

Задания заключительного этапа Олимпиады школьников СПбГУ по физике 2021-2022 гг.

Участникам заключительного этапа предлагался к решению вариант, состоящий из 5 задач. Вариант для каждого участника выбирался случайным образом из заранее подготовленных.

9 класс

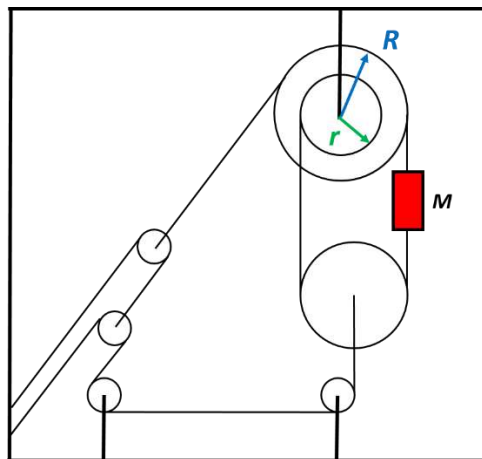
Вариант 1

Задача 1

В камере, заполненной воздухом при давлении $p_0 = 20$ кПа, находятся два одинаковых сосуда высотой $H = 30$ см и площадью основания $S = 100$ см². Сосуды соединены тонкой трубкой, расположенной у дна; один из них плотно закрыт неподвижной тонкой пробкой. Определите, какой объем воды с плотностью $\rho = 1000$ кг/м³ нужно влить в открытый сосуд, чтобы она начала переливаться через край? Так как температура в камере не изменяется, то состояние воздуха в замкнутом объеме описывается соотношением $pV = const$. Объем налитой воды считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом камеры.

Задача 2

На рисунке изображена система идеальных блоков, соединенных друг с другом невесомыми нерастяжимыми нитями, в которой подвешен груз массой M так, как показано на рисунке. Верхние соосные блоки радиусами $R = 15$ см и $r = 12$ см жестко скреплены друг с другом и могут вращаться вокруг своей оси. Конец нити, намотанной на блок радиуса r , закреплен на этом блоке. Все нити в системе одинаковые, не провисают, не проскальзывают и могут выдерживать максимальную силу натяжения $T_{max} = 110$ Н. Определите максимальную массу груза M , которого можно подвесить таким образом, чтобы при этом ни одна из нитей не оборвалась. Трение в осях блоков отсутствует. Ускорение свободного падения примите равным $g = 10$ Н/кг.



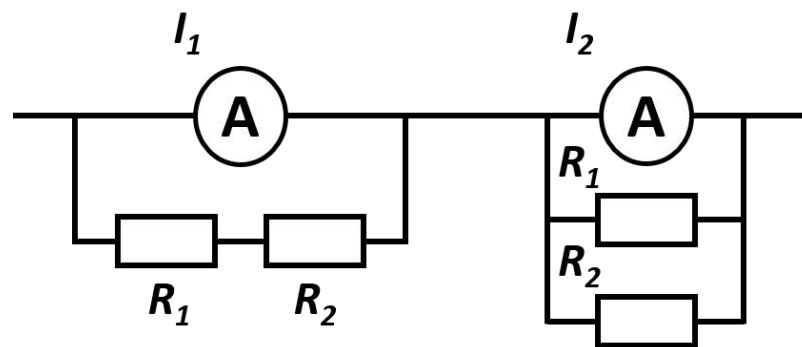
Задача 3

Из города А в город В можно добраться по соединяющему их речному каналу за время $t_{пл}$, если плыть на плоту. Из города А отчаливает катер и направляется в город В. Для наиболее быстрого прохождения маршрута капитан сразу же включает мотор, позволяющей катерку двигаться с постоянным ускорением. Кроме того, капитан знает, что для того, чтобы остановиться с нулевой скоростью у причала рядом с городом В, ему надо единожды поменять направление тяги мотора на противоположное (модуль ускорения

катера при этом не меняется) и сделать это около определенного дерева, растущего на берегу канала. Определите время движения катера до этого дерева из города А, если известно, что в стоячей воде мотор разгоняет катер до скорости течения воды в канале за время t_c . Считайте, что при отплытии катер мгновенно приобретает скорость воды в канале.

Задача 4

В участок цепи последовательно подключены два одинаковых неидеальных амперметра с пределом измерения 2А. К каждому из них параллельно подключены по два резистора с сопротивлениями $R_1=0.1$ Ом и $R_2=0.4$ Ом. В одном случае резисторы подключены последовательно друг другу, в другом – параллельно друг другу (см. рисунок). Первый амперметр показывает $I_1=1.25$ А, а второй $I_2=0.1$ А. Каковы сопротивления амперметров? Какая максимальная сила тока в цепи может быть измерена с помощью такого подключения этих амперметров?



Задача 5

Клава придумала следующую систему автоматического полива. На ее участке у самого края грядки на постаменте стоит бочка для воды. Клава решила просверлить в стенке бочки маленькое отверстие и снабдить его пробкой. По задумке, она будет наполнять бочку водой доверху, а затем открывать отверстие, и струйка воды из него будет литься на грядку. Какова наибольшая длина грядки, которую можно целиком полить таким способом? На каком расстоянии от дна бочки для этого нужно проделать отверстие? Высота постамента a , высота бочки $b > a$. Считайте воду идеальной несжимаемой жидкостью, ее течение ламинарным, а диаметр отверстия много меньше диаметра бочки. Струя воды из бочки вылетает горизонтально. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Примечание. Ламинарным называется течение жидкости, при котором ее слои не перемешиваются. Траектории движения малых элементов жидкости не пересекаются и называются линиями тока. Идеальной называется жидкость с нулевой вязкостью, т.е. при течении между ее слоями не возникает трения. Для установившегося ламинарного течения идеальной несжимаемой жидкости справедлив закон Бернулли: вдоль линии тока сумма давления и объемных плотностей кинетической и потенциальной энергии жидкости остается постоянной: $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = const$.

Вариант 2

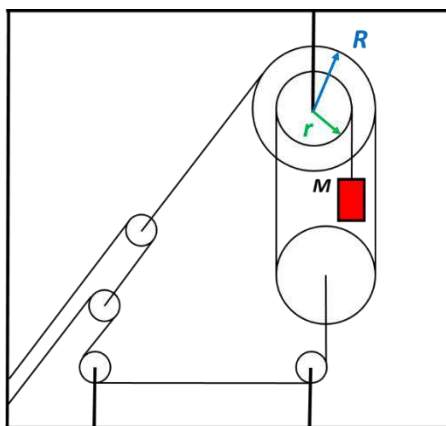
Задача 1

В камере, заполненной воздухом при давлении $p_0 = 25$ кПа, находятся два одинаковых сосуда высотой $H = 50$ см и площадью основания $S = 200$ см². Сосуды соединены тонкой трубкой, расположенной у дна; один из них закрыт тонкой пробкой. Определите, какой объем жидкости с плотностью $\rho = 820$ кг/м³ нужно влить в открытый сосуд (жидкость не

переливается через край), чтобы пробка вылетела? Максимальная величина силы трения покоя, действующей на пробку, равна $F = 30$ Н. Так как температура в камере не изменяется, то состояние воздуха в замкнутом объеме описывается соотношением $pV = const$. Объем налитой жидкости считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом камеры. Массой пробки можно пренебречь.

Задача 2

На рисунке изображена система невесомых блоков, соединенных друг с другом невесомыми нерастяжимыми нитями, в которой подвешен груз массой M так, как показано на рисунке. Верхние соосные блоки радиусами R и r жестко скреплены друг с другом и могут вращаться вокруг своей оси. Все нити в системе одинаковые, не провисают, не проскальзывают и могут выдерживать максимальную силу натяжения $T_{max} = 105.35$ Н. Определите максимальную массу груза M , которого можно подвесить таким образом, чтобы при этом ни одна из нитей не оборвалась. Трение в осях блоков отсутствует. Ускорение свободного падения примите равным $g = 9.8$ Н/кг.

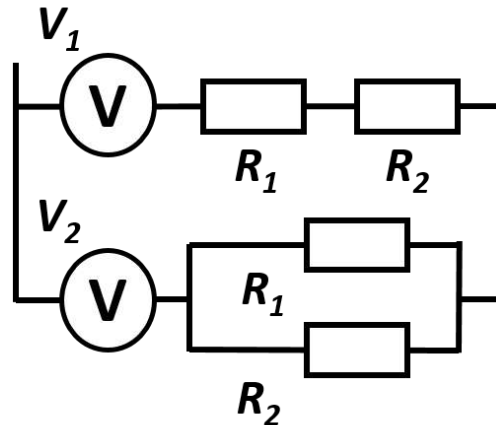


Задача 3

Конвейерная лента движется с постоянной скоростью u . На ленту в точке А ставят радиоуправляемую машинку (машинка при это неподвижна относительно ленты) и сразу запускают против направления движения ленты в точку В. Машинка сначала движется с постоянным ускорением a , а затем в какой-то момент начинает тормозить с тем же ускорением, и в точку В приезжает с нулевой скоростью относительно неподвижного наблюдателя. Определите расстояние между точками А и В, если за все время движение машинки конвейерная лента прошла расстояние S .

Задача 4

В цепь параллельно подключены два одинаковых неидеальных вольтметра с пределом измерения 12 В. К каждому из них последовательно подключены по два резистора с сопротивлениями $R_1=20$ кОм и $R_2=80$ кОм. В одном случае резисторы подключены последовательно друг другу, в другом – параллельно друг другу (см. рисунок). Первый вольтметр показывает $U_1=3$ В, а второй $U_2=10$ В. Каковы сопротивления вольтметров? Какое максимальное напряжение в этой цепи может быть измерено с помощью такого подключения этих вольтметров?



Задача 5

У Васи на даче есть бочка для сбора дождевой воды, стоящая на постаменте высотой a . Вася просверлил в ее стенке друг под другом два небольших отверстия – верхнее на расстоянии h_1 , а нижнее на расстоянии h_2 от дна бочки – и заткнул их пробками. Однажды после дождя, когда оба отверстия оказались под водой, Вася мелком отметил уровень воды в бочке, открыл верхнее отверстие и отметил наиболее удаленное от постаamenta место, куда попала струя воды. После этого Вася закрыл верхнее отверстие, долил в бочку воды до отметки и открыл нижнее отверстие. Струя упала на землю в ту же точку, что и в предыдущий раз. Какой уровень воды в бочке был после дождя? На каком расстоянии от постаamenta струи воды падали на землю? Считайте воду идеальной несжимаемой жидкостью, ее течение ламинарным, а диаметр отверстия много меньше диаметра бочки. Струя воды из бочки вылетает горизонтально. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Примечание. Ламинарным называется течение жидкости, при котором ее слои не перемешиваются. Траектории движения малых элементов жидкости не пересекаются и называются линиями тока. Идеальной называется жидкость с нулевой вязкостью, т.е. при течении между ее слоями не возникает трения. Для установившегося ламинарного течения идеальной несжимаемой жидкости справедлив закон Бернулли: вдоль линии тока сумма давления и объемных плотностей кинетической и потенциальной энергии жидкости остается постоянной: $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = const$.

Вариант 3

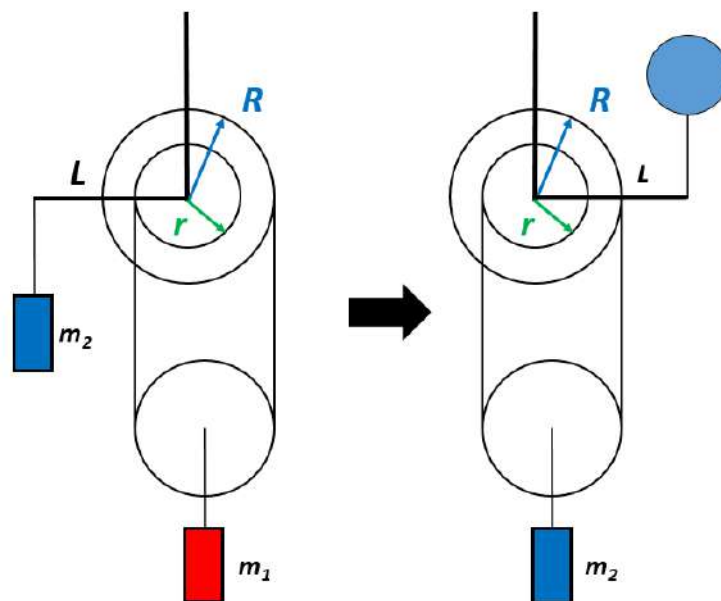
Задача 1

В камере, заполненной воздухом при давлении $p_0 = 20$ кПа, находятся два одинаковых сосуда высотой $H = 1$ м и площадью основания $S = 680$ см². Сосуды соединены тонкой трубкой, расположенной у дна; один из них плотно закрыт неподвижной тонкой пробкой. В открытый сосуд вливают некоторое количество воды с плотностью $\rho = 1000$ кг/м³, после чего в закрытом сосуде ее уровень устанавливается на высоте $h_1 = 20$ см. Затем систему нагревают и поддерживают при постоянной температуре и том же давлении воздуха в камере p_0 , при этом уровень воды в закрытом сосуде изменяется на $\Delta h = 5$ см.

Вода из открытого сосуда не выливается. Найдите отношение конечной и начальной температур в камере T/T_0 . Состояние воздуха в замкнутом объеме описывается соотношением $pV/T = const$. Объем налитой воды считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом камеры, тепловым расширением жидкости пренебречь.

Задача 2

На рисунке изображена система невесомых блоков, соединенных друг с другом невесомыми нерастяжимыми нитями. К нижнему блоку прикреплен груз 1 массой $m_1 = 560$ г. Верхние соосные блоки радиусами $R = 20$ см и $r = 18$ см жестко скреплены друг с другом и могут вращаться вокруг своей оси. Концы нитей закреплены на этих блоках. К этой же оси прикреплена ручка длиной $L = 80$ см, к концу которой подвешен груз 2 неизвестной массы. Система находится в равновесии. Затем, груз 2 снимают с ручки и подвешивают вместо груза 1, а ручку переводят в диаметрально противоположное положение и прикрепляют к ней шарик, заполненный гелием. Каким должен быть объем шарика, чтобы система осталась в равновесии? Трение в осях блоков отсутствует, массой пустого шарика пренебречь. Плотность воздуха равна $\rho_{\text{возд}} = 1.3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, плотность гелия $\rho_{\text{He}} = 0.18 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



Задача 3

Конвейерная лента движется с некоторой постоянной скоростью. У ленты в точках А и В стоят флажки. На ленту у каждого из флажков ставят две одинаковые радиоуправляемые машинки (они при этом неподвижны относительно ленты) и сразу же запускают навстречу друг другу. Каждая из машинок сначала движется с постоянным ускорением, а затем в какой-то момент начинает тормозить с тем же ускорением, и приезжает к противоположному флажку с нулевой скоростью относительно неподвижного наблюдателя. Известно, что та из машинок, которая двигалась против хода ленты, изменила своё ускорение через τ_1 после начала движения. Также известно, что моторчик машинки разгоняет ее до скорости, равной скорости конвейерной ленты, за время τ_2 . Определите, сколько времени в пути находилась каждая из машинок.

Задача 4

В ящике лежит множество одинаковых неидеальных амперметров, к каждому из которых припаяны резисторы. Валера перебрал все устройства в ящике и установил:

- К каждому амперметру подключены по два разных резистора, сопротивления которых $R_1=0.2$ Ом, $R_2=0.1$ Ом;
- имеются все возможные способы подсоединения этих резисторов к амперметру;
- среди всех конфигураций амперметров и подключенных к ним резисторов минимальный предел измерения тока оказался равным 4 А.

Определите, в какой из конфигураций амперметра и припаянных резисторов будет максимальный предел измерения тока, и рассчитайте его. Внутреннее сопротивление амперметра известно и равно 0.1 Ом.

Задача 5

У Васи на даче есть бочка для сбора дождевой воды, стоящая на постаменте высотой a . Вася просверлил в ее стенке два небольших отверстия – верхнее на расстоянии h_1 , а нижнее на расстоянии h_2 от дна бочки – и заткнул их пробками. Однажды после дождя, когда бочка оказалась целиком заполнена, Вася открыл верхнее отверстие. Дождавшись, когда вода перестанет течь, он измерил длину мокрого следа, оставленного на земле струей. После этого Вася открыл нижнее отверстие и так же измерил длину следа. Она оказалась такой же, что и у первого следа. Какой уровень воды в бочке был после дождя? Какова длина мокрых следов? Считайте воду идеальной несжимаемой жидкостью, ее течение ламинарным, а диаметр отверстия много меньше диаметра бочки. Струя воды из бочки вылетает горизонтально. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Примечание. Ламинарным называется течение жидкости, при котором ее слои не перемешиваются. Траектории движения малых элементов жидкости не пересекаются и называются линиями тока. Идеальной называется жидкость с нулевой вязкостью, т.е. при течении между ее слоями не возникает трения. Для установившегося ламинарного течения идеальной несжимаемой жидкости справедлив закон Бернулли: вдоль линии тока сумма давления и объемных плотностей кинетической и потенциальной энергии жидкости остается постоянной: $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = const$.

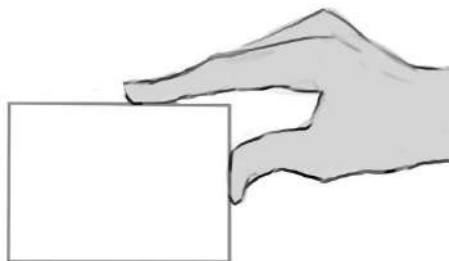
Вариант 4

Задача 1

В камере, заполненной воздухом при давлении $p_0 = 20$ кПа, находятся два одинаковых сосуда высотой $H = 1$ м и площадью основания $S = 100$ см². Сосуды соединены тонкой трубкой, расположенной у дна; один из них плотно закрыт тонкой пробкой. В открытый сосуд вливают некоторое количество воды плотностью $\rho = 1000$ кг/м³, после чего в закрытом сосуде устанавливается уровень жидкости высотой $h_1 = 17$ см. Затем систему нагревают до некоторой температуры, поддерживая давление воздуха в камере на прежнем уровне p_0 (вода из открытого сосуда не выливается), после чего пробка вылетает из сосуда. Максимальная величина силы трения покоя, действующей на пробку, равна $F = 50$ Н. Найдите отношение конечной и начальной температур в камере T/T_0 . Состояние воздуха в замкнутом объеме описывается соотношением $pV/T = const$. Объем налитой воды считать пренебрежимо малым по сравнению с объемом камеры, тепловым расширением жидкости пренебречь. Массой пробки можно пренебречь.

Задача 2

Мальчик удерживает небольшую легкую прямоугольную коробку на весу, взяв ее одной рукой: большой палец касается боковой грани, а остальные – верхней грани коробки. При этом пальцы не проскальзывают, грани коробки не прогибаются, а основание коробки параллельно полу. При каких условиях на коэффициенты трения между пальцами и гранями коробки это возможно?



Задача 3

У конвейерной ленты в точках А и В на расстоянии L друг от друга стоят флажки. Лента движется с постоянной скоростью u в направлении из А в В. На ленту у каждого из флажков ставят две одинаковые радиоуправляемые машинки (они при этом неподвижны относительно ленты) и сразу же запускают навстречу друг другу. Машинка из точки В движется с постоянным ускорением a . Машинка из точки А сначала также движется с постоянным ускорением a , но затем в какой-то момент начинает тормозить с тем же ускорением и подъезжает к флажку В с нулевой скоростью относительно неподвижного наблюдателя. Определите длину отрезка конвейерной ленты, который преодолет машинка из точки В за время от начала движения до момента приезда первой машинки к флажку В?

Задача 4

В ящике лежит множество одинаковых неидеальных вольтметров, к каждому из которых припаяны резисторы. Валера перебрал все устройства в ящике и установил:

- К каждому вольтметру припаяны по три разных резистора $R, 2R, 3R$;
- имеются все возможные способы подсоединения этих трех резисторов к вольтметру, в которых по крайней мере один резистор подключен последовательно с вольтметром;
- Среди всех конфигураций минимальный предел измерения напряжения оказался равным U_{min} , а максимальный – U_{max} .

Определите внутреннее сопротивление и предел измерения одиночного вольтметра.

Задача 5

Для полива грядки Клава использует следующую систему автоматического полива. У самого края грядки на постаменте стоит бочка для воды. Клава взяла бочку, поставила ее на постамент у самого края грядки, просверлила в ее стенке одно под другим два отверстия, и закрыла их пробками. При поливе Клава доверху наполняет бочку, в умеренно дождливый сезон открывает верхнюю пробку, а в засушливый – нижнюю. При этом в обоих случаях струя воды проходит по всей длине грядки. Определите, на каком расстоянии от земли расположены отверстия, если известно, что расстояние между ними H . Высота постаumenta a , высота бочки b . Считайте воду идеальной несжимаемой жидкостью, ее течение ламинарным, а диаметр отверстия много меньше диаметра бочки. Струя воды из бочки вылетает горизонтально. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Примечание. Ламинарным называется течение жидкости, при котором ее слои не перемешиваются. Траектории движения малых элементов жидкости не пересекаются и называются линиями тока. Идеальной называется жидкость с нулевой вязкостью, т.е. при течении между ее слоями не возникает трения. Для установившегося ламинарного течения идеальной несжимаемой жидкости справедлив закон Бернулли: вдоль линии тока сумма давления и объемных плотностей кинетической и потенциальной энергии жидкости остается постоянной: $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = const$.