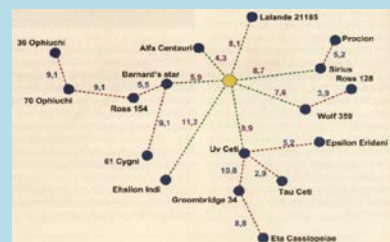


# Положительный энергетический баланс термоядерного синтеза на установке NIF

<http://interstellar-flight.ru>

Сборник статей и сообщений СМИ и Интернета  
февраль, 2014



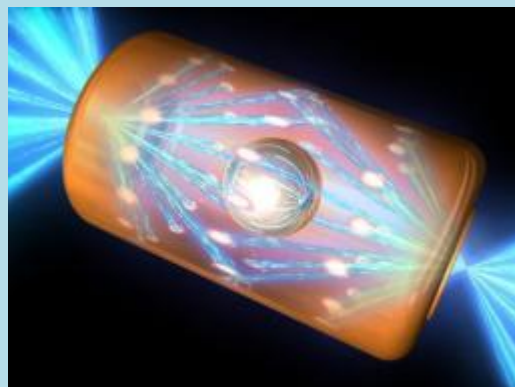
Положительный энергетический баланс термоядерного синтеза на установке NIF	1
Лазерный термоядерный синтез сделал шаг вперед	2
Чемпион среди зажигалок	5
Проблемы с зажиганием	6
Плазменное яблоко	10
Как будет работать двигатель на термоядерном синтезе	11
Что такое синтез?	11
Полет на энергии синтеза	12
Магнитоплазменная ракета с переменным удельным импульсом (VASIMR)	12
Движение на термоядерном синтезе с динамическим газовым зеркалом	13

## Положительный энергетический баланс термоядерного синтеза на установке NIF

14.02.2014

<http://www.dailytechinfo.org/news/5634-uchenye-dobilis-uvlicheniya-polozhitelnogo-energeticheskogo-balansa-reakcii-termoyadernogo-sinteza-na-ustanovke-nif.html>

Достижения в области управляемых реакций термоядерного синтеза являются крайне редкими событиями. На этом фоне достижение команды исследователей из Национальной лаборатории имени Лоуренса, работающей с [лазерной установкой National Ignition Facility \(NIF\)](#), выглядит более чем впечатляюще. Впервые исследователям удалось добиться того, что в результате реакции термоядерного синтеза топлива, состоящего из смеси дейтерия с тритием, выделилось больше энергии, чем было затрачено на ее инициацию.



К сожалению, сейчас исследователи еще далеки от главной цели своих экспериментов, от инициации самоподдерживающейся реакции термоядерного синтеза. Это происходит из-за того, что большая часть от [1.8 мегаджоулей энергии импульсов лазерного света](#) тратится впустую. Лишь менее одного процента от суммарной энергии импульсов света 192 лазеров достигает шарика топлива, содержащего 170 микрограмм смеси дейтерия и трития.

Отметим, что информация о первых "поджигках" реакции термоядерного синтеза на установке NIF была опубликована [в августе прошлого года](#), а количество энергии, выделившейся в виде высокоэнергетических нейтронов, составила около 8 тысяч джоулей. А недавно, согласно информации опубликованной в журнале Nature, исследователям удалось поднять уровень выделяющейся энергии до 17 тысяч джоулей, что уже превысило количество энергии, "закачанной" непосредственно в топливный шарик.

Следует напомнить нашим читателям, что конечной целью создания лазерной установки National Ignition Facility и проводимых на ней экспериментов являлось получение самоподдерживающейся реакции термоядерного синтеза. Согласно первоначальным планам, цель должна была быть достигнута уже к концу 2012 года. Но, как всем хорошо известно, несмотря на то, что конечный срок неоднократно переносился, [главная цель так и не была достигнута](#).

Произведя анализ всех собранных во время экспериментов данных, ученые обнаружили главную ошибку, которая мешала им двигаться дальше. Все дело оказалось в форме импульса лазерного света, который начинался с минимальной мощности, увеличивающейся до максимума к концу импульса. Такая форма импульса обеспечивала максимальную эффективность сжатия топливного шарика, но вместе с этим она стала источником нестабильности всей системы в целом. Когда температура и давление в пределах топливного шарика начинали приближаться к условиям возникновения реакции термоядерного синтеза, в объеме топлива возникли многочисленные крошечные локальные очаги этой реакции, которые выделяли энергию и становились причиной взрыва. Этот взрыв распылял топливо, его плотность резко уменьшалась и реакция синтеза не могла идти дальше.

Обнаружив такое явление, исследователи кардинально изменили форму импульса лазерного света, который начинался с уровня максимальной мощности постепенно сходя на нет. Такая форма импульса не позволяет добиться высокой степени сжатия топлива, но она очень быстро поднимает его температуру до огромного значения, что приводит к взрывообразному расширению топлива, которое создает локальные области высокого давления, требующиеся для инициации реакции термоядерного синтеза. Совместное действие двух вышеописанных эффектов позволяет получить условия, требующиеся для начала реакции, оставляя при этом всю систему в относительно стабильном состоянии.

"В результате наших нововведений мы получили давление в топливном шарике в 150 миллиардов атмосфер. Плотность материала топлива в таких условиях превысила в 2.5-3 раза плотность материи в ядре Солнца" - рассказывает Омар Урриконе (Omar Hurricane), физик из Лаборатории Лоуренса, - "При этом, топливный шарик подвергся не такому уж и большому сжатию, он был сжат всего в 35 раз, намного меньше, чем мы добивались в предыдущих экспериментах".

В ближайшее время ученые NIF планируют еще увеличить в положительную сторону энергетический баланс реакции термоядерного синтеза. Это может быть достигнуто за счет изменения формы и конструкции капсулы, заключающей в себе шарик смеси трития и дейтерия, и если это удастся успешно реализовать, то следующим шагом экспериментов уже может стать инициация самоподдерживающейся реакции.

## Лазерный термоядерный синтез сделал шаг вперед

[Александр Березин](#)

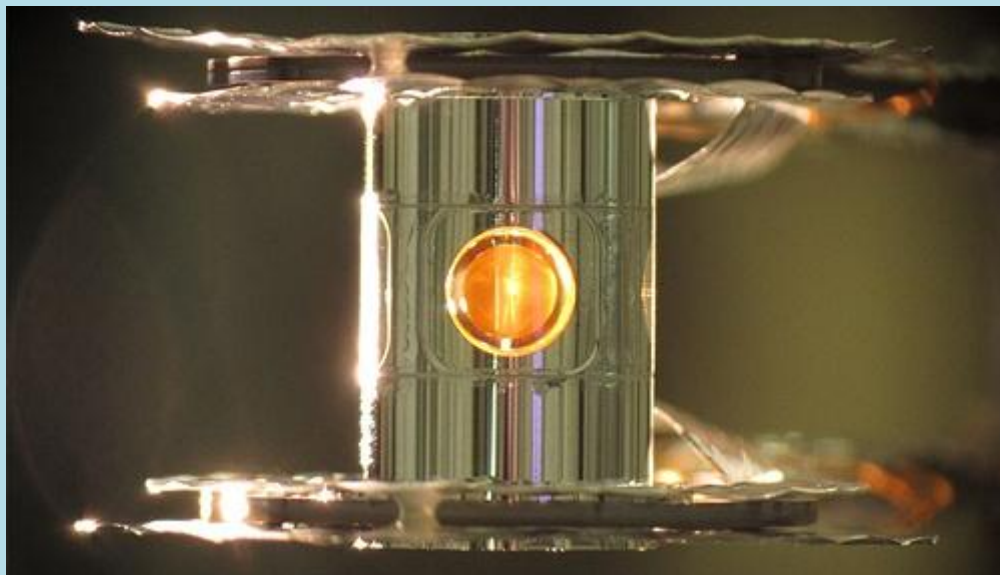
**13.02.2014**

<http://compulenta.computerra.ru/veshestvo/fizika/10011470/>

Специалистам Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли удалось получить от лазерного термоядерного синтеза больше энергии, чем было затрачено на его проведение, то есть немного приблизиться к реализации экономически разумной термоядерной энергетики.

Хотя шаг этот выглядит промежуточным — чтобы быть пригодным для большой энергетики, от слияния ядер нужно получить во много раз больше энергии, чем потрачено, — он так долго был недостижим, что казалось, его никогда уже не сделать.

Национальная лаборатория по активации управляемого термоядерного синтеза ([National Ignition Facility](#), NIF) обладает мощнейшим на сегодня комплексом из 192 лазеров, при одновременном использовании которых общая энергия пучков достигает 1,8 МДж, воздействующих на крохотную мишень миллиардные доли секунды. Сама мишень содержит в себе маленькую сферу из замороженных дейтерия и трития, которые находятся внутри пластикового аблятора (оболочки, испаряющейся после обстрела мишени). В 2009–2012 годах итоги работы NIF были много слабее ожидавшихся: оказалось, что наши теоретические представления об эффективности и проблемах инерциального синтеза весьма неполны.



**Полость, в которой находится капсула с топливом для термоядерного синтеза. Перед лазерным обстрелом её охлаждают до 18 К. (Здесь и ниже иллюстрации LLNL.)**

В ту пору физики [решили](#) избежать проблем с неравномерным сжатием дейтерий-тритиевой мишени: вместо одного мощного импульса, сразу разогревавшего мишень (после чего та излучала в рентгеновском диапазоне, тем самым испаряя аблятор, то есть разрушая «стенки», и начинала быстро расширяться, из-за чего давление падало), они постепенно нагревали её — без резкого одиночного скачка.

Ранее таким образом удалось достичь обнадеживающих результатов — отдачи в 14 кДж и 17 кДж от одного лазерного «выстрела» при общей энергии импульсов, обрушившейся на мишень, в 10 кДж. Эти цифры могут показаться не согласовывающимися с названной выше мощностью лазеров, почти равной паре мегаджоулей, но в действительности противоречия нет. И импульсы, и термоядерная реакция шли буквально доли секунды, из-за чего и затраты энергии, и отдача были сравнительно умеренными, несмотря на всю мощность установки.

Как замечает член исследовательской группы NIF Пол Шпрингер (Paul Springer), впоследствии в одном из опытов использовался ещё более плавный нагрев мишени. Эта мысль, наверное, может показаться контрпродуктивной: если заранее нагреть предмет, то потом сжать его импульсно будет куда труднее, а для начала эффективной термоядерной реакции давление важно не меньше, чем температура.

Да, сжать мишень, предварительно нагретую до сверхвысоких температур, не очень просто, так как она сама начинает расширяться изнутри, и сжимать её — занятие сродни попытке сжать резиновое колесо, вначале хорошенько его накавав. Но на практике всё получилось не так плохо: давление и раньше создавать не слишком-то удавалось —

из-за испарения аблятора, после которого испарению мишени уже ничто не мешало, поэтому потеря от ещё более плавного разогрева, по сути, не было. А вот то, что температура до разрушения аблятора была значительно поднята «шаг за шагом», позволило повысить энерговыход от одной «порции» инерциального синтеза до 26 кДж. А это едва ли не вдвое выше итогов сентября 2013-го.

Важно и то, что новые результаты очень близки к итогам предварительного компьютерного моделирования. Иные уже сомневались в важности именно этого момента: мол, победа разума над сарсапареллой, моделирование не термоядерный синтез. Но тут стоит вспомнить, что до этого три года подряд моделирование обещало инерциальному лазерному синтезу один энергетический выход, а на деле выходило то в 10, то в 100 раз меньше. Теперь мы хотя бы знаем, чего ждать.

Увы, на этом возможности плавного нагрева мишени приближаются к своему верхнему пределу: более плавный вряд ли даст большой прирост энергетического выхода. Однако учёные хотят помочь началу синтеза, поменяв форму мишени на такую, которая позволит симметричнее «сжимать» её лазерными импульсами.

«Чем меньше пластика в абляторе, тем быстрее термоядерное топливо взорвётся, — поясняет Дэниз Хинкель ([Denise Hinkel](#)) из NIF. — Однако какое-то количество пластика вам всё-таки понадобится, иначе при нагреве начнётся абляция топлива в мишени. Здесь нужен оптимальный баланс, но мы пока его не нащупали».



Она же чуть издали. Виден удерживающий её кронштейн.

Стив Коули ([Steve Cowley](#)), глава Куллхэмского центра термоядерной энергии (Великобритания), считает, что конкурирующий подход, когда сжатие топлива идёт за счёт магнитного поля, подошёл к близким результатам ещё в 1997 году: на 16 МВт ввода было получено 24 МВт на выходе. Однако ни это, ни близкий старт реактора [ИТЕР](#) не должны вести к сворачиванию усилий по лазерному синтезу. Никто не может сейчас поручиться, что ИТЕР не будут преследовать проблемы низкой отдачи вопреки предварительным расчётам, и тогда всё придётся начинать заново. Гораздо разумнее развивать оба подхода, всё ближе подтягивая их к экономической целесообразности.

Отчёт об исследовании опубликован в журнале [Physical Review Letters](#).

Подготовлено по материалам [Physicsworld.Com](#).



## Чемпион среди зажигалок

Александр Ершов

18.02.2014

<http://lenta.ru/articles/2014/02/18/fusion/>

Физики впервые преодолели энергетический барьер термоядерного синтеза

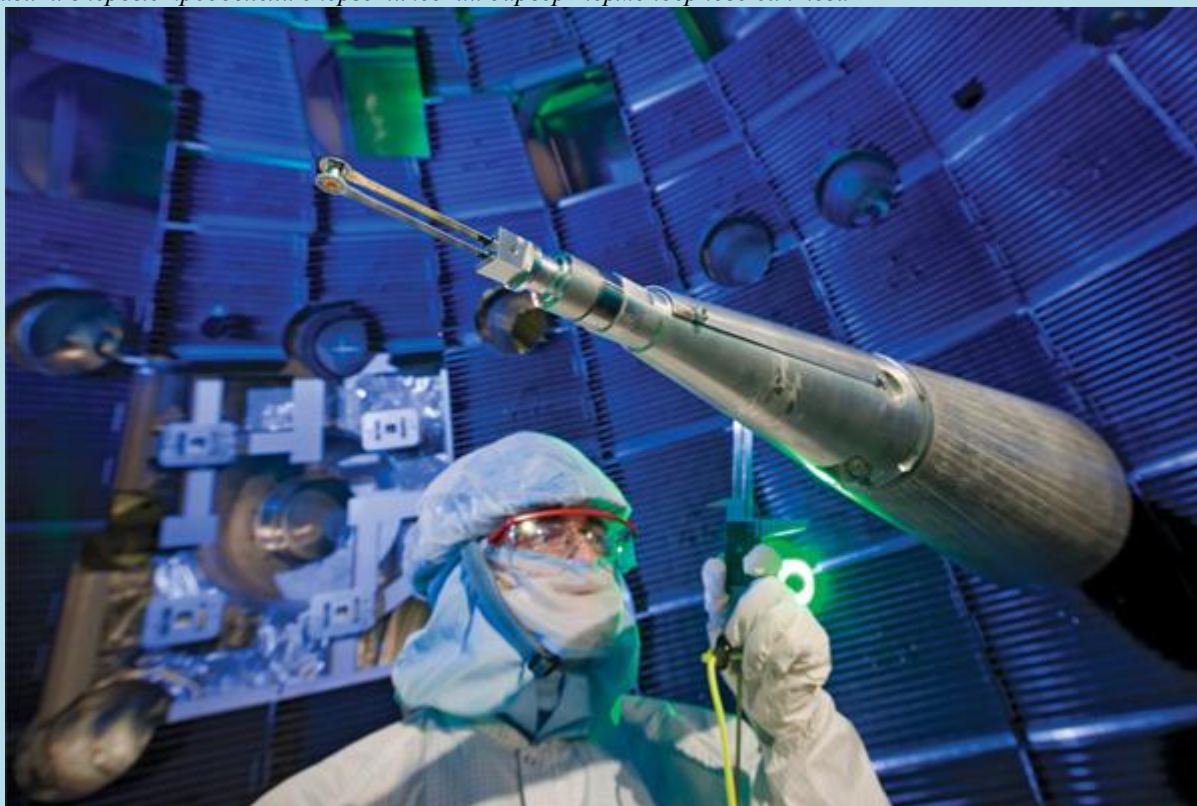


Фото: официальный сайт Lawrence Livermore National Laboratory

Специалисты американского Национального центра зажигания впервые преодолели энергетический барьер термоядерного синтеза. В ходе последних экспериментов выделенная топливом энергия почти в полтора раза превысила ту, что топливо поглотило. После нескольких лет неудач новые результаты выглядят как настоящий прорыв в термоядерном синтезе. Почему многие специалисты смотрят на эти результаты скептически и чего ждать от экспериментов NIF в будущем — в этих и других вопросах разбиралась «Лента.ру».

Бледно-бежевый ангар NIF расположен в нескольких километрах от побережья залива Сан-Франциско, в правильном квадрате Ливерморской национальной лаборатории. Эта лаборатория с семью тысячами сотрудников и площадью в два с половиной квадратных километра — один из двух ключевых американских центров, где разрабатывается и тестируется ядерное оружие (второй центр — Национальная лаборатория в Лос-Аламосе). Ядерным разработкам NIF, собственно, и обязан своим возникновением.

Из двойного назначения экспериментальной установки секрета никогда не делалось — эксперименты, которые проводились в центре, должны были стать заменой реальным ядерным испытаниям, запрещенным договором 1996 года.

В ангаре, занимающем площадь трех футбольных полей, расположены 192 лазера фантастической мощности — общими усилиями они развивают 500 тераватт. И хотя вся эта мощность приходится всего лишь на пикосекундный импульс, выделяющейся при

этом энергии было бы достаточно для мгновенного закипания примерно пяти литров воды. Такой энергией импульса не обладает ни один другой лазер на Земле.



**Кабели питания, подходящие к лазерам в NIF**

**Фото: официальный сайт Lawrence Livermore National Laboratory**

Сердцем NIF является шарообразная камера, в которой 192 лазера фокусируют свои лучи на золотой капсуле, похожей на крошечную консервную банку без дна и крышки. Капсула называется немецким словом хольраум (Hohlraum, «полость») и служит переизлучателем энергии лазеров (хольраум, как аналог абсолютно черного тела, делает излучение более симметричным). Внутри хольраума находится полая пластиковая бусина диаметром около двух миллиметров и стоимостью в миллион долларов. Именно в ней содержится топливо для термоядерного синтеза — смесь изотопов водорода, трития и дейтерия. Топливо не заполняет капсулу целиком, а представляет собой только 70-микрометровый иней на ее внутренней поверхности. Чтобы получить этот иней, капсулу приходится охлаждать почти до температуры абсолютного нуля — тепло отводится держателями капсулы.

Вся эта сложная система создана с одной-единственной целью — сжать смесь дейтерия и трития до давления, втрое превышающего давление в центре Солнца, и «зажечь» термоядерную реакцию.

### **Проблемы с зажиганием**

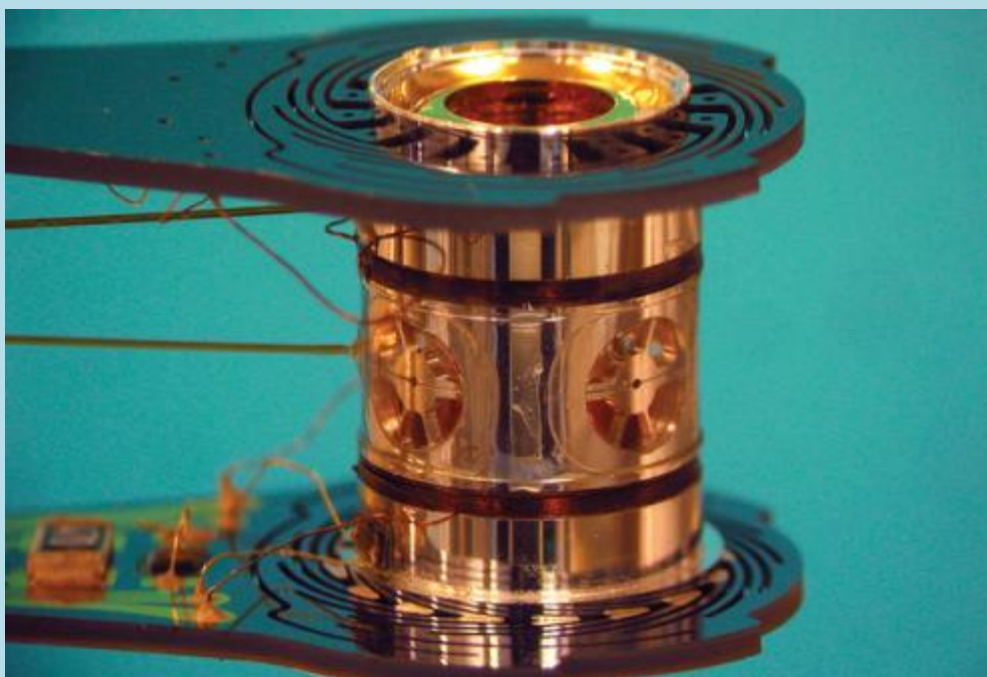
Формально термоядерные реакции могут происходить даже при комнатной температуре. В достаточно большом объеме дейтерия и трития всегда найдется пара молекул, имеющих настолько высокую скорость, что при столкновении их ядра могут слиться в ядро гелия с испусканием лишнего нейтрона и энергии. Другое дело, что вероятность этого процесса настолько мала, что даже в центре коричневых карликов —



планет, масса которых в десятки тысяч раз превосходит массу Земли, — такие реакции не происходят со сколько-нибудь значительной скоростью.

Критерием, который отделяет коричневые карлики от звезд и отличает «работающую» термоядерную реакцию от «неработающей», является зажигание. Под зажиганием физики подразумевают создание условий, при которых термоядерная реакция поддерживает сама себя, то есть когда энергии, выделившейся при слиянии ядер трития и дейтерия, достаточно для стимуляции слияния новых ядер. Фактически это хорошо известный термоядерный взрыв в миниатюре. Сложность заключается в том, чтобы перевести термоядерное топливо из режима взрыва в режим спокойного горения.

Для того чтобы термоядерная реакция могла поддерживаться, необходимо, чтобы интенсивность выработки энергии была равна или превышала ту скорость, с которой энергию уносят разлетающиеся продукты реакции и излучение. Иначе, какой бы толчок мы ни придали реакционной смеси, реакция очень быстро потухнет. Эта интенсивность, в свою очередь, определяется концентрацией ядер дейтерия и трития, которые имеют достаточную собственную энергию для того, чтобы вступить в реакцию.



**Золотой хольраум в держателе. Он позволяет сделать давление на капсулу гораздо равномернее, хотя и понижает энергию импульса.**

**Фото: официальный сайт Lawrence Livermore National Laboratory**

Условия поддержания термоядерной реакции определяются так называемым [критерием Лоусона](#), сформулированным английским физиком Джоном Лоусоном в 1955 году. Неравенство ( $Nt > \sim 10^{20}$ , где  $N$  — концентрация частиц в кубическом метре, а  $t$  — время в секундах) связывает давление плазмы и время ее удержания как произведение величин, которое должно быть выше некоей константы. Эта константа называется коэффициентом Лоусона и зависит от типа ядер и скорости потери энергии. Из этого неравенства следует, что есть два пути для достижения зажигания: либо увеличение давления, либо увеличение времени удержания.

Исторически первым ученые стали исследовать подход, основанный на длительном времени удержания — ведь только он сулит возможность создать постоянно «горящую» термоядерную реакцию, которую можно удобно использовать для получения энергии. Пионерами этой области считаются советские физики Олег Лаврентьев, Андрей Сахаров и

Игорь Тамм. Благодаря ученику Курчатова Игорю Головину скромный список русскоязычных заимствований в английском пополнился словом «токамак» (тороидальная камера магнитная, «т» поменяли на «к» ради [благозвучия](#)).

Идея заключалась в том, чтобы удержать кольцо плазмы магнитами при небольшом давлении в течение длительного времени и добиться таким образом возникновения самоподдерживающейся реакции. Параллельно над подобной, но в итоге менее удачной магнитной камерой (стелларатором) работал Лайман Спитцер. Первые токамаки были построены в СССР. Сейчас множество подобных установок существует по всему миру. Наиболее впечатляющий токамак, ITER, строится совместно ЕС, Россией, Индией, Китаем, Кореей, США и Японией. Недавно к ним присоединился Казахстан. Установка должна быть построена на юге Франции к 2020 году.



Окно, через которое можно заглянуть в реакционную камеру

Фото: официальный сайт Lawrence Livermore National Laboratory

История постройки токамаков — это история борьбы человека с плазмой. Удержание плазмы было главной сложностью еще при создании для первых токамаков, и до сих пор эта проблема не решена. Дело в том, что, как бы равномерно магнитное поле ни сжимало плазменное кольцо, плазма, как вода, сумеет просочиться и сбросить давление. Магнитное поле каждого нового токамака становилось все мощнее и равномернее, но сделать поведение плазмы стабильным до сих пор не удавалось.





*В 1959 году, когда вышло первое издание советской «Детской энциклопедии», приход эры термоядерной энергии казался таким же близким, как и наступление коммунизма.*

*Фото: Александр Ершов*

«Дейтерий, содержащийся в двух стаканах воды, при ядерном синтезе способен освободить столько же энергии, сколько дает обычное сжигание 200 литров бензина».

Когда стало ясно, что эта задача не имеет быстрого и простого решения, физики решили применить к термоядерному синтезу альтернативный подход. Если полевое удержание плазмы топлива сложно, может, попробовать вообще этого не делать? Идея заключалась в том, что если инициировать реакцию очень быстро, то ее продукты не успеют разлететься в разные стороны просто за счет собственной инерции. Критерий Лоусона, таким образом, будет выполнен не за счет времени удержания, а за счет придания топливу крайне высокого давления за минимальное время. Получить постоянно горящую термоядерную реакцию в таком случае не удастся, но не исключено, что получится сделать реакцию импульсной без возни с магнитами и капризной плазмой. Такой тип ядерного синтеза получил название инерционного.

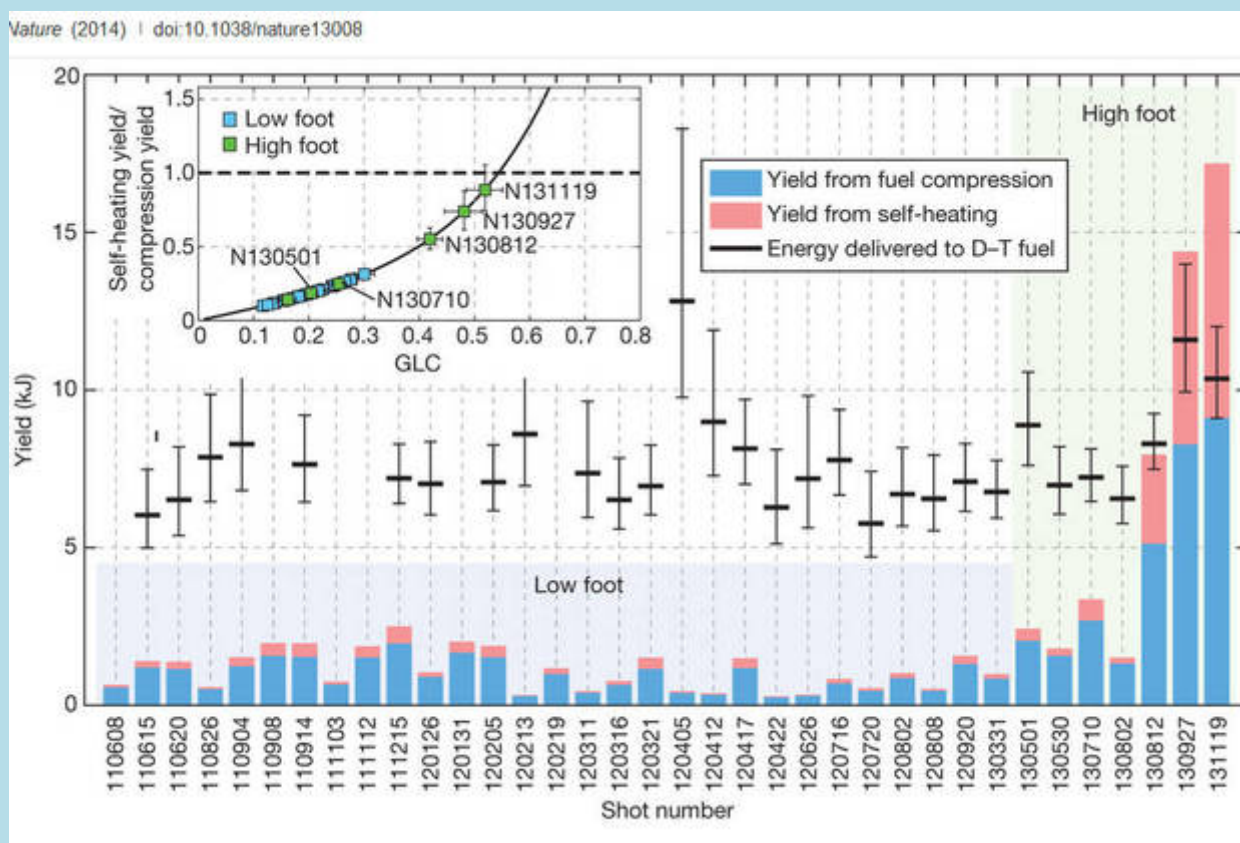
Сначала для сжатия топлива физики собирались использовать ускорители частиц, электронные и ионные пушки. Со временем выяснилось, что потоки частиц ведут себя не лучше капризной плазмы и равномерного сжатия топлива достигнуть не получается. В начале 1970-х годов практически одновременно в США и в СССР начались работы по созданию пушек на лазерах. Их короткие импульсы как нельзя лучше подходили для создания равномерной ударной волны для сжатия топлива.

Первые результаты по инициации термоядерного синтеза лазерами в мае 1974 года получила частная компания [KMS Fusion](#). С тех пор было построено множество лазерных установок, на которых ученые пытались добиться максимально высокого уровня конверсии топлива. В Ливерморской национальной лаборатории это были такие лазеры, как [Argus](#), [Shiva](#) и [Nova](#).

Кульминацией этой серии стала установка NIF, которая по амбициозности своей задачи и просто по размеру не сравнима ни с одним предыдущим лазером. Установку начали строить в 1997 году с намерением достичь наконец условий зажигания. Это слово, *ignition*, «зажигание», нашло свое отражение в названии NIF и является конечной целью всего проекта. Для того чтобы почти мгновенно сжать топливо практически в точку, ученым пришлось создать самую крупную лазерную установку в мире. Ее строительство завершилось в 2009 году, и уже в июне физики начали первые опыты в рамках «Кампании по зажиганию» (National Ignition Campaign).

## Плазменное яблоко

Инерционный термоядерный синтез оказался гораздо капризнее, чем первоначально полагали авторы проекта. И дело оказалось даже не в мощности или надежности лазеров (они как раз отработали отлично), а в том, как вело себя топливо при сжатии. Оказалось, что, подобно плазме в токамаках, дейтериево-тритиевое топливо очень сложно сжать настолько равномерно, чтобы удовлетворить критерию Лоусона. Схлопываясь со скоростью в 300 километров в секунду, иней на внутренней стороне капсулы превращается не в шар, а в некое подобие яблока или гантели. Давление, которое при этом достигается, в тысячу раз меньше, чем требуется. Соответственно, и уровень конверсии топлива тоже не слишком высок.



Эффективность термоядерного синтеза в экспериментах NIF. Красным отмечена часть, полученная в результате самонагрева, синим — в результате импульса. Черным с интервалом ошибки показано количество поглощенной топливом энергии.

Hurricane O. A., et al., *Nature*, 2014

Неудачи, с которыми пришлось столкнуться в ходе «Кампании по зажиганию», привели к тому, что в 2012 году после ревизии Конгресса NIF решено было подвергнуть существенной реструктуризации. Это не подразумевало немедленного закрытия проекта, но отсутствие результатов могло поставить под вопрос его будущее. Новые данные, опубликованные в *Nature*, позволяют надеяться на то, что будущее у проекта все-таки есть.

Новый подход, который позволил специалистам NIF завершить череду неудач и преодолеть энергетический барьер синтеза, ученые называют «high foot». За этими словами стоит более медленный режим импульса, который делает схлопывание капсулы с топливом более устойчивым. За счет этой стабильности ученым за последние полгода удалось добиться существенного роста энергии, выделяемой топливом. В ходе последнего

эксперимента энергия саморазогревания достигла 17 килоджоулей, притом что поглотило топливо всего около 10 килоджоулей.

Преодоление энергетического барьера между поглощенной и выделенной энергией — безусловно, важная веха для физиков (даже учитывая тот факт, что лишь малую долю энергии лазеров топливо действительно поглощает). Однако есть очень существенные основания относиться к этим результатам с осторожностью. Дело в том, что при использовании нового подхода топливо успеваешь сильнее разогреться, что накладывает ограничение на максимальное давление, которое можно развить в режиме «high foot».

## Как будет работать двигатель на термоядерном синтезе

[Илья Хель](#)

03.02.2014

<http://hi-news.ru/space/kak-budet-rabotat-dvigatel-na-termoyadernom-sinteze.html>

Люди уже успели побывать на Луне, да и полет на околоземную орбиту уже не кажется чем-то из ряда вон выходящим. В космосе давно и прочно обосновалась Международная космическая станция. Тем не менее, если вы задумаетесь о размерах нашей Солнечной системы, не говоря уж о всей Вселенной, станет очевидно, что [наши шаги](#) в освоении межпланетного и межзвездного пространства — просто пешком под стол. Для того, чтобы слетать на Марс и другие планеты, которые находятся вне досягаемости обычных ракетных двигателей, NASA разрабатывает несколько дополнительных реактивных двигателей, в том числе и на энергии солнца.

В принципе, космический корабль с силовой установкой на термоядерном синтезе должен воссоздать те же типы высокотемпературных реакций, которые происходят в сердце солнца. Огромная энергия этих реакций вырабатывается двигателем и создает тягу. Используя этот тип двигательной установки, космический корабль может добраться до Марса всего за три месяца. Обычным ракетам понадобится по меньшей мере семь.

В этой статье вы узнаете, что такое синтез и что делает NASA для того, чтобы корабли с такими двигателями стали реальностью.

### Что такое синтез?

Мы и наша планета во многом зависим от миллионов ядерных реакций синтеза, которые каждую секунду происходят внутри ядра Солнца. Без этих реакций у нас бы не было ни света, ни тепла, и, вероятнее всего, жизни. [Термоядерный синтез](#) происходит, когда два атома водорода сталкиваются и создают больший атом гелия-4, который испускает энергию в процессе этого.

Вот как происходит эта реакция:

1. Два протона в совокупности образуют атом дейтерия, позитрон и нейтрино.
2. Протон и атом дейтерия создают атом гелия-3 (два протона и один нейтрон) и гамма-луч.
3. Два гелия-3 атома в совокупности образуют атом гелия-4 (два протона и два нейтрона) и два протона.

Синтез может происходить только в условиях крайне горячей среды, температура которой измеряется миллионами градусов. Звезды, состоящие из плазмы, представляют собой единственные природные объекты, достаточно горячие для создания реакции термоядерного синтеза. Плазма, которую часто называют четвертым состоянием вещества, представляет собой ионизированный газ, состоящий из атомов, лишенных некоторой части электронов. Реакция синтеза отвечает за создание 85 % энергии Солнца.



Высокий уровень тепла, необходимый для создания этого типа плазмы, приводит к тому, что ее нельзя заключить в контейнер из любого, известного нам вещества. Тем не менее, плазма хорошо проводит электричество, что позволяет удерживать, управлять и ускорять ее с помощью магнитного поля. Именно это легло в основу космического корабля с двигателем на основе синтеза, который NASA хочет построить в течение ближайших 25 лет. Давайте рассмотрим конкретные проекты двигателей на основе термоядерного синтеза.

### **Полет на энергии синтеза**

Реакция термоядерного синтеза высвобождает огромное количество энергии, именно поэтому исследователи всячески пытаются приспособить ее к двигательной системе. Корабль на энергии синтеза мог бы серьезно вывести вперед NASA в гонке за Марс. Этот тип корабля может сократить время пребывания в пути на Марс более чем на 50 %, тем самым уменьшив вредные воздействия радиации и невесомости.

Строительство космического аппарата, летящего на энергии термоядерного синтеза, будет эквивалентно разработке автомобиля на Земле, который может ехать в два раза быстрее любого другого. В ракетостроении эффективность использования топлива ракетным двигателем измеряется его удельным импульсом. Удельный импульс означает единицу тяги на единицу пропеллента, потребляемого в течение времени.

Двигатель на синтезе может обладать удельным импульсом в 300 раз большим, чем обычные химические двигатели. Обычный химический ракетный двигатель обладает импульсом примерно 1300 секунд, что означает следующее: двигатель выдает 1 килограмм тяги на 1 килограмм топлива за 1300 секунд. Ракета на синтезе может обладать импульсом в 500 000 секунд. Кроме того, ракета на синтезе будет использовать водород как топливо, а значит, сможет пополняться при прохождении через космическое пространство. Водород присутствует в атмосфере многих планет, так что все, что будет нужно космическому аппарату для заправки, это погружение в атмосферу и набор топлива.

Ракеты на синтезе могут обеспечить более длительную тягу, в отличие от химических ракет, топливо которых быстро выгорает. Считается, что движение на синтезе позволит быстро добраться в любую точку Солнечной системы и за два года осуществить поездку на Юпитер и обратно. Давайте рассмотрим два текущих проекта NASA по созданию движения на синтезе.

### **Магнитоплазменная ракета с переменным удельным импульсом (VASIMR)**

VASIMR представляет собой плазменную ракету, которая является предшественником ракет на термоядерном синтезе. Но поскольку ракеты на синтезе будут использовать плазму, исследователи многое узнают об этом типе ракеты. Двигатель VASIMR прекрасен тем, что создает плазму в экстремально горячих условиях, а после выталкивает, создавая тягу. Есть три основных типа ячеек в двигателе VASIMR.

1. Передняя ячейка — пропеллент, обычно водород, вводится в ячейку и ионизируется, чтобы создать плазму.
2. Центральная ячейка — ячейка действует как усилитель для дальнейшего нагрева плазмы электромагнитной энергией. Радиоволнами добавляют энергии плазме, как в микроволновой печи.

Кормовая ячейка — магнитное сопло преобразует энергию плазмы в струю выхлопных газов. Магнитное поле используется для выброса плазмы и защищает космический корабль, чтобы плазма не коснулась оболочки. Плазма уничтожила бы

любой материал, с которым вступила бы в контакт. Температура плазмы в сопле составляет 100 миллионов градусов Цельсия. Это в 25 000 раз горячее, чем температура газа, который выбрасывается из космического шаттла.

Во время миссии на Марс двигатель VASIMR постоянно бы разгонялся в течение первой половины путешествия, а после изменил бы направление и замедлялся бы вторую половину. Ракету на переменной плазме можно также использовать для позиционирования спутников на орбите Земли.

### ***Движение на термоядерном синтезе с динамическим газовым зеркалом***

Одновременно с VASIMR разрабатывается и система движения на синтезе с динамическим газовым зеркалом (GDM). В этом двигателе длинные тонкие мотки проволоки с током действуют как магнит, окружая вакуумную камеру, содержащую плазму. Плазма находится в ловушке магнитного поля, создаваемого центральной секцией системы. В каждом конце двигателя находятся зеркальные магниты, которые препятствуют слишком быстрому выбросу плазмы из двигателя. Разумеется, часть плазмы должна просачиваться и обеспечивать тягу.

Как правило, плазма неустойчива и ее сложно удержать, поэтому первые машины с таким механизмом давались очень сложно. Динамическое газовое зеркало позволяет избежать проблем неустойчивости, потому что построено длинным и тонким, поэтому магнитные линии выстраиваются по всей длине системы. Нестабильность контролируется тем, что позволяет определенному количеству плазмы протекать через узкую часть зеркала.

В 1998 году в рамках эксперимента было продемонстрировано, как GDM производит плазму в процессе работы системы впрыска плазмы, которая работает аналогично передней ячейке VASIMR. Она вводит газ в GDM и нагревает его микроволновой антенной, работающей на частоте 2,45 ГГц. Этот эксперимент проводится для подтверждения обоснованности концепции GDM. Исследователи также разрабатывают полноразмерную систему двигателя с этим механизмом.

Хотя многие передовые концепции двигателей NASA еще далеки от реализации, основа для двигателя на энергии синтеза уже заложена. Когда станут доступны другие технологии, которые сделают путешествие на Марс возможным, корабль с энергией синтеза придется как нельзя кстати. В середине 21 века поездки на Марс могут стать такой же рутиной, как и отправка еды на МКС.

*Сборка - И.Моисеев 27.02.2014*