

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ ՆԱՍԿՈՅ ՏՈՅԵՑԻՄԵ

ЕФИ—128(75)

Т.Л.АСАТИАНИ, С.В.АЛЧУДЖЯН, Г.В.БАДАЛЯН,  
К.А.ГАЗАРЯН, Э.В.ГРИГОРЯН, Л.И.КОЗЛИНЕР,  
В.М.КРИЩЯН, Г.И.МЕЛИКОВ, Э.А.МНАЦАКАНЯН,  
В.С.САРКИСЯН, С.В.ТЕР-АНТОНЯН

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТА

АРАГАЦСКОГО СПЕКТРОМЕТРА



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ-128(75)

Т.Л.АСАТИАНИ, С.В.АЛЧУДЖЯН, Г.В.БАДАЛЯН,  
К.А.ГАЗАРЯН, Э.В.ГРИГОРЯН, Л.И.КОЗЛИНЕР,  
В.М.КРИШЯН, Г.И.МЕЛИКОВ, Э.А.МНАЦАКАНЯН,  
В.С.САРКИСЯН, С.В.ТЕР-АНТОНЯН

ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТА  
АРАГАЦСКОГО СПЕКТРОМЕТРА

Ереван 1975

Ереванский Физический  
ИНСТИТУТ  
Зал препринтов

• Для измерения импульсного спектра высокоэнергичных космических мюонов одним из самых точных - а при измерении их зарядового отношения - единственным, является метод магнитного спектрометра.

Современные спектрометры должны обладать большим максимально измеримым импульсом -  $P_m \sim (2 \div 6) \text{ ТэВ/с}$  и большой светосилой ( $S\Omega > 100 \text{ см}^2 \text{ стерад.}$ ) [1 - 4]. Учитывая ограниченную точность измерения траектории частиц и спользуящиеся в настоящее время детекторы (угловая точность  $\sim (1 \div 5) 10^{-4}$  рад.) основной вклад в достижение максимальных значений  $P_m$  и  $S\Omega$  вносится магнитом. Действительно,  $P_m \sim BL$ , где  $B$  - индукция магнитного поля,  $L$  - длина магнита, а  $S\Omega \sim S^2 L_0$ , где  $S$  - пропорционально поперечному сечению магнитного объема,  $L_0$  - длина спектрометра  $\sim L$ .

Создание больших однородных магнитных полей в большом объеме существенно облегчается, если магнитный объем заполнить ферромагнитным материалом - железом и довести его до насыщения. Спектрометры с железными магнитами описаны, например, в работах [2-4].

Ввиду того, что длина таких магнитов  $L > 1$  м, очевидно, что практически все ядерно-активные частицы и электроны будут поглощаться в нем, а через магнит пройдут и будут регистрироваться только высокоэнергичные  $\mu$  - мезоны.

Пренебрегая ионизационными потерями мюонов в железе (которые в области энергий десятков и сотен

Гэв составляют всего единицы Гэв), основным недостатком железного спектрометра является многократное кулоновское рассеяние частиц, ограничивающее точность измерения импульса.

Действительно, среднеквадратичный угол многократного рассеяния пропорционален  $L^{1/2}$ , а отношение этого угла к углу магнитного отклонения в железе пропорционально  $L^{-1/2}$  и не зависит от импульса частицы. Отсюда, при увеличении  $L$  уменьшается вклад многократного рассеяния в точность измерения импульса и, следовательно, растет максимально измеримый импульс  $P_m$ .

Однако, увеличение  $L$  приводит к уменьшению светосилы  $S\Omega$ , поэтому оптимальная длина магнита подбирается в каждом конкретном случае исходя из условий и требований эксперимента.

В настоящей работе приводятся описание и характеристики электромагнита с ферромагнитным заполнением, являющегося основой магнитного спектрометра для исследования горизонтального потока космических мюонов на высокогорной станции Арагац (высота 3250 м над уровнем моря) Ереванского физического института [1].

#### Описание магнита

Настоящий магнит (по предложению Бадаляна Г.В.) был создан на базе существующего стандартного электромагнита СП-29 (вес 75 т), с вертикально расположенным воздушным зазором и двумя катушками возбуждения с естественным охлаждением.

Каждая катушка состоит из 8 галетных секций, по 91 витку в каждой, из медной ленты  $5,1 \times 45 \text{ мм}^2$  с изоляцией класса "А". Сопротивление обмотки возбуждения  $R = 0,51 \text{ ом}$  при  $t = 15^\circ\text{C}$ .

Магнит был преобразован из С-образного в замкнутый Ш-образный, добавлением среднего магнитопровода, соб-

ранного из листовой стали СТ-10.

Кроме того, так как длина магнитного объема была увеличена до 2110 мм, были созданы дополнительные магнитопроводы, обеспечивающие лучшую однородность поля. Полный вес дополнительных магнитопроводов 38 т.

Пропуская ток через катушки в противоположных направлениях получаем удвоенный вертикальный магнитный поток через средний магнитопровод, в середине которого выбирается рабочий объем сечением  $800 \times 800 \text{ мм}^2$ .

Повышение уровня магнитного поля в железе до насыщения ( $21 \div 22 \text{ кгс}$ ) было достигнуто увеличением тока возбуждения в катушках до  $(200 \div 230) \text{ а}$ , что потребовало создания принудительного воздушного охлаждения с использованием нагнетательного и отсасывающего вентиляторов.

Была создана новая система питания магнита, принципиальная схема которой приведена на рис.2. В качестве источника возбуждения магнита использован генератор постоянного тока мощностью 30 квт, приводимый во вращение асинхронным двигателем. Максимальное значение постоянного тока 300а.

Для стабилизации устанавливаемого значения тока питания магнита использована схема со стандартным стабилизатором типа БТ-4. Степень стабилизации тока не хуже 0,15%.

Наконец отметим, что для того, чтобы поле зрения спектрометра было свободно от окружающих горных массивов, магнит до модификации был повернут на угол  $\sim 90^\circ$ . При этом оказалось, что ось  $OZ$  направлена под углом  $\sim 70^\circ$  с обратной стороны на пути частиц к спектрометру находится  $\sim 2 \cdot 10^5 \text{ г/см}^2$  грунта.

#### Магнитные измерения

Для выбора оптимального значения тока возбуждения, определения распределения поля в рабочем объеме и поля рассеяния были проведены магнитные измерения.

После апробации ряда методов был выбран индукционный метод [5]. В исследуемое поле вводится измерительная рамка, при изменении потока, пронизывающего эту рамку, в ней наводится э.д.с., величина которой измеряется фотокомпенсационным микроверметром Ф-18.

В железе, заполняющим рабочий магнитный объем (80 x 80 x 211 см<sup>3</sup>), в специально проделанные пазы были введены 42 измерительные рамки из изолированной проволоки, таким образом, чтобы иметь возможность измерять распределение вертикальной составляющей магнитного поля в железе как в вертикальном (ось OY), так и в продольном (ось OX) направлениях (см. рис. 1).

Исходя из требования, чтобы железо было в насыщении и чтобы ток был не слишком велик, так как появляются трудности с охлаждением катушек возбуждения, и возникают большие рассеянные поля, - был выбран рабочий ток магнита.

Для этого снималась основная кривая намагничивания магнита, которая является геометрическим местом вершин симметрично установившихся петель гистерезиса при различных значениях тока возбуждения. Здесь необходимо отметить, что петля гистерезиса становится установившейся лишь после многократного (5-10 раз) изменения тока возбуждения от +1 до -1 и обратно. Кроме того, чтобы результаты не были искажены остаточным полем, измерения проводились на полностью размагниченном железе и с низших значений токов возбуждения в сторону их возрастания.

Перед измерением микроверметр был прокомпарирован по известному измерению магнитного потока.

Основные измерения проводились следующим образом: изменялось значение тока возбуждения от +1 до -1, это приводит к изменению потока от +Ф до -Ф, который определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{C \cdot d}{2}$$

здесь С - номинальная цена деления прибора, зави-

сящая от используемого делителя, включенного в рамку, и результатов компарирования; d - показание прибора.

Для определения магнитной индукции В, необходимо разделить измеренный поток на площадь измерительной рамки.

Полученная таким образом основная кривая намагничивания приведена на рис. 3. Из кривой видно, что насыщение сердечника достигается уже при 210а и далее поле существенно не изменяется. Отсюда устанавливаем рабочий ток питания обмоток магнита равным 215а, при этом средняя индукция В = 21,2 кГс.

На рис. 4 приведена петля гистерезиса, снятая при токе 210а, её вид типичен для магнитомягких материалов, каким является сталь 10. Видно, что остаточная намагниченность железа ~ 4000Гс.

Из рис. 4 также видно, что железо находится в насыщенном состоянии, при токе равном 210а от точек А и В кривые идут параллельно оси абсцисс при дальнейшем увеличении тока (пунктирные линии).

На рис. 5 приведены распределения поля в рабочем объеме по OX, при токе 215а на фиксированных вертикальных уровнях: у=720мм - уровень "А", у=560мм - уровень "В", у=400мм - "С", у=240мм - "Д". Приведенные цифры (1-9) - номера измерительных рамок; на каждом уровне использовалось 9 рамок, охватывающих разные участки магнитного объема. Длина всех рамок равна длине магнита - 211 см, а их размеры видны из рисунка. Результат, полученный с каждой рамки, является эффективно действующим на частицу полем при прохождении её через область, охватываемую рамкой.

На рис. 6 приведены распределения вертикальной составляющей поля по оси OZ, полученные при помощи 6 рамок при токе 215 и 230а их размеры этих рамок - 323мм, уровень по вертикали 200мм.

Среднее значение поля при токе 215а, полученное при помощи больших рамок на 4-х уровнях равно 21200 ± 70Гс.

Как видно из рис.5 и 6, по оси ОХ поле несколько спадает на краях и середине (рамки 3,9), максимальное отклонение от среднего значения не превышает 6%; по оси ОУ поле также уменьшается на краях (рамки 6,2) и увеличивается в центре (рамки 4,5), эти изменения не превышают 4%.

По-видимому, некоторая часть наблюдаемых отклонений имеет место из-за неточного определения площадей измерительных рамок. Причина этого заключается в том, что  $x$  и  $y$  размеры рамок трудно измеримы из-за разбросов в размерах заполняющих пластин и их кривизны, последняя приводит к появлению щелей между пластинами.

Действительно, средневзвешенное значение поля, измеренное с помощью рамок 2,3,4 отличается от значения, полученного рамкой 1, охватывающей их, на 1%.

Таким образом, реальные неоднородности магнитного поля ниже, чем приведенные выше данные (4% и 6%).

Измерение рассеянного поля проводилось измерителем магнитной индукции Е-11-3, в котором используется датчик Холла. На расстоянии 20 см от торцов магнита рассеянное поле  $\sim 500$  эрстед при токе 215а и  $\sim 530$  эрстед при 230а. В местах установки ближних к магниту сцинтилляционных счетчиков спектрометра, рассеянное поле  $\sim (25 \div 30)$  эрстед при токе 230а. Для нормальной работы фотоэлектронных умножителей, используемых в сцинтилляционных счетчиках, такое рассеянное поле вполне можно подавить магнитными экранами.

Сравнение полученных результатов с характеристиками полей в спектрометрах, описанных в [2-4], показывает, что уровень поля и степень неоднородности нашего магнита не хуже, чем в цитируемых работах.

Описанный магнит обеспечивает максимальную светосилу спектрометра  $\sim 400 \text{ см}^2 \cdot \text{стер}$  (при приеме частиц с одной стороны) и обладает достаточно высокой отклоняющей силой  $B_L = 44,7 \text{ кгс} \cdot \text{м}$ , которая, например, при угловой точности  $\sim 3 \cdot 10^{-4}$  рад позволяет получить  $\sim 4,5 \text{ Тэв/с}$ .

Таким образом, описанный магнит обладает хорошими экспериментальными возможностями и, учитывая, что он расположен на высоте 3250 м в отличие от всех существующих, которые установлены на уровне моря, он может служить полезным прибором при исследовании характеристик высокоэнергичного потока горизонтально идущих мюонов.<sup>1</sup>

В заключение авторы выражают благодарность А.И. Алиханяну, А.Ц.Аматуни, С.Г.Матиняну, В.Е.Кошману, А.Г.Сальману, Э.А.Мамиджаняну, В.В.Авакяну за постоянный интерес к работе и оказанную поддержку; В.И.Афиногенову, С.С.Арояну, Х.Е.Петросяну, К.А.Садояну, А.А.Хачикяну за помощь при сборке магнита, сборке и наладке системы электропитания, системы охлаждения и катушек и системы стабилизации тока, а также Ц.А.Вагаршакяну и А.К.Куюмджяну за помощь при магнитных измерениях.

Подписи к рисункам

Рис.1 Общий вид модифицированного электромагнита

Рис.2 Упрощенная схема электрической системы

Рис.3 Основная кривая намагничивания в рабочем объеме

● - рамка 1 х размер 795мм; ▲ - рамка 2 и  
■ - рамка 4 х размеры равны 323мм

Длина рамок 1,2,3 равна длине магнита - 2110мм

Рис.4 Характерная петля гистерезиса при токе 210а

Рис.5 Распределения поля в рабочем объеме по оси OX на разных уровнях по оси OY, полученные при токе магнита 215а. (показания, полученные с соседних рамок соединены линиями для удобства рассмотрения).

Рис.6 Распределение поля в рабочем объеме по оси OZ (ток 215а и 230а).

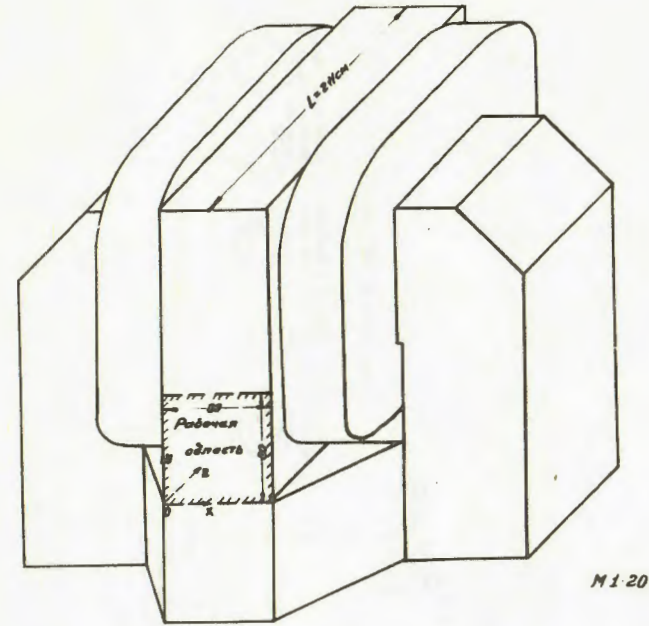


Рис.1



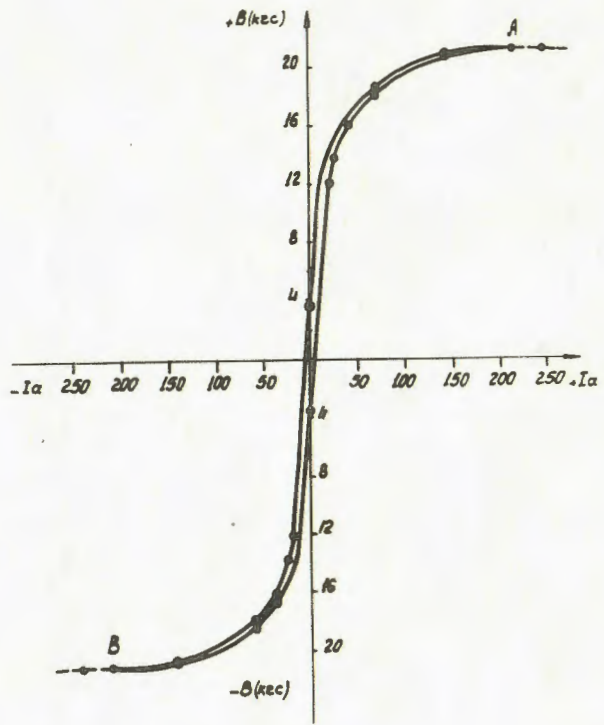


Рис. 4

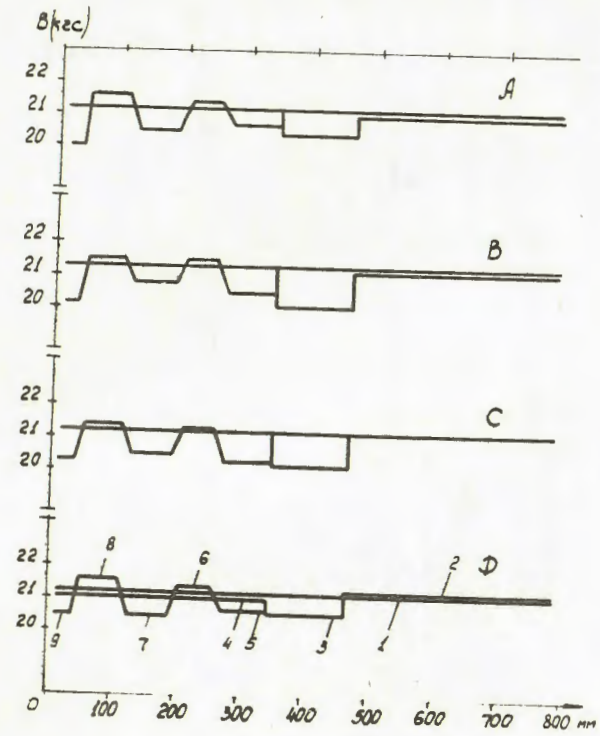


Рис. 5

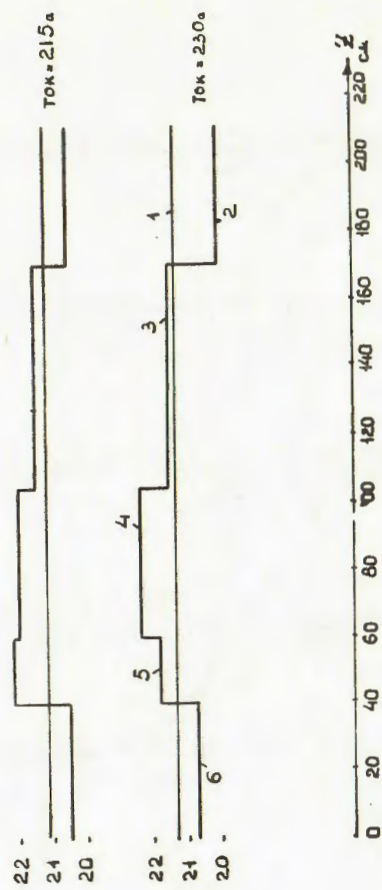


Рис.6

ЛИТЕРАТУРА

1. S.V.Alchudjian et al.Canad.J.of Phis.vol.46,1169, (1967).
2. F.Ashton et al.Proc.Phys.Soc.81,596 (1963).
3. O.C.Allkofer et al.Nucl.Instr.and Met. 83,317 (1970).
4. L.La May et al.Nucl.Instr.and Met. 99, 547 (1972).
5. В.О.Арутюнов "Электрические измерительные приборы и измерения" ГЭИ Москва (1958)

Рукопись поступила 20-го мая 1975г.

Ереванский Физический  
ИНСТИТУТ  
Зал препринтов

Редактор Л.П.Мукаян  
Тех. редактор А.С.Абрамян

Заказ 284

Вф-03387

Тираж 299

Подписано к печати 4/УШ-75г. Формат издания 30 x 40

1,0 уч. изд.л. Ц. 7 к.

Отпечатано на ротапринтере  
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Мар-  
каряна 2