

# Реакторы на природном уране с внешним источником быстрых нейтронов это будущее энергетики и космонавтики»

А. Мозговой, И Тиликин  
Физический ин-т им. П.Н. Лебедева РАН

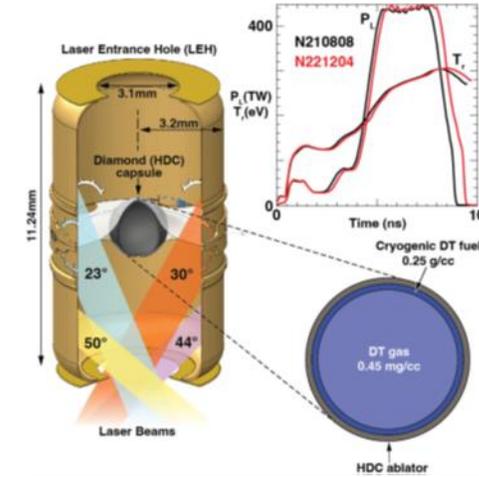
Работа обычных атомных реакторов основана на способности к цепной реакции при делении урана  $^{235}\text{U}$  медленными нейтронами, что иногда приводило к известным катастрофам. Природный уран  $^{238}\text{U}$  делиться быстрыми нейтронами (более 1 МэВ), возникающими при термоядерном синтезе с выделением еще 200 МэВ энергии. Для получения 10 МДж в одиночном импульсе от деления  $^{238}\text{U}$  необходимо 100 кДж или  $2.5 \cdot 10^{17}$  быстрых нейтронов (без учета вторичных нейтронов от деления, в термоядерной бомбе реальное усиление было в 5 раз). Сама термоядерная реакция имеет усиление порядка сотен - 10 КэВ ядра дейтерия при слиянии дают от 2.45 МэВ.

Создание такого **источника быстрых нейтронов** - это и есть управляемый термоядерный синтез - УТС.

Сейчас имеем магнитное удержание -токамаки, открытые ловушки, инерциальный импульсный - лазерный и другие подходы.



Около 220  $\mu\text{g}$  DT  
использовано  
Запасенная  
энергия -400 МДж



### National Ignition Facility (NIF)

PHYSICAL REVIEW LETTERS (2024), The Indirect Drive ICF Collaboration Achievement of Target Gain Larger than Unity in an Inertial Fusion Experiment (Received 27 October 2023; accepted 3 January 2024; published 5 February 2024)

Выход - 3 МДж, диаметр капсулы 1 мм с 220  $\mu\text{g}$  DT, время реакции менее 1 нс. Число выделенных нейтронов  $10^{18}$  или несколько микрограмм.

### Joint European Torus (JET) tokamak

69 МДж –стоят 100 рублей, 5 секунд отработал.

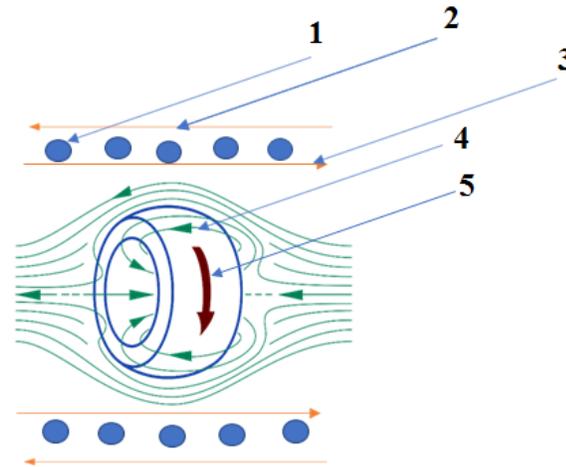
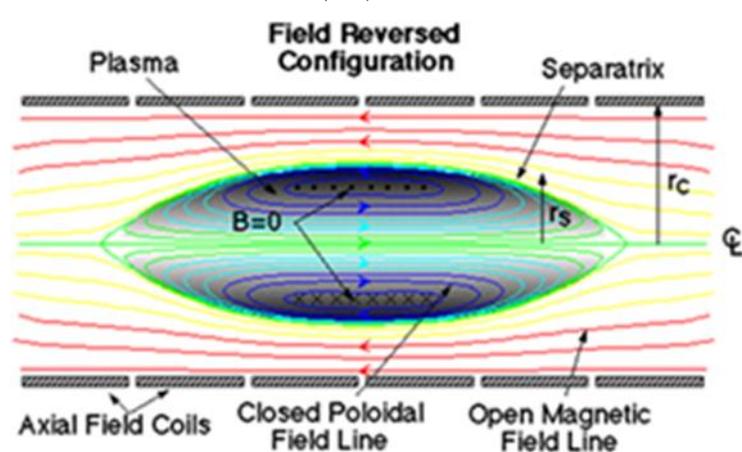
И сейчас закрывается программа.

**Alcator C-Mod** токамак **MTI** тоже потерял финансирование

### Запуск ИТЭР перенесен на 2039 год.

В США магнитное удержание больше не представляет собой наиболее перспективный путь к масштабной термоядерной энергии.

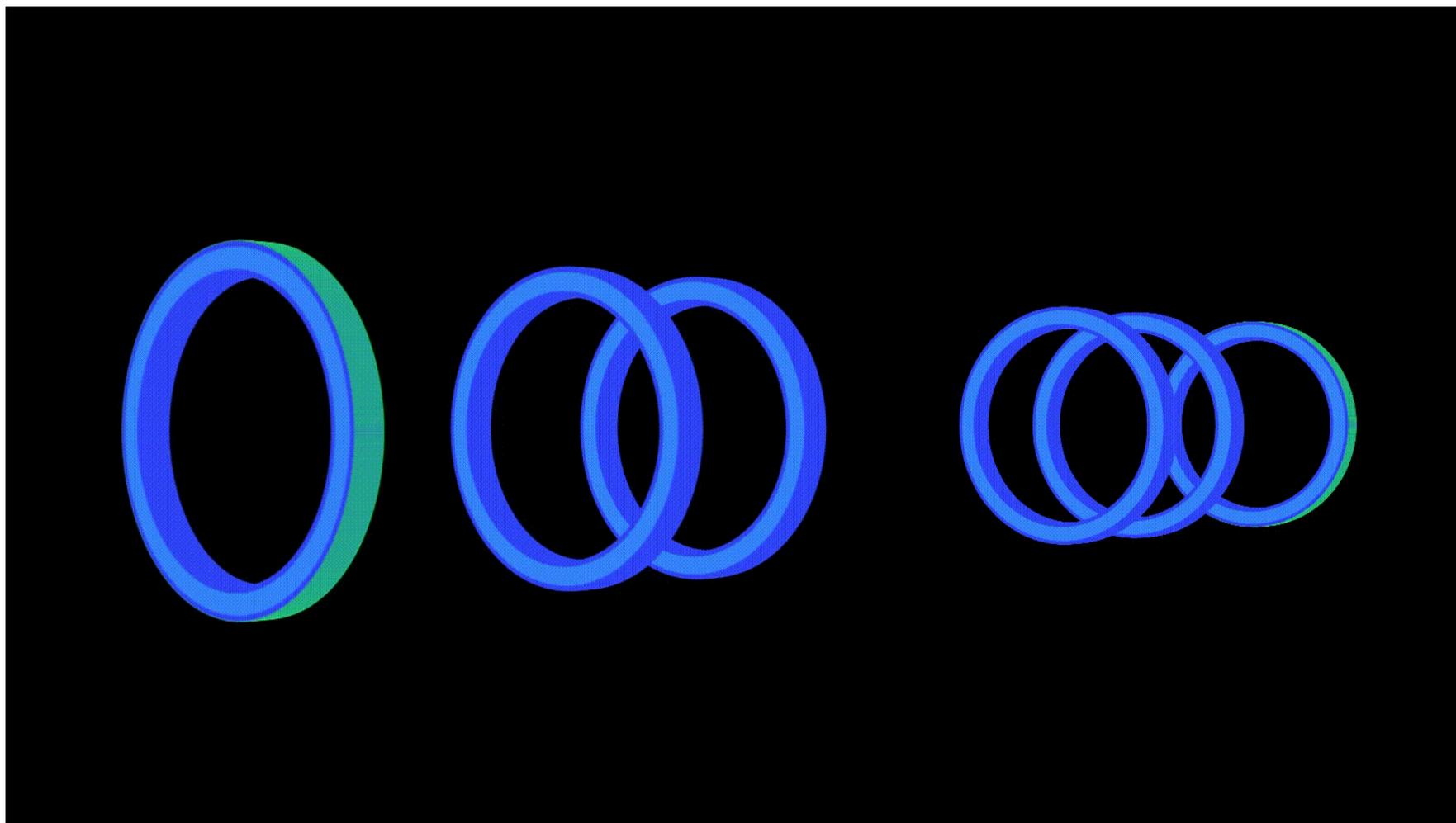
Самым перспективным направлением становятся коллайдеры компактных торов (КТ) или **FRC-Field Reversed Configuration** – плазмойд с замкнутым токовым витком с нужным составом и массой (микрограммы) ускоряют внешними магнитными полями и сталкивают с другим, летящим на встречу. При одинаковых направлениях тока КТ **притягиваются** и вся кинетическая энергия идет на нагрев плазмы с осуществлением термоядерной реакции. При массе в микрограммы и нужной скорости в несколько кэВ – это всего несколько кДж, что позволит частотный режим работы в десятки и сотни герц.



1- соленоид, 2,3- магнитные линии соленоида, 4- магнитные линии тока FRC, 5- направления тока в FRC

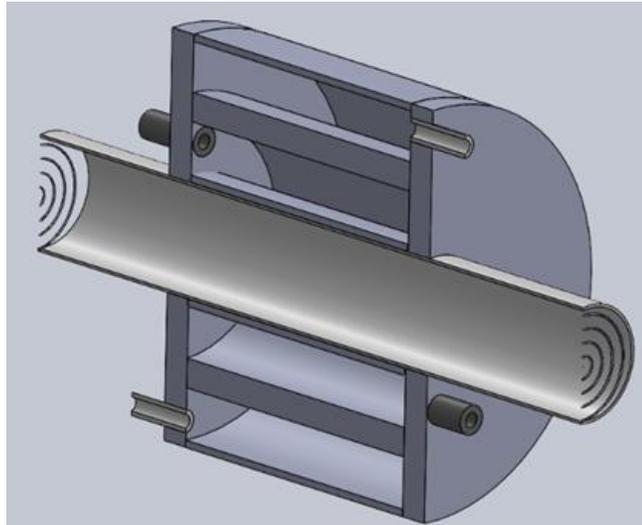
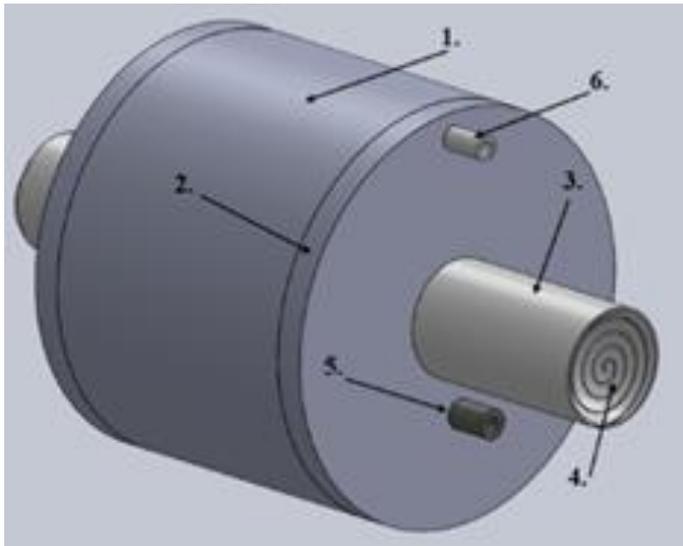
Собственное магнитное поле пытается расширить тор по радиусу, поэтому необходимо создавать поле снаружи тора для его удержания и ускорения. Ранее это называли обращенной конфигурацией (field –reversed).

# Анимация работы коллайдера



# ЖИДКОСОЛЕВОЙ РЕАКТОР НА ПРИРОДНОМ УРАНЕ С ВНЕШНИМ ИСТОЧНИКОМ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

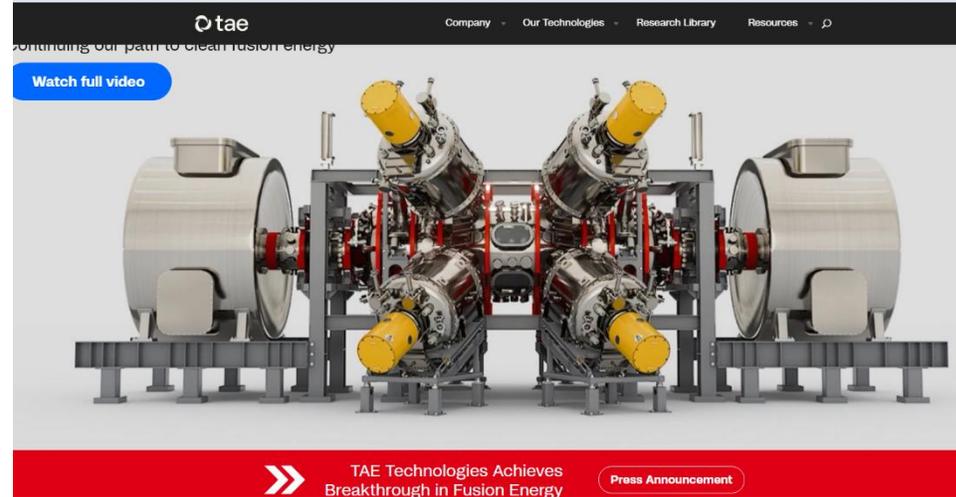
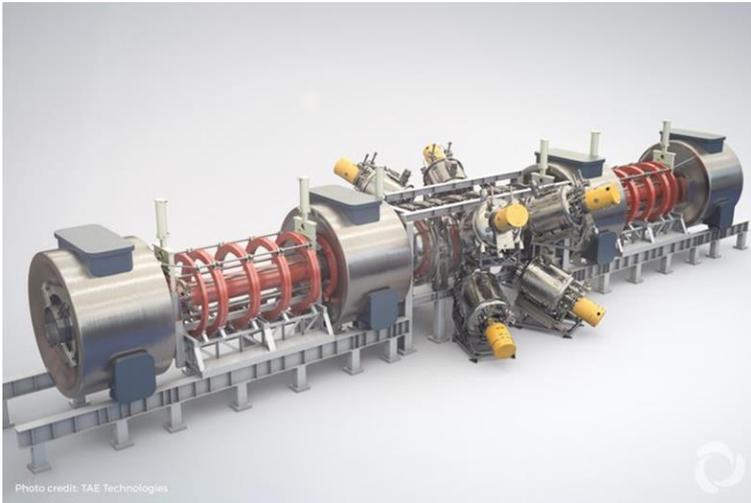
В таком реакторе топливо является и теплоносителем с  $T = 500-700$  градусов С. Это позволит использовать эти реакторы в космосе, где можно отводить тепло только через излучение.  $\sim T^4$



1-корпус жидкосолевого реактора, 2- его крышки, 3 – коллайдер компактных торов, 4-индуктивный накопитель секции формирования компактных торов, 5-патрубки входа и выхода расплавленных солей урана 238, 6-водяная рубашка.

Выделяемая энергия легко регулируется частотой столкновения компактных торов – от 0 до сотен МВт!

На конференциях Американского Физического общества (APS Division of Plasma Physics) в 2023 и 2024 г. представлено десятки работ по компактным торомам (FRC), экспериментальная платформа для FRC создается и в Лос Аламосе, а в этом году на **Pulse Power** и ICOPS, Berlin, June 15-20 2025, только 2. История повторяется.



Установка NORMAN  
Tri Alpha Energy

было

Установка NORM  
Tri Alpha Energy

стало

С со-основателем Tri Alpha Energy **Norman Rostoker** я встречался в 1998 году, имея начальную идею индуктивных накопителей для формирования FRC.

# Установка POLARIS, Helion Energy

1 / 21 53% +

**(12) Patent Application Publication** (10) **Pub. No.:** US 2018/0025792 A1  
**Slough** (43) **Pub. Date:** Jan. 25, 2018

(54) **METHOD AND APPARATUS FOR THE GENERATION, HEATING AND/OR COMPRESSION OF PLASMOIDS AND/OR RECOVERY OF ENERGY THEREFROM**

(71) Applicant: **MSNW, LLC**, Redmond, WA (US)

(72) Inventor: **John T. Slough**, Bellevue, WA (US)

(73) Assignee: **MSNW, LLC**, Redmond, WA (US)

(21) Appl. No.: **15/682,129**

(22) Filed: **Aug. 21, 2017**

**Related U.S. Application Data**

(62) Division of application No. 13/201,428, filed on Aug. 12, 2011, now Pat. No. 9,741,457, filed as application No. PCT/US2010/024172 on Feb. 12, 2010.

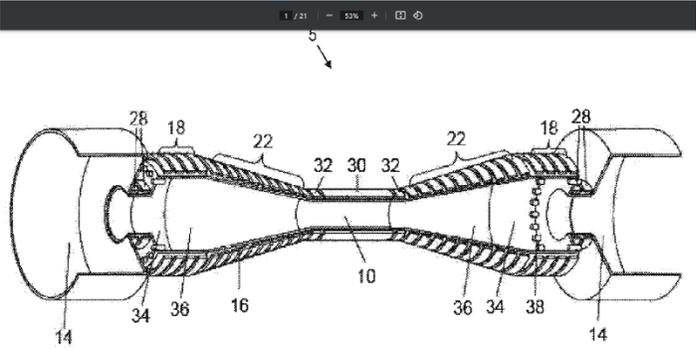
(60) Provisional application No. 61/152,221, filed on Feb.

**Publication Classification**

(51) **Int. Cl.**  
*G21B 1/19* (2006.01)  
*H05H 1/02* (2006.01)  
*G21B 1/05* (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**  
 CPC ..... *G21B 1/19* (2013.01); *Y02E 30/16* (2013.01); *G21B 1/052* (2013.01); *H05H 1/02* (2013.01); *Y02E 30/122* (2013.01)

(57) **ABSTRACT**  
 Method and apparatus for heating and/or compressing plasmas to thermonuclear temperatures and densities are provided. In one aspect, at least one of at least two plasmoids separated by a distance is accelerated towards the other. The plasmoids interact, for instance to form a resultant plasmoid, to convert a kinetic energy into a thermal energy. The resultant plasmoid is confined in a high energy density state using a magnetic field. One or more plasmoids may be compressed. Energy may be recovered, for example via a blanket and/or dielectric via one or more coils that create a



HELION Technology + Trade + Patents + Careers + Team + News + FAQ

Helion's fusion technology

Helion's fusion generator raises fusion fuel to temperatures greater than 100 million degrees Celsius and directly extracts electricity with a high-efficiency pulsed approach.

FAQ & technical resources ↓

# 20 МДЖ выделено при сжатии FRC!

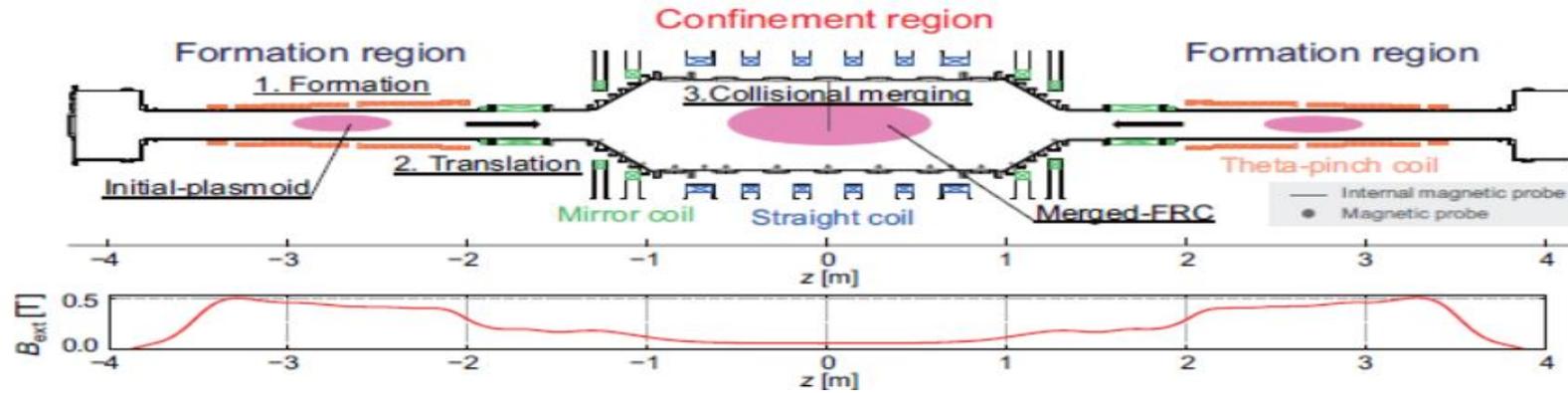
16.05.2025 опубликованы тезисы докладов: - <https://www.ppps2025.kit.edu/278.php>

The combined **25th [IEEE Pulsed Power Conference](#)** (PPC) and the **52nd IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS)** will be held June 15-20, 2025 in Berlin, Germany at the Estrel Berlin. Conference (PPPS) is pleased to host the *2<sup>nd</sup> IEEE Workshop on Pulsed Power for Fusion Applications*.

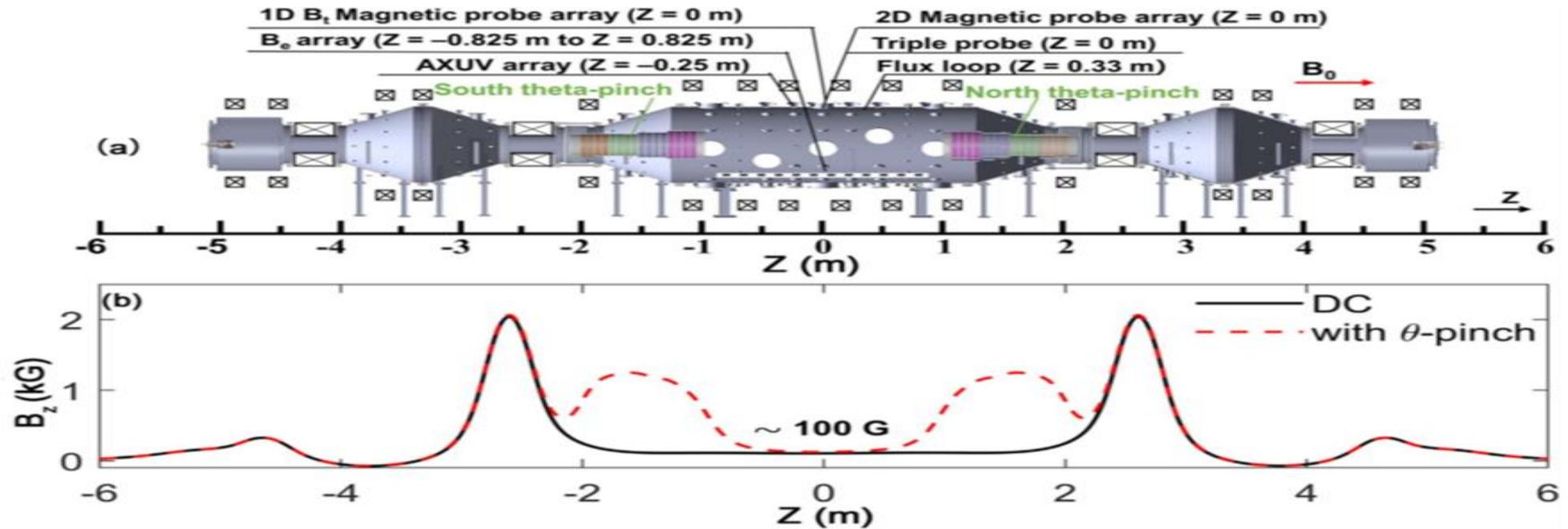
J.T. Slough, основатель компании **Helion Energy** (инвестировано \$ 1 млрд), приводит цифру выделенной энергии за импульс при сжатии FRC - 20 MJ. Диаметр камеры 12 см, поле 6 Т. Это реальный прорыв в УТС. На NIF было 5 MJ.

В нашем докладе «Реакторы на природном уране с внешним источником быстрых нейтронов - это будущее энергетики и космонавтики» мы пишем о необходимости достижения выхода в 100 кДж.

# Японский FRC



# Китайский FRC



# Главные конкуренты

Частная американская компания **Helion Energy** даже анонсировала запуск нового термоядерного коллайдера POLARIS таких FRC (инвестировано с 2021г. более \$ 1 млрд с обязательством еще \$ 1.2 млрд, главный инвестор - **Sam Altman**, компаньон **Elon Musk** по Open AI). Ими же объявлено о заключении контрактов с Майкрософт на поставку первого реактора в 2028г и на 35 млн с крупнейшей сталелитейной компании США Nucor Co.

Следует упомянуть компанию **Tri Alpha Energy** (tae.com, освоено более \$ 1.2 млрд., из них 50 млн. от Роснано). **Realta Fusion**, новый стартап, получил в 2023 г. финансирование \$ 9 млн от DOE. Аналогичные эксперименты проводятся в Китае и Японии.

ТРИНИТИ по программе Росатома РТТН также предлагает создать коллайдер плазменных тороидов.



ТРИНИТИ  
РОСАТОМ

**Современное состояние исследований  
импульсных термоядерных устройств  
на базе потоков плотной замагниченной  
плазмы.**

Докладчик: А.М. Житлухин

Семинар ГК «Росатом» 30.06.2023 г.

## Краткая история

Компактные торы начали получать с помощью тета-пинчей в Los Alamos (Scylla machines, 1958), Naval Research lab, Новосибирском Институте Ядерной Физики, затем в ТРИНИТИ, Сухумском физико-техническом институте.

Основная идея коллайдеров на компактных торах - в формировании двух КТ с их последующим ускорением на встречу друг другу и их столкновением.

# Частные компании, ведущие исследования по термоядерному синтезу, объединены во Fusion Industry Association

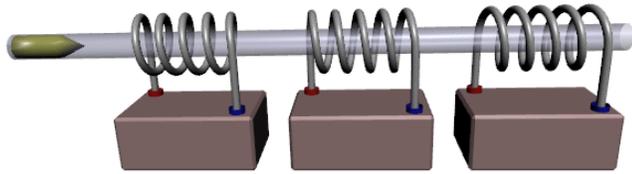


А у нас дипломы дают

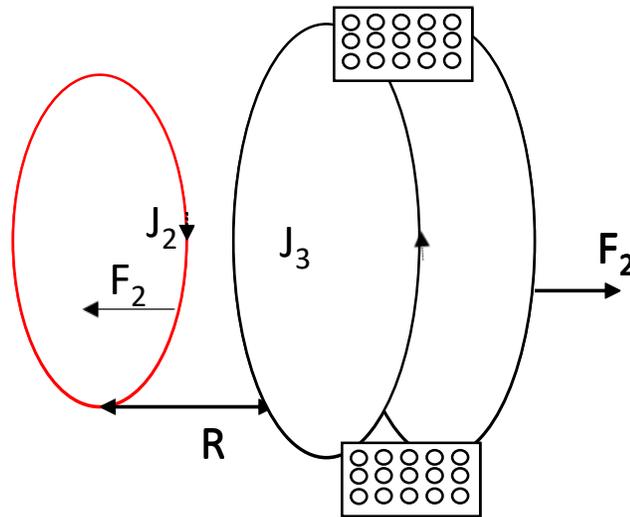


ими уже привлечено более \$ 7 млрд

При ускорении компактного тора на внешнюю обмотку действует та же сила, создавая тягу. Сам компактный тор, будучи электрически нейтральным, может выбрасываться в космосе в открытое пространство.



## Пушка Гаусса



$$F_2 = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{J_2 \cdot N \cdot J_3}{R} \cdot L$$

$F$  – сила в амперах,  $J_2$  – ток в плазменном кольце (амп.),  $J_3$  – ток в  $N$  витках обмоток (амп.)  
 $L$  – периметр (м),  $R$  – расстояние (м)

6 июня 2023 года британское **Pulsar Fusion**, вступили в партнерство с Princeton Satellite Systems и **Princeton Plasma Physics Laboratory**.

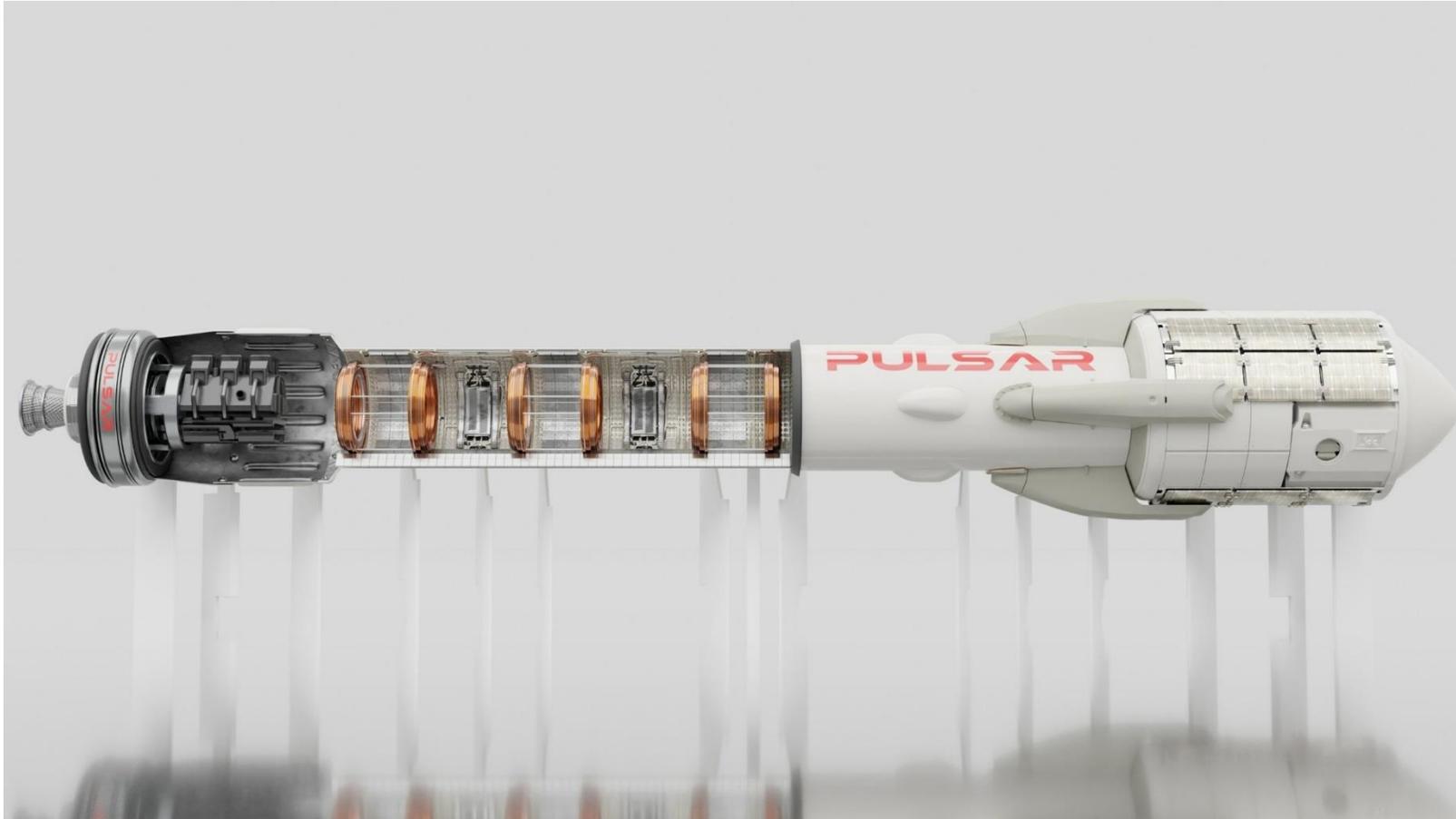
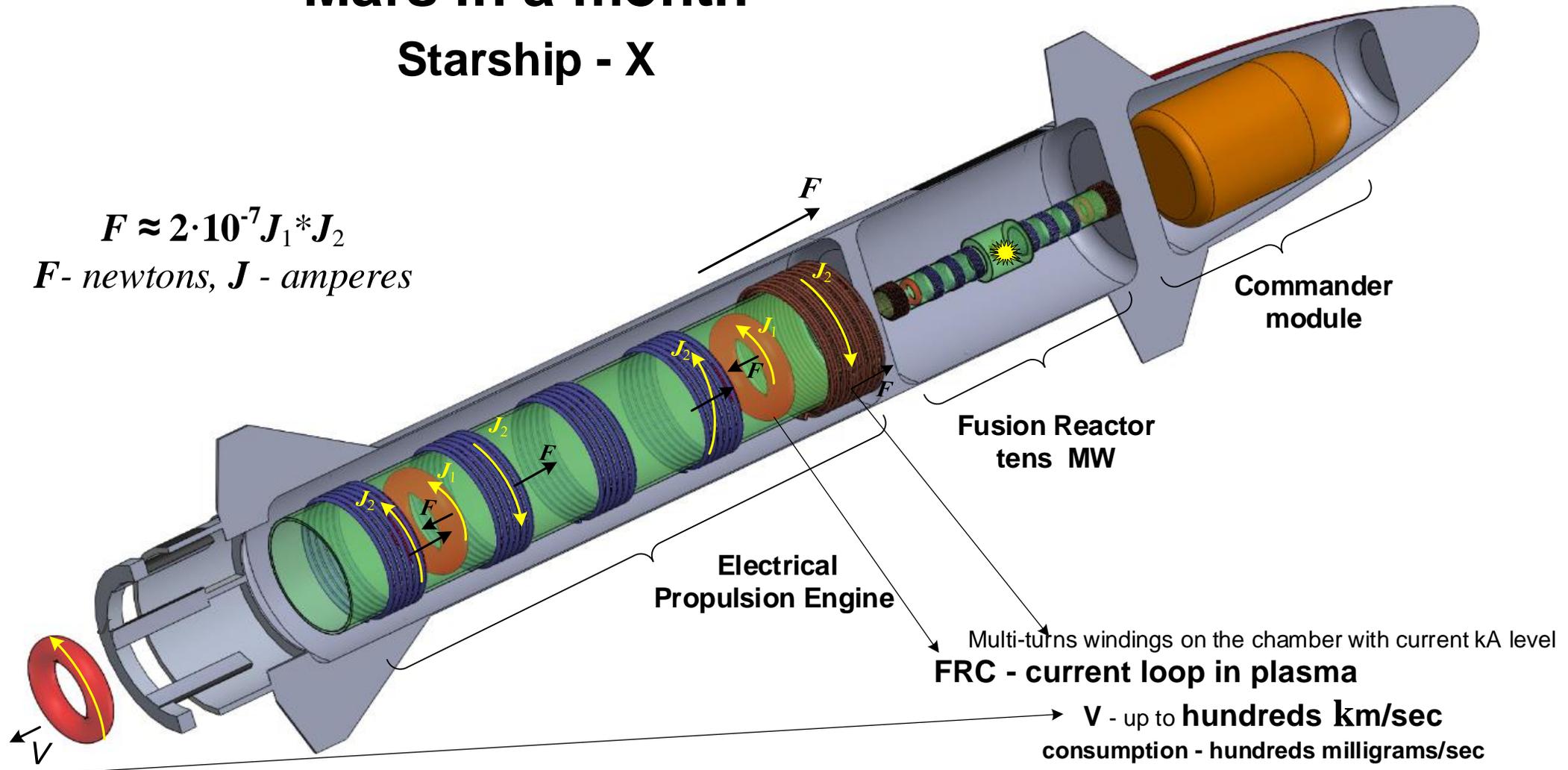


Схема космического корабля  
с коллайдером и двигателем по одной технологии

# Mars in a month

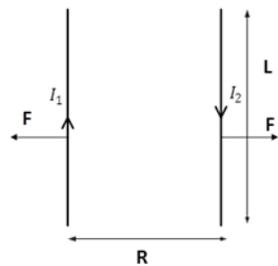
## Starship - X



Что объединяет первые два направления? – там и там нужна высокая скорость потока плазмы - порядка десятков и сотен км/сек (у химического топлива 3-5 км/сек)

Существующие плазменные ускорители, включая электроракетные, используют **однократное ускорение ионов** и не дают требуемого импульса.

Физический принцип ускорения основан на законе Ампера об отталкивании/притяжении проводников с током.

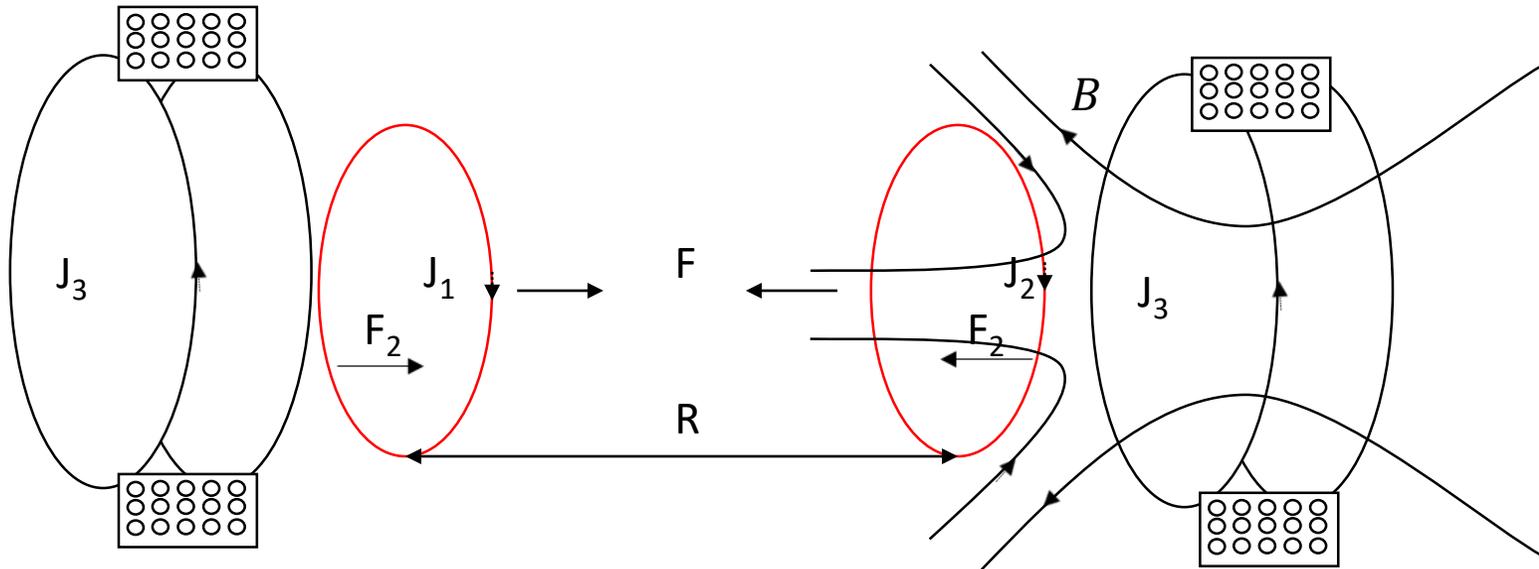


$$F = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_1 I_2}{R} L$$

F – сила в ньютонах, токи – в амперах, расстояния L, R – в метрах

**Необходимо многократное ускорение!**

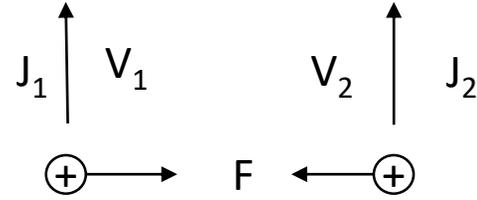
**Два компактных тора с одинаковым направлением тока надо столкнуть друг с другом! Вся кинетическая энергия пойдет на нагрев плазмы!**



$$F_2 = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{J_2 \cdot N \cdot J_3}{R} \cdot L$$

**$J_2$  - ток в плазме  $J_3$  - ток в  $N$  витках обмоток, красный компактный тор и многovitковая ускоряющая обмотка.**

Как преодолеть **силу Кулона** между одинаково заряженными частицами?



$$J_1 = qnV_1 \quad J_2 = qnV_2$$

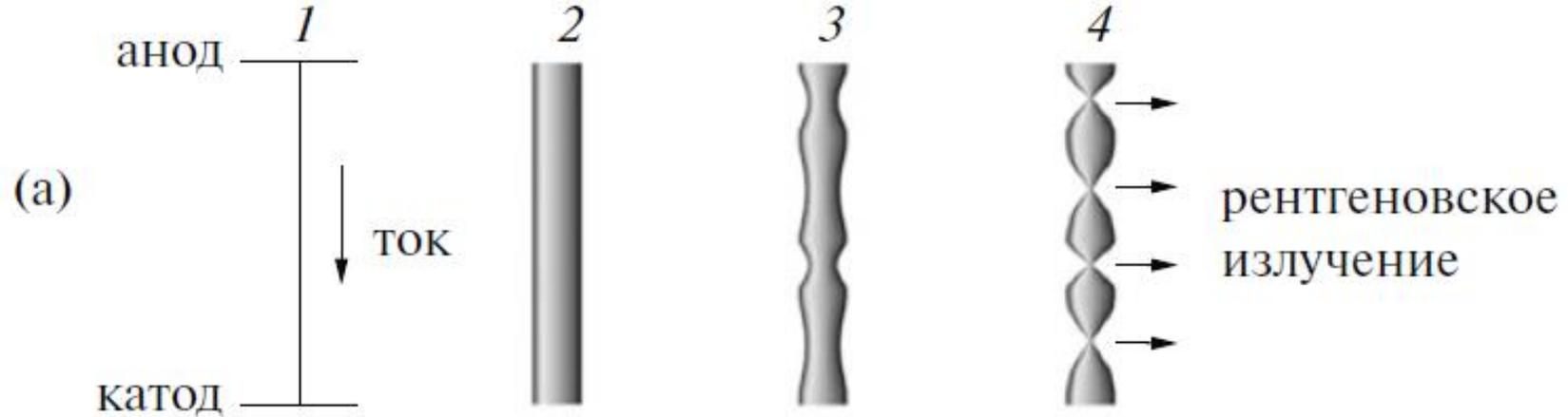
$q$  – заряд частицы,  $n$  – число частиц через единицу площади,  $V$  – скорость

Надо направлять эти частицы параллельно друг другу.  
Движение частиц – это ток, а однонаправленные токи притягиваются, под действием сила Ампера - происходит пинчевание тока.

# Что дает сжатие (пинчевание) тока?

Начало работ по термоядерному синтезу в СССР, 1950-е годы

## Z-пинч

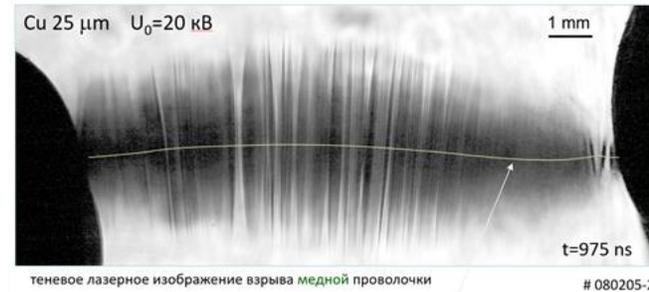
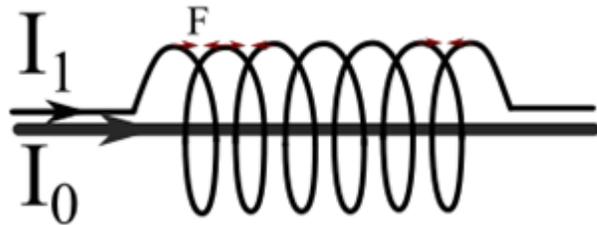


## X-пинч

Предложен в ФИАН.  
Нужен 1кА/нс – правило  
Т. Шелковенко.  
(Я с ней в одной комнате в  
ФИАНе сижу)



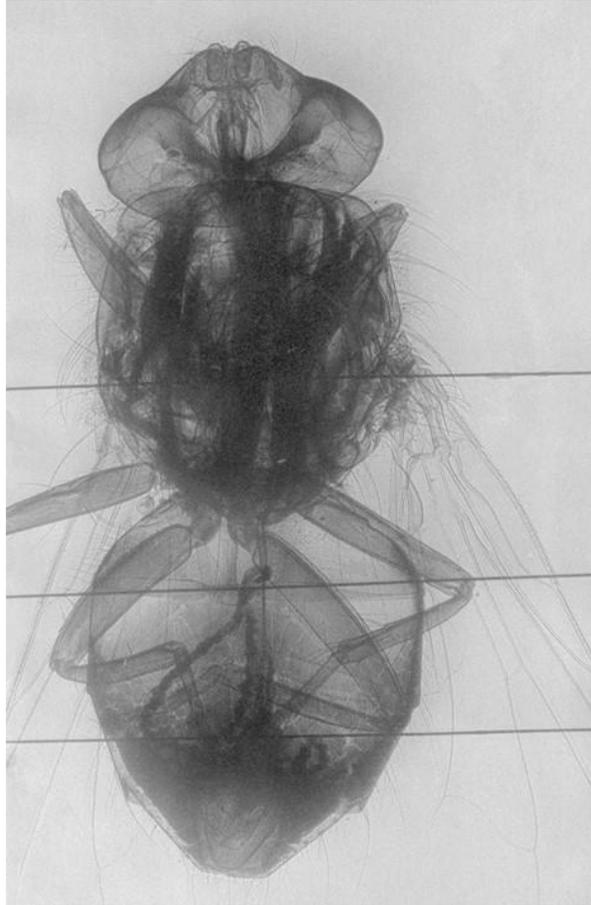
**Линейному пинчеванию** тока в образованной плазме препятствует другой эффект – электроны начинают закручиваться по спирали в магнитном поле от другой части линейного тока, создавая винтообразную «соленоидальную» форму, увеличивая индуктивность цепи разряда, строго по законам физики (правило Ленца)



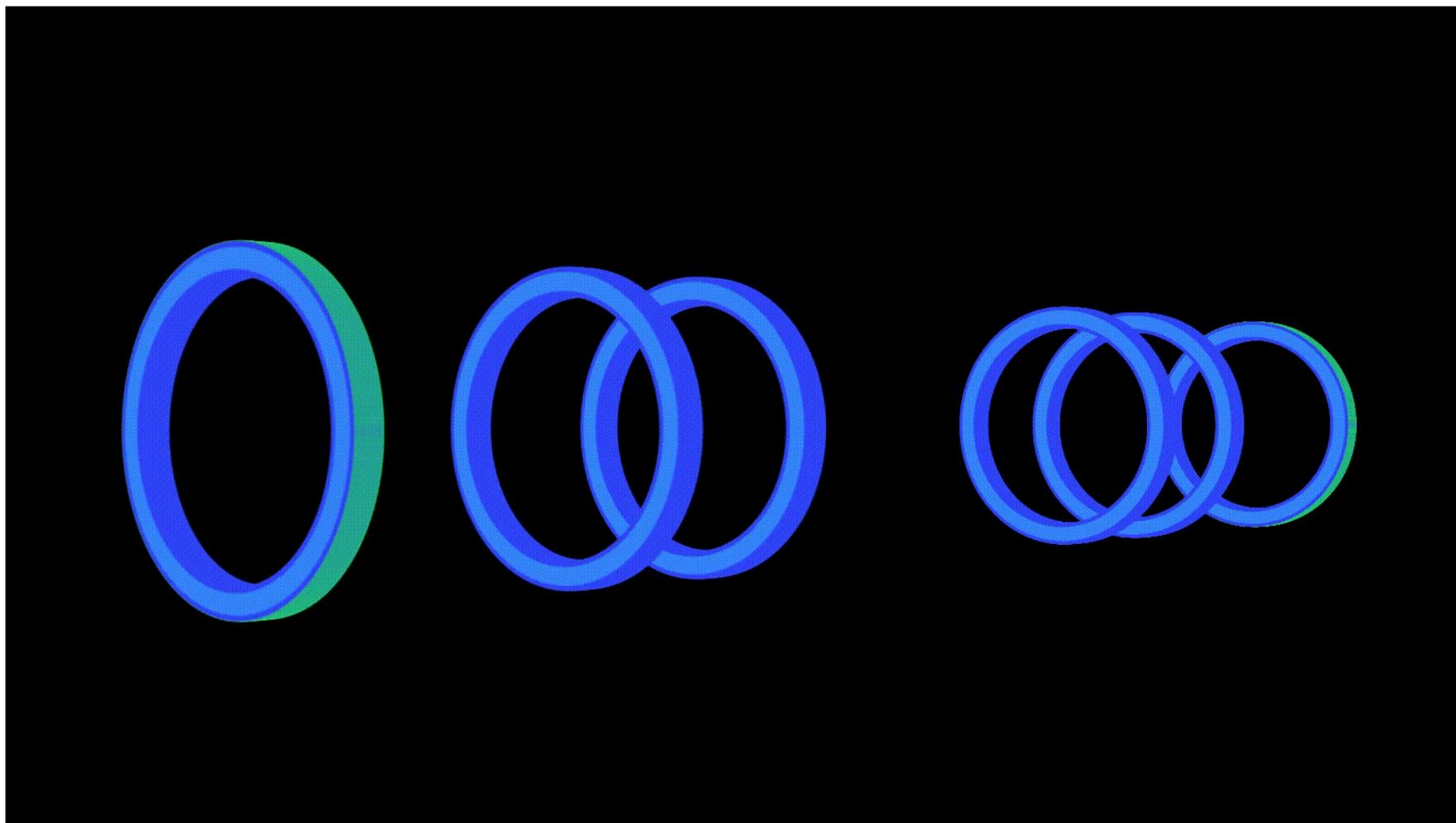
Взрыв медной проволочки  
25 $\mu$ m, длина 12 mm, 20 кВ

Это ведет к другому эффекту – образованию «страт», поскольку между витками действует та же сила Лоренца. В ТРИНИТИ очень корректно измерили эти магнитные поля (К.Митрофанов – докторская диссертация)

Вот что дает X-пинч и мягкое рентгеновское излучение

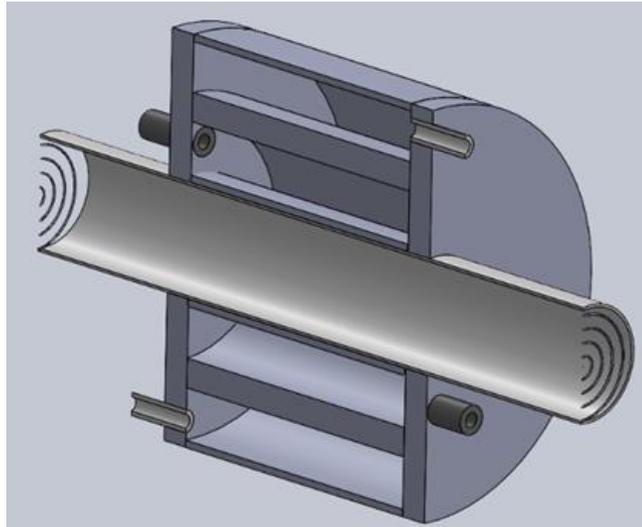
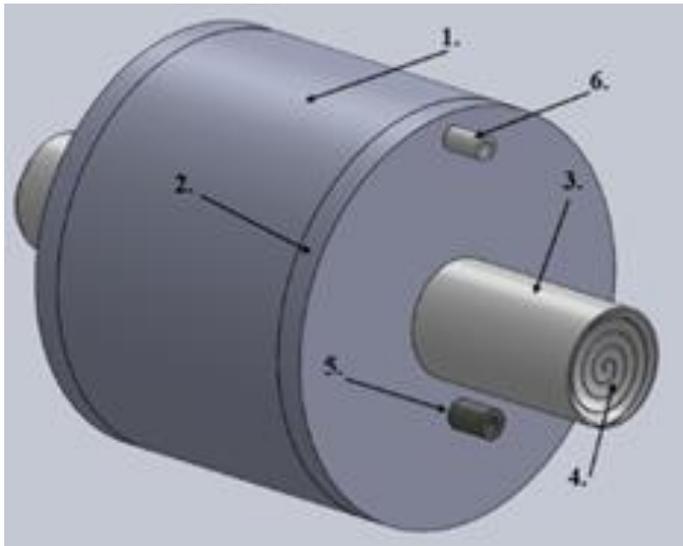


# Анимация работы коллайдера



# ЖИДКОСОЛЕВОЙ РЕАКТОР НА ПРИРОДНОМ УРАНЕ С ВНЕШНИМ ИСТОЧНИКОМ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

В таком реакторе топливо является и теплоносителем с  $T = 500-700$  градусов С. Это позволит использовать эти реакторы в космосе, где можно отводить тепло только через излучение.  $\sim T^4$



1-корпус жидкосолевого реактора, 2- его крышки, 3 – коллайдер компактных торов, 4-индуктивный накопитель секции формирования компактных торов, 5-патрубки входа и выхода расплавленных солей урана 238, 6-водяная рубашка.

Выделяемая энергия легко регулируется частотой столкновения компактных торов – от 0 до сотен МВт!

# Паровозы и пароходы – за ними будущее

Реактор на природном уране с внешним источником быстрых нейтронов нагревает теплоноситель до сотен градусов. В теплообменнике мы получаем пар. Часть его идет на турбины для выработки электроэнергии, а часть можно отправлять теплоснабжение, на паровые двигатели пароходов, паровозов с очень высоким КПД преобразования энергии.

**При этом никаких вредных выбросов!**

## Для полета человека на Марс за пару месяцев нужна энергетика несколько МДж и тяга двигателей в сотни ньютон

Такую мощность  $w$  должна рассеивать вся поверхность корабля типа Starship (диаметр 10 м, высота 50, площадь 1500 кв. м.) при температуре 500-700 градусов по Цельсию,  $w = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot S \cdot T^4$  (Вт, м<sup>2</sup>, град К)

Максимально возможная тяга двигателя в идеале определяется просто, если вся энергия двигателя идет в энергию выбрасываемой массы. Импульс  $F \cdot t = m \cdot a \cdot t = m \cdot v$ , энергии  $W$  выбрасываемой массы находится в квадратичной зависимости от скорости  $W = m \cdot V \cdot V / 2$ , энергия за 1 сек. это мощность  $N$  двигателя, или  $F \cdot V / 2 = N$ ,  $F = 2 \cdot N / V$  – тяга обратно пропорциональна скорости выброса массы (при 100 процентом КПД и без учета энергии, приобретаемой ракетой), что важно при ограниченной электрической мощности.

Это распространенное заблуждений, то что нужна высокая скорость выброса массы. Из двух законов - сохранения импульса и энергии следует, что оптимальная скорость 10-40 км/сек, что и показал А. Беклемишев из ИЯФ. ТРИНИТИ же рапортует о 100км/сек. Да еще и Путину докладывают как о достижении! Тяга при этом 6 ньютон.

Такая скорость есть следствие коллективного ускорения ионов в плазме, изучавшееся в ФИАН во времена Векслера в нашей лабе.

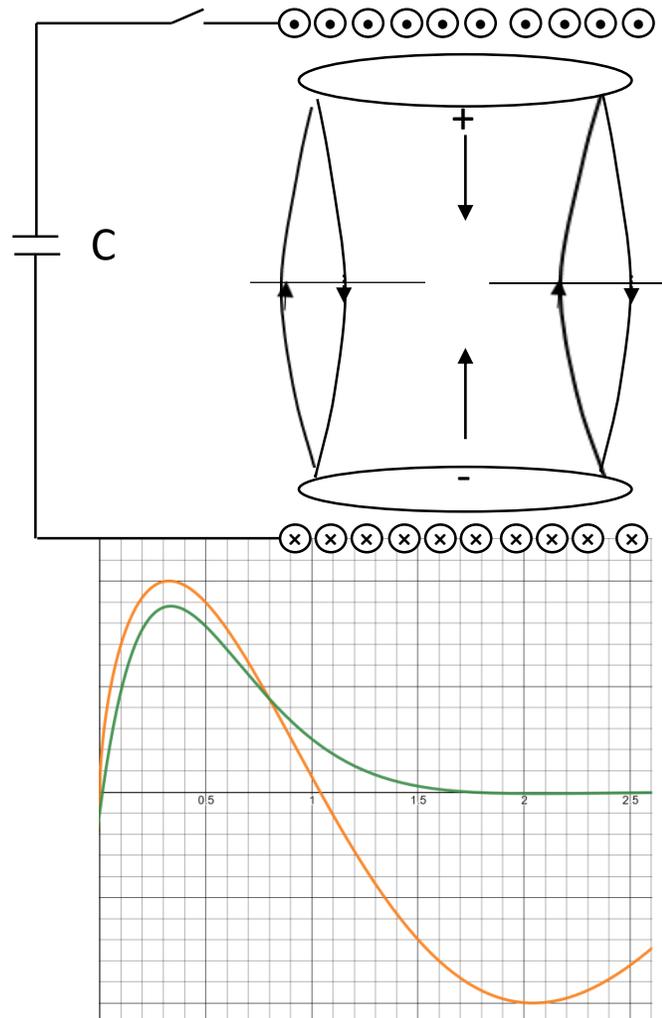
# Почему не получалось раньше?

Компактный тор или FRC – это виток с током, накопитель магнитной энергии. При токе 100 кА и диаметре порядка метра – это килоджоули и передать их от генератора в виток индукционным путем ( типа theta-пинч) невозможно.

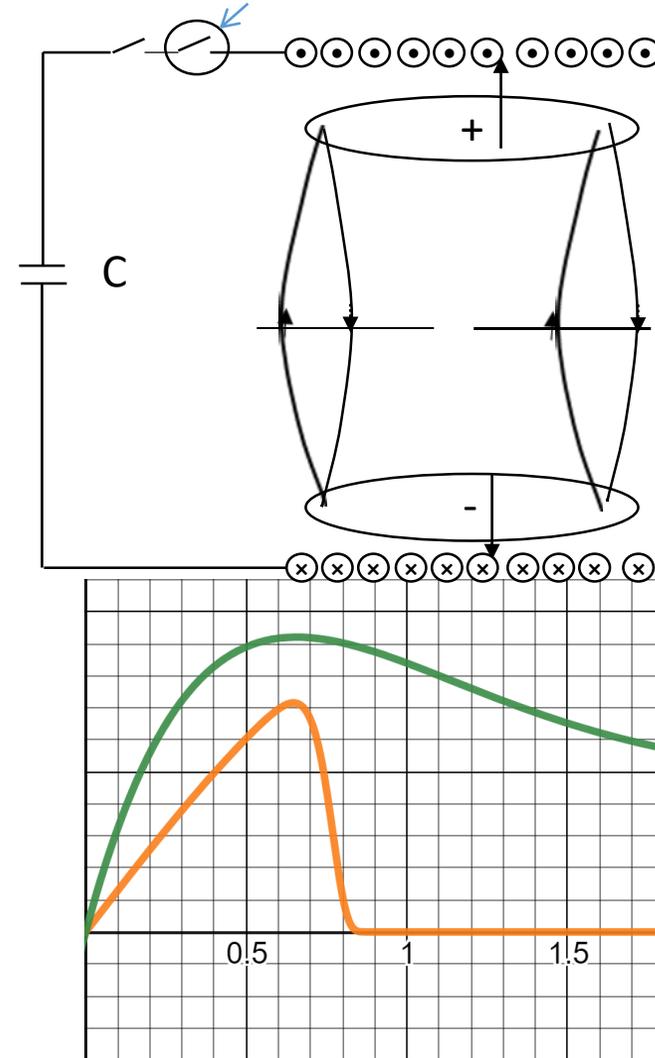
- **Был предложен новый способ формирования компактных торов в индуктивных накопителях.** В основе способа лежали три идеи. Первая идея заключалась в следующем - нужно накопить магнитную энергию в индуктивном накопителе в виде соленоида, охватывающем вакуумную рабочую камеру. Перед максимумом тока создать плазму в этом объеме и оборвать ток; но работала схема плохо - захваченный магнитный поток был мал, проводимость плазмы была мала. Вторая идея как раз и позволила решить эту проблему - в камере перед обрывом тока инжектированную плазму дополнительно разогревали продольными токами от отдельной конденсаторной батареи. Эффект был значительным - уровень захваченного потока превысил 70 процентов. Стало проявляться сжатие и происходило усиление магнитного поля в центре камеры. Однако сформированный компактный тор оказывался прижатым к внутренней стенке камеры и его токовая структура оставляла хорошо видимый характерный след прогара. Шаг такого следа соответствует шагу обмотки снаружи камеры. Третья идея - решено было отказаться от индуктивного накопителя в виде соленоида и перейти на плоскую индуктивность в виде спирали Архимеда.

**Эксперимент** Для проверки нового способа получения компактных торов была создана установка в Лаборатории Физики Высоких Плотностей Энергии в ФИАНе, затем для увеличения энергетике (до 200 кДж) она была перенесена в Нейтронно-Физическую лабораторию. Работы не входили в планы ФИАН и были профинансированы компанией Знаю как.

Usual FRC – formation  
 $\theta$ -pinch



FRC – inductive store formation  
Current breaker

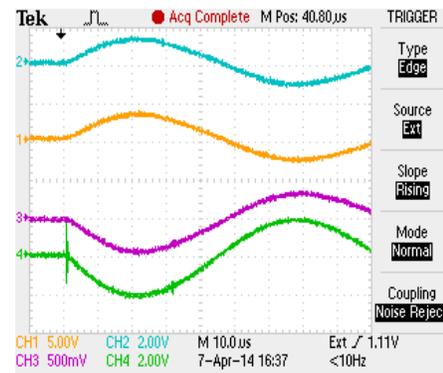


Сравнение способов формирования компактных торов или FRC  
Желтый – ток, зеленый - магнитное поле

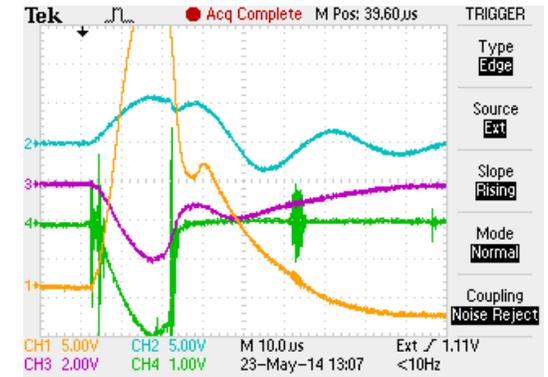
# Характерные режимы работы накопителя

время -10 мкс/дел., 10 кА/дел. для тока

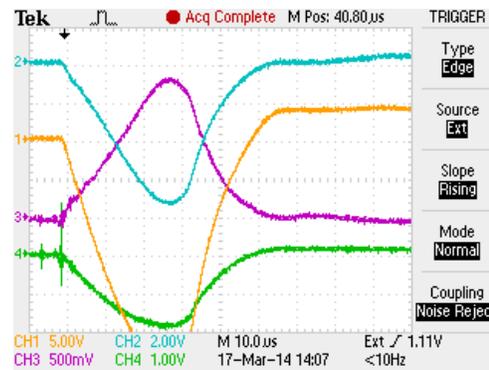
Зеленый – ток в индуктивном накопителе без плазмы  
Синий, желтый, розовый – магнитные поля  
Без обрыва тока – магнитное поле повторяет форму тока



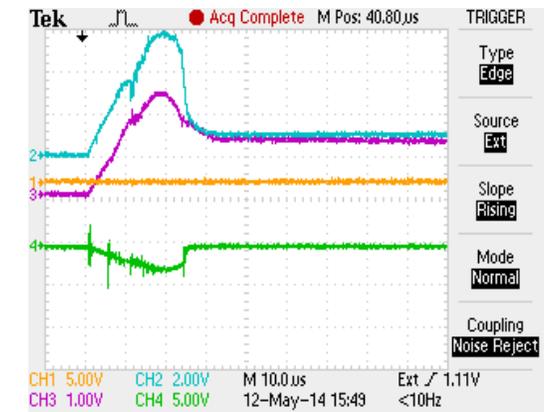
С обрывом тока и с плазмой – виден захват магнитного потока  
Задний фронт на токе становится коротким



С обрывом тока, но без плазмы, магнитное поле также повторяет форму тока



С обрывом тока и с плазмой – виден захват магнитного потока  
И необычайно длинный сигнал, бывает очень редко, но бывает



# Схема первого эксперимента

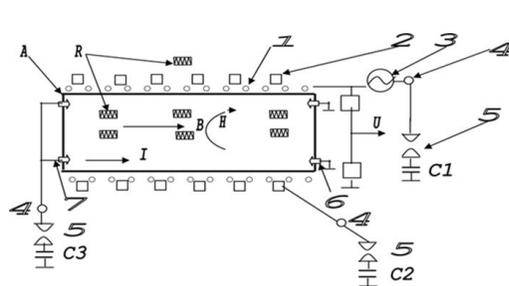


FIG. 3

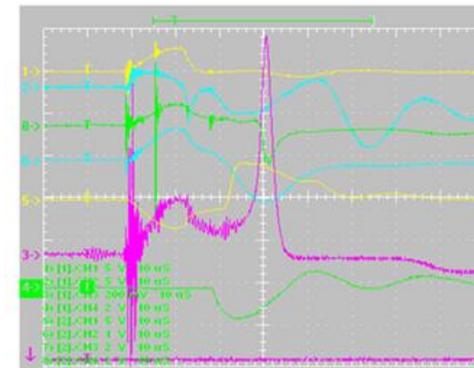


Схема установки для формирования, ускорения и столкновения компактных торов: 1 - индуктивный накопитель (соленоид); 2 - витки для радиального сжатия плазмы; 3 прерыватель тока на взрывающихся проволочках; 4 - пояса Роговского; 5 - разрядники; 6 - «земляные» электроды для создания азимутального магнитного поля; б - высоковольтные электроды для создания азимутального магнитного поля; R-датчики магнитного поля; А-500 мм вакуумная камера из диэлектрика; В - направление магнитного поля индуктивного накопителя; Н - азимутальное магнитное поле; I - направление тока для создания азимутального поля; C1, C2, C3 - конденсаторные батареи; Общий вид вакуумной камеры диаметром 500 мм и длиной 850 мм, в которой генерируются компактные плазменные торы  
Обмотка сжатия включалась после обрыва тока в соленоиде. Видно, что при включении тока, сигналы с датчиков магнитного поля меняют знак, за исключением центрального датчика - уровень захваченного потока превысил 70 процентов. Сразу стало проявляться и сжатие - можно видеть усиление магнитного поля в центре камеры

При обрыве тока в накопительном соленоиде в плазме возникает ток, который течет вдоль стенки камеры и касается ее.

Фото внутренней стороны вакуумной диэлектрической камеры.

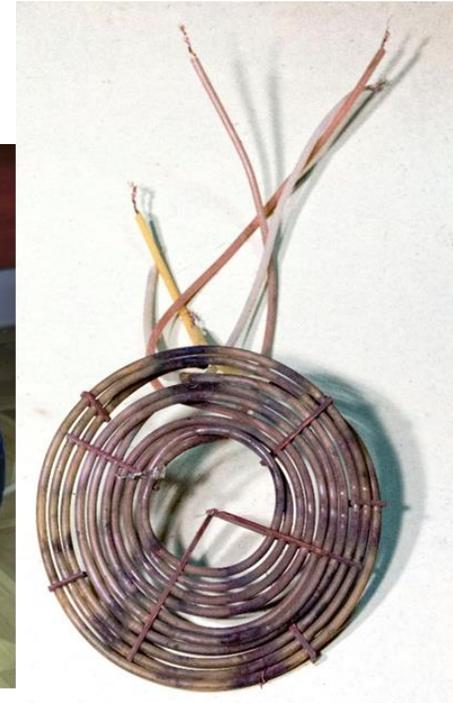
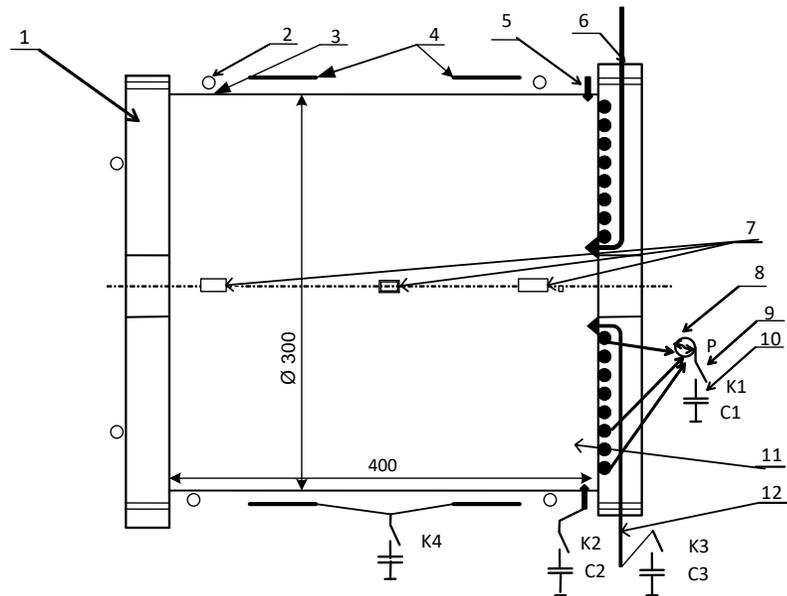
Шаг - соответствует шагу обмотки снаружи камеры.

Нужно было уходить от этой схемы.



# Схема эксперимента

- Переход на плоские накопители в виде спирали Архимеда



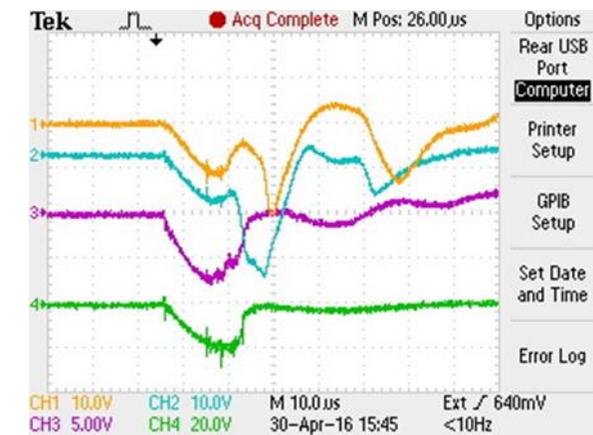
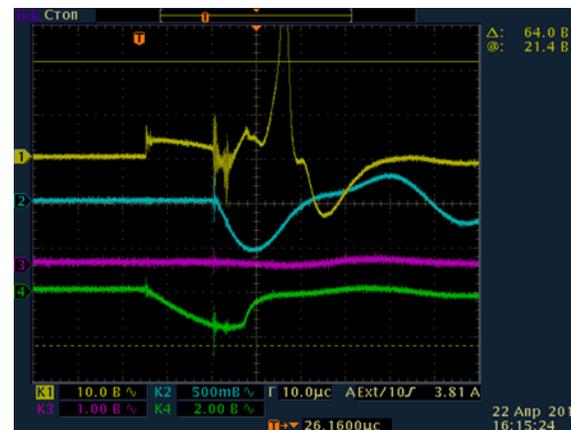
- 1-фланец из оргстекла, 2-измерительная петля, 3-диэлектрический корпус камеры, 4-витки сжатия, 5-высоковольтные вводы плазменных пушек (12шт.), 6-фланец с индуктивным накопителем, 7-датчики магнитного поля, 8 – прерыватель тока, 9-разрядники к конденсаторным батареям (по одному разряднику на каждую из 4 батарей), 10- конденсаторная батарея, 11-витки индуктивного накопителя, 12-высоковольтный ввод от батареи для предварительного разогрева плазмы

# Плоские индуктивные накопители энергии



Более 20 индуктивных накопителей было изготовлено и испытано. Витки заливались полиэфирными смолами с наполнителями, на который приклеивались керамогранит, стекла, зеркала либо наносилась эпоксидная смола, акрил. ВСЕ долго не выдерживали из-за ударных нагрузок и мощного рентгеновского излучения.

Зеленый – ток в индуктивном накопителе, желтый, синий (справа) – магнитные поля, виден большой захват магнитного поля. желтый (слева) сигнал с петли на краю камеры на противоположном фланце от накопителя на расстоянии 40 см. Скорость движения витка с током – 40 км/сек.



# Коллайдер двух торов

- Камера с двумя индуктивными накопителями

- 1 - Индуктивный накопитель в виде 3-заходной спирали Архимеда, 2 – высоковольтные электроды, 3 – Плазменные пушки  
4 - виток для радиального сжатия плазмы, 5 - 300 мм. вакуумная камера, 6-торцевые фланцы с индуктивным накопителем  
7 – датчик магнитного поля в центре камеры, 8 – прерыватель тока на взрывающихся проволочках,  
9 – K1, 2, 3, 4 -разрядники, показана половина, 10 – C1, 2, 3, 4-конденсаторные батареи, показана половина

Использовалось четыре независимые конденсаторные батареи (всего 60 конденсаторов, K-5-40, 40 кВ, зарядное напряжение 20-28 кВ), Энергозапас порядка 100 кДж.

## Результаты экспериментов

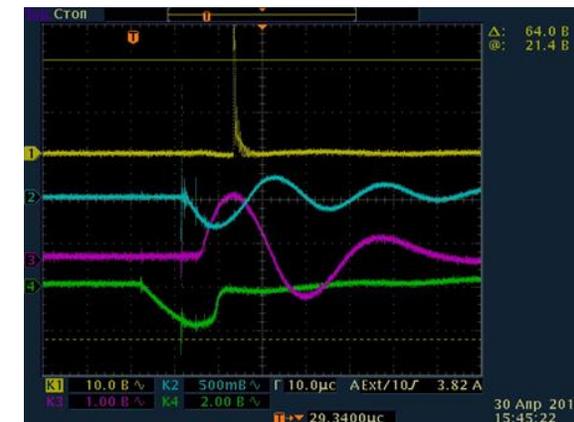
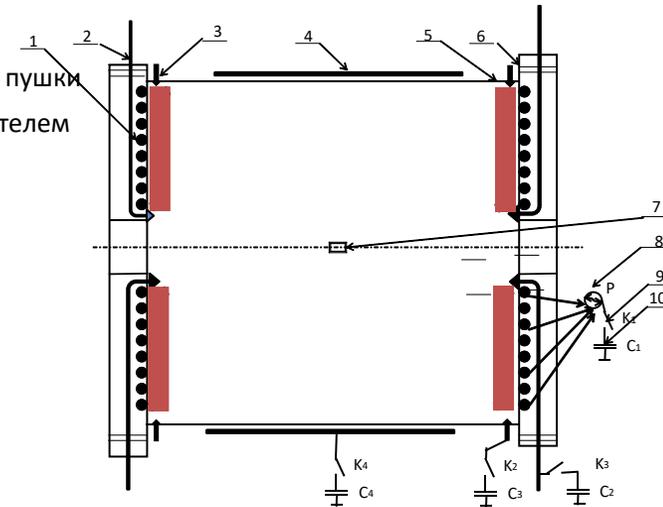
Ток в торах достигал несколько десятков килоампер.

Температура плазмы в месте столкновения превысила несколько кэВ, а длительность импульса мягкого рентгеновского излучения - около 1 микросекунды, т. е. на **ТРИ порядка выше**, чем на установках с плазменным фокусом и с Z-пинчем, включая знаменитую **Z-machine** ([www.sandia.gov/z-machine/](http://www.sandia.gov/z-machine/)).

**И это на длине ускорения меньше полуметра!!**

Желтый – сигнал с PCD диода, фиксирует мягкий рентген, зеленый – ток в накопителях

Розовый –ток плазменных пушек, синий – ток витка сжатия



# Критерий Лоусона

$$n\tau = 10^{20}$$

$n$  -- плотность плазмы,  $\text{м}^3$

$\tau$  — время удержания, сек

в наших эксперименте показана время удержания 1 микросекунда

Добиться плотности в месте столкновения в 10 атмосфер.

Но осталось повысить скорость торов до сотен км/сек. (300 уже есть у **Helion Energy**, это и дает им надежду на достижение термояда)

Нам нужно дополнительное ускорение!

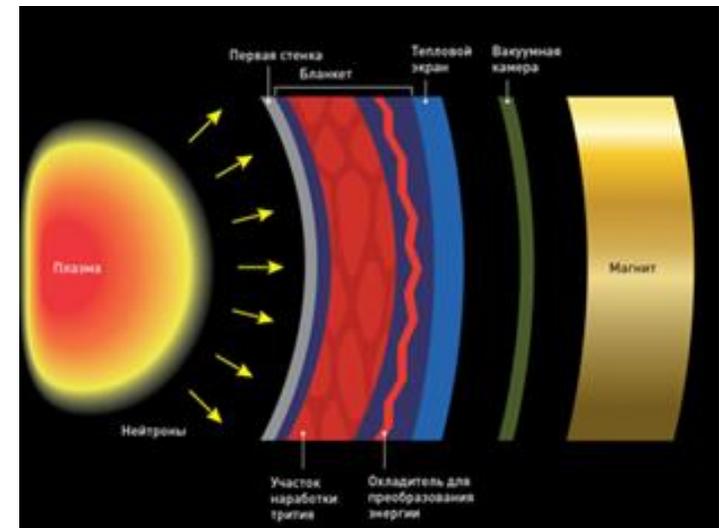
Другие применения технологии

## Нейтронный генератор

Выделяемые при реакции синтеза быстрые нейтроны можно направлять на природный Уран-238 для осуществления его распада с выделением дополнительной энергии, либо на «дожигание» ОЯТ-Отработанного Ядерного Топлива.

**И наконец—несколько ЭРД с тягой в тонны это реальная защита Земли от астероидов!**

$\tau$





**Технология направлена на создание: 1 - термоядерных реакторов-коллайдеров с мощностью в мегаватты, 2 - электроракетных двигателей с тягой сотни ньютон - космический корабли будут достигать Марса за пару месяцев, появится реальная защита от «космического мусора» и от астероидной угрозы. 3 – будут разработаны эффективные источники быстрых нейтронов для комбинированного реакторе на ОЯТ - отработанном ядерном топливе.**

**Необходимо международное сотрудничество с дружественными странами в первую очередь, с частным бизнесом, университетами и национальными учреждениями, аналогично проекту ИТЭР. Совместная заявка от Минобрнауки, Роскосмоса, Росатома, Ростеха, частных инвесторов может быть подана в ВЭБ РФ или Фонд Прямых Инвестиций (по условиям - от 3 млрд. руб.)**

# Энергетика

Компактный тор - это в индуктивный накопитель энергии.

При токе сотни кА и диаметре порядка метра – это килоджоули. + кинетическая энергия 10 мкг ( $N = 10^{18,19}$ ),  $10^6$  м/сек-- 5 кДж.

На выходе надо иметь сотню кДж,  $10^{16,17}$  – нейтронов за импульс.

Для двигателя ЭРД важна тяга 
$$F = 2 \cdot 10^{-7} \frac{I_1 I_2}{R} L$$

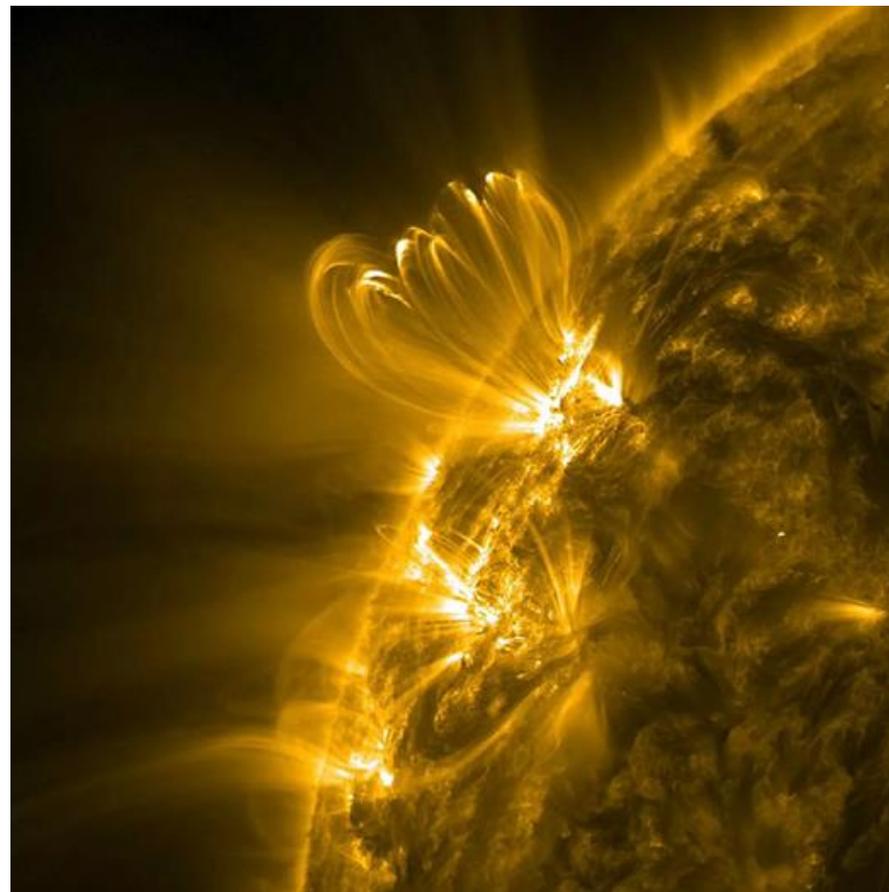
При характерных значениях в сотни кА в торе и десятки кА в многовитковой обмотке и частотном режиме в сотню Гц – тяга может достигать несколько сотен ньютон,

Расход выброса массы (с любым составом) – 1-100гр/сек.

Марса корабль в сотню тонн достигнет за пару месяцев.

# Замкнутые токовые витки в природе

- Это распространенное явление



## Патенты

Патент РФ № 2082289 “Способ получения высокотемпературной плазмы”. Мозговой А.Г. , 20.06.1997.

Патент РФ № 2523427 "Способ формирования компактного плазмоида". Мозговой Александр Григорьевич, Ромаданов Иван Валерьевич, Рыжков Сергей Витальевич МПК H05H 1/00, опубл. 20.07.2014. Бюл. № 20

Подана заявка на американский патент: (Application Number: <https://patents.google.com/patent/US20100020913A1/en>)

несколько лет переписки с американским патентным ведомством закончились неудачей по формальному признаку- мой ответ пришел на день позже установленного срока, а платить еще 900 долларов я не стал. Проще новую заявку подать.

Подготовлены заявки на новый патент (включая американский). Инвесторы могут быть включены в список авторов.

## ПАРАМЕТРЫ РЫНКА

Стоимость атомного реактора на 1 ГВт – несколько млрд. долларов, или несколько долларов за ватт мощности.

**Наша цель – 1 доллар за 1 ватт и срок окупаемости несколько лет.**

Установленная электрическая мощность во всем мире порядка десяти ТВт (миллиона МВт). Это триллионы долларов при полном переходе на термоядерно-атомную энергетику.

# Из истории Атомного проекта



После открытия реакции деления ядра урана с последующим излучением нескольких вторичных нейтронов физикам во многих лабораториях мира стало ясно, что в уране возможна цепная реакция с выделением огромного количества энергии.

И вот в 1940 году харьковские ученые Фридрих Ланге, Владимир Шпинель и Виктор Маслов официально подали заявки на изобретение атомных боеприпасов. **«Способ приготовления урановой смеси, обогащенной ураном с массовым числом 235», «Многомерная центрифуга» и «Термоциркуляционная центрифуга».** Отдел изобретательства Народного комиссариата обороны перенаправил материалы в Радиевый институт Академии наук СССР. Его директор академик В. Хлопин и сделал заключение, которое стало решающим: **«...она (заявка) не имеет под собой реального основания...».**

Маслов в феврале 1941 года обратился с личным письмом к наркому обороны СССР маршалу С. Тимошенко, но тот отправил письмо к тем же самым экспертам, которые так и не смогли оценить изобретение харьковских ученых.

С началом Великой Отечественной войны Виктор Маслов, несмотря на бронь, ушел на фронт добровольцем и погиб, защищая родной Харьков.

Об уникальных заявочных материалах вспомнили только после трагедии **Хиросимы и Нагасаки**. В 1946 году отдел изобретательства Красной Армии зарегистрировал не подлежащее опубликованию авторское свидетельство под названием **«Атомная бомба или другие боеприпасы»** за № 6358с, а также два других предложения харьковчан. Из книги Олега Фейгина **Цепная реакция**, Москва 2013 г.

Сейчас все предложения по атомной теме пересылаются в Росатом – но результат тот же (если это не магнитное удержание плазмы).

## Выдержки из письма Г.Н. Флерова 1941-1942 гг.



Секретарю тов. Сталина

Уважаемый товарищ!

Вопрос об уране находится сейчас в такой стадии, когда только личное участие тов. Сталина может чему либо помочь. Я достаточно хорошо знаю Абрама Федоровича Иоффе для того, чтобы думать что то, что он делает, делается им сознательно. Но, однако, объективно подходя к вопросу, его поведение близко к самому настоящему преступлению. ....

Вообще говоря, сейчас не время устраивать подобные научные турниры, но я лично вижу в этом единственный способ доказать свою правоту – право заниматься ураном, так как иные способы - личные переговоры с А.Ф. Иоффе, письма к т. Кафтанову (помощник Сталина) – все это не приводит к цели, а просто замалчивается. На письмо и пять телеграмм к т. Кафтанову ответа я не получил. При обсуждении плана Академии наук говорилось, вероятно, о чем угодно, но только не об уране.

Это и есть та стена молчания, которую, я надеюсь, Вы сможете пробить, так как это письмо последнее, после которого я складываю оружие и жду, когда за граница, решив задачу покажет; когда удастся решить задачу в Германии, Англии или США. Результаты будут настолько огромны, что будет не того, да и некому будет определять, какова доля вины **Абрама Федоровича** в том, что у нас в Союзе забросили эту работу.

Вдобавок, делается это настолько искусно, что и формальных оснований против А.Ф. у нас не будет. Никогда, нигде А.Ф. не говорил, что ядерная бомба неосуществима, и однако создано мнение, что это – задача из области фантастики.

Так вот, считаю необходимым для решения вопроса созвать совещание в составе академиков Иоффе, Ферсмана, Вавилова, Хлопонина, Капицы, академика АН УССР Лейпунского. Профессора Ландау, Алиханова, Арцимовича, Френкеля, Курчатова, Харитона, Зельдовича, докторов Мингала, Гуревича. Желателен также вызов К. А. Петржака.

Г.Н.Флеров. Апрель 1942г.

От меня, **Мозгового А.Г. - Флеров** упоминает 15 фамилий для проведения совещания по урану. Назовите несколько фамилий из ныне здравствующих российских ученых, способных принять решения в вопросе о термояде на основе предлагаемого коллайдера компактных тортов.

Журнал NationalSecurityScience Лос Аламос посвятил свой последний выпуск исследованию того, как наследие Дж. Роберта Оппенгеймера продолжается в важной научной и технологической работе



# РЕСУРСЫ



У нас имеется все необходимое оборудование для проведения экспериментов. В соседнем институте ИОФАНе есть токарные станки для обработки деталей диаметром до 530 мм. Это определило размер вакуумной камеры.

Однако в настоящее время «граница» между институтами, находящимися на одной территории, закрыта. Пора **ФИАН и ИОФАН** объединять вновь!

Всем нужен Атомный проект 2!

Не хватает только одного – **«БЕРИ И»** делай!

## Россия критически отстаёт в термоядерных и космических исследованиях

Необходимо создание **коллаборации Минобрнауки, Роскосмоса, Росатома, Ростеха, частных инвесторов и дружественных стран** для реализации Атомного проекта 2, направленного на осуществления термоядерного синтеза на основе коллайдера компактных торов (FRC) и нового класса электроракетных двигателей с той же технологией.

Заявки от коллаборации могут быть поданы в ВЭБ РФ (председатель **И. Шувалов**) – государственная компания развития, объединившая институты развития типа Роснано, Сколково (заявки - **от 3 млрд. руб. на 20 лет**, 15 процентов от заявителя) и в Фонд Прямых Инвестиций (Ген. директор **К. Дмитриев**)

Предлагаю всем заинтересованным учреждениям поддержать решения ученых советов Отделения Ядерной Физики и Астрофизики и Нейтронно Физического отдела ФИАН о необходимости организации таких работ. Рекомендовать созданию коллаборации для этих целей под руководством Академии Наук и соответствующих органов безопасности.

# Примечания



Литература:

1. В.П. Саранцев, Э.А. Перельштейн, «Коллективное ускорение ионов электронными кольцами»
  2. Binderbauer M. W. et al. A high performance field-reversed configuration //Physics of Plasmas. – 2015. – Т. 22. – №. 5. – С. 056110.
- Ссылки:

<https://argumenti.ru/society/2021/04/717966>

<https://youtu.be/jziveDFTkzw> Доклад на Харитоновских чтениях 2023 (15 минут)

[https://youtu.be/GqFXnG\\_1pU0](https://youtu.be/GqFXnG_1pU0) Мое интервью на Youtube

<https://twitter.com/amoegovoy1>

<https://www.facebook.com/groups/666718667449665>

<https://www.linkedin.com/pulse/breakthrough-space-propulsion-alexandre-mozgovoy/>

<https://sashka12-15.livejournal.com/1685.html> -(eng)

<https://sashka12-15.livejournal.com/1975.html>

<https://www.instagram.com/mozgovoy52/>

## Выдержки из письма Г.Н. Флерова 1941-1942 гг.

Секретарю тов. Сталина

Уважаемый товарищ!

Вопрос об уране находится сейчас в такой стадии, когда только личное участие тов. Сталина может чему либо помочь. Я достаточно хорошо знаю Абрама Федоровича Иоффе для того, чтобы думать что то, что он делает, делается им сознательно. Но, однако, объективно подходу к вопросу, его поведение близко к самому настоящему преступлению. ....

Вообще говоря, сейчас не время устраивать подобные научные турниры, но я лично вижу в этом единственный способ доказать свою правоту – право заниматься ураном, так как иные способы - личные переговоры с А.Ф. Иоффе, письма к т. Кафтанову (помощник Сталина) – все это не приводит к цели, а просто замалчивается. На письмо и пять телеграмм к т. Кафтанову ответа я не получил. При обсуждении плана Академии наук говорилось, вероятно, о чем угодно, но только не об уране.

Это и есть та стена молчания, которую, я надеюсь, Вы сможете пробить, так как это письмо последнее, после которого я складываю оружие и жду, когда за граница, решив задачу покажет; когда удастся решить задачу в Германии, Англии или США. Результаты будут настолько огромны, что будет не того, да и некому будет определять, какова доля вины Абрама Федоровича в том, что у нас в Союзе забросили эту работу.

Вдобавок, делается это настолько искусно, что и формальных оснований против А.Ф. у нас не будет. Никогда, нигде А.Ф. не говорил, что ядерная бомба неосуществима, и однако создано мнение, что это – задача из области фантастики.

Так вот, считаю необходимым для решения вопроса созвать совещание в составе академиков Иоффе, Ферсмана, Вавилова, Хлопонина, Капицы, академика АН УССР Лейпунского. Профессора Ландау, Алиханова, Арцимовича, Френкеля, Курчатова, Харитона, Зельдовича, докторов Мингала, Гуревича. Желателен также вызов К. А. Петржака.

- Г.Н.Флеров. Апрель 1942г.

От меня, **Мозгового А.Г.** - **Флеров** упоминает 15 фамилий для проведения совещания по урану

Назовите несколько фамилий из ныне здравствующих российских ученых, способных принять решения в вопросе о термояде на основе предлагаемого коллайдера компактных торов.

- Ссылки:-
- 1. <https://www.youtube.com/watch?v=14czBXRAX4c> – интервью Президента Курчатовского института М.В. Ковальчука Марине Ким (канал -Новый Мир на YouTube, 10 минута), [https://disk.yandex.ru/i/yuBRWD\\_A5xzrpg](https://disk.yandex.ru/i/yuBRWD_A5xzrpg) -сокращенное видео
- 2. <https://fusion.rosatom.ru/upload/iblock/421/421898e77a472e4670493568677e3831.pdf>
- 3. Королёвские чтения, МВТУ им. Баумана, Москва, 2024 <https://disk.yandex.ru/i/yWYwSyGZbExOwQ>
- 4. <https://efre2022.hcei.tsc.ru/publication/proceedings.html> (S2-O-043801- FRC collider)
- 5. Харитоновские научные чтения г. Саров 2023 г., труды - стр. 124 <https://disk.yandex.ru/i/KbYJiTwb07orxA> , Видео - <https://youtu.be/iziveDFTkzw>
- 6. Патент РФ № RU 2523427, Способ формирования компактного плазмоида
- 7 [https://docs.google.com/presentation/d/1Ci9ltgHwTrY49D80lqqBibLeD92\\_in9m/edit?usp=sharing&oid=113783128940261117853&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/presentation/d/1Ci9ltgHwTrY49D80lqqBibLeD92_in9m/edit?usp=sharing&oid=113783128940261117853&rtpof=true&sd=true)
- 8. [https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-disk-public%3A%2F%2FuHSML5XBltUu1pwaNd0IHcNI3fzSM3r47nL2hw1CbINDi4xkLZDXo7mjv%2FpR3yikq%2FJ6bpmRyOJonT3VoXnDag%3D%3D%3A%2Fej\\_seminar.pdf&name=ej\\_seminar.pdf](https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-disk-public%3A%2F%2FuHSML5XBltUu1pwaNd0IHcNI3fzSM3r47nL2hw1CbINDi4xkLZDXo7mjv%2FpR3yikq%2FJ6bpmRyOJonT3VoXnDag%3D%3D%3A%2Fej_seminar.pdf&name=ej_seminar.pdf)
- 9. NASA, Aerojet Rocketdyne Put Gateway Thruster System to the Test <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/glenn/nasa-aerojet-rocketdyne-put-gateway-thruster-system-to-the-test/>

- 
- Другие ссылки: -
- <https://argumenti.ru/society/2021/04/717966>, <https://dzen.ru/a/YGBMkL3lgBeqUNBn>
- [https://youtu.be/GqFXnG\\_1pU0](https://youtu.be/GqFXnG_1pU0) Мое интервью на Youtube
- <https://vk.com/fusion2021>
- <https://sashka12-15.livejournal.com/1685.html> -(eng)
- <https://sashka12-15.livejournal.com/1975.html>
- <https://www.instagram.com/mozgovoy52/>
- [https://x.com/amoegovoy1?t=sjx9-b\\_sgVQpQzOIB2EjA&s=08](https://x.com/amoegovoy1?t=sjx9-b_sgVQpQzOIB2EjA&s=08)
- <https://www.facebook.com/groups/666718667449665>
- <https://www.linkedin.com/pulse/breakthrough-space-propulsion-alexandre-mozgovoy/>
- <https://www.advancedcleanelectricity.com/>
- <https://dzen.ru/video/watch/66ae4be1a328f35f903e1611> доклад на ЛаПлаз 2024 в МИФИ
- <https://dzen.ru/a/YGBMkL3lgBeqUNBn>
- <https://www.youtube.com/watch?v=kLpScbwDNP8&t=261s>, доклад на ЛаПлаз 2024 youtube

- <https://disk.yandex.ru/i/adBh9i971MVyEQ>



# До Марса за два месяца

Связка 3-4 кораблей Starship



Стандартный Starship  
с космонавтами, вес  
более 100 тонн

← Защитный экран

→ Жесткая связка  
кораблей



Starship with Fusion-  
Fission molten salt reactor  
up to 10 MW  
T=500 C



Starship with Fusion-Fission  
molten salt reactor up to 10  
MW, T=500-700 град С.  
Thermal radiation power  
W—up to 10 MW  
 $W=5.67 \cdot 10^{-8} \cdot S \cdot T^4$  (Вт, м<sup>2</sup>,  
град К), S =1500 м<sup>2</sup>

Блок  
двигателей,  
до 1000 ньютон

Парогенератор, турбина 1-3 МВтэ, электроракетные  
двигатели по 200 ньютон, скорость выброса  
40км/сек, любая масса, расход до 100 г/сек или до  
30 тонн в месяц