

В. 75

22



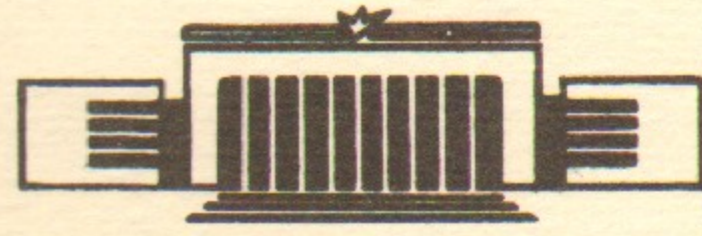
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

А.И.Воробьев, Г.М.Колачев

ЭКРАНИРОВАНИЕ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ ОТ
МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ДЕТЕКТОРЕ МД-1

ПРЕПРИНТ 84-39

БИБЛИОТКА
Института ядерной
физики СО АН СССР
ИНВ. № _____



НОВОСИБИРСК

ЭКРАНИРОВАНИЕ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ ОТ
МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ДЕТЕКТОРЕ МД-1

А.И.Воробьев, Г.М.Колачев

АННОТАЦИЯ

Сцинтилляционные и черенковские счетчики в детекторе МД-1 размещены в магнитном поле величиной до 16 кЭ. Фотоумножители этих счетчиков находятся внутри отверстий в полюсах магнита. В работе описаны экраны, использованные для защиты фотоумножителей от магнитных полей, и приведены формулы для расчета однослойных и двухслойных магнитных экранов, расположенных во внешних полях и внутри отверстий ярма магнита.

В магнитном детекторе МД-1 [1] используются сцинтилляционные и черенковские счетчики. Они расположены в магнитном поле, величина которого может достигать 16 кЭ. Используемые в них фотоумножители могут нормально работать при существенно меньших полях. Так, у фотоумножителя 56 DVP (сцинтилляционные счетчики) амплитуда сигнала падает вдвое при поле перпендикулярном его продольной оси 0,45 Э и при поле, направленном вдоль оси - 1,13, у фотоумножителя 58 DVP (черенковские счетчики) - 0,35 Э и 0,85 Э соответственно.

При создании счетчиков необходимо было обеспечить минимальную длину световодов. Фотоумножители установлены внутри специальных отверстий в полюсах магнита. Их защита от магнитных полей осуществлена с помощью цилиндрических экранов из материалов с высокой магнитной проницаемостью.

Метод этот широко используется, однако сведения, необходимые для расчетов, рассеяны по разным изданиям. Одной из попыток собрать их вместе была работа [2], но и в ней не оказалось формул для экранов, помещенных внутрь отверстий в магнитном материале. Поэтому мы провели вывод необходимых формул.

Внутри отверстий в железя магнита поле имеет продольную $H_{||}$ и поперечную H_{\perp} составляющие относительно оси. Способы экранирования $H_{||}$ и H_{\perp} различны, поэтому рассмотрим их независимо.

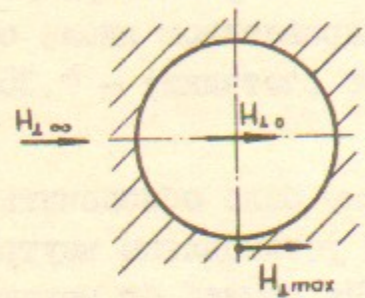
1. Экранирование поперечной составляющей магнитного поля

Для бесконечно длинных цилиндров при постоянной магнитной проницаемости сред и однородном внешнем поле, перпендикулярном оси цилиндров, задача распределения магнитных полей решается точно. При вычислениях мы определяли не только коэффициенты экранирования, но и значения магнитных полей в материале экранов. Это позволило определять магнитную проницаемость материалов для реального случая, когда магнитная проницаемость зависит от величины индукции. Полученные точные формулы оказались громоздкими, однако они значительно упрощаются для практически важного случая тонких экранов из материалов с большим μ .

Условия применимости приведенных далее приближенных формул следующие: $\mu \gg 1$, $\Delta R/R \ll 1$, $\mu \geq (R/\Delta R)^2$, где μ - магнитная

проницаемость материалов, R - радиусы цилиндров, ΔR - толщина экранов или зазор между ними. Поскольку $\Delta R/R \ll 1$, то в формулах используется одно значение радиуса R .

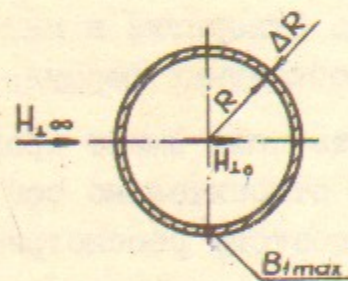
I. Отверстие в материале с магнитной проницаемостью μ .



$$H_{\perp 0} = 2H_{\perp \infty}$$

$$H_{\perp \max} = 2H_{\perp \infty}$$

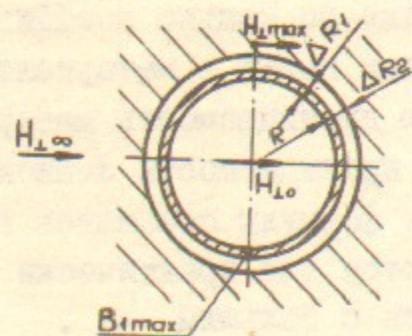
2. Тонкостенный цилиндрический экран из материала с магнитной проницаемостью μ_1 во внешнем магнитном поле.



$$H_{\perp 0} = \frac{2H_{\perp \infty}}{\mu_1 \frac{\Delta R}{R}}$$

$$B_{1 \max} = \frac{2H_{\perp \infty}}{\frac{\Delta R}{R}}$$

3. Цилиндрический экран из материала с магнитной проницаемостью μ_1 внутри отверстия в материале с магнитной проницаемостью μ .

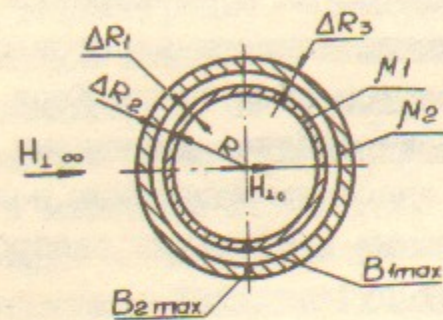


$$H_{\perp 0} = \frac{2H_{\perp \infty}}{\mu_1 \frac{\Delta R_1 \Delta R_2}{R^2}}$$

$$B_{1 \max} = \frac{2H_{\perp \infty}}{\frac{\Delta R_1 \Delta R_2}{R^2}}$$

$$H_{\perp \max} = 2H_{\perp \infty}$$

4. Два concentric cylindrical screens with magnetic permeability μ_1 and μ_2 in an external magnetic field.

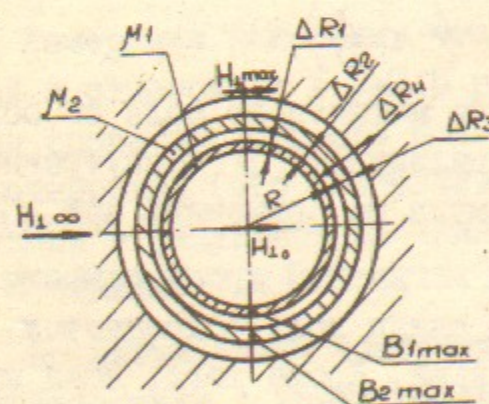


$$H_{\perp 0} = \frac{2H_{\perp \infty}}{\mu_1 \mu_2 \frac{\Delta R_1 \Delta R_2 \Delta R_3}{R^3}}$$

$$B_{2 \max} = \frac{2H_{\perp \infty}}{\frac{\Delta R_3}{R}}$$

$$B_{1 \max} = \frac{B_{2 \max}}{\mu_2 \frac{\Delta R_1 \Delta R_2}{R^2}}$$

5. Two concentric cylindrical screens with magnetic permeability μ_1 and μ_2 inside a hole in a material with magnetic permeability μ .



$$H_{\perp 0} = \frac{2H_{\perp \infty}}{\mu_1 \mu_2 \frac{\Delta R_1 \Delta R_2 \Delta R_3 \Delta R_4}{R^4}}$$

$$B_{2 \max} = \frac{2H_{\perp \infty}}{\frac{\Delta R_3 \Delta R_4}{R^2}}$$

$$B_{1 \max} = \frac{B_{2 \max}}{\mu_2 \frac{\Delta R_1 \Delta R_2}{R^2}}$$

$$H_{\perp \max} = 2H_{\perp \infty}$$

It should be noted that for ratios of screen thicknesses and gaps between them $\Delta R_1 = \Delta R_2$ and $\Delta R_3 = \Delta R_4$ the total thickness of screens is minimal.

The applicability of the obtained formulas for determining the coefficients of screening in real conditions, when μ depends on the field, was checked experimentally for single-layer and double-layer screens, placed inside a hole in iron, where a transverse magnetic field was created. In calculations, the value $2H_{\perp \infty}$ was taken as the average value of the transverse field in the hole \bar{H}_{\perp} .

измеренное в отсутствие экранов. Магнитная проницаемость материалов экранов определялась по расчетной величине максимально-го поля в экране с использованием зависимостей $\mu(B)$ [3,4].

Экраны были изготовлены из стали 08 К1 и из пермаллоя 79НМ. Для ликвидации остаточной намагниченности изготовленные экраны отжигались (нагрев до температуры выше точки Кюри и медленное охлаждение). Измерения производились датчиками Холла и феррозондами [5]. Измеренные значения магнитных полей внутри экранов согласуются с расчетными в пределах разброса значений μ , приводимых в различных публикациях.

II. Экранирование продольной составляющей магнитного поля

Экранирование продольной составляющей магнитного поля рассматривалось, в частности, в работах [2,6], где показано, что продольное поле на оси цилиндра с бесконечной магнитной проницаемостью экспоненциально падает с увеличением расстояния от края цилиндра:

$$H_{||}(x) = H_{||}(0) \exp\left(-\kappa \frac{x}{D}\right),$$

где $H_{||}(x)$ — продольная составляющая магнитного поля по оси цилиндра на расстоянии x от края цилиндра, D — внутренний диаметр цилиндра, $\kappa = 4,8$. Эта формула не применима при $x \ll D$.

В реальных условиях конечной магнитной проницаемости материала экспоненциальный характер спада поля сохраняется, однако коэффициент κ становится меньше. Кроме того, спад прекращается после того, как поле на оси цилиндра $H_{||}(x)$ сравняется с продольным полем внутри стенки цилиндра. Дальнейшее уменьшение продольной составляющей поля возможно только с помощью другого цилиндра, помещенного внутрь первого с некоторым зазором. Край второго цилиндра должен находиться в области, где прекращается спад поля в первом цилиндре. Экспоненциальное падение поля будет продолжено до величины порядка продольного поля в стенке цилиндра.

III. Экранирование фотоумножителей в детекторе МД-1

Расположение отверстий в полюсах магнита детектора МД-1 ориентировочно определялось компоновкой аппаратуры. Для определения конструкции магнитных экранов и места расположения фото-

умножителей вдоль оси отверстий требовалось знание полей внутри отверстий. Диаметры отверстий, в свою очередь, зависят от толщины экранов.

С целью уточнения расположения отверстий, выбора их размеров и конфигурации, исследования распределения поперечной и продольной компонент магнитного поля в них, выбора положения фотоумножителей по глубине отверстий и определения конструкции и размеров магнитных экранов была изготовлена модель магнита МД-1 в масштабе 1:20. Т.к. поля в отверстиях сильно зависят от геометрии магнита, то при моделировании важно было выдержать геометрическое подобие. Поэтому основная трудность при создании модели магнита состояла в разработке специальной схемы охлаждения, т.к. при малых размерах обмотки модели потребляемая ею мощность составляла ~ 130 кВт.

Первоначально диаметры отверстий были выбраны на основе оценок полей в них и необходимых толщин экранов. Был принят двухслойный экран — наружный цилиндр из стали 08 К1, внутренний из пермаллоя 79НМ.

Измерения показали, что максимальные величины поперечных полей в отверстиях в 2+2,5 раза превышают ожидавшиеся. Коэффициент спада продольного поля оказался неодинаковым для различных отверстий (это объясняется разными величинами магнитной индукции в различных сечениях полюсов) и наименьшая величина его составляет $\kappa \approx 3,7$.

По результатам измерений диаметры отверстий были увеличены в соответствии с увеличением требуемой толщины экранов. Анализ результатов измерений позволил сделать следующие выводы.

1. Положение фотоумножителей по глубине отверстий определяется только экранированием продольной составляющей поля.

2. Целесообразно делать ступенчатую форму отверстий. Такая форма отверстий практически не меняет величину поперечного поля в зоне расположения фотоумножителя (она определяется максимальным диаметром), однако позволяет уменьшить продольное поле в зоне расположения фотоумножителя (при одинаковом характере спада поля по глубине величина поля на входе уменьшается с уменьшением отверстия).

3. Магнитный экран для фотоумножителей необходимо делать двухслойным.

На рис.1 приведены результаты измерений продольной составляющей поля по оси ступенчатого отверстия для фотоумножителя 58 DVP без экрана и с однослойным экраном из стали 08 КП, а на рис.2 - поперечной составляющей поля в отверстиях для фотоумножителей 56 DVP и 58 DVP (находящихся в наиболее неблагоприятных условиях).

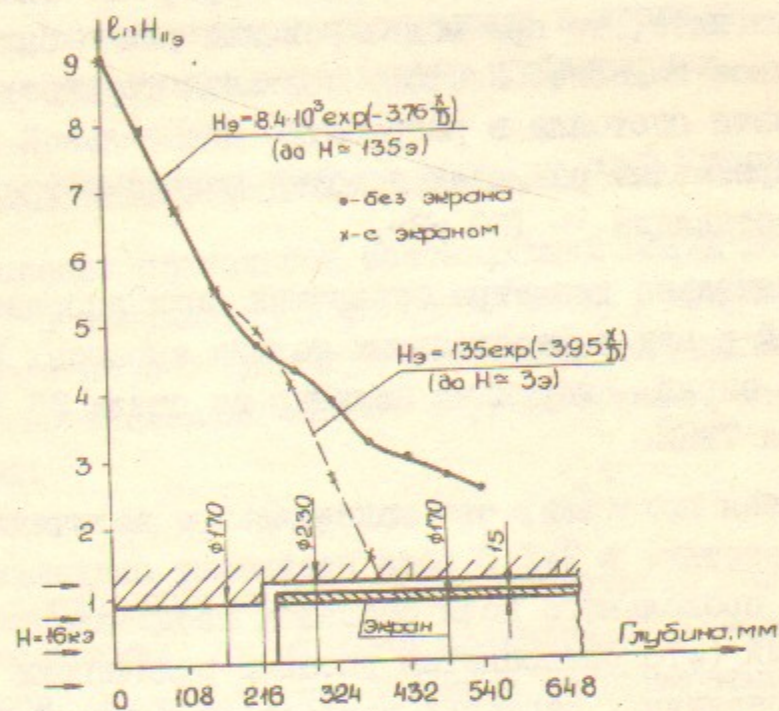


Рис.1. Распределение продольной составляющей магнитного поля в ступенчатом отверстии

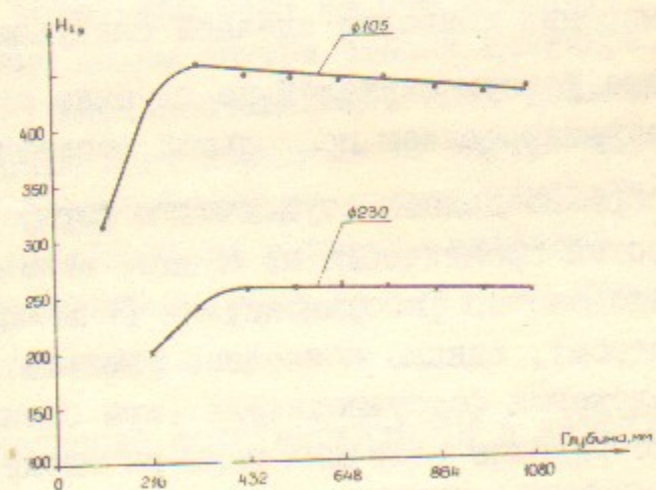


Рис.2. Поперечная составляющая магнитного поля в отверстиях $\varnothing 105$ и $\varnothing 230$ мм

На основании данных измерений и приведенных выше зависимостей были выбраны конструкции магнитных экранов для фотоумножителей сцинтилляционных и черенковских счетчиков детектора МД-1 (рис.3,4).

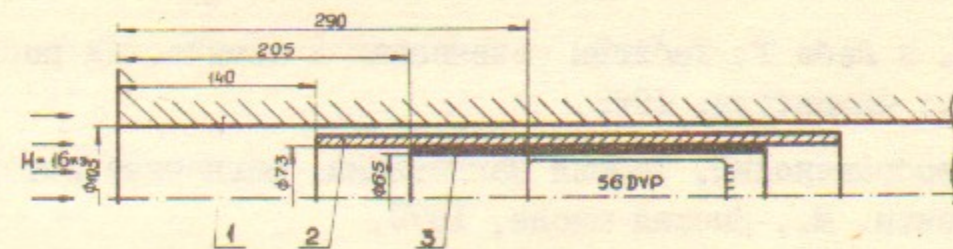


Рис.3. Экранирование фотоумножителей сцинтилляционных счетчиков

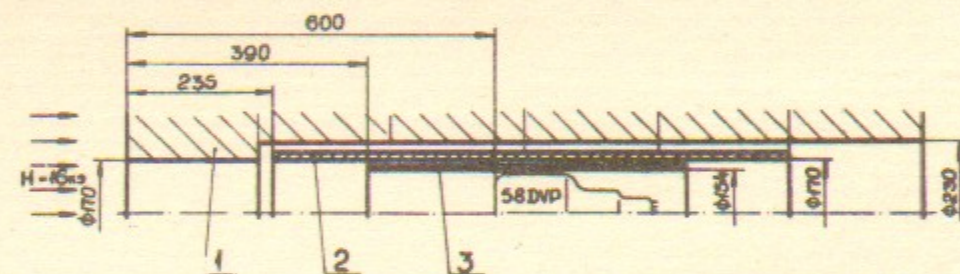


Рис.4. Экранирование фотоумножителей черенковских счетчиков

Проверка в реальных условиях продемонстрировала надежную защиту фотоумножителей детектора от магнитного поля. Амплитуды сигналов с фотоумножителей с точностью $\pm 5\%$ не зависят от магнитного поля в зазоре вплоть до величины 15,4 кЭ.

В заключение авторы выражают благодарность А.П.Онучину за полезные дискуссии и помощь в работе, П.Д.Воблomu и А.А.Литвинову за помощь в проведении измерений.

Литература

1. С.Е.Бару и др. Препринт ИЯФ 83-39 Новосибирск 1983.
2. S.M.Freake and T.L.Thorp. Rev. Sc. Instr. 42, 1411, (1971).
3. Кэй Дж. и Лэби Т. Таблицы физических и химических постоянных. М., Физматгиз, 1962.
4. А.А.Преображенский. Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. М., Высшая школа, 1972.
5. А.Кобус, Я.Тушинский. Датчики Холла и магниторезисторы. М. "Энергия", 1971.
6. Д.Ритсон. Экспериментальные методы в физике высоких энергий. М. "Наука", 1964.

А.И.Воробьев, Г.М.Колачев

ЭКРАНИРОВАНИЕ ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ ОТ МАГНИТНЫХ
ПОЛЕЙ В ДЕТЕКТОРЕ МД-1

Препринт
№ 84-39

Работа поступила 23.04.84г.

Ответственный за выпуск - С.Г.Попов

Подписано к печати 04.05.84г. МН 04270

Формат бумаги 60x90 1/16 Усл.0,8 печ.л., 0,7 учетно-изд.л.

Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 39

Ротапринт ИЯФ СО АН СССР, г.Новосибирск, 90