

**N-T.ru**Электронная библиотека
Наука и техника

Электронная библиотека «Наука и техника»

n-t.ru: Наука и техника

[Начало сайта](#) / [Статьи](#) / [Источники энергии](#)
[Начало сайта](#) / [Статьи](#) / [Источники энергии](#)

Поиск по n-t.ru:

Научные статьи[Физика звёзд](#)[Физика микромира](#)**Журналы**[Природа](#)[Наука и жизнь](#)[Природа и люди](#)[Техника – молодёжи](#)**Нобелевские лауреаты**[Премия по физике](#)[Премия по химии](#)[Премия по литературе](#)[Премия по медицине](#)[Премия по экономике](#)[Премия мира](#)**Книги**[Во главе двух академий](#)[Законы Паркинсона](#)[Крушение парадоксов](#)[Популярная информатика](#)[Сын человеческий](#)[Физики продолжают
шутить](#)**Издания НИТ**[Батарейки и
аккумуляторы](#)[Охранные системы](#)[Источники энергии](#)[Свет и тепло](#)**Научно-популярные
статьи**[Наука сегодня](#)[Научные гипотезы](#)[Теория относительности](#)[История науки](#)[Научные развлечения](#)[Техника сегодня](#)[История техники](#)[Измерения в технике](#)[Источники энергии](#)[Наука и религия](#)[Мир, в котором мы живём](#)[Лит. творчество ученых](#)[Человек и общество](#)[Образование](#)[Разное](#)

Термоядерный синтез на Солнце – новая версия

Владимир Власов

1. Введение

Чтобы понимать процесс рождения и развития представлений о термоядерном синтезе на Солнце, необходимо знать историю человеческих представлений о понимании этого процесса. Есть много неразрешимых теоретических и технологических проблем по созданию управляемого термоядерного реактора, в котором происходит процесс управления термоядерным синтезом. Многие учёные, а тем более чиновники от науки, не знакомы с историей этого вопроса.

Именно незнание истории понимания и представления человечеством термоядерного синтеза на Солнце привело к неверным действиям создателей термоядерных реакторов. Это доказывается шестидесятилетней неудачей работ по созданию управляемого термоядерного реактора, напрасными растратами огромных денежных средств многими развитыми странами. Самое главное и неопровержимое доказательство: в течение 60 лет не создан управляемый термоядерный реактор. Более того, известные научные авторитеты в СМИ обещают создание управляемого термоядерного реактора (УТЯР) лет через 30...40.

2. «Бритва Оккама»

«Бритва Оккама» – методологический принцип, получивший название по имени английского монаха-францисканца, философа-номиналиста Уильяма. В упрощенном виде он гласит: «Не следует множить сущее без необходимости» (либо «Не следует привлекать новые сущности без самой крайней на то необходимости»). Этот принцип формирует базис методологического редукционизма, также называемый принципом бережливости, или законом экономии. Порой принцип выражается в словах: «То, что можно объяснить посредством меньшего, не следует выражать посредством большего».

В современной науке под «Бритвой Оккама» обычно понимают более общий принцип, утверждающий, что если существует несколько логически непротиворечивых определений или объяснений какого-либо явления, то следует считать верным самое простое из них.

Содержание принципа можно упрощённо свести к следующему: не надо вводить сложные законы, чтобы объяснить какое-то явление, если это явление можно объяснить простыми законами. Сейчас этот принцип – мощное орудие научной критической мысли. Сам же Оккам сформулировал этот принцип как подтверждение существования Божия. Им-то, по его мнению, точно можно всё объяснить, не вводя ничего нового.

Переформулированный на языке теории информации принцип «Бритвы Оккама» гласит, что самым точным сообщением является сообщение минимальной длины.

[Альберт Эйнштейн](#) переформулировал принцип «Бритвы Оккама» следующим образом: «Всё следует упрощать до тех пор, пока это возможно, но не более того».

3. О начале понимания и представления человечеством термоядерного синтеза на Солнце

Все жители Земли долгое время понимали факт, что Солнце греет Землю, но для всех непонятными оставались источники солнечной энергии. В 1848 г. Роберт Майер выдвинул метеоритную гипотезу, согласно которой Солнце нагревается благодаря бомбардировке метеоритами. Однако при таком необходимом количестве метеоритов сильно нагревалась бы и Земля; кроме того, земные геологические напластования состояли бы в основном из метеоритов; наконец, масса Солнца должна была расти, и это сказалось бы на движении планет.

Поэтому во второй половине XIX века многими исследователями наиболее правдоподобной считалась теория, развитая Гельмгольцем (1853) и лордом Кельвином, которые предположили, что Солнце нагревается за счёт медленного гравитационного сжатия («механизм Кельвина –

Гельмгольца»). Основанные на этом механизме расчёты оценивали максимальный возраст Солнца в 20 млн лет, а время, через которое Солнце потухнет – не более чем в 15 млн. Однако эта гипотеза противоречила геологическим данным о возрасте горных пород, которые указывали на намного бóльшие цифры. Так, например, Чарльз Дарвин отметил, что эрозия вендских отложений продолжалась не менее 300 млн лет. Тем не менее, энциклопедия Брокгауза и Ефрона считает гравитационную модель единственно допустимой.

Только в XX веке было найдено «правильное» решение этой проблемы. Первоначально [Резерфорд](#) выдвинул гипотезу, что источником внутренней энергии Солнца является радиоактивный распад. В 1920 г. Артур Эддингтон предположил, что давление и температура в недрах Солнца настолько высоки, что там могут идти термоядерные реакции, при которой ядра водорода (протоны) сливаются в ядро гелия-4. Так как масса последнего меньше, чем сумма масс четырёх свободных протонов, то часть массы в этой реакции, согласно формуле Эйнштейна $E = mc^2$, переходит в энергию. То, что водород преобладает в составе Солнца, подтвердила в 1925 г. Сесилия Пейн.

Теория термоядерного синтеза была развита в 1930-х годах астрофизиками Чандрасекаром и Гансом Бете. Бете детально рассчитал две главные термоядерные реакции, которые являются источниками энергии Солнца. Наконец, в 1957 г. появилась работа Маргарет Бёрбридж «Синтез элементов в звёздах», в которой было показано, высказано предположение, что большинство элементов во Вселенной возникло в результате нуклеосинтеза, идущего в звёздах.

4. Космические исследования Солнца

Первые работы Эддингтона как астронома связаны с изучением движений звезд и строением звездных систем. Но, главная его заслуга – в том, что он создал теорию внутреннего строения звезд. Глубокое проникновение в физическую сущность явлений и мастерское владение методами сложнейших математических расчетов позволили Эддингтону получить ряд основополагающих результатов в таких областях астрофизики, как внутреннее строение звезд, состояние межзвездной материи, движение и распределение звезд в Галактике.

Эддингтон рассчитал диаметры некоторых красных звезд-гигантов, определил плотность карликового спутника звезды Сириус – она оказалась необычайно высокой. Работа Эддингтона по определению плотности звезды послужила толчком для развития физики сверхплотного (вырожденного) газа. Эддингтон был хорошим интерпретатором общей теории относительности Эйнштейна. Он осуществил первую экспериментальную проверку одного из эффектов, предсказанных этой теорией: отклонение лучей света в поле тяготения массивной звезды. Это удалось ему сделать во время полного затмения Солнца в 1919 г. Вместе с другими учеными Эддингтон заложил основы современных знаний о строении звезд.

5. Термоядерный синтез – горение!?

Что представляет собой, визуально, термоядерный синтез? В принципе это горение. Но понятно, что это горение очень большой мощности на единицу объёма пространства. И понятно, что это не процесс окисления. Здесь, в процессе горения, участвуют другие элементы, которые тоже горят, но при особых физических условиях.

Вспомним о горении.

Горение химическое – это сложный физико-химический процесс превращения компонентов горючей смеси в продукты сгорания с выделением теплового излучения, света и лучистой энергии.

Горение химическое разделяют на несколько типов горения.

Дозвуковое горение (дефлаграция) в отличие от взрыва и детонации протекает с низкими скоростями и не связано с образованием ударной волны. К дозвуковому горению относят нормальное ламинарное и турбулентное распространения пламени, к сверхзвуковому – детонацию.

Горение подразделяется на тепловое и цепное. В основе теплового горения лежит химическая реакция, способная протекать с прогрессирующим самоускорением вследствие накопления выделяющегося тепла. Цепное горение встречается в случаях некоторых газофазных реакций при низких давлениях.

Условия термического самоускорения могут быть обеспечены для всех реакций с достаточно большими тепловыми эффектами и энергиями активации.

Горение может начаться самопроизвольно в результате самовоспламенения либо быть инициированным зажиганием. При фиксированных внешних условиях непрерывное горение может протекать в стационарном режиме, когда основные характеристики процесса – скорость реакции, мощность тепловыделения, температура и состав продуктов – не изменяются во времени, либо в периодическом режиме, когда эти характеристики колеблются около своих средних значений. Вследствие сильной нелинейной зависимости скорости реакции от температуры горение отличается высокой чувствительностью к внешним условиям. Это же свойство горения обуславливает существование нескольких стационарных режимов при одних и тех же условиях (гистерезисный эффект).

Бывает объёмное горение, оно всем известное и часто используемое в быту.

Диффузионное горение. Характеризуется отдельной подачей в зону горения горючего и окислителя. Перемешивание компонентов происходит в зоне горения. Пример: горение водорода и кислорода в ракетном двигателе.

Горение предварительно смешанной среды. Как следует из названия, горения происходит в смеси, в которой одновременно присутствуют горючее и окислитель. Пример: горение в цилиндре двигателя внутреннего сгорания бензиново-воздушной смеси после инициализации процесса свечой зажигания.

Беспламенное горение. В отличие от обычного горения, когда наблюдаются зоны окислительного пламени и восстановительного пламени, возможно создание условий для беспламенного горения. Примером может служить каталитическое окисление органических веществ на поверхности подходящего катализатора, например, окисление этанола на платиновой черни.

Тление. Вид горения, при котором пламя не образуется, а зона горения медленно распространяется по материалу. Тление обычно наблюдается у пористых или волокнистых материалов с высоким содержанием воздуха или пропитанных окислителями.

Автогенное горение. Самоподдерживающееся горение. Термин используется в технологиях сжигания отходов. Возможность автогенного (самоподдерживающегося) горения отходов определяется предельным содержанием балластирующих компонент: влаги и золы.

Пламя – область пространства, в которой происходит горение в газовой фазе, сопровождающееся видимым и (или) инфракрасным излучением.

Обычное пламя, которое мы наблюдаем при горении свечи, пламя зажигалки или спички, представляет собой поток раскалённых газов, вытянутый вертикально за счёт силы тяготения Земли (горячие газы стремятся подниматься вверх).

6. Современные физико-химические представления о Солнце

Основные характеристики:

Эффективная температура поверхности	5515 °C
Температура короны	≈1 500 000 °C
Температура ядра	≈13 500 000 °C

Состав фотосферы:

Водород	73,46%
Гелий	24,85%
Кислород	0,77%
Углерод	0,29%
Железо	0,16%
Сера	0,12%
Неон	0,12%
Азот	0,09%
Кремний	0,07%
Магний	0,05%

Солнце – центральная и единственная звезда нашей Солнечной системы, вокруг которой обращаются другие объекты этой системы: планеты и их спутники, карликовые планеты и их спутники, астероиды, метеороиды, кометы и космическая пыль. Масса Солнца (теоретически) составляет 99,8% от суммарной массы всей Солнечной системы. Солнечное излучение поддерживает жизнь на Земле (фотоны необходимы для начальных стадий процесса фотосинтеза), определяет климат.

По спектральной классификации Солнце относится к типу G2V («жёлтый карлик»). Температура поверхности Солнца достигает 6000 К, поэтому Солнце светит почти белым светом, но из-за более сильного рассеяния и поглощения коротковолновой части спектра атмосферой Земли прямой свет Солнца у поверхности нашей планеты приобретает некоторый жёлтый оттенок.

Солнечный спектр содержит линии ионизированных и нейтральных металлов, а также ионизированного водорода. В нашей галактике Млечный Путь насчитывается примерно 100 млн звёзд класса G2. При этом 85% звёзд нашей галактики – это звёзды, менее яркие, чем Солнце (в большинстве своём это красные карлики, находящиеся в конце своего цикла эволюции). Как и все звёзды главной последовательности, Солнце вырабатывает энергию путём термоядерного синтеза.

Излучение Солнца – основной источник энергии на Земле. Его мощность характеризуется солнечной постоянной – количеством энергии, проходящей через площадку единичной площади, перпендикулярную солнечным лучам. На расстоянии в одну астрономическую единицу (то есть на орбите Земли) эта постоянная равна приблизительно 1370 Вт/м².

Проходя сквозь атмосферу Земли, солнечное излучение теряет в энергии примерно 370 Вт/м², и до земной поверхности доходит только 1000 Вт/м² (при ясной погоде и когда Солнце находится в зените). Эта энергия может использоваться в различных естественных и искусственных процессах. Так, растения с помощью фотосинтеза перерабатывают её в химическую форму (кислород и органические соединения). Прямое нагревание солнечными лучами или преобразование энергии с помощью фотоэлементов может быть использовано для производства электроэнергии (солнечными электростанциями) или выполнения другой полезной работы. Путём фотосинтеза

была в далёком прошлом получена и энергия, запасённая в нефти и других видах ископаемого топлива.

Солнце – магнитно активная звезда. Она обладает сильным магнитным полем, напряжённость которого меняется со временем, и которое меняет направление приблизительно каждые 11 лет, во время солнечного максимума. Вариации магнитного поля Солнца вызывают разнообразные эффекты, совокупность которых называется солнечной активностью и включает в себя такие явления как солнечные пятна, солнечные вспышки, вариации солнечного ветра и т.д., а на Земле вызывает полярные сияния в высоких и средних широтах и геомагнитные бури, которые негативно сказываются на работе средств связи, средств передачи электроэнергии, а также негативно воздействует на живые организмы, вызывая у людей головную боль и плохое самочувствие (у людей, чувствительных к магнитным бурям). Солнце является молодой звездой третьего поколения (популяции I) с высоким содержанием металлов, то есть оно образовалось из останков звёзд первого и второго поколений, (соответственно популяций III и II).

Текущий возраст Солнца (точнее – время его существования на главной последовательности), оценённый с помощью компьютерных моделей звёздной эволюции, равен приблизительно 4,57 млрд лет.

Жизненный цикл Солнца. Считается, что Солнце сформировалось примерно 4,59 млрд лет назад, когда быстрое сжатие под действием сил гравитации облака молекулярного водорода привело к образованию в нашей области Галактики звезды первого типа звёздного населения типа Т Тельца.

Звезда такой массы, как Солнце, должна существовать на главной последовательности в общей сложности примерно 10 млрд лет. Таким образом, сейчас Солнце находится примерно в середине своего жизненного цикла. На современном этапе в солнечном ядре идут термоядерные реакции превращения водорода в гелий. Каждую секунду в ядре Солнца около 4 млн тонн вещества превращается в лучистую энергию, в результате чего генерируется солнечное излучение и поток солнечных нейтрино.

7. Теоретические представления человечества о внутреннем и наружном строении Солнца

В центре Солнца находится солнечное ядро. Фотосфера – это видимая поверхность Солнца, которая и является основным источником излучения. Солнце окружает солнечная корона, которая имеет очень высокую температуру, однако она крайне разрежена, поэтому видима невооружённым глазом только в периоды полного солнечного затмения.

Центральная часть Солнца с радиусом примерно 150 000 километров, в которой идут термоядерные реакции, называется солнечным ядром. Плотность вещества в ядре составляет примерно $150\,000\text{ кг/м}^3$ (в 150 раз выше плотности воды и в $\approx 6,6$ раз выше плотности самого тяжёлого металла на Земле – осмия), а температура в центре ядра – более 14 млн градусов. Теоретический анализ данных, проведённый миссией SOHO, показал, что в ядре скорость вращения Солнца вокруг своей оси значительно выше, чем на поверхности. В ядре осуществляется протон-протонная термоядерная реакция, в результате которой из четырёх протонов образуется гелий-4. При этом каждую секунду в энергию превращаются 4,26 млн тонн вещества, однако эта величина ничтожна по сравнению с массой Солнца – $2 \cdot 10^{27}$ тонн.

Над ядром, на расстояниях около 0,2...0,7 радиуса Солнца от его центра, находится зона лучистого переноса, в которой отсутствуют макроскопические движения, энергия переносится с помощью «переизлучения» фотонов.

Конвективная зона Солнца. Ближе к поверхности Солнца возникает вихревое перемешивание плазмы, и перенос энергии к поверхности совершается преимущественно движениями самого вещества. Такой способ передачи энергии называется конвекцией, а подповерхностный слой Солнца, толщиной примерно 200 000 км, где она происходит – конвективной зоной. По современным данным, её роль в физике солнечных процессов исключительно велика, так как именно в ней зарождаются разнообразные движения солнечного вещества и магнитные поля.

Атмосфера Солнца Фотосфера (слой, излучающий свет) достигает толщины ≈ 320 км и образует видимую поверхность Солнца. Из фотосферы исходит основная часть оптического (видимого) излучения Солнца, излучение же из более глубоких слоёв до неё уже не доходит. Температура в фотосфере достигает в среднем 5800 К. Здесь средняя плотность газа составляет менее 1/1000 плотности земного воздуха, а температура по мере приближения к внешнему краю фотосферы уменьшается до 4800 К. Водород при таких условиях сохраняется почти полностью в нейтральном состоянии. Фотосфера образует видимую поверхность Солнца, от которой определяются размеры Солнца, расстояние от поверхности Солнца и т.д. Хромосфера – внешняя оболочка Солнца толщиной около 10 000 км, окружающая фотосферу. Происхождение названия этой части солнечной атмосферы связано с её красноватым цветом, вызванным тем, что в её видимом спектре доминирует красная Н-альфа линия излучения водорода. Верхняя граница хромосферы не имеет выраженной гладкой поверхности, из неё постоянно происходят горячие выбросы, называемые спикулами (из-за этого в конце XIX века итальянский астроном Секки, наблюдая хромосферу в телескоп, сравнил её с горящими прериями). Температура хромосферы увеличивается с высотой от 4000 до 15 000 градусов.

Плотность хромосферы невелика, поэтому яркость её недостаточна, чтобы наблюдать её в обычных условиях. Но при полном солнечном затмении, когда Луна закрывает яркую фотосферу, расположенная над ней хромосфера становится видимой и светится красным цветом. Её можно также наблюдать в любое время с помощью специальных узкополосных оптических фильтров.

Корона – последняя внешняя оболочка Солнца. Несмотря на её очень высокую температуру, от 600 000 до 2 000 000 градусов, она видна невооружённым глазом только во время полного солнечного затмения, так как плотность вещества в короне мала, а потому невелика и её яркость. Необычайно интенсивный нагрев этого слоя вызван, по-видимому, магнитным эффектом и воздействием ударных волн. Форма короны меняется в зависимости от фазы цикла солнечной активности: в периоды максимальной активности она имеет округлую форму, а в минимуме – вытянута вдоль солнечного экватора. Поскольку температура короны очень велика, она интенсивно излучает в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах. Эти излучения не проходят сквозь земную атмосферу, но в последнее время появилась возможность изучать их с помощью космических аппаратов. Излучение в разных областях короны происходит неравномерно. Существуют горячие активные и спокойные области, а также корональные дыры с относительно невысокой температурой в 600 000 градусов, из которых в пространство выходят магнитные силовые линии. Такая («открытая») магнитная конфигурация позволяет частицам беспрепятственно покидать Солнце, поэтому солнечный ветер испускается «в основном» из корональных дыр.

Из внешней части солнечной короны истекает солнечный ветер – поток ионизированных частиц (в основном протонов, электронов и α -частиц), имеющий скорость 300...1200 км/с и распространяющийся, с постепенным уменьшением своей плотности, до границ гелиосферы.

Так как солнечная плазма имеет достаточно высокую электропроводность, в ней могут возникать электрические токи и, как следствие, магнитные поля.

8. Теоретические проблемы термоядерного синтеза на Солнце

Проблема солнечных нейтрино. Ядерные реакции, происходящие в ядре Солнца, приводят к образованию большого количества электронных нейтрино. При этом измерения потока нейтрино на Земле, которые постоянно производятся с конца 1960-х годов, показали, что количество регистрируемых там солнечных электронных нейтрино приблизительно в два-три раза меньше, чем предсказывает стандартная солнечная модель, описывающая процессы в Солнце. Это расхождение между экспериментом и теорией получило название «проблема солнечных нейтрино» и более 30 лет было одной из загадок солнечной физики. Положение осложнилось тем, что нейтрино крайне слабо взаимодействует с веществом, и создание нейтринного детектора, который способен достаточно точно измерить поток нейтрино даже такой мощности, как исходящий от Солнца – достаточно непростая научная задача.

Предлагалось два главных пути решения проблемы солнечных нейтрино. Во-первых, можно было модифицировать модель Солнца таким образом, чтобы уменьшить предполагаемую температуру в его ядре и, следовательно, поток излучаемых Солнцем нейтрино. Во-вторых, можно было предположить, что часть электронных нейтрино, излучаемых ядром Солнца, при движении к Земле превращается в нерегистрируемые обычными детекторами нейтрино других поколений (мюонные и тау-нейтрино). Сегодня ученые склоняются, что правильным, скорее всего, является второй путь. Для того, чтобы имел место переход одного сорта нейтрино в другой – так называемые «нейтринные осцилляции» – нейтрино должно иметь отличную от нуля массу. В настоящее время установлено, что это вроде действительно так. В 2001 г. в нейтринной обсерватории в Садбери были непосредственно зарегистрированы солнечные нейтрино всех трёх сортов и было показано, что их полный поток согласуется со стандартной солнечной моделью. При этом только около трети долетающих до Земли нейтрино оказываются электронными. Это количество согласуется с теорией, которая предсказывает переход электронных нейтрино в нейтрино другого поколения как в вакууме (собственно «нейтринные осцилляции»), так в солнечном веществе («эффект Михеева-Смирнова-Вольфенштейна»). Таким образом, в настоящее время проблема солнечных нейтрино, по-видимому, решена.

Проблема нагрева короны. Над видимой поверхностью Солнца (фотосферой), имеющей температуру около 6 000 К, находится солнечная корона с температурой более 1 000 000 К. Можно показать, что прямого потока тепла из фотосферы недостаточно для того, чтобы привести к такой высокой температуре короны.

Предполагается, что энергия для нагрева короны поставляется турбулентными движениями подфотосферной конвективной зоны. При этом для переноса энергии в корону предложено два механизма. Во-первых, это волновое нагревание – звук и магнитогидродинамические волны, генерируемые в турбулентной конвективной зоне, распространяются в корону и там рассеиваются, при этом их энергия переходит в тепловую энергию корональной плазмы. Альтернативный механизм – магнитное нагревание, при котором магнитная энергия, непрерывно генерируемая фотосферными движениями, высвобождается путём пересоединения магнитного поля в форме больших солнечных вспышек или же большого количества мелких вспышек.

В настоящий момент неясно, какой тип волн обеспечивает эффективный механизм нагрева короны. Можно показать, что все волны, кроме магнитогидродинамических альвеновских, рассеиваются или отражаются до того, как достигнут короны, диссипация же альвеновских волн в короне затруднена. Поэтому современные исследователи сконцентрировали основное внимание на механизм нагревания с помощью солнечных вспышек. Один из возможных кандидатов в источники нагрева короны – непрерывно происходящие мелкомасштабные вспышки, хотя окончательная ясность в этом вопросе ещё не достигнута.

P.S. После прочтения о «Теоретических проблемах термоядерного синтеза на Солнце» необходимо вспомнить о «Бритве Оккама». Здесь в объяснениях теоретических проблем явно используются надуманные нелогичные теоретические объяснения.

9. Типы термоядерного топлива. Термоядерное горючее

Управляемый термоядерный синтез (УТС) – синтез более тяжёлых атомных ядер из более лёгких с целью получения энергии, который, в отличие от взрывного термоядерного синтеза (используемого в термоядерном оружии), носит управляемый характер. Управляемый термоядерный синтез отличается от традиционной ядерной энергетики тем, что в последней используется реакция распада, в ходе которой из тяжёлых ядер получаются более лёгкие ядра. В основных ядерных реакциях, которые планируется использовать в целях осуществления управляемого термоядерного синтеза, будут применяться дейтерий (^2H) и тритий (^3H), а в более отдалённой перспективе гелий-3 (^3He) и бор-11 (^{11}B)

Типы реакций. Реакция синтеза заключается в следующем: берутся два или больше атомных ядра и с применением некоторой силы сближаются настолько, что силы, действующие на таких расстояниях, преобладают над силами кулоновского отталкивания между одинаково заряженными ядрами, в результате чего формируется новое ядро. Оно будет иметь несколько меньшую массу, чем сумма масс исходных ядер, а разница становится энергией, что выделяется в процессе реакции. Количество выделяемой энергии описывает известная формула $E = mc^2$. Более легкие атомные ядра проще свести на нужное расстояние, поэтому водород – самый распространенный элемент во Вселенной – является наилучшим горючим для реакции синтеза.

Установлено, что смесь двух изотопов водорода, дейтерия и трития, требует менее всего энергии для реакции синтеза по сравнению с энергией, выделяемой во время реакции. Однако, хотя смесь дейтерия и трития (D-T) является предметом большинства исследований синтеза, она в любом случае не является единственным видом потенциального горючего. Другие смеси могут быть проще в производстве; их реакция может надежнее контролироваться, или, что более важно, продуцировать меньше нейтронов. Особенную заинтересованность вызывают, так называемые «безнейтронные» реакции, поскольку успешное промышленное использование такого горючего будет означать отсутствие долговременного радиоактивного загрязнения материалов и конструкции реактора, что, в свою очередь, могло бы положительно повлиять на общественное мнение и на общую стоимость эксплуатации реактора, существенно уменьшив затраты на его декомиссию. Проблемой остается то, что реакцию синтеза с использованием альтернативных видов горючего намного сложнее поддерживать, потому D-T реакция считается только необходимым первым шагом.

Схема реакции дейтерий-тритий. Управляемый термоядерный синтез может использовать различные виды термоядерных реакций в зависимости от вида применяемого топлива.

Самая легко осуществимая реакция – дейтерий + тритий:



Такая реакция наиболее легко осуществима с точки зрения современных технологий, даёт значительный выход энергии, топливные компоненты дешевы. Недостаток её – выход нежелательной нейтронной радиации.

Два ядра: дейтерия и трития сливаются, с образованием ядра гелия (альфа-частица) и высокоэнергетического нейтрона.

Реакция – дейтерий + гелий-3 существенно сложнее, на пределе возможного, осуществить реакцию дейтерий + гелий-3:



Условия её достижения значительно сложнее. Гелий-3 кроме того, является редким и чрезвычайно дорогим изотопом. В промышленных масштабах на настоящее время не производится.

Реакция между ядрами дейтерия (D-D, монотопливо).

Так же возможны реакции между ядрами дейтерия, они идут немного труднее реакции с участием гелия-3.

Эти реакции медленно протекают параллельно с реакцией дейтерий + гелий-3, а образовавшиеся в ходе них тритий и гелий-3 с большой вероятностью немедленно реагируют с дейтерием.

Другие типы реакций. Возможны и некоторые другие типы реакций. Выбор топлива зависит от многих факторов – его доступность и дешевизна, энергетический выход, лёгкость достижения требующихся для реакции термоядерного синтеза условий (в первую очередь, температуры), необходимых конструктивных характеристик реактора и проч.

«Безнейтронные» реакции. Наиболее перспективны т. н. «безнейтронные» реакции, так как порождаемый термоядерным синтезом нейтронный поток (например, в реакции дейтерий-третий) уносит значительную часть мощности и порождает наведенную радиоактивность в конструкции реактора. Реакция дейтерий – гелий-3 является перспективной в том числе и по причине отсутствия нейтронного выхода.

10. Классические представления о условиях реализации. термоядерного синтеза и управляемых термоядерных реакторах

ТОКАМАК (ТОроидальная КАмера с МАгнитными Катушками) – тороидальная установка для магнитного удержания плазмы. Плазма удерживается не стенками камеры, которые не способны выдержать её температуру, а специально создаваемым магнитным полем. Особенностью ТОКАМАКа является использование электрического тока, протекающего через плазму для создания полоидального поля, необходимого для равновесия плазмы.

УТС возможен при одновременном выполнении двух критериев:

- температура плазмы должна быть больше 100 000 000 К;
- соблюдение критерия Лоусона: $n \cdot t > 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}\text{с}$ (для реакции D-T), где n – плотность высокотемпературной плазмы, t – время удержания плазмы в системе.

Считается, теоретически, что именно от значения этих двух критериев в основном зависит скорость протекания той или иной термоядерной реакции.

В настоящее время управляемый термоядерный синтез ещё не осуществлён в промышленных масштабах. Хотя в развитых странах построено, в общем, несколько десятков управляемых термоядерных реактора, но они не могут обеспечить управляемый термоядерный синтез. Строительство международного исследовательского реактора ITER находится в начальной стадии.

Рассматриваются две принципиальные схемы осуществления управляемого термоядерного синтеза.

Квазистационарные системы. Нагрев и удержание плазмы осуществляется магнитным полем при относительно низком давлении и высокой температуре. Для этого применяются реакторы в виде ТОКАМАКов, стеллараторов, зеркальных ловушек и торсатронов, которые отличаются конфигурацией магнитного поля. Реактор ITER имеет конфигурацию ТОКАМАКа.

Импульсные системы. В таких системах УТС осуществляется путем кратковременного нагрева небольших мишеней, содержащих дейтерий и тритий, сверхмощными лазерными или ионными импульсами. Такое облучение вызывает последовательность термоядерных микровзрывов.

Исследования первого вида термоядерных реакторов существенно более развиты, чем второго. В ядерной физике, при исследованиях термоядерного синтеза, для удержания плазмы в некотором объёме используется магнитная ловушка. Магнитная ловушка призвана удерживать плазму от

контакта с элементами термоядерного реактора, т.е. используется в первую очередь как теплоизолятор. Принцип удержания основан на взаимодействии заряженных частиц с магнитным полем, а именно на вращении заряженных частиц вокруг силовых линий магнитного поля. К сожалению, замагниченная плазма очень не стабильна и стремится покинуть магнитное поле. Поэтому для создания эффективной магнитной ловушки используются самые сверхмощные электромагниты, потребляющее огромное количество энергии.

Можно уменьшить размер термоядерного реактора, если в нем использовать одновременно три способа создания термоядерной реакции.

Инерционный синтез. Облучать крошечные капсулы дейтериево-тритиевого топлива лазером мощностью 500 трлн ($5 \cdot 10^{14}$) Вт. Этот гигантский, очень кратковременный лазерный импульс 10^{-8} с приводит к взрыву топливных капсул, в результате чего на доли секунды рождается мини-звезда. Но термоядерной реакции на нем не достигнуть.

Одновременно использовать Z-machine с ТОКАМАКом. Z-машина действует иначе чем лазер. Она пропускает через паутину тончайших проводов, окружающих топливную капсулу, заряд мощностью в полтриллиона ватт $5 \cdot 10^{11}$ Вт.

Далее происходит, примерно, то же самое, что и с лазером.

Реакторы первого поколения будут, вероятнее всего, работать на смеси дейтерия и трития. Нейтроны, которые появляются в процессе реакции, поглощаются защитой реактора, а выделяющееся тепло будет использоваться для нагревания теплоносителя в теплообменнике, и эта энергия, в свою очередь, будет использоваться для вращения генератора.

Существуют, в теории, альтернативные виды горючего, которые лишены указанных недостатков. Но их использованию препятствует фундаментальное физическое ограничение. Чтобы получить достаточное количество энергии из реакции синтеза, необходимо удерживать достаточно плотную плазму при температуре синтеза (10^8 К) на протяжении определенного времени.

Этот фундаментальный аспект синтеза описывается произведением густоты плазмы n на время содержания нагретой плазмы τ , что требуется для достижения точки равновесия. Произведение $n\tau$ зависит от типа горючего и является функцией температуры плазмы. Из всех видов горючего дейтерий-тритиевая смесь требует самого низкого значения $n\tau$ по меньшей мере на порядок, и самую низкую температуру реакции, по меньшей мере в 5 раз. Таким образом, D-T реакция является необходимым первым шагом, однако использование других видов горючего остается важной целью исследований.

11. Реакция синтеза в качестве промышленного источника электроэнергии

Энергия синтеза рассматривается многими исследователями в качестве «естественного» источника энергии в долгосрочной перспективе. Сторонники коммерческого использования термоядерных реакторов для производства электроэнергии приводят следующие аргументы в их пользу:

- практически неисчерпаемые запасы топлива (водород);
- топливо можно добывать из морской воды на любом побережье мира, что делает невозможным монополизацию горючего одной или группой стран;
- невозможность неуправляемой реакции синтеза;
- отсутствие продуктов сгорания;
- нет необходимости использовать материалы, которые могут быть использованы для производства ядерного оружия, таким образом, исключается случаи саботажа и терроризма;

- по сравнению с ядерными реакторами, вырабатывается незначительное количество радиоактивных отходов с коротким периодом полураспада.

Оценивают, что наперсток, наполненный дейтерием, производит энергию, эквивалентную 20 тоннам угля. Озеро среднего размера в состоянии обеспечить любую страну энергией на сотни лет. Однако следует заметить, что существующие исследовательские реакторы спроектированы для достижения прямой дейтериево-тритиевой (DT) реакции, цикл топлива которой требует использования лития для производства трития, тогда как заявления о неисчерпаемости энергии касаются использования дейтериево-дейтериевой (DD) реакции во втором поколении реакторов.

Так же, как и реакция деления, реакция синтеза не производит атмосферных выбросов углекислоты, что является главным вкладом в глобальное потепление. Это является значительным преимуществом, поскольку использование горючих ископаемых для производства электроэнергии имеет своим следствием то, что, например, в США производится 29 кг CO₂ (один из основных газов, которые могут считаться причиной глобального потепления) на жителя США в день.

12. Уже есть сомнения

Страны Европейского Сообщества тратят около 200 млн евро ежегодно на исследования, и прогнозируется, что нужно еще несколько десятилетий пока промышленное использование ядерного синтеза станет возможным. Сторонники альтернативных источников электроэнергии считают, что было бы целесообразнее направить эти средства на внедрение возобновляемых источников электроэнергии.

К сожалению, невзирая на распространенный оптимизм (распространенный начиная с 1950-х годов, когда первые исследования начались), существенные препятствия между сегодняшним пониманием процессов ядерного синтеза, технологическими возможностями и практическим использованием ядерного синтеза до сих пор не преодолены, неясным является даже насколько может быть экономически выгодно производство электроэнергии с использованием термоядерного синтеза. Хотя прогресс в исследованиях является постоянным, исследователи то и дело сталкиваются с новыми проблемами. Например, проблемой является разработка материала, способного выдержать нейтронную бомбардировку, что, как оценивается, должно быть в 100 раз интенсивнее, чем в традиционных ядерных реакторах.

13. Классическое представление о предстоящих этапах в создании управляемого термоядерного реактора

Различают следующие этапы в исследованиях.

Равновесие или режим «перевала»: когда общая энергия что выделяется в процессе синтеза равняется общей энергии тратящей на запуск и поддержку реакции. Это соотношение помечают символом Q . Равновесие реакции было продемонстрировано на JET в Великобритании в 1997 г. Затратив на его разогрев 52 МВт электроэнергии, на выходе ученые получили мощность на 0,2 МВт выше затраченной. (Необходимо перепроверить эти данные!)

Пылающая плазма: промежуточный этап, на котором реакция будет поддерживаться главным образом альфа-частицами, что продуцируются в процессе реакции, а не внешним подогревом.

$Q \approx 5$. До сих пор промежуточный этап не достигнутый.

Воспламенение: стабильная реакция, что поддерживает саму себя. Должна достигаться при больших значениях Q . До сих пор не достигнуто.

Следующим шагом в исследованиях должен стать ITER, Международный Термоядерный Экспериментальный Реактор. На этом реакторе планируется провести исследование поведения высокотемпературной плазмы (пылающая плазма с $Q \approx 30$) и конструктивных материалов для промышленного реактора.

Окончательной фазой исследований станет DEMO: прототип промышленного реактора, на котором будет достигнуто воспламенение, и продемонстрирована практическая пригодность новых материалов. Самые оптимистичные прогнозы завершения фазы DEMO: 30 лет. Учитывая ориентировочное время на построение и введение в эксплуатацию промышленного реактора, нас отделяет ≈ 40 лет от промышленного использования термоядерной энергии.

14. Всё это надо обдумать

В мире было построены десятки, а может быть и сотни экспериментальных термоядерных реакторов разных габаритов. Учёные приходят на работу, включают реактор, реакция быстро происходит, вроде бы, выключают, и сидят и думают. В чём же причина? Что делать дальше? И так десятилетиями, безрезультатно.

Итак, выше была изложена история человеческого понимания о термоядерном синтезе на Солнце и история о достижениях человечества по созданию управляемого термоядерного реактора.

Пройден большой путь и сделано много, для достижения конечной цели. Но, к сожалению, результат отрицательный. Управляемый термоядерный реактор не создан. Ещё лет 30...40 и обещания учёных будут выполнены. А будут ли? 60 лет нет результата. Почему он должен получиться через 30...40 лет, а не через три года?

Есть другое представление о термоядерном синтезе на Солнце. Оно логичное, простое и реально приводит к положительному результату. Это открытие В.Ф. Власова. Благодаря этому открытию могут заработать в ближайшее время даже ТОКАМАКи.

15. Новый взгляд на природу термоядерного синтеза на Солнце и изобретение «Способ управляемого термоядерного синтеза и управляемый термоядерный реактор для осуществления управляемого термоядерного синтеза»

От автора. Этому открытию и изобретению почти 20 лет. Я долго сомневался в том, что нашёл новый способ проведения термоядерного синтеза и для его реализации новый термоядерный реактор. Мною были исследованы и изучены сотни работ в области термоядерного синтеза. Время и переработанная информация убедили меня, что я на правильном пути.

На первый взгляд изобретение очень простое и, совсем не похоже на экспериментальный термоядерный реактор типа ТОКАМАК. В современных представлениях авторитетов от науки ТОКАМАК это единственно правильное решение и обсуждению не подлежит. 60 лет идее термоядерного реактора. Но положительный результат – рабочий термоядерный реактор с управляемым термоядерным синтезом ТОКАМАК обещают только лет через 30...40. Наверное, если 60 лет нет реального положительного результата, значит выбранный способ технического решения идеи – создание управляемого термоядерного реактора – мягко говоря, неверный, или недостаточно реальный. Попробуем показать, что есть другое решение этой идеи на базе открытия о термоядерном синтезе на Солнце, и оно отличается от общепринятых представлений.

Открытие. Главная идея открытия очень простая и логичная, и заключается в том, что *термоядерные реакции происходят в области солнечной короны*. Именно здесь существуют необходимые физические условия для реализации термоядерной реакции. От Солнечной короны, где температура плазмы составляет примерно 1 500 000 К, нагревается поверхность Солнца до

6 000 К, отсюда с кипящей поверхности Солнца происходит испарение топливной смеси в солнечную корону, Температуры в 6 000 К достаточно, чтобы топливная смесь в виде испаряющихся паров преодолела силу гравитации Солнца. Это и защищает поверхность Солнца от перегрева и поддерживает температуру его поверхности.

Около зоны горения – солнечной короны существуют физические условия, при которых размеры атомов должны изменяться и при этом значительно снижаться кулоновские силы. При соприкосновении атомы топливной смеси сливаются и синтезируют новые элементы с большим выделением тепла. Эта зона горения и создаёт солнечную корону, от которой энергия в виде излучения и вещества поступает в космическое пространство. В слиянии дейтерия и трития помогает магнитное поле вращающегося Солнца, где они перемешиваются и разгоняются. Также от зоны термоядерной реакции в солнечной короне появляются и двигаются с большой энергией, навстречу испаряющемуся топливу, быстрые электрически заряженные частицы, а так же фотоны – кванты электромагнитного поля, всё это создаёт необходимые физические условия для термоядерного синтеза.

В классических представлениях физиков термоядерный синтез, почему то не относят к процессу горения (здесь не имеется ввиду окислительный процесс). Авторитеты от физики придумали, что термоядерный синтез на Солнце повторяет вулканический процесс на планете, например, Земля. Отсюда все рассуждения, используется приём подобия. Не существует доказательств того, что ядро планеты Земля имеет расплавленное жидкое состояние. До таких глубин даже геофизика не может добраться. То, что существуют вулканы нельзя считать доказательством жидкого ядра Земли. В недрах Земли, особенно на небольших глубинах, есть физические процессы, которые авторитетным физикам пока неизвестны. В физике нет ни единого доказательства, что в недрах, какой либо звезды происходит термоядерный синтез. Да и в термоядерной бомбе термоядерный синтез совершенно не повторяет модель в недрах Солнца.

На каком основании научные авторитеты утверждают, что термоядерный синтез происходит в недрах Солнца, а не на его поверхности?

При внимательном визуальном изучении Солнце похоже на сферическую объёмную горелку и очень напоминает горение на большой поверхности земли, где между границей поверхности и зоной горения (прототип солнечной короны) есть промежуток, через которую к поверхности земли передаётся тепловое излучение, которое испаряет, например, разлитое топливо и эти подготовленные пары поступают в зону горения.

Понятно, что на поверхности Солнца, такой процесс происходит при иных, других физических условиях. Подобные физические условия, достаточно близкие по параметрам, были заложены в разработку конструкции управляемого термоядерного реактора, Краткое описание и принципиальная схема которого изложены в заявке на патент излагаемой ниже.

Реферат заявки на патент №2005123095/06(026016).

«Способ управляемого термоядерного синтеза и управляемый термоядерный реактор для осуществления управляемого термоядерного синтеза».

Объясняю способ и принцип работы заявленного управляемого термоядерного реактора для осуществления управляемого термоядерного синтеза.

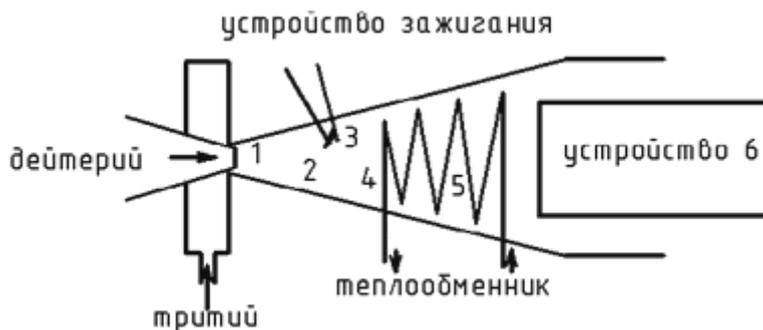


Рис. 1. Упрощённая принципиальная схема УТЯР

На рис. 1 изображена принципиальная схема УТЯР. Топливная смесь, в массовом соотношении 1:10, сжатая до 3000 кг/см^2 и нагретая до 3000°C , в зоне 1 смешивается и поступает через критическое сечение сопла в зону расширения 2. В зоне 3 происходит зажигание топливной смеси. Температура искры зажигания может быть любой необходимой для начала термического процесса – от $10^9 \dots 10^8 \text{ K}$ и ниже, это зависит от создаваемых необходимых физических условий.

В высокотемпературной зоне 4 происходит непосредственно процесс горения. Продукты сгорания передают тепло в виде излучения и конвекции системе теплообмена 5 и навстречу поступающей топливной смеси. Устройство 6 в активной части реактора от критического сечения сопла до конца зоны горения, помогает изменять величину кулоновских сил и увеличивает эффективное сечение ядер топливной смеси (создаёт необходимые физические условия).

По схеме видно, что реактор похож на газовую горелку. Но термоядерный реактор и должен быть таким, и конечно, физические параметры будут отличаться на величину в сотни раз от, например, физических параметров газовой горелки.

Повторение физических условий термоядерного синтеза на Солнце в земных условиях – это и есть сущность изобретения.

Любое теплогенерирующее устройство, в котором используется горение, должно создавать следующие условия – циклы: подготовка топлива, смешивание, подача в рабочую зону (зону горения), зажигание, сжигание (преобразование химическое или ядерное), теплоотвод от горячих газов в виде излучения и конвекции, и отвод продуктов сгорания. При опасных отходах – их утилизация. В заявленном патенте, всё это предусмотрено.

Основной довод физиков, о выполнении критерия Лоусена выполняется – во время зажигания электрической искрой или лучом лазера, а также отражающимися от зоны горения испаряющемуся топливу, быстрыми электрическими заряженными частицами, а так же фотонами – квантами электромагнитного поля с энергиями высокой плотности достигается температура $10^9 \dots 10^8 \text{ K}$ на некоторую минимальную площадь топлива, кроме того и плотность топлива будет 10^{14} см^{-3} . Разве это не способ и метод для выполнения критерия Лоусена. Но все эти физические параметры могут изменяться, при воздействии внешних факторов на некоторые другие физические параметры. Это пока ноу-хау.

Рассмотрим причины невозможности реализации термоядерного синтеза в известных термоядерных реакторах.

16. Недостатки и проблемы общепринятых представлений в физике о термоядерной реакции на Солнце

1. Известно. Температура видимой поверхности Солнца – фотосферы – 5800 K . Плотность газа в фотосфере в тысячи раз меньше плотности воздуха у поверхности Земли. Общепринятым

считается, что внутри Солнца температура, плотность и давление увеличиваются с глубиной, достигая в центре соответственно 16 млн К (некоторые, считают 100 млн К), 160 г/см^3 и $3,5 \cdot 10^{11}$ бар. Под влиянием высокой температуры в ядре Солнца водород превращается в гелий с выделением большого количества тепла. Итак, считается, что температура, внутри Солнца от 16 до 100 млн градусов, на поверхности 5800 градусов, а в солнечной короне от 1 до 2 млн градусов? Почему такая несуразица? Никто внятно и понятно объяснить этого не может. Известные общепринятые объяснения имеют недостатки и не дают четкого и достаточного представления о причинах нарушения законов термодинамики на Солнце.

2. Термоядерная бомба и термоядерный реактор работают на разных технологических принципах, т.е. неодинаково похоже. Нельзя термоядерный реактор создавать по подобию работы термоядерной бомбы, что упущено при разработке современных экспериментальных термоядерных реакторов.

3. В 1920 г. авторитетный физик Эддингтон осторожно высказал предположение о природе термоядерной реакции на Солнце, что давление и температура в недрах Солнца настолько высоки, что там могут идти термоядерные реакции, при которой ядра водорода (протоны) сливаются в ядро гелия-4. В настоящее время это общепринятое представление. Но с тех пор нет никаких доказательств о том, что термоядерные реакции происходят в ядре Солнца при 16 млн. К (некоторые физики считают 100 млн. К), плотности 160 г/см^3 и давлении $3,5 \times 10^{11}$ бар, есть только теоретические предположения. Термоядерные реакции же в солнечной короне доказательны. Это несложно обнаружить и измерить.

4. Проблема солнечных нейтрино. Ядерные реакции, происходящие в ядре Солнца, приводят к образованию большого количества электронных нейтрино. Образование, превращения и количество солнечных нейтрино по старым представлениям не объясняются понятно и достаточно несколько десятков лет. В новых представлениях о термоядерном синтезе на Солнце этих теоретических трудностей нет.

5. Проблема нагрева короны. Над видимой поверхностью Солнца (фотосферой), имеющей температуру около 6 000 К, находится солнечная корона с температурой более 1 500 000 К. Можно показать, что прямого потока тепла из фотосферы недостаточно для того, чтобы привести к такой высокой температуре короны. Новое понимание термоядерного синтеза на Солнце объясняет природу такой температуры солнечной короны. Именно в ней происходят термоядерные реакции.

6. Физики забывают, что ТОКАМАКи в основном нужны, чтобы удержать высокотемпературную плазму и не более того. В существующих и создающихся ТОКАМАКах не предусмотрено создание необходимых, специальных, физических условий для проведения термоядерного синтеза. Этого, почему то, никто не понимает. Все упрямо считают, что при многомиллионных температурах дейтерий с тритием должны хорошо гореть. С чего бы вдруг? Ядерная мишень просто быстро взрывается, а не горит. Посмотрите внимательно, как происходит ядерное горение в ТОКАМАКе. Такой ядерный взрыв может удержать только сильное магнитное поле реактора очень больших размеров (легко просчитывается), но тогда к.п.д. такого реактора будет неприемлемым для технического применения. В заявленном патенте проблема удержания термоядерной плазмы легко решается.

Объяснения учёных о процессах, которые происходят в недрах Солнца недостаточны для понимания термоядерного синтеза в глубине. Никто достаточно хорошо не рассматривал процессы подготовки топлива, процессы теплообмена, на глубине, в очень сложных критических условиях. Например, как, при каких условиях, образуется плазма на глубине, в которой происходит термоядерный синтез? Как она себя ведёт и т.д. Ведь именно подобным образом технически устроены ТОКАМАКи.

Итак, новое представление о термоядерном синтезе решает все существующие технические и теоретические проблемы в этой области.

P.S. Сложно предлагать простые истины людям, которые десятилетия верили в мнения (предположения) научных авторитетов. Чтобы понять о чём новое открытие, достаточно самостоятельно пересмотреть то, что было для себя догмой многие годы. Если новое предположением о природе физического эффекта вызывает сомнение в истинности старых предположений, докажи истину в первую очередь себе. Так должен поступать каждый настоящий учёный. Открытие о термоядерном синтезе в солнечной короне доказывается в первую очередь визуально. Термоядерное горение происходит не в недрах Солнца, а на его поверхности. Это особое горение. На многих фотографиях и снимках Солнца видно как идёт процесс горения, как идёт процесс образования плазмы.

Литература и ссылки:

1. [Управляемый термоядерный синтез](#). Википедия.
2. Велихов Е.П., Мирнов С.В. [Управляемый термоядерный синтез выходит на финишную прямую](#). Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований. Российский научный центр «Курчатовский институт», 2006.
3. Ллуэллин-Смит К. [На пути к термоядерной энергетике](#). Материалы лекции, прочитанной 17 мая 2009 г. в ФИАНе.
4. [Энциклопедия Солнца](#). Тесис, 2006.
5. [Солнце](#). Астронет.
6. [Солнце и жизнь Земли](#). Радиосвязь и радиоволны.
7. [Солнце и Земля](#). Единые колебания.
8. [Солнце](#). Солнечная система. Общая астрономия. [Проект «Астрогалактика»](#).
9. [Путешествие из центра Солнца](#). Популярная механика, 2008.
10. [Солнце](#). Физическая энциклопедия.
11. [Astronomy Picture of the Day](#).
12. [Горение](#). Википедия.

Дата публикации:

4 декабря 2010 года

Электронная версия:

© [НиТ](#). [Статьи](#), 1997

Поиск по n-t.ru:

[В начало сайта](#) | [Книги](#) | [Статьи](#) | [Журналы](#) | [Нобелевские лауреаты](#) | [Издания НиТ](#)
[Карта сайта](#) | [Совместные проекты](#) | [Журнал «Сумбур»](#)

© [МОО «Наука и техника»](#), 1997...2022

[Об организации](#) • [Аудитория](#) • [Связаться с нами](#) • [Разместить рекламу](#) • [Правовая информация](#)