

**В. С. САВЕНКО, С. В. ПЕТРУШЕНКО, Н. В. СТЕПАНЧЕВ**  
МГПУ им. И.П. Шамякина (г. Мозырь, Беларусь)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

Частица с магнитным моментом приобретает в магнитном поле дополнительную энергию. Если ось  $Z$  выбрать в направлении вектора  $\mathbf{B}$ , то:

$$E_{\text{маг}} = -\mu_z B, \quad (1)$$

где  $\mu_z$  – магнитный момент частицы по оси  $Z$ .

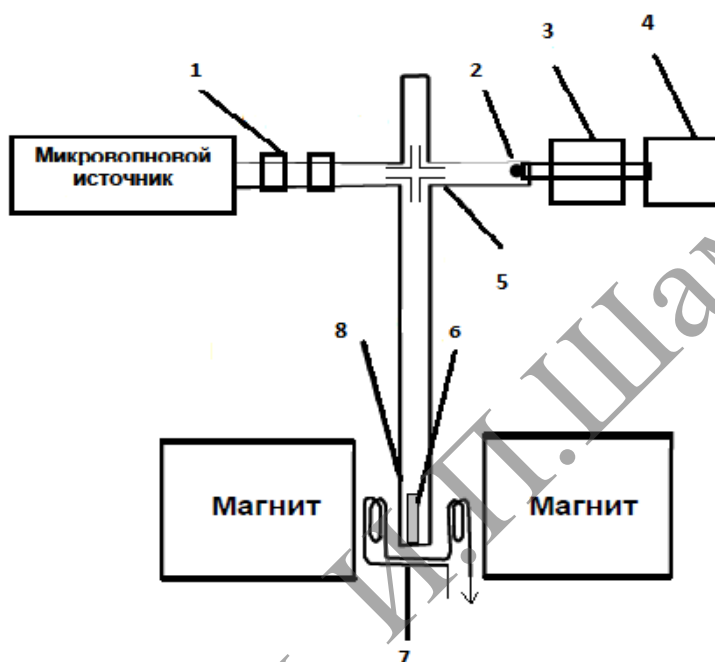
Так как проекция магнитного момента квантуется, то и энергия приобретает ряд дискретных значений, которые добавляются к энергии невозмущённой частицы. Пусть частица обладает лишь электронным магнитным моментом. Тогда её дополнительная энергия будет равна:

$$E_{\text{маг}} = g\mu_B B m_j, \quad (2)$$

Следовательно, происходит расщепление уровня  $E$  на  $2J+1$  эквидистантных подуровней энергии.

Резонансное поглощение СВЧ энергии может произойти либо при изменении длины волны, либо при изменении напряженности магнитного поля. Спектры ЭПР обычно регистрируются при постоянной частоте СВЧ излучения и при изменении магнитного поля. Для увеличения чувствительности метода используют высокочастотную модуляцию магнитного поля  $B_0$ , при этом фиксируется производная спектра поглощения. Диапазон регистрации ЭПР определяется частотой  $\nu$  или длиной волны  $\lambda$  СВЧ излучения при соответствующей напряженности магнитного поля  $B_0$ .

**Методика исследований:** исследование проводилось на ЭПР спектрометре блок-схема которого представлена на рисунке 1. Исследуемое вещество помещается не в резонатор, как в спектрометрах СВЧ - диапазона, а в катушку индуктивности, составляющую часть контура индуктивно связанную с ним.



**Рисунок 1. Блок-схема ЭПР спектрометра: 1. Атенюатор; 2. Детектор; 3. Усилитель; 4. Записывающее устройство; 5 Двойной Т-мост; 6. Образец; 7. Катушки Гельмгольца; 8. Микроволновый резонатор.**

Однородное постоянное магнитное поле создаётся с помощью катушек Гельмгольца. Магнитная индукция  $B$  между кольцами катушек рассчитывается по формуле:

$$B = 0,8992i \frac{N}{r} \quad (3)$$

где  $i$  – ток колец;  $N = 300$  – количество витков в кольце;  $r = 4,27$  см – радиус кольца.

Для получения максимального сигнала ЭПР ось катушки индуктивности ориентирована перпендикулярно оси колец Гельмгольца.

На рисунке 2 представлена зависимость величины сигнала поглощения ЭПР от взаимной ориентации постоянного и высокочастотного магнитных полей, в условиях резонанса при частоте автодина 10 МГц и угла поворота датчика на  $90^\circ$ .

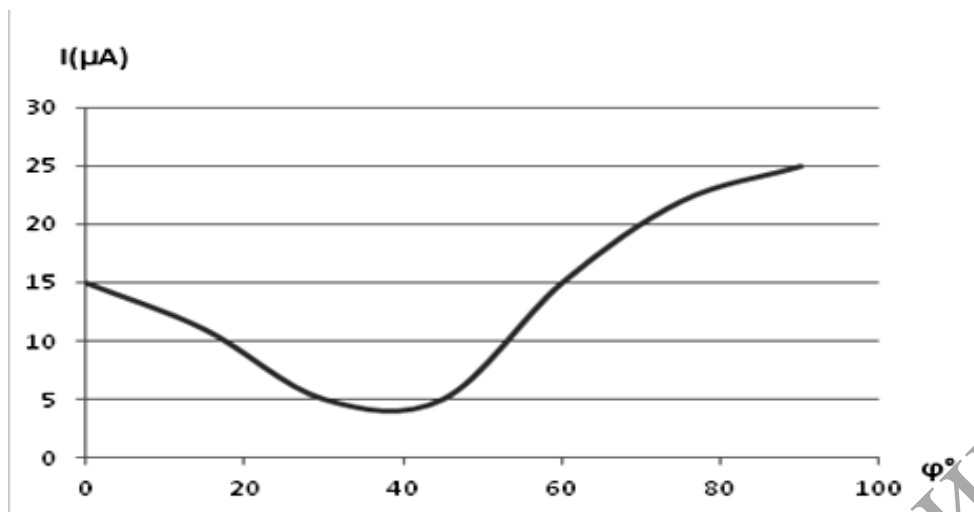


Рисунок 2. Зависимость величины сигнала поглощения ЭПР от взаимной ориентации постоянного и высокочастотного магнитных полей

На рисунке 3 представлена зависимость резонансной частоты ЭПР от индукции постоянного магнитного поля, при фиксированных частотах резонансных значений тока катушек Гельмгольца. Зона между двумя графиками определяет воздействие на образец магнитного поля земли.

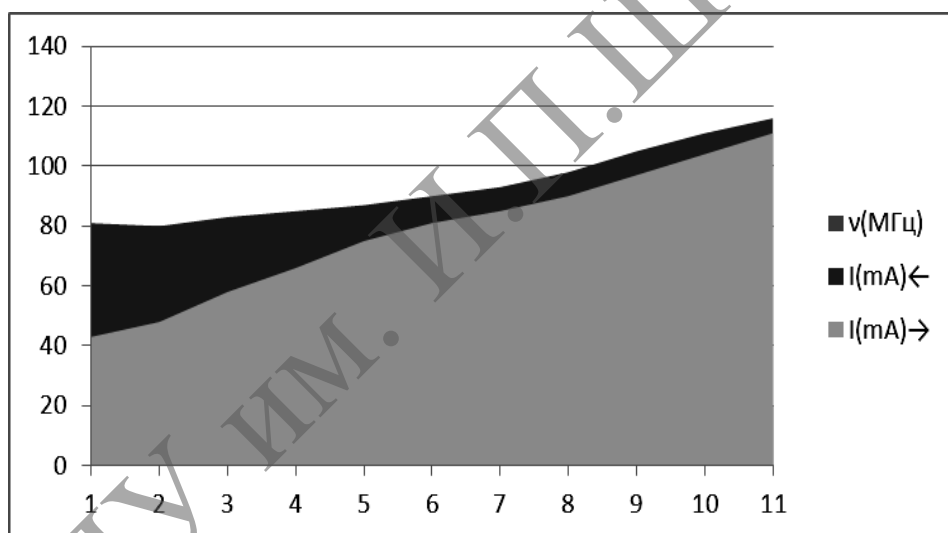


Рисунок 3. – Зависимость резонансной частоты ЭПР от индукции постоянного магнитного поля

Измерение индукции магнитного поля Земли при непосредственном наблюдении сигнала ЭПР невозможно из-за малой величины сигнала. Используется метод добавочного поля, создаваемого катушками Гельмгольца, на образец будет действовать векторная сумма двух магнитных полей: земного и создаваемого катушками. При изменении направления магнитного поля катушек можно получить сдвиг резонансного значения тока катушек, величина которого соответствует удвоенной проекции магнитной индукции поля Земли на ось катушек. Разность значений резонансных токов при подстановке в  $B = 0,8992i \frac{N}{r}$  даёт удвоенное значение  $B_{\text{верт}}$ , что позволяет вычислить  $B_{\text{зем}} = 0,5127$  Гс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вертц, Дж. Теория и практические приложения метода ЭПР / Дж. Вертц, Дж. Болтон. – М.: Мир, 1975.
2. Пул, Ч. Техника ЭПР спектроскопии / Ч. Пул. – М.: Мир, 1970. – 557 с.
3. Брустолон, М. Электронный Парамагнитный Резонанс / М. Брустолон, Е. Гиамелло // Инструментарий практикующего. – Хобокен: Джон Уайли Энд Санз, Инк., 2009. – 553 с.