

ЯМР система для измерений магнитного поля в поворотных магнитах ЛСЭ MARK-3

Н.И. Зиневич, Г.В. Карпов, А.С. Медведко, Е.И. Шубин
 Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия
 К. Дики, Д. Мэйди
 Университет Дюка, Дархэм, США

Введение

ЯМР система для прецизионных измерений магнитного поля (далее “Магнитометр”) была разработана в Институте ядерной физики им.Г.И.Будкера. Магнитометр обеспечивает многоканальные, прецизионные измерения магнитных полей в диапазоне 0,5–40 кГс.

Магнитометр использовался для измерений магнитного поля в восьми механически перестраиваемых постоянных магнитах в диапазоне 2,5–5,1 кГс на лазере на свободных электронах MARK-3 в Университете Дюка. Эти магниты обводят пучок вокруг зеркал лазера. При перестройке энергии электронного пучка требуется прецизионная установка величины магнитного поля в каждом магните. Необходимость прецизионных измерений магнитных полей обуславливается также низкой температурной стабильностью постоянных магнитов (около 0,1% на 1°C).

Трудность измерений магнитного поля в этих магнитах связана со слишком узкими щелями, в которых должны быть размещены датчики. Высота щели ограничивает размер датчика вдоль одной из координат величиной 1,3 мм без жесткого ограничения по другим. Для решения этой проблемы были разработаны специальные трубчатые датчики.

1. Принцип работы

Работа Магнитометра основана на хорошо известном эффекте спинового эха ядерного магнитного резонанса. Частота спинового эха F_{nmr} и магнитное поле B связаны гиромагнитным отношением g [1]

$$B = F_{nmr}/g.$$

Физическая константа g для различных видов ядер точно известна, таким образом, точность измерения величины магнитного поля определяется

точность измерения частоты спинового эха. Ядра в веществе датчика возбуждаются двумя короткими радиочастотными импульсами магнитного поля, перпендикулярного измеряемому и имеющего частоту, близкую к частоте ЯМР, вызывая таким

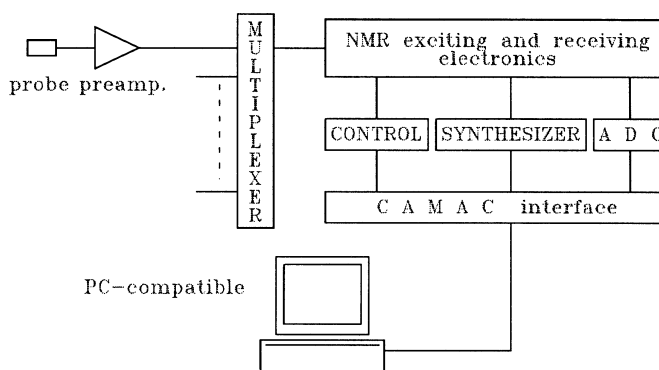


Рис. 1: Схема магнитометра.

образом сигнал спинового эха. Упрощенная схема Магнитометра показана на рис.1. Каждый датчик подключен к ЯМР возбуждающей и принимающей электронике с помощью мультиплексора. Синтезатор частоты используется как для возбуждения, так и для приема сигнала спинового эха. Измерительный цикл организован с помощью блока управления.

На точность измерений магнитного поля влияют некоторые ограничивающие факторы, наиболее существенными из которых являются отношение сигнал-шум и конечная длительность сигнала спинового эха, обусловленная неоднородностью поля в объеме датчика. Для уменьшения их влияния в ЯМР-системе приняты некоторые специальные меры [2]. Малошумящий предусилитель размещен около каждого датчика для уменьшения потерь сигнала спинового эха в радиочастотном кабеле между датчиком и Магнитометром. Усиленный сигнал сдвигается в низкочастотную область путем перемножения его с двумя ортогональными сигналами точно известной опорной частоты, близкой к F_{nmr} . После узкополосной низкочастотной фильтрации выходные сигналы оцифровываются с помощью АЦП и поступают в компьютер для дальнейшей обработки. В компьютере они умножаются на импульс, имеющий форму Гаусса, длительность которого равна длительности сигнала спинового эха для увеличения отношения сигнал-шум. Несущая частота сигнала спинового эха определяется из спектра, полученного с помощью быстрого преобразования Фурье. Измеренные данные могут быть накоплены для дальнейшего увеличения относительной точности измерений магнитного поля.

2. Конструкция

Все модули Магнитометра выполнены в стандарте КАМАК и функционируют под управлением РС-совместимого компьютера. Предусилители ЯМР-сигнала датчиков расположены около каждого датчика. Каждый предусилитель соединен с Магнитометром одним коаксиальным кабелем. Через этот кабель осуществляется передача как сигналов возбуждения и спинового эха, так и питания предусилителей. Длина кабеля может достигать 150 м.

Упрощенная конструкция специальных датчиков представлена на рис.2. Как было замечено ранее, размер датчика вдоль одной из координат жестко ограничен высотой щели между вакуумной камерой и полюсом магнита. В отличие от обычной конструкции ЯМР датчиков рабочее вещество помещено в эластичную пластмассовую трубку. Концы трубки с зажимами на них расположены вне магнита, позволяя, таким образом, просто заполнять датчик. Сигнал спинового эха возбуждается и принимается катушкой, намотанной на трубке. Для вывода сигнала использована витая пара. Датчик покрыт экранирующей оплеткой для устранения внешних помех. Он соединен с предусилителем через соединительную коробку, которая закреплена на внешней стороне магнита. Трубчатый датчик, заполненный водой, имеет внешний диаметр 1,5 мм, но конструкция позволяет сжать его до 1,3 мм. В этом случае размеры чувствительной области составляют $0,6 \cdot 1,4 \cdot 4$ мм.

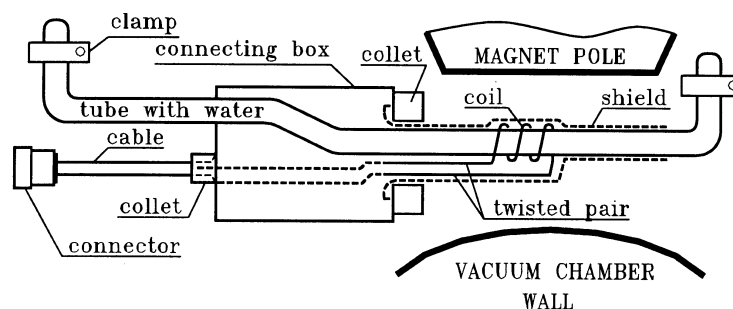


Рис. 2: Конструкция датчика.

3. Результаты

В настоящее время ЯМР датчики установлены на четырех из восьми магнитах MARK-3. Градиент поля в объеме датчика составляет величину 0,1% на сантиметр. Достигнута относительная точность измерений $0,5 \cdot 10^{-6}$ во всем рабочем диапазоне напряженности магнитного поля. Практика использования Магнитометра показала, что он повышает точность и ускоряет настройку лазера на свободных электронах. В будущем датчики ЯМР будут установлены на всех магнитах MARK-3.

Список литературы

- [1] А.Абрагам. Принципы ядерного магнетизма. Москва, 1963.
- [2] Н.И.Зиневич и др. Система измерения магнитных полей методом спинового эха. // Труды Десятого Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1987. Т.1, с. 342.