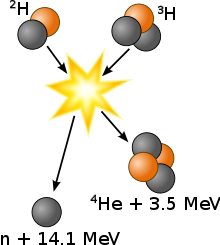
**Ядерний поділ і синтез**

Можна отримувати енергію як за рахунок керованого поділу ядер деяких елементів, так і за рахунок злиття дрібних ядер в більш великі в процесі так званої реакції термоядерного синтезу.

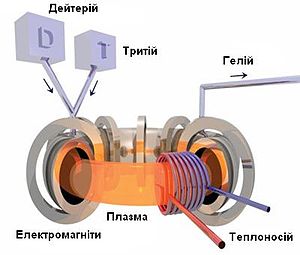
Відповідно до теорії відносності, маса являє собою особливу форму енергії, про що і свідчить відома формула Ейнштейна E = mc2. З неї випливає можливість перетворення маси в енергію і енергії в масу. І такі реакції на внутрішньоатомному рівні речовини реально мають місце. Зокрема, частина маси атомного ядра може перетворюватися в енергію, і відбувається це двома шляхами. По-перше, велике ядро може розпастися на кілька дрібних - такий процес називається ядерним поділом. По-друге, кілька дрібніших ядер можуть об'єднатися в одну більшу - це так званий синтез. Реакції ядерного синтезу у Всесвіті поширені дуже широко - досить згадати, що саме з них черпають енергію зірки. Ядерний поділ сьогодні служить одним з основних джерел енергії для людства - він використовується на атомних електростанціях. І при ядерному поділі, і при синтезі сукупна маса продуктів реакції менше сукупної маси реагентів. Саме ця різниця в масі і перетворюється в енергію за формулою E = mc2.

Найбільш простим шляхом отримати цю енергію є проведення ядерної реакції злиття (або синтезу) D + T -> He4 + n + 17,6 МеВ. На жаль - на відміну від хімічних реакцій, в пробірці вона не йде. Зате непогано йде, якщо суміш тритію і дейтерію нагріти до 100 млн градусів. При цьому атоми починають літати настільки швидко, що при зіткненні за інерцією проскакують зону кулонівського відштовхування і зливаються в заповітний гелій. Енергія виділяється у вигляді, так би мовити, осколків - дуже швидкого нейтрона, що відносить 80% енергії, і трохи менше швидкого ядра гелію (альфа-частинки). Зрозуміло при "робочої" температурі все речовина - плазма, тобто атоми існують окремо від електронів.



Швидкість реакції (і відповідно енерговиділення) залежить від двох параметрів - температури, вона повинна бути не менше ~ 50 млн С0, а краще 100-150 С0, і щільності плазми. Зрозуміло, що в щільній плазмі ймовірність зіткнення атомів дейтерію і тритію вище, ніж в розрядженій.

**Токама́к** — [тороїдальна](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D1%80_(%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F)) установка для [магнітного утримання плазми](https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B5_%D1%83%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%B8&action=edit&redlink=1). Пристрій призначений для здійснення реакції [термоядерного синтезу](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D1%8F%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7) в високотемпературній [плазмі](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%B7%D0%BC%D0%B0_(%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD)) в квазістаціонарному режимі, при цьому плазма утворюється в тороїдальній камері і її стабілізує [магнітне поле](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5). Енергія, що виділяється під час цієї реакції, повинна перевищити енергію, що витрачається для формування плазми і запуску реакції.

[](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Tokamak_principle.JPG)

***Принцип роботи реактора типу «токамак»***

Токамак за своїм принципом є електрофізичною установкою, основним призначенням якого є формування плазми (тобто розігрів газу до 100 млн градусів), досягнення її високої густини та досягнення її тривалого збереження в чітко визначеному об'ємі. Це дозволить здійснити термоядерну реакцію синтезу ядер гелію з вихідної сировини, ізотопів водню (дейтерію і тритію). У ході реакції повинна виділитись енергія, що значно перевищує енергію, витрачену на формування плазми.

Токамак по своїй суті має вигляд тора: тороїдальна [вакуумна камера](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%83%D0%BC%D0%BD%D0%B0_%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0), на яку намотаний провідник, який формує тороїдальне магнітне поле. Основне магнітне поле в камері-пастці, що містить гарячу плазму, утворюється тороїдальними магнітними котушками. Значну роль в утриманні плазми відіграє плазмовий струм, що протікає уздовж кругового плазмового шнура і створює магнітне поле спеціальної конфігурації.

Друге десятиліття [21 сторіччя](https://uk.wikipedia.org/wiki/XXI_%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%87%D1%87%D1%8F) можна охарактеризувати як завершальний етап доби експериментальних токамаків перед появою промислових термоядерних реакторів. Найбільші з існуючих установок містять в собі майже усі функціональні та технологічні системи майбутнього реактора.

Нині у світі функціонує понад 100 установок типу токамак.

Одним з найбільших світових проектів є Міжнародний Експериментальний Термоядерний Реактор ([англ.](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0" \o "Англійська мова) International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER) — проект, який передбачає побудову, випробовування і використання Міжнародного експериментального термоядерного реактора.

Проектування ITER повністю завершене, вибране місце його будівництва — дослідницький центр [«CEA-Cadarache»](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%88_(%D0%B4%D0%BE%D1%81%D0%BB%D1%96%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80)) (м. [Кадараш](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%80%D0%B0%D1%88_(%D0%BC%D1%96%D1%81%D1%82%D0%BE)), [Франція](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F)), розпочата реалізація інженерного проекту.

**ITER відноситься до термоядерним реакторів типу «токамак» - тороїдальна установка для магнітного утримання плазми з метою досягнення умов, необхідних для протікання керованого термоядерного синтезу. У вакуумній камері ядра дейтерію і тритію зливаються, з утворенням ядра гелію (альфа-частинки) і високоенергетичного нейтрона. Плазма в токамаку утримується не стінками камери, а комбінованим магнітним полем - тороідальним зовнішнім і полоідальним полем струму.**

**Простими словами - плазму в ядрі машини доведуть до 150 млн °С (тільки вдумайтеся - до 150 000 000 °C !!!) і почнуть отримувати доступну за ціною і екологічно чисту енергію.**

**Основна конструкція складається з 10 млн деталей. Це більше, ніж у Великому адронному колайдері. Загальна вага комплексу Токамак оцінюється в 360 тисяч тонн. Інженери називають споруду «паззлом з 10 мільйонів частин».**

**Плюси термоядерного реактора:**

**\* Запаси палива: запаси дейтерію у воді океанів невичерпні, вміст літію в земній корі в 200 разів більше, ніж урану.**

**\* Радіаційна біологічна небезпека термоядерних реакторів приблизно в тисячу разів нижче, ніж реакторів поділу.**

**\* Відсутність CO2, гірничих виробок, можливість розміщення реактора в будь-якому місці.**

**\* Відсутність «важких» радіоактивних відходів, які могли б бути використані для виготовлення «брудних» бомб.**

**\* Фізична неможливість розгону ( «вибуху») реактора.**

**У термоядерному реакторі фізично неможливий «розгінний» (вибуховий) характер процесу. Безпека термоядерного реактора забезпечується за рахунок реалізації концепції глибоко ешелонованої захисту, заснованого на застосуванні триступеневої системи фізичних бар'єрів на шляху поширення іонізуючого випромінювання, радіоактивних та токсичних речовин в навколишнє середовище, системи заходів щодо захисту фізичних бар'єрів і збереження їх ефективності, а також щодо захисту персоналу, населення і навколишнього середовища.**

**Проект ІТЕР відповідає наступній вимозі безпеки: при будь-яких аваріях рівень впливу на навколишнє середовище не вимагає евакуації населення.**

**В амбітному міжнародному проекті беруть участь ЄС, Китай, Росія, США**, [**Індія**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D0%B4%D1%96%D1%8F)**,** [**Республіка Корея**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B0_%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%B5%D1%8F)**,** [**Казахстан**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%85%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD)**,** [**Канада**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D0%B0)**,** [**Японія**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D1%96%D1%8F)**.**

**Термоядерний реактор, запропонований радянськими фізиками в 1985 році, був узгоджений на зустрічі президентів Рейгана і Горбачова. З тих пір йшла підготовка і проектування, в 2001 році підготовлений технічний проект, а в 2005 році країни-учасники визначилися з місцем будівництва - околиці міста Кадараш на півдні Франції.**

**Одні з найбільших компонентів термоядерного реактора робить підрядник CNIM. Він займався суднобудуванням, перш ніж переключився на точне машинобудування. Розташування заводу в Ла-Сейн-сюр-Мер в передмісті Тулона (Франція) на узбережжі є перевагою, тому що деякі з компонентів настільки громіздкі, що їх можна транспортувати тільки морем.**

**В одному з цехів гігантське свердло пробиває канали в D-образних сталевих петлях розміром близько 20 метрів. Вони виготовлені з особливо міцної сталі, так що карбідні свердла доводиться міняти кожні 8 хвилин.**

**Сім таких петель прикріплюються один до одного, щоб сформувати один з багатьох магнітів, контролюючих плазму при температурі 10 млн °C у вакуумній камері.**

**Петлі доставляються на завод в місті Спеція на півночі Італії, там інший підрядник закладає до 700 метрів надпровідного кабелю в кожну з них. Потім їх перевезуть до Венеції, там ще одна фірма Simic завершить збірку готових котушок тороїдального поля. Кожна котушка буде важити як повністю завантажений літак «Боїнг-747». Компанія Simic залучена і до виробництва інших петель, так що їм доводиться зробити круговий подорож в Спецію і назад.**

**Керівництво ITER спочатку обрало таку стратегію, коли підрядники борються за контракти, а різні деталі одного вузла іноді виробляються на різних континентах.**

**Будівництво дуже серйозне і дороге, до запуску і комерційної реалізації проекту ще як то кажуть: "треба дожити", але будемо сподіватися на краще.**

**Участь України в проекті.**

**Попри те, що між Україною і** [**ЄС**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%84%D0%A1) **існує договір про співпрацю в галузі термоядерного синтезу, на державному рівні участі в проекті ITER Україна досі не бере. Ймовірною причиною є брак фінансування науки державою, адже для повноцінної участі в проекті потрібно зібрати 1 млрд євро.**

**Однак, слід зазначити, що на рівні наукових інститутів, організацій та установ українські вчені беруть активну участь в проекті. Зокрема фахівці з України працюють над розробкою окремих елементів: оболонки, засоби та пристрої магнітної** [**діагностики**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%96%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0)[**реактора**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80)**.**

**Однією з форм співпраці українських та європейських вчених — це міжнародні проекти** [**Українського Науково-Технологічного Центру**](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE-%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%A6%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80) **(УНТЦ). Зокрема було виконано такі проекти, що стосувались даної галузі:**

**Проект № 3535 «Інтелектуальні гальваномагнітні засоби для діагностики магнітного поля ITER» (2005—2007рр).**

**Проект № 3988 «Радіаційностійкі холлівські зонди та пристрої для JET» (2007—2010рр).**