

# Năng lượng tổng hợp hạt nhân: đúng và sai

(The recent nuclear fusion great news is real - really?)

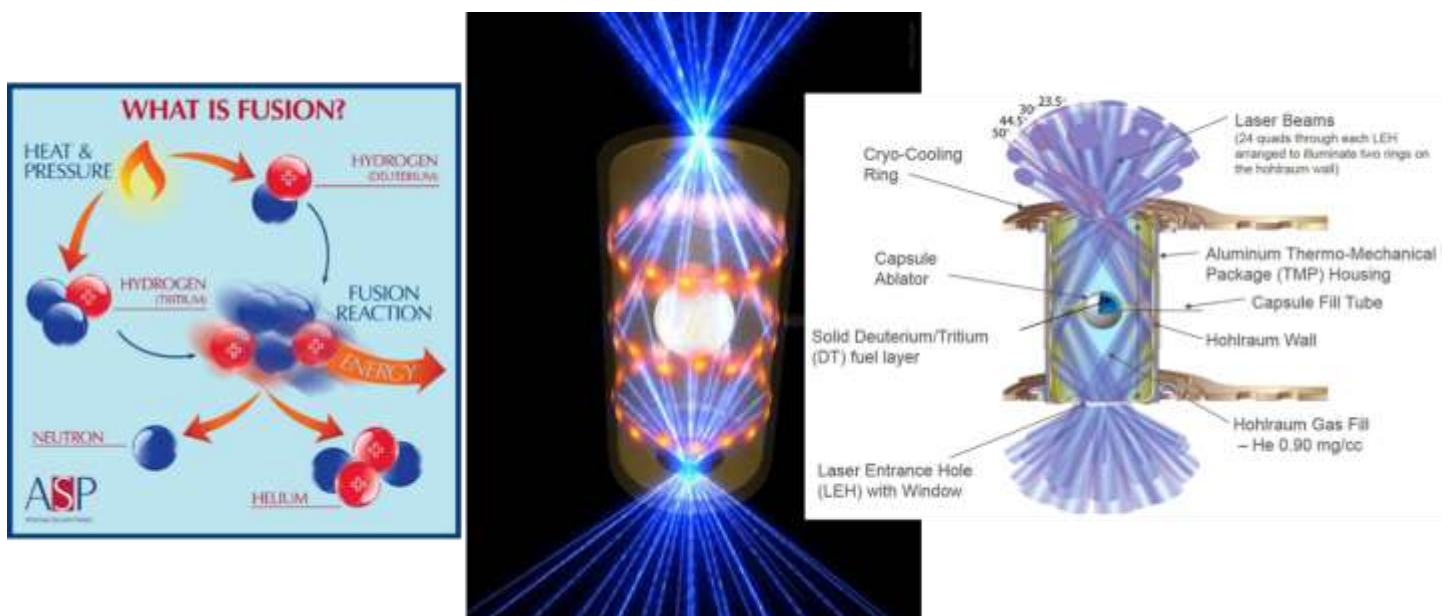
Bài khảo cứu khoa học: John HT Lương & Cang Trần & Tôn Thất Di



**TIN NÓNG HỔI (Breaking News):** Vào ngày 5 tháng 12 năm 2022, một nhóm nghiên cứu tại **National Ignition Facility (NIF)** của LLNL (*Lawrence Livermore National Laboratory*) đã thành công một thí nghiệm nhiệt hạch (*fusion experiment*) tạo ra nhiều năng lượng hơn từ phản ứng so với năng lượng laser (*laser*) cung cấp trong một phần giây[1]. Thoạt nhìn, đó là một tin tuyệt vời đối với nhân loại khi chúng ta đang tiến gần hơn đến việc có được nguồn năng lượng khổng lồ mà không thải ra khí carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ), một loại khí có thể gây hiệu ứng nhà kính (*greenhouse gas*).  $\text{CO}_2$  là kẻ thù số một của các nhà bảo vệ môi trường do sự hâm nóng lên toàn cầu. Nhưng thông báo không cung cấp đầy đủ về sự cân bằng năng lượng tổng thể và tuyên bố chỉ là một nửa sự thật. Khoa học luôn được bình duyệt, tranh luận mang tính xây dựng, cung cấp bằng chứng khoa học, và sửa đổi/chỉnh sửa (*correction*) chứ không phải sự đồng thuận (*consensus*) hay chính trị. Tất cả chúng ta đều chân thành hy vọng rằng việc hoàn thành phản ứng tổng hợp hạt nhân sẽ mở đường cho việc mở khóa nguồn năng lượng dồi dào này và tạo điều kiện cho tương lai của năng lượng cực kỳ sạch (*ultraclean*). Có một câu hỏi lớn: *đã đến lúc mở một chai sâm panh ăn mừng thành tích này hay đây chỉ là “nguồn năng lượng của tương lai (for the future) và sẽ luôn như vậy (always for the future)?”* Bài viết ngắn này sẽ giải thích chi tiết hơn về kỹ thuật (*technology/technique*) này và những trở ngại liên quan của năng lượng hạt nhân (*nuclear energy*) đối với các ứng dụng thực tế.

Nhà vật lý người Anh Arthur Eddington vào năm 1920 đã đưa ra khái niệm về năng lượng tổng hợp hạt nhân, cung cấp năng lượng cho Mặt trời và các Ngôi sao khác. Nhiệt độ trong lõi của Mặt trời là khoảng 27 triệu độ F (15 triệu độ C) – đủ nóng để duy trì phản ứng tổng hợp hạt nhân hydrogen thành helium. Nói chung, ngoài hydrogen, khi hai hoặc nhiều hạt nhân nguyên tử đến đủ gần và đủ lâu, chúng sẽ hợp nhất thành các hạt nhân nặng hơn. Đối với hạt nhân nặng hơn sắt (Fe)-56, phản ứng thu nhiệt, đòi hỏi năng lượng [2]. Với các hạt nhân nhẹ hơn sắt (Fe)-56, phản ứng sinh ra năng lượng khi chúng hợp nhất. Hydro (*hydrogen*) với một proton duy nhất trong hạt nhân cần ít nhất năng lượng để đạt được phản ứng tổng hợp. Trong phản ứng nhiệt hạch, quá trình này giải phóng năng lượng vì tổng khối lượng của hạt nhân đơn tạo thành nhỏ hơn khối lượng của hai hạt nhân ban đầu. Chúng ta hãy xem sự hợp nhất của **Deuterium** (khối lượng phân tử-molar mass = 2) và **Tritium** (khối lượng phân tử = 3) để tạo ra **Helium** (khối lượng phân tử = 4.98); kết quả khối lượng giảm bớt là 0.02. Hãy nhớ Albert Einstein, một nhà khoa học rất thông minh với phương trình năng lượng  $E = mc^2 = 0.02 \text{ (g)} c^2$  với  $c$  là vận tốc ánh sáng, phản ứng nhiệt hạch sẽ tạo ra >600 Đơn vị năng lượng (*Units*), và 1 Đơn vị (*Unit*) bằng năng lượng mà một công dân Hoa Kỳ sử dụng trong 1 năm, 25-30 *billion Joules* [2]. Không còn nghi ngờ gì nữa, tiềm năng của năng lượng nhiệt hạch là rất lớn và vô cùng sạch.

Phản ứng nhiệt hạch cần nhiên liệu (vật liệu - *fuel/materials*) và môi trường có đủ nhiệt độ, áp suất và thời gian để tạo ra plasma cho phản ứng tổng hợp, được gọi là tiêu chuẩn Lawson (*Lawson criterion*). Nhiệt độ cực cao cần thiết để sản xuất năng lượng nhiệt hạch khác nhau tùy thuộc vào loại phản ứng tổng hợp. Như đã đề cập trước đó, một trong những phản ứng nhiệt hạch phổ biến nhất là phản ứng tổng hợp của 2 chất deuterium-tritium (D-T) như trong Hình 1 (Bên Trái) [3].



Hình 1. (Bên trái) Lawson [4,5] ước tính nhiệt độ tối thiểu cho phản ứng D-T (deuterium-tritium) là 30 triệu độ. Đối với phản ứng deuterium-deuterium (D-D), nhiệt độ là 150 triệu độ. (Bên Phải) Phòng thí nghiệm Quốc gia Lawrence Livermore cung cấp mô tả một mục tiêu bên trong viên nang bọc kim cương (diamond coated capsule-viên nang có kích thước bằng hạt tiêu, peppercorn) hohlraum với chùm tia laser đi qua các lỗ ở hai đầu. Các chùm tia nén và làm nóng mục tiêu đến các điều kiện cần thiết để xảy ra phản ứng tổng hợp hạt nhân [6].

Hợp hạch D-T là sự lựa chọn vì nó cần nhiệt độ plasma thấp nhất để tạo ra lượng năng lượng nhiệt hạch đáng kể khi so sánh với các loại hợp hạch khác. Deuterium và tritium (và đặc biệt là hỗn hợp của cả hai) sẽ phản ứng dễ dàng hơn **protium** (đồng vị hydro phổ biến nhất) để đạt được các tiêu chuẩn Lawson với điều kiện ít nhất. Mặc dù vậy, nhiệt độ plasma trong lõi của lò phản ứng nhiệt hạch D-T sẽ vào khoảng 150 đến 200 triệu độ C. Nhiệt độ này nóng kinh khủng so với nhiệt độ chúng ta gặp trong cuộc sống hàng ngày. Đáng chú ý, nhiệt độ cần thiết

để tạo ra lượng năng lượng nhiệt hạch đáng kể từ khí bị ion hóa thường được gọi là plasma. Đây là một điều kiện không thể thay đổi đối với phản ứng tổng hợp vì ở nhiệt độ thấp hơn, bất kể đưa bao nhiêu nhiên liệu vào lò phản ứng, năng lượng nhiệt hạch được tạo ra sẽ rất nhỏ.

Về mặt khái niệm, người ta chỉ cần một viên nhỏ (*pellet*) hợp kim deuterium/tritium và bắn nó bằng chùm tia laser hoặc ion từ mọi phía (Hình 1, bên Phải). Lần bắn laser, được thực hiện vào ngày 5 tháng 12 năm 2022, sản xuất **3.15 triệu Joules (MJ)** năng lượng từ một viên nhỏ chứa hai đồng vị hydro (D và T) – so với **2.05 MJ** cần thiết cho những tia laser truyền tới mục tiêu. Deuterium và tritium bị ép với nhau và trong một khoảnh khắc ngắn (< 1 s) chịu áp suất và nhiệt độ cực lớn – đủ cao để các hạt nhân vượt qua lực đẩy lẫn nhau của chúng và hợp nhất, sinh ra nhiệt, hạt nhân heli và neutron như trong Hình 1 (bên Phải). Phản ứng này được thực hiện tại NIF trị giá **\$3.5 tỷ đô la** – một hệ thống laser có kích thước bằng sân vận động bóng đá có trụ sở tại Phòng thí nghiệm quốc gia Lawrence Livermore (LLNL) ở California. Tất nhiên, cơ sở này đang được sử dụng cho rất nhiều các ứng dụng công nghiệp và quân sự quan trọng, bao gồm cả việc phát triển súng laser để bắn hạ tên lửa siêu thanh (*hypersonic missiles*).

Để hiểu thêm công dụng của 3.15 MJ năng lượng mới được tạo ra, chúng ta nhớ môn vật lý ở trường trung học để tìm ra những gì có thể được thực hiện với số năng lượng này, và ví dụ điển hình nhất là lượng nước ( $T_0 = 20$  độ C) được đun sôi lên ( $T = 100$  độ C),  $T - T_0 = 80$  °C hay ( $80 + 273.15$  K -Kelvin)

$$Q = MC_p(T - T_0) \text{ và } 3.15 \text{ MJ} = 3150 \text{ kJ}$$
$$Q = M \times 4.185 \text{ (kJ/kg.K)} \times (80 + 273.15 \text{ K}) = 3150 \text{ kJ}$$

**Lượng nhiệt này chỉ đủ để đun sôi 2 L (lít) nước, dùng cho vài tách trà hay cà phê.**

Như đã báo cáo, năng lượng tạo ra từ phản ứng tổng hợp này lớn hơn năng lượng laser bắn trúng mục tiêu nhỏ (**3.15 MJ so với 2.05 MJ**), tuy nhiên, phản ứng cần một chùm **192** chùm tia laser tập trung vào một mục tiêu nhỏ để tạo ra một cú sốc sóng (*shock wave*) đẩy các nguyên tử hydro đến gần nhau để hợp nhất. Hệ thống laser đã sử dụng hơn **302.05 MJ** của lưới điện (*electrical grid*) để tạo ra khoảng 3.15 MJ nhiệt phóng từ phản ứng nhiệt hạch của Deuterium và tritium. Do đó, tất cả năng lượng đã dùng là một tổn kém rất cao để chỉ tạo được một ít năng lượng mới: **302.05 MJ so với 3.15 MJ**. Một lần nữa, để cỗ máy (*contraption*) trở nên hữu ích, năng lượng từ phản ứng tổng hợp phải vượt quá năng lượng cần thiết để kích hoạt các tia laser tạo thành các chùm hạt. Nói cách khác, nếu  $Q_T$  (tổng năng lượng) là 302.05 MJ, mức tăng năng lượng sẽ tạo ra phải vượt quá giá trị cơ bản này. Năng lượng thu được có thể được sử dụng để tạo ra hơi nước để chạy tua-bin (turbine) phát điện và hiệu suất đạt khoảng 50 %. Công bằng mà nói, thiết lập NIF không được thiết kế để chứng minh năng lượng nhiệt hạch là thực tế [7].

Một vấn đề khác là mất mát (*leakage*) năng lượng nhiệt ra khỏi lò phản ứng nhiệt hạch, bao gồm tổn thất năng lượng bức xạ (*radiation*) và dẫn truyền (*conduction*). Mất mát bức xạ là năng lượng bị mất đi khi ánh sáng (bao gồm cả tia X) rời khỏi plasma. Mất năng lượng dẫn truyền xảy ra khi các hạt rời khỏi plasma, mang theo năng lượng. Để lò phản ứng nhiệt hạch hoạt động ở trạng thái ổn định, plasma nhiệt hạch phải được duy trì ở nhiệt độ không đổi. Do đó, năng lượng nhiệt thứ cấp phải được bổ sung với cùng tốc độ mà plasma mất năng lượng để duy trì các điều kiện nhiệt hạch. Năng lượng này có thể được cung cấp bởi chính các phản ứng nhiệt hạch, tùy thuộc vào loại phản ứng hoặc bằng cách cung cấp nhiệt bổ sung thông qua nhiều phương pháp khác nhau, thí dụ: nguồn nhiệt từ lò vi sóng (*microwave*), chùm hạt trung tính nhanh (*fast neutral particle beams*) hoặc nhiệt điện trở (resistance) từ dòng điện. Năng lượng phụ này cần tính đến như tổng năng lượng cần thiết để thực hiện phản ứng nhiệt hạch. Đối với các ứng dụng mở rộng quy mô, tổn thất bức xạ là rất lớn (**P**) vì nó liên quan đến mật độ plasma (*plasma density*) (**N**) như sau:  **$P = f(N^2)$**  [4] khi hoạt động ở nhiệt độ plasma tối cao từ 150 đến 200 triệu độ. Đây là một thách thức kỹ thuật nếu kích thước mục tiêu cần tăng từ hạt tiêu (peppercorn) thành quả bóng tennis, bóng đá, v.v.



## Có rất nhiều vấn đề liên hệ khác biệt cần được giải quyết:

1. Tất cả các tia laser (192) phải trùng mục tiêu cùng lúc (**đễ đạt được**) và phải có cùng cường độ (**rất khó đạt được**). Ngoài ra, để tránh sự mất cân bằng, điều quan trọng là mục tiêu phải có ở dạng hình cầu, hoàn hảo về cơ bản. Nếu không, một vụ nổ không đối xứng sẽ không đạt được sự hợp nhất hiệu quả.
2. Vấn đề thứ hai là kiểm soát neutron được giải phóng trong quá trình phản ứng, theo thời gian sẽ làm hư hại nhiều vật liệu được sử dụng trong bình phản ứng. Về mặt khái niệm, neutron ( $n$ ) được cung cấp bởi phản ứng nhiệt hạch D-T có thể được sử dụng để tạo ra tritium như sau:  
$$n + \text{Li}^6 \rightarrow \text{Tritium} + \text{Helium}$$
$$n + \text{L}^{i7} \rightarrow \text{Tritium} + \text{Helium} + n$$
3. Năng lượng để làm deuterium and tritium. Người ta không thể đơn giản lấy nước biển để chạy thí nghiệm này. Khoảng 1 trong số 5000 nguyên tử hydrogen trong nước biển ở dạng deuterium. Deuterium phải được phân lập (*isolated*) và tinh chế (*purified*) từ nước biển bằng cách chưng cất (*distillation*) hoặc điện phân (*electrolysis*).
4. Deuterium dễ dàng thu được từ nước biển bằng cách “enrichment”, nhưng việc sản xuất tritium rất khó khăn và hạn chế về mặt chính trị và chế biến [8]. Tritium được tạo ra một cách tự nhiên trong thượng tầng khí quyển khi các tia vũ trụ (*cosmic rays*) chiếu vào các phân tử nitơ (*nitrogen*) trong không khí, nhưng nó không có cho nhu cầu của chúng ta. Theo một báo cáo năm 1996 của Viện Nghiên cứu Năng lượng và Môi trường thuộc Bộ Năng lượng Hoa Kỳ (*Institute for Energy and Environmental Research on the US Department of Energy*), chỉ có 225 kg (496 lb) tritium được sản xuất tại Hoa Kỳ từ năm 1955 đến năm 1996 [9]. Vì nó liên tục phân hủy thành helium- 3, tổng khối lượng còn lại là khoảng 75 kg (165 lb) tại thời điểm báo cáo.
5. Đối với các ứng dụng thực tế, phải cần nhiều nhiên liệu hơn và hệ thống laser phải nhắm đến mục tiêu cứ sau mỗi 10 giây, vượt quá khả năng hiện tại của NIL. Hiện tại, thí nghiệm không thể lặp lại sau vài giờ vì người ta phải cân bằng hệ thống laze và chuẩn bị lớp phủ kim cương "deuterium và tritium đông lạnh-cryogenic)
6. Nếu hệ thống laser có thể cung cấp năng lượng mạnh hơn, thì phản ứng tổng hợp sẽ chỉ cần deuterium nhưng phản ứng tổng hợp này chỉ xảy ra ở nhiệt độ thậm chí còn cao hơn. Tất nhiên, đây là một chủ đề của những nỗ lực trong tương lai và là một chữ "**NẾU**" **khổng lồ**.

Có một kỹ thuật thay thế laser dựa vào nam châm (*magnetic*) để chứa plasma trong thời gian tương đối dài của lò phản ứng thí nghiệm nhiệt hạch quốc tế (*International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER*), được gọi là “lò phản ứng tổng hợp hạt nhân Tokamak- *Tokamak nuclear fusion reactor*” đặt tại Pháp [10]), một chủ đề cho bài viết tiếp theo trong tương lai của chúng tôi. Cả hai phương pháp (laser và giam giữ từ tính, *magnetic confinement*) đều có “ưu và nhược điểm” của chúng.

Sau thông cáo báo chí về kết quả phá của phản ứng tổng hợp hạt nhân, phản ứng của công chúng bao gồm từ việc thúc đẩy “*một nguồn năng lượng mới, một nguồn năng lượng sạch khổng lồ*” đến sự hoài nghi hơn “*nguồn năng lượng của tương lai, và nó sẽ luôn như vậy, cho tương lai mà thôi*”. Chúng tôi rất lạc quan vì tiềm năng quá to lớn của năng lượng nhiệt hạch. Phản ứng tổng hợp hạt nhân mang lại có nhiều lợi thế so với phản ứng phân hạch (*fission*) như giảm phóng xạ khi vận hành, giảm thiểu chất thải hạt nhân ở mức độ cao và tăng an toàn. Sẽ mất nhiều thời gian và nghiên cứu hơn để đưa ra một lò phản ứng nhiệt hạch với mức tăng năng lượng, kỹ thuật hiện nay chưa đạt được. Các điều kiện để đạt được phản ứng tổng hợp hạt nhân được “tương đối” xác định nhưng làm thế nào để đạt được các điều kiện xây dựng lò phản ứng với một chi phí hợp lý (*affordable*) và sản xuất hàng loạt (*mass production*) vẫn là một thách thức kỹ thuật rất to lớn.

Bắt chước phản ứng của Mặt trời trên Trái đất là một vấn đề rất khó khăn và nhiều thử thách. Ngay cả như vậy, kỹ thuật có thể đạt được nhưng vấn đề kinh tế vẫn là chữ "NẾU".

**Một câu hỏi thay lời kết luận:**

**Tin mừng: phản ứng hạt nhân tổng hợp đã thành công - Thật vậy sao?**

**The recent nuclear fusion great news is real – really ?**

Bài viết này được tham khảo với 10 tài liệu khoa học – **10 References**

1. <https://www.energy.gov/articles/doe-national-laboratory-makes-history-achieving-fusion-ignition>
2. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/NucEne/nucbin.html#c2>
3. <https://www.arcweb.com/blog/nuclear-fusion-breakeven-energy-2022>
4. Lawson, J. D. (December 1955). "Some Criteria for a Power Producing Thermonuclear Reactor". Proceedings of the Physical Society, Section B. 70 (1): 6–10.
5. <http://www.phys.ksu.edu/personal/cdlin/phystable/econvert.html>
6. <https://www.cbsnews.com/news/nuclear-fusion-energy-breakthrough-us-expected-announcement-zero-carbon-power/>
7. <https://physicsworld.com/a/national-ignition-facility-demonstrates-net-fusion-energy-gain-in-worldfirst/#:~:text=NIF%20triggers%20fusion%20reactions%20by,that%20contains%20deuterium%20and%20tritium.>
8. <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2017/03/06/commentary-the-looming-crisis-for-us-tritium-production/>
9. Zerriffi, Hisham; Scoville, Herbert Jr. (January 1996). "Tritium: The environmental, health, budgetary, and strategic effects of the Department of Energy's decision to produce tritium" (PDF). Institute for Energy and Environmental Research. p. 5. Archived from the original (PDF) on 16 October 2014.
10. [https://en.wikipedia.org/wiki/ITER#:~:text=ITER%20\(initially%20the%20International%20Thermonuclear,t%20o%20that%20of%20the%20Sun.](https://en.wikipedia.org/wiki/ITER#:~:text=ITER%20(initially%20the%20International%20Thermonuclear,t%20o%20that%20of%20the%20Sun.)