Fuzja spod znaku magnetycznej pułapki

Odpowiedź na pytanie: co stanowi największy problem mogący zatrzymać rozwój cywilizacji nie nastręcza większych trudności. Jest nim wyczerpywanie się ziemskich zasobów paliw kopalnych. Banalne. Skoro na globie istnieje skończona ilość zasobów kopalnych musi ich kiedyś zabraknąć. Ale co wtedy należy zrobić? Pokładanie nadziei w OŹE wydają się złudne. Pomimo ponoszonych dużych nakładów pełnią one tylko funkcję uzupełniającą energetyczny bilans w skali świata. I dlatego prowadzi się badania w zakresie fuzji termojądrowej. Reakcja syntezy przebiega tu niejako odwrotnie do reakcji rozszczepienia jądrowego i w tej „drugiej stronie medalu" upatruje się praktycznie niewyczerpalnego źródła energii.

Program energetyki termojądrowej jest ogromnym wyzwaniem cywilizacyjnym. Uczestniczą w nim najbardziej rozwinięte przemysłowo kraje. Te nie należące do czołówki światowych potentatów dzięki międzynarodowej współpracy naukowej też mogą brać w nim udział. Oczywiście pod warunkiem dysponowania odpowiednim potencjałem intelektualnym i eksperymentalnym.

Na warszawskim Bemowie

Prof. Krzysztof Kurzydłowski,dyrektor NCBiR w jednym z wywiadów konstatuje m.in.: ***polskie środowisko fuzji jądrowej rozwija się niezwykle dynamicznie. Duża w tym zasługa Instytutu Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, ale także innych instytucji, w tym Instytutu Fizyki Jądrowej PAN i kilku uczelni".***

Odwiedźmy zatem IFPiLM, aby dowiedzieć się co jest powodem tak wysokiej oceny prac badawczych prowadzonych w Polsce w obszarze fuzji jądrowej.

W Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy - informuje jego dyrektor, prof. Andrzej Gałkowski - r***ealizowane są głównie badania podstawowe i prace aplikacyjne w zakresie fizyki plazmy wytwarzanej impulsowo laserami i w układach z magnetycznym utrzymaniem plazmy, fuzji jądrowej i impulsowych technologii wielkich mocy.***

W badaniach plazmowych związanych z realizacją syntezy termojądrowej dla celów energetycznych podstawowe znaczenie mają pomiary parametrów plazmy. W uproszczeniu można rzec, że eksperymentalna fizyka plazmy to przede wszystkim pomiary koncentracji, temperatury plazmy, emitowanego przez nią promieniowania – falowego i korpuskularnego, realizowane różnymi metodami w zależności od rodzaju urządzenia wytwarzającego wysokotemperaturową plazmę.

Unikatowe w skali świata

Mamy na myśli jedno z największych urządzeń na świecie ***plasma focus*** PF-1000U, a takie właśnie znajduje się w IFPiLM. Plazma wytwarzana za pośrednictwem tego typu urządzeń jest obiektem badań prowadzonych m.in. w USA, Rosji, Niemczech, Włoszech, ale urządzenie należące do warszawskiego

Od lewej: Ryszard Miklaszewski - Polska, Helmut Schmidt – Niemcy, Maurizio Samueli – Włochy, Igor Garkusha – Ukraina, Marek Sadowski – Polska, Włodzimierz Surała – Polska, Alain Bernard – Francja, Ylo Ugaste – Estonia, Pavel Kubes – Czechy, Viaceslav Krauze – Rosja, Włodzimierz Stępniewski – Polska, Alexander Blagojev – Bułgaria, Alireza Talebitaher – Singapur, Karel Kolaczek – Czechy, Eric Lehner – USA, Marian Paduch – Polska

Od lewej stoją: Andrzej Szymaszek – Polska, Maryna Cernyshova – Polska, Zofia Kalinowska – Polska, Lesław Karpiński – Polska, Ewa Zielińska – Polska, Ryszard Panfil – Polska, Jozef Kravarik – Czechy, Irena Ivanova-Stanik – Polska, Sławomir Głowacki – Polska, Studenci z Czech (3)

Poniżej: Pavel Kubes – Czechy, Marek Sholz – Polska, SzymonZając – Polska, Student z Czech

Siedzi: Marian Paduch – Polska

instytutu ze względu na swoje parametry techniczne oraz nowoczesne wyposażenie diagnostyczne przyciąga na warszawskie Bemowo badaczy z wielu krajów świata. ***Ponadto PF-1000U*** – mówi dr Monika Kubkowska z IFPiLM, kierowniczka Zakładu Fuzji Jądrowej i Spektroskopii Plazmy - ***jest znakomitym układem do testowania i rozwijania różnych diagnostyk, w szczególności neutronowych.***

Nic dziwnego, że to właśnie w IFPiLM działa pod auspicjami UNESCO Międzynarodowe Centrum Gęstej Plazmy Namagnetyzowanej (International Centre for Dense Magnetized Plasmas - ICDMP). Przewodniczącym Międzynarodowej Rady Naukowej Centrum jest prof. Pavel Kubes z Politechniki Praskiej, a członkami uczeni z Francji, Niemiec, Włoch, Czech, Bułgarii, Singapuru, Estonii, Indii i Malezji. Celem ICDMP jest tworzenie odpowiednich warunków do badań zjawisk fizycznych występujących w plazmie generowanej w urządzeniach typu ***plasma focus***, szkolenie poprzez staże młodych naukowców oraz międzynarodowa wymiana naukowa między instytucjami zajmującymi się tą tematyką. Międzynarodowy zespół naukowców skupionych w Centrum w ciągu ostatnich kilku lat opublikował w ponad 50 artykułów z wynikami prowadzonych prac, w czasopismach z listy filadelfijskiej . Dwóch pracowników IFPiLM, członków zespołu laboratorium PF-1000U za badania pól magnetycznych w układach ***plasma focus*** zostało uhonorowanych nagrodą im. I.V. Kurczatowa.

Dr inż. Marian Paduch, kierownik Zakładu Diagnostyki i Technologii Plazmowych, stwierdza, że dzięki programowi NCBR „Badania i rozwój technologii dla kontrolowanej fuzji jądrowej" w ramach strategicznego projektu badawczego „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej" począwszy od 2012 r. można było dokonać modernizacji aparatury diagnostycznej oraz samego urządzenia. Laboratorium PF-1000U było beneficjentem m.in. kolejnych Programów Ramowych UE (od 5. do 7.), zrealizowano siedem projektów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, w planach są kolejne trzy. Ponadto eksperymentatorom z tego laboratorium powierzono m. in. koordynację międzynarodowego projekt NATO w ramach Programu Science for Security.

Polacy za granicą

Tych urządzeń fizycznie w Polsce nie ma. A i w świecie jest ich niewiele. Co wcale nie oznacza, że nie są one nasze - zaznacza prof. Andrzej Gałkowski, dyrektor IFPiLM.

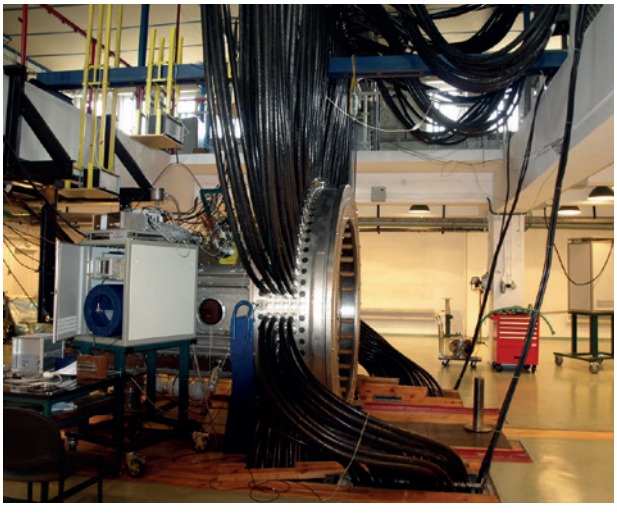
JET (***Joint European Torus***) największy działający eksperymentalny tokamak (od **To**roidalnaja **Ka**miera s **Ma**gnitnymi **K**atuszkami) znajdujący się w Culham koło Oxfordu w Anglii jest własnością Wspólnoty EURATOM. Dzięki przystąpieniu do niej Polski, co skutkuje uczestnictwem w europejskim programie fuzji jądrowej, ma miejsce stały, aktywny udział naukowców z IFPiLM w badaniach w Culham. Pracownicy IFPiLM projektują w Anglii eksperymenty, przeprowadzają prace doświadczalne. Prowadzą też prace naukowe i nowatorskie projekty techniczne na rzecz JETa w Wielkiej Brytanii oraz w Polsce. Tak jak to miało miejsce m.in. w wypadku przygotowania i testowania aktywacyjnej diagnostyki neutronowej stosowanej następnie na tokamaku JET. ***Tych prac na swoim koncie mamy więcej*** - podkreśla dr inż. Marian Paduch - ***na przykład opracowanie nowych metod diagnostycznych związanych z rejestracją produktów reakcji fuzji jądrowej i promieniowania plazmy w korelacji z ewolucją i dynamiką plazmy, czy stworzenie nowych technik diagnostycznych rejestracji ultraszybkich procesów.***

Prowadzone są też badania materiałowe dla potrzeb międzynarodowego projektu ITER oraz europejskiego projektu reaktora fuzyjnego DEMO.

Grupa naukowców IFPiLM po doświadczeniach i nabytych umiejętnościach na tokamaku JET realizuje obecnie i inne projekty mające na celu zaprojektowanie detektorów gazowych typu GEM np. do diagnostyki rentgenowskiej dla tokamaka WEST, budowanego obecnie w Cadarache we Francji.

W prace dla tokamaka JET zaangażowana jest także grupa IFPiLM zajmująca się pomiarami neutronowymi, która m.in. przeprowadziła wielofoliowe aktywacyjne pomiary neutronów. Wyniki eksperymentu posłużyły jako test porównawczy dla wyników uzyskanych z obliczeń transportu neutronów wykonanych przy pomocy kodu MCNP. Użyte w pomiarach materiały aktywacyjne zostały specjalnie wyselekcjonowane i wstępnie przetestowane w polu neutronów urządzenia PF-1000U.

Historycznie koncepcja tokamaka - przypomina dr Monika Kubkowska - była alternatywą dla urządzenia zwanego stellaratorem, gdzie podobnie do tokamaka, zastosowano pułapkę magnetyczną tylko o bardziej skomplikowanym kształcie. Specjalnie zaprojektowany kształt cewek magnetycznych powoduje, że w stellaratorach nie występuje transformator, dlatego tego



Fragment komory eksperymentalnej IFPiLM

Instalacja

typu urządzenia nadają się do pracy ciągłej, a nie jak tokamaki - pracy impulsowej. Ze względu na kształt pola magnetycznego wyróżnia się różnego rodzaju konfiguracje takie, jak heliotron, heliac czy helias. Ta ostatnia właśnie zastosowana została w najnowocześniejszym obecnie na świecie stellaratorze, zbudowanym tuż przy granicy Polski, w Niemczech w Greifswaldzie – stellaratorze Wendelstein 7-X (W7-X). 20 maja 2014 r. w Instytucie Fizyki Plazmy im. Maxa Plancka w Niemczech, odbyło się – z udziałem polskich uczonych i m. in. delegacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego uroczyste otwarcie i uruchomienie tego urządzenia.

W projekcie W7-X znaczący udział ma Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, który od kilku lat zaangażowany jest w opracowanie i budowę dwóch diagnostyk rentgenowskich dla stellaratora Wendelstein 7-X. Projekt realizowany we współpracy z Instytutem Fizyki Plazmy w Greifswaldzie dotyczy dwóch układów spektroskopowych. Pierwszy z nich to układ spektroskopii bezdyspersyjnej z zastosowaniem analizy amplitudowej impulsów z chłodzonego detektora półprzewodnikowego pracującego w reżimie zliczania kwantów, z ang. metoda PHA (***Pulse Height Analysis***). Drugi zaś to układ wielokanałowy z zastosowaniem matryc detektorów półprzewodnikowych, w którym wykorzystuje się różne filtry, co umożliwia obserwację widma promieniowania rentgenowskiego w szerokim zakresie spektralnym – metoda dotyczy szczegółowego opracowania metod pomiarów, wykonania próbnych układów pomiarowych, przetestowania poszczególnych komponentów, przede wszystkim detektorów, jak i optymalizację pracy obu diagnostyk. Obie diagnostyki są instalowane na W7-X, a pierwsze wyniki eksperymentalne przewidywane są na 2015 r.

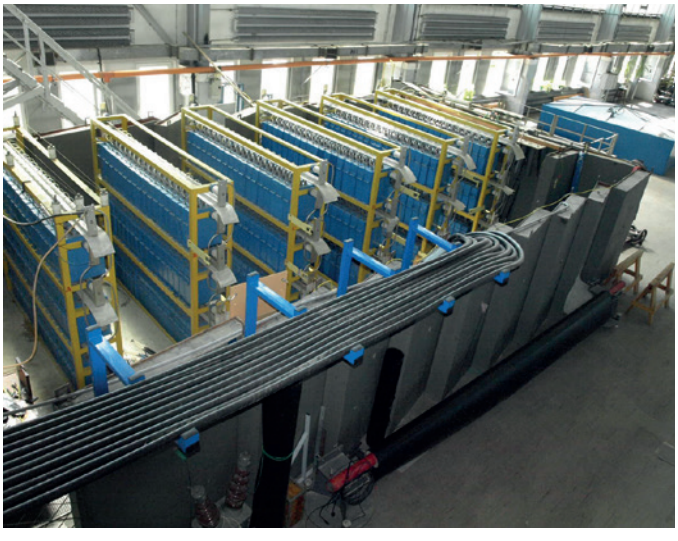
Ponadto w IFPiLM od wielu lat prowadzone są też prace mające na celu badania zachowania się zanieczyszczeń plazmy podczas stosowania systemu grzania ICRH (***Ion Cyclotron Resonance Heating***) w tokamaku JET oraz ASEDX-Upgrade (AUG) zlokalizowanego w Garching w Niemczech. Również prace teoretyczne ukierunkowane są na badania transportu plazmy w urządzeniach fuzyjnych, analizę oddziaływań plazma-ściana oraz całościowy opis wyładowania w tokamakach (reaktorach) z uwzględnieniem sprzężenia pomiędzy plazmą centralną i brzegową. Prowadzone badania są wynikiem wieloletniego doświadczenia nabytego podczas kontaktów z europejskimi ośrodkami plazmowymi i miały na celu rozwój zaawansowanych modeli i kodów numerycznych służących do opisu plazmy w istniejących jak i planowanych (ITER, DEMO, W7-X) urządzeniach fuzyjnych.

Grupa teoretyków z IFPiLM zaangażowana jest również w projekt pod nazwą ***Integrated Tokamak Modelling***, w ramach którego powstaje zintegrowany system kodów numerycznych, bibliotek danych eksperymentalnych oraz danych atomowych, opisujących istniejące, i przyszłe układy typu tokamak. Badania oddziaływań plasma-ściana (tzw. ***Plasma-Wall-Interaction***) realizowane są także przez grupę doświadczalną IFPiLM. Prowadzane są eksperymenty mające na celu badanie oddziaływań impulsów laserowych lub strumieni plazmy z różnymi materiałami (m.in. wolfram, węgiel, stal nierdzewna), które są planowane jako materiał konstrukcyjny reaktorów termojądrowych. Ta tematyka jest bardzo istotna w badaniach plazmy z magnetycznym utrzymaniem i ma na celu opracowanie metody usuwania deponowanych na ścianach reaktora zanieczyszczeń oraz charakterystykę przebiegu tego procesu i jego produktów za pomocą różnych diagnostyk.

W 2013 r. - iformuje dr Monika Kubkowska - został zakończony z sukcesem projekt zbudowania i przetestowanie instalacji dwóch detektorów gazowych GEM (***Gas Electron Multiplier***) dla diagnostyki na tokamaku JET. Projekt ten był realizowany przez grupę naukowo-badawczą z IFPiLM we współpracy z naukowcami Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Warszawskiego i miał na celu rozwoju rentgenowskiej diagnostyki KX1. Obecnie diagnostyka ta dostarcza kluczowych informacji o plazmie, istotne także dla powstającego obecnie reaktora ITER.

Przedstawiane wątki – zaznacza prof. Jerzy Wołowski, zastępca dyrektora ds. naukowych IFPiLM – ***są zaledwie zasygnalizowaniem wyłącznie jednego tylko obszaru badań prowadzonych w naszym Instytucie. Pozostałe to - między innymi - interferometria laserowa związana z realizacją syntezy termojądrowej w wyniku laserowej kompresji plazmy oraz zagadnienia wynikające z programu realizowanego przez Laboratorium Plazmowych Napędów Satelitarnych.*** Ale ta również niezmiernie interesująca strona badań plazmowych – z uwagi na rozległość tematyki i „szczupłość miejsca" w musi stać się już przedmiotem osobnego omówienia.

Marek Bielski ■



Dodatkowe baterie 2 MJ

Urządzenia komory eksperymentalnej w IFPiLM