

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6.10.4

Магнитный момент лёгких ядер

Автор работы: Хоружий Кирилл

От: 28 февраля 2022 г.

Цель работы

1. Исследовать ядерный магнитный резонанс.
2. Пронаблюдать сигнал ЯМР от различных ядер.
3. Определить g -фактор для ядер.

Оборудование

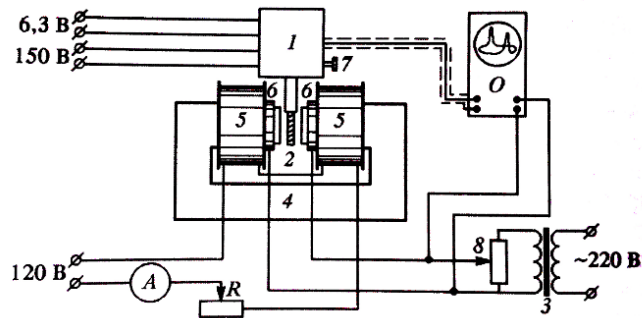


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

1. Генератор
2. Исследуемый образец
3. Трансформатор
4. Электромагнит
5. Катушки, питаемые постоянным током, создающее основное магнитное поле
6. Моделирующие катушки, возбуждающие дополнительное поле
7. Лимб, меняющий емкость генератора, а следовательно, и частоту генератора
8. Потенциометр, регулирующий напряжение на катушках.

ТеорМин

Взаимодействие магнитного диполя с внешним полем приводит к появлению поправки

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

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

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

где γ – гиромагнитное соотношение. g -фактор

$$g = \frac{\hbar}{\mu_{\text{я}}} \gamma, \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{\mu} = \frac{\mu_{\text{я}}}{\hbar} g \mathbf{M}.$$

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

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

где I – спин ядра, а m – целое число, по модулю не превосходящее I . Тогда, проектируя \mathbf{M} и $\boldsymbol{\mu}$ 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

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

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

Измерения

Найдём резонансную частоту f_0 для образцов.

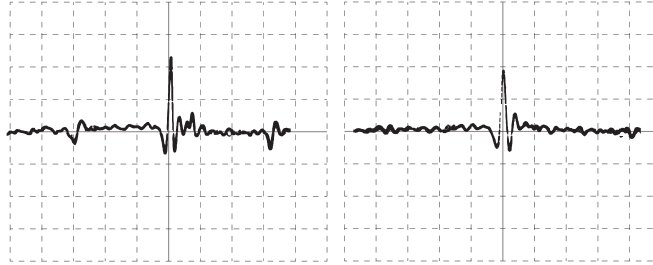


Рис. 2: Осциллограммы для воды и резины

С помощью детектора Холла определим магнитное поле в щели прибора (таблица 1).

Таблица 1: Измерение g -фактора

№	материал	f_0 , МГц	B_0 , мТл	$\mu^{\text{эксп}}, \mu_{\text{я}}$	$\sigma_{\mu}, \mu_{\text{я}}$	$g^{\text{эксп}}$	σ_g	$g^{\text{таб}}$
1	резина (H)	9.805	230	2.79	0.03	5.57	0.05	5.59
2	тефлон (F)	9.800	245	2.62	0.02	5.23	0.04	5.26
3	вода (H)	9.800	230	2.79	0.03	5.57	0.05	5.59

Также найдём g -фактор и магнитный момент по формулам

$$g = \frac{2\pi\hbar f_0}{\mu_{\text{я}} B_0}, \quad \mu = g \mu_{\text{я}} I,$$

где $I = \frac{1}{2}$ для H и F, $\mu_{\text{я}} = 5.05 \cdot 10^{-27}$ Дж/Тл. Занесем полученные результаты в таблицу.

Выводы

Получен сигнал ЯМР для водорода и фтора. Найдено значение g -фактора ядер водорода и фтора, а также их магнитный момент. Значения g -фактора совпало с табличными значениями в пределах погрешности, данный метод (ЯМР) позволяет определять магнитный момент ядер с хорошей точностью.

Приложение

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. На рисунке 3 изображен временной ход магнитного поля электромагнита. Как уже отмечалось, постоянная часть поля создается основными, а переменная – модулирующими катушками. При правильной настройке установки магнитное поле колеблется около резонансного значения, пересекая его два раза за каждый период изменения тока в модулирующих катушках. Как видно из рисунка 3, время, проходящее между следующими друг за другом пересечениями, одинаково при точном равенстве постоянного магнитного поля резонансному значению B_0 (рис. 3а) и различается при неточном их соответствии (рис. 3б) основной составляющей магнитного поля.

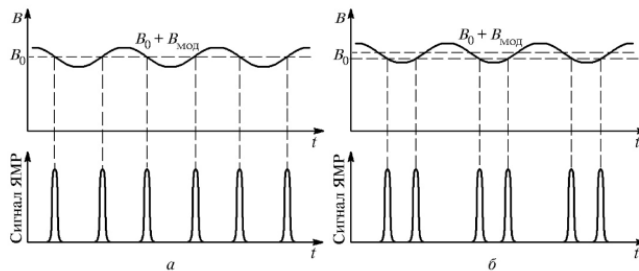


Рис. 3: Временная зависимость магнитного поля и сигнала ядерного магнитного резонанса.