

Комплект задач
Beyond Olympiad #2
по физике
10-12 классы
27 февраля 2022

РЕГЛАМЕНТ ОЛИМПИАДЫ

На выполнение олимпиады Вам дается 3 часа. Начало олимпиады: 15:00 по времени Алматы, конец олимпиады – 18:00. По завершении ваши решения необходимо отправить с помощью платформы [Gradescope](#).

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 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 18:00 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](#). Код курса: P536BW.

Памятка участнику:

- Из канцелярских принадлежностей **разрешаются только**: карандаши, ручки, ластик, линейка, циркуль и непрограммируемый 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 14 марта 2022 года.

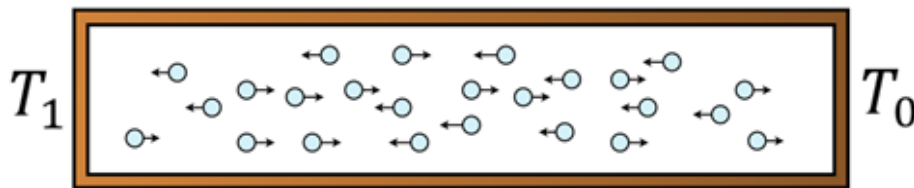
При наличии вопросов по проведению олимпиады следует также писать на форум [ask.bc-pf.org](#) или в официальные аккаунты соц. сетей ОФ “Beyond Curriculum”.

1 Солянка (10 баллов)

Эта задача состоит из 3 независимых частей

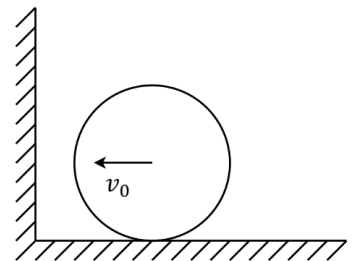
1А Теплопроводник (4 балла)

Был предложен прототип «теплопроводящего» материала, состоящего из полый медной трубки длины $L = 20$ см, на одном конце которой поддерживается температура $T_1 = 27^\circ\text{C}$, а на другом – $T_0 = 0^\circ\text{C}$. В трубке содержится $\nu = 7 \cdot 10^{-4}$ молей идеального газа с молярной массой $\mu = 18$ г/моль. Молекулы перемещаются «туда-сюда» между торцами трубки, причём молекула после каждого удара о торец нагревается/охлаждается до соответствующей температуры. Чему равна мощность P теплопередачи от более нагретого конца к менее нагретому? Передачей тепла через материал трубки и соударениями молекул о боковую стенку трубки пренебречь; при одномерном движении средняя скорость молекулы при температуре T равна $v = \sqrt{\frac{RT}{2\mu}}$, где универсальная газовая постоянная $R = 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{К}\cdot\text{моль}}$.



1В Удар с проскальзыванием (3 балла)

Тонкостенный цилиндр радиуса R катится без проскальзывания со скоростью v_0 . Он ударяется о шероховатую стену таким образом, что сразу после удара скорость уменьшилась вдвое. Чему равна угловая скорость цилиндра ω сразу после удара и в какую сторону она направлена? Коэффициент трения между поверхностью цилиндра и стеной равен $\mu = 0.6$.



1С Оптоволокно (3 балла)

Довольно широкое распространение получили оптические кабели, использующие свет для переноса сигнала вместо электричества в проводах. Свет распространяется внутри кабеля, испытывая полное отражение на стенках, что обеспечивает

отсутствие потери сигнала. Кабель из оптического волокна представляет из себя длинный цилиндр с показателем преломления n , через торец которого входит световой луч под углом падения α . При каких значениях α свет распространяется в оптоволокне без потерь сигнала? Каким должен быть показатель преломления n , чтобы был принят весь возможный сигнал?

2 Минимальная энергия (10 баллов)

Как вы могли знать, практически во всех известных нами законах природы есть главный принцип: энергия системы стремится к минимально возможному значению. Давайте рассмотрим это на следующих задачах:

Часть А (4 балла)

Внутри гладкого конуса с углом раствора 2α находится маленький шарик массой m . Конус вращается с угловой скоростью ω . На какой высоте h_0 будет находиться шарик в своём устойчивом положении?

Так как на шарик действует центробежная сила, то для него можно ввести «потенциальную энергию»

$$E_{\text{ц}} = -\frac{m\omega^2 r^2}{2}$$

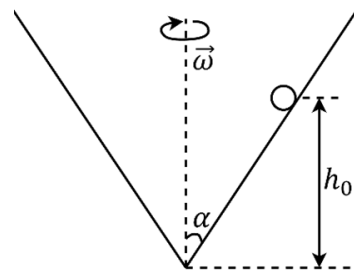
где r – расстояние до оси вращения, а знак минус стоит с учётом направления силы. Покажите, что в этом положении суммарная потенциальная энергия шарика минимальна.

Математическая подсказка: если некоторая функция $f(x)$ имеет вид $f(x) = ax^2 + bx + c$, то она минимальна при

$$x = -\frac{b}{2a}$$

Часть В (3 балла)

Чему равна полная механическая энергия E_0 спутника, которого отправили на низкую круговую орбиту радиуса R вокруг планеты массой M ? Какова должна быть минимальная полная энергия E_1 спутника, чтобы он вышел за пределы притяжения планеты? Считать, что потенциальная энергия спутника на бесконечности равна нулю, а гравитационная постоянная равна G .



Часть С(3 балла)

Принципу минимума энергии есть место и в микроскопических масштабах. Рассмотрим пару взаимодействующих друг с другом молекул. Энергия их взаимодействия довольно сложна, но хорошо описывается уравнением

$$U(r) = \frac{a}{r^{12}} - \frac{b}{r^6},$$

где a и b – некоторые положительные постоянные, которые можно считать известными.

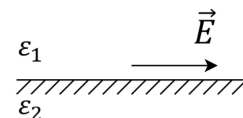
На каком расстоянии r_0 друг от друга будут находиться эти молекулы в устойчивом положении? Нарисуйте примерный график $U(r)$ потенциальной энергии и укажите графически положение расстояния r_0 .

Электрические силы натяжения (10 баллов)

В олимпиадной физике довольно часто встречаются задачи с конденсаторами, причём наиболее распространённые методы их решения используют чисто энергетический подход. В данной задаче предлагается новый взгляд на решение таких проблем с использованием не только законов сохранения энергии, но и представления идеи о появляющихся так называемых максвелловских силах натяжения вследствие неоднородности пространства. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф · м⁻¹. Рассмотрим плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между ними d , пространство между пластинами которого заполнено диэлектриком с проницаемостью ϵ . Конденсатор подключили к источнику постоянного напряжения U .

1. Запишите выражение для ёмкости C конденсатора. Чему равно электрическое поле E в пространстве конденсатора? (1 балл)
2. Чему равна энергия W конденсатора? Также найдите выражение для плотности электрической энергии u , которая является энергией конденсатора на единицу объёма. Выразите u через напряжённость поля E . (2 балла). *Полученное выражение справедливо и в общем случае для энергии электрического поля.*
3. Так как появление сил натяжения означает возможность совершать работу по изменению энергии, рассмотрим следующую задачу. Пусть ширина пластин конденсатора равна b . Диэлектрик втягивают внутрь конденсатора с постоянной скоростью v . Чему равна скорость изменения электрической энергии конденсатора $\Delta W/\Delta t$? (3 балла)

Если есть граница между двумя диэлектриками, то плотность энергии u может претерпевать резкий скачок, что является причиной появления сил натяжения



4. На границе между различными диэлектриками появляется сила натяжения p на единицу площади диэлектрика, которая направлена перпендикулярно поверхности. Энергетическим методом, рассматривая небольшое перемещение границы, определите значение натяжения p , считая поле E известным. Если $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$, то в какую сторону направлено p ? **(2 балла)**

5. Подключенный к источнику напряжения $U = 48$ В. В плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами $d = 1$ мм частично погрузили над поверхностью воды, плотность которой $\rho = 1000$ кг/м³, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 81$. На какую высоту поднимется вода? Ускорение свободного падения $g = 9.8$ м/с², капиллярными и краевыми эффектами пренебречь. **(2 балла)**