

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 заготовленных.

10 класс

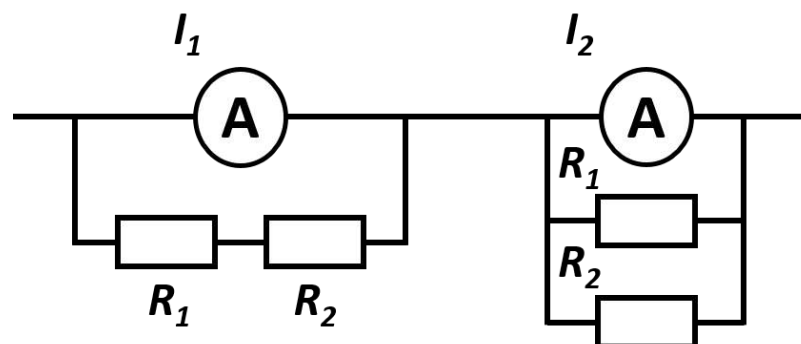
Вариант 1

Задача 1

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 2

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?



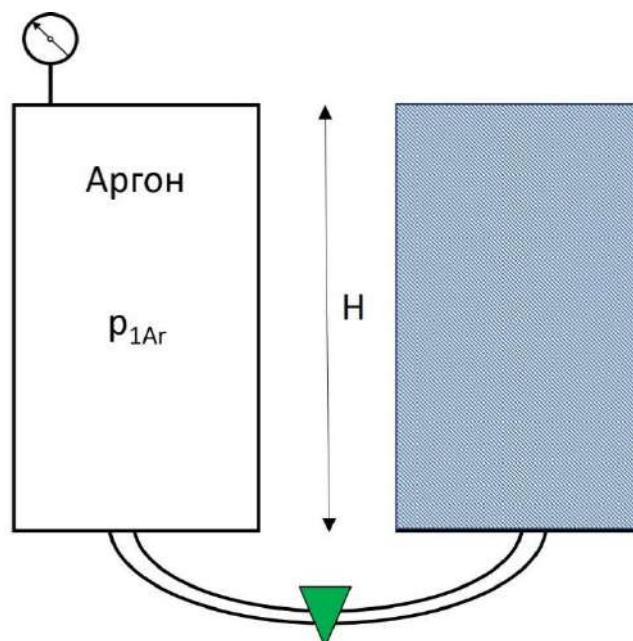
Задача 3

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: $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const}$.

Задача 4

Два одинаковых цилиндрических запаянных сосуда герметично соединены у дна тонкой перемычкой. В перемычку встроен кран-натекатель, который изначально закрыт. Один из сосудов полностью заполнен водой, другой – аргоном при давлении p_{Ar} . В заполненном аргоном сосуде установлен манометр, позволяющий измерять давление газа в сосуде. Кран открывают, вода начинает медленно перетекать. После установления равновесия манометр показывал давление, в n раз большее начального. Определите высоту сосудов. Температура в сосудах остается постоянной. Ускорение свободного падения, плотность воды, плотность и давление насыщенных паров воды при данной температуре считайте известными. Растворением аргона в воде пренебречь.



Задача 5

Рыбак, стоящий на берегу водоема, наблюдает под углом α к вертикали рыбу, находящуюся под водой. Ему кажется, что рыба находится на глубине y' . Определите, на какой реальной глубине находится рыба. Коэффициент преломления воды в водоеме примите равным n , коэффициент преломления воздуха – единице. Расстояние от рыбы до рыбака много больше размера рыбы.

Примечание: синус малого угла приближенно равен самому углу, косинус малого угла – единице.

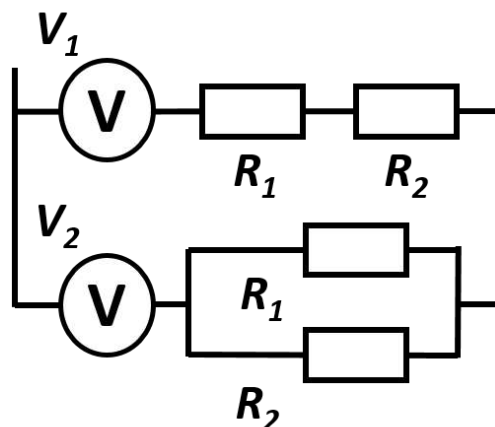
Вариант 2

Задача 1

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 2

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?



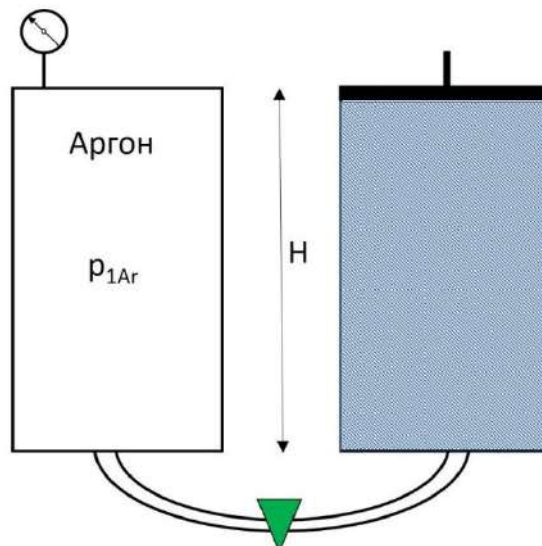
Задача 3

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 постамена 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 постамена 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: $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const}$.

Задача 4

Два одинаковых цилиндрических сосуда герметично соединены у дна тонкой перемычкой и расположены в камере, в которой поддерживается постоянное давление p_0 . В перемычку встроен кран-накататель, который изначально закрыт. Один из сосудов запаян и полностью заполнен аргоном, другой заполнен водой и закрыт подвижным невесомым поршнем,двигающимся без трения. В заполненном аргоном сосуде установлен манометр, позволяющий измерять давление газа в сосуде. Кран открывают, вода начинает медленно перетекать. После установления равновесия манометр показывал давление, в n раз большее начального. Определите высоту запаянного сосуда. Температура в сосудах остается постоянной. Ускорение свободного падения, плотность воды, плотность и давление насыщенных паров воды при данной температуре считайте известными. Растворением аргона в воде пренебречь.



Задача 5

Водолаз, находящийся под водой, наблюдает летящий в небе самолет. Ему кажется, что самолет все время летит на одной и той же высоте y' . Коэффициент преломления воды равен n , коэффициент преломления воздуха считать равным единице. Определите:

1. Как зависит истинная высота самолета от угла наблюдения водолаза (угол наблюдения отсчитывайте от вертикали)?
2. При каких углах наблюдения самолет остается видимым для водолаза?

Примечание: синус малого угла приближенно равен самому углу, косинус малого угла – единице.

Вариант 3

Задача 1

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 2

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.

Пояснение: предел измерения – максимальный ток, протекающий через сегмент цепи, при котором амперметр, подключенный в этот сегмент, не зашкаливает.

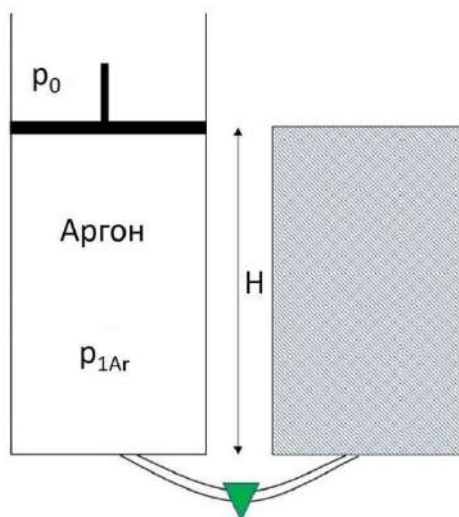
Задача 3

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. Дождявшись, 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. Соппротивлением 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: $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const}$.

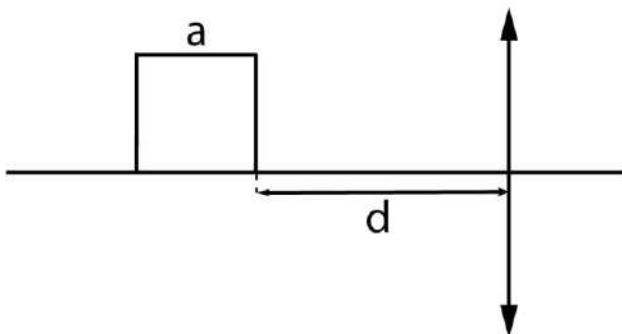
Задача 4

Два сосуда одинакового сечения герметично соединены у дна тонкой перемычкой и расположены в камере, в которой поддерживается постоянное давление p_0 . В перемычку встроен кран-натекатель, который изначально закрыт. Один из сосудов запаян и полностью заполнен водой, его высота H . Другой сосуд заполнен аргоном и закрыт тонким невесомым герметичным поршнем, способным двигаться без трения. Изначально поршень находится вровень с высотой запаянного сосуда. Кран открывают, вода начинает медленно перетекать. После установления равновесия разность уровней воды в сосудах составила h_x . Определите, на сколько поднялся поршень относительно первоначального уровня. Температура в сосудах остается постоянной. Ускорение свободного падения, плотность воды и давление насыщенных паров воды при данной температуре считайте известными. Растворением аргона в воде пренебречь.



Задача 5

Квадрат со стороной a расположен перед тонкой собирающей линзой с фокусным расстоянием F . Как будет зависеть площадь изображения квадрата в зависимости от расстояния d до поверхности линзы? Приведите примерный график этой зависимости и объясните его вид.



Вариант 4

Задача 1

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 2

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.

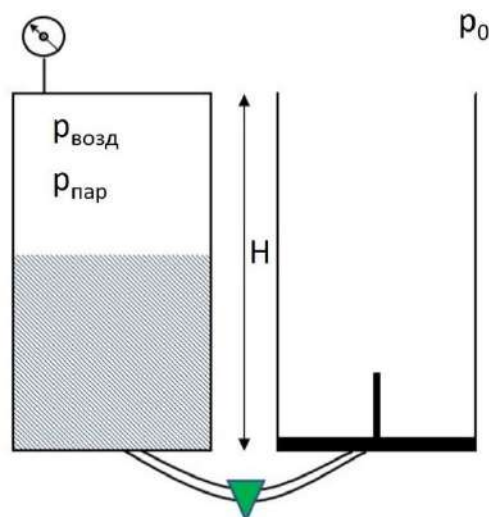
Задача 3

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 постамента 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. Соппротивлением 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: $p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = const$.

Задача 4

Два одинаковых сосуда высотой H герметично соединены у дна тонкой перемычкой и расположены в камере, в которой поддерживается постоянное давление p_0 . В перемычку встроен кран-натекатель, который изначально закрыт. Один из сосудов запаян, в нем находится вода и влажный воздух, на дне другого расположен невесомый герметичный поршень, способный двигаться без трения. В запаянном сосуде установлен манометр, позволяющий измерять давление газа в сосуде. Кран открывают, вода начинает медленно перетекать. После установления равновесия манометр показывал давление, в n раз меньше первоначального. Определите установившийся уровень воды в запаянном сосуде. Температура в сосудах остается постоянной. Ускорение свободного падения, плотность воды, плотность и давление насыщенных паров воды при данной температуре, а также первоначальные показания манометра считайте известными.



Задача 5

Равносторонний треугольник со стороной a расположен перед вогнутым сферическим зеркалом радиуса R (см. рисунок), при этом $R = 10a$. Как будет зависеть площадь изображения треугольника в зависимости от расстояния d до поверхности линзы? Приведите примерный график этой зависимости и объясните его вид. Считать радиус зеркала много больше грани треугольника.

Примечание: фокус вогнутого сферического зеркала расположен перед зеркалом на расстоянии, равном половине радиуса кривизны зеркала.

