

М. И. Долотенко

МАГНИТОКУМУЛЯТИВНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ МК-1 СВЕРХСИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ



ФГУП «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»

М. И. Долотенко

Магнитокумулятивные генераторы МК-1 сверхсильных магнитных полей

Монография

Саров
2015

УДК 537.852:621.3.027.89+621.373

ББК 31.24

Д 64

Долотенко, М. И.

Д 64 Магнитокумулятивные генераторы МК-1 сверхсильных магнитных полей : монография. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2015. – 224 с., ил.

ISBN 978-5-9515-0307-7

В книге обсуждаются вопросы, связанные с разработкой и применением уникальных устройств – взрывных магнитокумулятивных генераторов сверхсильных магнитных полей. Описываются содержание и результаты многолетней работы в РФЯЦ-ВНИИЭФ по развитию предложенной А. Д. Сахаровым идеи магнитной кумуляции энергии взрывчатых веществ до уровня физического метода получения магнитных полей многомегагауссного диапазона. Приведены описания и параметры физических приборов – каскадных генераторов МК-1 10- и 20-мегагауссного диапазонов. Рассмотрены способы применения созданных приборов в систематических исследованиях в различных областях физики экстремального состояния вещества.

Книга представляет интерес для научных работников и инженеров, занимающихся исследованиями в области физики высоких плотностей энергии, использующих в своей деятельности сильные магнитные поля, а также для аспирантов и студентов старших курсов физических и энергетических специальностей.

УДК 537.852:621.3.027.89+621.373
ББК 31.24

ISBN 978-5-9515-0307-7

© ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Более шестидесяти лет назад возникла идея применения магнитной кумуляции, т. е. взрывного сжатия магнитного потока, в качестве способа преобразования химической энергии взрывчатого вещества в электромагнитную энергию сверхвысоких амплитуды и плотности. В самом общем виде этот способ реализуется в устройствах двух типов: направленный наружу взрыв используется в мощных импульсных генераторах электромагнитной энергии, а направленный внутрь взрыв (имплозия) применяется в генераторах сверхсильных магнитных полей для увеличения плотности энергии. Довольно скоро целенаправленная работа многочисленных лабораторий и исследовательских групп в различных странах мира по развитию этой идеи привела к образованию новых направлений в фундаментальной и прикладной физике – электрофизике высоких плотностей энергии и мегагауссной физики.

Все эти годы, начиная с работ одного из основоположников магнитной кумуляции, автора самого термина «магнитная кумуляция» и первых схем магнитокумулятивных (МК) генераторов А. Д. Сахарова, в РФЯЦ-ВНИИЭФ не прекращались (хотя и с переменной интенсивностью) работы по созданию, исследованию и применениям различных конструкций и типов МК-генераторов. Более сорока лет назад, студентом Московского инженерно-физического института на преддипломной практике, автор данной книги был вовлечен в работы по получению сверхсильных магнитных полей методом взрывной магнитной кумуляции и разработке генераторов МК-1 в составе группы сотрудников ВНИИЭФ под руководством будущего академика Александра Ивановича Павловского. По результатам этих работ и написана данная монография. Автор рассматривает различные варианты генератора сверхсильного магнитного поля, объединенные, во-первых, общим принципом действия – быстрым сжатием магнитного потока проводящей оболочкой-лайнером и, во-вторых, обязательным наличием источника начального магнитного поля – того самого сжимаемого магнитного потока.

Первым достижением группы под руководством А. И. Павловского в магнитной кумуляции стал многопроволочный многозаходный соленоид, способный создавать уникально высокие значения начального магнитного потока. Затем возникло, было изучено и реализовано второе важное предложение – каскадный принцип усиления магнитного поля в генераторе МК-1. К концу 1980-х гг. сотрудники группы осознали, что внесли несколько важных изменений в принцип магнитокумулятивной генерации сверхсильных магнитных полей, поняли, как реализовать их практически, создали работающую конструкцию генератора МК-1 и научились применять его в различных физических экспериментах. Наконец, непрерывные усилия по повышению амплитуды достигаемых в генераторах МК-1 магнитных полей, обобщению и анализу результатов научной деятельности группы позволили в начале 2000-х гг. окончательно

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	6
Глава I. Обзор вариантов конструкций генераторов МК-1	18
1.1. Невзрывные способы ускорения лайнера генератора МК-1	18
1.2. Магнитодинамическое сжатие потока	21
1.3. Детонация заряда ВВ во взрывном генераторе МК-1.	24
1.4. Создание начального магнитного поля	27
1.5. Лайнер генератора МК-1	37
1.5.1. Ударно-волновые лайнеры с фазовыми переходами	38
1.5.2. Металлокомпозитные лайнеры	41
Глава II. Идеологические и конструктивные основы метода воспроизводимой генерации сверхсильных магнитных полей	43
2.1. Аналитические модели магнитной кумуляции	44
2.2. Проблема воспроизводимости в мегагауссной физике	50
2.3. Принцип использования ограниченной степени сжатия магнитного потока	51
2.4. Принцип каскадирования в генераторе МК-1	53
2.5. Конструктивно-технологическое осуществление принципов	55
Глава III. Каскадный генератор МК-1	58
3.1. Однокаскадный генератор МК-1	58
3.1.1. Результаты экспериментов с измерением магнитного поля	59
3.1.2. Результаты численного моделирования однокаскадного генератора МК-1	63
3.1.3. Исследование формы и размеров оболочки однокаскадного генератора МК-1	68
3.1.4. Итоги исследования однокаскадного генератора МК-1	75
3.2. Многокаскадный генератор МК-1	77
3.2.1. Программа исследования многокаскадного генератора	77
3.2.2. Результаты экспериментов с измерением магнитного поля	78
3.2.3. Рентгенографическое исследование многокаскадного генератора МК-1	83
3.2.4. Эффекты каскадирования в генераторе МК-1	86
Глава IV. Диагностики	90
4.1. Постановка эксперимента	90
4.2. Индукционная методика измерения магнитной индукции и ее производной	94
4.3. Оптическая методика измерения магнитной индукции	97

4.4. Анализ погрешностей оптической методики измерения магнитного поля	100
4.5. Регистрация формы обжимающей оболочки	103
4.6. Погрешности временной шкалы эксперимента	107
4.7. Численная модель генератора МК-1	109
Глава V. Каскадный генератор МК-1 – инструмент физических исследований	118
5.1. Каскадный генератор МК-1 магнитных полей 10 МГц диапазона	118
5.2. Международное сотрудничество. Серии экспериментов «Дирак» и «Капица»	122
5.3. Автономный источник многомегагауссного магнитного поля	131
5.4. Управление формой импульса магнитного поля генератора МК-1	132
5.5. Устройство изэнтропического сжатия вещества давлением сверхсильного магнитного поля	137
5.5.1. Конструкция устройства изэнтропического сжатия	138
5.5.2. Динамика схлопывания трубки сжатия	140
5.5.3. Изэнтропическое сжатие изотопов водорода	145
5.6. Сохранение образцов в экспериментах с устройством сжатия на основе генератора МК-1	148
Глава VI. Каскадный генератор МК-1 магнитных полей 20 МГц диапазона	152
6.1. Большой генератор МК-1	152
6.2. Каскадная газодинамическая система ускорения лайнера	155
6.3. Конструкция и монтаж среднего генератора МК-1	157
6.4. Результаты испытаний среднего каскадного генератора МК-1	161
Глава VII. Предельные возможности взрывомагнитного метода получения сверхсильных магнитных полей	168
7.1. Исходные положения	168
7.2. Генератор МК-1 магнитных полей 10 МГц диапазона	170
7.2.1. Режим работы генератора МК-1 с малым начальным магнитным полем	171
7.2.2. Увеличение мощности ВВ	175
7.2.3. Сжатие магнитного потока давлением магнитного поля генератора МК-1	176
7.2.4. Увеличение плотности вещества композитных материалов	182
7.2.4.1. Композит из вольфрамового порошка	182
7.2.4.2. Композит из изолированных вольфрамовых проволок	190
7.3. Возможности каскадных генераторов МК-1 с большим зарядом ВВ	194
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	200
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	205

Научное издание

Долотенко Михаил Иванович

**Магнитокумулятивные генераторы МК-1
сверхсильных магнитных полей**

Редактор, корректор *Зимакова Н. Ю.*

Компьютерная подготовка оригинала-макета *Моисеева Е. В., Лештаева Н. А.*

Обложка *Соседко Е. Л.*

Подписано в печать 16.11.2015	Формат 70 × 100/16
Тираж 150 экз. Усл. печ. л. ~ 18,2	Уч.-изд. л. ~ 18,4
Печать офсетная	Заказ тип. 27-2015

Отпечатано в Издательско-полиграфическом
комплексе ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
607188, г. Саров Нижегородской обл., ул. Силкина, 23