

Магнитные моменты легких ядер

Шмаков Владимир Евгеньевич - ФФКЭ гр. Б04-105

1 апреля 2024 г.

Цель работы

Оценить магнитные моменты лёгких ядер.

Теоретические сведения

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

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

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

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

где γ – 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 μ на направление вектора \mathbf{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

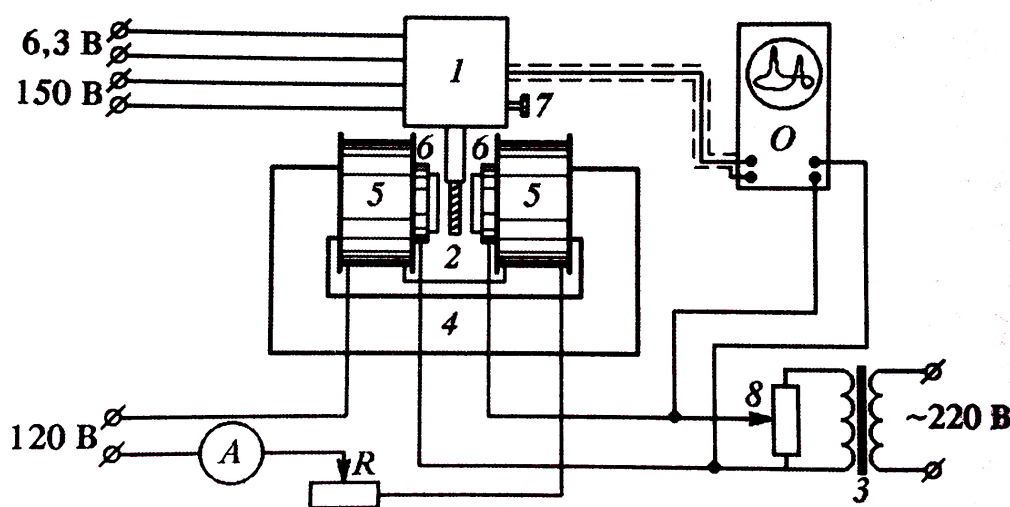


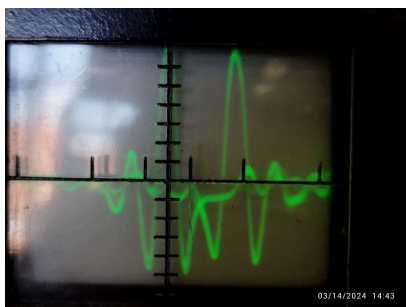
Рис. 1: Схема экспериментальной установки.

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 ≈ 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	μ [в единицах $\mu_{\text{я}}$]
Вода	5.32 ± 0.05	2.66
Резина	5.89 ± 0.06	2.9
Тефлон	5.61 ± 0.07	2.8

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 $\sim 14\%$.