Задача 1 (Ряд брусков)

На гладкой горизонтальной поверхности расположены в ряд $n \geqslant 5$ брусков (рис. 1). Между всеми брусками имеются промежутки. Первому бруску массой m_1 сообщили скорость v_1 в направлении к остальным брускам. Определите, при каких массах m_i средних брусков ($2 \leqslant i \leqslant n-1$) скорость последнего бруска массой m_n окажется максимальна. Найдите величину этой максимальной скорости v_n. Все соударения брусков абсолютно упругие. Скорость последнего бруска измеряется сразу после первого соударения с предпоследним бруском. Считайте, что промежутки между брусками таковы, что до этого момента каждый брусок соударяется с каждым из соседних ровно по одному разу.

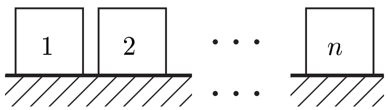

Рис. 1

Задача 2 (Человек на плоту)

Человек с массой m_1 стоит на краю плота массы m_2. Плот покоится в озере. В некоторый момент человек начинает идти вдоль плота и останавливается на другом краю. Найти смещение плота после того, как его движение прекратится. Сила сопротивления со стороны воды равна $\vec{F} = -k\vec{v}$, где $\vec{v}$ — скорость плота, k — заданный коэффициент пропорциональности.

Задача 3 (Миниатюрный кипятильник)

В теплоизолированной пробирке с малой теплоемкостью находится $m_1 = 1$ г воды и $m_2 = 1$ г льда в состоянии термодинамического равновесия. В пробирку помещают миниатюрный кипятильник, который подключен к источнику тока с ЭДС $\mathscr{E} = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом. Вольт-амперная характеристика кипятильника приведена на графике (рис. 2). Определите, через какое время t вода в пробирке закипит. Теплоемкость воды считать равной $c = 4200$ Дж/(кг °C), теплоту плавления льда $\lambda = 2{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Задача 4 (Схема)

Определите сопротивление цепочки, показанной на рисунке 3 между т
ками A и B, если сопротивление каждого звена цепи равно r.

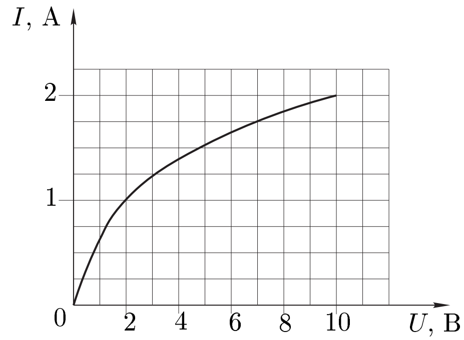

Рис. 2

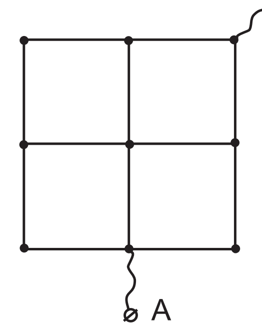

Рис. 3

Задача 1 (Капля в тумане)

В этой задаче вам предлагается исследовать движение большой капли в тумане, рассматривая различные модели ее движения. Известно, что плотность тумана равна ρ, в начальный момент капля имеет форму шара с площадью поперечного сечения S_0, массу m_0 и скорость v_0, направленную вертикально вниз. При решении задачи можно считать, что налипание капелек тумана происходит неупруго. Найдите зависимость скорости капли от времени $v(t)$, а также изобразите ее графически с указанием характерных точек в четырех случаях.

1. При движении на каплю не действуют внешние силы, и ее площадь поперечного сечения остается неизменной.

2. При движении на каплю не действуют внешние силы, и ее поверхность все время остается сферической.

3. Капля находится в вертикальном поле тяжести, и в процессе движения площадь ее поперечного сечения не меняется.

4. Капля находится в вертикальном поле тяжести, и ее поверхность в процессе движения остается сферической.

Во всех случаях рассмотреть поступательное движение капли, пренебрегая ее броуновским движением.

Задача 2 (Пузыри)

В лаборатории проводятся исследования поведения мыльных пузырей. В качестве исходного материала используется раствор поверхностно активного вещества (ПАВ) в жидкости. Среднее расстояние между молекулами в растворе $a = 5 \cdot 10^{-10}$ м, на $c = 10$ молекул раствора приходится одна молекула ПАВ. Коэффициент поверхностного натяжения ПАВ $\sigma = 3 \cdot 10^{-2}$ Дж/м^2.

1. Найдите максимальный радиус мыльных пузырей $r_{\max}$, которые можно выдуть из капли раствора, имеющего радиус $r = 0{,}5$ мм. Рассчитайте толщину пленки этого пузыря h. Мыльная пленка устойчива только в том случае, когда ее поверхность полностью покрыта молекулами ПАВ. Получите также численные выражения искомых величин.

2. Рассматривается процесс «слипания» двух мыльных пузырей радиуса $r_1 = 0{,}1$ м и $r_2 = 0{,}15$ м. Оцените силу F, с которой они притягиваются на начальном этапе объединения. Предпологается, что на ранних этапах объединения пленка межну пузырями плоская. Получите численное значение этой силы.

3. После окончания «слипания» двух мыльных пузырей радиусом r_1 0,1 м, $r_2 = 0{,}15$ м и завершения всех переходных процессов оказало что мембрана между ними приняла форму участка сферической пове ности. Определите ее радиус r_3. Предпологается, что участки поверх стей пузырей, не затронутые «слипанием» не изменили своей форм

4. Исследуйте устойчивость мыльной пленки толщиной h, в которой об зовался прокол радиусом r. Определите при каком соотношении меж r и h мыльная пленка будет находиться в состоянии равновесия.

Задача 3 (Диод)

В данной задаче рассматривается работа вакуумного диода, состоящ из разогретого сферического катода радиусом r и анода радиусом R, меж которыми приложено напряжение U (рис. 1).

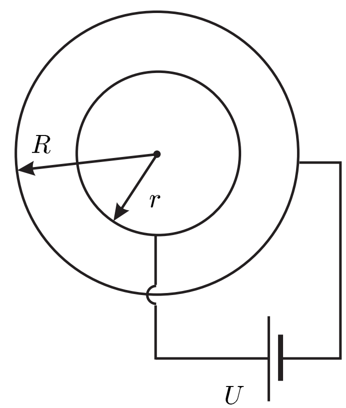

Рис. 1

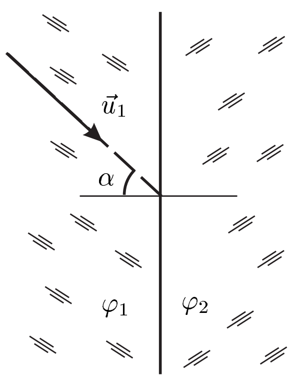

Рис. 2

1. Пусть заряженная частица с зарядом q и скоростью u_1 переходит области с потенциалом φ_1 в область с потенциалом φ_2 (рис. 2), прич скорость $\vec{u}_1$ направлена под углом α к нормали границы раздела тенциалов. Определите скорость u_2 и направление движения частиц области с потенциалом φ_2.

2. Предположим, что из катода в результате термоэмиссии вылетают эл троны с одинаковыми скоростями v_0 во все стороны. Какое тормозя напряжение U_0 необходимо приложить между электродами, чтобы в цепи перестал течь? Модуль заряда электрона считать равным e.

Во многих приложениях важно знать вольт-амперную характеристику пользуемого элемента или прибора цепи.

3. Предположим, что с единицы поверхности катода в единицу времени изотропно во все стороны вылетает n электронов с одинаковыми скоростями v_0. Определите аналитический вид вольт-амперной характеристики $I(U)$ рассматриваемого диода. Модуль заряда электрона считать равным e. Поле пространственных зарядов не учитывать.

4. Постройте схематичный график зависимости $I(U)$ с указанием характерных точек.

Указание. Элемент телесного угла, показанный на рисунке 3 равен

$$d\Omega = \sin\theta \, d\theta \, d\varphi.$$

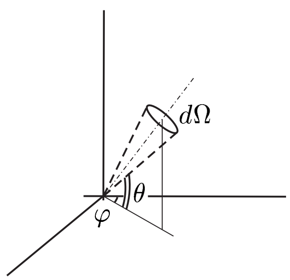

Рис. 3

Задача 4 (Стеклянная призма)

Стеклянная призма, основание которой имеет ромбическую форму, находится в воздушном пространстве (рис. 4), причем у призмы $\angle BAD = \angle BCD = \theta$. Узкий луч желтого света падает в плоскости рисунка параллельно диагонали AC на грань AB призмы. Луч испытывает полное внутреннее отражение от граней AD и DC и выходит из призмы через грань BC. При решении задачи считать, что для желтого света показатель преломления стекла $n = 1{,}60$, а для воздуха $n' = 1$.

1. При каком значении угла θ раствора призмы как функции показателя приломления n полное отклонение луча от своего первоначального направления будет нулевым? Найдите численное значение θ, выраженное в градусах и минутах.

Оставим расположение призмы в пространстве и направление падающего луча прежними, но изменим характер падающего излучения. Пусть теперь падающий луч состоит из желтого дублета ртути. Дублет состоит из волн с

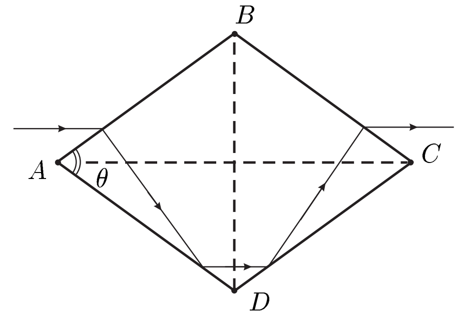

Рис. 4

длинами 579,1 нм и 577 нм. Показатели преломления стекла для этих дл
волн равны соответственно $n = 1{,}60$ и $n + \Delta n$, где $\Delta n = 1{,}3 \cdot 10^{-4}$. Луч с
та, выходящий из призмы, направляется соосно в астрономический телеск
настроенный на бесконечное расстояние.

2. Определите угловое рассояние ε между двумя изображениями, видим
ми в телескопе как функцию n и Δn. Найдите также численное значе
ε.

3. Известно, что фокусное расстояние объектива телескопа $f = 0{,}4$ м. Н
дите линейное расстояние между двумя изображениями, видимым
фокальной плоскости объектива.

Первая лига

Задача 1. Бросание монетки

Определите экспериментально количество оборотов монетки за подброс (до первого удара об пол) при указанных ниже условиях броска. Монетку держат горизонтально вблизи от пола. Шелчок (короткий удар) наносится на расстоянии $r = R/2$ от центра, где R — радиус монетки. Сила щелчка такова, что монетка подлетает вертикально на $h = 0{,}5$ м от начального положения. Оцените погрешность и оптимальное число повторных измерений.

Оборудование. Монетка, скотч, нить, линейка, ножницы.

Примечание. Кроме конечного ответа будет оцениваться описание методики измерений. За теоретический расчёт числа оборотов может быть добавлено не более одного балла.

Первая лига

Задача 1. Бросание монетки

Определите экспериментально количество оборотов монетки за подброс (до первого удара об пол) при указанных ниже условиях броска. Монетку держат горизонтально вблизи от пола. Шелчок (короткий удар) наносится на расстоянии $r = R/2$ от центра, где R — радиус монетки. Сила щелчка такова, что монетка подлетает вертикально на $h = 0{,}5$ м от начального положения. Оцените погрешность и оптимальное число повторных измерений.

Оборудование. Монетка, скотч, нить, линейка, ножницы.

Примечание. Кроме конечного ответа будет оцениваться описание методики измерений. За теоретический расчёт числа оборотов может быть добавлено не более одного балла.

Первая лига

Задача 1. Бросание монетки

Определите экспериментально количество оборотов монетки за подброс (до первого удара об пол) при указанных ниже условиях броска. Монетку держат горизонтально вблизи от пола. Шелчок (короткий удар) наносится на расстоянии $r = R/2$ от центра, где R — радиус монетки. Сила щелчка такова, что монетка подлетает вертикально на $h = 0{,}5$ м от начального положения. Оцените погрешность и оптимальное число повторных измерений.

Оборудование. Монетка, скотч, нить, линейка, ножницы.

Примечание. Кроме конечного ответа будет оцениваться описание методики измерений. За теоретический расчёт числа оборотов может быть добавлено не более одного балла.

Первая лига

Задача 1. Бросание монетки

Определите экспериментально количество оборотов монетки за подб (до первого удара об пол) при указанных ниже условиях броска. Моне держат горизонтально вблизи от пола. Шелчок (короткий удар) наноситс расстоянии $r = R/2$ от центра, где R — радиус монетки. Сила щелчка так что монетка подлетает вертикально на $h = 0{,}5$ м от начального положе Оцените погрешность и оптимальное число повторных измерений.

Оборудование. Монетка, скотч, нить, линейка, ножницы.

Примечание. Кроме конечного ответа будет оцениваться описание мет ки измерений. За теоретический расчёт числа оборотов может быть добавл не более одного балла.

Первая лига

Задача 1. Бросание монетки

Определите экспериментально количество оборотов монетки за подб (до первого удара об пол) при указанных ниже условиях броска. Моне держат горизонтально вблизи от пола. Шелчок (короткий удар) наноситс расстоянии $r = R/2$ от центра, где R — радиус монетки. Сила щелчка так что монетка подлетает вертикально на $h = 0{,}5$ м от начального положе Оцените погрешность и оптимальное число повторных измерений.

Оборудование. Монетка, скотч, нить, линейка, ножницы.

Примечание. Кроме конечного ответа будет оцениваться описание мет ки измерений. За теоретический расчёт числа оборотов может быть добавл не более одного балла.

Первая лига

Задача 1. Бросание монетки

Определите экспериментально количество оборотов монетки за подб (до первого удара об пол) при указанных ниже условиях броска. Моне держат горизонтально вблизи от пола. Шелчок (короткий удар) наноситс расстоянии $r = R/2$ от центра, где R — радиус монетки. Сила щелчка так что монетка подлетает вертикально на $h = 0{,}5$ м от начального положе Оцените погрешность и оптимальное число повторных измерений.

Оборудование. Монетка, скотч, нить, линейка, ножницы.

Примечание. Кроме конечного ответа будет оцениваться описание мет ки измерений. За теоретический расчёт числа оборотов может быть добавл не более одного балла.

Первая лига

Задача 2. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной теплоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по мере необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсолнечное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полученный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графики.

Первая лига

Задача 2. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной теплоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по мере необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсолнечное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полученный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графики.

Первая лига

Задача 2. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной теплоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по мере необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсолнечное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полученный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графики.

Первая лига

Задача 2. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной
лоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по м
необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсол
ное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полу
ный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графи

Первая лига

Задача 2. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной
лоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по м
необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсол
ное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полу
ный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графи

Первая лига

Задача 2. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной
лоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по м
необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсол
ное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полу
ный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графи

Высшая лига

Задача 1. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной теплоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по мере необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсолнечное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полученный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графики.

Высшая лига

Задача 1. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной теплоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по мере необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсолнечное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полученный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графики.

Высшая лига

Задача 1. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной теплоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по мере необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсолнечное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полученный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графики.

Высшая лига

Задача 1. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной
лоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по м
необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсол
ное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полу
ный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графи

Высшая лига

Задача 1. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной
лоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по м
необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсол
ное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полу
ный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графи

Высшая лига

Задача 1. Испарение

Определите отношение r/c удельной теплоты испарения r к удельной
лоёмкости c неизвестного раствора. Оцените погрешность результата.

Оборудование. Горячий раствор (выдаётся дежурным в аудитории по м
необходимости), сосуд, мерный цилиндр, термометр, секундомер, подсол
ное масло, миллиметровая бумага.

Примечание. При оценке решения будет учитываться не только полу
ный ответ, но и методика эксперимента, таблицы с измерениями и графи

Высшая лига

Задача 2. Праздничный «серый ящик» с реле

Во многих электрических цепях встречается элемент, называемый реле. Поясним принцип его работы на примере электромагнитного реле с одним нормально разомкнутым контактом. Такое реле состоит из электромагнита и контакта, подвижная пластинка которого расположена в области действия электромагнита, а в отсутствие магнитного поля удерживается пружиной так, что контакт разомкнут (рис. 1). Это реле имеет две пары выводов (выводы 1 и 2 от электромагнита и выводы 3 и 4 от контакта).

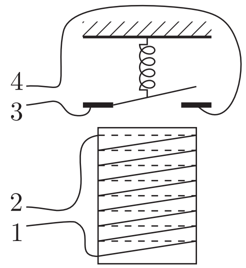

Рис. 1

Контакт и электромагнит электрически между собой не соединены, поэтому могут быть подключены в произвольных участках цепи, а на схеме реле обычно изображают как два независимых элемента (рис. 2). Электромагнит реле обозначается прямоугольником (как сопротивление, но только с другими пропорциями), а контакт реле — как обычный ключ, который помечается тем же обозначением, что и электромагнит (на рисунке 2 это P).

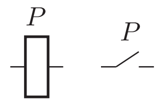

Рис. 2

При отсутствии тока через электромагнит контакт разомкнут. По мере увеличения силы тока через электромагнит возрастает и магнитная сила, действующая на подвижную пластинку контакта. При некотором граничном значении силы тока магнитная сила превосходит силу упругости пружины и пластинка занимает положение, в котором она замыкает между собой выводы контакта. В этом граничном случае напряжение на электромагните называется напряжением срабатывания. Дальнейшее увеличение силы тока через электромагнит не изменяет состояния контакта. Если же уменьшать эту силу тока, то при некотором граничном значении силы тока магнитная сила станет меньше, чем сила упругости пружины, и пластинка вернётся в исходное положение, а контакт разомкнётся.

Выданный вам «серый ящик» (рис. 3) содержит внутри себя: один источник постоянного напряжения с заметным внутренним сопротивлением, два одинаковых резистора и два одинаковых реле, соответствующих приведённому выше описанию. Наружу «серого ящика» выведены четыре провода (A, B, C и D) и пять светодиодов (S_1, S_2, S_3, S_4 и S_5).

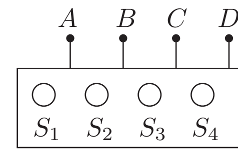

Рис. 3

1. Проведите опыты с «серым ящиком» и представьте существенные
дальнейшего анализа результаты в форме таблицы «делали — наблюда
Вы можете соединять выводы «серого ящика» в любых сочетаниях. Одн
старайтесь не держать светодиоды включёнными длительное время, ин
источник питания может разрядиться.

2. Перечислите все различные сочетания одновременно горящих свет
одов, которые вы наблюдали в ходе опытов. Постарайтесь обнаружить
возможные сочетания. Для каждого сочетания дайте ссылку на как мини
один приведённый в таблице опыт, в котором это сочетание наблюдалось

3. Определите электрическую схему «серого ящика». Можете считать э
трические характеристики светодиодов одинаковыми, а напряжение заж
ния светодиода близким к напряжению срабатывания реле.

Оборудование. «Серый ящик».

High league

Problem 1. Evaporation

Determine the ratio r/c of the specific evaporation heat r to the specific heat c of unknown solution. During solution you should estimate uncertainty of the result.

Equipment. Hot solution (is given by person on duty in each room), vessel, scaled tube, thermometer, timer, oil, scaled paper.

Note. During work evaluation the jury will consider not only obtained answers, but the experimental method, result tables and graphs as well.

High league

Problem 1. Evaporation

Determine the ratio r/c of the specific evaporation heat r to the specific heat c of unknown solution. During solution you should estimate uncertainty of the result.

Equipment. Hot solution (is given by person on duty in each room), vessel, scaled tube, thermometer, timer, oil, scaled paper.

Note. During work evaluation the jury will consider not only obtained answers, but the experimental method, result tables and graphs as well.

High league

Problem 1. Evaporation

Determine the ratio r/c of the specific evaporation heat r to the specific heat c of unknown solution. During solution you should estimate uncertainty of the result.

Equipment. Hot solution (is given by person on duty in each room), vessel, scaled tube, thermometer, timer, oil, scaled paper.

Note. During work evaluation the jury will consider not only obtained answers, but the experimental method, result tables and graphs as well.

High league

Problem 1. Evaporation

Determine the ratio r/c of the specific evaporation heat r to the specific c of unknown solution. During solution you should estimate uncertainty of result.

Equipment. Hot solution (is given by person on duty in each room), ve scaled tube, thermometer, timer, oil, scaled paper.

Note. During work evaluation the jury will consider not only obtained answ but the experimental method, result tables and graphs as well.

High league

Problem 1. Evaporation

Determine the ratio r/c of the specific evaporation heat r to the specific c of unknown solution. During solution you should estimate uncertainty of result.

Equipment. Hot solution (is given by person on duty in each room), ve scaled tube, thermometer, timer, oil, scaled paper.

Note. During work evaluation the jury will consider not only obtained answ but the experimental method, result tables and graphs as well.

High league

Problem 1. Evaporation

Determine the ratio r/c of the specific evaporation heat r to the specific c of unknown solution. During solution you should estimate uncertainty of result.

Equipment. Hot solution (is given by person on duty in each room), ve scaled tube, thermometer, timer, oil, scaled paper.

Note. During work evaluation the jury will consider not only obtained answ but the experimental method, result tables and graphs as well.

High league

Problem 2. Holiday «Gray box» with relay

Relay is an element which is present in many electrical circuits. We will explain its working principle on the example of an electromagnetic relay with one normally opened contact. This relay contains electromagnet and contact, which mobile plate is situated in the region of the electromagnet action. In the absence of magnetic field the plate is kept by spring in the position when the contact is opened (fig. 4). The relay has two pairs of outlets (outlets 1 and 2 are from the electromagnet, 3 and 4 are from the contact).

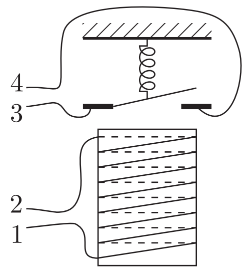

Fig. 4

The contact and the electromagnet are not electrically connected, therefore they could be attached to an arbitrary circuit parts. The relay is usually depicted as two independent elements (fig. 5). The electromagnet is denoted as a rectangle (resembles resistance, but with different proportions), the contact is denoted as a usual key, which has the same designation as the electromagnet (in figure 5 it is P).

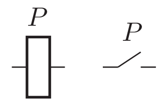

Fig. 5

The contact is opened when current doesn't flow through the electromagnet. The current increase leads to the magnetic force increase. The force acts on the mobile contact part. Under some critical current value the magnetic force becomes greater than the spring elasticity force and the plate turns into position, where it locks the contact outlets. In this critical case the electromagnet voltage is called operation voltage. Further current increase doesn't change the state of the contact. If the current will be decreased, then after some critical value the magnetic force becomes less than spring force, and the contact opens.

Given «gray box» (fig. 6) contains: one constant voltage source with substantial internal resistance, two identical resistors and two identical relays, which correspond to the above adduced description. «Gray box» outside has four wires (A, B, C and D) and five light-emitting diodes (S_1, S_2, S_3, S_4 и S_5).

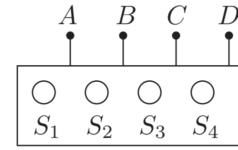

Fig. 6

1. Carry out experiments with «gray box» and represent all substantial the further analysis results as a table «made — observed». You could connec outlets of «gray box» in any combinations. You should not keep the diodes work for long (the power supplies will discharge).

2. List all various combinations of simultaneously burning light-emitting dio which you observed during experiments. Try to find out all possible combinati For each combination give the reference on at least one experiment resulted in table in which this combination was observed.

3. Determine the electrical scheme which is inside «gray box». During solu you could use that the electrical characteristics of light-emitting diodes are ident and their firing potential is close to the relay operation voltage.

Equipment. «Gray box».

Первая лига

Задача 1. Бросание мяча с небоскрёба

Экспериментатор Глюк сбросил мяч с балкона 300-ого этажа небоскрёба. Затем глюк спустился на лифте до 200-ого этажа и в тот момент, когда мяч пролетал мимо балкона 200-ого этажа, сбросил без начальной скорости точно такой же мяч. Потом Глюк спустился до 100-ого этажа и замерил промежуток времени между моментами пролёта мячей мимо балкона 100-ого этажа: $\tau = 1{,}5$ с. После этого Глюк спустился на первый этаж и обнаружил, что мячи упали на землю с тем же интервалом времени τ. Найдите высоту h второго мяча над землёй в тот момент, когда первый мяч коснулся земли. Ускорение свободного падения $g = 9{,}8$ м/с^2. Ветра нет. Силу сопротивления воздуха считайте пропорциональной скорости мяча, а коэффициент пропорциональности — константой.

Задача 2. Грелка в аквариуме

Герметичный аквариум с теплоизолированными стенками содержит воду массой $M = 100$ кг. Над поверхностью воды в аквариуме имеется небольшое количество воздуха. В толще воды закрепили резиновую грелку G, имеющую форму плоского неправильного треугольника, вершины которого находятся на глубинах $h_1 = 30$ см, $h_2 = 40$ см и $h_3 = 65$ см от поверхности воды (рис. 1). Равномерно по всей поверхности грелки проделали $N = 1000$ маленьких отверстий. Горлышко грелки подсоединено через шланг S к непрерывно работающему компрессору K, который закачивает в грелку воздух, находящийся внутри аквариума над поверхностью воды. В результате этого каждое отверстие в грелке испускает в среднем один пузырёк радиусом $r = 1$ мм за время $\tau = 0{,}3$ с. Оцените время t, за которое вода в сосуде нагреется на $\Delta T = 1$°C.

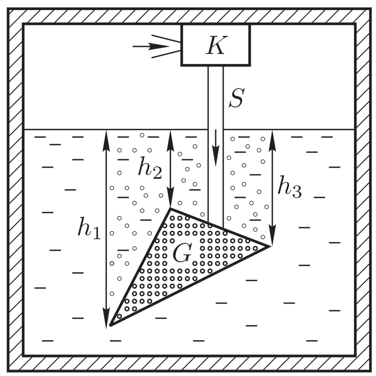

Рис. 1

Удельная теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг · °C), плотность воды $\rho = 1000$ кг/м^3. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2. Отличие КПД компрессора от 100%, сопротивление движению воздуха по шлангу и поверхностное натяжение воды не учитывайте.

Задача 3. Электрическая сеточка

Каждый резистор в цепи (рис. 2) имеет сопротивление $R = 100$ Ом. Все амперметры одинаковые, а их внутренние сопротивления много меньше R.

1. Найдите сопротивление R_{BC} цепи между точками B и C.

2. Источник постоянного напряжения с ЭДС $\mathscr{E} = 24$ В подключили плюсом к точке B и минусом к точке C. Найдите силы тока через каждый амперметр.

Условия уносите с собой!

XIV Международная олимпиада «Туймаада». Физика

В качестве ответа пометьте стрелочкой направление тока через каждый [а]мперметр и подпишите рядом численное значение силы тока, выраженное в (само обозначение «мА» не указывайте, чтобы не загромождать схему).

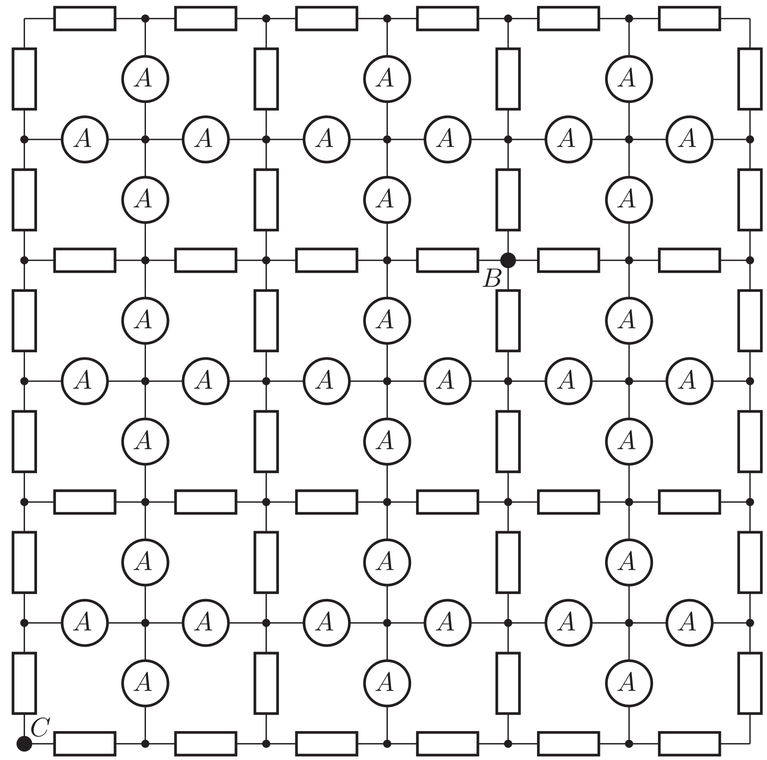

Рис. 2

Задача 4. Холмс выбирает костюм

Шерлок Холмс, стоя перед плоским зеркалом в примерочной, обнаруж[ил], что не видит в зеркале пола, хотя себя видит целиком (вплоть до низа [бо]тинок) и нижний край зеркала касается пола. На какой высоте x от п[ола] находится изображение в зеркале верхнего края цилиндра (шляпы) Холм[са]? Край цилиндра выше уровня глаз Холмса на $h = 30$ см. Выходя из приме[роч]ной, Холмс заметил, что перестал видеть свои глаза в зеркале, когда ото[шёл] от него в $n = 3$ раза дальше. Величину n Холмс определил, подсчитав соот[вет]ствующие плитки паркета на полу. Пол ровный и горизонтальный. Во вр[емя] опытов Холмс стоял вертикально.

Примечание. Для произвольного угла α справедливы формулы:

$$\sin 2\alpha = \frac{2\,\mathrm{tg}\,\alpha}{1+\mathrm{tg}^2\,\alpha}, \qquad \cos 2\alpha = \frac{1-\mathrm{tg}^2\,\alpha}{1+\mathrm{tg}^2\,\alpha}, \qquad \mathrm{tg}\,2\alpha = \frac{2\,\mathrm{tg}\,\alpha}{1-\mathrm{tg}^2\,\alpha}.$$

Условия уносите с собой!

Высшая лига

Задача 1. Брёвна

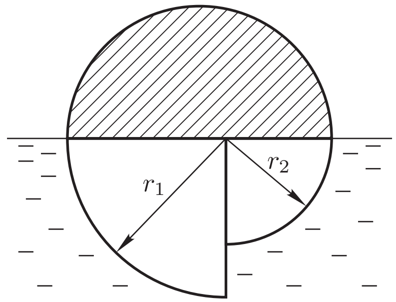

Рис. 3

В водоёме плавает конструкция, состоящая из двух склеенных полых четвертинок цилиндрических брёвен радиусами r_1 и r_2, на которые положена половинка однородного цилиндрического бревна радиусом $(r_1 + r_2)/2$ (рис. 3). Все брёвна имеют одинаковую длину. Определите отношение $k = r_1/r_2$ и плотность ρ верхнего бревна, при которых конструкция будет в равновесии, плоскость соприкосновения половинки бревна с четвертинками совпадает с уровнем воды в водоёме. Плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3. Массой полых четвертинок можно пренебречь. Устойчивость положения равновесия исследовать не требуется.

Задача 2. Облако галактик

Согласно астрономическим наблюдениям все галактики удаляются от нашей со скоростями $\vec{v}_i = H\vec{r}_i$, где $\vec{r}_i$ — радиус-вектор галактики относительно нашей, $H = \text{const}$ — постоянная Хаббла. Скорости галактик много меньше скорости света. Гравитационная постоянная G известна.

1. Выразите скорости $\vec{v}_i'$ галактик через их радиус-векторы $\vec{r}_i'$ в системе отсчёта j-ой галактики.

Рассмотрим шаровое скопление галактик, начальная плотность ρ_0 которого постоянна по всему его объёму (поскольку скопления состоят из большого числа галактик, то понятие плотности для них вводится так же, как и для обычных тел, состоящих из большого числа атомов). Влияние других скоплений учитывать не требуется.

2. При каких значениях ρ_0 расширение скопления сменится сжатием?

Далее будем полагать это условие на ρ_0 выполненным.

3. Найдите максимальный радиус $r_{\max}$ скопления, если в начальный момент оно имело радиус r_0.

4. Найдите время τ сжатия скопления от максимального до пренебрежимо малого радиуса.

Условия уносите с собой!

Задача 3. Политропы

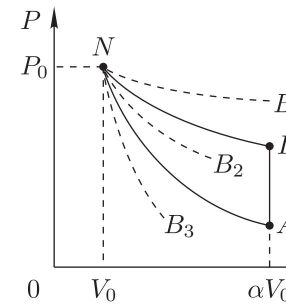

Рис. 4

С некоторым количеством идеального газа провёли ряд опытов: процессы NI, NA, NB_1, NB_2 и NB_3 (рис. 4). Начальное состояние газа (точка N) было одинаковым во всех опытах: газ находился под давлением P_0 и занимал объём V_0. Дополнительно было измерено отношение молярных теплоёмкостей газа при постоянном давлении и при постоянном объёме: $\gamma = C_P/C_V$. Универсальная газовая постоянная R известна.

1. В малой области вблизи некоторой точки любой квазистатический процесс можно считать линейными, то есть полагать, что давление является линейной функцией о
ёма: $P(V) = aV + b$. Найдите коэффициенты a_i и a_a соответственно для
нейного приближения изотермы NI и адиабаты NA вблизи точки N.

2. Процессы NB_1, NB_2 и NB_3 являются политропическими (теплоёмко
постоянна), а их качественные графики изображены на рисунке 4. Определ
знак теплоёмкостей C_1, C_2 и C_3 в этих процессах.

3. Произвольный политропический процесс (политропа) описывается у
нением $PV^n = \text{const}$, где $n = (C - C_P)/(C - C_V)$ — постоянная политро
C — молярная теплоёмкость в рассматриваемом процессе. Касательные к
фикам процессов NI, NA и NB_2 в точке N пересекают некоторую изохор
точках I_x, A_x и B_x соответственно. Известно, что NB_x — медиана треуг
ника NI_xA_x. Определите величины n и C для процесса NB_2.

4. В точках I и A газ занимает одинаковый объём αV_0. Определите К
η тепловой машины, работающей по циклу $NIAN$.

Условия уносите с собой!

Задача 4. Диск Корбино

В качестве датчика магнитного поля можно использовать устройство, изображённое на рисунках 5 и 6 и называемое диском Корбино. Образец в форме диска радиусом r_2 с концентрическим отверстием радиусом r_1 изготовлен из полупроводника, а к его цилиндрическим поверхностям прилегают кольца из хорошего проводника.

1. Кольца подключают к источнику постоянного напряжения U. Определите распределение напряжённости E электрического поля в образце, пренебрегая зависимостью E от координаты вдоль оси диска.

2. Образец целиком вносят в область однородного магнитного поля так, что плоскость диска оказывается перпендикулярна индукции B магнитного поля. Найдите сопротивление R образца, измеренное между кольцами. В отсутствие магнитного поля оно было равно R_0. Именно наличие зависимости $R(B)$ позволяет использовать данное устройство в качестве измерителя поля. Считайте, что сопротивление образца обусловлено только электронами с подвижностью μ, концентрация которых не изменяется под действием внешних электрических и магнитных полей.

Примечание. При наличии в образце только электрического поля напряжённостью E средняя скорость установившегося движения электрона $v = \mu E$.

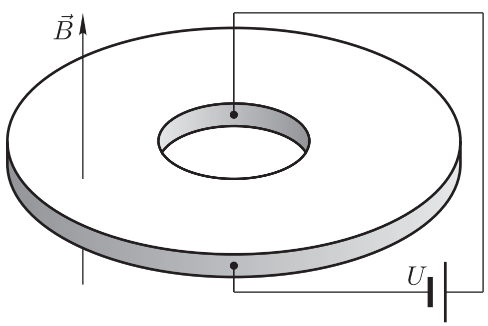

Рис. 5

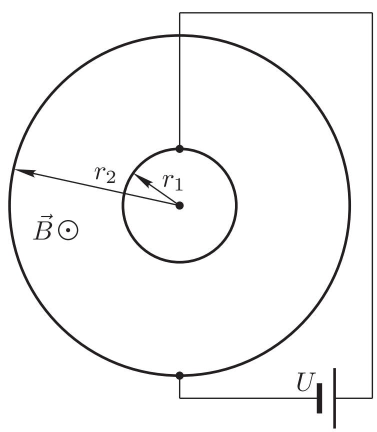

Рис. 6

Условия уносите с собой!

XIV Международная олимпиада «Туймаада». Физика

Условия уносите с собой!

High league

Problem 1. Logs

The construction shown in the figure 7 is floating in the pool. It contains two glued hollow logs quarters of radii r_1 and r_2, on which a homogeneous logs half of radius $(r_1 + +r_2)/2$ is placed. All parts of the construction have a cylindric shape and equal length. Determine ratio $k = r_1/r_2$ and density ρ of the upper log for which the construction will be in the equilibrium. The logs touching plane coincides with the pool water level. Density of water equals $\rho_0 = 1000\ kg/m^3$. The mass of hollow quarters is negligible. You should not investigate stability of the equilibrium state.

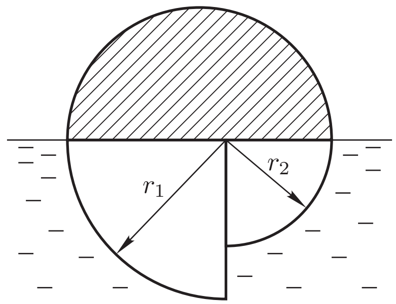

Fig. 7

Problem 2. Galaxy cloud

According to the astronomical observations all galaxies move away from our galaxy with velocities $\vec{v}_i = H\vec{r}_i$, where $\vec{r}_i$ is radius vector of a galaxy with respect to ours, $H =$ const is Hubble constant. Galaxy velocities are much less than the velocity of light. The gravitational constant G is known.

1. Derive the galaxy velocities $\vec{v}_i'$ as a function of their radius-vectors $\vec{r}_i'$ with respect to the j galaxy reference frame.

Let's consider a spherical galaxy cloud, which initial density ρ_0 is homogeneous over the whole volume (Due to the fact that clouds contain a great number of galaxies, a concept of density for them is introduces in the same manner as for a usual bodies with a great number of atoms). The influence of other galaxy clouds is small.

2. At what values of ρ_0 cloud expansion will change into contraction?

In further considerations we will assume that this condition on ρ_0 is not satisfied.

3. Determine maximum cloud radius $r_{\max}$ if in the initial moment its radius was r_0.

4. Find time τ of the cloud contraction from the maximum radius to the infinitesimal size.

Take with you this problem list!

Problem 3. Polytropes

A series of experiments are carried out using some amount of an ideal gas. These experiments include the following processes NI, NA, NB_1, NB_2 and NB_3 (fig. 8). The initial gas state (point N) is identical in all experiments: the gas is under pressure P_0 and occupies volume V_0. From additional experiments it is known that the ratio of molar gas capacities at constant pressure and at constant volume is equal to $\gamma = C_P/C_V$. The universal gas constant R is known.

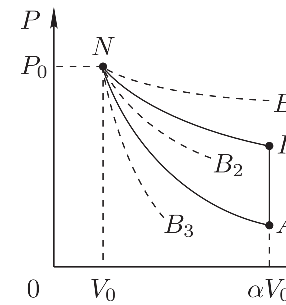

Fig. 8

1. Any quasistatic process could be treated as a linear process in immediate proximity of some point, that is near this point pres is a linear function of volume: $P(V) = aV + b$. Find coefficients a_i and a_a for isotherm NI and adiabat NA linear approximation near point N.

2. Processes NB_1, NB_2 and NB_3 are polytropic (heat capacity is consta and their qualitative graphs are depicted in figure 8. Determine heat capacity C_2 and C_3 signs in these processes.

3. Arbitrary polytropic process (polytrope) is described by the equation PV $=$ const, where $n = (C - C_P)/(C - C_V)$ is polytropic constant, C is molar capacity in the considered process. Tangents to the process graphs NI, NA NB_2 in point N intersect some isochore in points I_x, A_x and B_x respectivel is given that NB_x is a median of the triangle NI_xA_x. Determine values of n C for the process NB_2.

4. In the points I and A the gas occupies equal volume αV_0. Determine efficiency η of heat engine, which operates according to the cycle $NIAN$.

Take with you this problem list!

Problem 4. Corbino disk

Corbino disk (fig. 9 and 10) is a device which can be used for a magnetic field detection. A disk-shape sample of radius r_2 with concentric central opening of radius r_1 is produced from the semiconductor material. A highly conducting rings touch the cylindrical surfaces of the sample.

1. Rings are connected to the constant voltage U source. Determine the electric field strength E distribution in the sample. You could use the fact that changes of the electric strength E along the disk axis are infinitesimal.

2. The sample is inserted in the region of the homogeneous magnetic field B. The disk plane orientation is perpendicular to the magnetic field direction. Determine resistance of the sample R measured between the rings. In the absence of the magnetic field the resistance is equal to R_0. Dependence $R(B)$ allows to use this device as a magnetic field detector. You could assume that the sample resistance stipulates only from the electron motion. The electron mobility is equal to μ, it's concentration is independent of applied electric and magnetic fields.

Note. If only electric field of strength E is present in the sample, then mean steady electron velocity is equal to $v = \mu E$.

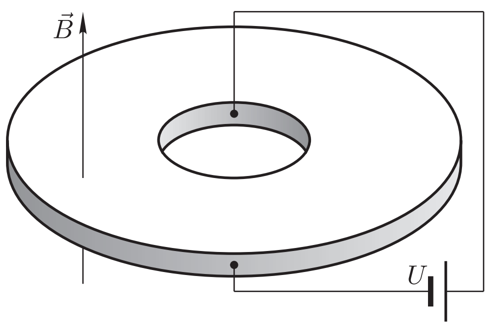

Fig. 9

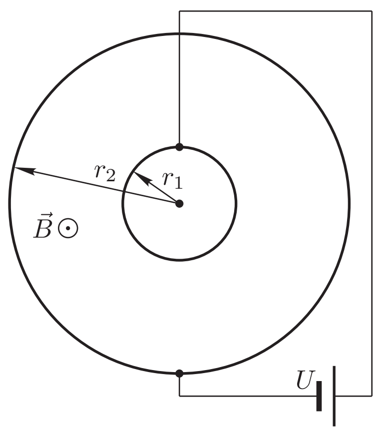

Fig. 10

Take with you this problem list!

Take with you this problem list!

Младшая лига

Задача 1. Палочка на клиньях

На горизонтальной плоскости покоятся два клина массами m_1 и m_2 с углами при основании α_1 и α_2 (рис. 1). На клинья горизонтально положили однородную палочку, после чего систему отпустили. Трения в системе нет.
1. При какой массе m палочки её концы ударятся о плоскость одновременно?
2. Полагая $\alpha_1 > \alpha_2$, определите, при каком отношении m_1/m_2 это возможно.

Задача 2. Падение «гантельки»

Два небольших одинаковых шара весом $N = 10$ Н каждый связали короткой нитью и поместили между ними (но не прикрепили к ним) лёгкую пружину (рис. 2). Полученную «гантельку» сбросили с самолёта. В некоторый момент в процессе падения нить оборвалась и шары полетели независимо. Сразу после распрямления пружины кинетические энергии шаров отличались на $\Delta E = 1$ кДж. Через некоторое время скорости падающих шаров перестали изменяться. Найдите расстояние L между шарами на этом этапе падения. За время раздельного падения шаров модуль их суммарного импульса уменьшился в $n = 5$ раз. Считайте, что сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости шара и не зависит от высоты над землёй. Вращение шаров не учитывайте. Траектории шаров могут не лежать в одной плоскости.

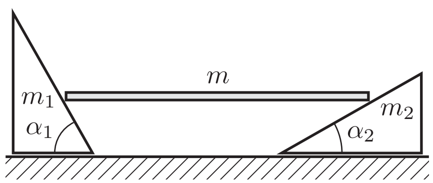

Рис. 1

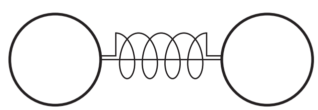
Рис. 2

Задача 3. Олимпийская эмблема

Из пяти кусков проволоки сопротивлением r каждый сделали пять одинаковых колец, которые затем соединили подобно олимпийской эмблеме (рис. 3). Точка A и пять точек соединения делят центральное кольцо на шесть равных дуг. Определите сопротивление R между точками A и B цепи. Сопротивлением в точках контакта можно пренебречь. Контактами являются не все пересечения колец, а только те, которые помечены жирными точками.

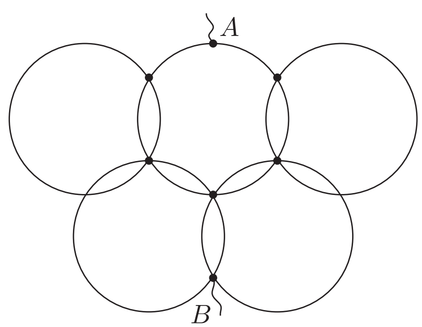

Рис. 3

Условия уносите с собой!

XV Международная олимпиада «Туймаада». Физика

Задача 4. Суп экспериментатора Глюка

Однажды зимой экспериментатор Глюк решил вскипятить воду на свеж
воздухе (температура воздуха $t_0 = 0$ °C, атмосферное давление $P_0 = 101$ к
относительная влажность воздуха $\varphi = 25\%$). Для этого он налил в кастрю
достаточное количество холодной воды и развёл под ней небольшой кост
Поперечное сечение кастюли имеет форму неправильного треугольника
щадью $S = 100$ см^2. Стенки кастрюли тонкие, а их температура всё вр
равна температуре воды. Однородная треугольная крышка массой $m = 2$
герметично закрывает кастрюлю, но не крепится к ней.

1. При какой температуре t_1 крышка в первый раз приподнимется, что
выпустить пар из кастрюли?

2. Какую температуру t_2 будет иметь вода после длительного, но не оч
активного кипения?

3. До какой температуры t_3 должна остыть вода после этого, чтобы Гл
не смог открыть крышку, прилагая к ней вертикальную силу $F = 300$ Н?

Получать ответы в общем виде не требуется.

Зависимость давления P насыщенного пара от температуры t привед
на графике (рис. 4). Ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с^2.

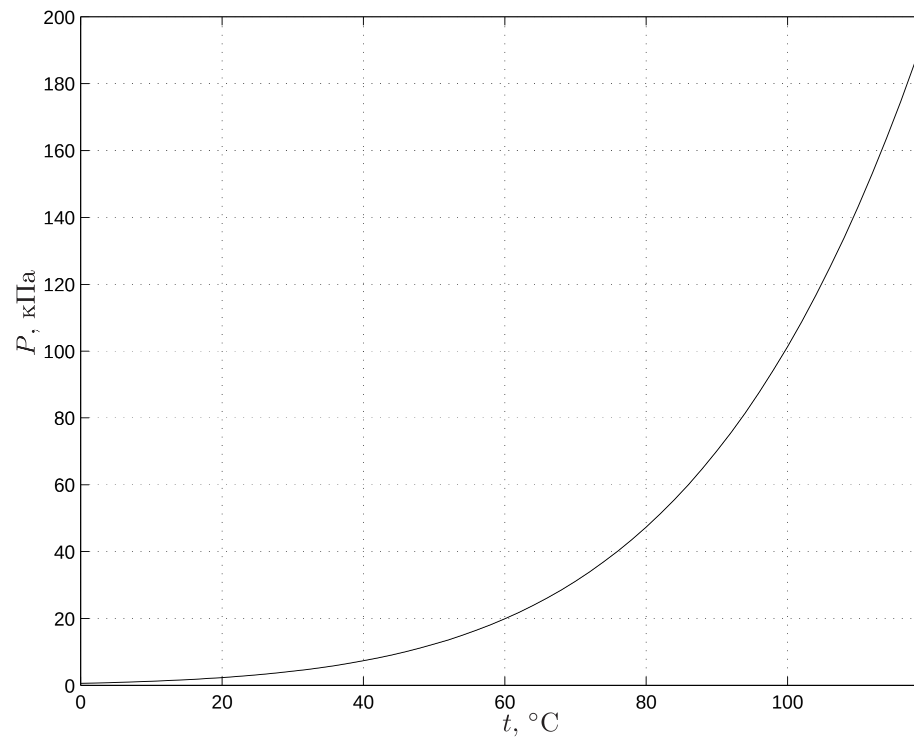

Рис. 4

Условия уносите с собой!

Старшая лига

Задача 1. Колебания на проволоках

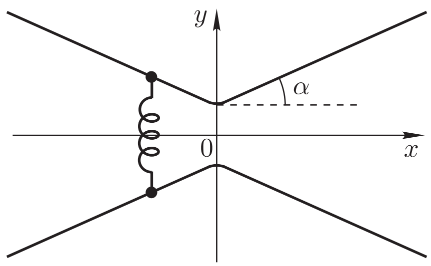

Рис. 5

Два одинаковых проволочных угла зафиксированы в одной плоскости так, что координатные оси Ox и Oy являются для них осями симметрии (рис. 5). Стороны углов составляют угол $\alpha = 30°$ с осью Ox. Около вершины угла проволока образует небольшое закругление, плавно соединяющее стороны. Вдоль проволочных углов могут двигаться две одинаковые бусинки. Коэффициент трения между бусинкой и проволокой $\mu = 0{,}1$. Бусинки соединены невесомой пружиной, длина которой в свободном состоянии равна расстоянию между вершинами углов.

1. Найдите период T колебаний, при которых координаты x обеих бусинок всё время равны между собой.

2. Найдите затухание γ таких колебаний. Под затуханием здесь подразумевается отношение кинетической энергии при прохождении положения равновесия к кинетической энергии по прошествии периода.

Система находится в невесомости. Если один конец точно такой же пружины зафиксировать, а к другому концу прикрепить одну из бусинок, то период вертикальных колебаний такого маятника будет $T_0 = 1$ с.

Задача 2. Дни равноденствия

Дни летнего и зимнего солнцестояния (21 июня и 21 декабря) делят год пополам, а летний период между днями весеннего и осеннего равноденствия (с 20 марта по 22 сентября) продолжительнее зимнего на $\tau \approx 7$ сут.

1. Когда расстояние от Земли до Солнца наибольшее и когда наименьшее? В качестве ответа укажите даты, ответ аргументируйте.

2. Найдите разность ΔR между наибольшим и наименьшим значениями расстояния от Земли до Солнца.

3. Найдите разность Δv между наибольшим и наименьшим значениями орбитальной скорости Земли.

Примечание. Считайте, что земной год $T \approx 365$ сут, а орбита Земли не сильно отличается от окружности радиусом $R = 1{,}5 \cdot 10^{11}$ м. В дни солнцестояния длительность дня и ночи максимально различаются, а в дни равноденствия они равны. В связи с високосностью 2008 года даты солнцестояния и равноденствия немного отличаются от привычных.

Условия уносите с собой!

Задача 3. Бытовой холодильник

Бытовой холодильник имеет ручку регулировки температуры в каме
Требуемая температура поддерживается с помощью специального устройст
которое периодически включает и выключает холодильную установку. Ко
температура в камере поднимается выше требуемой более, чем на некотор
небольшую фиксированную величину, данное устройство включает холоди
ную установку. Когда температура в камере опускается ниже требуемой бо
чем на некоторую небольшую фиксированную величину, данное устройс
выключает холодильную установку.

В установившемся режиме работы холодильника в камере поддерживал
температура $T_1 = 275$ К. Ручку регулировки температуры повернули, и че
некоторое время в камере установилась температура $T_2 = 270$ К.

1. Во сколько раз n изменилась мощность теплопередачи от окружаю
среды к камере?

2. Во сколько раз p изменилась мощность теплопередачи от камеры к
лодильной установке во время её работы?

3. Во сколько раз α изменилась доля времени, в течение которого работ
холодильная установка?

4. Во сколько раз β изменилось время непрерывной работы холодиль
установки?

Представьте ответы в общем виде и рассчитайте численные значени
точностью до третьей цифры после запятой.

Предельно низкая температура, которая может быть достигнута при не
рывной работе холодильной установки, $T_3 = 260$ К. Комнатная температ
$T_0 = 295$ К. Мощность, потребляемая холодильником от электрической
ти во время работы холодильной установки, постоянна. Различием темпе
тур в разных частях камеры можно пренебречь. Считайте, что холодильн
коэффициент бытового холодильника в некоторое фиксированное число
меньше аналогичной величины для идеального холодильника, работающ
по циклу Карно в тех же условиях.

Примечание. Холодильный коэффициент $\mu = Q/A$, где Q — количес
теплоты, отнятое за цикл у охлаждаемого тела, A — работа, совершённая
цикл над рабочим телом.

Условия уносите с собой!

Задача 4. Заземлённый контур

Колебательный контур, состоящий из катушки индуктивностью L и конденсатора ёмкостью C, заземлили через резистор малым сопротивлением R (рис. 6). Ко второму выводу контура подключили проводящую сферу радиусом r. Конденсатор зарядили до напряжения U_0 и замкнули ключ. Непосредственно перед замыканием ключа колебаний в цепи не было. Конденсатор и сфера находятся далеко друг от друга.

1. Определите период T колебаний в цепи.

2. Найдите максимальную силу тока $I_{\max}$ в катушке в процессе колебаний.

3. Вычислите добротность Q колебательной системы.

Примечание. По определению добротность $Q = 2\pi W/\Delta W_T$, где W — полная энергия, запасённая в системе, ΔW_T — потери этой энергии за период.

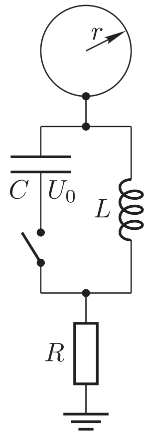

Рис. 6

Условия уносите с собой!

Условия уносите с собой!

Senior league

Problem 1. Oscillations on wires

Two identical wire angles are fixed in one plane in such a way that coordinate axes Ox and Oy are the axes of symmetry for them. (fig. 7). The angle between the sides of the angles and axis Ox is $\alpha = 30°$. Near the vertex of the angle the wire have a rounding that makes a smooth junction between the sides. Two identical beads can move along the wire angles. The coefficient of friction between the bead and the wire is $\mu = 0.1$. The beads are joined with a weightless spring which length in a free state is equal to the distance between the vertices of the angles.

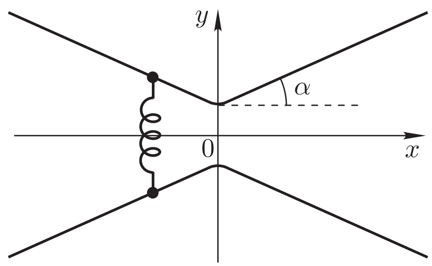

Fig. 7

1. Find the period T of oscillations at which the coordinates x of both beads are always equal.

2. Find the attenuation γ of such oscillations. Attenuation here means ratio of kinetic energy at passing position of equilibrium and kinetic energy after the expiration of a period.

The system is in a weightless state. If one end of the same spring is fixed and one of the beads is attached to the other end, the period of vertical oscillations of this pendulum is $T_0 = 1$ s.

Problem 2. Equinox days

Summer and winter solstice days (June, 21 and December, 21) divide year in two equal parts, and summer period between spring and autumn equinox days (from March, 20 to September, 22) is longer than winter period by $\tau \approx 7$ *days*.

1. When the distance between the Earth and the Sun is maximum and when it is minimum? Point out the dates, explain the answer.

2. Find the difference ΔR between maximum and minimum values of the distance between the Earth and the Sun.

3. Find the difference Δv between maximum and minimum values of orbit velocity of the Earth.

Note. Consider the Earth year to be $T \approx 365$ days; the Earth orbit differs a little from a circle with a radius $R = 1.5 \cdot 10^{11}$ m. At solstice days durations of day and night have the maximum difference and at equinox days they are equal. Due to the year's 2008 being a leap-year (366 days) the dates of solstice and equinox days differ from usual.

Take with you this problem list!

Problem 3. Refrigerator

A refrigerator has a lever regulating temperature in a chamber. The requ
temperature is maintained by means of special device, which turns the refrigera
system on and off periodically. When temperature in the chamber exceeds
required temperature by amount more than some fixed small value, this de
turns the refrigerating system on. When temperature in the chamber gets lo
than the required temperature by amount more than some fixed small value,
device turns the refrigerating system off.

In a steady state the temperature maintained in the chamber was $T_1 = 27$
The regulating lever had been turned, and after a while the temperature in
chamber became $T_2 = 270$ K.

1. How many times n the power of heat transfer from the environment to
chamber has changed?

2. How many times p the power of heat transfer from the chamber to
refrigerating system has changed during the period of operating of the system

3. How many times α the percentage of the period of operating of
refrigerating system has changed?

4. How many times β the period of continuous operating of the refrigera
system has changed?

Represent the formulas and calculate numerical values accurate to the t
sign after point.

The lowest temperature to be reached during continuous operating of
refrigerating system is $T_3 = 260$ K. The room temperature is $T_0 = 295$
The power the refrigerator takes from the electrical network during the pe
of operating of the refrigerating system is constant. The difference betw
temperatures in different parts of the chamber may be disregarded. Consider
coefficient of performance of the refrigerator to be some fixed number of times
than the coefficient of performance of an ideal cooler body operating accordi
to the Carnot cycle under the same conditions.

Note. The coefficient of performance is $\mu = Q/A$, where Q is the quantit
heat removed from the cooling body during the cycle, A is the work done on
body during the cycle.

Take with you this problem list!

Problem 4. Earthed circuit

An oscillatory circuit consisting of a coil with inductance L and a condenser with capacity C was earthed through a resistor with small resistance R (fig. 8). A conductive sphere with radius r is connected to the second terminal of the circuit. The condenser was charged up to the voltage U_0, then a key was closed. Immediately before the key was closed there were no oscillations in the circuit. The condenser and the sphere are far from each other.

1. Determine the period T of oscillations in the circuit.

2. Find the maximum current $I_{\max}$ in the coil during the oscillations.

3. Calculate the quality factor Q of the oscillating system.

Note. By definition quality factor is $Q = 2\pi W/\Delta W_T$, where W is full energy stored in a system, ΔW_T — losses of this energy over a period.

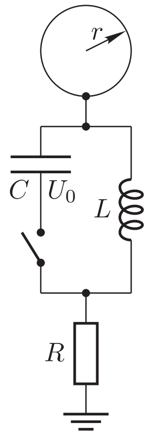

Fig. 8

Take with you this problem list!

XV International olympiad "Tuymaada". Physics

Take with you this problem list!

Младшая лига

Задача 1. Колебания стержня

Соберите из предложенного оборудования физический маятник: закрепите леску в лапке штатива так, чтобы в состоянии равновесия стержень находился в горизонтальном положении (рис. 1). Исследуйте малые колебания этого маятника в плоскости, проходящей через стержень и леску.

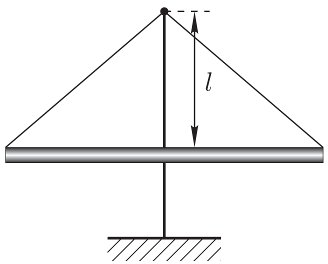

Рис. 1

1. Снимите зависимость периода T колебаний маятника от расстояния между точкой подвеса и центром масс стержня l.

2. Линеаризуйте зависимость: постройте её график в координатах, где он будет иметь вид прямой линии.

3. Определите период T_x колебаний маятника при $l_x = 65$ см.

Оборудование. Металлический стержень с привязанной к нему леской, штатив, линейка, секундомер, миллиметровая бумага.

Примечание. Отвязывать леску от стержня нельзя.

Младшая лига

Задача 1. Колебания стержня

Соберите из предложенного оборудования физический маятник: закрепите леску в лапке штатива так, чтобы в состоянии равновесия стержень находился в горизонтальном положении (рис. 2). Исследуйте малые колебания этого маятника в плоскости, проходящей через стержень и леску.

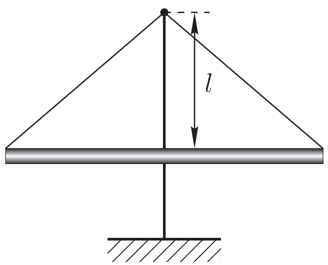

Рис. 2

1. Снимите зависимость периода T колебаний маятника от расстояния между точкой подвеса и центром масс стержня l.

2. Линеаризуйте зависимость: постройте её график в координатах, где он будет иметь вид прямой линии.

3. Определите период T_x колебаний маятника при $l_x = 65$ см.

Оборудование. Металлический стержень с привязанной к нему леской, штатив, линейка, секундомер, миллиметровая бумага.

Примечание. Отвязывать леску от стержня нельзя.

Младшая лига

Задача 1. Колебания стержня

Соберите из предложенного оборудования физический маятник: закрепите леску в лапке штатива так, чтобы в состоянии равновесия стержень находился в горизонтальном положении (рис. 3). Исследуйте малые колебания этого маятника в плоскости, проходящей через стержень и леску.

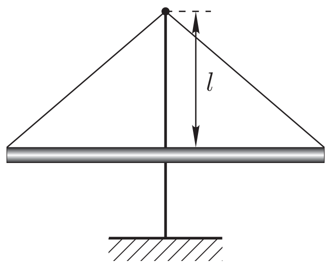

Рис. 3

1. Снимите зависимость периода T колебаний маятника от расстояния между точкой подвеса и центром масс стержня l.

2. Линеаризуйте зависимость: постройте её график в координатах, где он будет иметь вид прямой линии.

3. Определите период T_x колебаний маятника при $l_x = 65$ см.

Оборудование. Металлический стержень с привязанной к нему леской, штатив, линейка, секундомер, миллиметровая бумага.

Примечание. Отвязывать леску от стержня нельзя.

Младшая лига

Задача 1. Колебания стержня

Соберите из предложенного оборудования физический маятник: закрепите леску в лапке штатива так, чтобы в состоянии равновесия стержень находился в горизонтальном положении (рис. 4). Исследуйте малые колебания этого маятника в плоскости, проходящей через стержень и леску.

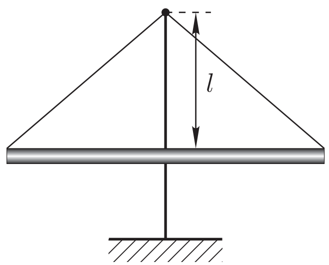

Рис. 4

1. Снимите зависимость периода T колебаний маятника от расстояния между точкой подвеса и центром масс стержня l.

2. Линеаризуйте зависимость: постройте её график в координатах, где он будет иметь вид прямой линии.

3. Определите период T_x колебаний маятника при $l_x = 65$ см.

Оборудование. Металлический стержень с привязанной к нему леской, штатив, линейка, секундомер, миллиметровая бумага.

Примечание. Отвязывать леску от стержня нельзя.

Младшая лига

Задача 2. Чёрный ящик с ручками

Определите простейшую из возможных схем соединения элементов в чёрном ящике. Найдите максимальные сопротивления каждого из переменных резисторов, ручки которых выведены наружу.

Оборудование. Чёрный ящик с тремя выводами (A, B и C) и тремя выведенными наружу ручками переменных резисторов (R_1, R_2 и R_3), омметр, миллиметровая бумага.

Младшая лига

Задача 2. Чёрный ящик с ручками

Определите простейшую из возможных схем соединения элементов в чёрном ящике. Найдите максимальные сопротивления каждого из переменных резисторов, ручки которых выведены наружу.

Оборудование. Чёрный ящик с тремя выводами (A, B и C) и тремя выведенными наружу ручками переменных резисторов (R_1, R_2 и R_3), омметр, миллиметровая бумага.

Младшая лига

Задача 2. Чёрный ящик с ручками

Определите простейшую из возможных схем соединения элементов в чёрном ящике. Найдите максимальные сопротивления каждого из переменных резисторов, ручки которых выведены наружу.

Оборудование. Чёрный ящик с тремя выводами (A, B и C) и тремя выведенными наружу ручками переменных резисторов (R_1, R_2 и R_3), омметр, миллиметровая бумага.

Младшая лига

Задача 2. Чёрный ящик с ручками

Определите простейшую из возможных схем соединения элементов в чёрном ящике. Найдите максимальные сопротивления каждого из переменных резисторов, ручки которых выведены наружу.

Оборудование. Чёрный ящик с тремя выводами (A, B и C) и тремя выведенными наружу ручками переменных резисторов (R_1, R_2 и R_3), омметр, миллиметровая бумага.

Младшая лига

Задача 2. Чёрный ящик с ручками

Определите простейшую из возможных схем соединения элементов в чёрном ящике. Найдите максимальные сопротивления каждого из переменных резисторов, ручки которых выведены наружу.

Оборудование. Чёрный ящик с тремя выводами (A, B и C) и тремя выведенными наружу ручками переменных резисторов (R_1, R_2 и R_3), омметр, миллиметровая бумага.

Младшая лига

Задача 2. Чёрный ящик с ручками

Определите простейшую из возможных схем соединения элементов в чёрном ящике. Найдите максимальные сопротивления каждого из переменных резисторов, ручки которых выведены наружу.

Оборудование. Чёрный ящик с тремя выводами (A, B и C) и тремя выведенными наружу ручками переменных резисторов (R_1, R_2 и R_3), омметр, миллиметровая бумага.

Младшая лига

Задача 2. Чёрный ящик с ручками

Определите простейшую из возможных схем соединения элементов в чёрном ящике. Найдите максимальные сопротивления каждого из переменных резисторов, ручки которых выведены наружу.

Оборудование. Чёрный ящик с тремя выводами (A, B и C) и тремя выведенными наружу ручками переменных резисторов (R_1, R_2 и R_3), омметр, миллиметровая бумага.

Младшая лига

Задача 2. Чёрный ящик с ручками

Определите простейшую из возможных схем соединения элементов в чёрном ящике. Найдите максимальные сопротивления каждого из переменных резисторов, ручки которых выведены наружу.

Оборудование. Чёрный ящик с тремя выводами (A, B и C) и тремя выведенными наружу ручками переменных резисторов (R_1, R_2 и R_3), омметр, миллиметровая бумага.

Старшая лига

Задача 1. Крутильные колебания «гантельки»

В этой задаче предлагается исследовать крутильные колебания маятника, состоящего из двух грузиков одинаковой массы, соединённых спицей, которая висит на медной проволоке. В состоянии покоя спица должна быть в горизонтальном положении, а проволока — в вертикальном.

1. Снимите зависимость периода крутильных колебний T от расстояния d между точкой подвеса спицы и точкой крепления груза. Объясните её теоретически.

2. Снимите зависимость периода крутильных колебаний T от длины медной проволоки l (при каком-то фиксированном d). Определите её вид.

3. Определите период крутильных колебаний T_x при длине проволоки $l_x = 55$ см.

4. Оцените модуль сдвига меди G.

Примечание. Поясним, что такое модуль сдвига. Пусть кусок упругого материала имеет форму прямоугольного параллелепипеда и испытывает деформацию сдвига (без изменения объёма). Пусть F — сила, возникающая на верхней грани и препятствующая деформации, S — площадь верхней грани, а θ — угол деформации (рис. 5), тогда по определению модуль сдвига

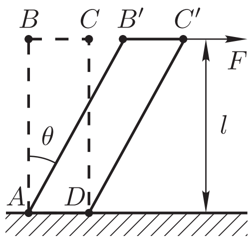

Рис. 5

$$G = \frac{F}{S\theta}.$$

Оборудование. Два одинаковых груза известной массы, линейка, проволока длиной $l \approx 50$ см, штатив, часы, спица, миллиметровая бумага.

Старшая лига

Задача 1. Крутильные колебания «гантельки»

В этой задаче предлагается исследовать крутильные колебания маятника, состоящего из двух грузиков одинаковой массы, соединённых спицей, которая висит на медной проволоке. В состоянии покоя спица должна быть в горизонтальном положении, а проволока — в вертикальном.

1. Снимите зависимость периода крутильных колебний T от расстояния d между точкой подвеса спицы и точкой крепления груза. Объясните её теоретически.

2. Снимите зависимость периода крутильных колебаний T от длины медной проволоки l (при каком-то фиксированном d). Определите её вид.

3. Определите период крутильных колебаний T_x при длине проволоки $l_x = 55$ см.

4. Оцените модуль сдвига меди G.

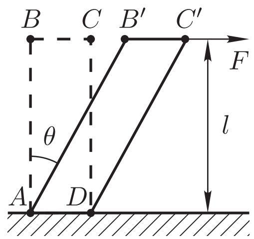

Рис. 6

Примечание. Поясним, что такое модуль сдвига. Пусть кусок упругого материала имеет форму прямоугольного параллелепипеда и испытывает деформацию сдвига (без изменения объёма). Пусть F — сила, возникающая на верхней грани и препятствующая деформации, S — площадь верхней грани, а θ — угол деформации (рис. 6), тогда по определению модуль сдвига

$$G = \frac{F}{S\theta}.$$

Оборудование. Два одинаковых груза известной массы, линейка, проволока длиной $l \approx 50$ см, штатив, часы, спица, миллиметровая бумага.

Старшая лига

Задача 2. Магнитное поле Земли

Краткая теория. Известно, что магнитное поле Земли ориентирует стрелку компаса в направлении север-юг. Это связано с тем, что на намагниченную стрелку с магнитным моментом $\vec{p}$ в магнитном поле $\vec{B}$ действует механический момент сил $\vec{M} = \vec{p}\times\vec{B}$ ($\times$ — знак векторного произведения векторов). Магнитный момент — это вектор, направленный от южного к северному магнитному полюсу. В тех случаях, когда магнитный момент и магнитное поле сонаправлены, $M = 0$. Нетрудно убедиться, что в этом случае равновесное положение устойчиво. Если же магнитный момент и магнитное поле разнонаправленны, то тоже $M = 0$ и равновесие неустойчиво. Магнитные моменты определяют силу взаимодействия постоянных магнитов. Если два одинаковых небольших магнитика с магнитными моментами $\vec{p}$ расположены на расстоянии r и $\vec{r} \perp \vec{p}$, то они притягиваются с силой:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{3p^2}{r^4}.$$

Если же магнитные моменты направить вдоль соединяющей их линии, сила притяжения окажется в два раза большей:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{6p^2}{r^4}.$$

Константа $\mu_0/(4\pi) = 10^{-7}$ Гн/м. Магнитный момент постоянных магнитов — величина аддитивная, то есть полный магнитный момент системы равен векторной сумме магнитных моментов её составляющих. Если, например, разломить постоянный магнит пополам, то получим два магнита с вдвое меньшими магнитными моментами.

Если подвесить сильный постоянный магнит в форме бруска на вертикальной тонкой нити, проходящей через его центр масс, то при повороте магнита в горизонтальной плоскости возникают крутильные колебания. Если горизонтальная составляющая индукции магнитного поля равна $\vec{B}$, а упругость (точнее модуль кручения) нити незначительна, то период малых колебаний

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{pB}},$$

где I — момент инерции бруска относительно оси вращения. Например, момент инерции прямоугольного бруска массой m относительно оси, проходящей перпендикулярно через центр грани с размерами $a \times b$:

$$I = m\frac{(a^2 + b^2)}{12}.$$

Задание.

1. Выясните, какой полюс магнита северный, а какой южный.
2. Определите стороны света. Ответ обоснуйте.
3. Определите магнитный момент маленького магнитика.
4. Определите величину горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Примечание. Имейте ввиду, что близко расположенные магнитные предметы (ножницы, металлическая линейка, штатив и др.) могут существенно повлиять на результаты эксперимента.

Оборудование. Четыре одинаковых маленьких магнитика, тонкая нить, секундомер, стопка бумаги толщиной примерно 35 мм, линейка, ножницы, скотч, миллиметровка, карандаш, тоненькая резиночка. Плотность вещества магнита $\rho = 7{,}8$ г/см^3.

Junior league

Problem 1. Rod oscillations

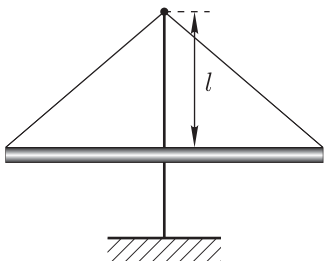

Fig. 7

Assemble a physical pendulum from offered equipment: fix line in a stand in such a way that a rod is horizontal at equilibrium state (fig. 7). Investigate small oscillations of this pendulum, occurring in a plane containing the rod and the line.

1. Plot pendulum oscillation period T versus distance l between suspension point and rod's centre of mass.

2. Linearize the dependence: plot it on appropriate coordinates in order to get a straight line.

3. Determine the period T_x of pendulum oscillations for $l_x = 65$ cm.

Equipment. Metallic rod with a line attached to it, stand, ruler, stopwatch, scaled paper.

Note. It is not allowed to untie the line from the rod.

Junior league

Problem 1. Rod oscillations

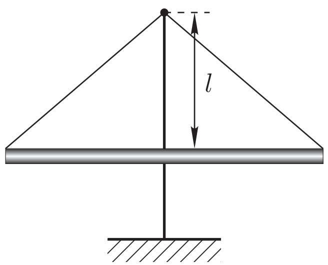

Fig. 8

Assemble a physical pendulum from offered equipment: fix line in a stand in such a way that a rod is horizontal at equilibrium state (fig. 8). Investigate small oscillations of this pendulum, occurring in a plane containing the rod and the line.

1. Plot pendulum oscillation period T versus distance l between suspension point and rod's centre of mass.

2. Linearize the dependence: plot it on appropriate coordinates in order to get a straight line.

3. Determine the period T_x of pendulum oscillations for $l_x = 65$ cm.

Equipment. Metallic rod with a line attached to it, stand, ruler, stopwatch, scaled paper.

Note. It is not allowed to untie the line from the rod.

Junior league

Problem 1. Rod oscillations

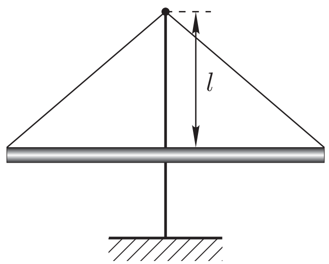

Fig. 9

Assemble a physical pendulum from offered equipment: fix line in a stand in such a way that a rod is horizontal at equilibrium state (fig. 9). Investigate small oscillations of this pendulum, occurring in a plane containing the rod and the line.

1. Plot pendulum oscillation period T versus distance l between suspension point and rod's centre of mass.

2. Linearize the dependence: plot it on appropriate coordinates in order to get a straight line.

3. Determine the period T_x of pendulum oscillations for $l_x = 65$ cm.

Equipment. Metallic rod with a line attached to it, stand, ruler, stopwatch, scaled paper.

Note. It is not allowed to untie the line from the rod.

Junior league

Problem 1. Rod oscillations

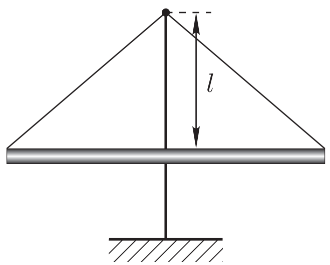

Fig. 10

Assemble a physical pendulum from offered equipment: fix line in a stand in such a way that a rod is horizontal at equilibrium state (fig. 10). Investigate small oscillations of this pendulum, occurring in a plane containing the rod and the line.

1. Plot pendulum oscillation period T versus distance l between suspension point and rod's centre of mass.

2. Linearize the dependence: plot it on appropriate coordinates in order to get a straight line.

3. Determine the period T_x of pendulum oscillations for $l_x = 65$ cm.

Equipment. Metallic rod with a line attached to it, stand, ruler, stopwatch, scaled paper.

Note. It is not allowed to untie the line from the rod.

Junior league

Problem 2. Black box with knobs

Determine the simplest of possible circuits in the black box. Find maximum resistance of each variable resistor which rotary knobs are brought out.

Equipment. Black box with three terminals (A, B and C) and three brought out rotary knobs of variable resistors (R_1, R_2 and R_3), ohmmeter, scaled paper.

Junior league

Problem 2. Black box with knobs

Determine the simplest of possible circuits in the black box. Find maximum resistance of each variable resistor which rotary knobs are brought out.

Equipment. Black box with three terminals (A, B and C) and three brought out rotary knobs of variable resistors (R_1, R_2 and R_3), ohmmeter, scaled paper.

Junior league

Problem 2. Black box with knobs

Determine the simplest of possible circuits in the black box. Find maximum resistance of each variable resistor which rotary knobs are brought out.

Equipment. Black box with three terminals (A, B and C) and three brought out rotary knobs of variable resistors (R_1, R_2 and R_3), ohmmeter, scaled paper.

Junior league

Problem 2. Black box with knobs

Determine the simplest of possible circuits in the black box. Find maximum resistance of each variable resistor which rotary knobs are brought out.

Equipment. Black box with three terminals (A, B and C) and three brought out rotary knobs of variable resistors (R_1, R_2 and R_3), ohmmeter, scaled paper.

Junior league

Problem 2. Black box with knobs

Determine the simplest of possible circuits in the black box. Find maximum resistance of each variable resistor which rotary knobs are brought out.

Equipment. Black box with three terminals (A, B and C) and three brought out rotary knobs of variable resistors (R_1, R_2 and R_3), ohmmeter, scaled paper.

Junior league

Problem 2. Black box with knobs

Determine the simplest of possible circuits in the black box. Find maximum resistance of each variable resistor which rotary knobs are brought out.

Equipment. Black box with three terminals (A, B and C) and three brought out rotary knobs of variable resistors (R_1, R_2 and R_3), ohmmeter, scaled paper.

Junior league

Problem 2. Black box with knobs

Determine the simplest of possible circuits in the black box. Find maximum resistance of each variable resistor which rotary knobs are brought out.

Equipment. Black box with three terminals (A, B and C) and three brought out rotary knobs of variable resistors (R_1, R_2 and R_3), ohmmeter, scaled paper.

Junior league

Problem 2. Black box with knobs

Determine the simplest of possible circuits in the black box. Find maximum resistance of each variable resistor which rotary knobs are brought out.

Equipment. Black box with three terminals (A, B and C) and three brought out rotary knobs of variable resistors (R_1, R_2 and R_3), ohmmeter, scaled paper.

Senior league

Problem 1. Torsional oscillations of a «dumbbell»

In this problem you are offered to investigate torsional oscillations of a pendulum consisting of two loads of equal masses connected with a needle hung on a copper wire. At rest a needle should be at horizontal position and a wire — at vertical position.

1. Plot torsional oscillation period T versus distance d between suspension centre of a needle and attachment point of a load. Explain the dependence theoretically.

2. Plot torsional oscillation period T versus wire length l (with d being fixed). Determine the dependence type.

3. Determine torsional oscillation period T_x with wire length $l_x = 55$ cm.

4. Evaluate shear of elasticity G for copper.

Note. Let us clarify what shear of elasticity is. Let a rectangular parallelepiped bar of elastic material is exposed to shear deformation (without volume changes). F is a force appearing on top face and preventing deformation, S is a square of top face, θ is an angle of deformation (fig. 11), then shear of elasticity is (by definition):

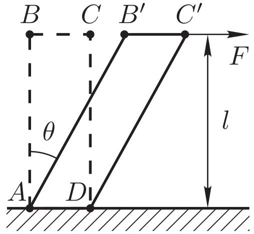

Fig. 11

$$G = \frac{F}{S\theta}.$$

Equipment. Two equal loads of known mass, ruler, wire with length $l \approx 50$ cm, stand, watch, needle, scaled paper.

Senior league

Problem 1. Torsional oscillations of a «dumbbell»

In this problem you are offered to investigate torsional oscillations of a pendulum consisting of two loads of equal masses connected with a needle hung on a copper wire. At rest a needle should be at horizontal position and a wire — at vertical position.

1. Plot torsional oscillation period T versus distance d between suspension centre of a needle and attachment point of a load. Explain the dependence theoretically.

2. Plot torsional oscillation period T versus wire length l (with d being fixed). Determine the dependence type.

3. Determine torsional oscillation period T_x with wire length $l_x = 55$ cm.

4. Evaluate shear of elasticity G for copper.

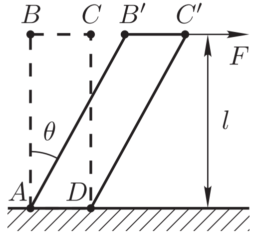

Fig. 12

Note. Let us clarify what shear of elasticity is. Let a rectangular parallelepiped bar of elastic material is exposed to shear deformation (without volume changes). F is a force appearing on top face and preventing deformation, S is a square of top face, θ is an angle of deformation (fig. 12), then shear of elasticity is (by definition):

$$G = \frac{F}{S\theta}.$$

Equipment. Two equal loads of known mass, ruler, wire with length $l \approx 50$ cm, stand, watch, needle, scaled paper.

Senior league

Problem 2. Earth's magnetic field

Brief theory. It is known that Earth's magnetic field aligns compass needle along north-south direction. It is connected with the fact that magnetized needle with magnetic moment $\vec{p}$ in magnetic field $\vec{B}$ is exposed to mechanical moment of force $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{B}$ ($\times$ is a sign of vector multiplication). Magnetic moment is a vector directed from south to north magnetic pole. When magnetic moment and magnetic field are codirectional, $M = 0$. It is easy to ascertain that in this case equilibrium position is stable. If magnetic moment and magnetic field are differently directed, $M = 0$ but equilibrium is unstable. Magnetic moments determine force of interaction of permanent magnets. If two identical small magnets with magnetic moments $\vec{p}$ are placed at a distance r and $\vec{r} \perp \vec{p}$, they are attracted with a force:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{3p^2}{r^4}.$$

If magnetic moments are directed along the line that connect them, the force of attraction is twice as large:

$$F = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{6p^2}{r^4}.$$

Constant $\mu_0/(4\pi) = 10^{-7}$ H/m. Magnetic moment of permanent magnets is an additive value, i.e., total magnetic moment of a system equals a vector sum of magnetic moments of system's components. For example, if a permanent magnet is broken in two, there will be two magnets with half as much magnetic moments.

If strong bar-shaped permanent magnet is hung on a thin vertical thread passing through magnet's centre of mass, torsional oscillations will occur while turning a magnet in horizontal plane. If horizontal component of magnetic field induction is $\vec{B}$ and elasticity (more properly — torsional modulus) of a thread is negligible, then period of small oscillations will be

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{pB}},$$

where I is moment of inertia of the bar with respect to axis of rotation. For example, moment of inertia of a rectangular bar with mass m with respect to the axis passing normal to the face with dimensions $a \times b$ through the face's centre is:

$$I = m\frac{(a^2 + b^2)}{12}.$$

Task.

1. Find the north and the south poles of a magnet.
2. Determine cardinal points (north, south, west, east). Justify an answer.
3. Determine the magnetic moment of a small magnet.
4. Determine the horizontal component of the Earth's magnetic field.

Note. Take into consideration that close magnetic objects (scissors, metallic ruler, stand etc.) may affect the results greatly.

Equipment. Four identical small magnets, thin thread, stopwatch, pile of paper sheets of thickness about 35 mm, ruler, scissors, scotch tape, scaled paper, pencil, thin rubber band. Magnet material density is $\rho = 7.8$ g/cm^3.

Младшая лига

Задача 1. Бочка в грузовике

В кузове грузовика установлена цилиндрическая бочка диаметром $D = 1$ м с лёгкой крышкой, на которой сидит пассажир, плотно прижимая своим весом крышку к бочке. Бочка полностью (под самую крышку) заполнена водой. Грузовик проходит горизонтальный поворот дороги с радиусом закругления $R = 0{,}1$ км со скоростью $v = 54$ км/ч. Какой минимальной массой m должен обладать сидящий на крышке пассажир, чтобы вода на повороте не выплёскивалась из бочки, приподнимая крышку? На повороте бочка не опрокидывается, крышка и пассажир с бочки не соскальзывают. Плотность воды $\rho = 1$ г/см^3, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.

Задача 2. «Кругловатый» цикл

С одноатомным идеальным газом был совершён цикл (рис. 1), который в VP-координатах при выбранных масштабах по осям состоит из двух участков: четверти окружности с центром в точке $(2V,P)$ и четверти окружности с центром в точке $(V,2P)$. Найдите термодинамический КПД η этого цикла.

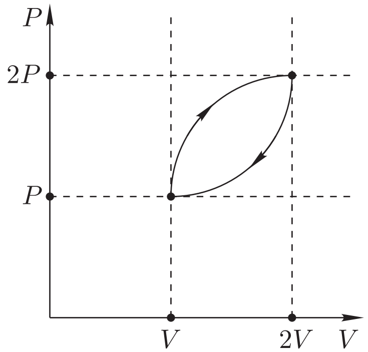

Рис. 1

Задача 3. Заряженный ртутный пузырь

Экспериментатор Глюк, находясь на космической станции и нарушая технику безопасности, выдул с помощью тонкой пластмассовой трубочки ртутный пузырь и подал на него высокое напряжение U (относительно бесконечно удалённой точки). Через некоторое время система пришла в равновесие, при этом трубочка оставалась в пузыре и была открытой с обоих концов (рис. 2). Найдите установившийся радиус r ртутного пузыря. Коэффициент поверхностного натяжения ртути σ известен.

Задача 4. Без окон и дверей

Для съёмок фильма построили пустой павильон без окон и дверей. Серые бетонные стены, пол и потолок павильона отражают падающий на них свет диффузно во все стороны с коэффициентом отражения $R = 10\%$ для всех длин волн. Внутри павильона подвешен точечный источник света. Для увеличения освещённости режиссёр самолично заменил источник света на новый, имеющий в $\alpha = 2$ раза бо́льшую яркость, и перекрасил стены, пол и потолок в белый цвет, за счёт чего коэффициент отражения вырос в $\beta = 4$ раза. Во сколько раз γ увеличилась средняя освещённость павильона?

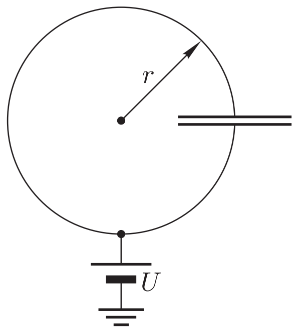

Рис. 2

Условия уносите с собой!

Младшая лига

Задача 1. Бочка в грузовике

В кузове грузовика установлена цилиндрическая бочка диаметром $D = 1$ м с лёгкой крышкой, на которой сидит пассажир, плотно прижимая своим весом крышку к бочке. Бочка полностью (под самую крышку) заполнена водой. Грузовик проходит горизонтальный поворот дороги с радиусом закругления $R = 0{,}1$ км со скоростью $v = 54$ км/ч. Какой минимальной массой m должен обладать сидящий на крышке пассажир, чтобы вода на повороте не выплёскивалась из бочки, приподнимая крышку? На повороте бочка не опрокидывается, крышка и пассажир с бочки не соскальзывают. Плотность воды $\rho = 1$ г/см^3, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.

Задача 2. «Кругловатый» цикл

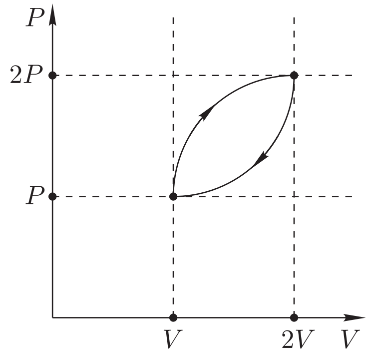

Рис. 3

С одноатомным идеальным газом был совершён цикл (рис. 3), который в VP-координатах при выбранных масштабах по осям состоит из двух участков: четверти окружности с центром в точке $(2V,P)$ и четверти окружности с центром в точке $(V,2P)$. Найдите термодинамический КПД η этого цикла.

Задача 3. Заряженный ртутный пузырь

Экспериментатор Глюк, находясь на космической станции и нарушая технику безопасности, выдул с помощью тонкой пластмассовой трубочки ртутный пузырь и подал на него высокое напряжение U (относительно бесконечно удалённой точки). Через некоторое время система пришла в равновесие, при этом трубочка оставалась в пузыре и была открытой с обоих концов (рис. 4). Найдите установившийся радиус r ртутного пузыря. Коэффициент поверхностного натяжения ртути σ известен.

Задача 4. Без окон и дверей

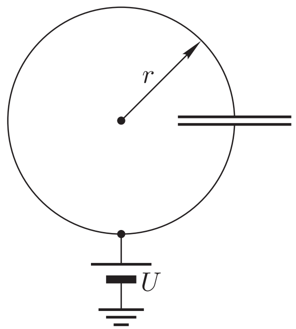

Рис. 4

Для съёмок фильма построили пустой павильон без окон и дверей. Серые бетонные стены, пол и потолок павильона отражают падающий на них свет диффузно во все стороны с коэффициентом отражения $R = 10\%$ для всех длин волн. Внутри павильона подвешен точечный источник света. Для увеличения освещённости режиссёр самолично заменил источник света на новый, имеющий в $\alpha = 2$ раза бо́льшую яркость, и перекрасил стены, пол и потолок в белый цвет, за счёт чего коэффициент отражения вырос в $\beta = 4$ раза. Во сколько раз γ увеличилась средняя освещённость павильона?

Условия уносите с собой!

Старшая лига

Задача 1. Маятник в шахте

Экспериментально установлено, что период колебаний математического маятника в шахте глубиной $h = 500$ м на $\delta = 0{,}0025\%$ меньше периода колебаний такого же маятника на поверхности Земли. Оцените на основе этих данных среднюю плотность ρ слоя земной коры толщиной h от поверхности, считая Землю шаром с плотностью, зависящей только от расстояния до центра. Средняя плотность Земли $\rho_0 = 5{,}6$ г/см^3, радиус Земли $R = 6400$ км.

Задача 2. Относительное равновесие

Два сосуда объёмами $V_1 = 4{,}0$ л и $V_2 = 1{,}0$ л соединены короткой трубкой, которая первоначально перекрыта вентилем. В первом сосуде находится влажный воздух под давлением $P_1 = 2{,}40$ атм с относительной влажностью $\varphi_1 = 90\%$, а во втором — водяной пар под давлением $P_2 = 0{,}85$ атм. Вентиль открывают, и в сосудах быстро устанавливается одинаковое давление. Затем при открытом вентиле медленно устанавливается тепловое равновесие.

1. Найдите давление P влажного воздуха после установления теплового равновесия.

2. Найдите относительную влажность φ воздуха после установления теплового равновесия.

3. Найдите минимальное давление $P_{\min}$ в первом сосуде в процессе установления равновесия.

4. Найдите минимальную влажность $\varphi_{\min}$ в первом сосуде в процессе установления равновесия.

Толстые металлические стенки сосудов и скомканная внутри проволока обеспечивают постоянную температуру газов $T = 373$ К. Объёмом трубки и проволоки можно пренебречь, а возможность возникновения перенасыщенного пара — не учитывать. В вопросах 1 и 2 требуются общий и численный ответы, а в 3 и 4 — только численный.

Задача 3. Метод Ван дер Пау

Очень часто объектом изучения являются тонкие проводящие плёнки замысловатой формы, выращенные на непроводящих диэлектрических подложках. Поскольку в этом случае затруднительно изготовить образец правильной прямоугольной формы, то для измерения удельного сопротивления таких объектов Ван дер Пау в 1958 году предложил следующую методику.

В плёнку вжигают четыре небольших контакта (1, 2, 3, 4), находящихся на произвольном расстоянии друг от друга (рис. 5). Через два соседних контакта (например, 2 и 3) пропускают ток силой I_{23}, а между двумя оставшимися контактами измеряют напряжение U_{41}. По измеренным значениям рассчитывают величину $R_{41,23} = U_{41}/I_{23}$. Затем производится второе измерение, при котором ток протекает между контактами 1 и 3, а напряжение измеряется между

Условия уносите с собой!

контактами 2 и 4. Из результирующего сопротивления $R_{24,31}$ и сопротивления $R_{41,23}$ можно вычислить удельное сопротивление ρ проводящей плёнки:

$$\rho = \frac{\pi d(R_{24,31} + R_{41,23})f}{2\ln 2}, \tag{1}$$

где d — толщина плёнки, f — множитель, зависящий от отношения $R_{24,31}/R_{41,23}$.

1. Для плёнки произвольной формы определите сопротивление между контактами 1 и 2, если известны величины $R_{41,23}$ и $R_{24,31}$.

2. Для полубесконечной плёнки с четырьмя контактами на границе (рис. 6) покажите, что выполняется соотношение

$$\exp\left(-\frac{\pi R_{24,31} d}{\rho}\right) + \exp\left(-\frac{\pi R_{41,23} d}{\rho}\right) = 1. \tag{2}$$

3. Для случая $R_{24,31} \approx R_{41,23}$ получите (1) из (2).

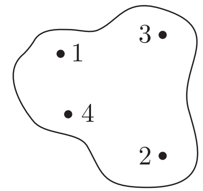

Рис. 5

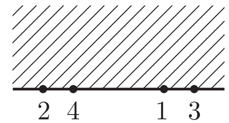

Рис. 6

Задача 4. Детектор перед зеркалом

На плоское зеркало падает под углом φ (к нормали) плоская (идущая от бесконечно удалённого источника) монохроматическая световая волна с длиной волны λ. С помощью маленького детектора регистрируется сигнал, пропорциональный интенсивности света в точке наблюдения.

1. Найдите частоту ν_1 переменного сигнала, если зеркало неподвижно, а детектор движется со скоростью $v \ll c$, направленной под углом α к плоскости зеркала.

2. Какова в этом случае максимальная частота $\nu_{1\,\max}$ при всевозможных значениях φ и α? При каких φ_1 и α_1 она достигается?

3. Найдите частоту ν_2 переменного сигнала, если детектор неподвижен, а зеркало движется поступательно со скоростью $u \ll c$, лежащей в плоскости падения и перпендикулярной лучам падающей волны.

4. Какова в этом случае максимальная частота $\nu_{2\,\max}$ при всевозможных значениях φ? При каком φ_2 она достигается?

Условия уносите с собой!

Junior league

Problem 1. Barrel in truck

In a truck there is a cylindrical barrel of diameter $D = 1$ m with light cap and a passenger sitting on the cap and pressing it down to the barrel with his weight. The barrel is filled with water up to the cap. The truck passes horizontal road turn with curvature radius $R = 0{,}1$ km at speed $v = 54$ km/h. What minimum mass m should the passenger have for water not to lift the cap and to slop out the barrel while turning? The barrel does not fall, the cap and the passenger do not slide out. Water density is $\rho = 1$ g/cm^3, gravity acceleration is $g = 10$ m/s^2.

Problem 2. «Roundish» cycle

Ideal monoatomic gas undergoes a cycle (fig. 7). Being plotted in VP-coordinates at selected scales of the axes, the cycle consists of two paths: quarter of circle with centre at point ($2V$,P) and quarter of circle with centre at point (V,$2P$). Find thermodynamic efficiency η of this cycle.

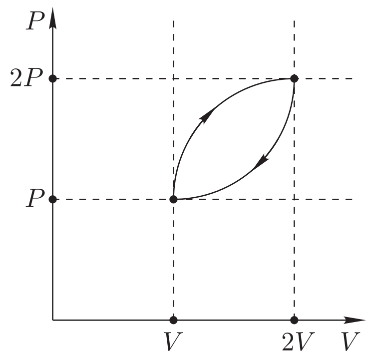

Fig. 7

Problem 3. Charged mercury bubble

Being bored for lack of occupation on a space station, experimenter Glitch, disregarding safety directions, blew a mercury bubble using a thin plastic tube and energized the bubble with high voltage U (with respect to infinitely distant point). After a while the system got into equilibrium, with the tube staying in the bubble with both ends opened (fig. 8). Find steady-state radius r of the mercury bubble. Mercury surface tension coefficient σ is known.

Problem 4. No windows, no gates

For filming an empty studio without doors and windows was constructed. Gray concrete walls, floor and ceiling reflect incident light diffusely in all directions with reflection index $R = 10\%$ for all wavelengths. Point light source is placed inside the studio. To increase intensity of illumination director replaced the light source with a new one having $\alpha = 2$ times greater luminosity and repainted walls, floor and ceiling with white color, so reflection index increased by $\beta = 4$ times. How many times γ did average intensity of illumination increase?

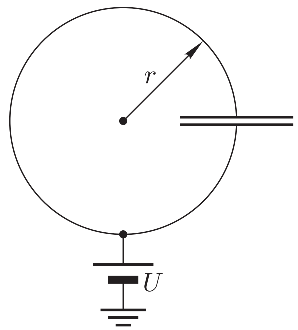

Fig. 8

Take with you this problem list!

XVI International olympiad "Tuymaada". Physics

Junior league

Problem 1. Barrel in truck

In a truck there is a cylindrical barrel of diameter $D = 1$ m with light cap and a passenger sitting on the cap and pressing it down to the barrel with his weight. The barrel is filled with water up to the cap. The truck passes horizontal road turn with curvature radius $R = 0{,}1$ km at speed $v = 54$ km/h. What minimum mass m should the passenger have for water not to lift the cap and to slop out the barrel while turning? The barrel does not fall, the cap and the passenger do not slide out. Water density is $\rho = 1$ g/cm^3, gravity acceleration is $g = 10$ m/s^2.

Problem 2. «Roundish» cycle

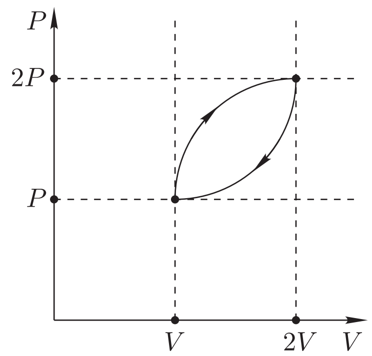

Fig. 9

Ideal monoatomic gas undergoes a cycle (fig. 9). Being plotted in VP-coordinates at selected scales of the axes, the cycle consists of two paths: quarter of circle with centre at point ($2V$,P) and quarter of circle with centre at point (V,$2P$). Find thermodynamic efficiency η of this cycle.

Problem 3. Charged mercury bubble

Being bored for lack of occupation on a space station, experimenter Glitch, disregarding safety directions, blew a mercury bubble using a thin plastic tube and energized the bubble with high voltage U (with respect to infinitely distant point). After a while the system got into equilibrium, with the tube staying in the bubble with both ends opened (fig. 10). Find steady-state radius r of the mercury bubble. Mercury surface tension coefficient σ is known.

Problem 4. No windows, no gates

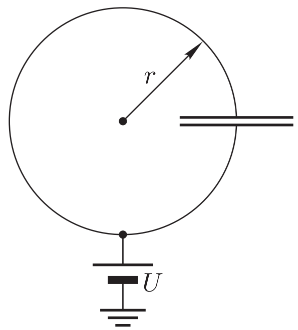

Fig. 10

For filming an empty studio without doors and windows was constructed. Gray concrete walls, floor and ceiling reflect incident light diffusely in all directions with reflection index $R = 10\%$ for all wavelengths. Point light source is placed inside the studio. To increase intensity of illumination director replaced the light source with a new one having $\alpha = 2$ times greater luminosity and repainted walls, floor and ceiling with white color, so reflection index increased by $\beta = 4$ times. How many times γ did average intensity of illumination increase?

Take with you this problem list!

Senior league

Problem 1. Pendulum in a mine

It is experimentally established that oscillation period of mathematical pendulum in a mine with depth $h = 500$ m is $\delta = 0.0025\%$ less than oscillating period of the same pendulum on Earth surface. Estimate average density ρ of the earth crust layer of thickness h from surface, considering the Earth as a ball with density depending only on distance from the centre. Average Earth density is $\rho_0 = 5.6$ g/cm^3, Earth radius is $R = 6400$ km.

Problem 2. Relative balance

Two vessels with volumes $V_1 = 4.0$ l and $V_2 = 1.0$ l are connected with a short tube, initially valved off. In the first vessel there is moist air under a pressure of $P_1 = 2.40$ atm with a relative humidity $\varphi_1 = 90\%$, and in the second — water vapour under a pressure $P_2 = 0.85$ atm. The valve opens, and the pressures in the vessels become equal soon. Then heat balance is establishing slowly with an opened valve.

1. Determine the pressure P of moist air after the heat balance is achieved.
2. Determine the relative humidity φ of air after the heat balance is achieved.
3. Determine the minimum pressure $P_{\min}$ in the first vessel in the process of balance establishing.
4. Determine the minimum humidity $\varphi_{\min}$ in the first vessel in the process of balance establishing.

Thick metal vessel walls and crumpled wire inside the vessels provide constant gas temperature $T = 373\ K$. Volumes of the tube and the wire may be neglected; possibility of appearing of supersaturated vapour may not be taken into account. Questions 1 and 2 require both common answers (expressions) and numerical answers, and questions 3 and 4 — only numerical ones.

Problem 3. Van der Pauw method

Often thin conductive films of a sophisticated form grown on non-conductive dielectric base are investigated. Since it is difficult to make a sample of a regular rectangle form, in 1958 Van der Pauw offered the following method of measuring resistivity of such objects.

Four small contacts (1, 2, 3, 4) are burned in a film at arbitrary distances from each other (fig. 11). Current with intensity I_{23} is passed through two neighboring contacts (for example, 2 and 3) and between two other contacts voltage U_{41} is measured. $R_{41.23} = U_{41}/I_{23}$ is calculated using measured values. Then the second measurement is held on. Current passes between contacts 1 and 3 and voltage is measured between contacts 2 and 4. Using resulting resistance $R_{24.31}$ and resistance $R_{41.23}$ resistivity ρ of a conductive film can be calculated:

$$\rho = \frac{\pi d(R_{24.31} + R_{41.23})f}{2\ln 2}, \qquad (3)$$

Take with you this problem list!

where d is film thickness, f is a factor depending on ratio $R_{24.31}/R_{41.23}$.

1. For a film of arbitrary form determine resistance between contacts 1 and 2 if values $R_{41.23}$ and $R_{24.31}$ are known.
2. For semi-infinite film with four contacts on the border (fig. 12) show that the following ratio is correct:

$$\exp\left(-\frac{\pi R_{24.31}d}{\rho}\right) + \exp\left(-\frac{\pi R_{41.23}d}{\rho}\right) = 1. \qquad (4)$$

3. For a case $R_{24.31} \approx R_{41.23}$ derive (3) from (4).

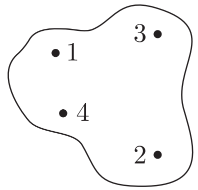

Fig. 11

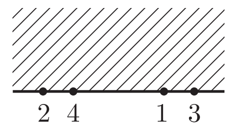

Fig. 12

Problem 4. Detector in front of a mirror

Plane (travelling from an infinitely distant source) monochromatic light wave with wavelength λ is incident on a plane mirror at the angle φ to the normal. By means of a small detector the signal proportional to the intensity of light at the point of observation is registered.

1. Determine the frequency ν_1 of a variable signal if the mirror is fixed (motionless) and the detector moves at the velocity $v \ll c$, the velocity being directed at the angle α to the plane of the mirror.
2. What is the maximum frequency $\nu_{1\,\max}$ in this case for all possible φ and α? At what φ_1 and α_1 it is achieved?
3. Determine the frequency ν_2 of a variable signal if the detector is fixed and the mirror is engaged in translational motion at the velocity $u \ll c$; the velocity lies in the plane of light incidence and is normal to the incident wave rays.
4. What is the maximum frequency $\nu_{2\,\max}$ in this case for all possible φ? At what φ_2 it is achieved?

Take with you this problem list!

Туймаада-2010

Младшая лига

Задача 1. Вольтметр

Определите ЭДС $\mathcal{E}$ источника.

Оборудование. Источник, вольтметр, резистор переменного сопротивления, монтажная плата, соединительные провода.

Примечание. ЭДС источника превышает верхний предел измерения вольтметра.

Задача 2. Неизвестная жидкость

Определите плотность ρ неизвестной жидкости. Плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3.

Оборудование. Сосуды с водой и неизвестной жидкостью, трубка, штатив, линейка, две гайки.

Старшая лига

Задача 1. Мыльные пузыри

В данной задаче предлагается изучить эффекты, связанные с поверхностным натяжением мыльного раствора и вязкостью воздуха.

1. Определите коэффициент поверхностного натяжения σ мыльного раствора.

2. Снимите зависимость времени T сдувания мыльного пузыря от его начального радиуса R_0. Изобразите результаты на графике.

3. Используя формулу Пуазейля, выведите зависимость $T(R_0)$ теоретически. Сравните результаты.

4. Оцените коэффициент динамической вязкости η воздуха.

Оборудование. Капилляр с известным внутренним радиусом δ, трубочка от сока, мыльный раствор, секундомер, миллиметровая бумага.

Примечание. Плотность мыльного раствора $\rho = 1000$ кг/м^3. Формула Пуазейля для расхода жидкости или газа при течении через трубу:

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\eta l}(P_1 - P_2),$$

где η — коэффициент динамической вязкости среды, P_1 и P_2 — давления на концах трубы, r и l — радиус и длина трубы соответственно.

Задача 2. Поваренная соль

Определите плотность ρ_* сухой поваренной соли как сыпучего вещества и плотность ρ_k одного кристалла этой соли. Плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3.

Оборудование. Сухая поваренная соль, медицинский шприц, пластилин, вода в стакане, два пустых стакана.

Junior league

Problem 1. Voltmeter

Determine voltage source electromotive force $\mathcal{E}$.

Equipment. Voltage source, voltmeter, variable resistor, wiring plate, wires.

Note. The electromotive force exceeds the voltmeter measurement limit.

Problem 2. Unknown liquid

Determine density ρ of unknown liquid. Water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3.

Equipment. Vessels filled with water and unknown liquid, tube, support, ruler, two nuts.

Senior league

Problem 1. Soap bubbles

In this problem you are proposed to study effects related to soap solution surface tension and air viscosity.

1. Determine coefficient σ of soap solution surface tension.

2. Take dependence of time T of bubble deflation on its initial radius R_0. Plot the dependence.

3. Using Poiseuille equation, derive the dependence $T(R_0)$ theoretically. Compare the results.

4. Estimate coefficient of dynamic air viscosity η.

Equipment. Capillary with known inner radius δ, plastic straw, soap solution, stopwatch, graph paper.

Note. Soap solution density is $\rho = 1000$ kg/m^3. Poiseuille equation using to determine liquid or gas flow in a tube:

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\eta l}(P_1 - P_2),$$

where η is coefficient of dynamic viscosity of media, P_1 and P_2 are pressures at the ends of the tube, r and l are tube radius and tube length respectively.

Problem 2. Salt

Determine density ρ_* of dry salt (as dry substance) and density ρ_k of one salt crystal. Water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3.

Equipment. Dry salt, syringe, plasticine, glass filled with water, two empty glasses.

Младшая лига

Задача 1. Автобусы под дождём

В дождливую безветренную погоду по трассе из пункта A в пункт B ехали с постоянной одинаковой скоростью два автобуса, имеющих форму параллелипипедов и отличающиеся только длиной — в 1,5 раза. За время движения из A в B их коснулись N и $1{,}3N$ капель дождя. Обратный путь они проделали с вдвое меньшей скоростью. Сколько капель дождя N_1 и N_2 коснулись их на обратном пути? Отклонение капель под действием потоков воздуха не учитывайте. Приводить ответы в общем виде в данной задаче не требуется.

Задача 2. Электрогаз

На проводящий шар, покрытый тонким слоем изолятора и находящийся в гелиевой среде, подают напряжение U, из-за чего на него «налипают» однозарядные ионы. Затем этот шар переносят в большой пустой сосуд и быстро снимают напряжение. Найдите температуру T ионного газа в сосуде.

Задача 3. Треугольный фрактал

Из тонкой проволоки сопротивлением $R_0 = 6$ Ом изготовили плоскую фигуру, состоящую из большого числа равносторонних треугольников, стороны каждого из которых, начиная со второго, являются средними линиями предыдущего треугольника (рис. 1). Вычислите сопротивление R полученной фигуры между точками A и B. Все точки соединения хорошо пропаяны.

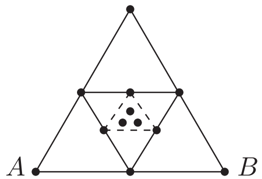

Рис. 1

Задача 4. Авторские очки

Автор задачи, желая разобраться в работе широко рекламируемых очков с большим количеством регулярно расположенных отверстий («дырчатых очков»), проделал в непрозрачном экране недалеко друг от друга две небольшие дырочки (расстояние между ними $l \sim 1{,}5$ мм, их диаметры $d \sim 0{,}5$ мм), расположил этот экран в непосредственной близости от глаза точно напротив зрачка и стал рассматривать через эти две дырочки яркую светящуюся точку.

В результате эксперимента было обнаружено, что изображение источника на сетчатке двоится (рис. 2), если источник расположен ближе $a_1 = 25$ см или дальше $a_2 = 42$ см от глаза, и сливается в одно пятнышко (рис. 3) при промежуточных положениях источника. Определите оптическую силу D необходимых автору очков. Считайте, что хрусталик глаза в процессе опыта расслаблен и его оптическая сила не изменяется.

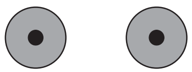
Рис. 2

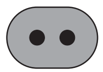
Рис. 3

Условия уносите с собой!

Младшая лига

Задача 1. Автобусы под дождём

В дождливую безветренную погоду по трассе из пункта A в пункт B ехали с постоянной одинаковой скоростью два автобуса, имеющих форму параллелипипедов и отличающиеся только длиной — в 1,5 раза. За время движения из A в B их коснулись N и $1{,}3N$ капель дождя. Обратный путь они проделали с вдвое меньшей скоростью. Сколько капель дождя N_1 и N_2 коснулись их на обратном пути? Отклонение капель под действием потоков воздуха не учитывайте. Приводить ответы в общем виде в данной задаче не требуется.

Задача 2. Электрогаз

На проводящий шар, покрытый тонким слоем изолятора и находящийся в гелиевой среде, подают напряжение U, из-за чего на него «налипают» однозарядные ионы. Затем этот шар переносят в большой пустой сосуд и быстро снимают напряжение. Найдите температуру T ионного газа в сосуде.

Задача 3. Треугольный фрактал

Из тонкой проволоки сопротивлением $R_0 = 6$ Ом изготовили плоскую фигуру, состоящую из большого числа равносторонних треугольников, стороны каждого из которых, начиная со второго, являются средними линиями предыдущего треугольника (рис. 4). Вычислите сопротивление R полученной фигуры между точками A и B. Все точки соединения хорошо пропаяны.

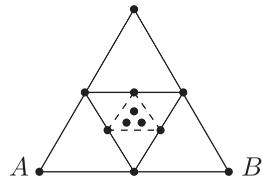

Рис. 4

Задача 4. Авторские очки

Автор задачи, желая разобраться в работе широко рекламируемых очков с большим количеством регулярно расположенных отверстий («дырчатых очков»), проделал в непрозрачном экране недалеко друг от друга две небольшие дырочки (расстояние между ними $l \sim 1{,}5$ мм, их диаметры $d \sim 0{,}5$ мм), расположил этот экран в непосредственной близости от глаза точно напротив зрачка и стал рассматривать через эти две дырочки яркую светящуюся точку.

В результате эксперимента было обнаружено, что изображение источника на сетчатке двоится (рис. 5), если источник расположен ближе $a_1 = 25$ см или дальше $a_2 = 42$ см от глаза, и сливается в одно пятнышко (рис. 6) при промежуточных положениях источника. Определите оптическую силу D необходимых автору очков. Считайте, что хрусталик глаза в процессе опыта расслаблен и его оптическая сила не изменяется.

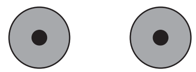
Рис. 5

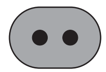
Рис. 6

Условия уносите с собой!

Старшая лига

Задача 1. Ночное насекомое

Некоторые насекомые приспособились летать ночью по прямой, используя лунный свет в качестве ориентира. Выбрав начальное направление, они затем поддерживают постоянный угол α между вектором своей скорости и направлением на центр Луны. Одно из таких насекомых, находясь на расстоянии $R = 10$ м от уличного фонаря, ошибочно приняло его за Луну и начало лететь с постоянной скоростью $v = 1$ м/с, двигаясь в одной плоскости и поддерживая угол $\alpha = 80^\circ$. Фонарь представляет собой шар радиусом $R_0 = 10$ см.

1. Через какое время τ насекомое натолкнётся на фонарь, если будет всё время ориентироваться на фонарь как на Луну?
2. Сколько оборотов n вокруг фонаря сделает насекомое до этого?

Задача 2. Холодильник-кондиционер

У экспериментатора Глюка стал слабо морозить однокамерный холодильник для хранения продуктов: при работе на полную мощность в камере поддерживалась температура лишь $T_x = +10{,}0$ °C, причём (что самое страшное для не терпящего жару Глюка!) температура в комнате из-за работы холодильника поднималась до $T_1 = +30{,}5$ °C, хотя на улице было всего $T_0 = +30{,}0$ °C.

Поэтому Глюк решил переделать холодильник в кондиционер: прикрепил его снаружи к окну так, что дверца холодильника оказалась в плоскости окна, после чего удалил эту дверцу.

Какая температура T_2 установится в комнате теперь?

Холодильник считайте идеальным, поток тепла через дверцу (пока она была) и изменение площади оконных стёкол из-за переделки не учитывайте.

Задача 3. Алмазный детектор

В современных лабораториях для регистрации элементарных частиц широко используются алмазные детекторы ионизирующего излучения. Рассматриваемый детектор представляет собой пластину из монокристалла алмаза типа $2A$ (такие алмазы добывают в Якутии) толщиной $d = 300$ мкм с напылёнными на боковые поверхности электродами и подключается к цепи, как показано на рис. 7. Взаимодействие падающего на детектор потока α-частиц с алмазом приводит к образованию электронно-дырочных пар (свободных электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне).

Характерная длина пробега α-частицы в детекторе $\lambda = 13$ мкм. Средняя энергия образования электронно-дырочной пары $\delta = 13$ эВ. Подвижности электронов и дырок в алмазе можно считать одинаковыми и равными $\mu = 0{,}2$ м^2/(В $\cdot$ с). Время рекомбинации электронно-дырочных пар $\tau = 10$ нс.

1. При какой минимальной ЭДС $\mathscr{E}_{\min}$ источника детектор будет работать в режиме спектрометра (то есть через измерительную цепь будет протекать весь

образовавшийся в детекторе заряд, пропорциональный энергии α-частицы)? Источник считайте идеальным, а сопротивление R — достаточно малым.

2. Определите кинетическую энергию W одной α-частицы, от которой осциллограф зарегистрировал при $R = 50$ Ом прямоугольный импульс напряжением $U = 0{,}65$ мВ и длительностью $T = 5$ нс.
3. Найдите ЭДС $\mathscr{E}$ источника в предыдущем опыте.

Примечание. Подвижность носителей заряда — это коэффициент пропорциональности между дрейфовой скоростью заряда и напряжённостью приложенного электрического поля. Элементарный заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, массы протона и нейтрона $m_p \approx m_n \approx m = 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг, скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

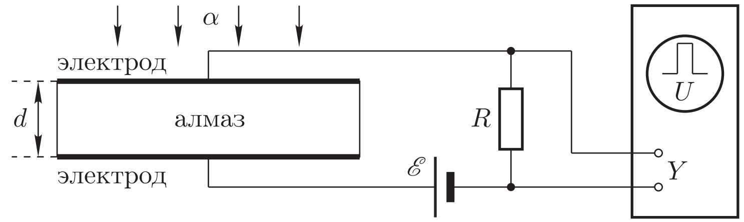

Рис. 7

Задача 4. Волны в ручье

При обтекании воткнутой в дно ручья палки образовались неподвижные относительно берега поверхностные волны (рис. 8, 9).

1. Определите диаметр d палки.
2. Определите скорость u течения ручья.

Примечание. Зависимость скорости v поверхностных волн от длины волны λ (закон дисперсии) имеет вид:

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\sigma}{\rho\lambda}},$$

где $g = 9{,}8$ м/с^2 — ускорение свободного падения, $\sigma = 0{,}073$ Н/м — коэффициент поверхностного натяжения воды, $\rho = 1000$ кг/м^3 — плотность воды.

Рис. 8. Короткие волны перед палкой (крупный масштаб)

Рис. 9. Длинные волны после палки (мелкий масштаб)

Условия уносите с собой!

XVII Международная олимпиада «Туймаада». Физика

Условия уносите с собой!

Junior league

Problem 1. Buses in the rain

In rainy windless weather two parallelepiped-shaped buses varying only in length in 1.5 times were moving from point A to point B at the same constant velocity. While moving from A to B the buses were touched by N and $1.3N$ rain drops respectively. On the way back the buses moved at half velocity. How many rain drops N_1 and N_2 touched the buses on the way back? Do not take drops deflection caused by air flows into consideration. It is not necessary to give general answers.

Problem 2. Electrogas

Voltage U is applied to a conductive solid sphere covered with thin isolating layer and surrounded by helium medium. Because of this voltage single-charged ions «adhere» to the solid sphere. Then the solid sphere is placed to large empty vessel and the voltage is removed. Find ion gas temperature T in the vessel.

Problem 3. Triangle fractal

Flat figure consisted of many equilateral triangles is made of thin wire with resistance $R_0 = 6\ \Omega$, the sides of each of the triangles from the second to the last being midlines of the preceeding ones (fig. 10). Calculate resistance R of the figure between points A and B. All connecting points are well-soldered.

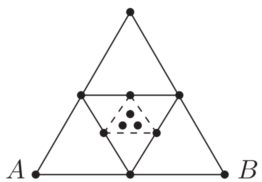

Fig. 10

Problem 4. Author's glasses

Wishing to understand working principles of widely advertised eyeglasses with a lot of regularly situated perforations («pinhole glasses»), the author of the problem made two small nearby holes in nontransparent screen (distance between them is $l \sim 1.5$ mm, their diameters are $d \sim 0.5$ mm), placed this screen in close proximity to the eye right opposite the pupil (the contractile aperture in the iris of the eye — Webster's Dictionary) and started to sight a bright lighting point through the holes.

During the experiment it was discovered that the light source image on the retina was seen double (fig. 11) if the source was closer than $a_1 = 25$ cm or farther than $a_2 = 42$ cm from the eye and merged into one spot (fig. 12) at intermediate source positions. Determine optical power D of glasses the author needs. Consider that the eye-lens was relaxed and its optical power was not change during the experiment.

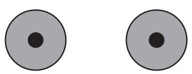

Fig. 11

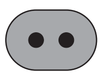

Fig. 12

Take with you this problem list!

Junior league

Problem 1. Buses in the rain

In rainy windless weather two parallelepiped-shaped buses varying only in length in 1.5 times were moving from point A to point B at the same constant velocity. While moving from A to B the buses were touched by N and $1.3N$ rain drops respectively. On the way back the buses moved at half velocity. How many rain drops N_1 and N_2 touched the buses on the way back? Do not take drops deflection caused by air flows into consideration. It is not necessary to give general answers.

Problem 2. Electrogas

Voltage U is applied to a conductive solid sphere covered with thin isolating layer and surrounded by helium medium. Because of this voltage single-charged ions «adhere» to the solid sphere. Then the solid sphere is placed to large empty vessel and the voltage is removed. Find ion gas temperature T in the vessel.

Problem 3. Triangle fractal

Flat figure consisted of many equilateral triangles is made of thin wire with resistance $R_0 = 6\ \Omega$, the sides of each of the triangles from the second to the last being midlines of the preceeding ones (fig. 13). Calculate resistance R of the figure between points A and B. All connecting points are well-soldered.

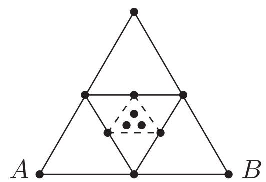

Fig. 13

Problem 4. Author's glasses

Wishing to understand working principles of widely advertised eyeglasses with a lot of regularly situated perforations («pinhole glasses»), the author of the problem made two small nearby holes in nontransparent screen (distance between them is $l \sim 1.5$ mm, their diameters are $d \sim 0.5$ mm), placed this screen in close proximity to the eye right opposite the pupil (the contractile aperture in the iris of the eye — Webster's Dictionary) and started to sight a bright lighting point through the holes.

During the experiment it was discovered that the light source image on the retina was seen double (fig. 14) if the source was closer than $a_1 = 25$ cm or farther than $a_2 = 42$ cm from the eye and merged into one spot (fig. 15) at intermediate source positions. Determine optical power D of glasses the author needs. Consider that the eye-lens was relaxed and its optical power was not change during the experiment.

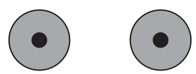

Fig. 14

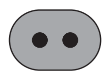

Fig. 15

Take with you this problem list!

Senior league

Problem 1. Night insect

Some insects are adapted to fly at night along a straight line using the Moon as orienting point. After choosing initial direction they maintain constant angle α between their velocity vector and direction toward the centre of the Moon. One insect being at distance $R = 10$ m from a street lamp considered it as the Moon and started moving at constant velocity $v = 1$ m/s in one plane, maintaining the angle $\alpha = 80°$. The street lamp is a sphere with radius $R_0 = 10$ cm.

1. In what time τ will the insect run into the lamp if always orienting to it as the Moon?

2. How many turns n around the lamp will the insect make before?

Problem 2. Air-conditioning refrigerator

Experimentor Glitch's single-chamber refrigerator stopped freezing properly: while working at full power temperature in the chamber was only $T_x = +10.0$ °C, and (what was the worst for Glitch who hated heat!) temperature in the room increased up to $T_1 = +30.5$ °C because of the refrigerator, yet it was only $T_0 = +30.0$ °C outdoors.

So Glitch decided to convert the refrigerator into air conditioner: he attached it to the window from outside in such a way that refrigerator door was in the plane of the window and removed the door.

What temperature T_2 will be then in the room? Consider the refrigerator being ideal, heat flow through the door (when the refrigerator had it) and window glasses area changing can be neglected.

Problem 3. Diamond detector

In modern laboratories ionizing-radiation diamond detectors are widely used for detecting elementary particles. The detector under consideration is a $2A$-type-diamond (such diamonds are mined in Yakutia) monocrystal plate with width $d = 300$ μm and electrodes evaporated onto its side surfaces; it is connected to the circuit as it is shown on fig. 16. Interaction between α-particles flow falling onto the detector and the diamond causes electron-hole pairs (unbound electrons in conductivity band and holes in valence band).

Characteristic α-particle path length in the detector is $\lambda = 13$ μm. Average energy of an electron-hole pair formation is $\delta = 13$ eV. Electron and hole mobilities in the diamond can be considered as equal: $\mu = 0.2$ m^2/(V $\cdot$ s). Electron-hole pair recombination time is $\tau = 10$ ns.

1. What minimum source electromotive force (EMF) $\mathscr{E}_{\min}$ the detector requires to work in spectrometer mode (i.e., total charge appeared in the detector and proportional to α-particle energy goes through the circuit)? Consider the source being ideal and resistance R being small enough.

Take with you this problem list!

2. Determine kinetic energy W of one α-particle which forced an oscillograph detecting rectangular impulse with voltage $U = 0.65$ mV and duration $T = 5$ ns, resistance being $R = 50$ kΩ.

3. Determine source EMF $\mathscr{E}$ in the preceeding experiment.

Note. Charge carriers mobility is the coefficient of proportionality between charge drift velocity and electric field intensity. Elementary charge is $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C, proton and neutron masses are $m_p \approx m_n \approx m = 1.7 \cdot 10^{-27}$ kg, speed of light in vacuum is $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

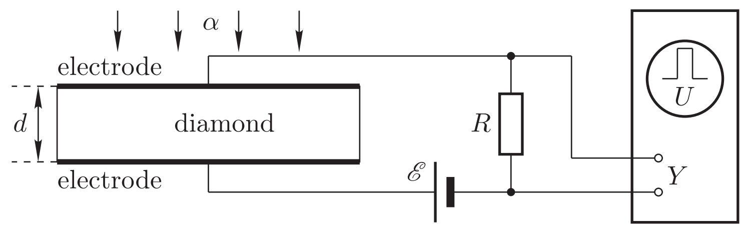

Fig. 16

Problem 4. Waves in stream

While water flows round a stick pushed into the river floor, surface waves fixed with respect to the river bank appear (fig. 17, 18).

1. Determine stick diameter d.

2. Determine stream flow velocity u.

Note. Dependence of surface waves velocity v on wave length λ (dispersion law) is given by:

$$v = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi\sigma}{\rho\lambda}},$$

where $g = 9.8$ m/s^2 is acceleration of gravity, $\sigma = 0.073$ N/m is coefficient of water surface tension, $\rho = 1000$ kg/m^3 is water density.

Take with you this problem list!

Fig. 17. Short waves in front of the stick (large scale)

Fig. 18. Long waves behind the stick (small scale)

XVII International olympiad "Tuymaada". Physics

Take with you this problem list!

Младшая лига

Задача 1. Лёд со включением

Определите среднюю плотность выданного образца льда со включением. Плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3.

Оборудование. Выдаваемый один раз по требованию образец льда со включением, пластиковый стакан, снег или крошка льда, вода, миллиметровая бумага.

Примечание. Если во время выполнения эксперимента образец растает до проведения нужных измерений, другой образец выдан не будет.

Младшая лига

Задача 1. Лёд со включением

Определите среднюю плотность выданного образца льда со включением. Плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3.

Оборудование. Выдаваемый один раз по требованию образец льда со включением, пластиковый стакан, снег или крошка льда, вода, миллиметровая бумага.

Примечание. Если во время выполнения эксперимента образец растает до проведения нужных измерений, другой образец выдан не будет.

Младшая лига

Задача 1. Лёд со включением

Определите среднюю плотность выданного образца льда со включением. Плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3.

Оборудование. Выдаваемый один раз по требованию образец льда со включением, пластиковый стакан, снег или крошка льда, вода, миллиметровая бумага.

Примечание. Если во время выполнения эксперимента образец растает до проведения нужных измерений, другой образец выдан не будет.

Младшая лига

Задача 1. Лёд со включением

Определите среднюю плотность выданного образца льда со включением. Плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3.

Оборудование. Выдаваемый один раз по требованию образец льда со включением, пластиковый стакан, снег или крошка льда, вода, миллиметровая бумага.

Примечание. Если во время выполнения эксперимента образец растает до проведения нужных измерений, другой образец выдан не будет.

Младшая лига

Задача 1. Лёд со включением

Определите среднюю плотность выданного образца льда со включением. Плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3.

Оборудование. Выдаваемый один раз по требованию образец льда со включением, пластиковый стакан, снег или крошка льда, вода, миллиметровая бумага.

Примечание. Если во время выполнения эксперимента образец растает до проведения нужных измерений, другой образец выдан не будет.

Младшая лига

Задача 1. Лёд со включением

Определите среднюю плотность выданного образца льда со включением. Плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3.

Оборудование. Выдаваемый один раз по требованию образец льда со включением, пластиковый стакан, снег или крошка льда, вода, миллиметровая бумага.

Примечание. Если во время выполнения эксперимента образец растает до проведения нужных измерений, другой образец выдан не будет.

Младшая лига

Задача 2. Треугольник со звездой

В «чёрном ящике» с четырьмя пронумерованными выводами находятся шесть резисторов, соединённых согласно схеме, изображённой на рис. 1. Три резистора на внешнем периметре имеют одинаковые сопротивления. Определите сопротивления всех резисторов в «чёрном ящике».

Оборудование. «Чёрный ящик», омметр.

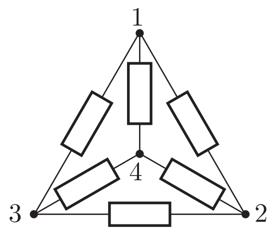

Рис. 1

Младшая лига

Задача 2. Треугольник со звездой

В «чёрном ящике» с четырьмя пронумерованными выводами находятся шесть резисторов, соединённых согласно схеме, изображённой на рис. 2. Три резистора на внешнем периметре имеют одинаковые сопротивления. Определите сопротивления всех резисторов в «чёрном ящике».

Оборудование. «Чёрный ящик», омметр.

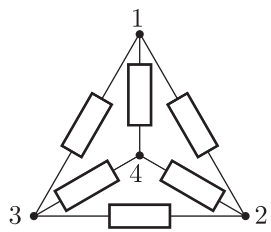

Рис. 2

Младшая лига

Задача 2. Треугольник со звездой

В «чёрном ящике» с четырьмя пронумерованными выводами находятся шесть резисторов, соединённых согласно схеме, изображённой на рис. 3. Три резистора на внешнем периметре имеют одинаковые сопротивления. Определите сопротивления всех резисторов в «чёрном ящике».

Оборудование. «Чёрный ящик», омметр.

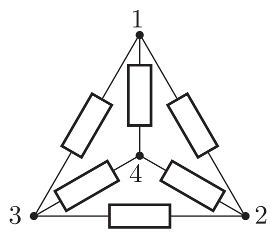

Рис. 3

Младшая лига

Задача 2. Треугольник со звездой

В «чёрном ящике» с четырьмя пронумерованными выводами находятся шесть резисторов, соединённых согласно схеме, изображённой на рис. 4. Три резистора на внешнем периметре имеют одинаковые сопротивления. Определите сопротивления всех резисторов в «чёрном ящике».

Оборудование. «Чёрный ящик», омметр.

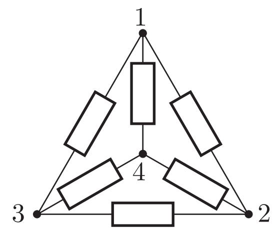

Рис. 4

Младшая лига

Задача 2. Треугольник со звездой

В «чёрном ящике» с четырьмя пронумерованными выводами находятся шесть резисторов, соединённых согласно схеме, изображённой на рис. 5. Три резистора на внешнем периметре имеют одинаковые сопротивления. Определите сопротивления всех резисторов в «чёрном ящике».

Оборудование. «Чёрный ящик», омметр.

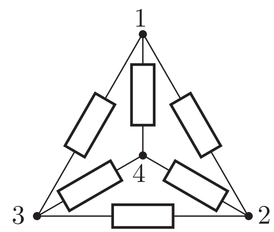

Рис. 5

Младшая лига

Задача 2. Треугольник со звездой

В «чёрном ящике» с четырьмя пронумерованными выводами находятся шесть резисторов, соединённых согласно схеме, изображённой на рис. 6. Три резистора на внешнем периметре имеют одинаковые сопротивления. Определите сопротивления всех резисторов в «чёрном ящике».

Оборудование. «Чёрный ящик», омметр.

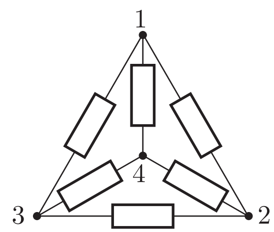

Рис. 6

Старшая лига

Задача 1. Леска на стержне

Определите силу $T_{\max}$ разрыва лески и коэффициент трения μ лески о стержень.

Оборудование. Динамометр, кусок лески, стержень, струбцина.

Старшая лига

Задача 1. Леска на стержне

Определите силу $T_{\max}$ разрыва лески и коэффициент трения μ лески о стержень.

Оборудование. Динамометр, кусок лески, стержень, струбцина.

Старшая лига

Задача 1. Леска на стержне

Определите силу $T_{\max}$ разрыва лески и коэффициент трения μ лески о стержень.

Оборудование. Динамометр, кусок лески, стержень, струбцина.

Старшая лига

Задача 1. Леска на стержне

Определите силу $T_{\max}$ разрыва лески и коэффициент трения μ лески о стержень.

Оборудование. Динамометр, кусок лески, стержень, струбцина.

Старшая лига

Задача 1. Леска на стержне

Определите силу $T_{\max}$ разрыва лески и коэффициент трения μ лески о стержень.

Оборудование. Динамометр, кусок лески, стержень, струбцина.

Старшая лига

Задача 1. Леска на стержне

Определите силу $T_{\max}$ разрыва лески и коэффициент трения μ лески о стержень.

Оборудование. Динамометр, кусок лески, стержень, струбцина.

Старшая лига

Задача 1. Леска на стержне

Определите силу $T_{\max}$ разрыва лески и коэффициент трения μ лески о стержень.

Оборудование. Динамометр, кусок лески, стержень, струбцина.

Старшая лига

Задача 1. Леска на стержне

Определите силу $T_{\max}$ разрыва лески и коэффициент трения μ лески о стержень.

Оборудование. Динамометр, кусок лески, стержень, струбцина.

Старшая лига

Задача 2. Полное магнитное поле Земли

Определите величину индукции B магнитного поля Земли и магнитное наклонение θ (угол, который вектор $\vec{B}$ образует с горизонтом). Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли в Якутске $B_h = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Оборудование. Четыре одинаковых постоянных магнита, каждый из которых имеет плотность $\rho = 7{,}8$ г/см^3 и магнитный момент $P = 0{,}15$ Дж/Тл, тонкая нить, карандаш, линейка, ножницы, скотч, экран с закреплённым крючком из немагнитной проволоки, миллиметровая бумага.

Примечание. Имейте ввиду, что близко расположенные магнитные предметы (ножницы, металлическая линейка, штатив и др.) могут существенно повлиять на результаты эксперимента.

Магнитный момент — это вектор, направленный от южного полюса магнита к северному. Магнитный момент аддитивен (полный магнитный момент системы равен векторной сумме магнитных моментов её частей). Магнитный момент витка площадью S с током силой I равен $P = IS$ и направлен по нормали к плоскости витка. На намагниченную стрелку в магнитном поле действует механический момент сил $M = PB\sin\varphi$, где φ — угол между магнитным моментом $\vec{P}$ стрелки и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

Старшая лига

Задача 2. Полное магнитное поле Земли

Определите величину индукции B магнитного поля Земли и магнитное наклонение θ (угол, который вектор $\vec{B}$ образует с горизонтом). Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли в Якутске $B_h = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Оборудование. Четыре одинаковых постоянных магнита, каждый из которых имеет плотность $\rho = 7{,}8$ г/см^3 и магнитный момент $P = 0{,}15$ Дж/Тл, тонкая нить, карандаш, линейка, ножницы, скотч, экран с закреплённым крючком из немагнитной проволоки, миллиметровая бумага.

Примечание. Имейте ввиду, что близко расположенные магнитные предметы (ножницы, металлическая линейка, штатив и др.) могут существенно повлиять на результаты эксперимента.

Магнитный момент — это вектор, направленный от южного полюса магнита к северному. Магнитный момент аддитивен (полный магнитный момент системы равен векторной сумме магнитных моментов её частей). Магнитный момент витка площадью S с током силой I равен $P = IS$ и направлен по нормали к плоскости витка. На намагниченную стрелку в магнитном поле действует механический момент сил $M = PB\sin\varphi$, где φ — угол между магнитным моментом $\vec{P}$ стрелки и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

Старшая лига

Задача 2. Полное магнитное поле Земли

Определите величину индукции B магнитного поля Земли и магнитное наклонение θ (угол, который вектор $\vec{B}$ образует с горизонтом). Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли в Якутске $B_h = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Оборудование. Четыре одинаковых постоянных магнита, каждый из которых имеет плотность $\rho = 7{,}8$ г/см^3 и магнитный момент $P = 0{,}15$ Дж/Тл, тонкая нить, карандаш, линейка, ножницы, скотч, экран с закреплённым крючком из немагнитной проволоки, миллиметровая бумага.

Примечание. Имейте ввиду, что близко расположенные магнитные предметы (ножницы, металлическая линейка, штатив и др.) могут существенно повлиять на результаты эксперимента.

Магнитный момент — это вектор, направленный от южного полюса магнита к северному. Магнитный момент аддитивен (полный магнитный момент системы равен векторной сумме магнитных моментов её частей). Магнитный момент витка площадью S с током силой I равен $P = IS$ и направлен по нормали к плоскости витка. На намагниченную стрелку в магнитном поле действует механический момент сил $M = PB\sin\varphi$, где φ — угол между магнитным моментом $\vec{P}$ стрелки и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

Старшая лига

Задача 2. Полное магнитное поле Земли

Определите величину индукции B магнитного поля Земли и магнитное наклонение θ (угол, который вектор $\vec{B}$ образует с горизонтом). Горизонтальная составляющая индукции магнитного поля Земли в Якутске $B_h = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ Тл.

Оборудование. Четыре одинаковых постоянных магнита, каждый из которых имеет плотность $\rho = 7{,}8$ г/см^3 и магнитный момент $P = 0{,}15$ Дж/Тл, тонкая нить, карандаш, линейка, ножницы, скотч, экран с закреплённым крючком из немагнитной проволоки, миллиметровая бумага.

Примечание. Имейте ввиду, что близко расположенные магнитные предметы (ножницы, металлическая линейка, штатив и др.) могут существенно повлиять на результаты эксперимента.

Магнитный момент — это вектор, направленный от южного полюса магнита к северному. Магнитный момент аддитивен (полный магнитный момент системы равен векторной сумме магнитных моментов её частей). Магнитный момент витка площадью S с током силой I равен $P = IS$ и направлен по нормали к плоскости витка. На намагниченную стрелку в магнитном поле действует механический момент сил $M = PB\sin\varphi$, где φ — угол между магнитным моментом $\vec{P}$ стрелки и вектором магнитной индукции $\vec{B}$.

Junior league

Problem 1. Ice with inclusion

Determine average density of given sample of ice with inclusion. Water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3.

Equipment. Sample of ice with inclusion being given only once, plastic glass, snow or ice chips, water, graph paper.

Note. If the ice melts before necessary measurements are taken during the experiment, the other sample will not be given.

Junior league

Problem 1. Ice with inclusion

Determine average density of given sample of ice with inclusion. Water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3.

Equipment. Sample of ice with inclusion being given only once, plastic glass, snow or ice chips, water, graph paper.

Note. If the ice melts before necessary measurements are taken during the experiment, the other sample will not be given.

Junior league

Problem 1. Ice with inclusion

Determine average density of given sample of ice with inclusion. Water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3.

Equipment. Sample of ice with inclusion being given only once, plastic glass, snow or ice chips, water, graph paper.

Note. If the ice melts before necessary measurements are taken during the experiment, the other sample will not be given.

Junior league

Problem 1. Ice with inclusion

Determine average density of given sample of ice with inclusion. Water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3.

Equipment. Sample of ice with inclusion being given only once, plastic glass, snow or ice chips, water, graph paper.

Note. If the ice melts before necessary measurements are taken during the experiment, the other sample will not be given.

Junior league

Problem 1. Ice with inclusion

Determine average density of given sample of ice with inclusion. Water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3.

Equipment. Sample of ice with inclusion being given only once, plastic glass, snow or ice chips, water, graph paper.

Note. If the ice melts before necessary measurements are taken during the experiment, the other sample will not be given.

Junior league

Problem 1. Ice with inclusion

Determine average density of given sample of ice with inclusion. Water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3.

Equipment. Sample of ice with inclusion being given only once, plastic glass, snow or ice chips, water, graph paper.

Note. If the ice melts before necessary measurements are taken during the experiment, the other sample will not be given.

Junior league

Problem 2. Star in delta

«Black box» with four enumerated terminals contains six resistors connected according to the scheme on fig. 7. Three resistors of outer perimeter have equal resistances. Determine resistances of all resistors of the «black box».

Equipment. «Black box», ohmmeter.

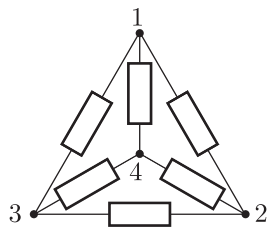

Fig. 7

Junior league

Problem 2. Star in delta

«Black box» with four enumerated terminals contains six resistors connected according to the scheme on fig. 8. Three resistors of outer perimeter have equal resistances. Determine resistances of all resistors of the «black box».

Equipment. «Black box», ohmmeter.

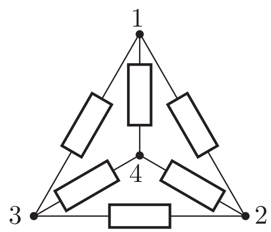

Fig. 8

Junior league

Problem 2. Star in delta

«Black box» with four enumerated terminals contains six resistors connected according to the scheme on fig. 9. Three resistors of outer perimeter have equal resistances. Determine resistances of all resistors of the «black box».

Equipment. «Black box», ohmmeter.

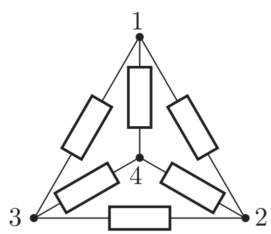

Fig. 9

Junior league

Problem 2. Star in delta

«Black box» with four enumerated terminals contains six resistors connected according to the scheme on fig. 10. Three resistors of outer perimeter have equal resistances. Determine resistances of all resistors of the «black box».

Equipment. «Black box», ohmmeter.

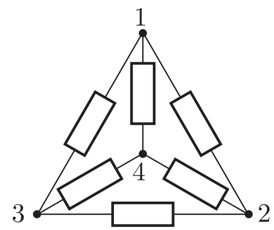

Fig. 10

Junior league

Problem 2. Star in delta

«Black box» with four enumerated terminals contains six resistors connected according to the scheme on fig. 11. Three resistors of outer perimeter have equal resistances. Determine resistances of all resistors of the «black box».

Equipment. «Black box», ohmmeter.

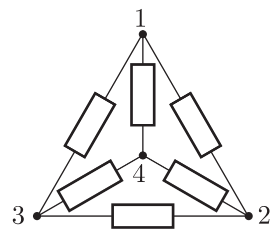

Fig. 11

Junior league

Problem 2. Star in delta

«Black box» with four enumerated terminals contains six resistors connected according to the scheme on fig. 12. Three resistors of outer perimeter have equal resistances. Determine resistances of all resistors of the «black box».

Equipment. «Black box», ohmmeter.

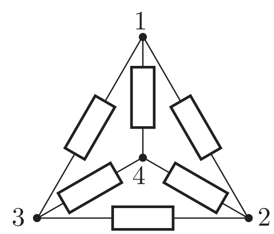

Fig. 12

Senior league

Problem 1. Line around rod

Determine force $T_{\max}$ of line break and coefficient μ of friction of line on a rod.

Equipment. Dynamometer, piece of line, rod, screw-clamp.

Senior league

Problem 1. Line around rod

Determine force $T_{\max}$ of line break and coefficient μ of friction of line on a rod.

Equipment. Dynamometer, piece of line, rod, screw-clamp.

Senior league

Problem 1. Line around rod

Determine force $T_{\max}$ of line break and coefficient μ of friction of line on a rod.

Equipment. Dynamometer, piece of line, rod, screw-clamp.

Senior league

Problem 1. Line around rod

Determine force $T_{\max}$ of line break and coefficient μ of friction of line on a rod.

Equipment. Dynamometer, piece of line, rod, screw-clamp.

Senior league

Problem 1. Line around rod

Determine force $T_{\max}$ of line break and coefficient μ of friction of line on a rod.

Equipment. Dynamometer, piece of line, rod, screw-clamp.

Senior league

Problem 1. Line around rod

Determine force $T_{\max}$ of line break and coefficient μ of friction of line on a rod.

Equipment. Dynamometer, piece of line, rod, screw-clamp.

Senior league

Problem 1. Line around rod

Determine force $T_{\max}$ of line break and coefficient μ of friction of line on a rod.

Equipment. Dynamometer, piece of line, rod, screw-clamp.

Senior league

Problem 1. Line around rod

Determine force $T_{\max}$ of line break and coefficient μ of friction of line on a rod.

Equipment. Dynamometer, piece of line, rod, screw-clamp.

Senior league

Problem 2. Total magnetic field of the Earth

Determine value of Earth magnetic field induction B and magnetic inclination θ (angle between vector $\vec{B}$ and horizon). Horizontal constituent of Earth magnetic field in Yakutsk is $B_h = 1.3 \cdot 10^{-5}$ T.

Equipment. Four identical constant magnets, each of them with density $\rho = 7.8$ g/cm^3 and magnetic moment $P = 0.15$ J/T, thin thread, pencil, ruler, scissors, tape, screen with fixed hook made of non-magnetic material, graph paper.

Note. Bear in mind that closely located magnetic objects (scissors, metallic ruler, support etc.) may significantly influence experimental results.

Magnetic moment is a vector directed from south pole of the magnet to its north pole. Magnetic moment is additive (total magnetic moment of a system equals the vector sum of magnetic moments of its parts). Magnetic moment of a turn with area S and current I is equal to $P = IS$ and directed along normal line to the plane of the turn. Magnetized arrow in a magnetic field experiences mechanical moment of forces $M = PB\sin\varphi$, where φ is an angle between magnetic moment $\vec{P}$ of the arrow and vector of magnetic induction $\vec{B}$.

Senior league

Problem 2. Total magnetic field of the Earth

Determine value of Earth magnetic field induction B and magnetic inclination θ (angle between vector $\vec{B}$ and horizon). Horizontal constituent of Earth magnetic field in Yakutsk is $B_h = 1.3 \cdot 10^{-5}$ T.

Equipment. Four identical constant magnets, each of them with density $\rho = 7.8$ g/cm^3 and magnetic moment $P = 0.15$ J/T, thin thread, pencil, ruler, scissors, tape, screen with fixed hook made of non-magnetic material, graph paper.

Note. Bear in mind that closely located magnetic objects (scissors, metallic ruler, support etc.) may significantly influence experimental results.

Magnetic moment is a vector directed from south pole of the magnet to its north pole. Magnetic moment is additive (total magnetic moment of a system equals the vector sum of magnetic moments of its parts). Magnetic moment of a turn with area S and current I is equal to $P = IS$ and directed along normal line to the plane of the turn. Magnetized arrow in a magnetic field experiences mechanical moment of forces $M = PB\sin\varphi$, where φ is an angle between magnetic moment $\vec{P}$ of the arrow and vector of magnetic induction $\vec{B}$.

Senior league

Problem 2. Total magnetic field of the Earth

Determine value of Earth magnetic field induction B and magnetic inclination θ (angle between vector $\vec{B}$ and horizon). Horizontal constituent of Earth magnetic field in Yakutsk is $B_h = 1.3 \cdot 10^{-5}$ T.

Equipment. Four identical constant magnets, each of them with density $\rho = 7.8$ g/cm^3 and magnetic moment $P = 0.15$ J/T, thin thread, pencil, ruler, scissors, tape, screen with fixed hook made of non-magnetic material, graph paper.

Note. Bear in mind that closely located magnetic objects (scissors, metallic ruler, support etc.) may significantly influence experimental results.

Magnetic moment is a vector directed from south pole of the magnet to its north pole. Magnetic moment is additive (total magnetic moment of a system equals the vector sum of magnetic moments of its parts). Magnetic moment of a turn with area S and current I is equal to $P = IS$ and directed along normal line to the plane of the turn. Magnetized arrow in a magnetic field experiences mechanical moment of forces $M = PB\sin\varphi$, where φ is an angle between magnetic moment $\vec{P}$ of the arrow and vector of magnetic induction $\vec{B}$.

Senior league

Problem 2. Total magnetic field of the Earth

Determine value of Earth magnetic field induction B and magnetic inclination θ (angle between vector $\vec{B}$ and horizon). Horizontal constituent of Earth magnetic field in Yakutsk is $B_h = 1.3 \cdot 10^{-5}$ T.

Equipment. Four identical constant magnets, each of them with density $\rho = 7.8$ g/cm^3 and magnetic moment $P = 0.15$ J/T, thin thread, pencil, ruler, scissors, tape, screen with fixed hook made of non-magnetic material, graph paper.

Note. Bear in mind that closely located magnetic objects (scissors, metallic ruler, support etc.) may significantly influence experimental results.

Magnetic moment is a vector directed from south pole of the magnet to its north pole. Magnetic moment is additive (total magnetic moment of a system equals the vector sum of magnetic moments of its parts). Magnetic moment of a turn with area S and current I is equal to $P = IS$ and directed along normal line to the plane of the turn. Magnetized arrow in a magnetic field experiences mechanical moment of forces $M = PB\sin\varphi$, where φ is an angle between magnetic moment $\vec{P}$ of the arrow and vector of magnetic induction $\vec{B}$.

Младшая лига

Задача 1. Три груза

Система, состоящая из трёх грузов массами m_1, m_2 и m_3, одного подвижного и двух неподвижных блоков (рис. 1), находится в равновесии.

1. При каких соотношениях между массами грузов это возможно?

2. Левый блок переместили влево на расстояние Δx. Выше или ниже окажется средний груз в новом положении равновесия по сравнению с первоначальным? Найдите разность высот Δy между этими положениями.

Блоки и нити невесомы. Трение в блоках отсутствует. Грузы и блоки не касаются друг друга.

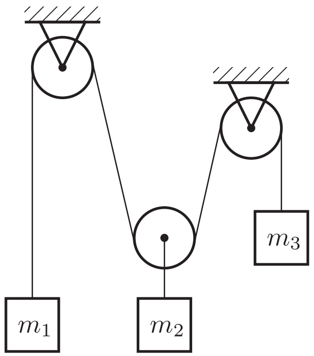

Рис. 1

Задача 2. Упругие свойства графена

В 2010-м году А. Гейм и К. Новосёлов получили Нобелевскую премию за открытие графена, который представляет собой моноатомный слой графита толщиной $h = 0{,}335$ нм. В своей лекции на физтехе Костантин Новосёлов (выпускник ФФКЭ МФТИ 1997-го года) отметил уникальные механические свойства графена. Графен — самый упругий и самый прочный из известных на данный момент материалов: модуль Юнга графена превосходит модуль Юнга алмаза, а прочность графена почти на два порядка больше прочности специальных сталей. Кроме того, графеновая плёнка обладает огромной эластичностью. В предлагаемой ниже задаче идея опыта и численные данные взяты из статьи группы учёных из Колумбийского университета США, которые впервые изучили упругие свойства графена.

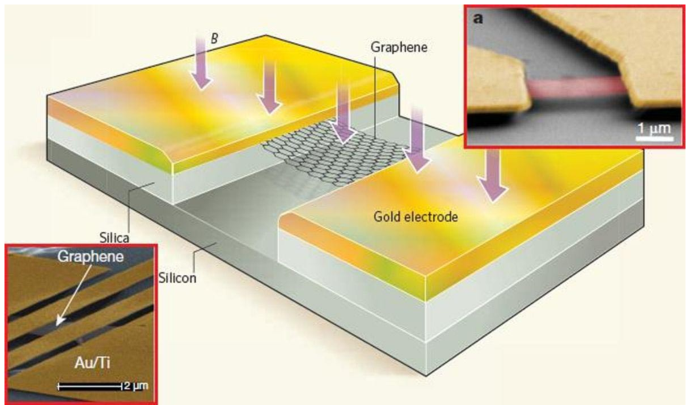

Рис. 2

Условия уносите с собой!

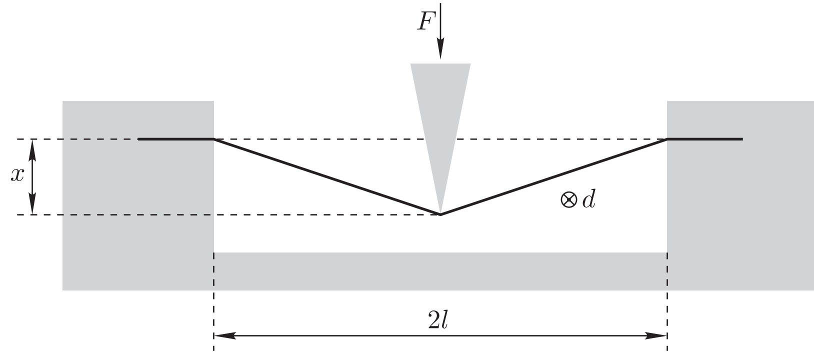

Рис. 3

Опыт по исследованию упругих свойств графена ставится следующим образом (рис. 2, 3). Алмазный зонд атомно-силового микроскопа в виде тонкого лезвия действует с силой F на середину графеновой плёнки, закреплённой (но не натянутой) на краях узкой бороздки шириной $2l = 1$ мкм. Сила давления равномерно распределена по всей ширине графеновой плёнки $d = 0{,}5$ мкм (размер в направлении, перпендикулярном плоскости рис. 3). Для прогиба середины плёнки на величину $x_0 = 100$ нм потребовалась сила $F_0 = 1{,}6$ мкН, а при прогибе центра полосы на величину $x_{\max} = 332$ нм плёнка разрывается под действием силы $F_{\max} = 48$ мкН.

Считайте, что вплоть до разрыва для плёнки справедлив закон Гука, то есть $\sigma = E\varepsilon$, где σ — механическое напряжение (отношение силы натяжения к площади поперечного сечения), E — модуль Юнга (константа, характеризующая упругость материала), ε — относительная деформация (отношение удлинения к первоначальной длине). Изменение толщины и ширины плёнки при деформации не учитывайте.

1. Найдите зависимость силы F от x для малых деформаций x.

2. Найдите модуль Юнга E графена.

3. Найдите максимальную относительную деформацию графена ε_{max}. На сколько процентов можно растянуть графеновую плёнку?

4. Найдите максимальное напряжение $\sigma_{\max}$ (прочность) графена.

5. Допустим, что в аналогичном опыте испытывается на прочность скотч, изготовленный не из традиционного полиэтилена, а из материала с упругими и прочностными свойствами графена, то есть с такими же модулем Юнга, максимальной относительной деформацией и прочностью. Какая сила $F'_{\max}$ потребуется, чтобы разорвать «графеновый скотч» толщиной $H = 0{,}1$ мм, надавливая ребром металлической линейки на середину закреплённой полосы длиной $2L = 2$ см и шириной $D = 0{,}5$ см?

Условия уносите с собой!

Задача 3. Водоём зимой

Большой открытый водоём цилиндрической формы заполнен водой глубиной $H = 1$ м при температуре $T_1 = 7°C$. Внезапно пошёл снег крупными хлопьями с температурой снежинок $T_2 = 0°C$. На берегу толщина слоя снега растёт со скоростью $v = 0{,}1$ м/ч, а его масса — со скоростью $\mu = 10$ кг/(м$^2 \cdot$ ч). Через какое время t поверхность водоёма покроется сухим снегом толщиной $h = 0{,}05$ м? Найдите изменение ΔH глубины водоёма к этому моменту. Плотность льда $\rho_s = 900$ кг/м^3, плотность воды $\rho_w = 1000$ кг/м^3 немного зависит от температуры и имеет максимальное значение при $T_{\max} = 4°C$. Удельная теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг$\cdot$°C), удельная теплота плавления льда $\lambda = 335$ кДж/кг. Теплопроводностью воды, снега и воздуха можно пренебречь.

Подсказка. На рис. 4 качественно показано состояние, в котором будет находиться система в искомый момент времени.

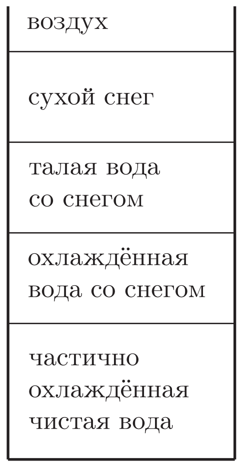

Рис. 4

Задача 4. Неизвестная цепь

Некоторая электрическая цепь имеет два вывода и состоит только из источников постоянного напряжения и резисторов. Когда к выводам цепи подключили идеальный вольтметр, он показал напряжение U_0. После подключения к выводам цепи резистора сопротивлением R_1 вольтметр стал показывать напряжение U_1. Какое напряжение U_2 покажет вольтметр, если к выводам цепи подключить дополнительно (не отключая первый резистор) резистор сопротивлением R_2?

Старшая лига

Задача 1. U-образная трубка

В тонкую высокую U-образную трубку постоянного сечения с открытыми концами налита вода, а в одно из вертикальных колен трубки поверх воды налит столб масла высотой $H = 25$ см и плотностью $\rho = 0{,}8$ г/см^3 (рис. 5). С каким минимальным постоянным ускорением a должна поступательно двигаться трубка, чтобы верхние уровни жидкостей в вертикальных участках оказались на одной горизонтали? Жидкости из сосуда не выливаются, масло с водой не смешивается и в горизонтальный участок длиной $L = 5$ см не затекает. Капиллярные эффекты не учитывайте.

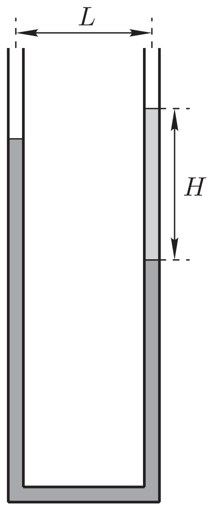

Рис. 5

Задача 2. Абстрактный процесс

В ходе квазистатического изотермического процесса идеальный газ побывал ровно по одному разу во всех состояниях, в которых его давление P и объём V удовлетворяют уравнению

$$\left|\frac{P-P_0}{\Delta P}\right| + \left|\frac{V-V_0}{\Delta V}\right| = 1,$$

где P_0, ΔP, V_0, ΔV — известные константы соответствующей размерности, причём $P_0 > \Delta P > 0$ и $V_0 > \Delta V > 0$. В начальном состоянии в сосуде находился только газ X, а увеличение количества газа происходило только за счёт добавления газа Y. Молярные массы обоих газов одинаковы.

1. Найдите модуль работы A газа во всём процессе.
2. Во сколько раз α увеличилось количество газа к концу процесса?
3. Найдите долю β газа X в смеси в конце процесса.

Задача 3. Подвижность носителей в графене

В 2010-м году А. Гейм и К. Новосёлов получили Нобелевскую премию за открытие графена, который представляет собой моноатомный слой графита толщиной $h = 0{,}335$ нм. Графен обладает уникальными электронными свойствами, в частности, высокая подвижность носителей тока делает его перспективным материалом для широкого использования в наноэлектронике взамен традиционных кремниевых элементов. Данные к предлагаемой ниже задаче взяты из статьи «Электронный транспорт в графене» (Морозов С.В., Новосёлов К.С., Гейм А.К.), опубликованной в журнале «Успехи физических наук» (номер 7 за 2008-й год).

Электропроводность графена исследуется следующим образом (рис. 6). Графеновая плёнка длиной L и шириной $H = L/2$ (размер в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка) находится на хорошо проводящей кремниевой подложке, покрытой слоем окиси кремния толщиной $d = 300$ нм с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 4{,}5$. Концентрация собственных свободных носителей тока в графене очень мала, однако если между графеновой плёнкой и кремниевой подложкой приложить напряжение $\mathscr{E}$, то можно значительно увеличить концентрацию электронов (как говорят, допировать электронами), управляя таким образом сопротивлением R графеновой плёнки (именно так устроен полевой транзистор). Измеряемое омметром сопротивление плёнки оказалось обратно пропорционально напряжению $\mathscr{E}$, причём $R = 0{,}8$ кОм при $\mathscr{E} = 10$ В. Рассчитайте по этим данным подвижность μ носителей заряда.

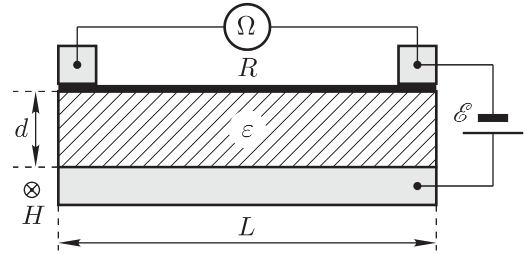

Рис. 6

Примечание. Подвижность равна отношению скорости v дрейфа носителей заряда к напряжённости E внешнего поля: $\mu = v/E$.

Задача 4. Прямые углы в линзе

На координатной плоскости (рис. 7) ось Ox совпадает с главной оптической осью тонкой линзы, а ось Oy лежит в плоскости линзы. Предметом является треугольник ABC с прямым углом при вершине C, а изображением — треугольник $A'B'C'$ с прямым углом при вершине C', являющейся изображением точки C. Фокусное расстояние линзы f, а также координаты x и y точки C известны, причём $x < 0$, $y \neq 0$. Найдите тангенсы углов наклона отрезков CA и CB к положительному направлению оси Ox.

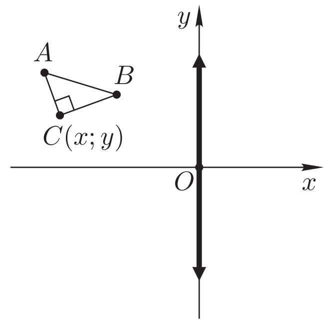

Рис. 7

Примечание. Линза может быть как собирающей ($f > 0$), так и рассеивающей ($f < 0$).

Junior league

Problem 1. Three weights

System consisted of three weights with masses m_1, m_2 and m_3, one mobile and two immobile pulleys (fig. 8) is in state of equilibrium.

1. At what relations between masses of the weights is it possible?

2. The left pulley is moved by distance Δx to the left. Will the central pulley be lower or higher at its new equilibrium position in comparison with the initial one? Find the difference Δy between heights of these positions.

The pulleys and the threads are weightless. There is no friction in the pulleys. The weights and the pulleys are not in contact.

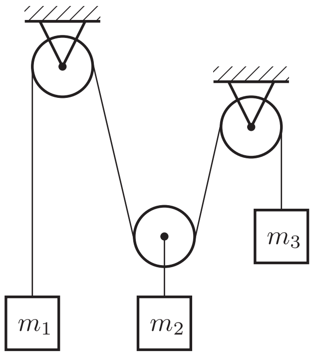

Fig. 8

Problem 2. Elastic properties of graphene

The Nobel Prize of Physics for 2010 was awarded to A. Geim and K. Novoselov for discovering graphene, a monoatomic layer of graphite having thickness of $h = 0.335$ nm. During his lecture in MIPT Konstantin Novoselov (MIPT graduate, FPQE, 1997) mentioned unique mechanical characteristics of graphene. Graphene is the most elastic and the strongest material known: its Young's modulus exceeds Young's modulus of diamond, and its strength is by almost two orders greater than those of special steels. Moreover, graphene film has enormous elasticity. Idea of experiment and numerical data for the following problem were taken from an article by a group of scientists from Columbia university, USA, who were first to study elastic properties of graphene.

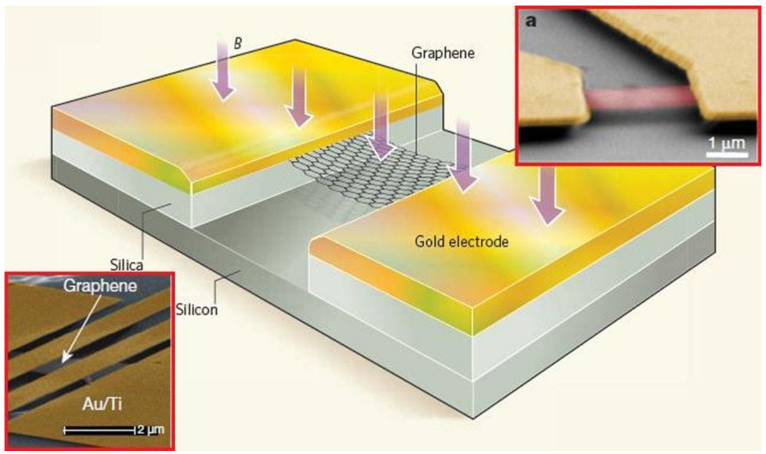

Fig. 9

Take with you this problem list!

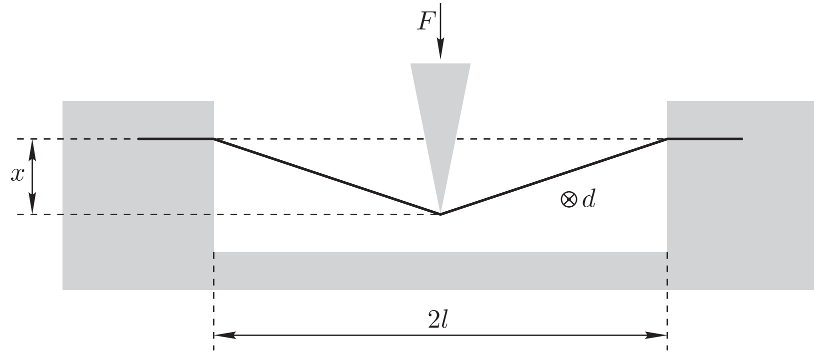

Fig. 10

The experiment aimed to study elastic properties of graphene is set in the following way (fig. 9, 10). Diamond probe of atomic-force microscope made in form of a thin blade acts on the middle of the graphene film with force F, the film being fixed (but not tightened) on the edges of a thin groove with width of $2l = 1$ μm. Force of pressure is evenly distributed over the whole graphene film width which is $d = 0.5$ μm (if measured perpendicularly to plane showed on fig. 10). To bend the middle of the film by value $x_0 = 100$ nm force $F_0 = 1.6$ μN was needed, and having the middle bent by $x_{\max} = 332$ nm, the film breaks because of the force $F_{\max} = 48$ μN acting.

Consider that until the film breaks Hooke's law is valid, i.e., $\sigma = E\varepsilon$, where σ is mechanical tension (ratio of tension force to cross-sectional area), E is Young's modulus (constant elastic characteristic of the material), ε is relative deformation (ratio of elongation to initial length). Changing of film thickness and width during deformation may be neglected.

1. Determine dependence F on x for small deformations x.

2. Determine Young's modulus E of graphene.

3. Determine maximum relative deformation of graphene ε_{max}. How many percentage may graphene film be stretched by?

4. Determine maximum tension $\sigma_{\max}$ (strength) of graphene.

5. Let us suppose that in analogical experiment one tests the strength of a tape made not of traditional polyethylene, but of material with elastic and strength characteristics of graphene, i.e., with the same Young's modulus, maximum relative deformation and strength. What force $F'_{\max}$ is needed to tear «graphene tape» with width of $H = 0.1$ mm by pressing the middle of fixed stripe with length of $2L = 2$ cm and width of $D = 0.5$ cm with the edge of a metallic ruler?

Take with you this problem list!

Problem 3. Winter pond

Large cylindrical pond is filled with water with depth of $H = 1$ m at temperature $T_1 = 7°C$. Suddenly it starts snowing big flakes with snow temperature $T_2 = 0°C$. On the land snow layer thickness increases at a rate of $v = 0.1$ m/h and snow mass rises at a rate of $\mu = 10$ kg/(m$^2 \cdot$h). At what moment of time t will pond surface be covered with dry snow layer with thickness of $h = 0.05$ m? Determine changing ΔH of pond depth up to that moment. Ice density is $\rho_s = 900$ kg/m^3, water density is $\rho_w = 1000$ kg/m^3 and slightly depends on temperature, its maximum value being at $T_{\max} = 4°C$. Specific heat of water is $c = 4200$ J/(kg$\cdot$°C), specific heat of melting of ice is $\lambda = 335$ kJ/kg. Heat conductivity of water, snow and air may be neglected.

Hint. State the system will be in at the required moment is shown schematically on fig. 11.

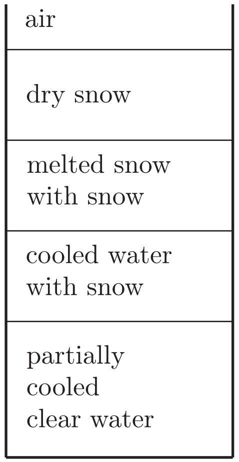

Fig. 11

Problem 4. Unknown curcuit

Some electric circuit have two terminals and consists of resistors and sources of constant voltage only. Being connected to the terminals, ideal voltmeter measured voltage U_0. When resistor with resistance R_1 was connected to the terminals, the voltmeter measured voltage U_1. What voltage U_2 will the voltmeter measure after connecting the second resistor with resistance R_2 to the terminals (without disconnecting the first one)?

Take with you this problem list!

Senior league

Problem 1. U-form tube

Thin tall U-form tube with constant cross-section and opened ends is filled with water, and in one of vertical bends oil is poured over water, oil column being of height $H = 25$ cm, oil density being $\rho = 0.8$ g/cm^3 (fig. 12). At what minimum constant acceleration a should the tube move horizontally for upper levels of liquids in vertical bends to be on one horizontal line? Liquids do not pour out the tube, oil does not mix with water and does not pour into the horizontal part of the tube with length $L = 5$ cm. Capillary effects may be neglected.

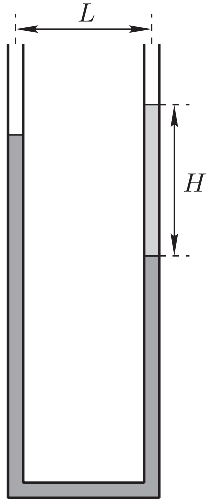

Fig. 12

Problem 2. Abstract process

During quasistatic isothermal process ideal gas has been only once in each state in which its pressure P and volume V satisfied equation

$$\left|\frac{P-P_0}{\Delta P}\right| + \left|\frac{V-V_0}{\Delta V}\right| = 1,$$

where P_0, ΔP, V_0, ΔV are known constants of corresponding dimensions, with $P_0 > \Delta P > 0$ and $V_0 > \Delta V > 0$. In the initial state vessel contained only gas X, gas quantity increased only because of adding gas Y. Molar masses of both gases are the same.

1. Determine modulus of work A of the gas in the whole process.
2. How many times α has gas quantity increased by the end of the process?
3. Determine fraction β of gas X in the mixture by the end of the process.

Take with you this problem list!

Problem 3. Mobility of carriers in graphene

The Nobel Prize of Physics for 2010 was awarded to A. Geim and K. Novoselov for discovering graphene, a monoatomic layer of graphite having thickness of $h = 0.335$ nm. Graphene has unique electronic characteristics, in particular, it is prospective material to be widely used in nanoelectronics instead of traditional silicon elements because of high mobility of its current carriers. Data for the following problem are taken from article «Electronic transport in graphene» (Morozov S.V., Novoselov K.S., Geim A.K.) published in «Advances in Physical Sciences» (Issue 7, 2008).

Graphene conductivity is studied in the following way (fig. 13). Graphene film with length of L and width of $H = L/2$ (if measured in direction which is perpendicular to the plane of the figure) lies on a well conductive silicon base covered with layer of silicon oxide with width of $d = 300$ nm and dielectric permeability of $\varepsilon = 4.5$. In graphene concentration of free intrinsic current carriers is very small, but with voltage $\mathscr{E}$ being applied between graphene film and silicon base concentration of electrons may be significantly increased (so-called electron doping), therefore, graphene film resistance R may be controlled (field transistor operating is based on this principle). Film resistance measured by ohmmeter was proved to be inversely related to voltage $\mathscr{E}$, with $R = 0.8$ kΩ when $\mathscr{E} = 10$ V. Calculate current carriers mobility μ from these data.

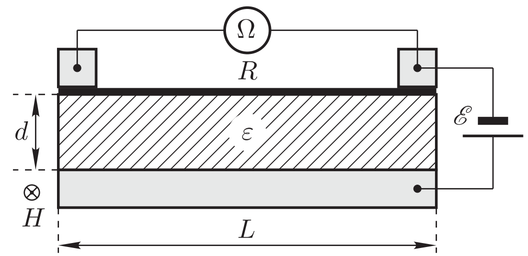

Fig. 13

Note. Mobility is the ratio of drift rate v of current carriers to inner field intensity E: $\mu = v/E$.

Problem 4. Right angles in lens

On coordinate plane (fig. 14) axis Ox coincides with principal optical axis of a thin lens, axis Oy lying in the plane of the lens. Object of imaging is a triangle ABC with right angle at the apex C and image is a triangle $A'B'C'$ with right angle at the apex C' which is an image of the point C. Lens focal length f and coordinates x and y of the point C are known, with $x < 0$, $y \neq 0$. Determine tangents of angles of CA and CB inclination to positive direction of the axis Ox.

Note. Lens may be either converging ($f > 0$) or diverging ($f < 0$).

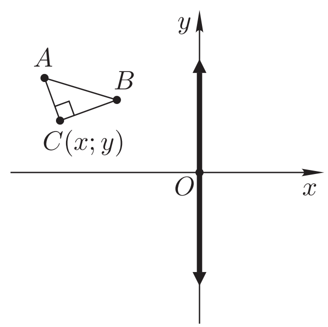

Fig. 14

Take with you this problem list!

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Указание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Указание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Указание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Указание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Указание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Указание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Указание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Указание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 2. Электрический «чёрный ящик»

1. Снимите зависимость сопротивления R между выводами «чёрного ящика» от угла α поворота ручки.

2. Определите простейшую схему «чёрного ящика».

3. Определите параметры элементов «чёрного ящика».

Оборудование. «Чёрный ящик» с выводами A и B и поворотной ручкой, мультиметр, источник постоянного напряжения, резистор, соединительные провода, миллиметровая бумага, транспортир.

Подсказка. В «чёрном ящике» могут (но не обязаны) быть постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и диоды. Не подключайте мультиметр в режиме омметра к «чёрному ящику».

Младшая лига

Задача 2. Электрический «чёрный ящик»

1. Снимите зависимость сопротивления R между выводами «чёрного ящика» от угла α поворота ручки.

2. Определите простейшую схему «чёрного ящика».

3. Определите параметры элементов «чёрного ящика».

Оборудование. «Чёрный ящик» с выводами A и B и поворотной ручкой, мультиметр, источник постоянного напряжения, резистор, соединительные провода, миллиметровая бумага, транспортир.

Подсказка. В «чёрном ящике» могут (но не обязаны) быть постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и диоды. Не подключайте мультиметр в режиме омметра к «чёрному ящику».

Младшая лига

Задача 2. Электрический «чёрный ящик»

1. Снимите зависимость сопротивления R между выводами «чёрного ящика» от угла α поворота ручки.

2. Определите простейшую схему «чёрного ящика».

3. Определите параметры элементов «чёрного ящика».

Оборудование. «Чёрный ящик» с выводами A и B и поворотной ручкой, мультиметр, источник постоянного напряжения, резистор, соединительные провода, миллиметровая бумага, транспортир.

Подсказка. В «чёрном ящике» могут (но не обязаны) быть постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и диоды. Не подключайте мультиметр в режиме омметра к «чёрному ящику».

Младшая лига

Задача 2. Электрический «чёрный ящик»

1. Снимите зависимость сопротивления R между выводами «чёрного ящика» от угла α поворота ручки.

2. Определите простейшую схему «чёрного ящика».

3. Определите параметры элементов «чёрного ящика».

Оборудование. «Чёрный ящик» с выводами A и B и поворотной ручкой, мультиметр, источник постоянного напряжения, резистор, соединительные провода, миллиметровая бумага, транспортир.

Подсказка. В «чёрном ящике» могут (но не обязаны) быть постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и диоды. Не подключайте мультиметр в режиме омметра к «чёрному ящику».

Старшая лига

Задача 1. Плоский треугольник

Определите площадь плоского треугольника.

Оборудование. Плоский треугольник, клетчатая бумага с неизвестным размером клетки, секундомер, швейная игла, штатив с лапкой.

Старшая лига

Задача 1. Плоский треугольник

Определите площадь плоского треугольника.

Оборудование. Плоский треугольник, клетчатая бумага с неизвестным размером клетки, секундомер, швейная игла, штатив с лапкой.

Старшая лига

Задача 1. Плоский треугольник

Определите площадь плоского треугольника.

Оборудование. Плоский треугольник, клетчатая бумага с неизвестным размером клетки, секундомер, швейная игла, штатив с лапкой.

Старшая лига

Задача 1. Плоский треугольник

Определите площадь плоского треугольника.

Оборудование. Плоский треугольник, клетчатая бумага с неизвестным размером клетки, секундомер, швейная игла, штатив с лапкой.

Старшая лига

Задача 1. Плоский треугольник

Определите площадь плоского треугольника.

Оборудование. Плоский треугольник, клетчатая бумага с неизвестным размером клетки, секундомер, швейная игла, штатив с лапкой.

Старшая лига

Задача 1. Плоский треугольник

Определите площадь плоского треугольника.

Оборудование. Плоский треугольник, клетчатая бумага с неизвестным размером клетки, секундомер, швейная игла, штатив с лапкой.

Старшая лига

Задача 1. Плоский треугольник

Определите площадь плоского треугольника.

Оборудование. Плоский треугольник, клетчатая бумага с неизвестным размером клетки, секундомер, швейная игла, штатив с лапкой.

Старшая лига

Задача 1. Плоский треугольник

Определите площадь плоского треугольника.

Оборудование. Плоский треугольник, клетчатая бумага с неизвестным размером клетки, секундомер, швейная игла, штатив с лапкой.

Старшая лига

Задача 2. Электрический «чёрный ящик»

1. Снимите зависимость сопротивления R между выводами «чёрного ящика» от угла α поворота ручки.
2. Определите простейшую схему «чёрного ящика».
3. Определите параметры элементов «чёрного ящика».

Оборудование. «Чёрный ящик» с выводами A и B и поворотной ручкой, мультиметр, источник постоянного напряжения, резистор, соединительные провода, миллиметровая бумага, транспортир.

Подсказка. В «чёрном ящике» могут (но не обязаны) быть постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и диоды. Не подключайте мультиметр в режиме омметра к «чёрному ящику».

Старшая лига

Задача 2. Электрический «чёрный ящик»

1. Снимите зависимость сопротивления R между выводами «чёрного ящика» от угла α поворота ручки.
2. Определите простейшую схему «чёрного ящика».
3. Определите параметры элементов «чёрного ящика».

Оборудование. «Чёрный ящик» с выводами A и B и поворотной ручкой, мультиметр, источник постоянного напряжения, резистор, соединительные провода, миллиметровая бумага, транспортир.

Подсказка. В «чёрном ящике» могут (но не обязаны) быть постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и диоды. Не подключайте мультиметр в режиме омметра к «чёрному ящику».

Старшая лига

Задача 2. Электрический «чёрный ящик»

1. Снимите зависимость сопротивления R между выводами «чёрного ящика» от угла α поворота ручки.
2. Определите простейшую схему «чёрного ящика».
3. Определите параметры элементов «чёрного ящика».

Оборудование. «Чёрный ящик» с выводами A и B и поворотной ручкой, мультиметр, источник постоянного напряжения, резистор, соединительные провода, миллиметровая бумага, транспортир.

Подсказка. В «чёрном ящике» могут (но не обязаны) быть постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и диоды. Не подключайте мультиметр в режиме омметра к «чёрному ящику».

Старшая лига

Задача 2. Электрический «чёрный ящик»

1. Снимите зависимость сопротивления R между выводами «чёрного ящика» от угла α поворота ручки.
2. Определите простейшую схему «чёрного ящика».
3. Определите параметры элементов «чёрного ящика».

Оборудование. «Чёрный ящик» с выводами A и B и поворотной ручкой, мультиметр, источник постоянного напряжения, резистор, соединительные провода, миллиметровая бумага, транспортир.

Подсказка. В «чёрном ящике» могут (но не обязаны) быть постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и диоды. Не подключайте мультиметр в режиме омметра к «чёрному ящику».

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Instructions. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Instructions. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Instructions. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Instructions. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Instructions. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Instructions. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Instructions. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Instructions. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 2. Electric «black box»

1. Plot dependence of resistance R between terminals of the «black box» on angle α of knob turning.
2. Determine the simplest scheme of the «black box».
3. Determine characteristics of elements the «black box» contains.

Equipment. «Black box» with terminals A and B and turning knob, multimeter, source of constant voltage, resistor, connecting wires, graph paper, protractor.

Hint. The «black box» may contain (not necessarily) constant and variable resistors, capacitors and diodes. Do not connect multimeter in ohmmeter mode to the «black box».

Junior league

Problem 2. Electric «black box»

1. Plot dependence of resistance R between terminals of the «black box» on angle α of knob turning.
2. Determine the simplest scheme of the «black box».
3. Determine characteristics of elements the «black box» contains.

Equipment. «Black box» with terminals A and B and turning knob, multimeter, source of constant voltage, resistor, connecting wires, graph paper, protractor.

Hint. The «black box» may contain (not necessarily) constant and variable resistors, capacitors and diodes. Do not connect multimeter in ohmmeter mode to the «black box».

Junior league

Problem 2. Electric «black box»

1. Plot dependence of resistance R between terminals of the «black box» on angle α of knob turning.
2. Determine the simplest scheme of the «black box».
3. Determine characteristics of elements the «black box» contains.

Equipment. «Black box» with terminals A and B and turning knob, multimeter, source of constant voltage, resistor, connecting wires, graph paper, protractor.

Hint. The «black box» may contain (not necessarily) constant and variable resistors, capacitors and diodes. Do not connect multimeter in ohmmeter mode to the «black box».

Junior league

Problem 2. Electric «black box»

1. Plot dependence of resistance R between terminals of the «black box» on angle α of knob turning.
2. Determine the simplest scheme of the «black box».
3. Determine characteristics of elements the «black box» contains.

Equipment. «Black box» with terminals A and B and turning knob, multimeter, source of constant voltage, resistor, connecting wires, graph paper, protractor.

Hint. The «black box» may contain (not necessarily) constant and variable resistors, capacitors and diodes. Do not connect multimeter in ohmmeter mode to the «black box».

Senior league

Problem 1. Flat triangle

Determine square of given flat triangle.

Equipment. Flat triangle, squared paper with unknown dimension of square, stopwatch, sewing needle, support with clamp.

Senior league

Problem 1. Flat triangle

Determine square of given flat triangle.

Equipment. Flat triangle, squared paper with unknown dimension of square, stopwatch, sewing needle, support with clamp.

Senior league

Problem 1. Flat triangle

Determine square of given flat triangle.

Equipment. Flat triangle, squared paper with unknown dimension of square, stopwatch, sewing needle, support with clamp.

Senior league

Problem 1. Flat triangle

Determine square of given flat triangle.

Equipment. Flat triangle, squared paper with unknown dimension of square, stopwatch, sewing needle, support with clamp.

Senior league

Problem 1. Flat triangle

Determine square of given flat triangle.

Equipment. Flat triangle, squared paper with unknown dimension of square, stopwatch, sewing needle, support with clamp.

Senior league

Problem 1. Flat triangle

Determine square of given flat triangle.

Equipment. Flat triangle, squared paper with unknown dimension of square, stopwatch, sewing needle, support with clamp.

Senior league

Problem 1. Flat triangle

Determine square of given flat triangle.

Equipment. Flat triangle, squared paper with unknown dimension of square, stopwatch, sewing needle, support with clamp.

Senior league

Problem 1. Flat triangle

Determine square of given flat triangle.

Equipment. Flat triangle, squared paper with unknown dimension of square, stopwatch, sewing needle, support with clamp.

Senior league

Problem 2. Electric «black box»

1. Plot dependence of resistance R between terminals of the «black box» on angle α of knob turning.
2. Determine the simplest scheme of the «black box».
3. Determine characteristics of elements the «black box» contains.

Equipment. «Black box» with terminals A and B and turning knob, multimeter, source of constant voltage, resistor, connecting wires, graph paper, protractor.

Hint. The «black box» may contain (not necessarily) constant and variable resistors, capacitors and diodes. Do not connect multimeter in ohmmeter mode to the «black box».

Senior league

Problem 2. Electric «black box»

1. Plot dependence of resistance R between terminals of the «black box» on angle α of knob turning.
2. Determine the simplest scheme of the «black box».
3. Determine characteristics of elements the «black box» contains.

Equipment. «Black box» with terminals A and B and turning knob, multimeter, source of constant voltage, resistor, connecting wires, graph paper, protractor.

Hint. The «black box» may contain (not necessarily) constant and variable resistors, capacitors and diodes. Do not connect multimeter in ohmmeter mode to the «black box».

Senior league

Problem 2. Electric «black box»

1. Plot dependence of resistance R between terminals of the «black box» on angle α of knob turning.
2. Determine the simplest scheme of the «black box».
3. Determine characteristics of elements the «black box» contains.

Equipment. «Black box» with terminals A and B and turning knob, multimeter, source of constant voltage, resistor, connecting wires, graph paper, protractor.

Hint. The «black box» may contain (not necessarily) constant and variable resistors, capacitors and diodes. Do not connect multimeter in ohmmeter mode to the «black box».

Senior league

Problem 2. Electric «black box»

1. Plot dependence of resistance R between terminals of the «black box» on angle α of knob turning.
2. Determine the simplest scheme of the «black box».
3. Determine characteristics of elements the «black box» contains.

Equipment. «Black box» with terminals A and B and turning knob, multimeter, source of constant voltage, resistor, connecting wires, graph paper, protractor.

Hint. The «black box» may contain (not necessarily) constant and variable resistors, capacitors and diodes. Do not connect multimeter in ohmmeter mode to the «black box».

Младшая лига

Задача 1. Третий полёт Вовочки

После пары успешных космических полётов и перерыва на отдых председатель школьного астрономического клуба Вовочка окончательно уверовал в свои силы и рискнул отправиться в свой третий полёт в сторону Полярной звезды теперь уже на более длительный срок. Глядя в иллюминатор, он видел, как Земля вращается вокруг Солнца на фоне неподвижных звёзд. Когда угловое расстояние между Землёй и Солнцем было $\varphi = 1^\circ$, в космическом корабле из-за ошибки в расчётах закончилось топливо для двигателей и Вовочка поставил к иллюминатору фотокамеру, которая делала снимки с интервалом времени $\tau = 1$ сут. Через некоторое время он выключил фотокамеру и стал с ностальгией просматривать снимки как в кино с частотой $\nu = 24$ кадра в секунду. Оказалось, что за время фотосессии Земля сделала $N = 5$ оборотов, а расстояние от Земли до Солнца на экране уменьшилось в $k = 3$ раза.

1. В какую сторону (по часовой стрелке или против) вращалась на экране Земля вокруг Солнца?

2. С какой угловой скоростью ω вращалась на экране Земля вокруг Солнца?

3. С какой средней скоростью v летел корабль во время фотосессии?

4. Оцените изменение Δv скорости корабля за время фотосессии.

5. Есть ли у Вовочки или хотя бы у его корабля шанс вернуться назад под действием притяжения со стороны Солнца?

Среднее расстояние от Земли до Солнца $R \approx 1$ а.е. $\approx 150 \cdot 10^6$ км.

Примечание. Можно использовать приближения $\sin x \approx x$ и $\cos x \approx 1$ для малых углов x.

Задача 2. Авторская методика заварки чая

Экспериментатор Глюк решил заварить холодный чай по своей авторской методике. Для этого он взял пустую кастрюлю диаметром $d = 23$ см и высотой $h = 13$ см и стал последовательно наливать в неё порции воды объёмом $\Delta V = 100$ мл каждая, причём первая порция имела температуру $t_1 = 1^\circ$C, а каждая следующая — на $\Delta t = 1^\circ$C выше, чем предыдущая. Когда кастрюля заполнилась, Глюк высыпал в неё один грамм чая и перемешал. Какую температуру t чая предпочитает Глюк, если судить по его авторской методике? Общая теплоёмкость стенок кастрюли $C = 420$ Дж/К, а её начальная температура $t_0 = 19^\circ$C. Теплообменом с окружающей средой можно пренебречь. Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м^3, удельная теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг $\cdot$ °C).

Примечание. Ответ в общем виде в данной задаче не требуется.

P.S. Как вы думаете, почему наш персонаж любит чай именно такой температуры? (Вопрос шуточный и в баллах не оценивается. ☺)

Условия уносите с собой!

Задача 3. Простенькая схемка

Экспериментатор Глюк собрал цепь из одинаковых идеальных источников постоянного напряжения, конденсаторов различных ёмкостей и резисторов, сопротивления которых указаны на схеме (рис. 1). Далее Глюк подключил идеальный амперметр поочерёдно к двум парам точек цепи. После каждого подключения амперметра Глюк ждал достаточно долго, чтобы ток перестал изменяться, и только после этого записывал показания. Результаты измерений: $I_{A1} = 20$ мА, $I_{A2} = 720$ мА.

1. Определите, к каким точкам Глюк подключал амперметр в каждом из опытов.

2. Чему будет равна установившаяся сила тока I_{A3} через идеальный амперметр, если его подключить к точкам A и B (рис. 1)?

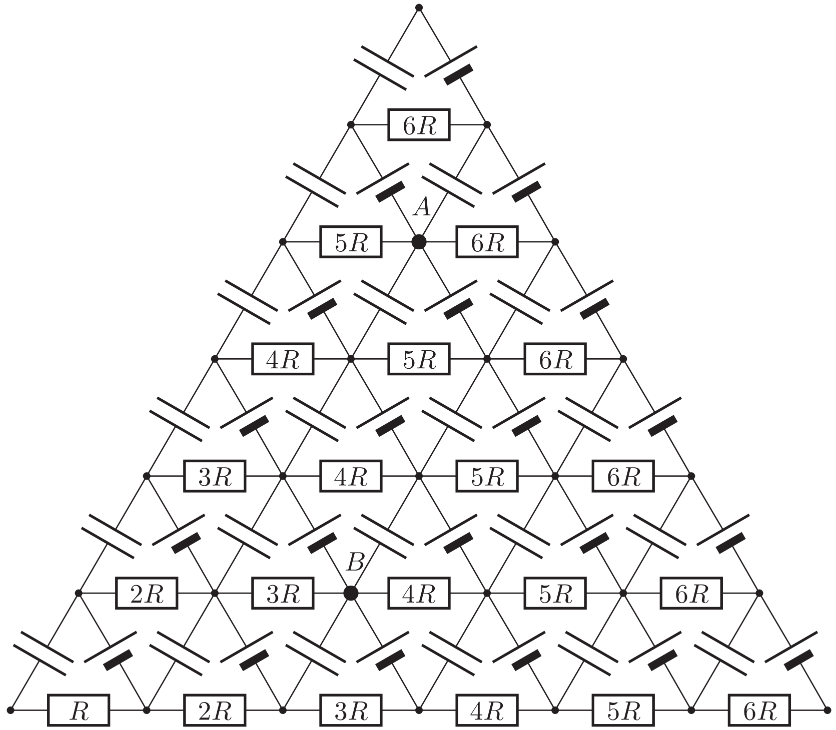

Рис. 1

Условия уносите с собой!

Задача 4. Отражения

Два круглых зеркала диаметром $D = 1$ м расположены друг напротив друга в почти параллельных плоскостях, угол между которыми $\varphi = 0{,}001$. Отрезок, соединяющий центры зеркал, имеет длину $a = 0{,}2$ м и перпендикулярен биссекторной плоскости двугранного угла φ между плоскостями зеркал. Какое максимальное число N отражений от зеркал может испытать луч света в такой системе? Явления, связанные с волновой природой света, в данной задаче не рассматриваются.

Примечание. Для $x \ll 1$ можно считать $\operatorname{tg} x \approx \sin x \approx x$, $\cos x \approx 1 - x^2/2$. При $nx \ll 1$ справедливо $(1+x)^n \approx 1 + nx$.

XIX Международная олимпиада «Туймаада». Физика

Условия уносите с собой!

Старшая лига

Задача 1. Тонущий стакан

Большой неподвижный герметичный сосуд частично заполнен водой и поддерживается при постоянной температуре T. В воду пустили плавать открытый сверху цилиндрический тонкостенный стакан радиусом r, причём края стакана оказались на h выше, а дно на H ниже уровня воды (рис. 2). Дно стакана утяжелено, так что стакан плавает вертикально. При температуре T давление насыщенных паров воды равно P. Плотность ρ_w и молярная масса μ воды известны. Коэффициент прилипания молекул пара к поверхности воды равен α.

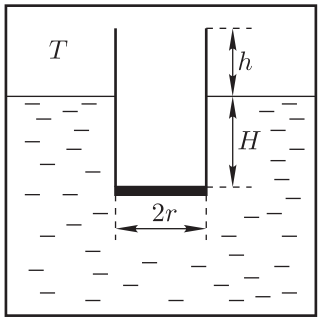

Рис. 2

1. Какая минимальная масса m воды должна накопиться в стакане, чтобы он утонул? Поверхностным натяжением можно пренебречь.

2. Найдите поток Φ молекул, покидающих поверхность воды.

3. Найдите разность концентраций Δn пара над поверхностями воды в стакане и сосуде, предполагая, что процессы диффузии протекают много быстрее процессов испарения.

4. Оцените время t, через которое стакан утонет.

Примечание. Коэффициент прилипания — это вероятность того, что молекула пара, налетевшая на поверхность воды, присоединится к воде. Поток — это количество, отнесённое к площади и времени.

Задача 2. Микроэлектромеханическое устройство

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) — это устройства, сочетающие одновременно электрические и механические функции. Они нашли широкое применение за счёт миниатюрности и технологий производства, полностью совместимых со стандартными полупроводниковыми циклами. Данная задача посвящена одному из самых распространённых электромеханических преобразователей — электростатическому.

В качестве модели рассмотрим плоский конденсатор, имеющий пластины площадью S, одна из которых неподвижна, а другая прикреплена к пружине с жёсткостью k и может перемещаться в вертикальном направлении (рис. 3). Обкладки конденсатора подключены к источнику регулируемого постоянного напряжения. В начальном состоянии напряжение источника равно нулю, а верхняя пластина покоится на расстоянии d от нижней. Электрическим сопротивлением цепи можно пренебречь во всех случаях.

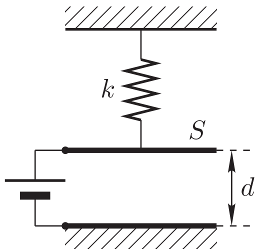

Рис. 3

Условия уносите с собой!

XIX Международная олимпиада «Туймаада». Физика

1. Определите электростатическую силу F_1, действующую на верхнюю пластину конденсатора со стороны нижней, сразу после резкой подачи на конденсатор напряжения U_1.

2. Напряжение на конденсаторе плавно и медленно увеличивают от нулевого значения. При каком напряжении U_2 пластины схлопнутся?

3. Какое минимальное напряжение U_3 нужно резко подать на конденсатор, чтобы его пластины схлопнулись, если сразу после зарядки конденсатора цепь будет разомкнута?

4. Какое минимальное напряжение U_4 нужно резко подать на конденсатор, чтобы его пластины схлопнулись, если поданное напряжение далее будет поддерживаться постоянным?

Задача 3. Униполярный электродвигатель

На рис. 4 показана схема реально работающего униполярного электродвигателя. Ротором двигателя является насаженный на проводящую ось O_1O_2 сильный постоянный магнит из непроводящего материала в форме однородного диска, покрытого тонким слоем металла. При подключении с помощью скользящего контакта K источника постоянного напряжения магнит начинает быстро вращаться.

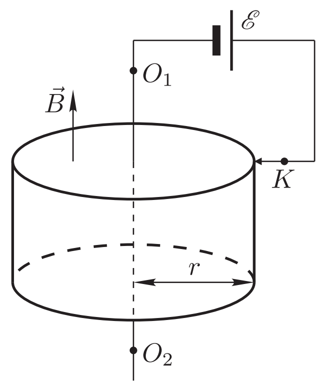

Рис. 4

Радиус ротора $r = 2$ см, сила трения между скользящим контактом и ротором $F_0 = 9$ мН (трением в оси можно пренебречь), ЭДС источника $\mathscr{E} = 1{,}5$ В, полное сопротивление электрической цепи $R = 1{,}5$ Ом. Считайте, что магнитное поле вблизи оснований диска однородно, направлено вдоль оси диска и имеет индукцию $B = 1$ Тл.

1. Укажите направление вращения ротора.

2. Найдите установившуюся частоту $\nu_{\max}$ вращения ротора без учёта трения.

3. Найдите установившуюся частоту ν вращения ротора с учётом трения.

Условия уносите с собой!

Задача 4. Прибрежные волны на море

Под каким углом β подойдут к прямому пологому берегу гребни (фронты) волн, если на глубине $H = 700$ м волны имели длину $\lambda = 50$ м, а их гребни образовывали с берегом угол $\alpha = 15°$? Глубина моря вблизи берега $h = 0{,}5$ м.

Примечание. Закон дисперсии (зависимость фазовой скорости v от длины волны λ) морских волн имеет вид

$$v = \sqrt{\frac{g}{k}\,\mathrm{th}(kz)},$$

где g — ускорение свободного падения, $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число, z — глубина моря в рассматриваемой точке, а гиперболический тангенс th — функция, определяемая формулой

$$\mathrm{th}\,x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}.$$

Можно использовать предельные случаи закона дисперсии: на «глубокой» воде (при $z \gg \lambda$) $v \approx \sqrt{g/k}$; на «мелкой» воде (при $z \ll \lambda$) $v \approx \sqrt{gz}$.

XIX Международная олимпиада «Туймаада». Физика

Условия уносите с собой!

Junior league

Problem 1. Vovochka's third flight

After a couple of successful space flights and having holidays school astronomy club president Vovochka has finally come to believe in himself and risked to make his third flight towards the Polar Star, now for a longer term. Looking through the illuminator he was observing the Earth revolving around the Sun against a background of immobile stars. Just as angular distance between the Earth and the Sun went to $\varphi = 1^\circ$, the spaceship went out of fuel because of computational error and Vovochka put to the illuminator a camera that have been making photos at intervals $\tau = 1$ day. After a while he turned off the camera and began nostalgically looking through the photos like in a cinema with frequency $\nu = 24$ photos per second. It appeared that during the photo session the Earth has made $N = 5$ turns and distance between the Earth and the Sun has decreased by $k = 3$ times.

1. In what direction (clockwise or counterclockwise) was the Earth revolving around the Sun on the screen?

2. At what angular velocity ω was the Earth revolving around the Sun on the screen?

3. At what average velocity v was the spaceship moving during the photo session?

4. Estimate change Δv of spaceship velocity during the photo session.

5. Does Vovochka or at least his spaceship have any chance to return by means of the Sun's gravity?

Average distance between the Earth and the Sun is $R \approx 1$ a.u. $\approx 150 \cdot 10^6$ km.

Note. One may use approximations $\sin x \approx x$ and $\cos x \approx 1$ for small angles x.

Problem 2. Author's method of tea making

Experimenter Glitch decided to make cold tea according to his own method. For this purpose he took an empty saucepan of diameter $d = 23$ cm and of height $h = 13$ cm and began successively pouring portions of water into it, every portion being of volume $\Delta V = 100$ ml and the first one having temperature $t_1 = 1°$C and every next being by $\Delta t = 1°$C warmer than the previous one. When the saucepan was filled, Glitch put 1 gram of tea into it and stirred. Tea of what temperature t Glitch prefers judging by his method? Total heat capacity of saucepan is $C = 420$ J/K, its initial temperature is $t_0 = 19°$C. Heat exchange with the environment may be neglected. Water density is $\rho = 1000$ kg/m^3, its specific heat capacity is $c = 4200$ J/(kg $\cdot$ °C).

Note. General answer is not required.

P.S. How do you think, why our character likes tea of this exact temperature? (The question is a joke and does not score. ☺)

Take with you this problem list!

Problem 3. Unpretentious circuit

Experimenter Glitch made a circuit of identical ideal constant voltage sources, different capacitors and resistors with given resistances (fig. 5). Then Glitch connected an ideal ammeter to two pairs of circuit nodes in turn. After each connection of ammeter Glitch waited enough time for current to stop alternating and only then put down the readings. Measurement results are: $I_{A1} = 20$ mA, $I_{A2} = 720$ mA.

1. Determine exact points the ammeter has been connected to in each experiment.

2. Determine steady intensity I_{A3} of current through the ideal ammeter if it is connected to points A and B (fig. 5).

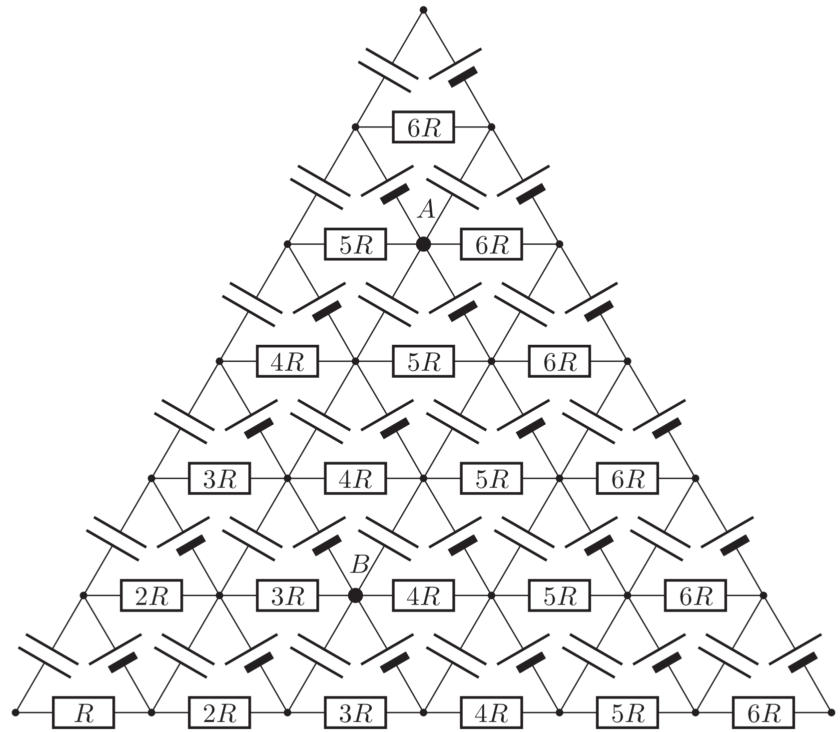

Fig. 5

Take with you this problem list!

Problem 4. Reflections

Two round mirrors of diameter $D = 1$ m are placed opposite one another in almost parallel planes, the angle between these planes being $\varphi = 0.001$. Segment connecting centres of the mirrors is of length $a = 0.2$ m and is perpendicular to bisecting plane of dihedral angle φ between planes of the mirrors. What maximum number N of reflections can a light beam undergo in this system? Phenomena associated with wave nature of the light are not under consideration in this problem.

Note. For $x \ll 1$ one may consider $\tan x \approx \sin x \approx x$, $\cos x \approx 1 - x^2/2$. For $nx \ll 1$ relation $(1+x)^n \approx 1 + nx$ is true.

XIX International olympiad "Tuymaada". Physics

Take with you this problem list!

Senior league

Problem 1. Sinking glass

Large immobile hermetic vessel is partly filled with water, temperature T being kept constant. Cylindrical thin-walled open-topped glass of radius r floats in water, glass top being h higher and glass bottom being H lower than water level (fig. 6). Glass bottom is loaded so that the glass floats vertically. At temperature T saturated water vapour pressure is P. Water density ρ_w and molar mass μ are known. Coefficient of adhesion of vapour molecules to water surface is α.

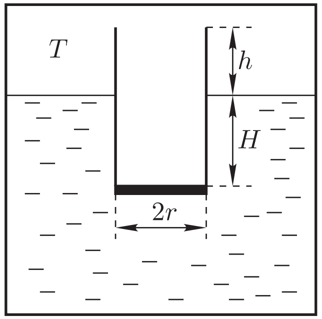

Fig. 6

1. What minimum mass m of water should be accumulated in the glass to make it sink? Surface tension may be neglected.
2. Determine flux Φ of molecules that leave water surface.
3. Determine difference Δn between vapour concentrations over water surfaces in the glass and in the vessel, assuming that diffusion processes go much faster than evaporation processes.
4. Estimate time t needed for the glass to sink.

Note. Coefficient of adhesion is possibility that a vapour molecule colliding with water surface will adhere to water. Flux is quantity in relation to area and time.

Problem 2. Microactuator

Microelectromechanical systems (MEMS) are devices combining at the same time electrical and mechanical functions. They are widely used because of their miniature dimensions and manufacturing technology compatible with standard semiconductor industry cycles. This problem is devoted to one of the most widely known MEMS actuators — electrostatic actuator.

Consider as a model a flat capacitor having plates of area S, one of them being fixed and the other being attached to a spring with deflection rate k and having possibility to move in vertical direction (fig. 7). Capacitor plates are connected to source of variable constant voltage. At initial moment source voltage equals zero and the top plate is at rest at distance d from the bottom plate. Electrical resistance of the circuit may be neglected in all the cases.

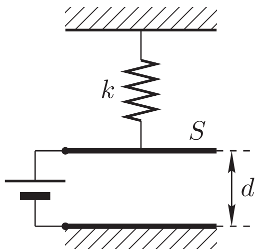

Fig. 7

1. Determine electrostatic force F_1 exerted by the bottom plate of the capacitor to the top one immediately after voltage U_1 is suddenly applied.

Take with you this problem list!

XIX International olympiad "Tuymaada". Physics

2. Capacitor voltage is gradually and slowly increased beginning from zero value. At what voltage U_2 the plates will collapse?
3. What minimum voltage U_3 must be suddenly applied to the capacitor to make its plates collapse if immediately after capacitor will be charged the circuit will be broken?
4. What minimum voltage U_4 must be suddenly applied to the capacitor to make its plates collapse if further this voltage will be kept constant?

Problem 3. Unipolar motor

On fig. 8 scheme of really working unipolar electric motor is shown. Rotor of this motor is strong constant magnet made of nonconductive material, having the form of uniform disk, covered with thin layer of metal and put on conductive axis O_1O_2. When source of constant voltage is attached with a sliding contact K, the magnet starts rotating rapidly.

Radius of the rotor is $r = 2$ cm, force of friction between the sliding contact and the rotor is $F_0 = 9$ mN (friction in the axis may be neglected), EMF of the source is $\mathscr{E} = 1.5$ V, total resistance of the circuit is $R = 1.5\ \Omega$. Consider magnetic field at the bottom of the disk to be uniform, directed along the disk axis and having inductance $B = 1$ T.

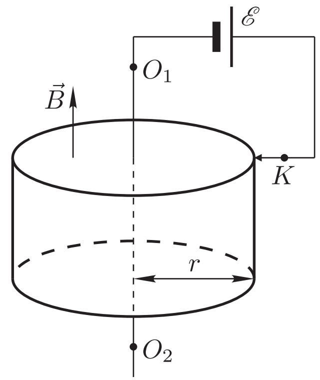

Fig. 8

1. Point out direction of rotor rotation.
2. Determine steady frequency $\nu_{\max}$ of rotor rotation without taking friction into account.
3. Determine steady frequency ν of rotor rotation taking friction into account.

Problem 4. Littoral sea waves

At what angle β crests (fronts) of sea waves will come to straight sloping shore if at depth $H = 700$ m the waves had length $\lambda = 50$ m and their crests formed angle $\alpha = 15°$ with shore line? Sea depth near the shore is $h = 0.5$ m.

Note. Dispersion law (dependence of phase velocity v on wave length λ) for sea waves is

$$v = \sqrt{\frac{g}{k}\tanh(kz)},$$

where g is acceleration of gravity, $k = 2\pi/\lambda$ — wavenumber, z — sea depth at considering point, hyperbolic tangent tanh — function defined by

$$\tanh x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}.$$

One may use limiting cases of dispersion law: in «deep» water (when $z \gg \lambda$) $v \approx \sqrt{g/k}$; in «shallow» water (when $z \ll \lambda$) $v \approx \sqrt{gz}$.

Take with you this problem list!

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Примечание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Примечание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Примечание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Примечание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Примечание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Примечание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Примечание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 1. Механический «серый ящик»

Определите простейшую схему «серого ящика» и жёсткости k_1, k_2 и k_3 каждой из трёх содержащихся в нём пружин.

Оборудование. «Серый ящик» со стержнями A и B, динамометр, миллиметровая бумага, элементы для крепления.

Примечание. Пружины можно растягивать силой до 5 Н.

Младшая лига

Задача 2. «Чёрный ящик» с тремя выводами

1. Определите возможную схему соединения элементов внутри «чёрного ящика», если известно, что он содержит нелинейный элемент, два резистора и конденсатор.

2. Определите сопротивления резисторов.

3. Определите ёмкость конденсатора.

Оборудование. «Чёрный ящик», батарейка, мультиметр, переменный резистор, диод, секундомер, резистор с известным сопротивлением.

Примечание. Диод можно подключать к батарее только через резистор во избежание короткого замыкания.

Младшая лига

Задача 2. «Чёрный ящик» с тремя выводами

1. Определите возможную схему соединения элементов внутри «чёрного ящика», если известно, что он содержит нелинейный элемент, два резистора и конденсатор.

2. Определите сопротивления резисторов.

3. Определите ёмкость конденсатора.

Оборудование. «Чёрный ящик», батарейка, мультиметр, переменный резистор, диод, секундомер, резистор с известным сопротивлением.

Примечание. Диод можно подключать к батарее только через резистор во избежание короткого замыкания.

Младшая лига

Задача 2. «Чёрный ящик» с тремя выводами

1. Определите возможную схему соединения элементов внутри «чёрного ящика», если известно, что он содержит нелинейный элемент, два резистора и конденсатор.

2. Определите сопротивления резисторов.

3. Определите ёмкость конденсатора.

Оборудование. «Чёрный ящик», батарейка, мультиметр, переменный резистор, диод, секундомер, резистор с известным сопротивлением.

Примечание. Диод можно подключать к батарее только через резистор во избежание короткого замыкания.

Младшая лига

Задача 2. «Чёрный ящик» с тремя выводами

1. Определите возможную схему соединения элементов внутри «чёрного ящика», если известно, что он содержит нелинейный элемент, два резистора и конденсатор.

2. Определите сопротивления резисторов.

3. Определите ёмкость конденсатора.

Оборудование. «Чёрный ящик», батарейка, мультиметр, переменный резистор, диод, секундомер, резистор с известным сопротивлением.

Примечание. Диод можно подключать к батарее только через резистор во избежание короткого замыкания.

Младшая лига

Задача 2. «Чёрный ящик» с тремя выводами

1. Определите возможную схему соединения элементов внутри «чёрного ящика», если известно, что он содержит нелинейный элемент, два резистора и конденсатор.

2. Определите сопротивления резисторов.

3. Определите ёмкость конденсатора.

Оборудование. «Чёрный ящик», батарейка, мультиметр, переменный резистор, диод, секундомер, резистор с известным сопротивлением.

Примечание. Диод можно подключать к батарее только через резистор во избежание короткого замыкания.

Младшая лига

Задача 2. «Чёрный ящик» с тремя выводами

1. Определите возможную схему соединения элементов внутри «чёрного ящика», если известно, что он содержит нелинейный элемент, два резистора и конденсатор.

2. Определите сопротивления резисторов.

3. Определите ёмкость конденсатора.

Оборудование. «Чёрный ящик», батарейка, мультиметр, переменный резистор, диод, секундомер, резистор с известным сопротивлением.

Примечание. Диод можно подключать к батарее только через резистор во избежание короткого замыкания.

Старшая лига

Задача 1. Эксцентричный вентилятор

Введение. Во время запуска и остановки турбин, центрифуг, гироскопов и других устройств с быстро вращающимся ротором при приближении к некоторым частотам возникают сильные вибрации, которые прекращаются после прохода через «запрещённую зону» около критической частоты. Наблюдаемыми эффектами подобных вибраций являются как невинно прыгающая по ванной комнате стиральная машина с работающей центрифугой, так и сорвавшийся с оси ротор массой полторы тысячи тонн, который разнёс турбину и машинный зал на Саяно-Шушенской ГЭС (эта катастрофа произошла 17 августа 2009 года и унесла жизни 75 человек).

Теория. Из-за неизбежных погрешностей изготовления центр масс ротора всегда оказывается смещён от оси вращения на некоторое расстояние, которое называется эксцентриситетом. При быстром вращении асимметричного ротора возникают достаточно большие периодически действующие центробежные силы. Если частоты этих сил совпадают с частотами собственных колебаний конструкции, то наблюдается явление резонанса, при котором происходит резкий рост амплитуды вынужденных колебаний. Таких резонансных частот, соответствующих различным модам колебаний, может быть несколько.

Задание. В данной работе предлагается исследовать поведение асимметричного вентилятора на Т-образной опоре при различных частотах вращения.

1. Снимите зависимость частоты ν вращения вентилятора от поданного на него напряжения U, не превышающего $U_{\max} = 15$ В. Измерьте пороговое напряжение $U_{\min}$, при котором начинается вращение, и рабочую частоту ν_0 вращения при номинальном напряжении $U_0 = 12$ В.
2. Определите резонансные частоты колебаний асимметричного вентилятора (для увеличения эксцентриситета используйте кусочек пластилина).
3. Качественно исследуйте зависимость резонансной амплитуды A колебаний асимметричного вентилятора от величины его эксцентриситета ε.
4. Снимите зависимость амплитуды A колебаний асимметричного вентилятора от частоты ν его вращения (резонансную кривую) вблизи наибольшей резонансной частоты $\nu_{\max}$.
5. Определите добротность Q колебательной системы, исследованной в предыдущем пункте.

Примечание. В ходе опытов нельзя изменять никакие механические параметры установки, кроме размера и положения прилепляемого кусочка пластилина, используемого для создания искусственной ассиметричности и изменения величины эксцентриситета. Если при сильных резонансных вибрациях вентилятор начинает работать неустойчиво, то для проведения корректных измерений следует уменьшить амплитуду колебаний. •

Оборудование. Вентилятор, установленный на Т-образной опоре, зубочистка, закреплённая на корпусе вентилятора, стробоскоп-тахометр, источник постоянного регулируемого напряжения, вольтметр, пластилин, бумажный скотч, миллиметровая бумага, линейка.

Старшая лига

Задача 1. Эксцентричный вентилятор

Введение. Во время запуска и остановки турбин, центрифуг, гироскопов и других устройств с быстро вращающимся ротором при приближении к некоторым частотам возникают сильные вибрации, которые прекращаются после прохода через «запрещённую зону» около критической частоты. Наблюдаемыми эффектами подобных вибраций являются как невинно прыгающая по ванной комнате стиральная машина с работающей центрифугой, так и сорвавшийся с оси ротор массой полторы тысячи тонн, который разнёс турбину и машинный зал на Саяно-Шушенской ГЭС (эта катастрофа произошла 17 августа 2009 года и унесла жизни 75 человек).

Теория. Из-за неизбежных погрешностей изготовления центр масс ротора всегда оказывается смещён от оси вращения на некоторое расстояние, которое называется эксцентриситетом. При быстром вращении асимметричного ротора возникают достаточно большие периодически действующие центробежные силы. Если частоты этих сил совпадают с частотами собственных колебаний конструкции, то наблюдается явление резонанса, при котором происходит резкий рост амплитуды вынужденных колебаний. Таких резонансных частот, соответствующих различным модам колебаний, может быть несколько.

Задание. В данной работе предлагается исследовать поведение асимметричного вентилятора на Т-образной опоре при различных частотах вращения.

1. Снимите зависимость частоты ν вращения вентилятора от поданного на него напряжения U, не превышающего $U_{\max} = 15$ В. Измерьте пороговое напряжение $U_{\min}$, при котором начинается вращение, и рабочую частоту ν_0 вращения при номинальном напряжении $U_0 = 12$ В.
2. Определите резонансные частоты колебаний асимметричного вентилятора (для увеличения эксцентриситета используйте кусочек пластилина).
3. Качественно исследуйте зависимость резонансной амплитуды A колебаний асимметричного вентилятора от величины его эксцентриситета ε.
4. Снимите зависимость амплитуды A колебаний асимметричного вентилятора от частоты ν его вращения (резонансную кривую) вблизи наибольшей резонансной частоты $\nu_{\max}$.
5. Определите добротность Q колебательной системы, исследованной в предыдущем пункте.

Примечание. В ходе опытов нельзя изменять никакие механические параметры установки, кроме размера и положения прилепляемого кусочка пластилина, используемого для создания искусственной ассиметричности и изменения величины эксцентриситета. Если при сильных резонансных вибрациях вентилятор начинает работать неустойчиво, то для проведения корректных измерений следует уменьшить амплитуду колебаний. •

Оборудование. Вентилятор, установленный на Т-образной опоре, зубочистка, закреплённая на корпусе вентилятора, стробоскоп-тахометр, источник постоянного регулируемого напряжения, вольтметр, пластилин, бумажный скотч, миллиметровая бумага, линейка.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Note. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Note. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Note. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Note. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Note. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Note. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Note. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 1. Mechanical «grey box»

Determine the simplest scheme of the «grey box» and deflection rates k_1, k_2 and k_3 of each of springs it contains.

Equipment. «Grey box» with rods A and B, dynamometer, graph paper, clamps.

Note. One may stretch the springs applying force up to 5 N.

Junior league

Problem 2. «Black box» with three terminals

1. Identify a possible scheme of combining elements inside the «black box», if it is known that it contains a nonlinear element, two resistors and a capacitor.
2. Determine the resistances of the resistors.
3. Determine the capacitance of the capacitor.

Equipment. The «black box», a battery, a multimeter, a variable resistor, a diode, a stopwatch, a resistor with the known resistance.

Note. The diode can be connected to the battery only through the resistor to avoid a short circuit.

Junior league

Problem 2. «Black box» with three terminals

1. Identify a possible scheme of combining elements inside the «black box», if it is known that it contains a nonlinear element, two resistors and a capacitor.
2. Determine the resistances of the resistors.
3. Determine the capacitance of the capacitor.

Equipment. The «black box», a battery, a multimeter, a variable resistor, a diode, a stopwatch, a resistor with the known resistance.

Note. The diode can be connected to the battery only through the resistor to avoid a short circuit.

Junior league

Problem 2. «Black box» with three terminals

1. Identify a possible scheme of combining elements inside the «black box», if it is known that it contains a nonlinear element, two resistors and a capacitor.
2. Determine the resistances of the resistors.
3. Determine the capacitance of the capacitor.

Equipment. The «black box», a battery, a multimeter, a variable resistor, a diode, a stopwatch, a resistor with the known resistance.

Note. The diode can be connected to the battery only through the resistor to avoid a short circuit.

Junior league

Problem 2. «Black box» with three terminals

1. Identify a possible scheme of combining elements inside the «black box», if it is known that it contains a nonlinear element, two resistors and a capacitor.
2. Determine the resistances of the resistors.
3. Determine the capacitance of the capacitor.

Equipment. The «black box», a battery, a multimeter, a variable resistor, a diode, a stopwatch, a resistor with the known resistance.

Note. The diode can be connected to the battery only through the resistor to avoid a short circuit.

Junior league

Problem 2. «Black box» with three terminals

1. Identify a possible scheme of combining elements inside the «black box», if it is known that it contains a nonlinear element, two resistors and a capacitor.
2. Determine the resistances of the resistors.
3. Determine the capacitance of the capacitor.

Equipment. The «black box», a battery, a multimeter, a variable resistor, a diode, a stopwatch, a resistor with the known resistance.

Note. The diode can be connected to the battery only through the resistor to avoid a short circuit.

Junior league

Problem 2. «Black box» with three terminals

1. Identify a possible scheme of combining elements inside the «black box», if it is known that it contains a nonlinear element, two resistors and a capacitor.
2. Determine the resistances of the resistors.
3. Determine the capacitance of the capacitor.

Equipment. The «black box», a battery, a multimeter, a variable resistor, a diode, a stopwatch, a resistor with the known resistance.

Note. The diode can be connected to the battery only through the resistor to avoid a short circuit.

Senior league

Problem 1. Eccentric fan

Introduction. When starting and stopping turbines, centrifuges, gyroscopes and other devices having a rapidly rotating rotor, at approaching close to some frequencies extreme vibrations appear and they stop after passing through a «forbidden zone» nearby a critical frequency. Observable effects of such vibrations are both a washing machine with a working centrifuge, innocently jumping all over the bathroom, and the rotor with the mass of one and a half thousand tonnes which came off the axle and ruined the turbine and the main generator hall of Sayano–Shushenskaya hydroelectric power station (this fatal accident took place August 17, 2009, and claimed lives of 75 people).

Theory. Due to unavoidable manufacturing errors the centre of mass of the rotor is always displaced from the axis of rotation by some distance which is called eccentricity. At rapid rotation of asymmetric rotor sufficiently great periodic centrifugal forces are generated. If frequencies of these forces coincide with frequencies of characteristic vibrations of the construction, resonance effect is observed at which abrupt increase in the amplitude of forced vibrations occurs. There may be several resonant frequencies corresponding with different modes of vibration.

Task. In the given problem it is suggested to investigate behaviour of an asymmetric fan, fixed on a T-shaped support, at various rotational frequencies.

1. Take the dependence of frequency ν of fan rotation on the applied voltage U which shall not exceed $U_{\max} = 15$ V. Measure the threshold voltage $U_{\min}$ at which the rotation begins and the running frequency ν_0 at the nominal voltage $U_0 = 12$ V.
2. Determine resonant frequencies of vibrations of the asymmetric fan (to increase the eccentricity use a piece of plasticine).
3. Investigate qualitatively the dependence of resonant amplitude A of vibrations of the asymmetric fan on its eccentricity ε.
4. Take the dependence of amplitude A of vibrations of the asymmetric fan on the frequency ν of its rotation (resonant curve) nearby the maximal resonant frequency $\nu_{\max}$.
5. Determine the quality factor Q of the vibrating system investigated in the previous paragraph.

Note. During the experiment it is prohibited to change any mechanical parameters of the facility except for the dimensions and the position of a piece of attached plasticine used to generate artificial asymmetry and to vary eccentricity magnitude. If at extreme resonant vibrations the fan begins to operate unsteadily, the amplitude of vibrations should be decreased to perform correct measurements.

Equipment. Fan fixed on T-shaped support, toothpick fixed on fan body, stroboscopic tachometer, source of constant adjustable voltage, voltmeter, plasticine, paper scotch tape, graph paper, ruler.

Senior league

Problem 1. Eccentric fan

Introduction. When starting and stopping turbines, centrifuges, gyroscopes and other devices having a rapidly rotating rotor, at approaching close to some frequencies extreme vibrations appear and they stop after passing through a «forbidden zone» nearby a critical frequency. Observable effects of such vibrations are both a washing machine with a working centrifuge, innocently jumping all over the bathroom, and the rotor with the mass of one and a half thousand tonnes which came off the axle and ruined the turbine and the main generator hall of Sayano–Shushenskaya hydroelectric power station (this fatal accident took place August 17, 2009, and claimed lives of 75 people).

Theory. Due to unavoidable manufacturing errors the centre of mass of the rotor is always displaced from the axis of rotation by some distance which is called eccentricity. At rapid rotation of asymmetric rotor sufficiently great periodic centrifugal forces are generated. If frequencies of these forces coincide with frequencies of characteristic vibrations of the construction, resonance effect is observed at which abrupt increase in the amplitude of forced vibrations occurs. There may be several resonant frequencies corresponding with different modes of vibration.

Task. In the given problem it is suggested to investigate behaviour of an asymmetric fan, fixed on a T-shaped support, at various rotational frequencies.

1. Take the dependence of frequency ν of fan rotation on the applied voltage U which shall not exceed $U_{\max} = 15$ V. Measure the threshold voltage $U_{\min}$ at which the rotation begins and the running frequency ν_0 at the nominal voltage $U_0 = 12$ V.
2. Determine resonant frequencies of vibrations of the asymmetric fan (to increase the eccentricity use a piece of plasticine).
3. Investigate qualitatively the dependence of resonant amplitude A of vibrations of the asymmetric fan on its eccentricity ε.
4. Take the dependence of amplitude A of vibrations of the asymmetric fan on the frequency ν of its rotation (resonant curve) nearby the maximal resonant frequency $\nu_{\max}$.
5. Determine the quality factor Q of the vibrating system investigated in the previous paragraph.

Note. During the experiment it is prohibited to change any mechanical parameters of the facility except for the dimensions and the position of a piece of attached plasticine used to generate artificial asymmetry and to vary eccentricity magnitude. If at extreme resonant vibrations the fan begins to operate unsteadily, the amplitude of vibrations should be decreased to perform correct measurements.

Equipment. Fan fixed on T-shaped support, toothpick fixed on fan body, stroboscopic tachometer, source of constant adjustable voltage, voltmeter, plasticine, paper scotch tape, graph paper, ruler.

Младшая лига

Задача 1. Бросок через стену

Длинная стена имеет в поперечном сечении форму четверти круга радиусом R (рис. 1). С какой минимальной скоростью v_0, под каким углом φ к горизонту и с какого расстояния d от плоской стороны стены нужно бросить камень с уровня земли, чтобы он перелетел через стену, не задев её? Ускорение свободного падения g известно, сопротивление воздуха не учитывайте.

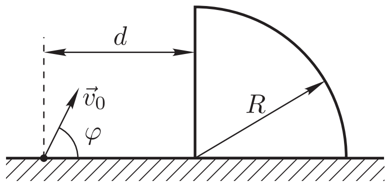

Рис. 1

Задача 2. Обруч с грузиком

Однородный обруч массой M и радиусом R катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности. К обручу прикреплён небольшой грузик массой m. Когда грузик находился в нижней точке, скорость центра обруча была v_0 (рис. 2).

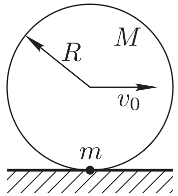

Рис. 2

Найдите относительное отличие средней скорости v центра обруча от v_0, то есть величину $\varepsilon = (v - v_0)/v_0$, полагая $m \ll M$ и $mgR \ll Mv_0^2$. Обоснуйте использованные приближения.

Подсказка. При любых (не обязательно целых или положительных) n и x, удовлетворяющих условию $nx \ll 1$, справедливо приблизительное равенство

$$(1+x)^n \approx 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2.$$

Задача 3. Добыча угля

До какой максимальной глубины H энергетически целесообразно делать шахту для добычи угля, если при подъёме угля массой $m = 100$ кг приходится дополнительно поднимать пустую породу и иной груз массой $M = 900$ кг, а использование угля возможно только на поверхности? Насколько полученная оценка близка к значениям глубин реальных шахт и почему? Удельная теплота сгорания угля $q \approx 25$ МДж/кг, температура продуктов сгорания угля $t \sim 700$°C (сильно зависит от условий горения), температура окружающей среды $t_0 \approx 0$°C. КПД современных тепловых машин составляет долю $\mu \approx 35\%$ от КПД идеальной тепловой машины, работающей в тех же условиях.

Теория. Тепловая машина (например, двигатель внутреннего сгорания) — это устройство для преобразования тепловой энергии в механическую работу. КПД идеальной тепловой машины вычисляется по формуле $\eta = (T - T_0)/T$, где T — абсолютная температура продуктов сгорания, T_0 — абсолютная температура окружающей среды.

Условия уносите с собой!

XXI Международная олимпиада «Туймаада». Физика

Задача 4. Диодные массы

Идеальный источник ЭДС $\mathscr{E}$, переключатели K_1 и K_2, восемь идеальных диодов и три резистора сопротивлениями R_1, R_2 и R соединены по схеме, изображённой на рис. 3. Положения переключателей синхронно изменяют с малым периодом T так, что в течение промежутка времени T_1 они находятся в верхнем положении, в течение T_2 — в нижнем, а остальное время $(T_1 + T_2 < T)$ занимают процессы переключения, в ходе которых все пары выводов каждого переключателя разомкнуты. Определите средние мощности P_1, P_2 и P, которые выделяются за большое время на резисторах R_1, R_2 и R соответственно.

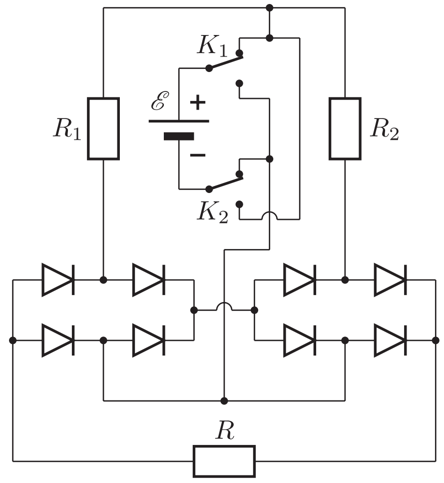

Рис. 3

Задача 5. Зеркальная вертушка

Тонкий стержень AB расположен вертикально в центре круглой комнаты и вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью. К стержню прикреплены на одной высоте 4 одинаковых двусторонних тонких квадратных зеркала со стороной $R = 20$ см, причём одно ребро у всех зеркал общее и совпадает со стержнем, а плоскости соседних зеркал перпендикулярны друг другу (рис. 4). На систему направили неподвижный горизонтальный луч лазера так, что в каждый момент времени на стенах комнаты был ровно один лазерный «зайчик». Максимальная скорость «зайчика» оказалась в $k = 1{,}5$ раза больше средней. На каком расстоянии r от стержня AB проходил бы лазерный луч, если бы зеркал не было? Скачки «зайчика» при расчёте скоростей не учитывайте.

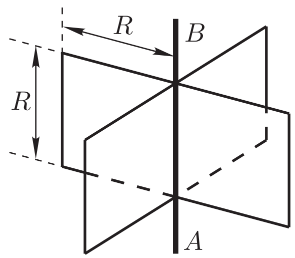

Рис. 4

Условия уносите с собой!

Старшая лига

Задача 1. Невесомая бусинка

В вершинах прямоугольника $ABCD$, стороны AB и CD которого вертикальны, закреплены четыре маленьких невесомых блока. Через них перекинуты две гладкие невесомые нерастяжимые нити, одна из которых связывает грузы массами m_1 и m_2, а другая — массами m_3 и m_4 (рис. 5). Обе нити продеты сквозь одно отверстие в маленькой невесомой бусинке K. Изначально нити натянуты, бусинка и грузы неподвижны, а выходящие из бусинки участки нитей образуют с горизонтом углы α, β, γ и φ. Найдите проекции ускорения a_x и a_y бусинки в момент одновременного отпускания бусинки и грузов, если оси x и y сонаправлены с векторами BC и BA соответственно. Рассмотрите два случая: $\alpha = \beta$ и $\alpha \neq \beta$. В ответе можно оставить все четыре угла, но отдельно выразите угол φ через остальные углы. Ускорение свободного падения g известно.

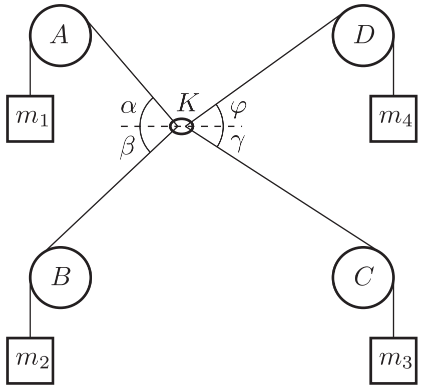

Рис. 5

Задача 2. Вращение в полусфере

По гладкой внутренней поверхности закреплённой сферы радиусом R движется маленькая шайба. В начальный момент времени шайба находится в горизонтальной плоскости, содержащей центр сферы, и имеет горизонтальную скорость ωR. Найдите максимальное смещение L шайбы по вертикали и минимальное время τ, через которое произойдёт это смещение, при условии, что $\omega^2 R \gg g$, где g — ускорение свободного падения. Чему равен модуль S вектора перемещения шайбы к моменту времени τ?

Задача 3. Полупроницаемая перегородка

Высокий сосуд с двумя тонкими лёгкими поршнями разделён на две части перегородкой, пропускающей гелий, азот и кислород, но не пропускающей радон (рис. 6). В сосуде находятся гелий и радон в количествах ν_1 и ν_2 соответственно, причём слева от перегородки находится только гелий, а справа — смесь гелия и радона. На правый поршень площадью S поставлен груз массой m. Температура T и давление P_0 окружающего воздуха поддерживаются постоянными. Найдите объёмы V_1

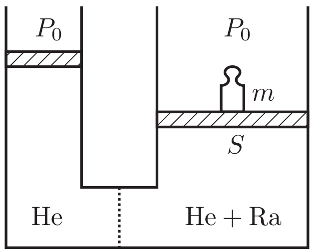

Рис. 6

Условия уносите с собой!

и V_2 соответственно левой и правой частей сосуда под поршнями. При какой массе m груза возможно описанное равновесие? Объёмом соединительной трубки можно пренебречь, однако её диаметр немного превышает толщину поршня.

Задача 4. Линза в поршне

Горизонтальный цилиндрический сосуд объёмом $V_0 = 1$ л разделён на две части гладким подвижным поршнем со встроенной в него линзой, главная оптическая ось которой совпадает с осью симметрии сосуда (рис. 7). В центре левого основания внутри сосуда закреплена лампа накаливания, а правое основание используется в качестве экрана при наблюдении изображения лампы в линзе.

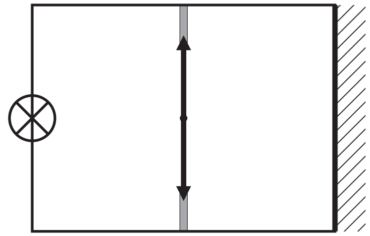
Рис. 7

В левой части сосуда находится одноатомный идеальный газ, а в правой — в $k = 3$ раза большее количество двухатомного идеального газа. В начальный момент времени газы имели давление $P_0 = 1$ атм и одинаковую температуру. Теплоёмкости и теплопроводности поршня, левого основания и боковой поверхности сосуда пренебрежимо малы, а правое основание имеет большую теплопроводность и поддерживается при постоянной начальной температуре. После подачи на лампу напряжения $U = 4$ В через неё пошёл ток силой $I = 0{,}32$ А, а на экране появилось чёткое изображение нити накала лампы, которое постепенно теряло чёткость и превращалось в светлое пятно. Через какое время t после включения лампы изображение её нити накала снова станет чётким? КПД лампы накаливания (как осветительного прибора) можно считать пренебрежимо малым.

Задача 5. Электросхема

Идеальный источник ЭДС $\mathscr{E}$, ключ K, идеальная катушка индуктивностью L и две пары конденсаторов ёмкостями C и $2C$ соединены по схеме, изображённой на рис. 8. До замыкания ключа все конденсаторы были разряжены и ток в цепи отсутствовал. Найдите максимальную силу тока I_0 через катушку после замыкания ключа и минимальное время τ, через которое эта сила тока будет достигнута.

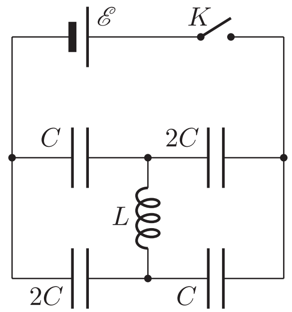

Рис. 8

Условия уносите с собой!

Junior league

Problem 1. Throw over wall

A long wall has a cross section of the form of a quarter of a circle of the radius R (fig. 9). With what the minimum velocity v_0, at what angle φ to the horizon and from which distance d from the flat side of the wall should a stone be thrown from the ground level in order that it flies over the wall without touching it? The free fall acceleration g is known, do not take into account air resistance.

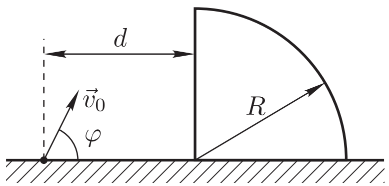

Fig. 9

Problem 2. Hoop with weight

A uniform hoop of mass M and radius R rolls without slipping on a horizontal surface. A small weight of mass m is attached to the hoop. When the weight was in the lowest point, the velocity of the center of the hoop was v_0 (fig. 10).

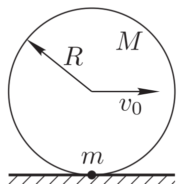

Fig. 10

Find the relative deviation of the mean velocity v of the center of the hoop from v_0, i.e. the quantity $\varepsilon = (v - v_0)/v_0$ assuming $m \ll M$ and $mgR \ll Mv_0^2$. Justify used approximations.

Hint. For any (not necessarily integer or positive numbers) n and x satisfying the condition $nx \ll 1$ the approximate equality holds true

$$(1+x)^n \approx 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2}x^2.$$

Problem 3. Coal mining

To which maximum depth H is it energetically expedient to make a mine for coal mining, if when lifting the coal of mass $m = 100$ kg it is additionally necessary to lift waste rock and another load of mass $M = 900$ kg, and the use of coal is possible only on the surface? How is the obtained estimate close to the values of depths of real mines and why? The specific heat of combustion of coal $q \approx 25$ MJ/kg, the temperature of products of coal combustion $t \sim 700°$C (it strongly depends on combustion conditions), the ambient temperature $t_0 \approx 0°$C. The coefficient of efficiency of modern heat engines amounts to a fraction $\mu \approx 35\%$ of the coefficient of efficiency of ideal heat engine working in the same conditions.

Theory. The heat engine (e.g., an internal combustion engine) — this is a device for converting thermal energy into mechanical work. The coefficient of efficiency of ideal heat engine is calculated according to the formula $\eta = (T - T_0)/T$, where T is the absolute temperature of combustion products, T_0 is the ambient absolute temperature.

Take with you this problem list!

XXI International olympiad "Tuymaada". Physics

Problem 4. Mass of diodes

An ideal source of EMF $\mathscr{E}$, switches K_1 and K_2, eight ideal diodes and three resistors with resistances R_1, R_2 and R are connected according to the scheme shown in fig. 11. Positions of switches are synchronously changed with the small period T so that during the period of time T_1 they are in the raised position, during T_2 they are in the lower position, and switching processes take the rest of the time ($T_1 + T_2 < T$), in course of which all pairs of terminals of each switch are disconnected. Determine the average powers P_1, P_2 and P, which are released for a long time by the resistors R_1, R_2 and R respectively.

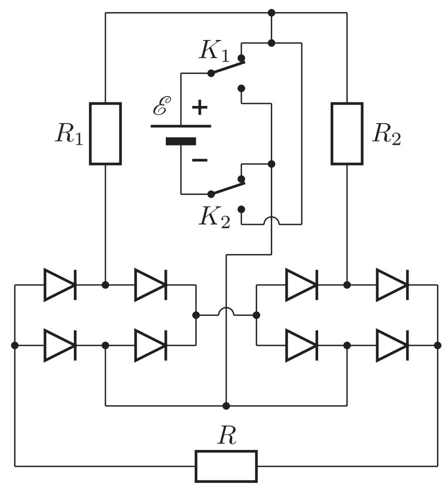

Fig. 11

Problem 5. Mirror rotator

A thin rod AB is placed vertically in the center of a circular room and rotates around its axis with a constant angular speed. 4 identical double-sided thin square mirrors with the side $R = 20$ cm are attached to the rod at the same height, in addition to that one edge of all mirrors is common and coincides with the rod, and planes of neighbouring mirrors are perpendicular to each other (fig. 12). A fixed horizontal laser beam is directed towards the system so at every instant of time only one laser light spot is on the walls of the room. The maximum speed of light spot is $k = 1.5$ times greater than the average speed. At what distance r from the rod AB would the laser beam pass, if the mirrors were absent? Do not take into account jumps of the light spot while calculating speeds.

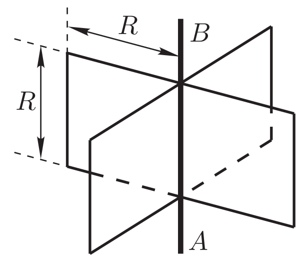

Fig. 12

Take with you this problem list!

Senior league

Problem 1. Weightless bead

At vertices of a rectangle $ABCD$, which sides AB and CD are vertical, four small weightless pulleys are fixed. Through them two smooth weightless inextensible threads are thrown over, one of which connects weights of masses m_1 and m_2, and the other connects weights of masses m_3 and m_4 (fig. 13). Both threads are passed through one hole in the small weightless bead K. Initially the threads are strained, the bead and the weights are motionless, and parts of threads coming out from the bead make the angles α, β, γ и φ with the horizon. Find the projections of acceleration a_x and a_y of the bead at the moment of simultaneous release of the bead and the weights, if the x and y axes are codirectional with the vectors BC and BA respectively. Consider two cases: $\alpha = \beta$ and $\alpha \neq \beta$. In the answer all four angles may be retained, but express separately the angle φ in terms of the other angles. The free fall acceleration g is known.

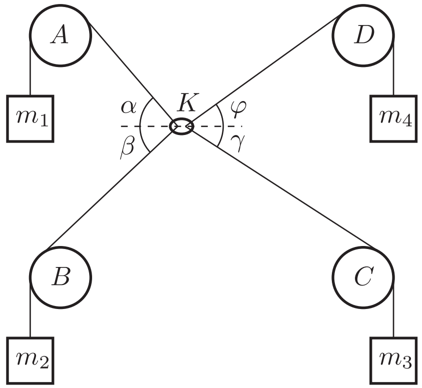

Fig. 13

Problem 2. Rotation in hemisphere

A small disk moves on the smooth inner surface of the fixed sphere of radius R. At the initial moment of time the disk is in the horizontal plane, containing the center of the sphere, and has the horizontal velocity ωR. Find the maximum displacement L of the disk in the vertical direction and the minimum time τ, after which this displacement happens, under the condition that $\omega^2 R \gg g$, where g is the free fall acceleration. What is the magnitude S of the vector of displacement of disk at the moment of time τ?

Problem 3. Semipermeable membrane

A high vessel with two thin lightweight pistons is divided into two parts by a membrane, which is permeable to helium, nitrogen, and oxygen, but not permeable to radon (fig. 14). In the vessel there are helium and radon in the quantities ν_1 and ν_2, respectively, and to the left of the membrane there is only helium and to the right a mixture of helium and radon. A weight of the mass m is put on the right piston with the area S. The temperature T and the pressure P_0 of ambient air are kept constant. Find the

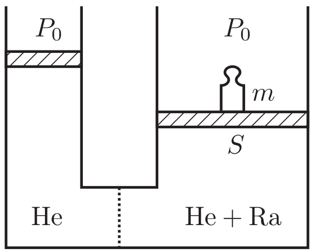

Fig. 14

Take with you this problem list!

volumes V_1 and V_2, respectively, of the left and right parts of the vessel under the pistons. With which mass m of the weight is the described balance possible? The volume of connecting tube can be neglected, however its diameter slightly exceeds the thickness of the piston.

Problem 4. Lens in piston

A horizontal cylindrical vessel of volume $V_0 = 1$ L is divided into two parts by a smooth movable piston with a lens built in it, the main optical axis of which coincides with the axis of symmetry of the vessel (fig. 15). In the center of the left base inside the vessel an incandescent lamp is fixed, and the right base is used as a screen when viewing a lamp image in the lens. In the left part of the vessel there is a monoatomic ideal gas, and in the right part there is a diatomic ideal gas, the amount of which is $k = 3$ times greater than the amount of the monoatomic gas in the left part. At the initial moment of time gases had the pressure $P_0 = 1$ atm and the same temperature. Heat capacities and heat conductivities of the piston, the left base and the side surface of the vessel are negligible, and the right base has the large heat conductivity and is maintained at the constant initial temperature. After applying the voltage of $U = 4$ V to the lamp the current of intensity $I = 0.32$ A went through it, and there appeared on the screen a clear image of the lamp filament, which gradually lost sharpness and turned into a bright spot. After which time t since turning on the lamp will the image of its filament become clear again? The coefficient of efficiency of incandescent lamp (as the lighting unit) can be considered negligible.

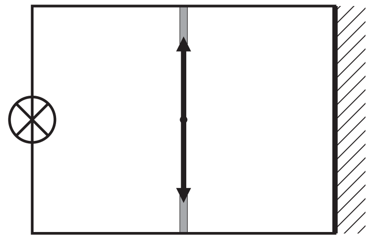

Fig. 15

Problem 5. Electrical circuitry

An ideal source of EMF $\mathscr{E}$, a switch K, an ideal inductor of inductance L and two pairs of capacitors of capacitances C and $2C$ are connected according to the scheme shown in fig. 16. Before closing the switch all the capacitors were discharged and the current in the circuit was absent. Find the maximum intensity of current I_0 through the inductor after closing the switch and the minimum time τ, after which this intensity of current will be reached.

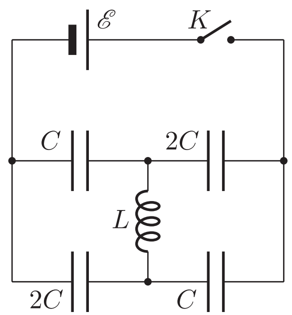

Fig. 16

Take with you this problem list!

Туймаада-2016

Черный ящик (младшая лига) **Неустроев Е.П.**

В черном ящике находится источник постоянного тока.

1. Определите характеристики источника тока: внутренне сопротивление, ЭДС, силу тока короткого замыкания.
2. Постройте зависимость полезной мощности от сопротивленияP(R). Из зависимости P(R) определите внутреннее сопротивление источника и сравните со значением, полученным в первом задании.
3. Оцените погрешности измерений

Оборудование: черный ящик, амперметр, набор сопротивлений с известными значениями, соединительные провода (по требованию участников)

Внимание: для избежания короткого замыкания запрещается подсоединять амперметр непосредственно к выводам черного ящика!

Плотность и пустотность (младшая лига) **Замятнин М.Ю.**

Коэффициентом пустотности сыпучих веществ называют отношение объема воздушных полостей к общему объему вещества.

1. Определите коэффициент пустотности неутрамбованного (насыпного) песка.

2. Определите плотность песчинок (плотность самого вещества крупинок песка без учета воздушных полостей). Плотность воды 1 г/см^3.

Приборы и оборудование: Лист миллиметровки или деревянная линейка 40 см, скотч, нитки, штатив, два пластиковых стаканчика с подписанным маркером уровнем, соответствующим объему 100 мл на каждом, стакан с водой, шприц 20 мл, стакан с сухим песком. Одноразовая чайная ложечка или лучше палочка-мешалка для кофе. Салфетки в достатке!

Экспериментальная задача "Пластмассовая пружинка" (старшая лига).

Оборудование : мягкая пружинка, грузик с известной массой, штатив, метровка, секундомер, нитка и скотч (для того, чтобы подвесить грузик).

Задача : Найдите массу одного витка и аналог модуля Юнга пластмассовой пружинки несколькими способами.

1. Исследуйте зависимость длины пружинки от числа витков без грузика и с грузиком (масса грузика указана).
2. Снимите зависимость периода колебаний пружинки от числа витков без грузика и с грузиком.
3. Используя полученные результаты отдельно для первого и второго пунктов оцените массу одного витка и аналог модуля Юнга.
4. Сделайте оценку погрешности. Считать, что диаметр пружинки почти не меняется.

Black box (junior league) **E. P. Neustroev**

There is a source of direct current in the black box.

1. Determine characteristics of source of current: internal resistance, an electromotive force, a current intensity of short circuit.

2. Plot the dependence P(R) of net power P on the resistance R. Determine from the function P(R) the internal resistance of the source and compare with the value obtained in the first task.

3. Estimate errors of measurements

Equipment: a black box, an ammeter, a set of resistors with known values, connecting wires (at a request of participants).

Caution: to avoid a short circuit it is forbidden to connect the ammeter directly to terminals of black box!

Density and voidage (junior league) **Zamyatnin M. Yu.**

The void coefficient of granular materials is the ratio of volume of air cavities to the total volume of the substance.

1. Find the void coefficient of loose (bulk) sand.

2. Determine the density of grains (the density of substance of grains of sand without taking into account the air cavities). The density of water is 1 g/cm^3.

Instruments and equipment: a sheet of graph paper or a 40 cm wooden ruler, an adhesive tape, threads, a tripod, two plastic cups with a signed by marker level corresponding to the volume of 100 ml in each, a glass of water, a 20 ml syringe, a glass of dry sand. A disposable teaspoon or better a rod stirrer for coffee. Plenty of napkins!

Experimental problem "Plastic spring" (senior league).

Equipment: a soft spring, a weight of known mass, a tripod, a folding rule, a stopwatch, a thread and adhesive tape (to hang the weight).

Problem: Find the mass of one turn and an analog of Young's modulus of plastic spring in several ways.

1. Research the dependence of length of spring on the number of turns without the weight and with the weight (the mass of the weight is shown).

2. Take the dependence of oscillation period of spring on the number of turns without the weight and with the weight.

3. Using the obtained results separately for the first and second points, estimate the mass of one turn and the analogue of Young's modulus.

4. Make an estimate of the error. Assume that the diameter of spring is almost unchanged.

Младшая лига

Задача 1. Колебания собаки

С вершины холма спускались со скоростью v_1 по прямой дороге хозяин с собакой, а навстречу им поднималась со скоростью v_2 хозяйка. Когда расстояние между супругами было равно L, собака рванулась вниз со скоростью c_1 (причём $c_1 > v_1$), а встретив хозяйку, мгновенно развернулась и побежала вверх со скоростью c_2 (причём $c_2 > v_2$). Вернувшись к хозяину, собака снова быстро развернулась и продолжила бегать таким образом между супругами вплоть до их встречи. Какой путь S пробежала собака за это время?

Задача 2. Переменная плотность

Два цилиндра изготовлены из материала неизвестной плотностью ρ_0, имеют одинаковую высоту и отличаются только площадями оснований. Эти цилиндры соединили соосно и погрузили вертикально в широкий сосуд с жидкостью, плотность которой линейно зависит от глубины (рис. 1). Оказалось, что соединённые цилиндры свободно плавают, причём плотности жидкости на уровнях верхнего основания площадью $2S$ и нижнего основания площадью S равны соответственно ρ и 3ρ.

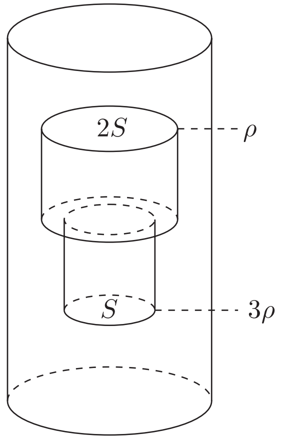

Рис. 1

1. Найдите ρ_0 по приведённым выше данным.

2. До какого минимального значения F_1 нужно постепенно увеличивать силу, действующую на цилиндры вниз, чтобы они плавно погрузились до дна, если расстояние от нижнего основания до дна было равно высоте одного цилиндра?

3. Какую минимальную силу F_2 нужно прикладывать к цилиндрам вниз, чтобы они не всплыли после касания дна всей площадью нижнего основания? Атмосферное давление P_0 и глубина H_0 жидкости в сосуде известны.

Задача 3. Плавление кусочков льда

В калориметр с пренебрежимо малыми теплоёмкостью и теплопроводностью налили воду при температуре $t_w = 25°\mathrm{C}$ и начали бросать в неё маленькие одинаковые кусочки льда при температуре $t_i = -18°\mathrm{C}$. После первых десяти кусочков равновесная температура содержимого калориметра стала $t_1 = 13°\mathrm{C}$, а после вторых десяти кусочков она составила $t_2 = 3°\mathrm{C}$. Удельные теплоёмкости воды $c_w = 4200$ Дж/(кг · °C) и льда $c_i = 2100$ Дж/(кг · °C) известны.

1. Определите удельную теплоту плавления λ льда по результатам опыта.

2. Найдите номер N порции из десяти кусочков льда, после которой равновесная температура содержимого калориметра станет отрицательной. В расчётах используйте найденное в предыдущем пункте значение λ.

Условия уносите с собой!

Задача 4. Термопара

К выводам термопары, опущенной в сосуд с горячей водой, подключили два одинаковых последовательно соединённых резистора, после чего поочерёдно подключали амперметр тремя способами: в первом опыте — последовательно резисторам, во втором — параллельно одному из них, а в третьем — параллельно обоим. В первом и втором опытах показания амперметра оказались одинаковыми. Во сколько раз нужно увеличить массу воды в сосуде, доливая воду при комнатной температуре непосредственно перед третьим опытом, чтобы получить в нём такие же показания амперметра? Термо-ЭДС считайте прямо пропорциональной превышению температуры воды в сосуде над комнатной. Потери теплоты, сопротивление термопары и эффект Пельтье не учитывайте.

Задача 5. Стробоскопический Глюк

Экспериментатор Глюк вёл киносъёмку с частотой ν_0 (кадров в секунду) тела, равномерно вращающегося с периодом T_0 вокруг своей оси симметрии максимального порядка n, где n — натуральное число, а затем просматривал получившийся фильм со скоростью ν (кадров в секунду).

1. При каких значениях параметров направление вращения на экране будет противоположно реальному?

2. Какое значение периода T вращения тела получит Глюк, измеряя время и число оборотов на экране?

Примечание. Фигура имеет ось симметрии порядка n, если после поворота на угол $360°/n$ вокруг этой оси новая фигура совпадает с исходной. Например, такую ось имеет велосипедное колесо, все n спиц которого образуют равные углы с соседними спицами.

Условия уносите с собой!

Старшая лига

Задача 1. Бочка мёда

В пустую цилиндрическую бочку массой $m = 5$ кг и высотой $H = 1$ м наливают мёд с постоянным расходом $\mu = 80$ г/с. Бочка имеет толстые однородные стенки, лёгкое тонкое дно и может вместить в себя до $M = 40$ кг мёда.

1. Найдите скорость v_0 центра масс системы «бочка и мёд» сразу после начала заполнения.

2. Через какое время t_0 от начала заполнения скорость центра масс системы «бочка и мёд» окажется минимальной по модулю?

Задача 2. Диффузия

В двух горизонтальных цилиндрических сосудах площадью поперечного сечения $S = 1$ см^2 и объёмом $V = 1$ л каждый находятся при одинаковых давлении $P = 10$ Па и температуре $T = 300$ К различные газы: в первом — аргон $^{40}_{18}\mathrm{Ar}$, а во втором — этан $\mathrm{C_2D_2T_4}$. С одного из торцов в каждый сосуд вводят небольшое количество тех же газов, но с другим изотопным составом молекул: в первый — аргон $^{36}_{18}\mathrm{Ar}$, а во второй — этан $\mathrm{C_2D_4T_2}$. Через некоторые промежутки времени t_1 и t_2 вблизи противоположных торцов соответствующих сосудов будет достигнута концентрация примесных молекул, равная половине от той, которая установится через очень большое время.

1. Найдите отношение t_1/t_2.

2. Оцените по порядку величины значение t_1.

Молярные массы углерода C и тяжёлых изотопов водорода (дейтерия D и трития T) известны: $\mu_\mathrm{C} = 12$ г/моль, $\mu_\mathrm{D} = 2$ г/моль, $\mu_\mathrm{T} = 3$ г/моль. Плотности аргона и этана в жидком состоянии при низких температурах равны соответственно $\rho_1 = 1400$ кг/м^3 и $\rho_2 = 750$ кг/м^3.

Задача 3. Точечный заряд и вращающийся диполь

Два точечных заряда $+q$ и $-q$ массой m каждый соединены коротким лёгким стержнем и свободно вращаются с периодом T вокруг неподвижной вертикальной оси, проходящей через середину стержня перпендикулярно ему. В плоскости вращения зарядов на большом расстоянии R от оси вращения закреплён точечный заряд Q. Считая относительные изменения скорости вращающихся зарядов малыми, найдите величину и направление средней за период силы F_0, действующей на неподвижный заряд.

Подсказка. При любых n и x, удовлетворяющих условию $nx \ll 1$, справедливо приблизительное равенство $(1+x)^n \approx 1 + nx$.

Условия уносите с собой!

Задача 4. Коварный конденсатор

В идеальном колебательном контуре, состоящем из плоского конденсатора и катушки индуктивности, происходят собственные незатухающие колебания. Пластины конденсатора равномерно и очень медленно раздвинули так, что частота колебаний увеличилась в n раз. Во сколько раз изменилась при этом энергия колебаний?

Задача 5. Ускорение изображения в линзе

Вдоль главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием f ползёт с постоянным ускорением a маленький жучок, в начальный момент времени покоившийся в оптическом центре линзы. С какой скоростью v и с каким ускорением w движется изображение жучка в тот момент, когда расстояние между жучком и его действительным изображением минимально?

Условия уносите с собой!

Junior league

Problem 1. Dog's oscillations

From a hill top a dog master with the dog went down with the speed v_1 along a straight path, and towards them the dog's mistress walked up with the speed v_2. When the distance between the spouses was equal to L, the dog rushed down with the speed c_1 (and $c_1 > v_1$), and after meeting the mistress it instantly turned around and ran up with the speed c_2 (and $c_2 > v_2$). After returning to the master the dog quickly turned around and continued to run like this between the spouses till their meeting. Which distance S did the dog run during this time?

Problem 2. Variable density

Two cylinders made from a material with an unknown density ρ_0 have the same height and differ only by areas of bases. These cylinders were coaxially connected and vertically submerged in a wide vessel with a liquid, the density of which linearly depends on the depth (fig. 2). It was found that the connected cylinders freely float, and the densities of liquid at the levels of the upper base with the area $2S$ and the lowest base with the area S are equal to ρ and 3ρ, respectively.

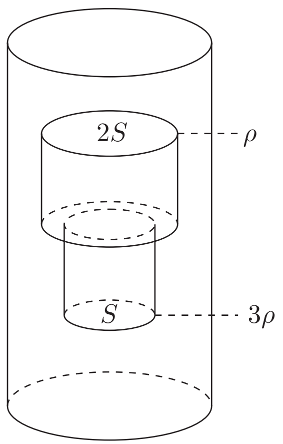

Fig. 2

1. Find ρ_0 from the foregoing data.

2. To what minimum value F_1 is it necessary to gradually increase the force acting down on the cylinders in order that they smoothly sink to the bottom, if the distance from the lowest base to the bottom is equal to the height of one cylinder?

3. What minimum force F_2 is it necessary to apply to the cylinders down in order that they would not float up after a contact with the bottom by the all area of the lowest base? The atmospheric pressure P_0 and the depth H_0 of the liquid in the vessel are known.

Problem 3. Melting of ice cubes

In a calorimeter with negligible heat capacity and thermal conductivity one poured water at a temperature $t_w = 25°$C and started throwing in it small identical pieces of ice at a temperature $t_i = -18°$C. After the first ten pieces, an equilibrium temperature of contents of calorimeter became $t_1 = 13°$C, and after the second ten pieces it was $t_2 = 3°$C. Specific heat capacities of water $c_w = 4200$ J/(kg · °C) and ice $c_i = 2100$ J/(kg · °C) are known.

1. Determine the specific heat of fusion λ of ice according to the results of experiment.

2. Find the number N of portion of ten pieces of ice, after which the equilibrium temperature of contents of calorimeter will become negative. Use in the calculations the value of λ found in the previous paragraph.

Problem 4. Thermocouple

To leads of thermocouple immersed in a vessel with hot water two identical connected in series resistors were linked, after which an ammeter was connected by turn in three ways: in the first experiment it was connected in series to the resistors, in the second experiment it was connected in parallel to one of them, and in the third experiment it was connected in parallel to both. In the first and second experiments readings of ammeter were the same. By how many times is it necessary to increase the mass of water in the vessel, adding water at the room temperature immediately before the third experiment, in order to get in it the same readings of ammeter? Consider the thermal electromotive force to be directly proportional to the excess of water temperature in the vessel over the room temperature. Do not take into account heat losses, the resistance of thermocouple, and the Peltier effect .

Problem 5. Stroboscopic Gluck

Gluck, an experimenter, filmed with a frequency ν_0 (frames per second) a body uniformly rotating with a period of T_0 around its symmetry axis of maximum order n, where n is a positive integer, and then he saw the resulting film with a speed ν (frames per second).

1. For what values of parameters will the direction of rotation on the screen be opposite to the real one?

2. What value of period T of body rotation will Gluck get, measuring time and the number of revolutions on the screen?

Note. The figure has the symmetry axis of the order n, if after a rotation by an angle $360°/n$ around this axis the new figure coincides with the initial one. For example,a bicycle wheel has this axis, all n spokes of which form equal angles with adjacent spokes.

Senior league

Problem 1. Barrel of honey

An empty cylindrical barrel of mass $m = 5$ kg and height $H = 1$ m is filled with honey at a constant rate $\mu = 80$ g/s. The barrel has thick homogeneous walls, a light thin bottom and can contain up to $M = 40$ kg of honey.

1. Find the speed v_0 of center of mass of system «barrel and honey» immediately after the beginning of filling.

2. After what time t_0 from the beginning of filling will the speed of center of mass of system «barrel and honey» be minimal in the module?

Problem 2. Diffusion

In two horizontal cylindrical vessels, each of the cross-sectional area $S = 1$ cm^2 and the volume $V = 1$ l, different gases are at the same pressure $P = 10$ Pa and temperature $T = 300\ K$: in the first vessel there is argon $^{40}_{18}$Ar, and in the second vessel there is ethane $C_2D_2T_4$. From one of the ends into each vessel a small amount of the same gases is injected, but with another isotopic composition of molecules: in the first vessel there is argon$^{36}_{18}$Ar, and in the second vessel there is ethane $C_2D_4T_2$. After some time intervals t_1 and t_2 near the opposite ends of the respective vessels there will be reached a concentration of impurity molecules equal to half of that, which will be established after a very long time.

1. Find the ratio t_1/t_2.

2. Estimate by order of magnitude the value t_1.

Molar masses of carbon C and heavy isotopes of hydrogen (deuterium D and tritium T) are known: $\mu_C = 12$ g/mol, $\mu_D = 2$ g/mol, $\mu_T = 3$ g/mol. The densities of argon and ethane in the liquid state at low temperatures are equal to $\rho_1 = 1400$ kg/m^3 and $\rho_2 = 750$ kg/m^3, respectively.

Problem 3. Point charge and rotating dipole

Two point charges $+q$ and q, each of mass m, are connected by a short light rod and freely rotate with a period T around a fixed vertical axis, passing through the middle of the rod perpendicularly to it. In the plane of rotation of charges at a large distance R from the axis of rotation a point charge Q is fixed. Considering relative changes of speed of rotating charges to be small, find the value and the direction of average over the period force F_0, acting on the fixed charge.

Hint. For any n and x, satisfying the condition $nx \ll 1$, the approximate equality $(1 + x)^n \approx 1 + nx$ is true.

Problem 4. Insidious capacitor

In an ideal oscillatory circuit consisting of a flat capacitor and an inductance coil, natural undamped oscillations happen. Plates of capacitor were evenly and very slowly moved apart in such a way that the oscillation frequency increased by a factor of n. By what factor has the energy of oscillations changed?

Take with you this problem list!

Problem 5. Acceleration of image in lens

Along an optical axis of thin collecting lens with a focal distance f a little bug is crawling with the constant acceleration a, at the initial time resting at the optical centre of the lens. With what speed v and with what acceleration w is the image of bug moving at that moment when the distance between the bug and its real image is minimum?

Take with you this problem list!

Младшая лига

Задача 1. Длина изоленты

Вычислить с максимальной точностью длину изоленты в рулоне и ее толщину, не разматывая рулон.

Оборудование: рулон изоленты, линейка длиной 20-30 см с наклеенной по всей длине полоской изоленты.

Задача 2. Плотность кристалла соли

Вычислить плотность кристалла пищевой поваренной соли (соль мочить нельзя).

Оборудование: шприцы 10 мл и 20 мл с колпачками для отверстий, пластилин, пластиковая трубка длиной 1 м (от капельницы), сосуд с покрашенной водой, сосуд с солью, линейка, скотч, пробка для трубки.

Старшая лига

Задача. Модуль кручения линейки

Необходимые сведения

Деформация кручения.
Повернём свободный конец металлической линейки (планки) относительно другого, закреплённого конца на угол φ вокруг продольной оси симметрии линейки, как показано на рисунке 1. Различные сечения линейки при этом поворачиваются относительно закреплённого торца на различные углы. Такая деформация называется ***кручением***. При небольших деформациях по закону Гука момент сил M, необходимый для закручивания линейки, пропорционален углу φ:

$$M = \kappa\varphi.$$

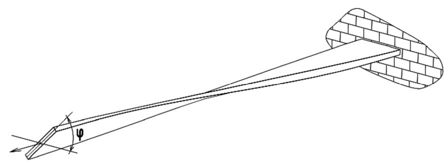

Рис. 1

Коэффициент пропорциональности κ называется ***модулем кручения*** линейки.
Модуль кручения определяется геометрическими параметрами линейки и упругими свойствами материала, из которого изготовлена линейка. Так, для тонкой линейки длиной ℓ, шириной b и толщиной δ, изготовленной из материала с ***модулем сдвига*** G, модуль кручения может быть рассчитан по формуле:

$$\kappa = \beta G^m \delta^n b^p \ell^q,$$

где m, n, p, q - некоторые целые числа, а β – безразмерный коэффициент.
Модуль сдвига, деформация сдвига. Наряду с модулем Юнга, модуль сдвига G является важнейшей константой, характеризующей упругие свойства однородного изотропного материала. Определяется он из закона Гука для ***деформации сдвига***. Деформация сдвига возникает, если к бруску приложить силу F не перпендикулярно, а по касательной к его поверхности. Так, если нижнюю грань бруска закрепить, а к верхней грани площадью S приложить касательную силу F, то параллелепипед перекосится, как показано на рисунке 2.

При малых деформациях угол скоса γ связан с величиной касательного напряжения $\sigma = F/S$ соотношением:

$$\gamma = \sigma/G.$$

В этом и заключается закон Гука для деформации сдвига.

Цель работы

В данной работе упругие свойства алюминиевых планок (линеек) исследуются при помощи крутильных колебаний.

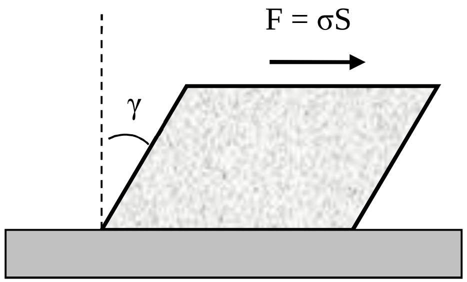

Рис. 2

В работе требуется:

- руководствуясь общефизическими соображениями, методом размерностей и проведя необходимые измерения определить показатели степеней m, n, p и q в формуле для модуля кручения κ линейки;
- экспериментально определить численное значение модуля кручения κ одной из линеек;
- по известному безразмерному коэффициенту $\beta = 1/3$ определить модуль сдвига G материала, из которого изготовлены линейки.

Оборудование. Две алюминиевые планки (линейки) одинаковой толщины δ = 2 мм, короткая деревянная линейка, деревянный брусок с закреплённой металлической планкой, две струбцины, канцелярские клипсы (зажимы), 4 одинаковых магнита массой m = 3,75 г каждый, измерительная линейка (бумажный метр), нить, стробоскопический тахометр, крестообразная отвёртка, фломастер для отметок на алюминиевых планках.

Примечание: *алюминиевые планки с помощью короткой деревянной линейки и канцелярских клипс собраны в Т-образную конструкцию, представляющую собой крутильный маятник.*

Конструкция маятника позволяет регулировать расстояние ℓ между местами крепления вертикальной планки маятника: для этого достаточно с помощью отвертки немного ослабить саморезы и, установив необходимую длину планки, вновь закрепить её. Нить необходима для гашения мод колебаний маятника, не связанных с кручением.

Задание

1. Используя стробоскопический тахометр, снимите зависимость периода $T(\ell)$ крутильных колебаний Т-образного маятника от расстояния ℓ между креплениями вертикальной планки. Аналогичные измерения проведите, поменяв в Т-образной конструкции планки местами.
2. Получите формулу для периода крутильных колебаний Т-образного маятника, выразив его через момент инерции и модуль кручения маятника.
3. Используя общефизические соображения, получите (теоретически) явную зависимость периода $T(\ell)$ крутильных колебаний маятника от ℓ.
4. Сравните экспериментальную зависимость $T(\ell)$ с теоретической, полученной в п.3. Сделайте вывод о значении показателя степени q в формуле для модуля кручения $\kappa = \beta G^m \delta^n b^p \ell^q$.
5. Используя экспериментальные результаты, выясните зависимость модуля кручения κ от ширины линейки b, определив показатель степени p в формуле для модуля кручения $\kappa = \beta G^m \delta^n b^p \ell^q$. При выполнении этого задания считайте, что момент инерции маятника определяется только моментом инерции поперечной алюминиевой планки. Обоснуйте это предположение, сравнив момент инерции планки с моментом инерции крепежа (деревянной линейки и крепёжных клипс) .
6. Определите (теоретически) показатели степени m и n в формуле для модуля кручения, получив, таким образом, явную зависимость модуля кручения от модуля сдвига G и толщины планки δ. Запишите окончательное выражение для

модуля кручения *κ*, положив безразмерный коэффициент $\beta = 1/3$.

7. Придумайте и проведите эксперимент, позволяющий с помощью имеющегося оборудования определить численное значение модуля кручения *κ* для одной из алюминиевых планок.
8. Рассчитайте модуль сдвига *G* алюминия.

Junior league

Problem 1. Length of insulating tape

Compute with maximum accuracy a length of insulating tape in a roll and its thickness without unwinding the roll.
Equipment: the roll of insulating tape, a ruler with a length of 20-30 cm with a strip of insulating tape, which is glued on along the whole length of ruler.

Problem 2. Density of crystal of salt

Calculate a density of crystal of table salt (the salt must not be soaked).
Equipment: syringes of 10 ml and 20 ml with caps for holes, plasticine, a plastic tube of length of 1 m (from a dropping bottle), a vessel with colored water, a container with salt, a ruler, Scotch tape, a cork for a tube.

Senior league
Modulus of torsion of ruler
Necessary information

Torsional deformation.
We will turn a free end of metal ruler (a lath) relative to the other fixed end by an angle φ around a longitudinal axis of symmetry of ruler, as is shown in figure 1. At the same time different sections of ruler are rotated relative to the fixed end at different angles. Such a deformation is called ***torsion***. For small deformations according to Hooke's law the torque *M* required for turning the ruler is proportional to the angle φ:

$$M = k\varphi .$$

The coefficient of proportionality κ is called a ***modulus of torsion*** of ruler.

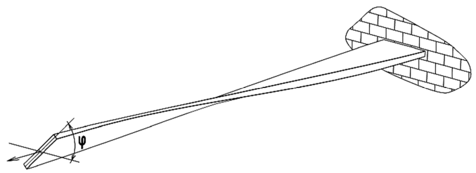

Fig. 1

The modulus of torsion determines geometric parameters of ruler and elastic properties of material from which the ruler was made. So, for the thin ruler of length *l*, width *b* and thickness δ made from a material with a ***shear modulus*** *G*, the modulus of torsion can be calculated according to a formula:

$$k = \beta G^m \delta^n b^p l^q ,$$

where *m, n, p, q* are some integers, and β is a dimensionless coefficient.

Shear modulus, shear deformation. Along with Young's modulus, the shear modulus *G* is the most important constant characterizing the elastic properties of homogeneous isotropic material. It is determined from Hooke's law for ***shear deformation***. The shear

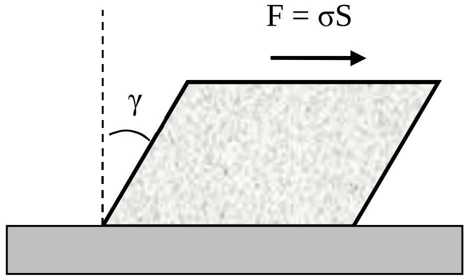

Рис. 2

deformation occurs when a force F is applied to a bar not perpendicularly, but tangentially to its surface. So, if a bottom side of bar is fixed and a tangential force F is applied to the top side of area S, then the parallelepiped will be twisted, as is shown in figure 2.

For small deformations a skew angle γ is related with a magnitude of tangential stress $\sigma = F/S$ by a relation:

$$\gamma = \frac{\sigma}{G}.$$

This is Hooke's law for the shear deformation.

Purpose of work.

In this work the elastic properties of aluminium laths (rulers) are studied with the use of torsional oscillations.

In the work it is required:

- being guided by physical considerations, to determine exponents m, n, p and q in the formula for the modulus of torsion κ of ruler by a method of dimensions and having carried out necessary measurements;
- to experimentally determine a <u>numerical</u> value of modulus of torsion κ of one of rulers;
- to determine the shear modulus G of material, from which the rulers were made, with the use of known dimensionless coefficient $\beta = \frac{1}{3}$.

Equipment. Two aluminium laths (rulers) with the same thickness δ = 2 mm, a short wooden ruler, a wooden bar with a fixed metal lath, two clamps, stationery clips (clamps), 4 identical magnets each having a mass m = 3.75 g, a measuring ruler (a paper meter), a thread, a stroboscopic tachometer, a crosshead screwdriver, a felt-tip pen for marks on aluminium strips.

Note: *the aluminium laths with the use of short wooden ruler and stationery clips are combined in a T-shaped structure, which is a torsional pendulum. The structure of pendulum allows regulating a distance l between places of fixation of vertical lath of pendulum: for this it is enough with the use of screwdriver to weaken a little bit crews*

and, after determining a necessary length of lath, to fix it again. The thread is necessary for damping oscillation modes of pendulum, not associated with torsion.

Task

1. Using the stroboscopic tachometer, to obtain a dependence of period $T(l)$ of torsional oscillations of T-shaped pendulum on the length l between fixations of vertical lath. Carry out similar measurements, changing the places of laths in the T-shaped structure.
2. Get a formula for the period of torsional oscillations of T-shaped pendulum, expressing it through a moment of inertia and modulus of torsion of pendulum.
3. Using general physical considerations, obtain (theoretically) an explicit dependence of period $T(l)$ of torsional oscillations of pendulum on l .
4. Compare the experimental dependence $T(l)$ with the theoretical one obtained in point 3. Draw a conclusion about a value of exponent q in the formula for modulus of torsion $k = \beta G^m \delta^n b^p l^q$
5. Using the experimental results, find out a dependence of modulus of torsion, κ on a width of ruler b, determining the exponent p in the formula for modulus of torsion $k = \beta G^m \delta^n b^p l^q$. When performing this task you may assume that the moment of inertia of pendulum is determined only by the moment of inertia of transversal aluminium lath. Justify this assumption by comparing the moment of inertia of lath with the moment of inertia of fixation (the wood ruler and fastening clips).
6. Determine (theoretically) the exponents m and n in the formula for the modulus of torsion, thus having obtained an explicit dependence of module of torsion on the shear modulus G and thickness of lath δ. Write down the final expression for the modulus of torsion κ, putting a dimensionless coefficient $\beta = \frac{1}{3}$.

7. Design and conduct an experiment that enables with the use of existing equipment to determine the numerical value of modulus of torsion κ for one of aluminium laths.
8. Calculate the shear modulus G of aluminium.

Problem 4. Triangular plate

A plate in a form of regular triangle with a side $\ell\sqrt{2}$ is uniformly charged with a surface density σ. Find an electric field E at a point O located at the same distance ℓ from each vertex of plate.

Problem 5. Room thermodynamics

Problem *A*. In a window of a closed room there is mounted armoured glass of thickness $h_1 = 8$ cm, having a thermal conductivity coefficient $\varkappa_1 = 0.3$ W/(m·K). A temperature outdoors is $T_1 = -20$°C, and in the room a temperature $T_2 = 20$°C is maintained. Assume that near the window it is formed a transition layer of air of thickness $h_2 = 2$ cm, a temperature of which changes from the room temperature to a temperature of internal side of window. What relative humidity φ will be established in the room, if initially the air was humid enough? Take a thermal conductivity coefficient of air equal to $\varkappa_2 = 0.025$ W/(m·K).

Problem *B*. Find a ratio x of rates of drop of temperature from an initial value of $T = 15$°C immediately after turning off heating in a closed room with dry air and in another identical room with maximally humid air, if heat capacity of walls and items in the room is not taken into account. An atmospheric pressure $P_0 = 100$ kPa. A specific heat of evaporation of water at low temperatures is $L = 2.5$ MJ/kg.

Table 2

T, °C	P, Pa	T, °C	P, Pa
0	611.0	0	611.0
1	657.3	−1	568.6
2	705.8	−2	528.3
3	758.4	−3	490.6
4	813.4	−4	455.2
5	872.5	−5	422.2
6	935.1	−6	391.3
7	1002	−7	362.4
8	1073	−8	335.4
9	1148	−9	310.3
10	1228	−10	286.8
11	1313	−11	264.9
12	1402	−12	244.6
13	1498	−13	225.6
14	1598	−14	208.0
15	1706	−15	191.6
16	1818	−16	176.4
17	1938	−17	162.2
18	2064	−18	149.1
19	2198	−19	137.0
20	2338	−20	125.7

Note. In problems A and B the matter concerns different rooms. Values of saturated vapour pressure at some temperatures are given in table 2.

Take with you this problem list!

Младшая лига

Задача 1. Шары в бесконечном океане

Допустим, что вся Вселенная заполнена несжимаемой жидкостью плотностью ρ_0, в которой на большом расстоянии L друг от друга находятся два однородных твёрдых шара объёмом V каждый и плотностями ρ_1 и ρ_2.

1. С какой силой F_1 взаимодействуют шары между собой?

2. Найдите векторные суммы F_{21} и F_{22} сил давления жидкости на первый и второй шар соответственно.

3. Какие внешние силы F_{31} и F_{32} нужно прикладывать к первому и второму шару соответственно, чтобы удерживать их в покое?

4. Чему равно ускорение a_1 первого шара сразу после одновременного отпускания обоих шаров, если ускорение второго шара оказалось равно a_2?

Задача 2. Растворы Глюка

Экспериментатор Глюк проводил опыты с разбавленными растворами: он взял U-образную трубку, разделил её на две части перегородкой, пропускающей только воду, и налил в одно колено трубки чистую воду, а в другое — раствор вещества X в воде (рис. 1). Глюк измерил оказавшуюся очень малой долю x вещества X от общего количества вещества в правом колене и обнаружил, что поверхности жидкостей в коленах трубки расположены на разных уровнях, причём разность высот Δh зависит от температуры T по формуле $\Delta h = xRT/(\mu g)$, где R — универсальная газовая постоянная, μ — молярная масса воды, g — ускорение свободного падения.

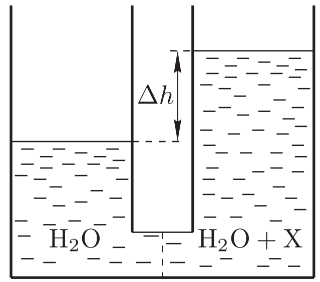

Рис. 1

1. Найдите разность ΔP давлений жидкостей по разные стороны от перегородки. Плотность ρ_0 чистой воды и поддерживаемая температура T известны.

2. На какую величину ΔP_n давление насыщенного водяного пара над раствором меньше давления P_n насыщенного пара над чистой водой? Считайте, что вещество X не испаряется.

3. На какую величину ΔT_k температура кипения раствора при атмосферном давлении P_0 выше температуры кипения чистой воды? Температура T_k кипения чистой воды зависит от высоты z над уровнем моря (в диапазоне малых высот) по формуле $T_k(z) = T_k(0) - \lambda z$, где λ — известная константа. Плотность воздуха ρ известна.

Условия уносите с собой!

Задача 3. Бусинка на винтовой линии

Маленькую бусинку надели на длинную проволоку, изогнутую в форме винтовой линии с шагом H, вписанную в вертикальный цилиндр радиусом R, и отпустили без начальной скорости. Коэффициент трения между проволокой и бусинкой равен μ. Найдите установившийся модуль скорости v бусинки.

Задача 4. Поочерёдное заземление

Обкладками сферического конденсатора являются две концентрические металлические сферы радиусами r и R ($r < R$). Конденсатор зарядили до напряжения U_0, а затем с помощью перекидного ключа начали поочерёдно заземлять обкладки конденсатора (рис. 2). Первой заземлили внутреннюю обкладку, затем внешнюю, потом снова внутреннюю и т. д. В итоге каждую из обкладок заземлили n раз. Найдите конечные заряды q_n и Q_n на внутренней и внешней обкладках соответственно.

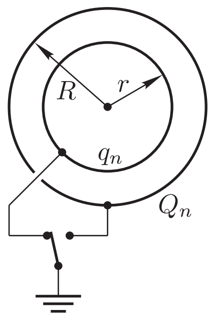

Рис. 2

Задача 5. Электромагнитная фольга

Две закреплённые полоски хорошо проводящей фольги подключены с одного конца к источнику с внутренним сопротивлением r, а с другого конца — к универсальным клеммам (рис. 3). Если между клеммами ничего не подключено, то полоски взаимодействуют с силой F_1, а если замкнуть клеммы накоротко, то — с силой F_2.

1. С какой силой F_3 будут взаимодействовать полоски, если к клеммам подключить резистор сопротивлением R?

2. При каком сопротивлении R эта сила будет нулевой?

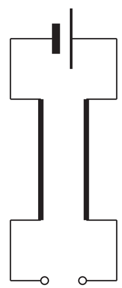
Рис. 3

Условия уносите с собой!

Senior league

Problem 1. Undecided small ball

Two large smooth plates move codirectionally and perpendicular to their planes with constant velocities $\vec{u}_1$ and $\vec{u}_2$ (fig. 8). A small light ball moves between the plates elastically reflecting from them. At an initial moment of time a distance between the plates is equal to L_0, and the ball touches the overtaking plate and has a velocity $\vec{u}_0$ directed at an angle φ to the velocity $\vec{u}_1$ of the plate. It is known a relation between speeds: $u_0 \cos\varphi > u_1 > u_2 > 0$.

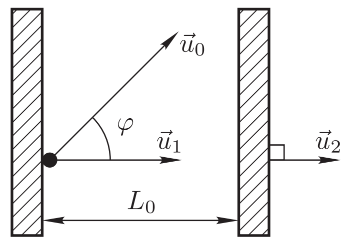

Fig. 8

1. Find a magnitude of displacement S_∞ of ball to a moment, when it makes very many collisions with the plates.

2. Find a magnitude of displacement S_n of ball to a moment immediately after an nth collision with the plate for any given n.

Problem 2. Particle in field

As a result of interaction only with a homogeneous magnetic field with a magnetic induction B a particle of mass m with a charge q flies with a constant in magnitude velocity v along a trajectory having a radius of curvature R.

1. Specify a condition, under which the given data are consistent.
2. Estimate a distance l, to which the particle will shift during a large time t.
3. Find a criterion of applicability of used approximation.
4. Determine the exact distance L, to which the particle will shift during an arbitrary time t.

Problem 3. Rearrangement of words

At what positive angle φ to the horizon is it necessary to throw a body so that during a time of its flight before its return to an original height an average of absolute value of vector of tangential acceleration coincides with an absolute value of average of vector of normal acceleration? Do not take into account air resistance.

Note. In this problem it is not required to give an answer in a general form, but it is necessary and sufficient to obtain the desired value with accuracy to tenths of angular degree.

Take with you this problem list!

Problem 3. Bead on helix

A small bead was put on a long wire bent in a form of helix with a lead H, inscribed in a vertical cylinder of radius R, and the bead was released without an initial speed. A coefficient of friction between the wire and the bead is equal to μ. Find a steady speed v of bead.

Problem 4. Alternate grounding

Plates of spherical capacitor are two concentric metal spheres of radii r and R ($r < R$). The capacitor was charged to a voltage U_0, and then by means of flip-flop switch one started to alternately ground the capacitor plates (fig. 6). The inner plate was grounded as the first one, then the outer plate was grounded, then again the inner plate was grounded, and so on. As a result, each of plates was grounded n times. Find final charges q_n and Q_n on the inner and outer plates, respectively.

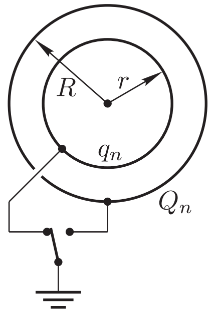

Fig. 6

Problem 5. Electromagnetic foil

Two fixed strips of well conductive foil are connected from one end to a source with an internal resistance r, and from the other end to universal terminals (fig. 7). If between the terminals nothing is connected, then the strips interact with each other with a force F_1, and if the terminals are short-circuited, then the strips interact with each other with a force F_2.

1. With what force F_3 will the strips interact with each other if a resistor of resistance R is connected to the terminals?
2. At what resistance R will this force be equal to zero?

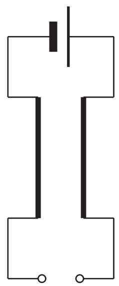

Fig. 7

Take with you this problem list!

Старшая лига

Задача 1. Неопределившийся шарик

Две большие гладкие плиты движутся сонаправленно и перпендикулярно своим плоскостям с постоянными скоростями $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ (рис. 4). Маленький лёгкий шарик движется между плитами, упруго отражаясь от них. В начальный момент времени расстояние между плитами равно L_0, а шарик касается догоняющей плиты и имеет скорость $\vec{u}_0$, направленную под углом φ к скорости $\vec{u}_1$ этой плиты. Известно соотношение между скоростями: $u_0 \cos\varphi > u_1 > u_2 > 0$.

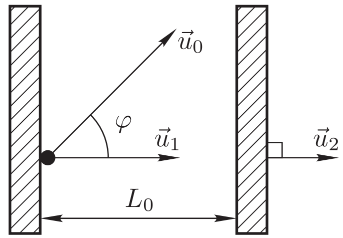

Рис. 4

1. Найдите модуль перемещения S_∞ шарика к моменту, когда он сделает очень много соударений с плитами.
2. Найдите модуль перемещения S_n шарика к моменту сразу после n-го соударения с плитой для любого заданного n.

Задача 2. Частица в поле

В результате взаимодействия только с однородным магнитным полем индукцией B частица массой m с зарядом q летит с постоянной по модулю скоростью v вдоль траектории, имеющей радиус кривизны R.

1. Укажите условие, при котором исходные данные непротиворечивы.
2. Оцените расстояние l, на которое сместится частица за большое время t.
3. Найдите критерий применимости использованного приближения.
4. Определите точное расстояние L, на которое сместится частица за произвольное время t.

Задача 3. Перестановка слов

Под каким положительным углом φ к горизонту нужно бросить тело, чтобы за время его полёта до возвращения на исходную высоту среднее значение модуля вектора тангенциального ускорения совпало с модулем среднего значения вектора нормального ускорения? Сопротивление воздуха не учитывайте.

Примечание. В этой задаче не требуется давать ответ в общем виде, а необходимо и достаточно получить искомое значение с точностью до десятых долей углового градуса.

Условия уносите с собой!

Задача 4. Треугольная пластина

Пластина в форме правильного треугольника со стороной $\ell\sqrt{2}$ равномерно заряжена с поверхностной плотностью σ. Найдите напряжённость E электрического поля в точке O, расположенной на одинаковом расстоянии ℓ от каждой вершины пластины.

Задача 5. Комнатная термодинамика

Задача *A*. В окне закрытой комнаты установлено бронированное стекло толщиной $h_1 = 8$ см, имеющее коэффициент теплопроводности $\varkappa_1 = 0{,}3$ Вт/(м·К). Температура на улице равна $T_1 = -20$°C, а в комнате поддерживают температуру $T_2 = 20$°C. Считайте, что около окна образуется переходный слой воздуха толщиной $h_2 = 2$ см, температура которого меняется от температуры комнаты до температуры внутренней стороны окна. Какая относительная влажность φ установится в комнате, если изначально воздух был достаточно влажный? Коэффициент теплопроводности воздуха примите равным $\varkappa_2 = 0{,}025$ Вт/(м·К).

Задача *B*. Найдите отношение x скоростей падения температуры от начального значения $T = 15$°C сразу после отключения отопления в закрытой комнате с сухим воздухом и в точно такой же комнате с максимально влажным воздухом, если не учитывать теплоёмкость стен и предметов в комнате. Атмосферное давление $P_0 = 100$ кПа. Удельная теплота парообразования воды при низких температурах составляет $L = 2{,}5$ МДж/кг.

Таблица 1

T, °C	P, Па	T, °C	P, Па
0	611,0	0	611,0
1	657,3	−1	568,6
2	705,8	−2	528,3
3	758,4	−3	490,6
4	813,4	−4	455,2
5	872,5	−5	422,2
6	935,1	−6	391,3
7	1002	−7	362,4
8	1073	−8	335,4
9	1148	−9	310,3
10	1228	−10	286,8
11	1313	−11	264,9
12	1402	−12	244,6
13	1498	−13	225,6
14	1598	−14	208,0
15	1706	−15	191,6
16	1818	−16	176,4
17	1938	−17	162,2
18	2064	−18	149,1
19	2198	−19	137,0
20	2338	−20	125,7

Примечание. В задачах A и B речь идёт о разных комнатах. Давление насыщенного пара при некоторых температурах приведено в табл. 1.

Условия уносите с собой!

Junior league

Problem 1. Balls in infinite ocean

Suppose that the whole Universe is filled with an incompressible liquid with a density ρ_0, in which there are located at a large distance L from each other two uniform solid balls each having a volume V and densities ρ_1 and ρ_2.

1. With what force F_1 do the balls interact with each other?
2. Find vector sums F_{21} and F_{22} of fluid-pressure-induced forces on the first and second balls, respectively.
3. What external forces F_{31} and F_{32} must be applied to the first and second balls, respectively, to keep them at rest?
4. What is an acceleration a_1 of the first ball immediately after a simultaneous release of both balls, if an acceleration of the second ball is equal to a_2?

Problem 2. Gluck's solutions

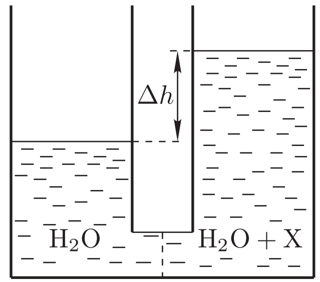

Fig. 5

Gluck, an experimenter, carried out experiments with dilute solutions: he took a U-shaped tube, divided it into two parts by a partition, which is permeable only to water, and poured pure water in one knee of tube, and in the other knee he poured a water solution of substance X (fig. 5). Gluck measured a turned out to be very small fraction x of substance X of total amount of matter in the right knee and found that surfaces of liquids in the knees of tube are located on different levels, moreover, a difference of heights Δh depends on a temperature T according to a formula $\Delta h = xRT/(\mu(g)$, where R is the universal gas constant, μ is the molar mass of water, g is the free fall acceleration.

1. Find a difference ΔP of pressures of liquids on different sides from the partition. The density ρ_0 of pure water and a maintained temperature T are known.
2. By what value ΔP_n is a saturated water vapor pressure above the solution less than a saturated vapor pressure P_n above the pure water? Suppose that the substance X does not evaporate.
3. By what value ΔT_k is a boiling temperature of solution at an atmospheric pressure P_0 greater than a boiling temperature of pure water? The boiling temperature T_k of pure water depends on a height z over sea level (in a range of small heights) according to a formula $T_k(z) = T_k(0) - \lambda z$, where λ is a known constant. A density of air ρ is known.

Take with you this problem list!