Всероссийская олимпиада школьников по физике

2020–2021 учебный год

Муниципальный этап

Свердловская область

**11 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. Импульсный нагреватель (10 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Утверждение о том, что начальная разность потенциалов на резисторе равна U0 |  | 1 |  |
| Найдена начальная мощность |  | 2 |  |
| Записан закон изменения энергии |  | 2 |  |
| Записан закон сохранения зарядов |  | 2 |  |
| Найдено количество теплоты |  | 3 |  |

**Задача 2. Четверть (10 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Определена работа газа за цикл. |  | 3 |  |
| Определено, на каких участках газ получает, а на каких отдаёт тепло. |  | 1 |  |
| Идея о способе определения полученного газом количества теплоты: либо с помощью 1 начала термодинамики, либо с помощью Q, отданных на втором и третьем участке |  | 3 |  |
| Найдено полученное газом количество теплоты |  | 2 |  |
| Определён коэффициент полезного действия | 0,125 | 1 |  |

**Задача 3. Шарик в жидкости (10 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Выражена зависимость силы сопротивления воды от скорости (1) | Fсопр=kv | 2 |  |
| Записан Второй закон Ньютона для движения шарика вверх, аналогичный (2) |  | 3 |  |
| Записан Второй закон Ньютона для движения шарика вниз, аналогичный (4) |  | 3 |  |
| Найдена скорость погружения шарика v2 | 0,667 м/с | 2 |  |

## **Задача 4. Радиоактивная коробка (10 баллов)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Макс** | **Балл** |
| Определена связь между магнитной индукцией и радиусом траектории |  | 2 |  |
| Определены условия невылета частиц из коробки (по 2 балла за каждое условие) | если поле направлено в рисунок, | 2 |  |
| если поле направлено из рисунка | 2 |  |
| Определено условие максимальной доли вылетающих частиц: | | | |
| * определено направление магнитной индукции | поле из рисунка | 1 |  |
| * определена величина магнитной индукции |  | 1 |  |
| * обоснование максимальной доли вылетающих частиц при этом условии |  | 2 |  |

## **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 | Коэффициент k может быть в диапазоне от 0,0075 до 0,0079  Коэффициент b может быть в диапазоне от 82.5 до 83.5 | 3 |  |
| Определено, что данным термометром можно измерить только температуру замерзания воды |  | 2 |  |
| Определена точка, записанная с ошибкой, предложено верное значение | 84,52 ±0,2 Ом при 190 К | 1 |  |

## **Задача 1. Импульсный нагреватель**



Для работы теплофизической импульсной установки был разработан импульсный электроподогреватель. Схема подогревателя представлена на рисунке. Какую мощность подогреватель выдаёт в момент замыкания ключа, если C заряжен до напряжения U0, а 2С разряжен? Какое количество тепла он отдаст во внешнюю среду, если ключ разомкнули после уменьшения тока в цепи в 3 раза?

### **Решение:**

Чтобы узнать начальную мощность, надо узнать разность потенциалов на резисторе.

Разность потенциалов – это разность начальных напряжений на конденсаторах, т.е. U0

Тогда:

Для удобства пронумеруем: C –, а 2С – . Количество тепла Q можно найти через закон изменения энергии:

*,*

где энергия заряженного конденсатора может быть представлена как:

тогда:

*Q.*

Финальный заряд на каждом конденсаторе при размыкании ключа найдем из закона сохранения заряда:

*,*

Что при учете *q=CU* перепишется в виде:

Финальную разность между  *и* можно найти, зная финальное падение напряжения на резисторе: *,* что при подстановке условия на ток даёт:

Тогда из уравнения

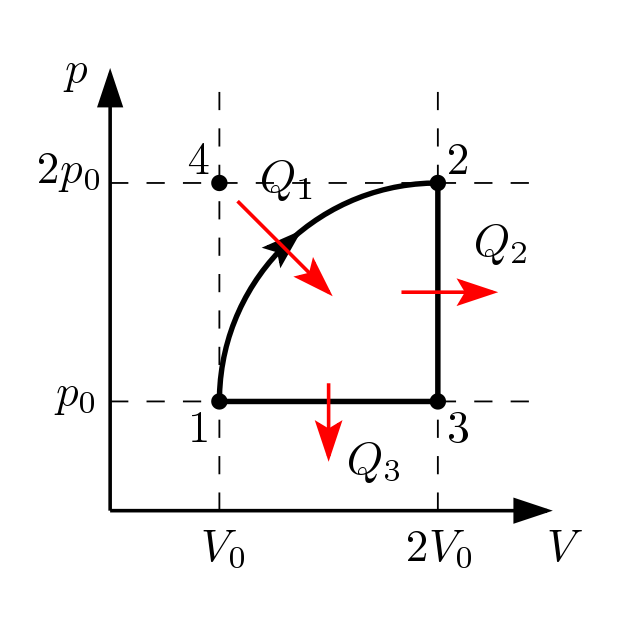
найдёми *.* В этом случае Q может быть выражена через напряжения:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Утверждение о том, что начальная разность потенциалов на резисторе равна U0 |  | 1 |
| Найдена начальная мощность |  | 2 |
| Записан закон изменения энергии |  | 2 |
| Записан закон сохранения зарядов |  | 2 |
| Найдено количество теплоты |  | 3 |

## **Задача 2. Четвертьimage**

График циклического процесса, совершаемого идеальным одноатомным газом, в координатах давление  — объём  представляет собой одну четвёртую часть круга, как показано на рисунке. Найдите коэффициент полезного действия  такого процесса.

## **Решение**

Коэффициент полезного действия представляет собой отношение работы  газа за цикл к полученному им количеству теплоты  :

Работу газа за цикл можно найти как площадь внутри кривой в координатах -. Рассмотрим соотношение площадей прямоугольника 1423 и четверти круга 123. Если за единицу масштаба по горизонтальной шкале выбрать , а по вертикальной — , то площади этих фигур будут равны 1 и соответственно. С другой стороны, площадь прямоугольника 1423 в исходном масштабе равна . Составив пропорцию

,

получим

Для определения полученного количества теплоты , определим на каких участках газу передаётся тепло, а на каких участках — отнимается от него. На участке 2–3 идет изохорный процесс, при этом его давление уменьшается в 2 раза, следовательно, по закону Шарля его температура также уменьшается в 2 раза, значит, тепло отнимается от него. Аналогично в изобарном процессе на участке 3–1 объём газа уменьшается в 2 раза, следовательно, температура тоже уменьшается в 2 раза, и тепло отнимается от газа. Таким образом, тепло передаётся газу только на участке 1–2: .

Найти это количество теплоты возможно различными способами. Применим первое начало термодинамики для участка 1–2:

Работа  газа на этом участке будет равна площади фигуры под ним и складываться из работы газа за цикл и площади прямоугольника, лежащего под циклом:

Изменение внутренней энергии газа определяется только изменением температуры газа. Если обозначить температуру в точке 1 за , и, как установлено выше, в точке 3 температура была в 2 раза выше, чем в точке 1, а в точке 2 — в раза больше, чем в точке 3, то . Таким образом,

В последнем равенстве мы воспользовались уравнением Менделеева-Клапейрона для точки 1.

Таким образом,

Другой возможный способ нахождения заключается в нахождении количеств теплоты и , отданных в изохорном и изобарном процессах, затем полученное количество теплоты можно определить как .

В процесс 2–3 (изохорном) отданное газом количество теплоты

Аналогично, в процессе 3–1 (изобарном)

Подставив полученные значения, приходим к выводу, что данный способ приводит к тому же результату.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Определена работа газа за цикл. |  | 3 |
| Определено, на каких участках газ получает, а на каких отдаёт тепло. |  | 1 |
| Идея о способе определения полученного газом количества теплоты: либо с помощью первого начала термодинамики, либо с помощью количеств теплоты, отданных на втором и третьем участке |  | 3 |
| Найдено полученное газом количество теплоты |  | 2 |
| Определён коэффициент полезного действия | 0,125 | 1 |

## **Задача 3. Шарик в жидкости**

Небольшой шарик объемом V=10 см3 и массой m=50 г подвешен на невесомой и нерастяжимой нити и полностью погружен в сосуд с водой. Если к нити приложить силу T=1 Н, то шарик будет подниматься с постоянной скоростью v1 = 1 м/с. Найти скорость погружения шарика, если нить оборвется. Сила сопротивления воды пропорциональна скорости шарика. Плотность воды - 1000 кг/м3, g = 10 м/с2.

### **Решение:**

Из условия пропорциональности силы сопротивления и скорости следует, что

|  |  |
| --- | --- |
| Fсопр=kv | (1) |

, где – k коэффициент пропорциональности.

При равномерном движении вверх сумма проекций сил на вертикальную ось равна нулю:

|  |  |
| --- | --- |
| T+Fa-mg - Fсопр =0, | (2) |

где Fa=ρgV=1000 кг/м3 · 10 м/с2 · 10-5 м3 =0,1 Н – сила Архимеда;

mg=0,05 кг · 10 м/с2 = 0,5 Н - сила тяжести;

Fсопр=kv1 - сила сопротивления воды при движении вверх.

В итоге:

|  |  |
| --- | --- |
| =0,6 Н·с/м | (3) |

Когда нить оборвется, шарик будет падать в воде вниз со скоростью v1 и сумма проекций сил на вертикальную ось опять будет равна нулю:

|  |  |
| --- | --- |
| mg - Fa – kv2 =0 | (4) |

Откуда

|  |  |
| --- | --- |
| v2 = 0,667 м/с | (5) |

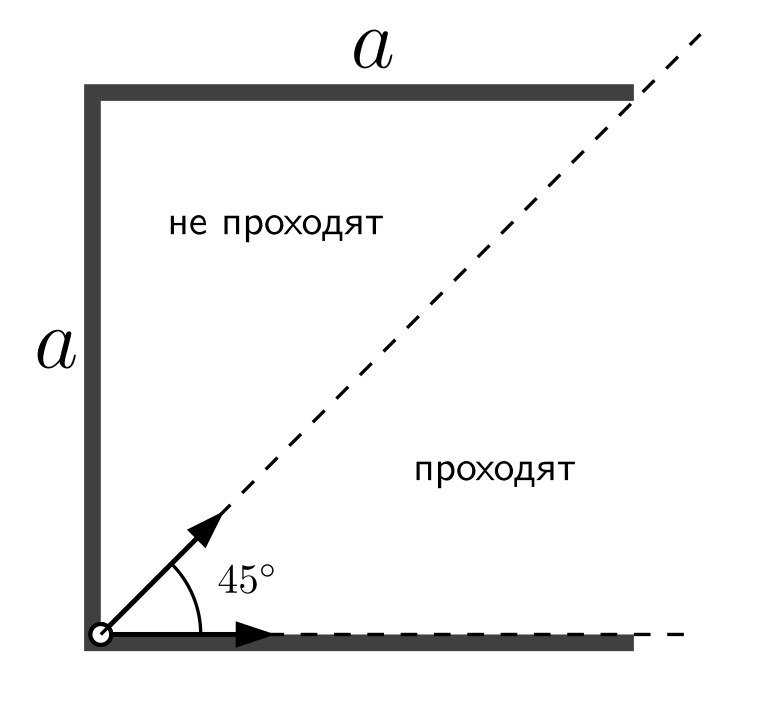
Ответ: 0,667 м/с

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Выражена зависимость силы сопротивления воды от скорости (1) | Fсопр=kv | 2 |
| Записан Второй закон Ньютона для движения шарика вверх, аналогичный (2) |  | 3 |
| Записан Второй закон Ньютона для движения шарика вниз, аналогичный (4) |  | 3 |
| Найдена скорость погружения шарика v2 | v2 = 0,667 м/с | 2 |

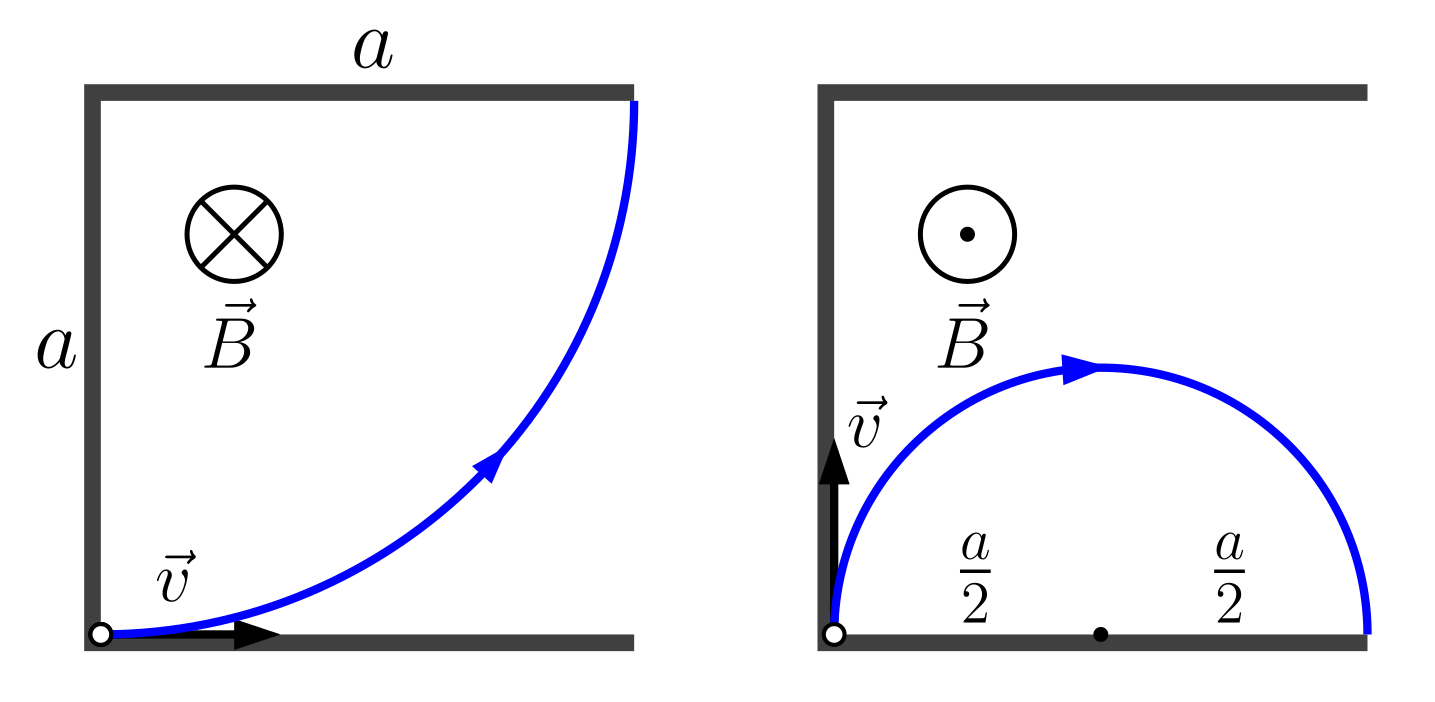
## **Задача 4. Радиоактивная коробка**

В углу коробки с квадратным сечением со стороной находится источник заряженных частиц. Заряд каждой частицы , масса , скорость , причём вектор скорости лежит в плоскости рисунка, а все направления вылета внутри прямого угла равновероятны. Одна из стенок коробки отсутствует. Внутри коробки создаётся однородное магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости рисунка. Определите необходимую величину и направление вектора магнитной индукции , чтобы а) частицы не могли покинуть коробку; б) коробку покидала максимальная доля частиц? Считайте, что стенки коробки поглощают все попадающие на них частицы.

## **Решение:**

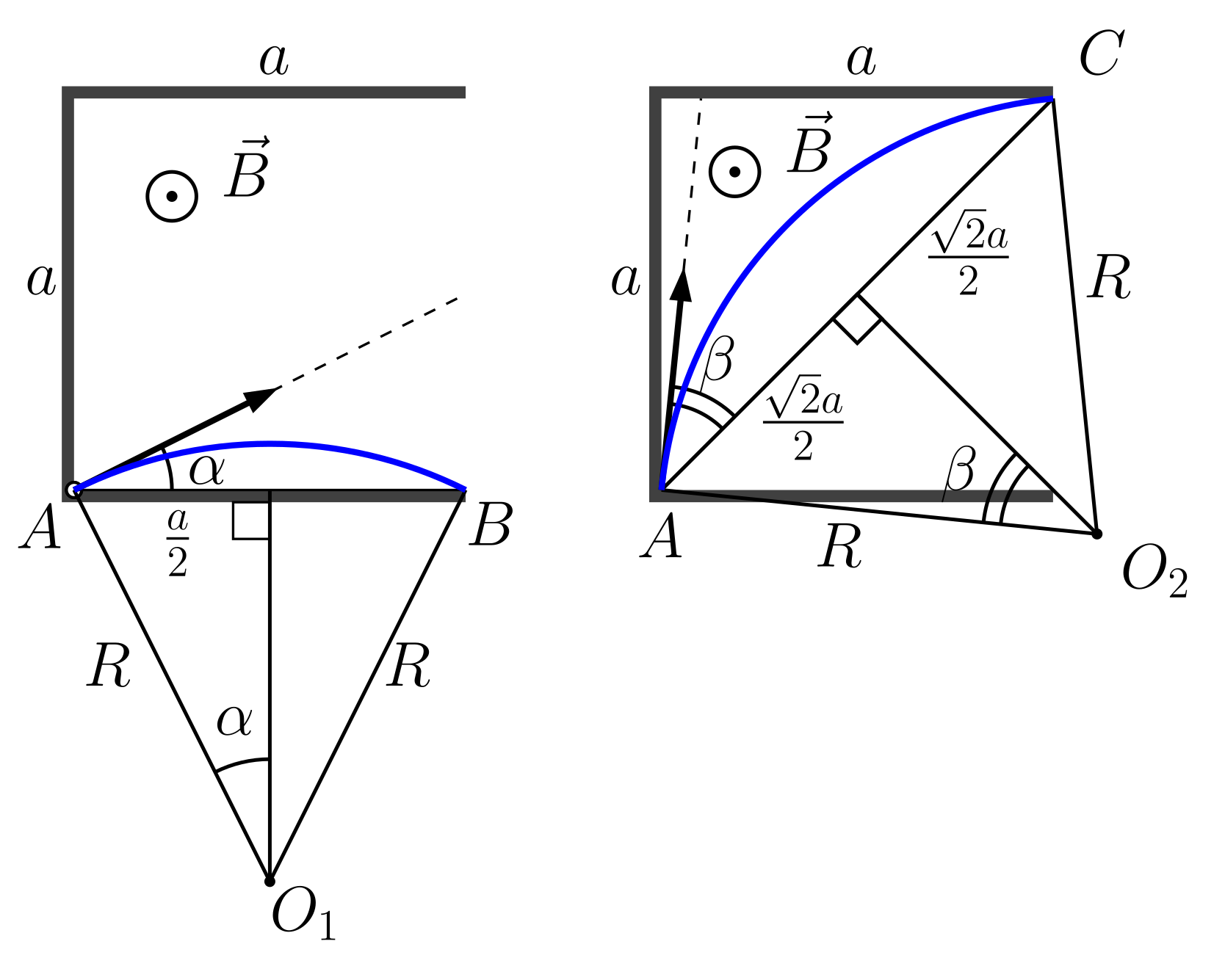
Количество вышедших из коробки частиц пропорционально углу между направлениями первоначальной скорости частиц, соответствующими движению частиц к краям отверстия. При отсутствии магнитного поля частицы будут двигаться прямолинейно, из коробки будет вылетать ровно половина частиц (см. рисунок).

В магнитном поле частицы под действием силы Лоренца будут двигаться по окружностям равного радиуса (поскольку массы, скорости и заряды всех частиц одинаковы). Найти этот радиус можно, приравняв произведение массы частицы на её центростремительное ускорение силе Лоренца:

Частицы перестанут выходить из коробки в двух случаях: если те частицы, которые изначально летели горизонтально, будут попадать в верхний край коробки (а все остальные будут лететь выше и левее), либо если частицы, изначально летевшие вверх, достигнут нижнего края отверстия, а остальные будут попадать в нижнюю стенку (см. рисунок). Направление магнитного поля в каждом случае определим по правилу левой руки с учётом того, что сила Лоренца должна быть направлена к центру окружности. В первом случае радиус окружности равен стороне коробки , во втором — в два раза меньше. Отсюда

Таким образом, чтобы частицы не вылетали из коробки, необходимо выполнения одного из условий:

Очевидно, что при направлении магнитного поля в рисунок доля покидающих коробку частиц может только уменьшаться. Рассмотрим, какие частицы смогут покинуть коробку, если поле направлено из рисунка на нас.



Пусть частицы, достигающие нижнего края отверстия, начинают двигаться под углом  к горизонтали, а частицы, достигающие верхнего края, — под углом  к диагонали коробки. Тогда, рассмотрев равносторонние треугольники со стороной , опирающиеся в первом случае на сторону коробки, а во втором — на диагональ, получим

Отсюда

Доля вылетающих частиц пропорциональна углу между начальными направлениями скорости частиц во втором и в первом случаях:

а поскольку , доля вылетевших частиц будет увеличиваться по мере увеличения углов и , которые возрастают с увеличением магнитной индукции . Это будет продолжаться до тех пор, пока угол  не достигнет своего максимального значения , после чего не перестанет увеличиваться (частицы, у которых будут покидать коробку, пролетая ниже верхнего края отверстия, угол же продолжит возрастать). В этом случае радиус окружности

следовательно, для того, чтобы коробку покидала максимальная доля частиц, необходимое направленное из рисунка магнитное поле

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Критерий оценивания** | **Значение** | **Балл** |
| Определена связь между магнитной индукцией и радиусом траектории |  | 2 |
| Определены условия невылета частиц из коробки (по 2 балла за каждое условие) | если поле направлено в рисунок, | 2 |
| если поле направлено из рисунка | 2 |
| Определено условие максимальной доли вылетающих частиц: | |  |
| * определено направление магнитной индукции | поле направлено из рисунка | 1 |
| * определена величина магнитной индукции |  | 1 |
| * обоснование максимальной доли вылетающих частиц при этом условии |  | 2 |

## **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 | 83,00 | 210 | 84,62 |
| 80 | 83,28 | 224 | 84,72 |
| 84 | 83,48 | 246 | 84,89 |
| 89 | 83,60 | 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 | 83,36 |  |  |

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?
* Как вы думаете, Петр Дмитриевич не ошибался при записи значений сопротивления? Если в таблице, по вашему мнению есть ошибочные данные, предложите корректные значения вместо них.

### **Решение**

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

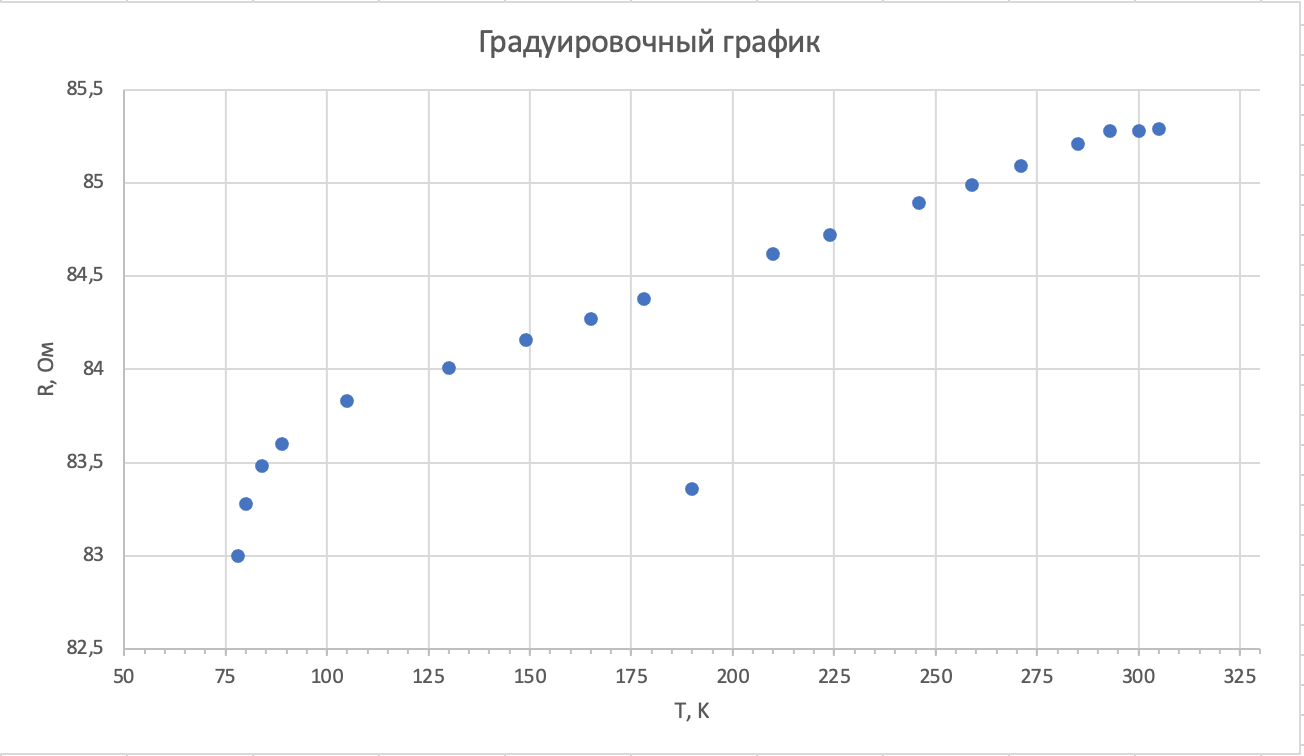


График имеет три участка, один из которых линейный (в диапазоне 89 - 293 К). Для использования термометра подходит именно линейный участок графика.

Для получения формулы перевода сопротивления в температуру, необходимой 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.

Очевидно, что во всем наборе экспериментальных данных выбивается точка при температуре 190 К. Значения сопротивления в этой точке явно ниже чем должны быть.

Если в полученное уравнение прямой подставить значение температуры 190 градусов, то получим значение сопротивления 84,52 Ом.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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 | 4 |
| 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 может быть в диапазоне от 0,0075 до 0,0079  Коэффициент b может быть в диапазоне от 82.5 до 83.5 | 3 |
| Определено, что данным термометром можно измерить только температуру замерзания воды |  | 2 |
| Определена точка, записанная с ошибкой, предложено верное значение | 84,52 ±0,2 Ом при 190 К | 1 |

## 