



Линейный термоядерный реактор

(сокращенно)

УТС спасет Землю

Более чем полвека умы людей будоражит возможность получения электроэнергии за счет управляемого термоядерного синтеза (УТС). На сегодня он представляется наиболее вероятным решением таких вопиющих проблем выживания человечества, как глобальное потепление на планете, загрязнение атмосферы и гидросферы, энергетический кризис при окончании запасов нефти и газа. Мир, в котором человечество получает энергию за счет практически неисчерпаемого экологически чистого термоядерного топлива (дейтерия) по сравнению с нынешним многим видится раем на земле.

Однако, многолетние исследования в этом направлении пока не дали реального результата. Наиболее перспективное направление УТС — установки типа "Токамак" — сегодня находится на этапе проверки реальной эффективности. Проект ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) планирует получить первую плазму к 2020г., о результатах этого экспериментального реактора пока можно только догадываться (www.iter.org). Другие направления УТС, такие как лазерный термояд и холодный термояд, пока не преодолели принципиальные трудности достижения положительного энергетического баланса.

В этой статье предлагается принципиально новый метод УТС — линейный термоядерный реактор на встречных плазменных пучках высокой энергии, сокращенно Линрек. Этот реактор был рассчитан автором в первом приближении (с точностью до порядка) в 2012 году, и эти расчеты показывают, что на сегодняшний день Линрек не является фантастикой, но лежит где-то на грани существующих технологий и для реальной работы требует творческого решения нескольких инженерных задач.

Принцип Линрека

Общий принцип линейного термоядерного реактора на встречных плазменных пучках состоит в том, что ядро до своего замедления и до вылета за пределы пучка внутри реактора должно прореагировать со встречным ядром с достаточно большой вероятностью (нереагировавшие ядра уносят впустую энергию, затраченную на их разгон). Другими словами, ядро, двигаясь с плазменным пучком со скоростью, достаточной для термоядерной реакции, должно встретить другое ядро, двигающееся навстречу, внутри эффективного сечения реакции с вероятностью, достаточной для положительного энергетического баланса.

Скорость пучка определяется из характеристик реакции (для дейтериево-тритиевой реакции энергия ядра около 100 Килоэлектронвольт, при этом эффективное сечение максимально и составляет 5 барн). Вероятность реакции одного ядра определяется формулой $p=1-1/e^{(x/l)}$, где x — пройденный до замедления путь, l — характерная длина, определяющаяся по формуле $l=1/(sn)$, где s — эффективное сечение реакции, n — концентрация ядер во встречном пучке. Для вероятности реакции $(1-1/e) \sim 63\%$ при характерной длине 1 километр требуется концентрация плазмы $n=2 \cdot 10^{18}$ ядер в кубическом сантиметре. При этом длительность импульса должна составлять около 300 микросекунд. Именно в получении плазменного пучка с такими характеристиками состоит проблема на сегодня. Хотя теоретически плазменные ускорители способны генерировать подобные пучки, практически на сегодня реальной модели с такими параметрами я не нашел. Возможно, она была просто не нужна до этого времени. Теория позволяет построить подобный плазменный ускоритель, а некоторые особенности Линрека позволяют смягчить требования к параметрам плазменного пучка и облегчают построение соответствующего ускорителя.

Что происходит в Линреке

Теория в первом приближении дает такую картину процессов в Линреке. При встрече пучков плазмы в центре реактора, ядра тормозятся на встречных электронах на расстоянии порядка сантиметра. Энергия ядер передается встречным электронам. В центре образуется неподвижный цилиндр плазмы с энергией электронов, примерно равной начальной энергии ядер. Сквозь этот слой налетающие ядра проходят уже без существенных потерь энергии, неподвижный цилиндр высокоэнергетичной плазмы удлиняется со скоростью примерно в половину начальной скорости пучка в одну сторону и с такой же скоростью в другую. Радиальное размытие пучка при этом определяется величиной магнитного поля в Линреке. Частицы в поперечной проекции движутся по окружности радиусом $r=mv/qB$, при $B=5$ Тесла для дейтронов этот радиус порядка от миллиметра до сантиметра, для электронов — порядка десятой доли миллиметра. Ядра, которые не прореагировали в неподвижном цилиндре, проходят сквозь него и расширяют этот цилиндр, пока его длина не достигнет предела (порядка $2l$, на таком пути реагирует около 87% ядер).

Конечно, эта картина весьма приближительна. Прояснить ситуацию может в какой-то степени компьютерная модель. Но и она может разительно отличаться от результатов последующего эксперимента.

Важно, что энергия, затраченная на разгон ядер, даже в остановившейся плазме переходит в энергию движения по окружности (спирали) и дает возможность дальнейших термоядерных реакций подобных тем, что происходят в токамаке, но с повышенной плотностью плазмы.

Почему Линрек

Причина, по которой Линрек энергетически более перспективен, чем токамак, в том, что подаваемая энергия в токамаке тратится на радиальную скорость, которая, кроме полезной функции для реакции, размывает пучок плазмы и тем самым снижает время ее удержания и энергетический выход. В Линреке вся энергия разгона тратится на продольную скорость, которая не размывает пучок, а только дает возможность реакции. Размытие пучка в Линреке является вторичным вредным эффектом, который можно уменьшать разными способами, увеличивая выход энергии.

Возникает вопрос, можно ли свернуть Линрек в несколько колец и уменьшить его длину, то есть будет ли работать принцип Линрека в токамаке со встречной инжекцией двух высокоэнергетичных плазменных пучков. На данное время ответ — нет. Проблема в том, что высокоскоростные частицы в токамаке будут двигаться не по

идеальной окружности, а по спирали, с каждым витком увеличивая радиус на величину порядка $(\sqrt{2})\pi \cdot mv/qV$, так что, свернув километровый Линрек в кольцо длиной 30 метров, мы получим среднее размытие пучка с указанными выше параметрами около метра. Это совершенно неприемлемо, так как из энергетических соображений допустимый диаметр указанного пучка порядка сантиметра. При увеличении диаметра пучка расход и выход энергии будет превышать разумные возможные пределы. Так, пучок диаметром 1 сантиметр длиной 1 километр с концентрацией $2 \cdot 10^{18}$ ядер в кубическом сантиметре с энергией ядра 100 килоэлектронвольт требует для разгона $\sim 1,6 \cdot 10^{28}$ электронвольт энергии (без учета потерь), или $\sim 2,5 \cdot 10^9$ джоулей, причем выделяться эта энергия должна за время 300 микросекунд. При частоте 1 импульс в 10 секунд необходимая подводимая мощность на один ускоритель более 250 мегаватт. Конечная выходная мощность при таких параметрах пучка, реакции 50% ядер и КПД последующей генерации электроэнергии 30% около 6,6 гигаватт. Соответственно, для пучка диаметром 10 сантиметров при тех же параметрах мощности необходим 1 импульс в 1000 секунд. При этом подводимая в импульсе энергия $\sim 2,5 \cdot 10^{11}$ джоулей, а выделяемая за раз энергия при реакции 50% ядер будет около 20 тераджоулей (для сравнения — взрыв атомной бомбы над Хиросимой — около 71 тераджоуля). Так что на сегодня реальный диаметр плазменного пучка в Линреке составляет порядка сантиметра.

Не единственный выход

Спасет Линрек планету Земля от экологического и энергетического кризисов или нет — автор оценивает эти вероятности как 50%:50%. Слишком много сюрпризов припасены у природы, как это показали многолетние исследования УТС в токамаках.

Но даже если управляемый термояд вообще не станет реальностью, у экологически чистой энергетики есть еще один путь развития. При выживании человечества оно на какой-то стадии пойдет по этому пути. Но этот метод получения энергии сопряжен с большими затратами и более высоким уровнем технологий, чем Линрек, поэтому на сегодня он выглядит больше как фантастика. Его описание можно найти в моей книге «Врата будущей жизни».

Зачем эта статья

Очевидно, что такой проект, как Линрек, не осилит в одиночку одна лаборатория или одна страна. Поэтому автор разрешает использование данной статьи в любом виде, при условии обязательного указания источника и приведенных здесь адресов сайтов.

Даже если Линрек не выйдет на уровень положительного энергетического баланса и не станет лекарством от болезней планеты Земля, исследования в этом направлении будут нужны людям, особенно последующим поколениям.

Эта книга не ставит задачу установить какие-то рамки в развитии моделей и разновидностей линейного термоядерного реактора. Здесь сформулирован принцип его работы, описана принципиальная схема Линрека, предложено новое направление УТС и показано, что Линрек уже сегодня является не фантастикой, а проектом на острие современных передовых технологий.

Эта статья является сокращением мини-книги Харченко А.И. с таким же названием. Полный текст этой работы с частями *"Расчет параметров Линрека"*, *"Линрек с дейтериево-третиевым циклом"*, *"Положительный энергетический баланс"*, *"Принципиальная схема линейного термоядерного реактора (Линрек)"*, *"Энергетическая принципиальная схема линейного термоядерного реактора (Линрек)"* можно получить, написав письмо по адресу y9414495@gmail.com

© Харченко А.И., 2012-2013

Автор разрешает публикацию, перевод, сокращение, другое использование этой статьи с обязательным уведомлением автора.

Автор: Харченко Анатолий Иванович
Телефон +380637412125
E-mail a9414495@hotmail.com

Приложения

(в сокращенной статье отсутствуют)

- 1. Принципиальная схема линейного термоядерного реактора (Линрек)*
- 2. Энергетическая принципиальная схема линейного термоядерного реактора (Линрек)*

Содержание

УТС спасет Землю

Принцип Линрека

Что происходит в Линреке

Почему Линрек

Расчет параметров Линрека

Линрек с дейтериево-третиевым циклом

Положительный энергетический баланс

Не единственный выход

Зачем эта статья

Приложения

