

СЗ44.1g

6/IX-71

Г-521

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

3094/2-71

13 - 5930



В.В. Глаголев, В.Н. Емельяненко, Р.М. Лебедев,
И.С. Саитов

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ
100-САНТИМЕТРОВОЙ ВОДОРОДНОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ОИЯИ

1971

13 - 5930

В.В. Глаголев, В.Н. Емельяненко, Р.М. Лебедев,
И.С. Саитов

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ
100-САНТИМЕТРОВОЙ ВОДОРОДНОЙ
ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРЫ ОИЯИ

Общественный институт
точных исследований
Библиотека

1. Магнит

В качестве источника магнитного поля для 100-см водородной пузырьковой камеры^{/1/} был выбран магнит МС-12^{/2/}.

На рис. 1 показана схема расположения камеры в магните МС-12.

Основные характеристики МС-12:

Вес магнита	150 тонн.
Потребляемая мощность	3 мегаватта при токе 15000 ампер.
Индуктивность	0,06 генри.
Сопrotивление обмотки	0,103 ома.
Охлаждение	водяное.
Стабильность по току	не хуже 0,05% ^{/3/} .
Градиент магнитного поля в направлении оси Z	50 эрстед /см.
Магнитное поле при токе 15000 ампер в средней плоскости	порядка 18000 эрстед.

Линейные шариковые направляющие позволяют перемещать магнит по прямой линии.

Шариковый подшипник ГПЗ-500, установленный нами в дополнение к проекту, позволяет поворачивать магнит около его вертикальной оси.

Кожухи обмоток и токоподводов магнита оборудованы системой продува чистым воздухом.

2. Характеристики магнитного поля

Магнитное поле (его компонента H_z) измерялось с помощью датчика Холла, закрепленного на специальном координатном устройстве, позволявшем сохранять неизменной ориентацию кристалла и в то же время перемещать его в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Датчик Холла градуировался по ядерному магнитометру^{/3/}. Питание датчика осуществлялось от специального стабилизированного по току источника^{/4/}. Температурная стабилизация проводилась с помощью водяного термостата с точностью $0,2^\circ\text{C}$.

Показания ЭДС Холла снимались с цифрового вольтметра с точностью 10^{-5} вольта. На рис. 2 показано расположение системы отсчета, а на рис. 3а, б и 4 представлены результаты измерений магнитного поля. Магнитное поле в средней плоскости камеры, усредненное по всему поперечному сечению магнитного потока в рабочей области, составляет 18580 ± 9 эрстед. Градиент H_z по направлению Z равен 47 эрстед/см. Максимальное отклонение от H_z $\begin{matrix} +650 \\ -750 \end{matrix}$ эрстед.

Детали 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры изготовлены из нержавеющей стали^{/5/}, известных своими антимагнитными свойствами. При проверке отливок деталей камеры оказалось, что содержание в них ферритной фазы ниже 4%. С целью проверки возможного влияния этой фазы на поле были проведены измерения магнитного поля в 12 контрольных точках при наличии в объеме поля деталей камеры. В пределах ошибок измерений систематических отклонений от ранее полученных значений не наблюдалось.

Для оценки параметров магнитной защиты электродвигателей стереофотокамер^{/6/} было измерено рассеянное поле в зоне расположения двигателей; оно оказалось менее 600 эрстед, что и было учтено при изготовлении магнитных экранов.

Для того, чтобы отъюстировать пузырьковую камеру вместе с магнитом по пучку, было измерено рассеянное магнитное поле в области ввода пучка в камеру. Оказалось, что закон спадания напряженности магнитного поля по трассе пучка между плоскостями катушек магнита близок к линейному.

3. Юстировка магнита по пучку

На рис. 5а показано изменение H_z вдоль первичного направления пучка, учитывающееся нами в приближенных расчётах параметров траектории частицы с импульсом 5 Гэв/с в камере. На участке ОС поле меняется линейно от 0 до 18500 эрстед по закону $H_z = A \cdot X$, где $A = 18500/61$; на участке $X > -80$ см, $H_z = \text{константа} = 18500$, оно равно среднему значению поля в плоскости пучка по всей длине полюса магнита.

На рис. 5б показана расчётная траектория пучковой частицы и положение камеры, выставленной вдоль траектории согласно расчётным данным. Юстировка по пучку магнита с камерой в сборе проводилась в виде двух операций: поворота на 7° относительно оси Z и перемещения в направлении оси Y на 7 см. На рис. 6 показана фотография прохождения пучка через камеру.

4. Проверка правильности абсолютной калибровки магнитного поля по измерению массы K^0 -мезона

Определяя массу нейтральной частицы по результатам измерений следов частиц ее распада в камере, можно получить оценку систематической ошибки среднего значения магнитного поля.

На рис. 7а и 7б показана зависимость массы K^0 -мезона и Λ^0 -гиперона от систематического сдвига в значении магнитного поля. Видно, что в случае легкой нейтральной частицы чувствительность метода существенно выше, чем в случае тяжелой.

Среди событий, зарегистрированных в 100-сантиметровой водородной камере, прошедших обработку по программам *THRESH* и *GRIND*, было отобрано 510 вилков, удовлетворявших каонной гипотезе с $P(\chi)^2 > 0,05$, для которых отсутствовала сопровождающая Λ^0 -гипотеза. Значение массы K^0 -мезона, вычисленное с нефитированными параметрами для частиц распада, получилось равным:

$$\bar{M}_{K^0} = 0,4973 \pm 0,0004 \text{ Мэв.}$$

Пусть разность измеренного и табличного^{17/} значений полностью обусловлена систематической ошибкой в магнитном поле:

$$\Delta M = M_{\text{табл.}} \bar{M}_{K0} = 0,00043 \text{ Мэв.}$$

Тогда из рис. 7а следует, что

$$\Delta H = \Delta M \operatorname{tg} \alpha = 30 \text{ эрстед,}$$

что составляет примерно 0,2% от среднего значения магнитного поля в камере.

5. Эффекты аварийного отключения магнита МС-12

Для магнитов, применяемых для водородных пузырьковых камер, весьма существенным требованием является плавность нарастания и убывания магнитного поля при включении и отключении (в том числе и аварийном) магнита. В магните МС-12 плавность в нормальном рабочем режиме обеспечивается системой питания^{8/}. В случае аварийного отключения необходимо иметь оценки тепловых и динамических нагрузок, которые могут возникнуть в камере.

Для оценочных расчётов рассмотрим фланец и корпус камеры как три детали, рис. 8. Первые две детали будем рассматривать как массивные короткозамкнутые витки в меняющемся магнитном поле, а дно камеры как массивную пластину также в меняющемся магнитном поле.

При изменении магнитного потока, вызванном, например, отключением магнита, фланец и корпус будут нагреваться индукционным током, а дно камеры — токами Фуко^{х/}.

Применяя законы электромагнитной индукции Фарадея и закон Ленца и Джоуля и полагая, что магнитное поле спадает приближенно аналогично спадианию электрического тока в обмотках магнита — релаксации тока — $i = i_0 e^{-t/\tau}$, где $\tau = \text{индуктивность/сопротивление}$, мы получили, используя обозначения рис. 8, следующие формулы для оценки количества тепла, выделяемого в деталях камеры при аварийном отключении магнита:

^{х/} Оценки показывают, что для фланца и периферии корпуса главный вклад в нагревание дают индукционные токи, а не токи Фуко, нагревающие эти детали. Это следует из зависимости $Q \sim R^4$ (см. форм 2).

$$Q_{(1+2)} = \frac{0,24 K^2 H_{z0}^2 S^2}{2r} \left(\frac{1}{r_{\phi}} + \frac{1}{r_{\text{кор.}}} \right) \quad (1)$$

$$Q_3 = \frac{L 0,24 K^2 H_{z0}^2 h R_1^4 \pi}{16 r^2 \rho} \quad (2)$$

Рассматривая силу, действующую со стороны магнитного поля на элемент корпуса камеры с индукционным током в момент аварийного отключения магнита, мы получили оценку эффекта, имитирующего увеличение давления в камере. Результаты этих расчётов приведены в таблице.

Из приведенных оценок следует, что аварийное затухание тока в магните МС-12 с собственным временем релаксации не может привести к серьезным аварийным условиям в камере. Опыт эксплуатации камеры показал, что наибольшие неприятности с точки зрения механических деформаций связаны с тонкими медными экранами, и собственного времени релаксации магнита недостаточно для того, чтобы экраны оставались недеформированными после аварийного отключения магнита.

Нам приятно поблагодарить Д.П. Василевскую и Ю.Н. Денисова, оказавших нам помощь в проведении точных измерений поля.

Литература

1. A.V. Belonogov, A.A. Belushkina, R. Vinaver, V.N. Vinogradov, V.V. Glagolev, E.I. Dyachkov, A.G. Zeldovich, N.K. Zeldovich, E.V. Kosubsky, R.M. Lebedev, M. Maly, N.N. Melnikova, A.M. Moiseev, I.S. Saitov, Ju.A. Turbin, E.P. Ustenko, I.V. Chuvilo and Ju.A. Shishov. Nuclear Instruments and Methods, 20 114 (1963).
2. Электрофизическая аппаратура промышленного изготовления (справочник). Госатомиздат, 1963, стр. 64.
3. Б.Д. Омельченко. ПТЭ, №5, 142, 1970. Препринт ОИЯИ, 13-5025, Дубна, 1970.

4. Ю.Н. Денисов, Д.П. Василевская, Н.И. Дьяков. ПТЭ, №5, 203-206, 1966; ПТЭ, №5, 89, 1966.
5. Материалы в машиностроении, том 3, специальные сплавы и стали. Издательство "Машиностроение", Москва, 1968.
6. В.В. Глаголев, А.А. Гулюгин, Э.В. Козубский, Р.М. Лебедев и др. ОИЯИ, 13-3633, Дубна, 1967; ПТЭ, №3, 225, 1968.
7. A.H. Rosenfeld, N. Barash-Schmidt, A. Barbara-Galtieri, L.R. Prill, P. Söding, C.G. Wohl, M. Ruos, W.J. Willis. UCRL 80-30-Pt. 1 (Rev), January, 1968.
8. Б.Д. Омельченко. ПТЭ, №5, 146, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 июля 1971 года.

Таблица

Параметры, применявшиеся для расчетов по формулам 4+6	Количество тепла $Q_1 + Q_2$, МАЛ.КАЛ.	Количество тепла Q_3 , МАЛ.КАЛ.	Возможное увеличение давл. в 2 кам., КГ/СМ
$\rho = 50 \times 10^{-6}$ ом/см ² см			
$Z_1 = 0,103$ ом			
$L = 0,06$ генри	< 400	< 500	< 0,2
$R_1 = 32$ см, $N_{Zc} = 18500$ эрст.			
$Z = 56$ см, $S' = 5570$ см ²			
$l = 306$ см			
$d = 8$ см			
$h_1 = 10$ см			
$h_2 = 50$ см			
$h_3 = 6$ см			

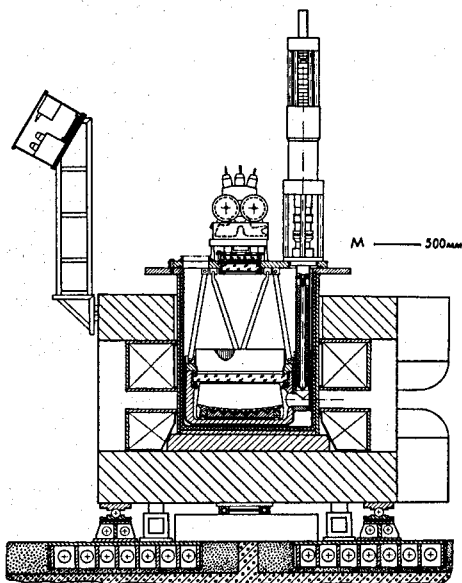


Рис. 1. Схема расположения 100-сантиметровой водородной пузырьковой камеры в магните МС-12.

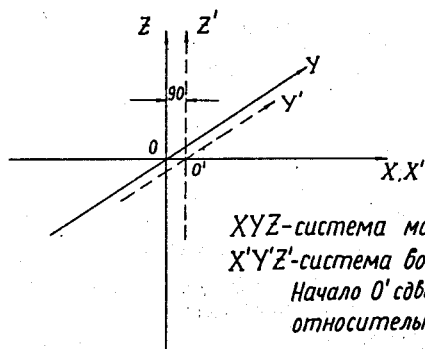


Рис. 2. Система отсчёта при измерениях магнитного поля. XYZ - система магнита МС-12, $X'Y'Z'$ - система водородной камеры. Начало координат камеры (O') сдвинуто относительно начала координат магнита O на +90 мм по оси X .

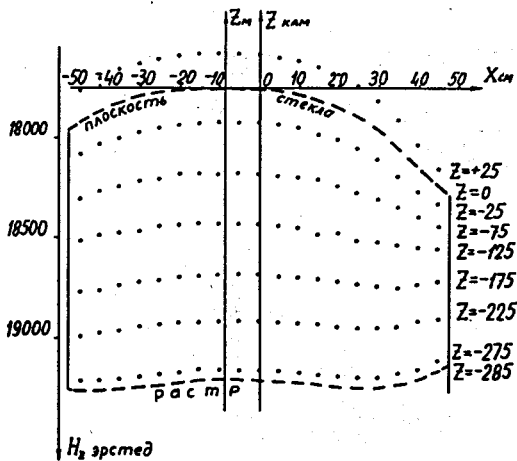


Рис. 3а. Измеренные значения H_z в плоскости ZX .

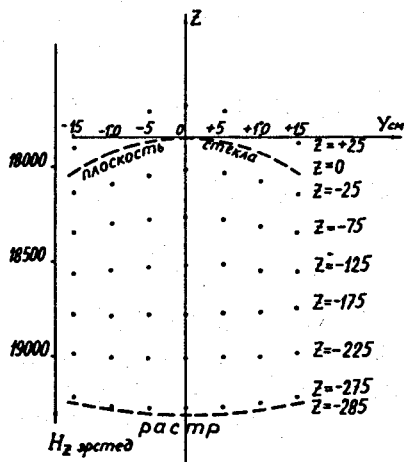


Рис. 3б. Измеренные значения H_z в плоскости ZY . Пунктирными линиями очерчены границы рабочего объема камеры. В случае а) асимметрия поля возникает из-за сдвига начала координат магнита и камеры на 90 мм.

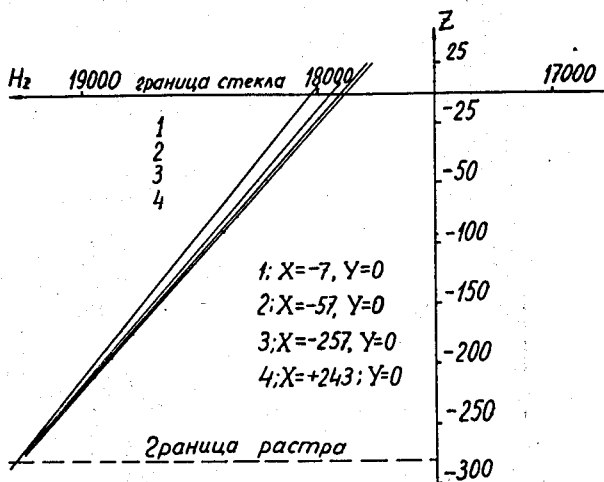


Рис. 4. Изменение H_z по глубине рабочего объема камеры. Прямые линии, проведенные от руки в соответствии с данными измерений, иллюстрируют градиент поля в различных частях камеры.

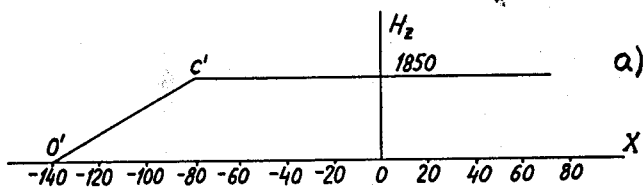


Рис. 5а. Конфигурация поля для приближенных расчетов траектории частицы в камере.

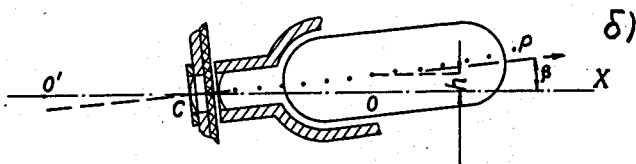


Рис. 5б. Расположение камеры, повернутой относительно первоначального направления пучка $O'X$.

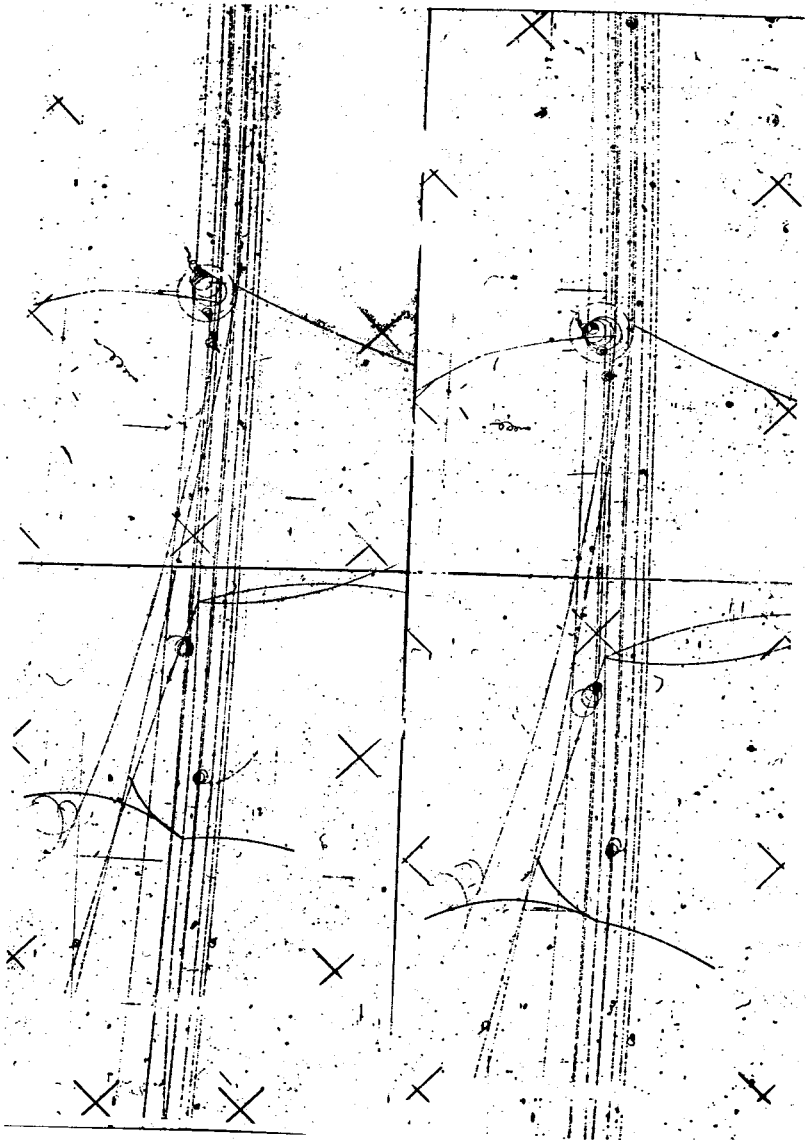


Рис. 6. Пучок π^- -мезонов 5 Гэв/с в отъюстированной камере.

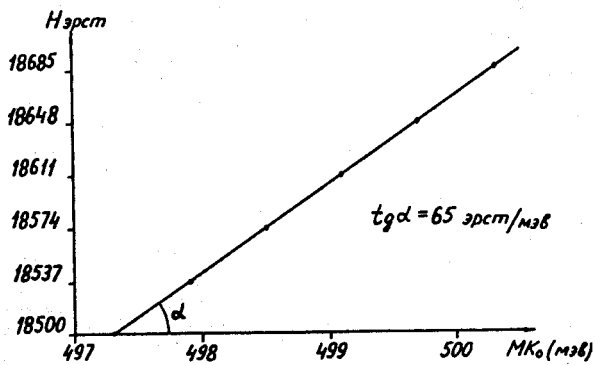


Рис. 7а. Зависимость значения массы K_0 -мезона от систематического сдвига в величине магнитного поля.

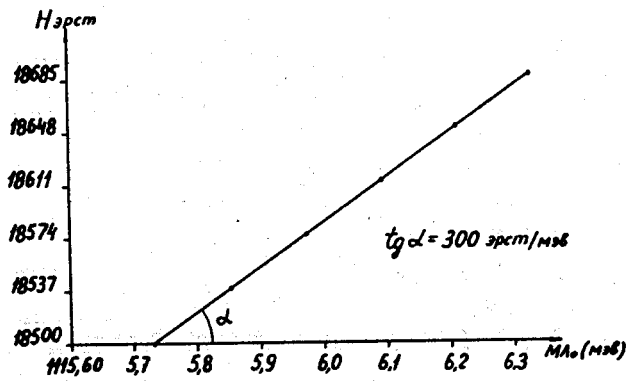


Рис. 7б. Зависимость значения массы Λ^0 -гиперона от систематического сдвига в величине магнитного поля.

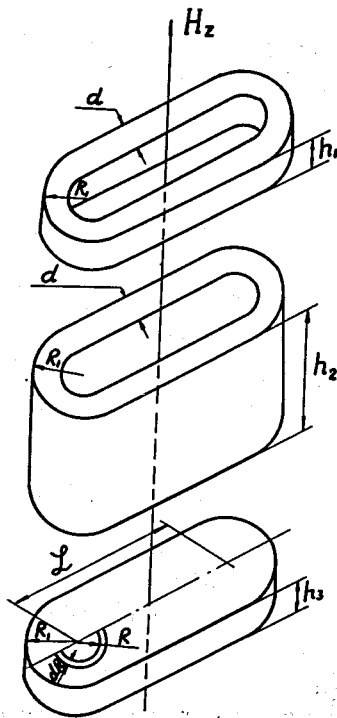


Рис. 8. Представление фланца и корпуса камеры в виде трех деталей для приближенных оценок количества тепла, выделяемого в этих деталях индукционными токами и токами Фуко.