

**Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
«Лицей № 15» города Воронежа**

**Профильное направление:**  
естественно-научные дисциплины (физика)

**Прикладной проект:**  
«Изучение физических явлений, лежащих в основе технологий  
изготовления некоторых ювелирных изделий»

**Выполнила учащаяся 10 класса:**  
Лютина Дарья Андреевна

**Научный руководитель:**  
Валуйская Ольга Александровна

2023 - 2024 г.

## Содержание

1. Введение .....	3
2. Актуальность .....	3
3. Цель и задачи .....	3
4. Проблема и методика исследования .....	3-4
5. Теоретическая часть .....	4-6
5.1 История изготовления ювелирных изделий в технике зернения .....	4-5
5.2 Технология изготовления ювелирных изделий различными народами .....	5-6
5.3 Характеристика используемых материалов .....	6-7
5.4 Явление поверхностного натяжения .....	7
6. Экспериментальная часть .....	7-9
6.1 Экспериментальная установка .....	7-8
6.2 Методика проведения опыта .....	8-9
7. Проектирование моделей украшений .....	10
8. Заключение.....	11
9. Список литературы .....	11

## 1. Введение

Физика – наука, которая изучает структуру и эволюцию материального мира. Явления физики окружают нас повсюду: в природе, в быту. Всем известно прикладное значение этой науки. Без знания законов физики невозможно создание объектов архитектуры и мостов, авиакосмической и военной техники, медицинского оборудования и компьютеров. В ходе выполнения проекта хотелось бы рассмотреть технологии, которые применяли еще в древности различные народы для создания некоторых ювелирных изделий.

## 2. Актуальность

Многие технологии ювелирного искусства пришли к нам из далекого прошлого. Используемые технологии представляют для меня интерес, поэтому я приняла решение попробовать выполнить роль мастера ювелирных дел. Для этого мне нужно было не только применить знания и умения, которые я приобрела ранее на уроках физики и химии, но и освоить навыки проектирования, креативного подхода.

## 3. Цель и задачи

### *Цель:*

Изучение физических явлений, лежащих в основе изготовления ювелирных изделий; проектирование подобных изделий на основе технологий различных древних народов.

### *Задачи:*

- Изучить литературу с описанием истории и технологий изготовления ювелирных изделий в технике зернения.
- Изучить теорию физических явлений: нагревания (охлаждения) и плавления (кристаллизации) вещества, поверхностного натяжения жидкостей.
- Выполнить сравнительный анализ свойств материалов и технологий зернения, используемых в древности и в ходе выполнения проекта.
- Составить план проведения эксперимента, подобрать необходимое оборудование и материалы.
- Провести эксперимент по получению элементов зернения для проектирования ювелирных изделий.
- Создать проект моделей украшений.

## 4. Проблема и методика исследования

**Проблема исследования:** освоение технологии зернения в условиях школьной физической лаборатории.

**Объект исследования:** ювелирные изделия, выполненные в технике зернения.

**Предмет исследования:** явления нагревания (охлаждения), плавления (кристаллизации) вещества, поверхностного натяжения; получение зерни различных параметров для создания проекта ювелирных изделий.

### **Методика исследования**

Теоретические методы: анализ, синтез, сравнение.

Эмпирические методы: изучение источников информации, эксперимент, проектирование моделей ювелирных изделий.

Фото и видео фиксация в ходе выполнения проекта по моделированию ювелирных изделий.

## 5. Теоретическая часть

### 5.1. История изготовления ювелирных изделий в стиле зернения различными народами в древности

**Зернь** - ювелирная техника, при которой мелкие шарики (диаметром до 0,4 см) из драгоценных металлов напаиваются на аналогичную им по составу основу.

В истории считают, что эта техника появилась в 3-м тыс. до н. э. в Месопотамии, широко распространилась в античном и византийском ювелирном искусстве, в 1-м тыс. до н. э. в Этрурии, в 9 в. известна в Древней Руси, но была утрачена во времена монгольского нашествия и в современности реконструирована только приблизительно.

Ниже на фото № 1 представлен один из экспонатов «Российского этнографического музея». Это серебряные пуговицы, датированы XVII—XVIII вв. Это ювелирное изделие русских мастеров выполнены в различных техниках: филигрань, зернь, позолота. Познакомимся еще с одним экспонатом (фото № 2), он выставлен в одной из палат музея Суздальского Кремля.



Фото 1. Серебряные пуговицы,  
XVII—XVIII вв.



Фото 2. Золотая пуговица,  
XVI—XVII вв.

Подобные изделия представляли большую ценность и даже могли передаваться по наследству.

Далее на фото мы видим ювелирное изделие в виде золотой подвески, которое находится в Лувре (собрание Кампана). Выполнено оно древними этрусками примерно в IV-V в. до н.э. Как видно, подвеска изготовлена в технике зернения из большого количества элементов различного размера.



Фото 3. Золотая подвеска, (IV-V в. до н.э.)

Специалисты считают, что процесс изготовления ювелирных изделий представлял собой сложный и трудоемкий процесс, а иногда и очень опасный.

## **5.2. Технология изготовления ювелирных изделий различными народами.**

Каким же образом древние ювелиры могли создать такие шедевры?

В качестве драгоценных металлов применяли: золото, серебро, сплавы металлов.

### **Техника зернения в Древней Руси.**

Для создания качественного узора необходимо большое количество ювелирных зернышек одинакового размера. Для этого тонкую проволоку нарезали небольшими кусочками, их помещали на поверхность древесного угля, где были рядами расположены углубления, определенного диаметра; при контакте с раскаленным углем металл плавился и стекал в углубления.

Затем, из полученных шариков создавали узор на тонком слое припоя, который в пламени горелки сплавлял их с основанием. Чтобы припой был крепким, но не нарушал структуру рисунка использовали амальгаму (сплав золота и ртути). При нагревании до высокой температуры ртуть испарялась, а золото быстро плавилось, образуя надежное сцепление. Пары ртути опасны для здоровья человека, вызывают отравление. Известны факты, что мастера использующие такую технику не доживали до 30 лет.

### Техника зернения в античной Этрурии.

Длительное время ученые не могли объяснить, каким образом этруски припавали мельчайшие золотые крупинки к основанию изделия, не расплавив их при этом. Сегодня считают, что древние ювелиры создавали узор из золотых шариков на листе папируса, затем шариками вниз укладывали на медную основу и постепенно нагревали. Во время нагрева происходила диффузия меди в золото, из-за чего образовывался медно-золотой сплав. Температура плавления золота 1064 °С, а сплава золота с медью намного ниже. Это значит, что мастера повышали температуру до тех пор, пока расплавлялась только зона сплава, а сами золото и медь оставались в твердом состоянии.

Данная техника этрусков менее опасна, чем та что применялась в Древней Руси.

### 5.3 Характеристики используемых материалов

Рассмотрим характеристики материалов, используемых в древности и нами при выполнении проекта.

Вещества	Свойства	$c$ , удельная теплоемкость вещества, $\frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$	$t$ плавл., $^\circ C$	$\lambda$ , удельная теплота плавления, $\frac{кДж}{кг}$
Сплав олова и свинца	Стойкость к коррозии, мягкий, пластичный, хороший проводник тепла и электричества	167	200	59 (олово) 24,3 (свинец)
Золото	Стойкость к коррозии; мягкий; пластичный; хороший проводник тепла и электричества	130	1064	60

Исходя из данных сравнительной таблицы, можно заметить, что удельная теплоемкость сплава незначительно больше, поэтому нагреваться представленные вещества будут довольно быстро. Температура плавления сплава примерно в 5 раз ниже, чем у золота; удельная теплота плавления сплава ниже, чем у золота примерно в два раза, поэтому затраты энергии на нагревание

и плавление для сплава будут меньше. К тому же сплав является недорогим и доступным, поэтому в своей работе я попробую повторить технику зернения применяя этот сплав.

## 5.4 Явление поверхностного натяжения

Рассмотрим еще одно явления, лежащее в основе техники зернения – явление поверхностного натяжения.

Рассмотрим причину образования этого явления.

1. Молекулы внутри жидкости (А) взаимодействуют с соседними молекулами, которые действуют на нее со всех сторон с одинаковой силой. По первому закону Ньютона равнодействующая всех сил равна нулю. Молекула внутри жидкости в равновесии.

2. Молекулы на поверхности жидкости взаимодействует с паром, плотность которого намного меньше и сила взаимодействия значительно меньше, чем внутри жидкости. Следовательно, равнодействующая сил, действующая на молекулу (Б) направлена внутрь жидкости. Поэтому свободная поверхность жидкости сокращается, так как не все молекулы могут уйти внутрь.

На поверхности остается некоторое число молекул, при котором ее площадь минимальна, с минимальной поверхностной энергией.

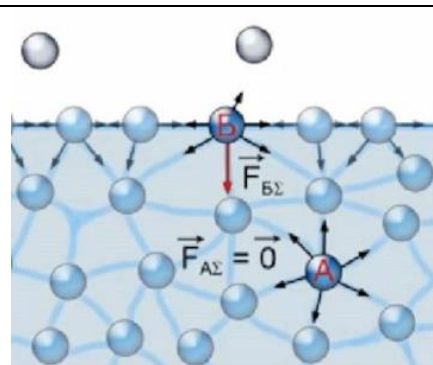


Рис. 1. Силы, действующие на молекулы жидкости внутри жидкости (А) и в поверхностном слое (Б)

Коэффициент поверхностного натяжения – отношение поверхностной энергии к площади поверхности жидкости.

$$\sigma = \frac{U_{пов}}{S}$$

Это значит, что чем меньше поверхностная энергия, тем меньше площадь поверхности жидкости. На основании принципа минимума потенциальной энергии все жидкости в свободном состоянии принимают форму с минимальной площадью поверхности – форму сферическую.

Следовательно, если мы расплавим кусочки металлов, то в жидком состоянии они будут иметь форму шариков и при кристаллизации ее сохранять.

## 6. Экспериментальная часть

### 6.1 Экспериментальная установка

Для проведения опыта мы используем экспериментальную установку, показанную на фото 4.



Фото 4. Экспериментальная установка

Для выполнения проекта потребовались следующие материалы и оборудование:

1. Штатив с муфтой и лапкой.
2. Плотная алюминиевая фольга.
3. Проволока № 1 (припой с канифолью и флюсом: олово (60 %)/свинец (40 %);  $d = 1$  мм).
4. Проволока № 2 (припой: олово (60 %)/свинец (40 %);  $d=1,5$  мм).
5. Свеча.
6. Паяльник электрический (мощность 60 Вт).
7. Ножницы, штангенциркуль, пинцет.

В ходе предварительного эксперимента выяснилось, что удобнее работать с проволокой № 1, т.к. удобнее нарезать кусочки нужной длины и количества.

## 6.2 Методика проведения опыта

1. Нарезем проволоку № 1 на кусочки длиной по 10, 15, 30 и 45 мм.



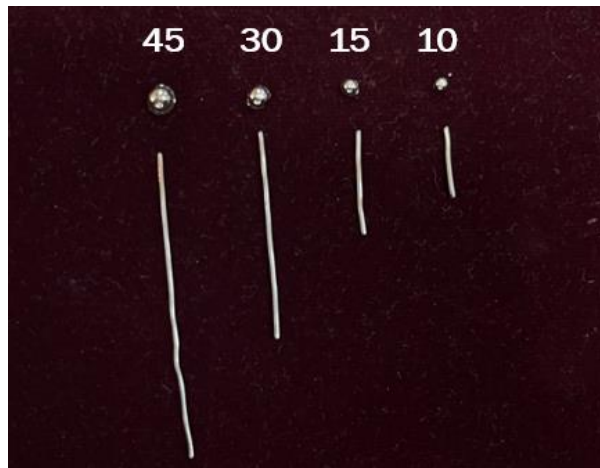


Фото 5. Образцы проволоки различной длины и полученная из них зернь

2. Соберем установку из штатива с лапкой и подложки из фольги. Дно подложки из фольги должно иметь плоскую форму для получения полусферических зерен.
3. Положим кусочки проволоки по очереди на фольгу и с помощью свечки расплавим.
4. Для нашего ювелирного изделия больше подошли шарики  $d_1 = 1,7 \text{ мм}$  и  $d_2 = 3,2 \text{ мм}$ , из проволоки длиной **10 мм** и **45 мм**.
5. Нарезаем еще 30 кусочков по 45 мм и 30 кусочков по 10 мм.



Фото 6, 7. Образцы проволоки нужной длины

6. Расплавим их.



Фото 8, 9. Процесс плавления и получения зерен металла

## 7. Проектирование моделей украшений

На фото снизу представлены модели украшений из зерни, подложкой для них послужила кожа черно-графитового цвета. Подобный рисунок можно применить для создания различных украшений: серьги, подвески, кольцо.

При создании этих моделей зерна металла, наклеивались на поверхность кожи. Зерна имеют форму полусфер, поэтому клеить их очень удобно. Получается прочный слой, граница и целостность зерен не нарушается. Картина изделия довольно эстетичная.



Фото 10 - 12. Модели украшений из зерни с подложкой из кожи

Но хотелось максимально выдержать древнюю технику, которая предполагает спайку зерен с металлической подложкой. Для этого я использовала монету достоинством 5 рублей, на которую, согласно эскизу, разложила зернь и при помощи паяльника точно подпаявала зерна металла.

Стоит заметить, что при спаивании границы зерен немного изменились, изделие выглядит не так аккуратно. Хотя удалость подпаять зерна в центре так, чтобы они между собой не слились.



Фото 13 - 14. Модели украшения из зерни с подложкой из металла

## 8. Заключение

В ходе выполнения проекта я смогла приобрести ценный опыт: по самообразованию, т.к. возникла необходимость в поиске и изучении дополнительной литературы, в том числе, научной; самостоятельному планированию физического эксперимента, имеющего прикладной характер; креативного, нестандартного подхода при создании проектов украшений с применением древней техники зернения.

Стоит заметить, что больше всего сложностей возникло на этапе создания проектов украшений на металлической подложке. Считаю, что для получения более качественных изделий требуется длительный опыт и невероятное трудолюбие. К тому же, наверняка, каждый мастер знал секреты изготовления ювелирных изделий, наследованные от отца к сыну или приобретенные в ходе личной деятельности. В большей степени мне удалось преодолеть сложности, для этого пришлось изготавливать несколько проектов украшений и применять несколько способов крепления зерен на подложки разного вида.

В любом случае, увлеченность и интерес к проекту у меня поддерживался с момента определения темы и до его завершения. Возможно, что подобная деятельность повлияет на мой профессиональный выбор.

## 9. Список литературы

1. Кабардин О.Ф., Орлов В.А., Эвенчик Э.Э., Физика. 10 класс.: учебник для общеобразоват. учреждений (углубленный уровень)/ под редакцией А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина - М.: Просвещение, 2014.- 416 с.: ил.

2. Тихомирова С.А., Яворский Б.М., Физика. 10 класс.: учебник для общеобразоват. учреждений (базовый и профильный уровни)/ С.А. Тихомирова - М.: «Мнемозина», 2010.- 304 с.: ил.

### Интернет-источники:

4. Золото этрусков: ожерелья и подвески: <https://shakko.ru/1486440.html?from=sds>

5. История изготовления ювелирных изделий в стиле зернения различными народами в древности: <https://bigenc.ru/c/zern-2e24d4>

6. Ювелирные техники: филигрань, скань, зернь и чернение: <https://jewellerymag.ru/p/jewellery-techniques/>

### Картинки:

7. Причина поверхностного натяжения, URL: <https://shareslide.ru/img/tmb/5/469848/2221b474a68080be0282ae92797ac80d-800x.jpg>

8. Формула коэффициента поверхностного натяжения, URL: [https://studfile.net/html/2706/365/html\\_sXrtYGS AeZ.ZJtn/img-hhNQq8.png](https://studfile.net/html/2706/365/html_sXrtYGS AeZ.ZJtn/img-hhNQq8.png)