

Исследование ультразвуковой левитации капли жидкости

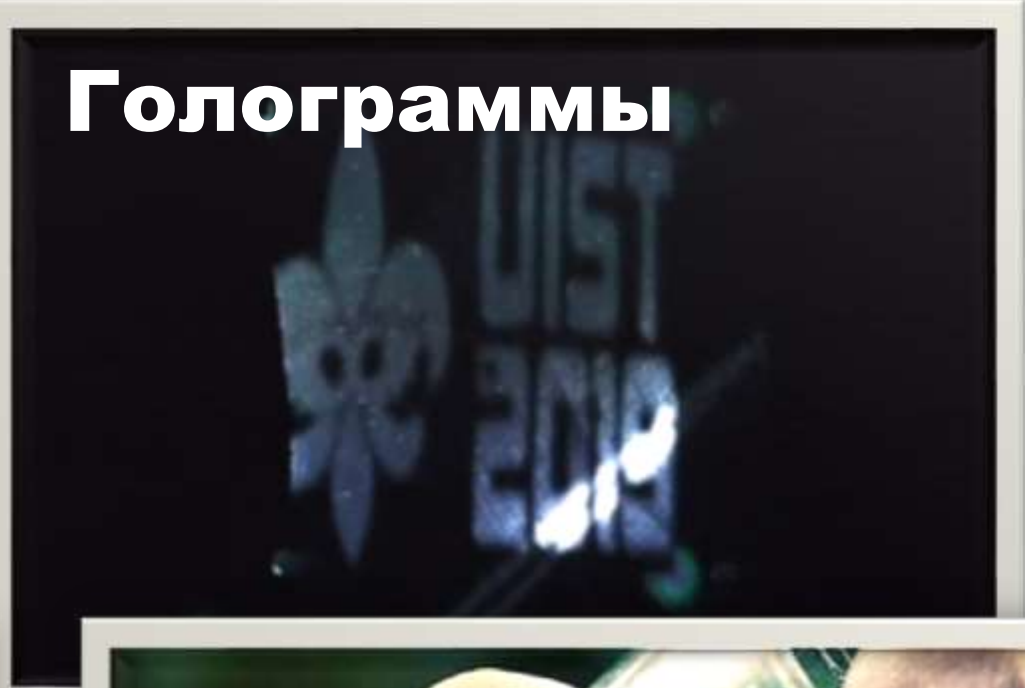
Выполнил: ученик 10 класса
МАОУ “Лицей №38” Девятайкин И.С
Руководитель: учитель физики и
астрономии высшей квалификационной
категории Тукова Н.Б.

*г. Нижний Новгород
2021 г*

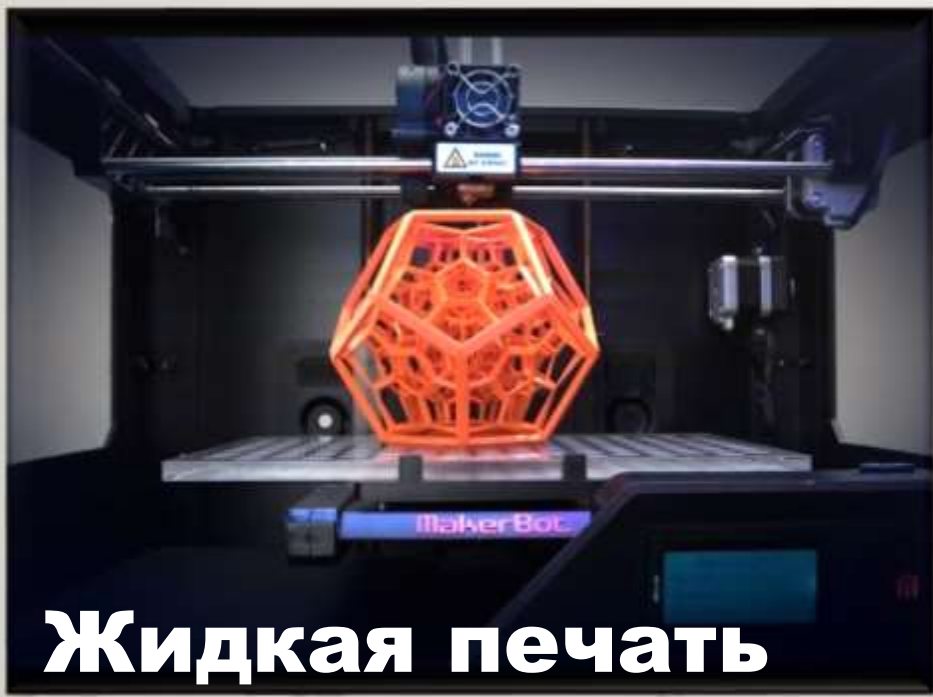
Медицина



Голограммы



Жидкая печать



**Тяжелые металлы
в воде**



Направленность исследования

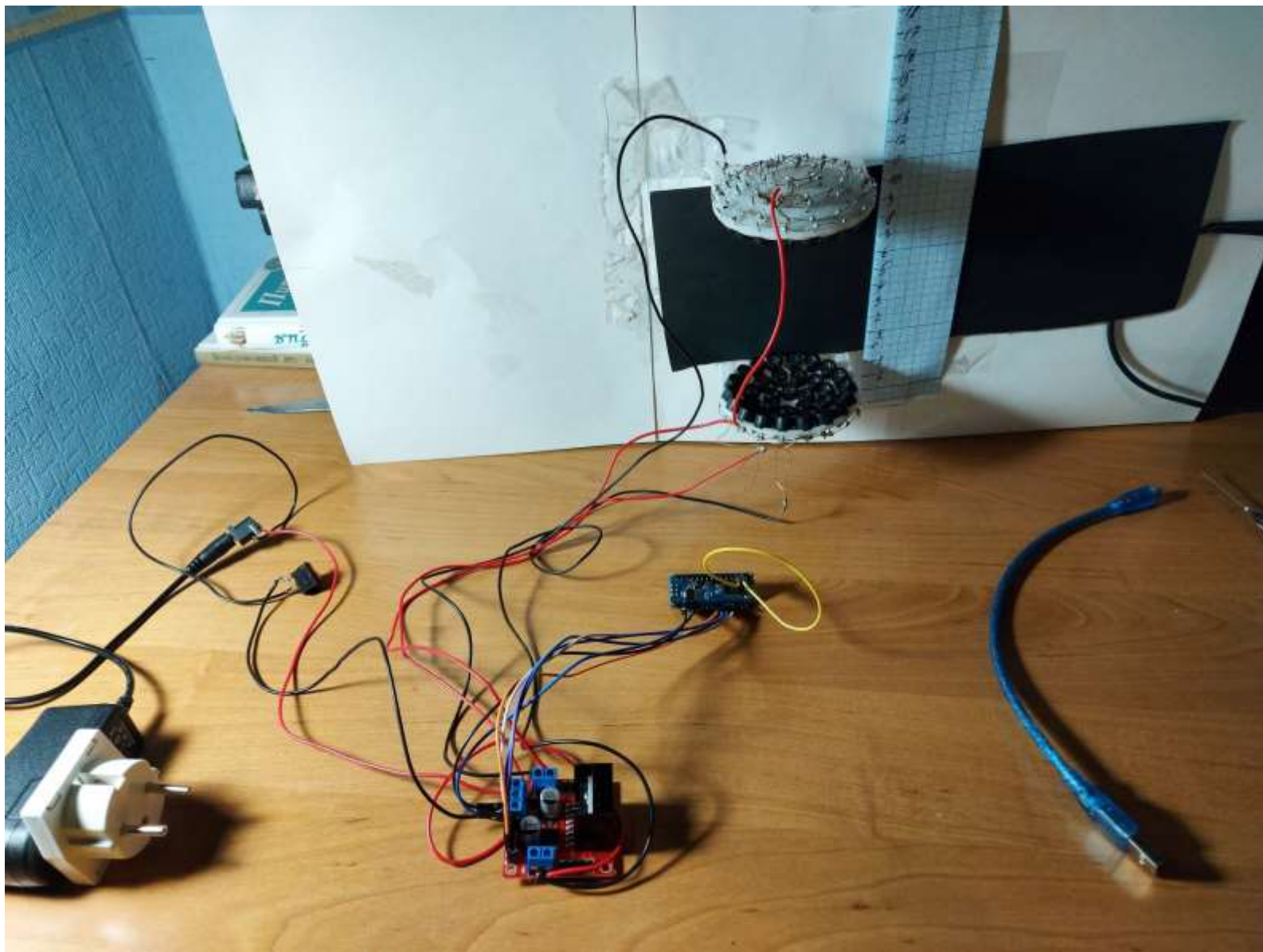
Цель:

- Исследовать акустическую левитацию
- Выявить оптимальную частоту, на которой осуществляется поднятие капель воды.

Задачи:

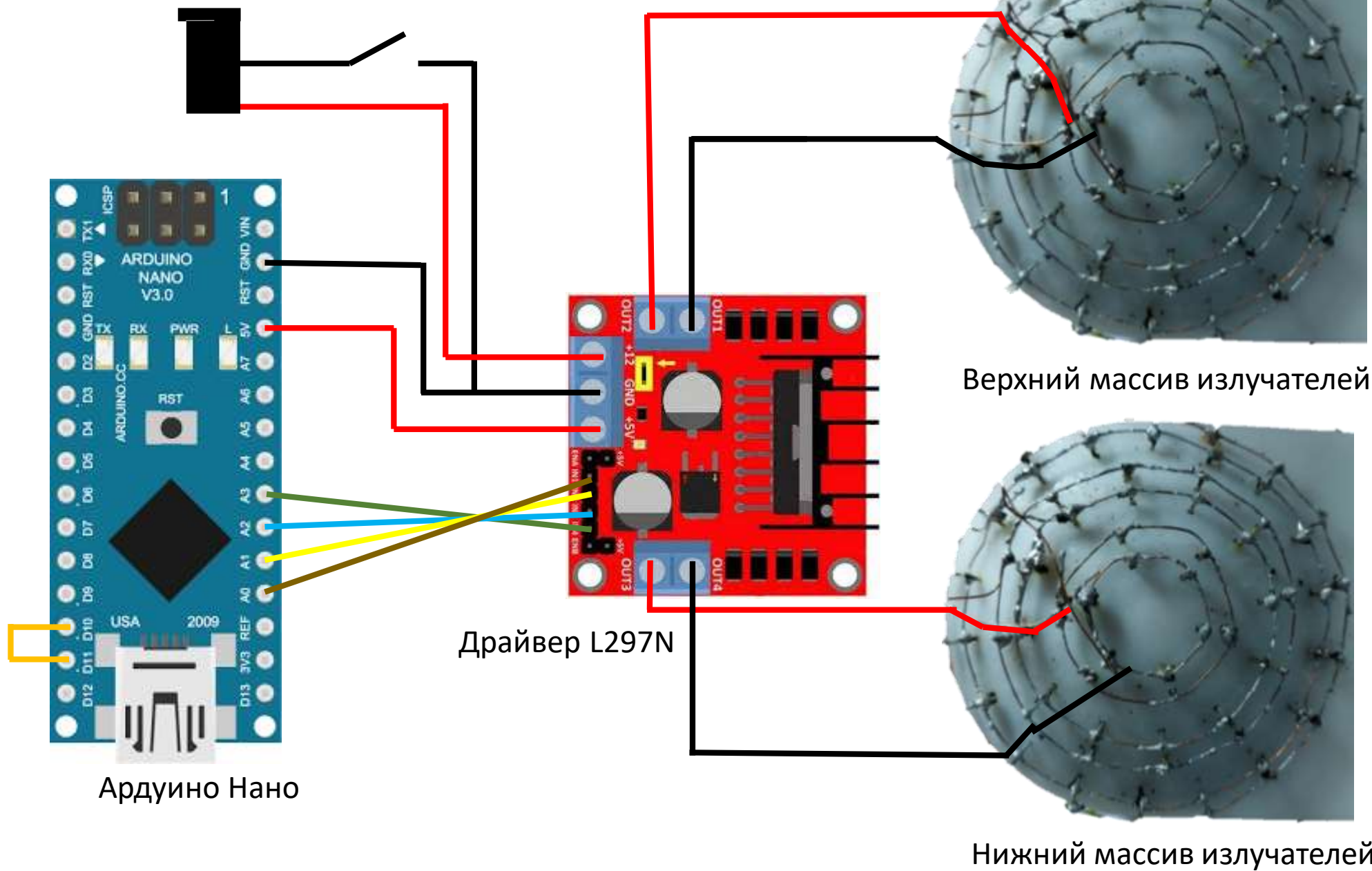
- Изучить литературу в области, в которой отражена тема исследования
- Установить зависимость максимальной массы капли, находящейся в установке, от частоты
- Доказать зависимость длины волны и её частоты
- Установить зависимость скорости нагрева капли от времени
- Оценка энергии в потенциальных ямах.

Экспериментальная установка



Схема

Источник постоянного тока



Скетч

```
#include <avr/sleep.h>
#include <avr/power.h>

byte pattern = 0b10101010;

void setup()
{
    DDRC = 0b00011111;
    PORTC = 0b00000000;

    noInterrupts();
    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;
    TCNT1  = 0;

    OCR1A = 214;
    TCCR1B |= (1 << WGM12);
    TCCR1B |= (1 << CS10);
    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
    interrupts();
```

```
    ADCSRA = 0;

    power_adc_disable();
    power_spi_disable();
    power_tw_i_disable();
    power_timer0_disable();
    power_usart0_disable();

    while(true);
}

ISR(TIMER1_COMPA_vect)
{
    PORTC = pattern;
    pattern = ~pattern;
}

void loop() {

}
```


Оборудование



Тепловизор

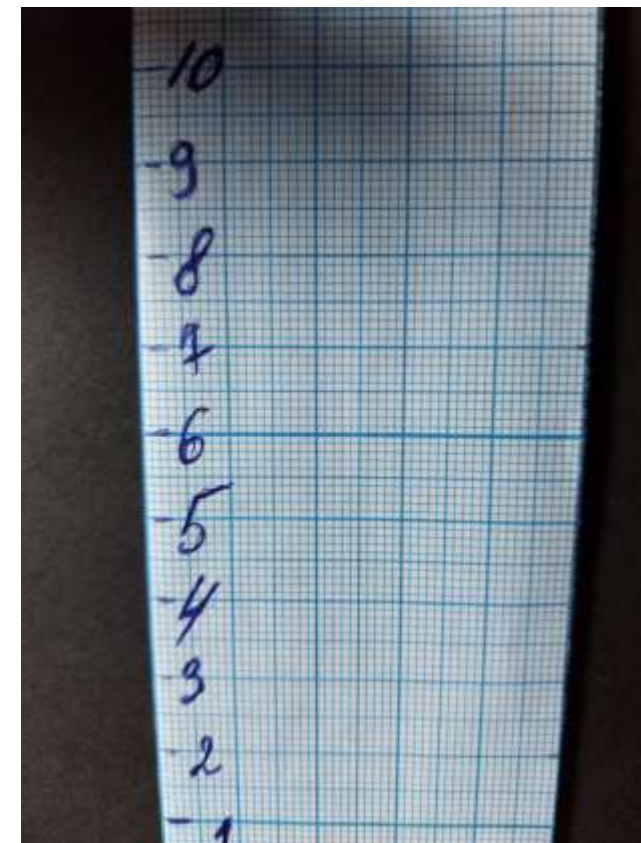
SEM DT-870



Дистиллированная
вода



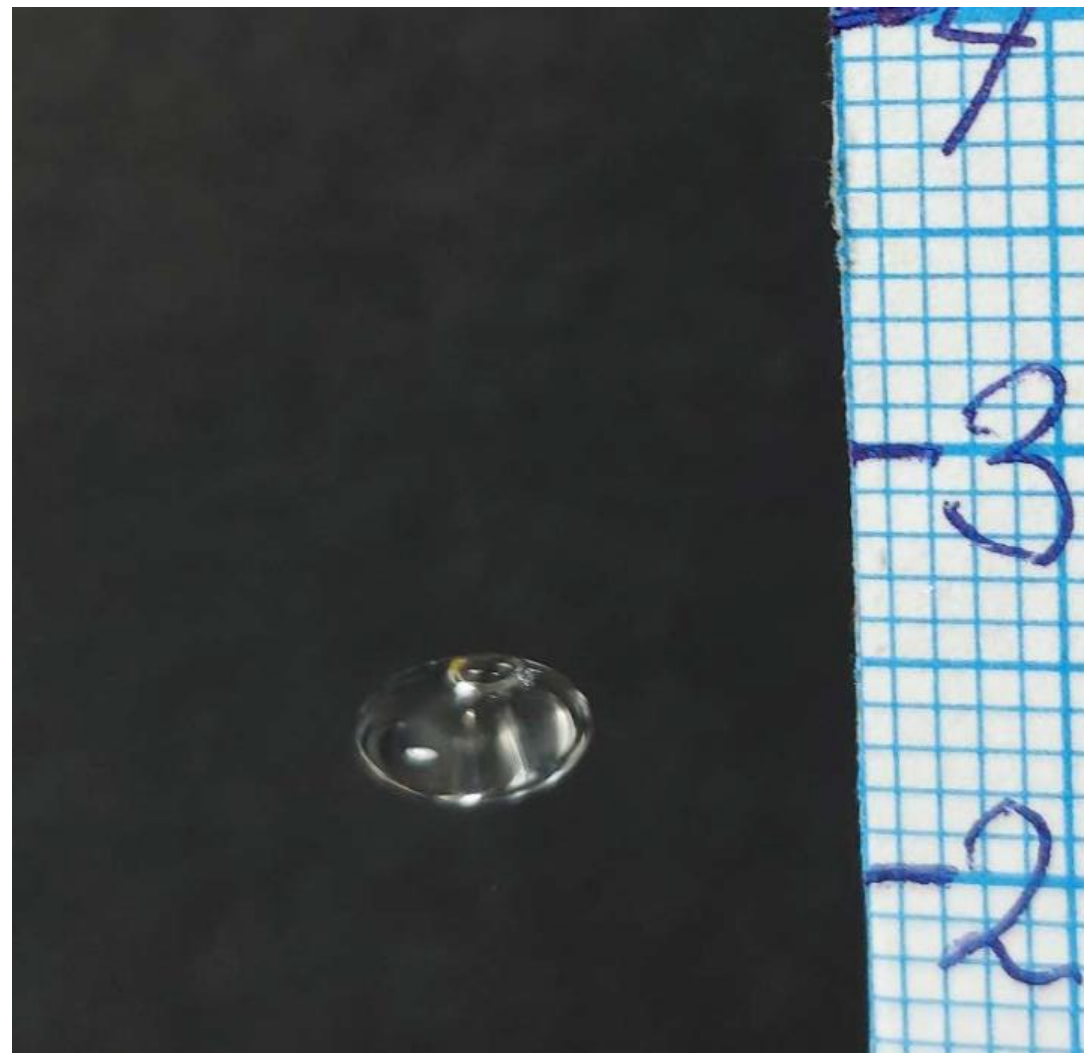
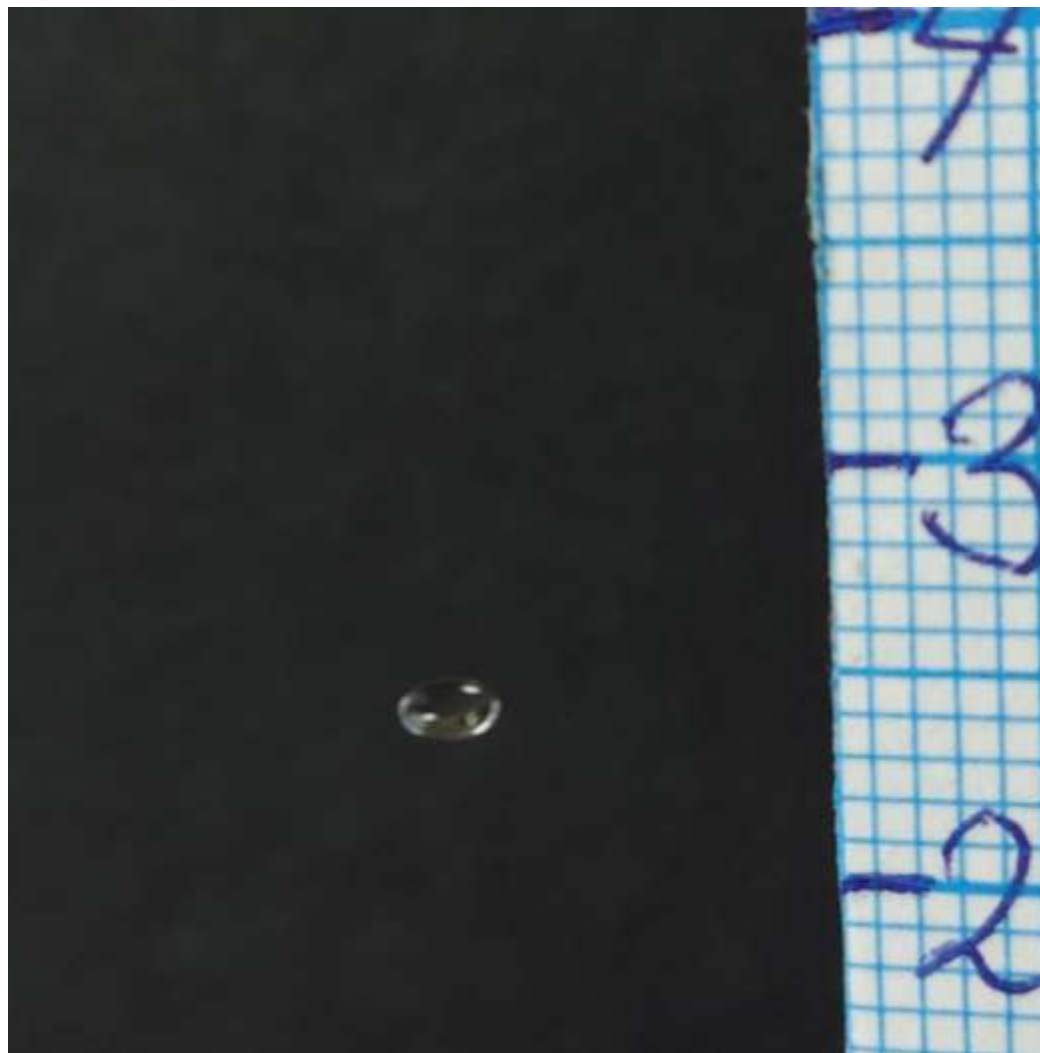
Шприц 5мл

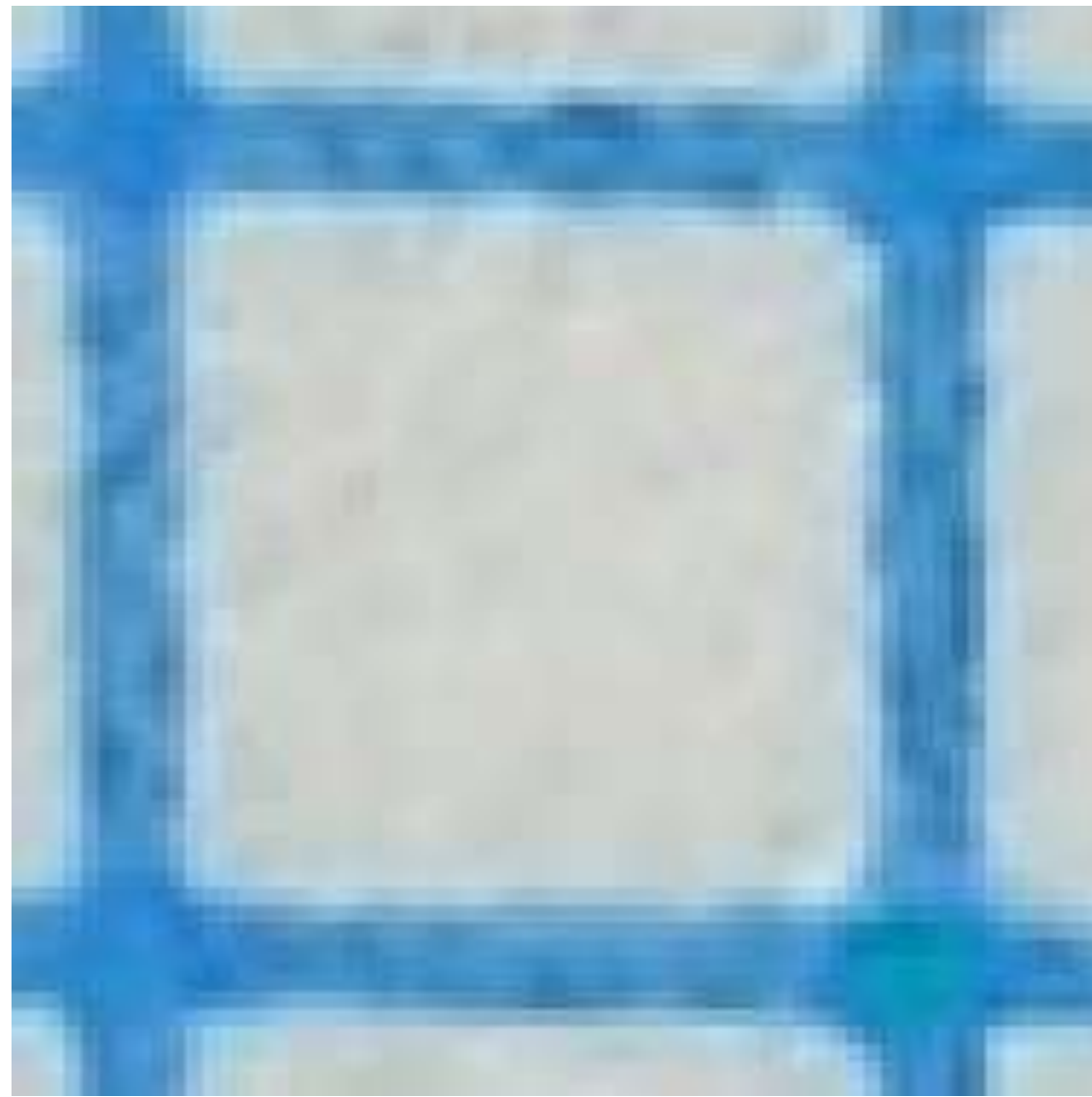
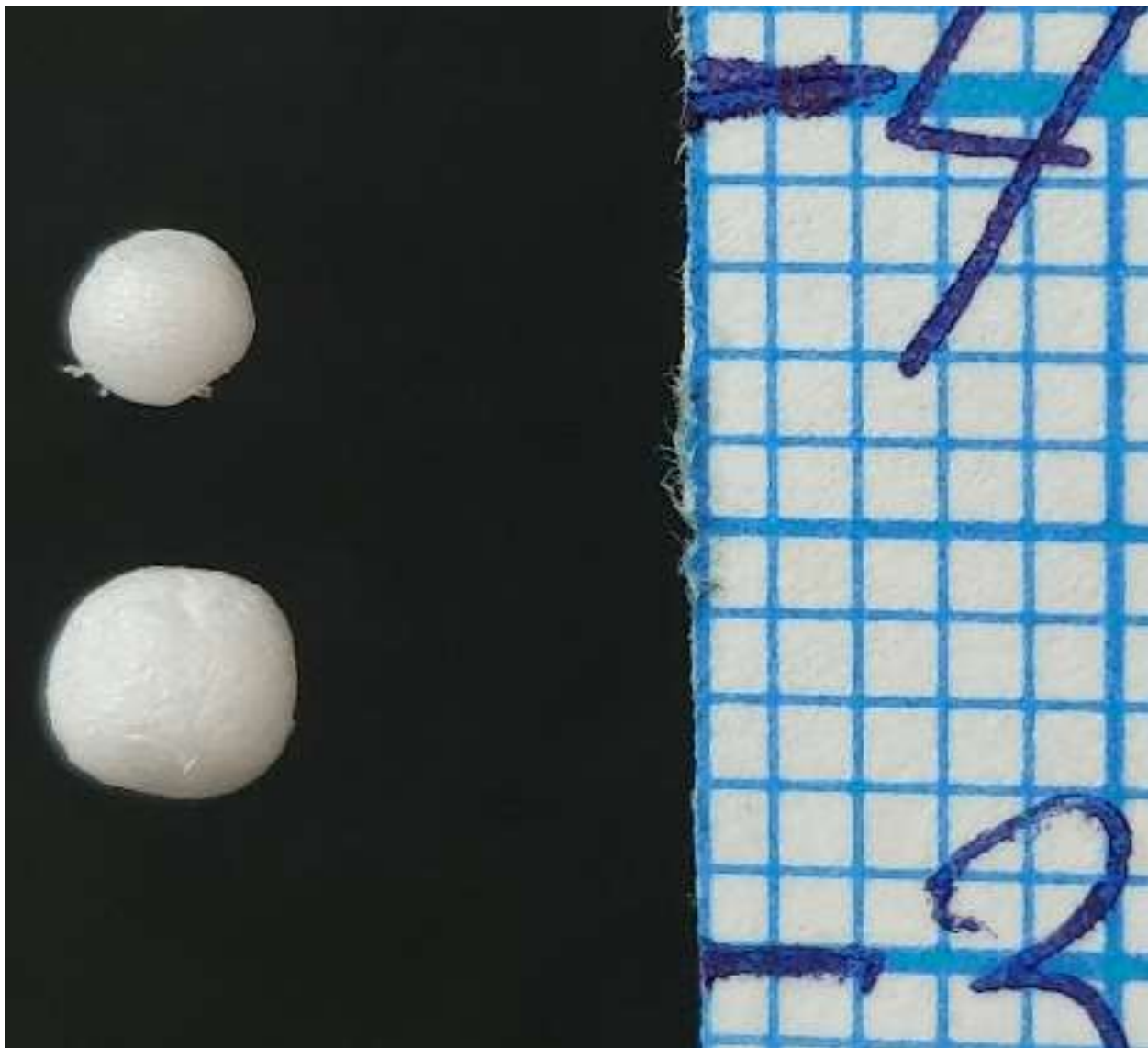


Миллиметровая
бумага

Исследование 1:

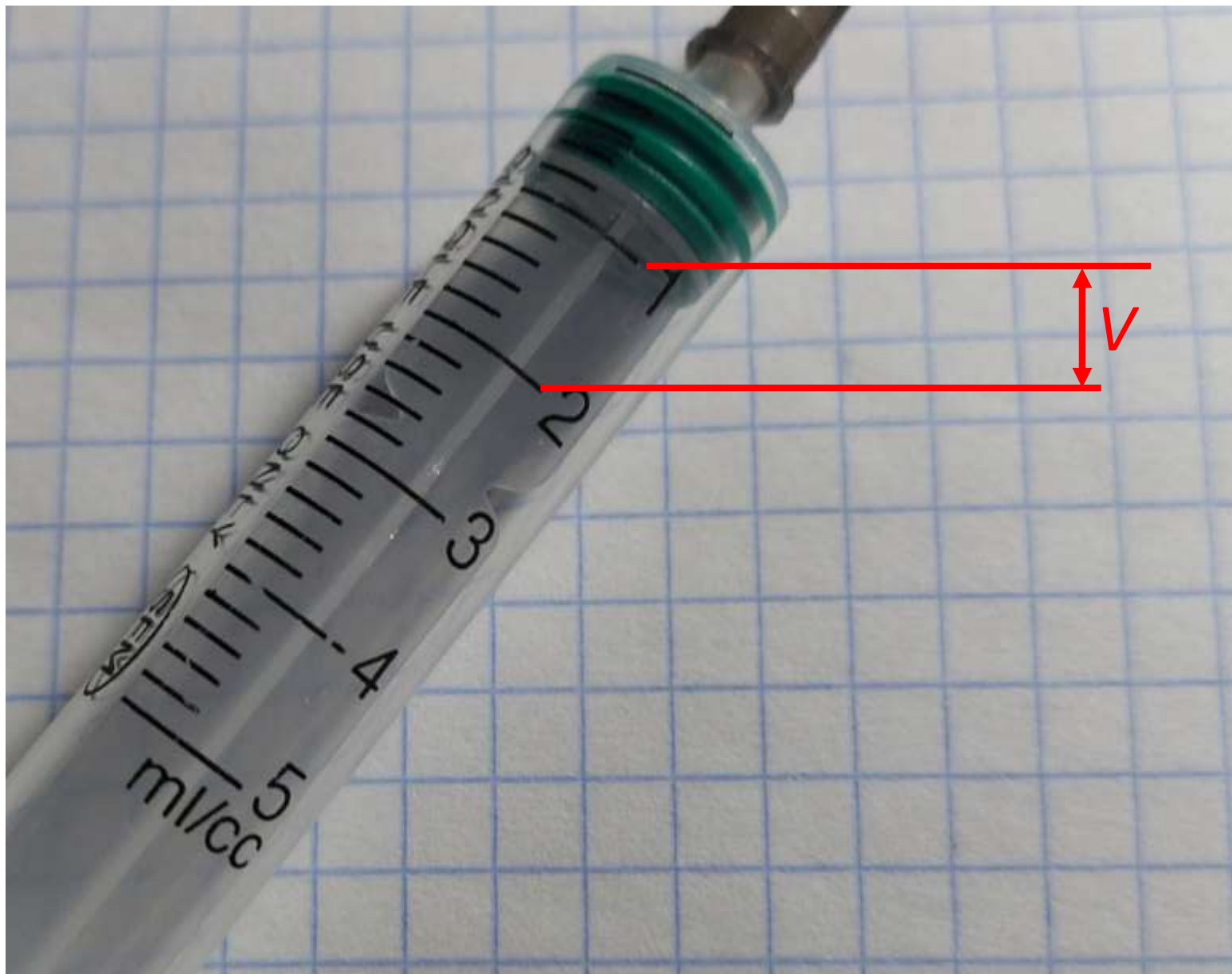
исследование зависимости массы левитирующей
капли от частоты





1 мм = 50 пикселей

Вычисление массы одной капли



$$V_0 = \frac{V}{n_M}$$

n_M — количество капель
в одном мл

V_0 — объем одной капли

$$m = nV_0\rho$$

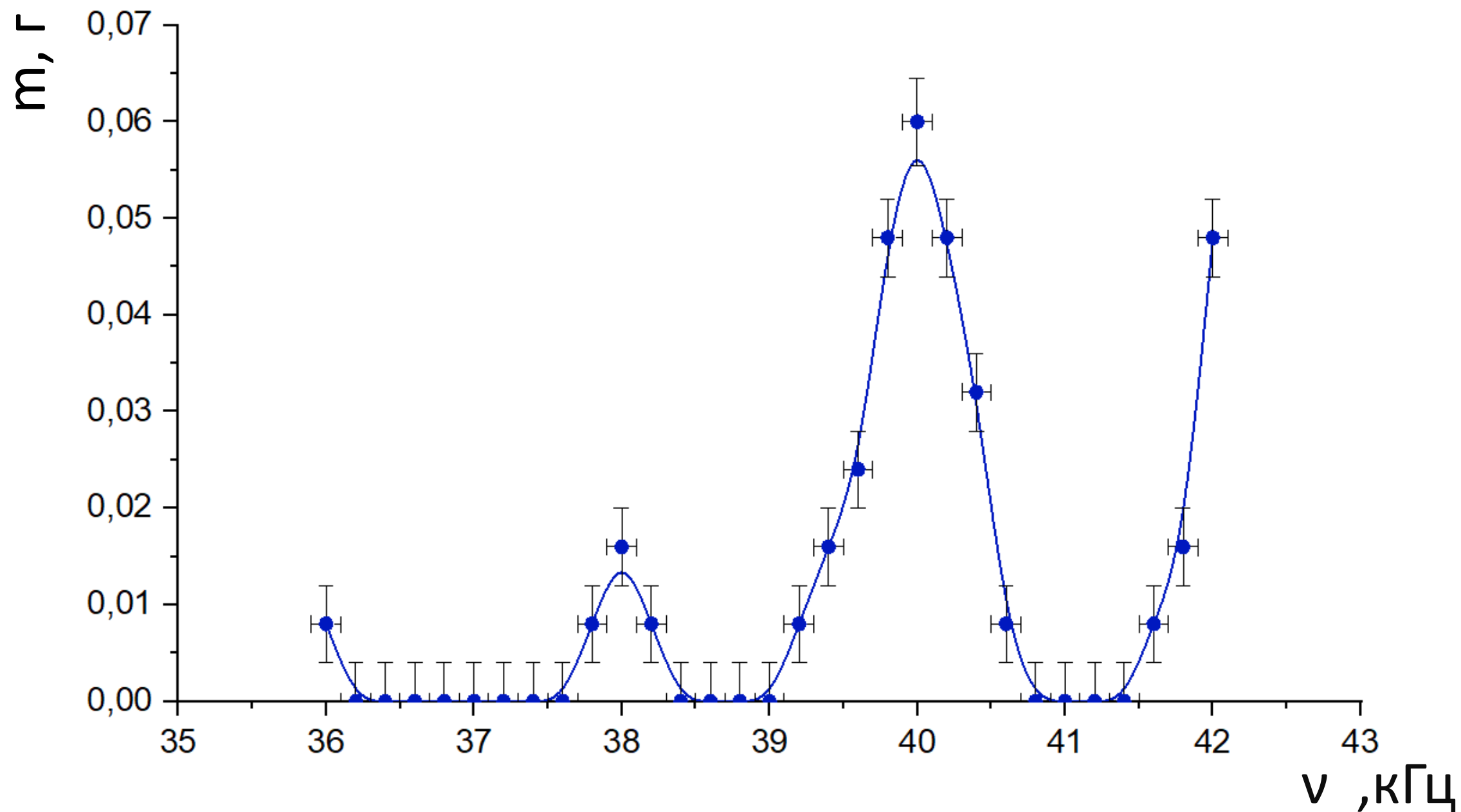
n — количество капель

m — масса искомым
капель

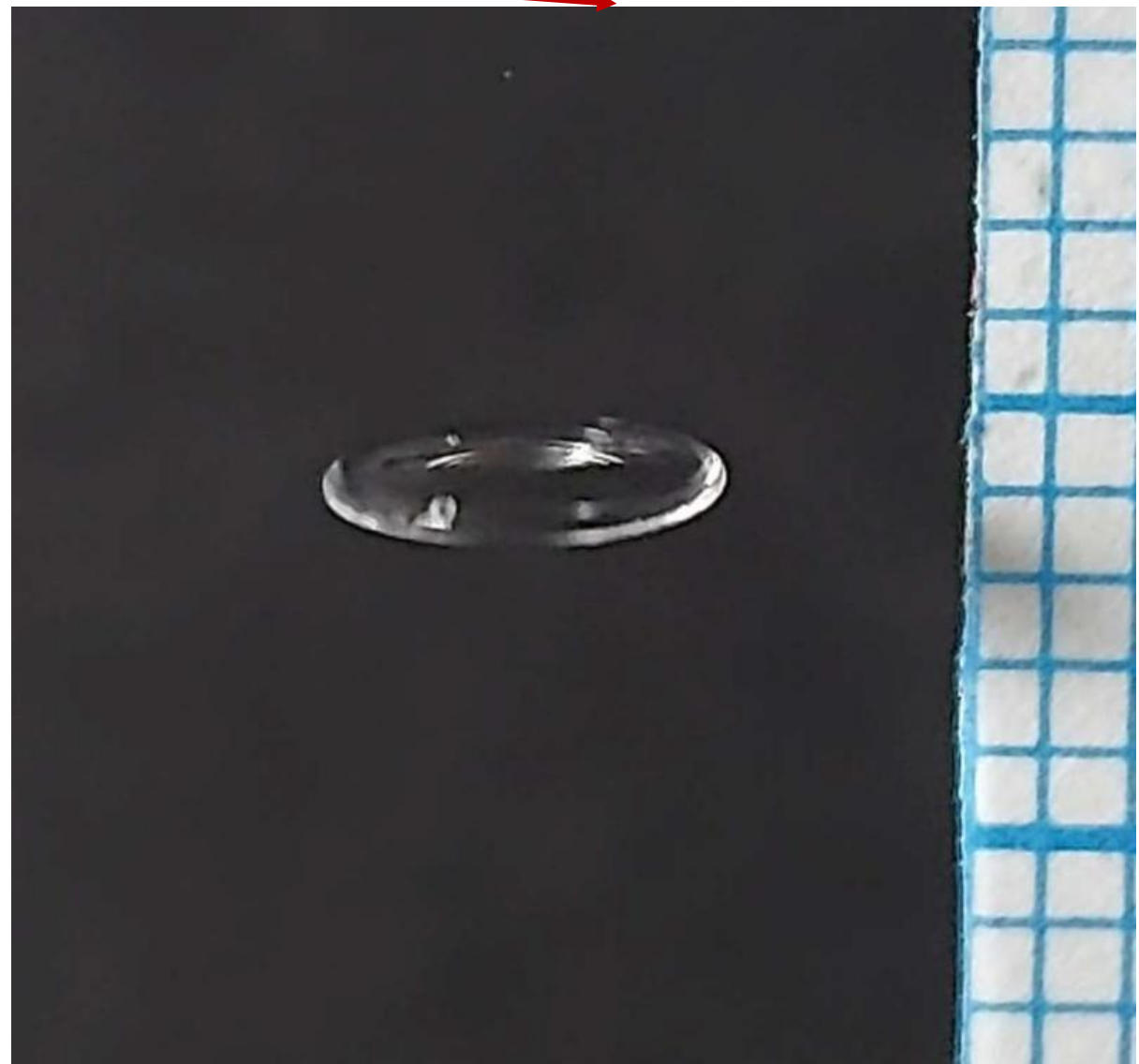
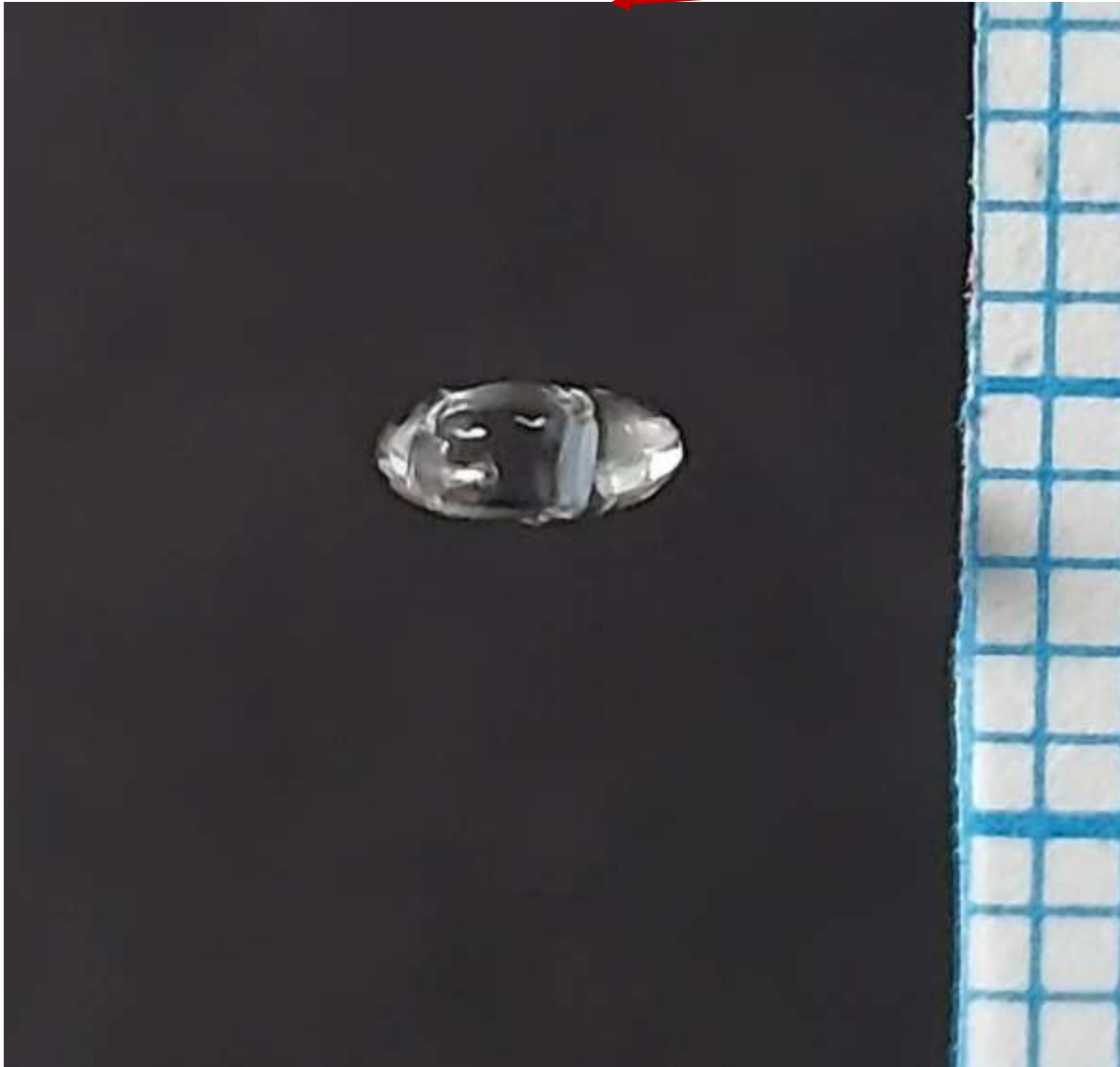
Таблица результатов

υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г
42,0	0,064	41,0	0	40,0	0,064	39,0	0	38,0	0,016	37,0	0
41,8	0,016	40,8	0,008	39,8	0,048	38,8	0	37,8	0,008	36,8	0
41,6	0,008	40,6	0,008	39,6	0,024	38,6	0	37,6	0,008	36,4	0
41,4	0,008	40,4	0,032	39,4	0,016	38,4	0	37,4	0	36,2	0
41,2	0	40,2	0,048	39,2	0,008	38,2	0,008	37,2	0	36,0	0,008

График зависимости массы от частоты

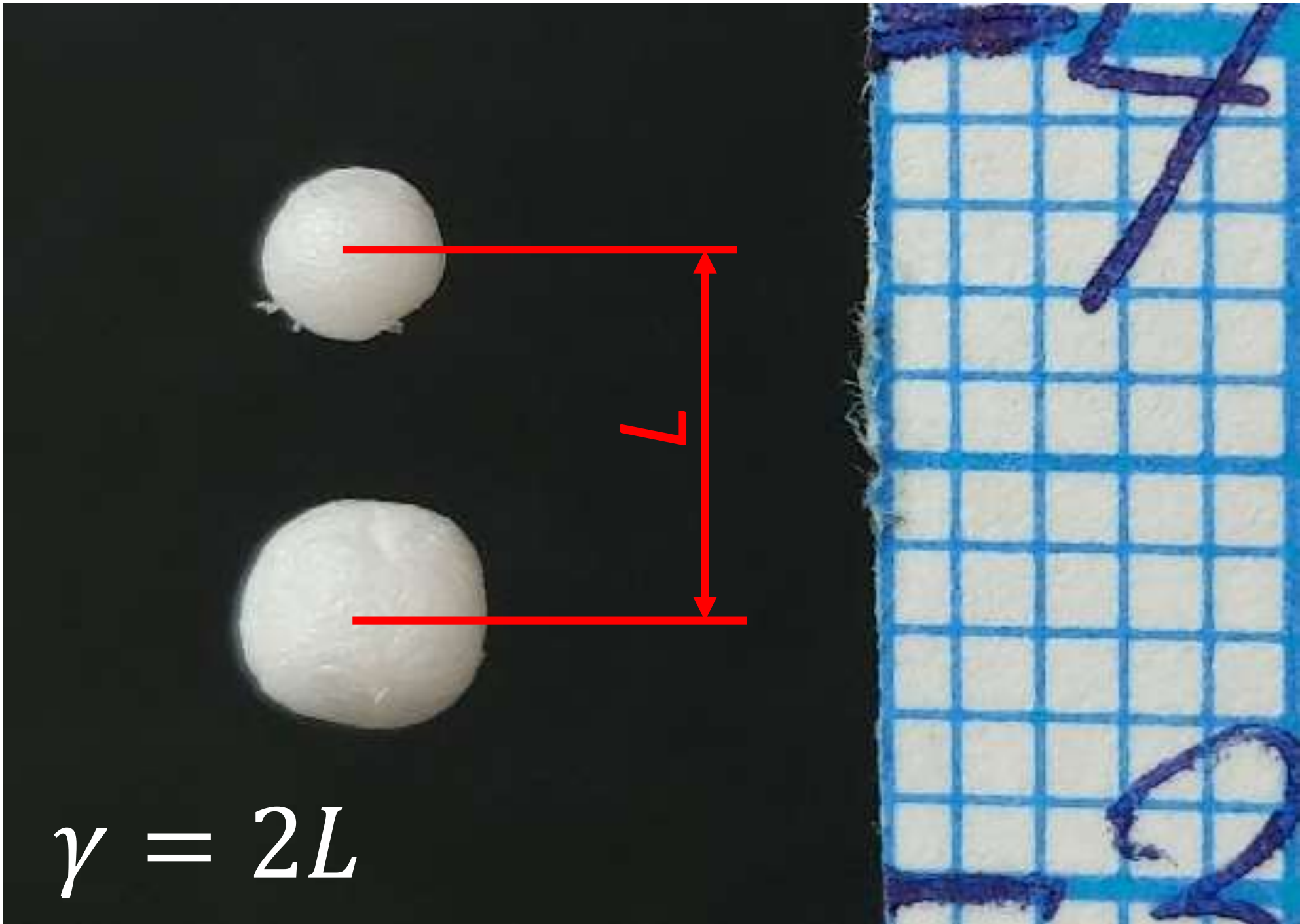


Ультразвуковая кавитация



Исследование 2:

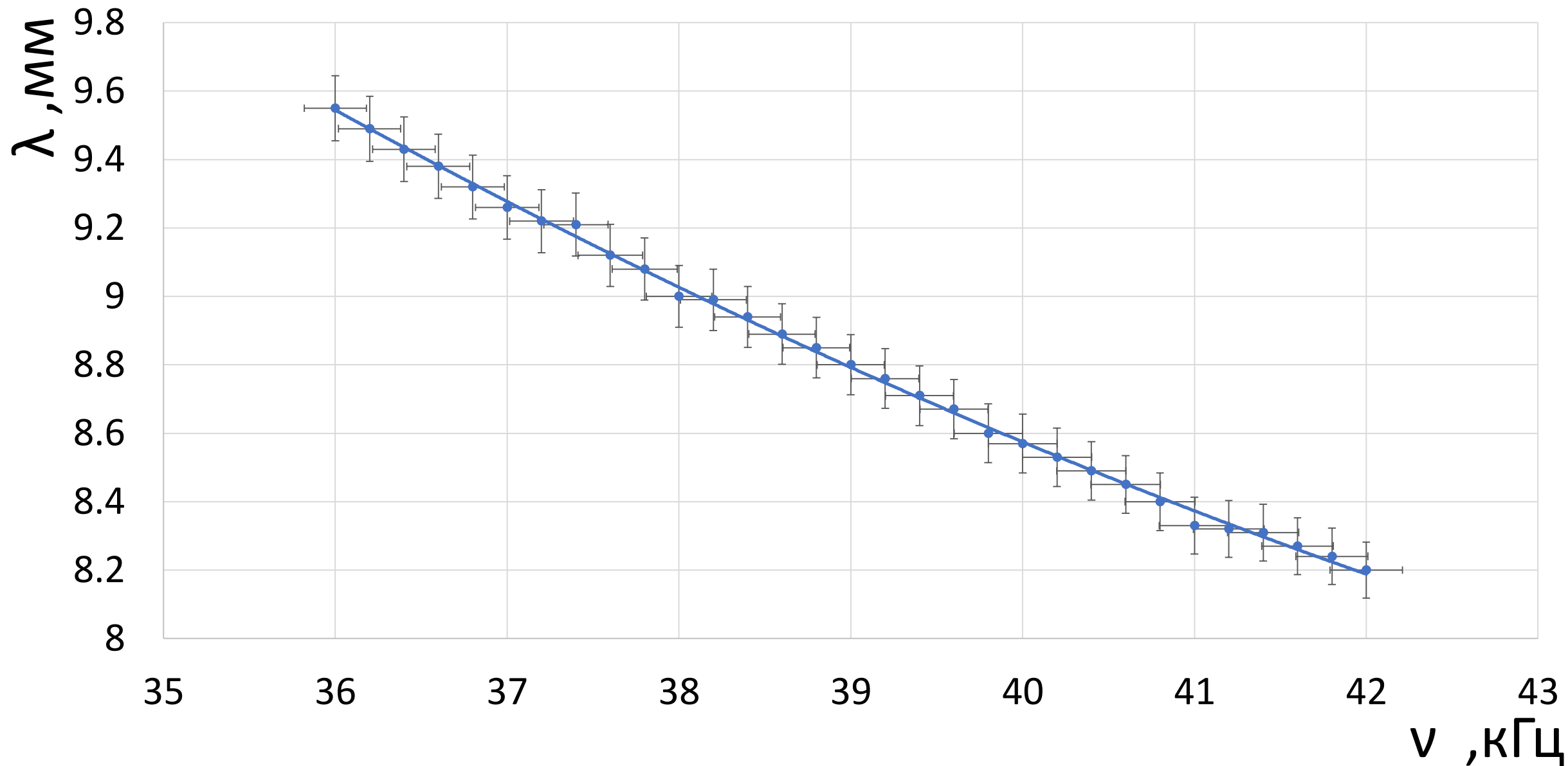
Нахождение зависимости длины волны от частоты



$$\gamma = 2L$$

υ, κГц	λ, мм	υ, κГц	λ, мм	υ, κГц	λ, мм	υ, κГц	λ, мм	υ, κГц	λ, мм	υ, κГц	λ, мм
42,0	8,20	41,0	8,33	40,0	8,57	39,0	8,80	38,0	9,00	37,0	9,26
41,8	8,24	40,8	8,4	39,8	8,60	38,8	8,85	37,8	9,08	36,8	9,32
41,6	8,27	40,6	8,45	39,6	8,67	38,6	8,89	37,6	9,12	36,4	9,38
41,4	8,31	40,4	8,49	39,4	8,71	38,4	8,94	37,4	9,21	36,2	9,43
41,2	8,32	40,2	8,53	39,2	8,76	38,2	8,99	37,2	9,22	36,0	9,55

График зависимости длины волны от частоты



Вычисление скорости звука

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$$

$$\nu_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nu_i; \quad \lambda_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i;$$

$$\nu_{\text{ср}} = 39 \text{ кГц}, \quad \lambda_{\text{ср}} = 8,82 \text{ мм}$$

$$c = 39000 \text{ Гц} \cdot 0,0088 \text{ м} = 343,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

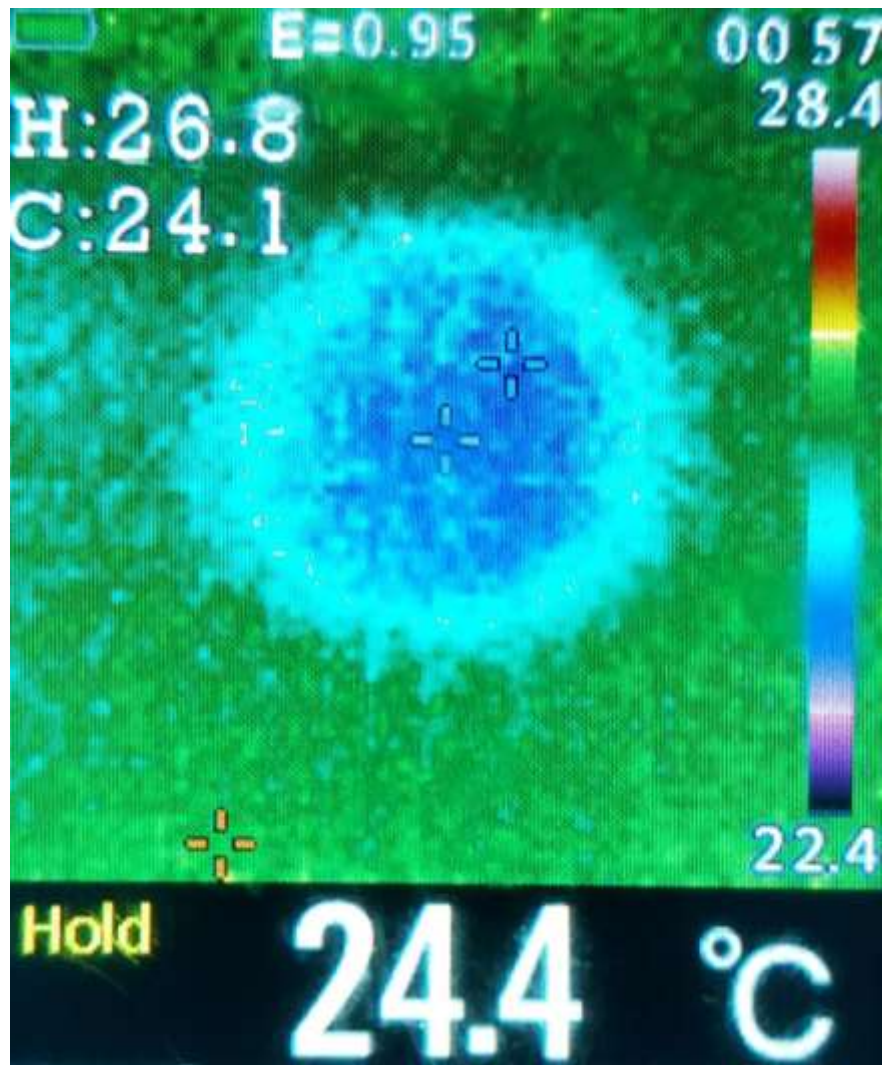
Условия эксперимента:

$$t = 21^\circ\text{C} \quad p = 101991.6 \text{ Па} \quad \varphi = 30\%$$

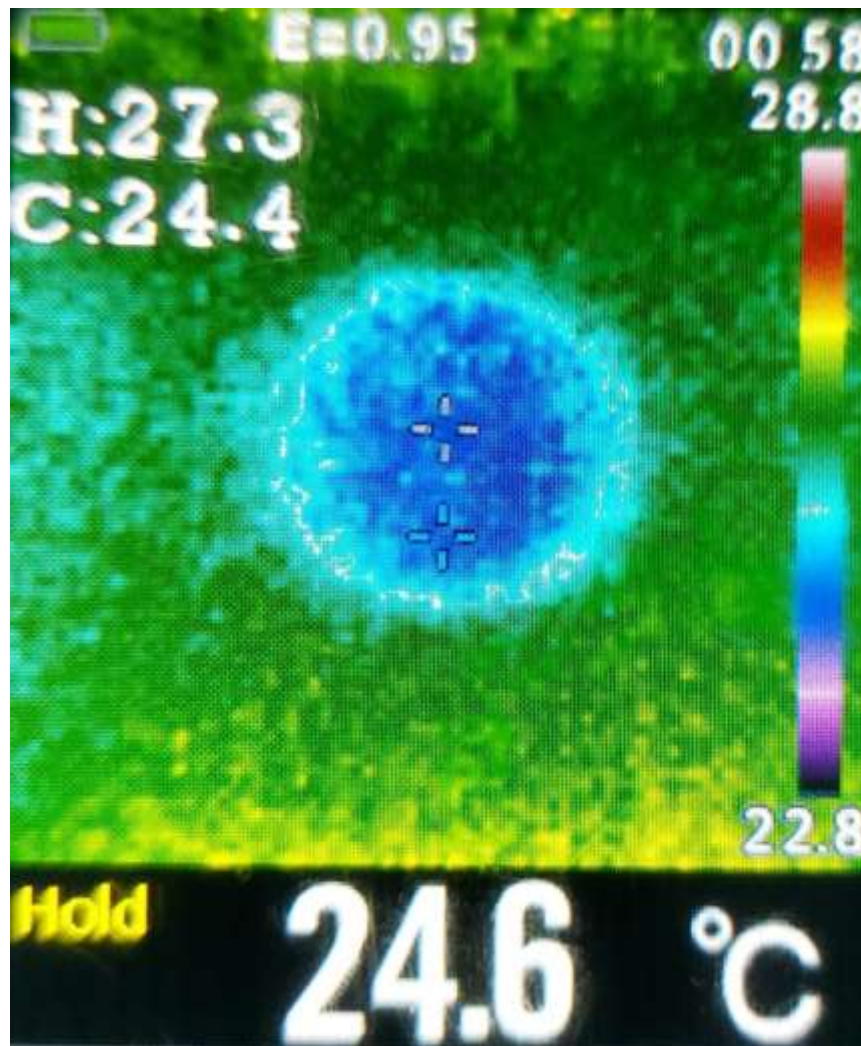
Исследование 3:

Исследование скорости нагревания капли
жидкости постоянной массы при различных
частотах

Вычисление скорости нагрева



t_0



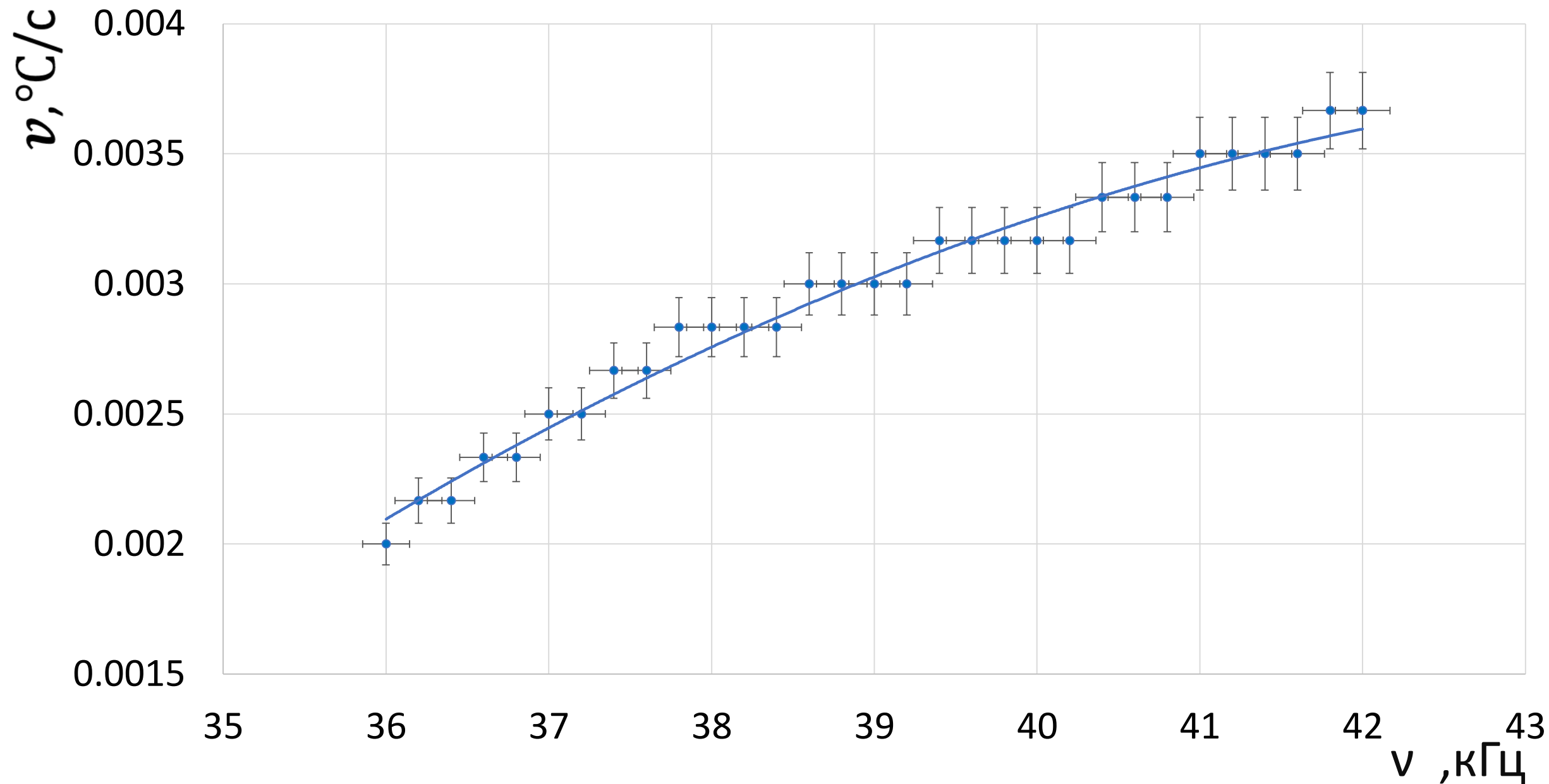
t

$$\tau = 900c$$
$$v = \frac{t - t_0}{\tau}$$

таблица результатов

U, кГц	$v,^{\circ}\text{C}/\text{с}$	U, кГц	$v,^{\circ}\text{C}/\text{с}$	U, кГц	$v,^{\circ}\text{C}/\text{с}$	U, кГц	$v,^{\circ}\text{C}/\text{с}$	U, кГц	$v,^{\circ}\text{C}/\text{с}$	U, кГц	$v,^{\circ}\text{C}/\text{с}$
42,0	0,0037	41,0	0,0035	40,0	0,0032	39,0	0,0030	38,0	0,0028	37,0	0,0025
41,8	0,0037	40,8	0,0033	39,8	0,0032	38,8	0,0030	37,8	0,0028	36,8	0,0023
41,6	0,0035	40,6	0,0033	39,6	0,0032	38,6	0,0030	37,6	0,0026	36,4	0,0023
41,4	0,0035	40,4	0,0033	39,4	0,0032	38,4	0,0028	37,4	0,0026	36,2	0,0023
41,2	0,0035	40,2	0,0032	39,2	0,0030	38,2	0,0028	37,2	0,0025	36,0	0,0020

График зависимости скорости нагрева от частоты



Исследование 4:

**исследование зависимости массы
левитирующей капли жидкости разной
плотности от частоты**

$CuSO_4$ - Медный купорос



$\omega = 30\%$

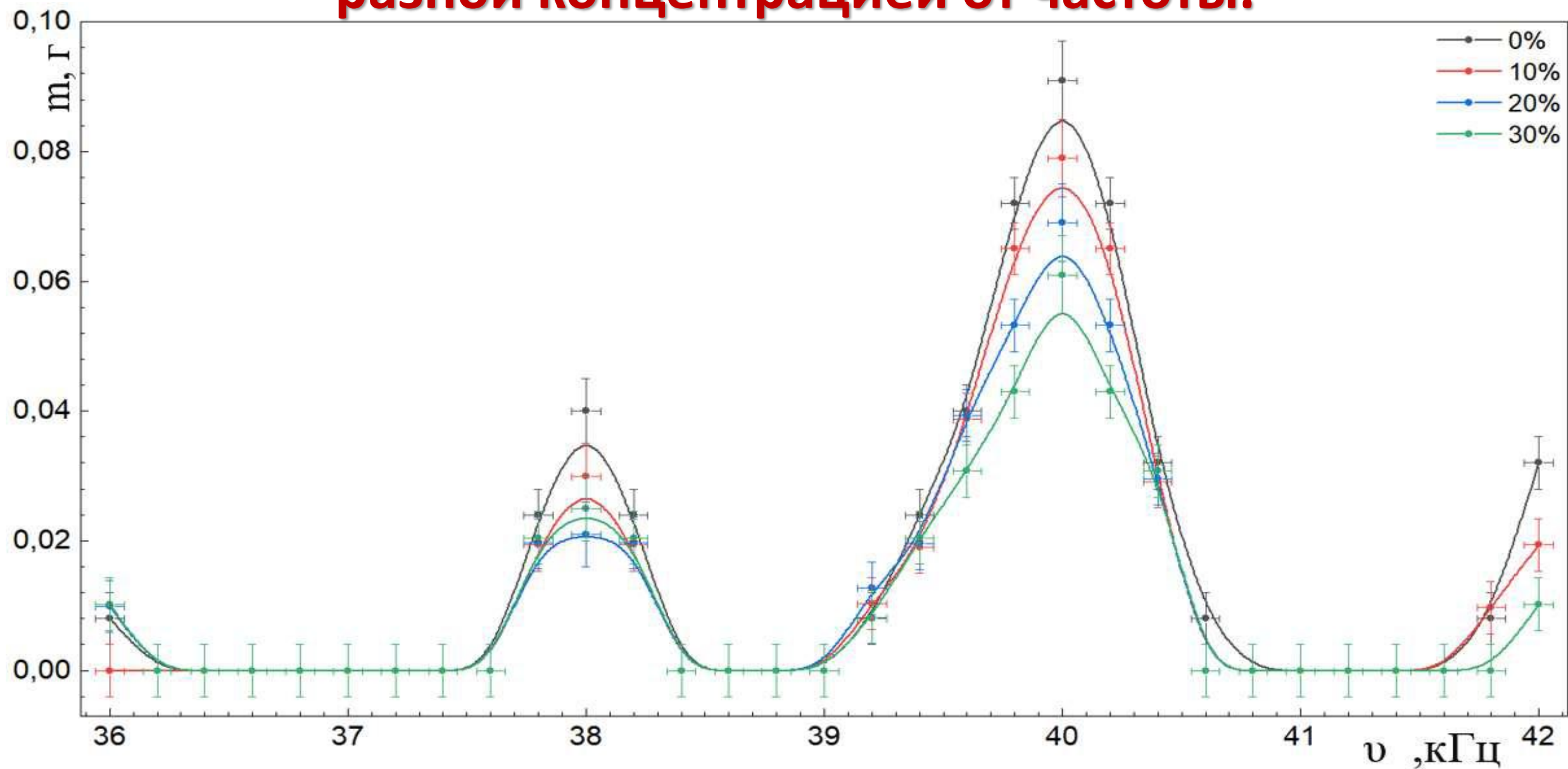
$\omega = 20\%$

$\omega = 10\%$

таблица результатов

υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г	υ, кГц	m, г
42,0	0,010	41,0	0	40,0	0,061	39,0	0	38,0	0,025	37,0	0
41,8	0	40,8	0	39,8	0,042	38,8	0	37,8	0,020	36,8	0
41,6	0	40,6	0	39,6	0,030	38,6	0	37,6	0	36,4	0
41,4	0	40,4	0,030	39,4	0,020	38,4	0	37,4	0	36,2	0
41,2	0	40,2	0,042	39,2	0,010	38,2	0,020	37,2	0	36,0	0,010

График зависимости массы левитирующей капли жидкостей разной концентрации от частоты.



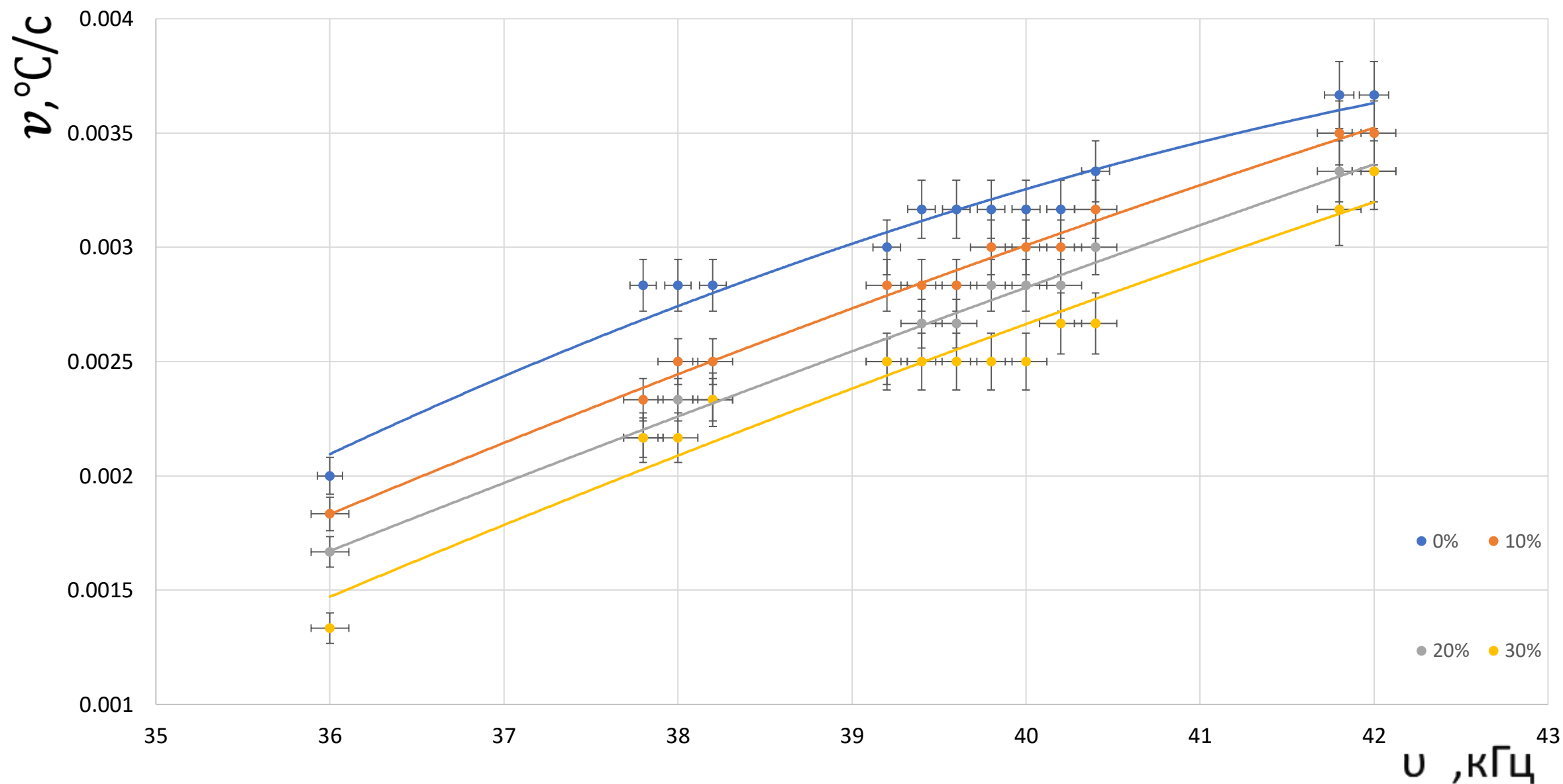
Исследование 5:

**Исследование зависимости скорости
нагревания капли жидкости разной плотности
от частоты**

таблица результатов

υ, кГц	$\nu, ^\circ\text{C}/\text{с}$	υ, кГц	$\nu, ^\circ\text{C}/\text{с}$	υ, кГц	$\nu, ^\circ\text{C}/\text{с}$	υ, кГц	$\nu, ^\circ\text{C}/\text{с}$	υ, кГц	$\nu, ^\circ\text{C}/\text{с}$	υ, кГц	$\nu, ^\circ\text{C}/\text{с}$
42,0	0,0033	41,0	-	40,0	0,0028	39,0	-	38,0	0,0023	37,0	-
41,8	0,0033	40,8	-	39,8	0,0028	38,8	-	37,8	0,0021	36,8	-
41,6	-	40,6	-	39,6	0,0026	38,6	-	37,6	-	36,4	-
41,4	-	40,4	0,0030	39,4	0,0026	38,4	-	37,4	-	36,2	-
41,2	-	40,2	0,0028	39,2	0,0025	38,2	0,0023	37,2	-	36,0	0,0016

График зависимости скорости нагрева левитирующей капли жидкостей разной концентрацией от частоты.



Оценка энергии

$$E_p = \int dV \frac{p^2(t, x)}{2\rho_0 c^2} = \frac{1}{2} \int dV \frac{p_m^2}{2\rho_0 c^2} \cos^2(kx) =$$
$$= \frac{p_m^2}{2\rho_0 c^2} S \int_{x_0}^{x_f} dx \cos^2(kx) = \frac{p_m^2}{4\rho_0 c^2} \frac{\pi R^2 L}{2}$$

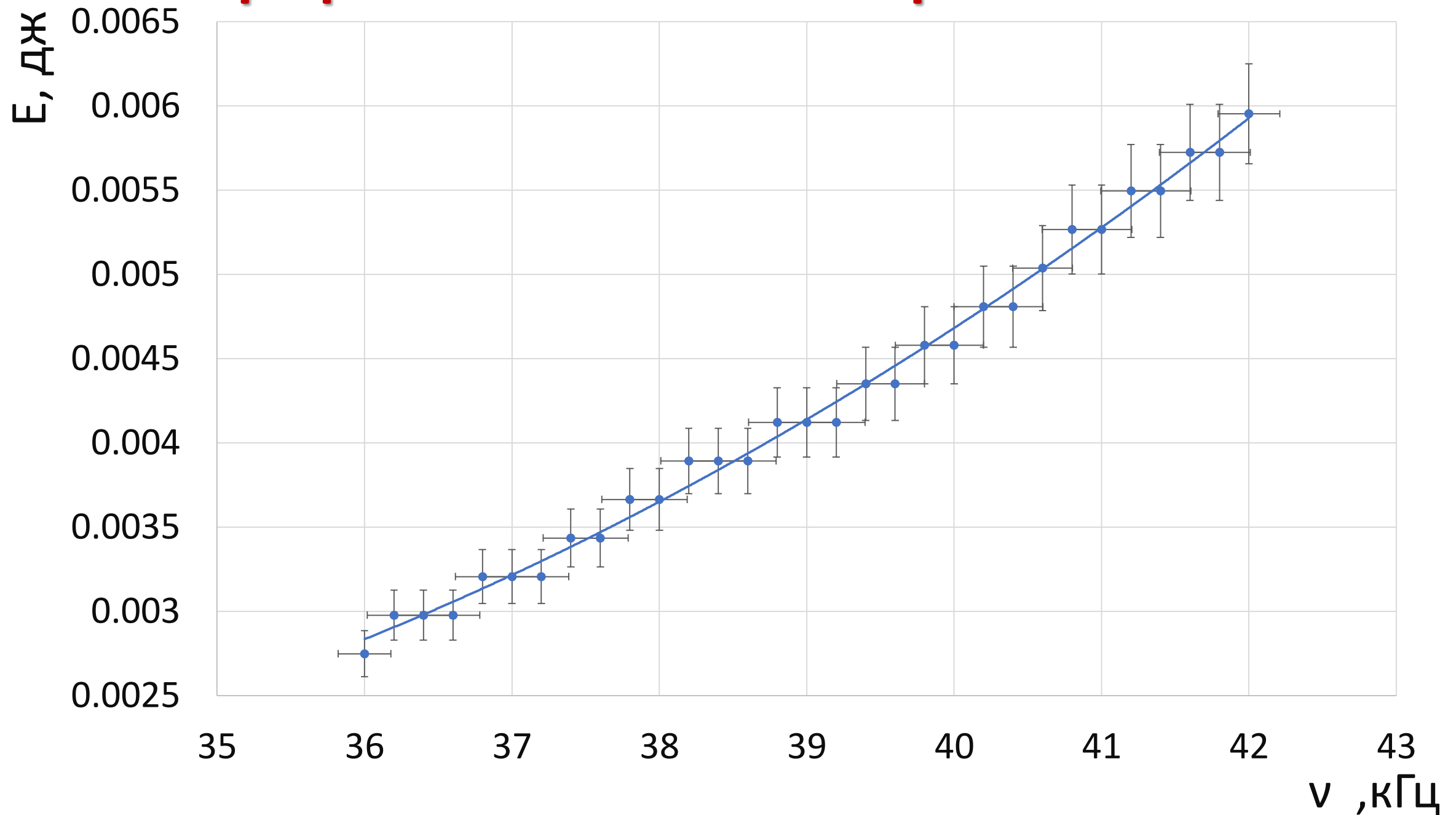
$$E_k = \int dV \frac{\rho_0 v^2}{2} = \frac{\rho_0}{4Z_s^2} \int dV p_m^2 \cos^2(kx) = \frac{\rho_0}{4Z_s^2} p_m^2 \frac{SL}{2}$$

$$E = E_p + E_k = \frac{p_m^2}{4\rho_0 c^2} \frac{\pi R^2 L}{2} + \frac{\rho_0}{4Z_s^2} p_m^2 \frac{SL}{2}$$

таблица результатов

υ, кГц	Е, дж	υ, кГц	Е, дж	υ, кГц	Е, дж	υ, кГц	Е, дж	υ, кГц	Е, дж	υ, кГц	Е, дж
42,0	0,006	41,0	0,005	40,0	0,004	39,0	0,004	38,0	0,003	37,0	0,003
41,8	0,005	40,8	0,005	39,8	0,004	38,8	0,004	37,8	0,003	36,8	0,003
41,6	0,005	40,6	0,005	39,6	0,004	38,6	0,003	37,6	0,003	36,4	0,002
41,4	0,005	40,4	0,004	39,4	0,004	38,4	0,003	37,4	0,003	36,2	0,002
41,2	0,005	40,2	0,004	39,2	0,004	38,2	0,003	37,2	0,003	36,0	0,002

График зависимости энергии от частоты



Выводы:

- Была изучена теория о акустической левитации
- Создана экспериментальная установка
- Экспериментально выявили зависимость максимальной массы одной левитирующей капли от частоты
- Была обнаружена ультразвуковая кавитация
- Экспериментально выявили зависимость скорости нагрева капли от частоты
- Была вычислена скорость звука, в условиях эксперимента, равная 343,2 м/с
- Экспериментально доказано, что длина волны зависит от частоты
- Была оценена полная энергия и выявлена зависимость полной энергии от частоты
- Выявлено, что частота 40кГц является оптимальной частотой для левитации

- Экспериментально выявили зависимость массы левитирующей капли жидкости разной плотности от частоты: с повышением концентрации соли в жидкости уменьшается максимальная масса левитирующей капли
- Экспериментально выявили зависимость скорости нагревания жидкости разной плотности от частоты: с повышением концентрации соли в жидкости уменьшается скорость нагревания

Использованная литература

1. https://www.webmath.ru/poleznoe/fizika/fizika_116_polnaja_jenergija_kolebanij.php
2. <https://www.geogebra.org/>
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Потенциальная_яма#:~:text=Потенциальная%20яма%20—%20область%20пространства%2C%20где,локальный%20минимум%20потенциальной%20энергии%20частицы.
4. М99 Физика. **10 класс** : учеб. для общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни / Г. Я. **Мякишев**, Б. Б. Буховцев, Н. Н. Сотский
5. <https://www.instructables.com/Acoustic-Levigator/>
6. <https://nplus1.ru/news/2019/10/23/leviprops>
7. <https://tv2.today/Universum/Stoyachaya-volna-i-akusticheskaya-levitaciya>

8. https://online.mephi.ru/courses/sge/data/reference_book/11/p11.html
9. <https://www.anl.gov/article/no-magic-show-realworld-levitation-to-inspire-better-pharmaceuticals>
10. <https://www.popmech.ru/science/news-455202-neveroyatnaya-akusticheskaya-levitaciya-zvuk-kak-sposob-upravlyat-materiey/>