

9

**И Н С Т И Т У Т  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р**

ПРЕПРИНТ И Я Ф 74 - 17

Л.М.Барков, В.Г.Баркова, М.С.Золоторев, П.К.Лебедев  
Е.П.Маточкин, В.С.Охапкин, В.П.Смахтин

**УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХСИЛЬНЫХ  
МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ**

Новосибирск

1974

Л.М.Барков, В.Г.Баркова, М.С.Золоторёв, П.К.Лебедев,  
Е.П.Маточкин, В.С.Охалкин, В.П.Смахтин

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕРХСИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ  
ПОЛЕЙ ВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе приводится описание работающей в условиях лаборатории установки для получения методом взрыва магнитных полей  $\sim 1$  МГс в рабочем объёме  $\approx 40$  см<sup>3</sup>. Приведены расчёты узлов установки и результаты измерения её основных параметров.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Для ряда экспериментов по физике высоких энергий /1,2/ необходимо использовать сверхсильные магнитные поля. С этой целью в ИЯФ СО АН СССР была создана установка для получения импульсных магнитных полей напряженностью  $\sim 1$  МГс в рабочих объемах  $\approx 40\text{см}^3$ .

Получение сверхсильных магнитных полей в таких объемах сопряжено с рядом трудностей. Одна из них связана с большим давлением на токонесущие стенки магнита, которое при поле  $\sim 1$  МГс составляет  $40000\text{ кг/см}^2$ . Это давление значительно превышает пределы прочности и текучести обычных материалов. Несмотря на это существует возможность получения импульсных мегагауссных магнитных полей за счет инерции стенок магнита. При этом необходимо обеспечить большую скорость нарастания поля и, следовательно, прикладывать к магниту высокие электрические напряжения. Другая трудность — большая энергоёмкость. Так в магнитах, используемых в экспериментах, при поле 1 МГс содержится  $0,2 + 0,4$  МДж энергии магнитного поля и при обычных КПД установок система питания должна иметь  $0,5 + 1,0$  МДж запасенной энергии.

По предложению Г.И.Будкера в установке для получения сверхсильных импульсных магнитных полей в качестве источника питания магнита использовался взрывомагнитный генератор, в котором энергия взрывчатых веществ (ВВ) используется для сжатия магнитного потока в замкнутом проводящем контуре.

### 2. Принцип работы взрывомагнитного генератора

Пусть в замкнутом контуре индуктивность  $L_0$  создан магнитный поток  $\Phi_0 = L_0 I_0$ . Если с помощью взрыва ВВ быстро деформировать контур, уменьшая его индуктивность, то в первом приближении, пренебрегая потерями, связанными с конечной проводимостью стенок, магнитный поток, захваченный в контуре, сохраняется. При этом ток в контуре увеличивается:

$$I(t)/I(0) = L_0/L(t). \quad (1)$$

Если в рабочей части контура магнитное поле пропорционально току, то для магнитного поля будет выполняться то же самое соотношение

$$H(t)/H_0 = L_0/L(t). \quad (2)$$

Электромагнитная энергия системы, равная  $\Phi^2/2L$ , также увеличивается в процессе деформации обратно пропорционально индуктивности. Это означает, что энергия ВВ преобразуется в электромагнитную энергию.

Существующие в настоящее время типы взрывомагнитных генераторов представлены на рис.1.

Цилиндрические генераторы (рис.1а) характеризуются очень малыми временами нарастания и большими напряженностями магнитных полей. В подобных системах время удвоения магнитного поля составляет  $\sim 0,5$  мксек, а полученные поля превышают  $10 \text{ кГс}$  /3/. Однако, использование магнитных полей, получаемых в генераторах этого типа, весьма затруднительно из-за принципиальной невозможности отделить нагрузку от генератора и тем самым предохранить экспериментальное оборудование от разрушительного действия ударной взрывной волны и осколков.

Наиболее приемлемыми в этом отношении являются плоские (рис.1б), коаксиальные (рис.1в) и спиральные (рис.1г) генераторы. Нагрузка этих генераторов может быть значительно удалена от места взрыва. Плоские и коаксиальные генераторы – простые и удобные в эксплуатации устройства – имеют сравнительно малую начальную индуктивность при разумных размерах генератора. Системы с генераторами такого типа позволяют получать поля  $1-2,5 \text{ кГс}$  при временах удвоения поля  $2-10$  мксек /4/.

Значительно большую начальную индуктивность при тех же размерах имеют генераторы спирального типа. Однако, их изготовление и эксплуатация связаны с дополнительными трудностями и они имеют меньшую стабильность в работе.

### 3. Взрывомагнитный генератор

Учитывая простоту в изготовлении и эксплуатации, было решено использовать конструкцию плоского генератора, представленную на рис.2.

Схема работы этого генератора выглядит следующим образом.

При подрыве капсуля-детонатора и возникновении в ВВ детонационной волны происходит замыкание медной стенки кассеты с шинами генератора и тем самым включение цепи разрядки конденсаторной батареи. Когда медные стенки кассеты находятся в положении 4 (см. рис.2), происходит "отсечка" конденсаторной батареи и остается короткозамкнутый токовый контур "генератор-нагрузка" с захваченным магнитным потоком. При дальнейшем движении кассеты магнитный поток вытесняется в нагрузку.

Для обеспечения быстрого нарастания магнитного поля на конечной стадии работы генератора угол сужения в конце генератора  $13,5^\circ$  был выбран приблизительно равным углу полета кассеты. Угол полета кассеты определяется скоростью распространения детонационной волны по ВВ, составляющей  $7,6 \text{ км/сек}$ , и скоростью стенки кассеты. При выбранной  $15 \text{ мм}$  толщине ВВ и  $1,5 \text{ мм}$  толщине медной стенки кассеты её скорость составляет  $1,9 \text{ км/сек}$ , что соответствует углу разлета кассеты  $14,5^\circ$ . При выбранной  $5 \text{ мм}$  толщине шин генератора разлёт шин под действием сил магнитного давления не превышал  $2 \text{ мм}$  и не сказывался существенным образом на работе генератора.

Для эффективной работы генератора необходимо иметь большую начальную индуктивность. Этого можно добиться, увеличивая длину генератора, что, однако, крайне нежелательно, так как при этом увеличивается полное время работы генератора и соответственно разлёт нагрузки и шин генератора. Уменьшение ширины шин генератора также приводит к нежелательным последствиям, так как из-за увеличения плотности тока в шинах генератора увеличивается его разлёт и возрастают потери магнитного потока. В начале работы генератора, когда магнитное поле в контуре мало, шины можно сделать узкими и тем самым увеличить начальную индуктивность системы.

Начальный магнитный поток в генераторе создается при разряде конденсаторной батареи, имеющей  $U_{\text{раб}} = 10 \text{ кВ}$  и  $C = 3 \text{ мф}$ . Конденсаторная батарея состоит из двух последовательно включенных секций. Каждая секция собиралась из 30 параллельно соединенных конденсаторов типа ИСУ 5/200. Суммарная паразитная индуктивность батареи, ошиновки и подводов к генератору  $L_{\text{пар}} = 50 \text{ нГн}$ , а также величина омического сопротивления  $R = 0,6 \text{ мОм}$ , измерялись при ра-

боте батареи на безындуктивную нагрузку и оказались соответствующими ожидаемым по расчету.

#### 4. Расчет работы взрывомагнитного генератора

Для расчета тока во взрывомагнитном генераторе необходимо знать изменение индуктивности генератора во времени. Эта зависимость, представленная на рис.3, измерялась на модели, имитирующей форму генератора в различные моменты времени. Напряжение со звукового генератора ГЗ-33 при частоте 200 кГц через согласующий трансформатор подавалось на взрывной генератор. Вольтметром В 3-7 измерялось напряжение с пояса Роговского, которое пропорционально производной тока,

$$U_p = 10^{-8} n S_p (4\pi/10) dI/dt. \quad (3)$$

Также измерялось напряжение на выходе трансформатора, которое пропорционально индуктивности и производной тока

$$U_L = 10^{-8} L dI/dt \cdot 10. \quad (4)$$

Из (3) и (4) следует, что

$$L = 4\pi n S_p U_L / U_p \quad (5)$$

Здесь  $n$  - число витков пояса Роговского на см,  $S_p$  - площадь одного витка пояса Роговского в см<sup>2</sup>,  $L$  - в нГн.

От начала работы взрывомагнитного генератора до момента "отсечки" батарея конденсаторов разряжается на переменную индуктивность, как это показано на рис.4. Изменение магнитного потока во времени в этом случае описывается уравнением

$$\frac{d^2\Phi}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{d\Phi}{dt} + \left[ \frac{1}{LC} + R \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{L} \right) \right] \Phi = 0 \quad (6)$$

с начальными условиями  $\Phi(0)=0$ ,  $d\Phi/dt|_{t=0}=U_0=10$  кВ. В приложении показано, что на участке от 0 до 50 мксек функция

$$\Phi(t) = \frac{U_0}{\omega_0} \frac{\sin(\sqrt{1-d^2/4} \omega_0 t)}{\sqrt{1-d^2/4}} \exp\left[-R \int_0^t \frac{d\xi}{L(\xi)}\right] \quad (7)$$

удовлетворяет уравнению (6) с точностью  $\approx 5\%$ . Здесь  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ ,  $d = \omega_0 RC$ .

Полученное решение соответствует полному магнитному потоку. Поток, находящийся в генераторе и нагрузке, равен

$$\Phi_{ГН} = \Phi \frac{L_{Г} + L_{Н}}{L_{Полн}}. \quad (8)$$

Когда  $\Phi_{ГН}$  достигает максимума, производится "отсечка" генератора от конденсаторной батареи. После "отсечки" изменение  $\Phi_{ГН}$  находится из уравнения

$$\frac{d\Phi_{ГН}}{dt} + I \frac{dL_{ск}}{dt} = 0 \quad (9)$$

или

$$\frac{d\Phi_{ГН}}{dt} + \frac{1}{L} \frac{dL_{ск}}{dt} \Phi_{ГН} = 0 \quad (9')$$

где  $I dL_{ск}/dt$  - часть потока, остающегося в скин-слое и не вытесняющегося при движении кассеты

$$\frac{dL_{ск}}{dt} = 4 \frac{4\pi\delta V}{a}. \quad (10)$$

Здесь  $V$  - скорость движения линии контакта кассеты в генераторе,  $\delta$  - эффективная толщина скин-слоя,  $a$  - ширина шины генератора.

Решение уравнения (9') даёт

$$\Phi_{ГН} = \Phi_{ГН}(t) \exp\left(-\int_0^t \frac{1}{L} \frac{dL_{ск}}{d\xi} d\xi\right). \quad (11)$$

Для вычисления  $dL_{ск}/dt$  необходимо знать эффективную глубину проникновения магнитного поля в шины. Точное решение этой задачи, учитывающее сложную зависимость поля от времени, зависимость глубины проникновения от температуры, давления и т.д., чрезвычайно сложно. Для оценок можно принять её равной глубине скин-слоя для периодического сигнала с четвертью периода равной времени работы генератора. Для меди это даёт  $\delta \approx 1,2$  мм. На первый взгляд эта величина сильно завышена, особенно для конечной стадии работы генератора, имеющего время удвоения поля  $\approx 10$  мксек. Однако учет указанных выше факторов заметно увеличивает глубину проникновения поля именно на этой стадии работы генератора, и эта оценка может оказаться вполне удовлетворительной.

С этими допущениями было рассчитано изменение потока во времени для различных моментов включения батареи и детонатора, причем время "отсечки" выбиралось так, чтобы оно соответствовало максимуму потока. На рис.5 приведены значения конечного магнитного потока  $\Phi_k$  в нагрузке при различных временах запуска батареи относительно момента включения детонатора. Из рисунка видно,

что конечный поток слабо зависит от момента запуска батареи. Учет разлёта нагрузки приводит к тому, что максимальное значение поля может быть достигнуто при запуске батареи одновременно с детонатором. Именно так и включается батарея в эксперименте. График изменения потока в контуре при одновременном запуске батареи и детонатора приведен на рис.6. На рис.7 представлен график зависимости тока от времени.

#### 5. Получение сверхсильных импульсных полей в магнитах одноразового действия

В работе использовались три типа магнитов. Все они изготовлялись из стали Ст3.

На рис.8 представлен чертеж импульсного магнита первого типа, предназначенного для эксперимента по поиску магнитного монополя Дирака. Индуктивность магнита составляет 12 нГн. При токе 4 МА в магните было получено поле 820 кГс.

На рис.9 представлен чертеж импульсного магнита второго типа, предназначенного для эксперимента по измерению магнитного момента  $\Sigma^+$ -гиперона. Геометрия магнита определяется требованиями эксперимента /1/. В магнитах подобной конструкции были получены магнитные поля 1000 кГс. Однако, из-за закрывания под действием магнитного поля входного и выходного отверстий для пучка частиц максимальное поле, используемое в эксперименте, было ограничено 850 кГс. Для оценки величины смещения стенок магнита воспользуемся тем обстоятельством, что при полях  $\sim 1$  МГс можно пренебречь прочностными свойствами материалов:

$$\ddot{x} = F/m = H^2/8\pi\rho h_{эф} = K^2 2\pi I^2/100\rho h_{эф} a^2. \quad (12)$$

Здесь  $H = \frac{K 4\pi}{10a} I$ ;  $a$  - ширина токоведущей стенки,  $\rho$  - плотность,  $K$  - коэффициент, зависящий от отношения зазора между стенками к ширине стенки,  $h_{эф}$  - эффективная толщина стенки. В том случае, когда  $h < a$ ,  $h_{эф} = h$ , если  $h > a$ , то  $h_{эф} \approx a/3$ . В последнем случае происходит деформация стенки вдоль направления магнитного поля и для оценки можно считать, что центральная часть стенки расплющивается не разлетаясь, а края разлетаются в направлении магнитного поля. График зависимости  $K$  от  $d/a$ , где  $d$  - величина зазора между стенками, приведен на рис.10. Оценки показывают, что при

$H \approx 1$  МГс стенки магнита к моменту максимума поля разлетаются примерно на 2 мм, что приводит к  $\approx 20\%$  уменьшению поля в узкой части магнита, в частности к закрыванию входного и выходного отверстий при таких полях. На рис.11 представлена фотография магнита второго типа до и после получения в нем магнитного поля 850 кГс. Основная часть видимой деформации произошла после окончания действия магнитного поля.

На рис.12 приведен чертеж импульсного магнита третьего типа, предназначенного для проведения экспериментов по измерению магнитного момента  $\Lambda$ -гиперона. Поскольку индуктивность этого магнита составляет 50 нГн, для его питания был использован генератор большего размера с начальной индуктивностью 700 нГн. В магните с таким генератором было получено поле 750 кГс.

Измерения тока в магните проводилось с точностью 5% с помощью пояса Роговского. Измерения магнитного поля проводилось с точностью 0,5% с помощью индукционных датчиков и методом, основанным на эффекте Фарадея. На рис.13 приведена осциллограмма зависимости поля от времени для магнита второго типа.

#### 6. Взрывная камера

При проведении экспериментов необходимо защищать магнит с расположенным в нём эмульсионным детектором от действия взрывчатых веществ. Таким требованиям удовлетворяют генераторы, помещенные в камеру для взрывов и имеющие нагрузку, расположенную вне взрывного объёма.

Взрывная камера рис.14 состоит из корпуса, изготовленного из стали Ст.30. Через верхний фланец, который крепится 6 шпильками к телу камеры, осуществляется подвод тока к генератору для создания начального магнитного потока и вывод тока к нагрузке. Контакт между подводными шинами генератора и магнитом осуществляется через медную проволоку  $\phi$  1 мм. Надёжный контакт удалось осуществить, используя собственное давление магнитного поля, которое дополнительно поджимало контакт. Для этого в нижней части магнитов второго и третьего типов был сделан разрез (см.рис.2). Индуктивность токоподвода от генератора к магниту составляет 12 нГн. Стальные брусья 2 и шпильки 3 рис.14 обеспечивают прижим контактов подводных шин к генератору и магниту. Между стальными брусьями

ями и магнитом расположены стеклотекстолитовые прокладки, которые служат для пропускания магнитного потока.

Размеры шпилек и стальных брусьев выбирались из следующих условий. Давление магнитного поля передаёт стенкам магнита импульс  $P = \int H^2 S dt / 8\pi$  в результате чего стальные брусья приобретают энергию  $E = P^2 / 2M$ , которая не должна выводить шпильки за пределы упругих деформаций.

Нижний фланец крепится 12 шпильками к телу камеры. На нём расположены два крана, не показанные на рисунке, служащие для очистки камеры от продуктов взрыва. Герметизация взрывной камеры осуществляется с помощью резиновых прокладок. Взрывная камера устанавливается на 3 опорах, имеющих регулировку. Расчёт взрывной камеры на прочность производится в предположении симметрии разлёта продуктов взрыва относительно оси камеры. Если приходится на единицу длины камеры масса стенок  $m_c$  много больше массы ВВ  $m_c \gg m_B$ , то только малая часть кинетической энергии продуктов взрыва  $W_B$  может быть передана стенкам камеры. Действительно, при коэффициенте неупругости удара  $\alpha$  ( $1 < \alpha < 2$ ) кинетическая энергия, переданная стенке,

$$W_c = P_c^2 / 2m_c = \alpha^2 m_B W_B / m_c, \quad (I3)$$

где  $P_c = \alpha P_B$  - импульс, переданный стенке при ударе продуктов взрыва. Приравняв кинетическую энергию стенок камеры энергии упругих деформаций и учитывая, что  $m_c = 2\pi R\delta\rho$ ,  $m_B = \alpha b\rho_B$ ,  $W_B = m_B Q_B$ , получим

$$\sigma_c = \frac{\alpha a b \rho_B \sqrt{Q_B E}}{\pi R \delta} \sqrt{\frac{2\rho}{E}}. \quad (I4)$$

Здесь  $a$  и  $b$  - ширина и толщина заряда ВВ,  $\rho_B$  и  $\rho$  - плотность ВВ и материала корпуса камеры,  $R$  и  $\delta$  - радиус и толщина стенок камеры,  $E$  - модуль упругости материала корпуса камеры,  $Q_B$  - энергия, освобождающаяся при взрыве 1г ВВ, равная  $\approx 5$  кДж. Для уменьшения индуктивности подводов взрывной генератор желательно помещать как можно ближе к верхнему фланцу камеры, что приводит к большим нагрузкам на шпильки, крепящие верхний фланец. Расчёт прочности шпилек проводился в предположении, что вся кинетическая энергия, переданная фланцу продуктами взрыва,

$$W_\phi = \alpha^2 \left( \frac{S_k}{4\pi l^2} \right)^2 \left( \frac{m^2 Q_0}{m_k} \right), \quad (I5)$$

где  $m = a b c \rho_B$  - масса эквивалентного сферического заряда ( $c = \sqrt{a b}$ ),  $m_k$  - масса фланца,  $S_k$  - видимая со стороны ВВ часть площади фланца,  $l$  - расстояние от центра эквивалентного сферического заряда до фланца, переходит в энергию упругих деформаций шпилек.

$$W_{ш} = V_{ш} \sigma_{ш}^2 / 2E, \quad (I6)$$

где  $V_{ш}$  объём нагруженной части шпилек. Из (I5) и (I6) следует

$$\sigma_{ш} = \frac{\alpha S_k m}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{E Q_B}{2 m_k V_{ш}}}. \quad (I7)$$

Расчет нагрузок в остальных элементах конструкции взрывной камеры производился аналогичным образом. При расчёте принималось, что допустимые напряжения при динамических нагрузках вдвое больше статических /5/. Наибольшие нагрузки, согласно расчета, испытывают шпильки верхнего фланца и стенки корпуса, находящиеся против широкой части кассеты. Следует отметить, что сделанное при расчёте прочности стенок взрывной камеры предположение об аксиальной симметрии разлёта продуктов взрыва является очень грубым приближением, так как взрывная кассета представляет собой плоскую полосу, ширина которой во много раз больше толщины и всего в шесть раз меньше внутреннего диаметра камеры. Поэтому для цилиндрических стенок камеры следует ожидать заметных дипольных деформаций вида

$$R = R_0 + \Delta R_g (2 \cos^2 \varphi - 1).$$

Величины симметричной  $\Delta R_c$  и дипольной  $\Delta R_g$  деформаций связаны с соответствующими значениями напряжений в стенках камеры соотношениями

$$\Delta R_c = R_0 \sigma_c / E \quad \text{и} \quad (I8)$$

$$\Delta R_g = R_0^2 \sigma_g / 2\delta E, \quad (I9)$$

так что, измеряя деформацию стенки камеры и выделяя симметричную и дипольную часть, можно судить о возникающих в камере напряжениях. Измерения показали, что величина  $\Delta R_c$  соответствует ожи-

давшейся, рассчитанной по формулам (I4) и (I9), а величина дилатаций деформаций сравнима с величиной симметричных деформаций, так что  $\sigma_g \approx \sigma_c$ .

Проводились испытания нагрузок на шпильки верхнего фланца путем измерения неупругих деформаций медных шайб, имеющих насечку на одной из поверхностей. Испытания показали соответствие ожидаемых нагрузок с измеренными.

Помимо нагрузок от ударной взрывной волны на верхний фланец действует давление магнитного поля токов, протекающих по телу фланца от взрывомагнитного генератора к магниту. В результате действия именно этих сил наблюдались небольшие, накапливающиеся от взрыва к взрыву, неупругие деформации верхнего фланца, так что после нескольких взрывов с магнитным полем приходилось планировать обтекаемые током поверхности.

Опыт эксплуатации установки показал, что для сохранения внутренней поверхности стенок взрывной камеры необходимо вставлять сменные стальные пластины, прикрывающие места, наиболее разрушающиеся при взрыве.

### 7. Заключение

С разными конструкциями магнитов и генераторов на установке было проведено около 50 взрывов. В процессе эксплуатации установки был устранен ряд недостатков, допущенных при её проектировании. Так в начале работы были случаи электрического пробоя в шинах питания магнита и случаи утечки газов из взрывной камеры из-за плохой герметизации верхнего фланца. Использование комбинированной изоляции из полиэтиленовой и лавсановой пленок вместе с листовой резиной позволили добиться надежной работы установки.

Опыт работы с установкой показал возможность использования взрывного метода получения мегагауссных полей в условиях лаборатории. На установке можно производить 2-3 взрыва в сутки.

В заключение авторы приносят свою искреннюю благодарность директору Института ядерной физики СО АН СССР академику Будкеру Г.И. за разрешение проводить эту работу в стенах института, Войтенко А.Е., Демчуку А.Ф., Попову И.П. за консультации, а также Мельникову В.С. и Румянцеву В.И. за помощь при проведении экспериментов.

## Приложение

Приближенное решение уравнения (6).

Зависимость  $L(t) = L_{гн}(t) + L_{нар} + L_{и}$ , где  $L_{гн}(t)$

приведена на рис.3, на участке от 0 до 50 мксек можно аппроксимировать функцией

$$L = L_0 / (1 + kt^2), \quad (\text{П.1})$$

где  $K = 3,0 \cdot 10^8 \text{сек}^{-2}$ .

Вводя обозначения  $x = \omega_0 t = \sqrt{L_0 C} t$ ;  $\alpha = \omega_0 RC$ ,  $\rho = K / \omega_0^2$ , вместо (6) напишем

$$\phi'' + \alpha(1 + \rho x^2)\phi' + (1 + 2\alpha\rho x + \rho x^2)\phi = 0. \quad (\text{П.2})$$

Решение уравнения (П.2) будем искать в виде

$$\phi = \varphi(x) \exp\left[-\frac{\alpha}{2} \int_0^x (1 + \rho \xi^2) d\xi\right]. \quad (\text{П.3})$$

Подстановка (П.3) в (П.2) даёт

$$\varphi'' + \varphi\left[1 + \frac{\alpha^2}{4} + \rho x^2(1 + \frac{\alpha^2}{2}) + \alpha^2 \rho^2 x^4/4\right] = 0. \quad (\text{П.4})$$

Решение для  $x \leq 1$  можно искать в виде ряда

$$\varphi = \sum a_n x^n. \quad (\text{П.5})$$

Как нетрудно видеть, отличие  $a_n$  от коэффициентов разложения функции  $\sin \sqrt{1 - \alpha^2 x^2/4} / \sqrt{1 - \alpha^2/4}$  появляется только с  $a_5$ , что при  $x \leq 1$  даёт ошибку  $\leq 5\%$ .

Следовательно, для  $x \leq 1$  можно пренебречь отличием истинного решения уравнения (6) от функции

$$\phi(t) = \frac{U_0}{\omega_0} \frac{\sin \sqrt{1 - \alpha^2/4} \omega_0 t}{\sqrt{1 - \alpha^2/4}} \exp\left[-\frac{\alpha}{2} \int_0^x (1 + \rho \xi^2) d\xi\right],$$

совпадающей с (7) при  $L$  из (П.1).



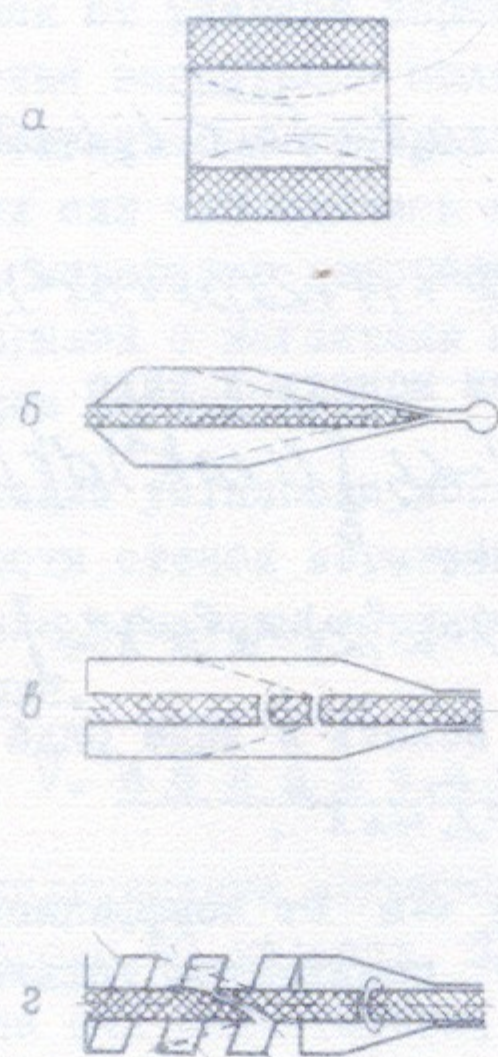


Рис.1. Типы взрывомагнитных генераторов:  
 а - цилиндрический, б - плоский, в - коакси-  
 альный, г - спиральный.

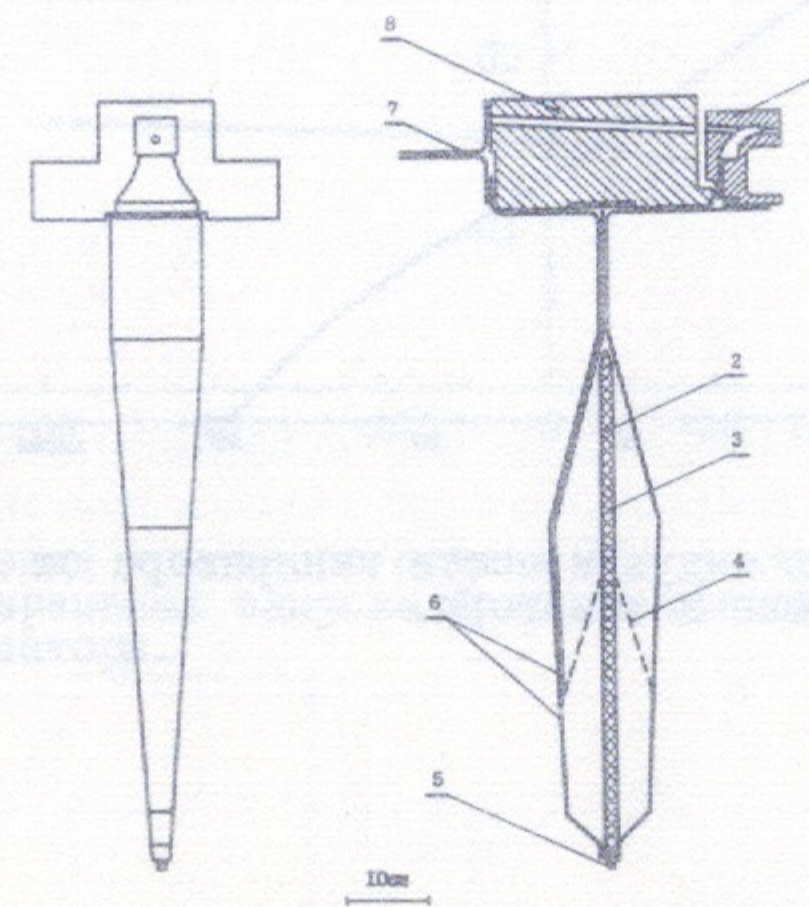


Рис.2. Взрывомагнитный генератор с нагрузкой:  
 1 - импульсный магнит, 2 - взрывчатое вещество,  
 3 - кассета, 4 - положение кассеты в момент  
 "отсечки" конденсаторной батареи, 5 - капсуль  
 электродетонатор, 6 - шины генератора, 7 - шины  
 от батареи конденсаторов, 8 - фланец.

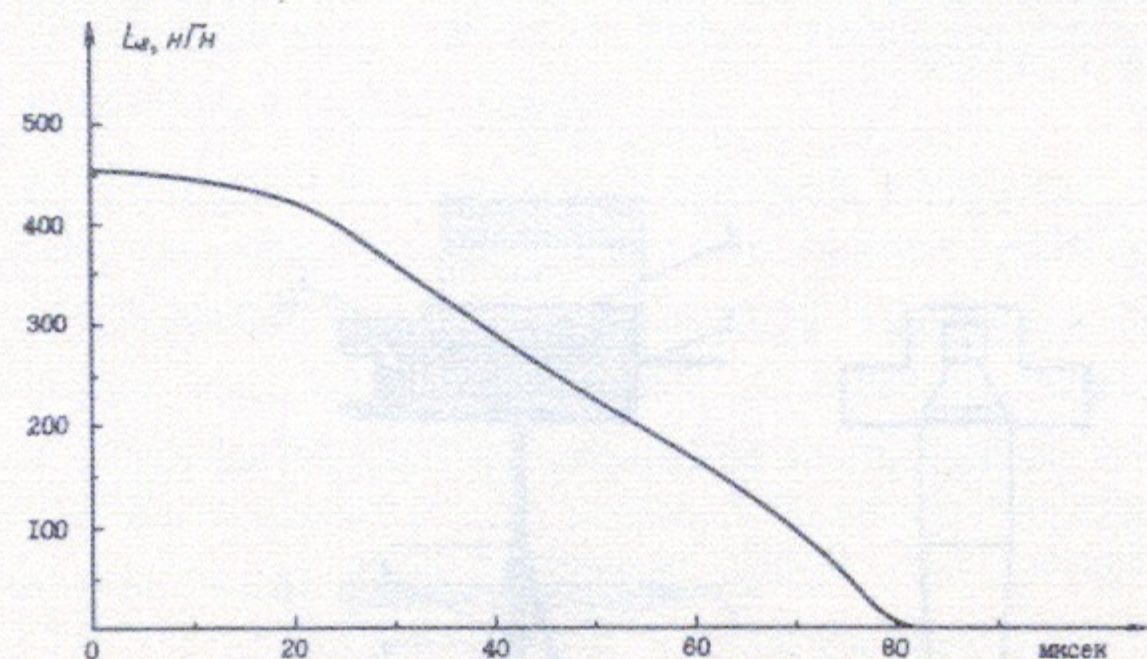


Рис.3. Зависимость индуктивности генератора от времени после подрыва детонатора.

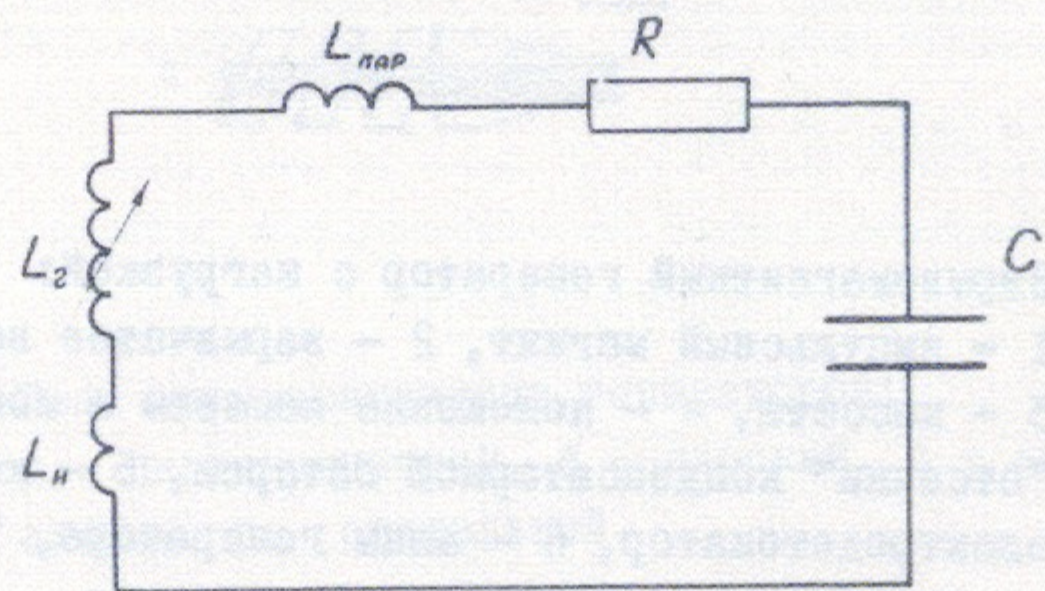


Рис.4. Эквивалентная электрическая схема разряда батареи  
 $L_{пар}$  - индуктивность батареи, ошиновки и подводов,  
 $L_2$  - переменная во времени индуктивность генератора,  
 $L_n$  - индуктивность рабочей нагрузки.

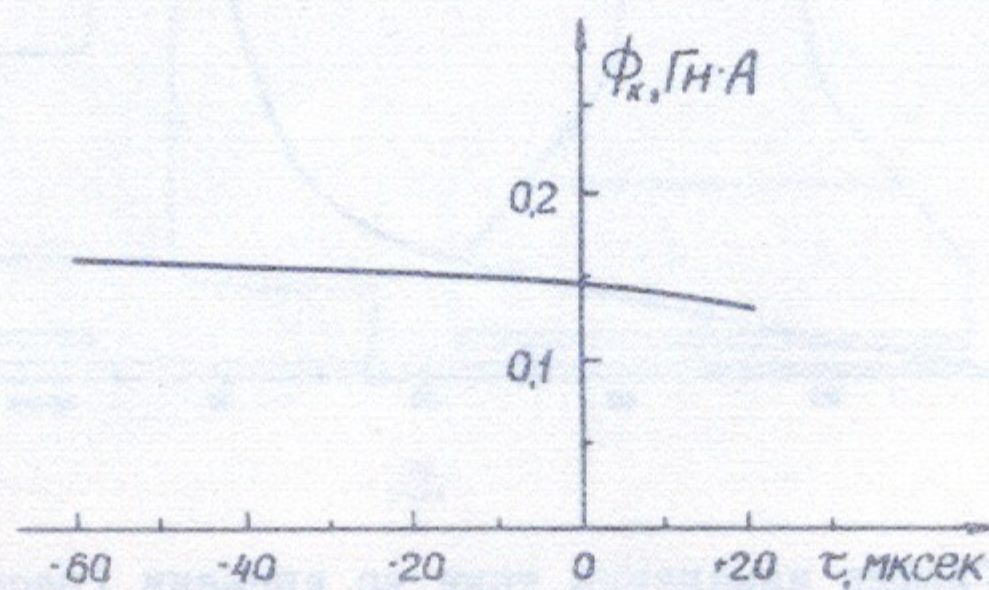


Рис.5. Значение конечного потока  $\Phi_k$  в нагрузке при различных временах запуска батареи относительно включения детонатора.

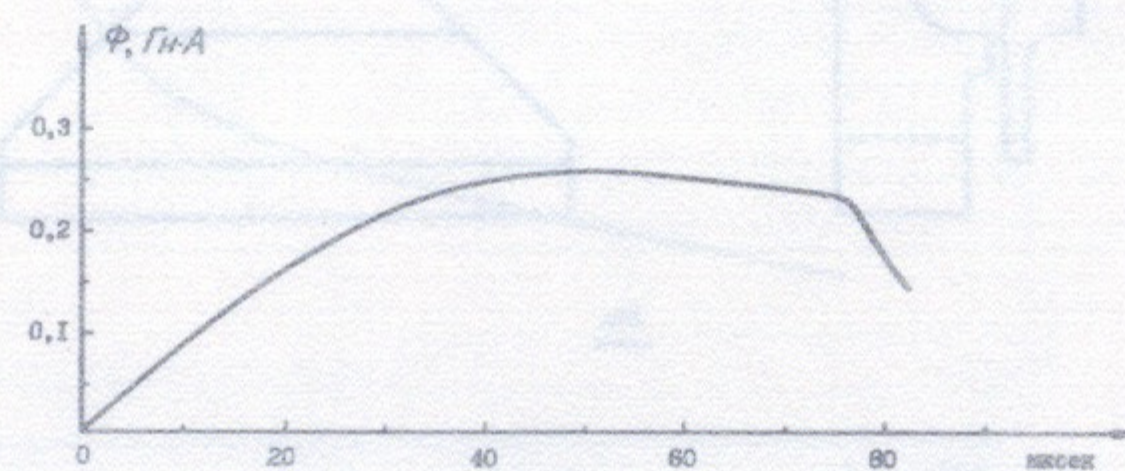


Рис.6. График изменения потока при одновременном запуске батареи и детонатора.

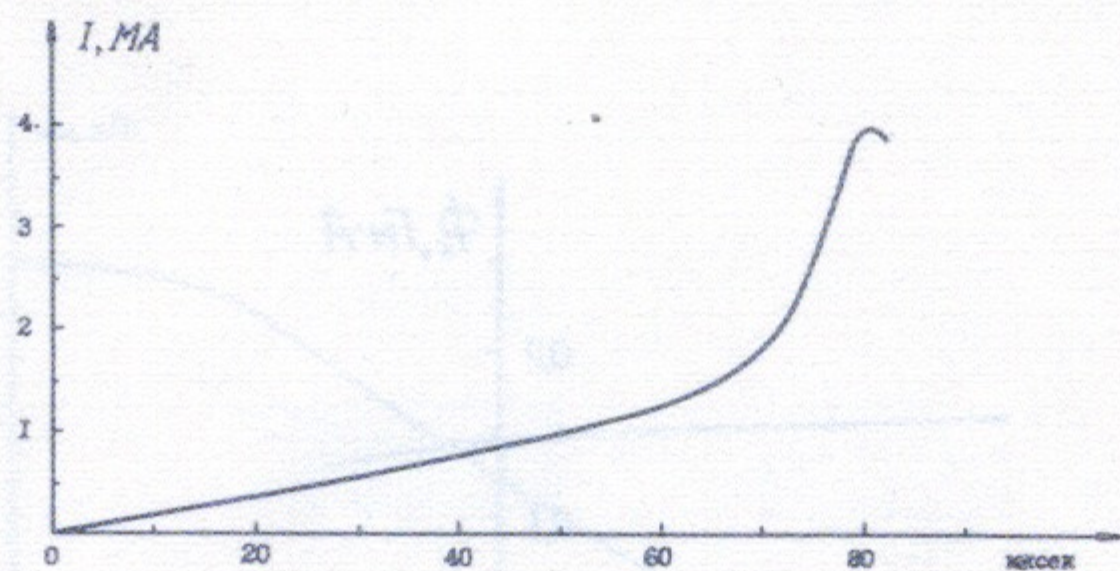


Рис.7. График изменения тока во времени (расчёт).

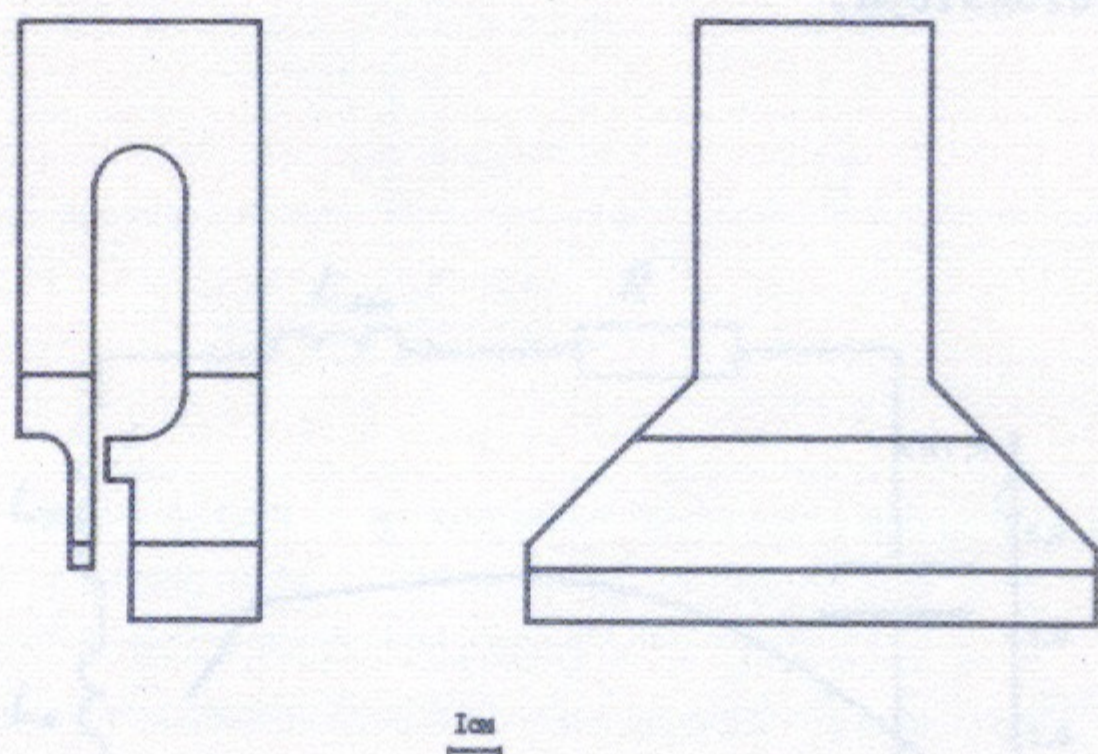


Рис.8. Импульсный магнит для эксперимента по поиску монополя Дирака.

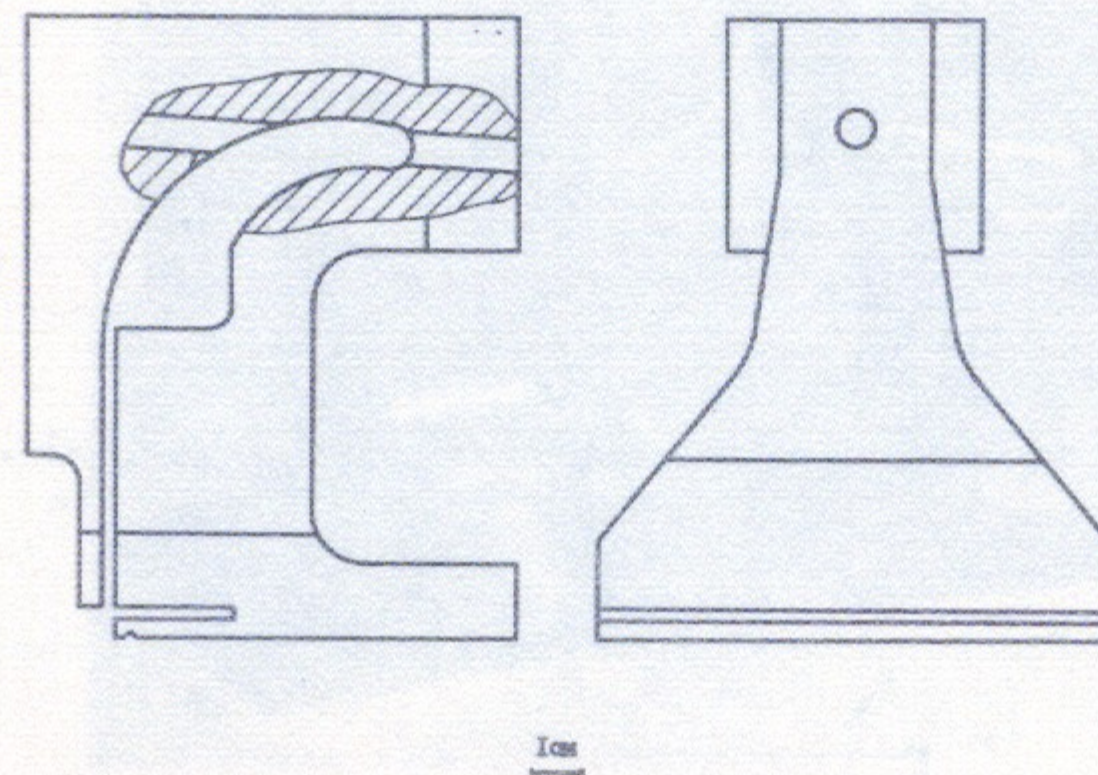


Рис.9. Импульсный магнит для эксперимента по измерению магнитного момента  $\Sigma^+$ -гиперона.

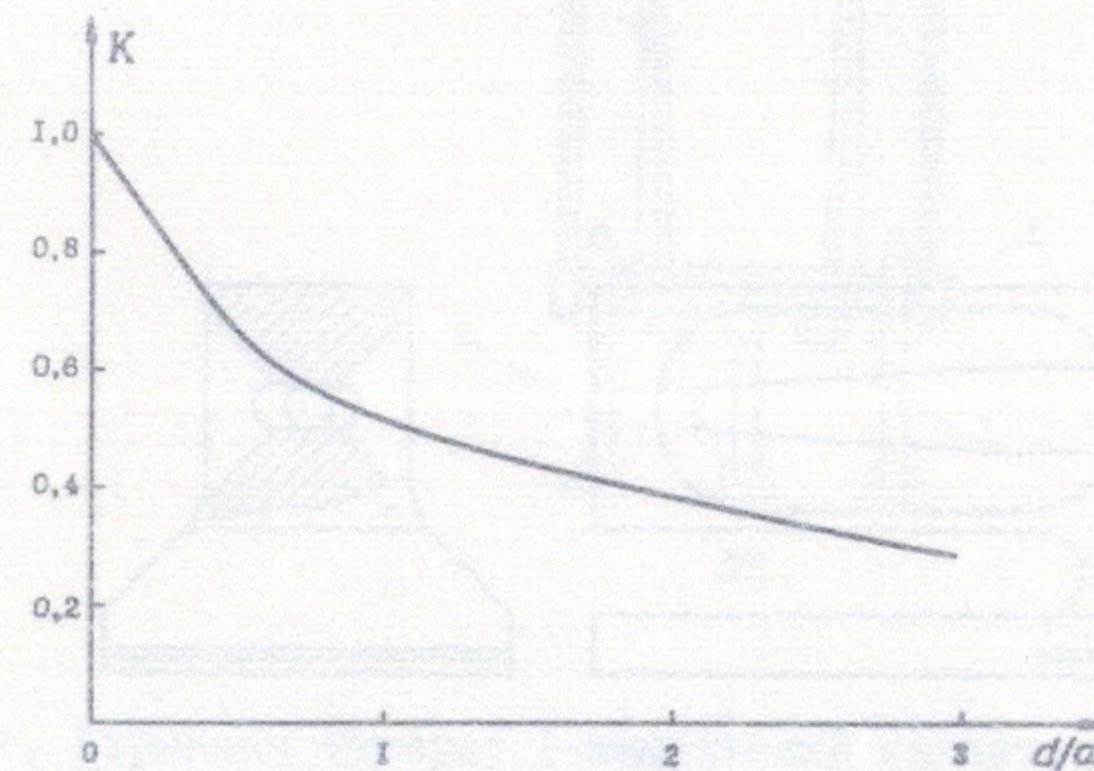


Рис.10. Зависимость  $K$  от  $d/a$ .

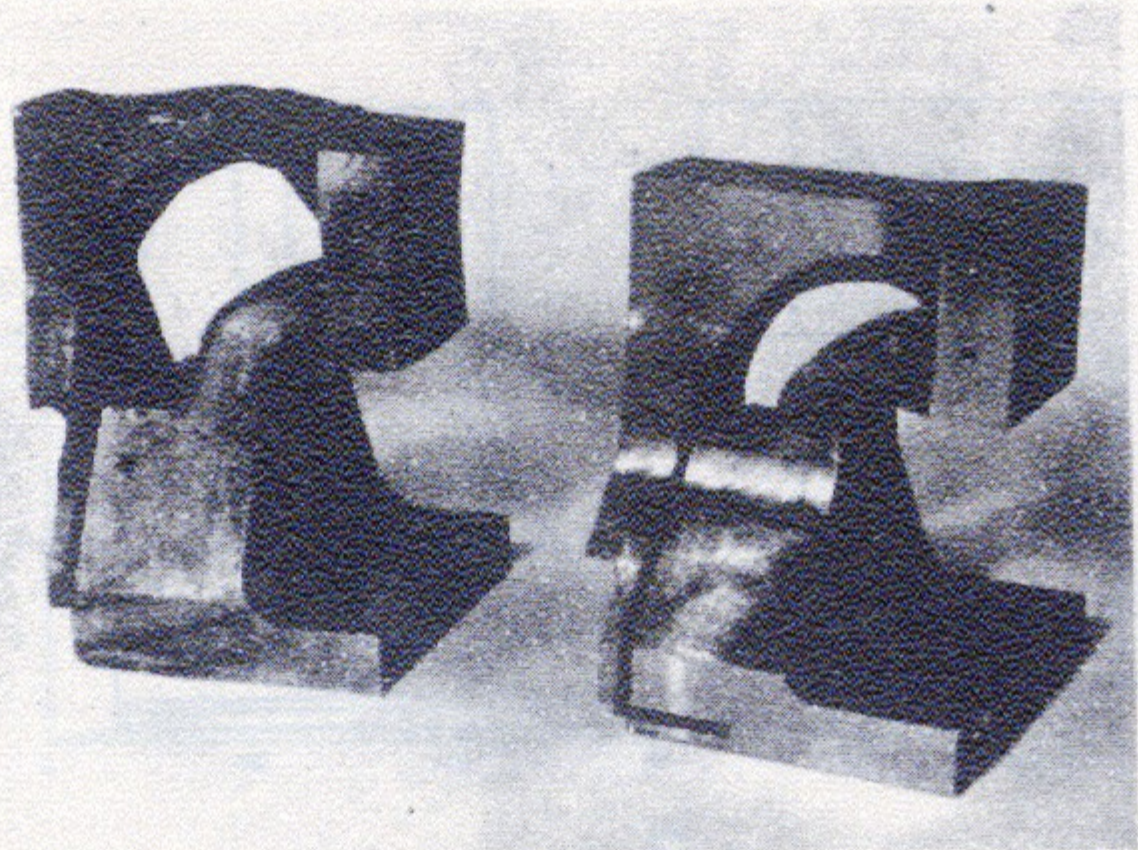


Рис. II. Фотография магнита второго типа до и после получения в нем магнитного поля 850 кГс.

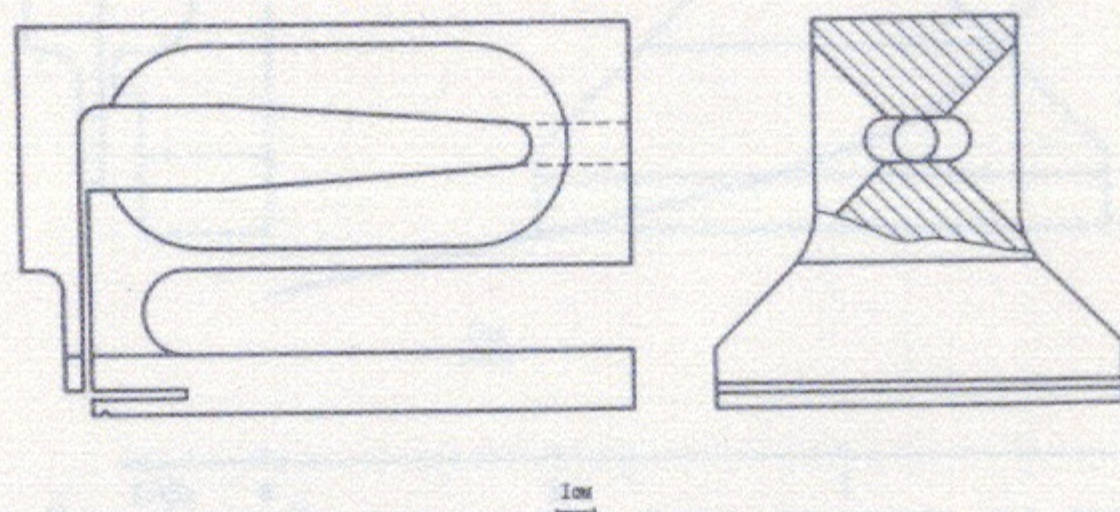


Рис. I2. Импульсный магнит для эксперимента по измерению магнитного момента  $\Lambda$ -гиперона.

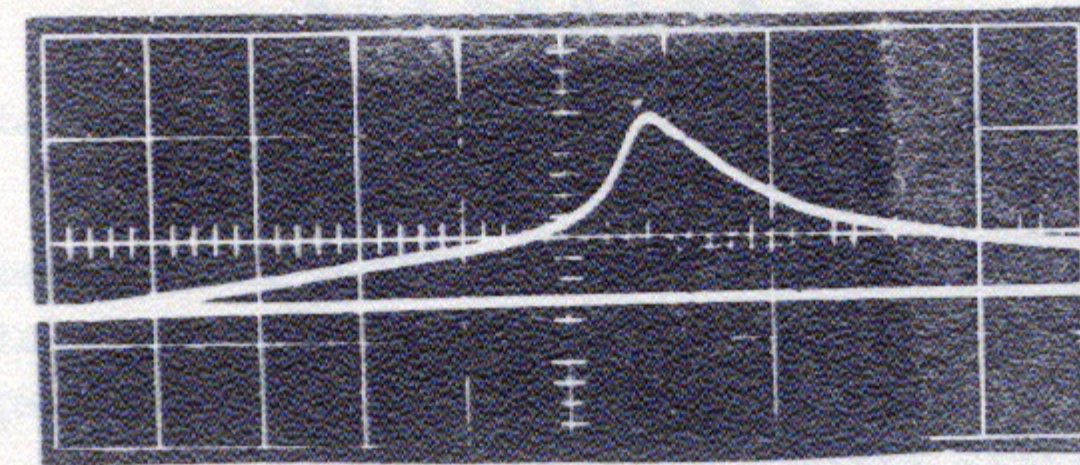


Рис. I3. Осциллограмма зависимости магнитного поля от времени для магнита второго типа.

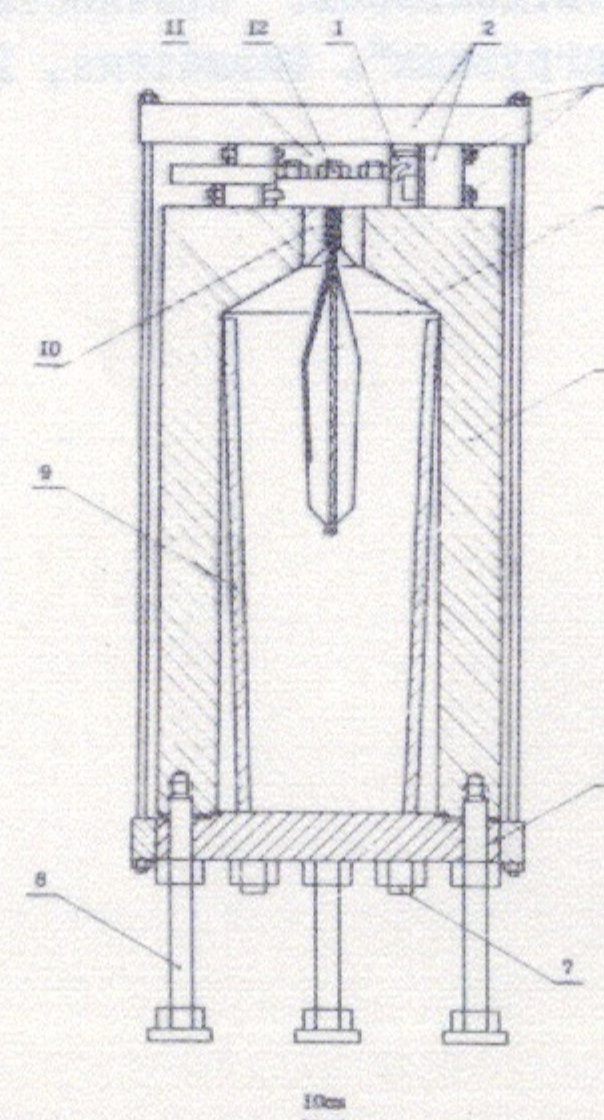


Рис. I4. Взрывная камера: I-импульсный магнит, 2-стальные брусья, 3-шпильки, крепящие стальные брусья, 4-взрывомагнитный генератор, 5-корпус камеры, 6-нижний фланец, 7-шпильки, крепящие нижний фланец, 8-опора, 9-стальные пластины, 10-вставки, 11-верхний фланец, 12-шпильки, крепящие верхний фланец.

### Л и т е р а т у р а

1. Л.М.Барков, М.С.Золоторёв, В.С.Охалкин. Межд.конф.по физике высоких энергий, Дубна, 1970, стр.603.
2. Л.М.Барков, И.И.Гуревич, М.С.Золоторёв, Л.А.Макарына, В.П.Мартемьянов, А.П.Мишакова, В.В.Огурцов, В.С.Охалкин, Н.М.Тараканов, В.Г.Тарасенков, С.Х.Хакимов, Л.А.Чернышева. ЖЭТФ, 61, 1721, 1971.
3. C.M.Fowler, W.B.Garn, R.S.Caird, *J. Appl. Phys.*, 32, 500, 1961.
4. H.Knoepfel, H.Kroegler, R.Lippel, J.van.Montfoort.*RSI*, 40, 64, 1969.
5. Х.А.Рахматулин, Ю.А.Демьянов. "Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках", Физматгиз, 1961, стр.97.

---

Ответственный за выпуск С.Н.РОДИОНОВ  
Подписано к печати 5.V-74г. МН 08281  
Усл. 1,3 печ.л., тираж 150 экз. Бесплатно.  
Заказ № 17

---

Отпечатано на ротапринтере в ИЯФ СО АН СССР