

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 μ , 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.

В магнитном поле ядерные уровни расщепляются (появляется так называемое зеемановское расщепление) и под действием внешнего высокочастотного поля могут происходить переходы между компонентами расщепившегося уровня, это явление носит резонансный характер. Различие по энергии между двумя соседними компонентами определяется формулой

$$\Delta E = g_{\text{я}} \mu_{\text{я}} B_0 = h f_0$$

Из условия, что ΔE равна энергии квантов, задающие электромагнитные переходы, при резонансной частоте f_0 можно найти фактор Ланде по формуле:

$$g_{\text{я}} = \frac{h f_0}{\mu_{\text{я}} B_0} \quad (2)$$

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

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

Для дейтерия, возьмем результат измерения у коллег по группе из-за отсутствия его на нашей установке:

- $f_0 = 0,378 \pm 0,003 \text{ МГц}$, $B = 517 \pm 2 \text{ мТл}$, тогда $g = 0,857 \pm 0,004 \Rightarrow \mu_d = (0,857 \pm 0,004) \mu_{\text{я}}$ (т.к. $I_d = 1$).

3. Вывод

Сведем полученные результаты в таблицу:

Таблица 1: Итоговые результаты

Образец	f_0 , МГц	$g_{\text{я}}$	μ (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
Тяжелая вода (ядра 2H)	$0,378 \pm 0,003$	$0,857 \pm 0,004$	$0,857 \pm 0,004$	0,857

Видно, что полученные значения достаточно близки к табличным. При этом согласно кварковой модели адронов, $\mu_p = 3\mu_{\text{я}}$, и для ядра фтора момент, вычисленный при помощи одночастичной оболочечной модели ядер, равен $\mu_F = \mu_{\text{я}}$.

Подсчитаем долю состояния 3_1D в основном состоянии дейтрона (из предположения о наличии в нем 3_1S и 3_1D состояний):

$$P_D = \frac{2}{3} \frac{\mu_p + \mu_n - \mu_d}{\mu_p + \mu_d - \frac{1}{2}} \approx 0,04$$

$$\oint x dx = \left/ \frac{x}{y} \text{ Damir Petuh} \right/ = \cos x$$