538.12

ЛЕКЦИОННЫЕ ДЕМОНСТРАЦИИ С ИМПУЛЬСНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

Если вокруг тела с электропроводностью σ достаточно быстро создать магнитное поле, последнее диффундирует в тело за малое время t лишь на некоторую глубину скин-слоя $l \simeq c\sqrt{t/4\pi\sigma}$. В результате возникновения градиента поля на тело будет действовать магнитное давление $p_m = -\nabla H^2/8\pi$. Это явление используется в плазменных ускорителях, для магнитного сжатия плазмы (пинч прямого тока, тэта-пинч). Для качественной демонстрации упомянутых магнитогидродинамических эффектов весьма удобно пользоваться металлическими проводниками, механические и электрические характеристики которых выбраны соответствующим образом.

Ниже приводятся описания демонстраций по радиальному обжатию металлической трубки импульсным магнитным полем, а также некоторых эффектов, связанных

с захватом поля трубкой. Импульсное поле создавалось при разряде конденсаторной батареи на соленоид, внутрь которого предварительно вставлялась трубка. Эксперименты первоначально проводились с трубками ⌀70—80 *мм*, спаянными из медной

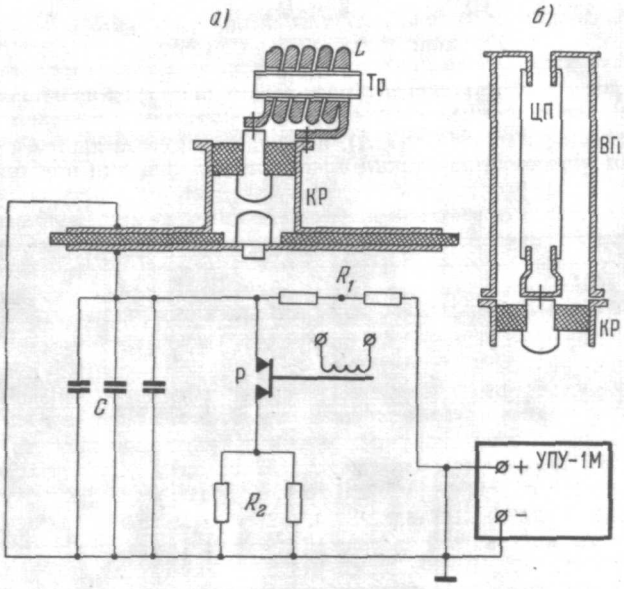

Рис. 1.

фольги толщиной 0,15 *мм*. Однако более содержательными оказались опыты с дюралюминиевыми точенными трубками меньшего диаметра. В основном использовались трубки (Тр) ⌀20 *мм* с толщиной стенки 0,7—1 *мм*. При выбранных параметрах скин-слой и толщина стенки оказываются величинами одного порядка; варьируя толщину стенки либо электропроводность, можно выделить или ослабить эффекты, связанные с диффузией магнитного поля. Если скин-слой меньше толщины стенки, то преобладает эффект чисто внешнего давления. Обжатие цилиндра происходит с характерными складками (рис. 2, *а*) благодаря потере устойчивости [1]. Утоньшение стенки приводит к значительной диффузии магнитного поля в трубку. Когда поле внутри трубки достигнет своего максимального значения и начнет спадать, возникающие индукционные токи удерживают магнитное поле внутри трубки, так что в течение некоторого времени внутреннее поле превышает внешнее, что приводит к обратному разлету стенок. Фоторегистрированием с торца трубки было установлено, что вначале происходит радиальное сжатие стенок со скоростью 200—300 *м/сек*, с последующим их разлетом. На рис. 2, *б* приведены фотографии трубок после разрушения, а на рис. 3—результаты обработки регистрограмм для толщин стенок 0,75 и 1 *мм* (горизонтальная штриховка) при начальном напряжении на конденсаторах 4,8 *кв*. Границы штриховки указывают приблизительно внутренние и внешние диаметры. Для подробного рассмотрения деформированных трубок удобно пользоваться эпидиаскопом.

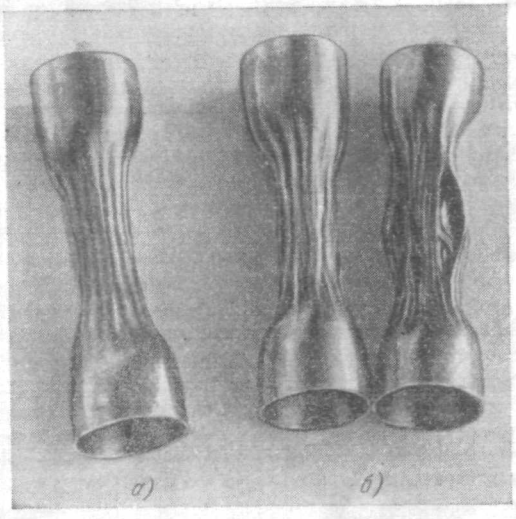

Рис. 2.

Путем осциллографирования производной тока и соответствующих расчетов были определены параметры контура без трубки. Период затухающих колебаний

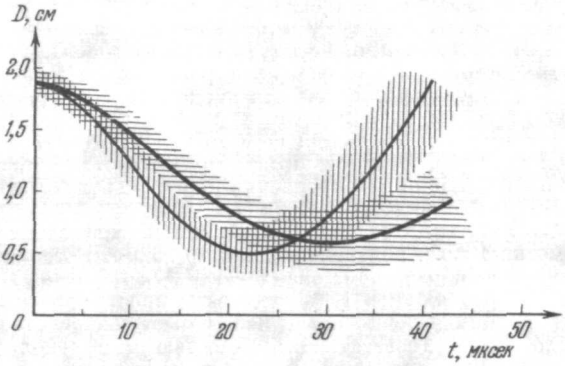

Рис. 3.

$T = 80$ *мксек* (со вставленной трубкой — 75 *мксек*), полная индуктивность $L_0 = 0{,}38$ *мкгн*, индуктивность соленоида $L = 0{,}25$ *мкгн*, емкость батареи 420 *мкф*. Амплитуда тока первого полупериода при начальном напряжении на конденсаторах 4,8 *кв* равна $I_{max} = 130$ *ка*, соответствующее поле в центре соленоида $H = 100$ *кгс*, максимальное магнитное давление $p_m \simeq 425$ *кГ/см*^{2}. Давление, действующее на вставленную в соленоид трубку, должно значительно превышать указанную величину за счет эффекта концентрации поля в начальный момент в пространстве между соленоидом и трубкой.

На установке можно также проводить опыты по обжатию проводника с прямолинейным током. Вместо соленоида устанавливается короткозамкнутый отрезок коаксиальной линии. Шесть стержней, впаянных с концов во фланец, образуют внешний коаксиальный проводник ⌀ 70 *мм* (ВП). Центральный проводник (ЦП) ⌀ 20 *мм*, подвергающийся обжатию, свернут из нескольких слоев медной фольги толщиной 0,1—0,15 *мм*; верхним концом он крепится к указанному выше фланцу, нижним — к центральному электроду разрядника (см. рис. 1, *б* и рис. 4 справа сверху). В этих опытах радиальное обжатие центрального проводника хорошо выражено лишь у мест крепления; в средней части проводника картина обычно сильно усложняется различными видами неустойчивостей, характерными для плазменных экспериментов.

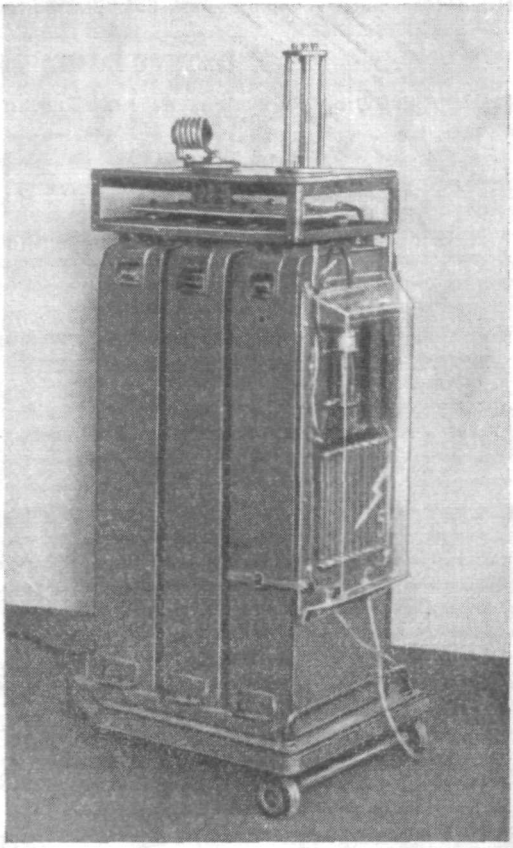

Рис. 4.

Схема установки приведена на рис. 1, *а*. C — батарея конденсаторов типа ИМ5-150, R_1—зарядное сопротивление, составлено из двух сопротивлений ПЭ-150 по 20 *ком*. Р — реле блокировочное с нормально замкнутыми контактами, переделано из реле типа КА путем разнесения контактной группы. R_2 — блокировочное сопротивление, состоит из двух параллельно включенных открытых спиралей по 40 *ом* из нихрома ⌀ 1 *мм*; конструкция отвечает требо-

ваниям необходимой надежности и возможности постоянного визуального контроля исправности R_2. Детали R_1, R_2, Р собраны на вертикальной панели, подвешенной на стенке конденсаторов и закрытой прозрачным колпаком из оргстекла (рис. 4). Ошиновка конденсаторов выполнена 4-*мм* латунными листами с прокладкой из вакуумной резины толщиной 3 *мм*. Шины стянуты сквозными болтами с изолирующими шайбами. На шинах установлен коаксиальный разрядник КР, внешний проводник которого содержит ряд продольных щелей для предотвращения разрушения ударной волной, возникающей при разряде. Зазор между внутренними электродами ∅30 *мм* может регулироваться путем перемещения верхнего электрода. Над ошиновкой установлен сварной ящик-каркас, облицованный сверху текстолитом, сбоку — оргстеклом. Ящик служит одновременно для крепления корпусов конденсаторов, для защиты высоковольтных электродов и в качестве столика.

Цельноточенный латунный соленоид содержит четыре витка сечением 0,7 × × 1,65 *см*², шаг намотки 10 *мм*, внутренний диаметр 25 *мм*. К торцам соленоида припаяны диски с отверстием и разрезом, оканчивающиеся короткими изогнутыми лапками для крепления на разряднике. В межвитковые пространства вставлены текстолитовые шайбы, внутренний рабочий объем изолирован тонкостенной винипластовой трубкой. Соленоид обладает достаточной прочностью и в дополнительной защите витков не нуждается (лишь после 30—35 разрядов было обнаружено незначительное раскручивание витков).

При экспериментах необходимо иметь в виду, что направление вдоль оси катушки является опасным, так как при сильно ассимметричном расположении трубки последняя может быть выброшена с большой скоростью.

Новосибирский государственный университет *Ф. Х. Байбулатов*

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Лаврентьев, А. Ю. Ишлинский, ДАН СССР 64, 779 (1949).