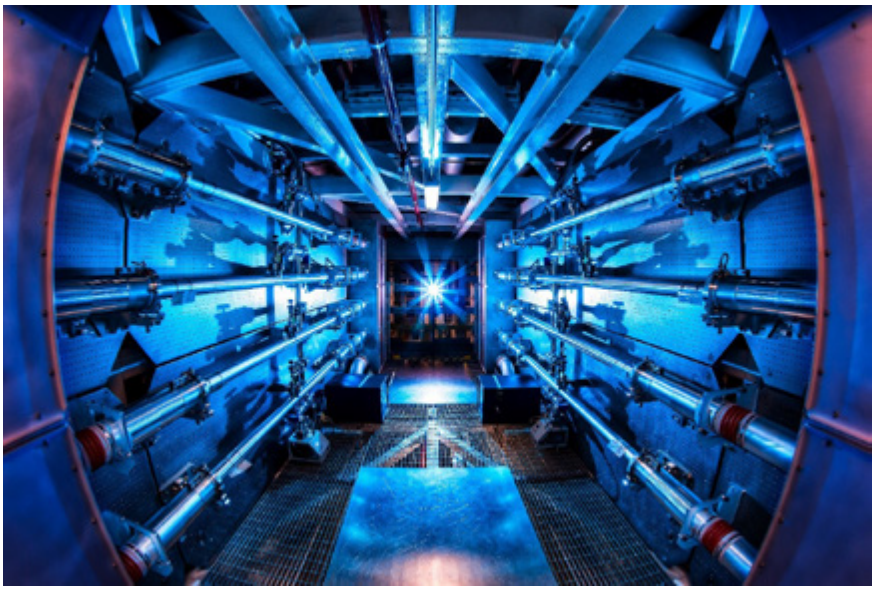
Laserowa fuzja daje nadzieję?

Czy możliwe jest powstanie na bazie fuzji inercyjnej, czyli zasilanej laserami, elektrowni termojądrowej? Twierdząca odpowiedzieć nie pozostawałaby bez pozytywnego wpływu na przyszłości naszego bytowania na Ziemi, skoro definitywnie zażegnalibyśmy widmo kryzysu energetycznego. zawsze jednak sceptyków było w tym względzie o dużo więcej, niż przekonanych, że kiedykolwiek w ogóle będzie to osiągalne.

Chcąc odwrócić proporcje liczby sceptyków do zwolenników, a w konsekwencji też otrzymać większe granty na intensyfikację badań, należy dysponować naukowym dowodem. I właśnie Amerykanie poinformowali, iż dysponują nowym niekwestionowanym dowodem, w postaci wyników udanego eksperymentu naukowego. Było nim wykorzystanie techniki syntezy jądrowej w uwięzieniu bezwładnościowym, osiągając w tym eksperymencie tzw. próg rentowności energii, wytwarzając 3,15 megadżuli energii z wejścia światła laserowego o energii 2,05 megadżuli.



Wzmacniacze laserowe w NIF, umożliwiające utworzenie impulsu o mocy 500 TW (fot. Damien Jemison/LLNL)

EPOKOWY PRZEŁOM

Wczesnym rankiem 5 grudnia 2022 r. naukowcom z National Ignition Facility w Stanach Zjednoczonych udało się uzyskać dodatni bilans energetyczny w procesie laserowej fuzji jądrowej. W tym konkretnym przypadku osiągnięto 3,15 MJ, przy energii inicjujących proces laserów wynoszącej 2,05 MJ. Osiągnięte w NIF LLNL wyniki są uznane za bardzo istotny przełom w dotychczasowych badaniach tego wiodącego w USA instytutu badawczego, w którym zatrudnionych jest prawie 9 tysięcy pracowników. A jego budżet roczny oscyluje wokół kwoty 1,5 mld dolarów.

Na specjalnie zwołanej, 13 grudnia 2022 r. przez Departament Energii USA, konferencji prasowej sekretarz ds. energii USA, Jennifer Granholm, ogłosiła, że jeden z eksperymentów NIF po raz pierwszy zakończył się reakcją syntezy jądrowej, która wytworzyła więcej energii, niż potrzeba do jej uruchomienia, tj. to zapłonu. Osiągnięcie jest znaczące dla NIF, który wykorzystuje lasery do rozpoczęcia reakcji, procesu zwanego inercyjną fuzją w uwięzieniu, zamiast metod z uwięzieniem magnetycznym, które obecnie są bardziej zaawansowane technologicznie.

– *Poniedziałek 5 grudnia 2022 był ważnym dniem dla nauki (...) Podczas eksperymentu 192 wysokoenergetyczne lasery skupiły się na celu wielkości ziarna pieprzu, podgrzewając kapsułę deuteru i trytu do ponad 3 mln stopni Celsjusza, chwilowo symulując warunki wewnątrz gwiazdy, osiągając zapłon* –stwierdziła podczas konferencji prasowej w USA, dr Jill Hruby, podsekretarz ds. energii jądrowej. I dodała: *Zrobiliśmy pierwsze niepewne kroki w kierunku czystego źródła energii, które może zrewolucjonizować świat*.

Podczas tego testu w NIF 5 grudnia ub. r. lasery spowodowały implozję kapsuły, i w efekcie tego strzału laserowego ilość energii wytworzonej w wyniku reakcji syntezy jądrowej (3,15 megadżuli) przekroczyła energię lasera (2,05 MJ) wycelowaną w kapsułę. Innymi słowy, przez najkrótszą chwilę deuter i tryt w kapsułce przeszły w stan samopodtrzymującej się reakcji. I z naukowego punktu widzenia jest to doprawdy ogromny krok naprzód. Samopodtrzymująca się reakcja stała się w wyniku tego eksperymentu faktem dokonanym. Lasery spowodowały implozję kapsuły, a atomy wodoru zderzyły się ze sobą z prędkością około 400 kilometrów na sekundę. W przedziale czasowym mierzonym w miliardowych częściach sekundy niektóre izotopy wodoru połączyły się w atomy helu. System laserowy w National Ignition Facility jest wielkością porównywalny ze stadionem sportowym i wyko-

Fuzja jądrowa jest procesem, w którym dwa lekkie jądra łączą się, tworząc jedno cięższe jądro, uwalniając dużą ilość energii. National Ignition Facility w Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) w Stanach Zjednoczonych zajmuje się – między innymi – wykorzystaniem laserów do indukowania syntezy jądrowej w warunkach laboratoryjnych od lat 60. XX stulecia, budując w kalifornijskim laboratorium serię coraz potężniejszych systemów laserowych, co doprowadziło do powstania National Ignition Facility (NIF), określanego jako największy i najbardziej energetyczny system laserowy na świecie. Ośrodek badawczy NIF w Kalifornii wykorzystuje potężne wiązki laserowe do wytwarzania temperatur i ciśnień podobnych do tych występujących w jądrach gwiazd i planet olbrzymów oraz wewnątrz wybuchów jądrowych.

rzystuje wiązki do wytwarzania temperatury i ciśnienia w skali jaka występuje wewnątrz Słońca. W tym sensie można metaforycznie powiedzieć, że po raz drugi tworzy się żywioł ognia, jaki potrzebny był do stworzenia Wszechświata.

Legenda fizyki współczesnej, Stephen Hawking (1942–2018) na pytanie, które odkrycie lub wynalazek chciałby, aby zostało urzeczywistnione odpowiedział, że życzyłby sobie, aby jak najszybciej synteza jądrowa stała się źródłem energii wykorzystywanej do celów gospodarczych. Tę chwilę na pewno przybliżają przełomowe naukowe eksperymenty. I tu już chyba nie ma rozbieżności między badaczami i opinią publiczną.

Steven Cowley, dyrektor Laboratorium Fizyki Plazmy w Princeton w kontekście sukcesu fizyków amerykańskich powiedział: *To tak, jakby ogień został rozpalony. To pierwszy kontrolowany zapłon termojądrowy, jaki kiedykolwiek widzieliśmy, i to jest spektakularne*.

Z okazji tego udanego eksperymentu przywódca większości w Senacie USA, Charles Schumer oświadczył: *Ten zdumiewający postęp naukowy stawia nas na krawędzi przyszłości, która nie będzie już zależna od paliw kopalnych, ale zamiast tego będzie zasilana nową, czystą energią termojądrową*.

A senator Jack Reed, przewodniczący Senackiej Komisji Sił Zbrojnych skonstatował: *To historyczne, innowacyjne osiągnięcie, które opiera się na wkładzie pokoleń naukowców z Livermore. Dziś nasz naród stoi na ich barkach.*

Optymizm polityków jest na pewno potrzebny jako niezbędne paliwo dla budowania go u współobywateli. Wypowiadający się naukowcy są oczywiście bardziej powściągliwi, zwłaszcza w kwestiach związanych z przyszłą komercjalizacją pomysłu.

Z dostępnych informacji dotyczących eksperymentu NIF wyłania się kilka kwestii wartych podjęcia. Szacuje się, że sama reakcja musi być co najmniej 100 razy skuteczniejsza, niż strzał laserowy z dnia 5 grudnia 2023 r. Ponadto NIF obecnie wystrzeliwuje swe lasery w eksperymentach zaledwie kilka razy do roku. Po części dlatego, że naukowcy ulepszają i przeprojektowywują swoje eksperymenty po każdym strzale. Obecnie lasery NIF są tak „potężne", że „uszkadzają własną optykę prowadzącą" za każdym razem, gdy wykonują. Na pewno też koszt eksploatacji i konserwacji inercyjnego reaktora termojądrowego musi się radykalnie zmniejszyć. Na przykład kapsułki kosztują setki tysięcy dolarów, gdyż muszą być odpowiednio wykonane, a ich opracowanie w chwili obecnej zajmuje nawet kilka miesięcy. Nawet jeśli inercyjny proces syntezy jądrowej będzie sam w sobie bardziej efektywny, wyprodukowana energia musi zostać przekształcona w użyteczną energię elektryczną. W tym celu większość propozycji opiera się na projekcie, który owinąłby całą konfigurację „kocem", pochłaniając wyrzucane neutrony w celu wytworzenia ciepła i napędzania turbiny parowej.

I na koniec nie sposób nie podkreślić, iż nadal nie wiemy – co zresztą jest oczywiste – czy fuzja bezwładnościowa może być komercyjnie konkurencyjna. Technologia ta jest aktualnie na tak wczesnym etapie rozwoju, że nie dokonano żadnych szacunków dotyczących opłacalności komercyjnej na dużą skalę.

Przy okazji ogłoszenia sukcesu w NIF nie możemy zapominać też o energetyce termojądrowej rozwijanej według innej koncepcji, a mianowicie z tzw. magnetycznym utrzymaniem plazmy. W lutym 2022 r. ogłoszono uzyskanie energetycznego rekordu na tokamaku JET (zob. „W poszukiwaniu świętego Graala fizyki" „PT" nr 5/2022), w którym to osiągnięciu badawczym naukowcy z IFPiLM mieli swój niebagatelny wkład. Udało się wtedy uzyskać 59 MJ energii w stanie stacjonarnym trwającym 5 sekund, co jest wynikiem niemal trzykrotnie wyższym od wyniku z 1997 r. W samym centrum plazmy uzyskano temperaturę 150 milionów stopni Celsjusza, czyli dziesięciokrotnie wyższą, niż temperatura panująca w jądrze Słońca. Wygenerowanie takiej energii wymagało 0,17 miligramów paliwa termojądrowego – około 0,1 mg trytu i 0,07 mg deuteru. Dla porównania, paliwa kopalne wymagałyby 10 milionów razy więcej paliwa do wytworzenia tej samej ilości energii (1,06 kg gazu ziemnego lub 3,9 kg węgla brunatnego). Uzyskane wyniki w JET są nader obiecujące w perspektywie dalszych badań nad fuzją jądrową w powstającym we Francji tokamaku nowej generacji ITER (zob. „Polacy budują ITER" „PT" nr 11/2019), a następnie już w prototypowej elektrowni termojądrowej DEMO (Zob. „Energia dla XXI wieku" PT nr 4/2014).

Zatem – pomimo tak spektakularnego charakteru tego eksperymentu, będącego dowodem na prawidłowe przewidywania uczonych, jednak do produkowania tej ekologicznej, bezpiecznej i praktycznie niewyczerpywalnej energii termojądrowej jest wciąż jeszcze bardzo daleko, a proces jej przyszłej komercjalizacji może okazać się zadaniem nad wyraz trudnym. Ale jak podkreśliła podczas ogłoszenia Kim Budil, dyrektor Lawrence Livermore osiągnięty teraz wynik jest absolutnie niezbędnym pierwszym krokiem na tej skomplikowanej i pełnej wyzwań drodze dochodzenia naukowców do skomercjalizowania tej technologii.

W opinii dr. inż. Marcina Rosińskiego, kierownika Zakładu Fizyki i Zastosowań Plazmy Laserowej w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej i Mikrosyntezy w Warszawie: *Wykonano obecnie mały kroczek w kierunku okiełznania natury i uzyskania czystej energii „gwiazd", bazującej na inercyjnej syntezie jądrowej. Podobnie jak program Apollo rozwijany w USA w latach 1966–1972 napędzał różne dziedziny nauki i technologii do rozwoju, a sukcesem dla całej ludzkości było postawienie przez Neila Armstronga pierwszego kroku na księżycu w roku 1969, tak i teraz wynik uzyskany w NIF – miejmy nadzieję – stanie się kołem zamachowym do tego, że można i że warto podążać tą ścieżką rozwoju, by synteza jądrowa była źródłem energii dla przyszłych pokoleń*.

WARTO WIERZYĆ

Pomysł fuzji napędzanej laserem po raz pierwszy zaproponowany przez Johna Nuckollsa i innych badaczy z Livermore w latach 60. zaczyna się sprawdzać – fuzja jądrowa zatem już bliżej, niż dalej!?

Teoretycznie rozumiemy fuzję od ponad wieku, ale droga od wiedzy do działania może być długa i żmudna. Dzisiejszy kamień milowy pokazuje, co możemy zrobić dzięki wytrwałości" – podkreśla dr Arati Prabhakar, główny doradca prezydenta USA ds. nauki i technologii oraz dyrektor Biura Polityki Nauki i Technologii Białego Domu. Arati Prabhakar krótko pracowała nad fuzją laserową w Livermore w 1978 r., i w trakcie konferencji prasowej 13 grudnia u. br. powiedziała: *ale ludzie, z którymi tu pracowałam i ich następcy, kontynuowali pracę, potrzeba było nie jednego pokolenia, ale pokoleń ludzi dążących do tego celu.* Poproszony na gorąco o komentarza Steven Cowley, dyrektor Laboratorium Fizyki Plazmy w Princeton konstatuje: *to tak, jakby ogień został rozpalony. To pierwszy kontrolowany zapłon termojądrowy, jaki kiedykolwiek widzieliśmy, i to jest spektakularne. Jest bardzo dużo pracy do wykonania, aby uzyskać komercyjną energię termojądrową za pomocą magnetycznej fuzji, ale jest całkiem pewne, że można to zrobić. Ten wynik mówi, że synteza inercyjna może być również drogą do komercyjnej syntezy jądrowej. A nie wiedzieliśmy o tym dwa tygodnie temu.*

Zdaniem Kim Budil potrzebne będą – niestety – dziesięciolecia dodatkowej pracy, aby zastosować tę samą metodę do praktycznego wytwarzania energii. ■

Marek Bielski