

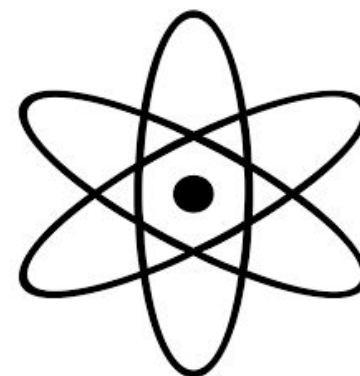
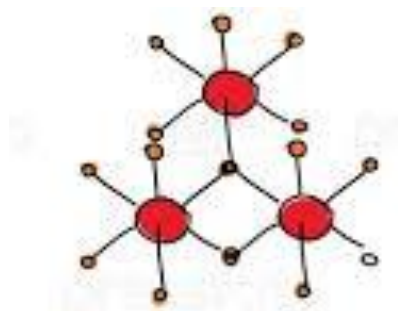
**Электронный
парамагнитн
ый резонанс**

***Подготовил (а): студент группы
ХМ-42***

Назарова Диана

План:

- 1) Введение;***
- 2) Физические основы метода электронного парамагнитного резонанса;***
- 3) Устройство и принцип работы ЭПР-спектрометра;***
- 4) Сверхтонкая структура ЭПР;***
- 5) Значение метода;***
- 6) Техника получения спектров;***
- 7) Используемая литература.***

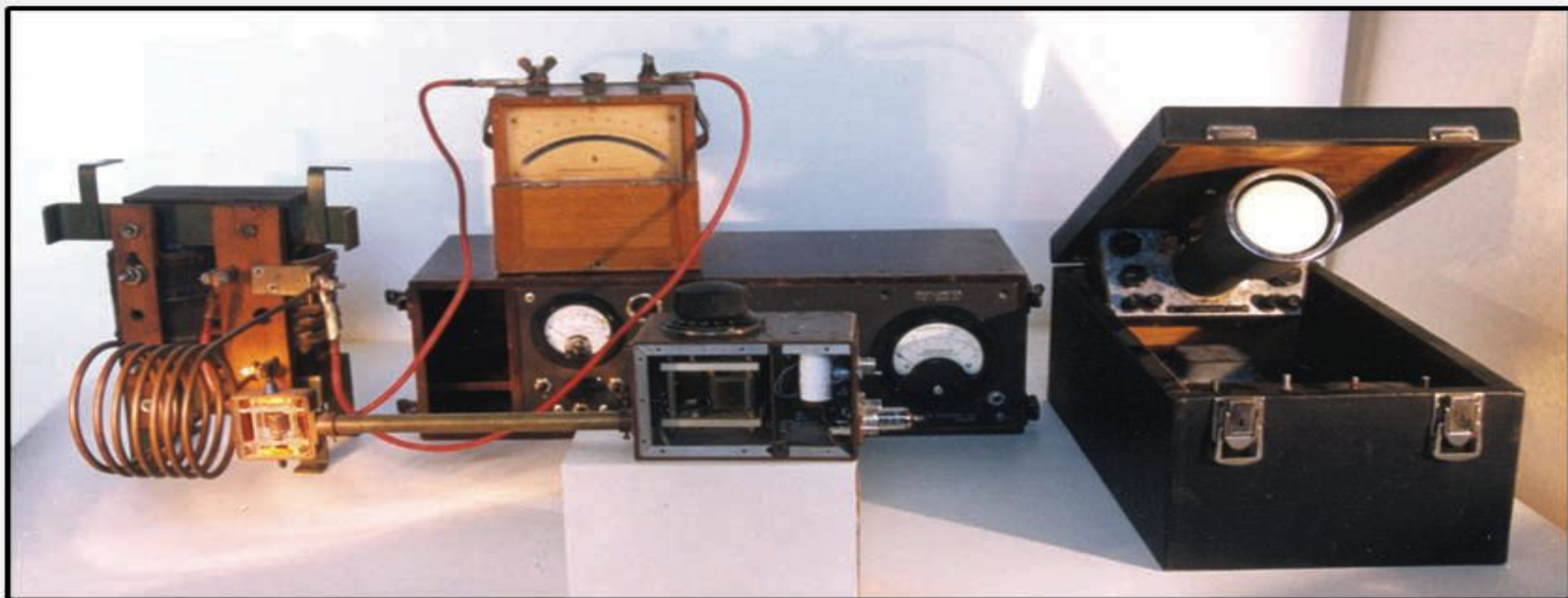


- В 1944 году в Казанском университете Е.К. Завойский проводил исследования парамагнитной релаксации на высоких частотах (107-108 Гц) при параллельной и перпендикулярной ориентациях переменного и постоянного магнитных полей. На примере парамагнитных солей (MnCl_2 , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и пр.) он впервые обнаружил интенсивное резонансное поглощение высокочастотной энергии при строго определенных отношениях напряженности постоянного магнитного поля к частоте. Так было открыто новое физическое явление, широко известное теперь под названием электронного парамагнитного резонанса (ЭПР).

Завойский Евгений Константинович



Установка Завойского для наблюдения ЭПР в диапазоне 10 МГц (1944 г.)



Первая реконструированная установка для наблюдения сигнала ЭПР

ЭПР спектрометр Bruker E500 CW (ЦКП МГУ)

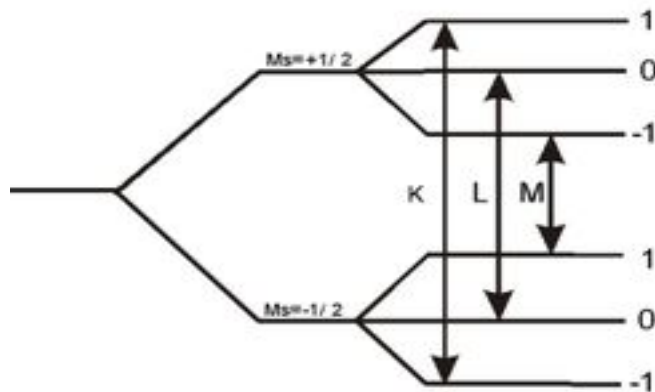


Основные характеристики:

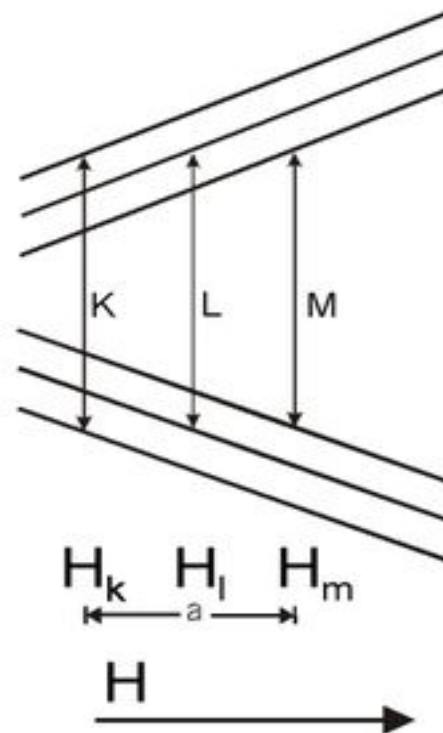
Рабочая частота: 9ГГц

Отношение сигнал/шум:
3000/1

ЭПР-спектроскопия слоев пористого кремния позволяет определить наличие парамагнитных дефектов типа оборванных связей, ответственных за безызлучательную релаксацию возбужденного состояния электронной системы в нанокристаллитах.



A



B

Энергетические уровни и разрешенные переходы для атома с ядерным спином 1 в постоянном (А) и переменном (В) поле.

Физические основы метода электронного парамагнитного резонанса

- Наличие спинового момента у отрицательно заряженного электрона приводит к возникновению электронного магнитного момента μ_e , который пропорционален спину S и определяется выражением:

$$\mu_e = g\beta S$$

В этом выражении g – безразмерная постоянная

- Отношение магнитного момента электрона к его механическому моменту, равное для свободного электрона 2.0023, β - электронный магнетон Бора, $\beta = 9.27400915(26) \times 10^{-24}$ Дж/Тл.
- Энергия взаимодействия между электронным магнитным моментом и внешним магнитным полем описывается следующим выражением:

$$E_{вз} = -\mu_e B = g\beta S B, \text{ где } SB - \text{проекция спина на направление магнитного поля.}$$

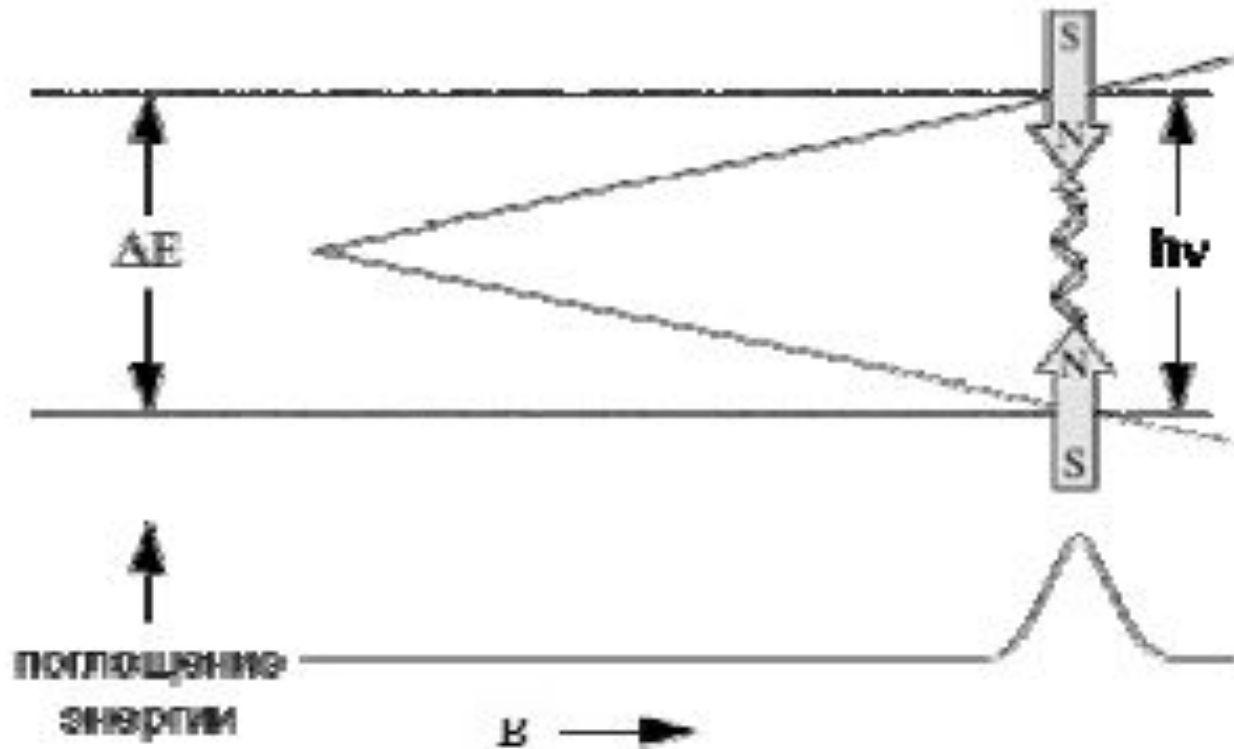
- Рассмотрим случай с одним неспаренным электроном. При наложении постоянного внешнего магнитного поля в соответствии с эффектом Зеемана возникнут два уровня с магнитными квантовыми числами $mS = \pm 1/2$ с расщеплением $\Delta E = g\beta V$ между ними. Величина расщепления прямо пропорциональна напряженности приложенного магнитного поля и по абсолютной величине в 100-1000 раз меньше, чем энергия теплового движения kT . Математическое отношение заселенностей уровней с $mS = +1/2$ и $mS = -1/2$, согласно распределению Больцмана, выражается следующей формулой:

$$N_{+1/2} / N_{-1/2} = e^{-\Delta E / kT} = e^{-g\beta V / kT}$$

- Если на электрон, помещенный в постоянное магнитное поле воздействовать электромагнитным излучением СВЧ диапазона с плоскостью поляризации магнитного поля B_1 перпендикулярной плоскости постоянного поля, то при выполнении условия:

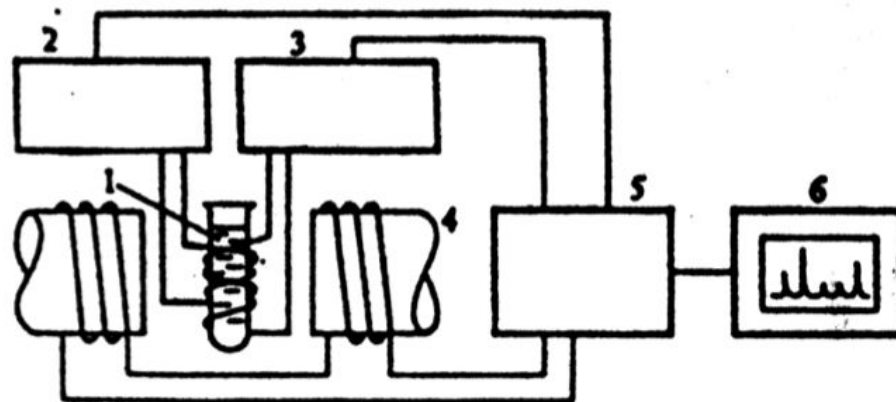
$$h\nu = g\beta B$$





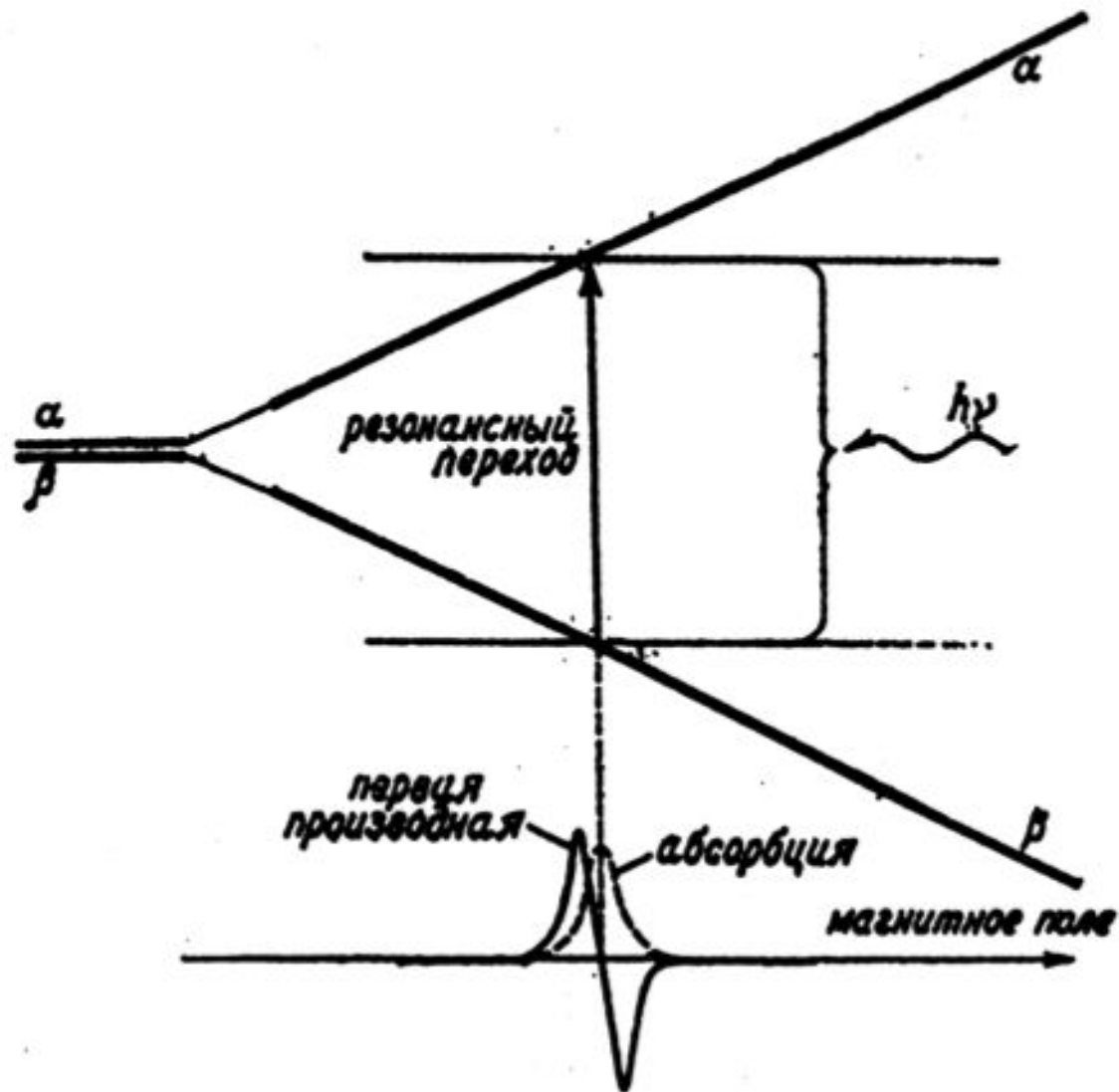
Зеемановское расщепление уровней электрона
со спинами $m_s = +\frac{1}{2}$ и $m_s = -\frac{1}{2}$ под действием

постоянного магнитного поля.



Принципиальная схема методов ЭПР и ЯМР

1 – образец, 2 – генератор радиоволн, 3 – детектор радиоволн, 4 – электромагнит, 5 – блок управления, 6 – регистратор сигнала ЭПР и ЯМР



Переход при электронном парамагнитном резонансе и соответствующий спектр.

Устройство и принцип работы ЭПР-спектрометра

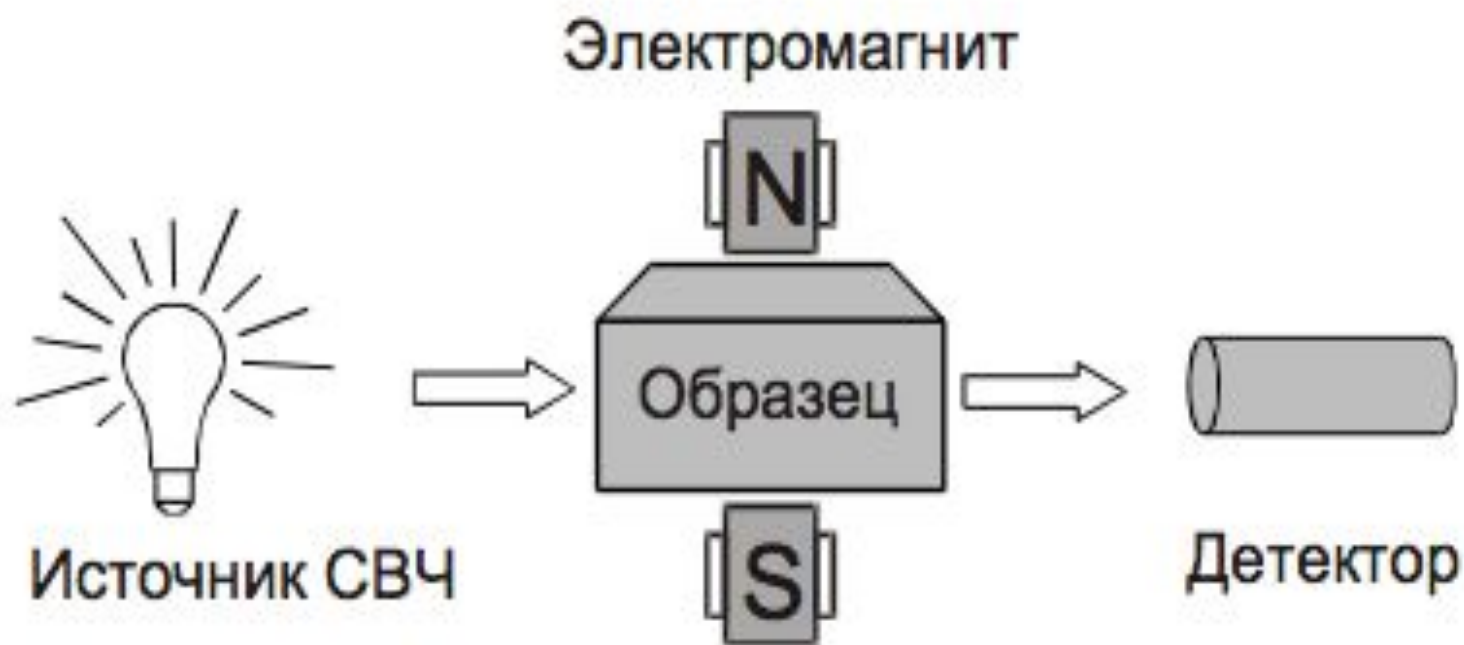


Рис. 2. Схема простейшего спектрометра ЭПР.

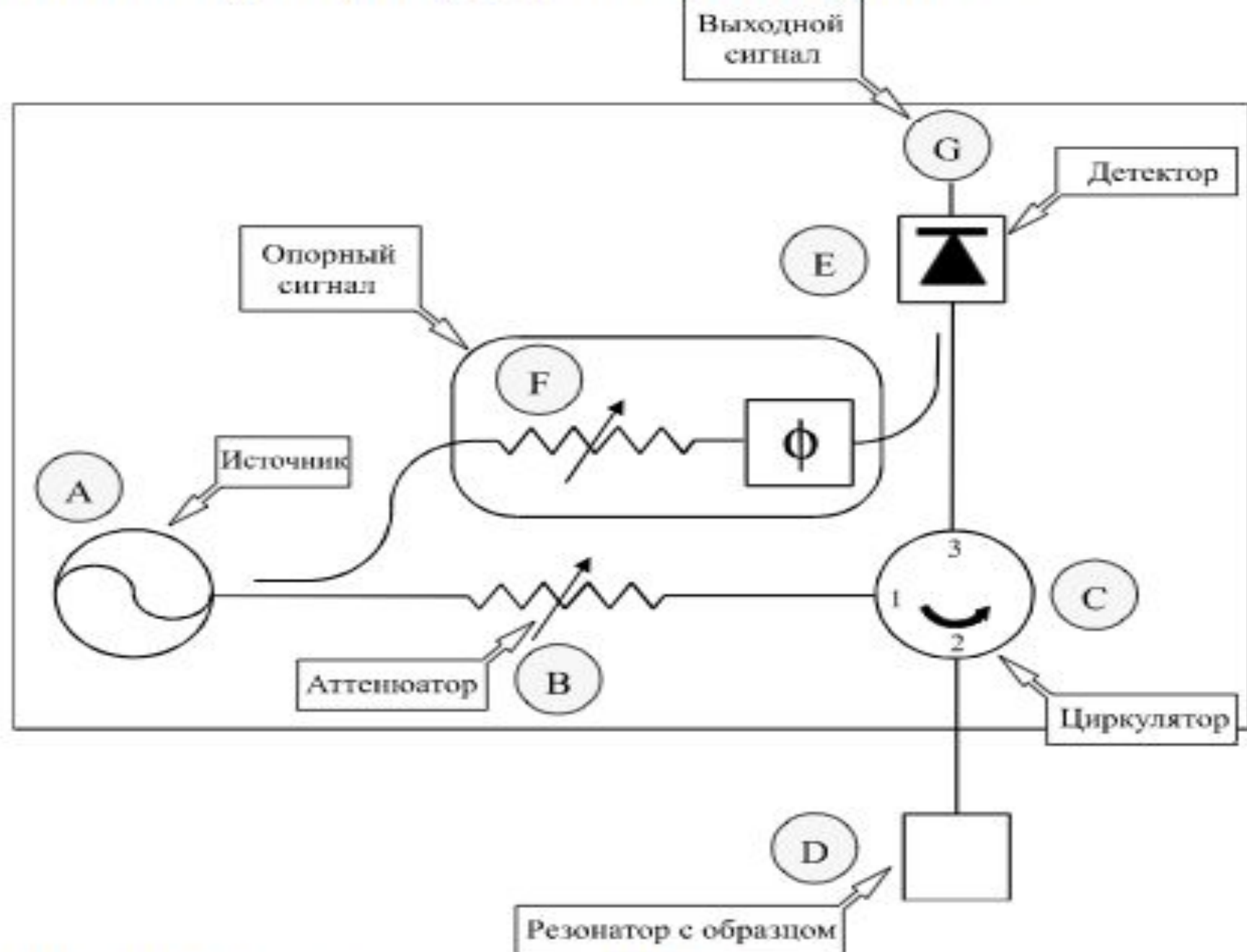


Рис. 3. Схема спектрометра ЭПР.

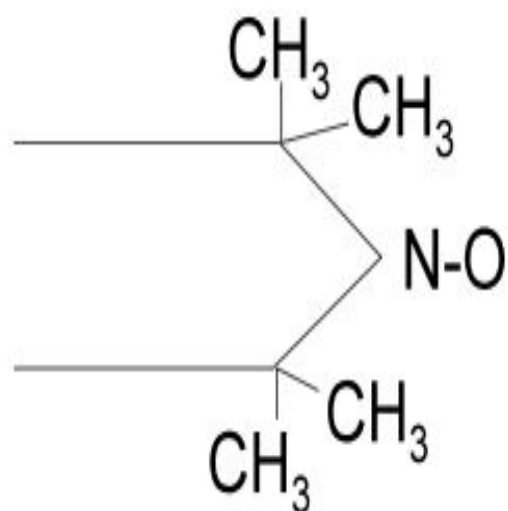
- Электромагнитное излучение от источника **A** проходит через аттенюатор **B**, предназначенный для регулировки мощности СВЧ, затем через циркулятор* **C** и через волновод попадает на резонатор с образцом **D**. Отраженное от резонатора излучение через циркулятор подается на детектор **E**, сигнал с которого поступает на усилитель **G** с переменным коэффициентом усиления и далее на регистрирующее устройство. Циркулятор необходим для разделения потоков излучения от источника и от резонатора. Таким образом, на детектор попадает только отраженное излучение и не попадает излучение от источника. Усилитель предназначен для согласования уровня сигнала с выхода детектора с уровнем входного сигнала регистрирующего устройства.

- Метод ЭПР позволяет оценить эффекты, проявляющиеся в спектрах ЭПР из-за наличия локальных магнитных полей. В свою очередь локальные магнитные поля отражают картину магнитных взаимодействий в исследуемой системе. Таким образом, метод ЭПР позволяет исследовать как структуру парамагнитных частиц, так и взаимодействие парамагнитных частиц с окружением.
- Одним из примеров, иллюстрирующем влияние магнитных полей ядер на вид спектра ЭПР, служит сверхтонкая структура спектров ЭПР (СТС).

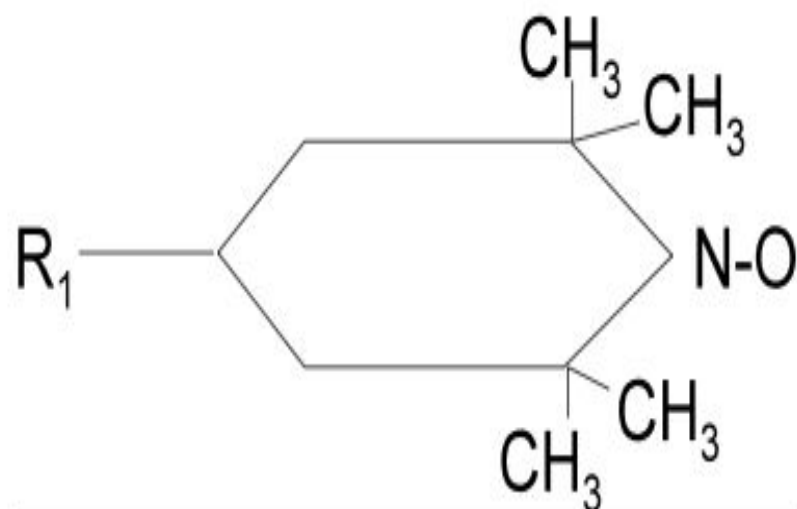
Рассмотрим, какой вид имеет спектр ЭПР атомов водорода.

- Как известно, в атоме водорода имеется один электрон, располагающийся на S-орбитали около протона.
- Протон обладает магнитным моментом. В этом случае неспаренный электрон в атоме водорода находится в эффективном поле, складывающемся из поля, создаваемого магнитом, и поля протона:

$$H_{\text{эфф}} = H_0 + H_{\text{прот}}$$

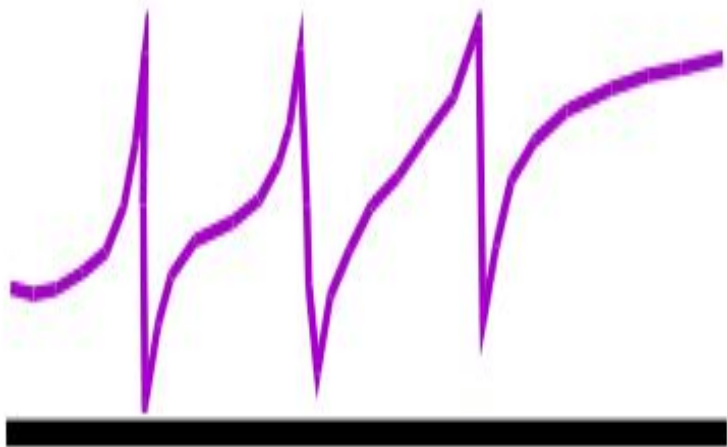


_____ который чаще всего включен в кольцевую структуру

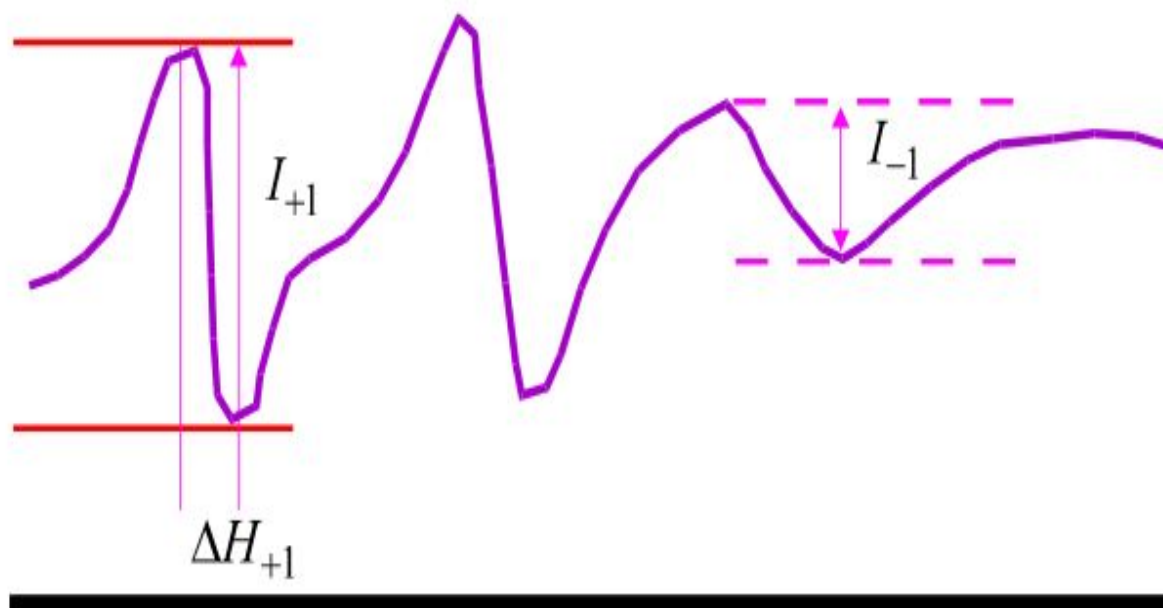


где: R - жирнокислотная цепь или другая группировка

Неспаренный электрон в таком радикале локализован на связи N - O. Спектр ЭПР такого радикала в маловязком растворителе (например, спирте) состоит из трех узких линий, обусловленных взаимодействием электрона с ядром азота.



Однако, спектр ЭПР такого радикала весьма чувствителен к характеру той матрицы, где он находится. Например, при увеличении вязкости системы происходит изменение относительной интенсивности компонент сигнала и изменение ширины отдельных линий.





Техника получения спектров

Существует два основных типа спектрометров: первый основан на непрерывном, второй — на импульсном воздействии на образец.

В спектрометрах непрерывного излучения обычно регистрируется не линия резонансного поглощения, а производная этой линии. Это связано, во-первых, с большей чёткостью проявления отдельных линий в сложных спектрах, во-вторых, с техническими удобствами регистрации первой производной.

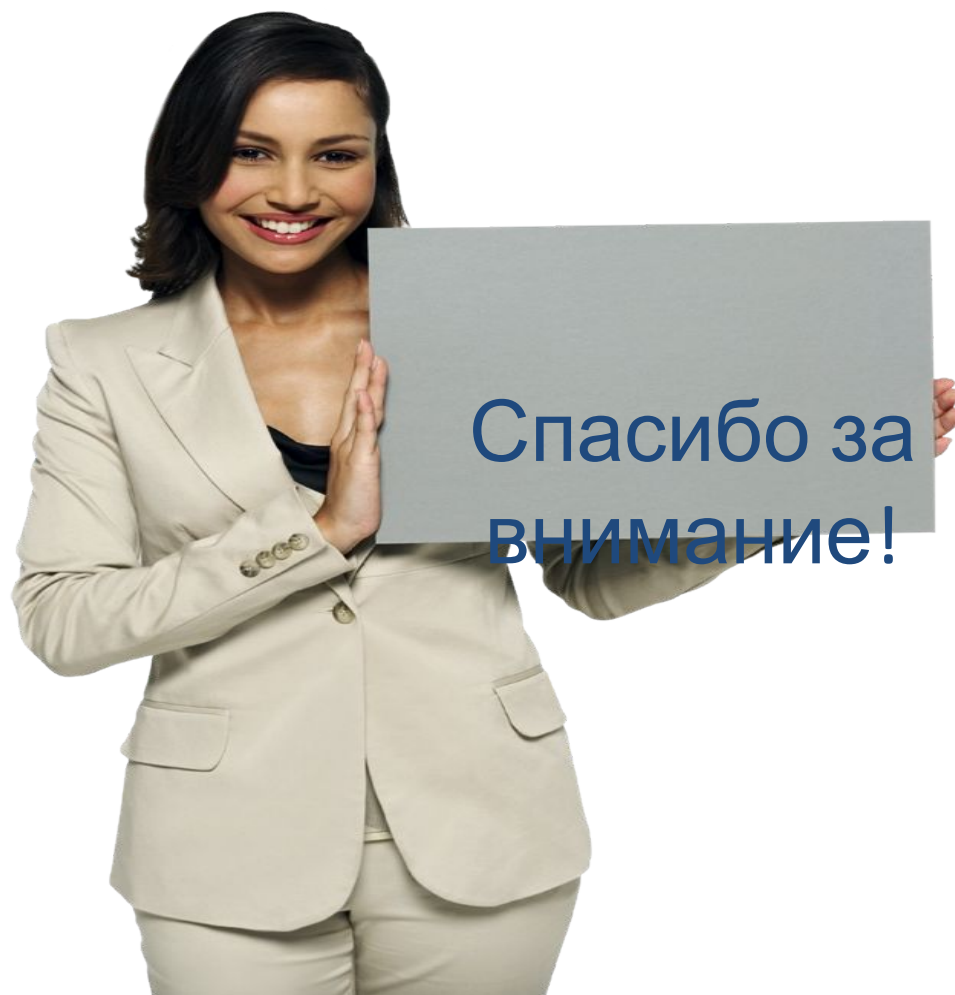
Резонансному значению магнитного поля отвечает пересечение первой производной с нулевой линией, ширина линии измеряется между точками максимума и минимума.

Для увеличения чувствительности метода используют высокочастотную модуляцию магнитного поля B_0 , при этом фиксируется производная спектра поглощения. Диапазон регистрации ЭПР определяется частотой ν или длиной волны λ СВЧ излучения при соответствующей напряженности магнитного поля B_0 (см. таблицу).

Диапазон	λ , мм	ν , ГГц	B_0 , Тл
L	300	1	0.03
S	100	3	0.11
C	75	4	0.14
X	30	10	0.33
P	20	15	0.54
K	12.5	24	0.86
Q	8.5	35	1.25

Используемая литература:

- С.А.Альтшулер, Б.М.Козырев. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. - М.: Наука, 1972.-672 с.
- Дж.Вертц, Дж.Болтон. Теория и практические приложения метода ЭПР. – М.: Мир, 1975.- 550 с.
- Ч.Пул. Техника ЭПР спектроскопии. - М.: Мир, 1970.- 557 с.
- Л.В.Вилков, Ю.А.Пентин. Физические методы исследования в химии. Резонансные и электрооптические методы. - М.: Высшая школа, 1989. – 288 с.



Спасибо за
внимание!