

Московский физико-технический институт  
(государственный университет)  
Факультет общей и прикладной физики

Лабораторная работа № 10.4  
(Общая физика: квантовая физика)

## **Магнитные моменты легких ядер**

Работу выполнил:  
Иванов Кирилл, 625 группа

г. Долгопрудный  
2018 год

**Цель работы:** В работе вычисляются магнитные моменты протона, дейтрона и ядра фтора на основе измерения их  $g$ -факторов методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Полученные данные сравниваются с вычислениями магнитных моментов на основе кварковой модели адронов и одночастичной оболочечной модели ядер.

## 1. Теоретическое введение

Момент количества движения ядра, который принимает целые для четного числа нуклонов или полуцелые для нечетных (в единицах  $\hbar$ ) складывается из спина ядра  $S$  и полного орбитального момента нуклонов  $L$ :

$$I = L + S$$

При этом у ядер существует магнитный момент  $\mu$ , связанный с  $I$ . Их отношение называется гиромагнитным отношением  $\gamma = g\gamma_0$ , где  $g$  — фактор Ланде, или  $g$ -фактор, а  $\gamma_0 = -\frac{e}{2m_p c}$ . Аналогично  $\gamma_{\text{я}} = \frac{e}{2m_p c}$

Магнитный момент таким образом можно записать как

$$\mu = \gamma_{\text{я}} \hbar I$$

Измерять его можно через ядерный магнетрон

$$\mu_{\text{я}} = \gamma_{\text{я}} \hbar = \frac{e}{2m_p c} \hbar$$

Таким образом, запишем магнитный момент в виде:

$$\mu = \mu_{\text{я}} g_{\text{я}} I \quad (1)$$

В данной работе исследуется ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Если пропускать атомы сквозь сильное магнитное поле, связь  $I$  и  $J$  разрывается, и оба эти вектора независимо прецессируют вокруг  $H$  с угловой частотой  $\omega = g(eH/Mc)$ , где  $g$  — гиромагнитное отношение. Если теперь наложить слабое добавочное магнитное поле  $H'$ , перпендикулярное к основному полю, то оно вызовет изменение ориентации ядерных спинов. Этот эффект может быть обнаружен, так как он оказывает влияние на траекторию атомов.

Этот метод может быть применен и к неподвижным ядрам и тогда он называется методом ЯМР. ЯМР — это резонансное поглощение электромагнитной энергии в веществах, обусловленное ядерным перемагничиванием. ЯМР наблюдается в постоянном магнитном поле  $H_0$  при одновременном воздействии на образец радиочастотного магнитного поля, перпендикулярного  $H_0$ , и обнаруживается по поглощению излучения. Метод ЯМР обладает очень высокой точностью. Относительные величины  $\mu$  для различных ядер могут быть определены таким способом с точностью 1 : 106.

При резонансной частоте  $f_0$  можно найти фактор Ланде по формуле:

$$g_{\text{я}} = \frac{hf_0}{\mu_{\text{я}}B_0} \quad (2)$$

## 2. Выполнение работы

Запишем значение  $B_0$  постоянного магнита:

$$B_0 = 142,7 \text{ мТл}$$

Найдем значения резонансной частоты для трех разных образцов:

- Вода, ЯМР на ядрах водорода:  $f_0 = 5,87 \pm 0,01$  МГц
- Резина, ЯМР на ядрах водорода:  $f_0 = 5,87 \pm 0,01$  МГц
- Тефлон, ЯМР на ядрах фтора:  $f_0 = 5,52 \pm 0,01$  МГц

По формулам (2) и (1) вычислим значения  $g$ -фактора и магнитного момента соответственно ( $I = \frac{1}{2}$  для водорода и фтора):

- Вода, ЯМР на ядрах водорода:  $g_{\text{яH}} = 5,398 \pm 0,009$ ,  $m_p = (2,699 \pm 0,005)\mu_{\text{я}}$
- Резина, ЯМР на ядрах водорода:  $g_{\text{яH}} = 5,398 \pm 0,009$ ,  $m_p = (2,699 \pm 0,023)\mu_{\text{я}}$
- Тефлон, ЯМР на ядрах фтора:  $g_{\text{яF}} = 5,079 \pm 0,009$ ,  $m_F = (2,539 \pm 0,005)\mu_{\text{я}}$

## 3. Вывод

Сведем полученные результаты в таблицу:

Таблица 1: Итоговые результаты

Образец	$f_0$ , МГц	$g_{\text{я}}$	$\mu$ (в ед. $\mu_{\text{я}}$ )	$\mu_{\text{я таблич}}$ (в ед. $\mu_{\text{я}}$ )
Вода (ядра $H$ )	$5,87 \pm 0,01$	$5,398 \pm 0,009$	$2,699 \pm 0,005$	2,793
Резина (ядра $H$ )	$5,87 \pm 0,01$	$5,398 \pm 0,009$	$2,699 \pm 0,005$	2,793
Тефлон (ядра $F$ )	$5,52 \pm 0,01$	$5,079 \pm 0,009$	$2,539 \pm 0,005$	2,629

Видно, что полученные значения достаточно близки к табличным.