

КОМПЛЕКС НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «НОВІТНЯ НЕТРАДИЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЇЇ ПОТЕНЦІАЛ»

1. ПИТАННЯ ДЛЯ ЗАЛІКОВОЇ РОБОТИ

1. Економічні та екологічні аспекти ядерного синтезу.
2. Порівняння ядерних та хімічних реакцій.
3. Порівняння термоядерної і ядерної енергетики.
4. Фізичні механізми глобального потепління.
5. Ядерна енергія ділення. Ядерна енергія синтезу. Енергія зв'язку.
6. Ядерний синтез у Сонці та зірках. Гравітаційне утримання. Формування важких атомів.
7. Поняття перерізу реакції, довжини вільного пробігу та частоти зіткнень. Швидкість реакцій.
8. Функції розподілу. Перерізи реакцій ядерного синтезу. Щільність потужності ядерного синтезу.
9. Загальний баланс потужності в термоядерному реакторі.
10. Баланс потужності в плазмі: критерій запалювання.
11. Баланс потужності в реакторі: фізичний коефіцієнт посилення.
12. Баланс потужності в реакторі: інженерний коефіцієнт посилення.
13. Основні інженерні та фізичні обмеження магнітного термоядерного реактора.
14. Загальні характеристики магнітного термоядерного реактора. Критичні параметри реактора.
15. Розрахунок параметрів загального магнітного термоядерного реактора.
16. Магнітний момент та відзеркалення. Відкриті пастки.
17. Методи магнітного утримання плазми: токамаки.
18. Методи магнітного утримання плазми: стеларатори.
19. Додатковий нагрів нейтральними атомами та високочастотними радіохвилями.
20. Взаємодія плазма-стінка. Дівертори та лімітери.
21. Великі токамаки: JET, TFTR, JT-60. Експерименти з трітієм.
22. Загальний огляд токамака ITER.
23. Модель та основні параметри конструкції ITER.
24. Ідея інерційного синтезу.
25. Використання лазерів для інерційного стискання плазми. Принцип роботи лазера.

26. Конструкція мішені. Прямий та непрямий нагрів.
27. Альтернативні драйвери для лазерного інерційного синтезу.
28. Великі системи лазерного інерційного синтезу (NIF, Laser Megajoule).
29. Концептуальні дослідження і демонстраційні електростанції.
30. Невирішені питання і проблеми в термоядерних дослідженнях.

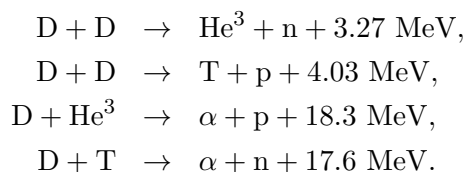
2. ПРИКЛАДИ ЗАВДАНЬ СЕМЕСТРОВИХ ЕКЗАМЕНІВ

Завдання: Деякі студенти, що вивчають термоядерний синтез, вирішують поїхати на автомобілі із Харкову до Варшави на канікули на відстань 1200 км. Студенти їдуть на новому автомобілі, що працює на синтезі, який спалює повністю каталізоване паливо D-D. Якщо частка $f_D = 1,53 \cdot 10^{-4}$ атомів водню в морській воді є ізотопом дейтерію, скільки літрів морської води потрібно? Припустимо, що на 1 км витрачається приблизно 2 МДж енергії. При спалюванні бензину виділяється приблизно 40 МДж / кг енергії, що відповідає 30 МДж / л. Для порівняння, скільки літрів бензину було б потрібно, якби машина працювала на бензині?

Розв'язання:

Спочатку врахуйте необхідну кількість бензину: відстань 1200 км, споживання енергії становить 2 МДж / км, а щільність енергії палива становить 30 МДж / л. Правильно поєднавши агрегати, ми виявимо, що загальний обсяг необхідного палива становить $V = (1200 \text{ км}) \times (2 \text{ МДж} / \text{км}) / (30 \text{ МДж} / \text{л}) = 80 \text{ літрів}$.

Звернемось тепер до розрахунку енергетичної щільності морської води, припускаючи, що всі термоядерні реагенти можуть бути використані. Дейтерій може вступати в реакцію з дейтерієм (D), утворюючи або гелій-3 (He^3), або тритій (T), причому обидві реакції відбуваються з приблизно однаковою ймовірністю. Ці продукти, в свою чергу, можуть вступати в реакцію з D, виділяючи енергію відповідно до схеми:



Ми розглянемо два випадки:

1. Двигун працює лише на реакції D+D, що призводить до сумарної реакції $4\text{D} \rightarrow (\text{відходи}) + 7,3 \text{ MeV}$, або $\text{D} \rightarrow 1,83 \text{ MeV}$.
2. Двигун спроектований таким чином, що може використовувати для згоряння реакції D+D, D+He³ і D+T, і сумарний вихід реакцій становить $6\text{D} \rightarrow (\text{відходи}) + 43,2 \text{ MeV}$, або $\text{D} \rightarrow 7,2 \text{ MeV}$, що приблизно в чотири рази більше, ніж у сценарії 1.

Тоді щільність енергії води дорівнює кількості n_D атомів дейтерію, помноженому на енергію, яка може виділятися з кожного ядра (1,83 MeV або 7,2 MeV).

Ми можемо визначити кількість ядер дейтерію, враховуючи внесок кожного виду атома в загальну масу води, $M_{\text{H}_2\text{O}} = n_H m_H + n_D m_D + n_O m_O$, де (з точністю до відносної похибки 1%)

$$\begin{aligned} m_H &= u, \\ m_D &= 2u, \\ m_O &= 16u, \\ u &= 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}. \end{aligned}$$

Існують додаткові умови щодо щільності чисел. Нам відомо, що $n_D = f_D (n_H + n_D)$, так що

$$n_H = \left(\frac{1 - f_D}{f_D} \right) n_D,$$

$$n_O = \frac{n_H + n_D}{2} = \frac{1}{2f_D} n_D.$$

Їх можна комбінувати, щоб отримати

$$M_{H_2O} = \left[\left(\frac{1 - f_D}{f_D} \right) + 2 + \frac{8}{f_D} \right] \cdot n_D = \left(1 + \frac{9}{f_D} \right) n_D$$

Для одного літра морської води, що відповідає 1 кг, ми отримуємо

$$n_D = \frac{1 \text{ kg}}{(1.66 \cdot 10^{-27} \text{ kg})(1 + (9/f_D))} = \frac{f_D}{9 + f_D} \cdot 6.0 \cdot 10^{26}.$$

Запишемо енергію, що виділяється на атом дейтерію, як

$$p_D = \left\{ \begin{matrix} 1.8 \\ 7.2 \end{matrix} \right\} \text{ MeV} = \left\{ \begin{matrix} 2.9 \\ 11.5 \end{matrix} \right\} \cdot 10^{-13} \text{ J}.$$

Це дає енергетичну щільність води:

$$p_D n_D = \frac{f_D}{9 + f_D} \left\{ \begin{matrix} 1.7 \\ 6.9 \end{matrix} \right\} \cdot 10^{14} \text{ J/l}$$

При $f_D = 1,53 \cdot 10^{-4}$ знаходимо:

$$p_D n_D = \left\{ \begin{matrix} 2.9 \\ 11.8 \end{matrix} \right\} \cdot 10^4 \text{ MJ/l}.$$

Тоді кількість морської води, необхідна для поїздки до Варшави, дорівнює:

$$V = \frac{(1200 \text{ km}) \times (2 \text{ MJ/km})}{p_D n_D} = \left\{ \begin{matrix} .81 \\ .20 \end{matrix} \right\} \text{ l}.$$

Отже, за сценарієм 1, коли двигун згоряє лише $D + D$, морська вода має в сто разів вищу щільність енергії, ніж бензин, тоді як для сценарію 2, де вона також спалює продукти плавлення He^3 і T , вона має в чотириста разів вищу щільність енергії. Це стосується сильно розбавленої важкої води, в якій важка вода становить в середньому лише одну молекул на кожні десять тисяч.