

ТЕРМОЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ. ЕНЕРГІЯ ЗІРОК. ПРОБЛЕМИ ТЕРМОЯДЕРНОГО СІНТЕЗУ НА ЗЕМЛІ

Ст. В.В. Колісник

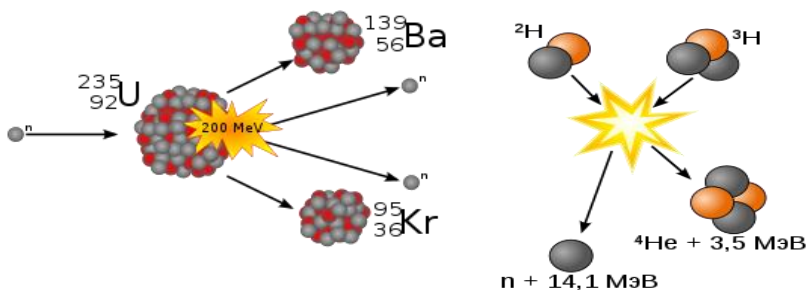
Кер. Л.Г. Петренко

Національний технічний університет «ХПІ»

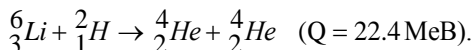
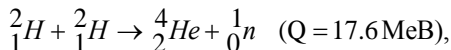
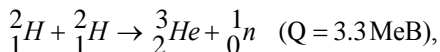
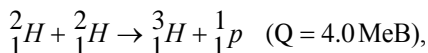
Термоядерна реакція - різновид ядерної реакції, при якій легкі атомні ядра об'єднуються в більш важкі за рахунок кінетичної енергії їх теплового руху.

Назву «термоядерні реакції» відображає, що ці реакції йдуть при високих температурах ($T > 10^8$ К), оскільки для злиття легкі ядра повинні зблизитися до відстаней $\approx 10^{-13}$ см. Якщо відстань буде менше, то позитивно заряджені ядра відчують кулонівське відштовхування [1].

В реакціях синтезу виділяється значно більше енергії в розрахунку на один нуклон, ніж в реакціях ділення. Наприклад, при розділі ядра урану виділяється близько 200 МеВ, що становить 0.84 МеВ/нуклон, а в реакціях синтезу ця енергія може становити величину рівну $17.6 / 5 = 3.5$ МеВ/нуклон. Таким чином, кількість енергії, що виділяється більше в 4 рази [2].

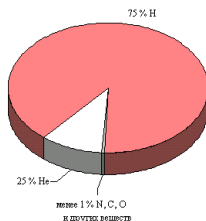
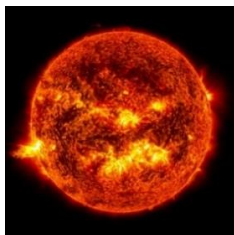


Порівняння одержуваної енергії при термоядерних і ядерних реакціях:



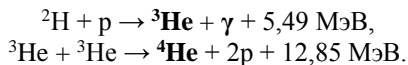
У термоядерних реакціях утворюються кілька ізотопів водню: *протій* - найпоширеніший ізотоп (частка 99,985%), нерадіоактивний, при з'єднанні з киснем утворюється вода; *дейтерій* - (частка 0,015%) стабільний, при з'єднанні з киснем утворюється важка вода з температурою кипіння 100°C; *тритій* - в природі не існує, виробляється штучно в ході ядерної реакції, радіоактивний.

Енергія Сонця. Хімічний склад Сонця приблизно такий, як і у більшості інших зірок. Близько 75% - водень, 25% - гелій і менше 1% - всі інші хімічні елементи (переважно, вуглець, кисень, азот тощо). Відразу після народження Всесвіту «важких» елементів не було зовсім. Всі вони (елементи важче гелію), утворилися в ході «горіння» водню в зірках при термоядерному синтезі. Основне джерело енергії - протон-протонний цикл - дуже повільна реакція (характерний час $7,9 \cdot 10^9$ років), так як вона обумовлена слабкою взаємодією. Її суть полягає в тому, що з чотирьох протонів утворюється ядро гелію. При цьому виділяються пара позитронів і пара нейтріно, а також 26,7 MeV енергії [3].



Протон-протонний цикл. Це сукупність термоядерних реакцій, в ході яких водень перетворюється в гелій в зірках. Протон-протонний цикл домінує в зірках з масою порядку маси Сонця або менше, на нього припадає до 98% енергії, що виділяється. Цикл прийнято ділити на три основних ланцюжка: ppI, ppII, ppIII.

Перший ланцюжок - ppI: $\text{p} + \text{p} \rightarrow {}^2\text{H} + \text{e}^+ + \nu_e + 0,42 \text{ МэВ}$,



Інші два ланцюжки (ppII і ppIII) вносять вклад в цикл при більш високих температурах, чим ppI. На Сонці біля 85% злиття водню в гелій-4 відбувається через ppI.

Проблеми термоядерного синтезу на Землі. Досягненню умов керованого термоядерного синтезу перешкоджають кілька проблем: по-перше, потрібно нагріти газ до дуже високої температури; по-друге, необхідно контролювати кількість реагуючих ядер протягом досить довгого часу; по-третє, кількість виділеної енергії має бути більше, ніж було витрачено для нагрівання і обмеження щільності газу.

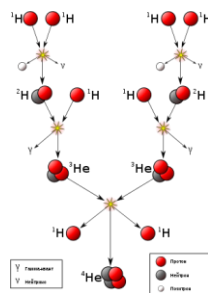
Наступна проблема - накопичення цієї енергії і перетворення її в електрику.

Реалізувати керований термоядерний синтез в земних умовах дуже складно. Для цього треба створити установку, в якій нагріте до температур ($\approx 10^8$ К) ядерне паливо необхідно досить довго утримувати в стані з високою щільністю (як це має місце всередині Сонця та інших зірок) [4].

Будь-який матеріал випарується при таких високих температурах і, тому, не може бути використаний, щоб утримати високотемпературну плазму в замкнутому об'ємі (в зірках високотемпературна плазма утримується потужними гравітаційним силами).

Один із способів утримання гарячої плазми є магнітний, в ньому використовується потужне магнітне поле для того, щоб не дати гарячій плазмі вийти із замкнутого контрольованого обсягу.

Висновки: на даний момент вироблення енергії з термоядерних реакторів економічно не вигідно, адже витрачається коштів набагато більше ніж буде отримано; однак вчені з усього світу намагаються вирішити цю проблему, адже керований термоядерний синтез - це практично безмежна енергія.



1. Деглаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М., Высшая школа, 1989, с.542-546.
2. Термоядерные реакции. – [Электронный ресурс]. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e164.htm>.
3. Термоядерные реакции на Солнце. – [Электронный ресурс]. <https://college.ru/astronomy/course/content/chapter5/section2/paragraph2/theory.html#.Xm5X X6gzZPZ>.
4. Арцимович Л. А. Управляемые термоядерные реакции. М., Физматлит, 1961, 467с.