

ТОКАМАК 2.0

Ёлочкин Сергей Владимирович

Аннотация. Попытаемся рассмотреть три варианта возможности эффективного термоядерного синтеза, используя простейшие возможности.

Ключевые слова: электрон, протон, дейтерий, тритий, коэффициент усиления, термоядерный реактор, Токамак, ИТЭР, отношение тепловой мощности, омического электрического тока плазмы.

ВВЕДЕНИЕ

“Эксперименты на токамаках ведутся уже более 50 лет в различных лабораториях мира. Поскольку установка типа «Токамак» представляет собой сложную инженерную конструкцию, то для успешной работы этой установки требуется комплексное решение физических, технологических, инженерных задач. Опыт в решении таких задач, накопленный в результате полувековых исследований, позволил сформулировать основные принципы и начать проектирование первого международного термоядерного экспериментального реактора-токамака ИТЭР.

В этом пособии будет рассмотрено современное состояние исследований на токамаках, работающих в России и за рубежом, будут сформулированы основные проблемы, которые еще предстоит решить в преддверии создания первого реактора-токамака.” [5, с.7]

Чтобы термоядерный реактор имел экономический смысл, мощность тепловыделения в плазме должна быть достаточной, чтобы сохранялись благоприятные условия для протекания термоядерных реакций, а значение Q (коэффициент усиления или отношение тепловой мощности, генерируемой реактором, к затрачиваемой на поддержание его работы мощности) было больше единицы. Например, у строящегося сейчас экспериментального реактора ITER значение Q хотят довести до 10, а в других проектах - до ещё более высоких значений.

"Несколько лет назад в Японии автору случилось оказаться поздним вечером в пультовой второго по величине токамака JT60U полубезлюдный зал, заставленный дисплеями в углу, у доски небольшая группа - человек тридцать - усталых молодых людей, видимо, инженеров и физиков, у доски кто-то из лидеров. Оперативка. Что-то не ладится - видно по лицам. Вошедших не замечают. Как же всё у нас одинаково! Через день, два, а может, через месяц кто-то из них найдёт решение, препятствие преодолеют и снова пойдут дальше. Когда эта статья уже писалась, с JT60U было получено известие - $Q=1,25$! Токамаки продолжают движение. До конца века ещё целый год. [4, с.37]"

Я попытаюсь рассмотреть три варианта возможности эффективного термоядерного синтеза, используя простейшие возможности.

Первый вариант – нынешний обычный ТОКАМАК.

Попытаемся рассмотреть простейший вариант ТОКАМАКа. В тороидальную камеру равномерно впрыскивается смесь D (дейтерий) и T (тритий).

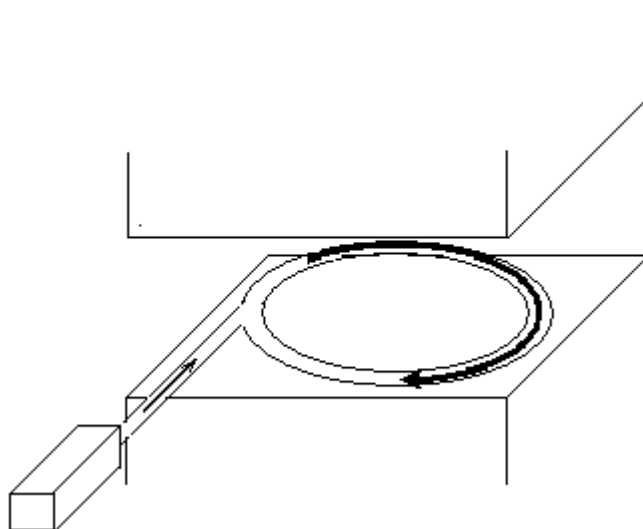


Рис. 1

Выражаем поступающую смесь как **C** (**C = Const**) – количество частиц в единицу времени Δt , поступающих в камеру. **N(t)** – в этом случае будет общее количество частиц, получающееся в камере. В простейшей схеме, можем не рассматривать либо высокую скорость поступающую смесь, либо разгонную полученную смесь в камере. При этом скорости частиц v_i , летающие по тороидальной камере, перевычисляются все эти скорости частиц со средней скоростью:

$$\mathbf{v}_i^T = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{cp}, \quad \text{где } \mathbf{v}_{cp} = \sum \mathbf{v}_i / n \quad (1)$$

В таком случае, все эти скорости $\mathbf{v}_i^T$ могут иметь значение T (температуры).

Плотность же получается просто, при делении **N(t)** на объём камеры.

Выберем вероятность α как ядерный синтез пары частиц в ту же единицу времени Δt . В таком виде можно записать такую формулу:

$$\Delta N(t) = (C - \alpha N(t)) \Delta t \quad (2)$$

Преобразуя (2) и переходя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получим дифференциальное уравнение

$$N(t) + \frac{1}{\alpha} N'(t) = \frac{1}{\alpha} C \quad (3)$$

Решение этого уравнения имеет вид :

$$N(t) = \frac{1}{\alpha} C (1 - e^{-\alpha t}) \quad (4)$$

Будем помнить о том, что вероятность α весьма мала, но растёт при росте температуры и плотности. И следует помнить, что происходят столкновения D–D, T–T и D–T. Тогда вероятность столкновения D–T получает $\alpha/3$.

Однако, всего вышеуказанного совершенно недостаточно. Необходимо учитывать влияние **омического электрического тока плазмы**.

"Омическим режимом называется режим удержания плазмы, в котором нагрев плазменного шнура осуществляется только за счет протекания по плазме электрического тока, создаваемого вихревой обмоткой. Мощность нагрева в этом случае рассчитывается как $P_{\text{heat}}=I_p U_L$, где I_p — ток плазмы, U_L — напряжение на обходе плазменного шнура. L — длина связи, т.е. расстояние от области пробоя до стенки вдоль линии магнитного поля. [5, с. 14]"

Будем рассматривать как будет происходить электрического тока плазмы, выбрав небольшой отрезок тороидальной камеры, заполненного смесью ядер и свободных электронов, с учётом приложенного извне электрического поля (см. Рис. 2).

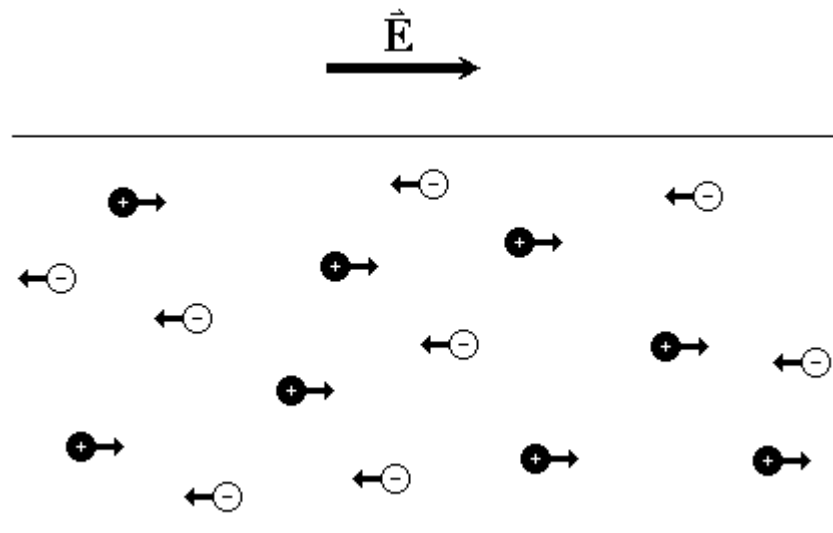


Рис. 2

"...можно записать, что сила, действующая в какой-то точке данной части пространства на любой электрический заряд величиной q , равна:

$$\mathbf{F}=q\mathbf{E} \quad (5)$$

Здесь $\mathbf{F}$ зависит от того, в какой точке находится заряд q , потому что $\mathbf{E}$ следует брать для этой точки." [1, с.123].

Кроме того, "Результирующая сила, действующая на тело, равна произведению массы этого тела m на его ускорение a :" [1, с.78].

$$\mathbf{F}=ma \quad (6)$$

А теперь, мы можем приравнять левые части уравнений формул (5) и (6), предварительно указав значения для электронов и протонов: m_e — масса электрона, e^- - заряд

электрона, a_e – ускорение электрона, m_p – масса протона, e^+ – заряд протона, a_p – ускорение протона.

$$m_e a_e = e^- E, \Rightarrow a_e = e^- E / m_e \quad (7.1)$$

$$m_p a_p = e^+ E, \Rightarrow a_p = e^+ E / m_p \quad (7.2)$$

Причём, следует помнить о соотношении значений: $m_p = 1836 m_e$, $e^+ = -e^-$ (или $|e^+| = |e^-|$), и тогда получается, что $a_e = -1836 a_p$.

Следуя тому, что электрону и протону приходится, под воздействием электрического поля, двигаться по направлению противоположно друг другу, то они либо пролетают мимо, либо отклоняются по гиперболическим или параболическим отклонениям, либо сталкиваются. В случае же эллиптических происходит рекомбинация частиц.

Выберем среднее время свободного движения частиц до столкновения – τ , (с). Можно упомянуть, что используются энергетическое время жизни – τ_e [5, с.14], или характерное время «остывание» плазмы [3, с.12].

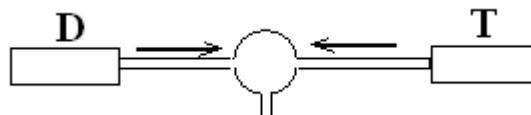
В таком случае, что $V_e = \tau a_e$ и $V_p = \tau a_p$, и $V_e = 1836 V_p$ (без учёта знака).

Тогда, получается, что полный ток плазмы будет соответствовать сумме токов протонов и электронов: $I = I_e + I_p$, где $I_e = 1836 I_p$.

Из всего вышеуказанного, получается, что подавляющее количество столкновений частиц плазмы будут составлять столкновения между протонов и электронов, что при увеличении тока будут всё больше получаться нейтроны [6, с.8], что и происходит в указанных ТОКАМАКах. В этом случае, вероятность α будет практически ничтожна.

Второй вариант – встречные пучки D и T.

Попытаемся рассмотреть что в шаровую камеру впрыскиваются D и T с противоположных сторон. В этом случае происходят столкновения исключительно D и T.



Кроме того, летят друг в друга со скоростями частиц v_i , т.е. перевычислять со средней скоростью в формуле (1) не требуется.

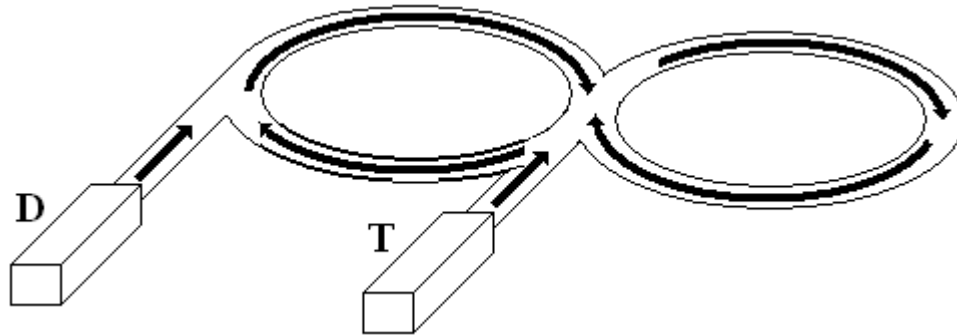
Вероятность α как ядерный синтез пары частиц в ту же единицу времени Δt (как $C = \text{Const}$ – количество частиц, поступающих в камеру). В таком виде можно записать такую формулу:

$$N = \alpha C \quad (8)$$

В этом смысле α как вероятность имеет значение площади эффективного взаимодействия не зависит от температуры (хотя эта величина вероятности тоже весьма мала).

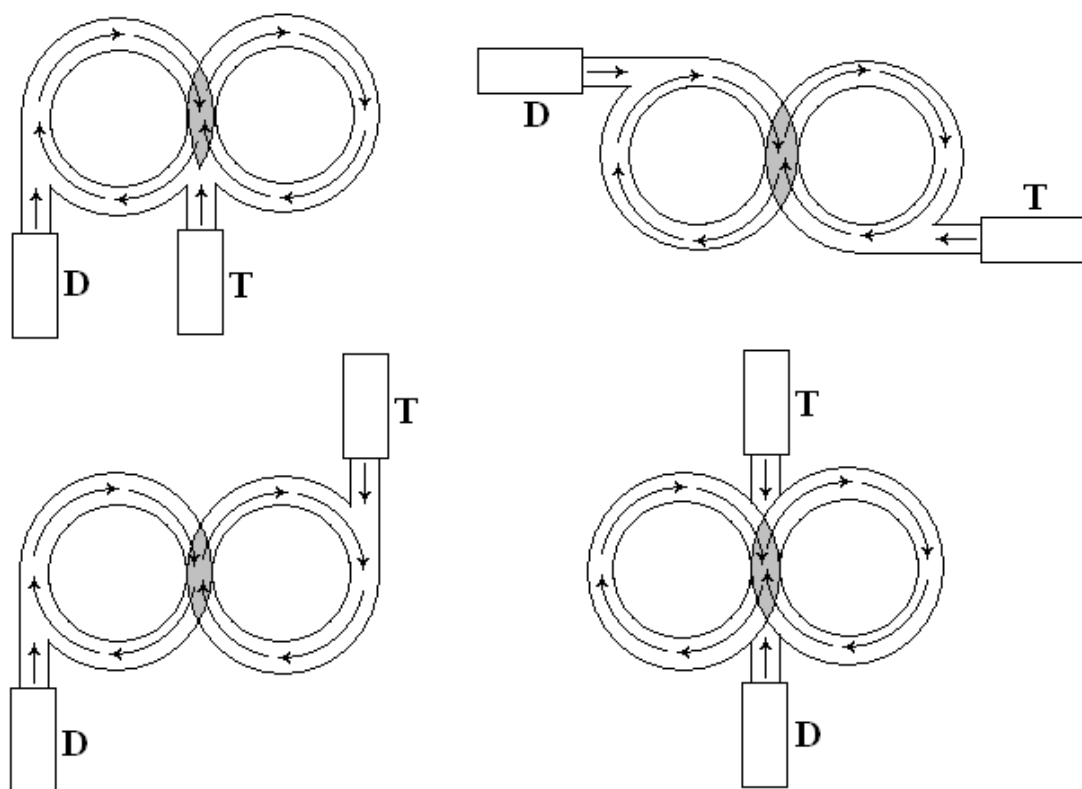
Третий вариант – объединим первый и второй.

Попытаемся рассмотреть вариант две тороидальные камеры ТОКАМАКа, равномерно впрыскивается D (дейтерий) в одну тороидальную камеру и T (тритий) в другую, объединяет обеих камер в восьмёрку:



В этом случае происходят столкновения частиц в области встречных потоков. Получается, что, с одной стороны, это уравнение (4) справедливо для первого варианта ТОКАМАКа, но значения вероятности α - во втором, т.к. зависит не от v_i^T , а от v_{cp} в формуле (1), что такая вероятность во много раз больше. Кроме того, вероятность столкновения D–T получает не $1/3\alpha$, а просто α .

Если посмотреть с верхней стороны, можно использовать четыре вида ТОКАМАКа 2.0 :



Заштрихована область, в которой происходят столкновения встречных потоков частиц исключительно **D–T**, вне этих областей столкновений никаких не происходит.

Кроме того, следует помнить, что в заштрихованной области будет отсутствовать ток. Вне зависимости, было ли поджиги двойного ТОКАМАКа или впрыскивания встречных потоков ядер.

Заключение.

Таким образом, нет необходимости строить колоссальные реакторы обычных нынешних ТОКАМАКов огромной энергии, а построить что-нибудь более мелкого, в котором указывается энергия около 10 Кэв (или чуть больше) при **D–T** (при **D–D** указывается энергия около 100 Кэв).

А ведь может и получится новый термоядерный реактор. Или даже космический двигатель.

К сожалению, мною написанная статья весьма примитивна, ввиду моей инвалидности. Но ведь найдётся кто-нибудь, кто либо разгромит эту статью, либо более обширно и грамотно её использует.

А назвать этот новый термоядерный реактор можно хоть «ТОКАМАК 2.0», хоть «Дубль ТОКАМАК» - да как кому угодно. Хоть «Ауслейзерская Пупка».

Список литературы:

1. "Берклевский Курс Физики, том I Механика", Ч.Киттель, У.Найт, М.Рудерман
2. "Берклевский Курс Физики, том II Электричество и магнетизм", Э. Парселл
3. "Токамаки: триумф или поражение?", Природа, №11, 1999 г., С.В. Мирнов
4. "Токамаки: триумф или поражение?", часть 2, Природа, №12, 1999 г., С.В. Мирнов
5. "Современные исследования на установках «Токамак» ", Федеральное агенство по образованию Московский инженерно-физический институт (Государственный Университет), Учебное пособие, Москва 2008, Н.А. Кирнева
6. "О некоторых особенностях взаимодействия электрона с протоном", Попенко В.И., «Молодой вчений», № 7 (22), Частина 1, липень, 2015 р.
7. "Справочный по математике (для научных работников и инженеров)", Корн Г., Корн Т. Издательство "Наука", Москва, 1972 г.