

С345

К-834

Б1-1607

Кропцн А.А.

"Утверждаю"

Б-1-1607

Доктор физико-математических наук

М. Г. Мещеряков

15 апреля 1952 года

С 345

10-134

К ВОПРОСУ ОБ ИЗМЕРЕНИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Руководитель отдела

А. В. Честной

Исполнители:

ст. инженер

А. А. Кропин

ст. инженер

В. В. Батюня

Секретариат  
Института физики  
Академии наук СССР  
Москва



## А Н Н О Т А Ц И Я.

В отчете приводится описание способа определения радиального спада напряженности магнитного поля по любому азимуту с помощью магнетометра для измерения круговой симметрии магнитного поля пятиметрового синхроциклотрона как в средней плоскости электромагнита, так и на расстоянии  $\pm 40$ мм от нее.

Действие магнетометра основано на явлении изменения магнитной проницаемости магнитодиэлектрического сердечника катушки, помещенной в исследуемое магнитное поле. Чувствительности метода  $5 \cdot 10^{-4}$  в диапазоне полей от 10.000 до 17000 эрстедт.

## В В Е Д Е Н И Е.

Условия ускорения частиц в больших синхроциклотронах требуют создания слабо спадающего по радиусу магнитного поля с круговой симметрией, выдержанной с точностью до  $10^{-3}$  -  $10^{-4}$  от среднего его значения. Эти условия вызывают необходимость в таких приборах для измерения магнитных характеристик, которые бы отвечали высокой степени точности их определения. Для электромагнита пятиметрового синхроциклотрона были разработаны специальные приборы, которые при его шиммировании обеспечили измерение линейного радиального спада напряженности магнитного поля<sup>1/</sup> с точностью  $1-2 \cdot 10^{-3}$  от значения напряженности магнитного поля в центре по одному из азимутов и измерение круговой симметрии магнитного поля в средней плоскости<sup>2/</sup> с точностью  $5 \cdot 10^{-4}$  от среднего значения напряженности магнитного поля на измеряемой круговой орбите.

Однако, указанные выше приборы, из-за конструктивных ~~неудобств~~ ~~неудобств~~ данных не могут быть использованы при решении других задач, в частности, при шиммировании магнитного канала. Прибор, основанный на методе ядерной абсорбции<sup>3/</sup>, в области резкого изменения поля вблизи канала или в области шимм также неприменим. Поэтому при шиммировании поля, искаженного магнитным каналом, необходим прибор для измерения азимутальной симметрии и радиального спада поля, который обеспечил-бы указанную выше точность измерений при минимальном нахождении экспериментатора внутри камеры.

Наиболее удовлетворяющим этим условиям является прибор для измерения круговой симметрии поля.

Принцип действия такого прибора основан на явлении изменения магнитной проницаемости магнетодиэлектрика при изменении напряженности магнитного поля, в котором он находится. Если из магнетодиэлектрика выполнить сердечник катушки контура высокочастотного генератора, то изменение напряженности поля, вызывающее изменение индуктивности катушки контура соответственно изменению проницаемости сердечника, вызовет изменение частоты колебаний генератора. Относительно небольшие изменения частоты колебаний генератора при помощи метода биений между этой частотой ~~колебаний генератора~~ и близкой к ней частотой колебаний стабилизированного кварцем лампового генератора, преобразуются в относительно большие изменения низкой частоты, которые легко регистрируются. Эти изменения частоты и позволяют судить об изменениях напряженности магнитного поля.

Конструкция магнетометра "ММ-1".

Конструктивно магнетометр выполнен аналогично спроектированному и изготовленному Радиотехнической лабораторией АН СССР магнетометру "ММ"<sup>2/</sup>, основные конструкции крепления и перемещения прибора в камере, а также радиотехнические элементы которого использованы для данного магнетометра "ММ-1". Изменения произведены только в отношении металлической штанги, несущей адаптер-измерительную катушку с магнетодиэлектриком.

Для измерения магнитных полей с локальными возмущениями /магнитный канал, шиммирование, регенеративный дефлектор и т.д./

необходимо иметь возможность установки адаптера на любом расстоянии от центра камеры в заданных пределах. Конструктивно это требование разрешено следующим путем. Несущая адаптер штанга изготавливается из двух пар дюралюминиевых труб, входящих одна в другую. Внешняя пара труб является одновременно жесткой несущей конструкцией и экраном для внутренней пары труб, изолированных от внешних труб при помощи плексиглазовых шайб. Фидера испытательной катушки соединяются с генератором с помощью внутренних и наружных труб. Такое сочленение труб несущей штанги позволяет установить адаптер на любом расстоянии от центра камеры в заданных пределах 1700-2500мм. Конструкция крепления адаптера позволяет производить измерения как в средней плоскости зазора, так и на высоте  $\pm 40$ мм. от нее, что дает возможность по результатам измерений судить о вертикальных размерах фокусирующей почок области.

Вращение штанги с адаптером в исследуемом магнитном поле осуществляется с помощью лебедки, укрепленной на внешней стенке камеры.

#### Методика измерений.

Методика измерений азимутальной симметрии поля подробно описана в цитированном отчете<sup>2/</sup> и заключается после сборки магнетометра и соединения его с блоком радиочастотного измерителя в измерении ~~изменения~~<sup>частоты</sup> биений (по шкале стрелочного частотомера) при вращении по кругу штанги с адаптером. Частота биений ~~измеряется с помощью частотомера~~ устанавливается в диапазоне 500-5000 герц в зависимости от ожидаемых отклонений напряженности

магнитного поля от среднего значения так, чтобы при измерениях не получался переход через нулевые биения. Определение углового положения адаптера производится путем отсчета делений на лимбе токос"емника при помощи малой зрительной трубы; расстояние от центра до адаптера определяется по шкале, нанесенной на внешней трубе штанги.

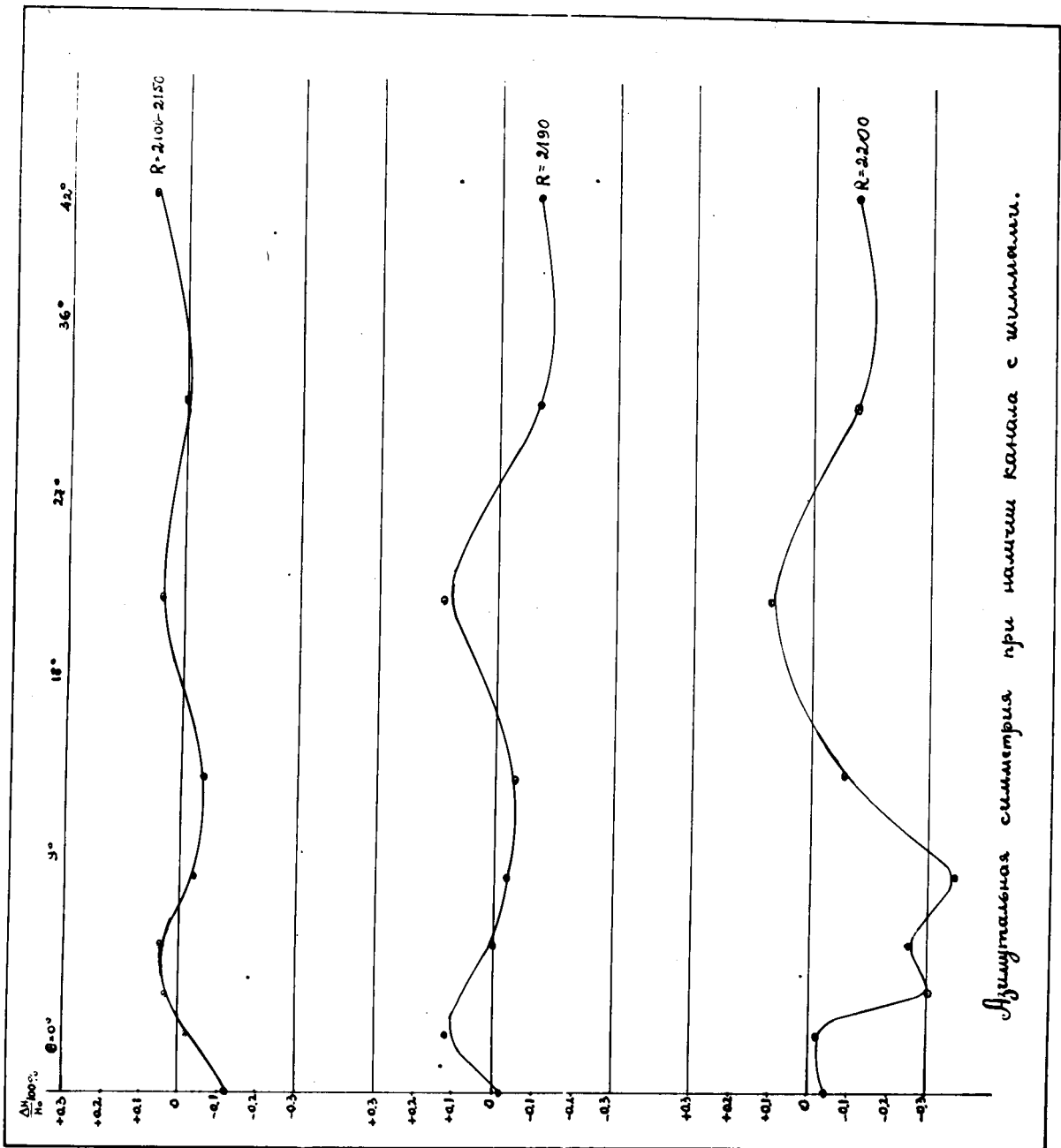
Индуктивность измерительной катушки была порядка 400 мн. Чувствительность прибора, определенная по величине изменения частоты биений в зависимости от изменения величины напряженности магнитного поля на заданную величину, равнялась  $7 \text{ Hz/эрстедт}$ . Зная чувствительность прибора, можно по показаниям частотомера, определить азимутальную симметрию поля на любом расстоянии от центра магнита. Но одного знания величины азимутальной симметрии недостаточно для определения изменения напряженности магнитного поля от центра к периферии, хотя достаточно, чтобы знать величину отклонений для любого направления от закона радиального изменения напряженности магнитного поля по какому либо направлению. Если нам известен этот закон изменения напряженности магнитного поля по радиусу для данного направления, то, следовательно, известен и для любого другого направления. Таким образом, достаточно измерить характер изменения поля от центра к периферии для одного направления, чтобы по данным азимутальной симметрии знать этот характер для любого направления.

С помощью прибора "ММ-1" производились измерения при корректировке поля, искаженного железными полосами магнитного канала. Удобство и простота обращения с прибором обеспечили быстрое проведение измерений при шиммировании канала.

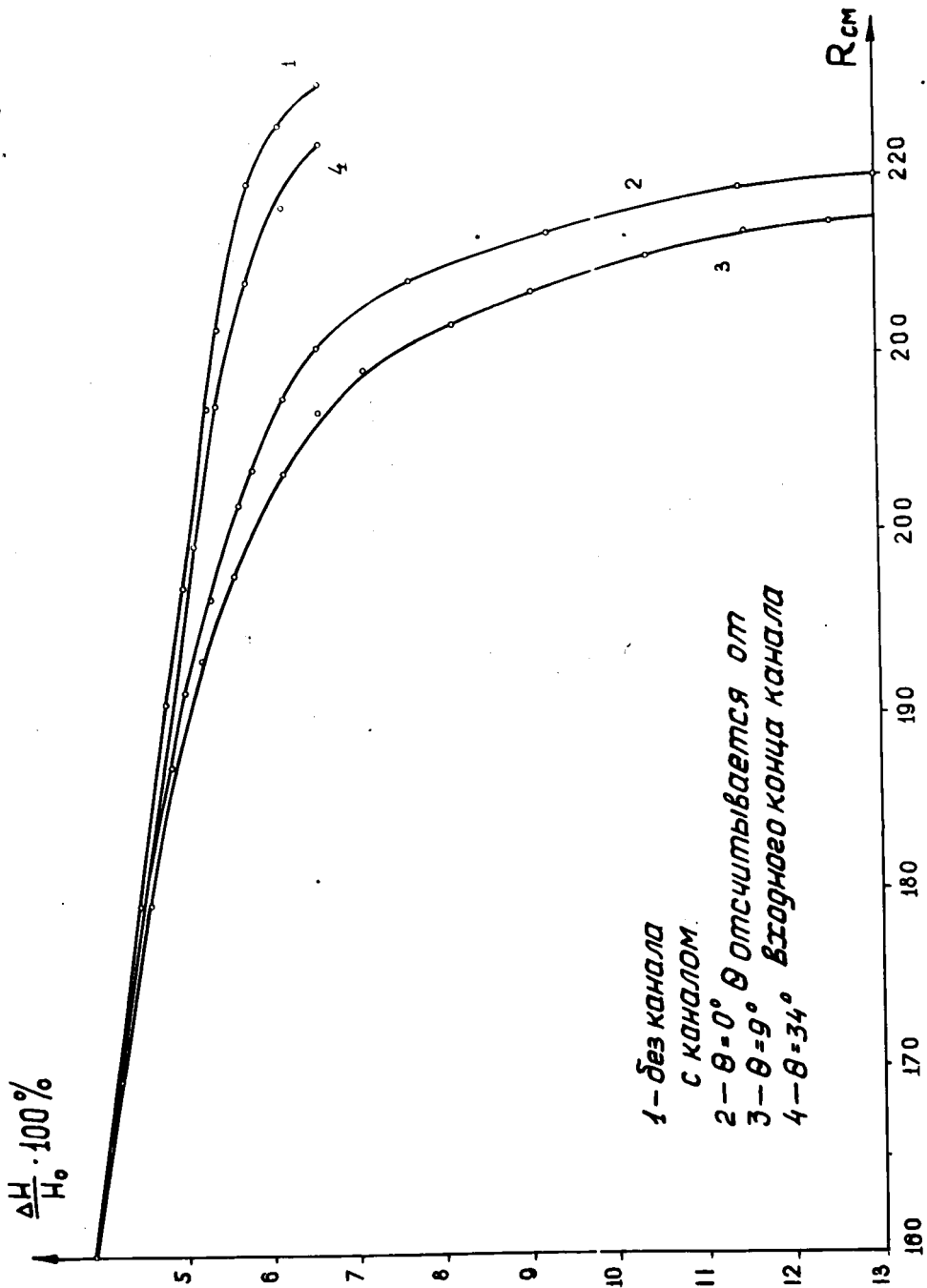
На рис.1 представлены графики азимутальной симметрии на разных радиусах при наличии канала и корректирующих шимм.

На рис.2 - представлен радиальный спад поля полученный из данных по измерениям азимутальной симметрии.



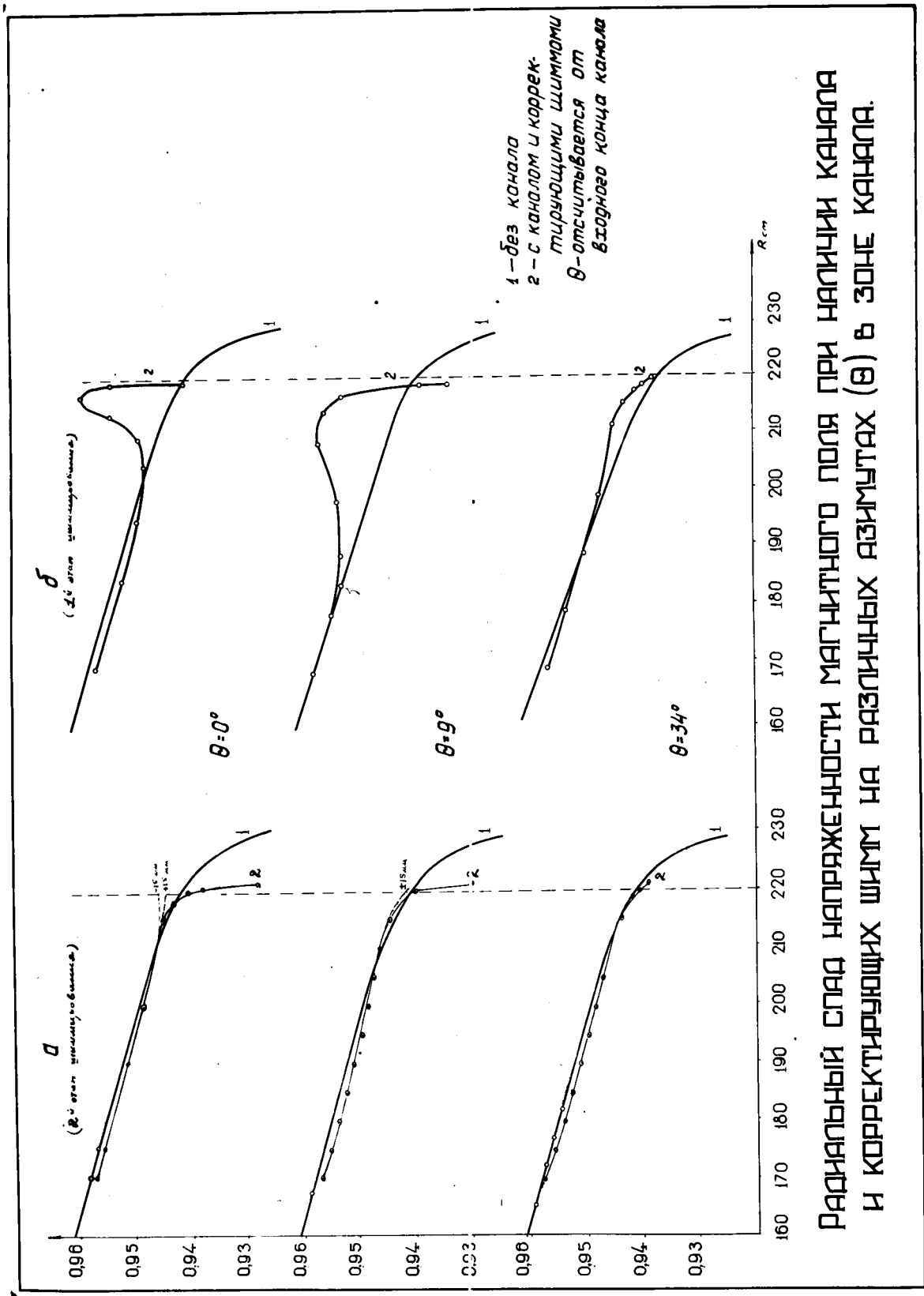


Азимутальная симметрия при наличии канала с синусоидой.



РАДИАЛЬНЫЙ СПАД НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
 НА РАЗЛИЧНЫХ АЗИМУТАХ ( $\theta$ ) В ЗОНЕ КАНАЛА.





1 — без канала  
 2 — с каналом и коррек-  
 тирующими шиммами  
 $\theta$  — отсчитывается от  
 ближнего конца канала

РАДИАЛЬНЫЙ СПАД НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ НАЛИЧИИ КАНАЛА И КОРРЕКТИРУЮЩИХ ШИММ НА РАЗЛИЧНЫХ АЗИМУТАХ ( $\theta$ ) В ЗОНЕ КАНАЛА