

# Магнитные моменты легких ядер

Шмаков Владимир Евгеньевич - ФФКЭ гр. Б04-105

28 марта 2024 г.

## Цель работы

## Теоретические сведения

Рассмотрим ядро с магнитным моментом  $\mu$  во внешнем поле с индукцией  $\mathbf{B}$ . Взаимодействие магнитного диполя с внешним полем приводит к появлению дополнительной энергии

$$E = -(\mu, \mathbf{B}).$$

Вектор  $\mu$  ориентирован по направлению полного момента количества движения  $\mathbf{M}$ :

$$\mu = \gamma \mathbf{M},$$

где  $\gamma$  – гиромагнитное соотношение. Вводя ядерный  $g$ -фактор, значение которого постоянно на одном уровне,

$$g = \frac{\hbar}{\mu_{\text{я}}} \gamma,$$

перепишем в виде

$$\mu = \frac{\mu_{\text{я}}}{\hbar} g \mathbf{M}.$$

Квадрат вектора  $\mathbf{M}$  и его проекция определяются формулами

$$\mathbf{M}^2 = \hbar^2 I(I+1), \quad M_z = m\hbar,$$

где  $I$ , целое или полуцелое число, – спин ядра, а  $m$  – целое число, по модулю не превосходящее  $I$ . Тогда, проектируя  $\mathbf{M}$  и  $\mu$  на направление вектора  $B$ , получим

$$\mu_B = \frac{\mu_{\text{я}}}{\hbar} g M_B = \mu_{\text{я}} g m.$$

Таким образом, разница между расщепившимися уровнями энергии будет

$$\Delta E = B \Delta \mu_B = B \mu_{\text{я}} g.$$

Между компонентами расщепившегося уровня могут происходить электромагнитные переходы. Переходы с нижних компонент на верхние требуют затрат энергии и происходят лишь под действием внешнего высокочастотного поля. Энергия квантов, вызывающих электромагнитные переходы, точно определена, стало быть явление носит резонансный характер. Соответствующая частота

$$\omega = \frac{\Delta E}{\hbar} = \frac{\mu_{\text{я}}}{\hbar} B g. \quad (1)$$

Возбуждение переходов между компонентами расщепившегося ядерного уровня носит название **ядерного магнитного резонанса**.

## Методика

## Оборудование

- Генератор

- Электромагнит
- Датчик Холла
- Осциллограф
- Катушки, создающие постоянную составляющую магнитного поля
- Модулирующие катушки

## Экспериментальная установка

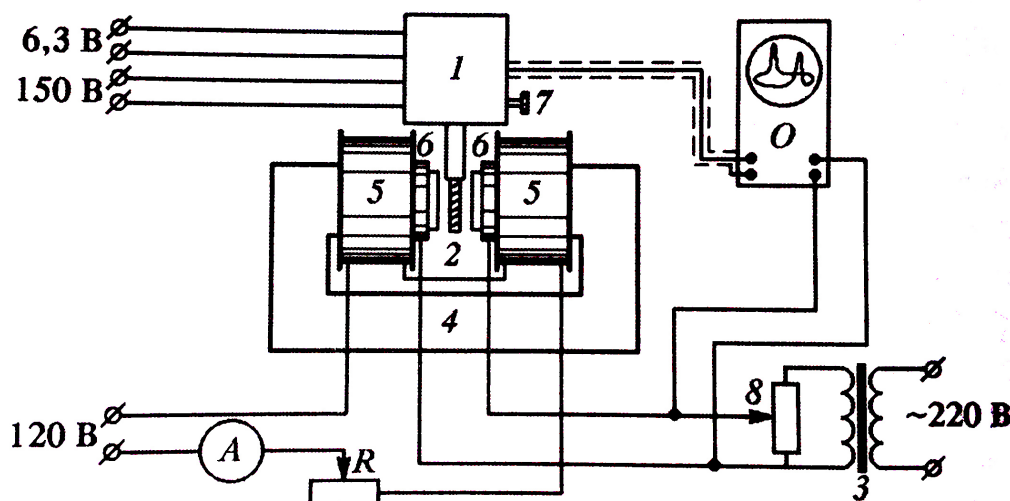


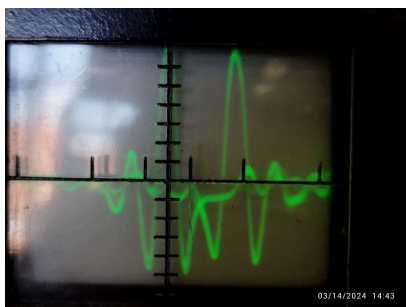
Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

Образец 2 помещён внутрь катушки, входящей в состав генератора. Генератор представляет собой часть индикаторной установки 1, магнитное поле в образце создаётся с помощью электромагнита 4. Основное магнитное поле создаётся с помощью катушек 5, питаемых постоянным током. Величина тока регулируется реостатом  $R$  и измеряется амперметром  $A$ . Небольшое дополнительное поле возбуждается модулирующими катушками 6, присоединёнными к сети переменного тока через трансформатор 3. Напряжение на катушках регулируется потенциометром 8.

Основной частью установки является генератор слабых колебаний. Он представляет собой усилитель с положительной обратной связью, благодаря которой поддерживается непрерывная генерация. Катушка с образцом и находящийся в ящике 1 конденсатор переменной ёмкости образуют сеточный контур генератора. Ёмкость конденсатора можно менять, поворачивая лимб 7. При наступлении ЯМР поглощение энергии в образце увеличивается, добротность сеточного контура падает и амплитуда генерации уменьшается. Высокочастотный сигнал с генератора усиливается и детектируется.

Детектирование сигнала ЯМР осуществляется с помощью промышленного прибора. Модуляция магнитного поля осуществляется с помощью небольшой катушки, частота модуляции  $\approx 50$  Гц. В зазоре электромагнита устанавливается холловский измеритель магнитного поля, а измерения ЯМР проводятся на резине (измеряется ЯМР на протонах), тефлоне (в состав входит фтор) и тяжелой воде. Сигнал ядерного магнитного резонанса наблюдается на экране осциллографа.

## Обработка экспериментальных данных



Образец	$f$ МГц	$B$ мТл	$I$ А
Вода	9.811	218	0.34
Резина	9.201	215	0.32
Тефлон	10.178	238	0.40

По полученным данным удаётся определить фактор Ланде  $g$  и магнитный момент ядра.

$$g = \frac{hf_0}{\mu_{\text{я}}B} \quad (2)$$

$$\mu = g\mu_{\text{я}}I \quad (3)$$

Воспользовавшись формулами (2) и (3) получим:

Образец	$g$	$\mu$ [в единицах $\mu_{\text{я}}$ ]
Вода	$5.9 \pm 0.2$	2
Резина	9.201	1.8
Тефлон	10.178	2.24

Таблица 1: Результаты

## Вывод

Удалось оценить магнитные моменты ядер воды, резины и тефлона.

Экспериментально полученные значения не сходятся с табличными данными. Ошибка эксперимента оказалась равной  $\sim 14\%$ .