



Доклад на семинаре Зателепина-Климова 15.04.2026

Шаровая молния и ядерный синтез

Власов Александр Николаевич*

***Д.Т.Н., профессор кафедры общей и экспериментальной физики
Рязанского государственного радиотехнического
университета им. В.Ф. Уткина**

https://vk.com/alek_vlasov

Цель доклада:

Обзор основных положений монографии «Власов, А.Н. Шаровая молния и ядерный синтез. Модель, основы теории и лабораторные опыты : монография / А.Н. Власов. – Москва : Знание-М, 2025. – 300 с.»

Электронная версия книги размещена на сайте ЛИТРЕС, в поиске набрать: Шаровая молния и ядерный синтез.

**Данная монография посвящена
проблеме шаровой молнии,
которая пока не решена
(15.04.2026).**

**Эта проблема рассматривается
учётом возможности ядерного
синтеза в шаровых молниях,
что является отличительной
особенностью предлагаемого
материала.**

А. Н. Власов

ШАРОВАЯ МОЛНИЯ И ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

**МОДЕЛЬ, ОСНОВЫ ТЕОРИИ
И ЛАБОРАТОРНЫЕ ОПЫТЫ**



Монография

**(Первая страница
обложки)**

ШАРОВАЯ МОЛНИЯ – внутреннее строение:



А.Н. Власов

Шаровая молния и ядерный синтез.

Модель, основы теории и лабораторные опыты

В монографии изложены основы теории шаровой молнии и показано, что шаровая молния – это электрический индукционный разряд в виде тороидального токового слоя с коллективизированными релятивистскими электронами и тороидальным магнитным полем внутри тороидального плазменного вихря, окруженного светящейся газопылевой оболочкой. Показано, что шаровая молния может сформироваться при электрическом искровом разряде линейной молнии, если её лидер создаёт тороидальный плазменный вихрь и через окно этого вихря происходит основной разряд линейной молнии с амплитудой тока не менее 300 кА. Проведён расчёт диапазона времён жизни тороидального токового слоя без подпитки извне – результат совпал с данными наблюдений природных шаровых молний. Дано описание электрофизической установки для получения индукционных разрядов внутри тороидальных плазменных вихрей и представлены результаты лабораторных опытов. Обоснована гипотеза о когерентно-электронном катализе реакций ядерного синтеза в тороидальном токовом слое, объясняющая высокую энергию шаровых молний и иногда наблюдаемую их радиоактивность. Продемонстрирована возможность применения теории шаровой молнии для проектирования термоядерного реактора с условным названием «Токамак-флайбэк».

Монография может представить интерес для физиков, электро- и радиоинженеров, а также для аспирантов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.



Смыслим в издательском деле!

Наши книги в Интернет-магазине www.litres.ru/logos

book-best.ru

ВК vk.com/cnzlogos

logos.book@mail.ru

ISBN 978-5-00255-453-9



9 785002 554539

В монографии изложены основы теории шаровой молнии и показано, что шаровая молния – это электрический индукционный разряд в виде тороидального токового слоя с коллективизированными релятивистскими электронами и тороидальным магнитным полем внутри тороидального плазменного вихря, окружённого светящейся газопылевой оболочкой.

Показано, что шаровая молния может сформироваться при электрическом искровом разряде линейной молнии, если её лидер создаёт тороидальный плазменный вихрь и через окно этого вихря происходит основной разряд линейной молнии с амплитудой тока не менее 300 кА.

Проведён расчёт диапазона времён жизни тороидального токового слоя без подпитки извне – результат совпал с данными наблюдений природных шаровых молний.

Дано описание электрофизической установки для получения индукционных разрядов внутри тороидальных плазменных вихрей и представлены результаты лабораторных опытов.

Обоснована гипотеза о когерентно-электронном катализе реакций ядерного синтеза в тороидальном токовом слое, объясняющая высокую энергию шаровых молний и иногда наблюдаемую их радиоактивность.

Продемонстрирована возможность применения теории шаровой молнии для проектирования термоядерного реактора с условным названием «Токамак-флайбэк».

The monograph presents the fundamentals of the theory of ball lightning and shows that ball lightning is an electrical inductive discharge in the form of a toroidal current layer with collectivized relativistic electrons and a toroidal magnetic field inside a toroidal plasma vortex surrounded by a luminous gas-dust shell.

It has been shown that ball lightning can be formed during an electric spark discharge of ordinary lightning if its leader creates a toroidal plasma vortex and the main discharge of ordinary lightning with current amplitude of at least 300 kA occurs through the window of this vortex.

A calculation of the lifetime range of a toroidal current layer without external feeding was carried out; the result coincided with observational data of natural ball lightning.

A description of an electro physical installation for obtaining inductive discharges inside toroidal plasma vortices is given, and the results of laboratory experiments are presented.

The hypothesis of coherent-electron catalyzed fusion in a toroidal current layer is substantiated, explaining the high energy of ball lightning and their sometimes-observed radioactivity.

The possibility of using the theory of ball lightning for the design of a thermonuclear reactor with the provisional name "Tokamak-flyback" has been demonstrated.

Глава 1. Введение. Цели и задачи монографии

- **Основная цель монографии** состоит в изложении основ теории шаровой молнии, причём так, чтобы допускалась экспериментальная проверка теоретических результатов, и чтобы можно было ответить на следующие вопросы:
- 1) Какова внутренняя структура шаровой молнии?
- 2) При каких условиях шаровая молния может сформироваться?
- 3) Могут ли шаровые молнии быть радиоактивными?
- 4) Как объясняются наблюдаемые свойства шаровой молнии?

Задачи, связанные с описанием рождения, жизни и распада шаровой молнии рассматриваются в монографии вначале на качественном уровне, а количественное рассмотрение с выводом соответствующих формул вынесено в теоретическую часть.

Глава 1. Введение. Цели и задачи монографии

Вспомогательной целью монографии является демонстрация возможности использования теории шаровой молнии для проектирования термоядерного реактора с условным названием «Токамак-флайбэк».

Это название составлено в виде аббревиатуры от слов *тороидальная камера, магнитные катушки*, и термина «*флайбэк (flyback)*», обозначающего обратногоходовой способ передачи энергии в силовой электронике.

Задачей здесь является доказательство работоспособности термоядерного реактора на основе патента СССР № 1830231 с приоритетом 28.03.1991.

Глава 1. Введение. О проблеме шаровой молнии

- О шаровой молнии слышали практически все. Некоторые видели её своими глазами, а в последнее время много видео появилось интернете.
- Шаровая молния представляет собой природное явление, связанное с грозovým электричеством.
- Шаровые молнии наблюдались как долгоживущие светящиеся объекты (ДСО), форма в большинстве случаев – близкая к сферической, время жизни – от единиц секунд до нескольких минут.
- 1838 год принято считать годом постановки научной проблемы шаровой молнии (Доминик Франсуа Араго).

Глава 1. Введение. Наблюдения явления шаровой молнии



Глава 1. Введение. О проблеме сортировки наблюдательных данных

Первичный источник информации о свойствах шаровой молнии – это данные наблюдений очевидцев этого природного явления.

Однако не исключено, что очевидцы воспринимали в качестве шаровой молнии не только сами шаровые молнии, но и объекты с другой физической природой, похожими на шаровую молнию, но таковыми не являющимися.

Не исключены также фальсификации.

Глава 1. Введение. О проблеме сортировки наблюдательных данных

Поэтому понятие «объект в явлении шаровой молнии» (объект ЯШМ) и понятие «шаровая молния» нельзя считать эквивалентными, первое из них имеет более широкое содержание и включает в себя второе.

Следовательно, весь массив данных наблюдений шаровых молний, приведенный во многих источниках, характеризует свойства наблюдаемых объектов в Явлении Шаровой Молнии (**объектов ЯШМ**), а не только Шаровую Молнию (**ШМ**) как базовый объект этого явления с определённой физической природой (которая будет установлена далее).

Глава 1. Введение. Об общем характере физической природы шаровой молнии

Существует две точки зрения на общий характер физической природы шаровой молнии:

точка зрения С. Сингера о множественном характере физической природы шаровой молнии,

и точка зрения И.П. Стаханова, заключающаяся в том, что шаровая молния представляет собой единое явление с одной физической природой.

Глава 1. Введение. Об общем характере физической природы шаровой молнии

Придерживаемся точки зрения И.П. Стаханова, и полагаем, что в природе существует единственный физический объект, являющийся «настоящей шаровой молнией» или просто **шаровой молнией**.

Другие объекты явления шаровой молнии (ЯШМ) могут быть лишь внешне похожи на шаровую молнию, но на самом деле шаровыми молниями не являются. Можно условно выделить два вида таких объектов и назвать их условно: **«шаровая квази-молния»** и **«шаровая псевдо-молния»**.

Глава 1. Введение. Об общем характере физической природы шаровой молнии

Критерием классификации объектов ЯШМ служит плотность электромагнитной энергии:

Шаровая молния – плотность на уровне 10^5 Дж/м³.

Шаровая квази-молния – плотность $< 10^5$ Дж/м³.

Шаровая псевдо-молния – нет электромагнитной энергии.

Что касается **шаровых квази-молний** и **шаровых псевдо-молний**, то они в данной монографии не анализируются, хотя, вполне возможно, они заслуживают отдельных исследований и не исключено, что в результате этих исследований могут сформироваться новые научные направления.

На основе статистической обработки данных наблюдений природного явления шаровой молнии (ЯШМ) возможно конструирование базового объекта этого явления – **шаровой молнии**.

Наблюдательные свойства шаровой молнии следующие:

Глава 1. Введение. Наблюдательные свойства шаровой молнии

1. Характерный линейный размер – 28 ± 4 см;
2. Корреляция с электрическими явлениями – 70% шаровых молний наблюдалось в грозовую погоду;
3. Время жизни – $10^{0,95 \pm 0,25}$ с;
4. Распад – в 50 ± 20 % случаев конец шаровой молнии сопровождается взрывом, в остальных случаях – медленное погасание или распад на части;
5. Скорость перемещения – 4 ± 1 м/с;
6. Энергия шаровой молнии – $10^{1,3 \pm 0,2}$ кДж;
7. Плотность энергии – $10^{0,7 \pm 0,5}$ Дж/см³;
8. Световой поток – 1400^{+800}_{-600} лм;
9. Цвет (относительная вероятность наблюдения указанного цвета) – белый (24 ± 2 %), жёлтый (24 ± 2 %), красный (18 ± 2 %), оранжевый (14 ± 2 %), голубой и фиолетовый (12 ± 1 %), и другие <8 %.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Представленная далее физическая модель шаровой молнии была впервые опубликована в научно-популярной форме в 1992 году (журнал «Техника-Молодёжи, №9»), а основные научные положения, лежащие в основе этой модели, были опубликованы в 1990 году (ЖЭТФ, 1990, Т. 97, вып. 2. С. 468-475).

Важными ориентирами для конструирования моделей шаровой молнии являются критерии Никитина: чем не может и может быть шаровая молния.

Чем не может быть шаровая молния:

- R1) Объектом, непрерывно получающим энергию от внешнего источника;
- R2) Плазмой, удерживаемым собственным магнитным полем;
- R3) Объектом с запасом химической энергии, плотность которого равна плотности воздуха;
- R4) Объектом, состоящим из заряженных частиц пыли или аэрозоля;
- R5) Объектом, хранящим энергию в виде равновесно-возбужденных атомов и молекул;
- R6) Объектом, имеющим внутри себя свободные электроны;
- R7) Облаком газа, нагретым до высокой температуры.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Чем может быть шаровая молния:

- L1) Она должна быть автономным объектом, запасаящим энергию внутри себя и расходуящим её на излучение;
- L2) Её энергия должна храниться в виде кинетической энергии составляющих частиц, в электромагнитном поле, в виде ядерной энергии или в виде неоткрытых форм энергии;
- L3) Она должна иметь внутри себя разделённые электрические заряды и, возможно, обладать некомпенсированным зарядом;
- L4) Вещество шаровой молнии должно обладать поверхностным натяжением или должна иметься сторонняя сила, направленная к центру шара, удерживающая это вещество в пределах ограниченного объёма;
- L5) Излучение шаровой молнии должно быть неравновесным;
- L6) Принцип устройства всех шаровых молний должен быть одинаковым.

Постулат о феномене шаровой молнии (постулат Григорьева):

***«Шаровая молния – это
электроразрядный феномен».***

Сформулированный постулат не запрещён критериями Никитина, что позволяет далее использовать его в качестве основы для разработки физической модели шаровой молнии.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Эвристическая лемма № 1:

«Электроразрядный феномен шаровой молнии – это индукционный разряд».

Доказательство.

Из постулата Григорьева следует, что шаровая молния – это одна из разновидностей электрического газового разряда. Существует две категории газовых разрядов: разряд *E*-типа, когда электрическое поле замыкается на электродах, и разряд *H*-типа (индукционный разряд), когда электрическое поле замыкается внутри плазмы. Разряд *H*-типа не требует электродов. Шаровая молния, согласно критерию Никитина R_1 , не может получать энергию извне и не может иметь электродов, т.е. не может быть разрядом *E*-типа.

Следовательно, электроразрядный феномен шаровой молнии – это *газовый разряд H-типа – индукционный разряд*.

Эвристическая лемма № 2:

«Индукционный разряд в шаровой молнии – это импульсный индукционный разряд».

Доказательство.

Индукционный разряд может происходить благодаря вихревому электрическому полю, возникающему в проводящем контуре при изменении магнитного потока.

Категория индукционных разрядов включает два вида – это высокочастотные (ВЧ) и импульсные разряды.

Индукционный ВЧ разряд, который П.Л. Капица принял в качестве электроразрядного феномена в своей модели шаровой молнии не удовлетворяет критерию Никитина R1 (должен иметь подпитку извне). Поэтому *индукционный разряд в шаровой молнии может быть только импульсным.*

Глава 2. Модель шаровой молнии

Разрядные каналы линейной и шаровой молний

Как следует из постулата Григорьева и лемм № 1 и № 2, электроразрядный феномен шаровой молнии – это импульсный индукционный газовый разряд, в котором линии электрического поля замкнуты внутри плазмы (разряд H -типа).

Отметим, что линейная молния – это тоже электроразрядный феномен, он представляет собой искровой разряд, являющийся импульсным газовым разрядом E -типа – линии электрического поля замкнуты на электроды. Роль электродов выполняют грозовые облака и поверхность земли, на которые замыкаются линии электрического поля в плазме канала линейной молнии.

Таким образом, электроразрядные феномены природных молний (как линейной, так и шаровой) представляют собой импульсные газовые разряды, относящиеся к двум различным категориям, а именно:

- линейная молния – это импульсный разряд E -типа,
- шаровая молния – это импульсный разряд H -типа.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Линейные молнии играют ключевую роль в рождении шаровых молний.

Разрядный канал линейной молнии

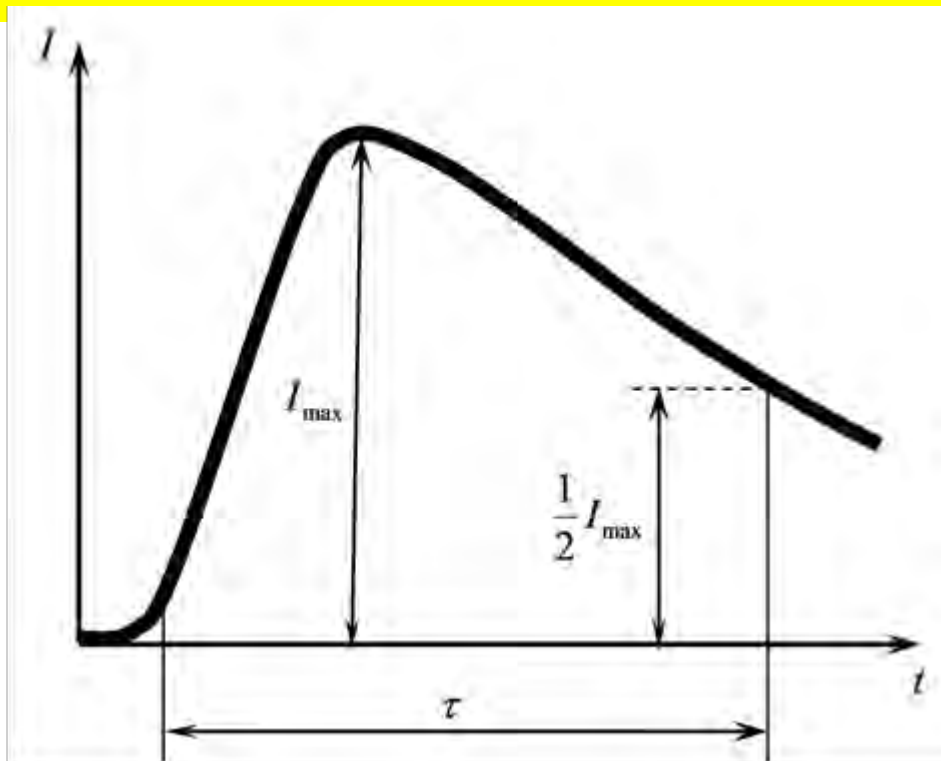
представляет собой извилистый плазменный шнур в свободной атмосфере, соединяющий два облака, или одно из облаков с землёй.

Существует два вида разрядов линейной молнии на землю: отрицательный и положительный.

Отрицательный разряд молнии происходит из нижних и средних областей облака, которые имеют отрицательный заряд, а положительный – из верхних областей, которые заряжены положительно.

В количественном отношении положительные разряды происходят примерно в 10 раз реже, чем отрицательные.

Глава 2. Модель шаровой молнии



На рисунке показана типичная зависимость тока I от времени t в разрядном канале линейной молнии.

Важнейшей характеристикой линейной молнии является максимальное значение тока $I_{\max}$, часто называемое просто током молнии. Токи разряда отрицательной полярности могут достигать значений 200 кА, а токи положительной полярности могут быть существенно больше, чем при отрицательной полярности, они могут достигать величины 400 кА. Крайне редко они могут быть и в 2–3 раза больше.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Важным параметром линейной молнии является длительность импульса тока τ . Типичные длительности импульсов тока составляют: для импульса тока отрицательной молнии – до 80 мкс, для импульса тока положительной молнии – до 230 мкс.

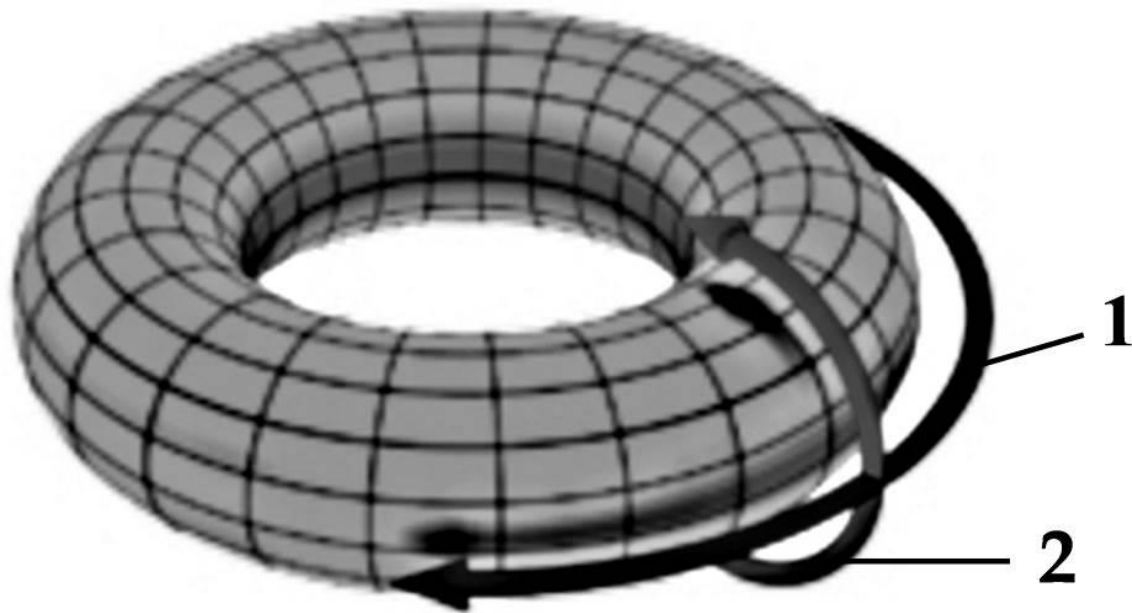
Всего в развитии линейной молнии, можно выделить три стадии:

- Стадия лидеров: диаметр канала – примерно 10 см, температура газов в канале – до 25 000 К, сила тока – примерно 4 кА, длительность импульса – до 10 мс.
- Стадия возвратного удара: диаметр канала – примерно 10 см, температура плазмы в канале – до 30 000 К, силы тока и длительности импульса для отрицательных и положительных молний указаны выше.
- Финальная стадия: диаметр канала – до нескольких метров, температура газа в канале – от 4000 до 6000 К, сила тока – примерно 100 А, длительность фронта спада – до 1,5 с.

Глава 2. Модель шаровой молнии

В отличие от линейной молнии в шаровой молнии линии электрического поля должны быть замкнуты внутри плазмы, и поэтому **разрядный канал шаровой молнии** тоже должен быть замкнутым.

В общем случае разрядный канал шаровой молнии может представлять собой тороидальную оболочку (типа бублика):



*На рисунке показана
тороидальная
оболочка:*

*1 – тороидальное
направление,
2 – полоидальное
направление.*

Глава 2. Модель шаровой молнии

В свободной атмосфере разрядный канал шаровой молнии в виде тороидальной оболочки существовать не может, он неустойчив: токи тороидального направления создают полоидальное магнитное поле, которое стремятся неограниченно расширить бублик, а токи полоидального направления создают тороидальное магнитное поле, которое наоборот, стремятся неограниченно сжать бублик.

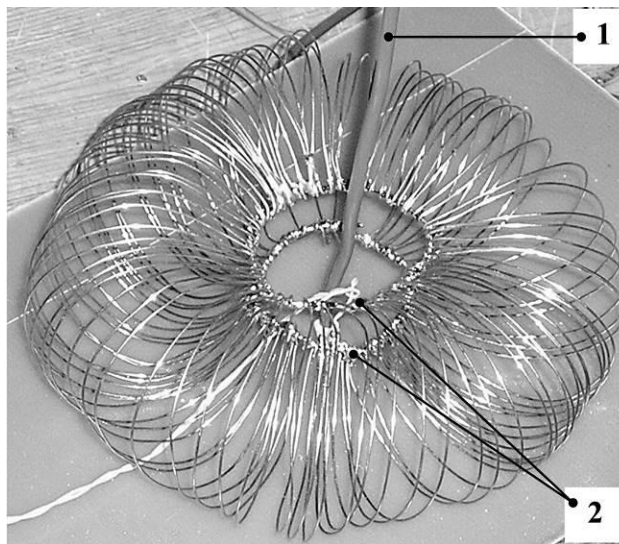
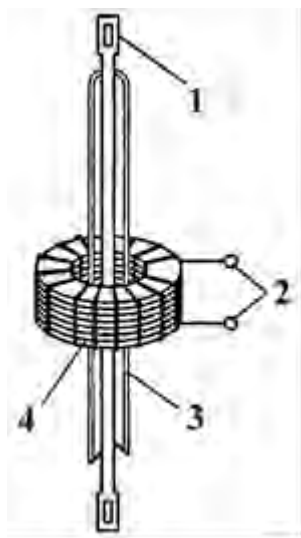
Поэтому необходим стабилизирующий физический объект, и как показано в работе таким объектом способен быть **тороидальный плазменный вихрь.**

Таким образом, разрядный канал шаровой молнии представляет собой токопроводящую оболочку тороидального плазменного вихря. Эта оболочка способна находиться не только на поверхности тороидального плазменного вихря, но также может диффундировать внутрь вихря, как будет показано далее.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Передача энергии от линейной молнии к шаровой молнии через виртуальный проходной трансформатор тока

В такого типа трансформаторах первичная обмотка представляет собой шину, проходящую через окно тороидально сердечника, на котором размещена вторичная обмотка.



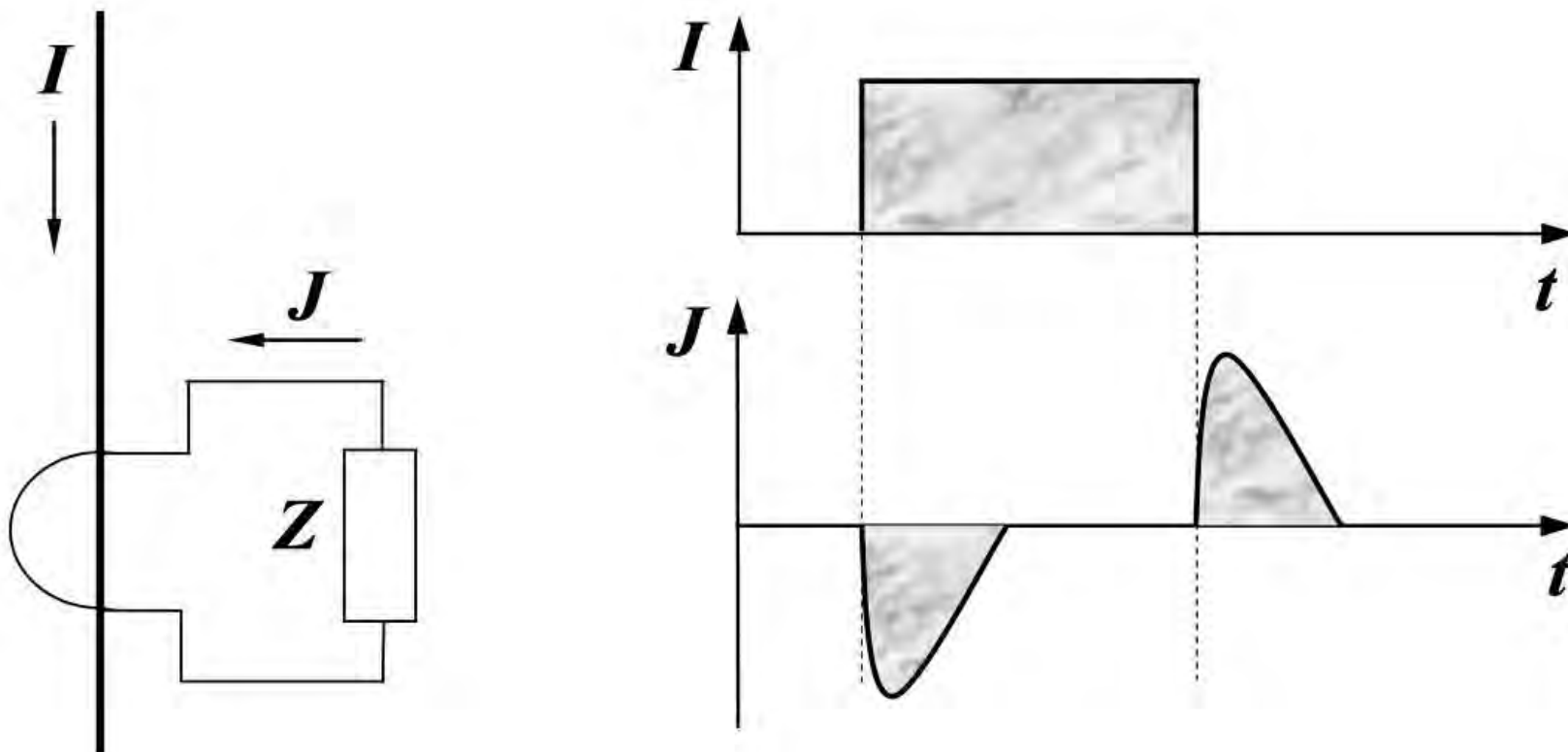
Проходной трансформатор тока и лабораторный макет виртуального проходного трансформатора тока: 1 – шина и толстый провод, моделирующий разрядный канал линейной молнии, 2 – зажимы вторичной обмотки и набор параллельных витков, моделирующих разрядный канал шаровой молнии, 3 – изолирующий цилиндр; 4 – ферромагнитный сердечник (позиций 3 и 4 нет в лабораторном макете). 30

Глава 2. Модель шаровой молнии

Рассмотрим ситуацию, когда разрядный канал линейной молнии проходит через окно тороидального плазменного вихря. В этом случае (с точки зрения электротехники) канал линейной молнии можно рассматривать как первичную обмотку **виртуального проходного трансформатора тока** (кратковременно существующего), в котором вторичная обмотка — это токопроводящая оболочка тороидального плазменного вихря (один виток). Нагрузкой при этом служит сопротивление токопроводящей оболочки.

При этом ферромагнитный сердечник отсутствует, поэтому магнитные потоки, создаваемые первичной и вторичной обмотками, связаны относительно слабо. В результате при проходе однополярного импульса тока I через провод 1 нагрузка Z воспринимает ток J в виде двух разнополярных импульсов, соответствующих переднему и заднему фронтам импульса тока I (см. рисунок на следующем слайде).

Глава 2. Модель шаровой молнии



На рисунке приведена принципиальная электрическая схема виртуального проходного трансформатора тока и идеализированные эпюры токов в лабораторном макете: I – моделируемый ток линейной молнии, J – моделируемый ток шаровой молнии, Z – сопротивление разрядного канала шаровой молнии, t – время.

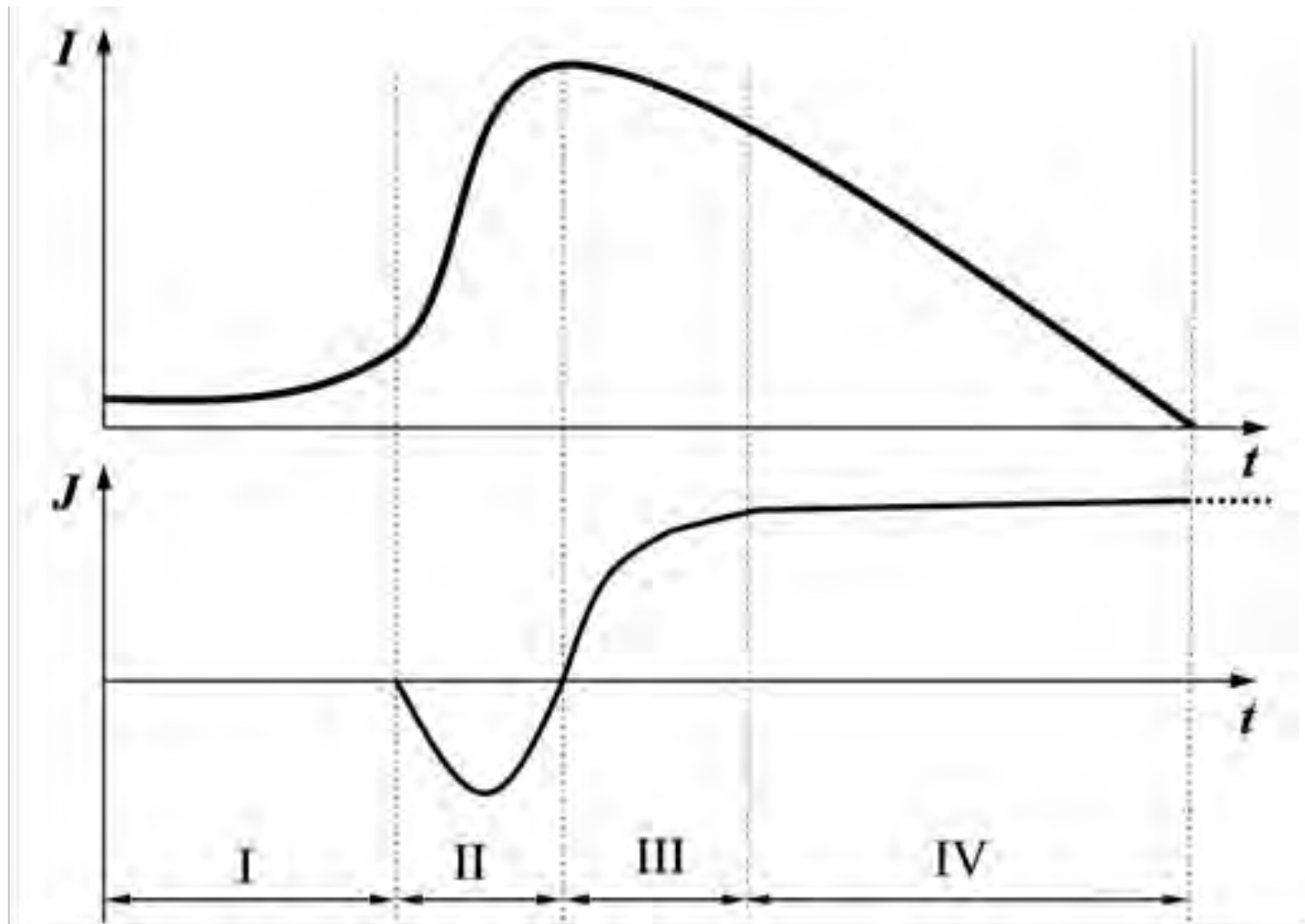
Процесс рождения шаровой молнии

может быть условно разделён на четыре этапа:

- **Этап I** – начальный этап, на котором происходит формирование тороидального плазменного вихря.
- **Этап II** – следующий этап, на котором происходит формирование тороидальной токовой оболочки на поверхности тороидального плазменного вихря.
- **Этап III** – дальнейший этап, на котором тороидальная токовая оболочка диффундирует внутрь тороидального плазменного вихря благодаря выкачиванию плазмы изнутри оболочки.
- **Этап IV** – заключительный этап, на котором происходит генерация тока ускоренных (убегающих) электронов и формируется тороидальный токовый слой с коллективизированными релятивистскими электронами.

Глава 2. Модель шаровой молнии

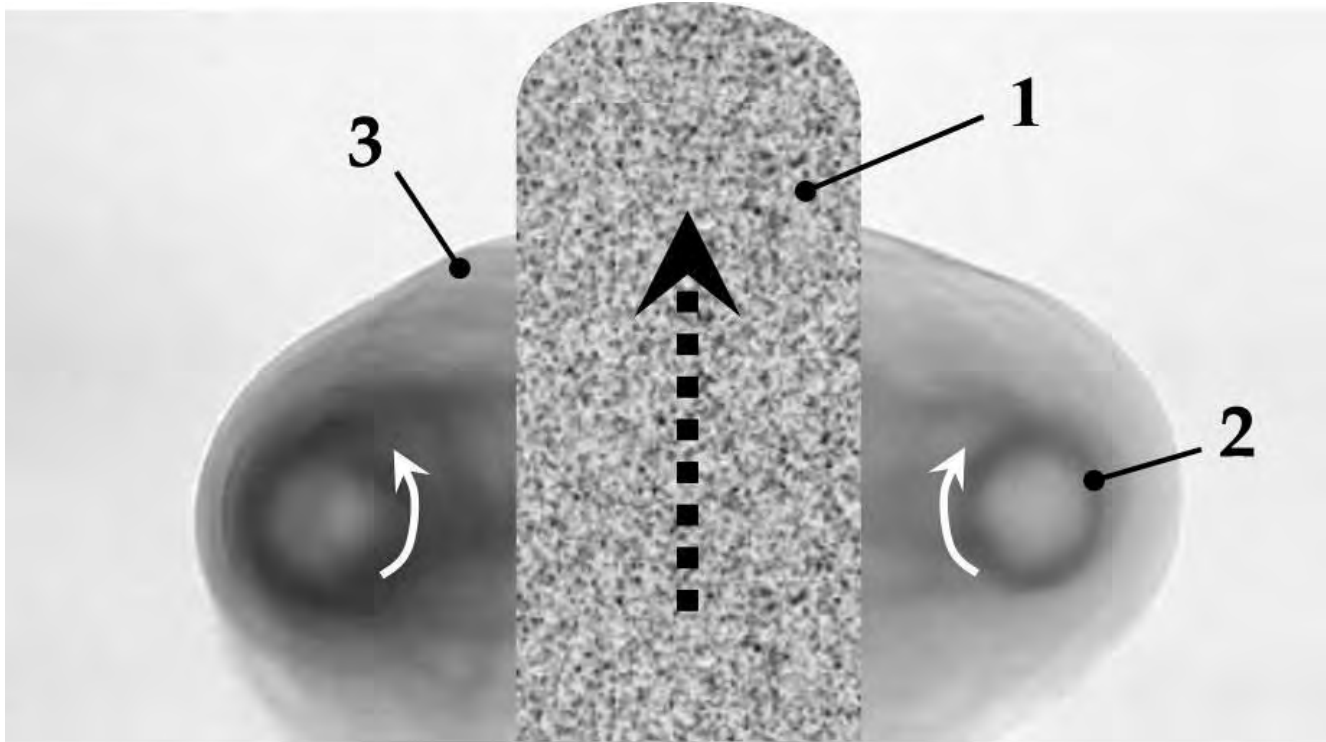
Идеализированные эпюры токов молний показаны на рисунке.



Этапы I, II, III, IV формирования шаровой молнии: I – ток линейной молнии, J – ток шаровой молнии, t – время

Глава 2. Модель шаровой молнии

Этап I: формирование тороидального плазменного вихря



На рисунке проиллюстрирован этап I: 1 – прорастающий лидер линейной молнии, 2 – формируемый тороидальный плазменный вихрь, 3 – газопылевая оболочка, стрелками показано направление вращения плазмы

Глава 2. Модель шаровой молнии

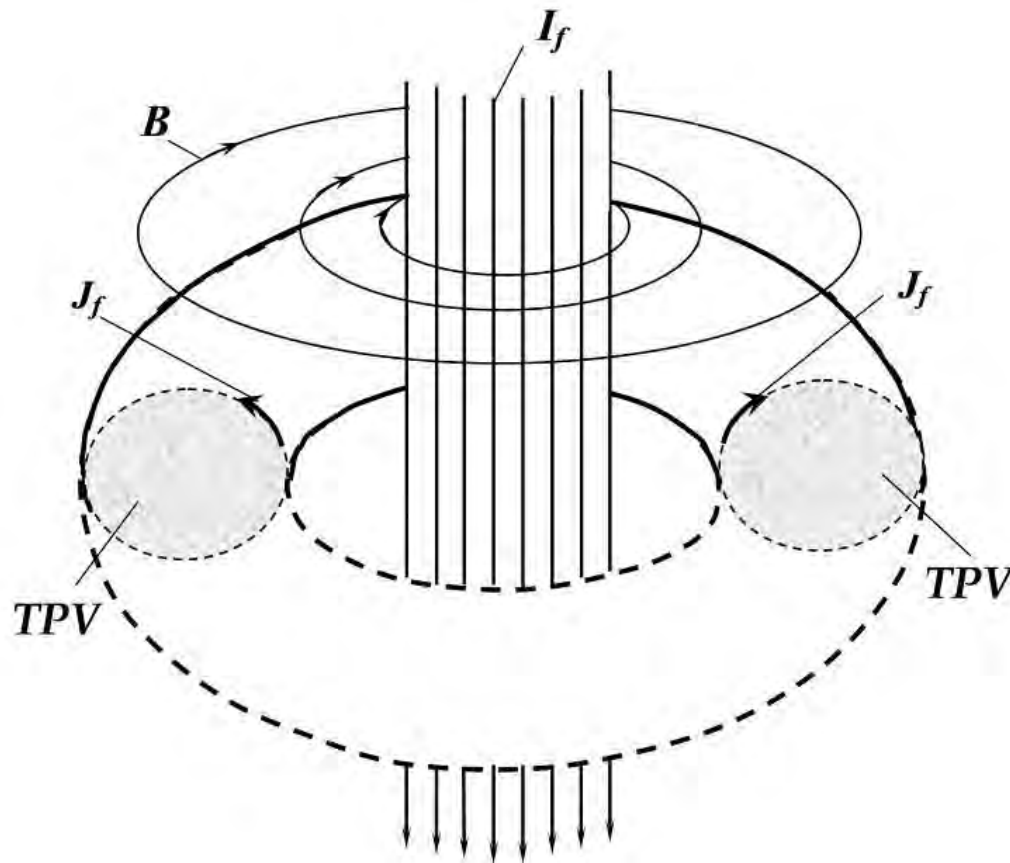
Этап II: формирование тороидальной токовой оболочки.

После прорастания и соединения лидеров образуется разрядный канал линейной молнии, который проходит через окно тороидального плазменного вихря.

В этом случае растущий ток линейной молнии создаёт возрастающее магнитное поле, которое порождает полоидальное вихревое электрическое поле внутри тороидального плазменного вихря. Это поле вызывает полоидальный разрядный ток подобно процессам, происходящим в проходных трансформаторах тока.

Напряжённость полоидального вихревого электрического поля линейно увеличивается по мере отдаления от внутренней кольцевой оси. Поэтому разрядный ток в тороидальном плазменном вихре сосредотачивается на его поверхности, образуя тороидальную токовую оболочку (см. рисунок на следующем слайде).

Глава 2. Модель шаровой молнии



Этап II: *TPV* – тороидальный плазменный вихрь, I_f – возрастающий ток линейной молнии, B – магнитное поле, создаваемое током линейной молнии, J_f – ток в тороидальной токовой оболочке на поверхности вихря.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Следует отметить следующие особенности этапа II:

- Направление тока в тороидальной токовой оболочке противоположно направлению тока линейной молнии;
- Магнитное поле, создаваемое тороидальной токовой оболочкой, направлено против магнитного поля линейной молнии, в результате магнитное поле внутри токовой оболочки слабее, чем снаружи её;
- Силы Ампера, действующие со стороны магнитных полей, стремятся сжать токовую оболочку, но этому препятствует газокINETическое давление плазмы тороидального плазменного вихря.

Результирующим итогом этапа II является создание тороидальной токовой оболочки с полоидальным поверхностным током и существенный локальный прогрев плазмы в области этой оболочки.

Глава 2. Модель шаровой молнии

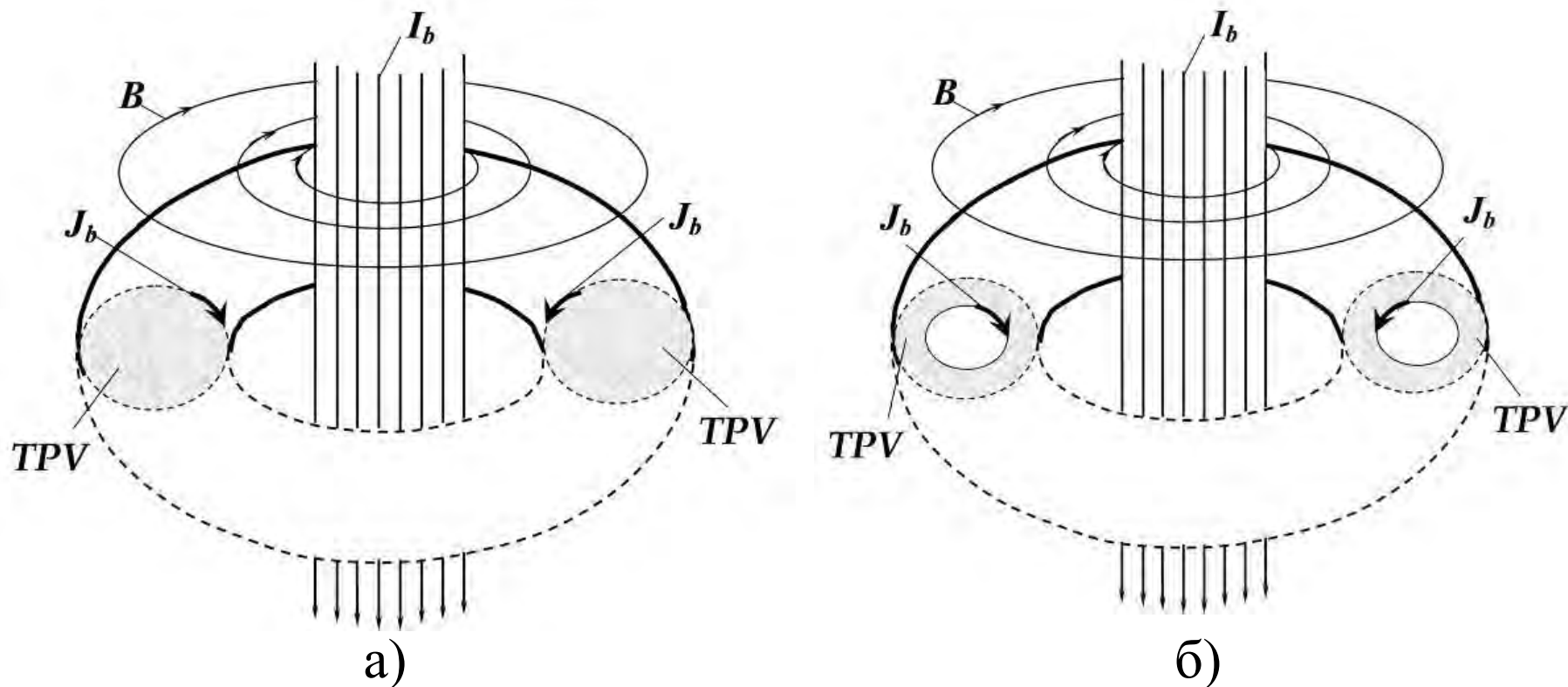
Этап III: выкачивание плазмы изнутри тороидальной токовой оболочки и её диффундирование внутрь тороидального плазменного вихря.

На третьем этапе рождения шаровой молнии ток линейной молнии убывает и создаваемое им спадающее магнитное поле индуцирует в токовой оболочке ток, направление которого совпадает направлением тока линейной молнии.

В этом случае магнитное поле внутри токовой оболочки становится сильнее, чем поле снаружи этой оболочки, и в результате за счёт действия сил Ампера происходит выкачивание плазмы изнутри тороидальной токовой оболочки подобно процессам в магниторазрядных насосах.

В результате на III этапе тороидальная токовая оболочка диффундирует с наружной поверхности тороидального плазменного вихря внутрь этого вихря за счёт перекачки плазмы.

Глава 2. Модель шаровой молнии



Этап III: а – магнитоплазменная конфигурация в начале этапа, б – магнитоплазменная конфигурация в конце этапа: **TPV** – тороидальный плазменный вихрь, **I_b** – спадающий ток линейной молнии, **B** – магнитное поле, создаваемое током линейной молнии, **J_b** – ток в тороидальной токовой оболочке

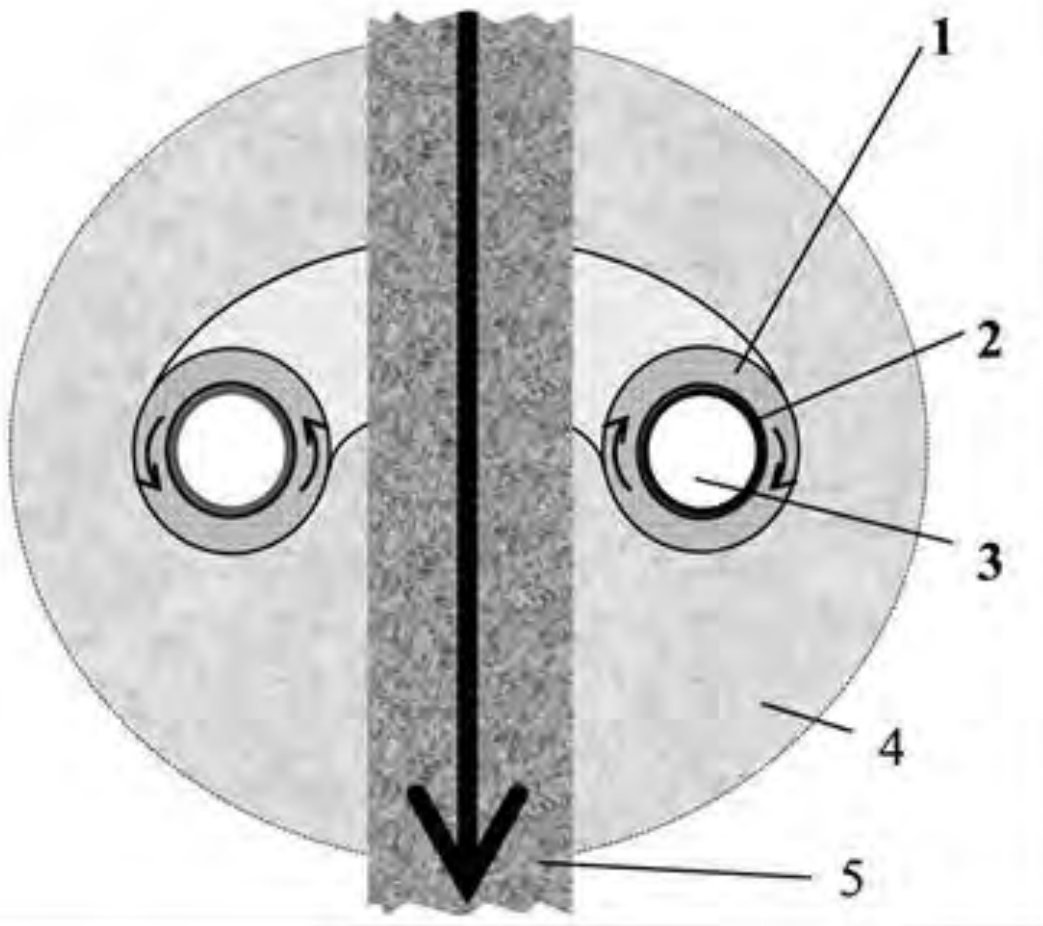
Глава 2. Модель шаровой молнии

Следует отметить следующие особенности этапа III:

- Направление тока в тороидальной токовой оболочке совпадает с направлением тока линейной молнии;
- Магнитное поле, создаваемое тороидальной токовой оболочкой, совпадает с направлением магнитного поля линейной молнии, в результате магнитное поле внутри токовой оболочки сильнее, чем снаружи её;
- Силы Ампера, действующие со стороны магнитных полей, стремятся «растянуть» токовую оболочку, но этому препятствуют силы давления внешнего газа, в результате происходит выкачивание плазмы изнутри тороидальной токовой оболочки, и эта оболочка диффундирует (перемещается) внутрь тороидального плазменного вихря.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Этап IV: Убегающие электроны и тороидальный токовый слой с коллективизированными релятивистскими электронами.



Этап IV, начало:

*1 – тороидальный плазменный вихрь,
2 – тороидальная токовая оболочка,
3 – тороидальное магнитное поле токовой оболочки плюс поле линейной молнии,
4 – светящаяся газопылевая оболочка,
5 – канал линейной молнии.*

Глава 2. Модель шаровой молнии

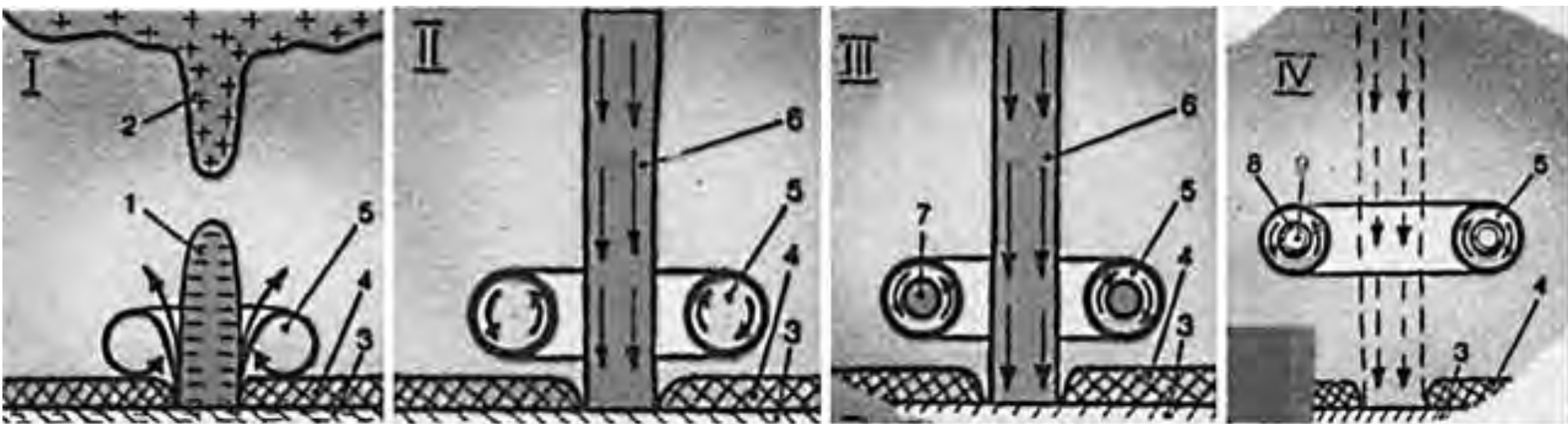
К началу IV-го этапа плазма практически выкачена изнутри тороидальной токовой оболочки и в результате вихревое электрическое поле, возбуждаемое при быстром спаде магнитного поля линейной молнии, становится драйсеровским, т.е. полем, необходимым для достижения электроном критической скорости, при которой он становится убегающим.

После электроны разгоняются до релятивистских скоростей и коллективизируются, как будет показано далее в теоретической части работы.

В конце IV-го этапа линейная молния распадается и остаётся родившаяся шаровая молния, «поперечный разрез» которой представлен на рисунке следующего слайда.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Резюме о формировании ядра шаровой молнии (Этапы I-IV).



- 1 – прорастающий лидер линейной молнии со стороны земли;
- 2 – лидер со стороны положительно заряженного облака;
- 3 – проводящая среда (земля);
- 4 – рыхлое или жидкое покрытие;
- 5 – тороидальный плазменный вихрь;
- 6 – разрядный канал линейной молнии;
- 7 – выкачиваемая плазма изнутри тороидального плазменного вихря;
- 8 – поток коллективизированных релятивистских электронов;
- 9 – фоновые ионы.

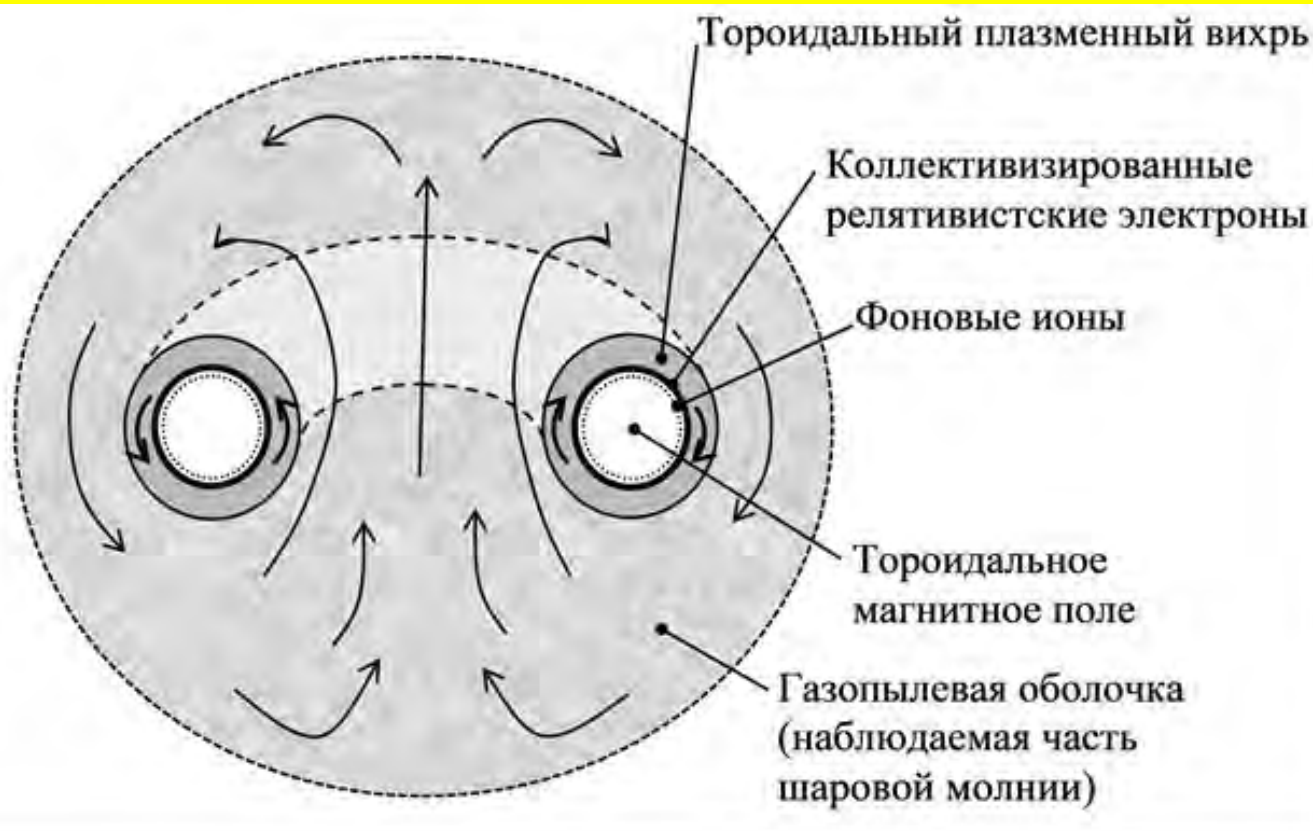
Прямыми стрелками

показано направление разрядного тока линейной молнии.

Круглыми стрелками

показано направление движения слоёв плазменного вихря и потока коллективизированных релятивистских электронов.

Глава 2. Модель шаровой молнии



Физическая модель шаровой молнии («поперечный разрез»).

Маленькие стрелки показывают направления движения коллективизированных релятивистских электронов и слоёв плазменного тороидального вихря, а большие стрелки – направление движения вещества в светящейся газопылевой оболочке.

Время жизни шаровой молнии

Жизнь шаровой молнии поддерживается за счёт запасов электромагнитной энергии в тороидальном магнитном поле и кинетической энергии релятивистских электронов.

Кроме того, шаровая молния обладает химической энергией веществ, захваченных газопылевой оболочкой.

Эта газопылевая оболочка излучает свет и скрывает от наблюдателей ядро шаровой молнии. Резкая граница газопылевой оболочки обеспечивается вихреобразным движением захваченных частиц, индуцированным движением плазмы в тороидальном плазменном вихре.

В газопылевой оболочке происходят химические реакции, отвечающие в основном за наблюдаемое излучение.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Ядро шаровой молнии является устойчивой магнитоплазменной конфигурацией лишь при определённых условиях, рассмотренных далее в теоретической части.

Качественно это объясняется тем, что тороидальный плазменный вихрь имеет склонность к расширению а тороидальное магнитное поле — к сжатию.

В результате может наступить равновесие сил, которое может быть устойчивым. Устойчивость обеспечивается при скорости движения плазмы, граничащей с тороидальным токовым слоем, больше критической, составляющей около 40% от скорости звука, согласно вычислениям, приведенным далее в докладе.

В процессе существования шаровой молнии релятивистские электроны токового слоя постепенно теряют свою энергию из-за кулоновских столкновений с малоподвижными фоновыми ионами, а скорость вращения слоёв тороидального плазменного вихря замедляется из-за явления вязкого трения.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Сосредоточимся на рассмотрении времени существования тороидального токового слоя. Его прототипом является поверхностный ток кольца, поддерживаемого в равновесии давлением наружного газа [**Шафранов В.Д.** О равновесных магнитогидродинамических конфигурациях // ЖЭТФ. – 1957. – Т.33. – С.710-722]. Длительность существования такого кольца, не подпитываемого извне, даётся в оценочной формулой

$$t_{\sigma} \approx 10a^2(v/c)^3$$

где a – малый радиус кольца, см, v – скорость электронов, c – скорость света. В качестве примера в было принято $a = 1$ см, $v \sim 10^{-2} \cdot c$, в результате длительность существования кольца оценивалась величиной $t_{\sigma} \sim 10$ мкс.

Однако следует заметить, что, если принять $v \sim c$, то в результате будет $t_{\sigma} \sim 10$ с, что коррелирует со временем жизни природных шаровых молний.

Глава 2. Модель шаровой молнии

На основе результатов, полученных в монографии, время жизни тороидального токового слоя оценивается по формулам:

$$\tau_s \approx 0,1 \cdot \gamma^3,$$

$$\gamma \leq D_{(\text{cm})} / 16,$$

$$J_{(\text{kA})} \approx 5,3 \cdot D_{(\text{cm})},$$

$$I_{(\text{kA})} \approx J_{(\text{kA})} + 51 \cdot \gamma,$$

$$\gamma = (I_{(\text{kA})} - J_{(\text{kA})}) / 51.$$

где τ_s – время жизни тороидального токового слоя, выраженное в секундах; $I_{(\text{kA})}$ – ток линейной молнии, выраженный в кА; $J_{(\text{kA})}$ – ток шаровой молнии, выраженный в кА; $D_{(\text{cm})}$ – размер ядра шаровой молнии, выраженный в см; γ – релятивистский фактор.

Диапазон времён жизни тороидального токового слоя в соответствии с формулами приведен в таблице.

Глава 2. Модель шаровой молнии

$I_{kA}, \text{ кА}$	300	400	420	500	590	840	1260
$\tau_s, \text{ с},$ при $D_{(cm)} = 35 \text{ см},$ $J_{kA} = 186 \text{ кА}$	1,0 $\gamma = 2,2$	—	—	—	—	—	—
$\tau_s, \text{ с},$ при $D_{(cm)} = 50 \text{ см},$ $J_{kA} = 265 \text{ кА}$	—	1,6 $\gamma = 2,6$	2,7 $\gamma = 3,0$	—	—	—	—
$\tau_s, \text{ с},$ при $D_{(cm)} = 70 \text{ см},$ $J_{kA} = 371 \text{ кА}$	—	—	—	1,6 $\gamma = 2,5$	8,0 $\gamma = 4,3$	—	—
$\tau_s, \text{ с},$ при $D_{(cm)} = 100 \text{ см},$ $J_{kA} = 530 \text{ кА}$	—	—	—	—	—	22,7 $\gamma = 6,1$	—
$\tau_s, \text{ с},$ при $D_{(cm)} = 150 \text{ см},$ $J_{kA} = 795 \text{ кА}$	—	—	—	—	—	—	75,4 $\gamma = 9,1$

Глава 2. Модель шаровой молнии

. Распад шаровой молнии

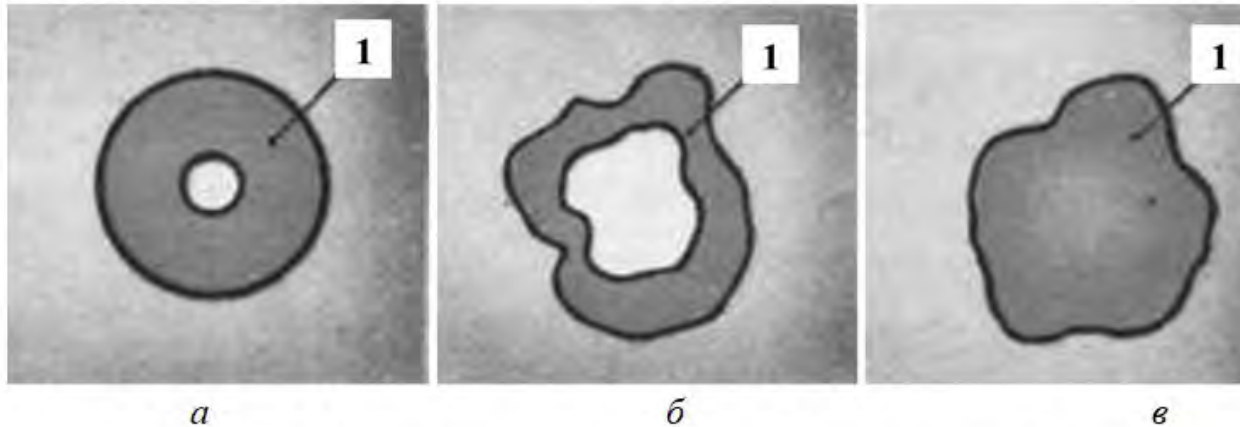


Рис. 2.13. Тихий распад шаровой молнии – распадается газопылевая оболочка 1: а, б, в – кадры эволюции во времени.

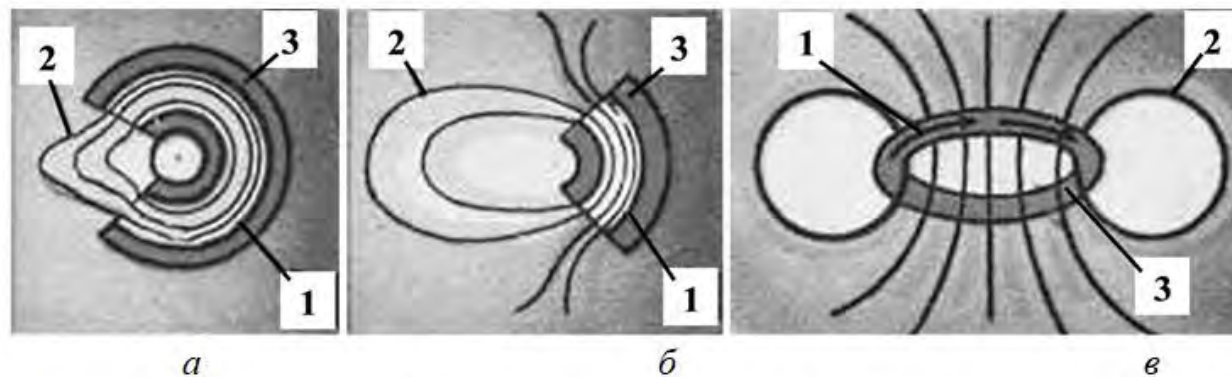


Рис. 2.14. Распад с взрывом – распадается ядро шаровой молнии: а, б, в – кадры эволюции во времени; 1 – токовая оболочка, 2 – линии магнитного поля, 3 – плазменный вихрь

. Энергия шаровой молнии

Объяснение огромной энергии, иногда выделяемой шаровыми молниями, — это камень преткновения для подавляющего большинства существующих гипотез.

Не зная, как объяснить этот феномен, большинство исследователей считают данные наблюдений по энергетике шаровых молний обычной фальсификацией.

Эта точка зрения глубоко укоренилась и нанесла колоссальный ущерб делу раскрытия природы шаровой молнии. Действительно, нет смысла упорно заниматься физической проблемой, мало привлекательной с точки зрения энергетики и связанными с ней фундаментальной наукой и большим бизнесом.

В монографии показано, что шаровая молния — это чрезвычайно перспективный физический объект для исследований в целях энергетики.

Глава 2. Модель шаровой молнии

. В соответствии с рассматриваемой моделью в шаровой молнии имеется в основном следующая энергия:

- Электромагнитная,
- Химическая,
- Ядерная.

Электромагнитная энергия.

Величина электромагнитной энергии определяется магнитным давлением и объёмом тороидального магнитного поля. При давлении поля, близкому к атмосферному, и объёме ядра шаровой молнии порядка 10 литров величина запасённой электромагнитной энергии составляет примерно 1 кДж.

Выделение такой энергии за короткое время, например, за 1 мкс, соответствует мощности примерно в один мегаватт, что, конечно же, может приводить к выходу из строя различных электрических приборов.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Химическая энергия.

Газопылевая оболочка в процессе рождения шаровой молнии может захватывать различные вещества, в том числе и химически активные.

Величину химической энергии шаровой молнии можно оценить в виде произведения массы захваченного вещества на удельное содержание химической энергии в веществе.

Для грубых оценок предположим, что газопылевая оболочка шаровой молнии может захватить примерно 1 г древесно-угольной пыли с удельной энергией порядка 10000 Дж/г.

Тогда оцениваемая химическая энергия составит величину порядка 10 кДж. Это довольно большая энергия, и она вполне может объяснить ожоги на теле людей и пожары, инициированные шаровой молнией.

Глава 2. Модель шаровой молнии

Ядерная энергия.

В шаровой молнии возможны реакции ядерного синтеза благодаря когерентно-электронному катализу, как буде показано далее. Пока проведём в самом общем виде грубую оценку запасённой ядерной энергии.

Допустим, что шаровая молния содержит воду и имеет при диаметре 40 см массу воды порядка 10 г и использует около 10% потенциально имеющейся ядерной энергии.

Известно, что 1 литр воды в энергетическом отношении эквивалентен 300 литрам бензина. Удельная теплота сгорания углеводородного топлива составляет примерно 40 кДж/г, тогда расчётное значение для энергии шаровой молнии составит $10 \cdot 40000 \cdot 300 \cdot 10 / 100 = 12000000$ Дж = 12 МДж.

Это соответствует оценке, полученной по данным наблюдений очевидцев, в частности, для случая, когда шаровая молния упала в бочонок с водой и вода стала горячей.

Глава 2. Модель шаровой молнии

О когерентно-электронном катализе реакций ядерного синтеза

Коллективизированные релятивистские электроны движутся в шаровой молнии с одинаковыми скоростями, как было сказано выше, следовательно, их энергии W_{ce} также одинаковы. В этом случае электроны характеризуются одинаковыми частотами $\omega_{ce} = W_{ce} / \hbar$, что позволяет называть их когерентными. Здесь $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – это рационализованная постоянная Планка. Поэтому для названия предполагаемого катализа далее предлагается использовать термин «*когерентно-электронный катализ*» реакций ядерного синтеза (coherent electron catalyzing fusion), или кратко *CE-катализ*.

Подробно гипотеза о когерентно-электронном катализе реакций ядерного синтеза будет рассмотрена далее при изложении основ теории.

Выводы

На основе вышеизложенного следует, что **шаровая молния** представляет собой медленно затухающий одиночный импульс электрического индукционного разряда в виде тороидального токового слоя с коллективизированными релятивистскими электронами, создающими тороидальное магнитное поле внутри тороидального плазменного вихря, окруженного светящейся вихревой газопылевой оболочкой.

С помощью этой модели удаётся объяснить большинство наблюдаемых свойств природного феномена шаровой молнии.

3.1. Получение тороидального токового слоя

Имеет место аналогия алгоритмов процессов передачи энергии в нагрузку одноктактными схемами силовой электроники и процессов ввода энергии в плазму в импульсных газовых разрядах типа «**тета-пинч**».

В монографии рассматриваются два импульсных газовых разряда типа «**тета-пинч**»:

В известном газовом разряде «**тета-пинч**» (прямоходовой тета-пинч) энергия в плазму вводится при быстром нарастании внешнего магнитного поля – на переднем фронте импульса поля.

В рассматриваемом в монографии газовом разряде «**обратноходовой тета-пинч**» энергия в плазму вводится при быстром спаде внешнего магнитного поля – на заднем фронте.

Возможен также **комбинированный тета-пинч**, при котором энергия в плазму вводится на обоих фронтах.

Обычный (прямоходовой) тета-пинч

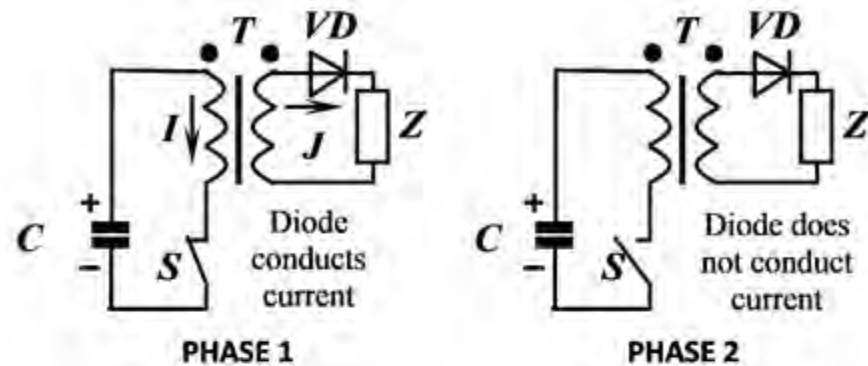


Рис. 3.1.1. Прямоходовая схема силовой электроники

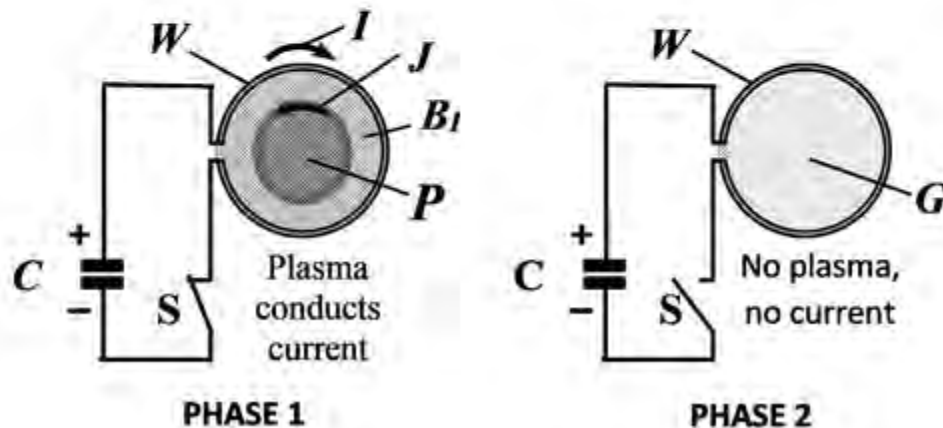


Рис. 3.1.2. Ввод энергии в плазму тета-пинча

Инверсный (обратноходовой) тета-пинч

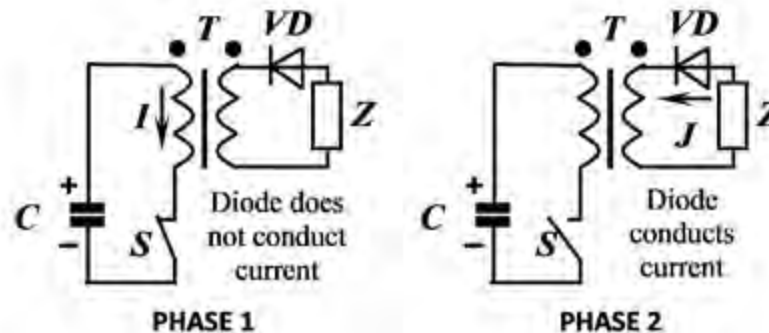


Рис. 3.1.3. Обратноходовая схема силовой электроники

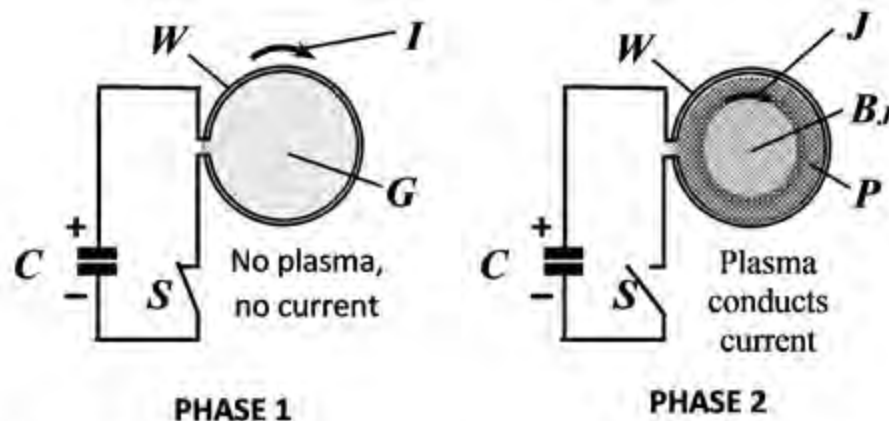


Рис. 3.1.4. Ввод энергии в плазму при спаде магнитного поля

Инверсный тета-пинч с комбинированной схемой ввода энергии

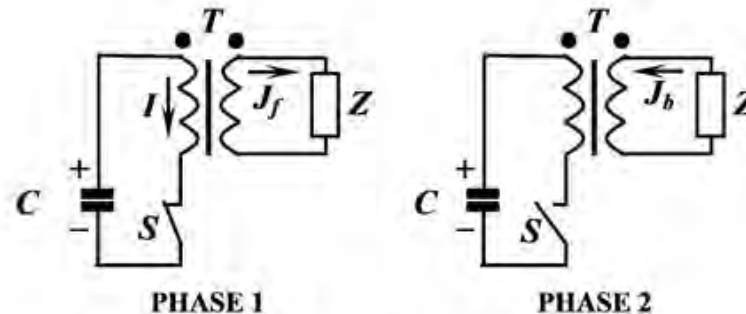


Рис. 3.1.5. Совмещённая схема силовой электроники

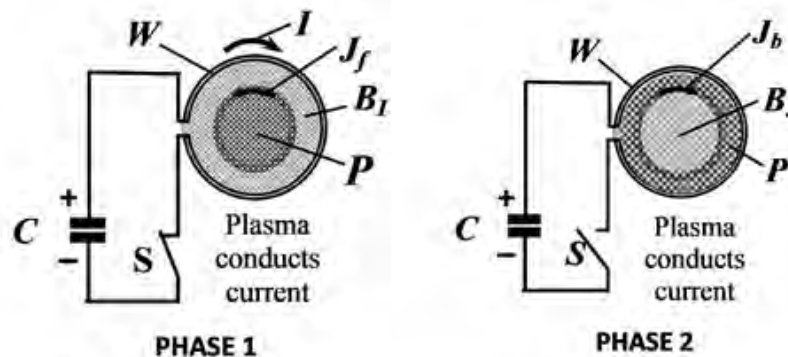


Рис. 3.1.6.. Ввод энергии в плазму инверсного тета-пинча с переменной
направления тока в плазме

Эта схема используется для получения тороидального токового слоя

Глава 3. Основы теории

В результате формируется **тороидальный токовый слой** внутри тороидального плазменного вихря.

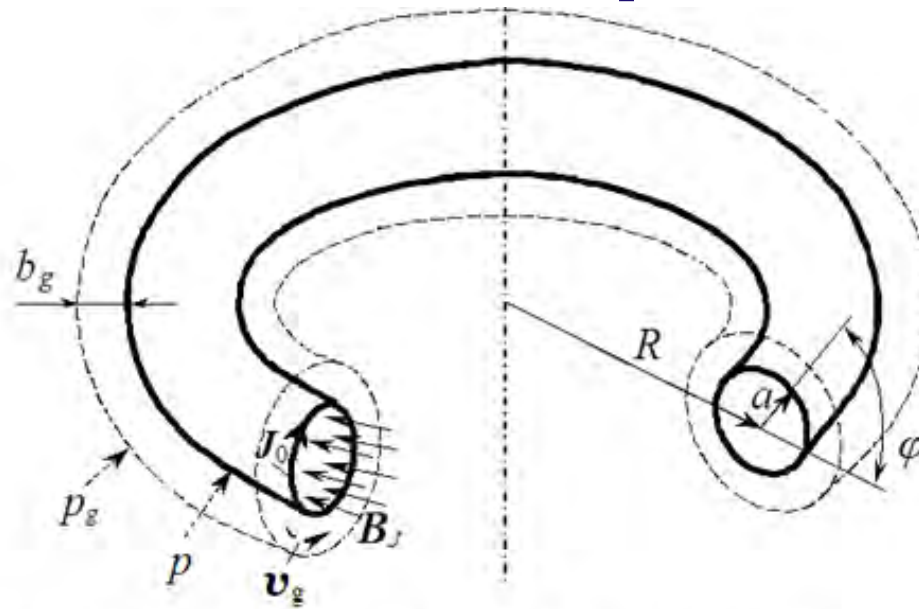


Рис. 3.1.7. Схематическое изображение тороидального токового слоя внутри тороидального плазменного вихря

Тороидальный токовый слой (рис. 3.1.7) имеет малый радиус a и большой радиус R , полоидальный ток J_0 создает тороидальное магнитное поле с индукцией B_J , плазменный тороидальный вихрь имеет толщину плазменного слоя b_g , движущегося со скоростью v_g . Здесь p – давление слоёв плазмы, прилегающих к тороидальному токовому слою, p_g – давление неподвижного наружного газа, φ – произвольный угол.

Глава 3. Основы теории

Равновесие системы имеет место при полоидальном токе

$$J_0 = 2\pi R \cdot \sqrt{2p/\mu_0},$$

где J_0 – равновесный ток в магнитоплазменной конфигурации,
 p – результирующее давление на поверхности токовой оболочки.

Пусть, к примеру, $R = 0,12$ м, $p_g = 1 \cdot 10^5$ Па, $k_g \approx 0,2$, $k_e \approx 0,3$,
 $p = p_g(1 - k_g - k_e) = 0,5 \cdot 10^5$ Па, тогда согласно (3.1.7) имеем: $J_0 \approx 2,13 \cdot 10^5$ А,
или $J_0 \approx 213$ кА.

Ток J_0 создаётся релятивистскими электронами, имеющими заряд e ,
движущимися со скоростью $\sim c$, близкой к скорости света, как будет показано
далее. Эти электроны в количестве N_e переносят заряд eN_e с частотой оборотов
 $\omega \approx c/(2\pi a)$. Из сказанного следует, что $J_0 = eN_e\omega \approx eN_e c/(2\pi a)$, и тогда

$$N_e \approx \frac{4\pi^2 a R}{ec} \cdot \sqrt{\frac{2p}{\mu_0}}.$$

Пусть, к примеру, $R = 0,12$ м, $a = 0,04$ м, $p = 0,5 \cdot 10^5$ Па, тогда $N_e \approx 1 \cdot 10^{15}$.

Глава 3. Основы теории

Условия устойчивости тороидального токового слоя внутри тороидального плазменного вихря

$$\frac{\partial F_s}{\partial R} = \frac{s\mu_0 J_0^2}{4\pi^2} \left(-\frac{1}{R} + \frac{3a \cos \varphi}{R^2} \right) < 0,$$

$$\frac{\partial F_s}{\partial a} = -\frac{s\mu_0 J_0^2 \cos \varphi}{4\pi^2 R^3} - \frac{s\rho_g v_g^2 b_g}{a^2} < 0.$$

Первое условие выполняется, если $a < R/3$.

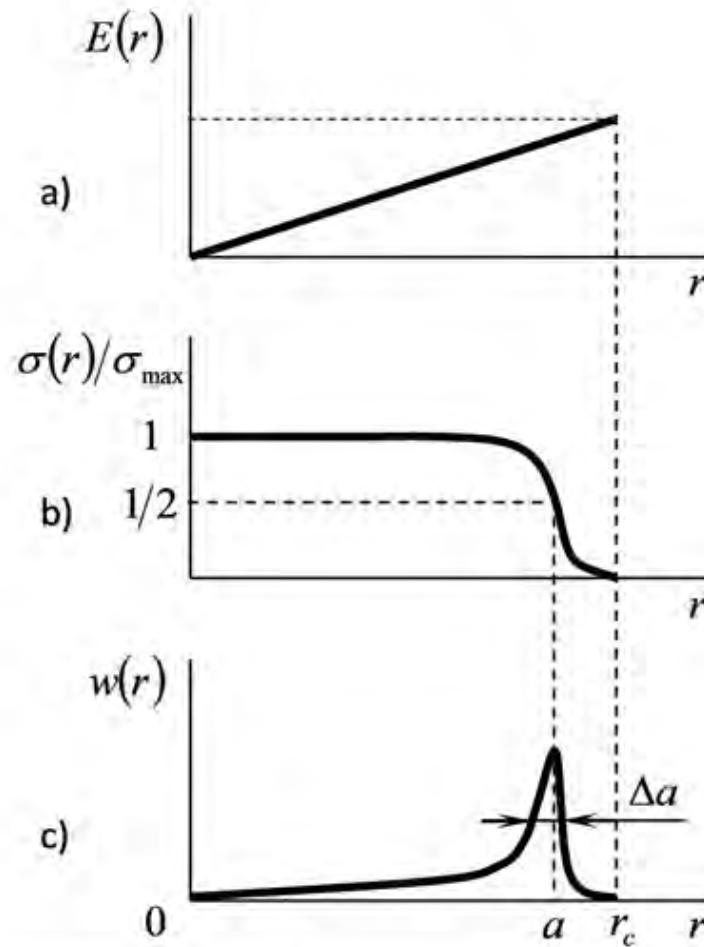
Второе условие выполняется, если $v_g > v_c$, где v_c – критическая скорость:

$$v_c = \sqrt{\frac{2pa}{A\rho_g b_g}}. \quad A = \frac{R}{a}$$

Пусть $b_g = a$, $p = 0,5 \cdot 10^5$ Па, $A = 3$, $\rho_g = 0,5$ кг/м³, тогда $v_c \approx 183$ м/с.

Глава 3. Основы теории

Начальный этап развития инверсного тета-пинча



Схематические распределения по радиусу в начале спада магнитного поля:
а – напряженность электрического поля; б – электропроводность плазмы;
с – плотность тепловой мощности. Здесь r_c – радиус камеры

МГДН-модель процессов формирования тороидального токового слоя (ТТ-слоя)

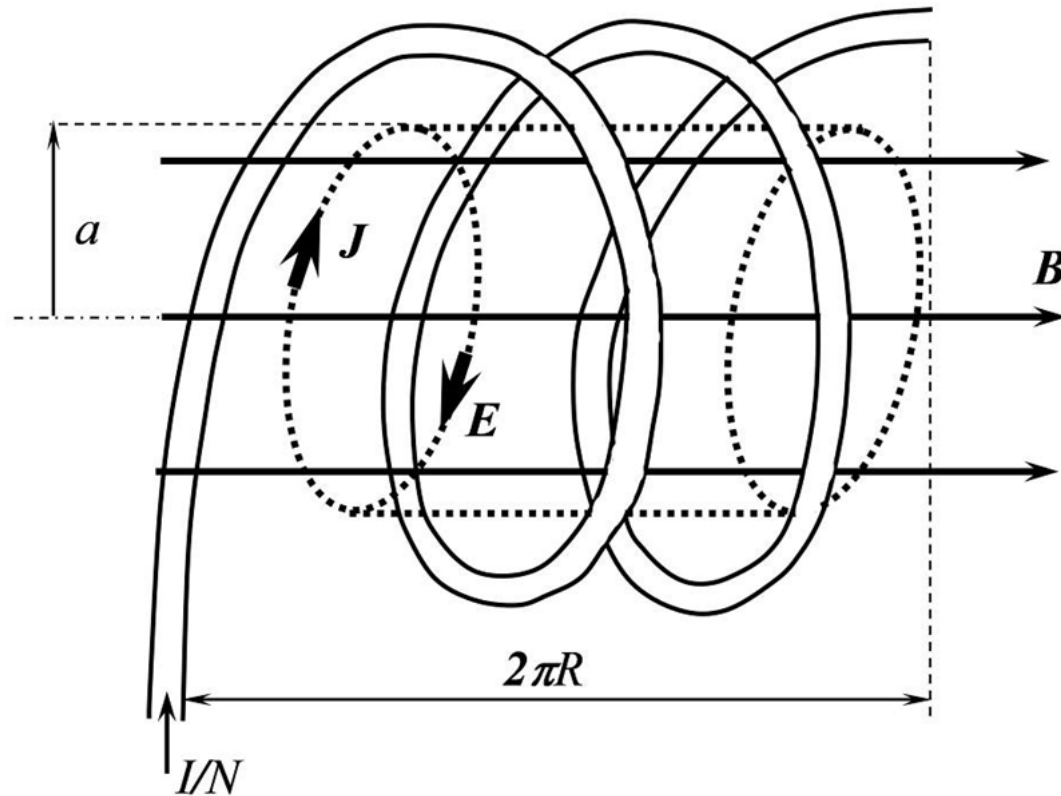
МГДН – это аббревиатура от термина МГД-насос.

При инверсном тета-пинче индукция магнитного поля является более сильной в центре камеры из-за эффекта «замораживания» плазмой силовых линий магнитного поля. ТТ-слой при этом выкачивает плазму подобно МГД-насосу, что и обусловило выбор названия модели (МГДН-модель).

В рамках МГДН-модели в первом приближении полагается, что радиус ТТ-слоя не изменяется и равен радиусу, который соответствует равновесию магнитогидродинамической конфигурации. Это позволяет разделить электродинамическую и газодинамическую задачи.

Электродинамическая задача

Целью решения электродинамической задачи является определение динамики разрядного тока в ТТ-слое.



Индукционный разряд, возбуждаемый сильным быстроспадающим магнитным полем: взаимное расположение катушки и плазменного витка в виде ТТ-слоя

Исходные соотношения для решения электродинамической задачи

Для отрезка времени $0 \leq t \leq \tau_b$ после предварительного прогревающего импульса E_{xc} (см. рис. 3.2.2) в рамках МГДН-модели (без нарушения общности рассмотрения, как будет показано далее), принимается линейный спад величины первичного тока

$$I(t) = I_{\max} (\tau_b - t) / \tau_b. \quad (3.2.5)$$

Уравнение Максвелла для системы (рис. 3.2.1, а) можно записать в виде

$$\oint_{(2\pi a)} E dl = - \frac{\mu_0}{2\pi R} \frac{\partial}{\partial t} \int_{(\pi a^2)} [I(t) + J(t)] dS, \quad (3.2.6)$$

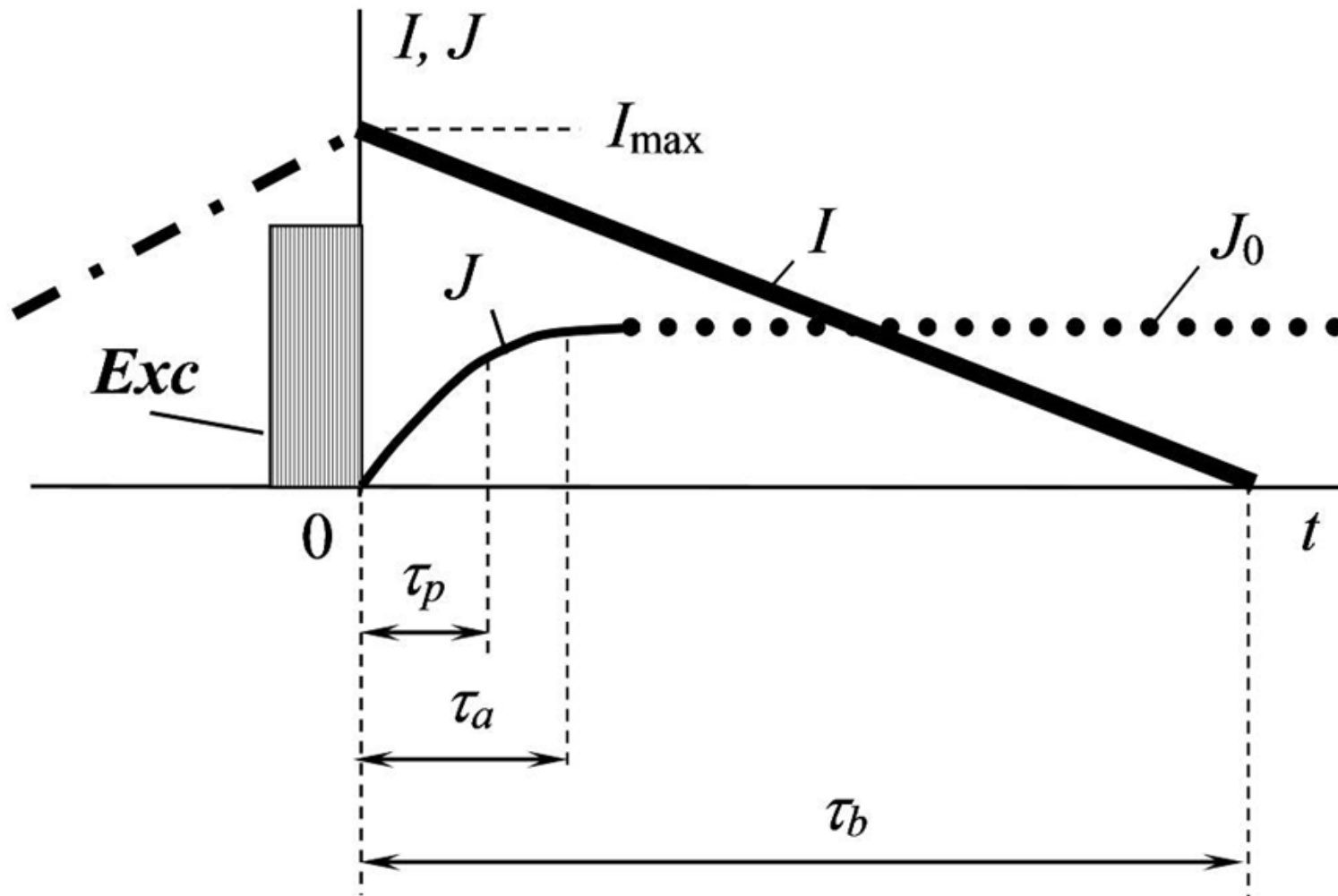
а закон Ома для вторичного тока можно записать в виде

$$J(t) = 2\pi a E / Z(t), \quad (3.2.7)$$

где $Z(t)$ – электрическое сопротивление плазменного контура.

Глава 3. Основы теории

Результаты решения электродинамической задачи.



Этюры первичного и вторичного токов

Газодинамическая задача

Целью решения газодинамической задачи является нахождение времени выкачивания плазмы из внутреннего объёма ТТ-слоя.

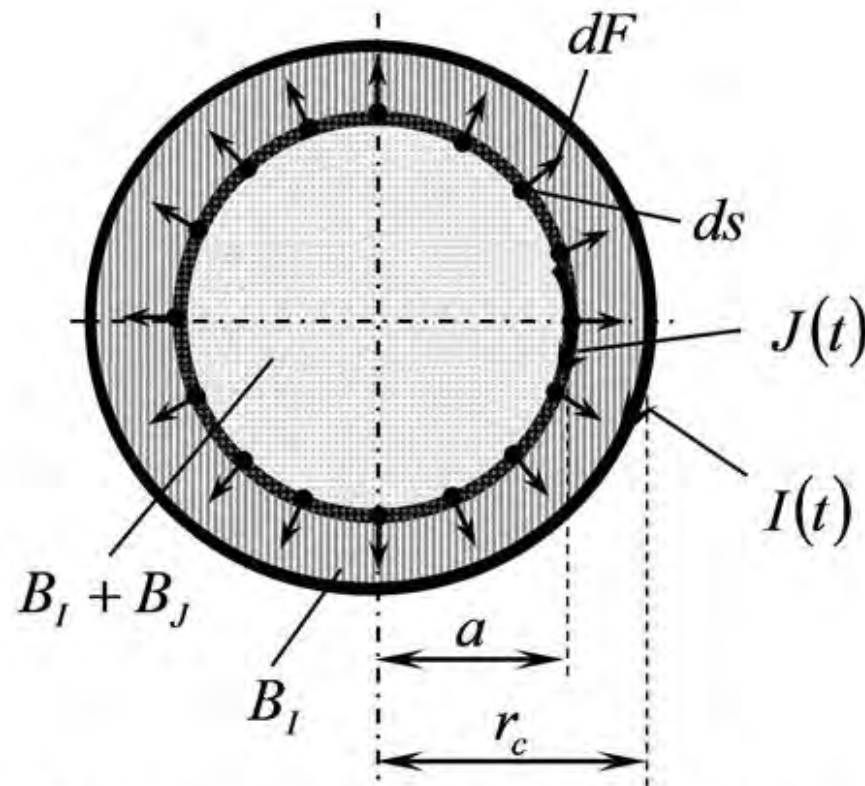


Рис. 3.2.3. Схематическое изображение процесса откачки плазмы из внутреннего объёма ТТ-слоя в момент времени $0 < t < \tau_p$. Показано цилиндрическое сечение в тороидальной камере с малым радиусом r_c

Решение газодинамической задачи

Дифференциальное уравнение для плотности плазмы

$$\frac{d\bar{\rho}}{dt} + \frac{J_0 \sqrt{\mu_0 \bar{\rho}}}{\pi a R \sqrt{2}} = 0. \quad (3.2.24)$$

Решение уравнения (3.2.24) с учётом начальных условий $\bar{\rho}(t=0) = \rho_0$ для интервала времени $0 \leq t \leq \tau_p$ имеет вид:

$$\bar{\rho}(t) = \rho_0 \left(1 - \frac{t}{\tau_p} \right)^2, \quad (3.2.25)$$

где τ_p – время выкачивания плазмы:

$$\tau_p = \frac{2\pi a R}{J_0} \sqrt{\frac{2\rho_0}{\mu_0}}. \quad (3.2.26)$$

Для практических оценок формулу (3.2.26) удобно записать в виде:

$$\tau_{(\mu s)} \approx 8 \cdot 10^3 a R \sqrt{\rho_0} / J_{(MA)}, \quad (3.2.27)$$

где время $\tau_{(\mu s)}$ выражено в микросекундах, равновесный ток $J_{(MA)}$ – в мегамперах, а остальные величины – в единицах системы СИ.

Пусть, к примеру, $a=0,04$ м, $R=0,12$ м, $J_{(MA)}=0,213$ МА, $\rho_0=0,025$ кг/м³, тогда $\tau_{(\mu s)}=28,5$ мкс. Это время меньше времени τ_a (рис. 3.2.2), при котором электроны плазмы переходят в процесс непрерывного ускорения.

Убегающие электроны

Откачка плазмы из области пространства внутри ТТ-слоя создает благоприятные условия для генерации убегающих электронов. Это следует из соотношения для Драйсеровского поля E_{cr} [122], когда электроны, создающие ток плазмы, за короткое время (порядка времени столкновений электронов с ионами [124]) становятся убегающими

$$\frac{m_e v_{cr}^2}{2e} = \frac{e^2 n \ln \Lambda}{4\pi \epsilon_0^2 E_{cr}}, \quad (3.2.28)$$

где, m_e – масса электрона, v_{cr} – его критическая скорость, e – элементарный заряд, $\ln \Lambda$ – кулоновский логарифм, ϵ_0 – электрическая постоянная, n – концентрация плазмы.

Соотношение (3.2.28) при $\ln \Lambda = 20$ можно представить в виде [122]:

$$W_{eV} = 5 \cdot 10^{-16} n / E, \quad (3.2.29)$$

где W_{eV} – энергия электрона, выраженная в электрон-вольтах.

Убегающие электроны

На появившиеся убегающие электроны действует сила со стороны вихревого электрического поля E (3.2.8), и они благодаря этому приобретают импульс

$$P_e = eE(\tau_b - \tau_a). \quad (3.2.30)$$

Для дальнейшего рассмотрения представляет интерес случай, при котором убегающие электроны разгоняются до скоростей, близких к скорости света, когда релятивистский фактор γ достаточно велик:

$$\gamma = [1 - (v_e/c)^2]^{-1/2} \gg 1, \quad (3.2.31)$$

где v_e – скорость электрона в конце периода ускорения, c – скорость света.

С учетом (3.2.8) и (3.2.30) энергия убегающего электрона W_e и релятивистский фактор γ в конце цикла ускорения составят

$$W_e = cP_e = \frac{m_e c^2 (I_{\max} - J_0)}{I_0 A}, \quad (3.2.32)$$

$$\gamma = \frac{W_e}{m_e c^2} = \frac{(I_{\max} - J_0)}{I_0 A}, \quad (3.2.33)$$

где I_0 – фундаментальная постоянная размерности тока [138]:

$$I_0 = 4\pi c m_e / (\mu_0 e) \approx 17 \cdot 10^3, \text{ А}. \quad (3.2.34)$$

Убегающие электроны

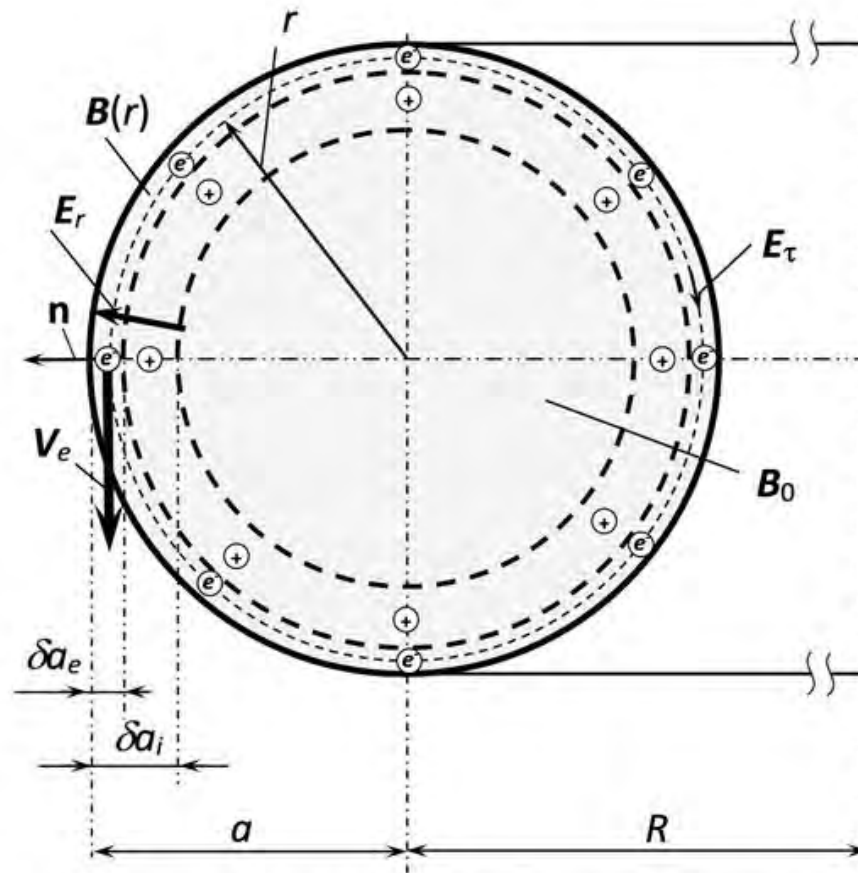


Рис. 3.2.4. Структура ТТ-слоя: «e» – слой релятивистских электронов с эффективной толщиной δa_e , «+» – слой фоновых ионов с эффективной толщиной δa_i . Слой релятивистских электронов окружает наружная низкотемпературная плазма, не показанная на чертеже

Особенности структуры ТТ-слоя

- Слой убегающих электронов окружен наружной низкотемпературной плазмой, имеющей в своём составе достаточное количество ионов водорода (протонов или дейтронов). Посредством столкновений протоны или дейтроны «заталкиваются» в пространство внутри слоя убегающих электронов, в результате чего образуется слой фоновых ионов, нейтрализующий заряд слоя убегающих электронов. При этом тепловые электроны, ионы и нейтральные атомы наружной плазмы не пропускаются внутрь слоя убегающих электронов благодаря сильному локальному потенциалу, создаваемому плотным потоком релятивистских электронов.
- Ионы внешней плазмы посредством столкновений на границе кольца свободно обмениваются энергией с фоновыми ионами внутреннего слоя, поскольку слой убегающих электронов, как будет показано далее, практически прозрачен для протонов и дейтронов.

Особенности структуры ТТ-слоя

- Газокинетическое давление внешнего газа передаётся внутреннему слою фоновых ионов ТТ-слоя, а давление магнитного поля воспринимается электронным слоем кольца. В этом случае имеет место баланс давлений магнитного и электрического полей (как в *плоской электромагнитной волне* [137]), при котором в нашем случае

$$B_0^2 / \mu_0 = \varepsilon_0 E_r^2 = 2p, \quad (3.2.37)$$

где ε_0 – электрическая постоянная,

$$B_0 = \mu_0 J_0 / (2\pi R), \quad (3.2.38)$$

$$p = n_0 k T_i. \quad (3.2.39)$$

Здесь n_0 – концентрация ионов плазмы на внешней границе ТТ-слоя (предполагается равенство электронной и ионной температур), k – постоянная Больцмана, T_i – ионная температура.

Глава 3. Основы теории

Уравнение движения релятивистского электрона в ТТ-слое

Рассмотрим задачу о распространении выделенного релятивистского электрона на границе тороидального магнитного поля, создаваемого слоем убегающих электронов. Для этого на основе второго закона Ньютона напишем релятивистское уравнение движения электрона со скоростью $\mathbf{V}_e$ поперёк линий магнитного поля с индукцией $\mathbf{B}$ по круговой орбите с текущим радиусом r , на которой он удерживается электрическим полем $\mathbf{E}$ (на рис. 3.2.4 оно показано как поле E_r) с учётом обобщённой силы столкновений $\mathbf{F}_c$:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m_e \mathbf{V}_e}{\sqrt{1 - V_e^2/c^2}} \right) = e\mathbf{E} - e\mathbf{V}_e \times \mathbf{B} + \mathbf{F}_c. \quad (3.2.49)$$

Вектор $\mathbf{V}_e$ при условии $\langle r \rangle = a$ можно разложить на тангенциальную и нормальную составляющие:

$$\mathbf{V}_e = \omega a \boldsymbol{\tau} + \frac{dr}{dt} \mathbf{n}, \quad (3.2.50)$$

где ω – угловая скорость, с которой поворачивается радиус-вектор электрона.

Глава 3. Основы теории

Уравнение движения релятивистского электрона в ТТ-слое:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(\gamma m_e V_e) \cdot \boldsymbol{\tau} + \gamma m_e \left(\omega^2 r + \frac{d^2 r}{dt^2} \right) \cdot \mathbf{n} = e c B_0 \cdot \mathbf{n} - \frac{e}{2r} \frac{d}{dt} (r^2 \langle B \rangle) \cdot \boldsymbol{\tau} - \\ - e \omega a B_0 \left[1 - \frac{1}{\Delta_e} \int_{a-\Delta_e}^r f_e(r) dr \right] \cdot \mathbf{n} - \frac{e Z J_0}{2\pi a} \cdot \boldsymbol{\tau} - \chi \frac{dr}{dt} \cdot \mathbf{n} + F_e \cdot \mathbf{n}. \end{aligned}$$

На основе решения этого уравнения в монографии показано, что:

- в ТТ-слое происходит подпитка электронов энергией внутреннего магнитного поля;
- происходит **каналирование** и **коллективизация** релятивистских электронов в ТТ-слое;
- движение электронов этих условиях синхронизируется, и они становятся **когерентными**, поскольку их длины волн де Бройля становятся идентичными.

Столкновительные потери в ТТ-слое

Столкновительные потери будем рассматривать как доминирующий вид потерь. Потерями на **синхротронное излучение** можно пренебрегать, т.к. эффект коллективизации синхронизирует движение релятивистских электронов и практически равномерно распределяет эти электроны по окружности вращения. В этом случае в любой момент времени в любой точке пространства плотность заряда близка к константе, и, следовательно, перемещение излучающего заряда отсутствует [140]. Конечно же, каждый отдельно взятый релятивистский электрон в ТТ-слое излучает, но благодаря эффекту коллективизации данное излучение поглощается соседними релятивистскими электронами и наружу не выходит.

С учётом рассмотренного **эффекта коллективизации** релятивистских электронов в ТТ-слое в качестве результатов кулоновского столкновения будем рассматривать приобретение импульса нерелятивистским ионом и соответствующие энергетические потери всего **коллектива релятивистских электронов**.

Столкновительные потери в ТТ-слое

Появляющийся после кулоновского столкновения импульс иона в этом случае может рассчитываться по известной [123] формуле

$$P_i = \int_{-\infty}^{\infty} eE_r \sin \theta dt, \quad (3.2.65)$$

где θ – угол между осью x и отрезком длиной r_e , соединяющим электрон с ионом, E_r – напряженность электрического поля, создаваемого электроном на конце отрезка r_e .

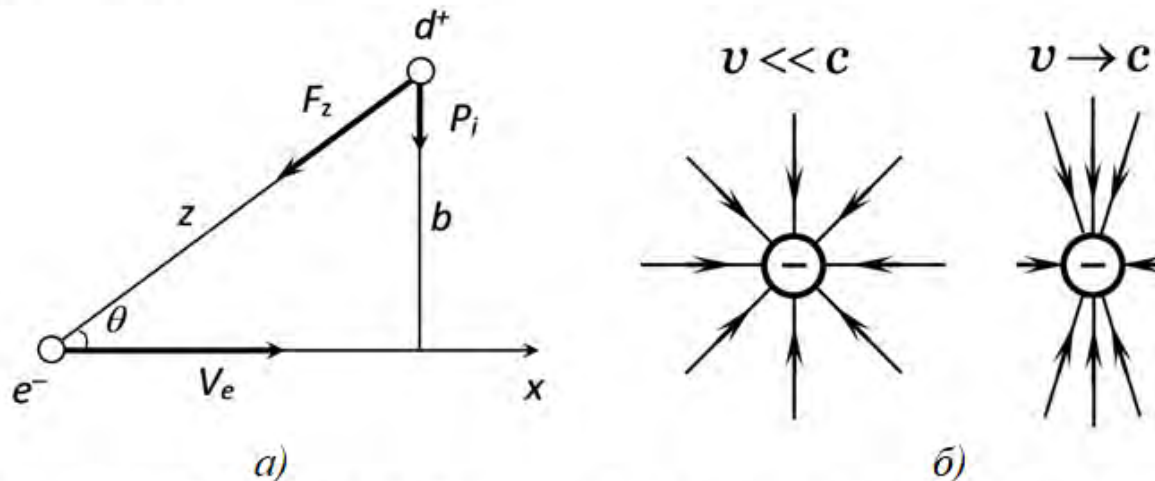


Рис. 3.2.5. Электрон в ТТ-слое: а – рассеяние однозарядного иона при кулоновском столкновении с коллективизированным релятивистским электроном; б – силовые линии электрического поля медленно движущегося электрона ($v \ll c$) и быстрого электрона ($v \rightarrow c$)

Столкновительные потери в ТТ-слое

Электрическое поле точечной частицы в релятивистском случае ($v \rightarrow c$, рис. 3.2.5 б) описывается формулой [141]:

$$E_r = \frac{e}{4\pi\epsilon_0 r_e^2} \cdot \frac{1 - V_e^2/c^2}{[1 - (V_e^2/c^2)\sin^2\theta]^{3/2}}. \quad (3.2.66)$$

Подставляя (2.66) в (2.65), делая замену $dt = dr_e/V_e = -r_e d/(V_e \sin^2\theta)$, и проводя интегрирование по стандартной процедуре [142], полагая $V_e \equiv c$, получаем

$$P_i = e^2/(2\pi\epsilon_0 b c \gamma). \quad (3.2.67)$$

При единичном столкновении нерелятивистский ион с массой m_i приобретает энергию

$$W_i = P_i^2/(2m_i), \quad (3.2.68)$$

а коллектив релятивистских электронов теряет эту энергию, и тогда в цилиндрическом слое ионов с концентрацией n_0 радиусом b , толщиной db на длине dx из-за столкновений потери энергии коллективизированного релятивистского электрона составят dW_c . На основе сказанного имеем

$$d(dW_c/dx) = W_i \cdot 2\pi n_0 b db. \quad (3.2.69)$$

Интегрирование выражения (3.2.69) в пределах $b_{\min} \leq b \leq b_{\max}$ с учётом (3.2.68) и (3.2.67) приводит к формуле

$$\frac{dW_c}{dx} = \frac{e^4 \ln \Lambda}{4\pi\epsilon_0^2 m_i c^2} \cdot \frac{n_0}{\gamma^2}, \quad (3.2.70)$$

где

$$\ln \Lambda = \ln(b_{\max}/b_{\min}) \quad (3.2.71)$$

– кулоновский логарифм.

Время жизни ТТ-слоя без подпитки извне

Время жизни ТТ-слоя τ_E оценивается как отношение суммы энергий тороидального магнитного поля $\sim 2\pi^2 R a^2 p$ и кинетической энергии релятивистских электронов $\sim \gamma m_e c^2 K_e$ к скорости потерь энергии dW_c/dt :

$$\tau_E = \frac{2\pi^2 R a^2 p + \gamma m_e c^2 K_e}{dW_c/dt}. \quad (3.2.78)$$

С учётом (3.2.73), (3.2.36), (3.2.32), (3.2.33), (3.2.34), (3.2.39) формула (3.2.78) приводится к виду:

$$\tau_E = \left(\frac{G_1 a \sqrt{p}}{\gamma} + 1 \right) \cdot \frac{G_2 m_i T_i \gamma^3}{p \ln \Lambda}, \quad (3.2.79)$$

где G_1 и G_2 – произведения фундаментальных констант:

$$G_1 = \sqrt{\mu_0} e / (2\sqrt{2} m_e c) \approx 0,23 \text{ Pa}^{-1/2} \cdot \text{m}^{-1}, \quad (3.2.80)$$

$$G_2 = \frac{4\pi^2 \varepsilon_0^2 m_e c^3 k}{e^4} \approx 1,6 \cdot 10^{27} \text{ Pa} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}. \quad (3.2.81)$$

Гипотеза о когерентно-электронном катализе ядерных реакций пр-синтеза в шаровой молнии. CR-электроны

Коллективизированный релятивистский (Collectivized Relativistic) электрон, или кратко *CR*-электрон, способен сближаться с протонами согласно формуле (3.2.76) на расстояние порядка $\lambda/\gamma \approx 1,5 \cdot 10^{-13}$ м (при $\gamma = 2.5$). На такое расстояние сближаются ядра водорода при кинетической энергии $W_0 \approx 10 \text{ keV} \approx 100 \cdot 10^6 \text{ К}$.

При обосновании гипотезы о когерентно-электронном катализе реакций ядерного синтеза кроме общеизвестной теории ядерных взаимодействий использовались следующие физические идеи:

1. Экранирование ядер как в мюонном катализе реакций ядерного синтеза [125, 126];
2. Создание активной среды как в эксимерных лазерах [2].

Гипотеза о когерентно-электронном катализе ядерных реакций пр-синтеза в шаровой молнии. СР-электроны

В молекулярных ионах ядра удалены в среднем на расстояние в две атомных единицы

$$\sim 2a_e = \frac{8\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_e e^2} \approx 1 \cdot 10^{-10} \text{ м.} \quad (3.3.1)$$

В мезомолекулярных ионах ядра удалены в среднем на расстояние две мезоатомных единицы:

$$\sim 2a_\mu = \frac{8\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_\mu e^2} \approx 5 \cdot 10^{-13} \text{ м.} \quad (3.3.2)$$

На такое расстояние сближаются ядра изотопов водорода при кинетической энергии

$$W_0 \approx 3 \text{ keV} \approx 3 \cdot 10^7 \text{ К,} \quad (3.3.3)$$

как в термоядерных установках.

После образования мезомолекулярного иона $(ddu)^+$ чрезвычайно быстро, за времена, меньшие, чем 10^{-9} с, происходят подбарьерные ядерные реакции синтеза, в результате чего мюон может высвободиться и, следовательно, вновь инициировать следующую цепочку мюонного катализа.

Гипотеза о когерентно-электронном катализе ядерных реакций пр-синтеза в шаровой молнии. СР-электроны

Когерентно-электронный катализ, сокращённо *СЕ*-катализ (Coherent Electron), – это предполагаемый механизм реакций ядерного синтеза в шаровой молнии.

В шаровой молнии фоновые ионы в ТТ-слое в области распространения пучка коллективизированных релятивистских электронов – это в подавляющем большинстве ядра атомов водорода – протоны. Доля дейтронов ничтожна, поэтому представляет интерес рассмотреть возможность когерентно-электронного катализа (*СЕ*-катализа) ядерной реакции слияния двух ядер водорода p в ядро дейтерия d с испусканием позитрона e^+ и нейтрино ν_e [128]:



Гипотеза о когерентно-электронном катализе ядерных реакций пр-синтеза в шаровой молнии. СР-электроны

В обычных столкновительных процессах сечение этой реакции чрезвычайно мало, поскольку эта реакция происходит посредством слабого взаимодействия.

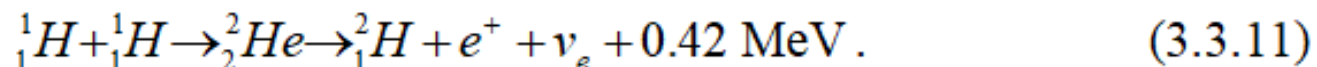
Ядерная реакция (3.3.8) происходит в две стадии [143]. Сначала два протона образуют дипротон (${}^2_2\text{He}$):



Дипротон практически моментально распадается на два протона (протонный распад), однако в крайне редком случае он успевает испытать β^+ -распад, превращаясь в дейтрон (ядро дейтерия ${}^2_1\text{H}$):



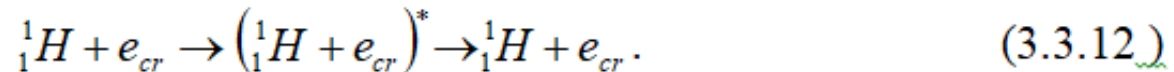
Таким образом, общая формула реакции:



Гипотеза о когерентно-электронном катализе ядерных реакций пр-синтеза в шаровой молнии. CR-электроны

Рассмотрим процессы (3.3.9), (3.3.10) и (3.3.11) в зоне действия коллективизированных релятивистских электронов.

При лобовом столкновении отдельно взятого протона 1_1H с коллективизированным релятивистским (collectivized relativistic) электроном – CR-электроном (e_{cr}) – на очень короткое время образуется псевдо-атом водорода $({}^1_1H + e_{cr})^*$, который моментально распадается:



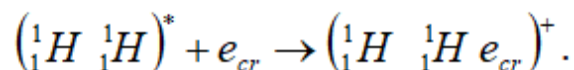
Здесь звёздочка (*) означает неустойчивую систему.

В то же время в среде фоновых ионов при их тепловых столкновениях на короткое время образуются протонные димеры $({}^1_1H \ {}^1_1H)^*$ по аналогии с образованием молекулярных димеров A_2 в рассмотренных выше эксимерных лазерах [2]:

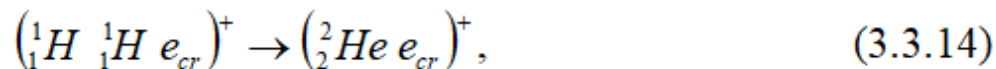


Гипотеза о когерентно-электронном катализе ядерных реакций *pp*-синтеза в шаровой молнии. CR-электроны

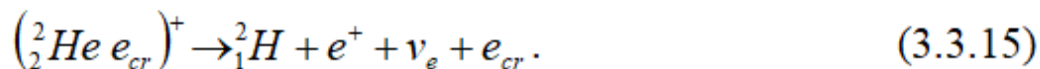
В зоне действия пучка *CR*-электронов протонный димер (3.3.13) может взаимодействовать с *CR*-электроном e_{cr} и образовывать псевдо-молекулярный ион $({}^1_1H\ {}^1_1H\ e_{cr})^+$, который похож на мезомолекулярный ион в (3.3.4) – $(ddu)^+$:



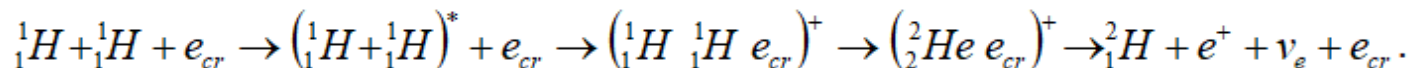
Этот псевдо-молекулярный ион $({}^1_1H\ {}^1_1H\ e_{cr})^+$ в присутствии *CR*-электрона может конвертироваться в дипротон (3.3.9) с экранированием одного из протонов,



и в этом случае экранированный дипротон испытывает β^+ -распад с освобождением *CR*-электрона:



Итоговая цепочка превращений при когерентно-электронном катализе ядерных реакций *pp*-синтеза выглядит следующим образом:



Оценка энергетического выхода при *СЕ*-катализе

Мощность, выделяемая при *СЕ*-катализе реакций *pp*-синтеза:

$$N_{pp} = W_{pp} \cdot \frac{\pi^2 \sqrt{2\pi} \tilde{\lambda}^3 e^3}{48k^4 \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0^2}} \cdot \frac{Rap^{5/2}}{\gamma^3 T_i^4}. \quad (3.3.25)$$

Второй сомножитель в выражении (3.3.25) представляет собой константу:

$$C_\kappa = \frac{\pi^2 \sqrt{2\pi} \tilde{\lambda}^3 e^3}{48k^4 \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0^2}} \approx 3,8 \cdot 10^{22}, \text{ К}^4 \text{ м}^{-2} \text{ Па}^{-5/2}. \quad (3.3.26)$$

Пусть, к примеру, шаровая молния имеет размер около 40 см и характеризуется параметрами: $R = 0,12 \text{ м}$, $a = 0,04 \text{ м}$, $p = 5 \cdot 10^4 \text{ Па}$, $\gamma = 2,5$, $T_i = 11600 \text{ К}$, $W_{pp} = 0,42 \text{ MeV} \approx 6,7 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$.

Тогда из (3.3.25) с учётом (3.3.26) и (3.3.23) следует: $N_{pp} \approx 24 \text{ Вт}$.

Это немного, но если допустить, что прилегающая к ТТ-слою плазма интенсивно охлаждается до температуры, к примеру, $T_i = 3000 \text{ К}$, то выделяемая мощность составит $N_{pp} \approx 5,4 \cdot 10^3 \text{ Вт}$. Это объясняет наблюдаемый случай с бочонком, в котором шаровая молния нагрела воду до кипения [112].

Глава 4. Объяснение свойств шаровой молнии

В данной главе показано, что рассмотренная модель шаровой молнии способна объяснить большинство наблюдаемых свойств природных шаровых молний.

При этом показано, что некоторые приписываемые шаровым молниям свойства (например выдувание ШМ из розетки) относятся к физическим объектам другой физической природы, исследование которых требует, скорее всего, другого подхода.

Следует отметить, что представленная модель позволяет объяснить и такое наблюдение, как то, что шаровые молнии чаще всего появляются в конце грозы. Это обусловлено тем, что положительные молнии с большим током чаще появляются именно в конце грозы. При этом ток линейной молнии должен быть не менее 300 кА.

Получение шаровой молнии посредством моделирования удара линейной молнии в землю

Это наиболее естественная техническая идея, её удобно применить в полевых условиях. Для её реализации необходимо:

1. В открытой атмосфере установить по вертикали два электрода – анод и катод, анод сверху, катод снизу.
2. На катоде рассыпать рыхлое покрытие толщиной порядка 10 см (подбирается экспериментально), например, влажный песок.
3. Расстояние между анодом и катодом можно установить ориентировочно 5 м, используя жёсткую конструкцию из 4-х (лучше 8-ми и более) диэлектрических труб в сочетании с арками в виде шатра без стенок. Шатёр может иметь размер ориентировочно 4 х 4. Конструкция должна выдерживать воздействие сил Ампера на уровне порядка 40 кН (4 тонны силы при 4-х подводящих трубах).

Получение шаровой молнии посредством моделирования удара линейной молнии в землю

4. В диэлектрических трубах можно разместить проводники, соединяющие источник энергии с анодом.
5. Источник энергии должен быть двухканальным: вспомогательный канал моделирует развитие лидера линейной молнии (ток порядка 10 кА, длительность импульса около 5 мс), а основной канал моделирует главный удар линейной молнии (ток 400 кА и более, длительность импульса порядка 200 мкс).
6. Накопитель энергии вспомогательного канала – это конденсаторная батарея, которая должна запасать заряд не менее 50 Кл, а накопитель энергии основного канала – это конденсаторная батарея, запасаящая заряд не менее 100 Кл.

Получение шаровой молнии посредством моделирования удара линейной молнии в землю

7. Начальные напряжения и ёмкости конденсаторных батарей подбираются экспериментально, ориентировочно $U_{вспом} = 10$ кВ, $C_{вспом} = 5000$ мкф, $U_{основн} = 100$ кВ, $C_{основн} = 1000$ мкф.

Для реализации физической идеи требуется **крупная электрофизическая установка**, согласно классификации [150], запасаемая энергия вспомогательной батареи составляет величину порядка 250 кДж, а основной батареи – 5 МДж (ориентировочно).

Упрощённая схема электрофизической установки (показан подвод энергии лишь через одну из опор шатра) и упрощённый алгоритм работы приведены на рис. 5.1.

Получение шаровой молнии посредством моделирования удара линейной молнии в землю

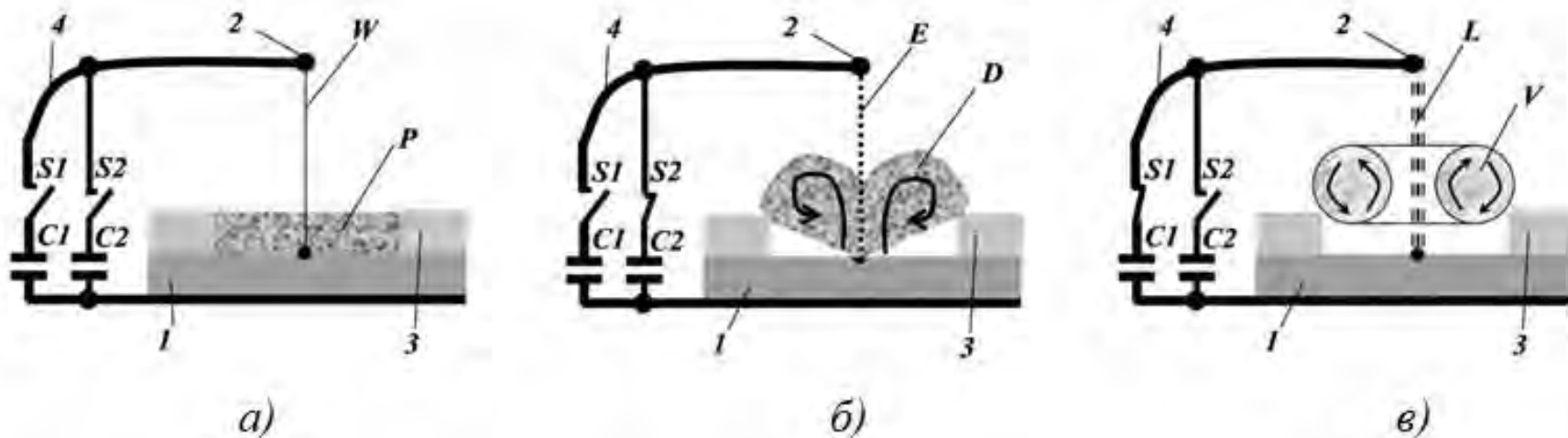


Рис. 5.1. Схема электрофизической установки и алгоритм её работы для получения шаровой молнии посредством моделирования удара линейной молнии в землю:

а – перед подачей энергии: $S1$ и $S2$ разомкнуты;

б – во время разрядки вспомогательного накопителя: $S1$ разомкнут, $S2$ замкнут;

в – во время разрядки основного накопителя: $S1$ замкнут, $S2$ разомкнут.

Получение шаровой молнии посредством моделирования удара линейной молнии в землю

На рис. 5.1 приняты следующие обозначения. Цифрами обозначены: 1 – катод, 2 – анод, 3 – диэлектрический диск для ограничения распространения разрядных токов, 4 – подводящий провод в ножке шатра. Буквами обозначены: С1 – основной накопитель энергии, С2 – вспомогательный накопитель энергии, S1 – основной коммутатор (например, псевдо искровой разрядник), S2 – вспомогательный коммутатор (например, тиратрон), W – электрически взрываема проволочка, формирующая разрядный канал, Р – катодное покрытие, например, мокрый песок, Е – канал вспомогательного разряда, моделирующего лидера линейной молнии, D – выбрасываемое вещество катодного покрытия, V – образовавшийся тороидальный плазменный вихрь, L – квазиискровой разряд, моделирующий главный удар линейной молнии.

Получение шаровой молнии посредством моделирования удара линейной молнии в землю

После соответствующего заряда накопителей энергии $C1$ и $C2$ (рис. 5.1) алгоритм работы электрофизической установки следующий.

1. На начальной стадии срабатывает коммутатор $S2$ и накопитель энергии $C2$ первоначально разряжается через проволочку W , формируя разрядный канал E , и затем через этот канал происходит дальнейший разряд накопителя $C2$. При этом выделяемая энергия испаряет катодное покрытие P , выбрасывая его вещество D , из которого к концу этой стадии формируется тороидальный плазменный вихрь V .
2. На заключительной стадии коммутатор $S2$ переходит в разомкнутое состояние, а основной коммутатор $S1$ срабатывает. В этом случае происходит разряд основного накопителя энергии $C1$ через имеющийся разрядный канал, в виде квазиискрового разряда L , моделирующего главный импульс разряда линейной молнии.

В результате указанных действий с некоторой долей вероятности может сформироваться шаровая молния. Процесс требует тонкой настройки.

Получение шаровой молнии с использованием искусственного формирователя тороидального плазменного вихря и квазиискрового разряда

Для реализации этой технической идеи требуются существенно меньшие накопители энергии по сравнению рассмотренными накопителями выше. Эту идею можно реализовать в лабораторных условиях, для её осуществления необходимо:

1. В открытой атмосфере установить по вертикали два электрода – анод и катод, анод сверху, катод снизу.
2. На катоде поместить искусственный формирователь тороидального плазменного вихря, например на основе электрически взрывающейся металлической диафрагмы [151].
3. Расстояние между анодом и катодом можно установить ориентировочно 15 см, используя штанги с шарнирами, для подвода напряжения на анод.
4. Источников энергии должно быть два: один для формирователя тороидального плазменного вихря, а другой – для создания квазиискрового разряда.

Получение шаровой молнии с использованием искусственного формирователя тороидального плазменного вихря и квазиискрового разряда

Упрощённая схема электрофизической установки показана на рис. 5.2. Штанг может быть несколько, например, 16 шт.

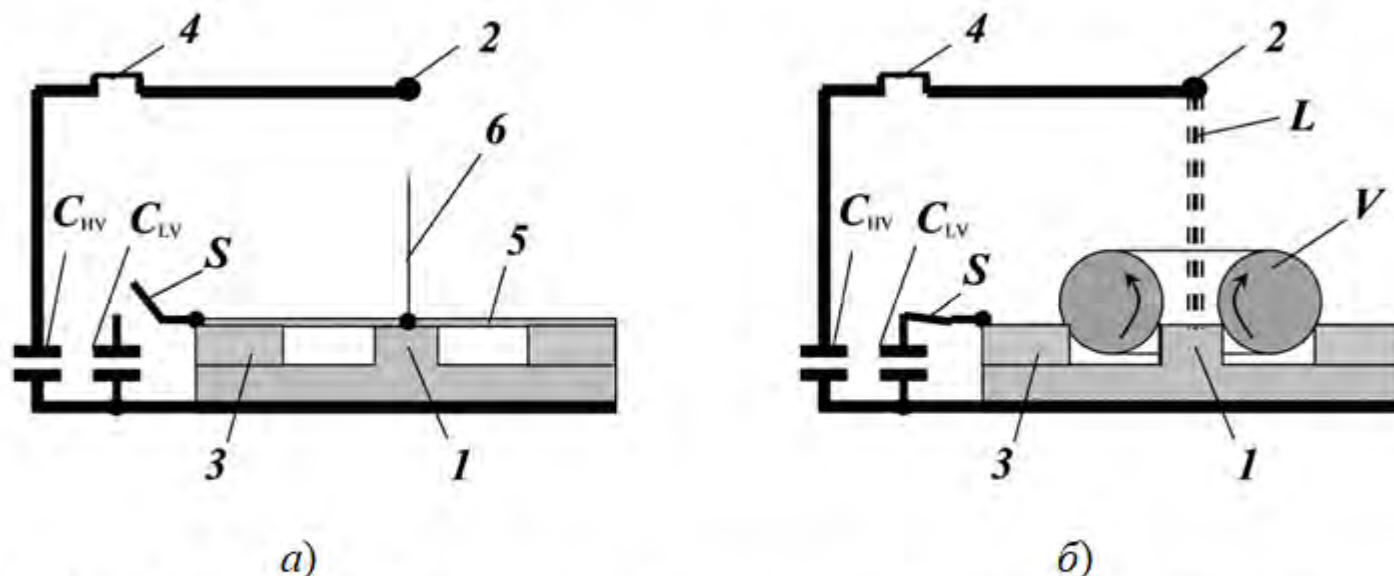


Рис. 5.2. Схема электрофизической установки для получения шаровой молнии посредством формирования тороидального плазменного вихря и квазиискрового разряда: а – перед подачей энергии: ключ S разомкнут; б – во время разрядки накопителей энергии: ключ S замкнут

Получение шаровой молнии с использованием искусственного формирователя тороидального плазменного вихря и квазиискрового разряда

На рис. 5.2 приняты следующие обозначения.

Цифрами обозначены: 1 – катод, 2 – анод, 3 – диэлектрический диск для ограничения распространения разрядных токов, 4 – шарнир со штангой, соединяющей анод 2, 5 – электрически взрываема металлическая фольга, 6 – электрически взрываема антенна для формирования искрового канала.

Буквами обозначены: CHV – высоковольтный накопитель энергии, CLV – низковольтный накопитель энергии, S – ключ-коммутатор, V – образовавшийся тороидальный плазменный вихрь, L – квазиискровой разряд, моделирующий главный удар линейной молнии.

Получение шаровой молнии с использованием искусственного формирователя тороидального плазменного вихря и квазиискрового разряда

Установка (рис. 5.2) работает следующим образом.

Вначале производят заряд накопителей энергии C_{HV} и C_{LV} , рис. 5.2, а. Рекомендуемое значение параметров накопителей: $C_{HV} = 10000$ мкФ, $U_{HV} = 5$ кВ, $C_{LV} = 1$ Ф, $U_{LV} = 400$ В.

Затем замыкают ключ-коммутатор S (например, тиристор), рис. 5.2, б.

В этом случае накопитель энергии C_{LV} разряжается через электрически взрываемую металлическую диафрагму 5, создавая примерно через 100 мкс ток на уровне порядка 400 кА. Диафрагма 5 взрывается и из её материала образуется тороидальный плазменный вихрь V , который ионизирует газ в промежутке между анодом 2 и электрически взрываемой антенной 6. В результате создается разрядный канал квазиискрового разряда L с амплитудой (ориентировочно) 500 кА при длительности порядка 100 мкс, что достаточно для возникновения индукционного разряда внутри тороидального плазменного вихря V и формирования на его основе шаровой молнии. При этом анод 2 вместе со штангой на шарнире 4 откидывается под действием сил Ампера, освобождая путь для вылета шаровой молнии.

Получение плазмоида – аналога шаровой молнии с использованием свёрнутых в тор электрически взрывааемых проволочных спиралей

При электрическом взрыве металла из продуктов его распада образуется плазма с температурой на уровне 20000 К [152], благодаря чему создаются хорошие условия для формирования индукционного разряда.

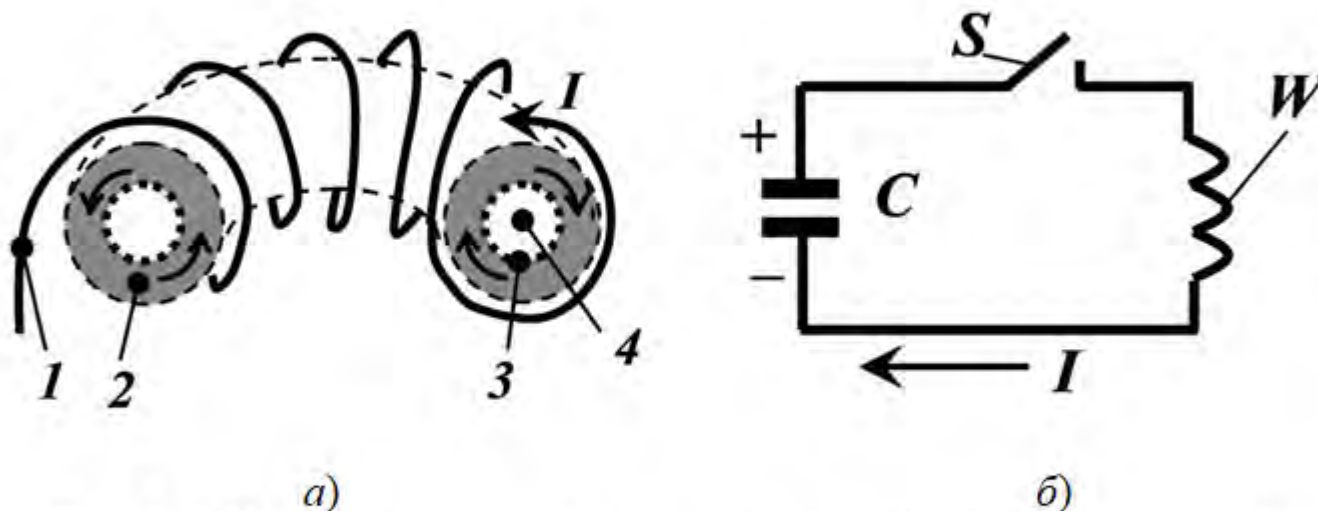


Рис. 5.3. Использование свёрнутых в тор проволочных спиралей:
а – начальное расположение спирали перед электровзрывом и последующее
расположение магнитоплазменной конфигурации, б – упрощённая
электрическая схема экспериментальной установки

Получение плазмоида – аналога шаровой молнии с использованием свёрнутых в тор электрически взрывааемых проволочных спиралей

На рис. 5.3 приняты следующие обозначения.

Цифрами обозначено: 1 – электрически взрываема проволочная спираль до электровзрыва,

2 – тороидаальный плазменный вихрь, получаеый после электровзрыва спирали 1,

3 – индукционный разряд, инициируеый в процессе электровзрыва спирали 1,

4 – тороидаальное магнитное поле, поддерживаеое индукционным разрядом 3.

Буквами обозначено: I – электрический ток спирали 1, C – низковольтный накопитель энергии, S – ключ-коммутатор, W – электрически взрываема проволочная спираль 1.

Получение плазмоида – аналога шаровой молнии с использованием свёрнутых в тор электрически взрывааемых проволочных спиралей

Установка (рис. 5.3, а) работает следующим образом.

Вначале производят заряд конденсаторной батареи C (рис. 5.3, а). Рекомендуемое значение параметров конденсаторной батареи: $C = 60000$ мкФ, $U = 350$ В.

Затем замыкают ключ-коммутатор S (например, тиристор), рис. 5.3, б. В этом случае конденсаторная батарея C разряжается через электрически взрываемую электрическую спираль 1, создавая из материала проволочной спирали после электровзрыва тороидальный плазменный вихрь 2. В этом плазменном вихре при этом инициируется индукционный разряд 3, поддерживающий тороидальное магнитное поле 4, оставшееся после магнитного поля, созданного током I спирали 1.

Выводы

Таким образом, основы теории шаровой молнии, рассмотренные в предыдущих главах, допускают экспериментальную проверку различными методами, представленными в данной главе.

Эти методы можно комбинировать, используя, к примеру, квазиискровой разряд и тороидально установленные электрически взрывааемые проводники вместо электрически взрывааемой металлической диафрагмы.

В данной главе приведено описание электрофизической установки «ИНГИР-Мега-15», с помощью которой были получены основные экспериментальные результаты.

Принцип работы установки основан на формировании мощных одиночных импульсов тока субмегаамперного субмиллисекундного диапазона при разряде ёмкостных накопителей энергии.

В состав электрофизической установки «ИНГИР-Мега-15» входят:

1. Силовая система;
2. Испытательная камера;
3. Сменные газоразрядные стенды;
4. Управляющая регистрационно-измерительная система.

Установка была создана в 2013 году, а затем было проведено несколько модернизаций

- Термин «ИНГИР» – это аббревиатура слов:

«Индуктивный Накопитель для Генерации Индукционного Разряда»

Цифра 15 – мощность импульса тока в МВт.

- **Содержала конденсаторную батарею (0.35 Ф, 450 В) и тиристорный коммутатор (35 кА).**

Примечание. После модернизации мощность импульса была доведена до 160 МВт.

Фото экспериментальной установки ИГИР-Мега-15 до модернизации



- 1 – силовая система;
- 2 – камера для испытаний;
- 3 – стенд для проведения электрических взрывов;
- 4 – система для управления и контроля.

Глава 6. Электрофизическая установка ИГИР-Мега-15

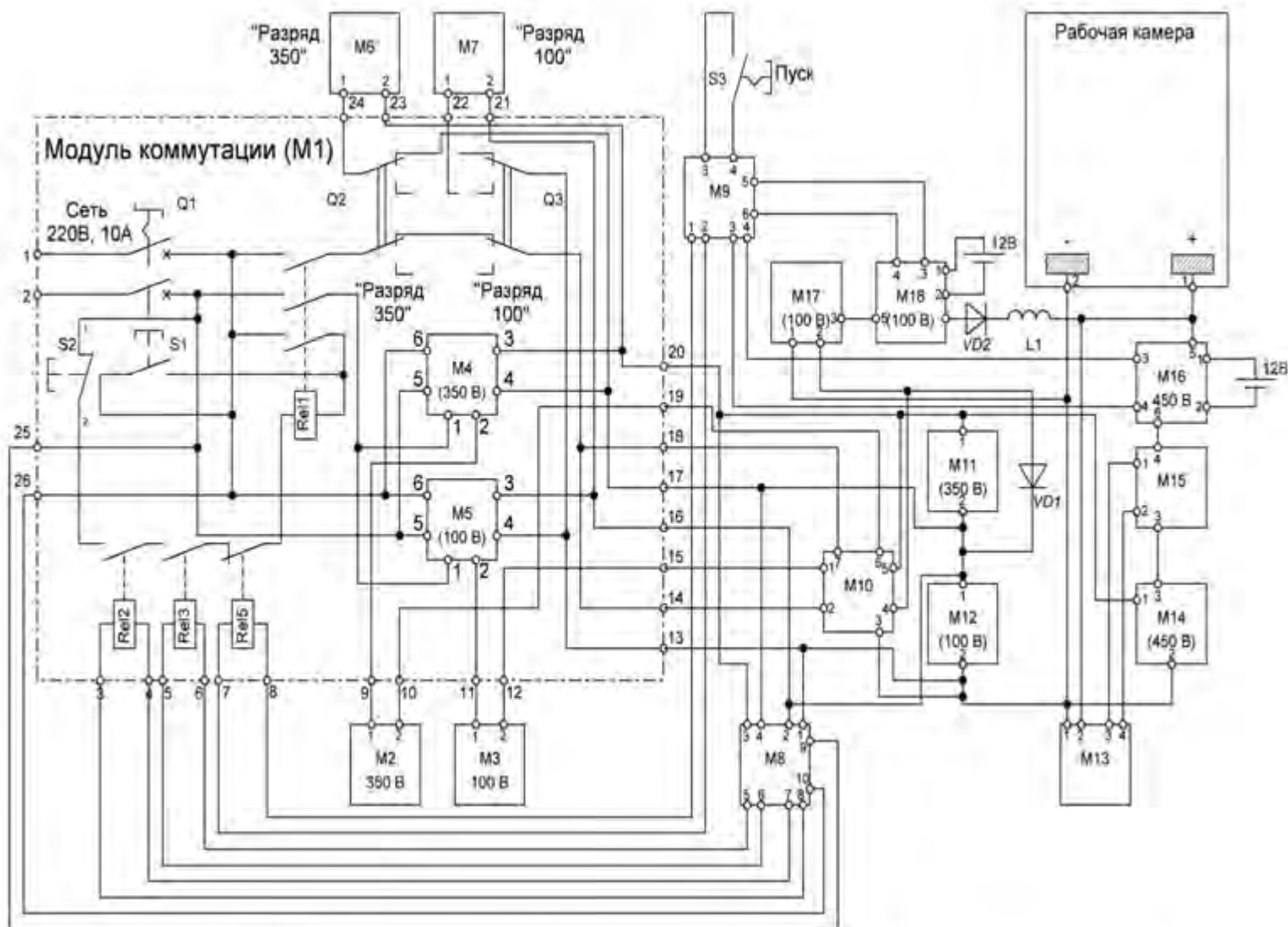


Рис. 6.4. Общая электрическая схема установки «ИНГИР-Мега-15»

Параметры установки до и после первой модернизации

Параметр	Ед. изм.	Было	Стало
Ёмкость батареи	Ф	0.35	1.0
Напряжение	В	450	450
Полный заряд	Кл	158	450
Передаваемый разряд	Кл	50	150
Полная энергия	кДж	35	100
Амплитуда тока	кА	35	400
Передаваемая энергия	кДж	18	50

После второй модернизации

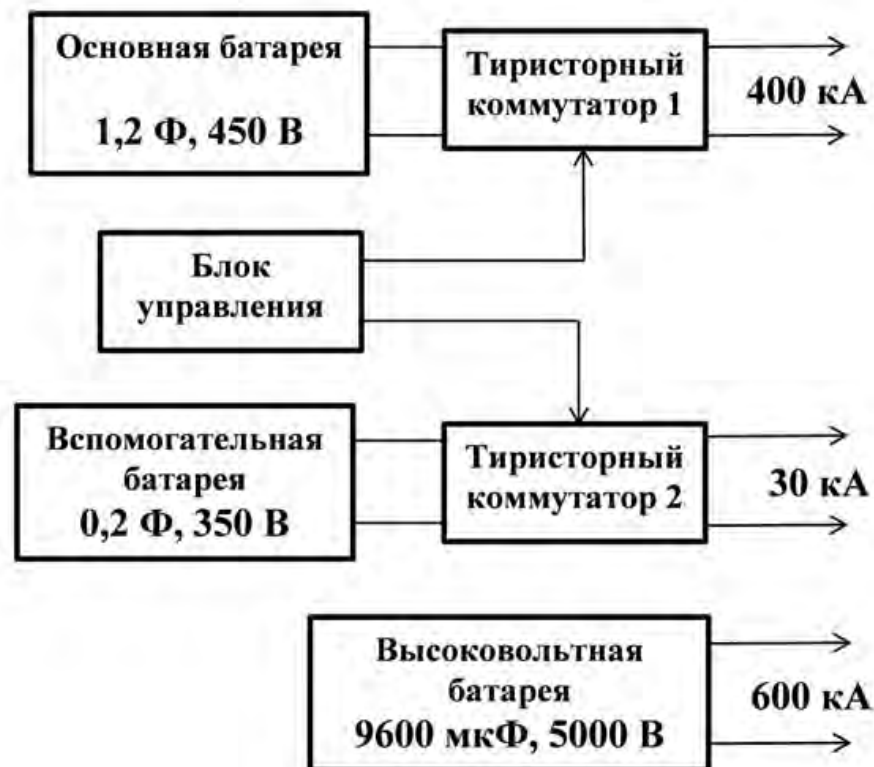
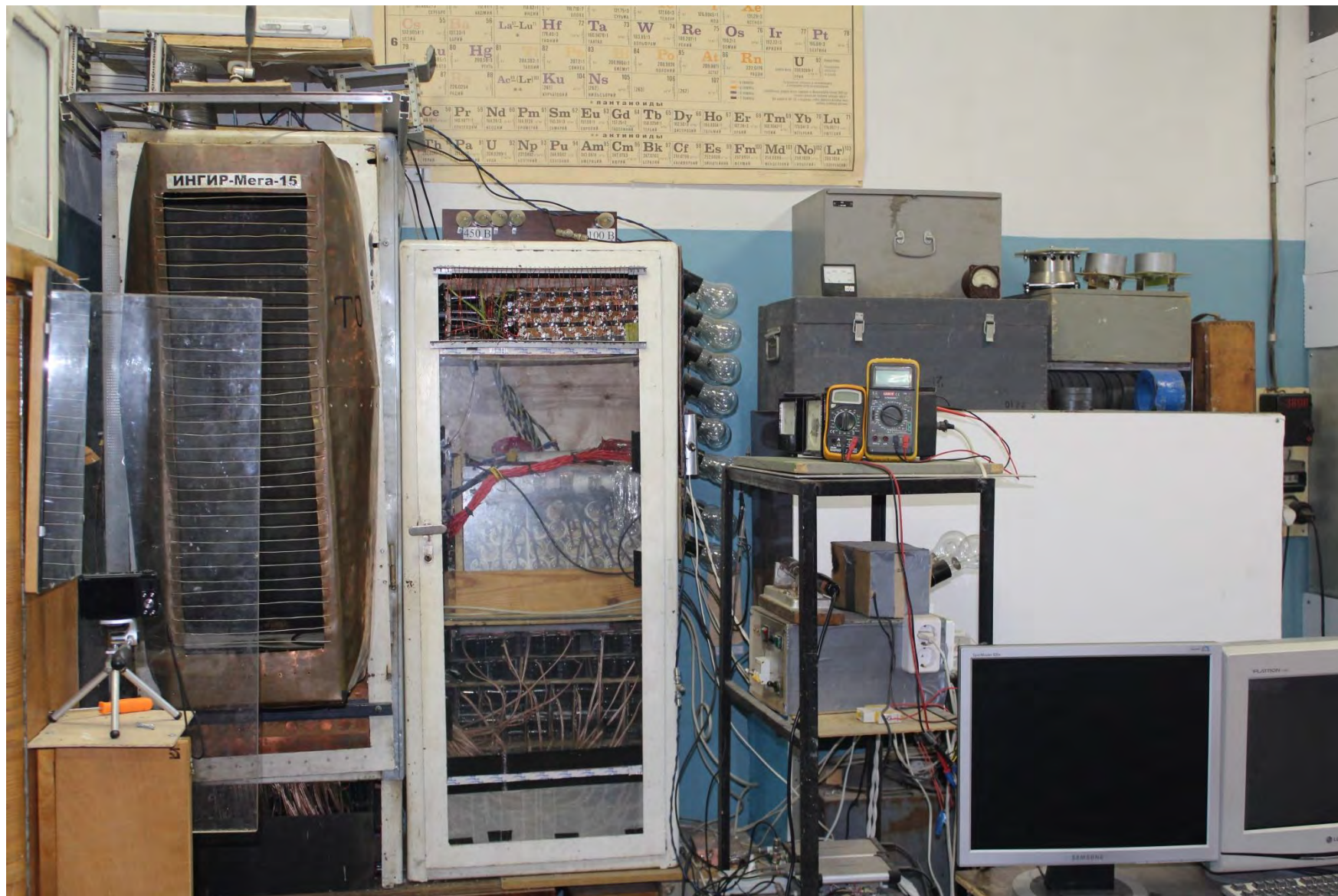


Рис. 6.20. Блок-схема силовой части модернизированной электрофизической установки ИГИР-Мега-15

Высоковольтная конденсаторная батарея (рис. 6.20) подключается непосредственно к газоразрядному стенду, и её коммутация осуществляется с помощью плазмы, генерируемой при электровзрыве проводников при подаче напряжения от низковольтных конденсаторных батарей.

Глава 6. Электрофизическая установка ИГИР-Мега-15

Внешний вид установки «ИНГИР-Мега-15» после второй модернизации



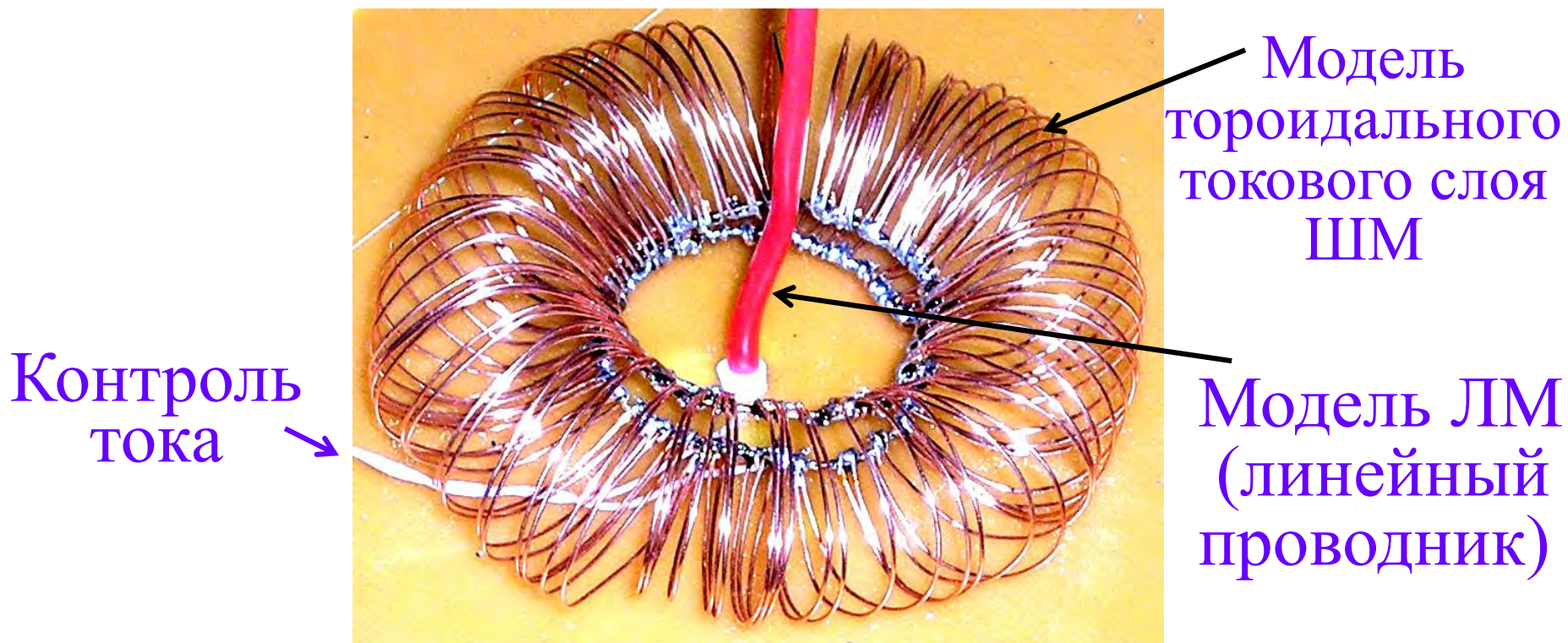
Выводы.

Электрофизическая установка ИНГИР-Мега-15 позволяет проводить эксперименты по моделированию шаровых молний.

Особенно перспективной выглядит высоковольтная часть установки, которая недавно изготовлена, и которая ещё находится в стадии отладки.

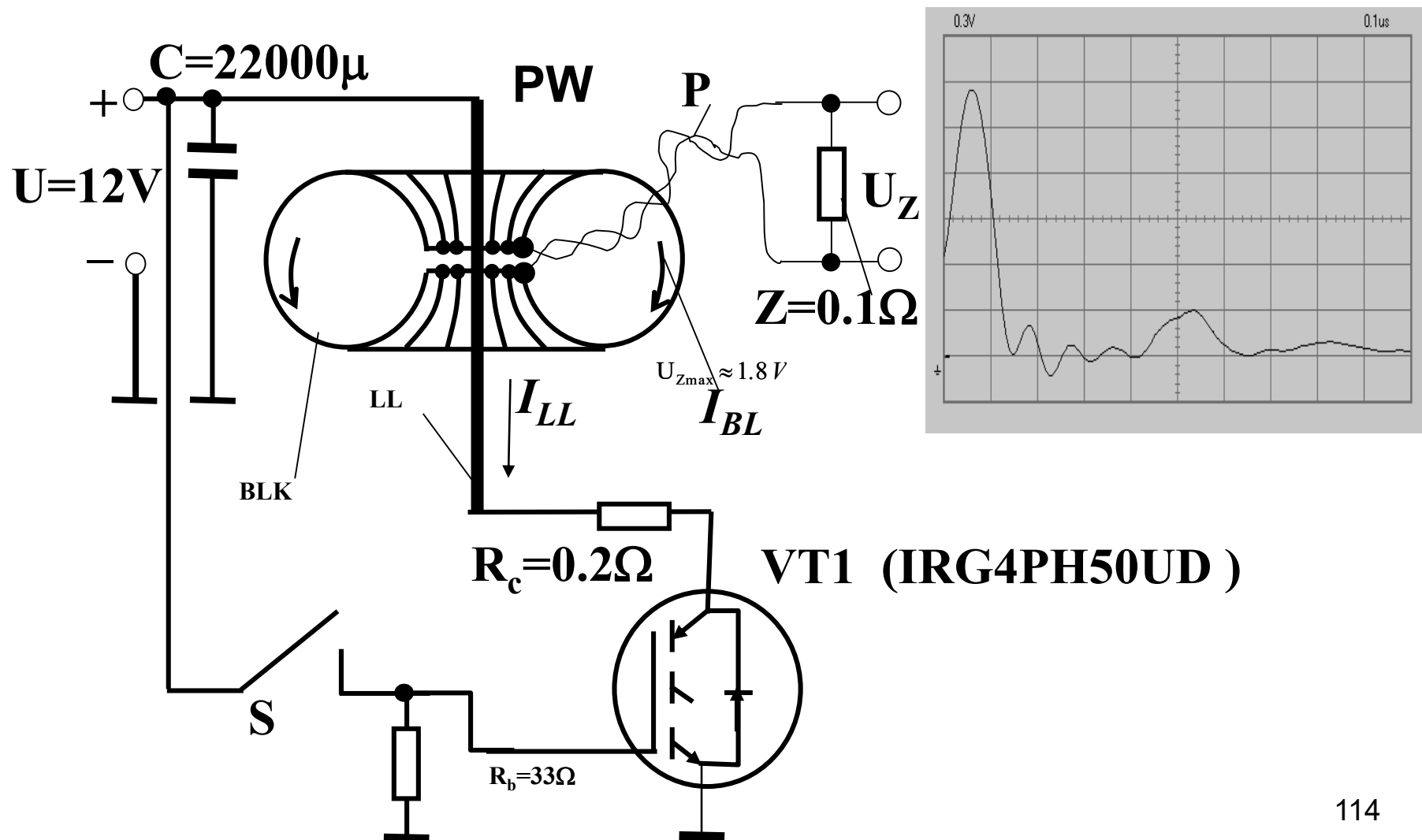
Глава 7. Лабораторные опыты

Экспериментальное подтверждение восприятия тороидальной оболочкой энергии от импульсного магнитного поля.



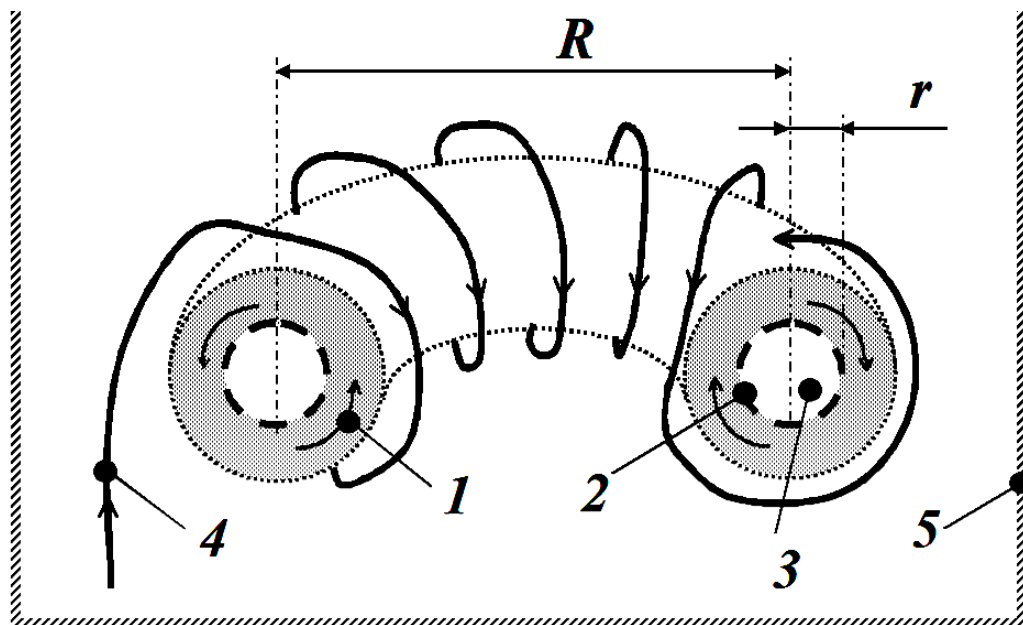
Глава 7. Лабораторные опыты

Схема экспериментальной установки, имитирующей взаимодействие линейного проводника с Н-разрядом:



Глава 7. Лабораторные опыты

Наилучшие результаты получаются, когда взрывающаяся спираль помещается вблизи дна воронки или короткого патрубка.



1 – плазменный вихрь; **2** – Н-разряд; **3** – тороидальное магнитное поле; **4** – взрывающаяся проволочка; **5** – воронка.

Глава 7. Лабораторные опыты

Для свёрнутой в тор проволочной спирали ток при взрыве должен составлять существенно меньшую величину, чем для линейного проводника:

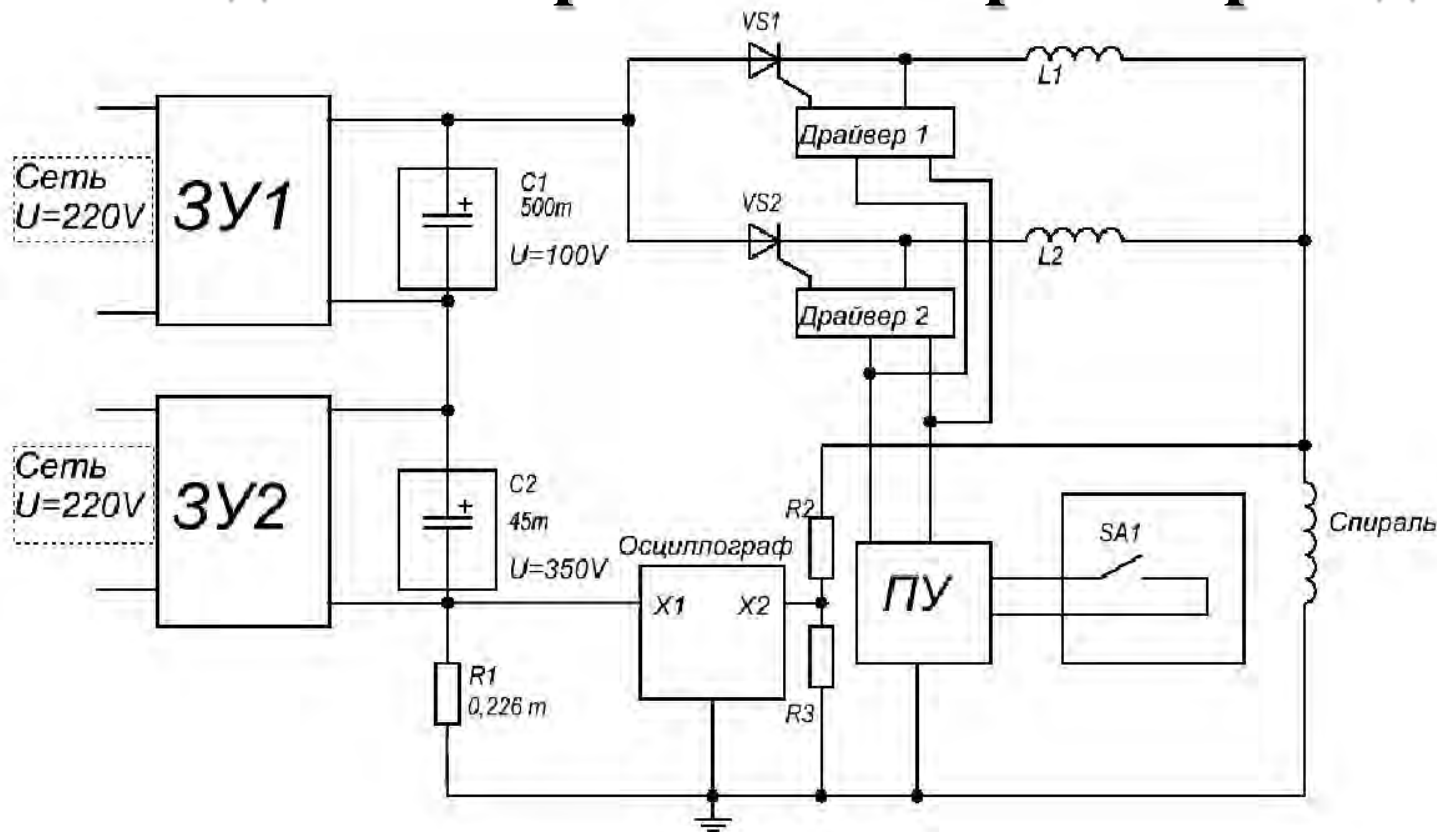
$$i_{sp} = I / N ,$$

где N – число витков спирали.

Если $I = 200$ кА (прогнозируемое время 1 с),
 $N = 10$, то необходим ток спирали $i_{sp} = 20$ кА.

Глава 7. Лабораторные опыты

Установка для электрического взрыва проводников



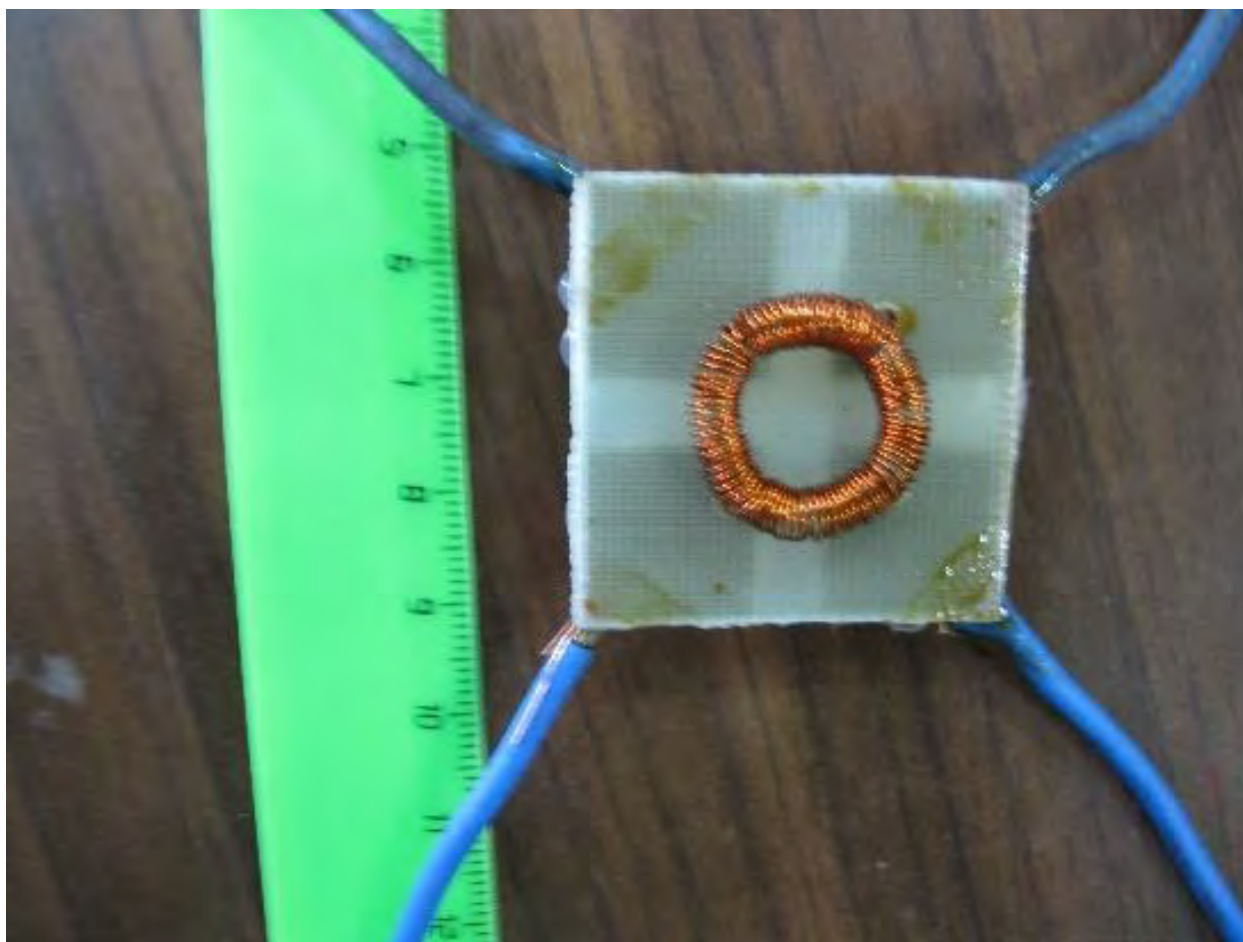
$3Y1$, $3Y2$ – зарядные устройства, $C1$, $C2$ – конденсаторные батареи, $SA1$ – ключ, $VS1$, $VS2$ – тиристоры, ПУ – пульт управления, $L1$, $L2$ – дроссели.

Глава 7. Лабораторные опыты

Картридж 1

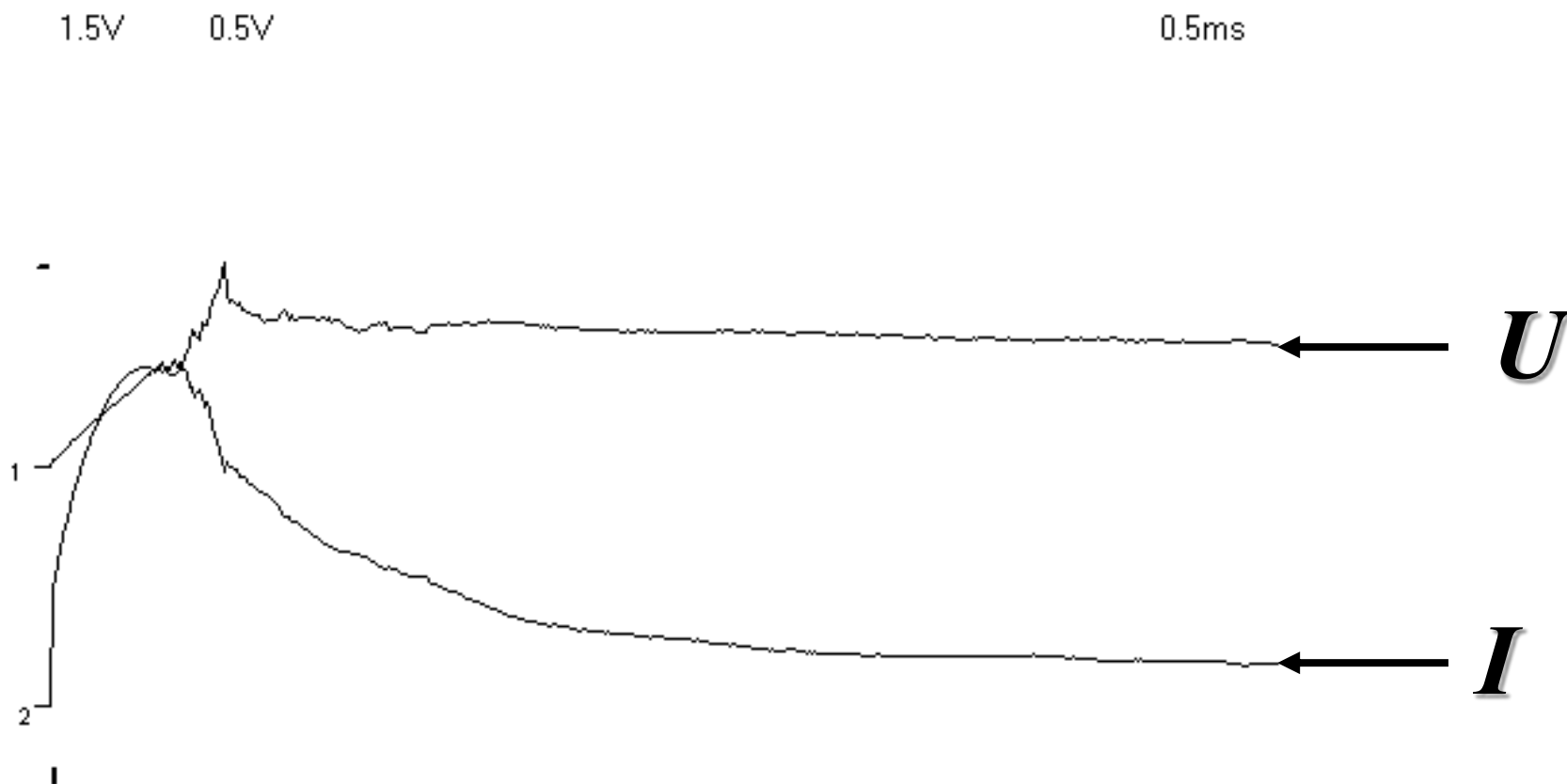
Глава 7. Лабораторные опыты

Фото **взрывающейся проволочной спирали**, свёрнутой в тор. Спираль выполнена из 4-х секций, попарно с левой и правой намотками.



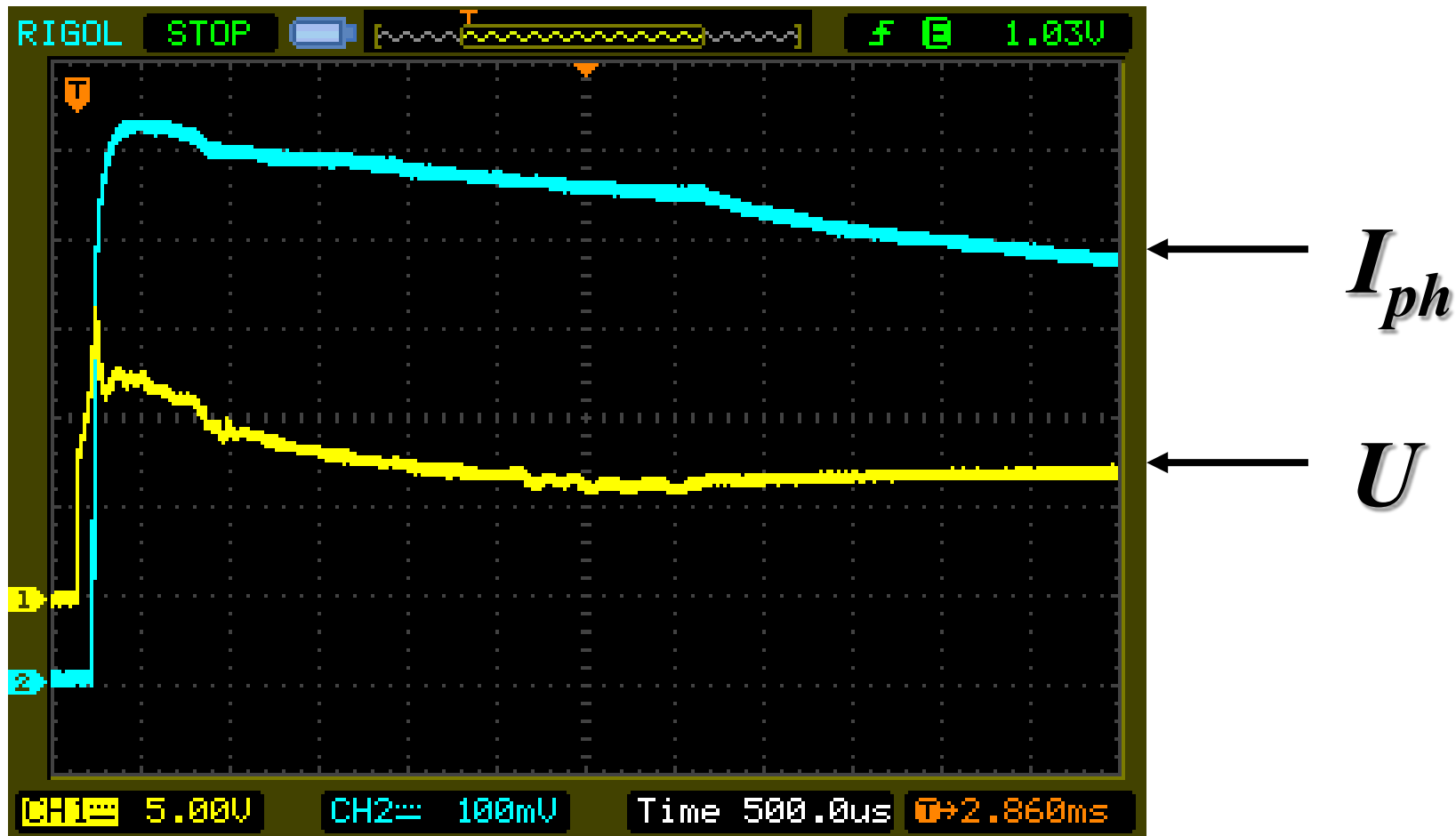
Глава 7. Лабораторные опыты

Осциллограммы тока (I) и напряжения (U) спирали:
(пик соответствует моменту электрического взрыва)



Глава 7. Лабораторные опыты

Ток фотоприёмника (I_{PH}) и напряжение (U) на спирали (пик соответствует моменту электрического взрыва)



Глава 7. Лабораторные опыты



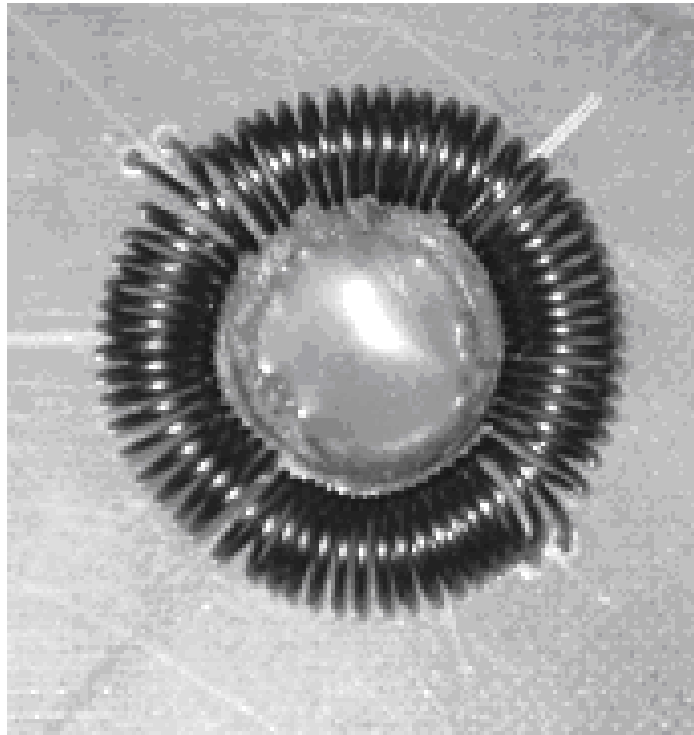
Глава 7. Лабораторные опыты

Картридж 2

$$N = 16$$

$$R = 7,5 \text{ mm}$$

$$r = 2,5 \text{ mm}$$



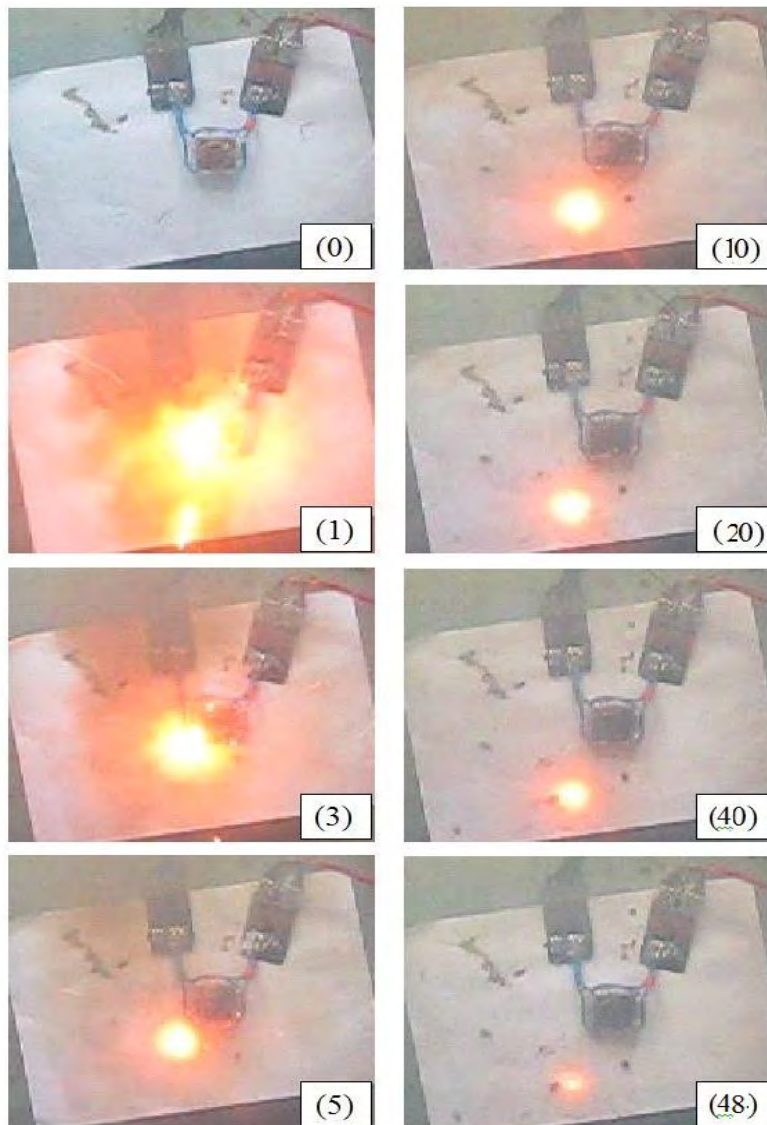
$$\tau_{\text{эксн.}} \approx 1,6 \text{ c}$$

Гiv-файл эксперимента с картриджем 4 $\tau_{\text{эсп.}} \approx 1,6 \text{ с}$

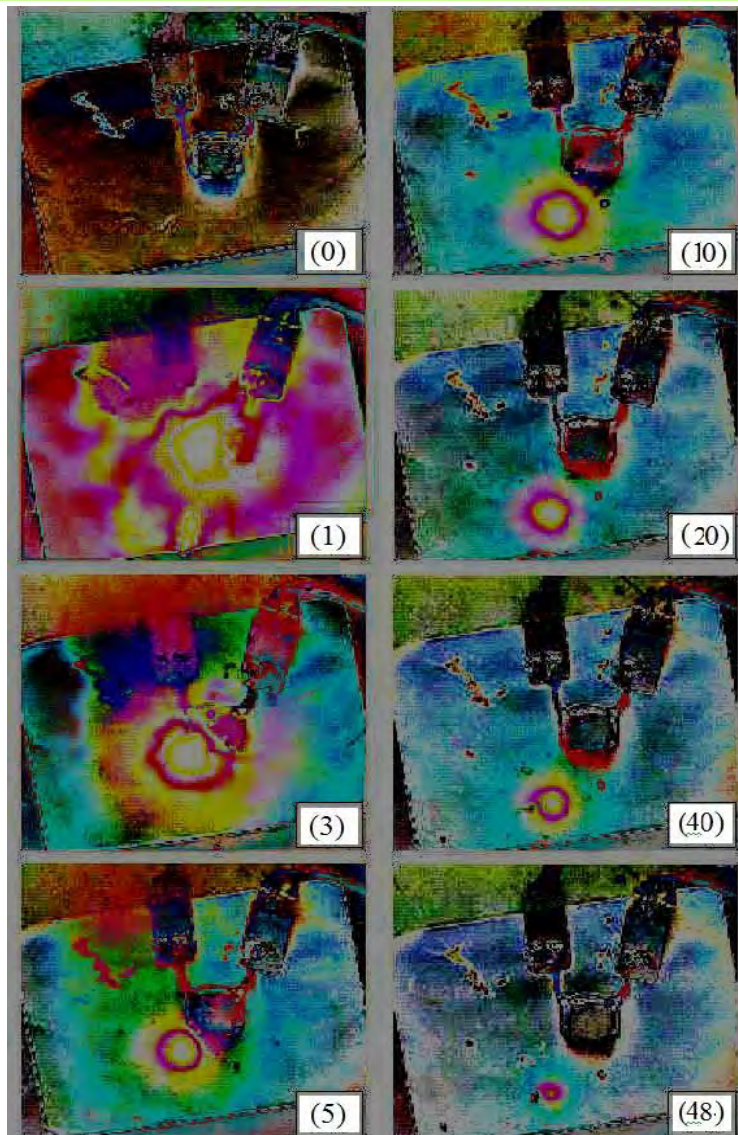


Эксперименты с картриджем 4.

Видеозапись



Цифровая фильтрация



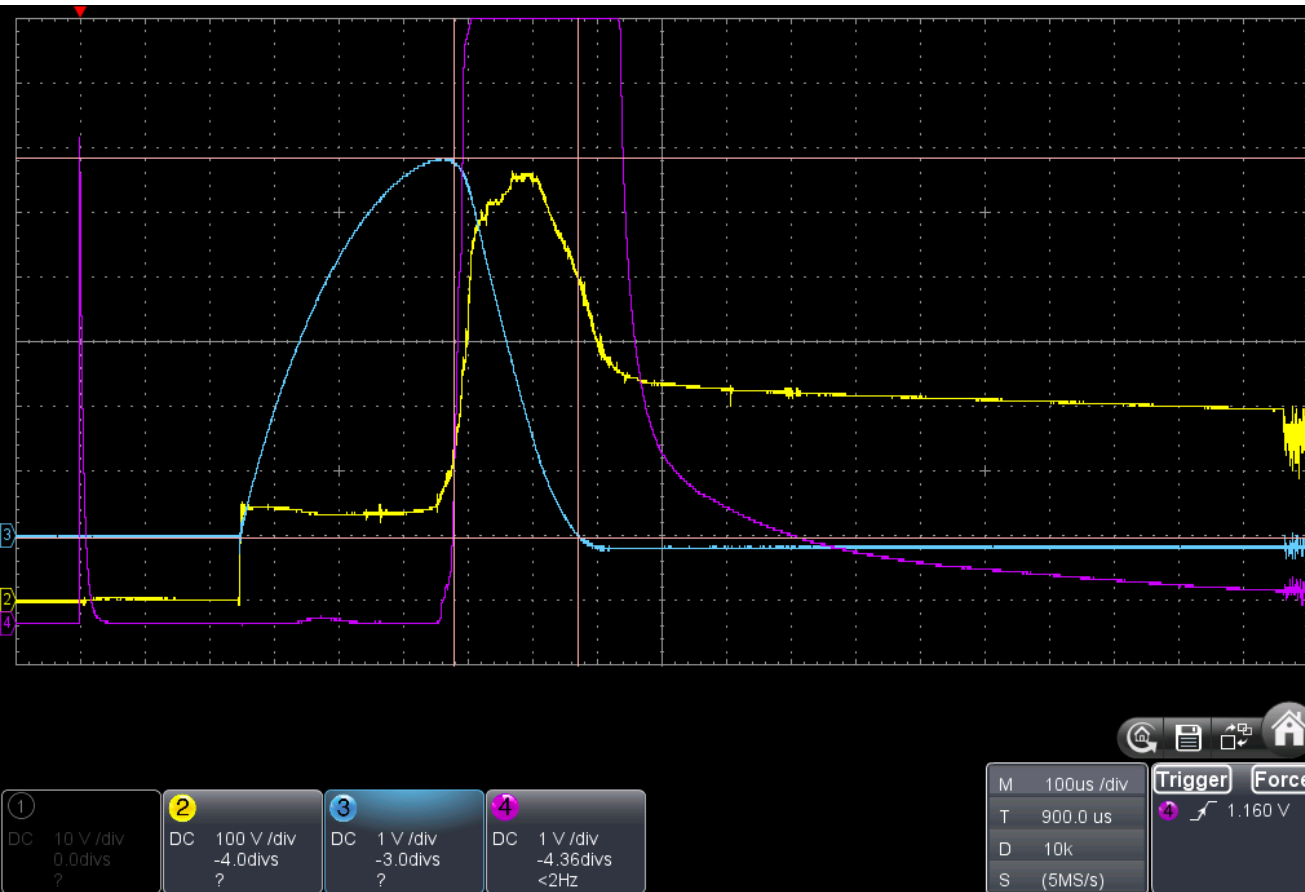
Глава 7. Лабораторные опыты

Взрывной стенд с тороидально установленными проводниками
(одновитковые спирали)



Глава 7. Лабораторные опыты

Осциллограммы, полученные при испытаниях стенда



Канал 2 - напряжение на выходе тиристоров, одно деление 100 В. Пиковое напряжение 600 В.

Канал 3 - разрядный ток, одно деление 1 В соответствует току 65 кА, пиковый ток 377 кА.

Канал 4 - фотосигнал, одно деление 1 В.

Одно деление по длительности составляет 100 мкс.

Глава 7. Лабораторные опыты



Глава 7. Лабораторные опыты

О дополнительном индукционном нагреве плазмы в импульсном плазмотроне. Квазиискровой разряд

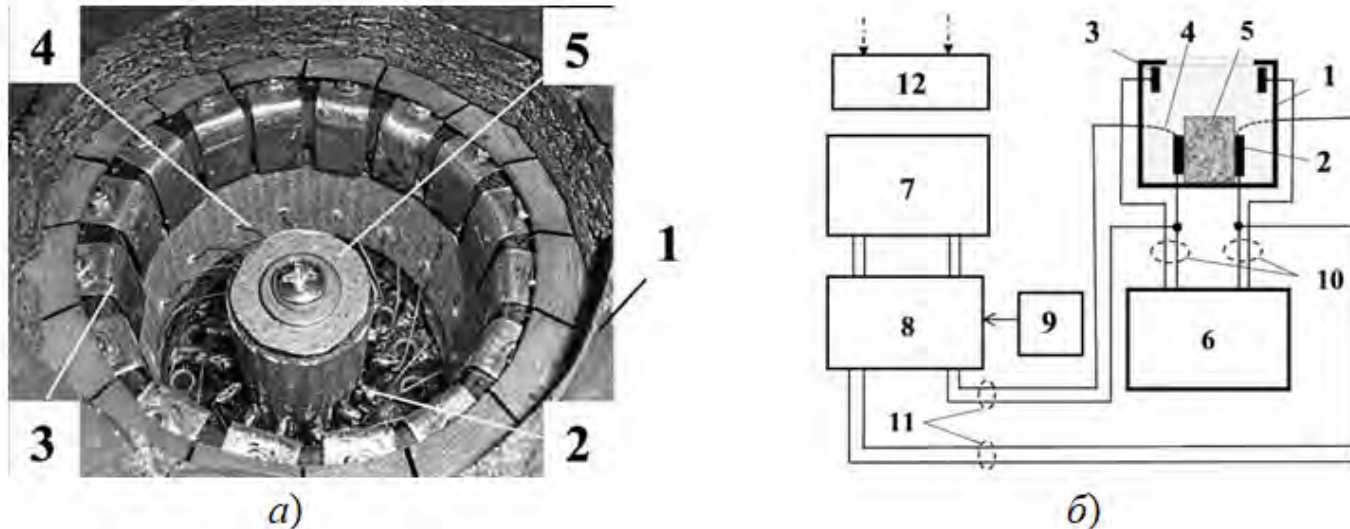


Рис. 7.17 – Импульсный плазмотрон с дополнительным нагревом плазмы:
а – фото импульсного плазмотрона, б – схема электропитания плазмотрона:

1 – полуоткрытая цилиндрическая камера; 2 – катод; 3 – анод; 4 – электрически взрываемые медные проволоочки; 5 – стабилизирующий цилиндр;

6 – высоковольтная конденсаторная батарея; 7 – низковольтная конденсаторная батарея; 8 – тиристорный коммутатор; 9 – блок запуска; 10 – витые высоковольтные пары; 11 – витые низковольтные пары; 12 – контрольно-регистрирующая аппаратура

Глава 7. Лабораторные опыты

О дополнительном индукционном нагреве плазмы в импульсном плазмотроне. Квазиискровой разряд

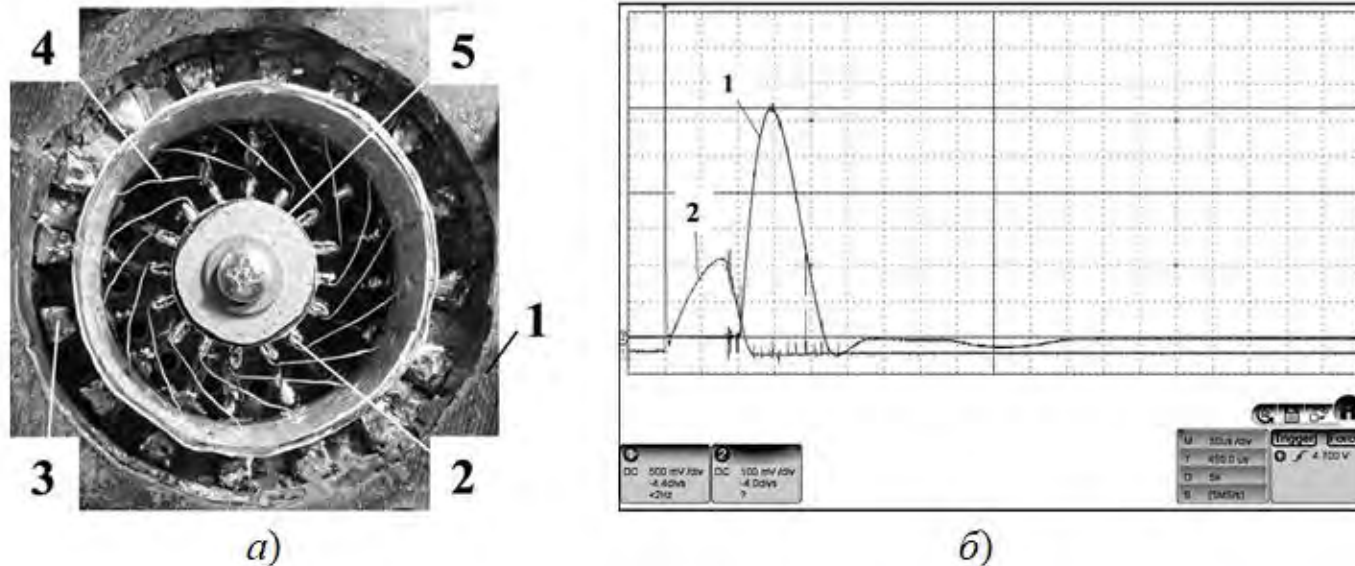


Рис. 7.18 – Импульсный плазмотрон и токи разряда: а – фото импульсного плазмотрона без анодного узла: 1 – полуоткрытая цилиндрическая камера; 2 – катод; 3 – подводящие низковольтные электроды; 4 – электрически взрывающиеся медные проволочки; 5 – стабилизирующий цилиндр; б – осциллограммы: 1 – ток, создающий тороидальное магнитное поле; 2 – ток, создающий полоидальное магнитное поле

Глава 7. Лабораторные опыты

О дополнительном индукционном нагреве плазмы в импульсном плазмотроне. Квазиискровой разряд

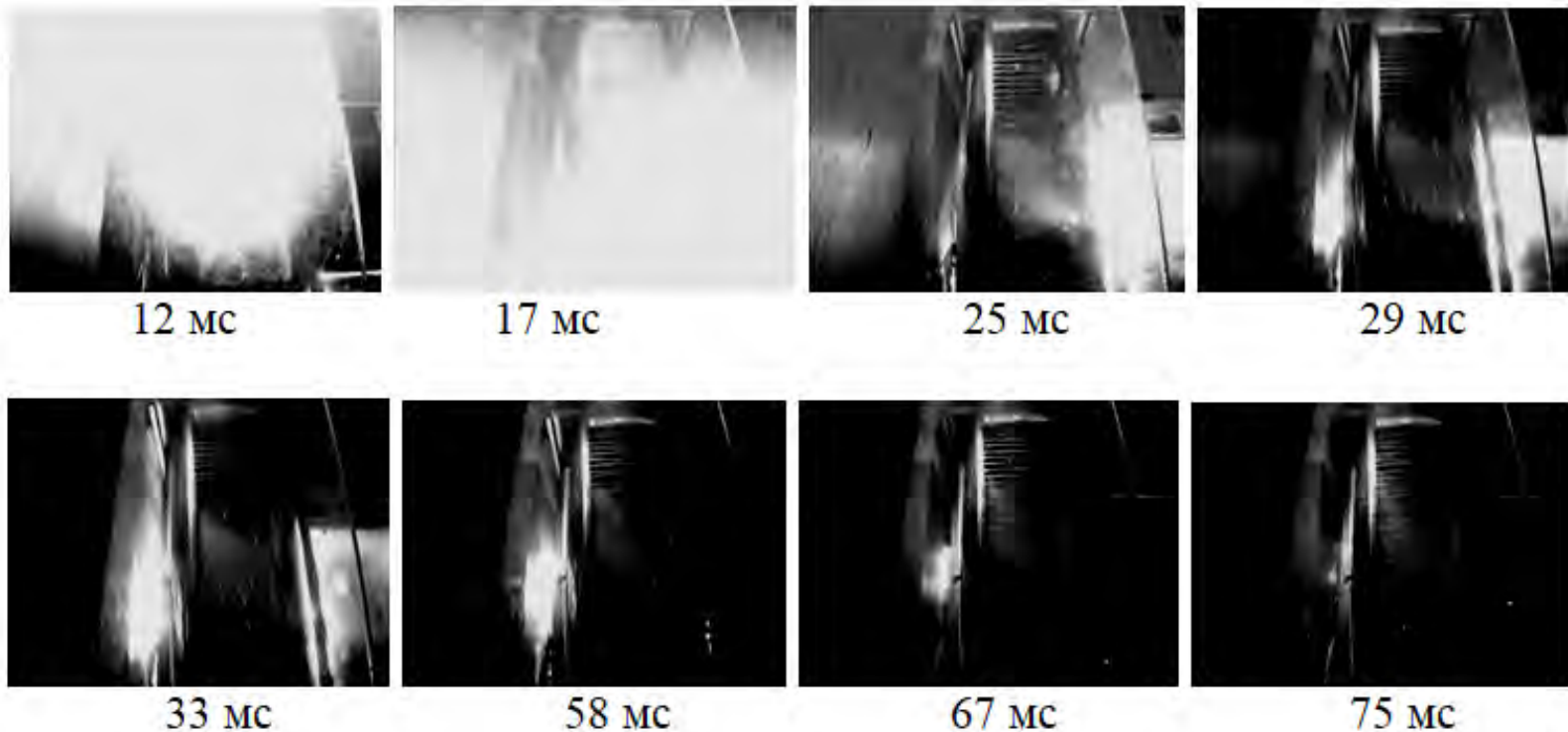


Рис. 7.19. Видеокадры процесса формирования и эволюции автономного плазменного образования (АПО). На 17 мс произошел взрыв АПО и распад его на два других АПО. Цифрами указано время от начала процесса ввода энергии в плазму

Глава 7. Лабораторные опыты

О дополнительном индукционном нагреве плазмы в импульсном плазмотроне. Квазиискровой разряд

На основе анализа видеокадров (рис. 7.19) видно, что на выходе исследуемого импульсного плазмотрона действительно получилось автономное плазменное образование (АПО) (видеокадр 12 мс, первые два видеокадра были полностью засвечены). Однако процесс эволюции этого АПО существенно отличается от ранее полученных результатов в работе [74]. Если ранее АПО в целом сохраняло свою форму, близкую к шарообразной, с интенсивным световым излучением в течение 40 мс, то в рассматриваемом случае на 17 мс АПО взорвалось и распалось на два других АПО (справа и слева на рис. 7.19, кадры 25, 29 и 33 мс).

Необычным является и то, что эти два новых АПО наблюдались вне взрывной камеры, проникнув в щель размером около 1 см (слева на рис. 7.19) и технологическое в отверстие диаметром около 3 см (справа на рисунке 3).

Глава 7. Лабораторные опыты

О дополнительном индукционном нагреве плазмы в импульсном плазмотроне. Квазиискровой разряд

. Объяснить этот феномен может кластерная гипотеза [165], согласно которой шаровая молния может состоять из кластеров в виде прочно связанных соединений положительного или отрицательного ионов с оболочкой из нейтральных частиц. Кластерная оболочка, состоящая из 3—5 молекул воды, имеет энергию связи около 4 эВ, и она не должна разрушаться от соударений при температуре ниже 1000 К [165, с. 170].

Следует особо отметить, что в описываемом эксперименте в полуоткрытой камере (рис. 7.19, а) снизу были выполнены отверстия, через которые пропусклся водяной пар.

Глава 7. Лабораторные опыты

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования показали принципиальную возможность проверки теории шаровой молнии. До экспериментального получения шаровой молнии остался фактически один шаг — изготовление импульсного плазмотрона с достаточно большим диаметром рабочей камеры.

Фактор размера шаровой молнии необходимо учитывать также в экспериментах с моделированием разряда линейной молнии. ¹³⁴

Глава 8. Проектирование термоядерного реактора на основе ядра шаровой молнии

Шаровую молнию можно рассматривать как физический объект, имеющий ядро и оболочку.

Ядро – это тороидальный токовый слой внутри тороидального плазменного вихря, а оболочка – это светящийся газ и пыль, окружающие ядро шаровой молнии.

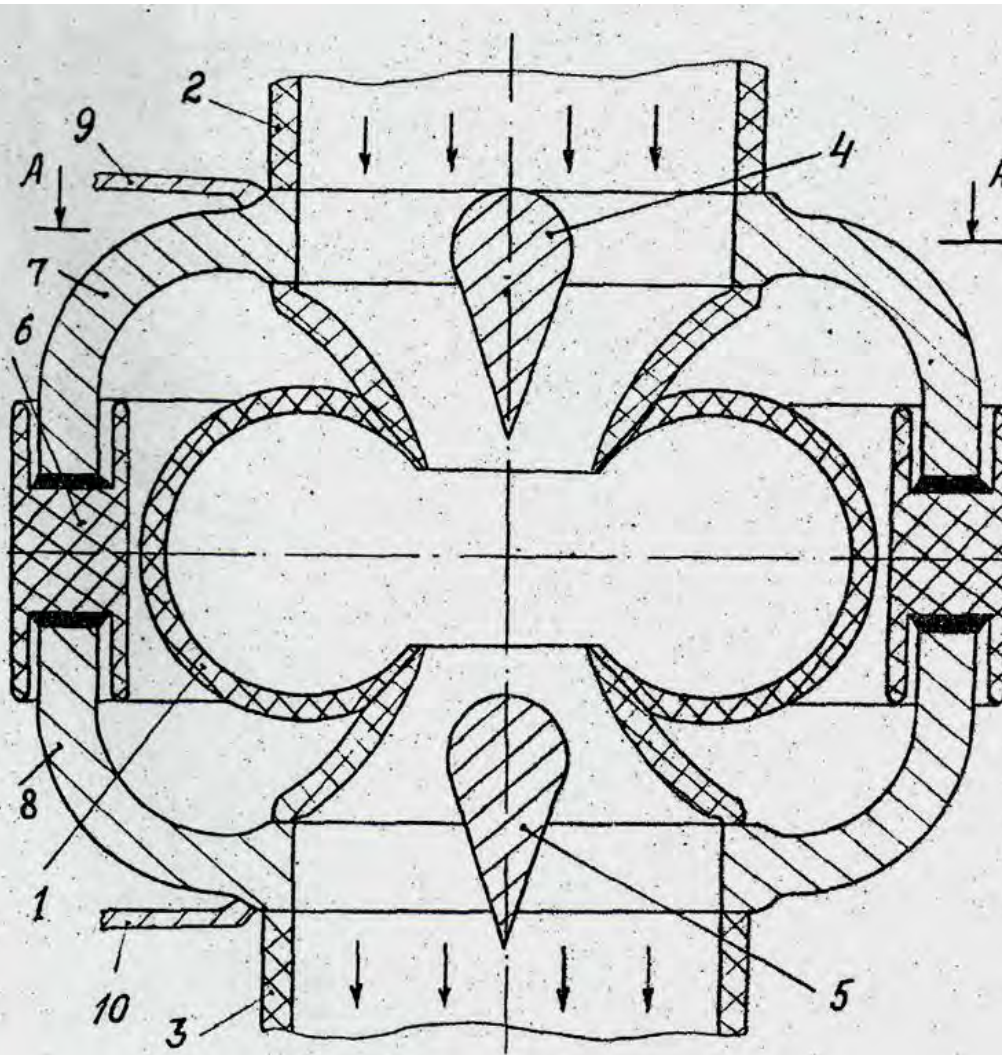
Именно в ядре шаровой молнии могут происходить реакции ядерного синтеза. Это ядро имеет тороидальную геометрию, и представляется естественным рассмотреть возможность получения ядра шаровой молнии в тороидальной камере.

Для получения ядра шаровой молнии необходимо создавать тороидальное магнитное поле, поэтому тороидальная установка должна быть снабжена тороидальными катушками.

Таким образом, для получения ядра шаровой молнии необходима тороидальная камера с магнитными катушками, т.е. тороидальная установка типа «токамак».

Глава 8. Проектирование термоядерного реактора на основе ядра шаровой молнии

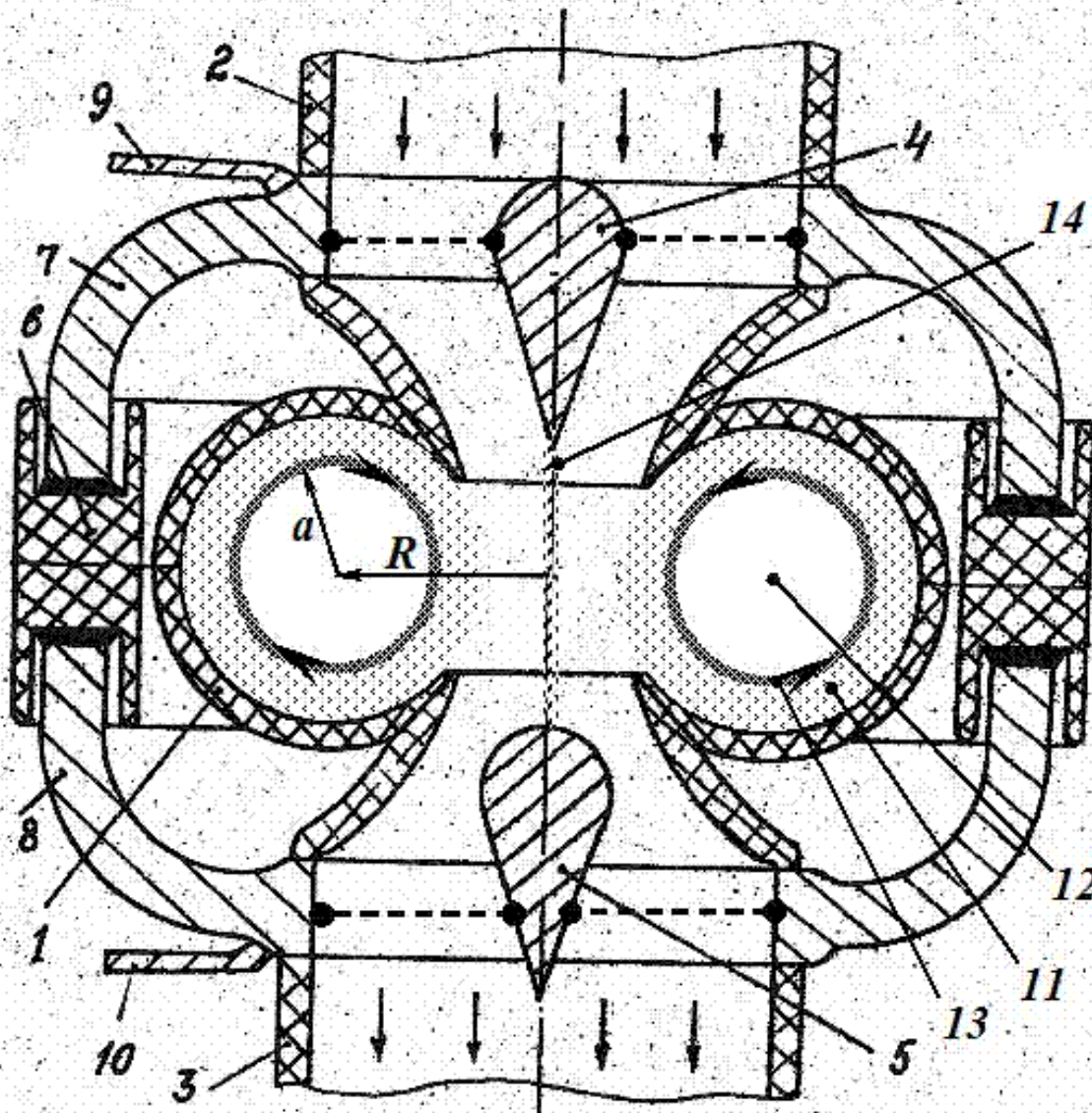
Проект экспериментальной установки «Токамак-флайбэк» для ядерного синтеза при низкой ионной температуре



Патент СССР № 1830241

- 1 – тороидальная камера;
- 2, 3 – каналы для прокачки плазмообразующего газа (дейтерия;
- 4, 5 – электроды;
- 6 – конденсаторная батарея;
- 7, 8 – витки магнитной системы (магнитные катушки);
- 9, 10 – подводящие провода.

Глава 8. Проектирование термоядерного реактора на основе ядра шаровой молнии



МГД конфигурация в реакторе:

- 11 – плазменный кольцевой вихрь;
- 12 – тороидальное магнитное поле;
- 13 – тороидальный токовый слой (вторичный ток);
- 14 – импульсный газовый разряд (первичный ток).

Реакции синтеза могут проходить в области тороидального токового слоя.

Глава 8. Проектирование термоядерного реактора на основе ядра шаровой молнии

Расчётные параметры реактора «Токамак-флайбэк»

1. Большой радиус тороидальной камеры..... $R = 150$ см
2. Малый радиус тороидальной камеры..... $r_c = 35$ см
3. Малый радиус тороидального токового слоя..... $a = 17,5$ см
4. Максимальная индукция магнитного поля, не более..... $B_{\max} \leq 3,5$ Тл
5. Температура в области ТТ-слоя (ориентировочно) $T = 11600$ К
6. Релятивистский фактор коллективизированных релятивистских электронов (ориентируясь на энергию ускоренных электронов при срыве тока разряда в ТОКАМАКАх [171])..... $\gamma \leq 30$
7. Плазмообразующий газ..... чистый дейтерий ($m_i \approx 3,3 \cdot 10^{-27}$ кг), средняя энергия одного ядерного слияния:
 $W_{dd} \approx 6 \cdot 10^{-13}$ Дж (справочные данные).
8. Мощность реакций ядерного синтеза..... $N_{dd} \geq 2$ МВт.

Глава 8. Проектирование термоядерного реактора на основе ядра шаровой молнии

Расчётные параметры реактора «Токамак-флайбэк»

В монографии показано, что:

Отношение Ψ вырабатываемой электрической энергии к потребляемой электрической энергии реактором в рассматриваемом термоядерной установке с учётом КПД $\eta = 0,2$ составляет

$$\Psi = \frac{\eta W_{dd}}{W_c} = \frac{0,2 \cdot 740}{2,13} \approx 69.$$

Принятый КПД $\eta = 0,2$ учитывает сопутствующие расходы энергии на вспомогательные процессы, такие как прокачка плазмообразующей среды, охлаждение конструкции, и т.д. На практике этот КПД может существенно отличаться от принятого КПД, но имеющийся запас $\Psi \gg 1$ позволяет с оптимизмом смотреть на перспективы практического использования рассмотренного устройства.

Таким образом, термоядерный реактор «Токамак-флайбэк» может представить интерес для целей энергетики.

**Спасибо за
внимание!**