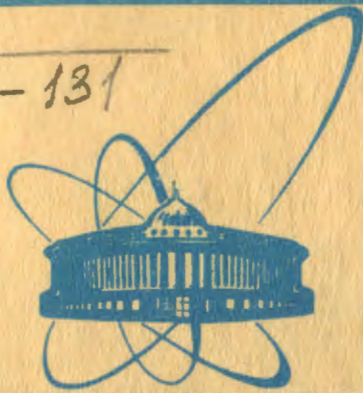


Д-131



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

5773/2-81

23/4-81

P13-81-586

Д.С.Давидков, В.И.Данилов,
Ю.В.Таран, А.И.Чепурной

МАГНИТНЫЙ ЭКРАН
ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

1981

1. ВВЕДЕНИЕ

Имеющиеся в литературе экспериментальные данные о действии магнитных полей на различные биологические объекты /см., например, работы /1-6// позволяют предполагать, что магнитное поле Земли и его флуктуации также могут оказать влияние на ход биологических процессов в биосфере^{6/}. Проверку этой гипотезы можно осуществить экспериментально путем сравнения жизнедеятельности биологических объектов в присутствии и отсутствии геомагнитного поля /ГМП/. Подобные эксперименты проводили Р.Беккер^{7/}, М.Халперн и Ван Дайк^{8/} и др. У микроорганизмов, находившихся в ослабленном ГМП, наблюдалось снижение выживаемости и увеличение содержания мутантных клеток. В результате длительного наблюдения за животными /мышами/ в ослабленном геомагнитном поле обнаружены изменения физиологических и биохимических свойств клеток животных, а также нарушения функционирования внутренних органов.

С целью получения количественных характеристик, описывающих реакции биологических объектов /микроорганизмов, клеток растений и т.д./ на экранирование от ГМП, нами был изготовлен восьмислойный цилиндрический пермаллоевый экран, описание которого приводится в данном сообщении.

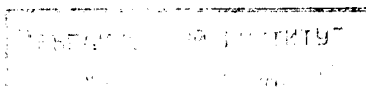
Эффективность ослабления ГМП экранами цилиндрической формы принято характеризовать нормальным k и дифференциальным k_d коэффициентами экранирования. Нормальный коэффициент экранирования k определяется как отношение величин внешнего однородного поля H_e , направленного перпендикулярно / k_{\perp} / или параллельно / k_{\parallel} / оси экрана, и поля H_i , проникшего внутрь экрана:

$$k = \frac{H_e}{H_i} . \text{ Дифференциальный коэффициент экранирования } k_d$$

определяется как отношение величин изменения внешнего поля ΔH_e и соответствующего ему изменения поля внутри экрана ΔH_i :

$$k_d = \frac{\Delta H_e}{\Delta H_i} .$$

Значения коэффициентов экранирования определяются геометрией и магнитной проницаемостью материала экрана μ , которая зависит от величины магнитного поля. При величине поля H_e , значительно меньшей коэрцитивной силы H_c , нормальный и дифференциальный коэффициенты совпадают и определяются значением начальной $\mu(0)$ магнитной проницаемости.



2. КОНСТРУКЦИЯ ЭКРАНА

При создании экрана использован опыт разработки магнитного экрана для установки "Тристом" в Лаборатории нейтронной физики в период с 1970 по 1980 гг.^{/9-13/}.

Пермаллоевые цилиндры, из которых собирался экран для биологических исследований, были сварены из рулонного пермаллоя 80 НХС шириной 250 мм и толщиной 0,25 мм. Размеры цилиндров /радиусы – R и длины – L/ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры пермаллоевых цилиндров, использованных при сборке экрана

n	1	2	3	4	5	6	7	8
R, мм	161,5	151,5	142,5	134,5	127	120	113	107
L, мм	629	612	595	578	561	544	527	510
$\mu(0) \cdot 10^{-4}$ эксперим.	1,77	3,78	3,76	4,53	5,35	-	-	-

Отжиг цилиндров производился в вакуумной печи при температуре 1150°C в стандартном режиме. Сборка цилиндров осуществлялась послойно, начиная с наружного слоя /n = 1 в табл.1/, по методу, описанному в^{/10/}. Цилиндрический корпус из немагнитного материала устанавливался вертикально на специальную подставку, позволявшую каждый последующий пермаллоевый цилиндр фиксировать относительно корпуса в строго заданном положении.

В зазор между цилиндрами засыпался вспененный полистирол, который затем спрессовывался кольцами с помощью шпилек, пропущенных через кольца. Такое крепление слоев относительно корпуса и друг друга существенно уменьшает у них напряжение изгиба в рабочем горизонтальном положении. После того как были собраны все восемь слоев, экран установили горизонтально на подставке, которая может вращаться вокруг своей оси на 360°. В рабочем положении экран ориентировали осью перпендикулярно вектору ГМП.

Каждый пермаллоевый цилиндр с торцов закрывается двумя крышками, изготовленными также из пермаллоя 80 НХС. Торцевые крышки были собраны в съемные блоки, которые закреплялись на корпусе. В центре каждого блока имеется отверстие диаметром 40 мм. Через эти отверстия к специальному токопроводу, находящемуся внутри экрана, осуществлен подвод переменного тока частотой

50 Гц от системы размагничивания и подмагничивания экрана /ее описание дано в^{/11/}. Токопровод выполнен в виде полого, соосного экрану, тонкостенного цилиндра из немагнитного материала диаметром 184 мм. Такая конструкция системы позволяет размагничивать или подмагничивать сразу всю сборку.

Для создания внешних магнитных полей, необходимых для определения коэффициентов экранирования, использовали соленоид и две пары прямоугольных катушек. Соленоид намотан на корпус экрана соосно цилиндрическим пермаллоевым слоям. Катушки прямоугольной формы изгибались по цилиндрической поверхности корпуса и закреплялись на нем так, что их оси были перпендикулярны оси экрана и направлены вертикально для одной пары и горизонтально для другой. Расчет изогнутых прямоугольных катушек /ИПК/ дан в^{/12/}. Магнитный экран показан на рис. 1.

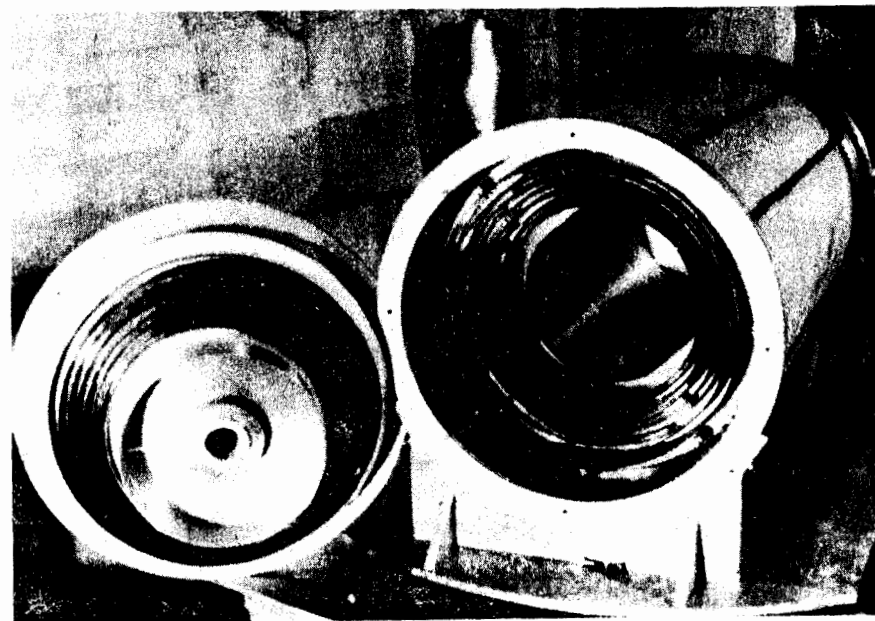


Рис. 1. Восьмислойный цилиндрический пермаллоевый экран со снятым блоком торцевых крышек.

3. МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Для измерения магнитного поля H_z внутри экрана использовался промышленный трехкомпонентный феррозондовый магнитометр СКГ-58М с выходной характеристикой около 16 нТ/мВ. Так как

Таблица 2

Коэффициенты экранирования при послойной сборке экрана

j	1	2	3	4	5	6	7	8
$ \vec{H}_i + \vec{H}'_i $, нТ ^х	1230	310	71	16,5	2÷3	1÷2	2÷3	2÷3
k_{\perp} в "нулевом" поле	13,7	51,5	195	895	5660	-	-	-
k_{\perp} в ГМП	32	133	640	4090	25340	-	-	-
ток в соленоиде	7,33	15,8	25,6	40,8	55	72	81	115
$k_{\parallel}(0)$ метод вращения экрана	7,35	-	-	-	-	-	-	87

^х Поперечная компонента магнитного поля внутри экрана, находящегося в ГМП и сориентированного своей осью перпендикулярно вектору ГМП. Разброс в значениях этой компоненты при $j > 5$ характеризует повторяемость результатов при многократном размагничивании экрана. Магнитные измерения произведены до монтажа крышек.

его габариты довольно велики, то магнитное поле измерялось только на оси экрана.

Перед каждым измерением производили размагничивание экрана с помощью специальной системы^{12/}. Размагничивание осуществляли в "нулевом" магнитном поле. Для получения "нулевого" поля через ИПК пропускали токи, которые создавали магнитное поле, компенсировавшее ГМП.

При измерении поперечного коэффициента экранирования k_{\perp} в "нулевом" поле /далее $k_{\perp}(0)$ / ток в одной из пар ИПК варьировали так, чтобы гистерезисные эффекты были несущественны. Для определения поперечного нормального коэффициента экранирования в ГМП, равного в наших условиях 40 мкТ, измеряли магнитное поле внутри экрана с включенными и выключенными ИПК. В первом измерении определялась поперечная компонента рассеянного магнитного поля \vec{H}'_i , вызванного остаточной намагниченностью экрана, во втором измерении - поперечная компонента суммарного

поля $\vec{H}_i + \vec{H}'_i$. Так как осевая компонента ГМП при рабочем положении экрана отсутствует, то измерения продольного коэффициента экранирования k_{\parallel} проводили только в "нулевом" поле /далее $k_{\parallel}(0)$ /.

Результаты измерений коэффициентов экранирования при послойной сборке экрана, выполненных до монтажа крышек, представлены в табл.2. Из этой таблицы видно, что с увеличением количества слоев j коэффициенты $k_{\perp}(0)$ и k_{\parallel} сильно растут, достигая при $j = 5$ значений $\approx 6 \cdot 10^3$ и $\approx 2,5 \cdot 10^4$ соответственно. При дальнейшем увеличении количества слоев измерение этих коэффициентов не удалось осуществить из-за недостаточной чувствительности использованного магнитометра.

Однако для $j > 5$ можно оценить значение коэффициента экранирования расчетным путем, используя аналитическое выражение для зависимости k_{\perp} от числа слоев^{13/} в виде

$$k_{\perp j} = \left(\frac{t}{2}\right)^j \prod_{i=1}^j \mu_i \frac{R_i^2 - (R_{i-1} + t)^2}{R_i^3}, \quad /1/$$

где t - толщина слоя; j - число слоев; μ_i и R_i - начальная проницаемость и радиус i -го экранирующего слоя.

Для слоев с $j = 1 \div 5$ из экспериментальных значений $k_{\perp}(0)$ по уравнению /1/ была определена их начальная проницаемость $\mu(0)$ /см. табл.1/, которая для 4-го и 5-го слоев оказалась близка к значению, даваемому ГОСТом. Полагая для слоев с $j = 6 \div 8$ в качестве нижних значений начальной проницаемости экспериментальные значения для слоев с $j = 4 \div 2$, можно получить нижнюю оценку коэффициента $k_{\perp}(0)$ для 8-слойного экрана. Она оказалась равной $4 \cdot 10^5$, а коэффициент k_{\perp} при этом, по крайней мере, в 10 раз больше, то есть ГМП внутри экрана ослаблено более чем в миллион раз.

Измерения продольного коэффициента $k_{\parallel}(0)$ производили с помощью варьирования тока в соленоиде, а также методом вращения экрана в горизонтальной плоскости. При вращении экрана в горизонтальной плоскости изменяется компонента ГМП, параллельная оси цилиндра, что позволяет определить $k_{\parallel}(0)$ вторым способом. Для однослойного экрана / $j = 1$ / оба метода дали совпадающие значения $k_{\parallel}(0)$.

При дальнейшей сборке экрана коэффициент $k_{\parallel}(0)$ определялся только с помощью соленоида /результаты представлены в табл.2/, но на 8-слойной сборке измерения были проведены опять обоими методами, давшими результаты, различающиеся на 40%. Повернув эту сборку на 90° в горизонтальной плоскости, измерили нормальный коэффициент k_{\parallel} для горизонтальной компоненты ГМП /в нашем случае она составляла 12,8 мкТ/, оказавшийся равным 87.

По окончании этих измерений были смонтированы два блока торцевых крышек. На рис.2 приведена зависимость продольного

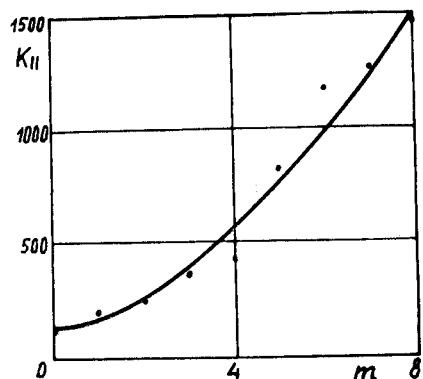


Рис. 2. Зависимость продольного коэффициента экранирования для 8-слойного экрана, находящегося в "нулевом" поле, от количества /м/ пар крышек, считая от внутреннего 8-го слоя.

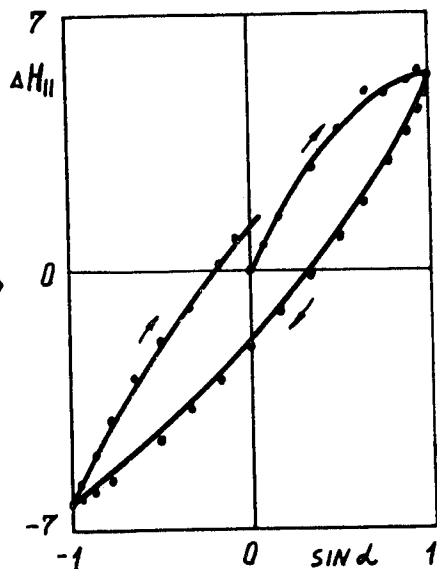


Рис. 3. Изменения $\Delta H_{||}$ /в нТ/ осевой компоненты магнитного поля внутри 8-слойного экрана с крышками при вращении экрана на 360° в горизонтальной плоскости в присутствии ГМП. α - угол между осью экрана и линией в горизонтальной плоскости, перпендикулярной горизонтальной компоненте ГМП.

коэффициента $k_{||}(0)$, измеренного с помощью соленоида, от количества /м/ пар установленных крышек.

После монтажа всех восьми пар крышек измерения коэффициента $k_{||}(0)$ обоими методами дали близкие значения: 1400 ± 1500 , то есть $k_{||}(0)$ увеличился в 18 раз. При этом нормальный коэффициент $k_{||}$ /поворот на 90° / возрос в 24 раза и составил 2100. На рис. 3 показано изменение осевой компоненты магнитного поля внутри экрана с крышками при его вращении на 360° в горизонтальной плоскости. Вращение экрана позволило не только определить значение нормального коэффициента экранирования $k_{||}$, но и сделать вывод, что даже в полностью собранном состоянии нельзя располагать экран произвольно. Для получения максимального для данного устройства эффекта экранирования необходимо, чтобы ось цилиндрического экрана была перпендикулярна вектору локального ГМП.

Как показали измерения, после монтажа крышек остаточное поле внутри экрана понизилось до $0,5 \pm 2$ нТ /разброс вызван

процедурой размагничивания/ и существенно расширилась область однородного поля. В пределах 10 см по оси экрана в обе стороны от его центра изменение поля не превышало 1 нТ. Измерения стабильности остаточного поля феррозондовым магнитометром показали, что среднеквадратичная амплитуда флуктуаций продольной и поперечной компонент в полосе частот $2 \cdot 10^{-4} \div 2 \cdot 10^{-1}$ Гц не превышает 0,2 нТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты: Материалы 2 Всесоюзного симпозиума /18-20 сентября 1973 г./, Белгород, 1973.
2. *Biolog. Effects of Magnetic Fields*. Plenum Press, New York, 1969, vol.2.
3. Busby D.E. *Space Life Sci.*, 1968, vol.1, No.1, p.8.
4. Материалы 3 Всесоюзного симпозиума. Влияние магнитных полей на биообъекты /17-19 июня 1975 г./, Изд-во Калининградского гос. университета, Калининград, 1975.
5. Пресман А.С. *Электромагнитные поля и живая природа*. "Наука", М., 1968.
6. Дубров А.П. *Геомагнитное поле и жизнь /краткий очерк по магнитобиологии/*. Гидрометиздат, Л., 1974.
7. Becker R.O. *Med. Electron and Biol. Engng.*, 1963, vol.1, p.293.
8. Halpern M.H., Van Dyke J.H. *Aerospace Med.*, 1966, vol.37, No.2, p.281.
9. Никитенко Ю.В., Таран Ю.В. ОИЯИ, Р13-10068, Дубна, 1976.
10. Алексеев Н.А. и др. Авторское свидетельство №687391, от 28.05.79. Бюлл.ОИПТЗ, 1979, 35, с.182.
11. Алексеев Н.А. и др. ОИЯИ, Р13-9221, Дубна, 1975.
12. Никитенко Ю.В., Таран Ю.В. ОИЯИ, Р3-7379, Дубна, 1973.
13. Таран Ю.В. ОИЯИ, Р3-7377, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 сентября 1981 года.