Всероссийская олимпиада школьников по физике

2020–2021 учебный год

Муниципальный этап

Свердловская область

**10 класс**

**Инструкция для проверяющих:**

**Проверка отдельной задачи**

При проверке каждой задачи проверяющий заполняет таблицу, которая соответствует критериям проверки.

Для этого необходимо к каждой работе в начале проверки прикрепить лист проверки из 2-х страниц, в который заносятся результаты. Можно распечатать обе страницы на одном листе с 2-х сторон.

## Лист находится далее, его необходимо распечатать в нужном количестве.

**ЛИСТ ПРОВЕРКИ**

## **Задача 1. Кипятильник (10 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Вычислено количество теплоты, необходимое для нагрева воды от 25 до 100 °С | 63 000 Дж | 1 |  |
| Сделана оценка тепловой мощности кипятильника из меди | Вт | 1 |  |
| Использование закона Джоуля-Ленца для связи количества теплоты и параметров кипятильника | (2-3) | 2 |  |
| Использование формулы для сопротивления кипятильника через удельное сопротивление, сечение и суммарную длину медной проволоки с учетом навивки | (4) | 2 |  |
| Получен ответ на вопрос о количестве витков медной проволоки |  | 2 |  |
| Получен ответ на вопрос о времени закипания чайника в случае использования стальной проволоки | с | 2 |  |

**Задача 2. Космический мусорщик (10 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Найдена -компонента скорости мусорщика |  | 1 |  |
| Рассмотрен закон сохранения импульса для первого столкновения | Формула (2) | 1 |  |
| Выражены проекции скорости мусорщика после столкновения | Формула (3) | 1 |  |
| Найдено время движения до первого столкновения |  | 1 |  |
| Найдено время движения до второго столкновения |  | 1 |  |
| Записана формула (6) или аналогичная |  | 1 |  |
| Найдена -компонента скорости мусорщика |  | 1 |  |
| Записан модуль скорости мусорщика |  | 1 |  |
| Найден угол между скоростью мусорщика и горизонталью (или аналогичный) |  | 1 |  |
| Установлено условие возможности данного движения мусорщика |  | 1 |  |

**Задача 3. Трюк (10 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Введена центробежная сила |  | 2 |  |
| Записано уравнение моментов сил |  | 2 |  |
| Найдена скорость движения |  | 3 |  |
| Найден минимальный коэффициент трения (и указано, что он минимальный!) |  | 3 |  |
| Оценка за выражение, если минимальность не указана |  | 0 |
| Оценка за ложный путь решения |  | 0 | |

**Задача 4. Система (10 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Записано уравнение равновесия системы в начальном положении, эквивалентное (1) |  | 2 |  |
| Записано уравнение равновесия системы во втором положении (с грузами), эквивалентное (2) |  | 2 |  |
| Получение зависимости числа грузов х от изменения расстояния нижних основания цилиндров, эквивалентное (3) |  | 1 |  |
| Использовано равенство объемов жидкости, эквивалентное (4) |  | 2 |  |
| Найдена итоговая формула для значения х |  | 3 |  |

## **Задача 5. Термометр сопротивления (15 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Построен график зависимости сопротивления от температуры R(T). Правильно расположены оси, оси подписаны, кривая занимает все поле графика. Отмечены все экспериментальные точки. | за полное выполнение | 6 |  |
| при частично верном построении графика | 3 |
| Определен диапазон температур в котором можно применять данный термометр сопротивления. | 89 - 293 К.  или  105 - 293 К | 3 |  |
| Получено уравнение, позволяющее переводить значения сопротивления в температуру в рабочем диапазоне термометра | k в диапазоне от 0,0075 до 0,0079  b в диапазоне от 82.5 до 83.5 | 3 |  |
| Определено, что данным термометром можно измерить только температуру замерзания воды |  | 3 |  |

## **Задача 1. Кипятильник**

У Ивана в лаборатории сломался чайник. Чтобы вскипятить воду он сделал самодельный кипятильник: навил на трубку диаметром D=5см определенное количество витков проволоки из меди сечением S=0.2мм2 и подключил к источнику напряжения 36 Вольт. Вода в емкости (200 мл, температура 25 °С) закипела за 65 секунд. К сожалению, проволока была очень тонкая и после того, как вода закипела, кипятильник просто перегорел. Он заменил медную проволоку толстой стальной с S=2.5мм2, навил проволоку на трубку того же диаметра и то же количество витков. Сколько витков медной проволоки он намотал? Какова мощность нового кипятильника? За сколько закипит тот же объем воды в новой версии кипятильника из стальной проволоки? Тепловыделением вне навивки, а также теплопотерями через стенки стакана и на испарение пренебречь. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · С). Удельное сопротивление меди: 0.017 Ом\*мм2/м, стали: 0.13 Ом\*мм2/м.

### **Решение:**

Для начала вычислим количество, которое необходимо для нагрева воды от 25 до 100 градусов Цельсия:

Дж. (1)

Именно это количество теплоты должно выделиться на проволоке за 65 секунд. Мы можем оценить мощность кипятильника: Вт.

С другой стороны, оценим это количество теплоты по закону Джоуля-Ленца:

(2)

Отсюда мы можем найти величину сопротивления кипятильника:

(3)

Пусть в первой версии кипятильника было N витков. Соответственно, итоговая длина медной проволоки складывается из длины окружности радиуса D/2 и количества витков N: . Получается, что сопротивление R может быть найдено:

(4)

Следовательно: .

В итоге, мы можем выразить число витков: .

витков.

Теперь найдем сопротивление кипятильника из стальной проволоки проволоки, число витков в нем такое же, изменилась только сама проволока:

.

Для закипания воды на кипятильнике должно выделиться тоже самое количество теплоты, а значит мы вновь пользуемся законом Джоуля-Ленца и можем выразить время закипания в виде:

секунд.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Вычислено количество теплоты, необходимое для нагрева воды от 25 до 100 °С | 63 000 Дж | 1 |
| Сделана оценка тепловой мощности кипятильника из меди | Вт | 1 |
| Использование закона Джоуля-Ленца для связи количества теплоты и параметров кипятильника | (2-3) | 2 |
| Использование формулы для сопротивления кипятильника через удельное сопротивление, сечение и суммарную длину медной проволоки с учетом навивки | (4) | 2 |
| Получен ответ на вопрос о количестве витков медной проволоки |  | 2 |
| Получен ответ на вопрос о времени закипания чайника в случае использования стальной проволоки | с | 2 |

## **Задача 2. Космический мусорщик**

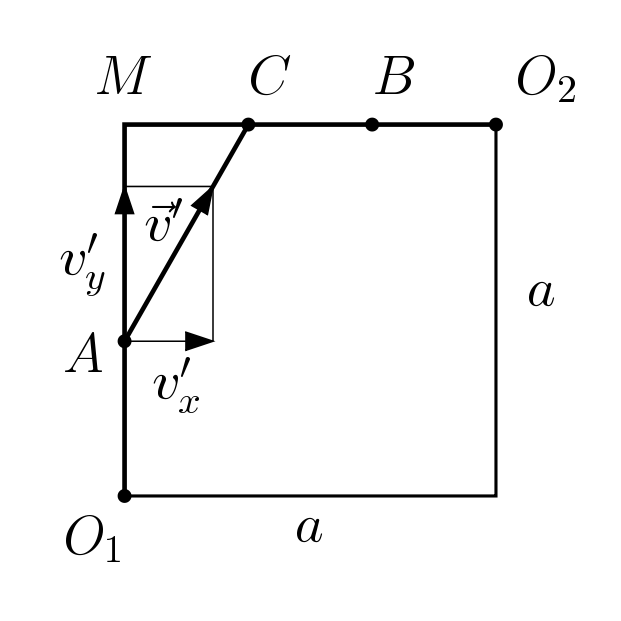
Космический мусорщик M, аппарат массой , очищает квадратную площадку от крупных обломков. Удаление мусора осуществляется так: мусорщик сталкивается с обломком, захватывает его манипуляторами и движется вместе с ним, пока не достигнет границы площадки. Из середин двух сторон площадки одновременно начитают движение два обломка O1 и O2 массой каждый, со скоростями и , как показано на рисунке. Мусорщик вылетает из угла площадки, чтобы захватить сначала первый обломок O1, а затем второй O2. Найдите модуль и направление его скорости . Каким условием должны быть связаны скорости обломков и , чтобы мусорщик смог выполнить такой манёвр в пределах площадки? Мусорщик для экономии топлива включает двигатели только в краткий начальный момент набора скорости, начинает своё движение сразу, как только обломки пересекают границу площадки.

### **Решение:**

Рассмотрим движение мусорщика до столкновения с первым обломком.

Обозначим проекции скорости обломка на горизонтальную и вертикальную оси как и . Очевидно, чтобы мусорщик встретился с первым обломком, его скорость вдоль оси должна совпадать со скоростью обломка:

(1)

Необходимо установить условие, которое определит значение другой проекции .

После столкновения с обломком мусорщик будет двигаться с ним как единое целое, т.е. имеет место абсолютно неупругое столкновение. Рассмотрим закон сохранения импульса для первого столкновения:

(2)

где — проекции скорости мусорщика, захватившего первый обломок. Отсюда найдём эти проекции

(3)

Обозначим за половину длины стороны патрулируемого квадрата. Столкновение мусорщика с первым осколком произойдёт в точке А через время после начала движения:

(4)

Движение мусорщика после захвата первого осколка показано на рисунке.

Здесь , — исходные положения осколков, и — положения первого и второго осколков в момент столкновения мусорщика с первым осколком.

Мусорщик столкнётся со вторым осколком в точке С через время :

(5)

Отрезок , чья длина равна , складывается из отрезков , представляющего собой перемещение мусорщика вдоль оси после столкновения с первым осколком до столкновения со вторым, и , являющегося перемещением второго осколка от начала движения до столкновения с мусорщиком, поэтому

(6)

Подставив в это уравнение значения и , и решив его относительно , получим

(7)

Исходная скорость мусорщика:

(8)

Угол, который составляет начальная скорость мусорщика с осью :

(9)

Рассмотрим, как должны соотноситься скорости и , чтобы такое движение было возможным. Очевидно, что компонента скорости мусорщика должна быть больше скорости второго осколка , иначе к моменту столкновения мусорщика с первым осколком второй успеет миновать среднюю линию квадрата и окажется левее мусорщика, так что мусорщик не сможет достигнуть его. Тогда

(10)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Найдена -компонента скорости мусорщика |  | 1 |
| Рассмотрен закон сохранения импульса для первого столкновения | Формула (2) | 1 |
| Выражены проекции скорости мусорщика после столкновения | Формула (3) | 1 |
| Найдено время движения до первого столкновения |  | 1 |
| Найдено время движения до второго столкновения |  | 1 |
| Записана формула (6) или аналогичная |  | 1 |
| Найдена -компонента скорости мусорщика |  | 1 |
| Записан модуль скорости мусорщика | или | 1 |
| Найден угол между скоростью мусорщика и горизонталью (или аналогичный) |  | 1 |
| Установлено условие возможности данного движения мусорщика |  | 1 |

## **Задача 3. Трюк**



Велосипедист входит в поворот, отклонившись в сторону поворота на угол α от вертикали. Найдите скорость его движения в тот момент, когда радиус кривизны его траектории R. Коэффициент трения покоя колес на асфальте μ. При каком μ велосипедист сможет совершить такой поворот?

### **Решение**

Система отсчёта, связанная с велосипедистом неинерциальна, поэтому для выполнения 2-закона Ньютона необходимо ввести центробежную силу инерции , которая, как и сила тяжести, будет приложена к центру масс велосипедиста. Запишем условие равенства моментов этих сил относительно точки О:

*,*

Отсюда:

*,*

Зная, чтонаходим:

(1)

В системе отсчета, связанной с Землей, максимально возможная сила трения покоя, способная удерживать велосипедиста на криволинейной траектории, сообщает ему максимально возможное центростремительное ускорение. Эту силу трения найдем по формуле

Запишем второй закон Ньютона для проекций сил на горизонтальную ось

,

Подставляя получаем:

откуда выразим максимально возможную скорость входа в поворот при данном коэффициенте трения покоя:

(2)

Приравнивая правые части равенств (1) и (2), получаем, что минимальный коэффициент трения, необходимый для поворота при данном угле и данной скорости:

### **Ложное решение**

***Комментарий авторов:*** *Сила трения покоя может варьироваться от нуля до максимального значения, определяемого равенством . При этом угол наклона велосипедиста никак не указывает, что он движется с максимально возможной скоростью на грани проскальзывания, следовательно, реальная сила трения покоя может быть меньше максимальной, поэтому руководствоваться при решении задачи этим равенством нельзя. Однако сам примерный ход решения приведён ниже для иллюстрации того, к чему может привести данный ход рассуждений.*

В системе отсчета, связанной с Землей, сила трения, удерживающая велосипедиста на криволинейной траектории, сообщает ему центростремительное ускорение. Эту силу трения найдем по формуле

Запишем второй закон Ньютона для проекций сил на горизонтальную ось

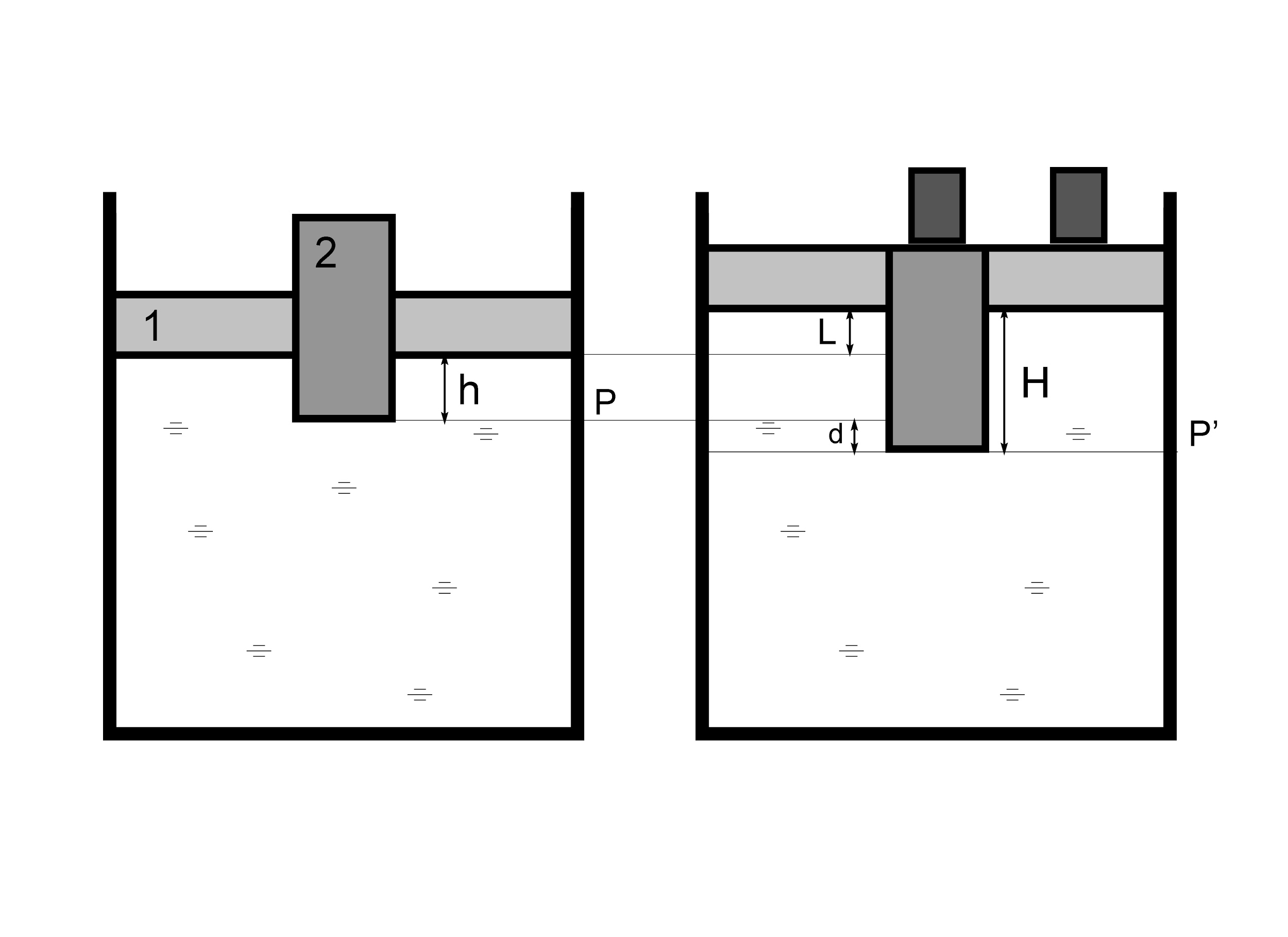
,

Подставляя получаем:

откуда выразим скорость:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Введена центробежная сила |  | 2 |
| Записано уравнение моментов сил |  | 2 |
| Найдена скорость движения |  | 3 |
| Найден минимальный коэффициент трения (и указано, что он минимальный!) |  | 3 |
| Оценка за выражение, если минимальность не указана |  | 0 |
| Оценка за ложный путь решения |  | 0 |

## **Задача 4. Система**

****Катя и Маша решили поэкспериментировать с хитрой равновесной системой: на поверхности жидкости находятся два цилиндра, при этом цилиндр один – полый, а цилиндр два вставлен в отверстие цилиндра один так, что зазоры не пропускают жидкость. Девочки расположили на цилиндрах *N* одинаковых грузов массой *m* так, что верхние основания цилиндров оказались на одном уровне. Сколько грузов положили на второй цилиндр? Плотность жидкости ρ. Площадь сечения сосуда – 5*S*, площадь основания второго цилиндра – *S*. После установки грузов второй цилиндр сместился относительно первоначального положения на расстояние *d*. Трением между скользящими поверхностями пренебречь.

### **Решение:**

Рассмотрим систему из цилиндров на уровне нижнего основания второго цилиндра (на рисунке обозначен как P). Давление второго цилиндра на жидкость на этом уровне равно давлению первого цилиндра и столба жидкости между нижними основаниями цилиндров. Тогда запишем условие равновесия в начальном положении (без грузов):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где и – масса первого и второго цилиндра соответственно, h – расстояние между нижними поверхностями цилиндров в начальном положении. Аналогично прошлым рассуждениям рассмотрим систему на уровне P’. Условие равновесия во втором положении (с грузами):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

где H – расстояние между нижними поверхностями цилиндров во втором положении, x – количество грузов на втором цилиндре.

Вычитаем уравнение (1) из уравнения (2):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Когда на цилиндры положили грузы, они сместились так, что второй цилиндр опустился на расстояние d, вытеснив объем жидкости равный Sd. Это привело к подъему первого цилиндра на расстояние L, которое можно найти из уравнения равенства объемов жидкости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Отсюда находим расстояние H для второго положения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Подставим уравнение (5) в (3), получим:

Отсюда находим:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Записано уравнение равновесия системы в начальном положении, эквивалентное (1) |  | 2 |
| Записано уравнение равновесия системы во втором положении (с грузами), эквивалентное (2) |  | 2 |
| Получение зависимости числа грузов х от изменения расстояния нижних основания цилиндров, эквивалентное (3) |  | 1 |
| Использовано равенство объемов жидкости, эквивалентное (4) |  | 2 |
| Найдена итоговая формула для значения х |  | 3 |

## **Задача 5. Термометр сопротивления**

Дмитрий Петрович и Петр Дмитриевич решили создать в лаборатории термометр сопротивления для хозяйственных нужд. Термометр представляет собой катушку из металлической проволоки, к выводам которой подключен омметр. По изменению сопротивления проволоки в катушке можно измерять температуру. Для использования прибора его необходимо, в первую очередь, проградуировать. Для этого катушку поместили в термостат, в котором можно регулировать температуру. Дмитрий Петрович управлял термостатом, меняя в нем температуру, а Петр Дмитриевич записывал результаты измерения сопротивления катушки. В результате они получили следующую таблицу с экспериментальными данными.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T, K | R, Ом | T, K | R, Ом |
| 78 | 83 | 210 | 84,62 |
| 80 | 83,28 | 224 | 84,72 |
| 84 | 83,48 | 246 | 84,89 |
| 89 | 83,6 | 259 | 84,99 |
| 105 | 83,83 | 271 | 85,09 |
| 130 | 84,01 | 285 | 85,21 |
| 149 | 84,16 | 293 | 85,28 |
| 165 | 84,27 | 300 | 85,28 |
| 178 | 84,38 | 305 | 85,29 |
| 190 | 84,46 |  |  |

Помогите Дмитрию Петровичу и Петру Дмитриевичу завершить начатую работу вместо лаборанта, который уехал в отпуск.

* Постройте градуировочный график зависимости сопротивления от температуры.
* Определите диапазон температур в котором можно применять данный термометр сопротивления.
* Предложите уравнение, по которому можно будет перевести сопротивление катушки в температуру в рабочем диапазоне термометра.
* Можно ли при помощи этого термометра измерить температуру замерзания и кипения дистиллированной воды?

**Решение:**

Градуировочный график, полученный по экспериментальным данным, представлен на рисунке 1



График имеет три участка, один из которых линейный (в диапазоне 89 - 293 К). Для использования термометра подходит именно линейный участок графика. Для получения формулы перевода сопротивления в температуру необходимо найти уравнение прямой вида , описывающую линейный участок графика.

Определим угловой коэффициент k прямой (пример для точек 89 и 293)

k = 1,68 / 204 = 0,008

Коэффициент может варьироваться в зависимости от выбранных точек. Находим величину b из уравнения вида

Получаем уравнение прямой

В данном уравнении прямой y – это сопротивление, x – это температура. Для получения формулы перевода сопротивления в температуру необходимо выразить x.

Можно ли определить при помощи этого термометра температуру замерзания и кипения воды?

Термометр имеет рабочий диапазон по температуре в интервале 89-293 К.

Температура замерзания воды в градусах Кельвина равна 273 К. Это значение укладывается в рабочий диапазон температур.

Температура кипения воды в градусах Кельвина равна 373 К. Это значение выходит за рамки измеряемых температур.

Данным термометром можно измерить только температуру замерзания воды.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Построен график зависимости сопротивления от температуры R(T). Правильно расположены оси, оси подписаны, кривая занимает все поле графика. Отмечены все экспериментальные точки. | за полное выполнение | 6 |
| при частично верном построении графика | 3 |
| Определен диапазон температур в котором можно применять данный термометр сопротивления. | 89 - 293 К.  или  105 - 293 К | 3 |
|
| Получено уравнение, позволяющее переводить значения сопротивления в температуру в рабочем диапазоне термометра | Коэффициент k в диапазоне от 0,0075 до 0,0079  Коэффициент b в диапазоне от 82.5 до 83.5 | 3 |
| Определено, что данным термометром можно измерить только температуру замерзания воды |  | 3 |

## 