

Управление образования города Пензы

МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ГИМНАЗИЯ № 44 ГОРОДА ПЕНЗЫ

11 А Класс

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

по теме:

Исследование физических параметров неизвестного кристалла

Болякин Егор Владиславович

Пенза 2021

Оглавление

1. Введение	2
Оценка современного состояния проблемы	2
Цели проекта.....	3
Задачи проекта.....	3
Актуальность проекта.....	3
2. Измерение плотности методом гидростатического взвешивания	3
Теория метода.....	3
Измерение массы кристалла.....	4
Взвешивание кристалла в воде	5
3. Предварительный отбор веществ по плотности	5
4. Оценка удельной теплоемкости вещества кристалла (метод остывания)	6
Результаты эксперимента по остыванию.....	8
5. Оценка удельной теплоемкости вещества кристалла (калориметрический метод) ...	9
Расчет погрешности	12
Продолжение идентификации вещества	12
6. Исследование магнитных свойств	12
7. Метод химического анализа	13
8. Дополнение	13
9. Итоги	13
10. Литература	13
11. Приложение. Лабораторная работа	14

1. Введение.

Из какого вещества состоит это тело? Наверняка у каждого возникал такой вопрос. Проблема идентификации неизвестного вещества возникла и у меня, когда я нашел кристалл.

Оценка современного состояния проблемы. Самый простой и точный способ

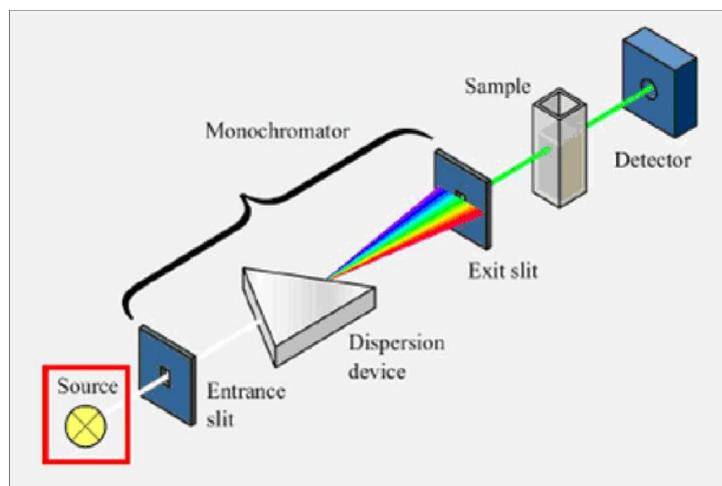


Рисунок 1

идентифицировать неизвестное вещество, это найти доступ к современному спектрометру. (Ответ на поставленный вопрос можно было бы получить за 30 секунд.). Основной функцией спектрометра является регистрация и накопление спектра света, оцифровка полученного сигнала в зависимости от длины волны и последующий анализ.

На помещенное внутрь прибора тело воздействуют излучением (рентгеновским, лазерным, и т.д.) и после этого детекторы измеряют различные параметры (интенсивность, длину волны,

частоту и т.д.), в зависимости от этого и делается вывод о веществе.

Но спектрометр довольно-таки дорогостоящий прибор, и получить доступ к нему не очень и просто. Поэтому в ходе проекта мы будем определять вещество ресурсами, доступными в школьной лаборатории, вычислим какие методы дают более точный результат. В дальнейшем эту методику смогут использовать другие учащиеся на уроке физики.

Цель проекта: выявить возможности школьной лаборатории для определения вещества, из которого состоит тело посредством разработки лабораторной работы для физического практикума.

Основными задачами данного проекта являются:

- 1) определение неизвестного вещества найденного кристалла с помощью методов, доступных в школьной лаборатории, определение точности результатов различных методов измерения
- 2) описание используемых методов для определения неизвестного вещества
- 3) разработка лабораторной работы по определению вещества тела.

Актуальность проекта. Большинство лабораторных работ по физике в школе посвящено какому-то одному разделу. Созданная же лабораторная работа по определению вещества потребует знаний различных разделов физики и других наук, она будет систематизировать знания из различных областей и подтверждать, что каждый предмет вносит важный вклад для решения поставленных задач. Точно так же и в жизни для решения задач, возникающих в жизни, требуются знания из разных областей.

План идентификации вещества:

1. Измерение плотности вещества
2. Измерение удельной теплоёмкости вещества
3. Исследование магнитных свойств
4. Измерение твёрдости
5. Определение электродного потенциала
6. Измерение коэффициента линейного расширения.
7. Исследование вещества методами химического анализа.

Метод химического анализа поставлен последним в списке. Это обусловлено тем, что мы планировали физическими методами выделить достаточно узкий набор химических элементов (металлов) и уже с этими веществами проводить опыты химического анализа.

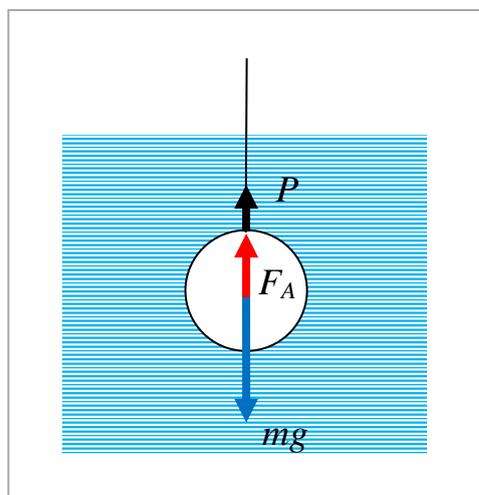


Рисунок 2

2. Измерение плотности методом гидростатического взвешивания.

Теория метода.

«Стандартный» метод измерения плотности (в соответствии с формулой средней плотности $\rho_{cp} = \frac{m}{V}$) основан на измерениях массы и объема. Из-за большой погрешности измерения объема (простым методом мензурки) «стандартный» метод не обеспечивает хорошую точность. Для повышения точности измерения объема приходится использовать метод «пикнометра», в котором измерение объема заменяется измерением массы. Метод гидростатического взвешивания определения плотности практически эквивалентен пикнометрическому методу.

Рассмотрим теорию этого метода.

Запишем условие равновесия тела, подвешенного на нити и полностью погруженного в жидкость

$$T + F_A = mg \quad (1)$$

«Расписываем» силу Архимеда и силу тяжести через соответствующие плотности

$$P + \rho_0 Vg = \rho Vg$$

При взвешивании в соответствии с этой формулой получим 2 соотношения

$$m_0 = \rho V$$

$$m = (\rho - \rho_0)V$$

Отсюда следует формула определения плотности тела через известную плотность жидкости

$$\rho = \rho_0 \frac{m_0}{m_0 - m} \quad (2)$$

Измерение массы кристалла.

При измерении массы кристалла использованы лабораторные



Рисунок 3

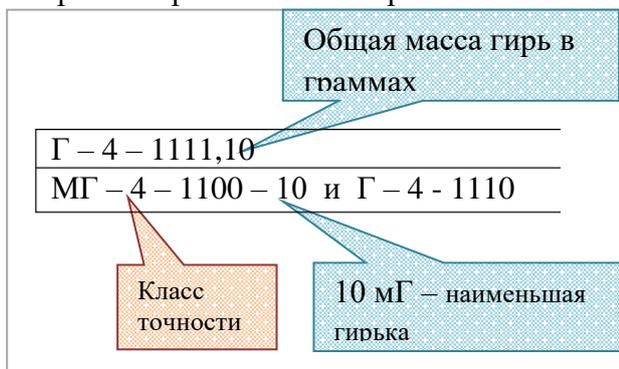


Рисунок 4

Номинальная масса гирь, Г	Максимальная абсолютная погрешность, ± мГ	Относительная погрешность, %
500	25	$5 \cdot 10^{-3}$
200	10	$5 \cdot 10^{-3}$
100	3	$3 \cdot 10^{-3}$
50	3	$6 \cdot 10^{-3}$
20	2,5	$1,3 \cdot 10^{-2}$
10	2	$2 \cdot 10^{-2}$
5	1,5	$3 \cdot 10^{-2}$
2	1,2	$6 \cdot 10^{-2}$
1	1	$1 \cdot 10^{-1}$
МГ	± мГ	%
500	0,8	0,16
200	0,8	0,2
100	0,5	0,5
50	0,4	0,8

весы. Технический паспорт весов отсутствовал. После установки весов элементарным методом (методом перегрузка) была измерена их чувствительность. Чувствительность оказалась равной примерно 30 мГ. Известно, что чувствительность весов зависит от нагрузки. Но, для упрощения мы условились считать чувствительность величиной постоянной.

При взвешивании были использованы разновесы болгарского производства (фирма «Спартак») 4^{го} класса точности (разновесы поставлялись в СССР и использовались в школьных и вузовских лабораториях). На рисунке приведена маркировка этих разновесов, состоящих из двух наборов (Г, мГ).

50 Г	± 3 мГ
20 Г	± 2,5 мГ
10 Г	± 2 мГ
1 Г	± 1 мГ
500 мГ	± 0,8 мГ
20 мГ	± 0,4 мГ
20 мГ	± 0,4 мГ
81,540 Г	± 0,0101 Г

Таблица 1

Элементарный подсчет погрешности при взвешивании кристалла в воздухе проводился следующим образом. При взвешивании кристалла на весах находился следующий набор гирь (левая колонка таблицы)

Суммируем массу гирь и их погрешности (правая колонка таблицы). Округляем общую погрешность массы разновесов до двух знаков. С учетом чувствительности весов (к суммарной погрешности гирь добавляется 30 мг) результат был записан в виде

$$m_1 = (81,54 \pm 0,04) \text{ Г.}$$

Взвешивание кристалла в воде (вода дистиллированная, плотность при 20°C [1] равна 0,998205 г/см³).

Таблица взвешивания кристалла в воде

50 Г	± 3 мГ
10 Г	± 2 мГ
5 Г	± 1,5 мГ
2 Г	± 1,2 мГ
2 Г	± 1,2 мГ
1 Г	± 1 мГ
100 мГ	± 0,5 мГ
50 мГ	± 0,5 мГ
20 мГ	± 0,4 мГ
20 мГ	± 0,4 мГ
70,190 Г	± 0,0117 Г

Таблица 2

Результат взвешивания с учётом чувствительности весов.

$$m_2 = (70,19 \pm 0,04) \text{ Г.}$$

Используя формулу (2), вычисляем среднюю плотность вещества кристалла

$$\rho = 0,998205 \cdot \frac{81,54}{81,54 - 70,19} = 7,17124544 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$$

Определение погрешности (метод интервалов).

Вычисляем максимальное значение

$$\rho_{max} = 0,998205 \cdot \frac{81,58}{81,50 - 70,23} = 7,2256933 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$$

Вычисляем минимальное значение плотности

$$\rho_{min} = 0,998205 \cdot \frac{81,50}{81,58 - 70,15} = 7,11755971 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$$

Вычисление погрешности

$$\Delta\rho = \frac{7,2257 - 7,1176}{2} = 0,05405 \rightarrow 0,05$$

Абсолютную погрешность округляем до «одного знака» и записываем результат в стандартном виде

$$\rho = (7,17 \pm 0,05) \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$$

Таким образом, плотность вещества неизвестного кристалла лежит в интервале

$$(7,12 \leq \rho \leq 7,22) \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}$$

3. Предварительный отбор веществ по плотности.

Приводим таблицу плотности веществ, близких по своей плотности к плотности вещества, полученной в нашем эксперименте.

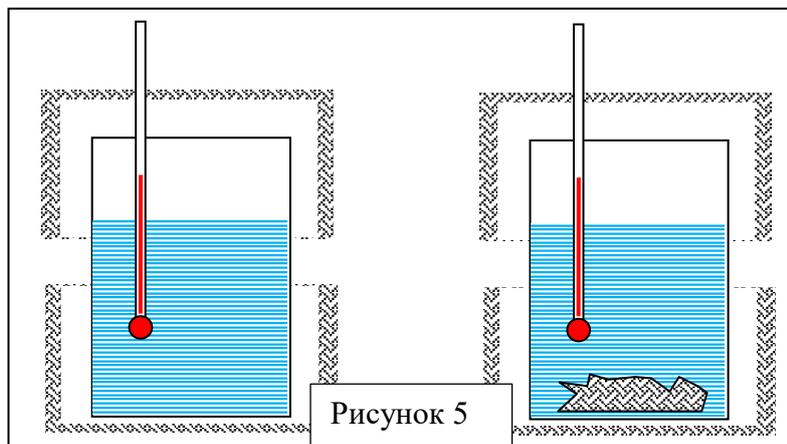
Вещество	ρ , г/см ³
Ванадий	6,5-6,1
Железо	7,8
Индий	7,36
Марганец	7,21
Олово	7,3
Хром	7,18 – 7,20
Цинк	7,13
Чугун	7,6

Таблица 3

В соответствии с данной таблицей (и если внутри нашего кристалла нет инородных включений) наиболее подходящими веществами являются **марганец, хром и цинк**.

4. Оценка удельной теплоёмкости вещества кристалла (метод остывания открытых систем).

С самого начала оговоримся, что экспериментальные возможности школьной лаборатории не позволяют с достаточной точностью определить величину удельной теплоёмкости. Первая попытка оценки теплоёмкости была основана на методе сравнения кривых остывания эталонной системы и системы, содержащей неизвестный кристалл.



Теплоёмкость кристалла была оценена несколькими методами. Первый метод основан на сравнении кривых остывания «открытых калориметров» (название условное, открытый калориметр – система с «тонкими» внешними стенками). Эталонная система (система сравнения) содержит: M_0 – масса воды в первом стакане, c_0 –

теплоёмкость воды, C – обобщённая теплоёмкость контейнера (сосуда, крышки, термометра).

Исследуемая система содержит: m_0 – масса воды во втором стакане, μ – масса неизвестного кристалла, c – теплоёмкость неизвестного кристалла, C – обобщённая теплоёмкость контейнера (сосуда, крышки, термометра).

T_0 – температура в комнате.

Конфигурация систем сделана максимально одинаковой (симметричной) для выравнивания коэффициентов теплоотдачи. Уровни воды в стаканах одинаковы, стаканы стоят в пенопластовых чашках, закрыты одинаковыми пенопластовыми чашками (крышками). Для измерения температуры использованы одинаковые «школьные» термометры (верхний предел 100°C). Графики остывания должны выглядеть примерно так:

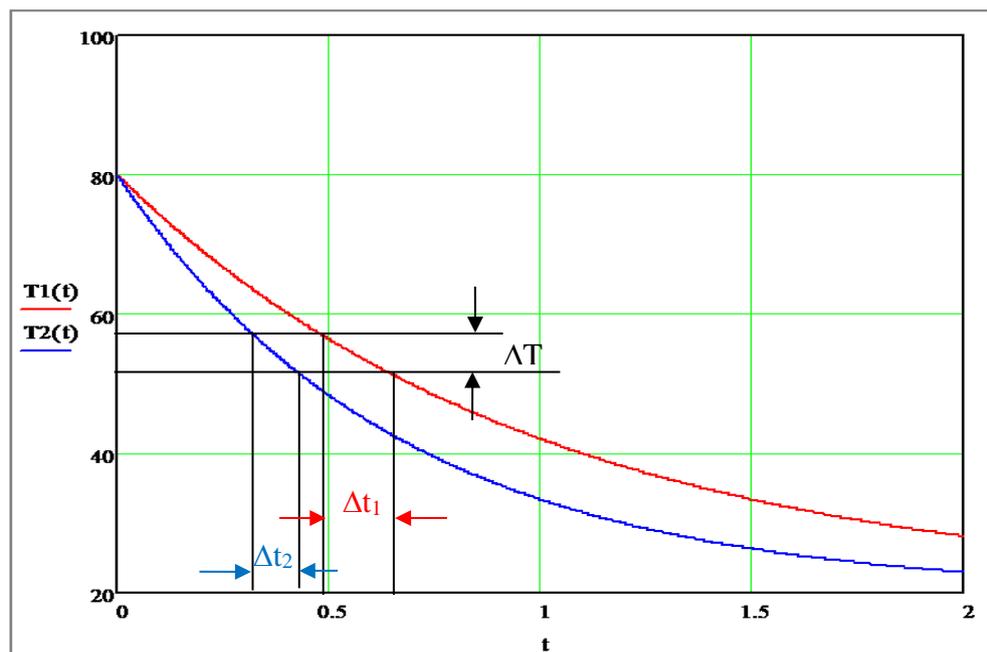


Рисунок 6

Записываем уравнения теплообмена (в соответствии с законов Фурье) для двух систем и для небольшого промежутка времени.

$$(C + c_0 \cdot M_0)\Delta T = -\beta(T_1 - T_0)\Delta t_1 \quad (3)$$

$$(C + c_0 \cdot m_0 + c \cdot \mu)\Delta T = -\beta(T_2 - T_0)\Delta t_2 \quad (4)$$

Делим уравнения (первое на второе) предполагая одинаковое изменение температуры (за неодинаковые промежутки времени)

$$\frac{C+c_0 \cdot M_0}{C+c_0 \cdot m_0+c \cdot \mu} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = k \quad (5)$$

Очевидно, что отношение интервалов времени остывания должно быть постоянной величиной (так как справа стоит константа). Отсюда получаем

$$c = c_0 \frac{M_0}{\mu} \left[\frac{1}{k} - \frac{m_0}{M_0} + \frac{c}{c_0 M_0} \left(\frac{1}{k} - 1 \right) \right] \quad (6)$$

Можно предположить, что третье слагаемое в квадратных скобках является малой величиной (теплоёмкость воды значительно превосходит теплоёмкость пластмассового стакана). В этом случае рабочая формула упрощается

$$c = c_0 \frac{M_0}{\mu} \left[\frac{1}{k} - \frac{m_0}{M_0} \right] \quad (7)$$

Результаты эксперимента по остыванию.

Кривые остывания двух систем снимались одновременно. Результаты эксперимента представлены графиками.

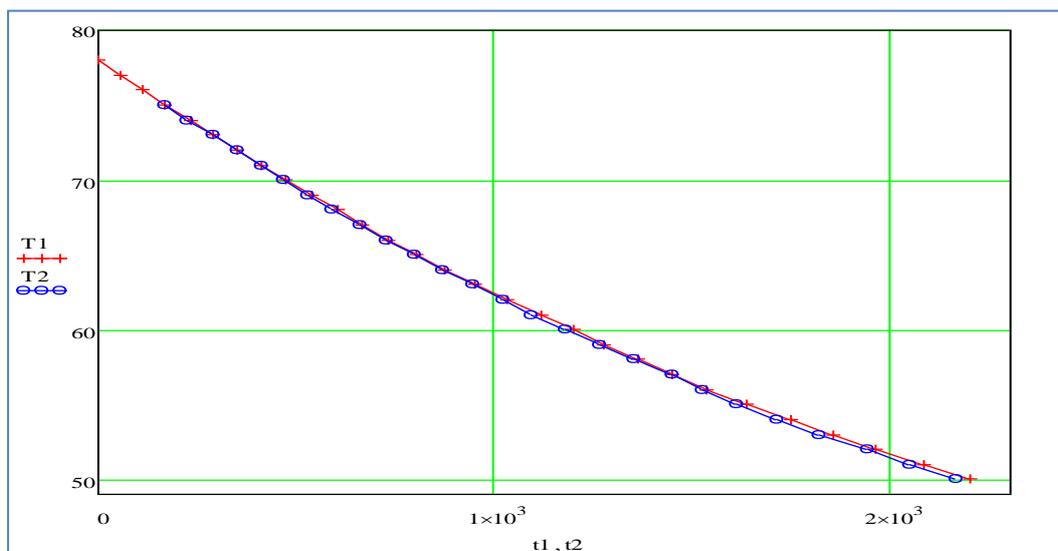


Рисунок 7

График остывания в обычных координатах. Зависимость температуры (градусы Цельсия) от времени (секунды). Красные крестики – кривая остывания «водной» системы. Синие кружочки – кривая остывания системы, содержащей кристалл. Возникло случайное совпадение теплоёмкостей (расхождение кривых незначительное).

Известно, что медленное остывание систем хорошо описывается экспоненциальной функцией (аналогично барометрической зависимости).

$$\Delta T = \Delta T_{max} \cdot e^{-\alpha \cdot t} \quad (8)$$

Здесь ΔT – разница температур остывающего тела и температура среды, в которой происходит остывание.

Преобразуем формулу (8) используя логарифмирование

$$\ln\left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T}\right) = \alpha \cdot t \quad (9)$$

Мы видим, что если построить график логарифма отношения разности температур как функцию времени, то такой график будет линейным и пройдёт через начало координат.

График остывания систем в логарифмических (линейных) координатах

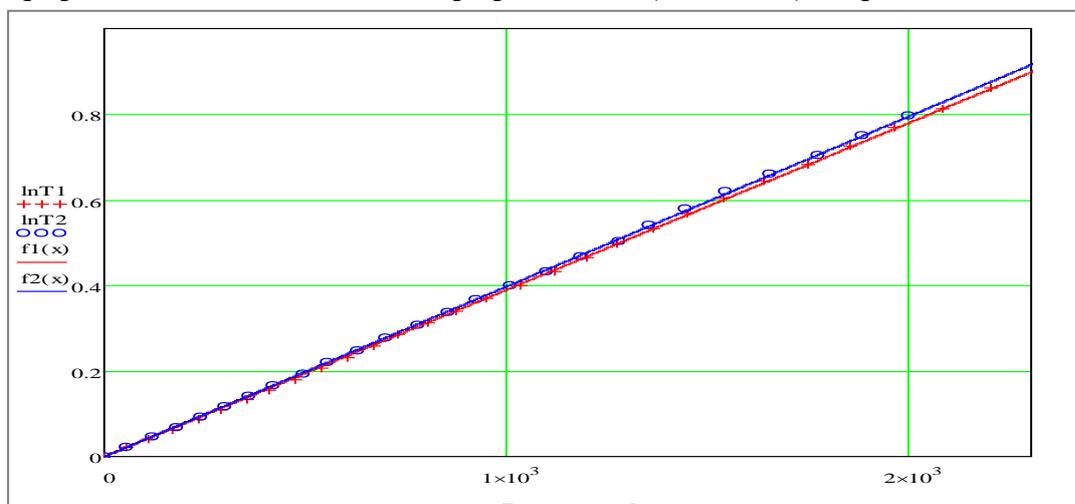


Рисунок 8

На этом графике: красные крестики – экспериментальные точки остывания «водяной» системы (системы сравнения); синие кружочки – экспериментальные точки остывания системы содержащей кристалл. Сплошные линии – линии аппроксимации в соответствии с формулой (9). На этом рисунке более чётко видна небольшая разница общих теплоёмкостей. Наклон прямых линий определяется коэффициентом α в формуле (8). Этот коэффициент зависит от теплоёмкости системы C так

$$\alpha = \frac{\beta}{C}$$

Система с большей теплоёмкостью остывает медленнее. Из линейных графиков было найдено отношение теплоёмкостей (коэффициент k в формуле (5))

$$k = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = 1,019$$

Вычисление удельной теплоёмкости (по формуле (7))

$$c = c_0 \frac{M_0}{\mu} \left[\frac{1}{k} - \frac{m_0}{M_0} \right] = 4,183 \cdot 10^3 \frac{193,81}{81,54} \left(\frac{1}{1,019} - \frac{186,81}{193,81} \right) = 173,71 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

M_0 , Г	m_0 , Г	μ , Г
193,81	186,81	$81,54 \pm 0,04$

Таблица 4



Рисунок 9

5. Оценка удельной теплоёмкости вещества кристалла (калориметрический метод).

Во втором методе использовался «классический» калориметр. Самодельный калориметр был изготовлен из пенопласта. Школьный калориметр трудно назвать «физическим прибором».

Схема экспериментальной установки.

Для измерения температуры было использовано два термометра: обычный и электронный.

Сигнал с электронного термометра через блок сбора данных попадал на вход компьютера, который в системе LogerPro представлял собой компьютерный осциллограф. Термометры были протестированы по двум точкам: точке таяния льда и точке кипения воды. «Адекватным» оказался обычный термометр (шкала 0 – 100 °С). Электронный термометр завышал показания на 1,5 °С. Внутренние стенки пенопластового калориметра образовывали стенки сосуда. Отдельного внутреннего сосуда не было. Оценка теплоёмкости кристалла осуществлялась методом её сравнения с теплоёмкостью воды. Первоначально в калориметре термостатировалось некоторое количество воды. Кристалл помещался в кипящую воду (нагревался до 100 °С) и затем быстро погружался в воду

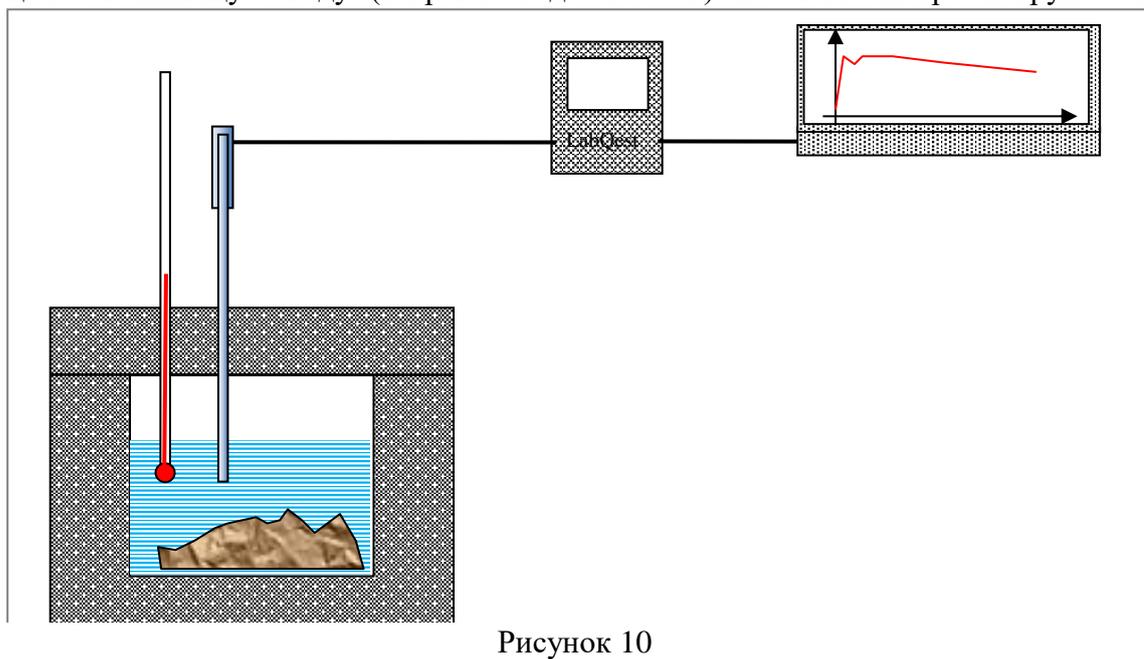


Рисунок 10

калориметра. С этого момента производилась «запись» температуры (её зависимость от времени).

Запишем уравнение теплового баланса:

$$c_0 \cdot m_0 \cdot T_0 + c \cdot \mu \cdot 100 = (c_0 \cdot m_0 + c \cdot \mu) \cdot T_{max}$$

Отсюда

$$c = c_0 \frac{m_0 (T_{max} - T_0)}{\mu (100 - T_{max})}$$

Здесь: c_0 - теплоёмкость воды, m_0 - масса воды к калориметре, c - теплоёмкость кристалла, μ - масса кристалла, T_{max} - равновесная (максимальная) температура в калориметре после установления теплового равновесия.

В полученную формулу следует внести поправку, которая связана с «мокрым» горячим кристаллом. Кристалл нагревается до 100 градусов в кипящей воде. При его перемещении в калориметр с ним неизбежно добавляется небольшое количество горячей воды. Это порядка 0,5 грамм. Формула теплоёмкости с поправкой выглядит так

$$c_0 \cdot m_0 \cdot T_0 + c \cdot \mu \cdot 100 + \Delta m_0 \cdot 100 = (c_0 \cdot (m_0 + \Delta m_0) + c \cdot \mu) \cdot T_{max}$$

$$c = c_0 \frac{m_0}{\mu} \left\{ \frac{(T_{max} - T_0)}{(100 - T_{max})} - \frac{\Delta m_0}{m_0} \right\}$$

Экспериментальная таблица

Масса контейнера калориметра	Масса контейнера и воды	Масса воды в контейнере	Температура воды в контейнере	Максимальная температура теплового равновесия
m_k , Г	m_{k+H_2O} , Г	m_0 , г	T_0 , °С	T_{max} , °С
8,500	80,650	72,150	20,5	29,7

Таблица 5

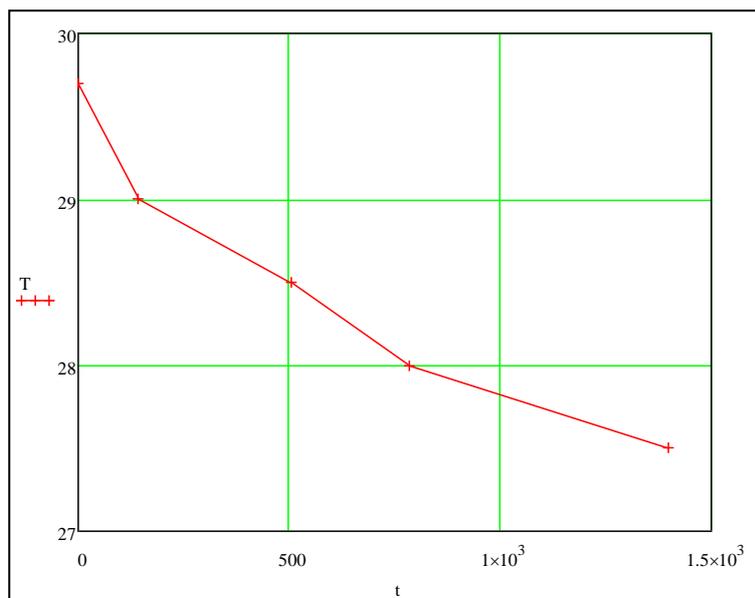


График остывания системы калориметра по обычному термометру.

Рисунок 11

График остывания системы калориметра по электронному термометру.

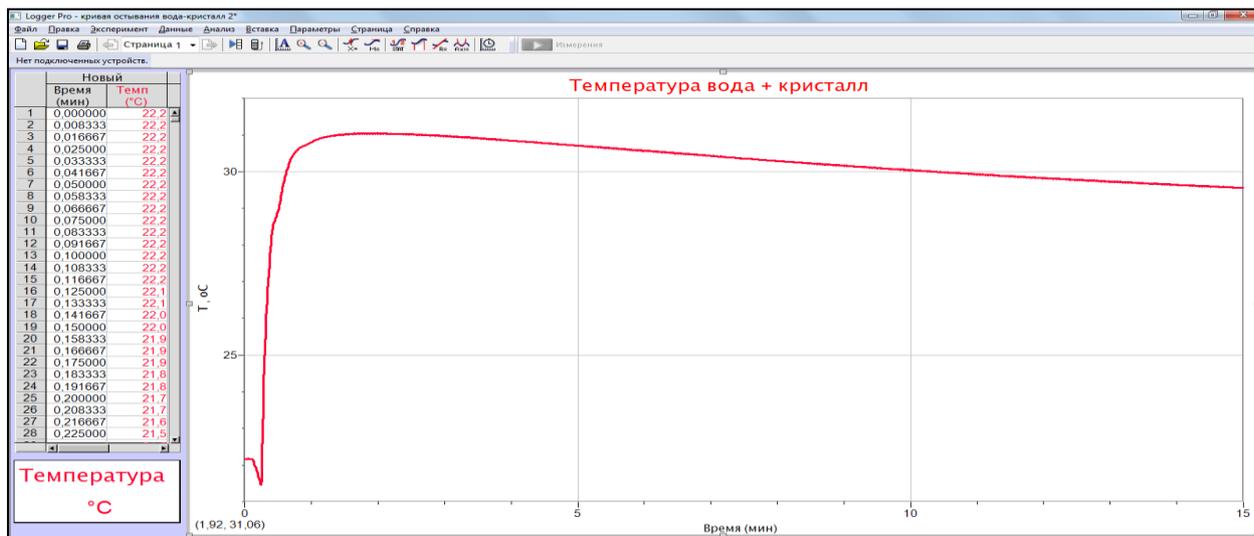


Рисунок 12

Этот график иллюстрирует возможности самодельного калориметра. За 15 минут температура в калориметре уменьшается примерно только 1,5 °С. поэтому можно считать, что за время наступления теплового равновесия (примерно 1 минута) между кристаллом и водой тепловые потери были минимальны.

Оценка теплоёмкости кристалла по данным обычного термометра (средняя удельная теплоёмкость воды в диапазоне температур от 15-30 градусов равна $4,181 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К)).

$$c = c_0 \frac{m_0 (T_{max} - T_0)}{\mu (100 - T_{max})} = 4181 \frac{72,150 (29,7 - 20,5)}{81,540 (100 - 29,7)} = 484,1482 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

После внесения поправки на добавленную воду получаем исправленное значение

$$c = c_0 \frac{m_0 (T_{max} - T_0)}{\mu (100 - T_{max})} = 4181 \frac{72,150 \left\{ \frac{(29,7 - 20,5)}{(100 - 29,7)} - \frac{0,5}{72,150} \right\}}{81,540} = 458,5105 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Оценка погрешности измерения теплоёмкости кристалла.

Погрешность определения теплоёмкости определяется в основном погрешностью разности малых температур ($T_{max} - T_0$). Погрешности измерения остальных величин мало влияют на результат. Погрешность определим элементарным методом интервалов, принимая погрешность измерения температур равной 0,5°С.

Вычисления без поправки

$$c_{max} = c_0 \frac{m_0 (T_{max} - T_0)}{\mu (100 - T_{max})} = 4181 \frac{72,150 (31,2 - 20,0)}{81,540 (100 - 31,2)} = 602,2480 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{min} = c_0 \frac{m_0 (T_{max} - T_0)}{\mu (100 - T_{max})} = 4181 \frac{72,150 (29,2 - 21)}{81,540 (100 - 29,2)} = 428,4759 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta c = \frac{c_{max} - c_{min}}{2} = \frac{602,25 - 428,48}{2} = 86,888 \approx 0,9 \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Поправка практически не изменит погрешность, поэтому итоговый результат по теплоёмкости кристалла.

$$c = (4,6 \pm 0,9) \cdot 10^2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Запись результата в «привычной» форме (но, не совсем правильной, так как погрешность записана с 2 «знаками»)

$$c = (460 \pm 90) \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Погрешность получилась очень большой (около 20%). К этой величине привела наша осторожность в отношении погрешности температуры (мы её завысили). Можно предполагать, что на самом деле погрешность определения теплоёмкости существенно меньше. Это подтвердится после идентификации кристалла.

Продолжение идентификации вещества на основе значения теплоёмкости.[2]

Вещество	ρ , г/см ³	c , Дж/кг.К
Ванадий	6,5-6,1	502
Железо	7,8	460
Индий	7,36	239
Марганец	7,21	479
Олово	7,3	230
Хром	7,18 – 7,20	460
Цинк	7,13	390
Чугун	7,6	540

Таблица 6

В соответствии с этой таблицей число претендентов уменьшилось. Из числа претендентов выпадает цинк. Можно вновь вернуться к теплоёмкости и отметить хорошее согласие полученной величины теплоёмкости со значениями теплоёмкостей претендентов. Отметим совпадение полученной величины со значением теплоёмкости хрома.

6. Анализ магнитных свойств.

Экспериментально мы обнаружили у кристалла наличие слабых магнитных свойств. Кристалл не очень сильно притягивается к постоянному магниту, что характерно для парамагнетиков и антиферромагнетиков.

Таблица свойств веществ с колонкой «магнетизма».

Вещество	ρ , г/см ³	c , Дж/кг.К	Магнитные свойства
Ванадий	6,5-6,1	502	парамагнетик
Железо	7,8	460	Ферромагнетик
Индий	7,36	239	Диамагнетик
Марганец	7,21	479	Парамагнетик
Олово	7,3	230	Диамагнетик
Хром	7,18 – 7,20	460	Антиферромагнетик
Цинк	7,13	390	Диамагнетик
Чугун	7,6	540	Ферромагнетик

Таблица 7

Отметим, что цинк выпадает из числа претендентов и по магнитным свойствам. Остаются два металла: марганец, хрома.

7. Идентификация хрома методами химического анализа. [3]

- Металл «растворился» в разбавленной азотной кислоте при нагревании с образованием зеленого раствора (соль трёхвалентного хрома и продукты восстановления кислоты). Раствор солей трехвалентного хрома имеют зеленый цвет.



- К полученному зеленому раствору прилили раствор гидроксида натрия, выпал зеленый осадок, который в избытке щелочного раствора растворился.
- Это характерно для соединений трехвалентного хрома, которые проявляют амфотерный характер.



- Вывод: химический анализ доказывает, что определяемый металл – хром.

8. Дополнение.

Хром при температуре 38 °С (температуре Нееля¹) испытывает фазовый переход второго рода. Ниже этой температуры хром – антиферромагнетик, выше парамагнетик. При этой температуре должен наблюдаться очень небольшой скачок плотности (уменьшение плотности). Можно было попробовать этот скачок измерить. Но, для этого необходима очень точная методика измерения плотности.

9. Итоги.

- Неизвестный металл идентифицирован как хром.
- В ходе исследования изучены различные методы измерения. Метод гидростатического взвешивания, метод остывания систем, калориметрический метод.
- Определена точность результатов различных методов измерения. Метод гидростатического взвешивания – один из самых точных для измерения плотности, метод остывания требует очень большой аккуратности при проведении.
- Создана разноуровневая интегрированная лабораторная работа. Приложение

10. Литература.

1. Таблицы физических величин: Справочник /Под редакцией академика И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1976.
2. Физические величины: Справочник /Под редакцией И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. *Гороновский И. Г., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф.* Краткий справочник по химии. Киев, 1987.
4. Лабораторные занятия по физике /Под редакцией Л. Л. Гольдина. М.: Наука, 1983.

¹Луи Эжен Феликс Неэль (*Louis Eugène Félix Néel* - французский физик, лауреат [Нобелевской премии по физике](#) в 1970 году. Половина премии «за фундаментальные труды и открытия, касающиеся [антиферромагнетизма](#) и [ферромагнетизма](#), которые повлекли за собой важные приложения в области [физики твердого тела](#)».

Лабораторная работа.

Определение вещества тела.

Уровень А.

Задача: определить вещества, из которых состоят тела.

Оборудование: 3 тела, нить, ножницы, мензурка, электронные весы, весы с разновесами, стакан с водой, калориметры, термометры, вода, нагреватель, магнит, таблицы теплоемкостей, плотностей, магнитных свойств веществ.

Инструктаж по технике безопасности прослушан. (дата, подпись).

Ход работы.

1. Измерение плотности стандартным методом (с помощью мензурки).

Для определения плотности воспользуемся формулой: $\rho = \frac{m}{V}$

Массу будем определять с помощью электронных весов. (Абсолютная погрешность измерений 0,1 г).

Объем измерим по изменению уровня жидкости в мензурке. (Абсолютная погрешность измерения равна цене деления).

Составим таблицу экспериментальных данных:

$m, \text{г}$	$V_1, \text{см}^3$	$V_2, \text{см}^3$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Таблица 1

Сделайте измерения для каждого тела и занесите данные в таблицу. При измерении объема учитывайте, что в одном из тел есть полое отверстие. Рассчитайте плотность и погрешность ее измерения. На основе результатов, составьте круг претендентов веществ. Сделайте вывод о точности метода.

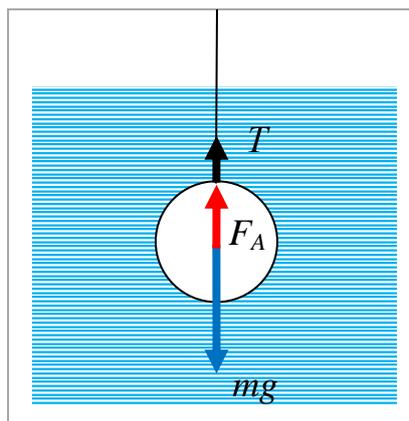


Рисунок 1

2. Измерение плотности методом гидростатического взвешивания.

Запишем условие равновесия тела, подвешенного на нити в жидкости:

$$T + F_A = mg$$

Распишем силу Архимеда и силу тяжести через соответствующие плотности:

$$T + \rho_0 V g = \rho V g$$

V – Объем тела, ρ – плотность тела, ρ_0 – плотность воды.

При взвешивании в соответствии с этой формулой получим 2 соотношения

$$m_0 = \rho V$$

$$m = (\rho - \rho_0) V$$

m – масса, измеренная на весах, после погружения в жидкость;

m_0 – масса, измеренная на весах до погружения в жидкость.

Отсюда следует формула определения плотности тела через известную плотность жидкости:

$$\rho = \rho_0 \frac{m_0}{m_0 - m}$$

$\rho_0, \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$	m_0, Γ	m, Γ	$\rho, \frac{\Gamma}{\text{см}^3}$

Таблица 2

Номинальная масса гирь, Г	Максимальная абсолютная погрешность, ± мГ	Относительная погрешность, %
500	25	$5 \cdot 10^{-3}$
200	10	$5 \cdot 10^{-3}$
100	3	$3 \cdot 10^{-3}$
50	3	$6 \cdot 10^{-3}$
20	2,5	$1,3 \cdot 10^{-2}$
10	2	$2 \cdot 10^{-2}$
5	1,5	$3 \cdot 10^{-2}$
2	1,2	$6 \cdot 10^{-2}$
1	1	$1 \cdot 10^{-1}$
МГ	± мГ	%
500	0,8	0,16
200	0,8	0,2
100	0,5	0,5
50	0,4	0,8
20	0,3	1,5
10	0,25	2,5

Таблица 3

Сделайте измерения для каждого тела и занесите данные в таблицу. При измерении объема учитывайте, что в одном из тел есть полое отверстие. Рассчитайте плотность и погрешность ее измерения. Учитывайте, что погрешность измерения массы, зависит от использованных гирь (см. таблицу). На основе результатов, составьте круг претендентов веществ. Сделайте вывод о точности метода.

3. Определение теплоемкости методом остывания открытых систем.

Этот метод основан на сравнении кривых остывания «открытых калориметров» (название условное, открытый калориметр – система с «тонкими» внешними стенками).

Эталонная система (система сравнения) содержит: M_0 - масса воды в первом стакане, c_0 – теплоёмкость воды, C - обобщённая теплоёмкость контейнера (сосуда, крышки, термометра).

Исследуемая система содержит: m_0 - масса воды во втором стакане, μ - масса тела, c – теплоёмкость неизвестного кристалла, C - обобщённая теплоёмкость контейнера (сосуда, крышки, термометра).

T_0 – температура в комнате.

Записываем уравнения теплообмена (в соответствии с законами Фурье) для двух систем и для небольшого промежутка времени

$$(C + c_0 \cdot M_0)\Delta T = -\beta(T_1 - T_0)\Delta t_1$$

$$(C + c_0 \cdot m_0 + c \cdot \mu)\Delta T = -\beta(T_2 - T_0)\Delta t_2$$

Делим уравнения (первое на второе) предполагая одинаковое изменение температуры (за неодинаковые промежутки времени)

$$\frac{C + c_0 \cdot M_0}{C + c_0 \cdot m_0 + c \cdot \mu} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = k$$

Очевидно, что отношение интервалов времени остывания должно быть постоянной величиной (так как справа стоит константа). Отсюда получаем

$$c = c_0 \frac{M_0}{\mu} \left[\frac{1}{k} - \frac{m_0}{M_0} + \frac{C}{c_0 M_0} \left(\frac{1}{k} - 1 \right) \right]$$

Можно предположить, что третье слагаемое в квадратных скобках является малой величиной (теплоёмкость воды значительно превосходит теплоёмкость пластмассового стакана). В этом случае рабочая формула упрощается

$$c = c_0 \frac{M_0}{\mu} \left[\frac{1}{k} - \frac{m_0}{M_0} \right] (*)$$

Используя термометр и секундомер снимите зависимость температуры от времени для систем и постройте графики $T(t)$.

Известно, что медленное остывание систем хорошо описывается экспоненциальной функцией (аналогично барометрической зависимости).

$$\Delta T = \Delta T_{max} \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

Здесь ΔT – разница температур остывающего тела и температура среды, в которой происходит остывание.

Преобразуем формулу используя логарифмирование

$$\ln \left(\frac{\Delta T_{max}}{\Delta T} \right) = \alpha \cdot t$$

Мы видим, что если построить график логарифма отношения разности температур как функцию времени, то такой график будет линейным и пройдет через начало координат. При этом наклон прямых линий определяется коэффициентом α в формуле. Этот коэффициент зависит от теплоёмкости системы C так

$$\alpha = \frac{\beta}{C}$$

Постройте графики остывания в логарифмических координатах. Найдите угловые коэффициенты наклонов. И из них получите отношение времен:

$$k = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$$

Составьте экспериментальную таблицу и вычислите теплоемкости тел по формуле (*).

На основе результатов, составьте круг претендентов веществ.

$c_0, \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}}$	k,	$M_0, \text{г}$	$m_0, \text{г}$	$\mu, \text{г}$	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot ^\circ\text{C}}$

Таблица 4

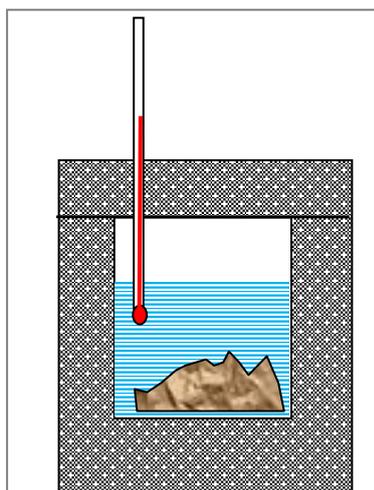


Рисунок 2

4. Определение теплоемкости калориметрическим методом.

Во втором методе используем «классический» калориметр.

Запишем уравнение теплового баланса

$$c_0 \cdot m_0 \cdot T_0 + c \cdot \mu \cdot 100 = (c_0 \cdot m_0 + c \cdot \mu) \cdot T_{max}$$

Отсюда

$$c = c_0 \frac{m_0 (T_{max} - T_0)}{\mu (100 - T_{max})}$$

Здесь: c_0 - теплоёмкость воды, m_0 - масса воды в калориметре, c - теплоёмкость кристалла, μ - масса тела, T_{max} - равновесная температура в калориметре после установления теплового равновесия.

Экспериментальная таблица

Масса тела μ , г	Масса воды в контейнере m_0 , г	Температура воды в контейнере T_0 , °C	Максимальная температура теплового равновесия T_{max} , °C	Теплоемкость тела, c , $\frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot \text{°C}}$

Таблица 1

Сделайте измерения для каждого тела и занесите данные в таблицу. Рассчитайте теплоемкость и погрешность ее измерения. На основе результатов, составьте круг претендентов веществ. Сделайте вывод о точности метода.

5. Анализ магнитных свойств.

Поднесите тело к магниту и определите к какому классу веществ (диамагнетики, парамагнетики или ферромагнетики) оно относится.

На основе результатов, составьте круг претендентов веществ. Сделайте вывод о точности метода.

6. Анализ химических свойств.

Установив наиболее вероятного претендента, проведите реакции, в которых предполагаемый металл проявил бы свои основные химические свойства.

Сделайте вывод, о правильности предположения.

7. На основе полученных данных определите вещество каждого из тел. Сделайте вывод о точности определения

Уровень В.

Задача: определить вещества, из которых состоят тела.

Оборудование: 3 тела, нить, ножницы, мензурка, электронные весы, весы с разновесами, стакан с водой, калориметры, термометры, вода, нагреватель, магнит, таблицы теплоемкостей, плотностей, магнитных свойств веществ, гидроксид натрия, азотная кислота.

Инструктаж по технике безопасности прослушан. (дата, подпись).

План работы.

Для определения веществ воспользуйтесь следующими методами:

1. Измерение плотности стандартным методом (с помощью мензурки).

2. Измерение плотности методом гидростатического взвешивания.

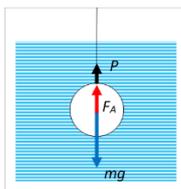


Рисунок 3

3. Измерение теплоемкости с помощью остывания открытых калориметрических систем.

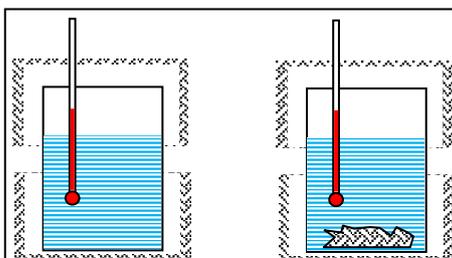


Рисунок 4

4. Измерение теплоемкости с помощью уравнения теплового баланса.

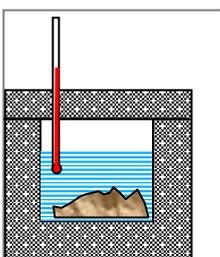


Рисунок 5

5. Анализ магнитных свойств.

6. Анализ химических свойств.

Проведите каждое измерение, рассчитайте погрешности. На основе результатов сделайте вывод о веществах.

Уровень С.

Задача: с помощью имеющегося оборудования максимально точно (по нескольким характеристикам) определить вещества, из которых состоят тела.

Оборудование: 3 тела, нить, ножницы, мензурка, электронные весы, весы с разновесами, стакан с водой, калориметры, термометры, вода, нагреватель, магнит, таблицы теплоемкостей, плотностей, магнитных свойств веществ.

Контрольные измерения.

1. Цилиндр

Плотность

$\rho_0, \frac{\text{Г}}{\text{СМ}^3}$	$m_0, \text{Г}$	$m, \text{Г}$	$\rho, \frac{\text{Г}}{\text{СМ}^3}$
1	140,67	122,56	7,76

Таблица 6

Теплоемкость

Масса тела μ , г	Масса воды в контейнере m_0 , г	Температура воды в контейнере T_0 , °C	Максимальная температура теплого равновесия T_{max} , °C	Теплоемкость тела, $c, \frac{Дж}{г \cdot °C}$
140,67	130,3	29,5	39,5	551,83

Таблица 2

Магнитные свойства
Ферромагнетик

2. Колба.

Плотность

$\rho_0, \frac{г}{см^3}$	m_0 , г	m , г	$\rho, \frac{г}{см^3}$
1	30,34	26,72	8,38

Таблица 8

Теплоемкость

Масса тела μ , г	Масса воды в контейнере m_0 , г	Температура воды в контейнере T_0 , °C	Максимальная температура теплого равновесия T_{max} , °C	Теплоемкость тела, $c, \frac{Дж}{г \cdot °C}$
30,34	132,1	24	26	494,24

Таблица 9

Магнитные свойства:
Ферромагнетик

3. Груз

Плотность

$\rho_0, \frac{г}{см^3}$	m_0 , г	m , г	$\rho, \frac{г}{см^3}$
1	99,08	59,69	2,51

Таблица 10

Теплоемкость

Масса тела μ , г	Масса воды в контейнере m_0 , г	Температура воды в контейнере T_0 , °C	Максимальная температура теплого равновесия T_{max} , °C	Теплоемкость тела, $c, \frac{Дж}{г \cdot °C}$
99,08	103,3	20,5	34,5	935,95

Таблица 11

Магнитные свойства:
Парамагнетик.

Рецензия

на проектную работу по физике

ученика 11а класса МБОУ гимназии №44 г.Пензы

Болякина Егора Владиславовича

«Исследование физических параметров неизвестного кристалла»

В преподавании физики можно выделить две противоречивые тенденции: формирование представлений о физике как модели реальных явлений и привитие навыков исследовательской творческой работы. Первая требует отсечением мелких подробностей, не укладывающихся в рамки модели, вторая - выявление новых деталей в ходе изучения явления. Второму направлению образовательной деятельности в силу ряда причин уделяется меньше внимания. В демонстрационном эксперименте и физическом практикуме сознательно добиваются того, чтобы побочные эффекты были максимально смазаны.

В работе Болякина Егора «Исследование физических параметров неизвестного кристалла» сделана попытка экспериментального изучения на базе школьной лаборатории физических параметров неизвестного кристалла. Проведены исследования различных физических, химических параметров с которыми ученик не встречается при изучении базового школьного курса физики. Изучение представленных в работе методов, доступных в школьной лаборатории, определение точности результатов различных методов измерения, а также полученные результаты экспериментальных исследований в ходе работы, которые легли в основу создания лабораторной работы физического практикума несомненно позволяют глубоко понимать непосредственно физику как экспериментальную науку, ее метапредметный характер. Работа интересна тем, что для качественного правильного проведения исследований, необходимы знания из различных разделов курса физики, химии, технологии, математики и информатики. А опыт планирования, организации и проведения эксперимента позволяет формировать и развивать ключевые компетенции выпускника школы.

Работа Болякина Егора «Исследование физических параметров неизвестного кристалла» отвечает всем требованиям и может быть представлена на научно-практической конференции школьников.

Рецензент

учитель физики высшей квалификационной категории

МБОУ гимназии №44 г.Пензы

Подпись Кисаилов АВ
секретарь гимназии

