

Naukowcy zmagają się z pierwszą ścianą reaktora zimnej fuzji

14 stycznia 2025

Naukowcy z amerykańskich Ames National Laboratory i Iowa State University stoją na czele konsorcjum, które pracuje nad nowymi materiałami dla reaktorów fuzyjnych. Stworzenie odpowiednich materiałów to niezbędny krok, które mają umożliwić komercyjne wykorzystywanie energii z fuzji jądrowej. Badania prowadzone są w ramach programu CHADWICK (Creating Hardened And Durable fusion first Wall Incorporating Centralized Knowledge) ogłoszonego niedawno przez Advanced Research Projects Agency–Energy (ARPA-E).

Celem agencji jest promocja i finansowanie zaawansowanych badań nad technologiami pozyskiwania energii. Przed 2 miesiącami ARPA-E ogłosiła warty 30 milionów USD program CHADWICK, do którego zakwalifikowało się 13 projektów.

Jedną z głównych trudności w pozyskiwaniu energii w procesie fuzji jądrowej jest odpowiednie uwięzienie plazmy, w której odbywa się reakcja. Uwięziona plazma jest jak miniaturowe Słońce zamknięte w pojemniku, który musi wytrzymać oddziaływanie niezwykle wysokiej temperatury, silne promieniowanie i pola magnetyczne, a jednocześnie efektywnie przekazywać ciepło, które jest zamieniane w elektryczność.

Projekt CHADWICK skupia się na pierwszej ścianie reaktora, tej, która otacza plazmę uwięzioną za pomocą silnego pola magnetycznego. Pierwsza ściana składa się z dwóch warstw materiału. Ta wewnętrzna jest blisko plazmy, zewnętrzna pomaga przekazać energię do innych części reaktora.

Pierwsza warstwa musi być wytrzymała, odporna na pęknięcia i erozję. Nie może też być przez długi czas radioaktywna, by po

wyłączeniu reaktora można było bezpiecznie przeprowadzić prace w jego wnętrzu. Nicolas Arbigay z Ames National Laboratory kieruje pracami nad udoskonaleniem pierwszej warstwy.

„Głównym materiałem, jaki badamy, jest wolfram. Nie licząc węgla, a właściwie jego niektórych form – jak diament – ma on najwyższą temperaturę topnienia ze wszystkich pierwiastków” – stwierdził uczony.

Jego laboratorium kupiło ostatnio specjalną platformę do wytwarzania i testowania nowych materiałów. „Możemy robić proszki i odlewy różnych stopów, w tym czystego wolframu” – wyjaśnia Argibay i dodaje, że w ciągu kilku najbliższych miesięcy laboratorium wzbogaci się w nowe urządzenia, które pozwolą na uzyskiwanie materiałów również w ilości wystarczającej do prowadzenia programów pilotażowych.

Ames Lab zainwestowało też w rzadki system pozwalający na badanie materiałów ogniotrwałych w temperaturze znacznie powyżej 1000 stopni Celsjusza i posiada jedyny w USA komercyjny system testowania takich materiałów w temperaturze do 1500 stopni. To niezwykle ważny element prac nad pierwszą ścianą reaktora fuzyjnego.

„Materiał pierwszej ściany jest tym, co utrzymuje całość. Musi być wytrzymały. W ścianie muszą być zintegrowane różne elementy, jak kanały chłodzące, pozwalające na pozyskiwanie ciepła” – wyjaśnia Jordan Tiarks. Pracuje on nad kolejnym aspektem reaktora fuzyjnego. Tiarks specjalizuje się w stalach ODS (stale dyspersyjnie umacniane tlenkami) przyszłej generacji. Stale ODS są wzbogacone ceramicznymi nanocząstkami, co poprawia ich właściwości mechaniczne i pozwala przetrwać wysokie promieniowanie. „To, czego się dotychczas nauczyliśmy, chcemy wykorzystać do stworzenia nowego materiału, stopu bazującego na wanadzie, który będzie dobrze sprawdzał się w reaktorach fuzyjnych” – mówi Tiarks.

Problem w tym, że wanad zachowuje się inaczej niż stal. Ma

znacznie wyższą temperaturę topnienia i jest bardziej reaktywny. Nie można go łączyć z ceramiką, więc zespół Tiarksa szuka innych sposobów na tworzenie stopów wanadu. „Wykorzystujemy gaz pod wysokim ciśnieniem, by rozbić roztopiony materiał na niewielkie kropelki, które gwałtownie schładzamy i uzyskujemy proszek. Tutaj nie możemy użyć żadnej ceramiki” – stwierdza uczony. Dodatkowym problemem jest reaktywność wanadu. Już same proszki są bardzo reaktywne. „Jeśli tworzymy z nich aerozol, mogą eksplodować. Na szczęście duża część metali tworzy cienką warstwę tlenu na takich cząstkach, która zapobiega kolejnym reakcjom. Ta warstewka chroni resztę cząstki przed dalszym utlenianiem się. Znaczna część prowadzonych przez nas badań polega na opracowaniu metod zapobiegania gwałtownym reakcjom. Jest to konieczne, by bezpiecznie używać proszku. Jednocześnie zaś nie możemy dodać zbyt bardzo ich utlenić, bo to negatywnie wpłynie na ich właściwości”. Opracowanie odpowiednich metod przetwarzania sproszkowanych materiałów opartych na wanadzie pozwoli lepiej kontrolować strukturę drugiej warstwy pierwszej ściany reaktora.

Gdy już odpowiedni materiał zostanie uzyskany, jego testowaniem zajmie się zespół profesora Sida Pathaka z Iowa State University. Uczni nałożą proszek na odpowiednie powierzchnie i będą badali przede wszystkim odporność tak stworzonych paneli na silne promieniowanie reaktora fuzyjnego. Uważają, że nowy materiał będzie bardziej odporny niż dotychczas używane. Jednak, jak zauważa uczony, negatywne skutki promieniowania ujawniają się w materiale ścian reaktora po 10-20 latach. Projekt badawczy będzie trwał 3 lata, więc nie jest możliwe odtworzenie odpowiednich warunków. Dlatego badania będą prowadzone w Ion Beam Laboratory, gdzie materiał będzie bombardowany za pomocą jonów, a nie neutronów, jakby to miało miejsce w reaktorze. Dodatkową zaletą jest fakt, że materiał potraktowany jonami nie będzie radioaktywny, co ułatwi badania. Z kolei negatywną stroną użycia jonów jest bardzo płytką penetracja. Uszkodzenia materiału pojawią się na

głębokości 1-2 mikrometrów, więc ich badanie będzie wymagało użycia wyspecjalizowanych narzędzi.

„Opracowanie komercyjnej fuzji jądrowej stawia przed nami jedno z największych wyzwań technologicznych naszych czasów, jednocześnie jednak niesie ze sobą obietnicę olbrzymich korzyści, w postaci nieograniczonego źródła czystej energii” – podsumowuje Tiarks.

Fuzja jądrowa – czyli reakcja termojądrowa – to obiecujące źródło energii. Polega ona na łączeniu się atomów lżejszych pierwiastków w cięższe i uwalnianiu energii. To proces, który zasila gwiazdy. Taki sposób produkcji energii ma bardzo wiele zalet. Nie dochodzi tutaj do uwalniania gazów cieplarnianych. Na Ziemi są olbrzymie zasoby i wody i litu, z których można pozyskać paliwo do fuzji jądrowej, deuter i tryt. Wystarczą one na miliony lat produkcji energii. Takiego luksusu nie mamy ani jeśli chodzi o węgiel czy gaz ziemny, ani o uran do elektrowni atomowych. Tego ostatniego wystarczy jeszcze na od 90 (według World Nuclear Association) do ponad 135 lat (wg. Agencji Energii Atomowej). Fuzja jądrowa jest niezwykle wydajna. Proces łączenia atomów może zapewnić nawet 4 miliony razy więcej energii niż reakcje chemiczne, takie jak spalanie węgla czy gazu i cztery razy więcej energii niż wykorzystywane w elektrowniach atomowych procesy rozpadu atomów.

Co ważne, w wyniku fuzji jądrowej nie powstają długotrwałe wysoko radioaktywne odpady. Te, które powstają, są na tyle mało radioaktywne, że można by je ponownie wykorzystać lub poddać recyklingowi po nie więcej niż 100 latach. Nie istnieje też ryzyko proliferacji broni jądrowej, gdyż w procesie fuzji nie używa się materiałów rozszczepialnych, a radioaktywny tryt nie nadaje się do produkcji broni. Nie ma też ryzyka wystąpienia podobnych awarii jak w Czernobylu czy Fukushima. Jednak fuzja jądrowa to bardzo delikatny proces, który musi przebiegać w ściśle określonych warunkach. Każde ich zakłócenie powoduje, że plazma ulega schłodzeniu w ciągu kilku sekund i reakcja się zatrzymuje.

Autorstwo: Mariusz Błóński

Na podstawie: Ames National Laboratory

Źródło: KopalniaWiedzy.pl