

Лабораторная работа

Электронный парамагнитный резонанс

Теоретические сведения

Энергетический уровень электрона в присутствии магнитного поля B расщепляется на два подуровня, расстояние между которыми равно:

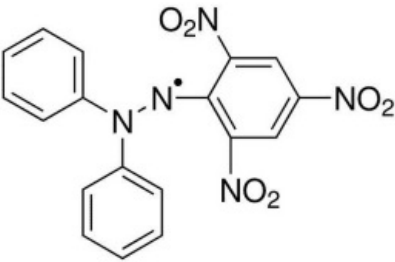
$$\Delta E = E_2 - E_1 = 2\mu B$$

Между этими двумя уровнями возможны переходы. Они могут возбуждаться внешним высокочастотным магнитным полем подходящих характеристик. Резонансное значение частоты определяется из очевидного соотношения:

$$\hbar\omega_0 = \Delta E = 2\mu B$$

При переходе с нижнего на верхний уровень квант энергии поглощается, а при обратном переходе излучается квант той же частоты.

Возбуждение электронных резонансных переходов электромагнитным полем с частотой ω_0 носит название <<электронного парамагнитного резонанса>> Сигнал ЭПР наблюдается только на неспаренных электронах образца. В работе используется образец свободного радикала ДФПГ.



Рассмотрим основные процессы, влияющие на ширину линии ЭПР. В отсутствие высокочастотного поля заселенность верхнего и нижнего уровней N_u и N_d определяется температурой и описывается формулой Больцмана.

$$\frac{N_u}{N_d} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{kT}\right)$$

В присутствии резонансного поля между уровнями возникают индуцированные переходы, ведущие к тому, что заселенность верхнего уровня растет, а нижнего падает. Этот процесс ведет к нарушению соотношения Больцмана. Восстановление теплового равновесия происходит двумя способами: спин-спиновой и спин-решеточной релаксацией. Отличить их друг от друга можно по температурной зависимости: спин-решеточное взаимодействие быстро возрастает с температурой (числом фононов), спин-спиновое от температуры практически не зависит. Согласно соотношению неопределенностей:

$$\Delta\omega\tau \simeq 1$$

Описание эксперимента

В работе требуется получить ЭПР сигнал на ДФПГ. Известно, что связь между магнитным моментом электрона и его механическим моментом выражается через гиромагнитное соотношение:

$$\mu = \gamma \mathbf{M}$$

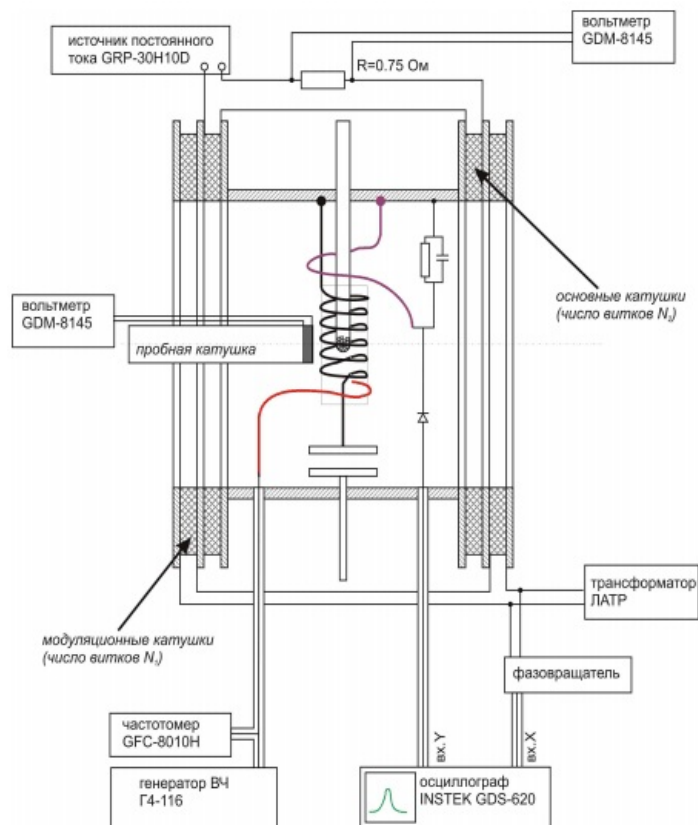
Если магнитный момент выражается в магнетонах Бора, а механический в единицах \hbar , то связь выражается через фактор Ланде:

$$\frac{\mu}{\mu_B} = \frac{g\mathbf{M}}{\hbar}$$

Эта формула справедлива и для проекций. Можно выразить g-фактор через определяемые экспериментально величины:

$$g = \frac{\hbar\omega_0}{\mu_B B}$$

Схема спектро스코па приведена на рисунке:



Ход работы

1. Настроили генератор на резонансную частоту колебательного контура, определили ее значение.

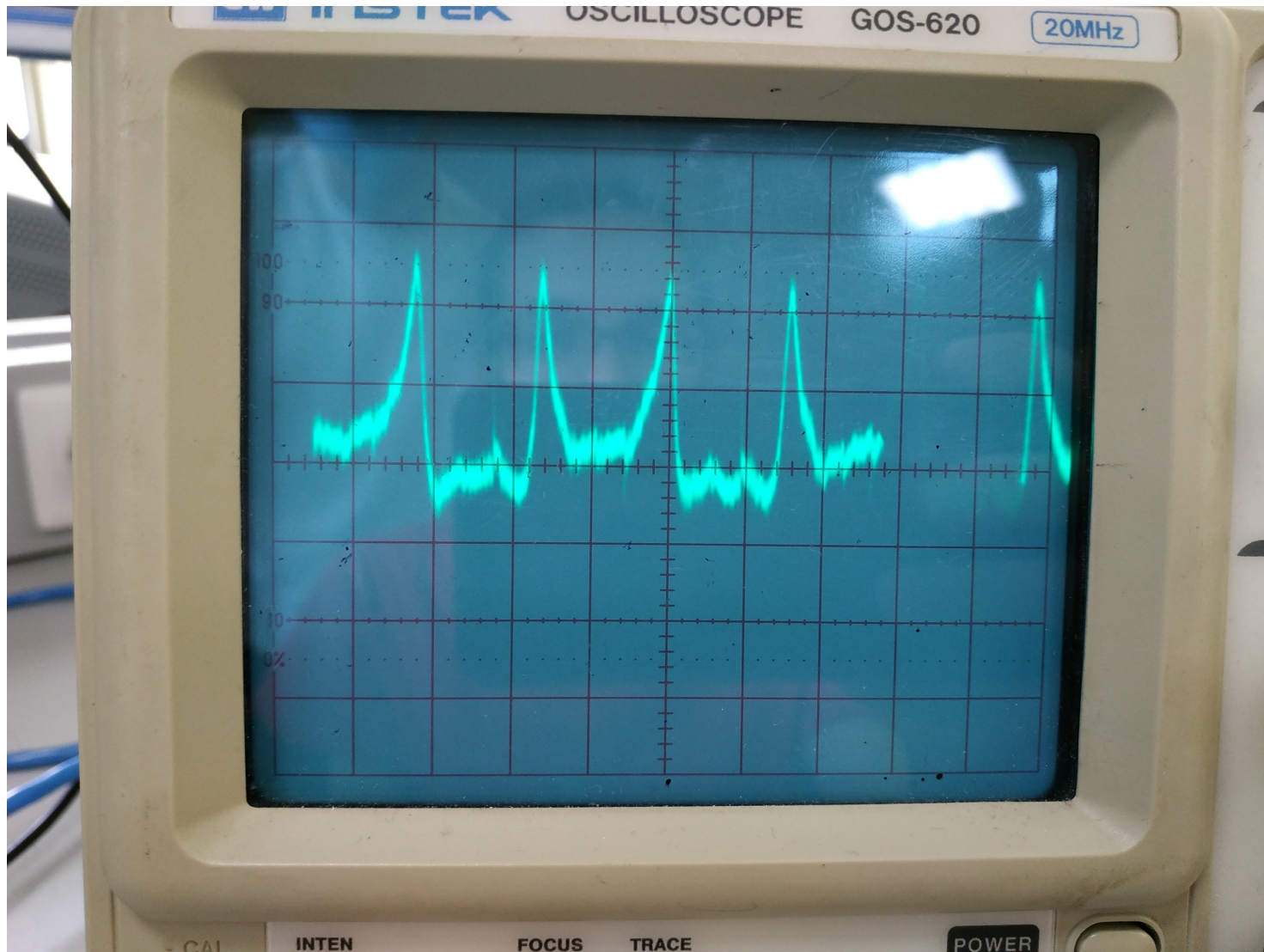
In [4]:

```
import numpy as np
import pandas as pd
from matplotlib import pyplot as plt

Vres = 128
print("Резонансная частота:", Vres, "МГц")
```

Резонансная частота: 128 МГц

2. Настраиваем установку для наблюдения сигнала ЭПР. Резонансное поглощение возникает при совпадении в некоторые моменты времени поля $B(t)$ с полем резонансного поглощения на частоте колебательного контура $B_0 = \frac{hf_0}{g\mu_B}$. Получаем следующую картину:



3. Рассчитаем g -фактор электрона, для этого нужно найти резонансные значения частоты ω_0 (найдена выше) и индукции B_0

Индукцию магнитного поля находим с помощью пробной катушки и вольтметра, подключенного к ней. $V = nB_0 S \omega_{\sim}$

In [17]:

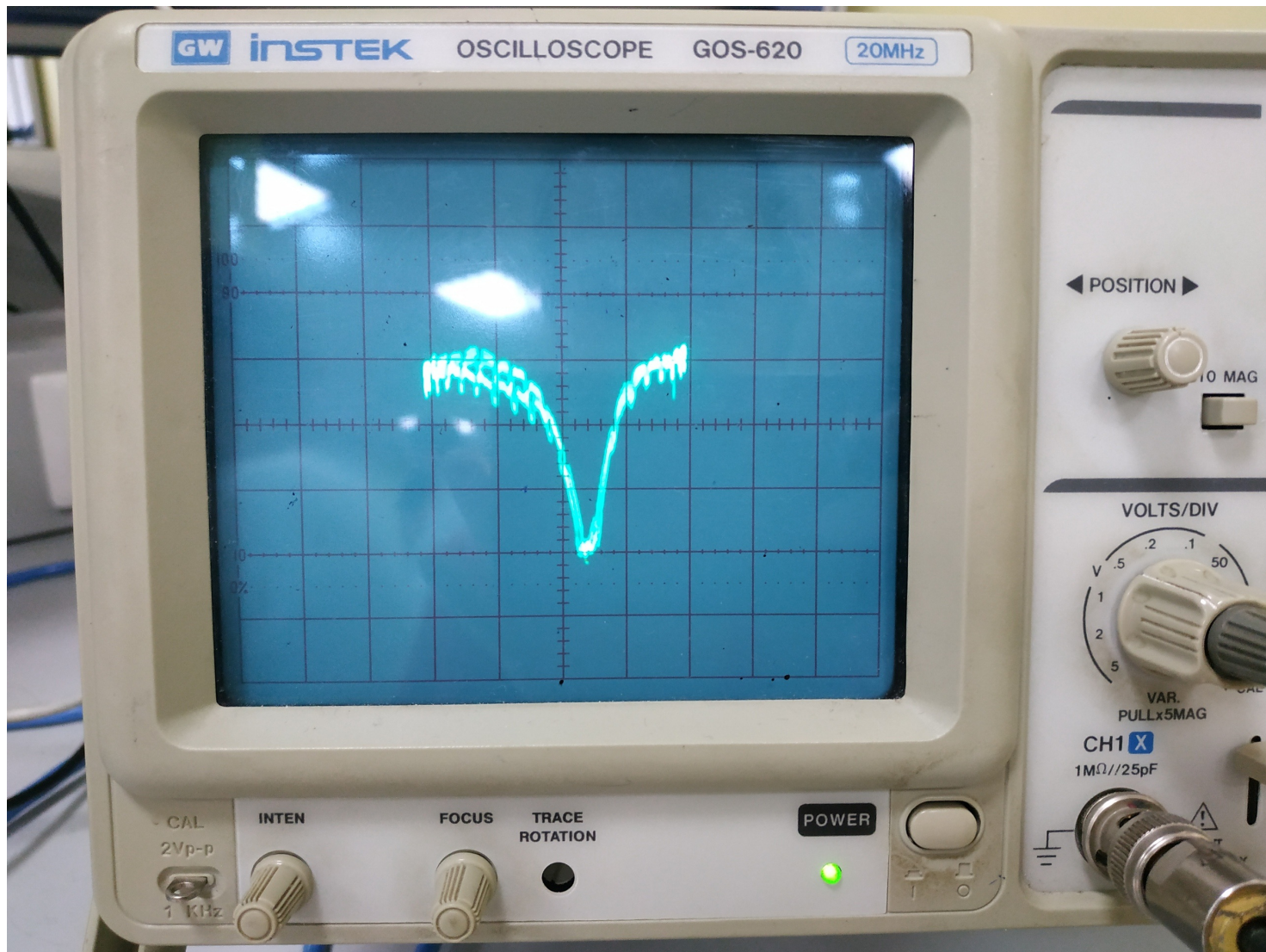
```
#Параметры установки и константы
h = 1.0545 * (10**-34)
mu = 0.9274 * (10**-23)
n = 46
d = 14.6 * (10**-3)
w = 50 * 2 * np.pi
#Измеренное значение напряжения
V = 10.84 * (10**-3)
#Измеряем g-фактор
S = np.pi * (d*d)/4
B0 = V/(n*S*w)
print("B0 =", round(B0 * 1000, 3), "мТл")
g = (h * 2 * np.pi * Vres * (10**6))/(mu * B0)
print("g =", round(g, 3))
```

B0 = 4.48 мТл

g = 2.041

Найденное значение g -фактора электрона близко к табличному ($g = 2.002$)

4. Получив сигнал ЭПР на ДФПГ, переключаем осциллограф с временной развертки на развертку от модуляционной катушки, затем совмещаем два сигнала ЭПР и получаем следующую картину:



5. Определим ширину линии ЭПР, получим ее из соотношения: $\Delta B / (2B_{\text{мод}}) = \Delta I / (2L)$

In [20]:

```
#Измеряем в у.е. ширину сигнала, затем вычисляем отношение и саму ширину.
```

```
dI = 0.4
```

```
L = 2
```

```
dB = B0 * (dI/L)
```

```
print(f"dB = {round(dB * 1000, 3)} мТл")
```

```
dB = 0.896 мТл
```

Вывод

Получили сигнал ЭПР на свободном радикале ДФПГ, измерили g-фактор электрона, определили ширину линии ЭПР