

4.3.1964

С 345  
Д-33



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

---

Ю.Н. Денисов, В.В. Калининченко

P-1554

РЕЗОНАТОР ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЭПР  
В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

ЖТНЭ, 1965, ~2, с 134-135.

Дубна 1964

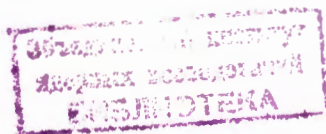
Ю.Н. Денисов, В.В. Калининченко

P-1554

2288/3 чф.

РЕЗОНАТОР ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЭПР  
В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Направлено в ПТЭ



Дубна 1964

P- 1554

Денисов Ю.Н., Калининченко В.В.

Резонатор для наблюдения ЭПР в дециметровом диапазоне

Для наблюдения ЭПР в дециметровом диапазоне длин волн предлагается использовать четвертьволновый коаксиальный резонатор со спиральным внутренним проводником. Показывается, что интенсивность сигнала ЭПР для такого типа резонатора в десятки раз больше, чем при использовании обычного коаксиального резонатора.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований.**

Дубна. 1964.

P-1554

Denisov Ju.N., Kalinichenko V.V.

A Resonator for Observing Electronic Paramagnetic Resonance  
in a Decimetric Range

It is suggested to use a quarter-wave coaxial resonator with a spiral internal conductor to observe electric paramagnetic resonance in a decimetric wave length range. It is shown that the intensity of the electronic paramagnetic resonance signal for a resonator of such a type is ten times more than for the usual coaxial resonator.

**Preprint Joint Institute for Nuclear Research.**

Dubna. 1964.

Поглощение электромагнитной энергии исследуемым веществом, помещенным в резонатор спектроסקопа, регистрируется по изменению уровня высокочастотной мощности, поступающей к детектору при ЭПР.

Это изменение равно <sup>/1/</sup>:

$$\frac{\Delta P}{P_0} = k \eta Q_0,$$

где  $\Delta P$  - мощность, поглощаемая веществом при резонансе;

$P_0$  - мощность, поступающая в резонатор от СВЧ генератора;

$k$  - коэффициент, определяющийся характеристиками вещества, из которого изготовлен образец и условиями наблюдения ЭПР;

$\eta$  - коэффициент заполнения, зависящий от объема образца и распределения электромагнитного поля в резонаторе;

$Q_0$  - добротность резонатора.

Следовательно, величина детектируемого сигнала ЭПР, пропорциональная  $\Delta P/P_0$ , при заданном веществе образца обуславливается добротностью резонатора  $Q_0$  и коэффициентом заполнения  $\eta$ . Увеличение  $\Delta P/P_0$  за счет повышения добротности резонатора больше некоторого среднего значения, равного обычно 500-5000, не рационально, так как с увеличением  $Q_0$  резко растут габариты резонатора и технологические трудности его изготовления. Кроме того, в этом случае для устойчивой работы прибора необходима система автоматической подстройки частоты СВЧ генератора к частоте резонатора с образцом, что сильно усложняет схему установки. Значительно целесообразнее увеличивать  $\Delta P/P_0$  за счет повышения коэффициента заполнения  $\eta$ , равного <sup>/1/</sup>

$$\eta = \frac{\int_{V_0} H_1^2 dV_0}{\int_V H_1^2 dV_P},$$

где  $H_1$  - напряженность высокочастотного магнитного поля,

$V_0$  - объем образца,

$V_P$  - объем резонатора.

При наблюдении ЭПР в малых образцах (а этот случай представляет наибольший интерес) можно пренебречь изменением поля  $H_1$  в объеме исследуемого вещества. Тогда

$$\eta = \frac{V_0}{V_P} \text{эфф.}$$

где  $V_P \text{эфф.} = \frac{1}{H_1^2} \int_V H_1^2 dV_P$ .

Очевидно, что для всех типов резонаторов  $V_p \text{ эфф.} < V_p$ . В диапазоне 500 - 10 000 Мгц применяются резонаторы с объемом от единиц до нескольких десятков см<sup>3</sup>. Следовательно, для образцов объемом ~ 0,001 см<sup>3</sup> коэффициент заполнения  $\eta$  очень мал (меньше 0,001). Для наблюдения ЭПР в дециметровом диапазоне длин волн предлагается использовать четвертьволновый коаксиальный резонатор со спиральным внутренним проводником, показанный на рис. 1. Характерной особенностью этого резонатора является высокая концентрация высокочастотного магнитного поля в объеме, охваченном внутренним спиральным проводником, позволяющая и при малых объемах образцов получать большие  $\eta$ .

Резонансная частота резонатора равна

$$f_0 = \frac{c}{4 \pi n \ell D} \left( \frac{D}{D_{\text{э}}} \right)^{\frac{1}{2}},$$

где  $c$  - скорость света в см/сек,

$n$  - число витков на см длины внутреннего спирального проводника.

В этом выражении не учитывается электрическое укорочение линии (обычно на 5-10%) за счет емкости между разомкнутым концом внутреннего проводника и торцом экрана или специального подвижного плунжера, показанного на рис. 1.

При помощи плунжера производится плавная настройка резонатора на заданную частоту.

Добротность резонатора, изготовленного из меди, вычисляется по формуле<sup>13/</sup>

$$Q_0 = \frac{0,024 \pi D \left[ 1 - \left( \frac{D}{D_{\text{э}}} \right)^2 \right] f_0^{\frac{1}{2}}}{\left[ \frac{1}{\pi n d} + \left( \frac{D}{D_{\text{э}}} \right)^2 \right]}$$

где  $d$  - диаметр провода внутреннего спирального проводника в см.

Высокочастотное магнитное поле  $H_1$  параллельно продольной оси резонатора, следовательно, в зазоре магнита его необходимо располагать таким образом, чтобы силовые линии постоянного поля  $H_0$  были направлены перпендикулярно этой оси. Возбуждение резонатора и связь с диодной детекторной головкой осуществляется при помощи зондов и петель, вводимых внутрь полости резонатора, или щелей вдоль образующей цилиндрического корпуса резонатора. Конструкция одного из резонаторов рассматриваемого типа показана на рис. 2. Этот резонатор имел следующие параметры:  $Q_0 \approx 400$ ; длина внутреннего спирального проводника  $\ell = 0,5$  см;  $D = 0,28$  см;  $D_{\text{э}} = 0,8$  см;  $d = 0,08$  см. Для образца объемом 0,0084 см<sup>3</sup> коэффициент заполнения

$\eta = 0,4$ . Соответственно  $\eta Q_0 = 160$ . Для образца из дифенилпикрилгидразила при резонансе ток в цепи диодного детектора изменяется более чем в два раза.

Для обычного четвертьволнового коаксиального резонатора на такую же частоту с диаметром внутреннего проводника  $D_{\text{н}} = 0,8$  см и наружного  $D_{\text{вн}} = 2$  см эффективный объем высокочастотного магнитного поля равен <sup>/2/</sup>

$$V_{\text{эфф.}} = \frac{c \pi}{16 f_0} D_{\text{вн}}^2 \ln \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{вн}}} = 1,3 \text{ см}^3 .$$

Если объем образца такой же, как и в предыдущем примере, то коэффициент заполнения  $\eta = 0,005$ . Добротность этого резонатора  $Q_0 = 2000$  и, следовательно,  $\eta Q_0 = 10$ .

Сравнение полученных результатов показывает, что интенсивность сигнала ЭПР для четвертьволнового резонатора со спиральным внутренним проводником в десятки раз больше, чем для объемного коаксиального резонатора. Этот вывод подтверждается и экспериментально.

#### Л и т е р а т у р а

1. Д. Инграм. Электронный парамагнитный резонанс в свободных радикалах. ИЛ. Москва, 1961.
2. В.В. Никольский. Теория электромагнитного поля. В.Ш. Москва, 1961.
3. W.Sichak. Proc. IRE 42, 1315 (1954).

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 февраля 1964 г.

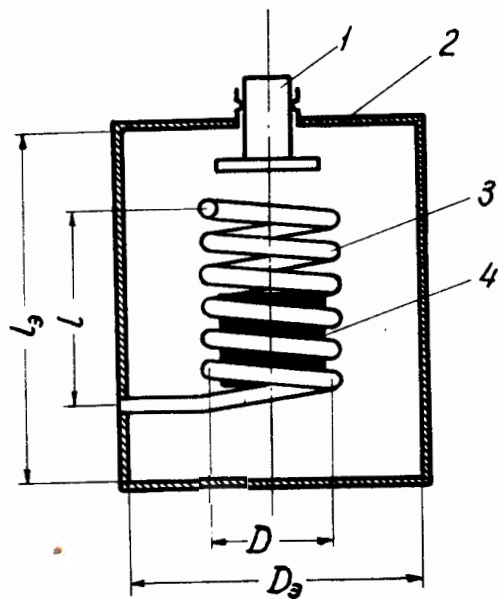


Рис. 1. Схематическое изображение резонатора.

- 1 - элемент настройки; 2 - корпус резонатора;  
3 - внутренний спиральный проводник; 4 - образец.

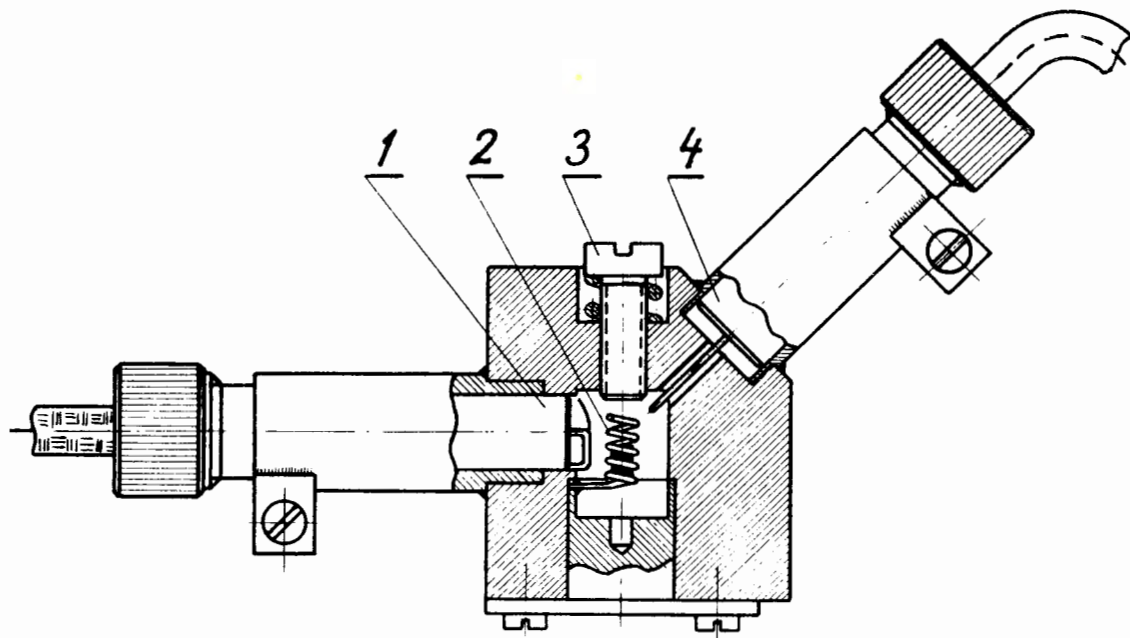


Рис. 2. Конструкция резонатора.

- 1 - диодная детекторная головка (петля связи условно повернута на  $90^\circ$ );
- 2 - внутренний спиральный проводник; 3 - винт настройки;
- 4 - штырь связи с генератором СВЧ.