

## 10.4

### МАГНИТНЫЕ МОМЕНТЫ ЛЕГКИХ ЯДЕР

Северилов Павел, 674

## Теория

Отношение  $\gamma$  магнитного момента к механическому называется гиромагнитным отношением:

$$\vec{\mu} = \gamma \vec{M}. \quad (1)$$

Величину  $\gamma$  также можно записать в виде произведения:

$$\gamma = g\gamma_0,$$

где  $g$  – фактор Ланде, а  $\gamma_0 = -\frac{e_0}{2m_e c}$  – гиромагнитное отношение для орбитального движения электрона в атоме.

Зачастую, вместо  $\gamma$  используют более простую величину -  $g$ -фактор. Он также является отношением магнитного момента к механическому, но при этом магнитный момент измеряется в ядерных магнетонах Бора ( $\mu_{\text{я}} = e\hbar/2m_p c$ ), а механический момент – в единицах  $\hbar$ :

$$g = \frac{\mu/\mu_{\text{я}}}{M/\hbar} = \frac{\mu}{\mu_{\text{я}}} \frac{\hbar}{M} = \frac{\hbar}{\mu_{\text{я}}} \gamma. \quad (2)$$

Отсюда

$$\vec{\mu} = \frac{\mu_{\text{я}}}{\hbar} g \vec{M}. \quad (3)$$

Проецируя  $M$  и  $\mu$  на направление вектора  $B$ , получаем:

$$\mu_B = \frac{\mu_{\text{я}}}{\hbar} g M_B = \mu_{\text{я}} g m. \quad (4)$$

Наибольшее значение  $\mu_B$  равно  $\mu_{\text{я}} g I$ . Его принято называть магнитным моментом ядра.

Расстояние между двумя соседними компонентами расщепившегося в магнитном поле уровня:

$$\Delta E = B \Delta \mu_B = B \mu_{\text{я}} g \Delta m = B \mu_{\text{я}} g. \quad (5)$$

Между компонентами расщепившегося уровня могут происходить электромагнитные переходы. Энергия квантов при этом определяется выражением (5), и явление носит резонансный характер. Частота излучения:

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{B \mu_{\text{я}} g}{h}. \quad (6)$$

Возбуждение переходов между компонентами расщепившегося ядерного уровня - ядерный магнитный резонанс (ЯМР).

В данной работе  $g$ -фактор определяется с помощью явления ЯМР. Изменяя частоту переменного магнитного поля, мы можем найти положение максимума поглощения, т.е. частоту резонанса. По этому максимуму определяется  $g$ -фактор из соотношения (6).

## Установка

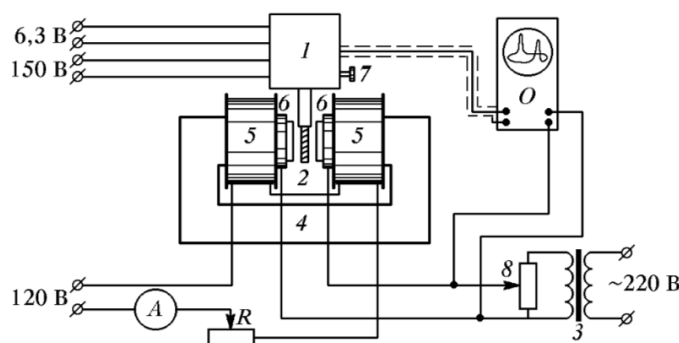


Рис. 1: Схема установки: 1 - часть индикаторной установки, исследуемый образец, 3 - трансформатор, 4 - электромагнит, 5 - катушки, 6 - модулирующие катушки, 8 - потенциометр

Различие между двумя соседними компонентами определяется формулой

$$\Delta E = g\mu_{\text{я}}B_0,$$

а соответствующая частота находится как  $f_0 = \frac{\Delta E}{h} = \frac{g\mu_{\text{я}}B_0}{h}$ .

## Задания

Помещая разные образцы между полюсами электромагнита и устанавливая частоту  $f_0$  индикаторной установки в диапазоне  $1 \div 20$  МГц, плавно меняли магнитное поле в зазоре электромагнита, пока не обнаруживали сигнал ЯМР.

Полученные данные приведены в таблице:

Таблица 1: Полученные данные для разных образцов

Образец	Вода	Резина
$f$ , МГц	9,62	9,80
$B$ , мТл	226	230

По полученным данным определим  $g$ -факторы исследуемых ядер по следующей формуле:

$$g_{\text{я}} = \frac{\hbar\omega_0}{\mu_{\text{я}}B_0} = \frac{hf_0}{\mu_{\text{я}}B_0} \quad (7)$$

Учитывая, что угловой момент протона определяется только его спином, рассчитали магнитный момент протона по формуле:

$$\mu = g_{\text{я}}\mu_{\text{я}}I \quad (8)$$

Из рассчитанных данных получили таблицу:

Таблица 2: Обработанные данные

Образец	$I$	$g_{\text{я}}$	$g_{\text{я, табл.}}$	$\mu$ (в $\mu_{\text{я}}$ )	$\mu_{\text{табл.}}, \mu_{\text{я}}$
1. Протон (резина)	0,5	5,57	5,58	2,785	2,79
2. Протон (вода)	0,5	5,58	5,58	2,79	2,79

## Вывод

В работе мы экспериментально, методом ядерного магнитного резонанса, нашли магнитный момент ядра протона и его g-фактор. Полученные значения хорошо соотносятся с табличными.