

УДК 621.313.1

Федоришен В.В.

КЕРОВАНІЙ ТЕРМОЯДЕРНИЙ СИНТЕЗ

*Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, Хмельницьке шосе
95, 21021*

UDC 621.313.1

Vikentii Fedoryshen

CONTROLLED THERMONUCLEAR FUSION

Vinnitsa national technical university, Vinnitsa, Khmelnytske shosse 95, 21021

Розглянуто тему розвитку керованого термоядерного синтезу. В даній роботі приведено проблеми сучасних енергоресурсів, історія розвитку керованого термоядерного синтезу, також описано найлегше здійснення, та найпоширеніші реакції синтезу.

Ключові слова : Керований термоядерний синтез, реакції розпаду, дейтерій, тритій, гелій3, ядерний реактор.

Let us consider the subject of controlled thermonuclear fusion. In this paper, given the problems of modern energy history of development controlled thermonuclear fusion. It also describes the simple implementation and most frequently synthesis reaction.

Keywords: controlled nuclear fusion ,reaction decay, deutyriy, tryhiy, heliy3, a nuclear reactor.

Керований термоядерний синтез

Всім добре відомо роль енергетики в розвитку людства. На сьогоднішній день рівень цивілізації стрімко зростає. Але чи на довго вистачить традиційних видів енергії? Вчені на це питання відповідають досить негативно. З теперішніми темпами споживання енергії запасів вугілля вистачить на 100 – 130 років. Не кажучи вже про перспективи інших видів енергетичної сировини.

На кінець 20 століття у структурі енергетичних ресурсів України найбільшу частину становив природний газ – 27 млн. тонн, на вугілля припадало 18,2 млн. тонн, ядерної енергетики 17,3 млн. тонн, мазуту 9,2 млн тонн. Вище перераховані цифри свідчать про те, що в основному енергетичними ресурсами є газ і вугілля, а це значить, що ці джерела приречені

до вичерпання. Отже постає серйозна потреба в заміні цих ресурсів на інші. Сонце є найбільшим запасом енергії, але його внесок в сучасну енергетику поки що незначний, так як не створено ще величезних геліостанцій, які б здатні були перетворювати велику кількість сонячної енергії на електричну. Подібне становище й у вітроенергетиці. Тому доводиться розраховувати на розвиток енергетики великих потужностей, і зокрема – атомної, теплової, гідроенергетики.

Джерелом натхнення фізиків, що зайнялися проблемою керованих термоядерних реакцій, є можливе кардинальне розв'язання глобальної проблеми людства – енергетичної, і водночас питання екологічної безпеки, що тісно пов'язане з енергетикою. До того ж запасів основного термоядерного "пального" – важкого водню – дейтерію у воді Світового океану має вистачити на тисячоліття, а його використання є більш безпечним.

Вперше задачу з керованого термоядерного синтезу в [Радянському Союзі](#) сформулював і запропонував для неї деякий конструктивне рішення радянський фізик [Лаврентьєв О. А.](#) Крім нього важливий внесок у вирішення проблеми внесли такі видатні фізики, як [А. Д. Сахаров](#) і [І. Є. Тамм](#), а також [Л. А. Арцимович](#), який очолював радянську програму з керованого термоядерного синтезу з 1951 року.

Керований термоядерний синтез (КТС) - синтез більш важких атомних ядер з легших з метою отримання енергії, який, на відміну від вибухового термоядерного синтезу (використовуваного в [термоядерних вибухових пристроях](#)), носить керований характер. Керований термоядерний синтез відрізняється від традиційної [ядерної енергетики](#) тим, що в останній використовується [реакція розпаду](#), в ході якої з важких ядер виходять більш легкі ядра.

Реакція синтезу визначається у наступному: два або більше атомних ядра, після застосування на них певної сили зближуються настільки, щоб сили, що діють на таких відстанях, були більшими ніж сили кулонівського відштовхування, між однаково зарядженими ядрами, внаслідок чого сформується нове ядро. Від створення нового ядра виділяється досить велика

енергія сильної взаємодії. За відомою нам формулою $E = mc^2$, визволивши енергію, система нуклонів втратить частку своєї маси. Атомні ядра, які мають невеликий електричний заряд, легше звести на потрібну нам відстань, через це важкі ізотопи водню є одними з найкращих видів палива для реакції синтезу.

Добре відомо, що поєднання двох ізотопів, дейтерію і тритію, потребує найменше енергії для реакції синтезу в порівненні з енергією, що утворюється під час реакції. Однак, хоча суміш дейтерію та тритію (DT) є предметом більшості досліджень синтезу, вона в жодному разі не є єдиним видом потенційного пального. Багато інших сумішей можуть бути простішими у виробництві, їхня реакція може надійніше контролюватися, а також, що є не менш важливо, виробляти менше нейтронів. Досить цікавими є так звані «Безнейтронні» реакції, тому що успішне промислове використання такого пального означатиме відсутність довготривалого радіоактивного забруднення матеріалів та конструкцій реактора що, в свою чергу, могло б позитивно вплинути на громадську думку та на загальну вартість експлуатації реактора, суттєво зменшивши витрати на його декомісію. Проблемою залишається те, що реакцію синтезу з використанням альтернативних видів пального набагато складніше підтримувати, тому DT реакція вважається тільки необхідним першим кроком.

Сама легко здійсненна реакція - [дейтерій](#) + [тритій](#) :



Така реакція найбільш легко здійсненна з точки зору сучасних технологій, дає значний вихід енергії, паливні компоненти дешеві. Недолік - вихід небажаної нейтронної радіації.

Два ядра : дейтерію та тритію зливаються, з утворенням ядра гелію (альфа-частинки) і високоенергетичного нейтрона :



Істотно складніше, на межі можливого, здійснити реакцію [дейтерій](#) + [гелій-3](#)
 ${}^2\text{H} + {}^3\text{He} = {}^4\text{He} + p$ при енергетичному виході 18,4 MeV.

Тут все значно складніше. [Гелій-3](#), крім того, є досить рідкісним і дуже дорогим ізотопом. У промислових масштабах в даний час не проводиться.

Однак може бути отриманий з тритію, одержуваного в свою чергу на атомних електростанціях; також можна достати на супутнику Місяця.

Складність проведення термоядерної реакції можна характеризувати потрійним твором $nT\tau$ (Щільність на температуру на час утримання). За цим параметром реакція $D-^3He$ приблизно в 100 разів складніше, ніж DT.

Існує багато інших типів реакції, де вибір палива залежить від багатьох чинників та факторів. Зокрема питання стоїть у ціні, енергетичному виходу, важкості досягнення умов для потрібної реакції синтезу, також важливим є конструктивна характеристика реактора, та багато інших.

Самими перспективними реакціями є «Безнейтронні», через те що продовжувальний термоядерним синтезом є нейтронний потік, що забирає значну частину потужності, також породжує приведену радіоактивність в конструкції реактора. Реакція дейтерій + гелій-3 є перспективною в тому числі й через відсутність нейтронного виходу.



Для виконання керованого термоядерного синтезу, потрібно виконати дві умови:

Швидкість співудару ядер відповідає температурі плазми:

$$T > 10^8 \text{ K (для реакції DT).}$$

Дотримання критерію Лоусона :

$$n\tau > 10^{14} \text{ см}^{-3} \text{ с (для реакції DT),}$$

де n - щільність високотемпературної плазми, τ - час утримання плазми в системі.

Від цих двох критеріїв залежить протікання тієї чи іншої термоядерної реакції.

Термоядерний реактор набагато безпечніше [ядерного реактора](#) в [радіаційному](#) відношенні. Перш за все, кількість [радіоактивних](#) речовин які знаходяться в ньому порівняно невелика. Енергія, яка може виділитися в результаті якої-небудь аварії, теж мала і не може привести до руйнування реактора. При цьому в конструкції реактора є кілька природних бар'єрів, що перешкоджають поширенню радіоактивних речовин. Наприклад, вакуумна камера і оболонка [кріостата](#) повинні бути герметичними, інакше реактор просто не зможе працювати. Тим не менш, при проектування ІТЕР велика увага приділялася радіаційної безпеки як при нормальній експлуатації, так і під час можливих аварій.

В даний час керований термоядерний синтез ще не здійснено в промислових масштабах. Будівництво міжнародного експериментального термоядерного реактора (ІТЕР) знаходиться в початковій стадії.

Критики вказують, що питання про рентабельність ядерного синтезу у виробництві електроенергії в загальних цілях залишається відкритим. У тому ж дослідженні, проведеному на замовлення Бюро науки і техніки британського парламенту, вказується, що собівартість виробництва електроенергії з використанням термоядерного реактора буде, ймовірно, у верхній частині спектру вартості традиційних джерел енергії. Багато буде залежати від доступної в майбутньому технології, структури і регулювання ринку. Вартість електроенергії безпосередньо залежить від ефективності використання, тривалості експлуатації і вартості декомісії [реактора](#) .

Література:

1. Кадомцев Б.Б. Пистунович В.И. Ядерная энергетика. Москва. 1994.
2. Ефремов И.В. На пути к термоядерному реактору. Москва. 1993.
3. Хвесюк В.И. Чирков А.Ю. Анализ топливных циклов термоядерных реакторов. Вопросы термоядерной науки и техники. Серия термоядерный синтез.2000. Вып. 3. С.28-35

4.Филатов О.Г. Завершение технического проекта ИТЭР. Вопросы термоядерной науки и техники. Серия термоядерный синтез. 2002. Вып. 1. С.3-11

5. Кучай С.А. Будущее ИТЭР. Вопросы термоядерной науки и техники. Серия термоядерный синтез. 2002. Вып. 2. С.12-1