Лабораторная работа №10.4

Магнитные моменты легких ядер

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.

Часть I. Теоретическое введение.

1. Спин и магнитный момент ядра.

Полный момент количества движения ядра складывается из собственной (спиновой) и орбитальной частей.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Согласно квантовой механике, полный момент количества движения I изолированной системы (ядра) принимает (в единицах ħ) целые или полуцелые значения.

Отношение магнитного момента ядра к механическому моменту задается гиромагнитным отношение

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Где – ядерный -фактор, – ядерный магнетон, измеряется в величинах .

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

*–* масса протона.

Таким образом, для вычисления магнитного момента ядра необходимо определить величину его механического момента и -фактора. В данной работе для определения величины -фактора используется метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

1. Сверхтонкая структура оптических спектров.

Сверхтонкая структура спектров вызвана взаимодействием электронов с магнитным моментом ядра. В результате взаимодействия магнитного момента ядра с магнитным полем, создаваемым движением электронов в атомной оболочке, электроны приобретают дополнительную энергию, зависящую от величины магнитного момента ядра и его ориентации относительно направления магнитного поля электрона. Величина I определяется путем простого подсчета числа компонент сверхтонкой структуры в спектре данного изотопа.

1. Чередование интенсивностей в полосатых спектрах двухатомных молекул с тождественными ядрами.

Этот метод дает возможность определить I. Чередование интенсивностей является следствием того, что волновая функция молекулы с тождественными ядрами должна быть либо симметричной либо антисимметричной относительно перестановки координат и спина. Определение I основано на том факте, что статистические веса симметричных и антисимметричных состояний относятся как (I+1)/I.

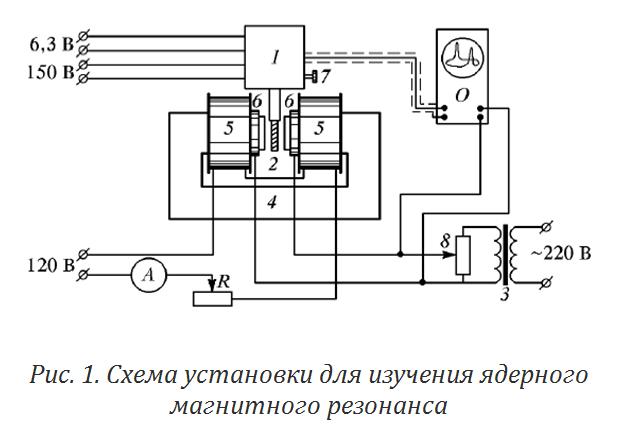
1. Ядерные реакции.

Если известен спин начального ядра, а затем происходит некоторый распад, то можно сделать определенные выводы относительно спина конечного ядра, и наоборот. Основано такое определение спина на том, что вероятность перехода(т.е. время жизни возбужденного состояния) зависит от спина и четности исходного и конечного ядра. Разность спинов и четностей этих состояний может быть определена по измерению углового распределения вылетающих γ-квантов.

1. Ядерный магнитный резонанс.

ЯМР – это резонансное поглощение электромагнитной энергии в веществах, обусловленное ядерным перемагничиванием. ЯМР наблюдается в постоянном магнитном поле при одновременном воздействии на образец радиочастотного магнитного поля, перпендикулярного и обнаруживается по поглощению излучения. У нейтральных атомов в сильном магнитном поле связь между I и J разрывается, и оба эти вектора независимо прецессируют с одинаковой угловой частотой w=g(eH/Mc), где g- гиромагнитное отношение. Если теперь наложить слабое добавочное поле H’, перпендикулярное к основному полю, то оно вызовет изменение ориентации ядреных спинов.

Часть II. Экспериментальная установка.



В магнитном поле ядерные уровни расщепляются и под действием внешнего высокочастотного поля могут происходить электромагнитные переходы между компонентами расщепившегося уровня, это явление носит резонансный характер и потому называется ядерным магнитным резонансом. Различие по энергии между этими двумя соседними компонентами определяется формулой

Соответствующая частота ЭМ-переходов определяется соотношением

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Детектирование сигнала ЯМР осуществляется с помощью промышленного прибора. Модуляция магнитного поля осуществляется с помощью небольшой катушки, частота модуляции . 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.

Часть III. Измерения.



Таблица 1. Результаты измерения постоянного магнитного поля и соответствующей резонансной частоты

Часть IV. Анализ результатов.

Результаты вычисления g-факторов и магнитных моментов ядер представлены в таблице 2.В ней – ядерный магнетон.



Таблица 2. Результаты вычисления g-факторов и магнитных моментов ядер

## Образец – резина (ЯМР на протонах)

Величина ядерного g-фактора для протона определяется по формуле

Так как угловой момент протона определяется только его спином, то по величине -фактора легко рассчитать и магнитный момент

В результате вычисленные значения совпали с табличными.

## Образец – тефлон (ЯМР на ядрах фтора)

Аналогично вычисляется величина g-фактора ядра фтора, а затем его магнитный момент. Величина -фактора и магнитного момента близка к значению для протона, так как орбитальное движение протона не вносит вклад в магнитный момент этого ядра, и он определяется только спином протона.

## Образец –вода

ЯМР на протонах, поэтому все так же, как для 1 образца.

Образец – тяжелая вода (ЯМР на дейтронах)

Здесь измеряется ЯМР на дейтронах. Величина g-фактора определяется по аналогичной формуле.

Спин дейтрона равен 1, поэтому его магнитный момент

Предположим, что основное состояние дейтрона является не чистым S-состоянием, а смесьюсостояний3S1 и 3D1 (с ). Если и – статистические веса этих состояний, то

Отсюда, зная табличные значения магнитных моментов протона и нейтрона и используя найденное значение магнитного момента дейтрона, найдем

Часть V. Вывод.

В ходе работы были вычислены магнитные моменты протона, дейтрона и ядра фтора на основе измерения их g-факторов методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Полученные данные сравнивались с вычислениями магнитных моментов на основе кварковой модели адронов и одночастичной оболочечной модели ядер.

В результате:

Магнитный момент и -фактор протона хорошо согласуются с табличными значениями

Значения магнитного момента и -фактора ядра фтора оказались близки к соответствующим значениям для протона, как и предсказывает теория

Для дейтрона проведен расчёт статистического веса состояния 3D1