



Условия задач, авторские решения, критерии оценивания

1. В погоне за нулём (5 баллов)

Бычков А. И.

Колесо радиусом $R = 50$ см движется без проскальзывания по горизонтальной поверхности, при этом его ось движется с ускорением $a = 1$ м/с². Спустя какое время после начала движения колеса ускорение некоторой его точки, находящейся на расстоянии $r = 25$ см от оси, будет равно нулю?

Ответ: 0,93 с.

Критерии

№	Критерий	Балл
1.1	Найдено тангенциальное ускорение точки, находящейся на расстоянии r , в системе отсчёта, связанной с осью колеса: $a_\tau = \frac{a}{2}$.	1,5
1.2	Написано выражение для нормального ускорения точки в системе отсчёта, связанной с осью колеса: $a_n = \frac{(a_\tau t)^2}{r}$.	1,0
1.3	Высказана мысль о том, что ускорение точки на колесе равно нулю, если геометрическая сумма её тангенциального и нормального ускорений (в подвижной системе отсчёта) равна по модулю и противоположна по направлению ускорению центра колеса \vec{a} (в лабораторной системе отсчёта).	1,5
1.4	Найдено искомое время.	1,0

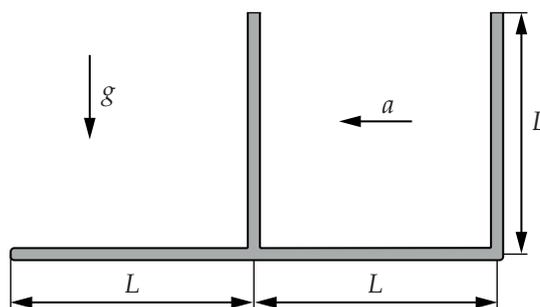
2. F-ускорение (9 баллов)

Черников Ю. А.

F-образную трубку целиком заполнили ртутью, как показано на рисунке. Длина каждого колена трубки равна $L = \frac{p_0}{3\rho g}$, где p_0 — атмосферное давление, ρ — плотность ртути, g — ускорение свободного падения. Трубку начинают двигать горизонтально с плавно возрастающим ускорением a (см. рисунок). Площадь сечения трубки S мала ($\sqrt{S} \ll L$). Давлением паров ртути можно пренебречь.

а) (2 балла) Определите объём вылившейся из трубки ртути, когда ускорение станет равным g . Чему равно давление ртути на левом конце горизонтальной части трубки в этот момент времени?

б) (3 балла) Рассчитайте суммарный объём воздуха в трубке при ускорении, равном $3g$. Приведите схематический рисунок распределения ртути в трубке.



в) (4 балла) Ответьте на вопросы пункта б) для случая $a = 4g$.

Ответ: а) $V_1 = Sl$, $p = 2\rho gl$; б) $V_{в2} = \frac{5}{3}Sl$; в) $\frac{7}{4}Sl$.

Критерии

№	Критерий	Балл
2а.1	Найден вылившийся объём: $V_1 = Sl$.	1,0
2а.2	Найдено давление на левом конце трубки: $p = 2\rho gl$.	1,0
2б.1	Рассчитан суммарный объём воздуха в трубке: $V_{в2} = \frac{5}{3}Sl$.	1,0
2б.2	В описании схемы явно указано наличие разрыва в столбике ртути.	1,0
2б.3	Приведена верная схема расположения ртути в трубке с указанием необходимых величин.	1,0
2в.1	В решении явно записано условие отрыва ртути от левой стенки сосуда.	0,5
2в.2	В решении явно указано, что в правом углу соседствуют воздух и ртуть.	0,5
2в.3	Указано, что при ускорении $3g$ в горизонтальном колене оказался запёртым воздух длиной $\frac{2l}{3}$.	0,5
2в.4	Указано, что столб ртути сместился на $\frac{1}{4}$ из условия о равенстве давления атмосферному в месте соединения левого колена и горизонтальной части трубки. ИЛИ. Указано, что столб ртути сместился на $\frac{1}{2}$ из условия о равенстве давления в запёртом столбе воздуха. $4\rho gl$.	0,5
2в.5	Сделан вывод о противоречивости разных подходов к подсчёту смещения столба в горизонтальной части трубки в модели неразрывного столба ртути.	0,5

№	Критерий	Балл
2в.6	Указано, что столб ртути в правой части горизонтальной трубки будет разбит на отдельные капли, разделенные воздухом.	0,5
2в.7	Найдено значение объёма воздуха в трубке.	0,5
2в.8	Приведена верная схема расположения ртути в трубке.	0,5

3. Оболочка на весах (8 баллов)

Варламов С. Д.

Оболочку с тонкими и плохо проводящими тепло стенками из нерастяжимого гибкого полиэтилена взвесили, когда в ней не было воздуха, получилось значение массы $M = 5$ г. Затем с помощью насоса через трубку с небольшим сечением $S = 0,2$ см² за весьма короткое время $\tau = 5$ с оболочку заполнили до объёма $V = 10$ литров воздухом, который брался снаружи, и сразу же взвесили получившийся мешок с воздухом на тех же весах. Получили значение $0,95M$. Через большое время, когда установилось тепловое равновесие, результат взвешивания для оболочки с воздухом снова оказался M . Давление воздуха внутри оболочки и вне её всегда равно $p_0 = 10^5$ Па. Найдите температуру T_0 окружающего воздуха.

Ответ: (261 ± 1) К.

Критерии

№	Критерий	Балл
3.1	Найдена скорость поступления воздуха в оболочку через отверстие.	1,0
3.2	Записан закон сохранения энергии: сумма начальной внутренней энергии и приобретённой газом энергии упорядоченного движения равна сумме конечной внутренней энергии и работе сил газа против сил внешнего давления.	2,0
3.3	Записано уравнение состояния газа внутри оболочки.	1,0
3.4	Установлена связь между массой газа внутри оболочки и разницей показаний весов.	2,0
3.5	Получено квадратное уравнение для температуры.	1,0

3.6	Найдено верное числовое значение температуры.	1,0
-----	---	-----

4. Треугольник-звезда (7 баллов)

Черников Ю. А.

Известно, что любая схема, с тремя выводными контактами, состоящая из идеальных источников напряжения и резисторов, может быть представлена в виде звезды или треугольника, в ветвях которых стоят идеальные источники питания и сопротивления.

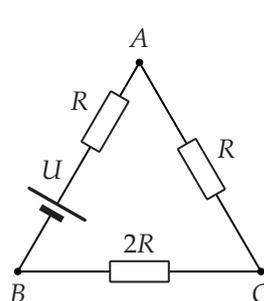


Рис. 1

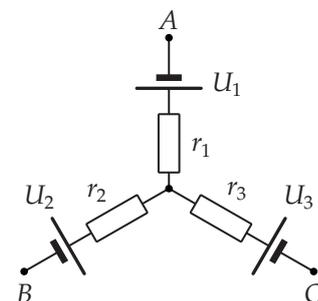


Рис. 2

Пусть в схеме на рис. 1 известны сопротивления и напряжение источника. Проведите эквивалентную замену схемы, изображенной на рис. 1, схемой, изображённой на рис. 2. Для этого рассчитайте, чему могут быть равны сопротивления резисторов и напряжения источников питания в эквивалентной цепи. Укажите, будет ли такое решение единственным? Свой ответ обоснуйте.

Ответ: $r_1 = \frac{R}{4}$; $r_2 = \frac{R}{2}$; $r_3 = \frac{R}{2}$; решение не единственно.

Критерии

№	Критерий	Балл
4.1	Предложен верный способ поиска сопротивлений эквивалентной схемы.	1,0
4.2	Найдены верные значения сопротивлений эквивалентной схемы.	2,0
4.3	Предложен верный способ поиска ЭДС источников питания эквивалентной схемы.	1,0
4.4	Найдены уравнения связи для ЭДС источников питания эквивалентной схемы или найден один набор подходящих источников.	2,0
4.5	Доказано, что решение не единственно.	1,0

5. Рефрактометр (10 баллов)

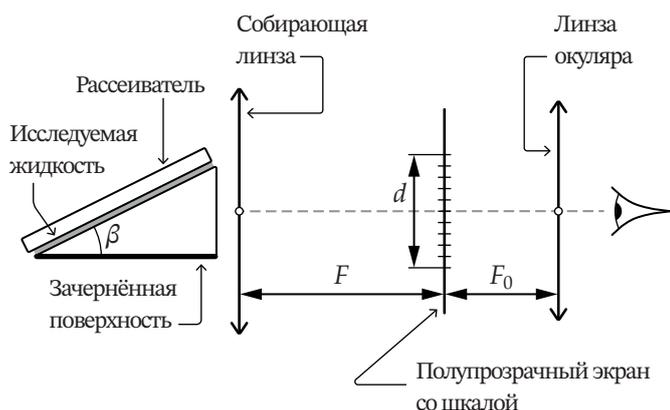
Черников Ю. А.

Рефрактометрия — один из наиболее удобных способов определения концентрации примесей в жидкости путём измерения её показателя преломления.



Простейший рефрактометр представляет собой тубус (см. рисунок, представленный выше), на одном конце которого расположена призма с полированной скошенной гранью. На эту грань наносится капля исследуемой жидкости, которая затем прижимается к поверхности рассеивателем. Рассеиватель обеспечивает освещение жидкости под всеми углами. На другом конце тубуса находится окуляр. При наблюдении через окуляр при направлении яркого света на рассеиватель, видна шкала, часть которой освещена, а часть — нет. Граница между освещённой и неосвещёнными областями определяет показатель преломления жидкости, однозначно связанный с концентрацией примесей.

Принципиальная оптическая схема рефрактометра показана на рисунке, представленном ниже.



За призмой, внутри тубуса, расположена собирающая линза. В её фокальной плоскости находится полупрозрачный матовый экран со шкалой, рассматриваемый через окуляр. В простейшем варианте окуляр представляет собой одну линзу, а экран расположен в её фокальной плоскости. Предполагается отсутствие отражения света от зачернённой поверхности призмы.

Предположим, что необходимо спроектировать рефрактометр для измерения объёмной концентрации спирта в воде с пределом измерения 60%. Призма рефрактометра изготовлена из стекла с показателем преломления $n = 1,500$.

а) (3 балла) Какова величина угла β при вершине призмы, если при помещении на скошенную грань призмы 30%-ного раствора спирта с показателем преломления $n_{30} = 1,350$ граница освещённой области на экране пересекается с оптической осью линзы?

б) (4 балла) Рассчитайте длину шкалы d (см. рисунок) на полупрозрачном экране. Фокусное расстояние линзы $F = 10$ см. Показатель преломления чистой воды $n = 1,333$, 60%-ного раствора спирта — $n_{60} = 1,362$.

в) (3 балла) Шкала рефрактометра должна иметь цену деления 1%. Будем считать, что человеческому глазу комфортно различать предметы на далеком расстоянии, если угловое расстояние между ними не менее $\varphi = 15'$ (15 угловых минут). Рассчитайте максимально возможное фокусное расстояние окуляра F_{\max} .

Ответ: а) $\beta = 25,8^\circ$; б) $d = 6,6$ мм; в) $F_{\max} = 25,2$ мм.

Критерии

№	Критерий	Балл
5а.1	Высказана мысль о том, что границу освещённой области определяют лучи, идущие под критическим углом в призме.	0,5
5а.2	Записано верное выражение для поиска критического угла.	1,0
5а.3	Указано, что лучи, попадающие в точки пересечения экрана и главной оптической оси линзы, не преломляются на выходной грани призмы.	0,5
5а.4	Найден угол скоса призмы.	1,0
5б.1	Рассмотрено преломление на выходной грани призмы.	1,0

86-я Московская олимпиада школьников по физике (2025 г.) 10 класс

5б.2	Записана связь между углом преломления луча на выходной грани призмы и положением его пересечения экрана призмы.	1,0
5б.3	Найдено буквенное выражение для ширины шкалы.	1,0
5б.4	Найдено числовое значение для ширины шкалы.	1,0
5в.1	Указана связь линейный размеров объектов на шкале и их угловых размеров при наблюдении через окуляр.	1,0
5в.2	Найдено выражение для максимального фокусного расстояния.	2,0