

ПЕРСПЕКТИВИ КЕРОВАНОГО ТЕРМОЯДЕРОГО СИНТЕЗУ: АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПРОРИВУ В NIF (США)

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто фізичні основи керованого термоядерного синтезу та проаналізовано останні досягнення в галузі інерційного утримання плазми. Увагу приділено експериментам у Національній установці запалювання (NIF, США), де вперше було досягнуто позитивного енергетичного балансу ($Q > 1$).

Ключові слова: керований термоядерний синтез, дейтрій-тритієве паливо, Національна установка запалювання (NIF), плазма

Abstract

The physical foundations of controlled thermonuclear fusion are considered and the latest achievements in the field of inertial plasma confinement are analyzed. Attention is paid to experiments at the National Ignition Facility (NIF, USA), where a positive energy balance ($Q > 1$) was achieved for the first time.

Keywords: controlled thermonuclear fusion, deuterium-tritium fuel, National Ignition Facility (NIF), plasma

Вступ

Світова енергетика може занепасти через дефіцит ресурсів та кліматичні зміни. Найбільш перспективним джерелом чистої та майже невичерпної енергії є керований термоядерний синтез. На відміну від ядерної енергетики, що відбувається при розщепленні важких ядер, як уран чи плутон, на легші, термоядерний синтез полягає в злитті легких ядер, що супроводжується величезним виділенням енергії.

Результати дослідження

Термоядерний синтез – це процес, під час якого два, або більше, атомні ядра об'єднуються формуючи важче ядро. Цей процес відбувається за надзвичайно високих температур та тиску, що дозволяє атомним ядрам подолати електростатичне відштовхування між ними.

Основний принцип термоядерного синтезу полягає в злитті ядер ізотопів водню. Для здійснення реакції синтезу слід витратити певну енергію на подолання сили електростатичного відштовхування між двома ядрами та звести їх на відстань, де почне діяти сильна взаємодія. Енергія, яка потрібна для подолання електростатичного відштовхування, називається кулонівським бар'єром. Кулонівський бар'єр найнижчий для ізотопів водню, оскільки вони мають у ядрі лише один протон. Найефективнішою є суміш дейтерію (^2H) та тритію (^3H), яка потребує 0,1 MeV для подолання енергетичного бар'єру і виділяє приблизно 17,6 MeV енергії, при створенні ядра гелію (^4He).

Енергія в реакції виділяється з дефекту мас, згідно з формулою Ейнштейна:

$$E = \Delta mc^2 \quad (1)$$

Реакція термоядерного синтезу здійснюється за рахунок кінетичної енергії, нагрітої до високих температур плазми. Переклавши 0,1 MeV у кельвіни отримаємо понад 1 GK, це надзвичайно висока температура. Явище термоядерного синтезу може виникати при дещо нижчих температурах, оскільки температура відображає середню кінетичну енергію, тобто частина ядер буде мати енергію вищу за 0,1 MeV, а решта матиме меншу енергію. Також ядра можуть подолати кулонівський бар'єр внаслідок квантового тунелювання і за меншої енергії. Імовірність такої події досить низька, однак це дозволяє реакції синтезу і за нижчих температур.

Для досягнення таких високих температур, вчені Національної установи запалювання (NIF) використовують метод інерційного утримання. Замість нагрівання плазми і утримання температури, 192 надпотужні лазери миттєво передають енергію в маленьку капсулу, яка містить ізотопи водню. Ключовим елементом установки є золота капсула. Лазерні промені взаємодіючи зі стінками золо-

тої капсули, створюють інтенсивне рентгенівське випромінювання, яке рівномірно стискає капсулу. Це дозволяє на короткий час створити тиск і температуру, достатні для подолання кулонівського бар'єру та запуску реакції синтезу.

Вперше вченим Національної установки запалювання (NIF) вдалося досягти успіху у грудні 2022 року, отримавши 3,15 МДж енергії витративши 2,05 МДж. Подальші експерименти змогли покращити результати. В лютому 2024 року, змогли отримати новий результат, отримавши 5,2 МДж енергій витративши тільки 2,2 МДж.

Висновки

Успіх експериментів у США доводить можливість отримання чистої енергії термоядерного синтезу. Проте для створення комерційних електростанцій залишаються низка проблем: підвищення ККД лазерних систем, налагодження циклу відтворення тритію, розробка матеріалів, здатних витримувати постійне нейтронне опромінення

Незважаючи на ці труднощі, результати NIF є важливим кроком для створення доступної та невичерпної енергетики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Breakthrough in laser fusion: 3.15 MJ fusion yield achieved at NIF. Focused Energy. 2022. URL: <https://www.focused-energy.co/nif-breakthrough-in-laser-fusion> (дата звернення: 02.03.2026).
2. Штучні зірки на Землі: чи можлива термоядерна енергетика? Фізика в Україні. URL: <https://www.fizykaua.com/post/shtuchni-zirky-na-zemli-chy-mozhlyva-termoyaderna-enerhetyka> (дата звернення: 02.03.2026).
3. Термоядерний синтез — шлях до необмеженої енергії. Фізика в Україні. URL: <https://www.fizykaua.com/post/termoyadernyy-syntezy-shlyakh-do-neobmezhenoyi-enerhiyi> (дата звернення: 02.03.2026).
4. Ядерний синтез. Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ядерний_синтез (дата звернення: 02.03.2026).

Бігун Дар'я Сергіївна — студентка групи ЗКН-25б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: darya.little@gmail.com

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальної фізики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: martynyuk.v.v@vntu.edu.ua

Bihun Darua Serhiivna — Department of Intellectual Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: darya.little@gmail.com

Supervisor: **Martynyuk Volodymyr Valeriyovych** — student of group ЗКН-25b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: martynyuk.v.v@vntu.edu.ua