Глава 1

# **Теории о природе шаровой молнии. Выбор модели шаровой молнии.**

Для начала следует дать определение шаровой молнии. В своей работе я буду использовать теорию структуры шаровой молнии академика Б. М. Смирнова, согласно которой шаровая молния — ячеистая конструкция на вроде аэрогеля, то есть имеющая плотный каркас при малом весе. Каркас состоит из нитей плазмы. Важным является то, что плазма в этой конструкции стабильна до момента взрыва, в котором частично высвобождается хранящаяся в шаровой молнии энергия.

Это дает необъятные возможности использования шаровой молнии в современной энергетике.

Шаровая молния в природе — крайне интересное физическое явление изучаемое уже многие сотни лет. Тысячи случаев наблюдения шаровой молнии были собраны и изучены различными учеными, но вплоть до 21 века единственным методом изучения было наблюдение, так как в природе шаровая молния существуетсекунд. Данное значение было получено Б. М. Смирновым в результате соединения наблюдательных данных Мак-Нелли. Рейла, Стаханова и Григорьева, зафиксировавших в сумме 2082 случаев проявления шаровой молнии, причем в 90% процентах случаев шаровая молния имела сфеерическую форму. Лишь в 134 случаях ее форма отличалась: молния имела форму груши, эллипса, ленты.[[1]](#footnote-1)

Гипотеза Смирнова не единственная. Существует множество альтернативных теорий, например гипотеза Капицы, по которому шаровая молния — газовый разряд, пробой, появившийся в результате достижения критической амплитуды стоячей электромагнитной волны (волны, в которой энергия не передается от начала к концу линий), возникающий между небом и облаками.[[2]](#footnote-2)

В качестве еще одного примера можно привести идею Д. Эшби и К. Уайтхеда, согласно которой шаровая молния образуется при аннигиляции пылинок антивещества, попадающих в плотные слои атмосферы из космоса, а затем увлекаемых разрядом линейной молнии на землю.[[3]](#footnote-3)

Первые научные работы по шаровой молнии появились еще в 19 веке. Над проблемой воссоздания шаровой молнии в лабораторных условиях бились множество известных ученых, как то Фарадей, Кельвин, Капица.

В 2005 году российскими учеными Петербургского института ядерной физики им. Б.П.Константинова Российской академии наук был создан плазмоид, способный сохранять огромные количества энергии. Создавая плазмоид, ученые руководствовались теорией И. Стаханова, согласно которой шаровая молния состоит из гидратированной плазмы. В лабораторной установке ученые использовали конденсаторную батарею, которую можно зарядить на 5500 Вольт (она выступала в роли грозового облака), и водяной пар (в природе им насыщена вся земная атмосфера). В результате опыта появилась шаровая молния или ее подобие, время жизни которой было гораздо больше чем у природных аналогов и достигало сотен секунд, так как молекулы водяного пара мешали рекомбинации положительных и отрицательных гидратированных ионов в плазме, то есть ионов, соединенных с молекулами воды в результате их гидратации при растворении электролитов в воде. Данная технология теперь повсеместно используется в лабораториях, где изучаются шаровые молнии.

В 2012 году китайские ученые впервые засняли шаровую молнию на видео и изучили ее спектр. Во время наблюдений за обычными молниями им удалось зафиксировать и шаровую, время жизни которой составляло 1.6 секунд. При помощи имеющихся масспектографов они получили спектр шаровой молнии. Из него видно, что она состоит в основном из частиц почвы, а это подтверждает гипотезу появления шаровой молнии Джона Абрахамсона и Джеймса Динисса. Согласно их теории, шаровая молния — облако раскаленных окисляющихся наночастиц почвы, образовавшееся при попадании обычной молнии в землю[[4]](#footnote-4).

Альтернативой всем этим теориям может служить гипотеза о том, что шаровая молния — ридберговское вещество, т. е. Вещество, состоящее из атомов у которых внешний электрон находится в возбужденном состоянии. Это объясняет ее способность появляться в разных условиях, иметь разный состав.

Обобщением всего вышесказанного может стать фраза И.П.Стаханова:

«*В наш век, когда физики знают, что происходило в первые секунды существования Вселенной, и что творится в ещё не открытых чёрных дырах, все же приходится с удивлением признать, что основные стихии древности— воздух и вода— всё ещё остаются загадкой для нас.*» Нет однозначной теории о появлении, структуре шаровой молнии. Одна теория опровергается одними наблюдениями, другая — другими, но наука не стоит на месте, и, я уверен, вскоре загадка происхождения шаровой молнии будет решена. Но, как я уже сказал, в своей дипломной работе я буду опираться на работу академика Смирнова.

# Характеристика шаровой молнии

Обладая сравнительно малым размером, шаровая молния обладает способностью хранить огромные количества энергии — об этом можно судить по взаимодействию шаровой молнии с окружающей средой после ее исчезновения. Наиболее вероятное значение внутренней энергии шаровой молнии 6 кДж, среднее значение составляет 60 кДж при этом наиболее вероятный диаметр шаровой молнии всего лишь  сантиметров. Что интересно, Стахановым была установлена зависимость времени жизни шаровой молнии от ее диаметра. Эта корреляция видна из таблицы, созданной на основе наблюдений Стаханова Смирновым:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Область d, см | Число событий | Вероятность выживания P(t) |
| t=0 | t=20 с | t=50 c |
| 0 – 10 | 246 | 1 | 0.22 | 0.08 |
| 10 – 30 | 548 | 1 | 0.36 | 0.16 |
| > 30 | 211 | 1 | 0.58 | 0.32 |

Естественно, шаровая молния опасна для человека. Разрушения произведенные шаровой молнией зафиксированы на многих фотографиях. Главная опасность шаровой молнии — это возможность молнии создать электрические пробой в атмосфере, и вызванный этим ток использует энергию атмосферного электрического поля, много превышающую внутреннюю энергию шаровой молнии, и именно этот ток смертельно опасен для человека. Воздействие самой шаровой молнии и человека подобно поражению электрическим током. Кроме того, исследования Григорьева показывают, что некоторые ожоги от шаровой молнии подобны действию ультрафиолетового поля.

# Структура шаровой молнии

Рассмотрим фрактальную структуру шаровой молнии. Согласно теории Смирнова, вытекшей из предположений Александрова, шаровая молния напоминает аэрогель. Для начала стоит разобраться в том, что такое аэрогель. Открытое в 1931 году Стивеном Кистлером, это одно из первых нановеществ. Оно имеет рекордно низкую плотность: первые образцы имели плотность, превышающую плотность воздуха всего в 1.5 раза, а современные образцы легче его в 7.5 раз. Кроме того аэрогели, состоящие почти полностью из воздуха очень тверды, способны выдерживать вес в 4000 раз больше собственного, обладают низкой теплопроводностью, но очень хрупки. В аэрогеле, как и в других мезопористых материалах, полости занимают более 50% объема. Наночастицы, объединенные в кластеры, образуют древовидную сеть. Частично перенеся эту модель на шаровую молнию мы получаем вещество, обладающее большой прочностью за счет каркаса, в роли которого в шаровой молнии выступают фрактальные нити, малым весом, ведь большую часть в этой ячеистой структуре занимают полости из воздуха, а главное, имеющее за счет плазменного каркаса большую поверхностную энергию. Такая конструкция не противоречит экспериментальным созданиям шаровой молнии, так как условия возникновения клубка фрактальных нитей: наличие испаряемой мишени и сильного электрического поля, соблюдаются при попытках создания искусственных шаровых молний.

Фрактальные нити — еще один интересный физический объект - соединение фрактальных кластеров, образованных в релаксирующей плазме под действием электрического поля - имеющий схожую с аэрогелем структуру. В отличии от аэрогеля фрактальные нити, образованные в электрическом поле, анизотропны, их диаметр 30 — 40 мкм.

Обобщив все вышесказанное, можно сказать, что шаровая молния — клубок фрактальных нитей, а это — дважды разреженное вещество, так как клубок — аэрогель из нитей, а нити — аэрогель из кластеров. Это объясняет способность шаровой молнии летать по воздуху, менять движение под действием ветра, проходить через отверстия. Фрактальный клубок состоит из манометровых частиц, поэтому большая часть молекул клубка находится на его внутренней поверхности, поэтому создается удельная поверхностная энергия клубка, не уступающая по величине удельной химической энергии взрывчатых веществ.

Поскольку отдельные области фрактального клубка имеют температуры до 2000К[[5]](#footnote-5), а, как ячеистая структура подобная аэрогелю, сам клубок состоит из воздуха, внутри него происходит ионизация, что делает шаровую молнию источником плазмы, из которой он же и состоит.

Шаровая молния имеет шарообразную форму в 90% благодаря поверхностному натяжению. В обычном газе кинетическая энергия частиц настолько превышают потенциальную, что поверхностного натяжения быть не может. Но плазма, из которой состоит шаровая молния, имеет одинаковое количество разноименных заряженных частиц, между которыми действует сила Кулона, а следовательно энергия взаимодействия в шаровой молнии больше, чем в нейтральном газе, благодаря чему в ней может существовать поверхностное натяжение.

Фрактальная модель шаровой молнии также согласуется с процессами релаксации вещества при высоком возбуждении. Рассмотрим характер релаксации слабоионизованной плазмы, образованной при сильном воздействии на поверхность. Такое воздействие может быть связано с действием импульсного электрического разряда, и, в частности, линейной молнии, лазерного излучения, электронного или ионного пучка и т.д. В результате такого воздействия вещество поверхности частично испаряется,

и образованная слабоионизованная плазма после прекращения импульса разлетается в окружающую атмосферу. В процессе разлета плазма охлаждается, что ведет к конденсации вещества, причем ядрами конденсации являются ионы плазмы. Процесс конденсации и коагуляции (объединение жидких капель) происходит до тех пор, пока температура частиц не упадет до температуры их плавления. Образованные к этому моменту времени твердые частицы далее сохраняются и участвуют в последующих процессах как стабильные элементы - объединяются в фрактальные кластеры. Вследствие этого, можно сказать, что шаровая молния - физическое тело, я не явление

 Порядок образования фрактальных структур под лучом лазера при плотности потока излучения 10^7 Вт/см^2 на металлической поверхности приведена в таблице, созданной А.Е. Негиным[[6]](#footnote-6).

|  |  |
| --- | --- |
| Процесс | Время |
| Формирование пучка | 10^-9 |
| Остывание до начала конденсации | 10^-7 |
| Конденсация атомов на ионах и коагуляция | 10^-5 |
| Образование фрактальных кластеров | 10^-2 |
| Образование аэрогелеподобных структур | 10^2 |

Средние характеристики шаровой молнии приведены далее в таблице

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение параметра |
| Вероятность сферической формы | 91 % |
| Диаметр | 23 см |
| Время жизни | 8 с |
| Внутренняя энергия | 10 000 Дж |
| Распад | в 50% случаях существование шаровой молнии заканчивается взрывом |

# Энергия

Важной является оценка энергии шаровой молнии. Но перед тем как дать ее, необходимо подробно разобраться в том, что такое энергия. В макромире существует лишь три вида движения:

-Механическое, движение ограниченного числа тел

-Электромагнитное, движение фотонов

-Внутреннее, движение молекул внутри тела

Одни движения могут превращаться в другие, например, электромагнитное движение в проводнике превращается во внутреннее, так как проводник нагревается. Энергия - общая мера всех трех видов движения.

Условно выделяются три степени качества энергии по тому, насколько удобно преобразовывать данный тип энергии в работу.

высокое - механическая, электрическая энергии

среднее - химическая

низкое - внутренняя или тепло

Кельвином из второго начала термодинамики была выведена концепция деградации энергии. В замкнутой системе общая энергия всегда остаётся неизменной. Преобразования энергии внутри системы не изменяют качества энергии при обратимых процессах, но при необратимых процессах ее качество понижается, она деградирует. Деградация энергии обозначает процесс необратимого перехода высококачественных энергий во внутреннюю под действием сил трения: сопротивление в проводниках, рассеяние, поглощение электромагнитных волн, само трение в механике. Деградацию энергии характеризует термодинамическая энтропия.

В шаровой молнии энергия как высокого качества, так и низкого, что дает шаровой молнии потенциал ее использования в энергетике.

# Термоядерный синтез и шаровая молния

В шаровой молнии плазма находится в стабильном состоянии. Об этом можно судить по времени жизни шаровой молнии, которые в природе существуют гораздо больше тысячных долей секунды — столько бы они существовали, если бы плазма была нестабильна. Как известно, нестабильность плазмы — главное препятствие к энергетически выгодному термоядерному синтезу. Следовательно, можно использовать

особенности конструкции шаровой молнии для проведения термоядерной реакции.

# Физические основы термоядерного синтеза

Что такое термоядерный синтез? Это процесс слияния более легких ядер в более тяжелые с выделением огромного количества энергии и гамма излучения. Это объясняется строением ядра. Для начала нужно сказать о капельном строении ядра. Это одна из самых ранних теорий. Она заключается в том, что атом – «сферически равномерно заряженная капля из особой ядерной материи, которая обладает некоторыми свойствами, например не сжимаемостью, «испарением» нуклонов, напоминает жидкость. Поэтому на такое ядро-каплю можно распространить некоторые другие свойства капли жидкости, например: поверхностное натяжение, дробление капли на более мелкие, слияние мелких капель в одну большую». Внутри такого ядра действует два вида сил. Первая сила – ядерная. Она огромна, но имеет крайне низкий радиус действия, поэтому ее радиуса хватает только связывание соседних нуклонов, который стремятся разъединится за счет действия второй силы. Появляются ядерные силы в результате обмена нуклонов пионами, элементарными частицами с малым временем жизни. Открыты пионы были в 1947 (экспериментально). Вторая сила связана с законом Кулона. Как известно, протоны в ядре имеют положительные заряды, поэтому стремятся оттолкнутся друг от друга и мешают им только ядерные силы, до определенного момента. И вот, появляется новая величина-энергия связи. Это та энергия, которую мы получаем в результате термоядерного синтеза, потому что любое тело стремится отдать энергию, попасть в потенциальную яму, где его состояние будет стабильным. Эта величина равна разности между энергией, возникающей результате кулоновского отталкивания, и энергией мощного взаимодействия (ядерных сил) и энергией. Ее также можно найти по формуле Вайцзеккера для капельной модели ядра:



Есв – удельная энергия связи, А-общее число частиц в ядре (его масса в таблице Менделеева), Z-число протонов и нейтронов в ядре (порядковый номер), - коэффициенты

Самыми крепкими ядрами, в которых удельная энергия связей больше, являются легкие ядра, до Fe, поэтому при их синтезе энергия выделяется. У ядер после железа новые протоны расположены дальше от других нуклонов ядра, вне радиуса действия ядерных сил, поэтому их удельная энергии связи меньше, и при их синтезе энергия поглощается, поэтому их использование в термоядерной реакции не практично. Так же это можно доказать при помощи формулы Вайцзеккера. Вот график зависимости удельной энергии связей от номера элемента в таблице Менделеева.



Как можно заметить, происходит скачок удельной энергии связей на уровне гелия. Поэтому его и выгодно синтезировать.

2H + 3H = 4He + n + 17,6 МэВ

И это только для одного атома гелия. Также для синтеза используют другие вещества: дейтерий и гелий, дейтерий и дейтерий, но их синтез гораздо сложнее.

# Проблема термоядерного синтеза

В чем же главная проблема термоядерного синтеза? Ядра можно слить только, если их приблизить на очень близкое расстояние, чтобы подействовали ядерные силы, но в ядрах присутствуют только протоны и нейтроны, которые имеют положительный заряд, поэтому для их сближения необходимо преодолеть Кулоновское отталкивание. То есть для того, чтобы ядра слились нужно:

сблизить их, удержать и нагреть до крайне высокой температуры (иначе реакция будет идти существенно дольше). Нагреть, удержать и слить атомы дейтерия и трития можно в плазме – ионизированном газе из нуклонов, обладающем квазинейтральностью – состоянием, когда количество положительных частиц почти равно количеству отрицательных. Проблемой является то, что нагретая плазма разлетается, из-за кинетической, параметрической, магнитогидродинамической неустойчивостей. На данный момент существует два вида удержания плазмы: магнитное и инерциальное. Инерциальное удержание заключается в том, что плазма сама себя удерживает благодаря собственным силам инерции. Плазма быстро и равномерно нагревается при помощи лазеров и не успевает разлететься за счет инерциальных сил, а следовательно успевает пройти реакция термоядерного синтеза. Для этого термоядерное топливо во льду и пенонаполнитель помещают в контейнер, который нагревается лазерами и выделяется рентгеновское излучение, под действием которого пенонаполнитель превращается в плазму и равномерно нагревает поверхность шарика с топливом, в результате чего та испаряется и реактивной силой равномерно сжимает оставшийся лёд. К сожалению, чтобы провести такой термоядерный синтез, нужны огромные источники энергии для лазеров, которых еще нет.

Второй классический способ удержания плазмы – магнитные ловушки. Он используется в токамаках и стеллораторах (разница которых заключается в расположении магнитов, внутри или снаружи) - тороидальных установках. Магнитное удержание заключается в создании электромагнитных полей электрическим током в магнитных катушках, которые удерживают плазму и упорядочивают ее движение, превращают его в вихревое.

Это происходит потому, что на частицу, вошедшую в магнитное поле, начинает действовать сила Лоренца, перпендикулярная скорости и магнитной индукции.

Существует разница в движениях электронов и положительно заряженных ионов. Они вращаются в разные стороны. В результате вращения частиц вокруг линий индукции электромагнитного поля, нагретая плазма «крутится» в кольце стеллоратора или токамака.

Но удержание высокотемпературной сжатой плазмы по-прежнему невозможно потому, что еще нет технологий, которые могут помочь сделать плазму устойчивой. Но, что удивительно, существует Н-мода токамака, которая пока никак теоретически не обоснована. В 1982 случайно обнаружилось, что при « большой мощности дополнительного нагрева потери плазмой энергии резко уменьшаются»[[7]](#footnote-7). Открытие крайне значимо, т.к. оно означает, что при больших мощностях нагрева, плазма разлетается не так сильно. Это уменьшает затраты энергии более чем в 2 раза. Позже Н-мода была открыта и для стеллораторах, но в них затраты уменьшаются лишь на 30%.

В последние годы появились несколько экзотических способов контроля плазмы. Например в 2012 на установке Dense Plasma Focus была установлена температура 1.8 миллиардов градусов путем электромагнитного сжатия и ускорения короткоживущей плазмы. Идея принадлежит советскому ученому Н.В. Филиппову и была выдвинута им еще в 1954 году.

# Плазма в термоядерном синтезе

Плазму нужно нагревать для преодоления кулоновского барьеры, так как абсолютная «температура диктует среднюю кинетическую энергию ядер»1 (дейтерия и трития). Эту температуру можно высчитать так:

E=mc^2, Е-полная энергия.

E=kT, постоянная Больцмана (работает в газах и плазме)

mc^2=kT

T=mc^2/k

«Существует три основных метода нагрева плазмы. Омический нагрев (нагрев путем пропускания через плазму электрического тока) наиболее эффективен на первых этапах, так как с ростом температуры у плазмы снижается электрическое сопротивление (в плазме электропроводимость зависит от температуры). Электромагнитный нагрев использует частоту, совпадающую с частотой вращения вокруг магнитных силовых линий электронов или ионов. При инжекции быстрых нейтральных атомов создается поток отрицательных ионов, которые затем нейтрализуются, превращаясь в нейтральные атомы, способные проходить через магнитное поле в центр плазмы, чтобы передать свою энергию именно там».

Кроме температуры есть еще два важных критерия: время воздействия частиц в плазме и плотность плазмы. Их произведение также называется критерием Лоусона. Чтобы проходил Термоядерный синтез нужно чтобы этот критерий достиг определенной отметки. То есть, есть два пути: либо увеличивать плотность (как при инерциальном термоядерном синтезе), либо работать с разреженной плазмой но долгое время (несколько секунд). Также существует такое явление, как зажигание плазмы, иначе - самоподдерживающийся термоядерный синтез. Оно происходит, когда плазма остается при температуре прохождения термоядерного синтеза за счет энергии, выделяющейся при нем. Для этого произведение плотности на время должно превысить критерий Лоусона примерно в пять раз, что сейчас невозможно.

Как я уже сказал, средняя кинетическая энергия ядер в плазме диктуется температурой, которая должна быть равна 10^9 Кельвинам, но термоядерные реакции могут проходить и при меньших температурах. За счет «максвелловского хвоста» они проходят уже при 10^7 К. Что же такое этот «максвелловский хвост»? Дело в том, что в газах, а следовательно и в плазме, частицы двигаются, но делают это с разными скоростями. Эти скорости определяются распределением Максвелла. Поэтому даже при температуре в 10^7 К будут такие частицы, которые будут двигаться со скоростями, необходимыми для преодоления кулоновского барьера.

# Неустойчивости плазмы

Неустойчивости плазмы - основная на данный момент проблема в проведении управляемого термоядерного синтеза. Их можно разделить на две категории: кинетические и гидродинамические.

Кинетические нестабильности появляются в результате возбуждения резонансными частицами плазмами, являющимися энергетическими резервуарами, волн и колебаний.

Гидродинамические неустойчивости приводят к смещениям больших участков плазмы. Самая распространенная гидродинамическая неустойчивость - идеальная желобковая. Она возникает вследствие того, что плазма - диамагнетик, и поэтому она стремится в область с более слабыми магнитными волнами, что приводит выбросам плазмы перпендикулярно магнитному полю в виде вытянутых вдоль силовых линий языков плазмы.

Чтобы преодолеть подобные неустойчивости, необходимы огромные затраты энергии, превышающие ее выход в результате термоядерного синтеза.

Поэтому необходимо искать принципиально новые способы создания устойчивой плазмы. Подобный я предлагаю во второй части моей дипломной работы.

1. Смирнов Б.М. Наблюдательные свойства шаровой молнии / / УФН , 1992, Т. 162, №8 [↑](#footnote-ref-1)
2. П. Л. Капица О природе шаровой молнии / / ДАН СССР, 1955, Том 101, № 2, с. 245—248 [↑](#footnote-ref-2)
3. Галанин А.В. Плазмоидная «жизнь» / / Вселенная живая [электронный ресурс] – Владивосток, 2013 – режим доступа: http://ukhtoma.ru/dinamic9.htm открытый. Данные от 06.05.2014 [↑](#footnote-ref-3)
4. Впервые в истории ученым удалось заснять шаровую молнию на видео и изучить ее спектр / / Хабрахабр [электронный ресурс] – режим доступа: http://habrahabr.ru/post/210620 открытый. Данные от 06.05.2014 [↑](#footnote-ref-4)
5. Смирнов Б.М. Наблюдательные свойства шаровой молнии / / УФН , 1992, Т. 162, №8 [↑](#footnote-ref-5)
6. Смирнов Б.М., Негин А.Е., Пахомов А.В., Лушнипов А.А. Аэрогельные структуры в газе. / / УФН, 1991, Т. 161, №2 [↑](#footnote-ref-6)
7. Егоров И*.* Звезды на земле: термояд / / Популярная механика, 2012, №5 [↑](#footnote-ref-7)