

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ!»
ПО ФИЗИКЕ.**

2020/21 учебный год, ЗАДАНИЯ ОТБОРОЧНОГО ЭТАПА.

10 и 11 классы.

Задание отборочного тура состояло из тестовой части (с варьируемыми данными, проверялись только **ответы**) и творческой части (проверялись и оценивались **решения**).

Часть I. Тестовое задание. Пример варианта.

Вопрос 1 (8 баллов):

Однородный куб массой 400 г покоится на горизонтальной поверхности. Коэффициент трения между кубиком и поверхностью равен 0,18. К середине одного из его верхних ребер прикладывают силу, линия действия которой лежит в одной вертикальной плоскости с центром куба (см. рисунок). При какой минимальной величине этой силы возможно, что куб начнет вращаться вокруг оси, проходящей через его нижнее ребро, причем эта ось не будет перемещаться? Ответ запишите в ньютонах, с точностью до сотых, без указания единиц измерения. Ускорение свободного падения считать равным $9,80 \text{ м/с}^2$.

Вопрос 2 (8 баллов):

Над двумя молями одноатомного идеального газа производят последовательно серию из 12 процессов, каждый из которых состоит из изохорного нагревания и изобарного охлаждения. При этом в первом изохорном процессе температура газа увеличивается на 1,2 К, во втором – на 1,3 К, в третьем – на 1,4 К и так далее. В первом изобарном процессе температура уменьшается на 0,5 К, во втором – на 0,6 К, в третьем – на 0,7 К и так далее. Найдите количество теплоты, сообщенное газу во всех 12 процессах. Ответ запишите в джоулях, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения. Универсальная газовая постоянная примерно равна $8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$.

Вопрос 3 (9 баллов):

В электролитическую ванну с раствором серной кислоты погружают на одинаковую глубину h два длинных и тонких вертикальных стержня на небольшом расстоянии друг от друга (диаметр стержней и расстояние между ними намного меньше h). К стержням подключили источник постоянного напряжения, и за 1 минуту в ванне выделилось 21 мг водорода. Затем стержни погрузили в ванну на глубину $2h$, и теперь при подключении того же источника за одну минуту выделилось 31 мг водорода. Какая масса водорода выделится за минуту в аналогичном опыте, если стержни погрузить на глубину $4h$? Сопротивление стержней и внутреннее сопротивление источника намного меньше сопротивления электролита даже при максимальном погружении. Ответ запишите в мг, с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

Часть II. «ИСТОРИИ ФЕДОРА СИМЕОНОВИЧА КИВРИНА».

Внимание! В задании было указано, что необходимо предоставлять **решение** каждой задачи части II. Поэтому в работах, в которых представлены **только ответы**, выставялся **1 балл** за каждый правильный ответ, оценивание которого было предусмотрено критериями.

1. («Темные звезды», 16 баллов) Однажды, в гостях у Генри Кавендиша, Федор Симеонович прочитал письмо Джона Митчела о «темных звездах» - так Митчел назвал объекты, свет от которых не может дойти до удаленного наблюдателя из-за гравитационного притяжения звезды (нужно отметить, что Митчел использовал закон тяготения Ньютона, механику Ньютона и корпускулярную оптику). Эта идея очень заинтересовала Федора Симеоновича.

1.1. Пользуясь теми же теориями, что и Дж.Митчел, ответьте на вопрос: каким должен быть радиус темной звезды с массой m , чтобы ее не было видно внешнему наблюдателю с расстояния, более чем вдвое превышающего ее радиус? Вычислите этот радиус для массы звезды, равной массе Солнца $m_{\odot} \approx 2 \cdot 10^{30}$ кг. Скорость света считайте равной $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с, гравитационная постоянная $G \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$.

Уже в XX веке он познакомился с решением Карла Шварцшильда в Общей Теории Относительности, описывающим «черные дыры» - объекты, окруженные «горизонтом» событий, из-под которого ничто не может выйти. Однажды коллеги – астрономы рассказали ему о наблюдении необычной звезды, которая вращалась вокруг некоторой точки по окружности радиусом 9 а.е. (1 а.е. – единица измерения расстояний, используемая в астрономии и примерно равная среднему радиусу орбиты Земли) с периодом 10 земных лет, но при этом второго объекта в этой системе не было видно.

1.2. Считая, что вторым объектом в этой системе является темная звезда или черная дыра, определите ее массу.

В другой раз он узнал о наблюдении еще одной «астрофизической черной дыры» (так в физике и астрономии называют реально существующие в космосе объекты, по наблюдаемым проявлениям похожие на шварцшильдовские черные дыры). Астрономам удалось увидеть, как две «блуждающие звезды» прошли мимо этого объекта. Скорость первой относительно объекта на большом расстоянии от него была на 25% больше, чем аналогичная скорость второй, но вектора скоростей обеих звезд в результате прохождения мимо объекта повернулись на один и тот же угол. Минимальное расстояние от траектории первой звезды до объекта было равно 24 а.е., а момент прохождения через точку наибольшего сближения с объектом для второй звезды не удалось зафиксировать из-за пылевого облака, закрывшего часть ее траектории.

1.3. Определите минимальное расстояние от траектории второй звезды до объекта.

2. («Тайная субстанция», 25 баллов) Один из подчиненных Федора Симеоновича – бакалавр черной магии Магнус Федорович Редькин – на протяжении многих лет пытался найти Белый Тезис, созданный Бен Бецалелем. И однажды Федору Симеоновичу удалось найти в манускрипте XVII века сведения об этом артефакте. Согласно манускрипту, Белый Тезис – это сгусток необычной субстанции массой 10 мин (что в метрической системе мер соответствует примерно 5 кг). В отношении свойств этой субстанции были сообщены следующие сведения (приведены в переводе на современный язык с современными единицами измерения):

- уравнение изотермы в координатах давление-объем $pV^2 = const$;
- уравнение изохоры в координатах давление-температура $\frac{p}{T_0 + T} = const$, где $T_0 = 173\text{K}$;
- при постоянных температуре и объеме давление субстанции растет пропорционально квадрату ее массы;
- уравнение адиабаты в координатах плотность-температура является линейной функцией $\rho(T) = \rho_1 + K(T - T_1)$, где коэффициент K не был сообщен.
- Внутренняя энергия массы m субстанции как функция объема и температуры определяется формулой $U(V, T) = \frac{\alpha m^2}{V} + \beta m T^2$, где $\alpha = 10^{-12} \text{ м}^5/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$, а $\beta = 10^{-10} \text{ м}^2/(\text{К}^2 \cdot \text{с}^2)$.

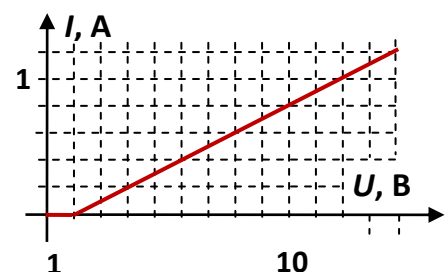
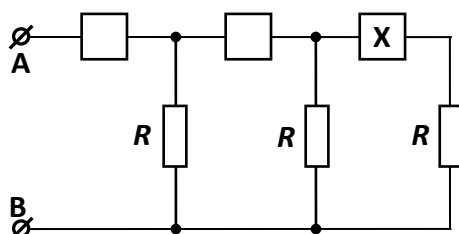
Пользуясь этими сведениями, ответьте на следующие вопросы:

2.1. Чему равен коэффициент K ?

2.2. Чему равен радиус Белого Тезиса и давление в его центре в отсутствие внешнего давления в невесомости (то есть когда давление внутри создается гравитационным притяжением самой субстанции) при температуре субстанции T_0 . Считайте, что при этих условиях субстанция подчиняется закону всемирного тяготения Ньютона и ньютоновской механике.

3. («Быстрые птицы», 14 баллов) В погожий весенний день Федор Симеонович отправился в парк фотографировать птиц. Он взял с собой старинный фотоаппарат, в котором использовались фотопластинки, и оборудование для проявления пластинок на месте. В одном месте птицы постоянно летали через ручей, и Федор Симеонович установил аппарат на расстоянии $L = 7 \text{ м}$ от линии их полетов. Повозившись с настройками, он обнаружил, что все, даже самые быстрые птицы получались на снимках четкими, если время экспозиции пластин не превышало $\tau = 2 \text{ мс}$. При этом листья деревьев, находящиеся на расстояниях менее $l = 4 \text{ м}$ от объектива, оказывались размытыми. Диаметр объектива его фотоаппарата равнялся $d = 24 \text{ мм}$. С какой скоростью летали самые быстрые птицы в парке?

4. («Конечная цепь», 20 баллов) Федор Симеонович очень любил давать сотрудникам отдела линейного счастья задания, которые те выполняли с удовольствием. Одному из лаборантов очень нравилось проводить измерения с помощью точных цифровых мультиметров, и Федор Симеонович поручил ему снять вольт-амперную характеристику цепи АВ из трех одинаковых звеньев, содержащих нелинейные элементы X и резисторы с сопротивлением $R = 5 \text{ Ом}$ (см. рисунок слева). График полученной лаборантом ВАХ показан на рисунке справа. Взглянув на график, Федор Симеонович заметил, что следует продолжить измерения – по крайней мере до значения входного напряжения, равного 30 В . Он также сообщил, что ВАХ самого элемента X состоит из прямолинейных отрезков и содержит две точки «излома» на участке от нулевого до максимального разрешенного для X значения напряжения, равного 40 В .



- 4.1. Укажите координаты точек излома (U, I) на ВАХ элемента X.
- 4.2. Какова сила тока через элемент X при напряжении, равном 6 В?
- 4.3. При каком значении входного напряжения лаборант обнаружит вторую точку излома на ВАХ цепи АВ?