

## Предисловие

Эта часть планировалась как одно из приложений. Но в итоге получилась как самостоятельная книга, к которой еще и приложение в будущем будет в виде методички с расчетами, когда проект получит инвестиции. Отсюда в этой части вы не найдете формализации. Лишь концепцию, которую я постараюсь донести популярным языком.

При этом я не объясняю некоторые нюансы, что бы не повторяться, так как они объясняются в других частях серии. И отсюда что бы полностью понять физику тех или иных элементов, желательно ознакомиться с другими частями, так как используется общая технологическая концепция, которая применяется в разных формах, и реактор - просто одна из форм этой концепции.

Предыдущая часть – “плазморельевые системы”, следующая – “космическое весло”. Все это является дополнением к книге “космософия”.

В начале я даю общеобразовательную информацию. Описание концепта начинается с раздела “концепция реактора”. Для специалистов можно начинать сразу с него.

Ну а если вам нравится мое философские видение, и вы читали другие мои работы, то глава “рилическое отступление” может быть вам интересной.

## Предостережение

В книге представлен инженерный концепт, а не инструкция, как собрать реактор термоядерного синтеза в гараже. Никогда не пытайтесь повторить то, что вы прочитаете в книге, без соответствующего уровня знаний и допуска. Вероятность, что у вас получиться реактор, у которого выход энергии будет больше единицы, стремиться к нулю, а вот засрать все в радиусе сотен метров радиацией -- вполне себе реальная перспектива. Не делайте так. Не стройте реакторы в гараже.

## Введение

Я помню как-то в детстве, когда мне было 4-5 лет, родители подарили мне игровую приставку SEGA 16Bit. И когда я спрашивал, что там за всякое есть, я узнал, что одна тяжелая штуковина называется “блок питания”. И потом, когда я гулял во дворе с другими детьми, я поделиться вновьобретенными знаниями с одной девочкой, и рассказал ей, что оказывается у приставки есть блок питания, и без него она не работает. И мне, казалось, что это очень прикольная вещь. Я чувствовал себя как Прометей, который принес людям огонь.

Но девочка не оценила радости познания и посмеялась надо мной, сказав, что это как какой-то пищеблок в столовке, и ничего в нем крутого нет и вообще ей не интересно.

И я снова почувствовал себя как Прометей. Только уже как тот, которого к скале гвоздями проколотили, что бы не ходил тут со своим “огнем” и жить людям не мешал.

Детская травма была получена, и с того момента у меня возникло подозрение, что девочкам не интересно всякое интересное. Но я решил не сдаваться. И вот недавно предпринял еще одну попытку рассказать “девочке” что на подобие этого.

И решил я ей рассказать о том, что, оказывается, есть такие штуки, как реакторы термоядерного синтеза (пока еще ни один не заработал правда), и при определенных условиях они могут делать

магию, и превращать водород в гелий, а свинец в золото, став “почти философским камнем”. И что называется это “трансмутация материи”, и вот бы Ньютон обрадовался бы, если бы узнал такое, а то он 30 лет жизни потратил на поиски философского камня, а теорию гравитации выдумал “между прочим”.

Но и эта “девочка” не оценила моего восторга. Единственное в сказанном, что ей понравилось (или что она вообще поняла), это слово “золото”.

И тогда я понял, что девочки — это не мое, и поэтому я выдумываю реакторы и рассказываю о них бумаге.

И дальше я предложу концепцию плазмолампового реактора ядерного синтеза.

Название такое, потому что в моей голове он на газоразрядную лампу похож. Да и название простое и запоминающееся, и не будет конфликтовать со всякими плазменными разрядниками и другими подобными компонентами.

## Физика атома

Перед тем как начать говорить про реактор, стоит коротко пояснить, как вообще этот ядерный синтез устроен.

Существуют всякие атомы, и они состоят из всяких частей. Водород состоит из одного протона и одного электрона, гелий из двух протонов и двух нейтронов. Нейтроны и протоны вместе называются “нуклоны”.

Но есть еще такая штука, как изотопы. Изотопы, это когда количество протонов и электронов не меняется, но меняется количество нейтронов. Например, у водорода есть такие изотопы:

Дейтерий – состоит из 1 протона и 1 нейтрона, стабилен.

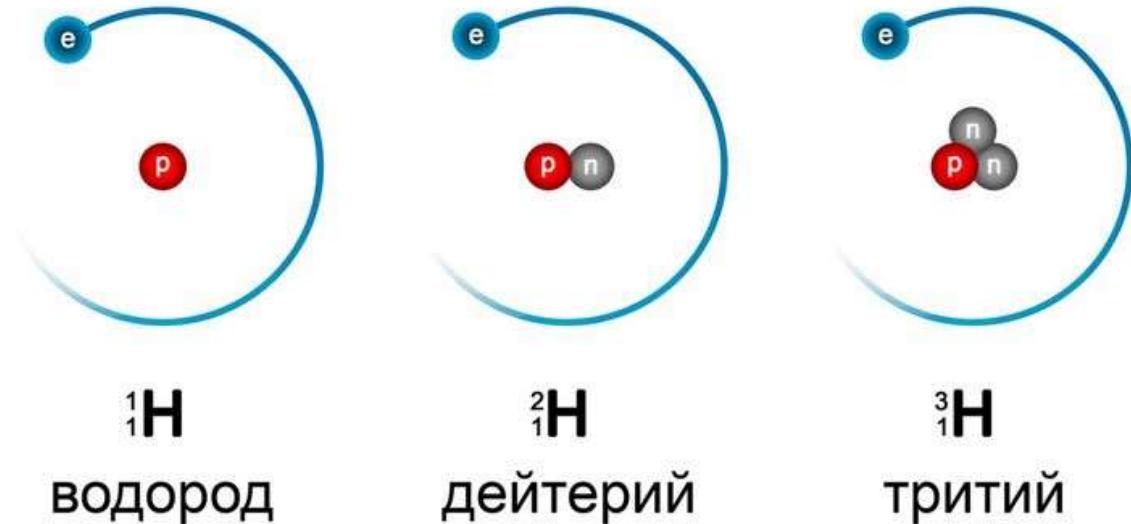
Тритий – состоит из 1 протона и 2 нейтронов, радиоактивен.

Квадий – состоит из 1 протона и 4 нейтронов, очень радиоактивен.

Сам же одноатомный водород называется “протий”. Это название сделали, что бы не путать одноатомный водород с молекулярным.

Но не у всех изотопов есть свое собственное название и чаще их называют, например, “гелий-3”, что означает, что это изотоп гелия, у которого 3 нуклона. И так как у любого изотопа количество протонов всегда соответствует его атомному номеру, потому что если не соответствует, то это уже будет другой химический элемент, а у гелия атомный номер 2, то, следовательно, гелий-3 означает, что у этого изотопа 1 нейtron ( $3-2=1$ ).

Условно нарисовать изотопы можно вот так:



Только не стоит забывать, что планетарная модель атома — это упрощение, которое используется только для наглядности и не имеет ничего общего с реальным строением атома. Да, если углубиться, то действительная модель атома и правда планетарная, как я уже описал в книге “космософия”. Только частицы там вращаются друг вокруг друга в сложной пространственной динамике N тел. И тела эти — не совсем тела в привычном смысле. Но я не буду тут повторяться и объяснять как устроен атом, это можно прочитать в другой моей книге.

Изотопы интересны тем, что они почти никак не отличаются от базовых элементов в плане химических свойств. Вода, в которой вместо протия тритий будет точно такой же на вкус и цвет, только будет радиоактивной. Единственное, что у нее немного будет отличаться температура замерзания и температура кипения, так как тритий тяжелее протия в 3 раза, и, как следствие, у тритиевой воды будет чуть больше плотность.

Что касается дополнительного нейтрона, то по весу он почти как протон. Отсюда если мы оторвем один электрон от дейтерия, то получим ион, у которого будет все тот же заряд +1, но только уже не на массу равную одному нуклону, как в водороде, а на массу, равную двум нуклонам. И того максимальный удельный заряд водорода будет  $1/1$ , а максимальный удельный заряд дейтерия  $1/2$ .

С тритием аналогично, только у него уже два нейтрона. Но вот только такая конструкция уже не стабильна и может случиться то, что называется радиоактивным распадом. Отсюда тритий — это радиоактивный изотоп, который может внезапно развалиться. Основной тип распада трития — это бета распад, когда нейтрон испускает электрон, сам превращаясь в протон, что в итоге превращает тритий в гелий-3 (два протона, один нейтрон).

Вообще, что бы представить себе роль нейтрона в контексте ядра атома, можно представлять его как клей. Протоны ведь одинаково заряжены, а значит отталкиваются друг от друга, и без “нейтронного клея” ядро бы просто бы развалилось от электростатического отталкивания.

Но если клея слишком много, то все склеенные детали будут просто в нем плавать, не прилипая друг к другу, и соединение не будет прочным. Если же мало — то опять же будет плохо. И для каждого атома есть оптимальное количество “клей”, которое делает ядро стабильным. И если это количество нарушить, то ядро становится нестабильным и может внезапно развалиться.

И давайте представим, что какой-то изотоп разваливается через нейтронный распад, когда выплевывает один лишний нейтрон, запуская его в свободный полет.

Если такой нейтрон не найдет на своем пути никаких преград (например, он летит в вакууме), то примерно через 880 секунд он выплюнет электрон, и тем самым превратиться в протон. Через время этот протон может найти электрон, и тогда он станет протием (он его не поглотит, а присоединит). Дальше если встретятся два протия, они слипнутся и дадут молекулу водорода.

При этом так происходит не всегда, например в нейтронных звездах нейтроны остаются в виде нейтронов, и не распадаются до протонов и электронов, но если нейтронное вещество отделить от звезды, скажем, зачерпнув ложкой, то гравитационное давление упадет, нейтроны разлетятся и превратиться в водород. То-есть нейтронное вещество в ложке – это невозможное состояние вещества. Оно может быть только там, где огромная плотность из-за гравитации не дает ему стать водородом.

А вообще такое нейтронное вещество в ложке просто взорвется и уничтожит все вокруг. Так как нейтроны в этом веществе уже готовы превращаться в протоны. И в итоге они сделают это очень быстро, как только пропадет давление в следствии исчезновения гравитации. И тогда протоны, собранные в кучу, либо вступят в синтез с еще не успевшими “опротониться” нейtronами, либо оттолкнуться друг от друга с огромной силой, и результат будет в миллион раз мощнее, чем если взорвать все ядерное оружие земли одномоментно, или в 1800 раз мощнее, чем взрыв метеорита, что убил динозавров.

Такие огромные цифры потому, что одна чайная ложка нейтронного вещества весит  $2 \cdot 10^{12}$  кг. И если хотя бы 0.1% массы этого вещества перейдет в энергию в результате ядерных реакций нейтронов с протонами (реакция захвата протоном нейтрона имеет такой дефект массы), то выделится  $1.8 \cdot 10^{26}$  Дж энергии. Это как от взрыва  $4 \cdot 10^{16}$  тонн тротила. Что за реакции и что за дефект массы расскажу дальше.

Так что не черпайте ложкой нейтронные звезды.

\*\*\*

Еще стоит поговорить про масло масляное... вернее про радиационное излучение. Почему масло масляное? Потому что радиация – это калька с английского “radiation”, которое в переводе означает излучение.

В результате ядерного распада или ядерного синтеза выделяется энергия. И эта может выделяться в разных формах.

Она может быть в виде электромагнитного субатомного излучения (гамма излучение) которое представляет из себя “очень жесткий свет”. Так же может быть в виде потока электронов или позитронов (бета-излучение). Либо высвобождаться в виде кинетической энергии, которая выражается в увеличении скорости разлетающихся частиц (атомов) после реакции, что в итоге повышает температуру (так как кинетическая энергия молекул выражается в температуре). Обычно к последнему относят поток протонов или ядер гелия (альфа излучение).

Ну и в отдельную категорию я выношу нейтронное излучение. Потому что это излучение, которое проявляется в кинетической энергии частиц (нейтронов), но не является ионизирующим, как предыдущие типы. Нейтронное излучение – это “изотопизирующее” излучение (то, что создает изотопы).

Но я считаю, что именовать излучение как альфа и бета не актуально. Связано это с тем, что “излучение” подразумевает наличие каких-то лучей. А когда у вас летят “пули” (ядра гелия), или электроны, то какое же это излучение? Это просто поток атомов, или электронов. А излучение – это только электромагнитное. Но его корректней классифицировать по длине волны. Так как между “мягкой” гаммой и “жестким” рентгеном разницы не то, что бы много.

Да, можно сказать, что гамма – это излучение из ядер, а рентген – это излучение, создаваемое электронными оболочками. Но, во-первых, видимый спектр тоже создается электронными переходами между электронными уровнями, а во-вторых, есть такое явление, как “тормозное излучение”.

Тормозное излучение – это “электронное” излучение, и возникает оно, когда электроны тормозятся, пролетая мимо ядер. И оно вполне может быть с длиной волны, соответствующей гамма излучению.

Отсюда логичней было бы классифицировать излучение по способу возникновения и длине волны, чем по неким диапазонам.

При этом так как я не придумал удобного слова для потока электронов или ядер гелия, я иногда буду называть эти явления по старинке словом “излучение” (radiance). Но это покосившийся костыль. И тут нужно поработать с терминологией.

---

Что касается потока электронов, то это то, что можно ощутить, поднеся руку к экрану старого телевизора. По большей части такой поток не опасен, если не “ионизироваться” им слишком долго и слишком интенсивно, плюс от него защищает все, что угодно. Бумага, кожа, одежда, фольга. И максимум, что такой поток может, это нагревать поверхность. И если он очень интенсивный, или у электронов большие энергии, то можно получить ожог. Есть даже электронно-лучевые скальпели, которые разрезают ткани, одновременно с этим прижигая их.

Но этот вид излучения нам не особо интересен. Так как энергии такой поток электронов переносит довольно мало.

Что касается потока протонов (одноатомный водород без электрона) или ядер других элементов, то эти излучения вызывают нагрев при попадании по мишени, так как быстрые атомы сталкиваются с материей и передают свою энергию. Но учитывая энергии и скорости движения таких атомов, по большей части они являются ионами (у них не хватает электронов), из-за чего при столкновении с материей они стараются оторвать нейтроны от нее или просто выбивают их из-за своей большой скорости. Что, в свою очередь, превращает в ионы атомы материи.

И, собственно, по этой причине такое излучение называется “ионизирующее”.

При этом субатомное электромагнитное излучение (гамма), рентген, и даже ультрафиолет являются тоже ионизирующим излучением. Так как также могут выбивать электроны, отрывая их от атомов. И, например, из-за этого свойства ультрафиолета выгорают обои, сгорает кожа и образовывается рак.

Происходит это по той причине, что в нормальном состоянии атомы связываются между собой при помощи электронов на внешних электронных уровнях. И если выбить один электрон, например, перетащив его на более низкий электронный уровень или вообще отправив в полет, то связь между атомами будет нарушена, и молекула, частью которой они являются, может развалиться.

Именно из-за этого пластик и резина после долгого лежания на солнце начинает рассыпаться. И так же по этой причине происходит деградация веществ под действием радиации.

Связано это с тем, что пластик – это длинные молекулы полимеров. И если разрушить связь между парой атомов, то такая молекула развалится на более короткие кусочки, и материал станет менее прочным. Если много таких молекул развалится, то материал просто рассыплется в пыль.

Ну а субатомное излучение (гамма) от ультрафиолета отличается только тем, что из-за меньшей длины волны у него больше энергия, и оно намного эффективней выбивает электроны. Причем не только те, что на верхних уровнях, но и те, что на более глубоких. Из-за чего способно разрушить даже крепкие и устойчивые молекулы.

Вообще энергию электромагнитного излучения стоит понимать так. Представьте, что это излучение выглядит как волны на море, которые бьют о борт лодки. Если прилетает одна пологая волна в час, которая лишь покачивает лодку, то такая лодка скорей сгниет от ржавчины, чем развалится от таких волн, но если даже пусть маленькие, но крутые волны будут бить по ней каждую секунду, то долго она не проживет, так как от вибрации у нее начнут выкручиваться болты, и она развалится. И вот за то, с какой частотой волны будут бить о борт лодки, отвечает расстояние между волнами, которое называется “длина волны”.

И чем короче волна, тем меньше расстояние между волнами, и тем больше волн ударит о молекулу за единицу времени, если у них одинаковая высота и движутся они с одинаковой скоростью. И, следовательно, у такой молекулы с большей долей вероятности “выкрутиться” какой-то скрепляющий электрон, и она быстрее развалится.

Отсюда люди, которые получили дозу “жесткого” излучения, фактически “рассыпаются” на молекулярном уровне. У них рушатся связи между молекулами, ломаются клетки, даже ДНК рассыпается. Называется это “лучевая болезнь”. Именно по этому не стоит ходить на “жестком” солнце без защиты, а загар – вообще зло. Так как повреждение ДНК клеток кожи может спровоцировать неконтролируемый рост клеток, что называется “раком кожи”.

Разница между ультрафиолетом и гамма излучением только в том, что последнее интенсивнее, а так же глубже проникает в ткани из-за большей энергии. Ультрафиолет же воздействует только на кожу и на глаза.

Ну а проникает более жесткое излучение лучше по той причине, что это маленькие частые волны. И они не могут быть настолько маленькие, что будут меньше атома. И если представить атомы как камни в море, то когда волны очень маленькие, большинство из них проходит между этими камнями, даже не замечая их. А вот большие волны о камни разбиваются.

Из-за чего субатомное излучение (гамма) может проникать на сантиметры и метры в материал, так и не встретив на пути “камень” в лице атома. В то время как видимый свет ударится о первый же атом, и отразиться или разобьется, передав энергию этому атому.

Ну и так же то, как сильно проникает излучение, зависит от материала. Если это тяжелые металлы, то атомы – это “большие и тяжелые скалы”, а если это газ, то там этих молекул мало, и они не так блокируют, как переотражают излучение.

И кстати стекло не блокирует ультрафиолет полностью. Оно просто снижает его интенсивность, убирая самые “жесткие” длины волн, и получается “мягкий” ультрафиолет. Если бы оно блокировало его полностью, то детали салона автомобиля не выгорали бы с годами и не становились хрупкими. Отсюда если вы очень любите загорать, то лучше делать это через стекло. И если вам кажется этот совет странным, то на самом деле вы и так это делаете, если используете солнцезащитный крем.

Солнцезащитный крем создает на коже прозрачную пленку, которая как стекло блокирует самые жесткие волны. Из-за этого после загара нужно смывать этот крем с кожи, что бы смыть эту пленку. Иначе под ней кожа как под полиэтиленом. Вот только обычной водой и мылом она плохо смывается, и кожа оказывается под пленкой.

Ну а что касается нейтронного излучения. То нейтрон очень легко прилипает ко всяkim атомам, потому что он с нулевым зарядом, то есть нейтральный. А это значит на него не действуют силы межатомного отталкивания, и он спокойно пролетает через электронные поля.

Ну а если нейтрон ни к чему не прилипнет, то примерно через 880 секунд "свободного полета" он вдруг осознает свою полную одиночества жизнь, и с горя распадется на протон и электрон. А протон и электрон — это ни что иное как обычный атом водорода. И того два нейтрона в итоге превратятся в молекулу водорода и у них начнется новая веселая жизнь.

Нейтронное излучение опасно тем, что если нейтрон прилипнет, например, к атому углерода-13, который в каком то количестве содержится в теле, то он превратит его в углерод-14, который является радиоактивным изотопом.

И этот углерод-14 может внезапно распасться, испустив электрон (один нейтрон превратиться в протон), в следствие чего углерод превратиться в азот-14. И представьте как в этот момент офореет молекула углекислого газа, или какой-то глюкозы, у которой только что был в составе атом углерода, а тут внезапно вместо него азот.

И хорошо если это будет углерод в составе свободной молекулы. А если он будет в составе полимерной цепочки молекулы белка, которая представляет собой часть ДНК?

Ну и еще каждое из этих типов излучения тупо нагревает то, во что прилетает. Из-за чего если у него высокая плотность и интенсивность, то оно может вызвать самые обычные ожоги. Причем как внешние (поток протонов, электронов, ядер гелия), так и внутренние (электромагнитное излучение и поток нейтронов).

\*\*\*

Про излучение я рассказал по той причине, что я хочу сделать ядерный синтез на сколько же распространенной технологией, как ДВС или аккумуляторы. С одной стороны, аккумуляторы опасны, они могут гореть, как и ДВС и топливо к нему, с другой — у каждого в кармане аккумулятор, а в каждой машине — ДВС, и человечество еще не вымерло.

И с ядерным синтезом так же, нужно не запрещать его, устраивая только где-то на электростанциях под контролем специалистов, а сделать повсеместным. Просто нужно придумать методы защиты от проблем, которые могут быть с ним связаны. И главная такая проблема — излучение.

Не смотря на то, что ядерный синтез — это самый экологичный источник энергии, какой только можно придумать и не представляет угрозы в случае аварии (ну кроме банальной, в виде опасности получения ожогов), даже чистый синтез дает излучение (и дальше вы поймете почему). И может случиться так, что, проходя мимо какой-то машины с реактором внутри, можно будет получить дозу.

Конечно, исправная система фонить не будет. Но вот неисправная, с повреждением защиты... Да и как ее детектировать, эту поврежденную защиту? Заставить проходить технический контроль? Все знают, что это работает только для заработка денег бюрократами, а не для исключения из трафика сломанных машин. Отсюда такой бред, как контроль, я не буду предлагать, потому что я не умею строить бесполезные системы, нужные только для того, что бы бюрократы и бесполезные политики оправдывали свое существование.

Самый очевидный пример абсурдной системы — система контроля в аэропортах, торговых центрах, метро и других местах. Она кошмарит нормальных людей в то время, как реальный злоумышленник без проблем протащит на борт бомбу, если у него хотя бы пара извилин. А нужны эти системы только потому, что под видом блага для всех и безопасной безопасности можно

протолкнуть контроль за населением, заодно освоив солидный кусок бюджета. Но тут ничего нового, такие методы всегда были направлены не против преступников, а против законопослушных людей, что бы те даже не думали думать.

В итоге поставить на каждый реактор систему защиты, в которую включить несколько детекторов излучения, и сделать что бы система отключала реактор, если детектор что-то поймает, не сработает. Человечество знает случаи, когда “самые умные” вставляют обманки вместо сломавшихся датчиков. Например, один вставил обманку вместо сломавшегося концевого выключателя защиты на станке. В итоге станок стал включаться с открытой дверью. Ну и довключался, пока одного из работников цеха не намотало на шпиндель.

Плюс это не отменяет вероятность вредительства. Ну условно, когда какой-то негодяй пригнал сломанный реактор, поставил его в центре города, рядом с автобусной остановкой, и облучает всех гаммой и нейtronами.

И проблема радиации, что она не ощущается. А когда появляются симптомы, уже не просто поздно, а очень поздно. Отсюда нужно как-то защищаться, но как? Натыкать по всему городу детекторов излучения? Возможно это поможет от случайно сломанных систем, но умышленные вредители могут просто проезжать мимо детектора с выключенным реактором, как нарушители скорости сбавляют скорость перед камерой, а после врубать на полную и облучать все, что облучается.

Отсюда единственный правильный вариант защиты, это личная ответственность каждого за свою безопасность. И добиться этого можно, если сделать так, что бы детектор излучения был у каждого в кармане. Плюс чтобы любой желающий мог поставить его куда посчитает нужным. И что бы в случае, как только какой-то детектор заметит превышение радиационного фона, он тут же начинал визжать, что бы дать сигнал всем вокруг, что рядом опасность и нужно держаться от нее подальше, и в добавок автоматически передавал данные куда нужно, что бы выезжала экстренная служба.

Но как заставить всех покупать и носить детекторы в кармане?

Это очень легко. Нужно просто встроить такой детектор в смартфон. Вернее, заставить производителей так делать. Что бы смартфонов без детекторов не было. Ну условно так же, как нет смартфонов без GPS сейчас.

Сделать такой детектор довольно просто. Жесткое ЭМИ (гамму и рентген) можно детектировать обычной камерой. Ну конечно в идеале ее немного модифицировать. Например, по периметру добавить специальных фотосенсоров, улавливающих жесткое излучение. Плюс засунуть внутрь несколько сцинтилляторов (это такое устройство, что детектирует жесткое излучение).

Сейчас существуют сцинтилляторы размером 1x1x1мм (кубик со стороной 1мм). То-есть смартфон от этого не располнеет.

Да, один датчик такого размера – это маловато. Но если распихать их по плате в нескольких местах, то это в разы увеличит точность и чувствительность. Причем позволит определять не только наличие излучения, но показывать направление, где находится источник.

Работает такой датчик очень просто. В нем содержится ерунда (полистирол, толуол и другие вещества), которая светится, если ее облучать излучением. И если поставить рядом с таким кристаллом фоточувствительный диод, то такой диод будет регистрировать этот свет и выдавать электрический сигнал, который уже можно обрабатывать.

Учитывая, что через корпус проходит только жесткое излучение (рентген и дальше), такой датчик не регистрирует обычный свет, но регистрирует излучение более высоких энергий.

В добавок такие детекторы могут детектировать поток высокоэнергетических ядер и электронов. Но если засунуть их в карман куртки, то это не сработает, так как сам карман не пропускает эти частицы. Так что я рассматриваю их по большей части как детектор электромагнитного излучения.

Но это не проблема, а фича, что бы не было ложных срабатываний, так как если в реакторе не будет явной дыры, из которой вылетает прям плазма, то не будет никакого потока ядер и электронов. Любой пакет, стекло, пластиковый корпус, в котором находится реактор, и так защитит от этого излучения. Это не считая того, что с дырой такой реактор просто не будет работать.

Что же касается детектора нейтронов, то тут сложнее. Для этого нужно сделать слоистый детектор, который будет вступать в реакцию с нейтронами, и выделять всплески энергии, которые будут детектировать уже датчики. Но это тоже не проблема. Например, можно сделать тонкий слой лития или бора по всей поверхности задней крышки (напылением, или просто куском "фольги"), и датчики по периметру.

В теории даже пиксели экрана, в составе которых есть вещества, что способны захватывать нейтроны, могут по обратной связи отправлять контроллеру информацию о всплесках энергии, которых быть не должно, и тем самым это может служить сигналом к тому, что они ловят нейтроны.

И таким образом, если у каждого в кармане будет такой смартфон, то опасности сломанных реакторов вообще не будет. Цена смартфона при этом особо не увеличится, так как это вопрос софта по большей части, чем железа. Например, наличие гироскопа или датчика GPS на цену смартфона влияет примерно никак (ну учитывая, что они встроены даже в самые дешевые смартфоны). Так и здесь будет.

В добавок такой смартфон будет в кармане самого владельца сломанного реактора, и он первым узнает, что его реактор сломан, и тут же выключит его. Конечно, это не отменяет наличие защиты на самом реакторе, которая выключит его еще раньше. Просто защита может сломаться или ее могут умышленно отключить.

Ну а для особо умных ввести штрафы. Формата если приехала экстренная служба проверять твой звездолет, потому что он него фонит на всю округу, и проверка выявит, что это была не ложная тревога, а реальная утечка излучения, то заплатишь штраф как два года твоей зарплаты. Это очень быстро решит проблему "дофига умных".

А еще когда такие смартфоны будут лежать в каждом кармане, многие люди очень удивляться от того, как сильно фонят монолитные бетонные стены в их недавно приобретённой квартире от застройщика купленной квартире.

Ну или будет прикольно, когда вдруг у всех в вагоне метро завопят смартфоны, потому что какой-то чудик ходит в кармане с условным куском плутония, или кто-то идет с процедуры, где проходил терапию радиоактивным йодом (используется при раке щитовидной железы).

Это я к тому, что если кто-то боится того, что, "если смартфон запишет, это же значит, что я облучаюсь, и это все, смэрть". То спешу расстроить таких алармистов. Вы всегда находитесь в радиационном фоне разной степени интенсивности. И что бы за то время, пока вы соображаете, определяете источник излучения, а после неспешным шагом покидаете опасную зону, получить серьезную дозу радиации, мощный источник должен быть в непосредственной близости от вас. То-есть фактически это должен быть сломанный реактор в багажнике вашей машины.

Но если вы не дурак, и не отключили систему защиты на таком источнике (которую конечно же нельзя будет просто взять и отключить, если специально этим не заниматься, перешивая мозги и

пихая обманки вместо датчиков), то, как только он сам обнаружит излучение, он сам же тут же и отключится. Спасая тем самым вас от зивертов и от штрафа на годовую зарплату.

И таким образом главная защита будет встроена в реактор, а носимые оповещатели будут спасать непричастных от сломавшейся системы защиты или умышленного вредительства.

То-есть повсеместный ядерный синтез, это просто еще один повод перестать наконец быть идиотом и не пытаться чинить космолет кувалдой и изолентой, в перерывах сжигая вышки 5G.

---

И если вам кажется это слегка неуместным, ведь вы все такие осознанные, научные и технологичные, то я живу в другом мире, и меня окружают по большей части другие люди. И я убежден, что в первую очередь нужно проектировать системы так, что бы в них была неотключаемая защита нормальных людей от долбоебов. Не, я не считаю, что нужно защищать дурака от себя же. Иначе тогда у него не будет стимула переставать им быть. Но нужно защищать осознанного пользователя, от мартышки с гранатой.

Ну а как отличить нормального от дурака в предлагаемом контексте? Да очень просто. Отключил защиту без четкого понимания что и зачем делаешь – дурак. Не купил телефон с детектором радиации в мире, где фонить может каждый мопед – дурак. Только первый вредит окружающим, а второй – себе.

---

Ну и в конце сделаю ремарку. В большинство систем нет смысла пихать реактор. Для велосипеда или автомобиля достаточно батарейки. Уже сейчас некоторые электрокары имеют запас хода в 1000 км. А в недалеком будущем с ростом емкости батарей запас хода увеличится в разы. Так что “реактор в багажнике” – это скорей художественное преувеличение, чем реальная необходимость. Ну по крайней мере в ближайшем будущем, пока не будут освоены технологии холодного синтеза и прямого съема (о них дальше).

И на первом этапе развития технологии достаточно сделать, что бы реактор мог быть установлен по принципу “плаг энд плей” в котел типовой ТЭЦ. Что бы не нужно было перестраивать энергоструктуру и строить новые электростанции. И моя цель в первую очередь создать именно такой реактор.

Но это не отменяет того, что будут компактные реакторы, которые могут поместиться в багажник, и могут быть включены где-то, где не нужно. Плюс я хочу, что бы энергосистема перестала быть централизованной, а это значит, что в каждом микрорайоне должен быть свой реактор. Ну что бы один ракетный удар по АЭС или ТЭЦ не оставил без света и тепла пол города (как в Украине во время ракетных обстрелов).

## Ядерный синтез

Но как получается этот ядерный синтез? Как “сливаются” два изотопа одного вида, и после получается изотоп или атом другого вида?

Для того, что бы это произошло, нужно либо огромное давление, либо огромная температура. Связано это с тем, что частицы отталкиваются друг от друга из-за так называемого “кулоновского барьера” (ядра отталкиваются друг от друга, так как имеют одинаковый заряд).

В чем разница давления и температуры? Тут просто понять на примере магнитов. Если взять два магнита, и попробовать прислонить одноименными полюсами, то они будут отталкиваться. И если

нам нужно их прям прислонить, что бы они дотронулись друг до друга, то сделать это можно двумя разными способами.

Первый, это закрепить, и сжимать при помощи какого-то домкрата, прикладывая много силы, и медленно, но уверенно, приближать друг к другу. И второй, разогнать побыстрее, и используя силу инерции, впечатать один магнит в другой на большой скорости.

И вот разница между давлением и температурой такая же, как между силой и скоростью. И что бы случился синтез, нужно либо сильно сжать атомы, фактически вдавив один в другой, либо их сильно разогнать и столкнуть. Ну либо использовать комбинированный метод, где их сразу сжимают, они уже начинают вдавливаться. А после еще и разгоняют, впечатывая.

Вообще температура в контексте больших энергий, это устаревший термин. Потому что когда речь идет о скорости движения частиц в 0.1 от скорости света, то да, можно сказать, что это температура в миллиард градусов (и какой-то клоун обязательно спросит, Цельсия или Кельвина, а потом еще и обидится, когда его пошлют). Но по факту показатель этой температуры отражает скорости и энергии частиц.

Потому что говорить о температуре нет смысла тогда, когда любое (абсолютно любое вещество), превращается в атомизированную плазму. Даже самые устойчивые молекулы распадаются при температуре около 10 000 градусов. Вода, например, превращается в кислород и водород уже при двух-трех тысячах градусов.

Более того, обычно еще и проблема с интуитивным пониманием возникает. Температура миллион градусов — это как? Это в 10 000 раз горячее, чем кипяток? Это мгновенно расплавит все, что рядом? Нет. Это просто частицы очень быстро летают. И нагреть они ничего не могут, пока в это что-то не влетят, передав свою энергию. То-есть миллион градусов и понятие “очень горячо”, это примерно, как теплое и мягкое.

При этом температура в этом случае отражает по большей части интенсивность и спектр тормозного излучения. Так как при такой скорости, когда частицы пролетают друг мимо друга, их электроны взаимодействуют между собой, перепрыгивая по уровням, из-за чего выделяется электромагнитное излучение. И если частицы летают не очень быстро, то это инфракрасное излучение. Но чем быстрее, тем больше в видимый спектр оно смещается (становиться более жестким). Из-за чего при еще большей скорости частиц, появляется свечение. Сразу красное, потом желтое. Потом, с ростом скорости, синее. И так до ультрафиолета, рентгена и так далее. Отсюда собственно цвет света на лампочках пишут в температуре. Хотя, казалось бы, как это связано.

Но “температура излучения” – это какая-то довольно странная дичь. Цифры температуры скорей показывают цвет спектра, чем его “горячесть”. А спектр зависит от скорости частиц. Из-за чего логичней заменить “температуру плазмы” на понятие “энергия частиц эквивалентна температуре”, что бы терминология и понятийный аппарат были физически адекватными. Ну а дальше перейти на понятие энергий.

Причем важно, что температура – это не скорость, а энергия частиц. Так как энергия зависит в том числе и от массы. Чем легче частица, тем быстрее она будет двигаться при той же температуре. То-есть водород летает быстрее, чем ксенон, а температура одинакова.

При этом в ядерной физике есть другая величина вместо температуры, которая выражается в энергии частицы. И эта энергия измеряется в электрон-вольтах. И один электрон-вольт эквивалентен температуре в 11600 градусов (температура равна энергии, разделенной на постоянную Больцмана).

Ну а если возникает вопрос, почему сразу не перейти на энергию, и зачем вообще нужна температура, то это потому, что во множестве формул описания плазмы используется переменная температуры. То-есть в ядерной физике энергия частиц, а в физике плазмы и газа – температура.

\*\*\*

Но вернемся к синтезу. Как я сказал, синтез происходит, если сжать частицы, или если их сильно разогнать и столкнуть. Сжать их можно запихнув побольше в ограниченный объем. Разгон же происходит за счет увеличения температуры.

Ну и, помимо этого, частицы должны еще столкнуться под правильной траекторией и в правильной проекции. Представить это можно на примере автомобильных аварий. Если машины влетают друг в друга лоб в лоб – их сминает в гармошку обе, и они становятся единой грудой искореженного металла. Но если по касательной бортами, с небольшим перекрытием, то они просто отскочат, и каждая улетит в ближайший столб, а не слипнутся между собой.

В случае с синтезом также. Только там место, куда должен попасть один атом относительно другого, называется сечением захвата (я дальше буду применять термин “стечение захвата”, дальше объясню почему). Чем оно выше, тем больше столкновений будут приводить к синтезу.

При этом важно, что бы скорость была оптимальной. Ну условно, если одна частица движется перпендикулярно направлению другой, и они столкнутся, то синтез не случится, если скорость подобрана под синтез при столкновении лоб в лоб. Частицы просто отскочат друг от друга, испустив свет с перепугу (и потеряв на этом немного скорости), и полетят себе дальше.

Кроме этого, есть еще так называемое туннелирование. Это когда при определенных скоростях начинают работать релятивистские эффекты, и у частиц уменьшается кулоновский барьер, из-за чего им проще вступить в синтез. При определенных скоростях даже частицы, что движутся не оптимальными курсами, например, почти параллельно друг другу, могут слиться.

Но я считаю концепция туннелирования не верна в том виде, в котором она подается. Ну странно это, что кулоновский барьер уменьшается “туннелированием”. Термин даже не ложиться на концепт.

В книге “космософия” я объясняю эти эффекты другими механизмами, через локальную анизотропию насыщенности и сильное взаимодействие. Стечение захвата аналогично связано с этими эффектами и положением “тел” в момент контакта.

Единственное, что я пока не уверен, как сильно на формирование зоны неоднородности пространства влияет масса, а как сильно скорость. Я предполагаю, что частицы с одинаковой энергией, но разной массой и скоростью могут создавать разный уровень насыщенности (разную анизотропию). Что объясняет почему не смотря на то, что энергия частиц одинакова, мелкие частицы, что движутся быстрее, охотнее вступают в реакции, чем массивные крупные частицы. То-есть для “всасывания” (туннелирование - кривой термин, предлагаю свой) важна не так общая энергия частицы, как скорость.

---

Но также важно знать, что скорость столкновения частиц не должна быть очень большой. Потому что при большой скорости атомы просто разнесут друг друга в клочья, вплоть до того, что развалятся на нуклоны, или даже нуклоны развалятся на кварки.

Собственно, в коллайдере так и изучают внутренний состав атомов. Разгоняют их быстрее, чем нужно для синтеза, и сталкивают, из-за чего атомы разлетаются на части. Ну а после смотрят, что там за части.

То есть если увеличить скорость частиц так, чтобы синтез гарантировано случался при боковых столкновениях, то при фронтальном столкновении скорость может быть избыточная. И частицы будут просто отскакивать друг от друга, вместо того, что бы слияться.

Но тем не менее, обычно чем выше температура, тем чаще случается синтез. Так как боковых столкновений, и столкновений под углами, намного больше, чем фронтальных, и лучше подстраиваться под них. Ну по крайней мере до определенных пределов. Так как с ростом энергии частиц все больше потери на излучение. А при особо больших энергиях можно начать создавать барионную плазму, и тратить энергию на создание материи, вместо того, что бы тратить материю на получение энергии.

Барионная плазма – это новое название, которое я предлагаю для “квark-глюонной плазмы”. Потому что по моей теории, никаких глюонов не существует. А у сильного взаимодействия совсем другая природа. Подробней в “космософии”.

Ну и для каждой пары частиц, что вступают в синтез, оптимальные скорости столкновения разные. Для трития и дейтерия температура реакции в 100 миллионов градусов, для бора и водорода районе миллиарда градусов, для гелия и углерода еще выше. Ну а более тяжелые элементы не вступают между собой в синтез, но их можно синтезировать с легкими. Например, уран можно синтезировать с нейтронами, водородом или гелием. Это я называю “легкотяжелым синтезом”. А вот уран с ураном или даже цинк с оловом не выйдет. Они развалиются на барионную плазму и осколки при столкновении раньше, чем вступят в синтез.

Связано это с тем, что переход в барионную плазму начинается при температурах столкновений около 10<sup>12</sup> степени (триллион градусов). А для синтеза средних по массе ядер нужно больше.

Собственно, по этой причине я и считаю, что в звездах тяжелые металлы получаются “легкотяжелым синтезом”, путем последовательного присоединения легких элементов и/или нейтронов к средним, и после к тяжелым, а не синтезом средних по массе атомов между собой. А вот легкие элементы возникают в звездах как раз из-за того, что в них регулярно образуется барионная плазма, из которой они получаются. Но про барионную плазму я буду рассказывать в другом приложении, про “космическое весло”.

\*\*\*

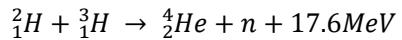
При этом реакция происходит не всегда так, как, казалось бы, она должна происходить (что говорит о том, что человечество очень мало знает о строении атома).

Например, если взять и сжать тритий и дейтерий так сильно, что получится преодолеть силы их отталкивания, то в результате их “слипания” по логике должен получиться гелий-5.

Гелий-5 потому, что в дейтерии один протон и один нейтрон, а в тритии один протон и два нейтрона, а в гелии два протона. Отсюда, когда сливаются эти два изотопа, получается атом у которого два протона и три нейтрона, и тем самым получается гелий, но с тремя нейтронами. Что значит, что получаем изотоп гелий-5.

Но гелий-5 крайне нестабилен и почти мгновенно “выплевывает” лишний нейтрон. Более того, он даже не хочет его “поглощать”. Отсюда считается, что при обычных условиях в процессе реакции трития с дейтерием сразу образуется гелий-4 и нейтрон.

Записывается реакция вот так:



Что означает, что водород-2, он же дейтерий (цифра вверху), вступает в реакцию с водородом-3, он же тритий, и в результате получается гелий-4 (он же обычный гелий) и нейтрон, а так же выделяется сколько-то энергии.

Также в записи указано, что суммарная энергия, которая выделяется в процессе реакции, равна 17.6 мега-электрон-вольт. Это мера энергии, что привязана к энергии электрона.

При этом казалось бы, что по логике был дейтерий, у которого один протон и один нейтрон, и тритий, у которого один протон и два нейтрона. И если в результате получился гелий и один нейтрон, то суммарная масса и количество частиц на входе и на выходе должны быть одинаковыми. Так откуда же тогда берется энергия?

И на самом деле этого никто не знает, и получается такая странная магия, где, с одной стороны, количество частиц одинаковое, а с другой, масса у них отличается в зависимости от их комбинации. То-есть два протона и три нейтрона в одной комбинации весят не сколько же, сколько два протона и три нейтрона в другой комбинации.

Но сегодня принято говорить, что энергия берется из массы и называется это “дефект массы”. Но только проблема в том, что не понятно, откуда берется эта масса. Масса ведь каждой частицы одинакова до реакции и после нее. Но в итоге откуда-то берется энергия. То-есть есть еще какая-то масса, которая после переходит в энергию, но которая находится не в частицах, а в энергии их связи. И тогда можно сказать, что энергия берется не из массы, а из энергии связи.

И эту проблему назвали “дефект связи”, что уже говорит о том, что человечество очень мало знает о строении атома, и о том, как, чем, зачем и почему частицы держатся между собой, и что это за тип связи. Потому что объяснять что-то через термин “дефект связи” – это примерно, как прокричать “мы не знаем, как это работает, но выдумали терминологическую заглушку, что бы просто заткнуть дыру и избавиться от неудобных вопросов”.

Что касается выхода энергии в этой реакции, то она выделяется в виде кинетической энергии частиц. То-есть когда от гелия отлетает нейтрон, то срабатывает все тот же закон сохранения импульса, и частицы ускоряются (и нейтрон, и гелий-4), и эта их кинетическая энергия в рамках большого количества таких реакций проявляется в виде тепловой, так как, как я уже говорил, тепловая энергия – это средняя кинетическая энергия всех молекул вещества.

И что бы получить энергию реактора, нужно просто перемножить количество реакций за единицу времени на их энергию, и после перевести это в привычные ватт-часы или джоули.

Ну а после эту тепловую энергию можно просто использовать для нагрева воды, и дальше как обычно получать электроэнергию через паровую турбину и вот это вот все, ну как это делают на электростанциях.

Но только в этих всех реакциях ядерного синтеза одна проблема. А именно – разогнать частицы до нужных скоростей, при которых случается реакция, не так-то просто. Отсюда в первую очередь научились использовать реакцию ядерного распада, а в качестве топлива использовать всякие радиоактивные изотопы. Так как для такой реакции не нужны никакие условия, кроме достаточного количества этих изотопов, потому что они сами разваливаются со временем, еще и ускоряя распад соседей, когда обстреливают их нейтронами. И главная проблема таких реакторов не инициировать реакцию, а ее остановить. То-есть “тормозить” ее, управляя скоростью распада.

Собственно, это чуть ли не главная причина, по которой “классические” ядерные реакторы на сколько опасны. Потому что, если случается авария, реакция начинает идти по нарастающей, теплу некуда деваться, в итоге топливо сразу расплавляет само себя, потом реактор, но продолжает нагреваться аж до тех пор, пока условный уран не начинает испаряться. Этот

металлический пар разлетается по окруже, оседает, и после фонит еще миллионы лет, пока радиоактивные изотопы не распадутся.

И очистить его, как не сложно догадаться, просто невозможно. Потому что как вообще можно убрать металлический пар, который осел на всем, на чем только можно.

И именно по этой причине ядерная энергетика на сколько опасна даже при всех методах защиты и редкости аварий. Потому что одна единственная авария может привести к тому, что этим радиоактивным паром будет засрано пол континента. Отсюда я считаю, что ядерную энергетику, в которой применяются радиоактивные изотопы, а топливо находится в критическом состоянии, нужно запретить раз и навсегда.

Критическое состояние топлива, это такое состояние, в котором, если убрать замедлители, реакция пойдет по нарастающей.

И что бы там не рассказывали про безопасность классической ядерной энергетики, это все чушь. Потому что, если авария с ужасными последствиями в принципе может случиться, она рано или поздно случиться. А если такая авария однажды случалась, то она рано или поздно случиться еще раз. И вопрос только в том, рано или поздно.

Но проблема в том, что на текущий момент это основной тип реактора. Да, сейчас уже пытаются строить жидкросолевые реакторы, в которых реакция будет затухать если случиться авария, но пока они только на стадии прототипов.

А вот что касается реакции ядерного синтеза, то она либо абсолютно безопасна в плане долгоиграющих последствий, либо почти безопасна. Связано это с тем, что реакция затухающая. И даже если в реакторе содержатся радиоактивные изотопы и случиться авария, то такие изотопы достаточно быстро потеряют свою радиоактивность. Да и сами эти изотопы не то, что бы прям сильно радиоактивными были.

Например, тритий распадается бета распадом, испуская электроны. И даже если его вдохнуть, это не прям смертельно (а его легко вдохнуть, так как в случае аварии он свяжется с кислородом, превращаясь в пар). Более того, тритий живет всего 12 лет. Остальные же элементы как правило не радиоактивны.

В добавок количество топлива в таком реакторе небольшое (десятки грамм, максимум сотни). И даже если плазма вырвется в атмосферу, то размажется по такой площи, что будет фонить не сильнее, чем свежий бетон.

Единственное исключение, это реакторы легкотяжелого синтеза, где используется в качестве топлива тяжелый металл. В этом случае образовываются радиоактивные изотопы, многие из которых опасные и долгоживущие (уран-235, плутоний-239 и так далее). Но в таком реакторе топливо находится в "подкритическом" состоянии, из-за чего реакция затухает сама собой, если ее не поддерживать принудительно, просто пока она затухнет, может произойти несколько суток, если топливо в твердом виде. Отсюда такие реакторы для безопасности стоит строить на тяжелой плазме или растворах тяжелых металлов в воде (эмulsionях) или солях, а не на твердом топливе.

Плюс большинство изотопов в таком "тяжелом" топливе с малым периодом полураспада (минуты, или дни). Из-за чего даже если произойдет авария, и они вырвутся в окружающую среду, то быстро распадутся за несколько дней, и все, что останется, это свинец, торий, уран (обычные, не радиоактивные).

Они, конечно, тоже не то, что бы прям вообще безопасные. Все-таки это тяжелые металлы, а они токсичны. Но их там будет пару сотен грамм на несколько мегагектаров. Так что это не то, что бы

проблема. Ну или если и проблема, то не серьезней, чем проблема выброшенного в лесу аккумулятора.

И это, повторюсь, в худшем из возможных сценариев. В большинстве же аварий максимум, что произойдет, это все очень сильно испугаются, потому что “нюклеар денжерус”, и может даже парочка людей умрет. Но не от радиации, а от сердечного приступа, который их схватит с перепугу на фоне радиационной фобии.

При этом если у вас возникает вопрос, могут ли реакторы взорваться, то ответ – классические нет, а вот реакторы ядерного синтеза да, могут. Только это будет не как взрыв ядерной бомбы, а как взрыв газа. Связано это с тем, что внутри нагретая плазма. Часто водородная. А водород – взрывоопасный газ. Из-за чего если случиться утечка, и внутрь попадет кислород, или плазма попадет в воздух, это бахнет. Но так как топлива там всего несколько сотен грамм, то в самом страшном случае окна повышает и штаны испачкает.

--

И да, еще немного про “нюклеар денжерус” и общую безопасность.

Лично я боюсь ближайшего “экологического” будущего. Я бы предпочел, что бы в моем городе на парковке возле магазина, в который я буду ходить, не стояла “Тойода Хидроген”, например. При том, что это просто автомобиль на водородном топливе. Потому что она гораздо опасней ядерного синтеза. Все дело в том, что у нее внутри бак с водородом под высоким давлением в 200 бар. Если бак 200 бар 60 литров разорвет давлением, это будет эквивалентно взрыву 0.7-0.8 килограмм тротила. Если это будет в людном месте, то это потенциально десятки раненых и несколько трупов. И это 200 бар. А современные баллоны при том же объеме делают на 500-700 бар.

А почему такой бак может разорвать? Да потому что никто не гарантирует его целостность годами при гаражном хранении и гаражном контроле. И никакое техобслуживание или техосмотры тут не помогут, так как даже если исключить коррупцию, что бы проверить такой баллон нужно сложное оборудование (ультразвук, рентген), и автоматические системы диагностики внутренней структуры (микротрешины и усталость материала), плюс умение этим всем пользоваться. То-есть это не уровень инспектора ГИБДД, который проводит плановое ТО. В итоге бак высокого давления – источник повышенной опасности, который может взорваться в любой момент. И в интернете куча видео, где взрывается метановый бак в машине. Там повреждения машины не совместимы с жизнью. Метан и водород, если что, плюс минус одинаковы в плане хранения. И заправочные места на метановых заправках не просто так изолируют железобетонными перегородками друг от друга.

Более того, водород может еще и загореться при высвобождении в воздух. Причем горит он очень быстро, из-за чего происходит объемная детонация, превращающая в пар все, что в радиусе взрыва. Что бы понять, как это работает, можно посмотреть, как работают объемные (термобарические) боеприпасы. Это адская штука.

Ну а если ездить на такой машине, то просто можно представить, как в задницу ничего не подозревающему водителю приезжает какой-то мотоцикл или другая машина, кузов деформируется, его кусок повреждает композитную оболочку баллона, взрыв. В итоге водитель, который бы отделался в обычной машине испугом, и после пошел оформлять страховку, в машине на водороде или метане пойдет оформлять свидетельство о смерти. Своей и того, кто в него приехал. И это еще если повезет умереть сразу. А если нет, то получит тяжелую контузию и будет пол оставшейся жизни стены говном мазать на радость родственникам или органам опеки.

И эти машины предлагают выпустить на дороги общего пользования под видом безопасных и экологичных. Спасибо, но нет, как говориться. Лучше ядерный синтез в багажнике, чем такое. И это не паранойя. Просто я видел, как это бывает. Мне не понравилось. И это при том, что раньше таких машин была одна из тысячи. Сейчас их предлагается сделать каждую десятую.

Ну и да, не стоит путать пропан-бутан и водород-метан. Это вообще разные газы. Пропан-бутан храниться в жидким виде при малом давлении и утекает медленно и “по земле”. Взорваться может если только вытекший газ, что скопился в багажнике, поджечь. Да и количество его там небольшое. Бахнет громко, но максимум стекла и барабанные перепонки вылетят.

## Топливо

При этом в контексте синтеза важно учитывать, какое топливо использовать, так как от этого зависят условия, с которыми будет протекать реакция, а так же продукты этой самой реакции. Например, одни связки топлива считаются потенциально “чистыми”, то есть теми, кто не выделяет нейтронов, как самого вредного вида излучения, другие же проще вступают в реакцию из-за меньшего кулоновского барьера и большего стечения захвата и так далее.

Лучше и проще всего вступают же в реакцию нейтроны, так как у них вообще нет кулоновского барьера. После них идут изотопы водорода. Так как у них по одному протону, что означает минимально возможный кулоновский заряд, но при этом есть еще нейтроны, что увеличивает массу ядра и тем самым его инерцию, и более тяжелому инертному ядру проще пробиться через кулоновский барьер другого такого же ядра.

Причем тритий вступает в реакцию проще, чем дейтерий, из-за того, что у трития больше масса (и, как следствие, инерция), но такой же кулоновский барьер, как и у дейтерия.

И эта логика в результате выражается в том, что дейтерий и тритий реагируют проще, чем дейтерий и дейтерий, и чем гелий-3 и дейтерий.

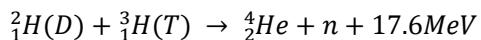
Если вы подумали про водород и водород или тритий и тритий, то я тоже об этом подумал. Но эти реакции не эффективны. Водород с водородом реагирует неохотно, так как протоны не хотят слипаться, им нужны нейтроны в качестве “клей”. И реакция там проходит через “нейтронизацию” одного из протонов (протон “сжирает” электрон и становится нейтроном), в результате чего получается не гелий-2, а дейтерий. Но вероятность этой “нейтронизации” очень низкая. И дейтерий чаще получается из-за захвата водородом нейтрона.

А у трития и трития “клей” слишком много, и реакция тоже не хочет идти (понятно, что клей — это метафора, нейtron скорей стабилизирующая частица). Дейтерий и водород не реагирует так же потому, что нужен переход протона в нейтрон, что бы получился тритий. Гелий-3 почему-то из этой реакции не хочет образовываться с таким количеством “клей” (ядро не стабильным получается).

При этом как не странно, гелий-4 и гелий-4 могут вступать в реакцию синтеза с образованием бериллия-8. Но правда там температуры на порядки выше, чем для трития и дейтерия. Также гелий может вступать в реакцию с бериллием с образованием углерода. А еще водород может вступать в реакцию с бором, и дейтерий с гелием-3.

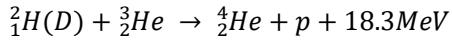
В итоге для реактора есть несколько подходящих пар топлива. И реакции будут такими:

Пара дейтерий и тритий:



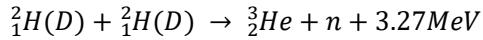
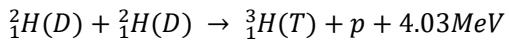
Выделяется гелий и нейtron. Самая эффективная с точки зрения удельной энергии (количество выделяемой энергии на единицу массы топлива), и самая хорошо изученная реакция на текущий момент. Плюс проходит при температурах всего в 100 миллионов градусов.

Еще одна пара, это дейтерий и гелий-3:



В результате выделяется гелий и протон. Протон рано или поздно превратиться в водород, если захватит электрон. Реакция считается чистой, то есть без выделения опасных нейтронов, но это чушь.

Чушь потому, что дейтерий с дейтерием из-за меньшего кулоновского барьера вступает в реакцию при меньших температурах, чем дейтерий с гелием-3, из-за чего в плазме дейтерия и гелия-3 как минимум половина реакций будет протекать между дейтерием и дейтерием. Такая реакция может идти двумя разными путями:



В результате одной получается тритий и протон, в результате другой гелий-3 и нейtron. Вероятность 50x50.

В итоге нет смысла проектировать систему под реакцию дейтерия и гелия-3 в надежде на ее “чистоту”. Да, при такой реакции выделяется меньше нейтронов, чем при реакции трития с дейтерием. И нужно меньше защиты. Но она не чистая. Ну и плюс гелий-3 очень дорогой и на земле его нет. Эта реакция имеет смысл только на луне, где его можно добывать из грунта.

Более того, по мере того, как будет идти реакция, тритий будет накапливаться, а гелий-3 расходоваться. В итоге и так недостаточно “чистая” реакция постепенно будет становиться все более “грязной”. Особенно учитывая, что тритий с дейтерием реагирует охотнее всего из трех пар, и он будет первый вступать в реакцию, так как для этой реакции нужна минимальная температура (100 миллионов градусов).

Реакции же дейтерия с дейтерием протекают на температуре 200 миллионов градусов, а дейтерия с гелием-3 на температуре около 300-400 миллионов градусов.

Но тритий тоже дорогой, и в природе почти не содержится, из-за того, что быстро распадается (период полураспада 12 лет). Отсюда его производят в реакторах, облучая дейтерий нейтронами (реакторы на тяжелой воде). Дейтерий же содержится в обычной воде в количестве примерно 165 грамм на тонну, и добывается из нее обычным электролизом или другими химическими методами.

Отсюда единственный адекватный вариант в этих трех парах топлива, это проектировать систему под каскадный синтез, где сразу идет синтез дейтерия с дейтерием, после образовывается гелий-3 или тритий. И после уже они вступают в реакцию синтеза с дейтерием. Нейтроны же, что выделяются при реакциях, можно использовать либо для того, что бы производить из дейтерия тритий, либо для того, что бы производить из водорода дейтерий. Ну а с водородом в природе вообще нет проблем.

Дейтерий из водорода или тритий из дейтерия при помощи нейтронов производится очень просто. Достаточно окружить реактор водой. Водород в воде будет поглощать нейтроны, и становиться дейтерием (тяжелая вода). А если этот дейтерий поглотит еще один нейtron, то он станет тритием (тритиевая вода). Дальше просто провести электролиз, отделив кислород от водорода, и после последний отправить в реактор в качестве топлива.

Преимущество этого метода еще и в том, что таким образом можно безопасно хранить топливо. К счастью, воду хранить человечество уже научилось.

Я считаю, что лучше получать из водорода дейтерий. Так как тритиевая вода фонит. И если разольется, то превратиться в итоге в пар, который будет давать радиационный фон. И радиоактивные дожди будут не шуткой, а печальной перспективой. С дейтериевой водой такой проблемы нет.

Да, может вы заметили, что я сказал, что водород поглотит нейтрон в воде. И учитывая то, что я писал до этого про нейтроны, скорей всего возникает вопрос, что будет, если нейтрон поглотит кислород. И да, это может случиться. Но эта реакция довольно редкая, так как у водорода больше стечения захвата нейтрона (0.332 у водорода против 0.00019 у кислорода).

И тут может быть не понятно, так как, казалось бы, кислород больше, а значит у него больше стечения. Но это работает немного не так. Кислород не только больше, но и тяжелее, из-за чего инертный. И легкий нейтрон влетает в него, как бейсбольный мяч в бетонную стену, и просто отскакивает. В то время как протон из-за низкой инерции "пружинит" немного, и "ловит" нейтрон, как бейсбольная перчатка быстрый бейсбольный мяч.

Ну это топорная и упрощенная аналогия. Так как на самом деле там влияет строение ядра, квантовые резонансы и прочие фантазии ученых, которые ничем не доказаны и не подтверждены, и представляют собой такую же чушь, как и моя аналогия с бейсбольным мячом. И по факту никто не знает, как и почему это так работает. Но как-то же надо это все объяснить.

И если кто-то возразит, что "вообще-то это фантазии, которые работают, и предсказания предсказывают", то я соглашусь, но замечу, что кровопускание тоже работало в 90% случаев, и после него больные излечивались от гриппа. Вот только после не значит в следствии. Корреляция и причинность - разные вещи. Но наука часто об этом забывает.

Да и все, кто хоть немного понимают внутренний язык современной науки, как только видят слово "квантовый", сразу же понимают, что это термин-заглушка, и речь идет о чем-то, чего никто не понимает. А если это словосочетание "квантовый резонанс", то это вообще "комбо", которое прямо кричит "мы вообще не в курсе, как работает эта дичь".

Но тем не менее, кислород все равно может поглощать нейтроны. И когда он поглотит 3 нейтрона подряд, он станет радиоактивным изотопом кислорода-19, который распадается примерно за пол минуты бета распадом, превращаясь в фтор-19, что представляет собой стабильный изотоп фтора.

Обычно в этом моменте вода уже отправится на электролиз. Так как в ней будет уже много дейтерия, и нужно будет ее менять, что бы не начал получаться тритий. Но если так не делать, то фтор будет накапливаться, захватывать нейтроны, и превращаться бета распадом в неон (фтор-20 имеет период полураспада 12 секунд).

Ну а неон — это безопасный инертный газ, который будет просто улетать в атмосферу.

Таким образом, если засунуть реактор в котел или бассейн, этот вариант топлива будет дешев, эффективен и безопасен в рамках крупных систем. Крупных систем потому, что толщина слоя воды должна быть метра 3, что бы она эффективно улавливала большинство нейтронов.

В итоге каскадный синтез, что начинается с дейтерия и заканчивается гелием — это лучший вариант топлива для средних и крупных электростанций, кораблей и других подобных устройств.

При этом я не продолжаю цикл, предлагая синтезировать гелий с гелием дальше. Так как, во-первых, для этого синтеза нужна на 2-3 порядка больше температура (10в10 градусов), и еще пара порядков и начнется превращение вещества в барионную плазму.

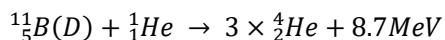
Но потенциально в будущем, с развитием технологии, такое продолжение можно представить, выжимая из топлива максимум. Особенно если уменьшить температуру синтеза при помощи мюонного катализа (о катализе дальше будет).

Причем мюоны, в отличии от нейтронов, еще и могут управляться и направляться при помощи магнитных полей, что позволяет направлять их в нужную зону реактора. И даже сложно представить, какой потенциал у этой технологии. Потому что, если получиться создать стабильный источник мюонов, не только реакция синтеза гелия с гелием станет доступна, а можно будет проводить трансмутацию всего со всем.

Ну условно (в теории) можно будет получать литий в промышленных масштабах из реакции синтеза гелия и трития (обычный литий-7) или гелия идейтерия (дорогой и редкий литий-6), которые в обычных условиях неохотно слипаются. Причем такой литий может стать просто побочным продуктом электростанций, работающих на дейтерии.

---

Помимо названных выше пар есть еще одна интересная пара топлива. А именно – протий и бор. Реакция выглядит вот так:



Реакция проходит примерно при 600-800 миллионах градусов, и эта реакция интересна тем, что в результате выделяется только 3 атома гелия, и энергия выделяется в виде кинетической энергии этих атомов.

При этом здесь нет паразитных реакций между гелием и бором или водородом и гелием. Вернее, они есть, но на гораздо больших энергиях (температуре) или при наличии мюонов (которые тоже могут возникать, так как в плазме много протонов). Но количество таких паразитных реакций мизерное.

Отсюда потенциально это топливо можно использовать в реакторах, устанавливаемых в самолетах, космических кораблях и других местах, где нельзя сделать трехметровый слой воды для защиты от нейтронов.

Но этот вариант все равно не совсем чистый. Так как на энергиях частиц эквивалентных 600-800 миллионам градусов возникает тормозное излучение, которое находится ближе к гамма спектру. Но оно не на сколько интенсивно, как в классических реакциях ядерного деления.

Также могут возникать фотоядерные реакции, когда высокоэнергетическое электромагнитное излучение выбивает из атомов нейтроны и протоны. Из-за чего элементы реактора, такие как стенки корпуса, могут испускать нейтроны. Но количество таких нейтронов на порядки меньше, чем при каскадной реакции дейтерия и трития.

Еще потенциально при больших энергиях протонов (а они могут достигать больших энергий за счет таранного катализа, о котором поговорим далее), может случиться реакция бора с протоном, с образованием углерода и выделением нейтрона. Эти реакции редкие, но они возможны.

Плюс бор может вступить в реакцию с гелием, который является продуктом основной реакции, и в результате этой вторичной реакции образуется азот и нейтрон.

В итоге хоть реакция и формально “чистая”, все равно если стоять рядом с таким реактором, то мало не покажется. Реактор на 1ГВт мощности без защиты облучит смертельной дозой нейтронов за 2-3 секунды нахождения рядом (на расстоянии метров 5). Но если придумать продвинутые методы защиты от гамма излучения и нейтронов, то реактор можно сделать легким и безопасным, в теории.

Например, 10 см боросодержащего (B4C) полиэтилена уменьшает нейтронный поток в сотни раз. А если использовать комбинированную защиту, где добавить слои лития, бериллия, вольфрама для поглощения гамма излучения, то 20-30 см слой может снизить нагрузку до приемлемой на такой дистанции.

В багажник машины такой не поставить все равно в ближайшие десятки лет, так как даже с такой защитой за час можно получить допустимую годовую дозу облучения, но вот в крупный самолет, средний корабль, ракету, или на крышу здания, где люди не будут обнимать реактор и где защиту можно сделать потолще - вполне.

Ну условно если реактор стоит в самолете на крыле (прямо в двигателе), то его нужно не всего окружать защитой, а только ту часть, которая со стороны пассажиров. А значит небольшой сегмент защиты толщиной в метр справится с этой задачей и сделает самолет на таких двигателях безопасным для пассажиров.

Но это с учетом текущих технологий защиты. Потенциально можно разработать новые методы, где нейтроны будут не замедляться и поглощаться, а перенаправляться назад в зону реакции за счет хитрых схем легирования кристаллических структур. Ну формата, когда нейtron как шарик на доске Гальтона отражается от кучи атомов, расставленных определенным образом, и в итоге либо поглощается, либо с большей вероятностью попадает именно в определенное место. Только в этом случае доска Гальтона будет "перевернутой" (обратной).

Тогда можно будет "заворачивать" нейтронный поток куда нужно.

\*\*\*

Добавлю немного космоса.

Так же я думал, как получать топливо в больших количествах из всего, чего только можно. Что бы не нужно было подбирать исключительнодейтерий. Дейтерий хоть и распространен, но его не так много. И если на земле его добыча не то, что бы проблема, то например в космосе ковырять его с замерзших астероидов, где переохлажденный лед по твердости как гранит из-за низких температур, так себе развлечение, особенно учитывая сколько мало его содержится в воде и сколько много нужно для космолета.

Отсюда желательно использовать в качестве топлива простой водород. Но он не годиться, пока его не превратить в дейтерий. Превратить в дейтерий его не сложно, достаточно просто облучить нейtronами, которые получаются в результате реакции, но только этого дейтерия не хватит.

Проблема в том, что реакция синтеза дейтерия и дейтерия в 50% ситуаций получается тритий и нейtron, а еще в 50% гелий-3 и протон. В итоге из четырех дейтериев получился 1 нейtron. Дальше тритий вступает в реакцию с еще одним дейтерием и получается еще 1 нейtron. В итоге из 5 дейтериев получилось два нейtrона. Второй путь, по которому дейтерий с гелием 3 вступает в синтез, не порождает нейtron, но для этой реакции тоже нужен один дополнительный дейтерий. В итоге в результате каскадного синтеза получается из 6 дейтериев 2 нейtrона.

И если представить, что эти нейtrоны гарантированно поглотятся водородом с образованием дейтерия, то реактор покрывает только 33% своей потребности в дейтерии. И решить это можно двумя путями. Первый — это перемолоть конечные продукты реакции в барийонную плазму, из которой потом образуются нейtrоны в нужном количестве, и наделают сколько дейтерия, сколько нужно.

При этом потенциально из барийонной плазмы получаются не только нейtrоны, но и протоны. И это позволяет получать в итоге дейтерий только лишь из продуктов остывания барийонной плазмы.

Именно так работают реакторы на космолетах у меня в романе. Любое вещество они превращают в барионную плазму, а ту в базовое топливо, и так по циклу. Еще крутость такой системы в том, что в качестве топлива можно использовать воду или всякие углеводородные газы (пропан, бутан). Потому что кислород или углерод можно перемалывать на барионную плазму, из которой потом получать нейтроны, синтезировать дейтерий из оставшегося водорода, который дальше синтезировать до углерода (синтез гелия с гелием), а после по новой, фактически перемалывая всю массу в энергию.

Но только земным технологиям до барионной плазмы далековато пока. Да и дейтерий сам по себе довольно неприятен в хранении, так как это водород. Гидриды удобны для наземного применения. Но в космос таскать кучу "хранителя водорода", из которого дейтерия только 5-10%, а остальное – просто балласт, как-то не очень приятно.

Отсюда этот балласт должен быть полезен. Например, там должно быть то, что может увеличивать количество нейтронов. Таким компонентом является, например, бериллий. Бериллий-9, поглощая нейtron, может распасться до бериллия-8 с выделением двух нейтронов. Ну а после бериллий-8 удалять.

Также, как не странно, дейтерий может выступать умножителем нейтронов. Поглотив быстрый нейtron, он может не в тритий превратиться, а в водород, высвободив 2 нейтрона. Но эта реакция не имеет смысла, если задача получать именно нейтроны.

Но есть и другие вещества. Например, изотопы алюминия или углерода могут выдавать нейтроны. Но минус этого метода в том, что "умножители" нейтронов могут не распасться, а просто поглотить нейtron и трансмутировать. Отсюда хотелось бы получать нейтроны как-то еще.

И такой способ есть. Это фотоядерные реакции. Если облучать атомы высокоэнергетическим гамма излучением, оно может выбивать нейтроны. И эти нейтроны дальше могут поглощаться водородом. Тут уже список материалов шире. И если в реакции много гамма излучения, то его можно использовать для получения нейтронов, облучая им мишени.

Но где взять много гамма излучения? Первый вариант – тормозное и синхротронное излучение. Особенно интересно последнее, так как дает направленный конус излучения, и учитывая, что гамма излучение нельзя фокусировать, удобно получить его направленное излучение, что бы поставить мишень, где удобно. Но потенциально такого излучения будет не так и много, и оно будет не очень высоких энергий при той температуре, на которой происходит реакция водородного синтеза.

Отсюда для получения гамма излучения можно использовать распад тяжелых изотопов, таких как уран, торий, свинец и так далее. Эти элементы при распаде выделяют много гамма излучения, плюс сами по себе они являются умножителями нейтронов, так как при поглощении нейтрона способны делиться с выделением нескольких нейтронов. То-есть они поглощают 2, а выпускают 3.

При этом они еще и делятся с выделением большого количества энергии (на самом деле выделяемая энергия из расчета на массу у них на порядок меньше, чем у реакции синтеза легких элементов, но это пока нюансы).

Причем так как источник нейтронов получается из реакции синтеза, то можно использовать не радиоактивные изотопы тяжелых металлов, такие как уран-233 или уран-235, а обычные, стабильные, такие как уран-238, которые после поглощения нейтрона, полученного в результате синтеза трития с дейтерием, станет плутонием-239 (не сразу, а после нескольких преобразований, которые занимают в среднем 2-3 суток). А плутоний-239, после поглощения нейтрона, делиться с выделением 2-3 нейтронов и осколков деления.

В итоге нужно 2 нейтрона, что бы из урана-238 получить плутоний-239, а после разбить его и получить 3 в результате этой реакции. В добавок к этому выделенное гамма излучение может вызвать фотоядерные реакции в обшивке, и выделить дополнительные нейтроны.

Но это только один пример. Вариантов реакции довольно много. И при помощи таких реакций можно утилизировать ядерные отходы от реакторов на тяжелом топливе, фактически превращая радиоактивные отходы в топливо. Причем любые отходы. Не только тяжелые металлы. Так как даже условные углеродные стержни, которыми замедляли реакторы, и в которых накопились изотопы углерода, это потенциальный источник нейтронов, если облучать их высокоэнергетическим гамма излучением.

Единственный минус, что удельная энергоемкость такого топлива не очень высокая по сравнению с реакцией водородного синтеза. Но это минус только в контексте межзвездных перелетов с двигателем нового типа, который я предлагаю в другой книжке. В контексте солнечной системы это не проблема.

Для хранения топлива можно использовать гидриды. Гидриды – это соединения металлов с водородом. И, например можно использовать соединение урана с водородом. Это порошок, который легко хранить в твердом виде при нормальном давлении.

Способ хранения через гидриды удобен, так как есть гидриды, которые распадаются при низких температурах, из-за чего из них очень легко выделить водород.

Да, большинство гидридов с металлами при этом химически активны. Они воспламеняются на воздухе, а после образуют опасные токсичные соединения. Но все равно безопасней, чем взрывоопасный водород под давлением.

Например, интересен боргидрид натрия. Это белый порошок, который в меру безопасный (не опасней бензина). Стоит примерно ничего (учитывая, что со 100 грамм порошка можно получить 50 МВт\*ч энергии). Относительно легкодоступный в продаже. Распадается при температуре 500 градусов (то есть просто подогреть на сковородке или испарить лазером будет достаточно, что бы получить компоненты, готовые для работы. В составе есть натрий, который является балластным. Потенциально его можно оставить в плазме, где он будет служить для ее стабилизации и упрощения удержания. В реакции с протонами он не вступает.

В итоге это может быть топливом для реактора, использующего пару топлива из protия и бора.

---

В итоге, учитывая это все, есть смысл создавать реактор, который содержит многокомпонентную плазму, в которой есть как непосредственно топливо (например, водород и бор) так и балластные компоненты и даже тяжелые металлы, которые тоже являются топливом.

Так же реактор должен быть легко перенастраиваемым под новый доминирующий тип топлива. Что бы можно было выполнять каскадный синтез, начинающийся с пары дейтерий-дейтерий, и заканчивающийся тритием и дейтерием, или гелием-3 и дейтерием. А в перспективе что бы он мог продолжать и дальше, выполняя синтез гелия с гелием.

Это позволит извлекать максимум энергии с единицы массы топлива.

В добавок такой реактор должен сам себе производить топливо. Потому что каждый раз производить где-то на стороне тритий, а после подливать его в реактор, это весело с точки зрения эксплуатации энергосистемы в целях извлечения дохода и осваивания денег на получении разрешений для осуществления логистики опасных веществ. Но у меня другие цели. Потому что

когда реактор есть у каждого в гараже, но топливо к нему стоит кучу денег и бюрократии, то какой вообще смысл в такой "новой энергетике"?

А вот если запустить его можно в гараже, насыпав в бак борной кислоты, что куплена в ближайшей аптеке, то это уже другой разговор.

В килограмме такой кислоты около 175 грамм бора, из которых примерно 150 грамм – это нужный изотоп (бор-11). И на каждый атом бора приходится 3 атома водорода, что почти оптимально для топлива.

В итоге один килограмм такой кислоты в качестве топлива покроет потребность в энергии среднего домохозяйства (которое потребляет около 30 000 кВт в год, или чуть меньше 3000кВт в месяц), в течении... 60 лет по приблизительным оценкам.

Вы не ослышались, 60 лет (расчеты приводить не буду, кому интересно, просто может забить в LLM, и получить подробный расчет). Это средняя продолжительность жизни среднего человека.

То-есть просто представьте, что на совершенолетие родители подарили реактор размером чуть меньше стиральной машины, и кило белого порошка (борной кислоты), тем самым обеспечив своего ребенка энергией до конца его жизни. Кондиционер, отопление, компьютер, чайник, мультиварка. Это все до конца жизни больше не представляет проблему и не сжирает деньги.

Ну а так же не приносит доход тем, кто продает энергию и все, что с ней связано (топливо, энергоносители, системы доставки энергии). Собственно, по этой причине такие реакторы до сих пор не созданы. И разработки ведутся только в направлении гигантских систем. Потому что, если получиться создать крупную установку, такую как ITER, цена на энергию не упадет. А вот затраты продавцов на топливо снизятся. Что в итоге приведет к росту прибыли. То-есть все разработки, что сейчас ведутся, направлены на снижение издержек бизнеса с целью максимизации прибыли.

Но мне такой мир не интересен. Отсюда я хочу, что бы реактор, во-первых, был компактным, во-вторых – доступным, а в-третьих, что бы для него можно было добывать топливо из ближайшей лужи или хоз. магазина.

То-есть меня интересует не только технологический, но и социально-идеологический прорыв на концептуально новый уровень.

Но это что касалось топлива.

## Катализ

Что бы построить реактор синтеза, сначала стоит решить, каким образом будет преодолеваться кулоновский барьер. Как я говорил, есть два способа, это разогнать и сжать частицы. Способов на самом деле больше, но эти два люди научились хоть как-то контролировать.

Разгонять и сжимать можно разными способами. Можно разогнать в ускорителях и втыкать в мишени или сталкивать между собой (инерционный синтез), можно лазерным сжатием материи (инерциальный синтез), но самый простой вариант, это нагревать и сжимать плазму.

Почему именно плазму, а не жидкость или что-то еще? Потому что уже на температурах в 100 000 градусов любое вещество представляет собой атомарную высокоионизированную плазму. А для реакции синтеза нужны миллионы и миллиарды градусов.

При этом на самом деле плазма бывает разной. Она может быть квазиметаллической, сверхтекучей, и даже “жесткой” (когда давление настолько большое, что плазма обладает упругостью, превышающую упругость жидкостей).

Сжимать и нагревать плазму можно магнитными полями, а так же лазерами, разрядами, микроволновым излучением, потоками нейтронов и другими подобными методами, о которых я буду рассказывать позднее, когда предложу конструкцию реактора и схему его работы. Так как у меня как метод нагрева и сжатия следует из конструкции и принципа работы, а не конструкция и принцип из метода.

---

Но кроме простого разогрева и сжатия, есть еще разные “помощники”, которые могут помочь инициировать реакцию. Называются они – катализаторы реакции.

Катализаторы, это, например, нейтроны или мюоны. Мюоны, это такие “тяжелые электроны”, которые заменяют обычные, из-за чего уменьшают размер электронных оболочек и снижают силы отталкивания между частицами, в итоге реакция проходит при меньших энергиях частиц.

Например, если использовать мюоны, то можно сильно уменьшить температуру, необходимую для протекания реакции (получить “холодный синтез”), что в итоге приведет к “смягчению” тормозного излучения из гамма спектра в рентген или даже в ультрафиолет спектр. А в этих спектрах такое излучение очень легко экранировать. И тогда реакция может быть полностью чистой и безопасной, и такой реактор можно будет носить в кармане штанов, не переживая за потомство.

Но пока этот способ недоступен, так как мюоны живут примерно 2.2 микросекунды. И заправить ими реактор заранее не выйдет до тех пор, пока не получиться их стабилизировать. А что бы их получать на месте, нужно разгонять частицы до больших энергий и сталкивать, что само по себе будет создавать излучение. Отсюда на текущем этапе они могут выступать катализатором реакций, но не могут сделать синтез полностью чистым.

При этом что бы получать мюоны, нужно обычно затратить больше энергии, чем потом получится в результате реакции, которую они катализируют (один мюон может помочь провести до 200 реакций), что делает их использование нецелесообразным.

Но у меня есть гипотеза, как их можно получать проще. Можно подобрать такой состав плазмы, где в результате деления выделяются осколки реакции, имеющие большую энергию. Например, при делении тяжелых металлов осколки могут иметь энергию до 100МэВ. Если два таких осколка столкнуться, гипотетически может образоваться мюон (вернее образовывается сразу пион (пимезон), из которого потом получается мюон).

Вообще в сумме их энергия будет 200МэВ, а для образования пионов нужно около 300МэВ. Но в теории даже с 200МэВ при определенных условиях может получаться нужный результат.

Например, может сработать то, что я называю “таранный метод синтеза” или “таранный катализ”.

Таранный метод основывается на законе сохранения импульса при упругом столкновении. Логика такая, что если в большую (массивную) частицу влетит легкая, то легкая от нее отскочит с большей скоростью (энергией). Представить это можно на примере движущейся машины, в которую в лоб влетает теннисный мяч. Теннисный мяч отскочит от машины, но его конечная скорость будет выше начальной, машина при этом потеряет часть энергии.

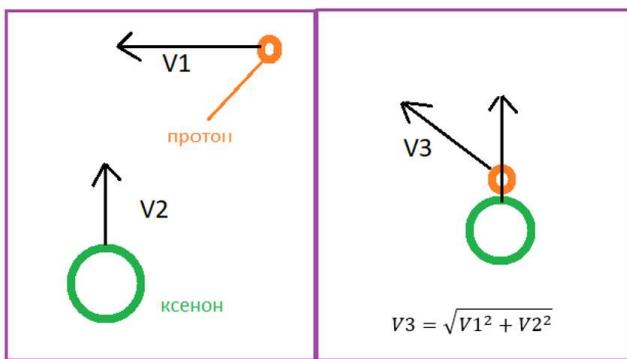
Работает это так, что скорость мяча относительно машины равняется собственной скорости мяча плюс скорость машины. А так как столкновение упругое, то скорость мяча до столкновения и

после столкновения одинаковая. В итоге после столкновения скорость мяча будет равняться начальной скорости плюс скорость машины (при условии, что у машины бесконечная масса).

И если представить ситуацию, что происходит несколько таких столкновений подряд, где отскочивший теннисный мяч сталкивается со следующей машиной, что движется на него, то с каждым столкновением он будет приобретать все большую скорость и энергию.

В реальности ситуацию представить просто. Кто-то бросает мяч навстречу проезжающей машине, он от нее отскакивает, летит на встречную полосу, там находит машину, двигающуюся в противоположном направлении от первоначальной, отскакивает еще и от нее, и так несколько раз, пока мяч не превращается в снаряд и не пробивает стекло очередной машины, что оказалась у него на пути.

И вот с частицей может быть то же самое. Какой-то легкий атом, у которого мало энергии для синтеза, может влететь в осколок деления тяжелого металла или даже в сам атом тяжелого металла, отскочить от такой частицы, приобретя дополнительную энергию. В итоге его новой энергии уже хватит для синтеза.



При этом не обязательно таранить грузовик в лоб теннисным мячом. Увеличение скорости (энергии) легкой частицы будет происходить при столкновении с "таранной" частицей при любой скорости и под любым углом, главное, что бы удар приходился в переднюю полусферу таранной частицы. Например, может быть вот такой сценарий, как на картинке.

В зависимости от угла столкновения и точки попадания в передней полусфере результирующая энергия будет отличаться, но основная идея сохраняется. Все возможные варианты пока лень рисовать, может в будущих редакциях. Ну а столкновение в задней полусфере, когда легкая частица догоняет тяжелую, будет уменьшать энергию легкой частицы и увеличивать энергию тяжелой. В итоге не сложно посчитать по теории вероятности, какой шанс, что легкая частица достигнет нужной энергии от такого "таранного" разгона, после чего вступит в синтез.

То-есть логика такая, что если средней скорости не достаточно для протекания реакции, то с добавлением тяжелых частиц половина легких будет замедляться, половина ускоряться, и реакция начнется при меньшей температуре. А как только она начнется, уже сама реакция начнет подогревать плазму. И по моим прикидкам, температура начала реакции может уменьшится на 10-20%, что позволит уменьшить затраты энергии на инициализацию реакции на этот же процент.

Ну а в теории при определенном удачном стечении обстоятельств, если в плазме есть тяжелые металлы, что вступают в реакцию деления и выстреливают осколками с большими энергиями, легкая частица может несколько раз подряд встретить "встречку", которой выступает такой осколок от деления тяжелого металла, и приобрести еще больше энергии, которой в теории может хватить даже для того, что бы образовались пионы. Вероятность таких столкновений не высокая, но это может упростить реакцию, если они будут случаться хоть иногда. Скажем 0.1% случаев сократят затраты энергии на проведение реакции синтеза на 10-20%, так как при одном случае образовывается 2 мюона, каждый из которых может катализировать до 200 реакций.

Назвал я это “механика спонтанного мюонного катализа”. Но “спонтанный” он, понятно, только в рамках единичных реакций. А в контексте всей плазмы вполне прогнозируемый и контролируемый.

И у меня есть подозрение, что многие реакции в звездах протекают не из-за давления и скорости частиц, а из-за такого вот мюонного катализа. И возможно эта механика и становиться причиной взрыва сверхновой. Когда средне-тяжелых по массе ионов становится достаточно много, они начинают подталкивать протоны, те начинают разбиваться с созданием мюонов. Мюоны катализируют реакцию. Температура резко растет, энергия тоже. Больше протонов сталкивается и порождает больше мюонов. Цепная реакция. Бдыш.

У меня в романе некий “катализатор” вызывает псевдо взрыв сверхновой как раз таким образом. Он запускает вот такой вот мюонный катализ в звезде путем резкого локального разгона реакции за счет впрыска мюонов. После чего начинается цепная реакция. При этом не каждая звезда так взрывается, так как должна быть определенная комбинация плазмы.

---

Еще в контексте “таранного” катализа важно учесть, что атомы — это не упругие частицы, и они, взаимодействуя электронными полями, тормозятся друг об друга с выделением энергии в виде электромагнитного излучения, которое так и называется “тормозное излучение”, а взаимодействие получается не упругим, а вязким.

Но это в обычном состоянии плазмы, а если плазма полностью превратилась в ионно-электронный газ (прошла полную ионизацию), то электронов на электронных уровнях больше не остается, и ядра взаимодействуют как одноименно заряженные частицы, из-за чего потеря энергии не возникает, и в итоге это напоминает упругое взаимодействие. Излучения при таком взаимодействии не возникает, так как нет движения электронов по электронным уровням, и, как следствие, нечему излучать.

В итоге тяжелый осколок с легким атомом будут взаимодействовать похожим на упругое взаимодействие образом, только соударяться будут кулоновскими барьерами, которые напоминаю взаимодействие однополюсных магнитов. Ну это при условии, что не случиться ядерной реакции. Потому что если тяжелое ядро это осколок деления с энергией в 80-120МэВ, то этой энергии вполне достаточно, что бы случился синтез такого осколка не только с тритием или дейтерием, но даже с гелием. И вот эту магию я и решил назвать “легкотяжелый синтез с предшествующей инициализацией деления”.

Я предполагаю, что такой синтез легких элементов с осколками деления возможен в звездах. Ну а дальше набор нуклонов происходит уже за счет поглощения нейтронов. Так как что бы синтезировать условный свинец с легким атомом нужны очень большие энергии, которым неоткуда взяться в звезде, и такие реакции очень редки.

При этом что касается легкотяжелого синтеза с осколком деления, то такой реакции высокие шансы случиться, так как при энергии 80-120МэВ стечение захвата довольно низкое, из-за того, что энергия избыточна. Но осколок будет замедляться постепенно в электронном газе (вязкое тормозное взаимодействие) и при столкновениях с легкими атомами (упругое кулоновское взаимодействие), передавая им часть своей энергии, и с каждым столкновением будет пробовать вступить в синтез снова и снова. При этом по мере уменьшения энергии осколка стечениe захвата будет увеличиваться, и в итоге один осколок может совершить 200-300 попыток вступить в реакцию с легкими атомами, пока не потеряет большую часть энергии, что сильно повышает шанс успешного синтеза.

Ну а заставлять тяжелые изотопы (металлы) делиться будут нейтроны, которые получаются в результате реакции трития с дейтерием или дейтерия с дейтерием.

При этом даже если нет нейтронов, например это синтез протия и бора, можно все равно вводить в плазму тяжелые частицы для таранного катализа. Принцип ускорения теннисного мяча от столкновения с грузовиком то работает все так же. Только грузовик будет разгоняться не в результате реакции деления, а просто в результате нагрева плазмы. Только в роли "грузовиков" должны быть не тяжелые металлы, которые могут делиться, а, скажем, ксенон. Ну что бы он сам не делился, и в реакции с протием не вступал. Ну по крайней мере при тех энергиях, при которых происходит синтез протия и бора.

Проблема такого метода, что при добавлении тяжелых элементов усиливается тормозное излучение из-за того, что электроны (свободные) взаимодействуют с ионами. И чем сильнее поле иона, тем сильнее излучение. Но в теории его можно уменьшить, если просто удалять из плазмы электроны, уменьшая их количество. Правда минус у такого решения тоже есть. Это будет повышать сопротивление плазмы. В итоге нужно будет подбирать состав плазмы и ее параметры.

---

При этом есть некоторая непонятная штука в этих реакциях. Заключается она в том, что, например, после синтеза дейтерия с дейтерием может выделяться протон и тритий. И выделяется 4МэВ энергии. Эта энергия выражается в кинетической энергии частиц. И по логике она будет разделена между этими осколками.

Энергия делится по закону сохранения импульса, и приобретенный импульс частиц должен быть одинаков после разделения, из-за чего энергия делится в той же пропорции, в какой соотносятся массы осколков, и тогда тритий получит 1МэВ энергии, а протон 3МэВ энергии.

И тут интересно то, что по логике тритий при такой энергии должен легко вступать в реакцию с водородом (протоном), дейтерием, и даже с кислородом и углеродом, так как для этих реакций нужны десятки или сотни кило-электрон-вольт энергии (кило на 1000 меньше, чем мега). То-есть энергии у трития с запасом.

Ну а дальше будет происходить новая реакция, у осколков тоже будет высокая энергия. И это должно вызвать нарастающую цепную реакцию.

При этом разговор не только про тритий, которого мало. Например, в реакцию может вступать также и протон. И, например, атмосфера состоит из кислорода и азота по большей части, и что бы случился синтез с азотом, энергия протона должна быть около 2.5МэВ. А его энергия, как мы помним, примерно 3МэВ. После чего должны образовываться осколки реакции с еще большими энергиями, и это бы запустило каскадный цикл.

И если бы это так и было, то уже бы давно сгорела вся атмосфера планеты. Потому что если условно в воздухе было бы два атома дейтерия, и они столкнулись между собой, например, благодаря молнии, и вступили в реакцию, то это бы запустило цикл, который бы сжег всю атмосферу. И у меня в романе так и работает одно оружие массового поражения.

Только в реальности так не происходит, и что бы такое случилось, нужно создать определенные условия. То-есть просто так атмосферу не сжечь.

Если что, время удержания и конфайнмент тут не при чем. В атмосфере частица может лететь долго, пока не врежется в другую. Даже если другая частица обладает малой энергией, она просто будет как мишень, в которую влетит первая, которая имеет достаточно энергии для них обоих. То-есть может получиться обычный инерционный синтез (когда разогнанная частица влетает в мишень, как в ускорителе), при котором фактор Лоусона не имеет значения.

В итоге это все объясняется стечением захвата. Мол стечеие захвата не оптимально, потому реакция не происходит. Но проблема в том, что это чушь и терминологическая пробка, которая еще и вырезана не по размеру.

Почему? Потому что по официальной версии так называемое “стечеие захвата” зависит от энергии частиц. Причем оно до какого-то порога энергии увеличивается, а потом начинает падать. Например, для пары тритий-дейтерий, этот порог 100кэВ. Не говоря уже о том, что у кислорода это стечеие захвата меньше, чем у протона, при том, что у урана оно больше, чем у протона. Отсюда очевидно, что такие понятия как “стечеие захвата” или “стечеие реакции” – это просто токенизированные термины, который ничего общего с понятием “стечеие” не имеет, и лишь вводит в заблуждение, и его нужно менять. И означает этот термин по сути “вероятность захвата” и “вероятность реакции”.

Отсюда его стоит заменить на “вероятность захвата”, ну или хотя бы “пересечение” (не cross section, а intersection), с намеком на то, что должны совпасть (пересечься) параметры частиц, что бы произошла реакция. Но я предлагаю еще один термин – “стечеие реакции” (confluence), как “стечеие обстоятельств”, когда совпадают параметры. И я этот термин уже использовал до этого.

Но в итоге, не смотря на терминологию, похоже, что просто влететь в частицу недостаточно. Нужно что бы выполнялось еще какое-то условие, и это условие – не просто скорость частиц (именно поэтому синтез через нагрев плазмы в токомаке не эффективен). Изучение этих процессов позволит лучше понимать природу реакции.

В книге “космософия” я предлагаю свою модель строения атома и принципов работы его ядра, из которой вытекает, что важна не только скорость, но и момент контакта. Так как должны совпасть параметры (положения) тел. Ну и так же некоторые элементы из-за своего строения очень редко пребывают в том состоянии что бы “захватить” что-то. Отсюда у них очень низкое “стечеие захвата” не зависимо от энергий частиц. В добавок, когда большая скорость частиц, время контакта небольшое, из-за чего попасть в “окно захвата” проблематично, и это снижает вероятность “стечения реакции”.

Ну а рассказываю я это к тому, что легкотяжелый синтез, о котором я говорил, хоть и имеет энергию достаточную для инициализации синтеза (например для синтеза протона с бериллием условным нужны энергии от 10МэВ а осколок бериллия после деления урана, например, имеет энергию 80-120МэВ) на практике такой синтез случается довольно редко, и скорей случится выбивание нуклонов из берилля или еще одно деление, или же протон упруго отскочит с ускорением (если воткнется в переднюю полусферу осколка).

Отсюда понятие “легкотяжелый синтез” – это условный термин, который не всегда означает именно синтез. Это просто реакция, которая по свойствам схожа с реакцией синтеза, так как в ней не нейтроны “делят” ядро, а атомы легких элементов (протий, тритий, дейтерий, гелий). Но при таких реакциях может происходить не только синтез, но и выбивание нуклонов или разбивание ядра тяжелого атома на меньшие осколки.

\*\*\*

Но это все были пока только гипотезы, которые нужно проверять на практике. На сегодня же самым простым и эффективным катализатором реакции являются нейтроны. Работают они очень просто.

Например, если в хвост летящему тритио прилетит нейtron, то он ускорит тритий, передав ему импульс, и может слиться с ним, образовав квадий (водород-4). После, если этот квадий распадется так, что нейtron выстрелит в направлении “назад”, то получится атомарная ракета, и оставшийся тритий получит дополнительный импульс.

В итоге его скорость дважды возрастет, а с ней возрастет и энергия, и этого может хватить для того, что бы он преодолел кулоновский барьер, и вступил в реакцию. Если же не хватит, то можно послать еще нейtronов и повторять процесс до тех пор, пока магия наконец не начнется. И чем больше будет нейtronов, тем больше будет удачных захватов и распадов в нужном направлении, и тем больше будет частиц, обладающих достаточной для реакции энергией.

Да, в среднем нейtronы будут разгонять и замедлять тритий одинаково эффективно. Но для протекания реакции важна не средняя скорость частиц, а относительная скорость каждой пары частиц. Отсюда если нейtronы замедлят половину частиц и ускорят вторую половину частиц, то если ускоренная встретиться с ускоренной, они прореагируют, а во всех остальных случаях нет. В итоге из всех частиц 25% потенциально могут обладать достаточной скоростью для того, что бы вступить в реакцию.

Плюс выпущенный квадием нейtron не пропадает, а может быть захвачен следующим тритием. И так до бесконечности. Ну условно до бесконечности. Так как нейtronы не ловятся магнитными полями, удерживающими плазму, и, если не найдут цель, просто улетят в стенку реактора или через время превратятся в протон.

При этом не обязательно, что бы нейtronы именно захватывались и испускались ядрами. Достаточно что бы высокоэнергетический нейtron просто пнул "атом", врезавшись в него и отскочив (ударил в заднюю полусферу). Просто если нейtron не будет захватываться и испускаться, то рано или поздно он превратиться в протон и станет полноценным членом общества.

Но это было на примере трития, который хоть и захватывает нейtronы, превращаясь в квадий, но очень на короткое время (10<sup>-8</sup> - 22 степени секунды). Если же нейtron прилетит в протий или дейтерий, он просто будет ими захвачен с образованием дейтерия или трития соответственно. И при захвате нейtrона выделяется довольно много энергии, 2.2МэВ при захвате нейtrона протием и 6.2МэВ при захвате дейтерием.

И не понимаю, как это работает, так как при испускании нейtrона выделяется энергия, и при захвате выделяется энергия. Но при этом количество частиц (протонов и нейtrонов не меняется), и откуда берется каждый раз дополнительная масса-энергия в системе не понятно. Дефект связи, эффект массы, терминологические заглушки... Без спектра с уровнем доступа N7 не разобраться...

При этом часть энергии выделяется в виде гамма излучения, которое хорошо поглощается окружающей ионизированной плазмой, нагревая ее, а часть увеличивает кинетическую энергию атома после реакции, то есть энергию дейтерия/трития, что получается. В итоге после захвата нейtrона получится атом, чья энергия выше, чем до реакции.

Ну например до реакции у дейтерия была энергия 200кэВ, после захвата нейtrона получился тритий, который получил 1% энергии реакции (62кэВ от 6.2МэВ), и у него получилась энергия 262кэВ. 1% это условно, так как приобретаемая энергия зависит от того, в каком направлении испускается гамма квант и с какого направления прилетает нейtron, но суть я думаю понятна.

В результате энергия частицы после реакции увеличивается, плюс другие частицы получают энергию от гамма излучения, что в итоге увеличивает вероятность реакции.

Ну при условии, что у плазмы высокая плотность и маленький пробег частиц, а то при большом пробеге такая частица просто убежит из зоны реакции, унеся с собой энергию (из-за чего собственно системы, вроде токомаков, что работают с плазмой низкого давления, не очень эффективны).

Но важно, что нейтроны не всегда являются катализаторами реакции. Иногда они ее причина. Так, например, в синтезе легких элементов нейтроны – катализаторы, а в делении тяжелых изотопов они – причина реакции. Без них реакция невозможна (ну кроме естественного распада).

\*\*\*

\*\*\*

## Рилическое отступление

Основная задача, которую я перед собой ставлю, состоит в том, что бы придумать концепт компактного реактора ядерного синтеза. И я хочу, что бы реактор был сколько компактный, на сколько это возможно. Почему компактный? Потому что увеличить не проблема. Сложить костер побольше и поджечь вообще не вопрос. А вот сделать так, что бы свечу не задувал ветер, вот это сложно. Так же и с реактором. Сделать его размером с дом не сложно. Сложно сделать его размером с батарейку, которую можно в фонарик вставить.

И если возникает вопрос, мол, если сделать печку размером со стадион не проблема, а весь смысл в батарейках, то почему же тогда строят реакторы размером со стадион?

Ответ – потому что так проще осваивать бюджеты. Задача большой науки не в том, что бы показывать результаты, а в том, что бы показывать деятельность и получать на это деньги. Причем как на этапе строительства и проектирования, так и на этапе эксплуатации. Каждый эксперимент обходится в миллионы, половина из которых в итоге оседает в чьих-то карманах методом классического “попила” через премирование и другие легальные инструменты. И чем больше проект и больше финансовых цепочек, тем проще “пилить”.

Наука не в размерах, а в понимании того, что и зачем ты делаешь. Проекты типа ITER и NIF имеют такой же смысл, как в свое время египетские пирамиды. Они тоже были огромными, дорогими, престижными, передовыми, но только в итоге оказались не полезней, чем обычная яма в земле.

Да и как в конце концов оправдать потраченные миллиарды, показав что-то размером с термос, что принес в рюкзаке? Никак. Никто не поймет, кроме узкой группы лиц. И отправишься на костер или за решетку. А когда это пирамида размером с небольшой город, вокруг которой еще один город обслуживающего персонала, который ежемесячно сжирает на свое существование 10% всего бюджета проекта, вот тогда да, вот тогда работал, старался. А то, что ничего не получилось, ну так бывает. Наука, она ведь такая, никогда не знаешь, что получится. Да и отрицательный опыт тоже опыт. И вообще скажи спасибо, что на уши лапши навешали, а не насали в них.

Более того, что будет если “термос” не получится? Как оправдываться? Ну вот потратил миллиард, а термос не получился? Тогда конец. Ведь никто не поверит. Начнут вопить, что это обман. А когда после тебя осталась “пирамида”, которая была бесполезна даже на этапе идеи, даже если она не будет работать, никто не спросит, где деньги. Потому что деньги в камне и бетоне. А камень и бетон – это алиби.

То, что реактор с камнем и бетоном не имеет ничего общего, так ну это не важно. Главное камень и бетон есть и его можно показать. Он большой, красивый, понятный. А то, что он в принципе не мог заработать, ну так это и не важно. Аборигены, когда делают макеты самолетов в своих карго культах, они делают их не для того, что бы они работали, а для того, что бы делать. Строят памятники самолетам. Только там бамбук и глина, а тут – арматура, цемент и миллиарды проводов.

Да и смысл не в том, что бы заработало, а в том, что бы выглядело так, словно вот-вот заработает. Ведь тогда можно продолжать поддерживать проект и осваивать деньги.

Да и к тому же, такие масштабные проекты размывают ответственность, делая ее коллективной. А коллективная ответственность, это когда виноваты все перед всеми, но наказывать некого.

Как именно размывают?

Начал строить один по заказу другого, деньги выделил третий. После у подрядчика сменилось руководство, у заказчика сменился инвестор и так далее. И потом, если через 10 лет стройки ничего не заработает, или возникнут критические ошибки в процессе, кто виноват? Подрядчик? Окей. Подрядчику очень стыдно, он посыпает голову пеплом. Только есть один нюанс. Подрядчик – юрлицо, у которого уже 5 раз сменился владелец и руководитель проекта за это время. И предъявлять текущему руководителю за косяки предыдущего как-то странно.

В итоге проект не работает, сроки сорваны, виноватых нет, но зато бюджеты освоены, деньги присвоены, в карманах лежат. И чем масштабнее проект, тем лучше. Масштабнее не в плане амбиций, а в плане размеров и сроков на создание.

При этом даже в случае неудачи можно с гордостью заявить что-то формата "да ты знаешь вообще, кто я и что я? Я работал/строил ITERиду. ITERиду, понимаешь? Нет?" И все такие "Ты самую ITERиду, что стоит 100500 миллиардов и является совместным проектом over9000 стран?". И вот уже новый грант такому великому человеку. Вот уже грамота, медаль, премия. Успех, профит.

А результаты? Ну исследования ведутся, работы проводятся, что не так-то?

Ты не сделал рабочий термояд? Ну и что. Ты же не в гараже паял. Ты участвовал в ITER — символе надежд, международного единства и технологического будущего. Кто посмеет упрекнуть тебя в том, что ты "не добился результата", если сам проект изначально был обречён на бесконечное «вот-вот»?

Это система, где главное — быть в нужном месте в нужное время. Чем больше денег прошло мимо, тем выше твой статус. Потому что ты "умеешь работать с большими задачами", "знаешь, как устроено", и можешь говорить словами типа "плазменная стабильность", "магнитное удержание", "фазовый переход". А то, что никто ничего не удержал и ничего не перешло — уже детали. Главное — лента на грудь и запись в резюме.

И да, главное в этих двух абзацах вы упустили. Главное тут – "знаешь, как все устроено". Тот, кто работал над такими проектами знает не устройство реактора, а понимает главное: как устроена бюрократия, финансирование и отчетность. То-есть знает, как пилить деньги, с кем здороваться, кому улыбаться, на каких фото какое лицо делать, какие цифры в отчетах рисовать и относительно каких вопросов лучше мнение не открывать. При этом не важно, на каком уровне этой цепочки он находится.

Но как понять, что перед вами именно такой проект? Да очень просто. Пробуете его вбить в поиск и переходите в картинки. Если видите не графики и расчеты, а фото грандиозных строек или фото групп людей, которые какие-то демонстрации демонстрируют, обсуждения обсуждают и соглашения соглашают, при этом заразительно улыбаются и руки друг другу жмут во имя скорейшего наступления прекрасного будущего — вот это вот оно.

Да и наука в принципе не про результат. Это даже по формулировке процесс, который не имеет конечной цели. Кроме заработка авторитета и денег для тех, кто по нему следует. Ну это как учителя, которые учат, доктора, которые лечат.... Лечат на все деньги, но без результата. Если вы слышите что-то без цели, что-то с окончанием "-ing", или по-русски "-тся", значит цель у этого

совсем не та, которая заявляется. Исследования ведутся, лаборатории строятся, эксперименты проводятся, книги пишутся...

Если что, писать книгу и написать книгу – это очень разные вещи. Поверьте моему опыту. Писать книгу можно бесконечно, не написав ни единой строчки, но зато активно страдая у дождливого окна в поисках вдохновения, и всем рассказывая, какой ты писатель. А вот написать...

Но знаете, что самое страшное в написании книги? Ее написать. Потому что пока ты пишешь, ты в безопасной зоне. Никто тебя не трогает, никто не критикует. Ведь ты творец, мыслитель, писатель. А вот как только напишешь, сразу же начнутся вопросы формата “и вот это ты десять лет писал?”. Отсюда лучше 500 страниц графоманства, чем 5 страниц сути. Более того, эти 5 страниц опасны. Ведь если все, что написано в 500, можно уместить в 5, то зачем были эти 500?

И с наукой так же. Лучше пирамида, ценой в миллиард, реактор, размером со стадион, который “совместный проект всего человечества”, чем результат.

Как понять, что перед вами не наука, а фуфло, созданное ради осваивания бюджета или пиара? Если вступление начинается со слов “совместный проект стран”, то это фуфло. Политический брак. Только вместо принцессы – токомак. Это не про науку, не про открытия, это про зачеты и отчеты.

Да и даже в случае успеха один только реактор, который никто не может повторить, энергетическую систему не изменит. Если вместо энергии ветра или воды будет использоваться энергия термоядерного синтеза, это конечно немного поменяет правила игры. Но не так, что бы сильно. Потому что одна гигантская ядерная печка где-то в пригороде, во-первых, стоит дорого, во-вторых, одна, в-третьих, и без того есть реакторы ядерного распада, которые можно во всю использовать.

\*\*\*

Но зачем мне компактный реактор?

Компактный реактор — это сдвиг не только технический, но и системный. Это как изобрести светодиодную лампочку в мире, где зарабатывают на убийстве китов и продаже их жира для фонарей.

Успешный маленький реактор лишает смысла огромное количество посредников, контролеров, поставщиков и подрядчиков. Он опасен. Но не с точки зрения радиации, а с точки зрения власти и денег.

Потому что если реактор, например, будет пару метров длиной и пол метра в диаметре, то такой можно поставить куда угодно. На катер, в грузовик, в поезд, в самолет прямо в центр турбореактивного двигателя, заменив, по сути, камеру сгорания на этот самый реактор, и оставив все остальное. И тогда мир изменится раз и навсегда. Особенно если реактор будет “чистым”.

Допустим, как это может изменить мир. Представьте, что турбину крутит не энергия, получаемая из-за горения топлива в воздухе, а энергия, получаемая в результате реакции, которая тоже выделяется в виде тепла в набегающий поток воздуха.

При этом это реактор, скажем, водородно-борного синтеза. От которого нет мощного нейтронного потока, только гамма, и та не сильная (тормозное излучение).

В этом случае экранировать нужно только ту часть, которая со стороны самолета (если это реактор в самолете), а то, что гаммой будет фонить вокруг, вообще не проблема. Будет из кислорода озон делать, латая озоновые дыры (странный юмор). Да и на высоте в 10 км и так не слабый радиационный фон.

В случае аварии тоже никаких опасностей. Водородная плазма – это тупо горящий водород (во время горения образовывается плазма). То-есть водород после выхода в атмосферу мгновенно окислится до воды. Бор же превратиться в борную кислоту скорей всего в итоге цикла химических реакций, которая тоже безопасна.

Гелий тоже не проблема (продукт реакции борно-водородного синтеза). Он остынет на доли секунды. Да и его там стакан по объему. Не в виде жидкости, а в виде газа.

Топливо тоже безопасно (боргидрид). И одной заправки хватит на несколько десятков перелетов, так что нет смысла таскать топливо с собой. Просто заправлять реактор в аэропорту достаточно.

Ну а расход топлива... Несколько сотен грамм на десятичасовой перелет самолета типа A380. Это сократит цену перелета в полтора-два раза.

В итоге это просто изменит мир авиации и не только.

Для поездов больше не будут нужны провода и подстанции. Просто реактор в локомотиве, и рельсы. Никаких проводов, столбов и т.д. Негабаритные грузоперевозки больше не проблема.

Плюс такой "локомотив" можно притащить в любую точку мира и получить там генератор, который расходует килограмм топлива в месяц, обеспечивая энергией небольшой город. Плюс можно на каждый небоскреб на крышу ставить такой реактор и получится децентрализованная энергосистема, где никакие атаки на инфраструктуру не страшны в принципе, а энергетический террор больше не элемент geopolитики.

Почему же такой реактор до сих пор не создан? Да потому тогда слон (нефть) никому не будет нужен.

У меня есть аналогия, по поводу "продажи слона". На аналогию меня натолкнуло видео одного человека в котором он рассуждал о распаде СССР, и предположил, что гиперинфляция в конце 80х и вот это все было сделано искусственно западными негодяями. Его аргумент был такой, что поезда и после развала страны остаются поездатыми, а самолеты самолетными, а значит стоят ровно сколько же, сколько и до распада.

Так вот не так. И на примере одуванчиков сейчас расскажу.

Представьте сценарий, что на далекой планете терпит крушение космический корабль. На планете все окей, есть кислород, вода, химические вещества для создания удобрений, что бы растения могли расти даже на песке, но нет жизни. И вот крушенцам надо как-то выживать в новом мире. И у них есть технологии на корабле, лаборатории, знания, и даже консервы на несколько лет. Но вот беда. А у них с собой нет семян. Вообще.

Но покопавшись и проверив все гипотезы они находят у одного из своих брелок, где одуванчик залит эпоксидкой. И вот они решают расковырять брелок, достать семена, и посадить их.

Проделав этот трюк у них получается вырастить одуванчики. И они начинают их культивировать. В итоге через много поколений на этой планете они расселяются по всей планете, строят свою цивилизацию. Но только из растений у них одни лишь одуванчики. Как будет развиваться промышленность на такой планете?

С одуванчиков будут делать все, что только можно. С них будут добывать белок. Хоть его там мало, но он там есть. Так же с пуха будут делать ткань, использовать его для создания топлива. С ботвы волокна. Зелень в салаты. Горькая, но съедобная. Желтые цветы станут символом планеты.

Институты будут готовить специалистов по одуванчикам. Конструкторские бюро будут разрабатывать комбайны и другие машины, что собирают и сажают одуванчики по всей планете.

Цеха будут созданы под работу с одуванчиками. Даже в качестве денег будут использоваться одуванчики.

Но теперь представьте, что через какое-то время, через много лет, на планету падает еще один корабль, но только на этом есть семена. Кукуруза, пшеница, лен, хлопок, даже огурцы и пару семян яблока.

Одуванчиковая цивилизация в шоке. Ведь текущие поколения не помнят, что там далеко есть другие растения, все, что они знают, это одуванчики. Они сажают кукурузу, вырастает початок, они его пробуют, и прямо испытывают оргазм от вкуса и текстуры. Ну потому, что кукуруза явно вкуснее одуванчика. В итоге они начинают сажать кукурузу и другие культуры, а количество одуванчиков сокращать, оставляя их только в качестве символа и сорняка.

Но что делать с заводами, комбайнами, фабриками, что перерабатывали одуванчики?

А ничего. Они просто превращаются в памятники прошлого, и больше никому не нужны. Да, в них вложен труд поколений, да, в них есть бетон, камень, металл. Да, это технологии. Но только они не то, что за пол цены не продаются, но и даром никому не нужны. Потому что это просто хлам, который больше не актуален.

И то же самое случилось с СССР после раз渲ла. Так называемое "советское качество" имело смысл внутри закрыто и изолированной страны, а когда на рынок хлынули японские измерительные приборы и немецкие автомобили, советские товары стали никому не нужным хламом. И так случилось со всей продукцией советской промышленности, которая просто не выдержала конкуренции.

А та, что конкуренцию выдержала, тоже была не особо ликвидной, потому что условный самолет нужно обслуживать. А где брать запчасти, если предприятие, что их делало, было государственным, а государства больше нет. Запчасти будут? Окей, верим, но не доверяем. Поэтому купим рискованный актив за треть цены.

Вот и получилось, что получилось.

Причем история про одуванчики к ядерным реакторам? А при том, что одуванчики – это метафора. И в текущем мире такими одуванчиками является нефть и газ. И если появится такое устройство, как компактный ядерный реактор синтеза, то вся экономика, что связана на углеводородах, тупо рухнет. Потому что комбайн по производству одуванчиков (выкачки нефти) хоть и классный, но нахрен никому не будет нужен. Как и оператор комбайна, и институт по производству комбайннеров, и завод по производству комбайнов и вот это вот все. И потому такой реактор до сих пор не создан.

Нет, конечно, нефть все еще останется очень важным сырьем для химической промышленности. Но это больше не будет источник энергии, и ее цена упадет в 10 раз, как и добыча. А это фактически крах индустрии. Тут компании снижают производство на 20% и это часто смерть компаний, или ВВП падает на 5% и это великая депрессия. А если в 10 раз...

Просто подумайте, что произойдет, если в мире, в котором только и разговоров о нефти и энергетике, и в котором даже школьная учительница на пенсии, которая до сих пор набирает воду из колодца, так как у нее нет дома насосной станции, знает, сколько стоит баррель нефти, появится вдруг такая технология.

Сегодняшний мир – это мир энергоресурсов. Кто владеет, тот и диктует правила. Но если появится такая технология, то основной бизнес планеты, энергетика, больше не будет бизнесом. Бизнесом станут только технологии и умы, что их создают. Начнется гонка за интеллектом. Те, у кого IQ трехзначный, начнут сдавать свое внимание в аренду. А корпорации будут арендовать их мозг,

которым они будут думать о том, о чем нужно думать компаниям. Это будет новая эра, построенная вокруг разума (ну правда там нужно будет сделать еще одно преобразование мира, но об этом у меня другая книжка).

Почему новая энергетика не будет бизнесом в сравнении с текущей? Ну, потому что как можно заработать на том, что стоит как пылесос и питает энергией целый район? Это конечно будет продаваться, но не на уровне нефти, а на уровне пылесосов. Да и в современной энергетике стоит не электростанция, а топливо для нее. И по сравнению с ним стоимость электростанции мизерная. Современная экономика вся построена на расходниках и подписках. Уберите цену топлива, и бизнес заканчивается.

Более того, крах ждет не только энергетику, но и экономику. А если точнее, то саму ее основу – нефтедоллар. Он ведь не просто так называется. И на нем завязано все. Банки, кредиты, страховки, госдолг. Но он рухнет. И будет заменен новым “золотом”, которым станет человек и его “интеллектуальная способность”. И страны будут меряться не по их золотым и нефтяным запасам, а по запасам интеллектуального ресурса. Ведь чем он выше, тем быстрее эти страны могут решать проблемы и обгонять других в конкурентной борьбе.

И мир станет горизонтальным. Потому что больше не будут важны территории. Все, что будет иметь значение, это технологии, и те, кто способен их создавать (да, еще будет вопрос питания, но это тоже вопрос технологии).

Отсюда понятно, что концепция компактного реактора не будет пропущена. Начнется сертификация, легализация, сертификация легализации и легализация сертификации. Набегут эксперты и начнут рассказывать, что вообще то это опасный нюkleар синтез, который делает ваших детей аутистами потому, что разрушает озоновые дыры. В общем будут нести бред, который принято нести в таких ситуациях. Но это будет лишь попытка остановить коллапс.

Ну а когда коллапс наконец случиться, и когда мозги станут следующим ресурсом, их начнут контролировать и запрещать мыслить.

На фоне этого возникнет глубинный интернет, где люди будут под страхом смерти обсуждать идеи, концепции, и будут в тихую брейнстормить, не привлекая внимание смотрящего. Официальный же интернет будет фильтровать любые концепции, давая странам время на то, чтобы их внедрять первыми. Потому что выложить в интернет концепцию будет равносильно тому, как во всеуслышание прокричать, где зарыт клад, вместо того, что бы отнести его государству и получить в награду 5% от его стоимости.

Будет создано специальное окошко, в специальном полуподвальном помещении, за которым будет сидеть строгий человек в пиджаке без тени улыбки на лице, и куда нужно будет приносить и сдавать идеи. Под роспись и обязательство не делиться ни с кем больше. А если к идее еще прилагаются расчеты, то тот, кто эту идею “сдал”, будет до конца жизни под скрытым наблюдением.

Он будет всю жизнь видеть странных людей, читающих в парке газету вверх ногами, и ему будет казаться, что в самых неожиданных местах, куда бы он не пошел, припаркован одинаковый заброшенный фургон, затонированный в круг. В итоге ему начнет казаться, что у него шиза и или паранойя, и он будет медленно сходить с ума от этого, даже не понимая, что происходит.

При этом не значит, что думать идеи будет полностью запрещено. Нет. Каждый может думать, что хочет и делать что хочет. Но только в ограниченных рамках. Придумать новое блюдо из картошки, новый вкус лимонада, новый дизайн куртки? Да пожалуйста. Придумать новый реактор, который можно собрать в гараже? Без лицензии нельзя.

А что бы получить лицензию, нужно получить лицензию на получение лицензии. Пройти специальный курс специального образования, где на третьем курсе подписать NDA и обязательство не выезжать из страны до конца жизни. И конечно же обязательство нигде не обсуждать свою работу, и, тем более, нигде не публиковать. Ну и после, возможно, разрешат понюхать уран.

И это касается не только реакторов. Любая деятельность, которая может потенциально на что-то повлиять, причем повлиять не в плане катастроф, а в плане перераспределения сфер власти и влияния, в обязательном порядке подлежит лицензированию этой самой властью. От энергетики до разработки лекарств от хронических заболеваний. Ведь больной человек – идеальный потребитель, который не представляет угрозы. Ведь у него нет сил больше ни на что другое, кроме как на борьбу со своей болезнью и попыток заглушить боль. И не важно, болен он физически, или душевно.

Плюс такие мысли и идеи не должны быть даже интересны обычному человеку. Ну, потому что это все очень сложно, это только для избранных, и вообще, зачем тебе это? Хотя на деле разобраться в этом не сложнее, чем разобраться в игре типа “дота”, ну учитывая сколько там героев и артефактов. И это касается не только ядерного синтеза. Любая тема, от методов и принципов лечения рака до матрешечных схем оффшорных компаний или стратегий пропаганды, не сложнее доты.

Отличие только в том, что победа в доте, это еще один потерянный час жизни, а прорыв в ключевой технологии — это крах миропорядка в том виде, в котором он существует на текущий момент, со сменой общественно-социальных парадигм и перестройкой институтов власти и влияния.

Например, если технология компактного и безопасного реактора синтеза станет общедоступной, станет размером хотя бы с грузовик, и будет стоять в каждом микрорайоне (как сейчас у каждого микрорайона своя котельная), то не получится бомбить электростанции. Не потому, что в этом не будет смысла, а потому, что не будет электростанций.

Сейчас же перережь провода в нескольких местах, и город вымрет за две недели. Огромный мегаполис на миллионы человек просто умрет без единого выстрела. Причем с него даже никто не сможет уехать, потому что машины на батарейках.

И тогда какой смысл брать крепость в осаду, и пытаться захватить, если можно перерезать провода и крепость выдохнет сама за две недели? А если не выдохнет, то просто разбежится по соседним деревням.

Кто владеет энергией, тот владеет всем.

При этом “перерезать провода” – это образное выражение. Понятно, что в каждом мегаполисе есть электростанция. И не одна. Но можно перерезать поставки топлива для этой электростанции, которая потребляет несколько десятков вагонов угля или газа в день. Причем перерезать не на уровне города, а на уровне страны. Ну а потом уже перерезать провода... И тогда вся страна выдохнет за две недели. Или пойдет на любые соглашения ради возобновления поставок энергоресурсов.

Думаете такое понятие как “угроза национальной безопасности” – это угроза ядерного удара или химического оружия? Нет. Ни одна ядерная ракета не способна уничтожить социум. Люди умрут, но нация останется. Угроза национальной безопасности – это угрозы другого типа.

В Украине были удары по энергоструктуре. И если бы это были не точечные удары, где с одной стороны стреляют, а с другой вагонами заводят генераторы и топливо к ним, а энергоизоляция,

где ни топлива, ни генераторов, на этом бы все и закончилось. Причем не за месяцы и годы, а за дни, максимум недели.

Отключить общее энергопроизводство, и локальных мощностей не хватит запитать даже критическую инфраструктуру, такую как больницы, канализация и водопровод.

Сколько человек живет без воды? Двое суток. А где вода в городе? В водопроводной трубе. Если и есть другой источник воды, то это обычно какая-то речка, которая засрана до такой степени, что там даже купаться нельзя, не то, что пить, и она обычно в нескольких километрах от спальных районов. Отключи город от энергосети, что бы встали очистные и насосные станции, и он вымрет за неделю максимум.

Вся "национальная безопасность" держится на трех междугородних линиях ЛЕП и двух железных дорогах, что возят топливо для локальных электростанций. Уничтожить их, и будет "фростпранк" на максимальной сложности в режиме "железная воля" где нет сохранений и перезагрузок.

Деревни поживут подольше. Например, у меня достаточно мощностей что бы запитать себя от солнца и ветра, и дома стоит автономная система. Но долго ли я так проживу, когда все соседи сидят со свечками и в какой-то момент им надоест терпеть такого "дохера умного" под боком? Ведь социальную динамику в условиях ЧС никто не отменял. Не говоря уже о том, что в деревнях хлынут люди из городов. А этим терять нечего, и я им не сосед, которого они знают 20 лет, а человек с водой и светом.

И это еще в стране, где я живу, есть деревня. А что говорить о таких местах, как Корея, например, где вся страна, по сути, один город, окруженный морем с одной стороны, и недружелюбным соседом с другой. Отруби поставки топлива, начнется зомби апокалипсис.

То-есть современный мир — это колосс на глиняных ногах. Более того, все стали заложниками этой системы. Так еще и все зависимы друг от друга. Автономности нет, как и чувства безопасности, и все ощущают эту экзистенциальную угрозу. В итоге зреет напряжение, нарастает кризис, и регулярно возникают конфликты. И потенциально одно неверное действие может спровоцировать такое деръмо, что ужасы второй мировой покажутся просто разминкой перед апокалипсисом.

--

В итоге получается классические два стула с неприятными топингами. С одной стороны технологию компактных реакторов нельзя создавать, потому что это приведет к краху мировой экономики, без работы останутся сотни миллионов людей (по моим прикидкам 10% всего населения планеты так или иначе задействовано в отрасли добычи, переработки и логистики энергоресурсов). А с другой стороны — мир в состоянии кризиса, где все заложники всех, это накаляет geopolитическую обстановку и риск ядерной войны становиться не литературной страшилкой, а реальной перспективой.

Но к счастью из-за того, что мир — не единое тело, а сорище эгоистов, решение ситуации есть. Ведь если предложить этим эгоистам дешевую энергию, то они с радостью схватятся за эту возможность. Остается только вопрос в том, кто получит эту технологию.

Но только технологию нельзя предлагать кому-то одному, так как это только приведет к эскалации конфликта, потому что тот, у кого технология есть, станет следующим королем мира, что обязательно не понравится другим, ведь это угроза их национальным интересам.

В итоге нужно спровоцировать эгоистов сражаться между собой не за энергоресурсы, а за то, кто быстрее создаст и внедрит технологию. Потому что тот, кто первый получит работающее

устройство, получит фору и возможность заранее перевести свою экономику и социум на новый тип энергоресурса.

Именно по этой причине я пишу эту книгу и выкладываю ее в открытый доступ. Потому что то, что окажется в интернете, уже нельзя будет из него убрать так легко. А значит будет запущен отсчет.

То-есть я не создаю очередной бесполезный долгострой, который будет держаться в секрете, что бы как бы конкурент не узнал что я там делаю. Я даю идею, с которой потенциально каждая страна, обладая условно “базовыми” технологиями, сможет создать реактор термоядерного синтеза буквально “в гараже”. Причем без лицензий на уран и прочей бюрократии (дейтерий в ближайшей луже, бор – в ближайшей аптеке). И все, что нужно, для того, что бы создать реактор, это уметь пользоваться китайскими маркетплейсами и 3д принтером (утрированно). То-есть я предлагаю open-source проект в ядерной энергетике.

Постепенное внедрение? Это работает, когда есть контроль. Но когда конкуренция, можно постепенно внедрять у себя, но нельзя защититься от внедрения конкурентом. И пока вы постепенно внедряете у себя, конкурент уже продает реакторы всему миру, подсаживая его на свой технологический стек и сервис. А пересаживаться с одной платформы на другую людям очень не хочется.

Ну а как защититься от вездесущего излучения я уже рассказывал.

Да, концепция о которой идет речь, это не работающий прототип, но начало отсчета. А компактный и автономный реактор термоядерного синтеза с прямым съемом энергии – лишь вопрос времени. Причем отсчет пошел не на десятилетия, а на года.

И можно сколько угодно регулировать технологии в своей стране, по первому же “пингу” высыпая неулыбающихся людей на черных джипах в то место, где замечен повышенный радиационный фон, что бы они хватали там всех причастных и прятали глубоко и на долго. Но нельзя регулировать технологии у конкурентов. И пока одни будут мешать разработкам, другие станут энергетическими монополистами.

P.S. Когда я рассказал о концепции одному знакомому, он задал вопрос “а ты не боишься, что тебя убьют за такие идеи”. Я в ответ аж хрюкнул. За окном зеленый террор, над головой шхеды (беспилотники с 80кг взрывчатки на борту), воздушная тревога не затыкается, фронт приближается. Боюсь ли я, что меня убьют за идеи?

---

Ну и подкину идею для стран, как стать новым королем мира. Для этого нужно начать уже сейчас собирать мозги, что бы они уже были, попутно создавая технологию, о которой я буду писать дальше. Ну а после просто выбросить технологию на рынок, не пытаясь на ней зарабатывать. Просто подарить ее миру. Мир рухнет, а вы соломку подстелили и консервов наделали (подготовились к переходу, и запаслись мозгами и институтами по их созданию и развитию).

И этим нужно заниматься уже сейчас, ведь если вы так не делаете, то это делают другие за спиной у вас, и после вы окажетесь теми, у кого все рухнет, а они теми, кто все подготовил. И будущие войны будут не за то, кто владеет и удерживает технологию, а за то, кто контролирует момент внедрения. Не подготовился заранее к изменениям, что принесет новая технология? Получил коллапс институтов, экономики, социума.

И сделать переход плавным не получиться. Пример с нейросетями отлично это проиллюстрировал. Только в отличии от нейросетей, которые стали дополнением, термоядерный реактор синтеза станет заменой. А значит миллионы людей останутся без работы.

Но это было рилическое отступление (от слова real, уточняю на случай, если редактор решит, что опечатка). Также не стоит забывать, что я писатель фантаст и профессионально умею нести чушь с серьезным лицом. А эта книга – просто кусок научной фантастики, дополнение к художественному роману про космос. И основная ее задача в том, что бы продать идею. Что бы показать, что изобрести реактор не сложнее, чем научиться играть в доту или лол. Ну это ремарка на тот случай, если кто-то внезапно оскорбился или преисполнился строить что-то в гараже.

А теперь время вернуться к идее реактора.

## Концепция реактора и принцип работы

Сейчас основное направление, в котором развивается идея, это концепция удержания плазмы. Но, как видно, это не работает.

Я же предлагаю использовать импульсный режим и комбинированный принцип, где будут и лазеры, и молнии, и удержание плазмы, и магнитные поля, и пинч-эффект, и инерциальный синтез. А еще резонансы, жидкие зеркала, микрометровые проводники и много всего занимательного. В добавок все это будет “механическое” и “аналоговое” никакой сложной и дорогой электроники.

Плюс я хочу максимально упростить и удешевить производство и эксплуатацию. Никаких сверхпроводников и экзотических технологий. Технологический стек доступный и широко распространенный.

Кроме этого, я хочу, что бы система давала возможность прямого съема электроэнергии, что бы не было необходимости строить котлы, паровые турбины, градирни и прочий стимпанк. Источник энергии должен быть самодостаточным.

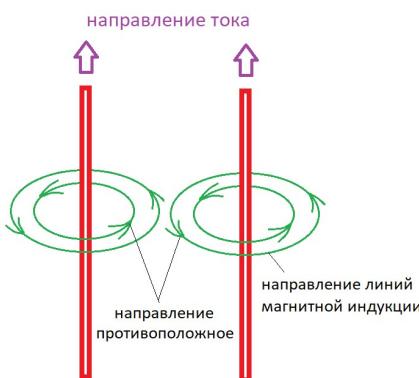
В добавок я предложу реактор на 15 МВт, который будет размером с холодильник, и который будет способен запитать маленький город.

--

Основной принцип работы такой:

Реактор делается в виде трубы, внутри которой плазма. В плазму подается электрический разряд (молния). Этот разряд, проходя через плазму, сжимает ее и нагревает. Атомы в плазме сталкиваются, и в итоге случается реакция. Такое сжатие случается за счет так называемого “зет-пинч-эффекта”. Но понятно это не “очередной зет-пинч реактор”. Просто обо всем по порядку.

Сначала расскажу, как работает зет-пинч эффект.



Сжатие плазмы при прохождении разряда происходит за счет магнитных полей, создаваемых протекающим током. Что бы понять, как это происходит, посмотрите на проводники, на которые действует сила ампера. Когда по ним идет ток в одном направлении, они притягиваются за счет этой самой силы ампера. Так как линии магнитной индукции у них идут навстречу друг другу, и получается, что они взаимодействуют “разными полюсами”.

Именно по этой причине, например гудят обмотки трансформатора из-за того, что витки притягиваются друг к другу с большой частотой. Так же по этой же причине

выгибают рельсы рельсотрона (только там заряды идут по ним в разные стороны, и рельсы отталкиваются).

Сила Ампера при этом – это сумма всех сил Лоренца, действующих на каждый атом в проводнике (сила Ампера действует на весь проводник, а сила Лоренца на частицу).

И плазма – это куча частиц. А разряд (молнию) что по ней идет, можно условно разделить на множество параллельных микро-разрядов, каждый из которых перескакивает по своей цепочке частиц. И эти цепочки частиц представляют собой параллельные проводники, по которым ток течет в одном направлении, из-за чего они притягиваются. При этом внешние “обжимают” внутренние. И так и происходит сжатие плазмы в разряде.

При этом плазма еще и разогревается, так как она, как любой проводник, имеет какое-то электрическое сопротивление, из-за чего происходит потеря энергии (падение напряжения), которая в итоге переходит в тепло.

Если падение напряжения 10 вольт, а ток 100 ампер, то в нагрев уйдет  $10 \cdot 100 = 1000$  ватт мощности. При этом какое напряжение в этой системе не важно. Важно только какое падение напряжения.

При этом это я описал классический Z-pinch (пинч в переводе – сжатие). Но есть еще theta-pinch, screw-pinch и другие типы “пинчи”. Тета-пинч, например, получается за счет магнитных полей, создаваемых внешним контуром, специальной одновитковой полукатушкой, по которой течет ток, а винтовой пинч за счет катушки, что идет по спирали. И у меня будет два разных пинч эффекта, зет-пинч и винтовой-пинч.

Комбинированный метод сжатия плазмы будет основным “инструментом” для инициализации синтеза. Но помимо него будет использоваться так же магнитное удержание (стабилизация пинча), а так же лазерный пробой и высокочастотный нагрев плазмы.

---

При этом предвижу уже комментарии формата “ну вообще то пинч-реактор еще с 60х годов пробовали, и он оказалась нерабочий”.

На что я отвечу: спасибо, что предупредили, я видел табличку. Там, если не ошибаюсь, было написано “мы пробовали, у нас не получилось”, а не “это невозможно в рамках этой вселенной”. Это, во-первых. А во-вторых, не только пинч-реактор не работает, но и вообще никакой реактор не работает. Удержание плазмы не работает. Инерциальный синтез не работает. Другие теории тоже не работают. Так что не вижу никакой проблемы в том, что бы придумать еще одну механику.

Но тем не менее перед тем, как углубиться в то, как все это будет сделано и как это будет работать, стоит сперва поговорить о том, почему это все не работает до сих пор.

На счет инерциального синтеза все понятно. Количество энергии, нужное для него, даже близко не сопоставимо с количеством энергии, что получается. Отсюда если не использовать рекуперацию энергии, что теряется на каждом цикле, то эта штука не заработает никогда и будет представлять интерес только как лабораторная установка.

Инерциальный синтез, это, если что, когда плазму сжимают лазерами. И не нужно его путать с инерционным (коллизионным). Инерционный – это когда частицы разгоняют в ускорителях и сталкивают между собой (потоками) или втыкают в мишень. Но второй еще менее эффективен в плане соотношения затрачиваемой энергии к получаемой в результате реакции. Применяется он в адронном коллайдере для изучения элементарных частиц.

Еще один метод, самый перспективный по мнению многих, это метод через удержание плазмы. Плазма удерживается магнитным полем, разогревается при помощи разных способов (вихревые токи, микроволны и так далее), атомы в ней сталкиваются из-за чего и происходит синтез. В теории должно работать, на практике если и работает, то не долго, и выход энергии в итоге меньше, чем нужно на удержание и нагрев плазмы.

Что бы понять, почему не работает, первое, что стоит знать, это то, что удержание плазмы – это сложный процесс. Это очень прикольно конечно. И очень красиво. Но толку в этом мало. Удержание плазмы, это, примерно, как балансирувать на одной ноге, стоя на мяче.

Почему же тогда всем так нравится ее удерживать? Все просто.

Если вы когда-нибудь наблюдали за маленьким ребенком, то, как только у него получается простоять на одной ноге чуть больше пары секунд, его охватывает состояние эйфории, и он, на радостях, начинает все больше и больше этим заниматься. И делает он это ровно до тех пор, пока с ужасом не осознает, что это хоть и забавное, но вообще то бесполезное занятие.

А почему забавное, но бесполезное? Потому что удерживать равновесие прыжками на одной ноге намного проще, чем балансирувать, не отрывая ногу от земли. А практическая польза в итоге та же.

И с плазмой так же. Как только ученых получилось ее удержать в течении пары секунд, всех охватил восторг, и они захотели еще. Но в итоге это оказалось не только сложным занятием, но и бесполезным. Вернее, как. Не совсем бесполезным, но тут как в том анекдоте про “вам шашечки или ехать?”. Есть задачи, где удерживать плазму имеет смысл. Но удержание плазмы с ядерным синтезом соотносится примерно так же, как теплое с мягким.

Ну а как иначе? Использовать импульсный режим. Что проще, подбрасывать мяч и ловить его, или балансируть им, удерживая на пальце?

Отсюда я и считаю, что удержание плазмы годиться только для того, что бы впечатлить впечатлительных. А если задача получить эффективную и простую систему, то нужно использовать импульсный режим. Что я и планирую делать. К тому же при коротких импульсах в плазме просто не успевают образоваться нестабильности.

Но при этом я прошу заметить, я не говорю, что синтез через удержание плазмы невозможен. И заниматься исследованиями в этом направлении есть смысл. Плазму удерживать возможно. И даже возможно удерживать в таком состоянии, что бы происходил синтез. И даже в теории что бы этот самый синтез не нарушил удержание.

Но только есть одна проблема: на это развлечение нет времени. Реактор нужен прямо сейчас, а исследования исследовать и бюджеты осваивать можно и потом.

Да и синтез через удержание в разы сложнее, а практического смысла в этом не то, что бы много. В добавок такие системы потенциально будут довольно громоздкие и будут обладать меньшей удельной мощностью (выдаваемой мощностью на единицу веса и/или объема устройства).

Но помимо проблем, связанных с удержанием плазмы, есть проблема с потерей энергии. Заключается она в том, что плазма – это довольно разряженная среда с низкой плотностью. Гораздо более низкой, чем уран. Из-за чего излучение (электромагнитное, тепловое, нейтронное) без труда покидает эту область, и рассеивается на стенках реактора и на защите, что за его пределами.

Это в итоге приводит к тому, что энергия просто утекает из плазмы в огромных количествах. Потому что излучение при тех температурах, которые нужны для синтеза, будет огромным в

процентном соотношении к общей энергии системы. Я писал в приложении по плазморельсовым системам, сколько энергии будет теряться через разное излучение.

И если эту теряемую энергию не рекуперировать, я даже не представляю, как можно создать эффективную работающую систему с коэффициентом выхода полезной энергии больше единицы. Опять же, не говорю, что это невозможно, но сейчас в лучшем случае получили коэффициент выхода энергии 0.6 к 1 (затратили 1 единицу энергии, получили в результате реакции 0.6 единиц энергии). Как думаете, как скоро будет достигнут показатель в 10 к 1? Или хотя бы 5 к 1?

И это при том, что над этим трудятся всем человечеством, обматывают сверхпроводниками, вымачивают в золоте, мажут кровью единорога и удобряют нефтью лаками, привозя их вагонами.

Отсюда у меня возникает подозрение, что дело не в ресурсах и умах, а в методе. И по этой причине я решил поискать альтернативный метод и альтернативный подход.

И главная концепция, которую я собираюсь использовать, это максимальная рекуперация затрачиваемой энергии. То-есть не максимизация выхода энергии в результате реакции, а минимизация потерь энергии. Основная идея состоит в том, что бы “запереть” энергию в системе, заставив циркулировать по кругу. Что бы система могла работать даже если реакция дает всего 10-20% от той энергии, которая нужна на ее инициализацию.

И что бы этого достичь, я решил использовать комбинированную схему, которую уже описывал в плазморельсовых системах. Только там у нее была единственная задача – разгонять снаряд. Здесь же система должна работать долго, стабильно и управляемо, поэтому все будет чуть сложнее.

\*\*\*

Что касается потерь в Z-пинч системах, то потери при прохождении разряда в плазме выражаются в импульсных электромагнитных (ЭМИ), световых (это тоже электромагнитные, но работает излучение по-другому), тепловых (от того, что плазма нагревается и после передает энергию на корпус или требует затрат энергии на ее удержание), и инфракрасных (тоже электромагнитные, но опять же другой спектр).

И можно пытаться бесконечно уменьшать потери, а можно просто собирать энергию, что уходит в этих направлениях, и после повторно использовать. То-есть запереть энергию внутри системы и гонять по кругу, не давая ей выйти до тех пор, пока она не выполнит полезную работу. Понятно с оговорками, так как все равно будут какие-то потери из-за того, что КПД цикла не 100%. Всегда есть потери на сопротивление. Да и не все виды энергий можно эффективно собирать с текущим уровнем технологий.

Первый тип потерь – это излучение в ИК и видимом спектре. Разряд, проходя через плазму, создает вспышку света. Да и сама плазма светится. И этот свет поглощается стенками корпуса, нагревая его. Самый простой способ уменьшить нагрев корпуса, это сделать его с минимальным коэффициентом светопоглощения (сделать его абсолютно белым телом), и отражать свет назад в плазму.

Но этот метод не эффективен, так как плазма не обладает высокой плотностью и по большей части прозрачная, из-за чего свет пройдет просто насквозь до следующей стенки. Да, от нее он тоже отразиться и снова пройдет через плазму, и так будет переотражаться множество раз. Но коэффициент отражения никогда не 100%, а коэффициент светопропускания плазмы довольно высокий, особенно в ИК спектре, при этом зона, где большая плотность плазмы, это зона пинча, и она довольно маленькая и не способна эффективно поглощать рассеянное излучение.

Отсюда эффективней собирать этот свет в луч и отправлять его туда, где плазма обладает большой плотностью и ионизацией. То-есть в зону разряда, где этот свет в итоге будет поглощаться плазмой, нагревая ее, и тем самым энергия, что была потеряна в виде излучения, будет использована для нагрева плазмы в зоне реакции (в зоне разряда).

Плюс если в спектре будут “жесткие” длины волн, это будет вызывать дополнительную ионизацию плазмы (лазерный пробой). То-есть лазер не только для нагрева, но и для стабилизации будет работать.

Для того, что бы собрать свет, можно сделать специальный корпус, который будет собирать излучение и перенаправлять его куда надо. Ну а дальше это излучение фокусировать, превращая в мультиспектральный лазерный фонарь (отличие от лазера в том, что у лазера обычно определенная длина волны, а тут просто весь свет сфокусирован в луч).

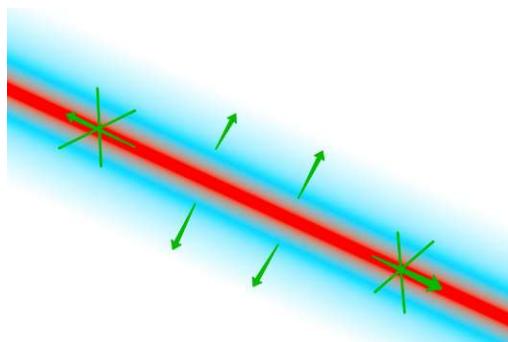
Дальше нужно “поймать” ЭМИ. Для этого можно обернуть корпус в фольгу. При попадании на фольгу ЭМИ возбудит в ней электродвижущую силу, и ее можно будет снять и запасти в конденсатор. Важно только правильно расположить фольгу по отношению к вектору поля. Что бы ЭМИ эффективно преобразовывать в ЭДС.

Так же будет возникать электромагнитное поле вокруг разряда (как вокруг проводника с током). Его можно собирать, намотав вокруг разряда катушку определенной формы. Тогда это поле будет возбуждать ЭДС в катушке.

То-есть эта катушка будет работать как вторичная обмотка трансформатора (где первичной выступает сам разряд, и получается “проходной трансформатор”). При этом вторичная обмотка, когда в ней возникнет ток, будет создавать магнитное поле, которое будет удерживать и сжимать плазму. Тем самым получиться тета-пинч или винтовой-пинч, в зависимости от того, как сделать катушку.

И остается тепловая энергия (кинетическая энергия атомов). Ее можно собирать на “отскоке” тормозя плазму в магнитном поле. Логика тут такая, что при нагреве плазмы у нее будет расти давление, и она будет стремиться расширяться. Расширяется она будет во все стороны. Но из-за того, что разряд, что ее сжимает и нагревает, имеет линейную форму, то вдоль линии разряда хоть и будет дрейф, но незначительный, так как соседние атомы со схожей энергией будут мешать друг другу.

Отсюда расширение будет происходить в радиальном направлении, в область низкого давления, где атомы с меньшими энергиями. И таким образом движение частиц станет не хаотичным, а направленным.



Условно вот как на картинке. Где красная область – это область сжатия и нагрева (зона разряда и лазера), а синяя – это окружающая плазма, где давление низкое.

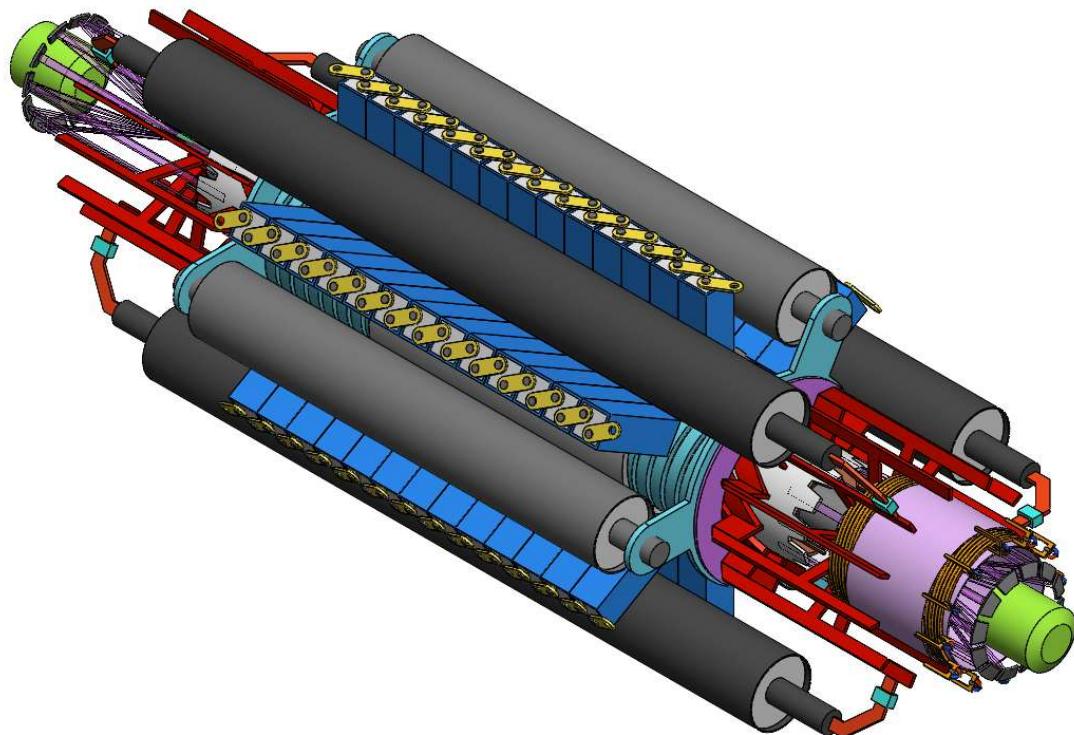
Ну а направленное движение плазмы в магнитном поле будет возбуждать ЭДС в катушке, что намотана вокруг такой расширяющейся плазмы. А катушка у нас уже имеется. Нужно только рассчитать и настроить ее так, что бы ЭМИ, электромагнитное поле, ЭДС, создаваемое движением плазмы, а так же внутренние колебания тока-поля, не мешали друг другу, действуя в противофазе, а складывались, усиливая друг друга. То-есть ввести систему в состояние резонанса.

И таким образом можно будет повторно использовать до 90% энергии, что была подана для инициации ядерной реакции. Из-за чего если в результате реакции будет выделяться всего 10% энергии от той, что была затрачена на инициацию реакции, то такая система уже будет самоподдерживающейся, а значит может быть использована как обогреватель (10% потерь будет в виде тепла).

А в идеальном варианте вообще до 96-98% энергии можно будет повторно использовать (потенциально в будущем). Более того, систему можно будет накачивать энергией.

Ну и в добавок такая система позволит реализовать прямой съем энергии, превращая тепловую энергию плазмы сразу в электричество, минуя необходимость использовать паровые турбины и другие подобные системы (понятно с некоторыми потерями, но все равно).

Реактор же упрощенно будет выглядеть вот так:



Дальше подробно раскрою конструкцию, что за что отвечает и зачем оно нужно.

\*\*\*

В итоге основная идея концепции не в том, что бы увеличить выход энергии, а в том, что бы уменьшить ее потери на каждом цикле (в электронике это описывается термином “добротность”, но тут он не подходит, так как система тепло-свето-электро-динамическая, отсюда я предлагаю заменить термин на “качество циклической системы”, хотя можно и “добротность” использовать что бы сущности не плодить, только называть “мета-добротность” или “общая добротность системы”).

Плюс, как я говорил, я хочу, что бы в будущем технология стала общедоступной, и что бы любая более-менее развитая страна могла собрать реактор с нуля своими силами. Но при этом реактор должен быть таким, чтобы из него нельзя было сделать бомбу, как не старайся. Ну то есть что бы для того, что бы оно взорвалось, как ядерная бомба, нужен был источник энергии аналогичной

взрыву мощности. То-есть важно сделать так, что бы моментальный выход энергии у реактора был не высокий, и он физически не мог быть использовать как ядерная бомба ни при каких переделках и модификациях.

---

При этом, как я сказал, система будет поддерживать накачку энергией, что позволит использовать ее как конденсатор и запускать от небольшого аккумулятора. То-есть для старта ректора не нужна будет отдельная электростанция.

Как будет происходить накачка энергией? Учитывая, что в системе несколько видов энергии, то схема должна быть комбинированной.

Сначала расскажу на примере лазера, так как там все просто.

Разряд будет создавать мощную вспышку света. Свет будет долетать до стенок корпуса, после чего ими собираться и направляться в заданном направлении (вдоль стенок), дальше будет попадать на фокусировочное зеркало или линзу, разворачиваться и отправляться снова в плазму (в зону разряда, там, где плазма высокой плотности).

После прохождения через плазму часть света будет переотражена и рассеяна, снова попадет на стенки, и повторит круг. Тот же свет, что пройдет насеквоздь, будет отражен зеркалом (или развернут зеркалом), и снова направлен через плазму или на фокусировочную линзу. И опять пойдет через плазму. И так много раз подряд. То-есть будет использоваться обычный принцип запирания излучения между двух зеркал.

Плюс при повторном прохождении луча будет снова подаваться разряд, создавая новую вспышку, излучение которой будет приплюсовываться к тому, что осталось от прошлого цикла.

На всех оптических преобразованиях ориентировочно будет потеряно до 2-5% излучения за цикл (уйдет в тепло на зеркалах и волноводах), остальное же вернется назад в плазму и пойдет по второму кругу, и так до тех пор, пока не затухнет полностью, либо будучи поглощенным плазмой, либо превратившись в тепло на системах фокусировки. Плазма же, будучи под высоким давлением и плотностью в зоне прохождения луча, будет активно поглощать свет.

При этом нужно сделать так, что бы свет от текущего разряда, пока пройдет по всем каналам, приходил к следующему разряду из-за задержки, связанной с ограничением скорости света. Время, за которое свет проходит 1 метр, составляет примерно 3.3 наносекунды. Отсюда если размер корпуса в пределах 1-2 метров, то если пауза между разрядами будет около 5 наносекунд лазерный пробой и подогрев плазмы будет совпадать с моментом следующего разряда.

И таким образом каждый последующий разряд будет добавлять энергию в систему, накачивая лазер. Но при этом лазер будет тратить эту энергию на подогрев плазмы. А в перспективе даже на инициализацию инерциального синтеза.

Дополнительно этот нагрев плазмы будет увеличивать "отскок" плазмы (за счет увеличения температуры и давления плазмы по оси луча, которая будет совпадать с осью пинч-канала), что позволит энергию излучения через нагрев плазмы перевести в ЭДС, вернув в систему в виде электрической, а не световой энергии. Это в свою очередь будет естественным образом отбирать часть энергии у луча на каждом цикле, что не даст лазеру в итоге "перекачаться".

---

Но накачка будет происходить не только для лазера, но и для катушки.

Смысл этого в первую очередь в том, что бы избавиться от конденсатора. Я не хочу использовать громоздкий конденсатор, способный уместить суммарную энергию за несколько десятков циклов.

И что бы избавится от такого конденсатора, катушка, намотанная вокруг канала, должна вести себя как резонансный колебательный LC контур. То-есть в системе будет не просто катушка и конденсатор, а “катушка-конденсатор”.

В добавок рабочий конденсатор - лишний элемент в системе, который не только отдает энергию, но и собирает, это еще один источник потерь.

Плюс ни один конденсатор не способен отдать даже 10% своей емкости за 1 наносекунду, кроме специальных с очень низкой емкостью и большой токоотдачей. А вот катушка-конденсатор, если ее правильно спроектировать, может отдать хоть всю свою емкость за это время.

Накачка будет происходить за счет запасания энергии в коаксиальном трансформаторе за счет внутренней резонансной частоты, емкости и индуктивности такого трансформатора.

При этом этот трансформатор будет “проходным коаксиальным”, так как первичная обмотка будет не обмоткой, а просто проводником с током, в качестве которого будет выступать плазма. Вернее, разряд, что по ней проходит. Ну а вторичная – это катушка. Обмотка при этом будет нестандартная, но об этом позднее, когда дойдем до конструкции.

И таким образом электромагнитный импульс, создаваемый разрядом, будет возбуждать ЭДС в этой катушке. После эта ЭДС будет использована для следующего разряда. При этом понятно, что будут какие-то потери. И что бы их компенсировать нужны будут еще внешние конденсаторы, которые будут подпитывать энергией систему на каждом разряде для компенсации потерь.

При этом если энергии с конденсаторов подавать больше, чем составят потери, то будет происходить накачка системы энергией. И так до тех пор, пока потери не сравняются с той энергией, что система берет из конденсаторов при каждом цикле.

А они рано или поздно сравняются, так как на каждом цикле потери будут в процентном выражении от общей энергии системы (полной мощности), а накачка будет в абсолютном выражении. И чем больше энергия системы, тем больше потери в абсолютном выражении на каждом цикле.

Ну и идея в том, что в какой-то момент энергии в системе станет сколько, и плазма сожмется и нагреется на сколько, что начнется реакция, которая и будет дальше поддерживать систему в работающем состоянии. А конденсаторы, которые служили для накачки (внешний источник энергии), станут элементом, в который будет сниматься энергия перед тем, как попасть к потребителю.

Удерживаться энергия будет в системе в целом. Все элементы будут брать на себя понемногу. Часть будет в плазме, часть в лазере, часть в катушке.

---

Но на этом функции катушки не ограничиваются. Когда разряд создаёт электромагнитное поле, оно индуцирует ток в катушке. В ответ катушка генерирует своё магнитное поле, которое сжимает плазму. Такой пинч, в зависимости от конфигурации катушки, будет либо так называемым “тета-пинчем”, либо “винтовым пинчем” (screw pinch). Разница между ними в том, что винтовой пинч – это когда есть осевая и азимутальная составляющая тока и поля, а тета-пинч когда только осевая (когда вокруг плазмы соленоид намотан).

В моей конструкции будет преобладать либо один эффект, либо другой, в зависимости от конфигурации и последовательности катушек (это я опишу отдельно). Чтобы не путаться, я решил

назвать эффект сжатия от разряда - “разряд-пинч”, а эффект от сжатия полем, создаваемым катушкой - “катушка-пинч”.

В итоге разряд будет сжимать плазму за счет своего пинч эффекта в той зоне, где он проходит, а катушка будет дополнительно сжимать и удерживать всю плазму в трубе за счет своего магнитного поля. Из-за чего будет происходить не только магнитное и электростатическое сжатие плазмы в зоне реакции, но так же и динамическое, когда окружающая плазма “поджимает” плазму в зоне разряда.

И это важно, так как разряд, проходя через плазму, сжимает ее только в узком канале. Но в канале плазмы недостаточно, так как стартовое состояние, это состояние нормального давления и плотности. Но если снаружи поджимать дополнительно внешнюю плазму, то она в свою очередь будет поджимать плазму в центре, из-за чего разряд будет работать с более плотной плазмой, из-за чего частиц будет больше, и число Лоусона вырастет без увеличения времени удержания или температуры (что за штука расскажу дальше).

В добавок если нужно сжать плазму от 1 бара до миллиарда бар, то это в миллиард раз сжать. А если от 10 бар до миллиарда, то только в сто миллионов. В итоге если создать предварительное давление, то разряду понадобиться в десять раз меньше энергии для достижения нужного давления. Условно в 10 раз, так как там показатель адиабаты еще учитывать стоит. При этом накачать изначально газ под высоким давлением нельзя, так как у стенок корпуса должен быть вакуум, что бы не было теплопередачи между стенками и газом. В добавок плазме нужно расширяться после сжатия для того, что бы создавать ЭДС.

Еще если сделать катушку не прямой, а вогнутой, это позволит с разной силой по длине сжимать плазму, что даст возможность локализовать зону реакции.

Также такая катушка будет использоваться для прямого съема энергии, получаемой в результате реакции. Это будет работать так, что после того, как разряд потухнет скатая плазма начнет расширяться, двигаясь в магнитном поле, созданном катушкой, и тем самым будет создавать наведенную ЭДС. При этом в самой катушке в этот момент будет самоиндукция, так как не будет магнитного поля, что создает в ней ЭДС. Из-за чего ЭДС от движения расширяющейся плазмы наложится на самоиндукцию, и создаст рост энергии.



Остается только подобрать паузу таким образом, что бы следующий разряд совпал со следующим колебательным полупериодом катушки-конденсатора и наложился на ее колебательную частоту, когда ее самоиндукция “развернется” на сжатие плазмы. Если изобразить это на графике работы типового колебательного LC контура, то разряды должны приходиться на участки, обозначенные буквой “а”, а отскоки плазмы на участки, обозначенные буквой “б”. И тогда колебания будут не затухающие, а нарастающие.

Ну с учетом всех задержек, так как поле, создаваемое разрядом, сразу будет сжимать плазму, а только потом его фронт будет долетать до катушки и возбуждать в ней ЭДС. То-есть разряд-пинч и катушка-пинч сжатие будет происходить со сдвигом фаз. А вот момент расширения плазмы будет совпадать с моментом остывания разряда. Из-за чего пауза между разрядами будет больше, чем время разряда, и это все будет зависеть от диаметра катушки. Но это нюансы.

Ну а когда начнется реакция, отскок плазмы будет усиливаться из-за выделения энергии в канале, что будет приводить к увеличению ЭДС, что возбуждается расширением плазмы. И эту дополнительную энергию можно будет снимать прямым съемом. То-есть система будет давать электричество и без всяких паровых турбин и прочего стимпанка. Сплошной плазма-панк (я выдумал новый жанр).

Работать это будет потому, что катушка продольная, а плазма расширяется в поперечном направлении (перпендикулярно оси), тем самым двигаясь перпендикулярно линиям магнитной индукции. Правда возможно понадобиться две катушки. Но их и так будет две, так что просто нужно будет настроить их правильно.

Но потенциально система будет работать и без резонанса. Например, в системе с двумя катушками одна будет создавать магнитное поле, а вторая будет собирать наведенную ЭДС, порожденную расширяющейся плазмой. Просто с резонансом все станет намного лучше.

Ну а что делать с наведенной ЭДС, использовать ее для следующего разряда, усиливая его, или снимать на потребитель, уже будет решаться в зависимости от задач при помощи регулирующей системы.

Регулировать съем важно, так как если снимать слишком много, то для следующего разряда не хватит энергии, и система начнет тормозиться. Ну а если уменьшить съем, то система будет разгоняться, и если в нее не поставить прерыватель, то просто расплавиться, или где пробьет между обмоток.

Еще, конечно, нужно решить проблему ЭМИ, но ЭМИ будет так же возбуждать ЭДС в катушках. Разница только в скорости изменения магнитного поля.

---

Ну а перед накачкой и запуском реактора нужно активировать топливо. То-есть создать из газа или твердого вещества, если это бор, плазму, и поддерживать ее.

Активацию проще всего выполнить так же, как в обычной газоразрядной лампе (такой как натриевая, неоновая, ксеноновая), это когда плазма удерживается, например, за счет слабого тлеющего разряда, создаваемого отдельным гальванически развязанным источником.

Только тут нужен не высокочастотный режим, как в лампах, а режим постоянного тока, что бы высокая частота не создавала магнитное поле в катушке и не мешала работе системы. Ну или тлеющий разряд высокочастотный слаботочный, то подстраивать его частоту под рабочую.

---

И таким образом можно будет сделать систему, что работает по комбинированной гибридной схеме, при этом все ее элементы используются по много раз, что в итоге сокращает количество компонентов из нескольких сотен и тысяч, до нескольких десятков. А ключевых компонентов вообще меньше десяти.

При этом система будет еще и легко управляться без кучи сложной электроники. Как именно расскажу далее.

## Конструкция

Окей. Теперь нужно разобрать конструкцию и материалы, из которых это все делать.

Я провел примерный расчет, где принял диаметр канала в 1мм и его длину 1 метр. Это оптимальный диаметр канала, так как при таких характеристиках система уже в теории будет

работать, но не потребует постройки халабуды размером со стадион, которая будет “совместным проектом 32 стран длительностью в 60 лет”. При этом для такой системы не нужно очень много энергии для запуска, и не придется строить электростанцию отдельную. Хватит обычного аккумулятора.

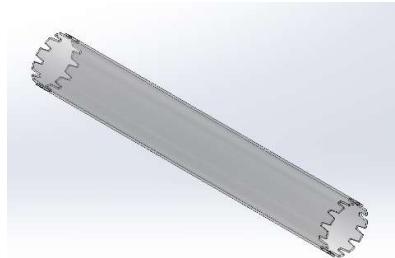
При таких размерах реактор может выдавать около 15МВт энергии в час (в виде тепла), сама же “внутренняя” мощность будет более 150МВт, но эта энергия будет заперта внутри системы в электромагнитной и электростатической форме. Что же касается прямого съема, то он будет сверх этого. То-есть если хочется получить прямой съем, то нужно “разгонять” реакцию, и вся избыточная энергия, что будет сверх 150МВт может быть снята напрямую в виде электрической, а не виде тепла.

Но это базовый грубый расчет, и параметры реактора можно менять, как и размер зоны реакции (и нужно будет это делать, дальше расскажу почему). Это цифры для того, что бы от чего-то отталкиваться при проектировании.

### Корпус

В итоге для системы нужен корпус длиной чуть больше метра и диаметром сантиметров 160. Удлинение (соотношение диаметра к длине) будет играть роль, но об этом будет позже.

Сделать корпус для такого реактора можно из трубы. Выглядеть будет как-то так, как на картинке.



Трубу изготовить можно, например, из сапфира. Сапфир – это монокристаллический оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ). Что же касается поликристаллического, то это обычная всем известная керамика, что на шлифовальных кругах (корунд).

Но сапфир ( $Al_2O_3$  в монокристаллической форме) сложен в обработке, так как имеет твердость 9 по шкале Мосса. И обрабатывать его можно только алмазным инструментом. Я привожу его в пример, так как он доступен, обладает отличной механической прочностью, теплостойкостью, стойкий к радиации всех видов, и при этом обладает другими полезными свойствами, такими как светопропускание (является хорошим волноводом, пропускающим в широком спектре).

При этом есть и другие варианты, которые можно использовать. Например, можно взять нитрид бора ( $BN-h$ ), который тоже обладает схожими свойствами, химически инертен, и обладает хорошим светопропусканием. При этом он менее твердый, 2 по Моссу. Но для волновода нужно ориентированный нитрид бора, а он крошится при механической обработке, из-за чего чаще всего обрабатывается лазерными методами.

Но это не все варианты. Да, для осваивания бюджетов можно хоть из цельного монокристалла алмаза делать, выпиливая из него трубу, и шлифуя ее годами, но это чушь. Не говоря уже о том, что труба, вырезанная из цилиндрического монокристалла, треснет при первом же термошоке.

---

При этом при выборе материала для корпуса стоит учитывать тип топлива.

Сложность в том, что если, например, используется борно-водородный синтез, то бор испаряется при температуре 4000 градусов. Но нельзя просто нагреть корпус до такой температуры, так как керамика выдерживает 1800 максимум.

Почему нужно нагревать корпус до такой температуры? Что бы испарить осевшие на стенках частицы бора, которые будут мешать свету попадать на волновод, и это будет ухудшать КПД

системы. Отсюда нужно не допускать осаждения бора из плазмы, а значит если реактор отключается, нужно выдувать всю бор-водородную плазму из зоны реактора.

Но и этого недостаточно. Проблема еще и в том, что бор может просто на скорости влетать в стенки корпуса и влипать в них (легирование бором). Случиться это может в момент остановки, когда магнитное поле пропадает, и в плазме остается энергия, которая в итоге переходит в энергию частиц, что разлетаются в стенки.

И фиг бы с этими стенками. Обычно в реакторах их делают из того, что не жалко (из жертвенных материалов), но в предлагаемой мной концепции стенки реактора, те, что максимально близко находятся к зоне реакции, являются по совместительству оптическим слоем, пропускающим излучение в волновод. И если этот слой пострадает или чем-то “запылиться”, он будет не пропускать излучение, а поглощать, нагреваясь от него.

В итоге от втыкания частиц в этот слой нужно защищаться. И в контексте бор-водородного синтеза кроме всех активных методов защиты, таких как магнитные поля вдоль стенок, стоит так же использовать тот материал стенок (волновода), который не реагирует с бором, и не дает ему “влипать” в себя.

Это, например, гексагональный борнитрид. На таком бор не будет создавать пленку, а в крайнем случае будет выбивать молекулы, ломая кристаллическую структуру. Но вот химической реакции происходить не будет, как, например, с оксидом алюминия (сапфиром). Там при температуре примерно в 1200-1600 градусов бор может замещать алюминий в оксидах, и будет получаться совсем другая молекула.

Максимум же, что может случиться с борнитридом, это быстрый бор разобьет молекулу борнитрида, и произойдет деградация поверхностного слоя. Но процесс медленный и чинится лазерной шлифовкой или обычным забиванием. Забивание – это когда забиваешь на деградацию и эксплуатируешь пока эксплуатируется.

Да и на самом деле сапфир и к гелию не очень устойчив. А гелий – продукт всех реакций. Отсюда есть смысл использовать и в дейтериевом каскадном синтезе не сапфир, а другие материалы. И борнитрид и тут неплохо себя показывает. Из-за чего внутренний слой есть смысл делать именно из борнитрида.

Что касается ремонта, то в идеале сделать внутренний слой заменяемый. Вплоть до того, что сделать его в виде отдельной вставки, что бы можно было разобрать систему, и поменять внутренний слой.

И дальше я покажу схему, как можно сделать корпус с легкозаменяемой внутренней вставкой, который к тому же будет более технологичен в изготовлении, чем просто монолитная труба из монокристалла.

## Катушки и электроды

Дальше нужны катушки, которые будут улавливать ЭМИ и одновременно с этим снимать преобразовывать движение (давление) плазмы в ЭДС.

Учитывая продолжительность импульсов (наносекунды), система работает на мегагерцовой или даже гигагерцовой частоте. При таких частотах обычные катушки не подойдут, так как любой проводник начинает вести себя как LC контур (контур из катушки L и конденсатора C). Плюс при таких частотах возникает так называемый “скин-эффект”, когда ток не заглубляется в проводник, и идет по его поверхности.

При продолжительности импульса в 1 наносекунду, глубина проникновения тока будет примерно 1 микрометр (0.001мм). То-есть делать проводники толще одного микрона нет смысла. Лишняя толщина не будет работать.

Отсюда нужна катушка, сделанная из специального проводника с тонкими изолированными жилами. И такие проводники есть, называются они *litz* или литцендрат. Но даже так получить толщину жилы в один микрон не получится. Отсюда лучше использовать “плосколенточный литцендрат” (как я его назвал). То-есть много слоев изолированной фольги, соединенных параллельно.

При этом крайне не желательно делать какие-то соединения на этом проводнике, так как любая спайка – это потери. То-есть виток катушки должен идти аж до того места, где находится электрод.

И отсюда возникает вопрос: как сделать сам электрод и соединить проводник с ним? Просто припаять кучу пластин фольги к медному лому?

Очевидно, что так делать нельзя, так как этот лом просто все испортит, став токоограничивающим шунтом. Ведь ток не погрузится в него, а сопротивление тонкого микрометрового слоя поверхности просто не позволит пройти большому току. Ну а если пластинчатый проводник использовать как электрод, он мгновенно будет уничтожен разрядом.

Отсюда нужно сделать какой-то электрод, но такой, что бы он обладал минимальным сопротивлением, не разрушался от молнии, что в него бьет, или хотя бы самовосстанавливается.

И сделать такой электрод можно. Им может стать жидкий металл.

Если обмокнуть концы (торцы) провода в обычное олово и оставить на конце каплю, то эта капля будет вести себя как тот самый электрод. При этом разряд будет расплавлять олово, но это не проблема, так как даже расплавленное олово проводит ток. Достаточно сделать небольшую емкость, где это олово будет храниться и стекать в то место, через которое идет ток. Ну а расплавленный металл – это самовосстанавливающаяся штука, и если образуется где-то яма, то он ее заполнит.

При этом по проводнику этот металл не поползет, спаяв пластины между собой, так как пластины покрыты диэлектриком, и олово просто не сможет их смочить. В итоге оно останется в ловушке из-за поверхностного натяжения. Нужно ему только сделать эту ловушку (емкость электрода).

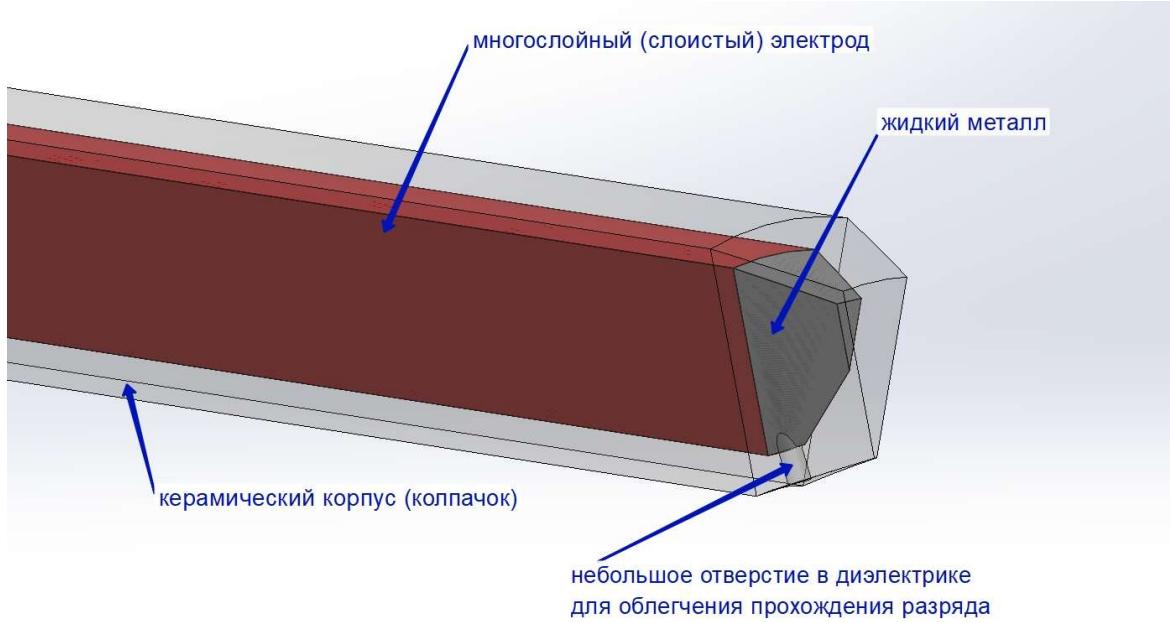
Ловушкой может быть керамический колпачок, одетый на край проводника с оловом.

Правда олово может испаряться от разрядов, но пары можно удалять из плазмы, и после возвращать назад в эту “ванну”.

Удалять из плазмы нежелательные элементы можно центробежным методом. Олово намного тяжелее водорода или бора, при этом у него ниже степень ионизации, и если засунуть плазму в магнитную центрифугу, то олово будет двигаться по внешнему радиусу.

Ну или можно удалять простой конденсацией. Олово остывает и осаждет, в то время как водород – это газ, который останется газом. Но конденсация больше подходит для чисто водородного синтеза, а центрифуга для бор-водородного. Так как бор тоже при остывании будет осаждаться.

При этом в керамическом колпачке можно сделать небольшое отверстие. Олово из-за поверхностного натяжения через него не будет вытекать, так как не смачивает керамику. А разряд пойдет через это место, так как везде в других местах диэлектрик (керамика). Диаметр отверстия 1-2мм.



Отверстия может и не быть, но нужно будет создать слой диэлектрика, который будет выдерживать разряд (будет самовосстанавливающимся или долговечным). Так как если просто сделать контакт электрода с плазмой, то пробой будет происходить при малом напряжении, и дуга не будет разрываться. И нужен определенный слой диэлектрика, необходимый для прерывания разряда и препятствования самопроизвольному пробою. Либо нужно будет делать промежуточный (изолирующий) водяной выключатель.

Но я бы хотел избежать такого решения с промежуточным выключателем, так как это уменьшит КДП системы. Отсюда в идеале нужно создать самовосстанавливающийся диэлектрик, который будет в зоне отверстия (керамика от разрядов быстро деградирует), либо просто сделать отверстие очень тонким, что бы туда не попадала плазма. При этом плазму оттуда еще и дополнительно “отгонять” магнитным полем. Сделать это можно если подать на электроды независимое напряжение (гальванически развязанное), сделав их катодами.

Плазма обычно положительно заряженная, и она будет отталкиваться от электрода, и в отверстии будет находиться только нейтральный газ или вообще вакуум (учитывая частоту разрядов, они могут просто “вытолкнуть” газ из тоненького капилляра).

Конечно нужно еще учитывать что будут образовываться ионизированные пары олова при каждом разряде, и с этим нужно будет что-то делать. Отсюда лучше всего создать некую “буферную зону” на конце электрода, где будет диэлектрик или вакуум.

Что касается того, как сделать керамический колпачок (корпус), то лучше всего не запихивать проводник в него механически, а просто сформировать форму электрода заранее, после чего сделать корпус напылением керамики. Ну а уже потом просверлить отверстие.

Разумеется, олово – это просто условный пример. Можно использовать другие сплавы. Да и не только сплавы. Но при этом брать свинцово-оловянный припой не лучшая идея.

Свинец – тяжелый металл, и в плазме не то, что бы нужен. И если брать свинец, то тогда делать так, что бы он не попадал в плазму. Отсюда если говорить о том, что выбрать, если хочется взять сплав. То лучше брать сплав галлия-индия-олова (галинстан), чем свинца и олова. Так как в этом сплаве компоненты более легкие (но к меди без флюса липнет так же плохо, как и классический

припой). Еще альтернативы – висмут-олово, висмут-сурьма, висмут-индий. Они обладают плохой текучестью в жидком виде и не будут вытекать в отверстие, даже если оно будет значительного диаметра, что хорошо для мощных систем. Также они твердые при нормальной температуре.

При этом что касается того, какой именно литцендрат использовать, круглый или плоский, то однозначно плоский. Связано это с тем, что по такому проводнику будет протекать огромный ток (1млн ампер). Причем течь он, понятно, будет в одну сторону.

В итоге все эти жилки будут между собой притягиваться. Причем притягиваться с лютой силой (тонны и больше). Отсюда центральные жилы круглых проводников, которые неизбежно будут идти перехлестом друг через друга, в местах перехлеста просто будет раздавливать давлением от внешних жил.

А вот плоскую фольгу уложить ровными слоями намного проще. Отсюда вариант с фольгой предпочтительней. Я предлагаю называть такой провод из фольги “ленточный литцендрат” или “многоленточный литцендрат”. Но дальше я буду применять просто термин “литцендрат”.

Но вообще, учитывая то, что я говорил раньше про заглубления тока, фольга должна быть толщиной в 1 микрон. И сделать слоистый провод со слоями фольги в один микрон – это отличный способ осваивать бюджет, потому что это сложно в производстве. А если нужно получить еще больше частоты, то слой нужен еще тоньше.

Отсюда самый простой и технологичный способ получить такой проводник, это использовать напыление или гальваническое осаждение из раствора или газовой фазы в зависимости от требуемой толщины и точности. То-есть послойно осаждать слои меди и диэлектрика на подложку.

Микронные проводники лучше делать напылением (как порошковая покраска, только металлом и с запеканием), так как это просто, быстро и дешево. Есть еще плазменное напыление, лазерное спекание и другие методы. Такой способ подойдет для предлагаемого размера реактора или реактора покрупнее.

Да, забыл сказать, что заглубление тока, о котором шла речь, это заглубление, с одной стороны. Если проводник плоский, то ток будет течь по двум сторонам, следовательно, его можно делать в два раза толще. Но тут работает принцип “меньше не больше”. Отсюда лучше делать более тонкие проводники, если есть такая возможность, меньше потерь будет (если не считать индуктивные потери).

Между слоями нужно осаждать диэлектрик, которым может быть все тот же оксид алюминия.

--

При этом точечных замыканий между слоями бояться не стоит. Можно даже сделать проводник в виде пористой структуры (как мочалка, или как кости). Это сильно увеличивает площадь поверхности, но при этом не изолирует слои друг от друга. И если структура немного повредиться от деградации или из-за удара, то все еще будет выполнять свою работу, просто у проводника вырастет сопротивление.

Технология освоена, аноды ионисторов так делают. Единственное, что хаотичные пористые структуры могут вызывать паразитные токи, если использовать такой проводник как вторичную обмотку. Но тут нужно пробовать.

Более того, сразу сделаю задел на будущее, и скажу, что потенциально стоит разработать проводник, который в порах этой “мочалки” будет содержать ионизированное вещество в сверхкритическом состоянии (это такое состояние, когда уже не жидка, но еще не пар, и

получается такой “жидкий пар”) и ток будет частично (или даже полностью) течь по этой “плазможже”. И тогда можно будет получить минимальный скин-эффект, и огромную токонесущую способность в малых габаритах.

По веществам, например, свойства высокоионизированного вещества в сверхкритическом состоянии могут проявлять инертные газы, (такие как аргон, ксенон, гелий), только нужно большое давление что бы они были в таком состоянии. Но так же можно использовать металлы, такие как натрий, калий. Они доступны, легко входят в это состояние, и к тому же корпус к ним инертен (почти любая керамика из тех, что имеет высокий индекс светопропускания, к ним инертна). Дополнительно можно использовать смеси. Например, в натрий или калий добавить ксенон.

В добавок в это сверхкритическое состояние можно вводить вещество ультразвуковым испарением. А учитывая частоты и вибрации в системе будут даже выше, чем ультразвук. На порядки выше, вещество может не просто войти в нужное состояние, а получить новые интересные свойства из-за частоты работы системы, и оставаться в таком состоянии до тех пор, пока система работает. Плюс такое состояние будет потенциально стабильней, чем то, что достигается через температуру и давление. Главное подобрать нужное вещество.

Потенциально можно сделать систему, где “мочалка” (пористая структура) выполняет стабилизирующую функцию. В то время как основным токоносителем выступает такая ионизированная среда. Ионизация скорей всего будет наступать автоматически из-за высоких частот в проводнике. То-есть на старте просто мочалка будет нести ток, но после того, как условный натрий перейдет в сверхкритическое состояние, он сам ионизируется, и уже он будет основным проводником тока. При этом мочалка будет резервным. И если где-то снизится ионизация, то ток пойдет по мочалке, возникнет магнитное поле, и ионизация снова произойдет.

Если что, ток идет не по пути наименьшего сопротивления, а по пути любого сопротивления. Просто чем больше сопротивление, тем меньше ток. Если бы он шел по пути наименьшего сопротивления, то невозможно было бы в одну розетку воткнуть два электроприбора.

И таким образом нужно делать не просто плазможжу в трубке, а нужно именно в мочалке, которая является проводником. Потому что в случае чего она будет уравновешивать нагрузку, компенсируя нестабильности и турбулентности в плазможже.

Почему я делаю такие усложнения и просто не возьму сверхпроводник? Связано это с тем, что сверхпроводник имеет, во-первых, ограничение по току, во-вторых, сверхпроводники тоже подвержены скин-эффекту, и сделать тонкие сверхпроводники пока не представляется возможным, а в-третьих, они требуют низких температур. Низкие температуры требуют отдельной системы и затрат энергии на их создание. Плюс интегрировать такие проводники в корпус не выйдет (так как корпус горячий).

Плазможжевый же проводник может быть почти сверхпроводником, но при этом не имеет ограничения по току, работает при “удобной” температуре, и является самоподдерживающимся. Ему не нужно создавать особые условия. Он сам будет входить в нужное состояние и находиться в нем за счет того, что сначала ток будет идти по “мочалке”, и вводить рабочее вещество в сверхкритическое состояние. А уже после будет течь по объему. Главное дать время на эти процессы, а не нагружать сразу на максимум.

При этом главное отличие от электролитических систем в том, что там носителями заряда являются ионы. В плазможжевом же проводнике такие носители - электроны. То-есть он ведет себя ближе к плазме.

Чистую плазму на эту роль я не предлагаю, так как она не стабильна. А вот ионная среда в сверхкритическом состоянии самостабилизирующаяся. Так как как только она выпадает из этого состояния, у нее резко возрастает сопротивление, она тут же испаряется и переходит снова в это состояние (но потенциально в будущем можно и плазму пробовать в качестве проводника).

Ну а в производстве эта штука будет крайне простой. Обычная “пенно-пористая” матрица, залитая электролитом. Главное запускать не сразу, а постепенно, сначала переведя электролит в сверхкритическое состояние, а уже потом используя.

Преимущество такого проводника в том, что у него, во-первых, структура, что несет основной ток, самовосстанавливающаяся. А во-вторых, у него меньше габариты по сравнению с слоистым. Так как у второго часть пространства занимает диэлектрик. И при тонких слоях в десятки-сотни нанометров, диэлектрик может занимать до 50% площади сечения. В плазмоизжевом же проводнике все сечение является токонесущим.

То-есть такой проводник будет обладать в два раза большей несущей способностью, чем многослойный при том же сечении. В добавок он будет еще и “самобалансирующимся”, так как ток будет течь по той среде, которая ему больше нравится. Если плотность тока в мочалке будет высокая, вырастет сопротивление, и ток потечет по плазмоизже, если плазмоизжа начнет разрушаться из-за локальных турбулентностей и срывов ионизации, опять же вырастет ее сопротивление, и ток потечет по мочалке.

В добавок к этому если каркас будет разрушаться, это не сильно ударит по проводнику. Он может потерять до 50% своей структурной целостности и все еще будет работать. Причем его эффективность снизится незначительно.

Но минус плазмоизжевых проводников в том, что на создание и поддержание ионизации будет тратиться какое-то количество энергии, которая в итоге будет выделяться в виде тепла. При этом могут возникнуть проблемы в пористых структурах, такие как хаотичная индукция. Но потенциально это решаемо.

Что касается присоединения электрода на торец, то эта же “плазмоизжа” и будет электродом. Да, она будет теряться. Но восстанавливать потери не проблема, просто “вкачивая” в систему пары вещества (например, натрия). Параллельно с этим удаляя из зоны реакции “улетевшие” частицы.

Еще в теории такой проводник лучше поглощает гамма излучение, чем просто тяжелый металл. Проблема гаммы в том, что ее нельзя эффективно поглощать ни водой, ни полимерами, как нейтроны. Эти материалы для этого излучения почти полностью прозрачны, из-за чего нужно вводить тяжелые металлы в защиту. Но проблема тяжелых металлов в том, что они, во-первых, тяжелые, во-вторых, часто дорогие, а в-третьих – не любят нейтроны, так как могут образовываться неприятные изотопы. В итоге получиться, что от гамма излучения защитились, но получили радиоактивные отходы в виде изотопов тяжелых металлов.

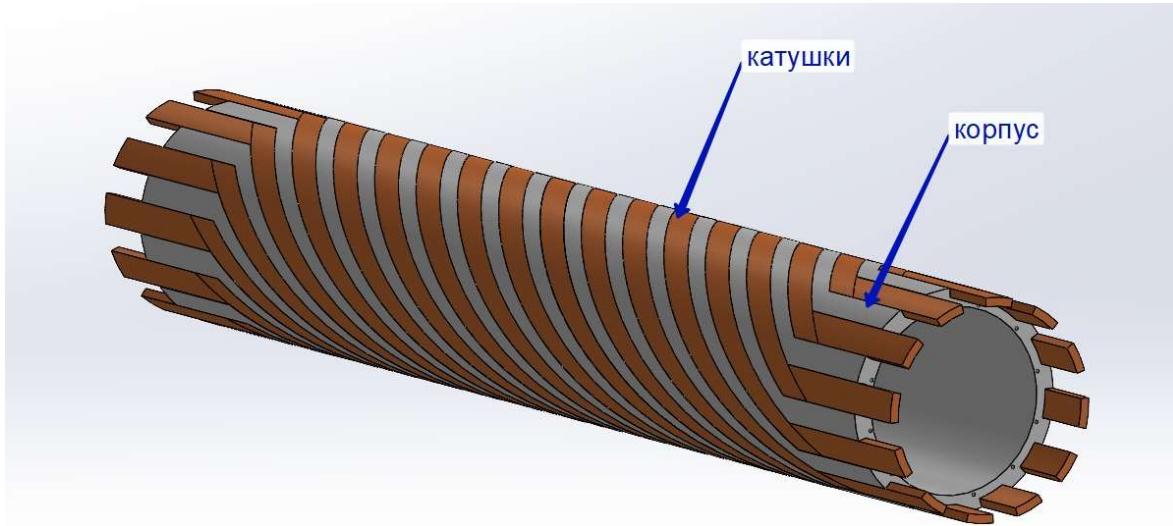
Но если сделать плотную плазму, она как раз будет хорошо поглощать гамма излучение. Из-за чего можно ограничиться только нейtronной защитой (полимерной), не используя кучу свинца и вольфрама для защиты от гаммы.

Но это, как я уже сказал, задел на будущее. На текущем этапе достаточно сделать просто многослойный (слоистый) проводник методом осаждения из раствора или паровой фазы. Просто при таких частотах и нагрузках жить он будет не так долго, как хотелось бы (при таких частотах начнется диффузионное разрушение слоев).

---

Проводник можно интегрировать сразу в корпус, осаждая прямо на него. Что в итоге сделает систему монолитной, в разы улучшит прочность и ударостойкость, увеличит эффективность теплоотвода, и вообще монолит – это почти вечная конструкция, если не считать радиационной деградации и диффузии.

Если упрощенно, то это может выглядеть вот так:



Только я нарисовал для наглядности с промежутками, но катушки будут перекрытием, то есть каждый виток будет налезать на соседний, что бы эта система полностью экранировала ЭМИ.

Ну а если у возник вопрос, что это вообще такое, и почему так много изолированных обмоток, да еще и к тому же у них такой крутой шаг, то это значит, что настало время об этом поговорить.

По концепту излучение от плазмы собирается и используется для лазерного фонаря. И проблема в том, что этот фонарь должен светить вдоль этой трубы, и при этом не прожигать дырку в электроде.

Но если сделать электрод по окружности в виде кольца, то разряд может срываться с произвольной точки этой окружности. Он не будет идти четко со всего кольца. В итоге такая система будет не стабильна.

Отсюда самый логичный вариант, это сделать много одиночных электродов, расположенных по окружности в виде кольца. При этом важно, что бы эти электроды были гальванически развязаны. То-есть не подключены к общей земле. И тогда разряд будет идти только между парными электродами. И таким образом между каждой парой будет проходить свой независимый разряд.

При этом они будут сливаться в один общий, так как, во-первых, в зоне общего разряда будет меньше сопротивление, а во-вторых, разряды, идущие в одном направлении, притягиваются друг к другу из-за силы Ампера, как это делают проводники с током.

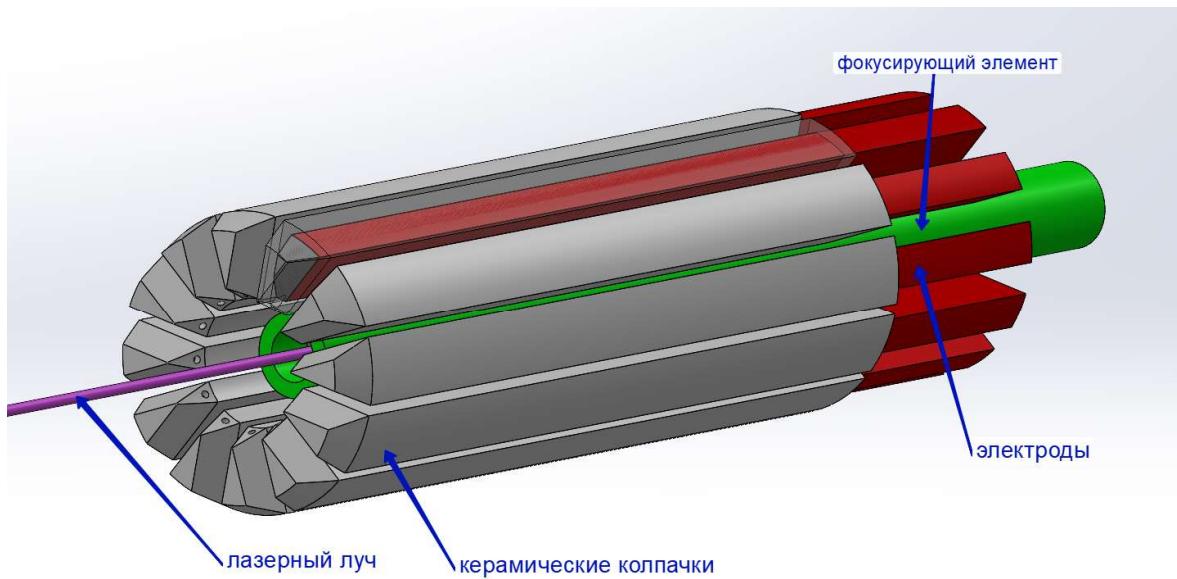
Хотя на самом деле с плазмой это будет работать немного иначе, и там стоит учитывать силу Лоренца в первую очередь, и тогда конфигурация разрядов немного поменяется (как в плазморельсовых системах).

Просто есть нюанс, что в случае с проводником на него действует сила Ампера, которая является суммой всех сил Лоренца. И проводники с одинаковым направлением тока притягиваются. Но

когда мы имеем дело с плазмой, то на каждую отдельную частицу действует сила Лоренца, и она толкает частицы плазмы в сторону соседнего разряда, что в итоге вызывает реактивный эффект, и загоняет плазму между разрядами, раздвигая разряды друг от друга. То-есть два проводника, по которым ток течет в одном направлении, притягиваются, а вот два разряда в плазме, по которым ток течет в одном направлении, тоже притягиваются, но плазма их расталкивает.

При этом то, что идущие в одну сторону разряды будут загонять плазму в зону между ними, это не плохо. Так как между собой они будут притягиваться, и тем самым будут сжимать плазму словно оплетка. То-есть получается другая логика работы, чем с проводниками. Плюс еще будет играть роль количество разрядов. Мало разрядов (три) может привести к тому, что плазма будет выдавливаться между ними, что может выливаться в нестабильности.

В итоге схема электродов, что создают несколько разрядов, может выглядеть примерно вот так:



С противоположной стороны лазерного луча аналогичный пучок. При этом электроды можно сблизить, путем вынесения оптики назад, оставив между ними только луч.

И таким образом пар электродов должно быть минимум три, что бы результирующий разряд прошел по линии лазера, и был уравновешен. А следовательно и катушек, что соединены с ними, должно быть сколько же. Именно по этой причине на предыдущей картинке много параллельных катушек.

---

При этом хоть я и написал, что электроды можно сблизить, но лучше их, наоборот, отдалить от лазера и зоны реакции, что бы от электрода шла широкая дуга сниженной плотности тока, которая после сужалась в общий канал, так как дуга такой той силы, которая нужна для инициализации реакции, вызывает фактически взрыв, который будет убивать электроды. Отсюда электроды желательно держать подальше от зоны реакции.

Более того, электроды не просто можно располагать вокруг лазера, но и нужно это делать. Потому что если у электрода не будет возможности банально отгибаться и пружинить, когда в него разряд приходит под углом, загибаясь, то его просто сломает. Ну либо выгнет плазму "банановой" нестабильностью. Так называется нестабильность плазмы, когда дугу выгибает, эта нестабильность происходит из-за банальной потери устойчивости.

Но это обычную плазму так выгибает, с обычными разрядами. Тут же из-за того, что разряд будет идти по пути, созданном лазером, и будет стабилизироваться этим лазером, его не будет выгибать, из-за чего плазма просто сломает электроды.

Связано это с линейным усилием, которое развивает плазменная струна. Как я уже писал в приложении про плазморельсовые системы, такие плазменные струны можно использовать в качестве линейных приводов (плазменных мышц). Но по большому счету такой эффект будет работать всегда. Так как при сжатии в поперечном сечении, давление плазмы резко увеличится, и она начнет дрейфовать в продольном направлении вдоль разряда.

Это можно представить как трубу, в которой газ под давлением. Если не заткнуть ей края, то такой газ начнет просто течь в сторону открытых отверстий. А если заткнуть, то давить на торцы.

И в случае с пинч-эффектом такой трубой является тело разряда, а такими крышками являются электроды. Из-за чего плазма будет на них давить. Причем давить пока не сломает.

Усилия там могут быть огромные. Невообразимые для обычных явлений. Например, если давление в плазме при сжатии  $10^{20}$  паскаль, и диаметр канала  $1\text{мм}^2$ , то давление на электроды будет около 8 миллиардов тон. Это на квадратный миллиметр. При таком давлении любая материя превратиться в атомную пыль.

И что бы этого не происходило, электроды должны быть максимально легкие (что бы уменьшить инерцию), мягкие, и должны пружинить. А продолжительность разряда должна быть на сколько малой, что бы за время действия давления учитывая скорость дрейфа плазмы по пинч каналу, она не успела разрушить электрод, и он просто отпружинил.

Но только даже так, ничего не выйдет. Потому как если подать разряд в течении наносекунды, который создаст давление в районе  $10^{20}$  паскаль, то скорость дрейфа плазмы может быть в районе 140 000 км в секунду, и за наносекунду плазма пройдет 14 см, что в итоге сломает электроды.

В итоге нужны какие-то буферные зоны, которые позволяют плазме спокойно расширяться, не давя на электроды. И для этого нужны эти загибы разряда от электродов к лазеру и разделение его на несколько пучков (несколько электродов). Тогда плазма будет дрейфовать вдоль центрального канала, и не будет давить на электроды.

То-есть расположение электродов по кругу — это не только способ всунуть между ними лазер, но и необходимость, что бы выжили сами электроды.

Еще один вариант, как можно спасти электроды, это делать импульсы короче, чем время, за которое фронт разряда добегает от одного электрода до другого. В этом случае сжатие будет не по всей длине, а некой бегущей волной. В итоге пока плазма долетит до другого электрода, она потеряет точку опоры в виде первого, так как там уже сжатие пропадет.

Но разряды должны быть по времени в разы короче, чем среднее время, за которое фронт проходит расстояние. Так как все равно останется остаточное давление.

Например, если длина разряда метр, то свет проходит это расстояние за 3.3 наносекунды. Если представить, что разряд движется со скоростью света, то если подавать разряды по 1 наносекунде, то в итоге в любой момент времени между электродами и разрядом будет зазор, который в 2 раза больше длины разряда. И это позволит не разрушать электроды. Ну а разряд на 5 наносекунд при расстоянии между электродами в 1 метр, потенциально просто сломает электроды. Ну либо дугу в плазме выгнёт бананом.

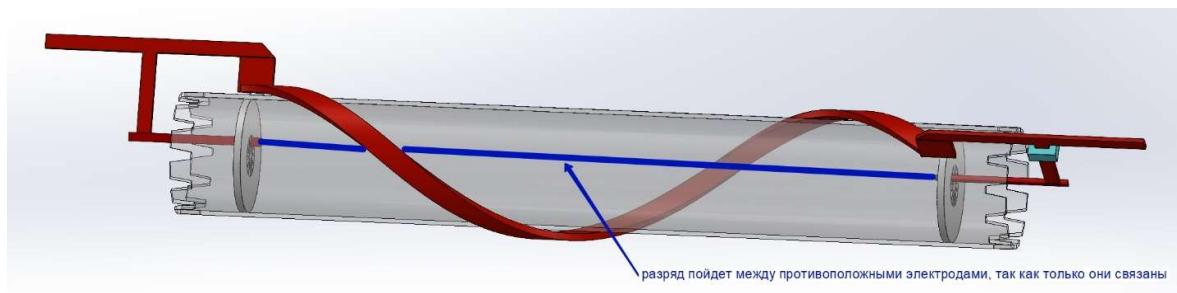
При этом даже в этом случае не стоит забывать, что плазма будет вести себя как инертное тело. То-есть, когда разряд влетает в электрод, то его хвост все еще держит плазму. И в итоге эта плазма ведет себя как не закрепленный подпор, что обладает инерцией. Отсюда что бы гасить удар плазменного стержня, все еще нужны мягкие электроды (из жидкого металла) а так же загиб разряда перед электродом, что бы уменьшить длину этого стержня, а вместе с этим и массу, что давит на электрод.

В итоге электроды должны быть на небольшом расстоянии от лазера, что бы между ними и линией главного разряда была небольшая буферная зона.

---

При этом, когда я говорил про гальваническую развязку, и про то, что все элементы не должны быть подключены к общей земле, то это не значит, что в системе множество развязывающих трансформаторов, оптопар и других подобных компонентов. Все, что нужно, что бы развязать все эти катушки, это просто их между собой не соединять.

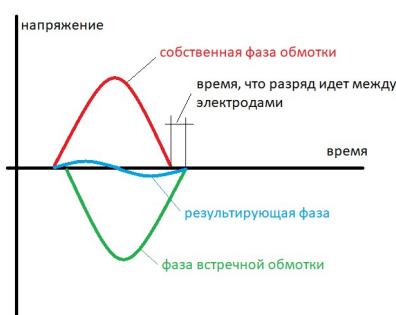
Также у некоторых людей может вызвать непонимание такое расположение электродов. Ведь разряд же должен пойти по кратчайшему пути, а значит между двумя соседними. Но нет, два соседних между собой не соединены и разряд пойдет так:



На изображении изображена одна пара электродов и одна обмотка.

Разряд, как видно, пойдет не по оси трубы. Но если добавить лазер и сделать систему симметричной, то разряды в итоге сойдутся в одну линию.

Вернее, разряд должен пойти так. Но если сопротивление соседней обмотки будет ниже, чем плазмы, то разряд может перекинуться на нее, используя ее как проводник. И что бы этого не произошло между электродами имеет смысл установить дополнительные перегородки из диэлектрика, не дающие разряду пройти через плазму кратчайшим путем к соседнему электроду. Плюс перед тем, как пускать разряд, стоит создать лазерный пробой, что бы уменьшить сопротивление плазмы. Ну а лазер в системе уже есть.



Также разряд не пойдет на соседнюю обмотку из-за наложения фаз. То-есть если разряд решит пойти через соседнюю катушку, то его фаза наложится на фазу этой катушки, но в противофазе, так как он идет в другую сторону. И результирующее напряжение будет небольшим (нарисовал на графике). И если его не хватит, то разряд просто не пойдет через соседнюю катушку.

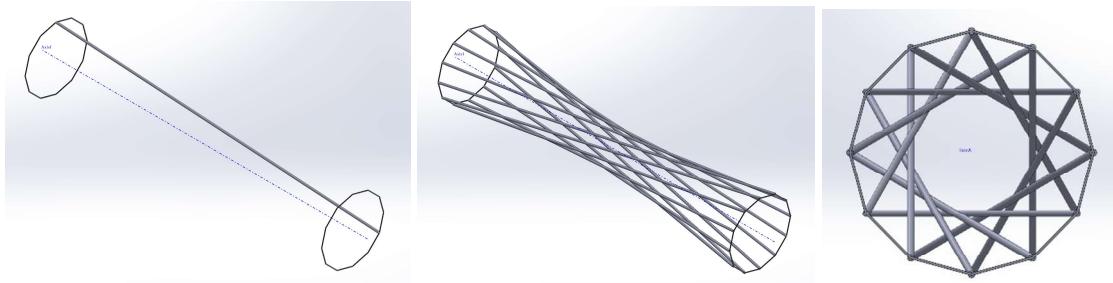
Ну а если все же будет стремиться пробить через соседнюю катушку, а не через плазму, то придется вводить дополнительные компоненты, такие как плазменные диоды или ртутные выпрямители. Но это все системы не очень приятные, в том плане что они громоздкие, и напоминают радиолампы. И не

хотелось бы использовать дополнительные компоненты, так как это лишние потери и точки отказа. Лучше организовать синхронный выброс тока (далее расскажу, как это будет синхронизироваться).

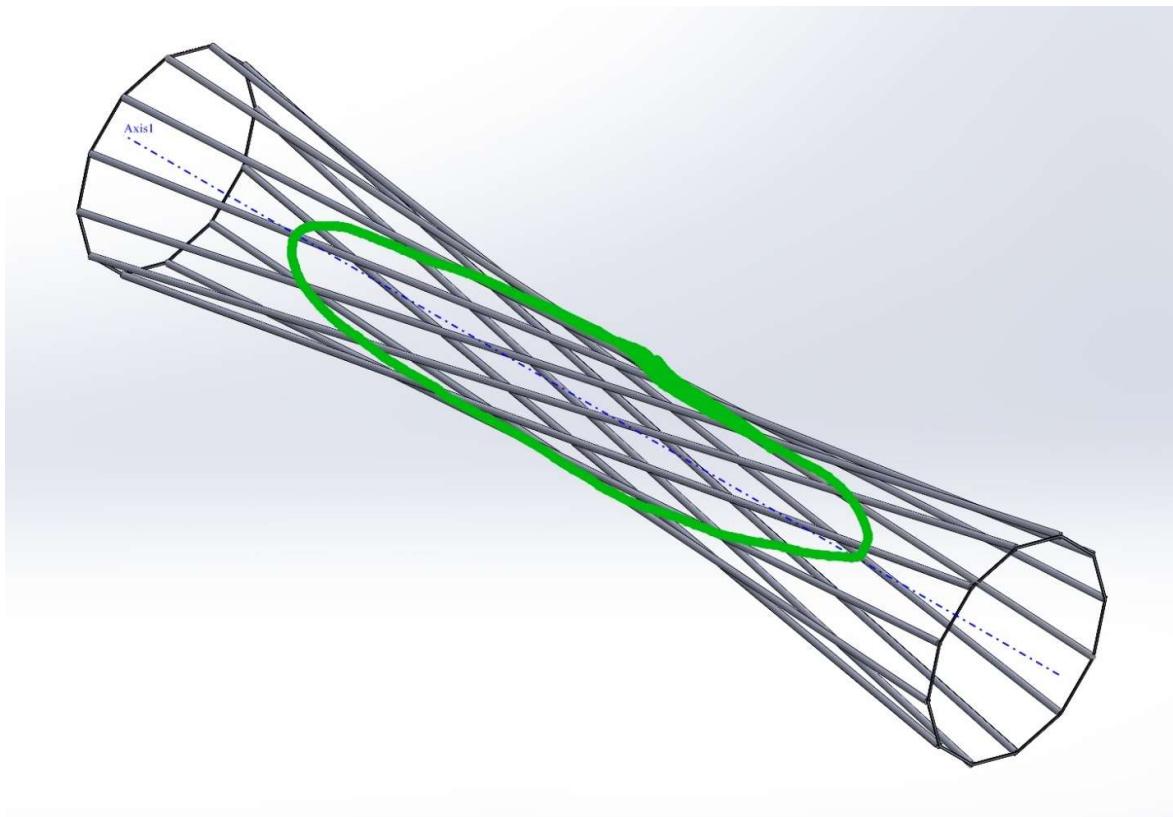
При этом можно заметить, что виток катушки делает всего один оборот. А если точнее, то оборот и еще немножко. Но почему всего один оборот, и почему не ровно один оборот?

Сначала поговорим о том, почему не ровно один оборот. Это сделано для того, чтобы сдвинуть начальный и конечный электрод по окружности, что бы “перекрестить” разряды.

Если посмотреть на эту схему, где прямая линия имеет сдвиг по окружности:



То мы увидим, что, если мы нарисуем много таких линий, в центральном сечении линии образуют многоугольник, который меньше изначальной окружности, с которой эти линии выходили. В итоге если мы нарисуем градиент распределения плотности линий, то мы получим некую эллипсообразную форму в центре, где эти линии плотнее всего. Нечто такое:



И если таким образом направить разряды, то, чем ближе к центру канала, тем выше там будет ток. И это позволит слегка управлять “ пятном реакции ” (зоной, где происходит реакция ). Этот эффект условный, и незначительный, так как разряды – это не палки, и они, как я уже сказал, сольются по

оси лазера, притянувшись друг к другу. Но я предполагаю, что даже так этот эффект будет присутствовать в какой-то мере. Плюс будет радиальная составляющая движения тока, что позволит получить не только радиальную составляющую линий магнитного поля, но и осевую.

В добавок подобное закручивание разрядов позволит закрутить плазму по спирали, получив динамическое удержание из-за того, что разряды не сразу сольются в один, а какое-то время будут отдельными зонами, и из-за инерции частиц, плазма будет течь по каналу разряда, по некой сильно размазанной спирали, поток будет напоминать поток плазмы в стеллаторе ("звездный тор"). А такая вихревая структура довольно стабильна сама по себе.

Помимо этого, вращение плазмы будет полезно для разделения ее по степени ионизации. Так как снаружи есть магнитное поле, создаваемое катушкой, то те частицы, что сильнее ионизированы, будут сильнее с ним взаимодействовать, и поле будет сгонять их в центр. Слабо ионизированные или вовсе не ионизированные частицы под действием центробежной силы будут стремиться на внешний радиус, поближе к катушке. А так как степень ионизации частиц зависит от их энергии (температуры), то это позволит собирать в центре более быстрые частицы, что увеличит шанс реакции.

Если что, разряды не спицы. Это схема, а не фотография. Задача получить динамику закручивания плазмы вокруг оси и получить разную плотность энергии вдоль оси. Про разряды и физику будет позже.

---

Но почему виток всего один? (количество витков, это сколько раз провод обкручен вокруг сердечника).

Связано это с тем, что для того, чтобы во вторичной обмотке возбуждался ток, витки этой катушки должны быть направлены перпендикулярно линиям магнитного поля. И у классического соленоида (цилиндрической обмотки) эти линии направлены вдоль оси цилиндра.

Здесь же первичной обмоткой трансформатора является разряд. Но разряд – это, по сути, проводник. А значит линии магнитной индукции направлены по окружности вокруг разряда. И что бы его магнитное поле возбуждало во вторичной обмотке электрический ток, ее витки должны быть направлены перпендикулярно круговым линиям магнитного поля разряда. То-есть вдоль этого самого разряда.

Из-за чего вторичные обмотки должны представлять собой просто параллельные проводники, и чем больше витков, тем менее эффективным будет возбуждение ЭДС во вторичной обмотке. Отсюда надо минимальное количество витков.

Плюс чем меньше витков, тем меньше индуктивность катушки. И это важно при тех токах и частотах, на которых будет работать система.

Но почему тогда они закручены?

А связано это с тем, что эта обмотка должна принимать магнитное поле с линиями, что направлены по окружности вокруг центрального проводника, но при этом сама должна создавать магнитное поле, линии которого направлены вдоль оси канала. Что бы, когда после такта сжатия плазма будет расширяться, ее частицы двигались перпендикулярно линиям магнитного поля обмотки, и тем самым возбуждали ток в ней.

То-есть нужно усидеть сразу на двух стульях.

Но проблема в том, что у трубы, по стенкам которой идет ток, магнитное поле внутри равно нулю. Клетка из параллельных прямых проводников тоже ведет себя похожим образом и в центре поле равно нулю. Отсюда нужно что бы обмотки имели какой-то угол.

В добавок если мы говорим о том, что бы сжимать плазму магнитным полем катушки, то тут лучше не чисто осевое, а радиально-осевое магнитное поле, и намотать обычный соленоид хоть и можно, но его эффективность будет ниже в плане стабилизации плазмы (тета-пинч получится, а не комбинированный).

Ну при условии, что оно постоянное. С переменным магнитным полем немного по-другому, так как такое поле инициирует вихревые токи в плазме, те в свою очередь инициируют свои собственные магнитные поля, и плазма сжимается за счет того, что поле плазмы взаимодействует с полем катушки (индукционный пинч). Но это немного другая физика, и она не так для сжатия, как для нагрева подходит. Да и при рабочих частотах вклад индукционных токов будет небольшой.

В итоге все витки вместе образуют некую хитровывернутую трубу, у которой появляется компонента тока, что идет по спирали. Так как это чем-то похоже на беличью клетку получается, и по виду, и по принципу работы, учитывая, что ток будет бежать по этой обмотке вдоль, оставляя за собой магнитное поле, из за чего я предлагаю назвать такую обмотку просто "рабочая клетка".

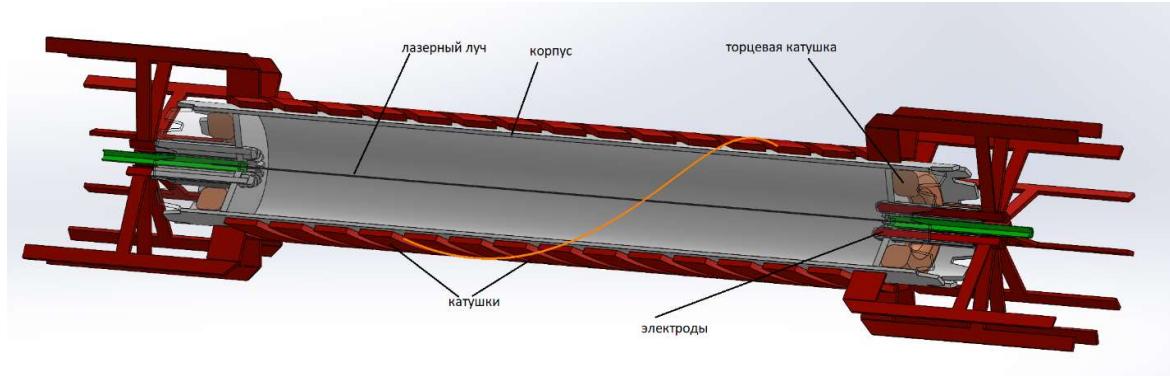
При этом я еще нарисовал очень упрощенно. Катушку в идеале делать не прямой, а конусной или вогнутой. Так как у прямой катушки будет слабое магнитное поле, и она больше стабилизировать будет, чем сжимать, а нужно, что бы сжимала.

Что касается того, сколько именно должно быть витков, я предполагаю, что их не должно быть меньше одного, но и не должно быть много. Количество рассчитывается, а дальше под него уже подстраивается частота в реальном времени.

Также количество витков будет влиять на напряжение разряда. Связано это с тем, что система циклическая. И если неправильно подобрать количество витков, то на каждом цикле напряжение будет расти, а ток падать, либо наоборот, ток будет расти, а напряжение падать. При этом нужно учесть еще падение напряжения из-за потерь на сопротивление на каждом такте.

---

В итоге общая конструкция будет примерно такой:



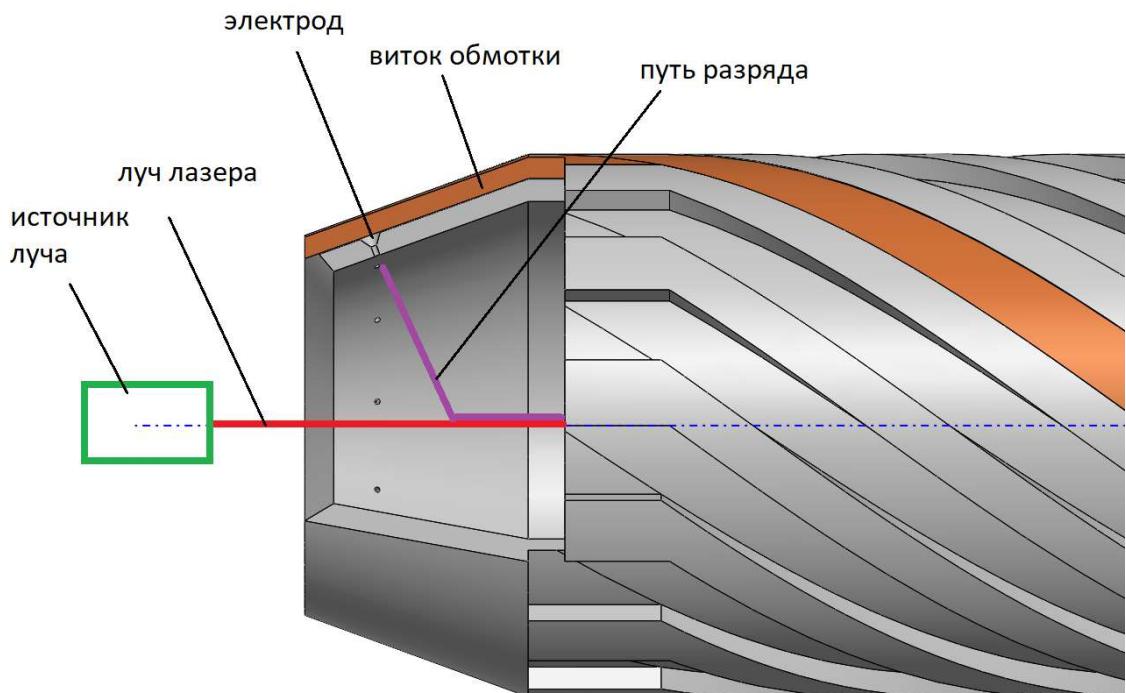
Как видно, дополнительно на торцах присутствуют еще катушки, которые подпирают плазму, не давая ей ударяться о стенки.

В добавок эту торцевую катушку подпора плазмы не нужно запитывать от отдельного источника. Она будет создавать магнитное поле, работая как "вторичка", намотанная вокруг электродов.

Ведь электроды в сумме представляют собой мощный проводник с током, и, если от него отобрать немного мощности на катушку, что подпирает плазму, ничего страшного не случиться. А импульсный режим работы этой катушки сильно уменьшит ее нагрев.

Только как видно, система получается достаточно громоздкая. Обмотки, которые переходят в электроды, торцевые крышки, торцевые катушки.

Но потенциально от этих элементов можно отказаться, если сделать форму корпуса и катушек слегка бочкообразной или скошенной на торцах. Тогда магнитное поле рабочих катушек будет сгонять плазму в центр, и не нужно будет тратить энергию на подпор плазмы торцевыми катушками. Корпус можно сделать так, как на картинке ниже.



Такой дизайн максимально простой и монолитный, и его можно производить дешево и массово как расходник. Конечно, не в "гаражных" условиях, а в промышленных. Нужен большой станок, где заготовка будет перемещаться между двумя камерами, осаждающими разный материал. Но в итоге стоимость одного "расходника", способного работать десяток лет без замены, будет в районе нескольких тысяч кри (один кри на момент написания книги примерно равен одному евро, 100 кри - 1 грамм золота).

Но это потенциально в будущем, если говорить про "прямо сейчас", то цена одного изделия будет на два порядка выше (300-500 тысяч кри), и срок изготовления – месяцы (до полугода). Что на самом деле не много, учитывая, что за изделие и для чего оно. Единственная проблема, что ускорить производство не выйдет, так как осаждать слои нужно последовательно на одном изделии.

Но в случае с микронными слоями ускорить производство можно, так как в таком виде можно не осаждать слои, а напылять, как я уже говорил. А это позволит получать изделие не за месяцы, а за дни (зависит от станка), что уменьшит цену на порядок (десятки тысяч).

Что же касается плазможижевых проводников, то они будут стоить примерно ничего (на уровне ионистора), и производиться корпус будет очень быстро (меньше дня). Из-за чего его себестоимость может быть меньше тысячи.

Правда возникает вопрос, как это изготовить, если катушки сделаны прям в корпусе, и представляют собой одно целое с ним, то как “завернуть” их так, что бы они в электрод переходили без стыков и соединений?

Как вариант, такой корпус можно сделать из нескольких сегментов, разрезав вдоль, например, на три сегмента, а после собирая просто стяжками.

\*\*\*

Также подобная схема с множеством катушек и электродов имеет один важный плюс. А именно – тут нет предела по току, так как можно сколько угодно множить электроды, выстраивая целые деревья фрактальных массивов, где крайние “ветки” сливают разряд в плазменную трубку, которая по совместительству является электродом. Потом массив этих трубок сливает разряд в одну общую трубу, и в этой трубе происходит реакция.

Теоретически так можно даже барионную плазму без всяких коллайдеров получать в промышленных масштабах. Ну а зачем она нужна и что с ней делать расскажу в приложении “космическое весло”.

В добавок такие фрактальные массивы позволяют разгрузить электроды и катушки-конденсаторы.

По моим приблизительным прикидкам, нужно миллион ампер и 400 вольт, что бы запустить реакцию в масштабах пинча 1мм в диаметре и 1 метр длиной (бор-водородная реакция). Ну или один джоуль за такт длительностью около 5 наносекунд, где реакция начнется через несколько тысяч тактов, когда плазма достаточно сожмется и нагреется, один джоуль в 5 наносекунд – это поддерживающая мощность, выходная будет меньше.

Но токонесущая способность материалов ограничена. В теории одна катушка (один проводник) с площадью сечения  $200 \text{ мм}^2$  может выдержать 1 миллион ампер при наносекундном импульсе. Это многослойный металлический (граница для меди около 5кА на  $\text{мм}^2$ ). Графеновые и плазможижевые пока не беру в расчет.

Но это в теории. В реальности нужно делить на три, так как при таких токах из-за очень высокой плотности тока можно получить превращение проводника в плазму, даже если не брать в расчет сопротивление. Просто магнитные и электростатические силы разорвут связи между атомами (магнитная детонация).

Но это в идеальной реальности. А если в реальной реальности, с учетом того, что бы это было дешево и доступно, и не нужен был богический нанометровый литцендрат, выкованный эльфами в жерле Ородруина с применением лазерной шлифовки на каждый осажденный слой, то это “делить на три” нужно еще раз делить на три.

Раздувать сечение проводника смысла тоже нет, так как проводник ведет себя как конденсатор, и при большом сечении будет уже магнитное поле концентрироваться по внешним пластинам, не проникая вглубь, и будет магнитный скин-эффект.

И отсюда потенциальный адекватный предел – это 100кА на один электрод/проводник. И как при таких условиях получить миллион? Вариант только один. Больше электродов. Именно по этой причине я применил 12 электродов по кругу. Если каждый из них держит 100кА, то это 1.2МА.

При этом возможно возник вопрос, как же заставить разряд с электрода перекинуться на ту зону, где лазер? Ведь там есть не нулевая дистанция?

Но, во-первых, эту дистанцию можно сделать почти нулевой, так как электроды можно свести так, что бы между ними пролезал только луч, а не весь корпус лазера. А, во-вторых, для пробоя этого участка можно использовать высоковольтный разряд. То-есть создать подобие плазменного выключателя, где один разряд инициирующий, высоковольтный, слаботочный. Он создает ионизированный канал. А по этому каналу уже идет рабочий разряд.

Ну или нужно повышать напряжение основного (рабочего) разряда. Но я думаю этот вариант – не лучшая идея, так как тогда может возникнуть случайный нежелательный пробой. Связано это с тем, что лазер может иметь паразитные срабатывания или сдвиги фаз. И что бы какой-то отраженный лазерный пучок не вызвал паразитное срабатывание, нужен еще один уровень защиты.

### [Лазер](#)

Теперь поговорим о лазере. Во время прохождения разряда выделяется много энергии в виде света. Причем эта энергия выделяется импульсами, синхронно с разрядами. Эту энергию и нужно использовать для лазера. Вернее, для лазерного фонаря, так как излучение плазмы мультиспектральное и зависит от ее состава.

Что бы использовать это излучение, его нужно собирать. Для этого трубку корпуса нужно превратить в волновод. Причем в идеале создать анизотропную структуру, направляющую излучение в нужном направлении.

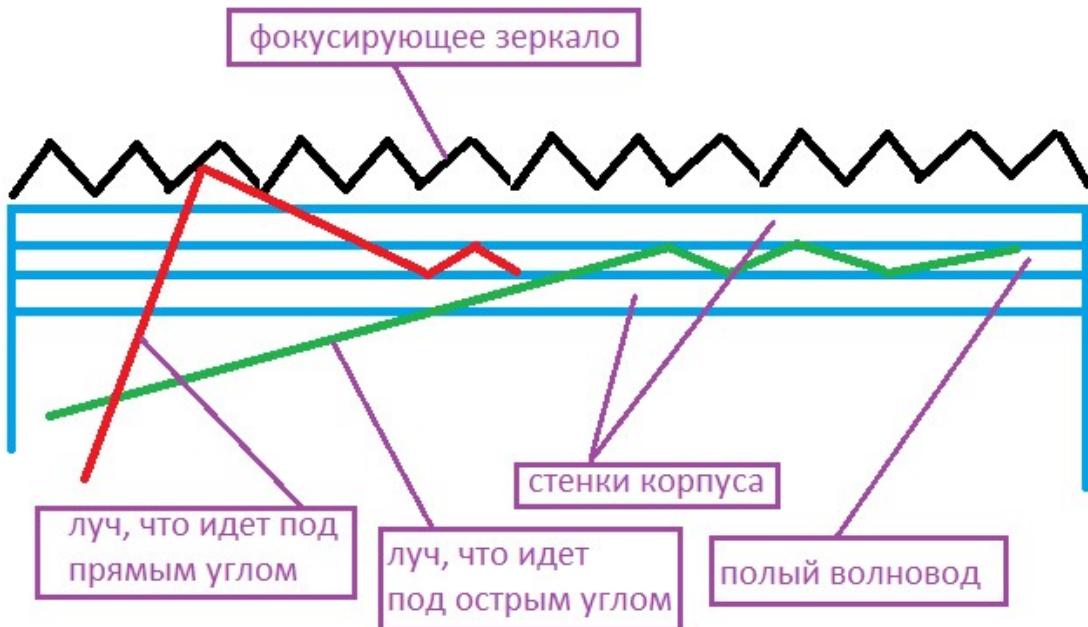
Также можно использовать полые волноводы, что бы минимум излучения терялось в материале. Это имеет смысл по большей части для ультрафиолетового спектра, так как он очень быстро поглощается средой. Это важно, так как водородная плазма, например, имеет пик светимости в ультрафиолете. И большая часть этой энергии будет переходить в тепло, если не сделать соответствующие волноводы.

Сапфир и нитрид бора часто используются в качестве волноводов для УФ излучения, так как их коэффициент поглощения не превышает 30%. Но чем тоньше стенка, тем меньше будет поглощение. Отсюда нужно стремиться сделать внутреннюю поверхность максимально тонкой. После чего сделать полые волноводы, по которым свет будет идти вдоль трубы.

Более того, можно, например, сделать два разных волновода. Один для УФ, второй для ИК. Что бы при этом разделить излучение по спектру, можно использовать специальные диэлектрические зеркала (о них дальше будет). Но, конечно, в идеале разработать еще более прозрачный для УФ материал.

После внешнюю поверхность этой трубы нужно покрыть зеркалом, которое будет отражать свет вдоль волновода. Что бы все излучение попадало куда надо.

Условно вот так:



Это очень приблизительный рисунок для понимания. На самом деле подобное часто делается при помощи специального фокусирующего покрытия или других методов на основе нелинейных оптических материалов (кристаллов), таких как ниобат лития, титанат бария и другие.

Так же есть технологии “фазированных брэгговских зеркал”, или “брэгговская решетка”. В отличии от классического брэгговского зеркала, которое отражает как обычное зеркало, у этих изменена структура слоев, из-за чего происходит последовательное преломление, луч в каждом переходном слое немного “загибается”, пока не достигает угла полного внутреннего отражения. И такое зеркало позволит загонять свет в волновод без всяких зигзагов.

Брэгговское зеркало — это такое специальное зеркало, что представляет собой многослойный композит, который отражает в определенном спектре за счет интерференции волн в средах с разным коэффициентом преломления. И несколько таких зеркал, одно за одним, позволит покрыть весь нужный спектр. Плюс такое зеркало позволит разделить свет по спектрам.

Например, можно сразу отразить УФ, и отправить его в полый волновод, а потом отразить ИК, и отправить его уже по монолитному волноводу, который идет вторым слоем.

Есть даже технология “брэгговских волноводов”, где зеркало внутри волновода. И оно пропускает свет снаружи, впуская его в волновод, а после не выпускает оттуда. И в идеале использовать именно этот вариант для волновода. Но он более сложен, так как нужно делать зеркало не просто по наружной поверхности, а внутри тонкой трубы.

Запоминать эти слова не нужно, я пишу их для тех, кто захочет разобраться в теме самостоятельно. Только о том, как запихать свет в трубу с минимальными потерями, можно написать целую книгу. А потом еще одну о том, как эту трубу сделать, что бы было просто, ровно, дешево и технологично. И когда проект получит инвестиции, специально обученные люди будут этим заниматься. Пока что это все — грубый концепт, и описания соответствующие.

При этом что касается нелинейных кристаллов, то у них больше потери, чем у зеркал (у них 1-5% на проход, в зависимости от спектра и мощности света, а для УФ вообще 30%, а у зеркал 0.01% и

меньше). И я предполагаю, что, если подобрать форму зеркала, можно обойтись и без таких фокусирующих покрытий.

Зеркало при этом обязательно должно быть из диэлектрика. Связано это с тем, что оно находится раньше рабочих катушек, и, если сделать его из металла (серебра, например), оно просто пойдет на себя ЭМИ от разряда и испарится (испарится, только сразу с ионизацией).

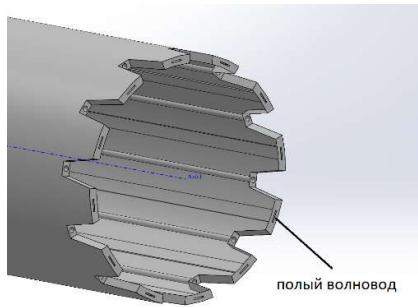
Но, к счастью, технология диэлектрических зеркал давно освоена, более того, такие зеркала еще и обладают лучшим коэффициентом отражения, чем обычные. И по счастливой случайности “брегговские” как раз являются зеркалами из диэлектрика. Производятся они все тем же методом послойного осаждения.

В итоге весь цикл производства основы будет представлять собой выращивание монокристалла, его сверловка, порезка, шлифовка, а дальше катание его по разным ваннам и камерам, где на него будет слой за слоем осаждаться сперва многослойное зеркало, потом защитная часть, потом подложка для катушек, потом слой за слоем будут формироваться катушки, и дальше это все будет покрыто защитным внешним слоем керамики.

Такая конструкция будет прочная, технологичная, долговечная, и к тому же от нее будет просто отводить тепло, так как монолитный композит всегда лучше в плане теплопроводности, чем куча отдельных деталей, слепленных между собой.

Что касается преобразования спектра, то я считаю, что этим заниматься не нужно. Плазма и так излучает в ИК, видимом (желто-красном) и УФ спектре, и этого достаточно чтобы лазерный фонарь выполнял свои функции, выполняя пробой и ионизацию плазмы (УФ спектр) и нагревая плазму (ИК). Дополнительные преобразования спектра лишь ухудшат КПД системы.

Причем на самом деле плазма сама будет проводить некоторые преобразования. Так, например, нагреваясь от ИК она будет излучать в более жестком спектре. А этот спектр будет использоваться для пробоя. И таким образом вся энергия останется в плазме.



Волновод при этом будет идти вдоль трубы, условно вот так, как на картинке. При этом свет должен выходить из торца.

После чего его будет собирать параболическое зеркало и отправлять на специальное фокусирующее устройство.

Сложность такой конструкции в том, что большинство “волноводов” – это монокристаллические материалы. А они дороги в получении и сложны в обработке. Но можно “схитрить”, и сделать все более технологично.

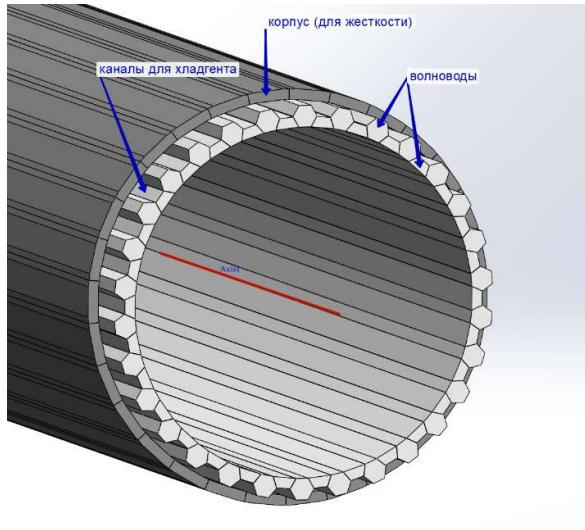
Первый способ “хитрежа”, это делать монокристалл в виде цилиндра, а после из него нарезать трубы разного диаметра для разного размера корпусов. Тогда отходы будут минимальными. Но сложность в том, что, например, оптический гексагональный нитрид бора (BN-h), крошится и расслаивается, хоть и легко режется (так как мягкий). В то время как монокристаллический оксид алюминия (сапфир), можно обрабатывать только алмазными корончатыми сверлами, и то не долго (быстро умирает инструмент), так еще и он хрупкий, и если перегреть, то можно случайно треснуть.

При наличии современных ЧПУ это не проблема. Просто стоит денег и времени. А я хочу сделать конструкцию, что бы позволяла получать корпус дешево, быстро, и без сложных станков, выращивающих крупные монокристаллы.

И отсюда один из вариантов, это использовать полый волновод. Так как в нем свет идет через газ или вакуум, и тогда можно сделать тонкую поликристаллическую стенку, на которой будут минимальные потери из-за ее толщины, и просто отшлифовать и покрыть отражающим слоем внутри.

Но полые волноводы имеют свои минусы. Не всегда удается добиться полного внутреннего отражения под малыми углами, из за чего у них могут быть более высокие потери.

Отсюда есть еще один вариант, это сделать наборной корпус, где просто изготовить волноводы в виде трубок сразу с зеркалами для перенаправления и ориентации излучения, после их склеить между собой, ну а после поверх этого пучка трубок-волноводов просто напылить подложку из керамики, на которую уже осаждать послойно катушки.



На стыках, конечно, будут потери, но площадь стыков по сравнению с площадью волноводов мизерная. К тому же стыки можно покрыть зеркалом, что бы излучение отражалось назад в плазму, проходило через нее, и попадало на противоположную стенку.

Примерная схема такого наборного корпуса на картинке.

Количество волноводов в идеале подобрать под количество катушек и электродов. Что бы не возникало конфликтов.

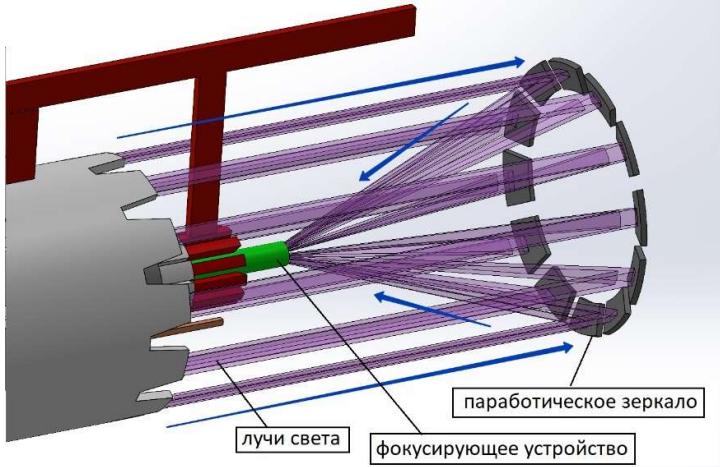
труба.

При этом можно получить довольно прочную конструкцию. Внутреннюю наборную часть можно сделать в виде арки, а внешняя – просто

И по большому счету тут самое важное, это волноводы. Из чего будет сделан корпус, на который будут намотаны катушки, вообще не принципиально. В идеале это должно быть что-то слегка мягкое и упругое. Так как промежуточный слой корпуса нужен чисто для того, что бы скрепить все в кучу (волноводы и катушки), и что бы это все не разорвало механическими нагрузками и вибраций.

Преимущество такого метода еще и в том, что такая конструкция легко масштабируется. Один и тот же калибранный пруток волновода позволит получить корпуса разной длины и диаметра. А при определенном диаметре прутка его даже можно изгибать, закручивая по спирали или придавая корпусу бочкообразную форму.

Высокая точность при этом не требуется. Так как все излучение, что выходит с торцов, можно после сфокусировать параболическими зеркалами.



Что касается зеркал, то количество каналов и зеркал желательно сделать таким же, как количество электродов. Пример, как это может выглядеть - на картинке.

И тут есть несколько интересных и важных моментов, которые нужно обсудить.

Первый заключается в том, как именно синхронизировать свет с разрядом по импульсу.

Проблема заключается в том, что

разряд возникает не мгновенно, а движется по каналу, как молния, у которой есть фронт и хвост. И, следовательно, свет по длине канала тоже возникает не мгновенно, да еще и доходит до волновода с задержкой. Отсюда играет роль то, в каком направлении относительно направления разряда будет направляться свет по волноводу. Это играет роль, так как если усилить фронт импульса, будет возникать более уверенный пробой, если же хвост, то плазма в уже сжатом канале будет сильнее нагреваться. Я предполагаю, что если плазма излучает слабо, лучше усиливать фронт, если в излучение уходит более 20% энергии - хвост.

Это, например, имеет смысл для того, что бы энергию, что ушла в излучение, рекуперировать в ЭДС. Потому что если этого не делать, то энергия, что запасена в свете будет расти с каждым импульсом из-за накачки, и ее станет слишком много в итоге, что приведет к увеличению потерь, а так же она просто прожжет зеркала и волноводы.

Как будет происходить рекуперация света в ЭДС: если сильный фронт, то он пробивает плазму, нагревает ее, и хоть это хорошо работает для снижения плотности плазмы и увеличения ее проводимости, но также увеличивает давление плазмы, из-за чего разряду сложнее ее сжать.

Если же хвост лазера сильнее, то фронт прокладывает путь, разряд сжимает плазму, а после в эту сжатую плазму влетает усиленный хвост лазерного импульса, и плазма нагревается. При этом это провоцирует ее расширение, но из-за того, что она обладает инерцией, лазер успевает передать ей энергию.

Дальше разряд затухает, его способность сжимать плазму, противодействуя ее давлению, падает, и плазма начинает расширяться. И когда происходит "отскок", он усилен дополнительной энергией, что плазме передал луч в тот момент, когда она была сжата. В результате этого более интенсивного отскока генерируется больше ЭДС, которая используется для следующего разряда. И таким образом энергия света переходит в электрическую.

---

Схема, кстати, еще интересна тем, что так можно переводить энергию любого излучения в электрическую. То-есть энергию гамма излучения и так далее, что в обычных условиях огромная проблема. Реакция даже не нужна в этой схеме. Просто сжатие плазмы разрядом, во время сжатия инъекция излучения, и дальше отскок. Это в теории позволит создать систему, которая будет намного эффективней превращать свет в энергию, по сравнению с фотоэлектрическими модулями.

Ну условно можно энергию солнца собрать зеркалами, превратить в луч, пропустить через плазму по такой схеме, и получить преобразование солнечной энергии в ЭДС с КПД 60-80%, а не 20%, как дают солнечные панели.

Что же касается гамма излучения, то с ним посложнее, его нужно подавать, во-первых, порциями, а во-вторых, хоть как-то сфокусировать. Но в теории это можно сделать.

---

При этом, как я уже сказал, луч будет путешествовать какое-то время по волноводам, и вернется в ту точку, из которой вышел разряд, с некой задержкой. Задержка составит 3.3 наносекунды на каждый метр пути, что пройдет свет.

Но что бы система работала в резонансном режиме, нужно точно подобрать паузы, что бы пробой происходил ровно в тот момент, когда нужно для создания резонанса.

И тогда нужно эти паузы как-то настраивать. Но в случае со светом тут нельзя поставить никакой конденсатор, и отсюда единственный вариант настраивать паузы, это изменять расстояние, что проходит луч. Делать это проще всего путем отдаления или приближения параболического зеркала. Отдалили на 10 см, получили +20 см пути света, и +0.66 наносекунд задержку.

Приблизили – уменьшили задержку.

Выполнять приближение и отдаление зеркала очень просто. С этой задачей справится обычная механика. Современные линейные приводы дают точность до микрон, и обладают в добавок высокой стабильностью и повторяемостью. А мелкую подстройку уже выполнять при помощи пьезоэлектрических актуаторов.

Что касается перекосов зеркал при работе механики, то о них не нужно переживать, так как линза их компенсирует.

Понятно, что подстраивать задержку нужно постоянно, что бы не попасть в сдвиг фаз. Иначе резонанс разойдется, и система остановится. Но, к счастью, не нужно успевать это делать за наносекунды, так как изменение резонансных частот будет происходить в основном из-за нагрева или деградации, а это довольно инертный процесс из-за теплоемкости и стойкости системы.

При этом есть одна маленькая сложность. Ну, вернее, как сложность... есть одна охренеть какая проблема, которая заключается в том, что учитывая то, какая мощность разряда, и сколько энергии уйдет в излучение, после фокусировки этого излучения его мощность на квадратный миллиметр достигнет такой, что будет просто сжигать зеркала, линзы, и вообще все, что можно сжечь.

И если фокусировать свет параболическим зеркалом не проблема, так как там небольшая мощность на единицу площади из-за того, что свет размазан по всему зеркалу. То вот тот свет, что уже сфокусирован в точку, направить в луч или отразить будет проблема. Но тем не менее, это не невозможно.

Как это можно сделать?

Сначала стоит прикинуть сколько энергии уйдет в излучение. В зависимости от давления и типа плазмы это может быть от 20% до 80%. В нашем случае основной компонент топлива во всех парах - водород.

Водородная плазма под высоким давлением светиться не очень сильно, так как излучение в ней поглощается самой же плазмой. Отсюда можно предположить, что на излучение будет уходить около 40% энергии, плюс-минус.

При такой плотности энергии линзы сразу отпадают. Коллиматор просто не выдержит таких плотностей энергии, хоть из алмаза его делай. И остаются только зеркала и другие приемы. Но обычные зеркала тоже не факт, что справятся.

Конечно, можно попробовать поставить диэлектрические зеркала с коэффициентом отражения 99.8%. Но скорей всего не вывезут даже они. Ну уж сильно большая плотность энергии может получиться, особенно после накачки, и они в лучшем случае испарятся. А в худшем вообще фотоядерные реакции можно получить. Отсюда нужно сразу придумать альтернативный вариант.

Плотность энергии, если что, будет от  $10^8$ - $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>, и тут еще есть шанс с зеркалом, если сделать его максимально качественно, но в идеале нужно добиваться энергии  $10^{11}$ - $10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>, что бы начинали работать эффекты самофокусировки, и получалась стабильная плазменная вена постоянного диаметра. Отсюда нужен другой вариант.

Один из таких, это фокусировка зеркалами под малым углом. Делается это когда луч падает на зеркало под острым углом, из-за чего получается "полное отражение". Плюс его точка "размазывается" в эллипс, из-за чего плотность энергии на единицу поверхности снижается. И это хороший вариант, если нужно завернуть луч. Но чаще это применяется для того, что бы собрать свет в точку, а не в луч. Отсюда этот вариант есть смысл использовать для первичной фокусировки. Но еще же нужно отражать луч, что прошел насеквоздь через плазму.

Для такого отражения можно использовать плазменные зеркала. Плазменное зеркало — это плазма под большим давлением. Она отражает свет подобно обычному зеркалу. Но проблема в том, что такие зеркала одноразовые. Так как создать плазму на сколько плотную, что бы она отразила лазер, можно либо сжатием при помощи разряда, либо за счет абляции (испарения материала, где улетающие частицы уносят тепло).

Сжатие разрядом и так есть, и плазма в канале и так плотная. Но плотной она становится после того, как разряд ее сжал (через пикосекунды). Но разряд идет за лазером, а фронт лазера идет по низкоплотной плазме, из-за чего проходит ее насеквоздь, лишь немного рассеиваясь и отражаясь на частицах.

В итоге фронт лазера все равно будет с большой мощностью и плотностью энергии. И тут проблема в том, что его длительность не важна, так как даже пикосекундный импульс может выбивать атомы из материала, просто за счет их ионизации. То-есть зеркала будут умирать даже от очень коротких импульсов.

Отсюда нужно использовать плазменное зеркало, которое получается из-за абляции. Работает оно так: при попадании лазера материал исплавляется (испаряется сразу в ионизированном виде). Но из-за инерции атомы не разлетаются мгновенно. В добавок лазер их "вдавливает" в поверхность (почему лазер вдавливает будет в следующем приложении). И в итоге эта плотная плазма отражает этот лазер.

Но проблема в том, что частицы все равно разлетаются, и в итоге на месте, куда попал лазер, образовывается дыра. И такие плазменные зеркала, по сути, одноразовые.

Отсюда нужно как-то извернуться, сделав его многоразовым. И такой вариант есть. Зеркало можно сделать из жидкого металла в вакууме или в инертном газе (что бы не окислялось). Тут вариантов множество. Олово, серебро, ртуть, да что угодно, что хорошо отражает, и текучее.

Логика такая: лазер влетает в этот зеркальный расплав, создает все так же плазму, отражается, и улетает себе по своим делам. К следующему импульсу дырка просто заполняется за счет текучести и поверхностного натяжения.

Что касается ионов металла, что попали в этот вакуум или инертный газ, то плевать на них, остынут и сами конденсируются. Конденсация будет все равно происходить быстрее, чем лазер испарит весь металл (которого может быть хоть ведро). При этом емкость закрыта, что бы пары не улетали (не стоит бояться токсичной ртути, например, так как она заперта).

При этом да, будут кое какие проблемы. Например, получившаяся яма не успеет заполнится к тому времени, как прилетит следующий импульс, и отражение пойдет не идеально назад, а куда попало (произойдет рассеивание). Но решить это можно, если сделать корпус из волновода, и весь отраженный свет снова собирается и снова направляется куда надо. Ну да, будут потери на волноводе, но лучше потери на волноводе в 2%, чем потери всей энергии, что ушла в виде рассеянного света.

Ну а что бы яма быстрее “заплывала”, можно добавить на донышке магнитное поле, что притягивает к себе металл, выравнивая тем самым его поверхность. Плюс такое магнитное поле позволит эксплуатировать систему в любом положении. Хотел бы сказать я. Но это не сработает. Жидкие отражающие металлы, типа ртути, не магнитные. А диэлектрики тем более.

Но для них тоже есть вариант. Это высокочастотное электромагнитное поле, которое индуцирует в немагнитном металле вихревые токи. Токи порождают собственное магнитное поле, и уже за это магнитное поле можно двигать металл.

Еще ртуть можно удерживать просто за счет поверхностного натяжения. Диаметр лазера минимальный, и отсюда можно сделать тонкую трубочку с ртутью.



Вот такую как на картинке.

Да, из-за поверхностного натяжения на “верхушке” будет шарик, который будет не строго отражать, а немного рассеивать излучение. Но его можно потом снова сфокусировать.

Также можно сделать трубку со смачиваемыми стенками (например, для олова трубка из луженой меди). И тогда поверхность будет наоборот вогнутой.

Держать в расплавленном состоянии металл можно при помощи индукционного нагрева. И высокочастотным магнитным полем позиционировать в трубке.

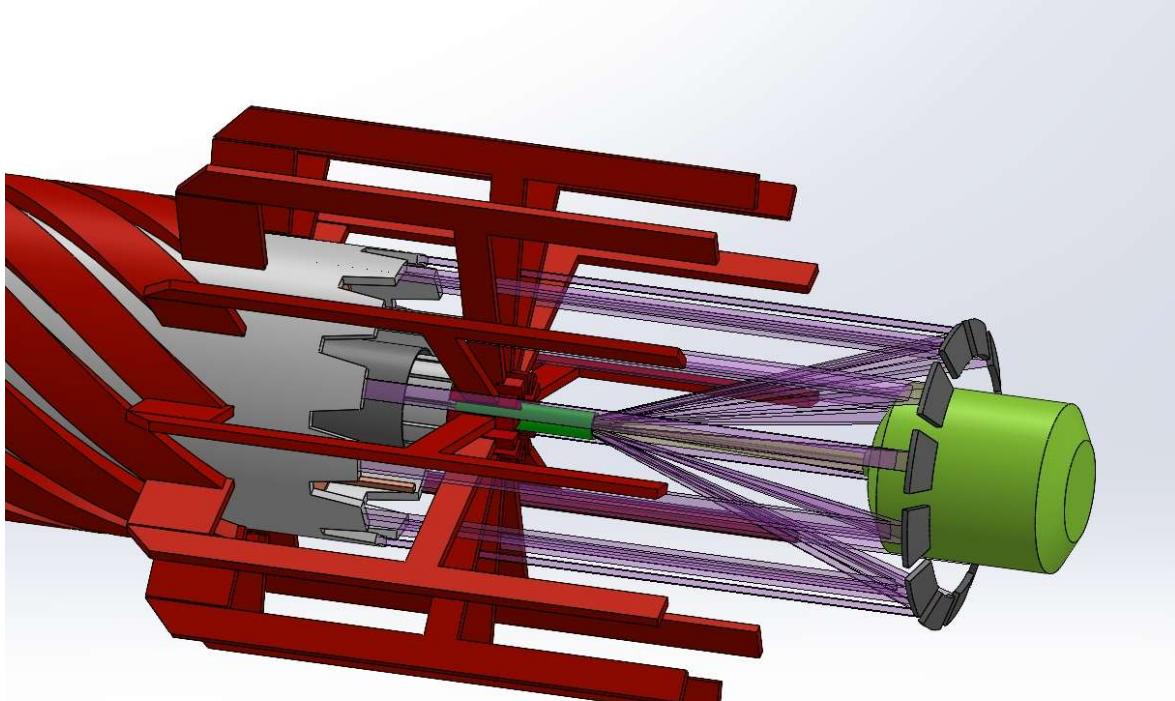
Да, с каждым импульсом количество жидкого зеркала будет уменьшаться. Но его можно точно и дозированно подавать с заднего торца трубки. А улетевшие ионы со

временем остынут и конденсируются, и их можно будет собрать в резервуар, из которого расплав подается в трубку.

Что касается магнитного поля, то можно добавить слабое поле, что бы плазму, что испарились, отправлять куда надо и конденсировать.

И, например, если использовать ртуть, то потенциально при высоте ртутного столба в трубке 5мм (лазер сколько не испарит за наносекунду), диаметр трубы может быть до 2мм, что бы ртуть не выливалась, когда трубка вверх ногами. Если сократить высоту до 1мм, то диаметр можно увеличить до 10мм. Ну а если брать галлий или другие материалы, то там диаметры еще больше при тех же параметрах.

На схеме жидкое зеркало с резервуаром, в котором оно храниться, условно изобразил зеленым.



Отраженный свет может либо возвращаться тем же путем, что и пришел, либо отводиться в сторону и возвращаться по другому пути.

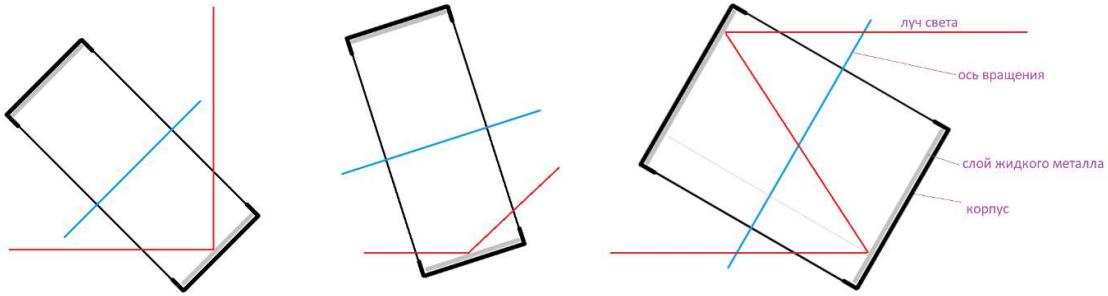
В добавок такая колба с жидким зеркалом и инертным газом или ионами этого зеркала (ртути например), если добавить в нее пару электродов, может служить как генератор излучения (лазера), это может дать вспомогательный лазер для дополнительных функций. Например, для запуска системы (для первичного пробоя).

Но не факт, что отраженный назад лазер — это вообще хорошо в контексте предлагаемой мной системы. Идущий навстречу отраженный пучок фотонов может только мешать, ломая структуру разрядов, так как он будет идти с задержкой. И может вызывать паразитные срабатывания системы.

Отсюда этот момент возврата нужно будет либо подбирать, путем изменения расстояния до зеркала, что бы возврат луча проходит в нужное время. Либо же рассеивать луч, а после собирать и отправлять назад в зону, откуда идет лазер (опять же подбирая задержку).

Регулировка задержки выполняется все так же. Отодвигается зеркало, и путь света увеличивается, как и время, за которое он проходит этот путь.

Если задача не отражать луч, а отводить в сторону, что бы вернуть на начальную позицию, то это можно сделать при помощи динамических зеркал. Например, зеркал, что вращаются, или зеркало в виде бегущей струи жидкого металла. Работает условно вот так:

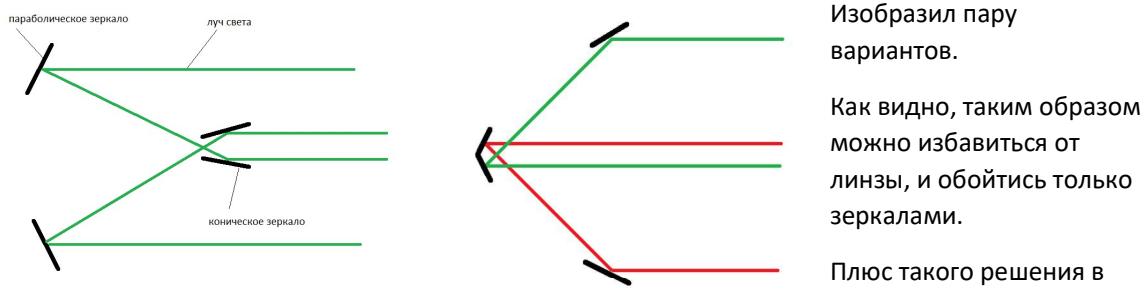


Делается некая емкость, что вращается, и придавливает центробежной силой жидкий металл к стенкам.

Но нужно понимать, что из-за частоты работы системы, место попадания луча не будет успевать достаточно смещаться как во вращающейся системе, так и в системе на базе бегущей струи. И все равно будет происходить рассеивание, и не точное отражение. Отсюда проще сразу рассеивать свет, и собирать волноводом, чем пытаться его точно отразить.

Но это что касается отражения уже сфокусированного луча, который не был поглощен плазмой. Но этот луч нужно сперва сфокусировать, как я говорил, и линзы для этого не подходят.

Отсюда нужно выполнять фокусировку при помощи фокусирующих зеркал в вакууме. Сделать это можно условно так:



что, если подобрать угол падения на второе (коническое) зеркало таким образом, что бы он был не больше 1-2 градусов, можно получить полное внутреннее отражение из-за френелевских эффектов.

Но оно все еще не абсолютное из-за комптоновского рассеяния, и нагрев будет происходить. И даже в таком случае можно прожечь зеркало.

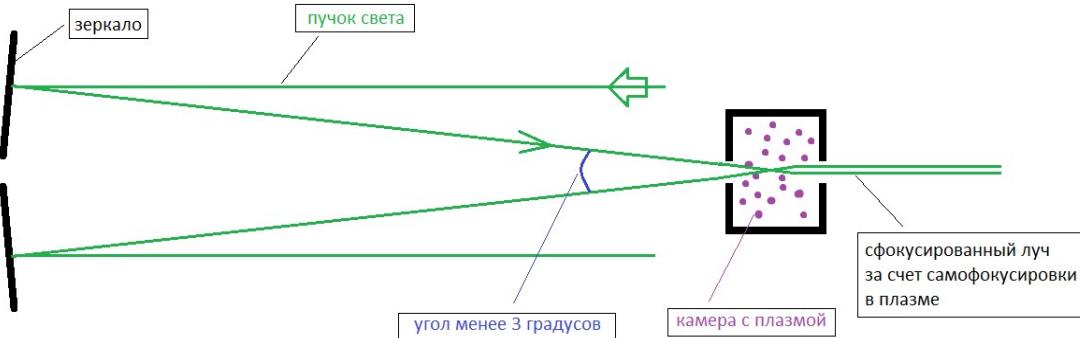
Отсюда его желательно сделать самовосстанавливающимся, из того же жидкого металла. Ну а сделать такое внешнее зеркало из жидкого металла можно, если использовать центрифугу, раскрутив емкость с металлом до высоких скоростей. Только в идеале не механическую, а электромагнитную, где вращается магнитное поле.

Единственное, что нужно будет создать еще коническую форму, но это можно сделать если просто напихать с одной стороны постоянных магнитов. Вращаясь металл будет двигаться в магнитном поле, в нем будут возникать вихревые токи (даже если он не магнитный), они будут возбуждать магнитное поле, и металл будет притягиваться или отталкиваться от магнитных полей магнитов.

При этом как можно заметить, невозможно получить пучок меньше определенного диаметра. В первом случае отверстие, через которое проходит свет, всегда меньше диаметра самого пучка. Во второй схеме не получится добиться полного отражения, и будет ниже КПД и расход зеркала.

В добавок небольшой перекос, и луч пойдет не туда, куда нужно. Что может быть критично в вибронагруженных системах. И учитывая, что это еще динамическая конструкция, что бы получить луч тоньше миллиметра, нужно будет постараться.

Отсюда есть еще один вариант. Это попробовать использовать плазму для фокусировки. Вот так:



Здесь уже удобно то, что для собирания луча в точку можно использовать и параболическое зеркало, и просто фокусирующую линзу. А дальше, степень фокусировки менять плотностью плазмы и расстоянием, которое луч проходит в ней.

Логика такая, что до определенной плотности энергии ничего не будет происходить. Но чем сильнее свет будет сходиться в точку, тем больше будет возрастать плотность. И так до тех пор, пока не случиться пробой в точке (вернее не в точке, а по эллипсу), и дальше может получиться самофокусировка в газовой среде. Плюс сама плазма, если сделать ее переменной плотности (от центра луча наружу), будет работать как градиентная оптическая среда.

И чем меньше угол падения и больше плотность плазмы на участке, где получается точка, тем лучше это будет работать. Только важно, что тут это будет работать не за счет френелевского полного отражения, а за керровского эффекта преломления. То-есть лазер будет не отражаться словно от стены, а плавно “заворачиваться”, как в градиентной оптике. И чем острее у него будет начальный угол падения, тем меньше ему придется заворачивать.

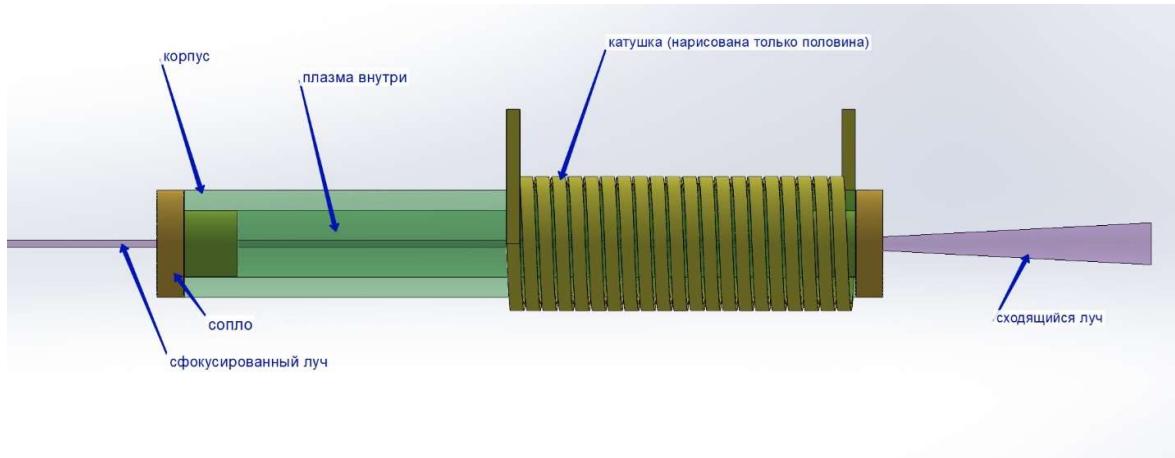
Получить профиль давления плазмы можно при помощи разряда в капилляре можно за счет высокочастотного магнитного поля, которое будет “цеплять” плазму и раскручивать. Ну а что бы плазма не покидала емкость, удерживать ее в ней при помощи магнитных полей. Еще можно получить градиент просто за счет механического вращения корпуса с газом. Во втором случае даже плазма не нужна.

Сделать такую систему можно довольно просто. Взять трубку из диэлектрика, и по торцам установить обычные сопла от лазерных резаков (или подобную им деталь). После вокруг трубы намотать катушку или даже установить постоянные магниты таким образом, что бы эти сопла были плюсовым полюсом (катодом), а середина трубы – (анодом). Тогда плазма будет отталкиваться от сопел (так как она положительно заряжена), и сбиваться в центральную зону трубы.

Ну а создавать плазму можно добавив в катушку высокую частоту. То-есть сделать высокочастотный ионизатор.

В итоге определенных условиях можно вообще обойтись без линз. Сначала отразить свет зеркалами так, что бы он шел с малым углом, а потом использовать саму плазму как фокусирующую среду. Потенциально это позволит создать лазерный пробой лучом тоньше миллиметра.

Выглядеть это условно может вот так:



Изображение очень условное. Так как нужно закручивать плазму внутри трубы, то катушка должна быть с продольными витками. Если нужна не только фокусировка, но и отражение, то внутри еще должна быть трубка с расплавленным металлом, и индуктор, что ее нагревает, и так далее. Но это все детали, так как способов получить то, что нужно, есть несколько. Просто нужно выбрать тот, что лучше всего подходит.

Что касается газов, то более тяжелые газы будут иметь меньше КПД, но будут быстрее фокусировать и их проще удерживать. А более легкие будут обладать более высоким КПД. Отсюда если размер не проблема, то это гелий и неон, а если нужно в малых габаритах получить фокусировку, то ртуть, аргон, ксенон.

Степень фокусировки можно регулировать длиной трубы, плотностью плазмы, и резкостью градиента давления.

Но в идеале добиться самофокусировки лазера без каких-либо дополнительных элементов, просто за счет высокой плотности энергии. Так как даже если сфокусировать его в идеальный луч диаметром в 1 миллиметр, у него все равно будет расходимость. И при длине волны 532 нанометра из-за этой расходимости на метре он увеличится в диаметре на 0.68 мм (в вакууме). Расширение луча происходит из-за дифракции света (дифракционный предел фокусировки), и зависит от длины волны и начального диаметра луча.

И такой конусный луч может сломать канал. Так как во первых по мере прохождения через плазму у него и так будет снижаться энергия и меняться спектр, что будет снижать его ионизирующую способность по мере удаления от источника луча, а во вторых он еще и конусом будет расходиться, и плотность энергии будет уменьшаться в два раза за каждый пройденный метр.

Как это скажется на плазменном канале пока сказать сложно, и нужно тестировать. Но, с другой стороны, это свойство можно и использовать. Например, если подавать лазер с двух сторон, то можно получить вот такую картину:



И если к этому добавить еще эффект от скручивающихся разрядов, можно получить локализацию зоны реакции в центре канала. Зачем это нужно, расскажу дальше. При этом это будет работать даже если синхронизация лазеров не идеальна.

Но с этим лучом есть некая проблема, и заключается она в том, что, во-первых, от разряда луч в обе стороны выходит не одновременно, а во-вторых, что если использовать отраженный луч, то он будет переотражаться так же много раз, и если первое переотражение еще можно синхронизировать по времени с главным импульсом, то вот второе уже сложнее. Из-за чего можно получить сдвиги фаз.

Отсюда нужно либо делать два разряда, идущих навстречу друг другу, и импульсы, идущие в две стороны (эту идею еще рассмотрим). Либо можно сделать несколько "труб" (несколько реакторов), где импульс от одного переотражается и попадает в соседний реактор, и так по кругу. Да, у таких импульсов может быть сдвиг по фазе, но при этом будет синхронизация по времени.

---

На этом же принципе можно создать плазменный лазер с высоким КПД. Типичный плазменный лазер, такой как CO<sub>2</sub>, имеет КПД в районе 10-20%. Остальное уходит в тепло в плазме и ЭМИ. Тут же ЭМИ и давление (тепло) плазмы рекуперируется и используется снова для накачки, что позволит поднять КПД лазера до 50-80%. В добавок такая система позволит сделать более мощный лазер в компактных габаритах. Так как меньше энергии будет уходить в тепло, а следовательно, меньше будет теплонагруженность системы, что позволит уменьшать корпус при сохранении мощности.

Что бы получить нужный спектр, просто поставить брегговское зеркало, что не отражает в нужном спектре, ну и подобрать состав плазмы под этот спектр. То-есть луч будет проходить через плазму, попадать на зеркало, и через него будет проходить только нужный спектр, а остальной развернется и отправится назад в плазму для ее пробоя и нагрева.

Про боевое применение лазера я писать не буду, так как это не особо ценная технология. Да и моя плазморельсовая концепция намного круче, многофункциональней и универсальней. Так что я не думаю, что кто-то возьмет кусок отсюда и попытается сделать боевой лазер. А вот для чего такой лазер можно использовать, так это, например, для бесконтактной плавки металлов.

## Нагрузки, потери и эффективность

Теперь стоит поговорить о том, какие проблемы будут при использовании такой схемы и зачем вообще нужна локализация зоны реакции.

Напомню, что основная концепция заключается в комбинированной схеме, где потери энергии минимизируются и рекуперируются. При этом сколько энергии нужно на реакцию, и какой будет выход полезной энергии, зависит от того, на сколько большими будут потери.

С основными потерями уже разобрались. Катушки собирают ЭМИ и отправляют назад в плазму, они же собирают тепловую энергию плазмы, которая переходит в давление, которое в свою очередь расширяет плазму, и расширение плазмы возбуждает ЭДС в катушках, после чего эта энергия переходит назад в плазму через разряд. Ну а тепловое и световое излучение собирает волновод, после чего из него создается лазерный фонарь, который возвращает энергию назад в плазму.

Понятно, что система будет затухающей, если ее не снабжать энергией, так как в каждом элементе будут потери, которые выражаются в нагреве. Но система будет получать энергию из ядерных реакций. И если условно суммарные потери составят 10% на каждом цикле, то для того, что бы система сама поддерживала свою работу, нужно будет, что бы в результате реакции выделялось всего 10% энергии от той, что нужна на проведение реакции. А это вполне реально. ITER показывает 60%, например.

При этом эти 10% не будут потерями в прямом смысле. Это будет выход энергии в виде тепла при работе системы в режиме самоподдержания (без прямого съема).

Прямой съем будет давать такой КПД:

Если потери в виде тепла 10%, а в результате реакции выделяется 60% от той энергии, что нужна для проведения реакции ( $Q$  реактора 0.6), то  $5/6$  энергии, получаемой в результате реакции, можно снять прямым съемом, и  $1/6$  будет выделена в виде тепла. И тогда можно сказать, что КПД прямого съема  $5/6$ , что равняется 83%.

В итоге КПД прямого съема будет 83%.

Но оставшиеся 17% энергии, что выделились в виде тепла, можно так же использовать. Ее можно использовать для отопления, для расщепления воды на кислород и водород (если это высокотемпературное тепло), и так далее.

Также можно прогнать это тепло через воду, получить пар, и при помощи него вращать турбину, вырабатывая в итоге энергию классическим методом.

На сегодняшний момент КПД теплоэлектростанций классического цикла Ренкина составляет около 50% (системы на перегретом паре и турбинах высокого давления). Те же, что дополнительно преобразуют остаточное тепло при помощи органического цикла Ренкина, могут получать еще 10-30% энергии из остаточного тепла.

В итоге из выделившейся энергии в виде тепла можно как минимум 50-60% превратить в электрическую.

Причем идея такая, что реактор просто привозится на типовую ТЭЦ, устанавливается рядом с котлом, охлаждается газом, который циркулирует по замкнутому циклу, и нагревает воду в кotle. Но при этом реактор еще и поддерживает прямой съем энергии. То-есть на нагрев воды идут только потери в реакторе. И вся ТЭЦ, по сути, просто хитрая система охлаждения, эффективно утилизирующая теплопотери. Это позволит увеличить мощность электростанции раз я 5, если 1 единица энергии будет получаться паровым циклом, и 4 – прямым съемом. Это возможно, если КПД реактора будет 80%.

Да, там еще нужно будет использовать принцип теплового насоса, сжимая газ перед подачей в котел, а после снимать давление перед тем, как подавать на охлаждение реактора. И на это будет тратиться какой-то процент энергии, но это нюансы. Ну или просто можно сделать высокотемпературный реактор, который охлаждать солями, как делают сейчас с твердотопливными реакторами на тяжелых металлах.

Кроме этого, есть еще термоэлектрические компоненты, которые тепловую энергию превращают напрямую в электрическую. Их тоже можно использовать если нет возможности использовать паровую турбину. И они так же помогут вернуть часть энергии.

В итоге в наземных системах потери энергии составят только около 10%. Хотя как потери. Если эта система стоит в холодных регионах, то это остаточное тепло все еще можно использовать, скажем, для отопления. Так как там еще 70-80 градусов остается.

Более того, на самом деле можно создать тепловую систему замкнутого цикла и сделать так, что бы вообще не было потерь в виде тепла, и вся энергия снималась в виде электрической. Но для наземных систем это не особо актуально, отсюда эту концепцию я рассматриваю в самом конце этой книги.

Также подобные реакторы можно использовать, например, для сталелитейных заводов, утилизируя тепло на нагрев металла, а электричество, полученное прямым съемом, использовать на нужды города.

Например, можно сделать высокотемпературный реактор (что бы температура стенок была около 1000 градусов). Отводить тепло при помощи обдува газом (керамика инертна до 1700 градусов). После этого нагретый газ дополнительно сжимать, затратив немного энергии, и тем самым получить высокотемпературную воздуходувку, которую использовать для плавки металлов. Причем это можно прикрутить даже к уже существующим доменным печам, просто выкинув стандартную горелку, и поставив вместо нее реактор. Так как там нагрев металла происходит именно за счет горячего газа, который нагревается в специальных "газогрелках" (кауперах).

Само собой после того, как сжатый газ выполнит свою работу, его не нужно выбрасывать, а просто снять давление, и отправить на реактор, что бы он снова подогрелся, сделав систему замкнутого цикла.

--

Ну а что касается прямого съема энергии, то это имеет еще одно неочевидное преимущество. Если превращать тепло в электричество, то для этого, как я уже сказал, нужна паровая турбина. Вот только проблема паровой турбины в том, что она не может вдруг взять и выдать x10 мощность на 1 секунду. А прямой съем может.

Проще представить это на примере электродвигателя и ДВС. Двигатель внутреннего сгорания выдает ту мощность, что в него заложена. И как не старайся, он не выдаст больше без изменения конструкции. Ну например можно поставить наддув, но это требует изменения степени сжатия и усиления всей конструкции. Более того, это будет рабочая мощность (номинальная), а не пиковая. Пиковая мощность у ДВС от рабочей отличается процентов на 30, и то в ущерб ресурсу.

А вот электромотор может выдать пиковую мощность в 10 раз больше, чем номинальная. Да, если долго насиовать так мотор, то без охлаждения он просто сгорит, но вот кратковременно выдать мощность он способен.

И вот с прямым съемом так же. Можно будет резко увеличить интенсивность реакции и снять кратковременно X10 мощности с реактора, используя его теплоемкость для поглощения возросшего тепловыделения. Причем он еще и сам будет ограничивать время работы в таком режиме, так как с нагревом будут упливать резонансы, и реакция будет тормозиться.

Это все в свою очередь позволяет ставить более компактный и слабый реактор в систему, и не использовать большие батареи или конденсаторы для компенсации возросшего энергопотребления. Так как просто можно будет при резком росте нагрузки выдать кратковременный пик на реакторе.

Это актуально в системах на транспорте, таких как атомные ледоколы и так далее, где нагрузка может резко увеличиться, когда корабль наезжает на льдину.

\*\*\*

Но какой будет КПД резонансной системы? Сколько энергии будет теряться на каждом цикле сжатия плазмы?

Потери на “трансформаторе” (катушке) будут до 5% на каждом цикле. Вообще трансформатор без сердечника, который полностью экранирует импульс, имеет КПД, стремящееся к 100%, так как токи Фуко минимальны (сердечника нет), потери на скин-эффект тоже минимизировали, и все потери ограничены только потерями на сопротивление проводников. Но если использовать графен или “плазмоизжевый” проводник, то эти потери тоже можно сократить почти до нуля.

Да, кто-то еще вспомнит про индуктивные потери за счет среды, находящейся вокруг катушки. Но все они в итоге уйдут в плазму, и просто подогреют ее. Так как плазма – единственная такая среда (если вокруг сделать вакуум). В итоге эта энергия не будет потеряна.

Отсюда я считаю, что потери на катушке на старте будут до 5%. Но потенциально их можно сократить до 1-2%.

На электродах будет жидкий металл, который будет испаряться при каждом разряде, и это будет выливаться в потерях. Так как на испарение будет тратится энергия, потом эти пары надо будет удалять из плазмы, конденсировать, и так далее. Но это не более 1-2% от общей энергии.

Плюс в эти 1-2% еще и входят затраты на замену плазмы (топлива), удаление продуктов реакции, сепарация плазмы и так далее. Так как это все один процесс.

Лазерные компоненты, такие как компоненты волновода, имеют коэффициент светопропускания 98% и выше. Зеркала так же имеют низкий коэффициент потерь (0.1% и менее). Отсюда потери лазера в видимом спектре будут не более 2% на каждом цикле.

Но это в видимом спектре. В плазме же присутствует жесткий ультрафиолет и даже гамма. И вот для УФ и гаммы эти коэффициенты гораздо печальней.

Для УФ кристаллические материалы имеют коэффициент около 40%, полые волноводы повыше. Но это для обычного УФ спектра в диапазоне 150-400 нанометров. А водородная плазма излучает в сверхжестком спектре (60-120nm), и здесь потери еще больше... Могли бы быть, если бы плазма это излучение тут же не поглощала.

Ультрафиолет в таком спектре даже не долетит до стенок волновода. Связано это с тем, что ультра жесткий УФ поглощается любым газом. И плазма, что внутри, представляет собой такой газ. И если это водородная плазма при нормальном давлении, то 90% излучения поглотиться в первый миллиметр пути по этой плазме. То-есть до стенок волновода, которые находятся в нескольких сантиметрах от источника излучения, в лучшем случае долетит десятая доля процента излучения.

Правда это излучение вызывает сильную деградацию поверхности волновода. Но в том количестве, которое до него долетит, возможно это не будет проблемой.

В итоге проблема сверхжесткого ультрафиолета решилась сама собой, ну а остальным спектром справится обычный сапфировый или подобный волновод.

Но остается еще рентген и гамма излучение (тормозное и синхротронное). При обычных условиях синтеза, при температуре плазмы около  $10^8$  градусов, на это излучение будет уходить 1-5% от общей энергии системы.

Я думаю, что, если использовать большие токи вместо большого напряжения, эти потери можно сократить. Но это не точно, отсюда правильно будет предположить, что в этом направлении будет теряться 5% всей энергии, и с этими потерями на текущем этапе развития технологий ничего нельзя сделать, кроме как превратить их в тепло (рассеивая на защите).

В будущем, конечно, будут созданы покрытия, что будут перенаправлять это излучение, а не просто рассеивать. Также можно использовать фотоэлектрические покрытия, которые работают как солнечные панели, только с гамма и рентген излучением, что позволит 10-20% энергии превратить в электрическую. Но это в будущем.

Вообще такие покрытия называются “нелинейные ориентированные нанокристаллические метаматериалы на квантовых переходах”, но как я говорил, слово “квантовые” является заглушкой, которая означает “мы не знаем, как это работает”. А остальные слова в этой куче просто кричат о том, что “мы в душе не представляем, что это за дичь, но оно как-то работает”. Так что я пока называю эти штуки просто “фотоэлектрические”. Название тоже не отражает сути, но хоть коротко.

Еще есть вариант утилизации гамма излучения через сцинтилляторы (это те самые, что в детекторах используются). Они возбуждаются, когда через них проходит гамма излучение, и светятся в видимом или УФ спектре, что потенциально позволит превратить какой-то процент гамма излучения в видимый спектр, а тот уже использовать лазера.

Но проблема такого решения – нужно много сцинтиллятора, и КПД низкий, только 10% потеря в виде излучения получится “завернуть” назад, и то в лучшем случае. Остальное все равно уйдет в тепло.

Еще в теории можно использовать “плазможижу”, которая будет поглощать излучение, возбуждаться, и светиться. Плазма эффективно поглощает гамма излучение. Но минус такого решения в том, что такую плазму нужно будет поддерживать и удерживать, тратя на это дополнительную энергию. И делать такую защиту отдельно смысла мало. А вот если она будет выполнять еще какую-то функцию (например, работать проводником), тогда это имеет смысл.

--

В итоге даже с “базовыми” технологиями, доступными на текущий момент, потери на каждом элементе будут составлять несколько процентов. Возьмем 5% для простоты.

При этом из-за того, что в свет уходит не вся энергия, а только 40% от энергии разряда, то в итоге 5% от 40% это 2% от суммарной энергии. Аналогично в ЭМИ уйдет 20%, 5% от 20%, это 1% от суммарной энергии. Остальная энергия уйдет в нагрев плазмы, что в итоге повысит ее давление. Перевод давления в ЭДС будет не идеальным, так как хаотичное движение частиц будет возбуждать встречные токи в обмотках, и эта энергия будет уходить в итоге в тепло. В итоге потери составят еще около 10%, 10% от 40%, это 4%. И остаточные потери – это гамма излучение, 5%. В итоге суммарные потери будут 12% (в идеальных условиях). Это в безнейтронной реакции.

В реакции с нейтронами потери будут больше, так как нейтроны уносят большую часть энергии, и прямой съем будет не такой эффективный, так как нейтроны не взаимодействуют с магнитным полем, и отсюда в таком цикле энергию придется получать из тепла при помощи классического метода, либо при помощи метода, который я опишу ближе к концу, так как там будет магия, которая сломает всех свидетелей термодинамики.

При этом система под водородный цикл будет меньше по размеру, так как энергии для синтезадейтерия сдейтерием нужно в 10 раз меньше, чем для синтеза протона с бором, что уменьшает

требования к системе по мощности, а энергии такая реакция будет давать больше в два-три раза. Плюс такая реакция сама будет производить себе топливо.

Отсюда для электростанций логично использовать каскадный водородный цикл, а для маломощных (мобильных) систем бор-водородный.

\*\*\*

И тут хочу сделать отступление и поговорить об идиотах. Да, в разговорах о концептах и основных принципах всегда нужно говорить об идиотах. Потому что всегда найдется идиот, который скажет, что “вообще-то потери на волноводе будут на 2%, а 7%, потому что ты не учел 1 и 2 и 3”.

Но это примерно как сказать изобретателю двигателя внутреннего сгорания, который рассказывает о принципах работы четырехтактной схемы, и о том, что есть поршень, коленвал и камера сгорания, что вообще то двигатель не будет работать, потому что сальник коленвала начнет протекать на 70 000 км, так как его ширины недостаточно, и нужно ставить двубортный.

И даже если изобретатель, закатив глаза, скажет ему, что вообще плевать на сальник, можно намотать войлока на худой конец, идиота это только раззадорит и вынудит дальше спорить, ведь идиот искренне не понимает, как это на сальник наплевать, ведь протекает же после 70 тысяч, и продолжит настаивать, что двигатель говно, ведь сальник же протекает после 70 тысяч.

То-есть я рассказываю принципиальную схему, что потери во всех направлениях рекуперируются. А те, что не получилось рекуперировать сразу, и что в итоге ушли в тепло, тоже рекуперируются, только по классике, по стимпанку. И вообще принципиально не важно, ушло в тепло 10% или 20%, ведь это лишь означает, что во втором случае нужно поставить паровой котел и паровую турбину в два раза больше.

Более того, даже это остаточное низкопотенциальное тепло, что осталось после паровой турбины, можно полностью рекуперировать, либо через тепловой насос загоняя на подогрев возвратной воды (да, ценой трети активной мощности, которая перейдет в реактивную, но в результате вырастет общий КПД топлива), либо при помощи “специальной магии”, о которой я поговорю в конце книги. То-есть можно создать систему вообще без теплопотерь.

Не идиоту не важно это все, ведь не 3%, а 7%, потому что они не понимают разницу между водой и морем, между деревьями и лесом, между концепцией и деталями. Поэтому с идиотами спорить бесполезно, потому что там сальник как протекал, так и будет протекать.

\*\*\*

## Полная рекуперация тепла

Если кто не понял магию с тепловым насосом, объясняю. Допустим имеем классическую ТЭЦ. Она сжигает 100 единиц топлива, получает с них 100% энергии, и получает 60% энергии в виде электрической, через турбину (КПД современной конденсационной турбины на перегретом пре высокого давления 60%).

Дальше берется тепловой насос, например, с коэффициентом теплового насоса 1к3, что означает, что он затрачивает одну единицу энергии, что бы перекачать 2 единицы энергии (и вместе получается 2 перекачал, одну свою добавил, и того 3).

Этот тепловой насос берет остаточное тепло от конденсированного пара, которого там еще 40% от начальной энергии, перекачивает в возвратную магистраль, подогревая возвратную воду, которая

там уже находится под высоким давлением, и не закипит. Дальше эта вода попадает в котел и догревается топливом.

При этом что бы перекачать 40% от общего количества энергии, тепловой насос будет потреблять 20% от общего количества энергии, так как его коэффициент 1к3.

В итоге на выходе будет не 60% электроэнергии, а только 40%, так как компрессор ТН забрал 20% на себя. Но только теперь нет потерь в виде остаточного низкопотенциального тепла и вся энергия от сгорания топлива переходит в полезную работу (в электричество).

Да, тут может показаться что секунду, изначально то сгорало 100 единиц топлива и давало 100% энергии, и электричества было 60% от этой энергии. А теперь 40% электричества получается, а топлива все еще 100 единиц сгорает. В итоге стало только хуже.

Но нет. Потому что теперь 60% начальной энергии получается из остаточного тепла и теплонасоса. Так как тепловой насос берет 40% энергии из остаточного тепла, и добавляет к ней еще 20% энергии, которую тратит на свою работу (она не теряется, а тоже переходит в тепло на подогрев возвратной воды). И теперь все, что нужно, это недостающие 40% начальной энергии добавить из топлива.

То-есть в такой системе в первом цикле сгорает 100 единиц топлива и дает 100% энергии. Но во втором и последующих циклах от топлива требуется дать только 40% энергии, а значит нужно только 40 единиц топлива.

В итоге затраты 40 единиц топлива, полезный выход энергии 40 единиц, активная мощность упала на 33% (было 60 изначально), конструкция усложнилась, но КПД сжигания топлива 100%, Q системы – единица.

Мощность, что можно снимать для выполнения полезной работы, называется “активная мощность”, запертая в системе энергия, что циркулирует по кругу, называется “реактивная мощность”, а сумма реактивной (запертой) мощности и активной (выходящей) называется “аппаратная мощность” или “полная мощность”.

Более того, на самом деле не обязательно только остаточное тепло рекуперировать через тепловой насос. Так-то можно и просто обычный атмосферный воздух “выжимать” по теплу, и это тепло пихать в систему. То-есть после теплообменника температура может быть ниже атмосферной. И получиться буквально система, что берет энергию из воздуха.

Логика такая, что, как я посчитал, при коэффициенте теплового насоса 1к3 и КПД парового цикла 60%, при начальной энергии 100 единиц, выход полезной энергии будет 40 единиц при затратах 40 единиц топлива. Но дело в том, что этот же выход в 40 единиц можно использовать в качестве топлива, загоняя его назад и просто нагревая этой энергией воду в котле. И тогда система будет работать в холостую, то есть вся мощность будет реактивной.

Теперь если взять эти 40 единиц энергии, и тратить их не просто на нагрев тенов, а потратить на тот же тепловой насос скажем 20 из них, и добавить возможность тепловому насосу брать тепло не только из конденсированной воды, но и из воздуха через теплообменник, то тепловой насос начнет выкачивать энергию из воздуха.

При этом если этот второй тепловой насос будет иметь даже более низкий коэффициент, скажем 1к2, то затратив 20 единиц энергии он загонит в систему 40 единиц энергии (20 что затратил, и 20 что перекачал), и покроет дефицит. И в итоге высвободиться 20 единиц энергии, которые можно будет снять. Плюс в качестве побочного продукта на выходе будет охлажденный воздух на те же 20 единиц энергии.

Тут не идет речь про “вечный двигатель”. В базе это скорей “даровой двигатель”, который для выполнения полезной работы использует внешний источник низкопотенциальной энергии (атмосферное тепло), которая восполняется от ядерного реактора, что называется словом “солнце”. Ну это так, на всякий случай уточняю для идиотов и прочих свидетелей вечных двигателей.

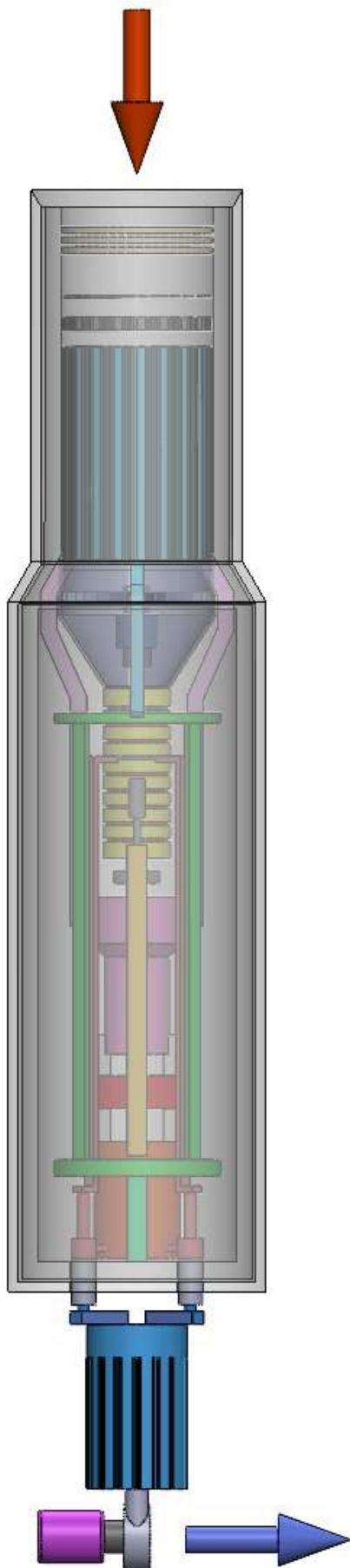
В итоге магии тут никакой нет. Без высокого КПД всех систем и высокого коэффициента теплового насоса установка не будет работать даже в ноль. Но текущий уровень технологий уже позволяет получить эффективность на уровне “дурной машины” или даже в легкий плюс. Да, не без сложностей, но это возможно.

Дурная машина – это такое устройство, которое обеспечивает энергией само себя, гоняя ее по кругу, и берет из окружающей среды ровно сколько, сколько в нее же и теряет, но никакой полезной работы не производит.

При этом, когда я говорю про “работать в ноль”, важно понимать, что энергообмен с окружающей средой все равно будет. Это не замкнутая изолированная система.

Ну и да, если что из вентилятора, кондиционера и чайника соорудить такую систему не получиться, там все чуть сложнее. Но об этом будет в другой работе.

Ну а устройство, что я описываю, может выглядеть условно вот так:



Это двадцатиметровая труба, которую можно хоть на крыше небоскреба поставить, хоть на крыше dataцентра, и она будет его питать энергией, еще и холод давать.

Внутри тепловой насос (не стандартный, хитрой конструкции), конденсационная камера, паровая турбина, котел, генератор, ну и куча всего по мелочи, и это все в "термосе".

Конечно, оно может быть не только в форме трубы, это можно и в контейнер запихать, и будет транспортабельным. Но просто мне показалось, что труба будет органично смотреться в городском пейзаже. Например, можно такой "столб" поставить в парке в каком-то Дубае, и он будет не только энергию давать, но и охлаждать парковую зону.

То-есть электростанцию можно сделать не как огромное строение на периферии, а как элемент городского пейзажа, так, что бы их можно было натыкать по всему городу, и сделать каждый район или небоскреб энергонезависимым.

Плюс такая "осевая" схема удобна тем, что можно сделать все на одном валу, не надо использовать угловые редуктора, которые имею более низкий КПД по сравнению с планетарными. К тому же в вертикальной схеме можно эффективно использовать гравитацию. Одна только высота уже дает +1-2 бара давления, и отделяет воду от пара.

Но эта книга не про этот концепт, и я не буду здесь разбирать подробную схему. Тут я не продаю, а только показываю это все с той целью, что это не только генератор, но и эффективная система рекуперации и утилизации остаточной тепловой энергии.

Любой тепловой энергии, от геотермальных источников и "выхлопа" dataцентров, до тепла от коров в коровниках и куриц в курятниках.

Ну и само собой она может утилизировать тепло от реактора, рекуперируя его и возвращая в систему в виде электроэнергии.

И с такой системой рекуперации тепла почти не важно какой там  $Q$  у реактора. Даже если он 0.1 (энергия, что выделяется в результате реакции, составляет только 10% от той, что понадобилась, что бы реакцию провести), то если реактор берет те самые 40% энергии, что заворачиваются назад в "дурной машине", это значит что полезный выход энергии всей системы (активная мощность) будет 4%.

Но 4% это не ноль. Это уже сверх единичная система. Это уже термоядерный синтез. Просто установка будет огромной, а выход мощности будет давать небольшой, так как большая часть мощности будет реактивной и будет просто по кругу бегать. Но это не важно, ведь это уже старт термоядерной энергетики. Дальше просто итерация за итерацией выжимать все больше.

То-есть мне нужна именно “дурная машина”, в которой в качестве тела установлена плазменная лампа. И это мой “гейм чейнджер” и “план Б”. Когда все бьются за Q термоядерного синтеза хотя бы 5к1, я просто решил, что мне плевать какой он будет.

Даже если все мои приемы по увеличении Q синтеза не сработают и теплопотери будут огромными, мой термоядерный синтез все еще будет работать и все еще будет эффективный. Всегда. При любых условиях. Потому что даже если я заменю ядерный реактор тупо на лампочку или на обычный электрический тен, это все еще будет работать если не в плюс, то хотя бы в ноль.

А еще эта штука в режиме “холодного цикла” вообще может держать проводники в состоянии сверхпроводимости без затрат топлива на это, а просто за счет уменьшения активной мощности.

То-есть это базовая платформа для начала постройки реактора и сбора данных по долговечности, эффективности, управляемости и т.д. для последующего “допила”. И на старте проекта рационально сделать такую вот “трубу”, чтобы даже если реактор будет не эффективен и не будет выдавать Q больше единицы, труба утилизировала потери, возвращая из них энергию, и система могла запуститься.

Ну а дальше дело за малым - просто повышать полезный выход энергии реактора, не меняя саму систему утилизации тепла. И чем больше реактор будет давать тепла, тем меньше нужно “возвращать” энергии в систему, и тем больше можно сниматься с установки в целом. А если реактор еще и будет давать что-то прямым съемом, то это будет плюсом в той энергии, что снимается с установки в целом.

Ну и просто для справки, первые паровозы были просто огромными обогревателями атмосферы. КПД паровоза было что то в районе 2-3%. У самых лучших, на перегретом паре, доходило до 4-6%. Сейчас КПД паровых систем 60% (паровых турбин). В десять раз выше, чем у лучших паровозов.

И учитывая это, главное на начальном этапе, это запустить первый образец, который будет сам себя поддерживать и давать полезный выход хоть какой-то. Пофиг, что это образец инженерного безумия. Это должно запуститься и полететь. Как-нибудь. Как самолет братьев Райт. А дальше – хоть в космос.

\*\*\*

## Экранирование нейтронов

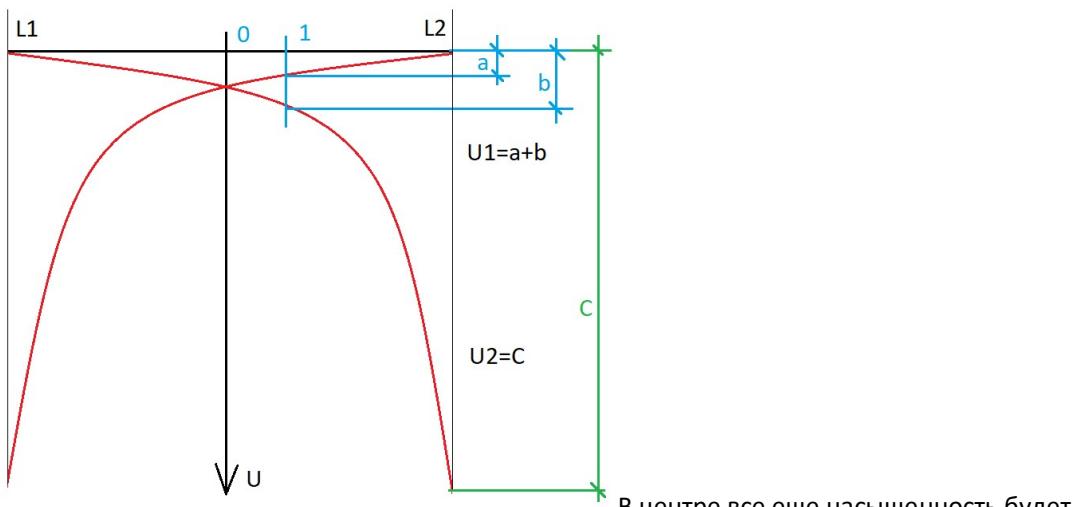
И отдельно расскажу про способ экранирования и рекуперации нейтронного излучения при помощи гравимагнитного барьера (фактически, силового щита). Для этого нужна “градиентно-спектральная волновая труба”, принцип работы которой базируется на моей “теории основы”, которую я описываю в книге “космософия”.

Смысл в том, что нужно сделать из излучения трубу, где энергия от внутренней поверхности стенки к внешней поверхности стенки увеличивается по резкому градиенту. Это можно делать при помощи любого электромагнитного излучения (как при помощи видимого или ИК излучения, так и при помощи микроволнового излучения, создаваемого катушкой). Но так как нейтроны сами излучают в ИК и рентгене, то эффективней воздействовать на них именно таким излучением. Микроволнового может быть недостаточно.

Если делать на катушке, то нужно сделать что бы поле, создаваемое ею, было как можно ближе к виткам катушки, а в центре, по ее оси, отсутствовало. А также нужно добиться, что бы у него был максимально резкий градиент от витков к центру. И в концепте я уже предлагаю катушку, которая создает такое поле.

Но есть нюанс. Проблема в том, что поле в центре должно не интерферировать и взаимно подавляться, а его там просто не должно быть. В обычной катушке (например, тороидальной), поле в центре подавляется встречным полем с другой стороны тора, и электромагнетизма там нет, но вот насыщенность пространства массой-энергией аналогична той, что что у витков (а если точнее, то чуть больше).

Просто по оси вся масса-энергия будет в реактивной форме, а то время как у витков в активной. И это получиться обычная электромагнитная ловушка, а не гравимагнитная. И она будет эффективно экранировать и ловить заряженные частицы, но на нейтроны вообще никак не будет воздействовать.



В центре все еще насыщенность будет меньше, если судить по этому графику. Но важен диаметр и форма катушки.

Объясню график. Это две гиперболы вверх ногами. Ну а если точнее то две функции  $U(x)=1/x^2$ , которые показывают падение насыщенности обратно квадрату расстояния. При этом график перевернут (что бы соответствовать графикам в теории). Ну а точки L1 и L2 показывают положение витка катушки с одной и другой стороны от оси, в то время как ось катушки совпадает с осью U (нулем). U – это насыщенность пространства массой-энергией.

Условная точка 1 близка к центру оси катушки. Расстояние до нее примерно 1/3-1/4 от расстояния между точками 0 и L2, то есть она находится за зоной сильной ионизации, где проходит разряд, и где-то с этого места можно начинать считать начало зоны улавливания нейтронов.

И если судить по графику, суммарная насыщенность в точке 1 может быть ниже, чем в точке L2 ( $U_1 < U_2$ ). Но это зависит от диаметра катушки, направленности (сфокусированности) излучения и других параметров. В идеале что бы излучение шло не в центр, а вдоль катушки, что бы затухание вдоль оси было обратно пропорционально квадрату расстояния, а вот в направлении, перпендикулярном оси катушки, градиент был гораздо резче. И в теории предлагаемая мной катушка может так работать. Но я симуляцию пока не делал.

Еще что бы добиться резкого градиентного эффекта скорей всего придется добавить несколько резонансных гармоник другой частоты, которые будут создавать нужное распределение массы-энергии вблизи витков. Вообще тут важна именно активная масса-энергия, а не общая. Но так

далеко в “теорию основы” я в этой книге я закапываться не буду. Кому интересно, может заглянуть в “космософию”.

Но даже так я не уверен что вообще получиться сделать то, что нужно, при помощи катушки. В теории, если судить по графику, работать должно, хоть и не лучшим образом. Главное что бы U1 был меньше U2. А вот эффективность работы будет зависеть от того, на сколько U1 меньше U2. То есть нужно создавать поле, что затухает резче, чем по обратному квадрату от расстояния. И электромагнитное поле так сделать можно. Там зависит от длин волн и формы “антенны” (катушки, в случае с реактором). И в пределах нескольких длин волн можно делать резко затухающие поля. Плюс помогают резонаторы и прочая история. Но это я уже рассказывал.

При этом важно, что это должны быть именно электромагнитные волны, которые могут воздействовать на нейтроны. А воздействовать на них могут те волны, что они сами излучают (ИК и дальше в сторону уменьшения длины волны, как правило). И отсюда я не уверен, что микроволновая модуляция катушки вообще принесет хоть какой-то результат.

Более того, система может вообще работать в обратную сторону, если использовать микроволны (при условии что нейtronам на них плевать). Потому что, так как насыщенность выше в точке L2, чем в токе 1, гравитация будет действовать в направлении от точки 1 и точке L2 (от оси катушки к виткам). И она будет тащить нейтроны, наоборот разгоняя и вытаскивая из зоны реакции, а не оставляя там. Но это будет не гравимагнетизм, а чистая гравитация.

Чистой гравитацией их конечно тоже можно удерживать, но тогда нужно создать катушку, что создает более высокую насыщенность по оси в центре ( $U1 > U2$ ). Только проблема в том, что нужна огромная плотность энергии и сильный градиент насыщенности. И сейчас нет технологий, что позволяют получить это. Хотя в будущем можно будет вообще комбинировать схемы так же, как я комбинировал в реакторе разные принципы.

Но сейчас нужно придумать что-то, что создает поле более короткой длины волны. Этим “что-то” могут стать, например, плазмоидные проводники, что будут излучать в рентген диапазоне. Вот эта штука должна сработать, потому что нейтроны тоже излучают в рентген диапазоне, а значит и сами к нему будут восприимчивы. К тому же рентген будет проходить через прозрачный корпус и без проблем попадать внутрь рабочей зоны, формируя там нужный градиент.

Сложность только в том, что ни медь, ни сверхпроводник не излучает в рентген диапазоне при прохождении по ним тока, даже высокочастотного. И отсюда нужны специальные проводники, что так умеют. Ну а если еще получиться получить синхротронное рентген излучение, направленное вдоль витка проводника, который идет вдоль трубы под малым углом, как я рисовал, так вообще супер, потому что это даст сильный градиент внутри рабочей зоны.

Но это не единственный вариант сделать такой гравимагнитный барьер.

Второй вариант как сделать такой барьер, это сделать его из света. Но не просто света, а кучи лазеров разного спектра/мощности, а так же диаметра и положения относительно корпуса. Что бы свет шел вдоль стенок корпуса с внутренней стороны, формируя внутри зоны реакции еще одну трубу из света, стенки которой имеют нужный градиент массы-энергии.

При этом что бы не терять энергию нужно сделать что бы свет многократно переотражался торцевыми зеркалами и создавал двунаправленное излучение, которое формировало бы эти стенки трубы. Для этого нужна хитрая система брэгговские зеркал, где более жесткое излучение с меньшей длиной волны будет направлять по внешней стенке световой трубы, а более мягкое (ИК) по всей ширине стенки. То-есть нужно спектральное разделение и фокусировка каждого спектра отдельно.

Но во первых, подозреваю что будут большие потери на зеркалах, а во вторых, плотность энергии тут нужна огромная, и нужна длительная накачка этой "трубы". И скорей всего брэгговские зеркала просто не выдержат такой плотности энергии.

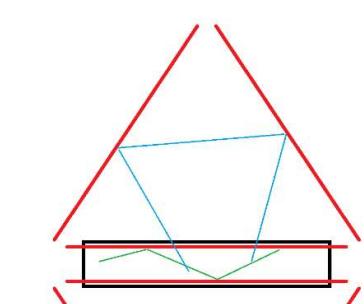
Но если моя теория верна и технологию получится реализовать, то таким образом получиться создать "гравимагнитный" барьер, который позволит экранировать не только заряженные частицы, но и нейтральные, отталкивая неионизированные атомы от стенок и не давая им ударяться о корпус (а это в свою очередь многократно увеличит время жизни корпуса, который больше не будет страдать от легирования), а во вторых такой барьер сможет экранировать даже нейтроны, возвращая их назад внутрь трубы в зону реакции.

Эффективность экранирования будет зависеть от мощности и градиента насыщенности барьера. А так же от энергии и вектора движения нейтронов. Но на практике не обязательно экранировать нейтроны полностью. Можно просто их заворачивать, если установить барьер под углом. Ведь чем более перпендикулярно к стенке движется нейtron, тем тяжелее его остановить. Но если нейtron идет под углом, то его намного легче отразить.

Отсюда можно те нейтроны что летят под малыми углами, отражать первым барьером, а те, что более быстрые, пропустить через него (вернее они сами пролетят), после подождать пока они пролетят через корпус со всеми катушками, и поймать их барьером, что расположен под углом к их траектории (а их траектория примерно перпендикулярна центральной оси, раз они пробили первый барьер), и после просто отправить в ловушку, где они станут безопасными, распавшись до протона и электрона со временем, или за несколько отражений под острым углом завернуть назад в зону реакции.

Ну или на первое время, пока технология будет только развиваться, просто направлять нейтроны в одну сторону, где поставить для них улавливатель. И можно будет не заливать реактор со всех сторон сотней кубов (тонн) воды в качестве защиты, как делают сейчас, а поставить просто трубу с тремя тоннами воды, окружить ее по кругу таким трубчатым барьером, который будет ловить отраженные от воды нейтроны, и соответственно сократить количество нужной воды из сотни кубов до трех.

Ну или не воду ставить, а что-то другое. Так то можно поставить мишень для трансмутации, и фармить редкие ресурсы нейтронным потоком. Тут уже от целей зависит.



Сделать можно условно вот так как на картинке (только половина схемы), где черная часть – труба корпуса, а красные линии – барьеры. Синяя и зеленая – траектория нейтронов. Те барьеры что снаружи трубы, сделаны в форме конуса, ось которого проходит по центральной оси корпуса.

Что бы эффективней перенаправлять нейтроны можно использовать не двунаправленное излучение, а однонаправленное. Тогда они будут охотней направляться в нужную зону (по направлению действия излучения).

При этом эффективность системы будет зависеть от потерь на зеркалах. Если их минимизировать (например за счет полного внутреннего отражения или других способов), то вся энергия барьера будет циркулировать в системе по кругу (будет реактивной), и затраты будут только на потери при переотражениях, и на отклонение нейтронов (когда нейtron попадает в зону барьера, часть энергии будет на нем переизлучаться, рассеиваясь). Но потери на нейтронах можно компенсировать рекуперацией (сбором энергии и снова отправкой в контур барьера).

Что касается того, откуда брать энергию, то опять же брать то излучение, что получается во время разряда. Просто отбирать нужный спектр. Тут в первую очередь задача насытить барьеры, а уже потом затраты будут небольшие. То-есть поначалу плазма запускается на насыщение барьера без проведения реакции, а когда барьер запущен, тогда уже дожимается и начинается реакция. А барьер просто поддерживается за счет небольшого количества энергии, которое намного меньше, чем та энергия, что уноситься улетающими нейтронами. Так что это энергетически оправдано выгодно.

Более того, потенциально в зависимости от градиента и плотности энергии на единицу объема, такой барьер сможет и гамма излучение перенаправлять, заворачивая назад в зону реакции, сделав реактор полностью “чистым”. Но это не в ближайшем будущем. Пока нет систем, способных выдержать нужную для этого плотность энергии.

Также, гипотетически, можно использовать предельные состояния заряда в проводниках, когда случается магнитная детонация и другие подобные эффекты. Тогда выделяется радиация. И если сделать проводник определенной формы, можно получить излучение в нужном направлении. Но тут сложность в том, что детонация – это опасное состояние, и если неправильно спроектировать систему, то она просто разрушит проводник. Плюс импульсы должны быть очень короткими и очень мощными, с резким фронтом. Но это позволит получить рентген излучение без плазмы и других способов, напрямую от металлического проводника. А это очень круто.

Плюс все, что не пошло в излучение, можно использовать для дела, просто рекуперировав и снова отправив в ход. И плоский коаксиал за счет резонансных режимов может помочь создавать сверхмощные короткие импульсы, которые будут приводить к выбросам нужного излучения. И уже сейчас есть способы получения тормозного излучения в металле при сверхкоротких высоковольтных разрядах.

Но напоминаю, что идея гравимагнитных барьеров основанная на моей “теории основы” и эксперименты по улавливанию нейтронов еще не был проведен, так как эту книжку я написал раньше, чем “космософию”.

### [Расход реактором энергии и прочность](#)

Но это что касалось потерь, а теперь время вернуться к реактору и поговорить о том, сколько же это энергии нужно, что бы реакция протекала, и сколько в итоге будет получаться.

Полные расчеты реакции приводить не буду, так как это информация, которая продается за деньги. Тут лишь приведу примерные цифры, что бы было понятно, как это все устроено.

Если представить, что диаметр канала 1мм, длина его 1 метр, и его создает разряд продолжительность в 1 наносекунду, и энергией в 1 джоуль, и после происходит пауза в 4 наносекунды (1 джоуль в 5 наносекунд). То в итоге количество энергии, что будет тратиться на такие разряды, составит 200 МВт в час.

При этом если в тепло уходит всего 10%, то это 20 МВт в час уйдет в тепло. Это без энергии, выделяемой в результате ядерных реакций. Только циклические потери при поддержании системы.

При этом остальные мегаватты будут запасены в электрической и световой энергии, отсюда главное, что бы “железо” держало такую энергию (способно было вместить и передавать). Но в тепло она уходить не будет. Просто будет “заперта” в системе в виде реактивной мощности.

Уменьшать реактивную мощность при таком размере зоны реакции нельзя, так как уменьшится сжатие и нагрев зоны реакции (зоны пинча), в следствии чего упадет интенсивность реакции, и она просто прекратиться. Связано это с числом Лоусона, но об этом позже.

В итоге аппаратная мощность системы будет под 200МВт, и конструкция должна держать такую мощность, а подавать в систему для поддержания ее работы или извлекать из реакции нужно будет 20МВт мощности в час, иначе система будет затухать. И эти же 20МВт нужно будет снимать с реактора в виде тепла. Это в лучшем случае при максимальном возможном КПД. А в реальности это будет 40МВт и более.

Да, нужно понимать, что если запасенную энергию внезапно высвободить, то ничего не произойдет. Так как это 200 МВт в час, но в цикл это все тот же 1 джоуль в системе. И эта энергия просто размажется по корпусу, что обладает не нулевой теплоемкостью, и лишь слегка его нагреет (на сотые доли градуса). То-есть циркулирующая энергия будет низкой, но вот реактивная мощность высокой.

Ну, вернее, как “не произойдет”. Если энергия будет 1 Дж в 5 наносекунд, то это 200кДж в миллисекунду. Что равняется энергии от сгорания пороха при выстреле из автоматической пушки калибром 25мм (в энергию снаряда переходит только 30% энергии пороха). Почему в миллисекунду? Потому что примерно сколько времени снаряд находится в стволе, пока происходит выстрел, и давление действует на ствол.

То-есть реактор будет каждую миллисекунду испытывать нагрузку примерно, как если бы в нем происходил выстрел из 25го калибра. Только выстрел не “в него”, а “в нем”, когда засунули в него холостой патрон 25мм и выстрелили. И с одной стороны достаточно мощный “бабах”, а с другой если ствол выдерживает, то ничего не мешает и реактору выдержать такой выстрел. Тем более что он, по сути, “ствол” (труба).

Так что в плане механической прочности проблем возникнуть не должно. Даже есть значительный запас, так как диаметр корпуса реактора сильно больше диаметра ствола, а это значит, что нагрузка на каждый квадратный миллиметр сильно меньше, так как площадь цилиндра больше.

Разница только в том, что порох действует давлением газов, а в реакторе воздействие будет передаваться через магнитные поля, то есть будет передаваться не на корпус, а сразу на катушки, пытаясь их вырвать из корпуса. Но из-за того, что они перекрестно намотаны (напылены/осаждены) и залиты компаундом, конструкция будет очень прочной на разрыв, и риск представляют только высокочастотные вибрации. Но их можно гасить в компаунде, где они будут уходить в тепло.

Но только есть одна проблема. Метровый корпус просто не выдержит такой тепловой плотности. Даже в самом идеальном варианте, если использовать самую совершенную систему охлаждения, с такого размера получиться снимать 10-15МВт тепловой мощности в час. Больше не позволит просто ограничение теплопроводности и теплообмена материалов конструкции, даже если использовать алмазный корпус и прогонять воду под большим давлением через каналы, выполненные непосредственно в нем.

Отсюда нужно уменьшать либо потери, либо полную (аппаратную) мощность системы. И единственный вариант это сделать не снижая интенсивность реакции, это уменьшать зону реакции. Что бы каждый цикл требовал не 1 джоуль энергии на инициализацию реакции, а меньше. Например, если аппаратная мощность системы будет 25МВт, то 5МВт будет выходить в виде тепла. Такое количество уже можно отводить и рассеивать с метровой трубы, если продумать систему охлаждения.

Да, сложно, но реально. Продувка, например водородом, гелием или аммиаком с высоким расходом и расчетом каналов под максимальные числа Рейнольдса, и должно “полететь”. Почему газами? Что бы не было таких термошоков, как от воды. Плюс они эффективней отбирают тепло из-за того, что проще управлять числами Рейнольдса. Для воды нужно ставить завихрители и турбулизаторы, а потом героически бороться с кавитацией.

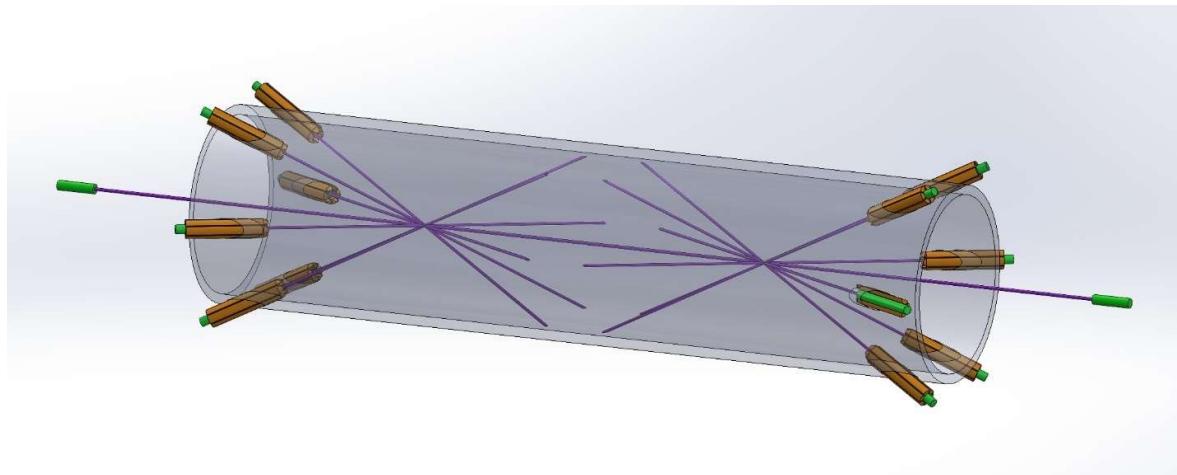
Плюс тот же аммиак сразу же можно загонять в утилизатор тепла (дурной двигатель), так как это эффективное рабочее тело для тепловой машины на базе органического цикла Ренкина или для теплового насоса.

Это в теории. На практике, конечно, реактор размером с холодильник, который дает 5МВт тепловой мощности – это жестко. Этого хватит для отопления среднего микрорайона (30 пятиэтажек). Но это концепт, где я ищу теоретический предел. В реальном прототипе понятно нет смысла гнаться за такими цифрами.

Плюс нужно понимать, что это речь о расходе энергии. Расход – это сколько энергии нужно, чтобы протекала реакция из учета размера зоны реакции (об этом позже будет). Но если Q реактора будет 5, то на 5МВт расходуемой энергии, будет выдаваться еще 20МВт выход. Отсюда нужно будет еще понижать расход с учетом выхода. Просто выход там будет разный, и если это нейтронный поток, то он будет “оседать” на защите (в воде), и не будет греть реактор, так что для синтеза трития сдейтерием можно будет и не понижать. А вот для бор-водорода вся энергия будет оседать на самом реакторе, и нужно будет управлять зоной реакции, чтобы в ней была достаточная плотность энергии для протекания реакции, но при этом что бы полная мощность с учетом выхода полезной энергии не сожгла реактор потерями (для протекания реакции важна плотность энергии, а не ее количество).

Уменьшать зону реакции можно несколькими способами. Например, можно использовать разряды меньшей мощности, которые будут давать соответствующую плотность энергии только в месте их сходимости. И для этих целей я и делал скрученное магнитное поле, писал про вогнутую бочкообразную катушку, писал про встречные лазеры, которые локализуют зону максимальной энергии в центре. Все это направлено на то, что бы уменьшить зону реакции, уменьшив тем самым количество энергии, которая нужна на ее поддержание, и снизив аппаратную мощность системы.

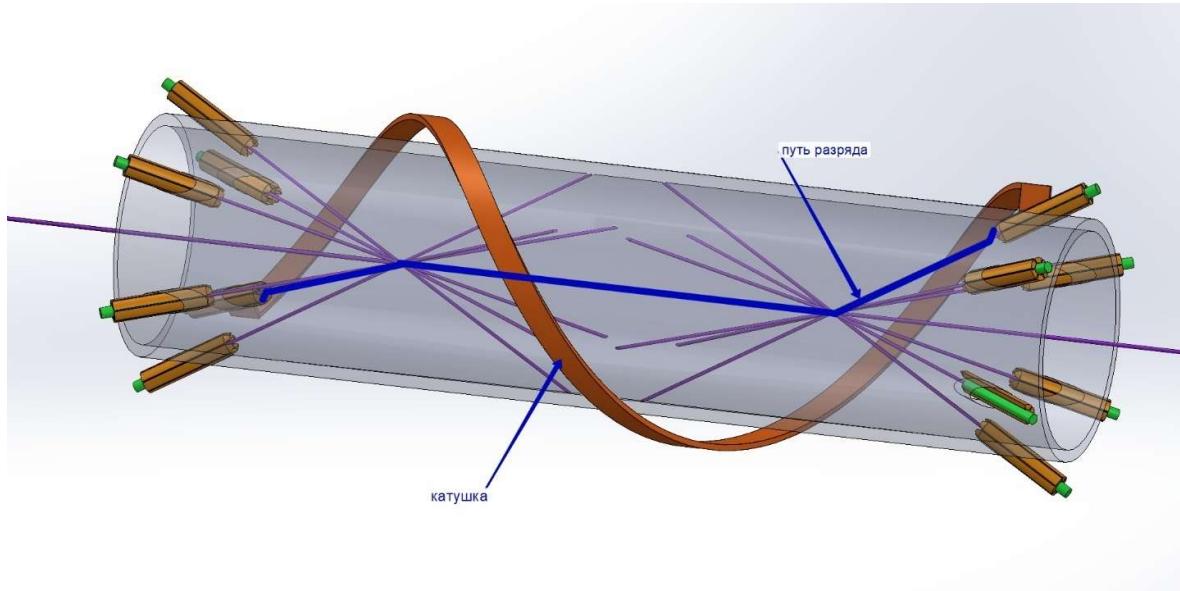
Еще один вариант, как можно уменьшить зону реакции, это вот так, например:



Как видно, группы электродов стоят по периметру, и у каждой из них есть свой собственный лазер. При этом есть также центральный лазерный луч (самый мощный).

Почему нет центральной группы электродов? Потому что это схема к следующему приложению на тему варп-двигателя, где мне нужна труба, по которой непрерывно будет течь плазма, и электроды в центре могут помешать. Но в рамках обычного реактора, где непрерывный поток плазмы не обязателен, такие пучки электродов проще установить на торцевых крышках, чем на трубу-волновод.

В такой системе один разряд будет идти, например вот так:



Ну а все вместе они сформируют в центре общую зону, где сольются в кучу, и там и будет происходить реакция.

При этом как видно, лазеры, что идут под углом, попадают на корпус. Но я не думаю, что это будет проблемой.

Во-первых, эти лазеры меньшей мощности, чем основной центральный. Их задача просто провести разряд, а не греть плазму. А, во-вторых, это упрощает конструкцию, так как остаточная энергия этих лазеров попадает на волновод, и после прибавляется к основному центральному лазеру.

Ну а если не нужно, что бы эти лазеры попадали в основной волновод сразу же, то просто сделать отдельные волноводы для дополнительных лучей (в тех зонах, куда они попадают), которые будут уводить их на отдельные зеркала, и там уже для них подбирается отдельная задержка, что бы синхронизировать с основным лучом. Частота у них будет такая же, как у основного луча, и просто нужно будет сдвинуть фазу перемещением зеркала, что бы сделать синхронизацию.

В итоге таким образом можно менять размер зоны реакции. Плюс такая схема позволяет отдалить электроды от зоны реакции, тем самым уменьшив на них нагрузку.

\*\*\*

Про механическую прочность поговорили, но еще нужно сказать про электрическую и магнитную прочность.

У меня на схеме изначально изображены витки с площадью сечения  $500\text{мм}^2$  ( $50\times10$  мм). Потенциально такой виток может передать ток 250кА. Вообще в теории 2.5МА до наступления магнитной детонации, и при условии, что он из меди, но я делю на 10 на всякий случай, так что пока остановлюсь на 250кА.

В итоге 12 витков дадут 3МА суммарный ток. Если энергия 1 джоуль, и такой ток предстоит отдать за наносекунду, то напряжение должно быть 800 вольт. Это больше, чем я планировал. Но в принципе допустимо. Так как такое напряжение даже 1мм воды не пробьет, не говоря уже о керамике или вакууме. Плюс им можно достаточно комфортно управлять при помощи транзисторов. В итоге если сделать возле электродов зону с вакуумом, можно обойтись без отдельных выключателей.

Но это я посчитал для катушек всего 10 мм в толщину при тех габаритах корпуса, что я писал. И плюс между катушками видны отчетливые зазоры. Если заполнить зазоры и сделать проводники 20 мм в толщину, то сечение можно увеличить до 1500  $\text{мм}^2$  на одну катушку. И в итоге это позволит поднять ток до 750кА на одну катушку, и, как следствие, уменьшить напряжение при тех же параметрах до 150 вольт примерно.

Это уже приятные параметры. В добавок система выдержит электрическую нагрузку даже при полной теоретической аппаратной мощности. А это говорит о запасе прочности и надежности. И все будет упираться только в систему охлаждения.

Это что касается базовой конструкции, прочности и потерь.

## Накачка и съем энергии

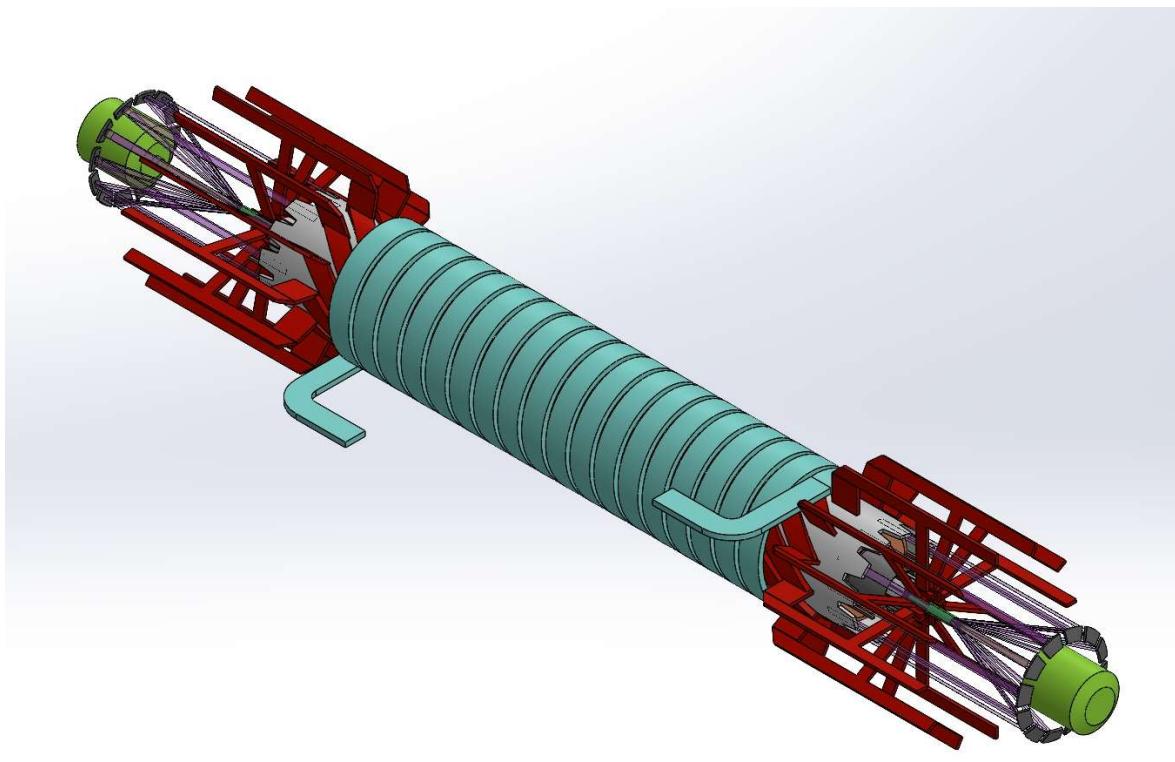
Теперь стоит поговорить о том, как же вообще снимать эту энергию. Как снимать тепловую понятно, в стиле стимпанк. А вот как снимать энергию от расширения плазмы между тактами разрядов.

Как я уже говорил, плазма, расширяясь, будет возбуждать ЭДС в катушках. И самый простой способ снять эту ЭДС – это подключить к этим катушкам нагрузку через токоограничивающую систему. Но только сложность этой истории в том, что катушки должны быть развязаны гальванически. Отсюда на каждую нужно вешать свою систему съема энергии. Ну или городить хитрый трансформатор, с кучей первичек, и одной вторичкой.

Первый вариант требует точной синхронизации, что бы не вызвать разбалансировку катушек. А вот второй – вполне себе вариант.

Только на самом деле для этого не нужно делать отдельный трансформатор, так как сами катушки все вместе представляют собой ту самую кучу первичных обмоток. При этом ток по ним течет синхронно и в одном направлении, из-за чего их можно рассматривать все вместе как одну единую обмотку из изолированных параллельных проводников. И остается только намотать вторичную обмотку.

То-есть сделать вот такую вот катушку (голубую), поверх рабочих катушек:



Если что, нарисовал я катушку так просто для наглядности, что бы было понятно, что это катушка. Такая катушка работать не будет или будет работать плохо. Что бы это понять, достаточно нарисовать линии магнитной индукции. Но это на концепцию не повлияет, так что я так нарисовал специально, что бы какой-то “гений” в гараже, намотав поверх высокочастотной газоразрядной лампочки провод, не получил случайно Премию Дарвина.

Более того, не обязательно, что бы рабочие катушки были внутренние, а съемная – внешней. Можно наоборот. И так, возможно, будет даже лучше. Там будет немного другого принцип, где съемная катушка будет получать магнитное поле от разряда, после в ней будет возникать ЭДС, будет создаваться магнитное поле, которое создаст ЭДС во внешней (рабочей) катушке, а та уже будет стрелять разрядами. При этом съемная катушка будет так же сжимать плазму своим полем и тормозить ее при отскоке, получая ЭДС.

То-есть тут возможны варианты в расположении катушек. Работать будет и так, и так. Но от их порядка и формы будет зависеть тип катушка-пинча.

При этом если эта съемная катушка не будет подключена к нагрузке, то она просто будет создавать индуктивное сопротивление и служить как емкостной элемент. Но если ее подключить, можно будет снимать ЭДС.

При этом внешняя катушка будет взаимодействовать только с результирующим магнитным полем внутренней. Она не будет ни ЭМИ собирать, ни с плазмой взаимодействовать, так как все эти поля и излучения собирает и экранирует внутренняя катушка.

Снимать энергию, разумеется, стоит на конденсаторы. То-есть к внешней катушке стоит подключить конденсаторы на нужное напряжение. Причем скорей всего каскадом. Сначала один скоростной конденсатор на небольшую емкость. А потом уже пачку ионисторов. Так как ионисторы на таких частотах просто “запрутся” из-за внутренней индуктивности и будут работать как сопротивление.

При этом из-за того, что съемная катушка с большим количеством витков, напряжение на ней будет выше, а следовательно, меньше ток. Из-за чего конденсаторы смогут пропустить такой ток.

При этом что касается ионисторов, нужно именно ионисторы, так как важно, что бы у второго блока конденсаторов была высокая емкость (далее расскажу, зачем).

Регулировать съем можно при помощи ШИМ. Из-за инерции системы, и того, что индуктивности выступают как емкости на высоких частотах, это позволит дозированно отбирать от катушки ток, и направлять в рабочий конденсатор. Из которого он уже будет поступать в сборку ионисторов.

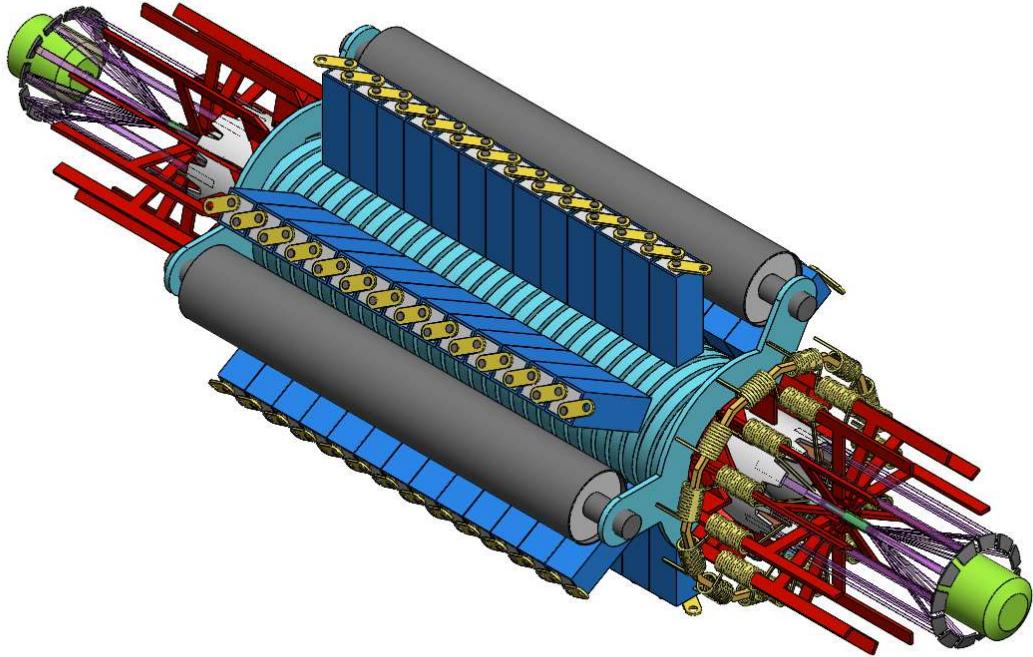
При этом удобно, что катушку съема можно ШИМить скоростным транзистором, не используя плазменные выключатели и другие подобные устройства, так как токи там не такие большие, как в рабочей катушке, но более высокое напряжение. Например, сейчас уже есть силовые GAN транзисторы до 1200 вольт.

Но если не будет хватать частоты силовых транзисторов, тогда можно поставить все тот же плазменный выключатель, управляемый RF транзистором (радиочастотным). Такие транзисторы поддерживают частоты до десятков гигагерц. Единственная проблема – долговечность. Большинство силовых типовых решений умрут очень быстро, учитывая количество выстрелов в секунду. Отсюда нужны не типовые решения. Они есть, но пока не распространены. Либо управлять при помощи резонансов, ограничивая ток смещением резонанса, что самый оптимальный вариант на текущем этапе развития технологий.

Еще можно добавить скоростной конденсатор-резонатор. Самый просто вариант – это вокруг катушки сделать трубу с большим пространством между катушкой и трубой. Чем больше зазор, тем выше емкость. Ну либо использовать много отдельных конденсаторов. А транзистор уже устанавливать между этим конденсатором и сборкой ионисторов.

При этом что касается ионисторов, то желательно поставить три параллели, но делать так, что бы включенные были только две. То-есть по очереди отключать одну параллель. Это нужно для балансировки ионисторов. Так как при таких высоких частотах они не будут нормально балансируться скорей всего. Отсюда можно сделать что бы две параллели работали, а третья в этот момент балансировалась. После переключать их.

Плюс стоит продублировать катушки. На случай если одна умрет, останется еще несколько. Только в отличии от первичных катушек, вторичные можно и нужно между собой параллелить, соединяя. В итоге выглядеть это будет как-то так:



Где серые трубы – это высокотоковые скоростные конденсаторы (резонаторы) небольшой емкости, а синие и много – ионисторы (количество и размер конденсаторов занижен для красивой картинки).

Да, катушку можно использовать как рабочий конденсатор, но проблема в том, что у нее должна быть очень низкая емкость чтобы она работала на нужной частоте. Отсюда нужна еще одна емкость, которая будет с ней работать в паре, где эта емкость будет вмещать энергию на несколько сотен выстрелов. А катушка-конденсатор – на один.

Производить вторичную (внешнюю) катушку также можно просто напылением на корпус. Разумеется, она тоже должна быть многослойной, так как скин-эффект зависит от частоты, а не от тока и напряжения. А частота не поменялась.

Я рисую каждый элемент отдельно, так как так наглядней, да и рисовать проще. Если бы все нарисовал монолитом, пришлось бы долго разбираться, что там и где.

Ну а почему нужны именно ионисторы, так это потому, что они переваривают относительно большие токи, и при этом обладают большой емкостью и способны отдавать ее примерно за 1 секунду. Быстрее они не могут из-за внутреннего сопротивления.

И одной секунды хватит на то, что бы реактор изменил интенсивность реакции и выход энергии (1000 циклов в диапазоне – от 6 микросекунд до 6 миллисекунд, в зависимости от частоты работы, плюс анализ, подстройка, стабилизация, в итоге несколько миллисекунд все займет, и конденсаторы должны будут как избыточную энергию принимать на себя, так и питать нагрузку).

То-есть сборка конденсаторов, что способна поддерживать систему в течении 1 секунды, это оптимальный выбор, что бы сглаживать скачки потребления. Больше нет смысла, меньше опасно, может не хватить на коррекцию интенсивности реакции.

При этом держать ионисторы стоит не на полном заряде. Если один конденсатор выдерживает 2.7 вольт, то стоит держать заряд где-то на уровне 2.2 вольта, что бы был обязательно запас вверх, что бы можно было увеличением съема притормозить систему, не используя резисторы и другие “тормоза”.

Более того. Систему же нужно еще как-то запускать, и нужно брать откуда-то энергию. Для этого нужна какая-то батарея. И нужно что бы эта батарея содержала энергию на несколько десятков тысяч разрядов. Так как именно сколько нужно, что бы прогреть и сжать плазму, учитывая, что один разряд на 1 джоуль. Причем запуск может быть неудачным. Отсюда желательно, что батарея держала энергию хотя бы на 100 попыток запуска.

И на роль такой батареи опять же отлично подходят ионисторы. Так как в них будет достаточно энергии на сотню попыток запуска.

При этом им не нужно будет отдавать энергию сразу на электроды. Да они и не смогут. Или их будет нужно очень много. Все, что им нужно, это отдавать энергию на эту внешнюю “вторичную” катушку. Одну общую. Которая уже будет возбуждать ЭДС во внутренних катушках.

В итоге система съема представляет собой и систему запуска, просто работает в две стороны.

При этом ионисторы не запустят реактор. У них не хватит токоотдачи. Но они могут зарядить рабочий конденсатор. Который пусть обладает низкой емкостью, но ее хватит на одну попытку запуска (ну если это все рассчитать).

Единственный компонент, что нужен для запуска, помимо этого, это лазер для первого пробоя. Но тут, как я говорил, в колбе с отражателем (зеленой) можно поставить электроды, и шваркнуть разрядом. Плазма при этом там будет, например, ртутная, что излучает в ионизирующем УФ спектре, из-за чего лазера даже меньшей мощности хватит для пробоя. Эта акция одноразовая, выполняется только в момент запуска. Дальше система будет создавать себе лазер сама.

---

Кроме этого, перед запуском нужно создать плазму в системе, а так же ее там поддерживать. Для этого нужен обычный блок управления газоразрядной лампой (неоновой, ксеноновой, натриевой), и два круговых электрода на крышках.

Энергию этот блок берет от ионисторов, и просто зажигает лампу. Для метровой лампы минимальный расход около 50 Вт в час. То-есть это вообще ничто. И в таком режиме система может существовать довольно долго, ожидая, пока не понадобиться запуск.

---

При этом система будет способна не просто заряжать батарею, а почти мгновенно подстраиваться под потребление. То-есть не нужна отдельная батарея, достаточно только рабочих конденсаторов.

Как резко повысить мощность, компенсировав рост нагрузки? Для этого нужно просто отключить нагрузку на некоторое время. Ну а так как нагрузка питается от ионисторов, то нужно разорвать цепь между рабочим конденсатором и ионисторами. Тогда нагрузку будут держать ионисторы, а в это время напряжение в колебательном контуре будет увеличиваться из-за резонансного наложения отсека плазмы на колебания LC контура. В результате чего увеличившееся напряжение будет сильнее сжимать плазму, что будет увеличивать интенсивность реакции. А с этим будет расти и выходная мощность. Ну а потом подтыкнуть ионисторы назад, когда система достигнет нужной мощности, зафиксировав интенсивность реакции на заданном значении.

При этом накопленная энергия не мгновенно уйдет в ионисторы, тем самым “погасив” реакцию, так как они просто не способны ее принять из-за внутреннего сопротивления.

Это все условно, так как система будет регулярно подстраиваться, то увеличивая, то уменьшая мощность. И в это время роль буферной батареи, питающей нагрузку, будет брать на себя сборка ионисторов. Подстройка будет происходить быстро, так как частота высокая. То-есть изменение интенсивности реакции будет занимать меньше миллисекунды.

Да, нужно еще учитывать инерцию плазмы, и на больших системах с большим каналом может понадобиться больше времени. Но 1 миллисекунда для плазмы – это много. Там инерция в микросекундах выражается.

При этом это отключение нагрузки для разгона реакции будет очень коротким, на несколько циклов буквально. Из-за чего система не успеет сильно разогнаться. Ну а что бы адекватно контролировать это вообще лучше отключать съем через цикл. Ну например отключать съем каждый 10 цикл. А то если просто прервать его на 10 циклов, система может очень быстро разогнаться, учитывая частоту ее работы.

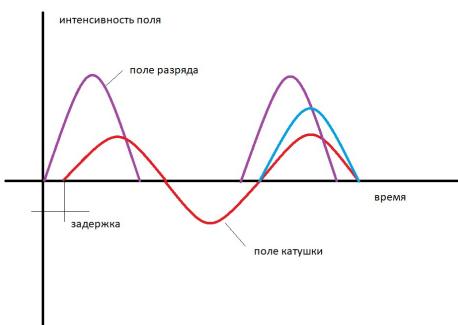
Ну а сборка ионисторов такое отключение даже не заметит. При этом не нужно реагировать на нагрузку моментально. Есть смысл просто компенсировать просадку напряжения на ионисторах, а не подстраиваться под потребитель.

Напряжение на ионисторах просело? Значит нагрузка выросла, значит можно увеличить интенсивность реакции. Напряжение выросло – снизить интенсивность.

Как замедлять систему? Для этого можно либо увеличить нагрузку, если есть такая возможность, но проще всего просто пропустить несколько тактов разряда. Например, так же каждый десятый. То-есть сделать прерыватель, который будет запрещать прохождение разряда. Ну или можно отключать некоторые электроды, что бы не ломать всю структуру циклов пропуском одного такта разряда. Ослабленный разряд не даст плазме интенсивно разлетаться, но при этом ослабит давление на сколько, что бы интенсивность реакции снизилась.

Также можно настраивать систему на какую-то мощность подстройкой фаз и резонансов. Если интенсивность реакции изменится, скорость разряда в плазме изменится, и это сдвинет фазу разряда относительно фазы колебательного контура, что в итоге ослабит резонанс, и вернет систему в предыдущее состояние. Но если поменять задержку между фазами на другую, то можно будет усилить реакцию. Так получится стабилизировать реактор на нужной мощности, а скачки нагрузки компенсировать батареей.

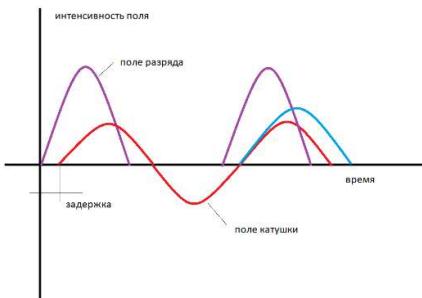
Это, кстати, может спасти систему от разноса если резко пропадет нагрузка. Нагрузка пропала, напряжение резко скакнуло, сильнее сжало плазму, из-за чего ее параметры изменились, скорость разряда поменялась, фаза сместилась и перестала совпадать с фазой контура, напряжение упало, и система вернулась к предыдущему состоянию.



Что касается насыщения, тут еще есть нюанс. Возможно, нужно будет делать двойной разряд на один период резонанса. В первом приближении это будет выглядеть вот так, как на картинке, где поле в катушке (красная линия) будет возникать с задержкой, которая определяется временем, за которое поле разряда долетает до катушки.

Разряд при этом я нарисовал только в одну сторону (однополярный).

Но это в идеальной схеме. В реальной же второй разряд усилит магнитное поле катушки, и амплитуда будет нарастать с каждым циклом (синяя линия – поле катушки на втором цикле).



Но сложность этого в том, что катушка может не успевать насколько быстро расти по полю, и на сколько быстро его сбрасывать из-за своей индуктивности. В второй всплеск растянется по времени, из-за чего “уплынет” резонанс. И тогда схема будет выглядеть вот так, как на втором рисунке, где, как видно, второй цикл магнитного поля катушки уплыл вправо.

При этом эта скорость нарастания поля в катушке, выше которой начинает упливать резонанс из-за индуктивности может быть как “настроена с завода”, так и можно ее регулировать, меняя индуктивность катушки “на ходу”, если сделать катушку переменной индуктивности. И тем самым “задавать” отсечку.

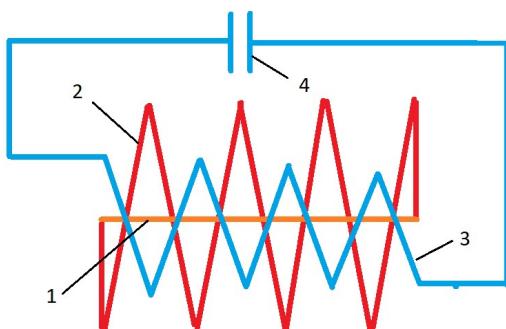
Насыщение при этом не страшно, так как катушка не замыкает цепь, как обмотка трансформатора. Замыкание цепи происходит только через плазму. И насыщение приведет просто к тому, что развалится волновая структура колебаний. Что так же в итоге будет “тормозом” для системы.

В итоге это ограничит мощность системы и скорость ее разгона.

И таким образом можно как подстраивать систему на стабильную мощность путем сдвига фаз, так и увеличивать-уменьшать интенсивность реакции “на лету”. И в случае чего можно быстро прервать реакцию просто прервав разряды. Такая функция экстренного отключения.

---

Еще скажу за последовательность катушек. Может быть полезнее сделать сразу съемную, а потом рабочую. Тогда получится интересный колебательный контур.



Центральный проводник (1) соединен с рабочей катушкой (2), но между проводником и катушкой есть еще одна катушка (3), которая соединяется с конденсатором (4), ну или сама им является. Катушка (2) так же может быть соединена с конденсатором или являться им.

Смысл тут в том, что катушка насыщается не мгновенно, и у нее есть задержка. В итоге ток проходит по проводнику, создает магнитное поле, и это магнитное поле возбуждает ЭДС в катушке (3).

Ее магнитное поле нарастает, и начинает возбуждать магнитное поле в катушке (2). При этом к этому моменту катушка-конденсатор (2) уже отдала ток на проводник, и она “пустая”. Катушка (3) отдает свою энергию в катушку (2), сама разряжаясь. Катушка (2) при этом насыщается и насыщает проводник, и проводник начинает создавать магнитное поле. И так по кругу.

И если подобрать колебательные периоды, то система может быть в состоянии резонанса, постоянно “гоняя” ток по кругу. Преимущество по сравнению с обычной схемой в том, что когда затухает магнитное поле проводника (1), нужно понимать, что это затухает разряд. Из-за чего плазма начинает расширяться, и продолжать возбуждать магнитное поле в катушке (3). То-есть с “разрядкой” катушки (2) возбуждение ЭДС в катушке (3) не прекращается.

После катушки (3) заряжает катушку (2) до достижения какого то напряжения, и случается “пробой” (лавинный выброс). Сама же она к этому моменту меняет полярность (так как это колебательный контур, где напряжение проходит через ноль), и начинает сжимать плазму.

Такая система может быть интересней и эффективней, чем с рабочей катушкой внутри. Плюс можно мотать витков на катушке (3) сколько угодно, формируя при этом нужную форму магнитного поля (пинча), а после просто катушку (2) подбирать по количеству витков уже под катушку (3).

## Управление и синхронизация

Главное преимущество системы в том, что ею можно будет управлять на лету и плавно. На сколько плавно, что ее можно будет подключить в качестве прямого источника энергии напрямую к электродвигателю или инвертору. Причем можно будет управлять не только плавно, но и быстро, за доли секунды контролируемо менять интенсивность реакции и выход энергии.

Но что бы управлять системой, нужно учесть некоторые особенности.

Первое, это то, что на каждом цикле будет падать напряжение в обмотке, так как значительная часть энергии будет уходить в излучение, из которого только часть будет назад возвращаться в электрическую энергию.

В итоге из-за этих потерь если разряд был на 100 вольт, то следующий будет условно только на 80В, а следующий на 64В, если ничего не будет восполнять энергию, что переходит в излучение. При накачке эту энергию будет давать конденсатор, а когда реакция запуститься, уже сама реакция.

Реакция будет увеличивать энергию за счет того, что отскок плазмы породит ЭДС, который наложится на фазу периода колебательного контура, и сложение фаз увеличит результирующее напряжение. Но вот только все равно важно подбирать напряжение так, что бы оно было на каждом цикле меньше, чем на предыдущем. Что бы не получился разгон по напряжению. А для этого нужно правильно подобрать количество витков катушки, да еще и так, чтобы можно было снимать напряжение.

То-есть при разгоне системы и ее накачке напряжение должно быть в системе ниже, чем в конденсаторах, что бы ток брался с конденсаторов. Потом, как начнется реакция, оно будет увеличиваться за счет сложения фаз, и станет выше, чем напряжение конденсаторов, и ток потечет в эти самые конденсаторы за счет разности потенциалов, из-за чего будет происходить съем энергии.

Иными словами, если напряжение обмотки выше напряжения конденсатора, происходит утечка тока на конденсаторы, если ниже – забирается из конденсаторов и подпитывает систему.

Но сложность тут в том, что нельзя допустить неконтролируемого разгона по напряжению в момент накачки. А такой разгон может случиться.

Если упрощенно, то напряжение во вторичной обмотке пропорционально напряжению в первичной обмотке, и соотноситься с ним так же, как соотносятся витки в первичной и вторичной обмотке. Условно если в первичной обмотке один виток, а во вторичной два, то напряжение во вторичной будет в два раза выше, чем в первичной, а ток в два раза меньше.

Но есть нюанс, который заключается в том, что после того, как один цикл трансформации проведен, ток со вторичной обмотки запасается в конденсатор, а после отправляется в первичную. Но у него уже увеличено напряжение в два раза от того, что было при первом цикле. И следующий цикл увеличит напряжение еще в два раза, а ток в два раза уменьшит.

И в итоге через сколько-то циклов напряжение во вторичной обмотке станет насколько большим, что просто случиться пробой ключей или диэлектрика.

Хотя на самом деле все немного не так. С ростом напряжения растет ток по закону Ома, с ростом тока падает напряжение. Но это будет только в том случае, если ток растет. Но ток зависит от нагрузки. Нагрузкой в этой схеме выступает плазма. Но только у нее непостоянное сопротивление. Сначала у нее растет сопротивление с ростом плотности и температуры, как следствие, ток будет падать, и нужно повышать напряжение, чтобы это компенсировать. Но в какой-то момент у нее начнет снижаться сопротивление, когда она начнет входить в состояние квазисверхпроводимости, и ток начнет самопроизвольно расти без сильного падения напряжения.

Это в свою очередь приведет к тому, что с выросшим током и напряжением плазма сожмется еще сильнее, и у нее еще больше упадет сопротивление. И единственное, что может спасти систему от того, что бы она ушла в разнос, это либо внешнее управление, либо рост потерь с ростом температуры плазмы, либо сдвиг фаз, чтобы разваливался резонанс, и система сама себя начинала тормозить, попадая в противофазу, чтобы в итоге только на определенном диапазоне она могла работать в резонансе.

В идеале придумать способ сделать так, чтобы в системе ограничивалось напряжение и ток через естественные свойства системы, без электронных устройств и систем управления. То-есть нужно, чтобы система просто не могла выйти за какие-то пределы. Причем что бы эти пределы можно было менять динамически по ходу работы. Как это сделать есть несколько вариантов, но все нужно просчитывать и пробовать.

---

Но любая пассивная система будет выполнять скорей защитную функцию, так как иначе можно столкнуться с большой инертностью управления. Отсюда крайне желательно иметь активную электронную систему, которая может как резко выключить реактор, так и быстро вносить какие-то мелкие поправки, разгоняя или тормозя его.

И самый простой вариант сделать такую систему, это сделать так, чтобы можно было пропускать такты разрядов, или что бы можно было отключать некоторые электроды для торможения, а для разгона – отрубать нагрузку или делать инъекцию тока, и получать рост напряжения в системе.

Но у такого решения есть определенная сложность, которая заключается в том, что на каждый электрод тогда нужно ставить выключатель, так еще и их все синхронизировать.

Что касается выключателей, то самый надежный и испытанный вариант, это плазменный, водянной или вакуумный выключатель. Все они простые. Это просто два электрода и диэлектрик между ними, который пробивается управляющим разрядом или лазером, создается ионизированный канал, по которому уже проходит рабочий разряд. Но с ними есть сложности.

Проблема водяного в том, что на нем неизбежно будут потери, плюс его нужно ставить отдельно, так как его не установить непосредственно на край электрода, иначе тогда вода попадет в камеру. В добавок он не долговечный.

Отсюда лучше использовать газовый или вакуумный выключатель. Его можно в теории расположить прямо на конце электрода, если создать там вакуум. И я уже рассказывал, как это можно сделать. Магнитом отталкивать плазму от электродов, оставляя либо не ионизированный газ, либо вообще вакуум, если весь газ ионизирован.

Но у такого способа есть проблема. Заключается она в том, что там находится электрод, который может и будет испаряться. И эти частицы испаренного электрода могут в какой-то момент стать причиной нежелательного пробоя. И особенно этот шанс повышается, когда плазма войдет в состояние квазисверхпроводимости.

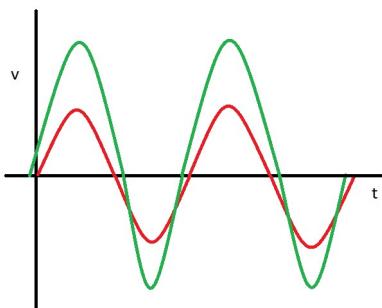
При этом конструкция обязательно должна работать не просто в импульсном режиме, а в импульсном режиме с четкой частотой с положением фаз. Потому что иначе будет невозможен прямой съем энергии.

Отсюда нужна система, которая как минимум не будет позволять разряду проходить тогда, когда не нужно. То-есть основная функция такой системы не в том, что бы инициировать разряд, а в том, что бы его прерывать. Из-за чего я решил назвать систему – система прерывания.

И в качестве такой системы я предлагаю использовать плазменный выключатель, где низковольтный рабочий разряд триггерится управляющим высоковольтным. Только вот в предлагаемой схеме плазма уже есть, и все, что остается, это исходя из сопротивления подобрать напряжение так, что бы низковольтный разряд не мог пройти через плазму сам собой. А вернее не через плазму, а через тот небольшой участок рядом с электродами, где плазмы нет. Где либо не ионизированный газ, либо вакуум, если весь газ ионизирован.

---

Создавать такой разряд прерывателя отдельно нет смысла. Проще просто “навесить” на уже имеющуюся систему, что бы разряды были взаимозависимы. При этом просто подобрать так, что бы период высоковольтного разряда начинался чуть раньше танка рабочего LC контура, и заканчивался чуть позже (что бы перекрывал по времени).



Грубо нарисовал на графике. Где зеленое – высоковольтный разряд, а красное – рабочий разряд. Над графиком долго не думал, так что скорей всего он неправильный. Но суть думаю понятна.

Что касается того, как сделать такой разряд, то его можно сделать при помощи специальных катушек, которые намотать вокруг первичных обмоток. То-есть просто еще один слой катушки, просто из тонкого проводника с большим количеством витков. При этом ширину окна, сдвиг

фазы и задержку регулировать при помощи емкости и индуктивности этих катушек. Катушки переменной индуктивности и конденсаторы переменной емкости существуют.

---

Ну а почему прерыватель, а не триггер, так это потому, что триггером является лазер. И лазер же является синхронизатором. То-есть не нужно делать сложную систему синхронизации, потому что она автоматически присутствует. Лазер пробивает плазму, ионизирует ее, и это является триггером для разряда. Для всех разрядов одновременно. Главное подобрать напряжение высоковольтного разряда так, что бы без лазера он не пробил плазму сам по себе и не потянул за собой рабочий разряд.

Что касается режима квазисверхпроводимости плазмы, то здесь может получиться, что пробой будет получаться и без лазера. Так как просто больше некуда ионизировать плазму. И что бы управлять в этом режиме есть два варианта. Первый – сделать систему прерывания триггерной системой, и второй – просто забить, подобрав емкость катушки-конденсатора так, что бы она отдавала заряд раньше, чем случиться следующий колебательный тант.

Во втором случае это будет работать так: разряд сжимает плазму, плазма входит в состояние квазисверхпроводимости, у нее резко падает сопротивление, из-за чего ток разряда резко растет, и катушка-конденсатор быстро разряжается. Напряжение разряда падает по мере разрядки катушки-конденсатора, из-за чего падает ток (по закону Ома), из-за чего сжимающие силы

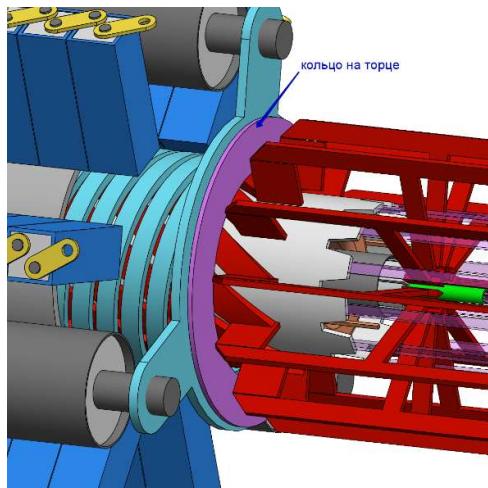
снижаются, и больше не способны удерживать плазму под таким давлением. Плазма начинает расширяться, выходит из состояния квазисверхпроводимости, у нее резко повышается сопротивление (у плазмы высокого давления довольно большое сопротивление), в следствии чего разряд прерывается, так как потерял большую часть своей мощности уже к этому моменту.

Минусы такого решения – нужен точный расчет. Более того, нужен не только расчет, но и изменяемые параметры LC контура, такие как емкость и индуктивность, так как на разных режимах работы и разной интенсивности реакции будет разное давление плазмы и разное время, в котором плазма будет находиться в состоянии сверхпроводимости.

При этом с изменением параметров LC контура будут сдвигаться частоты резонансов, из-за чего под них нужно будет подстраивать лазер.

Регулировать параметры LC контура (катушки-конденсатора) можно путем закручивания катушки. Либо ее натяжения. Если немного потянуть одну из катушек, или одну ее сторону слегка повернуть, это изменит соотношение витков, зазоры и другие параметры.

Но самый лучший вариант мне видится, это напаять наверх внешней катушки трубу, которую можно елозить туда-сюда. Получится цилиндрический (коаксиальный) конденсатор переменной емкости.



Еще можно поставить вот такое кольцо на торце катушки, и просто пододвигая или отодвигая его ближе-далее, можно менять емкость этой катушки в небольших пределах. Понятно, что это не оптимальная конструкция, просто если я нарисую что-то поинтересней, то из-за количества деталей ничего не будет понятно.

И таких подвижных частей можно сделать на каждой катушке и даже на каждом витке, что позволит гибко настраивать емкость и индуктивность каждого отдельного витка в каких-то небольших пределах. Я не думаю, что нужно будет подстраивать витки, но иметь такую возможность может быть полезно.

Но это все не спасает от того, что бы система ушла в разнос.

Потенциально конечно можно посчитать так, что бы при достижении какой то критической плотности плазмы (и, как следствие, интенсивности реакции), без подстройки под этот режим импульсы разрядов сильно сокращались по времени из-за падения сопротивления плазмы (из-за квазисверхпроводимости), что приводило бы к смещению фазы вспышки света, и, как следствие, сдвига фазы разряда относительно фазы резонанса, и развал цикла с последующим самовосстановлением системы до рабочего состояния. Но скорей всего так и будет происходить без каких-либо дополнительных улучшений. То-есть система в какой-то мере будет саморегулирующейся.

Но при этом регулировки реактора достаточно “тормознутые” в следствии того, что лазер регулируется механикой, переменная емкость и индуктивность катушки-конденсатора тоже механикой. Из-за чего система может “улетать в отсечку” каждый раз при попытке увеличить немного мощность, или каждый раз, как уменьшится съем (потребление) энергии. А еще у такой системы нет кнопки отключения.

В итоге желательно иметь еще одну систему защиты и управления, которая бы позволяла резко отключить реактор, а так же позволяла пропускать некоторые такты, или отключать некоторые электроды. И такую систему можно сделать.

Проще всего ее сделать на базе того же высоковольтного управляющего разряда, поставив к нему плазмо-лазерные выключатели (прерыватели).

Почему лазерные? Потому что, во-первых, они быстрые и точные, а во-вторых, они абсолютно синхронные, так как один лазер можно разделить на сколько угодно лучей ипустить в сколько угодно выключателей. И время его дохода до них будет зависеть только от расстояния. И если оно одинаковое, то система будет срабатывать абсолютно синхронно (то, что скорость света привязана к пространству, пока не беру в расчет, так как на скоростях движения земли этим можно пренебречь, это будет играть роль только в системах на космолетах).

Такие плазмо-лазерные выключатели можно поставить после каждой катушки, создающей высоковольтный разряд. Причем если их сделать, то тогда не обязательно настраивать высоковольтные управляющие катушки. Достаточно что бы они просто заряжали конденсаторы, а те, в свою очередь, давали триггерный разряд.

Выключатель такой состоит из двух электродов, газа или жидкости между ними, и лазера, что проходит через эту жидкость. Учитывая, что токи очень низкие, деградации электродов не будет, как и газа. Лазер можно использовать как отдельный (лазер для такого выключателя нужен маломощный), так и можно взять часть света от основного лазера (отобрать на волноводе), и использовать его.

Преимущество отдельного лазера в том, что, если что-то пойдет не так и система сломается, лазер просто не возникнет, выключатель не сработает, и система остановится. Преимущество же отбора от основного лазера в том, что система будет идеально синхронизирована по частоте с основным лазером и разрядами. Останется только по фазе синхронизировать. Это делается так же просто перемещением зеркала.

При этом так как этот “отбираемый” свет будет низкой мощности, то им можно управлять при помощи специальных “лазерных транзисторов” (в кавычках, так как это не фотонный транзистор, а просто “шторка”). Например, есть электрооптические модуляторы на эффекте Покельса с откликом меньше наносекунды. Но если что пойдет не так, они могут остаться открытыми, и систему придется тормозить другими способами. А “что-то не так” пойти может, так как этот кристалл Покельса может просто прожечь.

Как решить проблему безопасности, что бы система не “отключалась”, а “включалась” принудительно? Сделать два лазера. Один из основного канала, второй отдельный. Второй обычный, создается обычным диодом, постоянно включен. Первый импульсный, зависит от разряда.

Ну и поставить два последовательных выключателя, или один, где мощности каждого лазера по отдельности не хватает для инициализации выключателя. Но когда они вместе, случается пробой. И таким образом один светит, второй моргает, и в момент моргания второго инициируется выключатель. Но стоит выключить первый, как моргания уже не смогут его инициировать. Это позволяет в случае какой-то обесточки системы управления или еще какого Закона Мерфи получить высокую живучесть системы.

Удобство такого метода в том, что первым, постоянно включенным лазером, можно управлять, сделав его не постоянно включенным, а импульсным. И он как раз и будет тем самым прерывателем. Второй же, пульсирующий, что формируется вспышкой от разряда, будет

триггером и будет синхронизировать срабатывания управляющей системы с частотой разрядов, опираясь не на “абсолютное” время, а привязываясь к последнему разряду.

Причем удобна такая схема с двумя лазерами тем, что отдельным лазером легко управлять при помощи высокочастотного светодиода.

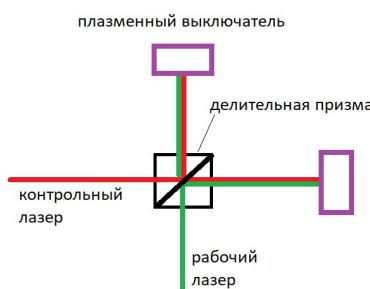


Управляется как я уже рисовал. Только теперь это не разряды, а лазеры. Где зеленый – это импульсы основного лазера (отобранного от него пучка слабой мощности). Основной лазер я решил назвать “частотный”. А красный – импульсы управляющего лазера, создаваемого отдельным источником, этот управляющий лазер я решил назвать “контрольный”.

Причем я красные зоны относительно зеленых специально так криво нарисовал по шкале времени. Потому что не нужно

точно попадать в такт. Главное, что бы управляющий лазер включался раньше частотного, и выключался позже него. Ну либо вообще выключался только тогда, когда нужно прервать цикл или пропустить какой-то такт. Это в свою очередь очень сильно уменьшит стоимость системы управления.

Единственный нюанс тут может возникнуть, если нужно отключать электроды пучками. Тогда нужно на каждый выключатель свой диодный лазер, или “шторку-прерыватель” (второй вариант лучше). Триггерный (частотный) лазер все так же без изменений отбирается от основного и делится на сколько пучков, сколько нужно. Делить лучи уже давно научились.



Вот пример как можно сразу подавать луч на пары электродов. Это нарисован один парный управляющий модуль. Парный он обязательно, так как если отключать по одному электроду, будет перекос разряда. Нужно отключать парами диаметрально противоположные электроды.

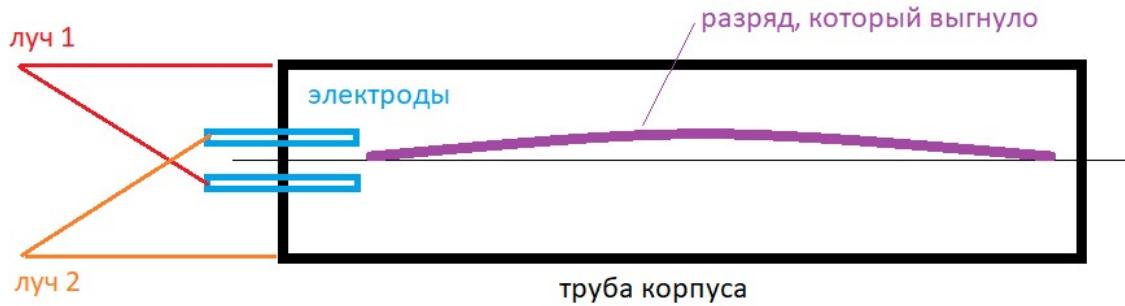
Ну и соответственно перед тем, как луч попадет на выключатель, его нужно разделить сколько раз, сколько в системе пар электродов.

При этом делить нужно оба лазера. То-есть контрольный лазер, это не куча диодов по одному на каждый выключатель, а один диод, и разделение луча на нужное количество выключателей, что бы все они срабатывали одновременно.

Понятно, что только на зеркалах оптику строить та еще задача, так что логичней это все сделать не на прямых лучах, а на гибких волноводах (оптоволокне), что бы можно было легко подбирать длину оптоволокна и не зависеть от среды или расположения управляющей оптики, но это уже нюансы.

\*\*\*

Еще потенциально можно сделать систему, которая имеет обратную связь по лазерам.



Если сделать вот такую систему, где в корпусе отдельные волноводы исключительно для управляющих (частотных) лазеров, и каждый луч идет на свой выключатель, но по перекрестной схеме, то может получиться самостабилизирующаяся система, контролирующая положение плазмы.

Работать она будет так: свет от разряда, который выгнуло, быстрее дойдет до того волновода, в направлении которого выгнуло разряд, и быстрее его насытит. Соответственно если этот свет превратить в частотный лазер, то он раньше насытиться, раньше дойдет до выключателя, раньше достигнет интенсивности, что нужна для осуществления пробоя, и раньше активирует выключатель. И соответственно разряд с того электрода, выключатель которого был активирован раньше, сорвется раньше.

Это будет минимальная задержка, на уровне пикосекунд или быстрее (свет за пикосекунду проходит 0.3мм, и если канал разряда выгнуло на 3мм, то свет в один волновод попадет на 20 пикосекунд раньше, чем в противоположный). Но эффект будет складываться от множества последовательных разрядов, постепенно “вытягивая” дугу в нужную сторону, пока не выровняет ее по линии. Дальше система будет самостабилизироваться. Если плазма уползает от центра, то по этой связи ее возвращает назад.

Соответственно в такой схеме делить нужно только контрольный лазер. Частотный идет без делителя сразу на выключатель. Отбирать его довольно просто. Можно сделать параболическое зеркало, что фокусирует рабочий (основной) лазер, слегка прозрачным. Скажем на 1-2%. И этот пропускаемый свет и использовать для частотного лазера.

Плюс эта схема еще удобна тем, что пропускать можно только нужный спектр (обычно для инициализации выключателей используется мягкий УФ), остальной полностью отражать. Брегговские зеркала как раз и позволяют провернуть такой трюк. Главное подобрать слои. Ну а дальше оптоволокно, и направлять этот свет куда надо.

При этом тут не нужен точный узкий спектр. Примерный спектр получить достаточно. То-есть можно поставить зеркало, что пропускает часть спектра в диапазоне 300-400 нанометров, и этого хватит. Да, если спектр будет “уплывать” в ту или иную сторону в рамках этого окна (а он будет упывать по мере изменения температуры и давления плазмы), то это будет влиять на время достижения нужной интенсивности для пробоя, из-за чего будет сдвигать фазы. Но это не проблема, так как по мере изменения параметров системы и так нужно подстраивать фазы регулируя задержки и тайминги при помощи перемещения зеркал.

Но я не уверен, на сколько будет хорошо это работать. Ощущение, что будет, и будет работать хорошо, но что бы заработало придется повозиться. Особенно в части того, как обойти ограничения точности изготовления, что бы система не была привязана к ней. Ну формата, если какое-то зеркало пропускает больше света, то плазменный канал какого-то выключателя насытится быстрее, и пробой случится раньше, но не потому, что разряд сместился, а потому что

интенсивность лазера просто выше, и это вызовет перекос. И надо строить систему, что не зависит от интенсивности, а зависит только от времени.

Но это уже уровень особой магии. Отсюда для тестовых прототипов лучше этим не заниматься, так как это может внести дополнительные помехи, влияющие на стабильность плазмы. Так как не факт, что нужно противоположный электрод раньше активировать, что бы плазму “вытащить” назад в центр. Плюс я учел только одну нестабильность (банановую), а может же ее изгибать в двух или трех местах.

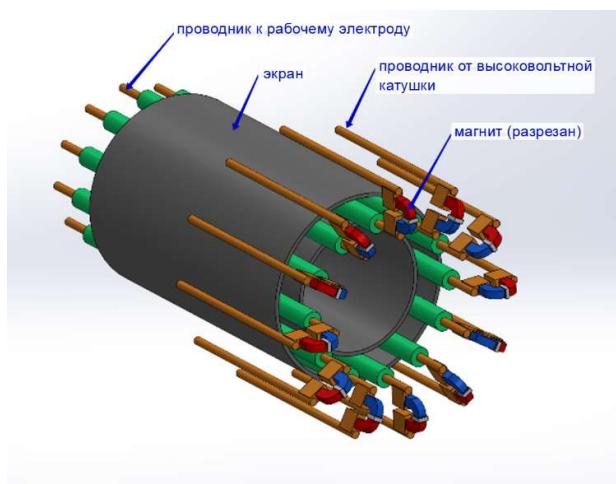
И тогда что бы править такую плазму, что изогнуло в двух местах, нужно что бы разряды шли поочередно с каждой стороны, и что бы лазеры их с каждой стороны триггерили с разной задержкой.

Что касается того, как управлять задержкой по каждому электроду отдельно, то это можно делать, пододвигая и отодвигая край оптоволокна от фокусирующей линзы. Время, которое свет находится внутри оптоволокна, не меняется, так как длина оптоволокна фиксирована, из-за чего меняя расстояние между концом оптоволокна и линзой, можно менять задержку для каждого отдельного выключателя. Ну а двигать торец гибкого оптоволокна не проблема в современных условиях. Те же пьезо-актуаторы справятся с этой задачей для точной и быстрой подстройки, и для более медленной и грубой есть обычная механика.

Ну а в будущем потенциально нужно сделать волновод, скорость света в котором меняется от магнитного поля. И пропуская по нему небольшой ток менять задержку. Но пока такие технологии не обкатаны, так что на начальном этапе достаточно ограничиться механикой и пьезоактуаторами.

Также время прохождения света по оптоволокну меняется от температуры, так как с ней меняется плотность среды и скорость света в ней. Но управление через температуру довольно неудобно, и скорей нужно будет заниматься компенсацией этих температурных сдвигов (это нежелательные эффекты). Как и придется компенсировать погрешности при изготовлении волноводов и линз. Так как каждый лазер будет достигать интенсивности пробоя в разное время.

---



При этом что касается самого выключателя, то есть смысл создать градиентное магнитное поле (статическое). Оно будет “вытягивать” ионизированные частицы из зоны пробоя, плюс будет их тормозить за счет синхротронного торможения. В следствии чего плазма будет быстрее охлаждаться и у нее быстрее будет пропадать ионизация. В качестве источника такого статичного магнитного поля могут быть сами электроды. Один из них сделать катодом, второй анодом (хоть постоянные магниты к ним прикрутить).

Магнитное поле улучшит характеристики выключателя, так как такие выключатели работают с газами низкой плотности. И как следствие молекулы в таких быстро ионизируются, но долго теряют ионизацию из-за большого свободного пробега.

Что касается того, как подвести управляющий разряд, что прошел через выключатели, к рабочим электродам, то я думаю, что это нужно делать симметрично по оси канала, это, во-первых. Во-вторых, проводники должны быть равной длины. А в-третьих, их не нужно каждый экранировать. Их нужно засунуть пучком по окружности в одну трубу, которая уже будет выступать экраном. Это нужно для того, что бы эти разряды друг на друга влияли, и тем самым синхронизировали друг друга по фазе и времени. Проводники даже можно намотать по спирали как в случае с основной рабочей катушкой. И тогда получится такой конденсатор-синхронизатор из двух труб и катушек между ними. В этой катушке не нужна низкая индуктивность и емкость, так как главное тут не ток, а напряжение.

Главное, что бы они не пробили изоляцию на трубу. При этом что бы влияние было более предсказуемым, экран (труба) должна быть внутри и снаружи. Ну и плюс ко всему из-за высокой частоты будет скин-эффект. Тут он не будет представлять проблему, так как напряжение высокое, а ток низкий, и можно делать проводник одиночный.

Магнит по центру разрезан потому, что иначе он закоротит электроды. В месте разреза вакуум, что бы магнитное поле замыкалось, а разряду было тяжело там пройти. Лазер на схеме не изображен.

В итоге вся система управления, помимо механики, сводиться к набору плазменных выключателей с одним общим лазерным триггером. В общем, как вы поняли, мне проще намотать несколько проводов, построить реактор и продавать его тоннами, чем осваивать бюджет на сложной электронике, обеспечивающей синхронизацию в наносекундных диапазонах.

\*\*\*

Но кое какая электроника все же нужна. Потому что для того, что бы подстраивать резонансы, нужно в первую очередь знать, что происходит с плазмой, с системой, какие у нее текущие частоты, и вот это вот все.

То-есть управлять системой очень просто, но что бы управлять, нужно мониторить состояние. И тут есть нюансы. Проблема в том, что система будет работать на гигагерцовой частоте. И нет никакого цифрового метода, как можно что-либо измерить или скорректировать на такой частоте.

Ну условно период составляет 5 наносекунд. Продолжительность импульса (разряда) две наносекунды. Если фаза смещается фаза на 5%-10%, это может сильно сказаться на резонансе. 30% - критично. Но 10% от двух наносекунд – это сотни пикосекунд, то есть нужна частота дискретной системы в десятки и сотни гигагерц. И если система не способна проводить измерения с такой точностью и дискретностью, то она будет скорей мешать, чем помогать в настройке, так как будет вносить погрешности в работу.

Как видно, проблема масштаба ITER, и для того, что бы ее решить, нужно миллиард денег, надцать лет и совместный проект 32 стран...

Ну или можно не измерять, а просто тупо сравнивать, и вносить корректировки по месту по факту отклонения, постоянно подстраивая систему то в одну, то в другую сторону.

Это можно сделать потому, что смещение параметров, таких как резонансные частоты, время задержки света в волноводах, а так же емкость и индуктивность каждой катушки или конденсатора, будет меняться не мгновенно, а довольно плавно. Даже плазма обладает инерцией. При этом система работает в импульсном режиме на высокой частоте, и каждый импульс будет давать результаты, которые можно сравнивать, и двигать настройки в ту или иную сторону.

То-есть управлять системой и “ловить баланс” так же, как в ЧПУ станках на серводвигателях “ловиться” местоположение, где двигатель просто тыркает туда-сюда в поисках положения по энкодеру (называется “рысканье” по-русски или “hunting” по-английски).

При этом не нужно знать абсолютные показатели вообще. Достаточно измерять относительные после старта системы. То-есть применять тот же принцип, что относительные энкодеры, где берется какая-то условная нулевая точка при запуске, и дальше от нее уже делаются все измерения и настройки.

Более того, такую относительную калибровку так или иначе придется выполнять. Условный “абсолютный энкодер” сюда не поставить, так как температура, деградация конструкции, состав плазмы и другие параметры при каждом запуске будут отличаться, как и в процессе работы. Причем еще и будут динамически меняться. То-есть нужно проводить запуск, и смотреть уже по ходу, что там оно выдает. И делать таких запусков несколько, собирая данные и понимая текущее состояние системы, что бы подстроить параметры методом последовательных приближений.

То-есть “настроить с завода” не получиться. Система будет подстраиваться по месту. И не только подстраиваться, но и калиброваться. Только это не многочасовая калибровка, как в случае с ЧПУ станками. Нет. Тут из-за того, что импульсы очень коротки и частоты высокие, за 1 секунду можно успеть сделать не одну сотню попыток запуска, по тысячу циклов в каждом.

Отсюда я и говорил, что нужны ионисторы, которые способны вместить большой заряд. Так как они должны будут хранить энергию сразу на несколько сотен запусков. Ну а для каждого конкретного запуска будут использоваться рабочие конденсаторы, которые будут хранить энергию на одну попытку запуска (ионисторы просто не вывезут по токоотдаче, или их нужно будет слишком много, что не имеет смысла).

Сравнивать параметры можно многими способами. Есть фотодетекторы, фазовые детекторы (интерферометры), фильтры, отсеивающие ненужные частоты. Самый простой вариант для света - на базе интерферентной картины. Интерференция уплывает, значит нужно подстраивать. Причем из-за того, что она будет упывать плавно, можно сразу смотреть куда конкретно она “уплывает”. Сейчас технология лазерных интерферометров довольно развита и доступна на сколько, что интерферометр с точностью измерения до нанометров и пикосекунд можно собрать фактически “на коленке” (с применением готовых комплектующих, которые свободно доступны в продаже за невысокий прайс).

Аналогично для электрической части есть компоненты. Например, смесители плюс пороговые детекторы, фазочувствительные триггеры/компараторы (Phase detectors / Phase comparators), детекторы совпадений (Coincidence Detectors), триггеры по принципу “энд” и различные фазочувствительные (интерференсные) системы. При этом есть недорогие решения, способные фиксировать несопадение в пределах единиц пикосекунд.

Они работают, например, на стыке фронтов. То-есть с двух сторон идет два сигнала, встречаются посередине. Если есть смещение по фазе или задержка по фронту, то встреча будет не по середине, а со сдвигом в одну или другую сторону. Это можно и зафиксировать.

Сравнивать можно все со всем. Отдельные электроды между собой, что бы видеть их степень синхронизации, резонансы катушек между собой, общие резонансы и так далее.

Разумеется, это не все системы, доступные для света. Нужны будут петли обратной связи с ПИД регуляцией для подстройки этого всего. После этого все обсчитывать на процессоре, который будет не просто считать текущее состояние системы, а будет следить за динамикой его изменения, и после вносить корректировки. Это позволит, не имея высокочастотной дискретной системы

контроля в реальном времени следить за системой и превентивно ее регулировать, если откалибровать ПИД-ы. И это давно отработанные и массово используемые технологии.

При этом то, что система работает импульсами, дает удобную дискретную структуру данных, выдавая "снимки" данных для анализа текущего состояния и динамики изменения. Анализ в таком виде намного проще, чем если бы система была непрерывной.

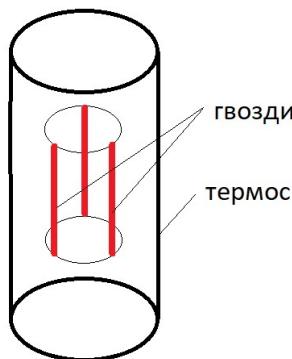
Ну и, кроме этого, есть "жесткая", привязанная к самому "железу" регулировка еще и в реальном времени, как я писал выше, где просто за счет физики процесса вносятся определенные корректировки, препятствующие развитию нестабильностей, или, по крайней мере, сильно замедляющие их развитие.

Но я предполагаю, что только на начальном этапе развития технологии нужно будет много датчиков. Потенциально система может работать всего с парой датчиков, одним пусковым транзистором (вернее парой встречных транзисторов, что бы одной схемой контролировать как накачку, так и съем) и одним контрольным лазером (диодом).

То-есть даже если отвалится большая часть телеметрии, это не скажется на работоспособности, просто немного упадет эффективность. Что, в свою очередь, значительно увеличивает отказоустойчивость всей системы.

---

Но это что касается синхронизации по времени и фазам. А как синхронизировать по напряжению и току разные катушки? Ведь если у них будет отличаться напряжение, то будет отличаться ток, и будет перекос в ту или иную сторону.



Я думаю, их не нужно будет синхронизировать, так как каждая обмотка будет возбуждать ЭДС в соседних если по ней протекает больше ток или больше напряжение. Работать будет электродинамический принцип.

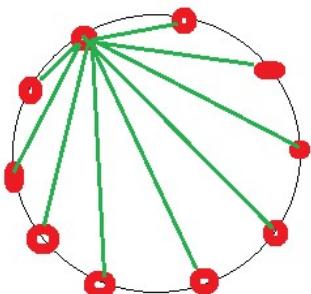
Объясню на примере термодинамики, так как там проще понять. Если в термос засунуть три гвоздя разной температуры, то горячий будет нагревать холодный гвоздь, и между ними температура выровняется. Если же у них температура одинаковая, то теплообмен будет одинаков, и гвозди будут терять ровно сколько тепла, сколько получать от других гвоздей.

Важно, они будут терять тепло, но получать его от других гвоздей. Когда два источника тепла одинаковой температуры, это не означает, что они не обмениваются теплом. Они постоянно им обмениваются, просто отдают сколько же, сколько получают.

При этом гвозди, когда выровняются по температуре будут излучать в окружающую среду. Но если окружающая среда — это вакуум, который заперт в термосе, то излучение будет нагревать стенку термоса, но стенка не может излучать дальше (представим, что термос идеален и дальше не излучает). И когда стенка нагреется, она будет отдавать гвоздям сколько же тепла, сколько получать от них. В итоге и гвозди и стенка выровняются по температуре.

Так же работает и в электродинамике. Если по трем гвоздям-проводникам в этом термосе будет течь разный ток или будет разное напряжение, то магнитное поле, создаваемое одним проводником, будет сильнее, и оно будет возбуждать (наводить) ЭДС в других гвоздях. И если направление тока одинаково, то наведенная ЭДС будет складываться с собственной ЭДС проводника. И так один проводник будет отдавать энергию, другой ее будет получать, и так до тех пор, пока их ЭДС, а как следствие ток и напряжение, не сравняются.

Более того, если будет небольшой сдвиг фаз по проводникам, то за счет наложения наведенной фазы на собственную фазу будет возникать результирующая фаза, которая будет между этими двумя (в зависимости от тока и напряжения каждой из фаз). И таким образом будет происходить выравнивание по фазам (частичное). И таким образом все проводники (катушки) будут синхронизироваться друг с другом.



Более того, если рассматривать систему в вакууме, то каждый проводник будет возбуждать ЭДС во всех других. Но из-за задержки, связанной со скоростью света, сигнал между соседними проводниками будет проходить быстрее, чем через проводник. И отсюда будет происходить сдвиг фаз. Но так как эта схема взаимная, в итоге вся система будет выравниваться.

Но скорей всего это приведет к нескольким получастотам (гармоникам), как условно у колеблющейся струны, где есть основная колебательная частота, и дополнительные. И в теории это можно подстроить так, что бы получилась некая оберчастотная структура (по аналогии с обертоновой структурой в музыке), что в итоге повысит эффективность, если подобрать правильное количество катушек и расстояние между ними, что бы совпадали гармоники.

Правда в реальной системе это взаимное влияние всех на всех будет сильно ослаблено, так как в центре этого кольца плазма, которая экранирует электромагнитное поле. Отсюда по большей части будет влияние каждого проводника на соседние.

Так же это все сверху будет накрыто другой катушкой (которую можно принять за общий экран), которая будет с другим количеством витков, и там будут проходить те же процессы. Только другая катушка будет работать на другой частоте. И отсюда можно будет опять же создать гармонику между внутренней и внешней катушкой.

В итоге это все будет в единой гармоничной колебательной системе (метагармоничном резонаторе или гармоничном метарезонаторе) которая синхронизирует все катушки друг относительно друга.

Контролировать и мониторить эти процессы можно при помощи интерференции фаз.

Только тут нужно подстроить под резонансную частоту двух катушек (она у них будет разной). И для этого одна катушка должна иметь возможность меняться под другую. Подстраивать емкость и индуктивность каждой катушки можно при помощи торцевых пластин или экранов.

Подстройка же гармоник позволит увеличить добротность электросистемы (колебательного контура), что уменьшит потери. Особенно это актуально, если разряды будут проходить не каждый резонансный цикл LC контура. В добавок подстройка гармоник может позволить сделать фронт разряда более резким, если подогнать его под совпадение фаз. Что в свою очередь позволит получать большие токи за короткие промежутки. В базовой версии это не нужно, но если заниматься миниатюризацией, то это может быть полезно.

Но главная идея в том, что даже в первом приближении, без подстройки гармоник, обмотки будут выравниваться по фазе, току и напряжению друг с другом за счет взаимного влияния, так как система работает в динамике.

\*\*\*

Но прежде, чем снимать показатели и управлять системой, нужно понимать, что именно мониторить и как это делать. И дальше стоит поговорить о том, какая вообще магия будет происходить в этой системе.

## Физика процесса

Да, я решил сначала рассказать, как сделать, а потом уже решил объяснить, что конкретно нужно делать и как это будет работать. Но такой вариант я выбрал не случайно. Намного проще представлять в голове объекты, а не “физику”. Абстрактные модели строятся на предметной базе как правило, а не наоборот. Сразу яблоко падает на голову, а потом этот процесс объясняется. А не сразу выдумывается какая-то чушь, а потом ее пытаются натянуть на яблоко. Отсюда я сразу показал яблоко, а теперь буду объяснять, как оно будет падать.

\*\*\*

Сначала поговорим о плазме. Что такое плазма я не буду рассказывать, так как надеюсь все умеют пользоваться поиском. Я лишь расскажу, как она будет вести себя в устройстве.

Плазма – это в каком-то роде самостабилизующаяся система, если использовать ее в импульсном режиме.

У плазмы под низким давлением не высокое сопротивление, из-за чего она позволяет пропускать большой ток.

Но стоит по ней пройти большому току, он начинает сжимать плазму за счет магнитных полей (получается тот самый пинч-эффект), в следствии чего ее давление повышается и плотность повышается. А вместе с этим и ее сопротивление растет, что ограничивает ток (с ростом давления повышается как правило плотность, что уменьшает свободный пробег частиц, и увеличивает коллизионную частоту).

При этом с ростом сопротивления она сильнее нагревается, так как больше падение напряжения происходит, и больше энергии переходит в тепло (ток на любом участке последовательной цепи всегда константа, а плазма – это такая последовательная цепь в первом приближении).

И по мере нагрева плазмы у нее, во-первых, падает плотность при том же давлении, что уменьшает сопротивление, а во-вторых, нее увеличивается ионизация, из-за чего уменьшается сопротивление, ток растет, и еще сильнее сжимает плазму.

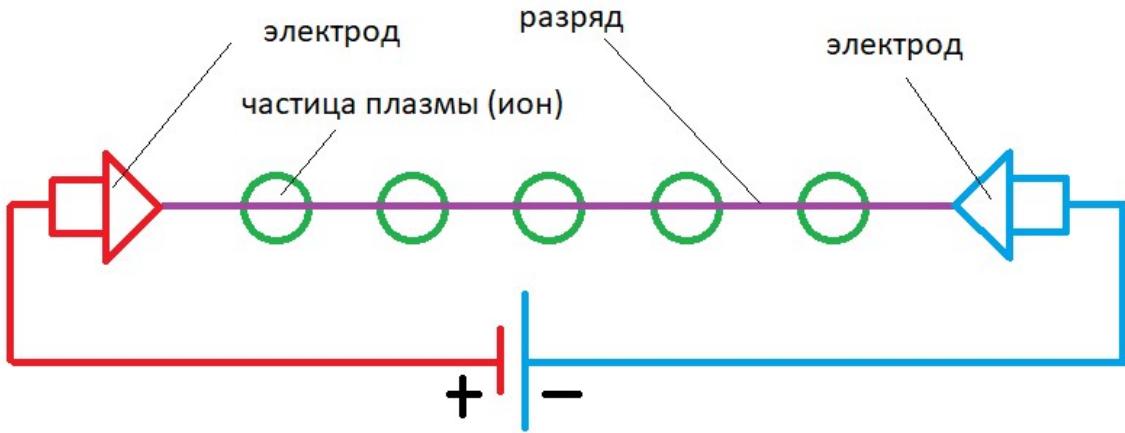
Почему при нагреве падает плотность, а давление сохраняется? Потому что давление зависит от магнитного поля, создаваемого разрядом, что идет через плазму. Если параметры разряда не меняются (ток не растет), то и магнитные силы не меняются. Но если плазма нагревается, это приводит к росту давления. Так как  $P = \rho k T$  и при росте температуры  $T$ , чтобы давление  $P$  осталось постоянным,  $\rho$  (плотность) должна уменьшаться. В итоге часть частиц покидает зону разряда.

И по такой логике все должно работать если просто подать разряд любого тока и любого напряжения. Он сам будет сжимать плазму до бесконечности, либо до тех пор, пока проводники способны его выдерживать, так как проводники тоже ограничивают его ток.

Но на деле все так не работает, так как это только в первом приближении плазма – последовательная электрическая цепь, где каждая частица – условный “элемент” этой цепи.

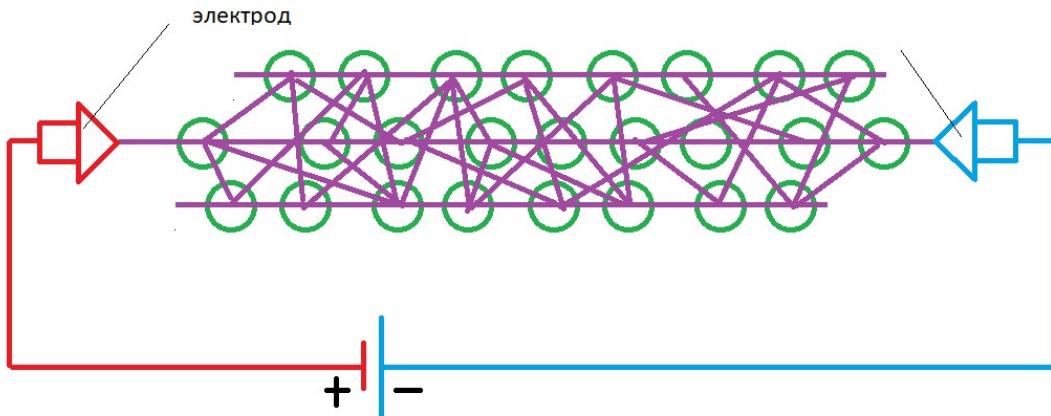
Во втором же приближении плазма – это множество параллельных разветвленных цепей, да еще и с разным сопротивлением, которое еще и переменное.

То есть в первом приближении это выглядит вот так:



Где плазма просто участок последовательной цепи, и ток на каждом участке этой цепи – константа.

Но по факту это выглядит вот так:



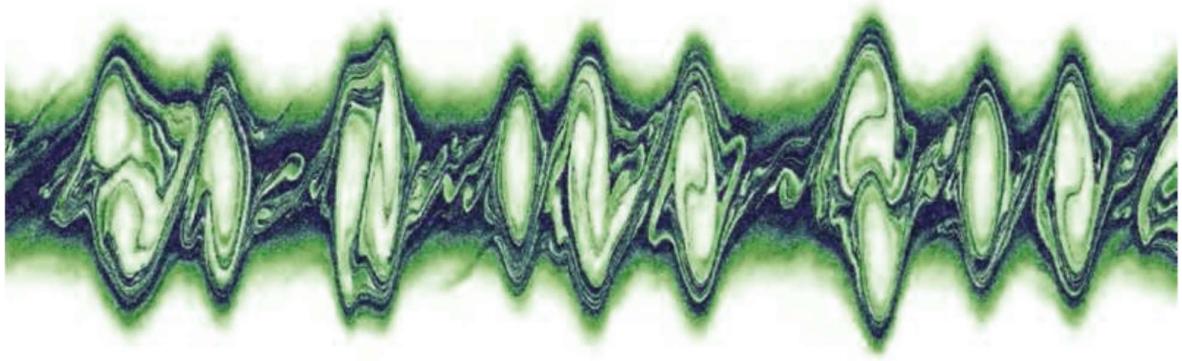
Где эта каждая связь обладает своим собственным сопротивлением (из-за разной степени ионизации частиц и постоянной рекомбинации электронов, а так же других параметров) и более того, эта система еще и жутко динамическая.

А при параллельном подключении ток распределяется в зависимости от сопротивления. Чем выше сопротивление, тем меньше ток. Отсюда если взять участок цепи в целом, то ток на всем участке с плазмой по-прежнему константа, но если “приблизить” какой-то конкретный участок, то там хаос.

Более того, при последовательном подключении работает принцип “меньше меньшего”. То-есть ток всей цепи меньше, чем ток на самом слабом участке этой цепи. А самый слабый участок цепи – это участок с самым большим сопротивлением.

В итоге если какой-то участок в этой каше даст сбой, ток всей системы уменьшится, как следствие, уменьшится магнитная сила, давление плазмы победит магнитную силу, и плазма “разожмется”. Сопротивление плазмы упадет, ток увеличится, она снова сожмется. Но только проблема в том, что эти циклы будут накладываться друг на друга, так как они происходят одновременно во всей плазме, и отдельных “тактов” нет как таковых. В итоге с каждым наложением тонкое место будет становиться еще тоньше, а толстое – еще толще. И либо случится перестройка канала, по которому идет разряд, либо канал начнет разваливаться, подчиняясь дефекту.

Получится вот что-то такое (картинка не из той области, но для наглядности подойдет). Называется “мультипоточная нестабильность”.



В итоге эту штуку нужно как-то стабилизировать. И первый вариант – это использовать разряд, который “сам выбирает себе путь”. Логика тут простая, “выплевываем” в плазму ток, и оставляем его там. Остаться он там не может, так как у плазмы с током высокий потенциал, а у окружающей среды – низкий, а все стремиться к равновесию. В итоге этот разряд попытается сбежать из плазмы самым удобным для него способом. То-есть пойти по кратчайшему пути с наименьшим сопротивлением.

Только нужно учитывать, что должны совпасть оба параметра. Разряд не идет по кратчайшему пути, и не идет по пути с наименьшим сопротивлением. Он выбирает некоторый оптимальный маршрут, по которому может пройти максимальный ток за минимальное время и с минимальными потерями энергии. Собственно, по этой причине человека может шваркнуть молнией, даже когда он находится в окружении многоэтажек, на крыше каждой из которых прилеплен громоотвод.

В итоге в плазме нужно “влить” ток, а после создать путь, по которому ему “удобней всего” из плазмы сбежать. Ну а дальше забить и не мешать ему.

И для этого лучше всего подходит именно импульсный режим. Причем с короткими импульсами, которые “выплевывают” порции тока в плазму, а после этот ток уже сам сбегает из нее.

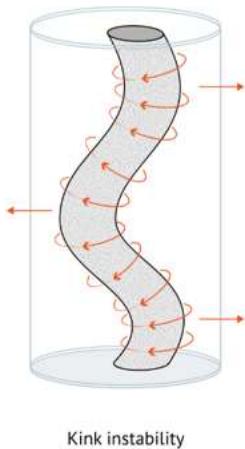
При этом сбежать в направлении отрицательно заряженного электрода он не может, так как он оттуда вышел и там высокий потенциал, и избыток электронов. Сбежать в направлении “куда попало” ему неудобно, так как там сильно большое сопротивление (диэлектрик корпуса). И все, что ему остается, это бежать в направлении положительно заряженного электрода, где нехватка электронов. Если что, ток движется от отрицательного к положительному. То, что он движется от плюса к минусу - устаревшая чушь.

Идея в том, что ток не может остаться в плазме, и он так или иначе ее покинет. И для этого использует самый эффективный способ, какой найдет. В итоге разовьет максимальную силу, какую может. Просто нужно ему не мешать.

Не мешать – это не продолжать “пихать” то, что застряло. То-есть если продолжать “вливать” ток в плазму, когда у нее выросло сопротивление, может случиться “затор”. Но если продолжать “давить”, то “прорвет” в другом месте (ток пойдет по другому пути). Именно по этой причине молнии на небе такие ветвистые. Но только в атмосфере молния в итоге ударяет куда придется, а тут же нужно создать единственный возможный путь. Что бы даже если разряд разойдется, он в итоге пришел в одну и ту же точку.

И нужно не толкать застрявший ток в задницу, и дать ему время уйти из плазмы. А значит время разряда должно быть меньше, чем время, за которое разряд проходит расстояние между электродами. Потому что иначе будет возникать нестабильность.

И это первый вариант как справиться с нестабильностью. И он проверен на практике в лабораториях. Короткие разряды не дают развиваться нестабильностям.



Плюс я уже говорил, что если время разряда больше, чем время, за которое разряд проходит между электродами, то разряд “зажимает” плазму в канале, который подперт электродами, дрейф не происходит, давлению некуда деваться, и плазма начинает “терять устойчивость”, из-за чего ее начинает выгибать. Вот так, как на картинке.

Да, у такой нестабильности есть несколько причин, и потеря устойчивости из-за динамического удлинения канала, это только одна из них. Но сути это не меняет.

Скорость разряда обычно в пределах  $10^6$ - $10^7$  метров в секунду, но может отличаться от  $10^5$  до  $10^8$ . Это 0.01 до 0.1 от скорости света, но потенциально до 0.3 от скорости света. Но для простоты возьму 0.1 от скорости света.

При таких скоростях разряд пройдет метр пути за 0.01-0.03 микросекунд, или 10-30 наносекунд. Но как я уже сказал, он должен занимать не больше двух третей этого расстояния. Так как если он “упрется” в электроды двумя концами, его либо начнет выгибать, либо он сломает электроды, если не давать ему гнуться за счет магнитных полей и лазеров.

Оба явления не желательны, отсюда оптимально сделать время разряда в пределах 10 наносекунд. Этот параметр можно подстраивать, но меньше-лучше. Полупериод в 10 наносекунд – это частота 50 мегагерц. И потенциально такой частоты и продолжительности импульсов хватит для метровой системы. Но я решил брать с запасом, именно по этой причине прикидывал систему для импульсов в 1 наносекунду.

Просто с частотами все просто. Сделать частоту ниже не проблема, сложно ее повысить. Отсюда лучше сразу прикидывать конструкцию и технологию под высокую частоту, а уже после ее понижать, чем наоборот. Так как во втором случае придется все переделывать.

Более того, потенциально может понадобиться делать очень короткие разряды. Дело в том, что как разряд-пинч, так и катушка-пинч, имеют минусовой и плюсовой полюса. В разряд-пинче это электроды, в катушка-пинче – торцы катушки. И таким образом ионы в плазме будут двигаться в направлении отрицательного электрода и/или полюса катушки, так как они с плюсовым зарядом. При этом электроны в этой плазме будут двигаться в сторону положительно полюса. В итоге если постоянно гнать разряд в одну сторону, возникнет дисбаланс ионов и электронов по длине трубы.

Но тут подобный дрейф плазмы не имеет смысла, тем более с той силой и скоростью, с которой он будет происходить. Да, потенциально в будущем такой дрейф можно будет использовать для инерционного синтеза (не путать с инерциальным) или еще каких вещей, но пока рановато об этом думать.

В добавок плазма, которая движется в одном направлении в канале, можно попасть в ситуацию, когда из-за упорядоченного движения частиц, поток становится ламинарным, у него сильно падает давление в поперечном направлении, при этом он обжимается окружающей плазмой, из-за чего возникают “ромбы маха” так называемые.

Потенциально они, конечно, могут создать зоны повышенного давления, где будет выше интенсивность реакции, но скорей всего просто будут создавать зоны турбулентности и нестабильности, так как основная задача плазмы в системе, это, в первую очередь, проводить ток. И такие зоны повышенного давления будут обладать повышенным сопротивлением, и ограничивать ток, или заставлять разряд обходить их.

Отсюда либо придется ставить МГД генератор, который бы просто тормозил плазму, что разогналась в одну сторону, и снимал с ее движения ЭДС, либо можно подавать разряды по очереди с каждой стороны что бы “качать” плазму туда-сюда, не давая ей разгоняться.

МГД генератор не лучшее решение, так как это лишняя громоздкая деталь, на которой будут дополнительные потери, и лучший вариант – это подавать разряды поочередно с разных сторон.

И к счастью колебательный контур это позволяет сделать без особых усилий, так как ток в контуре постоянно проходит через ноль. И главное подобрать момент, когда подавать разряд, что бы он оказался в нужной полярности. Ну условно, если задача подавать каждый раз разряд с разной стороны, то нужно его запускать каждый нечетный колебательный полупериод, а если с одной, то каждый четный.

При этом катушку вокруг разряда можно намотать двумя способами. Первый способ, что бы разряд возбуждал ЭДС в катушке так, что бы это ЭДС возбуждало магнитное поле в другой полярности, другой вариант, что бы в той же полярности. В первом случае легко сделать что бы разряд каждый раз получался с разных сторон. То-есть катушку можно намотать так, что бы разряд создавал магнитное поле, которое бы “переворачивало” полярность электродов (но для такой съемы съемную катушку нужно делать первой, а рабочую за ней).

Еще что касается частоты работы, то не только разряд имеет значение, но и отскок плазмы. Нужно не допустить, что бы плазма долетела до трубки корпуса. Для этого она будет тормозиться магнитным полем, за счет чего и будет получаться ЭДС, которую после можно снимать. Но даже так плазма при  $10^8$  градусов довольно быстрая, и частицы могут двигаться с начальной скоростью 0.1-0.3 от скорости света. Учитывая, какой диаметр трубы, плазма преодолеет расстояние до стенки за несколько наносекунд даже с учетом замедления об магнитное поле.

Да, более холодная окружающая плазма за счет своей инерции будет подтормаживать и сжимать быстрые частицы в рабочей зоне, но некоторые из них могут пролететь “навылет” не встретив на пути более медленных частиц окружающей плазмы. И желательно считать по ним.

Конечно, чем крупнее система, тем меньше будет таких ионов, так как слой окружающей плазмы будет все толще, и шанс что частицы затормозятся повышается. Но я отталкиваюсь от неудобного сценария. Так как, как я уже говорил, построить реактор размером с дом не проблема, сложно построить реактор размером с батарейку.

В итоге для реактора, диаметром до 20см полупериод в 10 наносекунд я принял за максимальный по длительности. Это что касается частоты. Но еще стоит вернуться к нестабильностям.

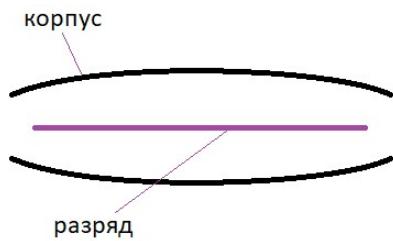
К счастью, конструкция и принцип работы реактора будет автоматически подавлять большую часть нестабильностей. То-есть система сама будет их компенсировать в пассивном режиме. В этом будет помогать катушка-пинч.

Магнитное поле в центре катушки почти нулевое (должно быть, дальше расскажу почему), но по мере удаления от оси оно увеличивается. При этом магнитное поле плазмы сильнее там, где больше плотность. То-есть в канале, что сжимается разрядом.

В итоге если канал разряда начнет выгибать, он сместиться от оси катушки. И чем сильнее он сместиться от оси, тем сильнее на него начнет действовать магнитное поле катушки, из-за чего он будет возвращаться в центр.

Но даже если разряд будет в центре, магнитное поле катушки будет действовать на окружающую плазму, толкая ее в центр и сжимая, а она уже будет действовать на канал, выравнивая его. И таким образом высоко ионизированный плазменный канал, по которому разряд проходит, будет выравниваться по оси катушки.

Плюс внешнее магнитное поле будет выравнивать давление и ионизацию плазмы, уменьшая зоны турбулентности и неоднородности и ослабляя тот ужас, что на картинке ранее (мультипоточную нестабильность). Вернее давление само будет выравниваться по классической физике. А магнитное поле будет выравнивать ионизацию по объему, так как будет давить сильнее на "сгустки" плазмы, где больше ионов, и тем самым "вдавливать" эти ионы в зоны, где их мало.



А если сделать катушку бочковидной, то магнитное поле будет сгонять плазму в центр бочки, что позволит локализовать область реакции.

Единственная проблема в такой системе – это электродинамические волны. Если резонанс развалится, то получится динамика, напоминающая две встречные волны на воде, которые встречаются и в

месте встречи не просто интерферируют, усиливаясь, но создают всплеск, ломающий их структуру. Но если одна волна – это волна в катушке, то вторая – это волна плазмы. И нужно стараться что бы плазма, что движется волнами от разряда, не встречала встречные волны магнитного поля от катушки. Иначе будет ломаться структура плазмы.

\*\*\*

Кроме этого, бороться с нестабильностями, особенно такими как мультипоточные нестабильности, будет помогать лазер. В классических системах лазер используется только для первичного пробоя. Тут же он будет присутствовать все время, пока действует разряд. И будет не только создавать ионизированный канал (лазерный пробой), но кроме этого будет "разбивать" сгустки и нестабильности плазмы, делая ее однородной и тем самым выравнивая канал и стабилизируя его.

Логика работы лазера в этом ключе простая. Где выше плотность плазмы, там выше сопротивление, и там "узкое место" для разряда. Но для лазера там больше ионов, в следствии чего эта область плазмы сильнее поглощает излучение. В итоге этот сгусток сильнее нагревается, его давление растет, плотность падает, и сгусток пропадает.

И про лазер стоит поговорить подробней. Так как он не просто будет разбивать сгустки, он будет создавать определенную структуру в плазме.

Лазер не только создает ионизацию, но и "раздвигает" плазму от оси луча, расталкивая ее (связано это с моментальным импульсом, как это работает расскажу в следующем приложении).

В итоге у плазмы по оси лазера получается более низкое давление, чем у плазмы на периферии луча. У плазмы под более низким давлением более низкое сопротивление. На это накладывается еще и более высокая ионизация, которая тоже снижает сопротивление, и разряд идет строго по линии, проложенной лазером.

При этом лазер тут строго необходим, так как без него по оси канала (пинча) будет зона высокого давления. А у плазмы высокого давления больше сопротивление. В итоге разряд эту зону будет

обходить, и пойдет куда угодно, но только не по тому же пути, по которому шел прошлый раз. При этом лазер должен быть достаточно мощный, что бы “пробить” канал низкого давления в сжатой плазме. Учитывая, что чем мощнее разряд, тем сильнее сжатие в канале, тем выше там плотность, и тем мощнее нужен лазер, что бы эту плотность “пробить” и создать зону низкой плотности.

Но к счастью, в предлагаемой мной системе такой лазер – просто бонус. Причем его мощность еще и автоматически корректируется под мощность разряда. Так как чем мощнее разряд, тем выше излучение плазмы.

Но только я только что допустил намеренную ошибку, что бы показать, как можно легко запутаться. Давление газа зависит от плотности и температуры. И электрическое сопротивление плазмы растет с ростом плотности, а не давления. Но обычно более высокая плотность следствие более высокого давления. Ну условно те же натриевые лампы высокого давления делаются путем закачки в лампу большего давления при нормальной температуре, что автоматически повышает плотность. И у таких ламп более высокое сопротивление, чем у ламп низкого давления.

Но давление может расти еще и с ростом температуры при той же плотности. Так как давление – это сумма всех кинетических энергий молекул на единицу площади поверхности. И может быть много медленных молекул или мало быстрых. Давление будет одинаковым, а плотность и температура разной.

И может случиться так, что давление высокое, но высокое оно за счет температуры, а не за счет плотности. И тогда получится, что в канале хоть и очень высокое давление, но там зона низкой плотности и высокой температуры, из-за чего там низкое сопротивление.

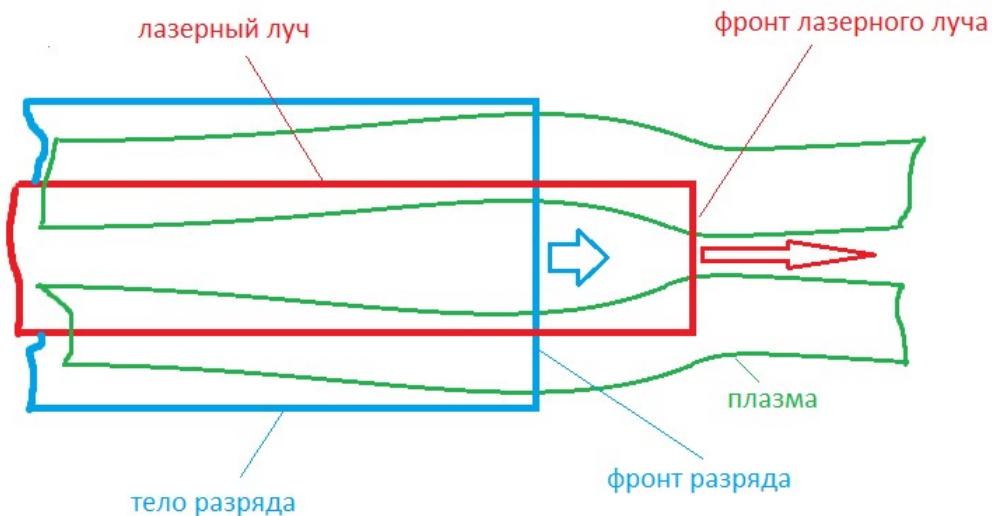
В итоге по большей части будет зона с большой температурой и давлением в канале, но низкой плотностью, но и обратный случай, когда высокая плотность, нужно учитывать. Так как по каналу высокой плотности разряд не пойдет и будет искать обходные пути, из-за чего начнутся всякие нестабильности. И лазер в этой ситуации будет как раз гарантировано создавать канал низкой плотности и высокой температуры.

Но так как разряд после сжимает плазму, то будет получаться некая динамическая трубка из плазмы, где лазер формирует отверстие в трубке, а разряд сжимает края. При этом из-за того, что разряд будет идти импульсами с какой-то скоростью, динамика этой трубки будет напоминать динамику перистальтической вены, которая будет словно “прокачивать” волну. Отсюда я решил назвать эту структуру “плазменной веной”.

В итоге работать будет так: лазер пробивает в плазме канал, раздвигая частицы по окружности вокруг своей оси. При этом он создает зону низкой плотности и высокой ионизации, по которой проходит разряд.

Разряд, по мере своего прохождения, сжимает канал, заполняя зону низкой плотности в центре. Частицы устремляются друг навстречу другу, и там не только сжимаются, но и сталкиваются просто за счет схлопывания стенок плазменной вены, что увеличивает вероятность реакции, так как вектора движения атомов становятся более оптимальными (навстречу друг другу).

Выглядеть это будет как-то так:



В момент схлопывания плазменной вены, будет максимальная интенсивность реакции, что вызовет всплеск давления. И в идеале в этот момент плазму “отпустить” (прервать разряд). Тогда КПД системы будет максимальным.

Более того, еще время импульса стоит держать коротким и не сильно превышать время “схлопывания” вены, потому что лазер создает зону низкой плотности, где падает сопротивление, и через эту зону идет разряд. Но когда плазма сожмется, наоборот возникнет зона высокой плотности, и разряд пойдет в обход этой зоны, что приведет к появлению мультипоточных нестабильностей. Разряд будет выбирать какой то-путь, сжимать там плазму, у нее будет расти плотность, как следствие будет расти сопротивление, и разряд будет покидать этот участок и идти по новому пути. И так раз за разом, порождая множественные локальные нестабильности.

Ну а когда плазма после затухания разряда “отпружинит” из-за давления, ее будет дополнительно “распихивать” лазер, который уже успел пролететь реактор насеквоздь и отразиться, и сейчас летит в обратном направлении. В результате чего часть энергии, запасенной в лазере, будет переходить назад в ЭДС через ускорение расширения плазмы, что не позволит бесконечно накапливать энергию в лазере и возвращать ее часть назад в ЭДС.

Далее новый цикл и все по новой.

---

При этом не нужно забывать про окружающую плазму и про магнитное поле, создаваемое катушкой. Разряд создает градиентное магнитное поле, затухающее по мере удаления от него. Из-за чего он сжимает плазму сильнее всего в центре канала, где он проходит, а окружающая плазма ему только мешает, отбирая часть энергии, более того, высокое давление в центре постоянно стремится разорвать канал, так как снаружи плазму ничего не сжимает, и там зона низкого давления.

А вот катушка-пинч работает с точностью до наоборот. Магнитное поле катушки более слабое по оси и более сильное максимально близко к виткам. Вообще у соленоида не так, но из-за того, что у катушки большой шаг, ее поле ведет себя иначе, чем у соленоида, и это хорошо. Оно должно сжимать не плазму в разряде, а окружающую. В идеале сделать систему, где самое большое магнитное поле возле витков, а в центре оно почти нулевое.

Из-за чего катушка в первую очередь будет сжимать окружающую плазму, а на плазму по оси будет действовать минимально. Плазма по оси сжимается только инерционным сжатием, когда внешний газ обжимает газ в центре, но этого сжатия недостаточно для реакции.

Логика в том, что, во-первых, такое магнитное поле эффективно отпихивает плазму от стенок корпуса, из-за чего уменьшаются потери через контакт нагретой среды со стенками. Но, кроме этого, будет происходить ситуация, когда плазму в центр стягивает разряд, и сжимает ее именно по оси канала. В то время как окружающая плазма “поджимает” плазму в канале (обратный пинч), уменьшая усилие, что нужно для сжатия плазмы до наступления реакции. В добавок внешнее магнитное поле не мешает магнитному полю разряда, и не возникает конфликтов.

Математика инерционного сжатия такая: допустим для того, что бы сжать плазму от 1 бара до 100 бар нужно приложить 1000 Ампер. Но что бы сжать от 10 до 100 бар нужно приложить всего 100 ампер (коэффициенты адиабаты пока не учитываю, и беру в амперах, а не джоулях так как магнитное поле создает ток, а не энергия). Отсюда намного выгоднее использовать плазму сразу под высоким давлением. И чем выше это давление, тем лучше, потому что это снижает нагрузку на электросистему.

Но проблема в том, что большое давление накладывает нагрузку на корпус, и это не безопасно. Плюс газ под большим давлением сложнее отодвинуть от стенок корпуса, что бы он их не касался и не передавал тепло, что будет приводить к потерям. Но высокое давление можно создать временно, просто скав окружающую плазму внешним полем.

Это конечно потребует энергии в моменте, что увеличит реактивную мощность системы по сравнению с тем, если бы просто закачать газ под статическим давлением. Но потенциально уменьшит потери. Плюс нагрузка разделиться в итоге на две системы (катушку и электроды), а не на одну (электроды), что позволит либо получить больше удельной мощности, либо просто уменьшить ток и напряжение разряда (если катушку запитать от отдельного источника).

\*\*\*

Еще стоит рассказать про квазисверхпроводимость. Что это за состояние и как возникает.

Когда плазма переходит в состояние электронно-ядерного супа у нее резко падает сопротивление. Это состояние наступает, когда у нее полная ионизация, то есть все электроны оторваны от ядер.

Связано падение сопротивления с тем, что в нормальном режиме электрон, как переносчик электрического тока, движется в плазме, но натыкается на электронную оболочку атома, из-за чего тормозится или отклоняется, попутно “пиная” электрон атома (передавая ему импульс), что приводит к тому, что последний перепрыгивает на другой электронный уровень. Это в свою очередь выражается в свечении и/или нагреве.

В электронно-ядерном супе же электронов на электронных уровнях нет, из-за чего ничего не мешает двигаться электронам, что переносят импульс. Вокруг ядер же такие электроны движутся, условно, совершая “магнитный маневр”. Это можно представить себе, как гравитационный маневр вокруг планеты. Если не столкнуться ни с чем, то ты не замедлишься и не ускоришься, просто изменится твоя траектория (при условии, что планета не движется).

При этом понятно, что ядра еще вносят какой-то вклад в это движение, и электроны могут попадать на электронные уровни, из-за чего возникает излучение, и так же создается сопротивление, когда другие электроны налетают на застрявший на электронном уровне электрон. В добавок в такой плазме нет коллективного куперовского состояния из-за высокой подвижности самих ядер. Из-за чего это условно ламинарное движение электронов, а не

абсолютно ламинарное. Но чем выше температура, тем реже происходят эти моменты рекомбинации электронов, и тем однородней электронно-ядерный суп.

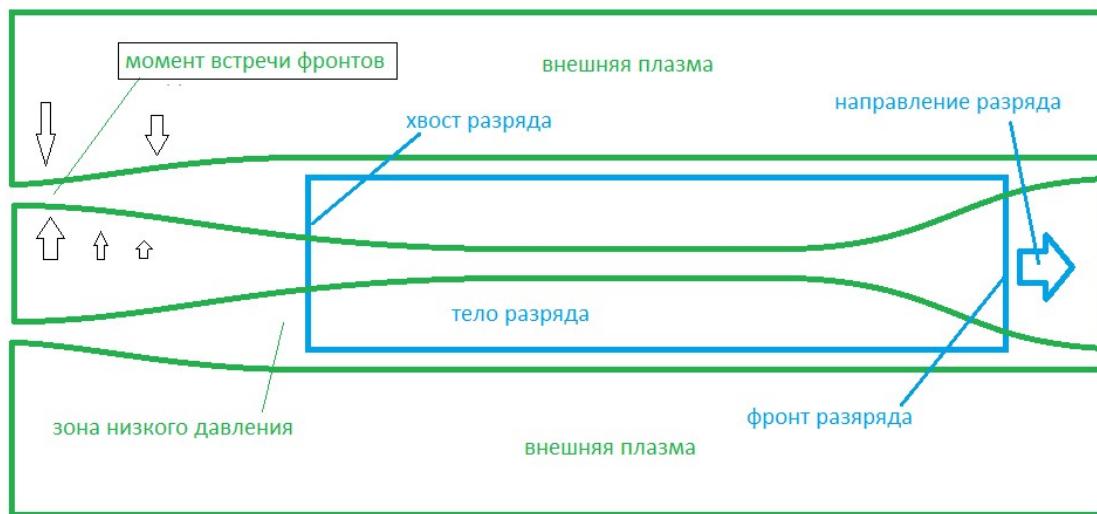
В итоге это выражается в сильном падении сопротивления, что напоминает состояние сверхпроводимости. Только это не реальная сверхпроводимость, а просто очень низкое сопротивление, потому и название такое – квазисверхпроводимость.

\*\*\*

Но вернемся к плазме и ее динамике. Еще у меня есть предположение, что разряд, сжимая плазму, будет создавать зону пониженного давления вокруг себя. Это будет незначительное снижение давления, но это поможет мониторить некоторые параметры системы.

Из-за того, что магнитное поле, создаваемое катушкой, будет слегка запаздывать, так как поле от разряда должно долететь до катушки и возбудить там ЭДС, преодолев самоиндукцию, то когда разряд затухнет, и плазма в канале начнет расширяться, магнитное поле катушки все еще будет толкать окружающую плазму в направлении оси. Из-за чего произойдет встреча двух плазменных фронтов. Фронта сжимающейся окружающей плазмы, и фронта расширяющейся плазмы в канале. Ну при условии, что катушка-пинч имеет сильное магнитное поле ближе к виткам, а не к оси катушки, как у соленоида.

Выглядеть встреча фронтов будет как-то так (не совсем так, но мне лень перерисовывать):



В итоге это породит еще один всплеск интенсивности реакции. Первый будет когда схлопнется плазменная вена, сжимаемая разрядом, а второй, когда расширяющийся фронт плазмы после затухания разряда встретиться с фронтом сжимающейся от магнитного поля катушки плазмы. И если подобрать продолжительность разряда так, что бы не было бесполезного удержания (подвисания) плазмы, где фронты встретились, реакция случилась, а разряд все еще держит плазму, и сделать так, что бы система работала в диапазоне “упругих частот”, это может сильно повысить эффективность работы реактора.

Причем интересно что в таком режиме фактически будет не “пинч” синтез, а инерционный, когда частицы движутся фронтами и встречаются лоб в лоб. Именно по этой причине я говорил, что в моей системе будет еще и инерционный синтез.

Ну а измерять и детектировать эти встречи фронтов плазмы можно через вспышки излучения (с учетом задержки, пока свет дойдет до датчика). Так как при такой встрече будет возникать

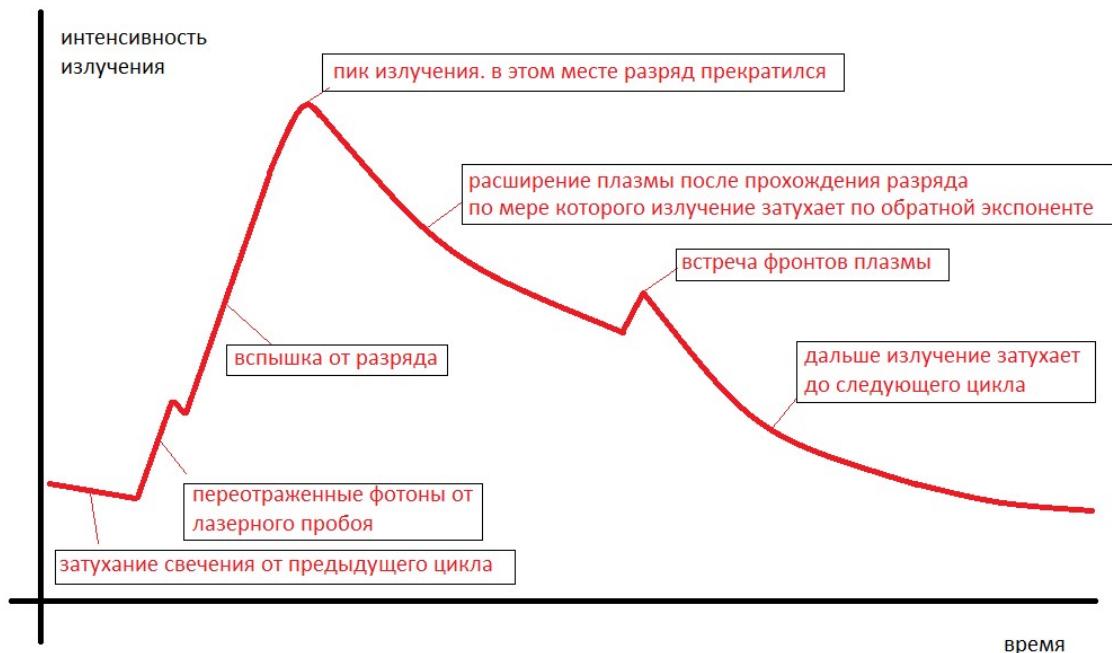
тормозное излучение, которое можно ловить и измерять, и тем самым понимать, какая средняя скорость частиц плазмы исходя из того, как быстро фронты встретились.

То-есть, условно, свет будет таким: сначала между циклами излучение затухающей интенсивности, после первая слабая вспышка. Эта вспышка - переотраженные fotoны от лазерного пробоя. Дальше следует мощная вспышка света с большим пиком, которая возникает при прохождении разряда по каналу, созданному лазером. Тут еще может быть "бугор" на графике в момент "схлопывания" плазменной вены (я его не изобразил).

Дальше, после затухания разряда пойдет затухающее свечение по мере расширения плазмы в канале, с которым уменьшается количество столкновений, и, как следствие, падает тормозное излучение, а так же происходит общее охлаждение плазмы из-за адиабатического расширения.

Но в какой-то момент будет небольшой всплеск излучения, после которого будет опять же затухание свечения.

Вот как-то так будет выглядеть график:



Определять эти параметры не сложно. Нужна всего парочка светочувствительных диодов и мешок расчетов.

Это касается того, как будет вести себя плазма в системе.

\*\*\*

Но не одной стабильной плазмой и сильным сжатием определяется реакция. Дело в том, что даже если сделать мощный импульс, этого не хватит, что бы произошла реакция. Плазму не сожмет и не нагреет достаточно сильно, что бы она случилась. Максимум будут единичные реакции.

Связано это с таким параметром, как критерий Лоусона, который говорит о том, что важна не только температура и давление, но и время удержания этих значений, что бы частицы успели встретиться друг с другом. Выглядит вот так:

$$n\tau \geq \frac{1}{\langle \sigma v \rangle},$$

где:

- $n$  — плотность частиц ( $\text{м}^{-3}$ ),
- $\tau$  — время удержания (с),
- $\langle \sigma v \rangle$  — усреднённая по скоростям реакционная скорость (произведение сечения реакции  $\sigma$  на относительную скорость частиц  $v$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Самый простой вариант повысить этот параметр, это повысить время действия разряда. Но этот вариант не желателен, так как тогда вырастет нагрузка на систему, плюс чем дольше длится импульс, тем сильнее растет сопротивление проводников. Плюс я уже рассказывал, почему разряд должен быть коротким.

Отсюда нужно либо увеличивать плотность части, либо повышать температуру. Последняя в формуле закопана в реакционной скорости в знаменателе. Так как температуру можно выразить через скорость частиц, зная их массу.

Просто брать и повышать температуру не лучшая идея, слишком большая температура может вызвать нежелательные эффекты. Отсюда лучше повышать плотность частиц.

Плотность частиц можно повысить, увеличив давление, которое зависит от тока, и время действия разряда, так как плазма все же инертная и за мгновенье ее не сжать. С временем разряда, как я уже сказал, не вариант, а с током хотелось бы, но тогда возрастаёт нагрузка на систему.

Но есть еще один вариант. Тот, о котором я говорил раньше. Создать давление окружающей плазмы, которая будет “обжимать” канал. И лучше всего это сделать в импульсном режиме, чтобы разгрузить систему, и использовать не только силу магнитного поля, но и инерцию плазмы, что на скорости несется в центр, а после требует времени на то, что бы остановиться и снова разлететься.

В итоге нужно не за один разряд сжать плазму, так как это потребует очень больших токов и времени разряда, что бы достичь нужного давления, а сжимать ее все сильнее с каждым последующим разрядом, что бы внешняя плазма за счет своей инерции и давления обжимала плазму в канале, словно “прессуя” ее туда раз за разом. В общем я предлагаю использовать не кувалду, а отбойный молоток.

При этом на отскоке это особо не скажется. Так как после снятия магнитного поля и угасания разряда, плазма будет расширяться от центра во все стороны равномерно. Единственный нюанс тут с синхронизацией магнитных полей.

Получится так, что электромагнитный импульс от разряда долетит до обмоток за 0.2 наносекунды примерно (если радиус катушки 8 см). Возбудит ЭДС, и возникнет магнитное поле. При этом оно будет возникать постепенно, так как насыщение катушки происходит не мгновенно.

И по мере усиления оно начнет толкать плазму в направлении канала. Но только в первую очередь оно толкнет окружающую плазму, что близко к катушке.

Окружающая плазма обладает массой и инерцией, и скорость частиц там не такая большая. В итоге эта плазма не успеет воздействовать на пинч-канал до того, как угаснет разряд. Но только как только угаснет разряд, она не будет сразу же “отскакивать” и возвращаться на свое место, так как катушка обладает индуктивностью и емкостью и еще какое-то время по инерции будет

создавать магнитное поле, пока в ней будет происходить самоиндукция. Да и самоиндукция начнется только через те же 0.2 наносекунды после того, как разряд угаснет. Так как хвост электромагнитного импульса должен еще долететь до катушки.

В итоге в плазме на отскоке возникнет некая волна, так как плазма из пинч-канала будет словно взрыв в атмосфере. И скорость этой волны будет зависеть от скорости звука в среде (я предполагаю), так как частицы будут передавать друг другу энергию по цепочке так же, как во время передачи звука.

И нужно будет что бы эта волна попала в самоиндукцию. То-есть нужно подобрать индуктивность катушки таким образом, что бы фаза, созданная волной плазмы, и фаза самоиндукции наложились друг на друга, а не подавили друг друга.

При этом хорошо здесь то, что если фазы не будут конфликтовать, то энергия, затраченная на сжатие плазмы внешним магнитным полем, почти полностью будет возвращена при отскоке плазмы за счет наведенной ЭДС. То-есть не нужно будет тратить энергию на удержание плазмы.

---

Хотя лично мне критерий Лоусона через время удержания для систем, подобных моей, видится не очень подходящим. Тут важнее просто плотность энергии. Так как система резонансная и она гоняет энергию по кругу, и не важно какое там время удержания, так как для одного цикла оно очень маленькое, но для серии циклов оно теряет смысл.

В итоге важно просто накачкой добиться достаточной плотности энергии в зоне реакции, реакция будет идти непрерывно в импульсном режиме, то усиливаясь во время импульсов, то затухая в моменты отскока.

Понятно, что важна не просто плотность энергии, так как тогда можно было бы просто накачать цилиндр лазером, и там, где была бы наибольшая плотность просто не было бы материи, так как лазер бы всю ее растолкал, и никакой реакции бы не происходило. Отсюда важна еще и плотность частиц.

Уравнение пока не придумал, так как оно на этом этапе не особо нужно. Но суть думаю понятна.

---

В итоге таким образом хоть и при первом же разряде не получится инициировать реакцию, так как не хватит ни давления, ни энергии (температуры), но за несколько десятков/сотен/тысяч разрядов и пульсаций магнитного поля можно дойти до того, состояния, когда плазма достигнет такой плотности частиц, что не нужно будет повышать время удержания, чтобы выполнялось условие Лоусона.

По примерным прикидкам, если при нормальном начальном давлении плазмы (1атм) после первого разряда энергией 1 Дж в пинч-канале 1 метр длиной и 1 мм в диаметре число Лоусона будет на 3 порядка меньше того, которое нужно для стабильной реакции для бор-водородной плазмы и реакция не случиться. Но если каждый цикл прикладывать по 1 джоулю энергии, используя механизм подпора внутренней плазмы окружающей, то через 1000 разрядов число Лоусона будет на 1 порядок выше необходимого.

Если, что "необходимым" в моей системе считается то, что дает самоподдерживающийся режим работы. А режим работы считается самоподдерживающимся тогда, когда в результате реакций выделяется сколько же энергии, сколько теряется на каждом цикле в виде тепла (из-за КПД).

При этом то, что число Лоусона получается больше необходимого на 1 порядок означает, что после тысячи разрядов, когда реактор выйдет на "рабочий режим", на каждый дополнительный

разряд с энергией 1 джоуль, будет получаться более 100 джоулей энергии в результате реакции (исходя из параметров интенсивности реакции, учитывая, что интенсивно растет не линейно числу Лоусона).

1000 разрядов я взял из-за того, что плазме нужно время, что бы слететься в центр под толчками магнитного поля. И за 100 разрядов она просто может не успеть из-за инерции. При этом больше тысячи разрядов скорей всего нет смысла делать, так как если система не запустилась, параметры не те, и стоит сделать паузу и их поменять, подстроив резонансы.

При этом я не знаю, на каком разряде должен быть положительный выход энергии ( $Q$  больше единицы). Это может быть на 1000 разряде, а может на 173. И это придется выяснить, что бы управлять системой эффективно, а то так можно случайно выйти на запредельную мощность и все расплавить.

При этом на старте развития системы есть смысл добывать энергию короткими сетами, пусть даже с ухудшением коэффициента выхода энергии.

Например, 10000 разрядов подали, потратили 10кДж, получили 100кДж, при этом в тепло выделилось около 15-25 кДж. Потом сделали паузу, что бы тепло распределилось и отвело (паузу на 100-1000 микросекунд, например), дальше новый сет, где все начинается сначала. При этом запуск происходит с рабочих конденсаторов, и туда же энергия возвращается, когда начинается реакция. В самом же сете между циклами энергия “отбирается” во внешние конденсаторы (ионисторы), что бы не перенасытить систему.

Если что, 10000 циклов с паузами будут занимать около 200-1000 микросекунд. То-есть это короткие сети, которые не успеют перегреть систему или перезарядить конденсаторы.

Еще одно преимущество работы сетами в том (чуть ли не основное), что не нужно уменьшать зону реакции, что бы реактор не сжег сам себя. Количество энергии на цикл уменьшать нельзя, так как с падением энергии разряда упадет и сжатие, потому что магнитное поле не будет в состоянии создать достаточное давление и температуру, растянуть время пауз между разрядами, и плазма будет долетать до стенок или сильно расширяться, что ее потом будет долго сжимать (хотя частично увеличить паузу можно, делая не каждый колебательный такт, а раз в несколько тактов), а если оставить энергию цикла на том же уровне, то, как я писал, будет огромная теплонагруженность системы, и нет способов, позволяющих отводить это тепло с такой площади.

Но работая короткими сетами, можно использовать всю зону реакции, но не все время, а периодами, используя теплоемкость реактора и дав системе охлаждения больше времени на отведение тепла.

Например, за секунду можно сделать тысячу сетов по 10 000 разрядов в каждом (с учетом пауз). И получить выход энергии 100МВт в час. Но при этом просто увеличив паузу между сетами в 10 раз, можно получить выход энергии 10МВт в час, которые реактор выдержит без проблем даже с учетом теплопотерь, так как 1-2МВт тепла реально отвести обычной системой охлаждения на воде, в рамках метрового реактора.

В итоге не меняя зону реакции, можно просто дозировать энергию продолжительностью и/или частой сетов.

Более того, такая система будет способна выдавать огромную мощность за короткий промежуток времени, пока справляется теплоемкость и теплопроводность корпуса (я думаю это сотни миллисекунд, а может даже единицы секунд). И такой бонус может оказаться очень полезным. Например, можно запускать системы, где высокие пусковые токи (различные электродвигатели)

или импульсный режим работы (лазеры и т.д.). Или даже получить гигаватт мощности с реактора, размером с холодильник в течении 1 секунды.

Плюс при такой “сетовой” схеме просто подстраиваться под нагрузку. Достаточно посмотреть, сколько энергии в конденсаторах, и, если мало, можно запустить короткий сет, и подзарядить их. Если достаточно, не давать сет, и держать реактор на удержании, готовым к работе (удерживать плазму тлеющим или слабым дуговым разрядом).

То-есть такая системы получится максимально отзывчива, и не будет требовать длительного запуска, как какой-то токомак, где плазма долго разогревается. Нужно 100кДж энергии? Берется с конденсаторов. Реактор наготове, плазма поддерживается. Конденсаторы подсели, запустился реактор, влил 100кДж за сет, подзарядил их, и затух до следующего сета. Все происходит за микро и миллисекунды, а конденсаторы содержат энергию на секунды.

Ну а когда будет достаточно данных, можно будет уже эмпирическим путем понимать, сколько нужно дать разрядов подряд, что бы получить плюс-минус определенное количество энергии за сет.

Единственный минус, что между сетами тепло, что осталось в плазме, не так эффективно будет переходить в ЭДС при отскеоке плазмы, и часть его будет теряться, что уменьшит КПД прямого съема. Но это не большая потеря на начальном этапе развития технологии.

\*\*\*

Также есть нюанс. Я писал до этого про колебательный контур, но при таких частотах и таких размерах стоит рассматривать систему не как классический колебательный контур, а как волновой резонатор (продольный коаксиальный цилиндрический синфазный резонатор бегущей волны). Так как разряд будет не сжимать всю плазму по длине, а будет “гнать в ней волну” по мере своего движения. И после плазма будет отскакивать (расширяться) так же волной. То-есть будет такая “плазменная вена”, напоминающая по виду пульсирующий перистальтический насос.

И эта волна плазмы с учетом времени, за которое долетает фронт электромагнитного импульса до катушки (с учетом скорости света), должна совпадать с волной заряда в катушке. То-есть волна в плазме с волной в катушке должна двигаться синфазно, или хотя бы около того.

Плюс у такого резонатора во первых частота может быть сильно выше, чем у классического колебательного контура, во-вторых, он может отдавать выше токи за короткое время, так как он по сути волну, которая по нему идет, выбрасывает сразу же в виде разряда (назвал это “волновой импульс”, когда волна напряжения в синфазном колебательном резонаторе совпадает с моментом выброса разряда и преобразуется в короткий мощный импульс). И, в-третьих, такой резонатор будет эффективней переводить энергию плазмы в электрическую, так как не будет дисгармонических потерь, когда разные зоны канала или катушки не совпадают по фазам резонанса.

И чем больше длина трубы, тем сильнее будет эта дисгармония возникать.

Да, потенциально можно сделать короткий разряд. Но тогда возникает проблема с тем, что магнитное поле от разряда будет распространяться больше вдоль разряда, чем поперек, как и давление плазмы, и это вызовет потери. Отсюда чем длинней и тоньше система, тем выше у нее будет КПД. Это как с удлинением крыла самолета. В идеале делать его бесконечного удлинения.

И предлагаю термин “удлинение” применять и для плазмолампового реактора. Параметр показывает соотношение длины рабочей зоны ее диаметру. Чем выше удлинение, тем выше его потенциальная эффективность.

Ну потому, что если магнитному полю некуда уходить, так как оно заперто катушкой, то оно все ею и будет поглощено. И потерь не будет. В идеальном варианте. В реальном же будут потери на противо-ЭДС, порождаемое хаотичным движением частиц. Но тут уже эти потери зависят от того, как движутся частицы, хаотично, или направлено.

При этом тут тоже будут работать такие же улучшения, как и в крыле. Ну формата что форма в виде эллипса, сужение на концах и т.д.

Но при это не значит, что нужен именно синфазный резонатор, где синхронизируется фаза волны в плазме с фазой колебаний тока в катушке. Колебательный контур тоже будет работать, просто хуже (скорей всего).

\*\*\*

Управлять системой можно по четырем параметрам. Напряжение, ток частота и время разряда.

Частотой можно управлять, повышая или понижая индуктивность/емкость катушки, конденсатора, тем самым сдвигая частоту колебаний LC контура. Ну а после уже под эту новую частоту подстраивать задержку лазера просто перемещением зеркала.

При этом индуктивное сопротивление будет уменьшать ток, растягивая разряд по времени. Что позволит менять продолжительность разряда. Кроме этого, разряд можно сдвигать в ту или иную сторону по фазе, используя прерыватель.

Ну и остается такой параметр как напряжение. Катушку можно насытить сильнее и получить в итоге более высокое напряжение разряда.

Ток в этой схеме, понятно, зависимый параметр. Током напрямую управлять нельзя. Но можно управлять им через сопротивление (в данном случае индуктивное) ограничивая скорость нарастания напряжения, и через само напряжение, ограничивая его верхний предел.

И тут нужно остановиться на том, как работает ток. Закон Ома вводит в заблуждение, говоря, что ток зависит от напряжения. На самом деле ток зависит от потребления. То-есть он самостоятельно подстраивается под потребитель. А если устроить короткое замыкание, то ток в такой системе будет стремиться к бесконечности при любом напряжении. Это в идеальном варианте.

В реальном же при КЗ потребителем станет сам проводник, у которого есть какое-то сопротивление. И оно ограничит ток. Причем ограничит за счет того, что заберет у него напряжение (да, именно напряжение забирает, а не силу, что выражается в падении напряжения, с чем и ток падает).

И при каких-то высоких значениях тока напряжение отберется до такой степени, что его просто не останется. То-есть падение напряжения на проводнике будет равно напряжению источника. Ну а когда не останется напряжения, ток просто не пойдет. Так как не будет разности потенциалов между концом проводника и потребителем.

Но чем меньше разность потенциалов, тем меньше получается ток, так как он зависит сам от разности потенциалов. В итоге ток падает, растет напряжение, разность потенциалов увеличивается, а с этим и растет ток. И так напряжение и ток устанавливается в какому-то среднем оптимальном значении.

При этом ток еще зависит от сопротивления. И чем больше диаметр проводника, тем меньше сопротивление. В следствии чего если подать в плазму большой ток и низкое напряжение, дуга будет толстой, но слабо светящейся, так как ток идет по большому диаметру, что бы он мог проходить. Но если повысить напряжение, он пойдет резким и тонким разрядом (молнией).

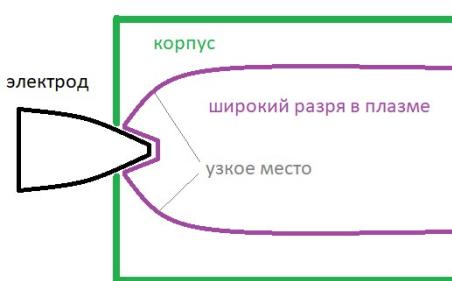
Но я предполагаю, что большое напряжение, это неверный путь, и нужно повышать ток при малом напряжении. А значит уменьшать сопротивление. Снизить его можно сжав плазму и введя в состояние квазисверхпроводимости. Тогда у нее будет почти нулевое сопротивление, и даже с небольшим напряжением заряд будет тонким и пойдет по узкому пути.

Но до этого состояния квадисверхпроводимости нужно еще дойти. И тут есть несколько вариантов. Первый, очевидный, это начать сжимать плазму с большим напряжением. Но я хочу оставить этот вариант на всякий случай, и сначала попробовать сжать ее, не повышая напряжение.

Но, к сожалению, сжать ее разрядом не выйдет. Так как даже если создать канал большого диаметра в плазме, где будет нужная мощность, плотность тока на сечение канала будет низкой, и будет создаваться магнитное поле небольшой интенсивности (плотности). В итоге получится просто большой дуговой разряд.

Но этот разряд все равно будет создавать магнитное поле в катушке, так как он все равно обладает большой мощностью. И вот магнитное поле катушки и будет как раз сжимать плазму на начальных этапах до того состояния, пока лазерный пробой в сумме с давлением не нагреет плазму в центре до такой степени, что там создастся квазисверхпроводящий канал, куда в итоге и устремиться весь ток.

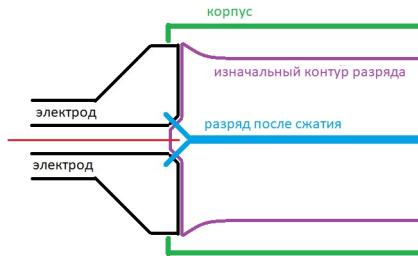
То-есть на начальном этапе основную работу по сжатию плазмы будет выполнять катушка-пинч, а разряд по большей части будет ее только нагревать, повышая ионизацию.



При этом может возникнуть нюанс с этим толстым дуговым разрядом, который заключается в том, что если взять один точечный электрод, то зона возле него будет тонким местом. Вот так, как на картинке.

Из-за чего и нужно применять много электродов, так как если разместить их по окружности, площадь контакта с плазмой увеличится. Ну а когда плазма станет сверхпроводником, тогда ток пойдет по пинч-

каналу большей своей частью из-за более низкого сопротивления канала, и только немного тока по окружающей плазме.



То-есть сделать электроды стоит так, как на картинке ниже.

При этом ту часть, откуда выходит рабочий разряд после того, как сопротивление плазмы упало, сделать все так же из жидкого металла, а все остальное можно сделать из обычного, у которого выше сопротивление, чем у жидкого.

То-есть заковать слоистый проводник не в керамическую оболочку, а в оболочку из металла, который будет являться проводником, просто более плохим, чем нужная зона жидкого электрода.

Ну а если не получится добиться нужного эффекта подобными решениями, то тогда уже выполнять начальное сжатие при помощи повышения напряжения.

Кроме этого, можно в теории сделать крупные электроды, что бы они выдавали не искровой разряд, а работали как катод и анод, давая широкий дуговой разряд по большому объему плазмы. А после этого разряд сжимать при помощи внешнего магнитного поля, где в зоне, где плазма достигает состояния квазисверхпроводимости, он превращается в "молнию".

Преимущество такого решения в том, что широкий электрод будет жить намного дольше, чем тонкий, и вдобавок если его покрыть тем же жидким металлом (который не мешает реакции, например натрий), то он вообще будет самовосстанавливаться, из-за чего станет вечным. Плюс на такой электрод не будет “взрывной” нагрузки от мощного “жесткого” разряда, так как разряд широкий и “мягкий”. В итоге можно получить эффективную систему создания сжимающего разряда.

Более того, учитывая, что плазма сжимается не только разрядом, но и катушкой, это сильно уменьшает требования по току и напряжению для разряда. Ну условно если для того, чтобы сжать плазму до инициализации реакции одним только разрядом, нужны миллионы ампер (вообще по расчетам около 200кА, это в идеальных условиях, в реальности можно смело на 5 умножать). Но если добавить внешнее сжимающее поле и инерционное сжатие окружающей плазмой, можно уменьшить этот ток в несколько раз. А это сильно упрощает систему.

Не говоря уже о том, что не малую часть работы по нагреву плазмы будет выполнять вообще лазер, что в итоге приводит к тому, что основная задача разряда – это возбуждать ЭДС в катушке, и давать свет для лазера.

--

Но в чем смысл большого тока и низкого напряжения? Вот учил бы автор физику в школе, не городил бы фигню и не изобретал велосипеды, да? Почему не взять несколько киловольт и не шваркнуть как следует, как делают все?

Да вот по этой причине и не нужно так делать. Потому что все так делают, и у них ничего не получается. Значит нужно немного подумать и сделать какие-то выводы, а не продолжать косплеять Келеровского “глупого шимпанзе” и прочих каргокультристов, не понимающих сути и просто повторяющих за учебниками.

У низкого напряжения множество преимуществ перед высоким. Также я предполагаю, что низкое напряжение с большим током позволит создать стабильную и управляемую систему, где можно будет производить синтез с высокой точностью. И сейчас объясню почему.

Помимо очевидных проблем большого напряжения, таких как ускоренная деградация электродов за счет электроэррозии, вероятность пробоя изоляции, сильный “вредный” ЭМИ импульс (в то время как при большом токе получается плавно растущее магнитное поле), есть и другие причины, почему лучше выбрать большой ток при низком напряжении.

Первая причина в том, что большое напряжение само выбирает путь. Самый простой пример – молния. По логике одна должна ударить в крышу дома, на которой установлен громоотвод. Так как это же путь наименьшего сопротивления. И да, так часто и происходит. Вот только иногда случает так, что она бьет в мужика, что сидит на лавочке под этим домом. И плевать ей на громоотвод.

И так же и в плазме. Молния пойдет по тому пути, по которому ей хочется. Если в плазме возникнет нестабильность или завихрение, то она может просто обойти эту нестабильность, и выстрелить куда не нужно. В итоге возникает филаментация плазмы, мультипоточные нестабильности, пробои на корпус и прочий треш.

В то время как заряд низкого напряжения идет только туда, куда его направляют и куда ему разрешают идти. И пример тому – аккумулятор. Соберите хоть тысячу ионисторов в параллель, чтобы суммарный ток был несколько десятков МА, и можете их лапать пальцами сколько угодно, ничего не будет. Но дайте току путь, на котором падение напряжение будет меньше, чем напряжение заряда, и он обрушиться туда всей своей мощью.

При этом он может уничтожить этот путь, например, расплавить проводник, после чего прервется, но если будет в вакууме. В газе (воздухе) если это постоянный ток, он может натянуть дугу после сгорания проводника (например, предохранителя), если он достаточно большой. Что в итоге может привести к неприятным неприятностям.

Но при этом не важно, будет дуга или нет, большой ток с маленьким напряжением никогда не свернет с проводника (физического или плазменного), в отличии от искрового разряда. Так как там просто сопротивление превышает то, что нужно для его прохождения.

В добавок плазма – это проводник с переменным сечением. Ширина зоны, по которой идет ток, сама подстраивается под ток, что выражается в том, что чем больше ток, тем толще разряд. И это самостабилизирующийся процесс. Высокотоковую дугу еще попробуй разорвать (кто варил аргоно-дуговой сваркой, знает).

Работает это так. Если сопротивление участка канала слишком высокое, то в этом месте происходит больше падение напряжения, и, как следствие, больше нагрев. Этот нагрев в итоге создает быстрые частицы, которые активно разлетаются, дополнительно повышая ионизацию зоны вокруг канала, сопротивление падает, падение напряжения уменьшается, дуга вместо того, что бы затухнуть, разгорается еще сильнее и тянется дальше.

При этом если возникает вопрос, как же ионы улетят, если их удерживает сжатием, то ответ – когда растет сопротивление, ток падает, и падает сжатие, и частицы могут покинуть область дуги. Что в итоге еще и плотность снижает, а вместе с этим и сопротивление зоны дуги снижается и ток опять увеличивается.

И такие флюктуации происходят на всей длине разряда. И это самостабилизирующийся процесс. Именно по этой причине плазменная дуга большого тока в аргонодуговой сварке насколько стабильна.

Но тогда возникает вопрос, почему же тогда разряды в плазме рвутся?

А это происходит потому, что ток на любом участке цепи константа. И если он где-то упал из-за роста сопротивления. То он падает на всей длине канала. И это приводит к уменьшению сил сжатия. И если давление плазмы низкое (ниже атмосферного), то ничего не произойдет, но, если давление в канале высокое, канал просто порвет давлением (он фактически “взорвётся”).

В итоге из-за этого единственного свойства этот прекрасный самостабилизирующийся процесс вдруг становится самодестабилизирующимся. Где стоит в одном единственном месте возникнуть какой-то проблемной зоне, в том месте, где все было хорошо, все развалится и настанет печаль. И, собственно, по этой причине с плазмой так сложно и она на сколько неустойчивая при большом давлении.

Чтобы система не развалилась, нужно создать некий резервный обходной путь для тока. Такой себе “байпас”, который будет пропорционален ослаблению в “тонком месте”. То есть нужно сразу дать разряду ту самую зону, в которую он может убежать. Плюс поддерживать ионизацию канала как минимум на таком уровне, что бы ток не мог упасть ниже допустимого. И для этого и нужен лазер и разряд большего напряжения.

Разряд большего напряжения более “быстрый и нервный” и он в случае возникновения проблемы на одном участке заблаговременно будет искать путь в обход. При этом задача высоковольтного разряда не сжатие, а лишь ионизация. Из-за чего он ограничен по току. А лазер же создаст минимально достаточную степень ионизации в канале в зоне, что бы высоковольтный разряд не искал странные пути.

И тогда это позволит создать тот самый проводник, по которому будет идти высокотоковый разряд и не будет с него сворачивать.

Также я предполагаю, что несколько скрученных разрядов будут стабилизировать эту схему. Работать это будет потому, что у проводника есть максимальная плотность тока, которую он способен выдержать. Это известно давно и не раз проверялось. Даже сверхпроводники при не всемогущи и ограничены максимальной плотностью тока, после которой теряют сверхпроводимость (именно по этой причине я их и не предлагаю использовать, сложная система, а преимуществ значительных не дает, плазможжа получше будет, ну по крайней мере на текущем этапе развития сверхпроводников).

И такая же история по ограничению плотности тока будет с плазмой, где если в каком-то месте очень высокая плотность тока, там начнут возникать зоны нестабильности и турбулентности, и будет расти сопротивление. Плюс в плазме есть еще одна проблема – ядерные реакции. Реакция выделяет сколько энергии, что локально увеличивает давление, падает плотность, и это просто “рвет” канал. Плюс там, где меняется плотность, меняется количество носителей заряда.

В итоге логика такая, что там, где слабое место, будет выше плотность тока по отношению к сопротивлению. И другие разряды туда не “полезут”, а пойдут в обход (зачем лезть туда, где и так густо, так плотность высокая, так еще и сопротивление высокое). И, собственно, по этой причине высоковольтный разряд и творит ту дичь, что творит, игнорируя громоотводы, и попадая по людям или машинам, что стоят прямо под громоотводом. Им хватает скорости пойти обходным путем и обойти “слабое место”, в то время как низковольтный высокотоковый разряд угаснет в таком месте (вернее он даже не начнется) если это единичный разряд.

Но если высокотоковых низковольтных разрядов несколько, они могут идти в обход проблемных участков. В добавок у нескольких разрядов будет сложение фаз. Если они идут одновременно, то их фазы суммируются, и напряжение растет. Но если один разряд где-то застрял (упало напряжение из-за просадки), остальные его “подтянут” под общий уровень, проложив ему путь. И даже фазу подкорректируют, если она будет запаздывать или выбиваться вперед (незначительно, полной синхронизации не будет).

То-есть будет та же ситуация, что с параллельным проводниками в одной катушке, где ток и напряжение по всем катушкам динамически выравнивается, только тут в качестве проводника – плазма.

При этом из-за того, что разряды независимые, они будут идти фактически каждый своим путем (самым эффективным, что бы сбежать из плазмы). Из-за чего если даже один из разрядов создаст нестабильность в плазме и “застрянет”, другие его просто обойдут. Более того, они не рассеяться, так как потенциалу в любом случае необходимо “сбежать” из плазмы. Они могут менять сечение, менять траекторию, но до конца они так или иначе дойдут.

В итоге даже если реакция создаст локальную нестабильность, разряд все равно не прервется. Ну это при условии, если система будет работать короткими импульсами. Если это разряд постоянного тока, то так работать не будет.

И таким образом не важно, что будут возникать нестабильности, турбулентности и прочие эффекты. Если ток попал в плазму, он из нее так или иначе выйдет. Нужно лишь поспособствовать тому, что бы он вышел из нее как можно быстрее, породив тем самым максимальное магнитное поле и максимальное сжатие.

То-есть я не ставлю перед разрядом задачу по сжатию и нагреву плазмы. Я создаю систему, где я просто “выплевываю” потенциал в плазму, и где у него максимально простая задача – сбежать из плазмы как можно быстрее (с максимально возможным током). И выполнять эту задачу он

вообще не против, так как это его базовая потребность (это естественный электродинамический процесс). А дальше я просто подставляю ему "руку помощи", предлагая направление, куда убегать. Плюс даю ему "друзей" (другие разряды), что бы они помогали друг другу на этом нелегком пути.

И то, что на пути у этой бравой команды "молния" будут возникать всякие трудности, вроде нестабильностей, разрывов канала из-за множественных реакций ядерного синтеза, это уже их проблема, а не моя. И они дружной командой будут преодолевать эти трудности и невзгоды. А то, что в процессе этого их пучок будет вынужден сжать плазму и нагреть ее, так это просто побочный эффект.

А вот все пинч-установки на тысячи и миллионы вольт не будут работать. Все, для чего они годятся, это для изучения молний. И я думаю, что причина, почему пинч реактор не работает, кроется в том, что никто не пытался сделать 40 вольтовый пинч-реактор.

--

Как при этом "впрыснуть" разряд в систему?

Если подобрать частоту и колебания так, что бы получить синфазный резонансный выброс с противофазой на аноде и катоде, можно получить интересный эффект увеличения разности потенциалов без фактического увеличения напряжения. То-есть фактически увеличить сжатие плазмы не меняя энергию в системе, время импульса, и другие параметры.

Что бы понять, как это будет работать нужно вспомнить как работает обычная лампа накаливания или любой другой электроприбор. Работает он так, что между фазой и нулем происходит полное падение напряжения. Допустим имеем 220 вольт в сети. 220 это среднее напряжение, пики там будут  $220 \times 1.41 = 310\text{В}$  (1.41 это квадратный корень из 2).

И если у нас проводник, и мы подключим к нему с одного конца фазу, с другого ноль, а потом измерим напряжение между нулем и серединой проводника, то мы увидим, что на середине будет 110 вольт. Ну а двигая точку в ту или иную сторону, мы получим переменный резистор (делитель напряжения), где ближе к фазному контакту напряжение будет расти вплоть до 220, а ближе к нулевому падать вплоть до нуля.

А на всем проводнике, как я уже сказал, будет полное падение напряжения.

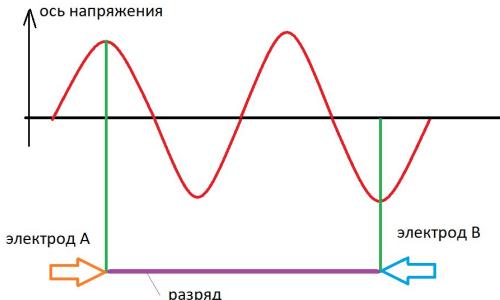
Причем так будет абсолютно на любом проводнике с любым сопротивлением. Просто чем ниже сопротивление, тем больше может быть протекающий ток. И отсюда если подключить медный толстый провод, то ток через него может течь огромный и случится короткое замыкание. А вот спираль лампы накаливания имеет большое сопротивление, и тем самым ограничивает ток, что по ней протекает до каких-то пределов. Например, лампа на 100 ватт ограничивает до 0.5 ампер примерно.

Но при этом увеличением напряжения получится добиться, что лампа будет светиться ярче, так как вырастет ток. Если что - именно ток выполняет работу, не напряжение (на самом деле немного не так, но об этом позднее).

Но что, если взять и синус переменной сети пропустить через развязывающий трансформатор (индуктивность), создающую небольшую задержку. Или создать эту задержку, например, при помощи рабочего конденсатора (как делают в электромоторах переменного тока), сдвинув синус на пол фазы. Тогда при сложении основной фазы и инвертированной в пике напряжение составит не 620 вольт. А среднее межфазное будет 440.

И вот с электродами можно сделать так же и подавать разряд ровно в тот момент, когда фаза на отдающем и принимающем электродах находится в противофазе. Тогда напряжение вырастет в два раза. А чем оно больше, тем выше ток и выше сжатие.

Как это сделать в системе реактора?



Колебательный контур на то и колебательный, что на графике получаются гармонические колебания и напряжение постоянно проходит через ноль. То есть система регулярно меняет полярность.

И если сделать так, что бы на одном электроде в момент выпуска разряда был пик фазы в положительном напряжении, а на другом пик в отрицательном, тогда реальное напряжение в системе (среднеквадратичное) не изменится, но вот разность напряжений между электродами поменяется.

Вот условно вот так, как я нарисовал. Только по горизонтальной оси это не время, а положение фазы относительно геометрии реактора (относительно электродов).

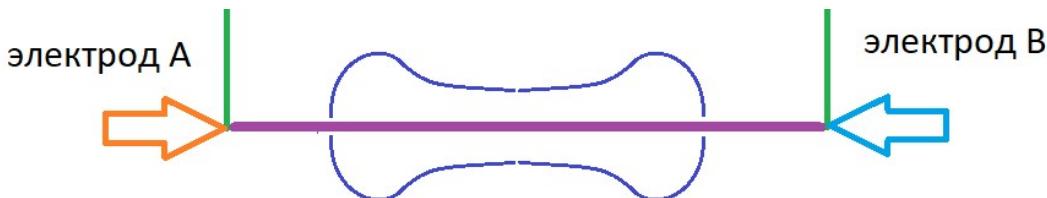
Подобного эффекта можно добиться в коаксиальной колебательной системе при помощи гармоник, стоячих волн и т.д. Ну а такой коаксиальной колебательной системой как раз и является реактор.

В итоге подобный “трюк” с межфазным напряжением приведет к тому, что в области плазмы увеличится реактивная мощность. Не у всей системы, а только системы разряд-плазма.

При этом можно рассчитать так, чтобы разряд начался при нарастании синуса, после, когда добирался до середины плазменного канала, усиливался за счет увеличения межфазного напряжения. А когда дойдет до противоположного электрода, ослабевал. Вплоть до того, что, когда он долетит до “принимающего” электрода, заканчивался полупериод колебаний, фаза сменится на противоположную и “притяжение” разряда сменялось на его “отталкивание”.

Это можно сделать из-за того, что разряд проходит не мгновенно, и у него есть определенная скорость. И после того, как он “влетит” в плазму, пока он долетит до другого края, на электроде, что его “тащил” уже изменится потенциал, так как сменится полупериод колебаний, и разряд просто остановится, а переносимый им потенциал останется в плазме. Но в следующий момент полярность сменится на обратную, и разряд пойдет в противоположную сторону. В итоге он будет бегать туда-сюда по плазме, выполняя работу.

В итоге можно получить вот такую форму “рабочей зоны”, где в центре высокое сжатие, там, где разряд движется с большой разностью потенциалов между электродами, а к краям напряжение ослабевает, ток падает, и плазма расширяется.



При этом такая форма получится сама собой, так как ток колебается по синусу и межфазное напряжение между электродами меняется тоже по синусу. В итоге разность потенциалов между электродами сразу растет, разряд ускоряется, ток увеличивается, после разность потенциалов

начинает уменьшаться, напряжение падает, ток тоже, плазма расширяется, и это выражено в расширении на краю этой “кости”. Дальше напряжение проходит через ноль и разряд обрывается, но в плазме высокий потенциал, так как заряд то никуда не делся, он не ушел в катушку. То есть ток остается в плазме, и она работает как заряженный конденсатор.

Дальше следующий полупериод колебаний, разность потенциалов снова увеличивается, но уже в противофазе (произошла переполюсовка), и заряд потек уже в другую сторону, причем по мере увеличения разности потенциалов разряд ускоряется, напряжение растет, как и ток, и получается это центральное сужение. Ну а дальше по циклу.

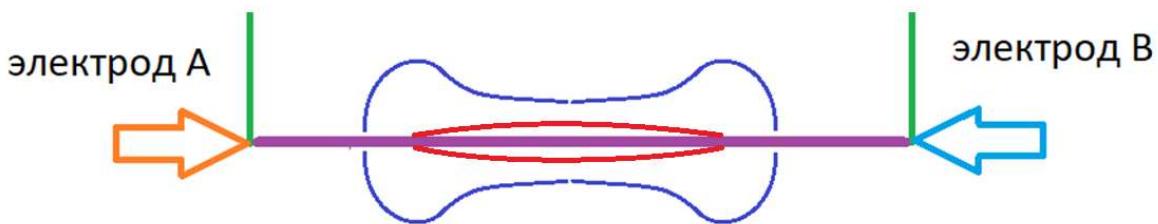
И что бы это так работало нужно что бы время, за которое разряд проходит от одного электрода к другому, было больше, чем время полупериода.

—

При этом замечаю, что цепь не должна быть постоянно замкнутой, что бы по ней тек ток (ток смещения как электромагнитная волна). То-есть можно “бросать” заряд в плазму, а потом “ловить” его с другой стороны, или даже “отбивать” назад, не дожидаясь пока он “влетит” в проводник, при этом все еще получая эффект от заряда на плазму по ее сжатию и нагреву.

Да, классическая электродинамика сейчас вышла в окно, и все свидетели школьной физики бывают в припадке, но электрический импульс может быть “впрыснут” в проводник, слетать до его конца и вернуться назад, словно волна давления в трубе с водой или газом, даже если труба не закольцована.

И такое поведение заряда как компоненты напряженности поля дает возможность держать зону пикового сжатия не по всей длине пинча, а где-то в середине канала, гоняя ее туда-сюда, и удерживая плюс минус на месте, получив зону интенсивности реакции “вывернутую” по отношению к изображению выше. То-есть вот такую:



Если что красная линия показывает не зону реакции, а является скорей графиком интенсивности. Зона реакция показана “костью”, но на расширяющихся частях интенсивность ниже.

—

Но это в идеальном варианте проектирования. В реальности это будет сделать сложно, так как незатухающий разряд, нарушит работу основного лазера. Из-за чего нужно будет четко подстраивать фазы колебаний разряда под скорость света в волноводе, что бы получать всплески светимости лазера и добиться его импульсного режима работы. В добавок разряд же еще должен возбуждать ЭДС в катушке, плюс отскок плазмы нужно учитывать, из-за чего придется делать достаточно сложную синфазную мультирезонансную структуру.

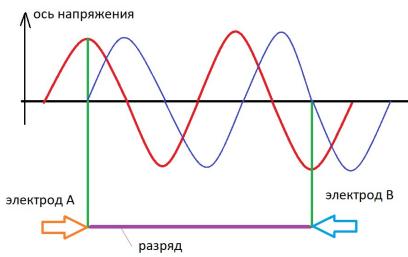
Отсюда лучше сделать так, что бы разряд “влетал” в электрод, ослабевая за счет изменения потенциала. Это позволит расширить разряд ближе к электродам, сделав тем самым широкие электроды, и в добавок позволит локализовать зону реакции в центре, уменьшая тем самым нагрузку на электроды.

То-есть сразу разряд вылетает на малом межфазном напряжении, потом межфазное напряжение увеличивается, ток разряда растет, он сжимает плазму, выполняет работу. Дальше межфазное напряжение ослабевает, ток падает, и разряд осторожно “паркуется” в электроды по большой площади.

В итоге при помощи синхронизации фаз в противофазе по электродам, можно не только увеличить реактивную мощность в области плазмы, что улучшить соотношение активной к реактивной мощности всей системы, фактически уменьшив реактивную мощность всей системы в два раза при идеальном варианте.

Ну а такое изменение реактивной мощности позволит при той же силе разряда уменьшить количества “железа” в два раза, уменьшив сечение катушек. А если использовать не только основную, но и вторичные гармоники, то даже более чем в два раза. Что уменьшит не только вес, но и стоимость. Да, на полную мощность это не особо влияет, так как она упирается в первую очередь в охлаждение. Но даже так улучшение приятное.

В добавок можно еще и контролировать эволюцию разряда по ходу прохождения его по каналу, делая его безопасным для электродов, но выполняющим нужную работу. А если уменьшать ток по ходу приближения к электродам, то это позволит еще и меньше терять энергию в этих местах (где реакция и так не идет), что приведет к увеличению КПД, и позволит больше энергии снимать прямым съемом.



Более того, такая схема еще и позволит управлять разрядом без всяких прерывателей и прочих выключателей. Потому что очевидно, что, когда фаза сместиться так, как показано синей линией (смещение на четверть периода колебаний), разность потенциалов между двумя электродами станет нулевой, и разряд просто прервется.

Ну собственно потому в цепях переменного тока нет устойчивой дуги, в то время как в цепях постоянного тока предохранители нужны специальные, так как обычные “тянут дугу” и просто не разрывают цепь, даже если перегорают.

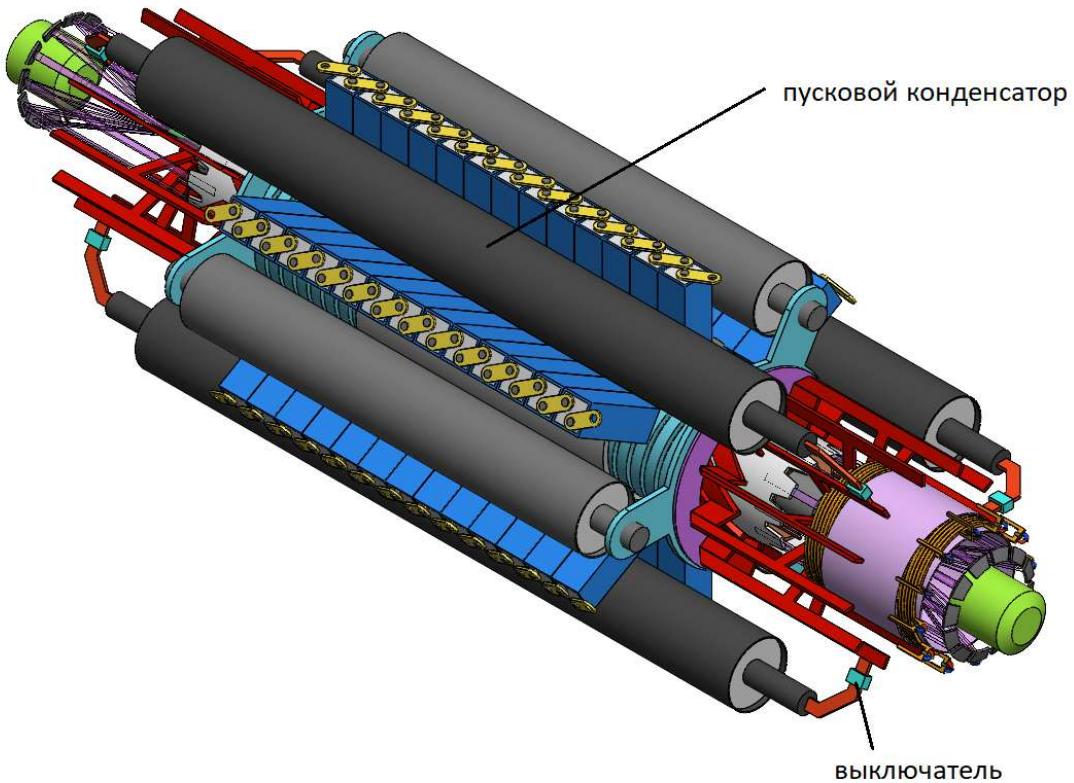
И подстраивая фазную частоту можно гибко управлять временем разряда. А если добавить вторичные гармоники, то можно делать разряды переменной интенсивности, пульсирующие разряды и т.д. То-есть в рамках одного импульса можно сделать что бы было несколько пульсаций.

Более того, будет легко накачивать и разгонять систему. С ростом амплитуды (напряжения) разряды просто будут становиться мощнее. Но начнутся они с самого старта, так как плазма будет выступать как часть колебательного контура, а не “потребитель”, и просто будет все больше и больше ионизироваться и сжиматься с каждым циклом накачки. И это может еще и КПД увеличить.

---

Единственное, что для того, что бы разряды низкого напряжения могли развить достаточный ток, возможно нужно будет им помочь дополнительными разрядами большего напряжения, которые “впрыскивать” в плазму вместе высокотоковыми, пока они не сожмут и нагреют плазму до того состояния, что бы ее сопротивление упало и даже при низком напряжении можно было развить большой ток. И даже возможно придется для запуска создать отдельные высоковольтные конденсаторы, подающие такие разряды (скажем, 3 разряда на всю систему). Но это уже нюансы.

Если что, сейчас речь про отдельные разряды, помимо управляющих. Они подаются с отдельных конденсаторов или отдельных катушек, где высокое напряжение создается. И на схеме я этот элемент не рисовал. Но условно это можно изобразить вот так:



Эти черные конденсаторы не то же самое, что рабочие, они подключены напрямую к некоторым электродам, а не к вторичной (съемной) катушке. И на них стоят выключатели, отвязывающие их от электродов. Синхронизация так же происходит при помощи рабочего лазера, но управляющий лазер выключателя отдельный.

Почему отдельно такие разряды нужны, а не просто повысить напряжение основных разрядов? Что бы потом, когда сопротивление плазмы снизится, эти высоковольтные разряды можно было отключить, оставив только низковольтные. То-есть высоковольтные разряды – это “стартовый пинок”.

При этом первичные разряды будут кривые, плохо управляемые, но они создадут путь для рабочих разрядов, зажгут лазер, возбудят ЭДС в катушке. А уже лазер и обжим магнитным полем катушки выровняют канал, а перекос ЭДС в катушке выровняется и синхронизируется за счет взаимного влияния витков друг на друга через сколько-то циклов.

Заряжать пусковые конденсаторы можно от рабочих при помощи обычного повышающего преобразователя. Более того, на самом деле их даже не то, что бы нужно было отключать после запуска. Они просто потеряют напряжение, и станут “рабочими”, работая на напряжении системы. То-есть перед запуском их нужно зарядить, потом воткнуть в систему, где они отдадут энергию, и у них упадет напряжение. И дальше они станут просто одного напряжения с рабочими. Просто использоваться будут не самым эффективным образом.

Либо можно использовать их как “инъекционные”, что бы повысить интенсивность реакции не отключая нагрузку. Ну а если реактор будет работать в режиме “сетов”, то эти конденсаторы будут

нужны постоянно. В общем я сторонник того, что бы каждую систему использовать все время, а не только в какой-то момент. Что бы не было “лишних” деталей, которые простоявают большую часть времени, вроде стартера у машины.

Еще можно вообще отказаться от рабочих конденсаторов, и сделать систему “наоборот”. Например, можно разделить катушки, сделав на каждой только по одному электроду. Где одна катушка будет с электродом с одного торца, следующая с электродом с другого, и так будет чередование. И тогда рабочие катушки будут между собой связываться магнитным полем через внешнюю общую катушку (съемную). Это позволит получить емкость между рабочими катушками, что будет равносильно тому, что бы подключить два электрода напрямую к конденсатору. А это в свою очередь позволит сильно увеличить емкость рабочей катушки, не меняя ее индуктивность, и в добавок добиться лавинного выброса при замыкании “пластин конденсатора” через плазму. То есть плазма станет для катушек общим контактом (землей), катушка станет множеством параллельно подключенных индуктивно-емкостных элементов (конденсаторов), а система “вывернется” наизнанку.

Такая система имеет смысл, так как плазма имеет общее сопротивление для всех катушек-конденсаторов, и если одна из них будет отдавать ток слишком быстро, у нее упадет напряжение, и ток снизится, в то время как вторая в этот момент будет отдавать ток медленнее, у нее вырастет напряжение, и ток повысится. В итоге система будет стабилизироваться, выравнивая друг друга. Особенно учитывая, что это все еще обернуто в общую индуктивность.

Можно вообще сделать послойно, один слой в одну сторону на электрод идет, другой в другую на другой электрод. И тогда получится локальный плоский/ленточный коаксиал... Название странное, коаксиал означает концентричность, как может быть коаксиал плоским не понятно, но есть плоские проводники, что ведут себя как коаксиалы, так что я предлагаю называть такой проводник “копланарный волновод”.

И тогда будет локальный копланарный волновод, который является частью общей коаксиальной структуры, что позволяет получить гармоники разной частоты, и гибко модулировать напряжение, например, сразу плавно наращивая, потом резко усиливая, а потом снова плавно сбрасывая. Но послойный вариант проводника-конденсатора довольно опасный за риска замыкания между слоями, особенно со временем из-за деградации материалов.

---

Кроме этого, возможно система сможет работать без повышения напряжения на старте, то есть высоковольтные пусковые конденсаторы не понадобятся.

Добиться этого можно если сделать широкие электроды и создать широкий дуговой разряд в плазме. Поначалу будет довольно слабый по току и будет напоминать скорей тлеющий, но этого достаточно что бы ионизировать газ по всему объему.

Дальше начать накачивать катушку из внешних конденсаторов, что бы увеличить ток в самой катушке, и как следствие, создаваемое ею магнитное поле. Происходить такая накачка будет за счет того, что в наличии имеются две коаксиальные катушки, которые можно накачивать даже без плазмы.

Плазма при этом уже ионизирована широким дуговым разрядом, из-за чего она будет обжиматься внешним магнитным полем, которое как раз и создает катушка.

В итоге плазма все больше сжимается внешним полем, все сильнее нагревается с каждым циклом, все больше ионизируется, у нее все сильнее падает сопротивление, и, как следствие, все сильнее усиливается дуговой разряд что через нее проходит. И так до тех пор, пока плазма не

входит в состояние квазисверхпроводимости и не случается уже “рабочий” пробой, и система входит в рабочий режим.

Более того, я предполагаю что этот переход будет довольно плавный, так как сопротивление будет снижаться постепенно по мере нагрева, что позволит избежать резкой смены режима, и, как следствие, избавит от необходимости “ловить” этот переход в реальном времени.

\*\*\*

Что касается 40 вольт реактора, и того, что закон Ома... На самом деле принцип “хочешь поднять ток – повышай напряжение”, работает не всегда.

А работает это не всегда это по той причине, что силу тока не стоит понимать буквально в законе Ома. На самом деле такой параметр как сила тока – абстрактный математический. Реальный же параметр – падение напряжения из-за сопротивления, через которое эта сила тока определяется.

То-есть в реальном мире такого свойства, как сила тока, не существует. Существует только способность системы пропускать через себя количество тока. То-есть ток – это не базовый параметр, а следствие реакции среды. Реальных же параметра всего два. Разность потенциалов и сопротивление (заметьте, не напряжение, а разность потенциалов).

То-есть зная разность потенциалов и сопротивление проводника обычно считают, что “вот, измерили напряжение, сопротивление, падение напряжения, значит понятно, ток был миллион ампер”. Но это не так. Ток не был миллион ампер. Он был эквивалентен миллиону ампер. То-есть электрический импульс и переносимая им энергия были такими, как если бы ток был миллион ампер.

На деле же единственное что было – это моментальная мощность. То-есть то, сколько энергии могло пройти по пути (проводнику) за единицу времени.

И повышение напряжения (разности потенциалов) в два раза в первую очередь повышает мощность, а не ток. Потому что ток, как я уже говорил, это абстрактная реактивная величина, в то время как мощность показывает сколько работы выполняется за единицу времени. И это первичная характеристика, так как она описывает скорость переноса массы-энергии, и в “физическом” смысле только это важно, а все остальное – это попытка мощность декомпозировать.

Да, свидетели электродинамики, не видящие дальше своего колодца, заметят, что вообще то первичен заряд. Но я задам вопрос: а где вы видели заряд света или заряд гравитации? Или может вы видели заряд взрыва? А чем отличается взрыв от горения? Скоростью высвобождения энергии (количеством энергии за единицу времени). То-есть мощностью. Отсюда мощность – первична, что делает ее фундаментальной величиной. А все остальное – ее производные в разных моделях.

Ну а если говорить про мощность в контексте электродинамики, то понять ее физический смысл очень просто на такой аналогии. Представьте озеро и реку, что его наполняет. Одна река широкая, глубокая, но с медленным потоком. Вторая узкая и мелководная, но с быстрым течением. И они эквивалентны друг другу по полезному действию (наполнению озера) и по мощности, и за одно и то же время переносят одинаковое количество воды. Но эти потоки вообще не одно и то же. Я бы не хотел оказаться в узкой и быстрой.

И с разрядами так же. Только ток, это не поток, а скорей размер волны в этой реке. В то время как напряжение – высота этой волны. И если речка узенькая, то высокая волна там не получится. Она будет нестабильной. Да и даже в океане высокая волна – это какая-то странная штука. В то время как большие и пологие волны (свел) стабильны и устойчивы, и переносят много энергии.

Ну а произведение тока на напряжение – это объем воды в этой волне. Увеличиваем ток, уменьшая напряжение, и получаем пологую волну, как океанический свел, увеличиваем напряжение уменьшая ток, и получаем волну-убийцу, переворачивающую корабли и выбивающую стекла на лодках.

При этом интересно еще и то, что между фазой и нулем происходит падение напряжения до нуля. И по логике там, где напряжение меньше, ток должен стать меньше. То-есть в середине проводника ток будет меньше, чем в начале. Ну если следовать все той же классической формуле закона Ома. Но нет, ток на всем участке цепи при последовательном соединении константа (на всей длине проводника не меняется), что в итоге приведет к тому, что сжатие плазмы будет одинаковым на всей длине канала. В итоге получается, что хоть зависимость  $I=U/R$  справедлива, но есть множество “но”, и просто повысить напряжение, думая, что это повысит ток и случиться магия, не работает.

---

Но это не все эффекты, которые будут при большом токе.

Я рассказывал про то, что не только давление, но и температура нужна для синтеза. И в основном нагрев плазмы в разряд-пинче происходит через инъекцию “быстрых” электронов. То-есть высоковольтным разрядом. Как в молнии. Но с этим есть нюансы.

Дело в том, что, когда меряют температуру пинч канала, ее определяют по излучению. И если излучение большое, то считается, что температура большая. А так как при более высоком напряжении получается больше излучение, значит разряд большого напряжения нагревает плазму сильнее. Но на деле это не так.

Излучение зависит от рекомбинации электронов и переходов их на разные электронные уровни. И так как любой разряд воздействует в первую очередь на электроны, так как они носители заряда, то это вызывает их подвижность, и, как следствие, излучение. Только вот с энергией ионов (температурой) это не имеет ничего общего.

Просто дело в том, что излучение можно получить двумя способами. Первый – это когда быстрые ионы взаимодействуют друг с другом или с магнитными полями, электроны у них на электронных уровнях прыгают и излучение излучают, при этом свободные электроны (носители заряда) медленные и их мало. И второй, это когда ионы медленные, а вот электроны гоняются по уровням внешним источником поля. И разряд большого напряжения – это про второй случай.

При этом если сделать разряд большого тока, то за счет падения напряжения много энергии будет идти как раз на нагрев плазмы, а не на свечение, и энергия будет переходить в скорость ионов (их кинетическую энергию). Да, плазма от такого нагрева тоже будет светиться, только вот причина будет другая.

И такая светимость даже по виду и форме отличается. Искровой разряд и дуговой имеют разную природу, форму, вид. В дуговом быстрые ионы, в искровом – электроны. Да, в реальности обычно нет чистых искровых или дуговых. В молнии есть и та, и другая составляющая. Но важно соотношение этих составляющих.

И если задача плазму нагреть, то нужно как раз использовать высокий ток, что бы добиться большого падения напряжения на плазме, и, как следствие, перехода энергии разряда в кинетическую энергию ионов, а не в излучение.

Да, понятно, что разряд большого напряжения тоже нагревает плазму, так как электроны передают энергию ионам, да и фотоны от излучения ими поглощаются, но эффективность

процесса ниже, и большая часть энергии уходит в виде вспышки света, а не в виде кинетической энергии частиц.

Также большое напряжение не то, что бы давало большое сжатие. Оно скорей вызовет пробой и магнитную детонацию, которая, наоборот, выражается в разряжении. А эквивалентный ток по закону Ома не значит реальный, как я уже сказал. То-есть большое напряжение – это просто красивое шоу, как в катушке Тесла или в молнии.

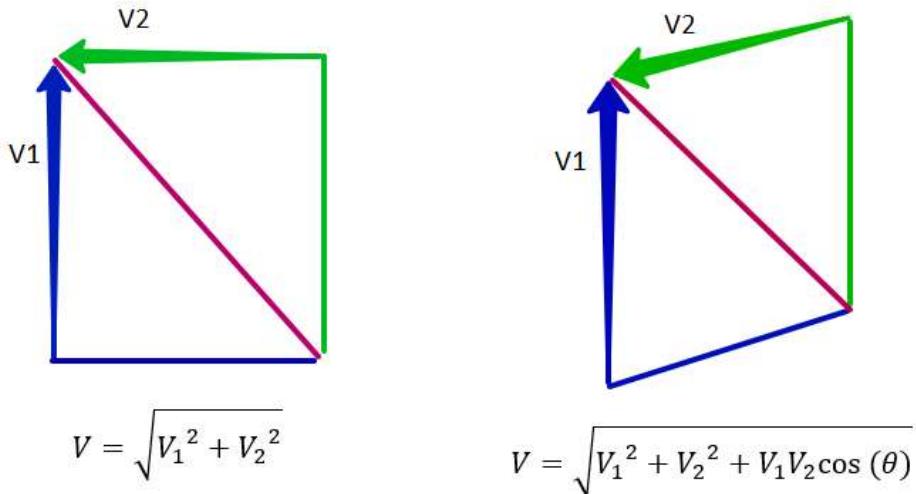
При этом если большой ток не желает проходить, то ему можно помочь, пропустив параллельно искровой разряд, получив пробой с разряжением, где в канале упадет сопротивление, что бы большой ток смог уже пройти по каналу. Но эти параметры нужно считать отдельно.

Предварительный высоковольтный пробой и рабочая высокотоковая дуга – это разные процессы, и большое напряжение у рабочей дуги вредно, а не полезно.

Но проблема в том, что в уравнениях для пинч-систем в основном считают “эквивалентное давление” или “эквивалентную температуру”, где одно от другого зависит по классическим законам термодинамики. Но “эквивалентные” величины – вообще не то же самое, что “давление” и “температура”.

При этом в канале желательно получить именно высокое давление, а не высокую температуру, потому что синтез при помощи давления намного контролируемей, так чем на температуре. Это связано с тем, что, если большое давление, но маленькая температура, это значит, что относительные скорости частиц почти не отличаются. То-есть вообще не важно, влетят они лоб в лоб, догонят одна частица другую сзади, или же влетят они по пересекающимся траекториям, расположенным под углами.

Ну условно движутся частицы перпендикулярно друг другу со скоростями 0.1с. Их взаимная скорость столкновения будет 1.41с (диагональ квадрата, где стороны квадрата – это их скорости). Если же они движутся не перпендикулярно, а под каким то углом, то взаимная скорость столкновения будет равна диагонали параллелограмма, где стороны параллелограмма – это их скорости и направления векторов движения.



Но если частицы летят друг другу в лоб, то скорость будет уже 0.2с (сумма скоростей), а если одна преследует другую, то та, что впереди, лишь немного ускорится, а та, что ее догоняет, замедлится после столкновения, и просто произойдет выделение энергии в виде света при их взаимодействии, из-за того, что электроны попрыгают по уровням, но никакого синтеза не будет.

В итоге в зависимости от траекторий при одном сценарии столкновения у них произойдет синтез, когда скорости будут оптимальны. В других же случаях, либо энергии не хватит, что бы преодолеть кулоновский барьер, либо она будет избыточна, и частицы отскочат друг от друга. И не сложно прикинуть, какой процент столкновений будет удачным. Он будет не более трети всех столкновений.

И это при условии, что средняя температура плазмы (средняя скорость частиц) оптимальна. Если же еще и этот параметр не оптимален, то процент еще уменьшится. В добавок если это разные частицы, которые не вступают в реакцию, например бор с бором, тритий с тритием, или водород с водородом, то такие столкновения будут паразитными. В итоге хорошо, если хотя бы пару процентов частиц вступят в реакцию.

Плюс я говорил уже, что просто воткнуть частицы друг в друга на большой скорости не эффективно. И если бы это работало, то атмосфера бы уже давно сгорела. А температура – это характеристика скорости частиц. Отсюда “греть” плазму смысла мало. Реакция идти не будет без давления (и токомаки по этой причине не эффективны, там давление пара атмосфер).

Плюс давление поможет частицам дольше находиться рядом, и “повернуться” нужной стороной, что бы “ключ вошел в замок”, если можно так выразиться, так как для синтеза еще важен спин, орбитальный момент, симметрия волновых функций и другая квантовая дичь\*.

При этом в каждом случае взаимодействия будет выделяться излучение, через которое плазма будет терять энергию. То-есть экшен со свето-шумовыми эффектами присутствует, а толку ноль.

Если же выполнять синтез при помощи давления, оставляя температуру низкой, то разность энергий будет на сколько незначительная в зависимости от траекторий, что это вообще можно не учитывать. При этом частицы будут двигаться в том направлении, куда могут, “продавливаясь” в область низкого давления. А эта область низкого давления именно туда, где может произойти синтез. То-есть водород будет давиться в направлении бора, а бор в направлении водорода, так как бор в направлении бора не сдвинуть из-за больших кулоновских барьеров, а водород в направлении водорода в принципе может давиться, но там будет просто условно упругое взаимодействие.

То-есть при большом давлении и малой температуре число паразитных и неоптимальных столкновений будет сведено к минимуму. А даже если они и будут, то будут происходить при слабых относительных энергиях из-за низкой температуры.

Еще прикол давления в том, что есть такое понятие, как свободный пробег частицы. Этот показатель определяет, как много или долго частица может лететь, пока не столкнется с другой частицей. И если у плазмы низкая плотность, то такой свободный пробег может быть достаточно большим. На сколько большим, что частица просто пролетит, так никого и не встретив, ну а после воткнется в магнитное поле, передаст ему энергию, и это выразится в паразитном нагреве и излучении, что будет являться потерями.

И большое напряжение быстро нагревает плазму, что выражается в эквивалентном росте давления, но на плотность это не влияет, из-за чего пробег частиц остается большим. В итоге они летают, но не с кем не сталкиваются.

Если же повышать давление без нагрева, то с ним увеличится и плотность плазмы. В итоге свободный пробег сильно уменьшится, что позволит проводить реакцию в крохотных масштабах, вплоть до десятых долей миллиметра, если создать достаточно давление и, как следствие плотность. При этом, когда плазма войдет в режим квазисверхпроводимости, последующий нагрев будет минимальным в следствии чего ток будет выполнять работу только по созданию магнитных полей. А следовательно будет минимум жесткого излучения.

То-есть фактически этот реактор может быть тем самым “реактором холодного синтеза”, о котором все мечтают. Условно, конечно, холодного, так как плазма с температурой в сотни тысяч градусов, это не совсем “холодный” синтез, действительно холодным можно считать, пожалуй, только мюонный (на текущий момент исходя из имеющихся данных). Но даже так, если получиться сделать борно-водородный синтез с температурой плазмы до миллиона градусов, то основной тип излучения будет жесткий УФ и мягкий рентген. А этот спектр достаточно легко экранируется. УФ так вообще сам же окружающей плазмой и поглотиться.

Ну это при условии, что квазисверхпроводимость достижима без нагрева до миллионов градусов. Но она вроде как достигается уже при сотнях тысяч градусов, что гораздо холоднее, чем нужно для сильного гамма излучения. Правда есть нюанс, что это водородная плазма ионизируется при сотнях тысяч градусов, в то время как бор ионизируется при 10 миллионах градусов примерно (так как нужно оторвать все 5 электронов, что сложнее, чем один у водорода забрать). Но это все равно выгодно, так как напомню, что для синтеза бора и водорода нужны миллиарды градусов, если проводить его за счет высоких энергий столкновений. И 10 миллионов дадут гораздо меньше жесткого рентгена и гамма излучения, чем если температура плазмы будет миллиарды градусов.

Ну и на самом деле если плазма содержит, скажем, по 3-5 атомов водорода на один атом бора, то одна только водородная составляющая плазмы уже будет сильно снижать сопротивление. И возможно полная ионизация бора и не понадобиться. Хотя он скорей всего сам будет ионизироваться, так как будет поглощать активно энергию до тех пор, пока не потеряет все 5 электронов.

Почему я не рассматриваю дейтериевый цикл, так это потому, что там не особо важно при какой температуре синтез, потому что в результате него выделяются нейтроны. Ну а поглощение нейтронов водой или корпусом сопровождается гамма излучением. Так что там в любом случае “чистой реакции” не получится. Просто на малой температуре и большом давлении реакция будет более контролируемой и стабильной.

К тому же, как я говорил, исходя из моей модели строения атома, столкновения с большими скоростями и энергиями не эффективны, так как время контакта в таком случае короткое по продолжительности. Если же вжимать атомы друг в друга, то время для наступления такого положения тел, что бы случился захват и синтез, кратно увеличивается. Из-за чего так в теории можно синтезировать даже те пары элементов, что в обычном температурном синтезе имеют очень низкую вероятность синтеза.

В итоге держа бор-водородную плазму в состоянии квазисверхпроводимости на сотнях тысяч градусов и выполняя синтез за счет давления, можно в теории создать эффективный и компактный реактор без гамма излучения, сопровождающих фотоядерных реакций и прочей неприятной истории. И предлагаемая мной система реактора как раз будет эффективно создавать давление за счет инерциального обжима канала внешней пульсирующей средой (плазмой).

И кстати инерциальный метод синтеза при помощи “обжима” давлением применяется достаточно давно и вполне успешно. Правда пока только в водородных бомбах. Но работает же? Работает.

Да, конечно, так просто взять и обжать плазму внешним магнитным полем (катушка-пинч) и добиться стабильного состояния достаточно сложно. И просто инерциальный обжим не приведет к реакции. Но для этого и нужен импульсный режим, плазменные вены, встречные фронты, и разряд-пинч, который как раз “дожимает” плазму до нужного давления, при этом еще и подогревая ее.

И таким образом через давление можно будет стабильно контролировать синтез и терять минимум энергии на тормозное излучение, которое зависит не от давления плазмы, а от

взаимных (относительных) скоростей частиц. А возможно низковольтный разряд даже позволит значительно уменьшить количество тормозного и синхротронного гамма излучения.

По моим прикидкам, чистый реактор размером с термос вполне реален. Дальше уже сложно, так как все равно нужно минимум 2 сантиметра защиты в круг (если использовать перенаправление излучения, а не поглощение). Плюс охлаждение никто не отменял. Сама камера при этом будет размером с батарейку. А зона реакции (канал) диаметром в десяти доли миллиметра, и длиной не больше пары сантиметров. Но это в предельной теории, на практике еще далеко до этого.

Также низкая температура уменьшит потери на тормозное и синхротронное излучение. Медленные частицы под большим давлением в магнитном поле будут создавать минимум синхротронного излучения.

В добавок не нужно забывать, что каждый ион, двигаясь в магнитном поле, создает наведенную микро-ЭДС в катушке. Но так как ионы движутся хаотично, то и микро-ЭДС создается локально и хаотично. И суммарная ЭДС от этих микротоков равна нулю, что просто выливается в нагрев обмоток. Но если частицы медленные, то и микро-ЭДС слабая, и потерять меньше.

При этом я имею в виду "медленные" в своем броуновском движении. При сжатии и отскоке они могут двигаться с любой скоростью. Это упорядоченное движение, и оно создает направленную ЭДС, которую можно снимать.

Единственная проблема с синтезом при помощи давления заключается в том, что вдавливать шарик в шарик сложно, а разогнать и столкнуть намного проще. Ну что легче, взять грецкий орех, и раздавить о другой орех или о стол, или просто взять орех и разбить его, бросив об стену? Так и тут. Отсюда на начальных этапах развития системы температура тоже лишней не будет. Откуда ее взять я уже рассказал, большой ток хорошо нагревает плазму (именно нагревает, а не светит).

Плюс не стоит забывать про лазер, который помимо всех его полезных свойств в контексте системы, еще и не плохая такая грелка. И лазер такой мощности и плотности энергии будет нагревать плазму до таких температур, что без большого удерживающего давления он просто разрушит канал, так как произойдет просто взрыв. Потенциально можно вообще прийти к тому, что лазер будет сам провоцировать синтез.

Это я к тому, что "пути отступления" у меня есть. Система будет работать и так, и так. Но для начала эффективней выбрать промежуточный вариант, где и давление достаточно высокое (и, как следствие, плотность), и температура не низкая (миллионы градусов). А уже потом двигаться в направлении увеличения плотности и давления, и уменьшения температуры.

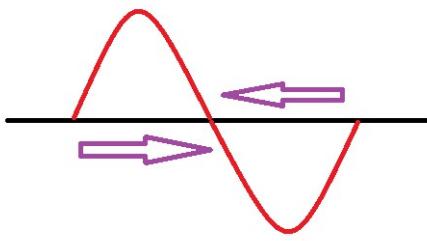
Ну а что касается большого напряжения, то его можно использовать только в случае сверхкоротких импульсом с резким фронтом. Тогда динамика плазмы изменится, и она будет больше "детонировать" чем сжиматься. Но в контексте предлагаемого мной концепта это не проблема, так как синтез может проходить не только в момент сжатия, но и в момент отскока, а так же в момент схлопывания "плазменной вены". Так что бегущая по плазменному каналу волна детонации, схлопывающая плазменную вену, это не проблема, а просто еще один режим работы.

--

Ну а большое напряжение может быть нужным, если задача создать экранирующий гравимагнитный барьер, получив нужное излучение при использовании обычного проводника.

Но пока, к сожалению, нет технологий, что позволяют получить импульсную работу с большой частотой и резким фронтом высоковольтных импульсов, да еще и так, что бы это жило годы, а не секунды до деградации проводников, электродов и т.д.

Хотя в теории можно попробовать защитить электроды при помощи "фазированного срыва" (термин сам придумал). Когда в проводнике создается несколько резонансных гармоник разной частоты, которые подобраны так, что на концах подавляют друг друга из-за интерференции фаз, и есть еще одна гармоника, модулирующая, что добавляет фазу, которая приводит к срывау заряда с электрода с большим током и малым напряжением, по большой плоскости. Но после фаза гармоник смещается, накладывается и напряжение резко растет. И это происходит дважды. Один раз в проводнике, создавая высоковольтный фронт и позволяя получить магнитную детонацию, и второй раз в плазме в зоне реакции для симметрии, что бы резонанс не разваливался.



(синхротронное) внутри проводник (стрелками показано направление излучения вдоль проводника в зависимости от фазы).

Преимущество такого метода, что управлять этим всем можно за счет изменения геометрии проводника и сопутствующих емкостей. То-есть не нужны высокоскоростные дискретные устройства коммутации (я вообще считаю что будущее за аналоговыми системами, так как вселенная не квантуема, а дискретизация останется только для измерения и вычисления, но не управления).

Идея в том, что в тонком участке проводника можно получить большое напряжение за счет суммирования фаз в этой зоне, тем самым получить большую скорость движения электронов, и тем самым получить синхротронное излучение (магнитное поле и так создается самим проводником вокруг себя).

После проводник расширяется, результирующее напряжение уменьшается, но ток не падает, из-за увеличения сечения. И на большом токе и низком напряжении заряд переходит в плазму, где происходит опять суммирование фаз, разряд сжимается в тонкую линию, и в определенной зоне где результирующая фаза максимальная, происходит реакция. Ну и все это еще стабилизируется полем, что создается катушками, которые состоят из этих самых проводников.

И если сделать геометрию проводника в катушке не виде прямой проволоки, а с изгибами, расширениями и сужениями, что бы они совпадали с положением результирующей фазы (стоячей волны), то излучение будет направлено по касательной к проводнику (с неким конусом расходности), и если правильно сфокусировать это излучение, то можно будет буквально "обернуть" зону реакции полями и создать гравимагнитный барьер, заперев нейтронное излучение в зоне реакции, не затрагивая при этом остальную часть реактора.

Правда тут придется после получившееся излучение рекуперировать и возвращать в зону реакции. И учитывая, что это рентген излучение, нужны соответствующие технологии, которых пока нет. Но гравимагнитная ловушка может фокусировать даже излучение за счет линзирования. То-есть это не невозможно, просто нужен соответствующий градиент массы-энергии и определенная конфигурация полей (причем общее количество массы-энергии не так важно, как именно градиент массы-энергии).

\*\*\*

И интересно что если получить вот такую результирующую фазу в проводнике, как на картинке (это не единичная фаза, это средняя результирующая, сложенная из интерференции нескольких фаз с разной частотой, и она нарисована условно), где добиться, что бы в пике результирующей фазы происходила магнитная детонация с последующим выбросом излучения, то можно получить двунаправленное излучение

При этом нужно еще ответить на вопрос “а почему это все не разнесет”. И основная моя идея и в том, что сила сдерживания будет расти пропорционально силе реакции. То-есть сама реакция накачивает энергией катушки, катушки, используя эту энергию, создают магнитные поля, которые идерживают эту реакцию.

Да, в такой системе будет большая реактивная мощность, и малая активная, и большая часть энергии будет заперта в системе и циркулировать по кругу, отсюда надо делать конструкцию с запасом, что бы она держала реактивную мощность. Но смысл крайне простой: не нужны никакие внешние системы “сдерживания” и удержания реакции. Сама реакция, пытаясь вырваться, создает силу, которую конструкция использует для сдерживания реакции.

Единственное, что остается учесть, это теплонаружность и теплоотведение, что бы это все не расплавилось. Ну и что бы при росте температуры упливали резонансы, и реакция затухала.

В итоге понятно, что 300МВт с ящика размером с холодильник снять, конечно, не выйдет, но вот 3 мегаватта – уже реально с текущим уровнем технологий. При этом для 3МВт даже не нужны “космические” технологии, вроде сверхпроводников.

\*\*\*

Ну и в конце предложу упрощенную схему (концепцию), которая учитывает описываемую ранее физику.

Вообще даже без разряда можно получить инерционный синтез. Можно взять просто катушку (соленоид) и удерживать ею плазму. В такой катушке плазма вытянется вдоль оси катушки в линию (цилиндр), и будет удерживаться в центре. Только сделать ее слегка конусную по краям, что бы плазма не дрейфовала вдоль оси.

Если теперь вдоль оси стрельнуть мощным лазером коротким импульсом, он быстро нагреет плазму в центре и частицы разлетятся в направлении холодной окружающей плазмы, столкнутся с ней, и может произойти синтез.

После того, как реакция затухнет, плазма остынет и давление упадет, внешнее магнитное поле катушки, что удерживает плазму, снова сгонит ее в центр, и можно будет снова стрельнуть лазером и повторить процесс.

Смысл в том, что плазма почти не будет разгоняться лазером вдоль оси, так как фотоны переизлучаются случайно, и только менее 1% энергии будет уходить на разгон, а остальная энергия будет уходить в нагрев плазмы.

Во время нагрева сильно увеличиться скорость частиц, давление по оси вырастет и частицы “разлетятся”. Но так как вдоль оси их подпирают другие частицы, то направление эффективного движения будет перпендикулярно оси, куда частицы и устремятся. Ну а там уже столкнутся с другими, медленными и инертными частицами-мишениями. Ну конечно при условии, что встретят такие мишени раньше, чем стенку корпуса.

Если просто держать лазер постоянно включенным, работать не будет, так как после выстрела плазма не останется в центре (магнитное поле относительно слабое, оно просто удерживает, а не сжимает), из-за чего нужно работать импульсами с относительно большими паузами, что бы магнитное поле успевало восстановить плазму в центре (время импульса раз в 10 меньше времени паузы).

Плюс в такой системе лазер нужно создавать отдельно, так как тут нет разряда, его создающего.

Но потенциально это простая установка, где по сути всего два компонента, катушка и лазер, и в итоге можно получить инерциальный синтез. Причем это будет работать с гораздо большей

вероятностью и лучшей эффективностью, чем если со всех сторон сжимать капсулу, как в случае с "классическим" лазерным инерциальным синтезом. Так как в случае с капсулой в полезную работу (обжим) уходит только 0.001% энергии. А если учесть еще стечения захвата, то нужно еще два нолика добавить спереди. И это именно "энергии лазера", а еще нужно учесть, что у лазера КПД в лучшем случае 10-30%, а у лазеров на NIF так вообще 1-2%.

А в такой схеме, как я предлагаю, если ловить энергию лазера, что прошла насквозь и не выполнила работу по нагреву, а после возвращать в систему, используя для следующего выстрела (делать это можно просто зеркалом, но лучше еще и собирающий корпус сделать, что бы рассеивание тоже собирать), то в полезную работу (на синтез) будет уходить 0.02%-0.2% энергии (связано со стечением захвата и вероятностью реакции), остальная энергия будет уходить в нагрев и давление, но ее можно частично рекуперировать опять же через катушку, так как такая упрощенная схема так же будет поддерживать прямой съем (30-40% можно возвращать).

Ну понятно, что "лазер и катушка" – это утрированно. Само собой нужен корпус, контроль удержания и дрейфа плазмы, система накачки лазера или газоразрядная система, если это лазер газоразрядного типа, и так далее. Но даже так это намного проще, чем токомаки, так как плазму не нужно удерживать под большой температурой. Тут достаточно удерживать ее просто как в газоразрядной лампе в центре трубы. А лазер вообще не важно какой, главное что бы давал достаточно плотности энергии нужной длины волны. Конечно некоторые лазеры эффективней, но тут нужно искать баланс между эффективностью поглощения плазмой волны и КПД самого лазера.

В итоге это крайне урезанная версия основной схемы, где даже отсутствует основной элемент (разряд), и все сведено просто к очень быстрому нагреву плазмы.

Конечно по эффективности эта схема будет в разы менее эффективна, чем та, что предлагается в основной идеи. Но тут намного проще настройка, проще расчет, нужно меньше деталей, меньше ломающихся и взаимозависимых частей, нет проблемы с деградацией электродов, лазер и управление катушкой вообще вынесено и независимо, что позволяет гибче настраивать работу при проектировании, и так далее. Из-за чего есть смысл рассмотреть и эту схему.

Конечно у "вынесенных" лазеров низкий КПД (20-30% в лучшем случае), и тут так же будут потери на гамма и рентген излучение, плюс остаточное тепло в плазме будет сложно с нее вывести в виде ЭДС, так как не используются резонансы и сжатие, отсюда о высоких показателях прямого съема можно забыть и максимум на что можно надеяться выйти, это на  $Q=1$  при прямом съеме, что значит что работа устройства будет самоподдерживающейся (будет производить сколько же энергии, сколько затрачивать), а вся полезная энергия будет выходить в виде тепла и нужен будет классический стимпанк что бы ее преобразовывать в ЭДС. Но даже если получиться добиться таких показателей, реактор уже будет эффективным, так как не будет затрачивать внешнюю энергию на свою работу.

И именно из за низкого  $Q$  я и создавал изначально более сложную концепцию, а эту оставил просто "бонусом". Так как изначально я не реактор строил, а двигатель космического корабля, где столь низкие значения  $Q$  просто недопустимы. Более того, в двигателе космического корабля желательно что бы КДП реактора было 100% и что бы вся выделяемая энергия в результате реакции могла быть преобразована в ЭДС, так как с охлаждением в космосе большие трудности, а таскать за собой огромные радиаторы не прикольно.

Но как известно, такую систему сделать невозможно в рамках классической физики. Всегда будут потери на тепло. Но это в рамках классической физики, а вот если добавить немного "магии", то может и получиться.

## Магия

Про основные особенности поговорили, и теперь можно поговорить о том, как улучшить систему. Первое – это разные варианты катализа, такие как таранный катализ, легкотяжелый синтез и другие.

И второе – рекуперация тепла. Причем именно тепла, а не давления. То есть того тепла, что на корпусе остается из-за потерь. А тепла, на самом деле, может быть очень много.

Если в бор-водородном синтезе потенциально можно получить 10-20% энергии в виде тепла, а остальное прямым съемом, и на эти 10-20% можно просто забыть, то вот в реакциях, где много гамма излучения или нейтронов, так не выйдет.

Что каскадный дейтериевый цикл, что распад тяжелых изотопов выделяет большую часть энергии в виде гамма излучения и энергии нейтронов. Нейтроны и гамма излучение вылетают из реактора, так как им плевать на магнитные поля и экранирование, после чего попадают в “улавливатель”, который обычно представляет из себя несколько метров воды. При этом, когда поглощаются этой водой или защитой, еще и делают это с выделением гамма излучения.

Ну а после гамма излучение просто поглощается средой, нагревая ее. В итоге это тепло нужно куда-то девать. И самый простой и проверенный способ – это использовать классический цикл, через создание пара и использование паровой турбины, только добавить тепловой насос. И я уже показывал эту систему рекуперации тепла, которая может работать даже по замкнутому циклу.

Но не смотря на то, что хоть стимпанк и прекрасен, но немного не “хайтек”, и на космический корабль ставить паровую турбину – так себе идея. Да и система громоздкая, тяжелая, уязвимая.

Отсюда нужно выдумать, что делать с теплом, но без стимпанка. И я придумал концепцию, по которой 100% выделяемой в результате реакции энергии переходит в электрическую.

Но перед тем, как к ней перейти сразу небольшой дисклеймер. Свидетелей классической термодинамики может закоротить. Берегите мозговые микросхемы. Я предупредил.

\*\*\*

Представим такую систему, где есть резервуар, в котором газ находится под давлением.

При этом есть насос, что прокачивает этот газ через резервуар и дальше подает на механизм, что разделяет его на холодный и горячий. Ну а после холодный газ используется для охлаждения корпуса, и, когда он нагреется, он отправляется назад в систему, смешиваясь с горячим, после снова весь газ пропускается через разделитель, и так по кругу.

В добавок к этому используется принцип теплового насоса, а именно адиабатическое сжатие и расширение. После разделения на холодный и горячий, газ, который используется для охлаждения корпуса, еще проходит стадию расширения, из-за чего у него сильно падает температура. А после того, как он отберет энергию (тепло) у корпуса, он проходит стадию сжатия, и в сжатом виде отправляется в общий резервуар.

Будет такое работать?

Да, будет, но не долго. Потому что для того, что разделить газ на фракции, нужно приложить энергию. И эта энергия уйдет в тепло и останется запечатанной в системе, если не дать ей выход. В итоге средняя температура газа будет расти, и рано или поздно даже холодная фракция после адиабатического расширения будет более высокой температуры, чем способен выдержать корпус, и все просто расплавится.

Но это так в обычной термодинамической системе. У нас же система не обычна, а ядерная. Причем не простая ядерная, а ядерного синтеза, где для того, что бы провести синтез, нужно затратить энергию. И тепловая энергия, что скапливается в системе может расходоваться на проведение ядерного синтеза. А энергию, что выделяется в результате синтеза можно будет снимать по резонансной схеме прямым съемом, выводя сразу в ЭДС.

То-есть без ядерного синтеза не взлетит, но с ним... может и заработает.

Смысл в том, что реакция увеличивает разность давлений и температур между окружающей и рабочей зоной плазмы, что в итоге уменьшает энтропию системы. В добавок мощность "отскока" плазмы из-за реакции увеличивается, так как увеличивается давление только пинч-канала, а не окружающей плазмы. В итоге если снять эту энергию сразу же, как произошла реакция, на первом же "отскоке", не дав ей распределиться по системе в виде тепла, это позволит использовать хитровывернутую схему охлаждения без теплопотерь в окружающую среду.

То-есть хитрость в том, что в классической термодинамической системе нельзя уменьшить энтропию без приложения энергии. Но проблема в том, что эта энергия, запертая в системе, в итоге энтропию системы увеличивает. В случае же с ядерной реакцией эта дополнительная энергия, уменьшая энтропию системы, берется из массы внутри самой системы, а не извне. Что в итоге создает градиент энергии внутри системы, резко повышая давление/температуру в определенной зоне, уменьшая тем самым энтропию системы.

То-есть это не типичный метод приложения энергии.

Да, само собой система не может быть замкнутой, и без перехода чего-то во что-то в одном направлении работать не будет. Но в системе этот переход имеется, и это переход массы в энергию через одностороннюю потерю массы в следствии трансмутации компонентов реакции. То-есть "плата" за уменьшение энтропии – это расход массы (топлива).

Причем это может работать и в обратную сторону. То-есть потом можно будет перемолоть продукты реакции в барионную плазму, которую конденсировать в нуклонную плазму, охладить, снова получить легкие элементы (дейтерий), и дальше провести повторный цикл. Но при этом будут опять же либо потери по массе на каждом цикле преобразования, либо по энергии, которая будет в массу переходить. В итоге масса топлива на каждом цикле будет уменьшаться. Это не взаимно обратимый процесс.

При этом школьная термодинамика тут не работает. Да и в принципе никакая не работает. Так как классический закон сохранения энергии и прочие коэффициенты Карно не учитывают переходы массы в энергию и обратно. Там масса – константа. Тут же для того, что бы уменьшить энтропию, расходуется масса. Отсюда нужен новый раздел динамики, который можно назвать массо-энергетическая динамика.

Причем важно, что в момент перехода массы в энергию, эту энергию нужно снимать сразу же в виде ЭДС, не давая ей перейти в тепло. То-есть если пропустить тakt снятия энергии после такта превращения массы, то к следующему такту эта энергия перейдет в тепло, энтропия системы вырастет и потом нужно будет "вытягивать" эту энтропию в будущих циклах. И если этого не делать, система расплавится без отвода тепла. То-есть без нагрузки, которая будет расходовать энергию, работать не будет.

Конечно, система какое-то время "потерпит" из-за своей теплоёмкости, которая не нулевая, и будет просто нагреваться, и право на ошибку и пропуск такта есть. Но если энтропию не уменьшать и/или энергию не снимать, рано или поздно все расплавится.

В итоге такая система преобразования тепла не будет работать без реакции, или если ее интенсивность недостаточная. То-есть тут чем выше интенсивность реакции и чем больше выход энергии в результате реакции относительно общей энергии системы, тем эффективней уменьшается энтропия. На низкой интенсивности реакции (на уровне самоподдержания системы), подобная схема охлаждения работать не будет скорей всего. Не хватит степени понижения энтропии. Ну или не будет работать без дополнительных способов перевода потерь в ЭДС (фотоэлектрических и термоэлектрических).

---

При этом я тут пренебрег нейtronами. Так как энергия, выделяемая через нейтроны, не может быть снята прямым съемом, и переходит в итоге в тепло. Также я пренебрег энергией, выделяемой в виде светового и гамма излучения, она только частично рекуперируется в ЭДС при отскоке плазмы. Я для простоты предположил, что реакция без нейtronов и без видимого излучения.

Но потенциально можно энергию тепла, что выделяется в результате поглощения нейtronов защитой, отводить от защиты при помощи охлаждения ее газом по принципу теплового насоса, после отправлять в зону реакции этот горячий газ, и там использовать эту энергию для инициализации реакции.

И при большой эффективности системы можно будет преобразовывать всю энергию реакции водородного синтеза в ЭДС при помощи прямого съема, не получая выход тепла. Более того, потенциально можно вообще охлаждать систему до того уровня, что бы достигать сверхпроводимости проводников, а энергию, что потрачена на охлаждение корпуса и проводников отправлять в зону реакции и использовать для инициализации синтеза.

Проблема тут только в том, что уж сильно много энергии при дейтериевом каскадном цикле выделяется в виде нейtronов и гамма излучения, и мало в виде энергии ионов. И что бы система так работала, нужна высокая интенсивность реакции и высокая эффективность (общая добротность) самой системы. Так как энтропия будет уменьшаться тогда, когда суммарный переход энергии в тепло на каждом цикле меньше, чем та энергия, что переходит в тепловую (кинетическую) энергию ионов в зоне реакции, что бы потом ее можно было снять резонансным методом через отскок плазмы.

Разделять газ (плазму) на холодную и горячую можно разными способами. Самый известный, это вихревая трубка Ранка-Хилша. Но это для газа. Если говорить про плазму, то там можно использовать магнитные ловушки, центробежное разделение и другие методы. Плюс можно улучшить эффективность разделения, используя мультикомпонентную плазму. Если закрутить плазму по спирали электромагнитным полем, удерживая им же, то более тяжелые частицы с меньшей степенью ионизации будут на внешнем радиусе. А степень ионизации плазмы пропорциональна температуре.

Соответственно, на внешнем радиусе будут холодные частицы, а по оси – горячие. Вплоть до того, что по внешнему радиусу будут двигаться те частицы, что обладают нулевой степенью ионизации, и они будут свободно покидать магнитное поле без сопротивления (такие в плазме всегда есть).

И так как в предлагаемой мной концепции зона реакции в виде трубы, которая и так закручивает плазму из-за формы катушек и разрядов, то при определенной конфигурации плазма автоматически будет разделяться по температуре, где в центре будет горячая, а по внешнему радиусу холодная. Останется только удалить холодную, еще разок ее разделить на горячую и холодную, расширить, и отправить на охлаждение корпуса. После снова сжать и вернуть назад в систему.

То-есть потенциально можно работать только с плазмой и разрядами, и за счет катушка-пинч эффекта и закручивания уже добиться сжатия и разделения плазмы на холодную и горячую фракцию в самом реакторе или на его периферии (продлить катушку относительно разряда). И тогда после расширения плазмы можно будет получить низкую температуру, сразу подходящую для охлаждения системы.

То-есть в теории можно подобрать состав и конфигурацию магнитных полей и создать такую динамику плазмы, при которой система будет работать без дополнительных нагромождений контуров охлаждения, компрессоров и всего, что может сломаться. Но это задача далеко не первой важности, отсюда пока оставлю это в виде “планов на будущее”.

Да, еще не стоит забывать про тепловое излучение и другие потери, но их можно сократить путем создания вокруг реактора многослойного термоса, внутренняя стенка которого охлаждается тем же газом (холодной плазмой).

---

Минус всего этого в том, что такая система преобразования тепла уменьшит полезную (активную) мощность всего реактора (снижение может быть значительным, процентов 30-50). То-есть использование такого метода охлаждения приведет к тому, что больше энергии будет заперто внутри системы в качестве реактивной мощности и меньше на каждом цикле можно будет снять. Что приведет к тому, что размеры системы увеличатся.

В итоге это уменьшит удельную мощность системы (соотношение мощности к размеру/весу). Но в итоге вся энергия, что выделяется в результате реакции, будет снята в виде ЭДС, без потерь в виде тепла. При условии, конечно, что система работает в нужном режиме и интенсивности реакции достаточно для понижения энтропии.

И да, как я уже говорил, без съема энергии система не будет работать. Причем съем должен обязательно быть достаточным. Если недостаточно нагружать систему, то ничего не выйдет, и энтропия будет расти. То-есть этот принцип применим по большей части к системам, которые имеют постоянную прогнозируемую нагрузку. Например, к реакторам грузовых кораблей или электростанций. Но, к счастью, принцип не обязывает запирать все тепло внутри, и можно на неэффективных режимах работы просто рассеивать избыточное тепло в окружающую среду.

Да, на земле такой сложный метод охлаждения имеет не много смысла, так как выделяемое тепло можно использовать множеством разных способов, но польза метода резко растет в тех местах, где нет окружающей среды. То-есть в космосе, где избавление от тепла является серьезной проблемой. Там гораздо выгоднее пожертвовать удельной мощностью реактора и перерабатывать все теплопотери в полезную работу, чем навешивать огромные радиаторы, которые будут рассеивать тепло через излучение, увеличивая вес и жертвуя удельной мощностью всего космолета.

Важный нюанс. Когда я говорю про КПД реактора 100%, это означает, что вся энергия переходит в электрическую, и реактор выдает только электричество. Но не стоит забывать, что, когда системы корабля потребляют эту электрическую энергию, они выделяют тепло, и это тепло нужно все равно куда-то девать. То-есть радиаторы все равно нужны для систем корабля. Но при этом сам реактор охлаждать не придется, если обеспечить съем и расходование электрической энергии.

Ну и так как основное количество энергии будет уходить на движение (на разгон, торможение, и преодоление сопротивление пространства), то именно этот процесс нужно стремиться сделать с максимальным КПД. Так как даже если всего несколько процентов будет уходить в тепло, это огромная энергия в абсолютном выражении. На системы космолета энергии будет уходить на

несколько порядков меньше, и даже если она станет в итоге тепловой, отводить это тепло будет не то, что бы сложно (по сравнению с теплом от двигателя).

Более того, можно тепло выделяемое системами корабля снова собирать и отправлять в двигатель. Ну при условии, что это не обычный импульсный двигатель, а двигатель типа космическое весло, где реактор просто его часть. И тогда, включив двигатель, можно будет рассеивать энергию в пространство, тем самым обеспечив тот самый съем энергии, что необходимо, что бы эта "магия" работала. Так как если просто собирать тепло от систем корабля и пихать назад в реактор, то ничего не выйдет и просто получится накопление энергии, и система расплавится. Энергию нужно куда-то рассеивать.

Ну а что бы никуда не двигаться при таком методе рассеивания энергии, можно просто включить несколько контуров, что бы они давали тягу в разные стороны, компенсируя друг друга, или просто гонять частицы по петле с постоянной скоростью (правда петли две нужно, а то петля дает реактивный момент, и, если она будет одна, корабль будет крутить).

То-есть если космолет не двигается, но энергия расходуется на работу внутренних систем, то выделяется тепло, и что бы рассеивать это тепло, нужно либо использовать радиаторы и делать это по классике, излучением, либо постоянно затрачивать энергию, что бы его преобразовывать в пространственные волны (но это не проблема, так как побочным эффектом от этого является создание искусственной гравитации внутри корабля).

Ну а если космолет движется (разгоняется или тормозит), то все топливо используется на 100%, так как вся выделившаяся энергия уходит на движение так или иначе. Просто если использовать рекуперацию, то активная мощность двигателя будет ниже, чем если не использовать.

В итоге можно будет обойтись вообще без радиаторов, не забывая при этом, что такое охлаждение будет не бесплатным, и на него будет тратиться масса. Либо по классике обвешиваться радиаторами и таскать их с собой. То-есть и здесь, как всегда, дилемма о двух стульях. В космолете, что я придумал для романа, используются все системы. И активные, и пассивные.

Ну и нужно не забывать, что даже если всю энергию топлива пытаться перевести в полезную, то ничего не получится. Все равно будут потери, так как все локальные системы не замкнутые. Просто они не будут тепловыми.

Связано это с тем, что в реакторе такого типа потери прямо пропорциональны полной мощности реактора, и выражаются в "утекающем" излучении из нейтрино (гравинейтрино), которое нельзя экранировать.

Нейтрино - это не какие-то "частицы", это устойчивые энергетические структуры гравитационного типа по моей теории, что возникают в результате анизотропной пульсации массы. И соответственно пытаться их экранировать, это такая же крутая затея, как пытаться экранировать гравитацию.

В итоге если полная мощность не меняется, но растет реактивная мощность, то, следовательно, нейтринные потери не меняются на каждом цикле, а вот выход энергии уменьшается. В итоге каждый джоуль полезной энергии обходится дороже по топливу.

Но эти нейтринные потери для "земных" реакторов будут насколько ничтожны еще несколько сотен лет, что ими можно пренебречь. Так как даже в протон-протонных реакциях утечки энергии через нейтрино обычно не более 5%, вдейтерий-дейтериевых реакциях эти показатели 2-3%, а "типовные" протон-борные или тритий-дейтериевые реакции почти безнейтринные. Просто этим

я хотел показать, что “магии” никакой нет, и за то, что бы не нагреваться, придется все равно платить, просто платить другим способом.

Но при этом если нельзя потерпеть победить, то можно возглавить, как я уже показывал на примере разных путей использования разных потерь. И с нейтрино та же история. На тех же космических кораблях можно фокусировать поток утекающих нейтрино и тем самым вынуждать их выполнять полезную работу по ускорению корабля. То-есть в итоге хоть экранировать и нельзя, но нейтринные потери можно применить для создания тяги.

Конечно тяга будет незначительная, но тут вопрос не в том, на сколько нейтринный двигатель классный, а в том, что бы просто максимально эффективно использовать все доступное топливо. Ну а перенаправлять и фокусировать нейтрино можно за счет гравимагнитного линзирования.

При этом гипотетически при помощи такого сфокусированного потока нейтрино можно создать гравитационный захват, который будет безопасный для материи.

## Послесловие

На этом я заканчиваю краткий обзор концепта. Дальше нужны точные расчеты и симуляции. А для этого нужны инвестиции. Заниматься этим на голом энтузиазме мне не интересно.

При этом то, что это будет работать, лично у меня сомнений не возникает. Да, система довольно непростая в настройке, и с первого раза не “взлетит”, но концепция, лежащая в основе, просто не оставляет шансов на то, что это не будет работать. Вопрос только в том, на сколько хорошо это будет работать.

То-есть не нужно забывать про то, что сейчас я фактически продаю слона из довольно известного анекдота про “купи слона”. То, что слон -- это прекрасное, благородное, и очень нужное в хозяйстве животное, надеюсь всем и так очевидно. Но нужно понимать, что он еще и жрет как слон, и занимает места, как слон, и гадит как слон. И большинство вещей, что я описывал в концепте, это практический максимум, недостижимый в ближайшем будущем.

В реальности конечно же реактор на сотню мегаватт не будет размером с холодильник, как минимум потому, что вокруг него будет три метра воды и бетона для радиационной защиты. Плюс большая часть полезной энергии на старте будет в виде тепла, а никак не в виде прямого съема.

И я не боюсь об этом говорить, потому что я, как я уже сказал, слонов продаю, а не лохов развозжу. Разводчиков лохов в мире и так хватает. А слоны хоть и специфический товар, что явно не для всех, но при этом довольно ценный, и определенно найдет свою аудиторию.

Но и при этом если кто то заметит, что такого “слона” даже размером с вагон не получится сделать, то замечу, что когда-то кто-то говорил то же самое про компьютер. Сейчас компьютер в сотни раз производительнее того, о котором тогда шла речь, размером с ноготь.

Также и в приведенном концепте. Я прикидывал размеры исходя из максимальной токонесущей способности проводников и электродов и максимальной допустимой плотности энергии до возникновения магнитной детонации. И в таком размере как я описывал, этот предел наступает, когда мощность достигает 600-800 мегаватт, я же описывал систему для 300 мегаватт.

Отсюда создать реактор с мощностью 300 мегаватт размером с холодильник теоретически возможно, если не считать перегрев, связанный с ограничениями теплоотвода. Но понятно что никто не будет сразу пытаться создать такое устройство. Для старта более чем достаточно сделать на 3 мегаватта в таком габарите.

Сколько можно будет получать энергии прямым съемом, сколько будет выделяться в виде тепла, а так же какое будет соотношение активной к реактивной мощности? Я думаю, что на первых версиях система будет "самоподдерживающаяся". То-есть прямым съемом будет сниматься сколько энергии, сколько нужно на инициализацию реакции. Много причин почему так, от неоптимальных резонансных режимов, до больших потерь в виде нейтронов и жесткого излучения.

При этом "прямой съем" в системе обязательный. Без резонансной рекуперации энергии она просто работать не будет. Вопрос только в том, какой процент энергии будет сниматься таким образом. То-есть сделать "просто реактор" без прямого съема по этой концепции не выйдет.

И таким образом на старте вся полезная энергия будет выделяться в виде тепла, которую нужно будет превращать в электрическую по стимпанку. И уже со временем в будущих итерациях можно будет увеличивать процент энергии, получаемой прямым съемом.

Ну и не стоит забывать, что эта идея реактора - лишь одно из проявлений целого стека технологий на базе концепта плазмострунных систем. И по большому счету все, что вы только что прочитали, это изначально лишь кусок двигателя космического корабля. И учитывая масштаб и применимость концепции, я считаю, что как минимум этот "кусок" должен принадлежать всему человечеству, а не быть в руках ограниченной кучки людей, занимающейся энергетическим террором. Именно по этой причине я написал эту книгу и выложил ее на всеобщее обозрение, где каждый может ее прочесть и приступить к созданию устройств на базе предложенного технологического концепта (только не в гараже, не надо с радиацией в гараже развлекаться, речь о научно-технических командах).

Только не стоит путать это с альтруизмом. Мне для достижения моих целей выгодно, что бы человечество перешло на новый энергетический уровень. Отсюда если вы занимаетесь исследованиями и разработками на деньги некоммерческих фондов, то никаких проблем. Но если хотите продать результат своих исследований, привлекать инвестиции коммерческих компаний или как-либо еще зарабатывать на моем труде и моих идеях, то от 1.5% роялти на все производные от этой технологии и концептуального принципа (в том числе и на привлекаемые в коммерческих целях инвестиции). Я считаю это минимально справедливая цена за реактор термоядерного синтеза.

