора U_C и его разность фазы φ с источником напряжения.

ii) (2 points) Какому неравенству должны удовлетворять описывающие динистор напряжения U_b и U_d , пороговый ток I_t и сопротивление затвора R_t , чтобы когда динистор начнёт проводить ток (при повышении напряжения конденсатора), и симистор начал бы тоже сразу проводить ток? Можете полагать что $I_b < I_t$, а напряжение динистора при токе I_t равно U_d .

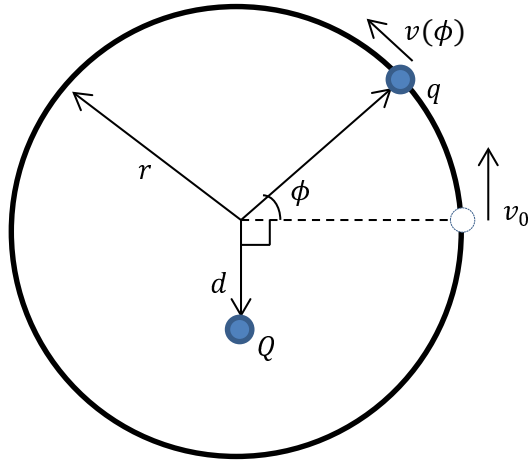


iii) (2 points) Напряжение U_l на лампе меняется согласно приведённому графику. Полагайте, что выполняются предположение части i) и неравенство части ii). Найдите время t_0 , в течение которого напряжение на лампе равно 0.

iv) (2 points) Выразите через t_0 и f , во сколько раз средняя мощность лампы меньше мощности лампы без диммера, если полагать, что сопротивление лампы не меняется.

5. ФАНТИК (6 points) — *Eero Uustalu*. Измерить толщину фантика d , оценить погрешность. *Оборудование:* Конфета, два шестигранных карандаша, резинки, зелёный лазер с $\lambda = 532 \text{ нм}$, измерительная лента, экран, штатив. **Предостережение: не смотрите в луч лазера и не направляйте его в глаза другим!**

1. ЗАРЯД НА КОЛЬЦЕ (7 points) — *Andreas Isacsson*. Маленькая частица массой m и зарядом q может скользить без трения по горизонтально фиксированному кольцу радиусом r . В плоскости кольца, на расстоянии d от центра кольца ($d < r$, см. рисунок) находится в фиксированном положении второй заряд Q .



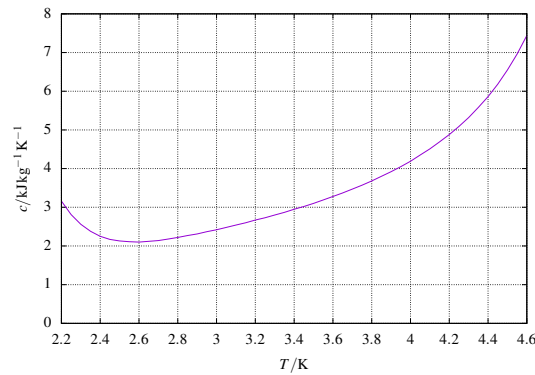
i) (3 points) Частице, расположенной на кольце, придают начальную скорость v_0 . Выразите скорость частицы $v(\phi)$ функцией от угла ϕ .

ii) (2 points) Какой величины сила действует на частицу со стороны кольца, выраженная функцией от угла ϕ ?

iii) (2 points) Вязкую силу трения можно смоделировать как силу, противоположную направлению движения, модуль которой пропорционален скорости, т.е. $|F_f| = m\gamma v$, где γ — положительная константа. Предположим, что подобная сила трения действует на частицу, расположенную на кольце. Найдите место, в котором частица остановится, если ей придают начальную скорость v_0 .

2. ГЕЛИЙ (6 points) — *Jaan Toots*. Жидкий гелий охлаждают, испаряя его под малым давлением и выкачивая газ. Удельная теплота парообразования гелия $\lambda = 22$ кДж/кг, може-

те считать её константной. Удельная теплоёмкость жидкости $c(T)$ изображена на графике (увеличенно на дополнительном листе). Какая часть жидкости должна испариться, чтобы уменьшить температуру жидкости от $T_0 = 4,1$ К до $T_1 = 2,3$ К?



3. КОЛЕБАНИЯ (7 points) — *Lasse Frantti*.

i) (2 points) Стальной шар массой $m = 1$ кг прикреплен к идеальной вертикальной пружине. В результате этого пружина удлиняется на $x = 5$ см. После этого шар тянут вниз на $s = 10$ см от состояния равновесия и отпускают, вызывая этим колебания. Какой будет длина маятника с точечной массой, который имел бы тот же период малых колебаний, как и эта система?

ii) (2 points) В сферическом астероиде проделывают сквозное отверстие по диаметру астероида. Космонавт роняет камень в отверстие, чтобы увидеть, что произойдёт. Покажите, что камень начнёт гармонически колебаться в отверстии, двигаясь туда и обратно.

iii) (2 points) Вы хотите отправить посылку своему другу, находящемуся на другой стороне сквозного отверстия в астероиде. Вы можете либо кинуть посылку горизонтально (вокруг астероида), либо уронить её в отверстие. Какой способ будет быстрее?

iv) (1 point) Идеально упругий мячик падает на горизонтальный стол с высоты $h = 50$ см.

Оцените период отскакиваний. Будет ли это движение простым гармоническим колебанием? Почему да или почему нет?

4. ОТКЛОНЕНИЕ ПРИ ПАДЕНИИ (8 points) — *Mihkel Kree*. Представим себе вертикальную шахту высотой $h = 100$ м на экваторе. Рассмотрим свободно падающий стальной шар, отпущенный с верхней точки шахты, без учёта трения воздуха. Не будет сюрпризом, что, ввиду вращения Земли, шар достигнет дна шахты в точке, которая будет слегка отличаться от точки вертикальной проекции того места, с которого шар отпустили. Обозначим расстояние между этими двумя точками Δx . (Историческая справка: точное выражение для Δx было впервые, независимо друг от друга, вычислено Гауссом и Лапласом в 1803 году.)

i) (1 point) Вычислите разницу в скорости Δv верхней точки шахты и нижней точки шахты в абсолютной, неврацающей системе отсчёта.

ii) (1 point) Пренебрегая вращением Земли, но считая, что стальной шар отпустили с начальной горизонтальной скоростью Δv , наблюдаемой со дна шахты, вычислите горизонтальное смещение Δx_0 стального шара к тому моменту, когда он достигнет дна шахты.

Очевидно, что ответ, полученный в пункте ii) не будет физически точным, потому что мы пренебрегли вращением Земли и, следовательно, силой Кориолиса. К счастью, точное выражение может, тем не менее, быть найдено и без учёта силы Кориолиса (хотя Лаплас и Гаусс учитывали её).

iii) (6 points) Считая, что падающий стальной шар находится на кеплеровской орбите, и принимая во внимание кривизну Земли, найдите истинную величину горизонтального смещения Δx . Подсказка: используйте подходящие приближения для маленьких ве-

личин и обратите внимание, что маленький сегмент эллипса, соответствующий падению стального шара, может, всё ещё, приблизительно считаться параболой.

5. ЧЁРНЫЙ ЯЩИК (10 points) — *Mihkel Heidelberg, Jaan Kalda*. Из чёрного ящика выходит три провода: “синий”, “чёрный” и “белый”. В ящике находится некоторая неизвестная схема, в которой три элемента: два резистора с сопротивлениями $R_1 < R_2 < 1$ кОм, а также один диод Зенера. В диапазоне напряжений, который используем, диод Зенера ведёт себя как обычный диод: хорошо проводит ток, когда прилагается положительное напряжение, а при отрицательном напряжении проводит мало тока. Мы используем именно диод Зенера, так как у него больше ток утечки при отрицательном напряжении, до 1 мА. Вы можете пренебречь внутренним сопротивлением вольтметра при всех диапазонах измерений, сопротивлением амперметра можете пренебречь при диапазонах измерений 40 мА и 400 мА. Внутреннее сопротивление амперметра для диапазонов 400 мкА и 4000 мкА составляет $R_A = 100$ Ом.

i) (2 points) Нарисуйте электрическую схему, находящуюся в чёрном ящике. Обоснуйте свой ответ измерениями.

ii) (4 points) Измерьте сопротивления R_1 и R_2 , оцените погрешности измерений.

iii) (4 points) Измерьте и нарисуйте вольт-амперную характеристику диода Зенера. Используйте как можно больше точек измерения.

Оборудование: Чёрный ящик, источник постоянного напряжения, мультиметр (тестер).

Не сердите Ээро замыкая источник напряжения с амперметром, этим вы разрушите предохранитель!