

# Выращивание и изучение физических свойств кристаллов медного купороса и перманганата калия

Выполнила: Вариксоо Елена Юкувна,  
ученица МОУ «Изборский лицей»  
Печорского района, 9 класс.

Научный руководитель:  
учитель физики Кузьминых Олег  
Иннокентьевич,  
консультант Кузьмина Галина Ивановна,  
методист отделения физики ПОЦРОД и Ю

Поэзия! Завидуй кристаллографии!  
Кусай ногти в гневе и бессилии!  
О.Э.Мандельштам

# Гипотеза:

В домашних условиях можно вырастить кристаллы из смеси растворов, крупные кристаллы способом затравки и в лабораторных условиях изучить их некоторые физические свойства.

## Цель работы:

- Вырастить кристаллы медного купороса и перманганата калия, а также смеси растворов данных веществ.
- Изучить и рассчитать электропроводность выращенных кристаллов медного купороса. Определить к какому классу электропроводимости относится данное вещество.
- Изучить микротвердость и плотность кристаллов медного купороса.

# Актуальность работы.

- Аналогов этой работы нет. Сведений об микротвердости и электропроводности кристаллов медного купороса нет ни в литературных источниках, ни в Интернете. Сведения об электрическом сопротивлении кристаллов короткие: известно, что оно велико, но нет точных табличных данных.

# Объектом исследования

- является процесс выращивания и изучения физических свойств кристаллов медного купороса и перманганата калия.

**Предмет исследования** – расчёт электропроводимости и микротвердости кристаллов медного купороса, выращенных в домашних условиях.



# В соответствии с поставленными целями были определены следующие задачи:

- Провести анализ научной и научно – популярной литературы по теме исследования и на этом основании:
  - Вырастить кристаллы медного купороса, перманганата калия и из смеси растворов данных веществ в домашних условиях;
  - Выявить объективные условия и изменения, происходящие с кристаллами при одинаковых условиях выращивания в зависимости от различного химического состава;
  - Определить микротвердость выращенных кристаллов.
  - Определить электропроводность выращенных кристаллов. Для выполнения некоторых частей данной задачи необходимо было создать «таблетку» из мелких кристаллов.
- Изучить полученные результаты (сравнить с табличными, если таковые есть).

# Для решения поставленных задач были использованы следующие методы исследования:

1. Теоретический анализ проблемы;
2. Практические:  
выполнение лабораторных работ:
  - по выращиванию кристаллов медного купороса, перманганата калия и их смеси.
  - по созданию «таблеток» из мелких кристаллов для дальнейшего изучения их электропроводности.
  - по измерению плотности и микротвердости.
3. Применение метода компенсации для изучения электропроводности крупных кристаллов и «таблеток» медного купороса.

# Базой исследования являлись:

- лаборатория физики твёрдого тела физико–математического факультета Псковского педагогического университета имени С.М.Кирова
- частный дом в д. Раково Новоизборской волости Печорского района.
- кабинет физики МОУ «Изборский лицей»

# Содержание теоретической части:

- Кристаллы и их виды
- Свойства кристаллов
- Дефекты в кристаллах.
- Применение кристаллов.
- Образование и рост кристаллов.
- Методы выращивания кристаллов.
- Кристаллизация из растворов.
- Кристаллы в природе.



# Кристаллы и их виды

**Кристаллами** называют твердые тела, в которых расположение атомов или молекул друг относительно друга периодически повторяется в пространстве при параллельном перемещении.

Кристаллические тела делятся на два вида: поликристаллические и монокристаллические.

# Свойства кристаллов.

- Анизотропия
- Теплопроводность.
- Плавление
- Пластичность
- Упругость
- Хрупкость
- Электропроводность (проводимость), способность веществ проводить электрический ток, обусловленная наличием в них подвижных заряженных частиц (носителей заряда) — электроионов, ионов и др.

# Дефекты в кристаллах.

- **Дефекты в кристаллах** – это нарушение строгой периодичности частиц в кристаллической решетки.
- **Бывают:**
  - 1. точечные дефекты**
  - 2. линейные дефекты**
  - 3. поверхностные или двухмерные дефекты**
  - 4. объемные или трехмерные.**

# Методы выращивания кристаллов.

1. Метод Чохральского, разработан в 1918 году;
2. Метод вертикальной направленной кристаллизации (ВНК) создан в 1924 И. В. Обреимовым и Л. В. Шубниковым;
3. Метод горизонтальной направленной кристаллизации (ГНК) разработан в Институте кристаллографии АН;
4. Синтез драгоценных ювелирных и технических камней по способу М. А. Вернейля.
5. Кристаллизация из растворов.



# Использованный метод выращивания.

- Простейшим вариантом выращивания является высокий сосуд, в нижней части которого помещается исходное вещество, а в верхней подвешивается затравка. В результате возникает конвекция раствора, обеспечивающая постоянный перенос вещества снизу вверх, в зону роста.

## Практическая часть.

# Выращивание кристаллов медного купороса методом затравки.

- Дневник наблюдений. Мелкие кристаллы со дна емкости также взяты для исследования.

Дата наблюдения.	Прерывание эксперимента для дальнейшего исследования кристаллов. Действие, результат
7.11.2008г	Приготовление перенасыщенного раствора медного купороса. (Пластиковая емкость, 50 мл воды $\approx 36,6$ °С, и 40 г медного купороса). Вынесла в холодное место для остужения. При температуре раствора 12°С опустила затравочный кристалл неправильной формы на нитке.
8.11.2008г	Изменений нет.
9.11.2008г	Форма кристалла стала медленно меняться, так как на нем образовались мельчайшие кристаллы.
10.11.2008г	Форма кристалла изменилась. Количество раствора уменьшилось.
11.11.2008г	Форма кристалла стала принимать форму правильного.
12.11.2008г	Продолжения изменения формы. «Достройка» формы кристалла до правильной.
13.11.2008г	Продолжения изменения формы. «Достройка» формы кристалла до правильной.
14.11.2008г	Форма кристалла практически правильна.
15.11.2008г	Прерывание эксперимента для дальнейшего исследования кристаллов.

# Измерение микротвёрдости кристалла медного купороса.

- **Расчёт числа твёрдости.**
- **Цель работы:** рассчитать число твёрдости исследуемого кристалла медного купороса.
- **Приборы и материалы:** микротвёрдометр ПМТ-3, исследуемый кристалл.
- **Ход работы:**
  - П.1. произведение 5 уколов в исследуемый кристалл.
  - П.2. замер диагоналей отпечатков алмазной пирамиды.
  - П.3. перевод числа деления окуляра в миллиметры.
  - П.4. расчёт числа твёрдости по формуле:  $H = \frac{1,854P}{d^2}$ , где H – число твёрдости, P – нагрузка на пирамиду, выраженная в Ньютонах, d – диагональ отпечатка в мм.
  - П.5. Расчёт приборной и статистической погрешностей измерений.
- Произведённые замеры дали следующие результаты:
  - 1 дел = 0,000315мм
  - d1 = 87,5 дел. = 0,0275625 мм, d2 = 84 дел. = 0,02646 мм, d3 = 85,5 дел. = 0,0269325 мм, d4 = 76 дел. = 0,02394 мм, d5 = 77,5 дел. = 0,0244125 мм



# Расчет числа твердости.

$$H_1 = \frac{1,854[\Phi, 294H]}{(\Phi, 2756)^2} = 717,5 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

$$H_2 = \frac{1,854[\Phi, 294H]}{(\Phi, 2646)^2} = 778,5 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

$$H_3 = \frac{1,854[\Phi, 294H]}{(\Phi, 2693)^2} = 751,5 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

$$H_4 = \frac{1,854[\Phi, 245H]}{(\Phi, 2394)^2} = 792,5 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

$$H_5 = \frac{1,854[\Phi, 245H]}{(\Phi, 2441)^2} = 717,5 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

$$H_{\text{ср.}} = \frac{717,5 \frac{H}{\text{мм}^2} + 778,5 \frac{H}{\text{мм}^2} + 751,5 \frac{H}{\text{мм}^2} + 792 \frac{H}{\text{мм}^2} + 762,5 \frac{H}{\text{мм}^2}}{5} = 760,4 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

# Статистическая погрешность:

$$\Delta H_1 = |H_{cp.} - H_1| = \left| 760,4 \frac{H}{мм^2} - 717,5 \frac{H}{мм^2} \right| = 42,9 \frac{H}{мм^2}$$

$$\Delta H_2 = |H_{cp.} - H_2| = \left| 760,4 \frac{H}{мм^2} - 778,5 \frac{H}{мм^2} \right| = 18,1 \frac{H}{мм^2}$$

$$\Delta H_3 = |H_{cp.} - H_3| = \left| 760,4 \frac{H}{мм^2} - 751,5 \frac{H}{мм^2} \right| = 8,9 \frac{H}{мм^2}$$

$$\Delta H_4 = |H_{cp.} - H_4| = \left| 760,4 \frac{H}{мм^2} - 792 \frac{H}{мм^2} \right| = 31,6 \frac{H}{мм^2}$$

$$\Delta H_5 = |H_{cp.} - H_5| = \left| 760,4 \frac{H}{мм^2} - 762,2 \frac{H}{мм^2} \right| = 2,2 \frac{H}{мм^2}$$

$$\Delta H_{cp.} = \frac{42,9 \frac{H}{мм^2} + 18,1 \frac{H}{мм^2} + 8,9 \frac{H}{мм^2} + 31,6 \frac{H}{мм^2} + 2,2 \frac{H}{мм^2}}{5} = 20,75 \frac{H}{мм^2}$$

# Приборная погрешность:

В расчётной формуле измеряется только длина диагоналей, поэтому

$$\xi(H_{np.}) = \frac{\Delta d}{d_1} = \frac{2 \cdot 0,000315}{0,0275625} = 0,023$$

$$\xi(H_{np.}) = \frac{\Delta d}{d_2} = \frac{2 \cdot 0,000315}{0,02646} = 0,024$$

$$\xi(H_{np.}) = \frac{\Delta d}{d_3} = \frac{2 \cdot 0,000315}{0,02693} = 0,023$$

$$\xi(H_{np.}) = \frac{\Delta d}{d_4} = \frac{2 \cdot 0,000315}{0,02394} = 0,026$$

$$\xi(H_{np.}) = \frac{\Delta d}{d_5} = \frac{2 \cdot 0,000315}{0,02441} = 0,025$$

$$\xi(H) = \frac{\Delta H}{H} \cdot 100\% = \frac{27,7 \frac{H}{\text{мм}^2}}{760,4 \frac{H}{\text{мм}^2}} \cdot 100\% = 3,6\%$$

$$\xi(H_{np.ср.}) = \frac{0,023 + 0,024 + 0,023 + 0,026 + 0,025}{5} = 0,0242$$

$$\Delta H_{np.} = \xi(H_{np.ср.}) \cdot H_{ср.} = 0,0242 \cdot 760,4 \frac{H}{\text{мм}^2} = 18,4 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

$$\Delta H = \sqrt{\Delta H_{ср.}^2 + \Delta H_{np.}^2} = \sqrt{\left(20,75 \frac{H}{\text{мм}^2}\right)^2 + \left(18,4 \frac{H}{\text{мм}^2}\right)^2} = 27,7 \frac{H}{\text{мм}^2}$$

# Итоговый результат:

$$H = (760,4 \pm 27,7) \frac{H}{\text{мм}^2}, \text{ при } \xi = 3,6\%$$



# Определение плотности кристаллов медного купороса.

**Цель работы:** определить плотность кристалла медного купороса.

**Приборы и материалы:** исследуемый кристалл, весы лабораторные с разновесом, штангенциркуль.

**Ход работы:**

**П.1. определение массы кристалла:** В ходе проведённого взвешивания было определено, что масса исследуемого кристалла  $m = 0,065\text{г}$

**П.2. определение объёма кристалла:**

Так как кристалл представляет собой прямоугольный параллелепипед, то его объём определяется по формуле:  $V = a \cdot b \cdot c$ , где  $a$  это длина кристалла,  $b$  – ширина кристалла,  $c$  – толщина кристалла. Измерения были проведены при помощи штангенциркуля с ценой деления  $0,05$  мм. В ходе измерений были получены следующие результаты:

$$a = 0,59 \text{ см}; b = 0,38 \text{ см}; c = 0,13 \text{ см}$$

$$V = 0,59 \text{ см} \cdot 0,38 \text{ см} \cdot 0,13 \text{ см} = 0,029146 \text{ см}^3 \text{ – объём исследуемого кристалла}$$

**П.3. определение плотности кристалла:**

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,065\text{г}}{0,029146\text{ см}^3} = 2,23\frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 2230\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

# Определение погрешностей вычислений:

$$\xi(\rho) = \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot 100\% \quad \text{- относительная погрешность}$$

$$\xi(\rho) = \xi(m) + \xi(V) \qquad \xi(m) = \frac{\Delta m}{m} \cdot 100\% = \frac{0,001}{0,065} \cdot 100\% = 1,5\%$$

$$\xi(V) = \left( \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \right) \cdot 100\% = \left( \frac{0,05}{5,9} + \frac{0,05}{3,8} + \frac{0,05}{1,3} \right) \cdot 100\% = 5,9\%$$

$$\xi(\rho) = 1,5\% + 5,9\% = 7,4\%; \qquad \Delta\rho = \xi(\rho) \cdot \rho = 0,074 \cdot 2230 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 166 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

**Итоговый результат:**  $\rho = (2230 \pm 166) \text{кг/м}^3$ , при  $\xi(\rho) = 7,4\%$   
Для сравнения: табличный результат от 2200 до 2300 кг/м<sup>3</sup>. Этот результат подтверждает выдвинутую гипотезу.

# Практическая часть.

## Исследование электропроводности поликристалла медного купороса

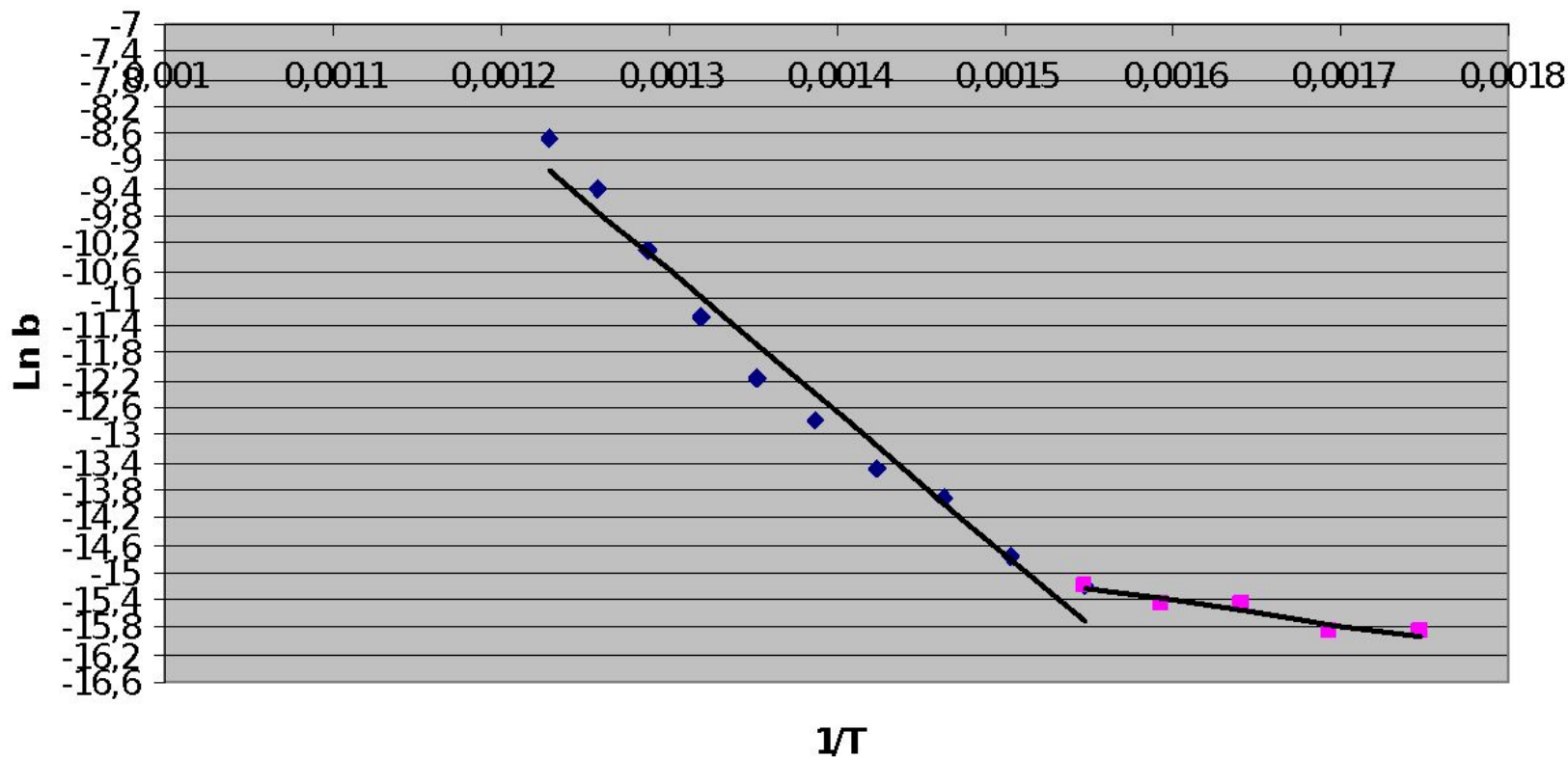
$\sigma$	$\sigma$	$\log \sigma$	T	1/T
19,10828	1,9108E-07	-6,71878	516,2	0,001937
25,47777	2,5478E-07	-6,59384	534,8	0,00187
19,10828	1,9108E-07	-6,71878	553,4	0,001807
12,73885	1,2739E-07	-6,89487	572	0,001748
12,73885	1,2739E-07	-6,89487	590,6	0,001693
19,10828	1,9108E-07	-6,71878	609,2	0,001641
19,10828	1,9108E-07	-6,71878	627,8	0,001593
25,4777	2,5478E-07	-6,59384	646,4	0,001547
38,21655	3,8217E-07	-6,41775	665	0,001504
89,17195	8,9172E-07	-6,04977	683,6	0,001463
140,1274	1,4013E-06	-5,85348	702,2	0,001424
280,2545	2,8025E-06	-5,55245	720,8	0,001387
522,2929	5,2229E-06	-5,28209	739,4	0,001352
1261,146	1,2611E-05	-4,89923	758	0,001319
3398,725	3,3987E-05	-4,46868	776,6	0,001288
8152,864	8,1529E-05	-4,08869	795,2	0,001258
17197,45	0,00017197	-3,76454	813,8	0,001229

# График изменения электропроводности поликристалла с увеличением температуры.

зависимость электропроводности поликристалла от температуры

$$y = -20710x + 16,323$$
$$R^2 = 0,9749$$

$$y = -3548,5x - 9,7395$$
$$R^2 = 0,8932$$





# Практическая часть.

## Исследование электропроводности монокристалла медного купороса.

$\sigma$	$\sigma$	$\log(\sigma)$	$1/T$	$T$
28,9	0,000000289	-6,5391	0,001937	516,2
14,46	1,446E-07	-6,83983	0,00187	534,8
7,2	0,000000072	-7,14267	0,001807	553,4
10,1	0,000000101	-6,99568	0,001748	572
14,45	1,445E-07	-6,84013	0,001693	590,6
21,6	0,000000216	-6,66555	0,001641	609,2
28,9	0,000000289	-6,5391	0,001593	627,8
28,9	0,000000289	-6,5391	0,001547	646,4
43,35	4,335E-07	-6,36301	0,001504	665
115,6	0,000001156	-5,93704	0,001463	683,6
245,65	2,4565E-06	-5,60968	0,001424	702,2
664,7	0,000006647	-5,17737	0,001387	720,8
1748,45	1,74845E-05	-4,75735	0,001352	739,4
57882	0,00057882	-3,23746	0,001319	758
16906,5	0,000169065	-3,77195	0,001288	776,6
35258	0,00035258	-3,45274	0,001258	795,2
55488	0,00055488	-3,2558	0,001229	813,8

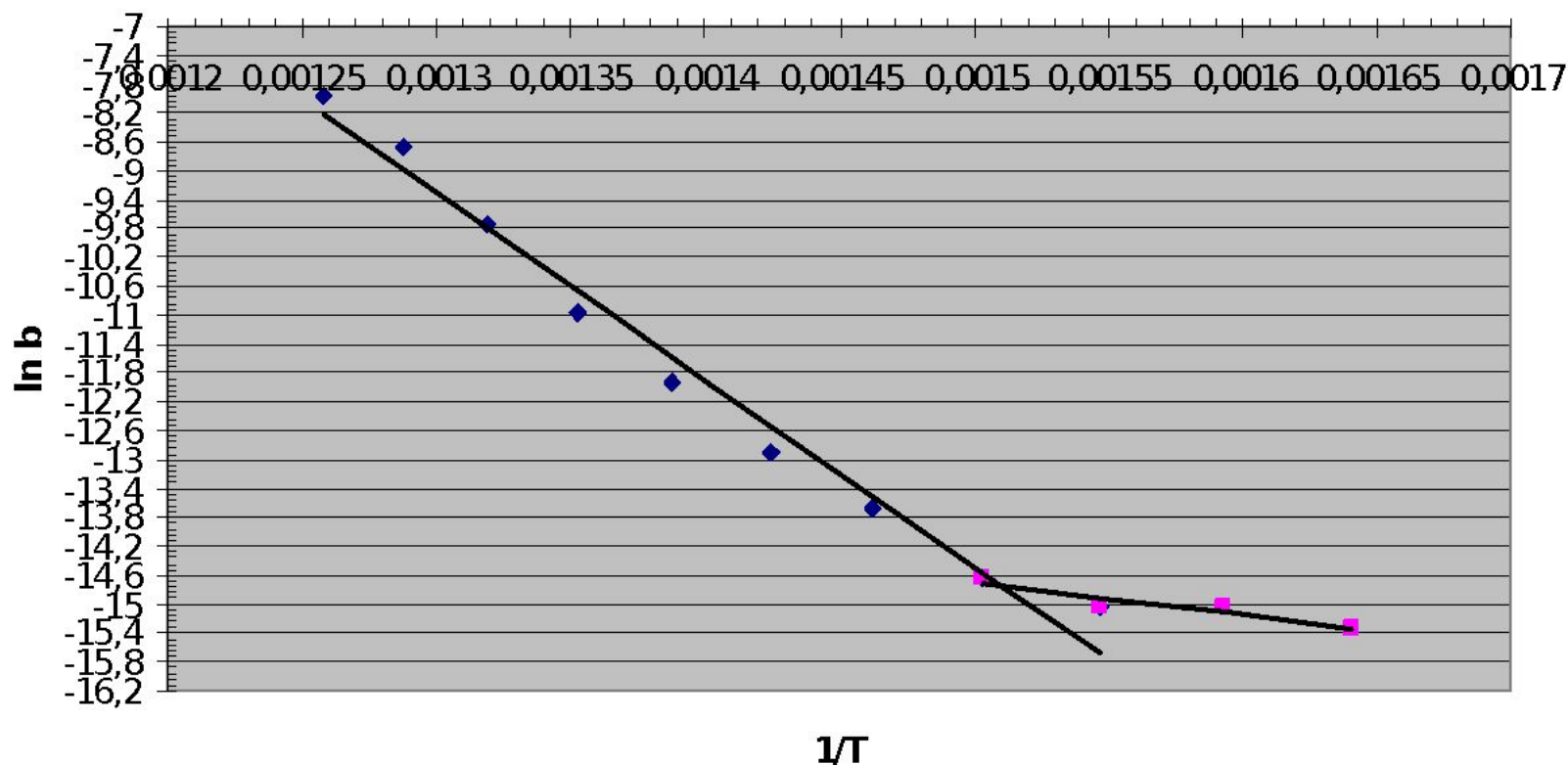
# График изменения электропроводности монокристалла с увеличением температуры

зависимость электропроводности монокристалла от

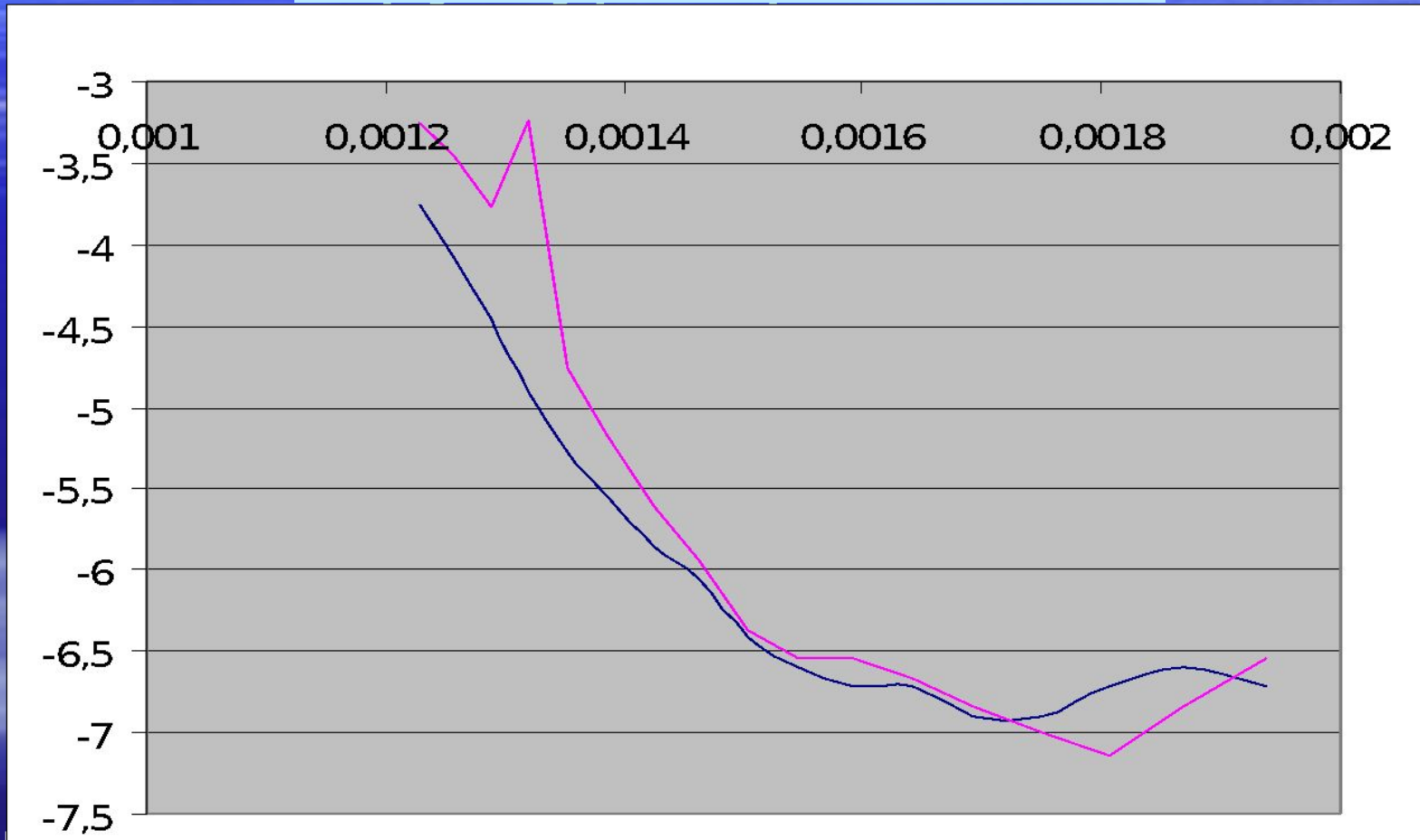
$$y = -25728x + 24,124$$
$$R^2 = 0,9817$$

температуры

$$y = -4535,7x - 7,9014$$
$$R^2 = 0,8821$$



# График зависимости электропроводности от температуры и структуры кристалла.



- Красный график – монокристалл
- Синий график - поликристалл

# Электрическое сопротивление

## Монокристалл

T	R
572	9900990
590,6	6920415
609,2	4629630
627,8	3460208
646,4	3460208
665	2306805
683,6	865051,9
702,2	407083,2
720,8	150443,8
739,4	57193,51
758	17301,04
776,6	5914,885
795,2	2836,236

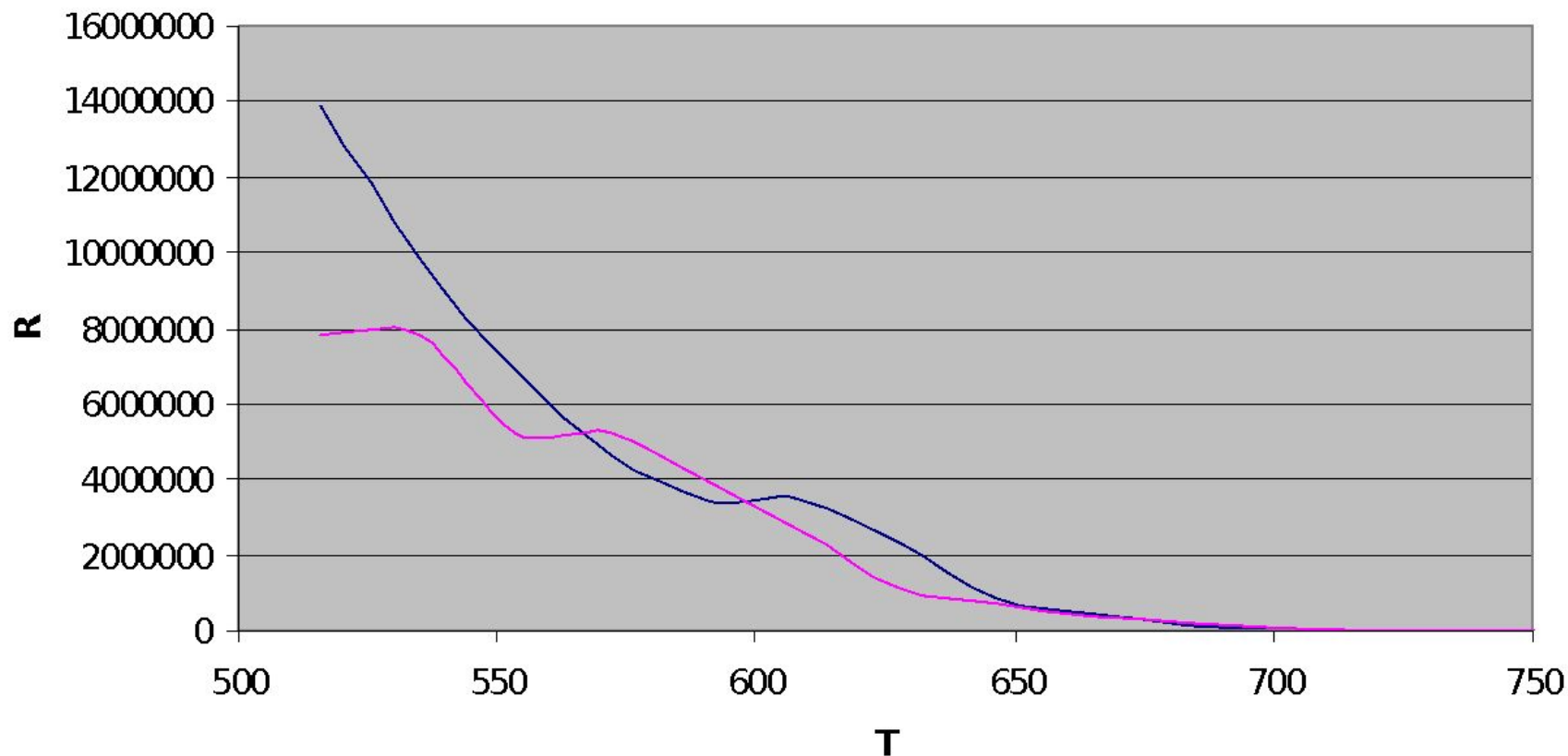
## Поликристалл

T	R
572	7850002
590,6	7850002
609,2	5233333
627,8	5233333
646,4	3925001
665	2616667
683,6	1121429
702,2	713636,6
720,8	356818,5
739,4	191463,5
758	79292,95
776,6	29422,8
795,2	12265,63



# Сопротивление

Зависимость сопротивления кристаллов медного купороса от температуры



- Красный график – поликристалл
- Белый график - монокристалл

# Определение энергии активации

- Зная аналитическое выражение соответствующих графиков  $y=A*x+B$
- $E=0.2*tgf$
- $tgf = -A$
- Данные:

Монокристалл

$$E_1=5145.6 \text{ eV}$$

$$E_2=907.14 \text{ eV}$$

Поликристалл

$$E_1=4142 \text{ eV}$$

$$E_2=709.7 \text{ eV}$$

# Практическая часть.

## Использованный метод изучения электропроводности.

**НУЛЕВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ**  
(компенсационный метод измерений), один из вариантов метода сравнения с мерой, в котором на нулевой прибор воздействует сигнал, пропорциональный разности измеряемой и известной величин, причем эту разность доводят до нуля. Пример: измерение электрических величин (электродвижущей силы, электрического сопротивления, емкости и др.) с применением потенциометров и измерительных мостов.

# Применение кристаллов .

## Медный купорос.

Кристалл медного купороса наиболее важная соль меди, часто служит исходным сырьём для получения других соединений. Безводный сульфат меди можно использовать как индикатор влажности, с его помощью в лаборатории проводят осушку этанола и некоторых других веществ. Наибольшее количество непосредственно применяемого  $\text{CuSO}_4$  расходуется на борьбу с вредителями в сельском хозяйстве, в составе с бордосской смеси с известковым молоком – от грибковых заболеваний и виноградной тли, а также для протравливания зерна. В пищевой промышленности изредка используется в качестве консерванта (пищевая добавка E519). Применяют при получении минеральных красок, при выделке кож, в гальванических элементах.



# Применение кристаллов.

## Перманганат калия.

- ПЕРМАНГАНАТ КАЛИЯ, марганцовокислый калий.  $\text{KMnO}_4$  - сильный окислитель; при смешении его с концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , а также с некоторыми органическими веществами (напр., глицерином) может произойти взрыв. Используется для метода химического титриметрического анализа, основанный на применении растворов перманганата калия ( $\text{KMnO}_4$ ) для количественно объёмных определений. В химической практике широко применяют как окислитель; в медицине как дезинфицирующее средство при ожогах и других повреждениях, а также для отбеливания тканей, в фотографии.

# Природный «двойник» Медный купорос

- **ХАЛЬКАНТИТ** – от греческого халькос – медь, антос – цветок. Синтезированные формы: камень галицийский синий, купорос медный, цианозит.  $\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Редкий. Цвет: голубой, синий до зеленовато-синего. Блеск стеклянный. Твердость 2 – 2,5. Плотность 2,2 – 2,3. В воде легко растворяется. Встречается в зоне окисления медных руд или выпадает из водных растворов на медных рудниках. Редок ввиду легкой растворимости.

# Кристаллы в природе. Перманганат калия.

- ПИРОЛЮЗИТ (63,2% Mn), минерал подкласса простых оксидов,  $MnO_2$ . Иногда содержит до несколько % воды. Примеси K и др. Темные, плотные, землистые массы. Твердость от 2 до 6-6,5; плотность около 5,1 г/см<sup>3</sup>. Важная руда марганца. Чистые пиролюзиты используются в производстве сухих гальванических элементов, химических препаратов, в стеклянном, фарфоровом и других производствах.

# Заключение

В результате проведённых исследований мы выяснили, что выдвинутая нами гипотеза полностью подтверждается: нам удалось вырастить кристаллы медного купороса, перманганата калия и из смеси растворов данных веществ, а также определить опытным путём число электропроводности, плотности и микротвердости выращенных кристаллов медного купороса.

В ходе исследований мы выяснили, что кристаллы медного купороса являются полупроводником.

В ходе наблюдений за ростом кристаллов мы выяснили, что кристаллы разных солей растут с разной скоростью. Быстрее всего образовывались кристаллы медного купороса, немного медленнее кристаллы из смеси растворов и самыми медленными в росте оказались кристаллы перманганата калия.

Процесс кристаллизации происходил интенсивно в результате частого перепада температур, так как частный дом, где выращивались кристаллы, без удобств.



# Список литературы

- Боярская Ю.С. Деформирование кристаллов при испытании на микротвердость. –Кишинёв: Штминца,1972
- Буховцев О.Ф., Климантович Ю.Л. Физика -9 .– М.,1988
- Енохович А.С. Справочник по физике.-М.: Просвещение, 1978
- Кабардин О.Ф., Кабардина С.И. и др. Факультативный курс физики. - М.,1974
- Ландау Л.Д.и др. Физика для всех. Молекулы.. –М., 1984  
Физика твердого тела. Лабораторный практикум (методы получения  
Твёрдых тел и исследования их структуры) / под ред. Прооф. Хохлова. -М.: Высшая школа, 2001, т.1
- Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твёрдого тела.- М.: Высшая школа, 2000
- Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фадеев М.А. Кристаллография. –М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 2000
- Штейнберг А.С. Репортаж из мира сплавов. –М., 1989