

**Комплект задач
Beyond Olympiad #1
по физике
9 классы
24 июня 2021**

Регламент олимпиады

На выполнение олимпиады Вам дается 4 часа. Начало олимпиады: 10:00 по времени Алматы, конец олимпиады – 14:00. По завершении ваши решения необходимо отправить с помощью платформы [Gradescope](#). (Инструкции по отправке см. ниже.)

Инструкция по выполнению и оформлению:

Выполнять задания Вы можете в любом порядке, при этом **необходимо**

- Оформлять каждую задачу на отдельном листе;
- Вверху листа писать номер задачи, но при этом **запрещается** писать ФИО, инициалы или какие-либо другие личные идентификаторы.
- Если решение задачи требует больше одного листа, то в конце страницы следует написать (Продолжение задачи номер __ на следующей странице). При этом вверху следующей страницы необходимо пометить, что это является продолжением определенной задачи;
- **Рекомендуется** придерживаться понятного и разборчивого почерка, избегать грязи и зачеркиваний.

Инструкции по отправке решений:

Необходимо завершить выполнение заданий не позднее 14:00 по времени Алматы. По окончании работы, вам необходимо объединить сканы ваших решений в один pdf-файл. Отметим, что в Google Play и AppStore есть множество приложений (PDF scanner, scanner app, scanbot и другие), предназначенных для этих целей. PDF-файл необходимо загрузить на сайт gradescope.com. Код курса: **P536BW**.

Памятка участнику:

- Из канцелярских принадлежностей **разрешаются только**: карандаши, ручки, ластик, линейка, циркуль и калькулятор.
- **Строго запрещается** пользоваться помощью посторонних людей и дополнительной литературой, включая интернет-источники и учебные пособия.
- Попытки списывания и нарушения академической честности будут наказаны **баном** на ask.bc-pf.org сроком на год.

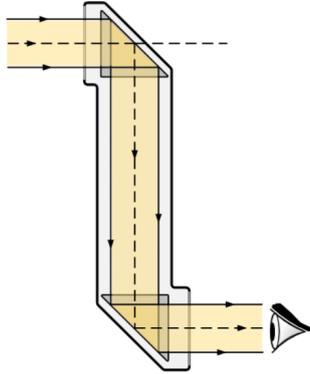
Результаты будут оглашены до 10 июля 2021 года.

При наличии вопросов по проведению олимпиады следует также писать на форум ask.bc-pf.org или в официальные аккаунты соц. сетей ОФ “Beyond Curriculum”.

Задача 1. Солянка (11 баллов)

Часть А: Интенсивность света (6.5 баллов)

Чтобы количественно описать интенсивности отражённого и преломлённого лучей, в оптике вводят так называемые коэффициенты отражения ρ и преломления τ , их значения лежат в пределах от 0 до 1. Коэффициент отражения есть отношение интенсивностей отражённого света к падающему, а преломления – преломлённого к падающему. Значения ρ и τ не зависят от того, с какой стороны свет падает на границу раздела сред (однако являются функцией угла падения и относительного показателя преломления). Поглощение отсутствует.

- а) В подводных лодках для наблюдения над поверхностью используют перископы. Самый простой их вид – безлинзовый перископ, – основан на полном отражении от двух стеклянных призм. Какая доля светового потока теряется при прохождении света? Коэффициент преломления стекла при нормальном падении света равен $\tau = 96\%$. Считать, что потери света при прохождении через прочие оптические элементы системы нет (этого можно достичь, например, просветлением оптики), многократными отражениями пренебречь. **(1.5 балла)**
- 
- б) Пусть естественный свет интенсивностью J_0 падает нормально на две параллельные плоские пластинки, чьи коэффициенты отражения известны и равны ρ_1 и ρ_2 . Чему равны интенсивности отражённого J_ρ и преломленного J_τ световых потоков? Отражения внутри самих пластинок не учитывать. **(3 балла)**
- в) Теперь рассмотрим m одинаковых плоскостей с коэффициентами отражения ρ . Чему равны эквивалентные коэффициенты отражения ρ_m и преломления τ_m такой системы? **(2.5 баллов)**

Математическая подсказка:

Решением рекуррентного соотношения $A(a_{n+1} - a_n) + Ba_{n+1}a_n = 0$ при $a_1 = A$ является

$$a_n = \frac{A}{1 + B(n - 1)},$$

а решением для $b_{n+1} = Cb_{n+1}b_n + (1 - 2C)b_n + C$ при $b_1 = C$ будет

$$b_n = \frac{Cn}{1 + C(n - 1)}.$$

Автор задачи: Алишер Еркебаев.

Часть В: Сантехник (4.5 балла)

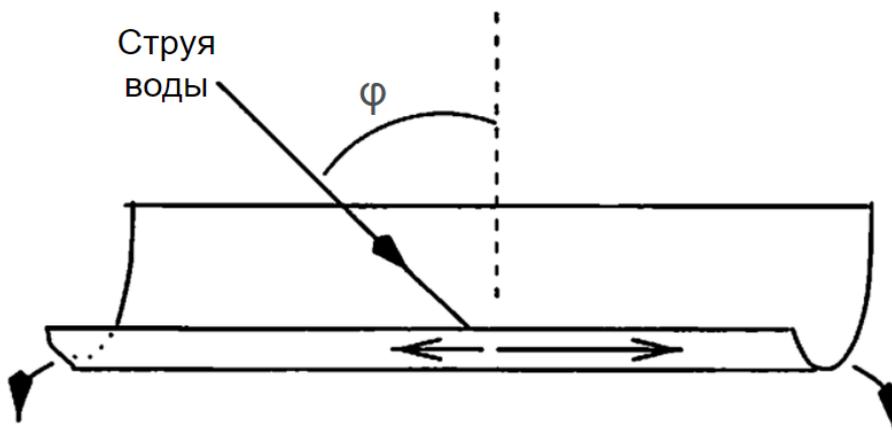
В данной задаче можно пренебречь вязкостью и вихревым движением воды.

На лист металла, согнутый в виде полуцилиндра, попадает струя воды со скоростью v_0 и площадью сечения S_0 . Ось изгиба расположена горизонтально и находится в одной плоскости со струей воды.

- a) Вычислите зависимость отношения площадей выходящих с концов металла струй от угла падения φ . (1.5 балла)

Правая струя, вытекает так, что её скорость направлена вертикально вниз, и входит в вертикальную трубу поперечным сечением S_0 , верхний конец которой находится ниже на расстоянии h . Через какое-то время сантехник закрывает кран, который находится ниже на расстоянии H_0 от конца трубы.

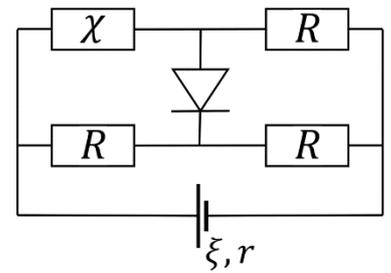
- b) Как сила давления на кран F зависит от времени? Гидродинамическим ударом и капиллярными явлениями пренебречь. (3 балла)



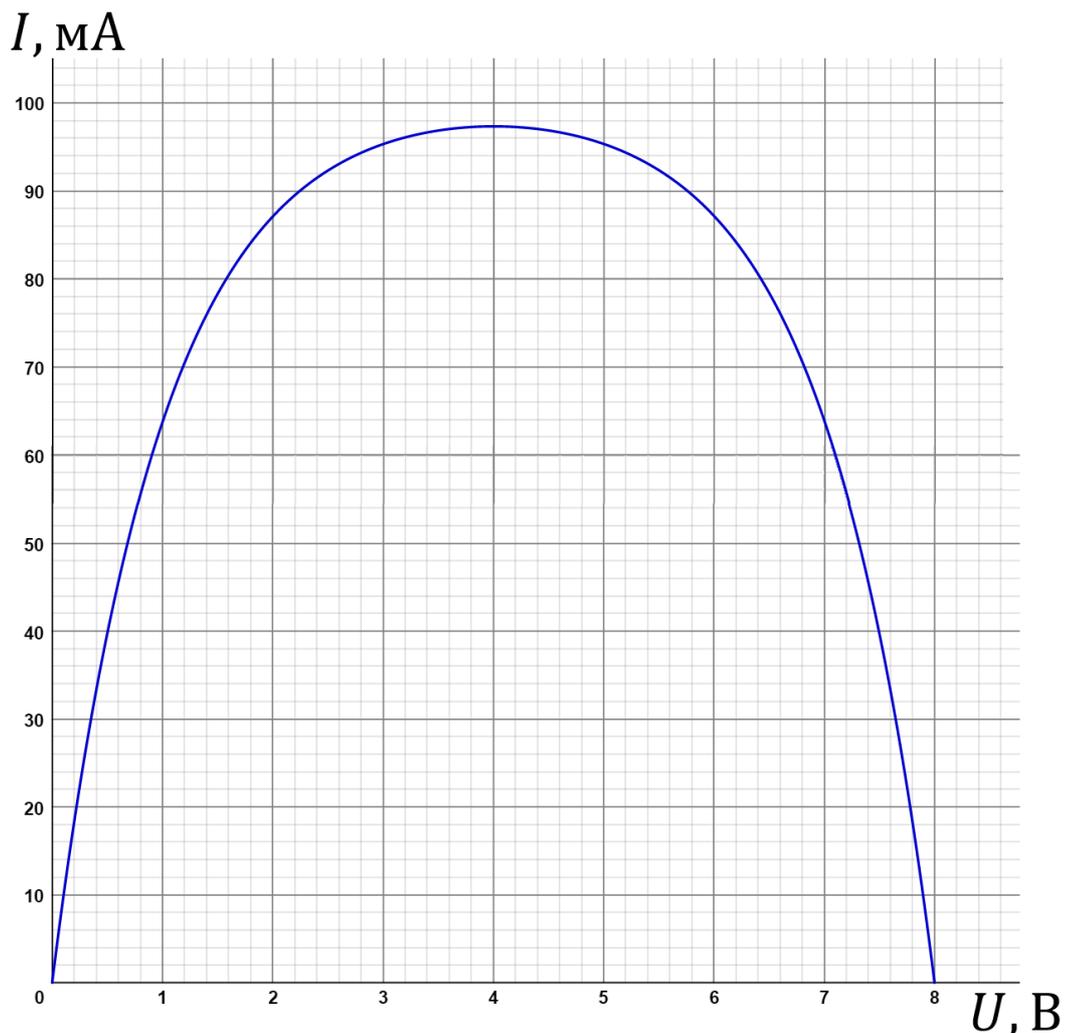
Автор задачи: Ернур Қайроллаев.

Задача 2. Нелинейный элемент (9 баллов)

Пин, во время сборки экспериментальной установки, которая в упрощении показана на рисунке справа ($r = 70 \text{ Ом}$, $R = 145 \text{ Ом}$), использовал транзистор χ с нелинейной зависимостью тока от напряжения на нём. Этот транзистор играет роль стабилизатора тока, то есть ток через него не зависит от значения ЭДС ξ . Однако при подключении в установку оказалось, что ему пришёл неправильный транзистор (вольтамперная характеристика $I(U)$ которого показана на следующей странице).



- Какой ток I протекает через неправильный транзистор при подаче напряжения $\xi = 20 \text{ В}$? (4 балла)
- Как должно зависеть напряжение правильного транзистора от внешнего ЭДС $U(\xi)$ чтобы он всегда стабилизировал ток до необходимого значения $I_0 = 50 \text{ мА}$? Нарисуйте график этой зависимости для $0 \text{ В} < \xi < 40 \text{ В}$, указав численные значения характерных точек. (5 баллов)



Автор задачи: Ернур Қайроллаев.
Редактор: Алишер Еркебаев.

Задача 3. Физика электрогитары (10 баллов)

Изобретение электрогитары в первой половине XX века зачастую ассоциировано с зарождением рок-музыки. В этой задаче мы рассмотрим основные принципы работы этого музыкального инструмента



На рисунке 1 изображено строение шестиструнной электрогитары Fender Stratocaster. Звук создаётся щипком струн, создавая колебания, причём чем толще струна, тем ниже тон (нумерация идёт от 1 до 6 начиная с самой тонкой струны). Ясное дело, частота этих колебаний зависит как от характеристик самой струны и свойств окружающей среды, так и от свободной длины струны L . Эта длина может искусственно регулироваться, если гитарист будет зажимать лады (их нумерация идёт справа налево согласно рисунку), так как при этом струна прижимается к порожку грифа (выступ, служащий границей между ладами).

В этой задаче вам пригодятся следующие данные:

Плотность стали $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$.

Коэффициент теплового расширения для стали $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$.

Модуль Юнга для стали $E = 200 \text{ ГПа}$.

Длина свободной струны $L_0 = 65 \text{ см}$.

Диаметр первой струны $d_e = 0.23 \text{ мм}$.

Частота звука открытой первой струны $f_e = 330 \text{ Гц}$.

Для малых x и любых β :

$$\sin x \approx \tan x \approx x.$$

$$(1 + x)^\beta \approx 1 + \beta x.$$

- а) Рассмотрим такую модель колебания струны: вся масса свободной части струны сосредоточена в центре её длины (необязательно L_0 !). Выведите формулу для периода малых колебаний первой струны τ в зависимости от силы натяжения струны T . **(1 балл)**

Из математического анализа процесса колебания струны можно вывести формулу частоты издаваемого струной звука:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{TL}{m}},$$

где m – масса струны.

- б) Чему равна сила натяжения T_e первой струны? **(1 балл)**

- с) Пусть струна прижата на n -ом ладу. Частота звука, издаваемого струной, прижатой к $n + 1$ -ому ладу, должна быть выше на полтона (т.е.

отношение их частот равно $\sqrt[12]{2}$). Выведите зависимость ширины лада H_n от его порядкового номера n , если открытой струне соответствует $n = 0$ и составьте таблицу численных значений H_n и частоты звука f_n для $1 \leq n \leq 6$. **(2 балла)**

Чтобы настроить все шесть струн электрогитары, можно проверять их определённым образом на слух. Каждая следующая гитарная струна настроена правильно, если при зажатом 5-ом ладе она издаёт звук той же частоты, что открытая предыдущая струна; для калибровки третьей струны относительно второй, её следует прижимать к 4-ому ладу.

d) Полагая, что силы натяжения всех струн одинаковы (однако это не совсем так), вычислите диаметры всех струн. **(1.5 балла)**

Гитарный строй может нарушиться из-за повышения температуры. Некоторая гитара была настроена ранним утром, однако в жаркий летний день температура повысилась на $\Delta t = 20^\circ\text{C}$.

e) Насколько изменилась частота звуковых колебаний Δf_e для первой струны? Высота звука стала выше или ниже? **(2 балла)**

Рассмотрим одну из техник игры на гитаре, название которой – Bending (частотное вибрато). Суть её заключается в том, что можно повышать высоту извлекаемого звука, «подтягивая» струну, прижатую к определённому ладу, поперёк порожка. Это смещение достаточно мало по сравнению с длиной струны.



f) Предположим, мы прижали одним пальцем $n = 5$ лад первой струны. На какое расстояние x нужно сместить струну, чтобы получить высоту звука на полтона выше? **(2.5 балла)**

Автор задачи: Алишер Еркебаев.