

Damian Malec-Nagadowski  
Wydział Zarządzania

## Dr Strangelove, czyli jak przestałem się martwić i pokochałem fuzję

Spostrzegawczy człowiek patrzący swoim wzrokiem wstecz bez problemu zauważy, że wraz ze wzrostem zapotrzebowania na energię i rozwojem różnych jej sektorów rósł równolegle ogólny przed nią lęk. Najwydajniejszy z używanych przez nas jej rodzajów, czyli rozszczepienie jądra atomu, mimo bycia znacznie bezpieczniejszym od paliw kopalnianych, wciąż wielu przeraża. Część wciąż nosi w sobie katastrofy z Czarnobyla bądź Fukushima. Znaczniejsza część pewnie przeżywa renesans nastrojów z czasów zimnej wojny i spogląda na świat szeroko otwartymi oczami, wyobrażając sobie siebie w niebieskim kombinezonie, gdzieś głęboko pod ziemią w stalowej krypcie.

Jest jednak inne oblicze atomu, energia, której nie musimy się lękać. Chodzi oczywiście o nic innego jak fuzję jądrową (która jak wiadomo, zawsze jest w zasięgu 10 lat). Jeśli ktoś chciałby zobaczyć reaktor fuzyjny na własne oczy, to już służę pomocą. Należy wyjść na zewnątrz (w dzień!), odnaleźć na niebie najmocniejsze źródło światła i... no jednak nie radziłbym na nie patrzeć. Myślę, że na słońcu, naszym naturalnym reaktorze najwygodniej wytłumaczyć proces fuzji.

Idea jej jest taka, aby dwa jądra atomowe zderzyły się ze sobą i przewyciężając barierę kulombowską, złączyły się w jedno. Masa nowopowstałego jądra nie jest wcale sumą mas jego składników – część pod postacią energii ucieka z miejsca wypadku. Tą właśnie część, wchodząc w rolę stróża prawa, chcemy schwytać i okiełznać. A nie jest to błaża ilość. Znane wszystkim równanie  $E=mc^2$  mówi, ile energii jest zawarte w materii, a nie ile damy radę z niej uzyskać. Oczywiście 100% wydajność miałyby jedynie pełna anihilacja z antymaterią. Dla reakcji chemicznych jest to żałosna miliardowa część procenta, dla rozpadu jądra już przyzwoite 0,1%, zaś dla fuzji... 0,7%. No cóż, to najlepsze co mamy.

A zatem jak zbudować taki reaktor? Okazuje się, że słońce i inne gwiazdy mają nad nami nieuczciwą przewagę. Ich gigantyczna masa powoduje tak wielkie ciśnienie, że atomom wystarczy zaledwie 15 milionów stopni Celsjusza, aby osiągnąć fuzję. Tu, na Ziemi, potrzeba aż 100 milionów. Oczywiście żaden materiał nam znany nie utrzyma tak gorącej materii. Potrzebujemy innych podejść, z których dwa najpopularniejsze omówię.

Pierwsze z nich to tzw. Magnetyczne Uwięzienie Plazmy. Najbardziej znane urządzenie korzystające z niego to Tokamak (akronim z jęz. Ros.). Ma ono kształt torusa i opiera się na nadprzewodzących magnesach, które poprzez przepływ zmiennego prądu utrzymują pierścień zjonizowanych jąder atomów w magnetycznej pułapce, niczym nadzienie donuta. Magnesy są schładzane przez ciekły hel do niemal zerowej temperatury, a zatem ludzkość odpowiada za jedną z największych różnic temperatur we wszechświecie występujących w bliskiej odległości. (kilka Kelvinów obok 100 mln Kelvinów). Wracając do reaktora, tam zjonizowane atomy, pocierając o siebie nawzajem, osiągają wymaganą temperaturę i w pierścieniu plazmy dochodzi do pożądanej fuzji. Jest to prostszy z dwóch sposobów, które przytaczam, ponieważ wymagana gęstość plazmy jest niższa oraz czas, jaki maszyna ma, aby sfinalizować fuzję (kilka sekund) relatywnie długi. Nie bez powodu jest to najlepiej przebadana z metod i największe zasoby są właśnie w nią zainwestowane.

Drugie podejście to tzw. Inercyjne Uwięzienie Plazmy. Korzysta ono z uwielbianych przez wszystkich, ogromnych i potężnych laserów. Zasadniczo opiera się na zamknięciu w niewielkim cylindrze nazywanym się hohlraum (z niem. „pusta przestrzeń”), wewnątrz której znajduje się kilkumilimetrowa kapsułka z paliwem potrzebnym do fuzji. Następnie wystrzeliwany jest potężny laser i wpadając do cylindra, jego wnętrze zaczyna rezonować promieniowaniem rentgenowskim, a wtedy kapsułka jest rozgrzewana i kompresowana, aby na moment stać się plazmą i doświadczyć fuzji. W tym przypadku gęstość plazmy jest znacznie większa i czas, jaki jest dany maszynie to zaledwie garść nanosekund. Wiele z najmocniejszych laserów, jakie posiada ludzkość, służą właśnie w tym celu (znacznie rozsądniejszym niż wysadzanie planet).

Przypuszczam, że ktoś może teraz się zastanawiać, w czym właściwie jest to lepsze niż klasyczna elektrownia atomowa? Wszystko tutaj sprowadza się do paliwa, o którym zbyt długo milczałem. Większość z nas ma dość mocne skojarzenia ze słowem „uran”. Wielki, ciężki, pozostawia po sobie paskudne odpady. Zaletą fuzji jest to, że korzysta z wodoru, a konkretnie z jego izotopów. Pierwszy z nich, deuter jest powszechny w zwykłej wodzie morskiej, której nam nie brakuje. Drugi, tryt, co prawda jest rzadki (większość zasobów światowych siedzi wygodnie w głowicach atomowych), ale jego uzyskanie z litu, którego również posiadamy pod dostatkiem, nie jest trudne. To sprawia, że samo pozyskiwanie paliwa jest trywialne w porównaniu do uranu czy paliw kopalnianych. Szklanka wody dająca równowartość energii pełnej baryłki ropy – wszystko brzmi pięknie, tylko że ten esej miał dotyczyć przyszłości, więc gdzie jest w tym wszystkim haczyk?

Sprawność. To jest to, z czym od dekad mamy największy problem i dlaczego utarło się żartobliwe powiedzenie, że *fuzja jest zawsze za x lat*. Trudnym jest, aby wydobyć z reakcji więcej energii niż w nią zainwestowaliśmy. A może niemożliwym...? W 2022 roku w placówce National Ignition Facility w Kalifornii, posiadającej jeden z najpotężniejszych laserów na Ziemi, osiągnięto po raz pierwszy nadwyżkę energii w eksperymencie o około 50% (3,15 MJ uzyskanych z 2,05 MJ), najlepszy wynik do dziś to tegoroczne ok. 400% wkładu. Więc sukces? Czemu nie mamy zatem budujących się za płotem komercyjnych reaktorów? Otóż należy wspomnieć, że jest to zysk z samej reakcji, czyli energii niesionej przez laser. W wybuchu radości łatwo zapomnieć o energii potrzebnej do zasilenia całej placówki, która niestety osiąga wartości o dwa rzędy wielkości większe, czyli na razie z komercyjnych reaktorów nici. (Tak jak wspominałem, jednak esej jest o przyszłości).

Nie wiadomo przecież wcale co ona przyniesie. Zainteresowanie fuzją wydaje się rosnać wykładniczo. Dzisiaj już ponad 50 firm z sektora prywatnego macza palce w fuzji, zbierając pod swoimi skrzydłami ok. 10 miliardów dolarów w inwestycjach. Również dziesiątki państw na świecie współpracują w badaniach, z czego 33 zajmują się budową nowego, największego reaktora, a zarazem ośrodka badań ITER, na terenie Francji. Jest to gra w ciemno, zakład z samą nauką. Nie wiemy, kiedy fuzja będzie energetycznie opłacalna, mało tego, nie wiemy, czy KIEDYKOLWIEK będzie opłacalna. Ale podążanie za celami, nawet jeśli nie wiemy czy jesteśmy w stanie je osiągnąć, jest poniekąd nierozzerwalną częścią nauki. W przypadku gdy go osiągniemy, będzie to sukces, a jeżeli nie to bez dwóch zdań przyczynimy się do rozwoju ludzkości i spoglądając w przeszłość na nasze pierwsze sukcesy na przełomie ćwiartek XXI wieku, powiemy z ironicznym uśmiechem na ustach: *Może prawdziwą fuzją byli przyjaciele, których spotkaliśmy po drodze...*