

SPRAWOZDANIE Z REALIZACJI ZADAŃ STATUTOWYCH

IFPiLM w roku 2018

przedstawione przez dyrektora
Instytutu Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy
im. Sylwestra Kaliskiego

Warszawa, 2019

Wstęp

W 43. roku swojej działalności IFPiLM zatrudniał 78 pracowników (stan na 31 grudnia 2018), a wśród nich:

- 9 profesorów (5 tytułarnych)
- 26 doktorów
- 16 asystentów naukowych
- 3 inżynierów

Do pracy w IFPiLM zostało przyjętych 7 osób (w tym 1 profesor tytułarny). Z Instytutu odeszło 17 osób, w tym 14 na emeryturę.

Instytut kontynuował prace badawcze i rozwojowe w czterech podstawowych grupach:

- Badania fuzji laserowej i oddziaływań laser-materia
- Badania i modelowanie plazmy w układach MCF (EUROfusion)
- Badania plazmy w układzie *plasma focus*
- Kosmiczne sterowniki plazmowe

Badania statutowe

W roku 2018 Instytut realizował badania statutowe ujęte w 11 zadaniach, zgodnie z planem działalności Instytutu na ten rok. Zadania te można zgrupować następująco:

Badania fuzji laserowej i oddziaływań laser-materia

1. Badania ultraintensywnych oddziaływań laser-plazma i laserowej akceleracji materii, w tym badania objęte programami: NCN, ELI, XFEL i EUROfusion
2. Badania eksperymentalne procesów zachodzących w plazmie laserowej, w szczególności badania emisji jonów, elektronów i promieniowania X z plazmy, realizowane w LLWM i innych laboratoriach w tym badania objęte programami: LaserLab, ELI-Beamline i EUROfusion
3. Badania namagnetyzowanych strumieni plazmowych z udziałem polaro-interferometrii, wytwarzanych dla potrzeb realizacji różnych koncepcji fuzji inercyjnej, laboratoryjnej astrofizyki oraz innych zastosowań, w ramach LaserLab oraz EUROfusion

Projekty powiązane z zadaniami 1-3

Ad 1.

Projekt NCN HARMONIA 2014/14/ST7/NCN: Impulsy elektromagnetyczne inicjowane oddziaływaniem lasera wielkiej mocy z tarczą

Środki finansowe dostępne z zewnątrz:

- NCN: 99,8 kPLN

Ad 2.

Projekt ToIFE-EUROfusion: Badania najnowszych wariantów realizacji laserowej syntezy termojądrowej

Środki finansowe dostępne z zewnątrz ujęte są łącznie dla całego programu EUROfusion (patrz poniżej).

Projekt COST Action MP 1208: Rozwój badań fizyki plazmy laserowej i fuzji inercyjnej związany z badaniami w układzie NIF

Koordynator projektu pokrywa jedynie koszty delegacji

Ad 3.

Project LaserLab – PALS-2368: Space-time measurements of spontaneous magnetic field in correlation with the electron and ion emission from the ablative plasma on the PALS laser in the context of ICF application

Środki finansowe dostępne z zewnątrz

- Komisja Europejska: 51,7 k€ \approx 251,2 kPLN
- MNiSW (PMW – Projekt Międzynarodowy Współfinansowany): 510,0 kPLN

Project EUROfusion - CfP-AWP17-IFE-CEA-01: Preparation and Realization of European Shock Ignition Experiments

Project EUROfusion - CfP-AWP17-IFE-CEA-02: Towards a universal Stark-Zeeman code for spectroscopic diagnostics and for integration in transport codes

(finansowanie dalej, dla całego EUROfusion)

Badania i modelowanie plazmy w układach MCF (EUROfusion)

4. Rozwój i zastosowanie programów numerycznych modelujących procesy fizyczne w układach typu tokamaki stellarator. Rozwijanie i testowanie programu ETS (European Transport Solver) w ramach ITM – Integrated Tokamak Modelling
5. Badanie procesów oddziaływania impulsów laserowych z materiałami w kontekście opracowania diagnostyki do usuwania zanieczyszczeń i monitorowania składu ściany reaktora
6. Rozwój i zastosowanie diagnostyk miękkiego promieniowania rentgenowskiego w układach z magnetycznym utrzymaniem gorącej plazmy
7. Badania plazmy w układach tokamaka JET, ASDEX Upgrade i TCV z zastosowaniem diagnostyk spektroskopowych, CXRS i bolometrii
8. Rozwój i zastosowanie diagnostyki neutronów i promieniowania elektromagnetycznego (X , γ) dla układów z magnetycznym utrzymaniem plazmy oraz dla impulsowych generatorów plazmy typu plasma focus (EUROfusion)

Projekt powiązany z zadaniami 4-8

EUROfusion Grant Agreement (Horyzont 2020): Scientific and technological research for The European Atomic Energy Community

Środki finansowe dostępne z zewnątrz

- Komisja Europejska: 779,9 k€ \approx 3338,1 kPLN
- MNiSW (PMW): 3906,7 kPLN
- Premia na horyzoncie (MNiSW): 347,9 kPLN

Badania plazmy w układzie *plasma focus*

9. Badanie procesów oddziaływania plazma-ściana w reaktorach termojądrowych (projekt MAEA)
10. Badania eksperymentalne procesów fizycznych w plazmie komprymowanej polem magnetycznym w urządzeniu PF-1000U (program ICDMP)

Projekty powiązany z zadaniami 9-10

Ad. 9

Projekty Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA)

- Application of the PF-6 device in the Radiation Material Sciences for the Goals of Inertial Fusion Beyond Ignition and for Additional Spin-off Applications
- Development of Quasi-State (Repetitive) Compact Fusion Neutron Sources Based on Plasma-Focus Concept

Środki finansowe dostępne z zewnątrz

- MAEA: 17,5 k€ ≈ 74,3 kPLN
- MNiSW (PMW – Projekt Międzynarodowy Współfinansowany) 387,5 kPLN

Ad. 10

Program Międzynarodowego Centrum Gęstej Plazmy Namagnetyzowanej (ICDMP – International Centre for Dense Magnetized Plasma)

Środki finansowe dostępne z zewnątrz

- Środki Fundacji Wspierania ICDMP: 3,0 kPLN
- Dotacja statutowa MNiSW na Specjalne Urządzenie Badawcze: 295 kPLN

Kosmiczne sterowniki plazmowe

11. Budowa układu eksperymentalnego i badania optymalizacyjne plazmowego silnika Halla małej mocy (~300W) oraz teoretyczne i numeryczne modelowanie fizyki procesów w takim silniku

Projekt Europejskiej Agencji Kosmicznej

- ESA Contract No. 4000122415/17/NL/GE: 0.5kW class HET for operation at high voltage with krypton propellant

Środki finansowe dostępne z zewnątrz

- ESA: 113 922 €

Dodatkowo Instytut realizował:

Prace usługowe wykonywane przez Laboratorium Symulowanych Wyładowań Atmosferycznych

Przychód w roku 2018: 237 kPLN

Finansowanie projektów w roku 2018 (w kPLN)

Kierunek	Środki zagraniczne	MNiSW (+NCN)	Inne	Razem	Dotacja statutowa
Plazma laserowa	251 (6%)	610 (10%)	-	861(8%)	2919 (22%)
EUROfusion	3 338 (83%)	4838 (79%)	-	8176 (79%)	
<i>Plasma focus</i>	77 (2%)	683 (11%)	-	760 (8%)	
Napędy satelitarne	338 (9%)	-	-	338 (3%)	
Usługi LSWA	-	-	237(100%)	237 (2%)	
RAZEM	4004 (100%)	6 131(100%)	237 (100%)	10372 (100%)	13356 (100%)

Sprawozdania merytoryczne są na stronie internetowej Instytutu pod adresem [Raporty roczne](#)

Wyniki/osiągnięcia badawcze w poszczególnych zadaniach

Ad 1. Badania ultra intensywnych oddziaływań laser-plazma i laserowej akceleracji materii, w tym badania objęte programami: NCN, ELI, XFEL i EUROfusion

Prace związane z projektem NCN HARMONIA 2014/14/M/ST7/00024: Impulsy elektromagnetyczne inicjowane oddziaływaniem lasera z tarczą w układach laserowych wielkiej mocy

Przeprowadzono pomiary silnych impulsów elektromagnetycznych (IEM) z zakresu mikrofalowego, powstających w układach laserowych wielkiej mocy o zróżnicowanych parametrach. Pomiary wykonano dla lasera Eclipse (CELIA, Bordeaux) o czasie trwania impulsu 40 fs i energii impulsu do 100 mJ; lasera 10 TW w IFPiLM (40 fs, 400 mJ); lasera 100 TW w Intense Laser Irradiation Laboratory w Pizie (30 fs, 3 J); lasera 1 PW Vulcan w RAL, Didcot (600 fs, 600 J); lasera sub-ns PALS, Praga (300 ps, 600 J). Stwierdzono, że we wszystkich wypadkach istotną rolę odgrywa składowa IEM z zakresu multi-GHz. Zaobserwowano także niezwykle powtarzalność impulsów wytwarzanych przy tych samych parametrach lasera i tarczy, mimo ich pozornie chaotycznego charakteru. W niektórych eksperymentach zmierzono także prąd zwrotny do tarczy, co pozwala wyznaczyć całkowity ładunek elektryczny deponowany na tarczy w wyniku oddziaływania z laserem, z jednoczesnym pomiarem energii protonów napędzanych laserowo. Stwierdzono, że silne IEM można zaobserwować także w przypadkach, kiedy prąd zwrotny do tarczy jest ograniczony. Zmierzono także widma elektronów wyrzucanych z tarczy. Uzyskano obszerny materiał doświadczalny dotyczący silnych IEM, który pozwoli

analizować mechanizmy odpowiedzialne za powstawanie takich impulsów i testować różne modele ich powstawania.

Prace związane z projektem EUROfusion AWP15-ENR-IFE/CEA-02: Towards Inertial Fusion Energy (ToIFE)

Przeprowadzono symulacje kinetyczne metoda Particle-in-Cell (PIC) dla laserowego napędzania jonów przy użyciu wiązki lasera KrF i tarczy węglowej. Laser KrF charakteryzuje się długością fali 0,25 μm , co daje nadzieję na usunięcie pewnych niedogodności występujących przy długości fali 1 μm , jaką przyjmowano w dotychczasowych rozważaniach. Symulację przeprowadzono dla energii impulsu 100 kJ, czasie trwania impulsu 1 ps i apertury wiązki od 10 μm do 20 μm . Są to parametry właściwe dla tzw. szybkiego zapłonu jonowego (Ion Fast Ignition – IFI). Stwierdzono, że widmo energii napędzanych jonów węgla jest dość szerokie, ale ma wyraźne maksimum w okolicy 200 MeV, a średnia energia jonów jest dobrze dopasowana do wymagań IFI. Uzyskano rozkłady czasowe natężenia i mocy wiązki jonów węgla w strefie bliskiej i strefie dalekiej. Szczytowe natężenie impulsu jonowego jest bardzo duże, rzędu 10^{22} W/cm², a więc o dwa rzędy wielkości wyższe niż minimalne wymagania dla IFI. Otrzymano także rozkłady przestrzenne natężenia wiązki jonów w strefie bliskiej. Stwierdzono, że wiązka jonów charakteryzuje się dużą rozbieżnością, rzędu 60°.

W odrębnym cyklu symulacji zbadano możliwość zmniejszenia rozbieżności wiązki protonów napędzanych laserem z impulsem o sub-ps czasie trwania, co jest istotne dla badań nad gorącą gęstą materią i badań materiałowych. Wykonano symulacje 2D i 3D dla oddziaływania wiązki lasera o długości fali 1 μm z tarczą CH. Otrzymane wyniki wskazują na możliwość znacznego zmniejszenia rozbieżności wiązki przy użyciu wiązki o spłaszczonym profilu poprzecznym (flat-top).

Stworzono także prosty kinetyczny model ucieczki szybkich elektronów wyrzucanych z tarczy w wyniku oddziaływania z laserem. W modelu założona jest symetria sferyczna, co pozwala uzyskać prostotę modelu jednowymiarowego przy zachowaniu możliwości ucieczki elektronów z naładowanej tarczy.

W ramach projektu ToIFE przeprowadzono także badania doświadczalne dotyczące silnych impulsów elektromagnetycznych. Wykonano wstępne pomiary przy użyciu wykonanej w IFPiLM sondy do pomiaru szybkozmiennego pola magnetycznego, mającej postać dwóch pętli o topologii Moebiusa, ustawionych prostopadle do siebie. Taka sonda pozwala wykonywać jednoczesne pomiary dwóch prostopadłych składowych pola magnetycznego, co jest ważnym testem dla modeli silnych IEM przewidujących dominację jednej składowej. Przeprowadzono także badania nad wpływem ekranowania silnych IEM na widmo napędzanych laserowo protonów oraz wpływ obecności preplazmy na amplitudę silnych IEM.

Prace związane z europejskim projektem Extreme Light Infrastructure Nuclear Physics (ELI NP)

Przeprowadzono symulacje metodą PIC dla laserowego napędzania jonów Th, w zakresie parametrów lasera ELI NP. Zidentyfikowano dwa etapy akceleracji ciężkich jonów, przyspieszanie pod wpływem ciśnienia promieniowania, po którym następuje przyspieszanie powłokowe (sheath acceleration). Stwierdzono, że wpływ przyspieszania

powłokowego jest najsilniejszy dla tarcz cienkich. Zbadano także napędzanie jonów z tarczy C, Cu i Pb. Stwierdzono, że we wszystkich przypadkach większość energii uzyskiwały jony w pierwszym etapie akceleracji. W przypadku tarczy C stwierdzono całkowitą jonizację materiału tarczy, natomiast dla cięższych jonów uzyskano szeroki rozkład możliwych stopni jonizacji.

Ad 2. Badania eksperymentalne procesów zachodzących w plazmie laserowej, w szczególności badania emisji jonów, elektronów i promieniowania X z plazmy, realizowane w LLWM i innych laboratoriach w tym badania objęte programami: LaserLab, ELI-Beamline i EUROfusion

Prace zrealizowane w LLWM w 2018 roku:

- pomiary emisji jonów i promieniowania X z plazmy generowanej laserem Pulsar 10TW w ramach projektu Eurofusion:ToIFE z wykorzystaniem aparatury pomiarowej w LLWM,
- przygotowanie i przeprowadzenie eksperymentów w LLWM dotyczących akceleracji protonów z cienkich foli pokrytych grafitem przy współpracy z zespołem Uniwersytetu w Messynie (Włochy) i w Nuclear Physics Institute (Czechy),
- udział pracowników LLWM w dwóch kampaniach (maj, październik) eksperymentalnych na laserze PALS (Czechy) w ramach grantu LaserLab realizowanego przez Zakład Fizyki i Zastosowań Plazmy Laserowej, w szczególności uzyskanie rozkładu przestrzennego plazmy z wykorzystaniem zautomatyzowanego systemu analizy wyników opracowanego na potrzeby eksperymentu,
- przygotowanie i przeprowadzenie prac eksperymentalnych w ramach programu ToIFE (EUROfusion) dotyczących emisji jonów przy pomocy lasera KrF w Szeged (Węgry) z wykorzystaniem tarcz sub-mikrometrowych,
- opracowanie porozumienia o wzajemnej współpracy pomiędzy IFPiLM a ELI Beamlines (Czechy) w postaci dokumentu MoU (*Memorandum of Understanding*),
- przygotowanie wraz z zespołem z ELI-Beamlines w IoP CzAS (zespół: HELL- High-energy Electrons by Laser Light) w Pradze koncepcji wspólnego eksperymentu dotyczącego badań emisji elektronów o wysokiej energii z plazmy generowanej laserem wielkiej mocy w ośrodku ELI Beamlines koło Pragi, z wykorzystaniem wyników wcześniejszych wspólnych badań wykonanych w LLWM,
- przeprowadzenie prac objętych projektem NCN HARMONIA dotyczącym badań emisji impulsów elektromagnetycznych (EMP) z plazmy laserowej, wykonanych m.in. w LLWM we współpracy z CELIA (Bordeaux, Francja),
- przygotowanie i przeprowadzenie eksperymentu w LLWM dotyczącego akceleracji ciężkich jonów złota (Au) wraz z testem różnego typu diagnostyk w perspektywie prac badawczych na dużym układzie laserowym (np. PHELIX).

Ad 3. Badania namagnetyzowanych strumieni plazmowych z udziałem polaro-interferometrii, wytwarzanych dla potrzeb realizacji różnych koncepcji fuzji inercyjnej, laboratoryjnej astrofizyki oraz innych zastosowań, w ramach LaserLab oraz EUROfusion

Najważniejszym osiągnięciem badań w 2018r. było uruchomienie 3-kadrowego polaro-interferometru pracującego w opcji interferometrii kompleksowej oraz wielokanałowego magnetycznego spektrometru elektronów zbudowanych w ramach 1 etapu realizacji projektu LaserLab-002368. Te dwie nowe unikalne diagnostyki zostały zastosowane razem z innymi

diagnostykami spektroskopowymi i jonowymi dostępnymi na eksperymencie PALS do badania strumieni plazmowych wytwarzanych przy oddziaływaniu promieniowania 1-harmonicznej lasera jodowego PALS z tarczami o różnej konstrukcji, istotnych z punktu widzenia różnych zastosowań. Stosowane były 3 rodzaje tarcze: (i) płaskie tarcze jedno lub dwuwarstwowe z różnych materiałów, (ii) tarcze typu capacitor-coil (CC) oraz (iii) tarcze o konstrukcji ślimakowej.

Ad. (i) W zrealizowanych badaniach stosowane były płaskie tarcze masywne z Cu i Al oraz dwuwarstwowe składające się masywnej tarczy z Cu pokrytej cienką warstwą plastiku o różnych grubościach. Celem eksperymentów było poznanie korelacji SPM z emisją elektronów i jonów i ich wpływu na procesy absorpcji promieniowania laserowego w plazmie ablacyjnej odpowiedzialne za transport energii z udziałem szybkich elektronów, mających znaczenie dla realizacji rozważanych obecnie koncepcji zapłonu termojądrowego (*shock i fast ignition*). Aby uzyskać informacje o przestrzenno-czasowych rozkładach SPM prowadzone były pomiary za pomocą 3-kadrowego układu do interferometrii kompleksowej. Rejestrowane były sekwencje interferogramów kompleksowych w różnych charakterystycznych fazach ekspansji plazmy. Pomiary parametrów emisji elektronów realizowane były za pomocą (i) wielokanałowego magnetycznego spektrometru elektronowego, który umożliwiał uzyskanie widm energii elektronów emitowanych pod różnym kątem od tarczy w stosunku do kierunku wiązki laserowej, oraz (ii) 2D zobrazowania emisji linii K_{α} z Cu, w celu uzyskania informacji o populacji i energii szybkich elektronów emitowanych w kierunku do tarczy.

Szczególnie ważną diagnostyką były pomiary za pomocą sondy prądowej, które rejestrowały prąd zwrotny związany z emisją elektronów w kierunku od tarczy, rejestrowanych za pomocą magnetycznego spektrometru. Dodatkowo prowadzone były pomiary za pomocą układu kolektorów siatkowych w celu uzyskania informacji o rozkładach kątowych jonów, a na ich podstawie o parametrach plazmy ablacyjnej (np. średniej temperatury elektronowej).

Ad. (ii) Celem eksperymentów z tarczami typu capacitor-coil (C-C), była optymalizacja warunków ich pracy, żeby uzyskać maksymalny prąd w cewce sprzężonej z kondensatorem tarczy (diodą), biorąc pod uwagę, zarówno jej konstrukcję jak i warunki oświetlenia promieniowaniem laserowym. Przewidywane zastosowanie takich tarcz to – generatory optyczne supersilnych pól magnetycznych: do wytwarzaniu namagnesowanych strumieni plazmy dla celów ICF oraz badań astrofizycznych, a także do ogniskowania protonów w terapii hadronowej nowotworów.

W badaniach optymalizacyjnych wykorzystywane były tarcze C-C typu *GSI 2016*, z ośrodka CELIA Uniwersytetu w Bordeaux. Przedmiotem pomiarów były 4 konfiguracje tarcz C-C, różniące się między sobą wariantem uziemienia tarcz oraz sposobem ich oświetlenia promieniowaniem laserowym. Testowane były tarcze z różnym odstępem między okładkami kondensatora dla różnych energii promieniowania laserowego. 3-kadrowy interferometr kompleksowy, umożliwiał jednoczesny pomiar indukcji pola magnetycznego (IPM) w cewce tarczy C-C oraz SPM w diodzie między okładkami kondensatora. Pomiary IPM w cewce były realizowane wykorzystując efekt Faraday'a w kryształ TGG (o stałej Verdet: 60rad/T/m) umieszczonym w pobliżu cewki.

Wstępne badania, pokazały, że nie wszystkie konfiguracje tarcz C-C pozwalają na jednoczesny pomiar SPM w tarczy C-C oraz indukcji pola magnetycznego w cewce sprzężonej z kondensatorem, ze względu na silny wpływ promieniowania rentgenowskiego emitowanego z plazmy generowanej w kondensatorze tarczy C-C na kryształ TGG, które powoduje jego degradację uniemożliwiając pomiar. Aby kontynuować pomiary, wymaga to w przyszłych

badaniach, wprowadzenia zmian, zarówno w konstrukcji tarczy jak holderu do mocowania tarczy i kryształ TGG.

Ad. (iii) Z wykorzystaniem 3-kadrowej kompleksowej interferometrii, kontynuowane były badania procesu wytwarzania namagnesowanych strumieni plazmowych w tarczach ślimakowych (typu „*snail*”) poprzez radialną implozję plazmy formowanej wzdłuż powierzchni tarczy ślimakowej. W zrealizowanych eksperymentach stosowane były tarcze ślimakowe z miedzi o różnych wymiarach. Celem badań było poznanie wpływu wymiarów tarcz oraz warunków ich oświetlania odnoszących się, zarówno do energii lasera jaki sposobu zogniskowania wiązki laserowej na tarczy ślimakowej.

Razem z pomiarami polaro-interferometrycznymi prowadzone pomiary emisji elektronów za pomocą wielokanałowego magnetycznego spektrometru elektronów oraz 2D zobrazowania emisji linii $k\alpha$ z Cu. Stosowano również inne diagnostyki dostępne na PALS, między innymi 4-kadrową kamer rentgenowską umożliwiającą wizualizację procesu formowania strumie plazmy w zakresie miękkiego promieniowania rentgenowskiego.

Uzyskane wyniki z w/w wyżej eksperymentów są obecnie przedmiotem ilościowych analiz grup diagnostycznych uczestniczących w eksperymentach. Kluczową kwestią jest uzyskanie informacji o rozkładach SPM na podstawie interferogramów kompleksowych z 3-kadrowej polarymetrii. Szczególnie pracochłonna jest analiza wyników pomiaru parametrów emisji elektronów z wielokanałowego magnetycznego spektrometru elektronów oraz 2D zobrazowania emisji linii $k\alpha$.

Uzyskane informacje o rozkładach gęstości prądu związanego z przepływem elektronów w plazmie ablacyjnej (na podstawie pomiaru SPM) oraz rozkładów kątowych widm energii elektronów z pomiarów za pomocą magnetycznego spektrometru będą podstawą do formułowania wniosków odnośnie osiągnięcia w/w celu badań i opracowania materiału naukowego do opublikowania.

Ad 4. Rozwój i zastosowanie programów numerycznych modelujących procesy fizyczne w układach typu tokamak

- Pomijając małe trudności techniczne, kod FINDIF uzyskał zdolność do porównywania jego wyników z innymi programami / eksperymentem w warunkach, gdy obecność atomów obojętnych jest nieistotna. Wyładowania z gorącą warstwą brzegową w konfiguracji limiterowej są najbliższe tym warunkom. Dane do porównań z kampanii OP-1.1 na urządzeniu W7-X już istnieją
- Uruchomiono moduł dla domieszek (programu ETS – European Transport Solver) w bazie danych IMAS 3.20.0 oraz zakończono prace nad adaptacją kodu COPREDIV do platformy numerycznej Kepler (przykładowy workflow COREDIV w Keplerze został opracowany)
- W 2018 roku prowadzono prace nad połączeniem części kodu COREDIV, która modeluje plazmę centralną tokamaka z kodem TECXY. Pierwsza wersja kodu już działa i jest w trakcie testowania.
- Dzięki skonstruowanym siatkom obliczeniowym dla nowych konfiguracji dywertorowych reaktora DEMO (XD, SFX, SF) przeprowadzono symulacje numeryczne, które pozwalają na opis i ocenę wpływu ww. konfiguracji pól magnetycznych na plazmę brzegową w reaktorze fuzyjnym DEMO. W wyniku obliczeń numerycznych określono wpływ nowych konfiguracji dywertorowych pola magnetycznego na plazmę obszaru brzegowego, wskazując istotne różnice oraz wady i zalety zastosowania poszczególnych konfiguracji. Dodatkowo wykonano symulacje

numeryczne dla plazmy domieszkowanej argonem. Wykazano, że domieszkowanie plazmy argonem redukuje obciążenie cieplne dywertora poniżej wartości ograniczenia technologicznego dla każdej rozważanej konfiguracji pola magnetycznego. Ponadto pokazano, że możliwa jest praca w trybie wysokiego utrzymania plazmy dla reaktora DEMO z litowym ciekłym dywertoem bez domieszkowania. Użycie ciekłych metali zmniejsza znacznie obciążenie cieplne płyty dywertora, zwłaszcza w obszarze największego obciążenia, w punkcie przecięcia separatrysy z płytą dywertora (*strike point*), gdzie plazma ma dużą gęstość i rozprasza energię przez promieniowanie.

- Obliczenia kodem COREDIV dla reaktora DEMO pokazują, że dla każdej z trzech domieszek (Ar, Kr, Xe) istnieje minimalny poziom domieszkowania, powyżej którego spełnione są warunki pracy w wysokim reżymie utrzymania. Okazuje się, że istotnym problemem dla przyszłego reaktora fuzyjnego może być transport helu w obszarze centralnym.

Ad 5. Badanie procesów oddziaływania impulsów laserowych z materiałami w kontekście opracowania diagnostyki do usuwania zanieczyszczeń i monitorowania składu ściany reaktora

Projekt Eurofusion WPPFC: Preparation of efficient PFC operation for ITER and DEMO:

- W 2018 r. badania prowadzone były w laboratoriach IFPiLM (Warszawa) oraz ENEA (Frascati) na próbkach zawierających materiały odpowiadające przewidywanemu składowi pierwszej ściany przyszłych reaktorów termojądrowych oraz zdemontowanych bezpośrednio z toroidalnego limitera tokamaka FTU znajdującego się we Frascati. Uzyskane wyniki potwierdziły zdolność metody dwuimpulsowej - DP LIBS do skutecznej identyfikacji materiałów przewidywanych do użycia na wewnętrznej ścianie urządzeń termojądrowych, w szczególności izotopów wodoru, przy różnych ciśnieniach, jak i w próżni.

Projekt WPMST2: Preparation of exploitation of MSTs - Implementation of the Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) measurements at atmospheric pressure conditions during long-term maintenance using the Multi-Purpose Deployer:

- W listopadzie 2018 roku przeprowadzono wspólnie z zespołem ENEA, Frascati eksperyment LIBS na modelu (*mock-up*) tokamaka FTU. Prace były poprzedzone pracami przygotowawczymi mającymi na celu zaprojektowanie i budowę systemu pomiarowego złożonego z dwuimpulsowego lasera, automatycznego ramienia, na którym zamontowana została głowica laserowa wraz z układem zbierania systemu optycznego oraz dwóch spektrometrów, szeroko i wąskopasmowego.

Ad 6. Rozwój i zastosowanie diagnostyk miękkiego promieniowania rentgenowskiego w układach z magnetycznym utrzymaniem gorącej plazmy (prace w ramach programu EUROfusion)

Projekt EUROfusion WPS1: Preparation and Exploitation of W7-X campaigns:

- W 2018 roku przeprowadzonych został szereg prac mających na celu usprawnienie działania diagnostyki PHA, jak i poprawę jakości otrzymanych widm promieniowania rentgenowskiego. Pierwszą z nich było zaimplementowanie specjalnie zaprojektowanego modułu elektronicznego, którego celem było wyłapanie docierającego sygnału wyzwalającego tzw. triggera z systemu Wendelstein 7-X i jego wydłużenie do czasu 100ms. Dzięki temu rozwiązaniu, system PHA mógł efektywnie

wykrywać docierające do detektorów promieniowanie i rozpoczynać akwizycje danych samoczynnie niwelując potrzebę ingerencji użytkownika w obsługę systemu. Dodatkowo rozwinięto oprogramowanie w celu poprawy synchronizacji zarejestrowanych ramek czasowych PHA z czasem UTC. Stworzono również szereg skryptów ulepszających i przyspieszających analizę danych.

- W celu poprawy precyzji analizy otrzymanych danych z diagnostyki PHA wprowadzono modyfikacje w oprogramowaniu sterującym system. Jako pierwsze, stworzone zostało nowe oprogramowanie dla odczytu ilości kwantów promieniowania docierających do detektorów, jak również odczytanych. Znajomość tej wartości dla każdego z detektorów i każdej ramki czasowej pozwala obecnie na znaczne podniesienie dokładności wyników otrzymywanych podczas analizy danych, gdyż parametry te mają wpływ na tzw. efekt pile-up, a więc nakładania się kwantów i ze względu na dużą częstotliwość zliczeń, niemożność ich odseparowania. Zaimplementowane rozwiązanie pozwoliło na obliczenie emisyjności widm ze znacznie większą dokładnością.
- Kolejną modyfikacją oprogramowania było usprawnienie modułu wysyłającego dane eksperymentalne do bazy danych W7-X, tzw. archive database. Opracowana modyfikacja pozwoliła na znaczącą oszczędność czasu oraz precyzję w opracowywaniu wyników. Obecnie zarejestrowane dane mogą być przesyłane do bazy W7-X bezpośrednio po wyładowaniu lub też sekwencją na zakończenie dnia eksperymentalnego.
- W 2018 r. pracownicy naukowcy IFPiLM brali czynny udział w kampanii eksperymentalnej OP1.2b na W7-X, której celem była dalsza optymalizacja urządzenia, wydłużenie czasu wyładowania oraz uruchomienie dodatkowego grzania plazmy NBI. Obsługiwali diagnostykę PHA i dokonywali na bieżąco wstępnych analiz zarejestrowanych widm.
- W 2018 roku prace nad urządzeniem diagnostycznym „C/O Monitor” dla W7-X skupione były głównie na przygotowaniu dokumentacji na wykonanie pierwszej komory próżniowej. W związku z tym zostały poprawione rysunki techniczne poszczególnych elementów diagnostyki w celu optymalizacji kosztów ich produkcji.
- W ramach współpracy międzynarodowej IFPiLM – NIFS (Japonia) pracownicy Instytutu mieli okazję kolejny raz wziąć udział w kampanii eksperymentalnej na stellaratorze LHD. Ponadto, dokonano analizy porównawczej danych uzyskanych z plazmy wodorowej i deuterowej w eksperymentach z wstrzykiwaniem do plazmy TESPELi (tracer-encapsulated solid pellet). W plazmie wodorowej nie występowała akumulacja zanieczyszczeń, zarówno w przypadku plazmy o niskiej, jak i wysokiej gęstości elektronowej, natomiast w przypadku plazmy deuterowej o wysokiej gęstości elektronowej ($n_e = 2.8 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$) zaobserwowano akumulacje.

Projekt EUROfusion WPENR: Development of soft X-ray GEM based detecting system for tomographic tungsten focused transport monitoring:

- Sfinalizowano konstrukcję detektora GEM poziomego o zakrzywionym kształcie do zastosowania w diagnostyce tomograficznej na tokamaku WEST w Cadarache, Francja. Przeprowadzono również pierwsze testy tego detektora.
- Skonstruowano i przetestowano modelowy detektor GEM oparty o aluminiowe folie
- Przeprowadzono symulacje sygnałów detektora dla folii aluminiowych GEM, porównano z wynikami dla detektora opartego o folie miedziane.
- Detektor pionowy został zainstalowany w porcie tokamak WEST, uzyskano pierwsze wyniki z ostatniego tygodnia kampanii eksperymentalnej w roku 2018.

Ad 7 Badania plazmy w układach tokamaka JET, ASDEX Upgrade i TCV z zastosowaniem diagnostyk spektroskopowych, CXRS i bolometrii

- Przeprowadzono symulacje numeryczne wyładowań w tokamaku JET, TCV i AUG za pomocą kodów numerycznych COREDIV, EDGE2D, TECXY, ETS. Modelowanie plazmy miało na celu wsparcie i przeprowadzenie ekstrapolacji wyników teoretycznych na potrzeby planowanej kampanii eksperymentalnej DTE2 na JET. Stanowiły istotną rolę w procesie optymalizacji zewnętrznego domieszkowania oraz przy określeniu mocy docierającej do płyt dywertora. Przyczyniły się także do określenia wpływu produkcji i transportu zanieczyszczeń na parametry plazmy.
- Przeprowadzono badania zachowania metalicznych zanieczyszczeń w plazmie podczas optymalizacji scenariuszy plazmy oraz scenariuszy grzania ICRH na rzecz przyszłej kampanii DT i dla ITER-a.
- Przeprowadzono rekonstrukcje bolometryczne dla różnych wyładowań plazmy w tokamaku JET.
- Przeprowadzono prace nad dalszą rozbudową bazy JETPEAK na JET.
- W roku 2018, na tokamaku AUG przeprowadzono pierwszą część eksperymentu zatytułowanego „W sputtering in ICRF-heated plasmas and development of novel ICRF schemes”. Stanowił on kontynuację badań dotyczących tzw. nowego trzy-jonowego scenariusza grzania ICRH. W ramach zadania wykonano analizy zachowania wolframu w plazmie na podstawie diagnostyk spektroskopowych.
- Na tokamaku TCV, JET i AUG do modelowania plazmy użyto i dostosowano nieliniowy kod magnetohydrodynamiczny JOREK. Zbudowana została ortogonalna 3-wymiarowa siatka obliczeniowa.
- W 2018 kontynuowano koordynację zadania T17-06 Impact of ICRH on impurities for optimisation of scenarios.
- W 2018 r. uczestniczono w szkoleniu na operatora VSO (Viewing System Operator), w szkoleniach dotyczącym obsługi kodów numerycznych JOREK, ETS oraz programu EFIT do rekonstrukcji pola magnetycznego w JET.

Ad 8 Rozwój i zastosowanie diagnostyki neutronów i promieniowania elektromagnetycznego (X, γ) dla układów z magnetycznym utrzymaniem plazmy oraz dla impulsowych generatorów plazmy typu *plasma focus* (EUROfusion)

W 2018 roku zespół analiz neutronowych IFPiLM uczestniczył w przygotowaniach tokamaka JET do kampanii eksperymentalnej DET2, w trakcie której komora wypełniona zostanie mieszaniną deuteru i trytu. Kampania ta związana będzie z przygotowaniem do uruchomienia

reaktora ITER, a jej program opracowany został w ścisłej współpracy ze specjalistami z ITER Organization (IO) oraz Fusion for Energy (F4E).

W 2018 roku zespół IFPiLM brał także udział w przygotowaniu projektu koncepcyjnego intensywnego źródła neutronów do badań materiałowych w ramach zadania EUROfusion WPENS (*Early Neutron Source Definition and Design*).

Kalibracja systemu diagnostyk neutronowych JET dla energii 14 MeV

Zadanie realizowane w ramach projektu Eurofusion WPJET3 „Technical Exploitation of DT Operation”, zadanie NC-14.

Głównym celem kalibracji „in-vessel” diagnostyk neutronowych tokamaka JET, wykonanej za pomocą generatora neutronów 14 MeV, było wyznaczenie współczynników kalibracyjnych dla komór rozszczepieniowych (system KN1) oraz współczynników aktywacyjnych dla Al oraz Nb (system KN2) dla plazmy deuterowo-trytowej.

-Rezultatem prac międzynarodowego zespołu realizującego zadanie NC-14 jest zdefiniowanie współczynników kalibracyjnych dla neutronów powstających w wyniku reakcji DT dla wszystkich typów monitorów promieniowania neutronowego wchodzących w skład systemu diagnostycznego tokamaka JET. Wykonanie kalibracji systemu diagnostycznego jest jednym z podstawowych warunków pomyślnej realizacji kampanii trytowej (DTE2), przewidzianej na lata 2019-2020.

W roku 2018 przeprowadzono analizę danych eksperymentalnych zebranych podczas kampanii charakterystycznych generatora neutronów oraz w trakcie kalibracji „in-vessel” diagnostyk neutronowych tokamaka JET z zastosowaniem generatora neutronów 14 MeV.

Głównym celem tej analizy było porównanie dwóch niezależnych metod wyznaczania wydajności emisji generatora neutronów na podstawie wyników pomiarów aktywacyjnych. Wydajność emisji generatora neutronów dla pierwszej metody (C_1) była wyznaczana w oparciu o szybkość reakcji jądrowych dla próbek aktywacyjnych, obliczonej za pomocą kodu MCNP, przekrój czynny na daną reakcję jądrową pochodzący z biblioteki IRDFF (v.1.05) oraz zaprojektowane specjalnie do tego celu narzędzie numeryczne. Druga metoda (C_2) była oparta o symulacje numeryczne przeprowadzone za pomocą kodu FISPACT-II. Analiza wykazała, że obie metody wyznaczania wydajności emisji generatora neutronów są jednakowo dobre i mogą być stosowane zamiennie. Wykazano również, że wpływ zastosowanej biblioteki danych jądrowych na otrzymane wartości wydajności emisji generatora neutronów może być znaczący (ok. 2%).

Pomiary aktywacyjne materiałów konstrukcyjnych tokamaka ITER

Zadanie realizowane w ramach projektu Eurofusion WPJET3 „Technical Exploitation of DT Operation”, zadanie ACT.

W roku 2018 roku zespół IFPiLM kontynuował prace przewidziane w ramach projektu „ACT – pomiary aktywacji neutronami materiałów przewidzianych do budowy tokamaka ITER”

Przeprowadzono analizę numeryczną z aktywacji tych materiałów z wykorzystaniem kodu FISPACT-II. Pozwoliła ona na wyznaczenie spodziewanej aktywności właściwej produktów reakcji jądrowych powstających w próbkach, które były napromieniowane w trakcie kampanii DD na tokamaku JET.

W 2018 roku przeprowadzono również kalibrację detektorów promieniowania gamma, będących na wyposażeniu laboratoriów zaangażowanych w realizację projektu ACT, za pomocą źródła kalibracyjnego promieniowania gamma. Do tego celu użyto źródło kalibracyjne

zawierające następujące radionuklidy: ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{51}Cr , ^{85}Sr , ^{54}Mn , ^{133}Ba , ^{60}Co , ^{203}Hg , ^{137}Cs oraz ^{88}Y . Metodologia kalibracji wydajnościowej detektorów promieniowania gamma była podobna dla każdego z laboratoriów.

Analizy neutronowe dla potrzeb projektu WPENS – Early Neutron Source Zadanie realizowane w ramach projektu Eurofusion WPENS: Early Neutron Source Definition and Design

W ramach projektu WPENS zespół IFPiLM zaangażowany był w realizację zadania ENS-2.2.5.1 „Nuclear analyses as requested for the design optimisation of STUMM”. Zadanie to polegało na kontynuacji obliczeń transport neutronów dla potrzeb urządzenia STUMM (Start-Up Monitoring Module) projektowanego przez Instytut Fizyki Jądrowej (IFJ) w ramach zadania ENS-4.4.1.1-T10-03 „Conceptual design of STUMM”.

Tak jak w poprzednich latach zadanie to wykonywano za pomocą kodu MCNP5 z użyciem dystrybuowanych w ramach projektu WPENS modelu geometrycznego urządzenia DONES oraz dodatkowo kodu McDeLicious symulującego źródło neutronów w urządzeniu DONES. W roku 2018 w projekcje modułu DONES nastąpiła istotna zmiana – usunięto z niego system N-16. Zmianę tę wprowadzono do inputu geometrycznego, dodano również system poczty pneumatycznej (*rabbit system*).

Zgodnie z założeniem projektu WPENS moduł STUMM ma być rodzajem bardzo złożonego detektora promieniowania neutronowego i gamma. W fazie rozruchowej urządzenia DONES zostanie umieszczony w miejscu, gdzie docelowo ma się znaleźć moduł HFTM. Jego zadania to dokładny pomiar pola promieniowania, które w przyszłości ma oddziaływać na HFTM, weryfikacja obliczeń neutronowych, weryfikacja modelu źródła neutronów McDeLicious.

Wykonywane przez zespół IFPiLM obliczenia transportu neutronów w module STUMM mają wspomagać prace zespołu z IFJ projektującego ten moduł, a w szczególności diagnostyki, które będzie zawierał. W roku 2018 kontynuowano obliczeniach grzania jądrowego generowanego w STUMM oraz wytypowano przekroje czynne na reakcje aktywacji planowane w systemie poczty pneumatycznej.

W 2018 r wykonano obliczenia przestrzennego rozkładu grzania jądrowego stali eurofer w STUMM. Uzyskane wyniki posłużą do porównania z analogicznymi mapami wykonanymi dla modułu HFTM (*High Flux Test Module*) przez inne zespoły.

Ad 9 Badanie procesów oddziaływania plazma-ściana w reaktorach termojądrowych (projekt MAEA)

W 2018 roku kontynuowano testy odporności na oddziaływanie strumieni plazmy oraz wiązek jonów powierzchni materiałów takich jak wolfram o wysokiej dyspersji oraz jego stopy (otrzymywane za pomocą różnych technologii i stąd różniące się własnościami) a także wanad oraz jego stopy, wykazujące dobre własności mechaniczne oraz słabo aktywujące się neutronami o widmie odpowiadającym reaktorom fuzyjnym działającym z paliwem DT.

Próbki wolframu wykonane metodą spiekania z proszku a następnie dwukrotnie kute w wysokiej temperaturze (*double forged*) w celu uzyskania dużej jednorodności ziaren, dostarczone zostały przez International Research Center Juelich oraz przez MAEA do kilku uczestników programu w celu przeprowadzenia *round-robin tests*. Wszystkie otrzymane próbki miały wymiar 1.2 x 1.2 cm² oraz grubość 5 mm. Próbki naświetlane były w generatorach plazmy PF-6 oraz PF-1000U.

Próbki naświetlone przez zespół IFPiLM przesłane zostały do Instytutu Metalurgii i Badań Materiałowych RAS w Moskwie (uczestnika programu CRP) w celu przeprowadzenia analizy metalograficznej ich powierzchni.

W 2018 roku zespół IFPiLM brał ponownie udział w badaniach porównawczych prowadzonych dla identycznych próbek materiałów poddawanych obciążeniom termicznym w różnych ośrodkach naukowych biorących udział w programie CRP (tzw. *round robin tests*). Ośrodkami tymi były:

- Instytut Metalurgii i Badań Materiałowych im. Bajkowa w Moskwie,
- Instytut Fizyki Plazmy Ukraińskiej Akademii Nauk w Charkowie,
- Wydział Matematyki i Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu w Tallinie.

W roku 2018 w ramach *round robin tests* badane były własności stopów wolframu (próbki wyprodukowane zostały przez HC Starck Hermsdorf GmbH): (i) HPM1850 - W stop zawierający 1%Fe oraz 2%Ni; (ii) HPM1810 – W, stop zawierający 1.5%Fe oraz 3.5%Ni, (iii) HPM1800 – W, stop zawierający 1.5%Fe oraz 3.5%Ni.

Ad 10 Badania eksperymentalne procesów fizycznych zachodzących w gorącej plazmie komprymowanej polem magnetycznym w urządzeniu PF-1000U, w szczególności badania emisji produktów reakcji fuzji izotopów wodoru (program Międzynarodowego Centrum Gęstej Namagnetyzowanej Plazmy)

Plasma focus

- W ramach realizacji zadania wykonano trzy okresowe badania i konserwacje 288 iskierników układu PF-1000U.
- Zbadano wpływ antyanody oraz kształtu czoła anody (wkładki stożkowe) na dynamikę powstawania i rozwoju niestabilności MHD sznura plazmowego, powstawanie plazmoidów oraz emisję promieniowania jonizującego.
- Badano produkty bezneutronowej reakcji proton-bor z wykorzystaniem diody krzemowej typu PIN zainstalowanej na osi układu PF-1000U.
- Wykorzystano układ PF-1000U jako impulsowe źródło neutronów do testowania nowych diagnostyk neutronowych opartych na itrze.
- Kontynuowano badania podstawowe dotyczące poznania mechanizmu generacji neutronów w urządzeniach typu *plasma focus* oraz możliwych metod prowadzących do uzyskania maksymalnej emisji neutronów dla zadanej energii zgromadzonej w baterii kondensatorów.
- W ramach badania dżetów plazmowych (symulacja zjawisk astrofizycznych) zbudowano układ rejestracji czterech kadrów diagnostyki cieniowej w obszarze 40 cm przed czołem anody. Zainstalowano sześcielementową sondę do rejestracji dwóch składowych pola w trzech pozycjach od osi układu PF. Rejestrowane obrazy korelowano z sygnałami nowej sondy magnetycznej.

W ramach sześciu sesji eksperymentalnych przeprowadzono 299 udarów.

Laboratorium Symulowanych Wylądowań Atmosferycznych

- Wykonano na zlecenie pięciu podmiotów badania wytrzymałości na udar piorunowy dziewięciu ochronników od ośmiu producentów.
- Badania przeprowadzono w oparciu o polską normę PN-EN 61643-11:2006. Dodatkowo posługiwano się procedurą wewnętrzną Laboratorium Symulowanych

Wyładowań Atmosferycznych opisaną w SOP 31. Badania ograniczników wykonywane były dwoma rodzajami uderzeń piorunowych (10/350 oraz 8/20).

- W oparciu o program badań p.t „Próby określające poziomy napięcia i prądu indukowane przez wyładowanie atmosferyczne dla samolotu PZL-130 TC-II Orlik z awioniką SANDEL” nr PP-130/OB/01/2017 w dniach 25-28 czerwca przeprowadzono pomiary indukowanych sygnałów w wybranych obwodach. Badania te pozwalają określić poziom odporności awioniki na narażenia ze strony wyładowania atmosferycznego.

Ad 11 **Kosmiczne sterowniki plazmowe**

- Kontynuowano prace w ramach 2-letniego projektu HIKHET: Kryptonowy silnik Halla zasilany wysokim napięciem, który uzyskał finansowanie z ESA/PIIS w wysokości 200 kE.
- Przeprowadzono badania wydajności silnika dla dwóch rodzajów paliwa (ksenon i krypton), w szerokim zakresie wydatków masowych (1.0–0.6 mg/s) i napięć pracy (od 200 do 900 V) oraz przy różnej konfiguracji elementów silnika (zmiana położenia katody oraz anody, testowanie dwóch kształtów izolatorów).
- Opracowano i wytworzono diagnostykę plazmowa w postaci kubka Faradaya: powstanie manipulatora dla diagnostyk zapewniającego dwa stopnie swobody (ruch radialny i kątowy), instalacja kubka na tym ramieniu, testy kalibracyjne.
- Przeprowadzono badanie konfiguracji obwodu magnetycznego w celu optymalizacji topografii pola magnetycznego wewnątrz silnika za pomocą modelowania metodą elementów skończonych w programach FEMM i ANSYS Maxwell.
- Udoskonalono model teoretyczny wczesnej fazy wyładowania w silniku L μ PPT.
- Dla studentów 3 roku Wydziału Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej przeprowadzono wykład kursowy pt. Elektryczne napędy reaktywne dla pojazdów kosmicznych.

Efekty naukowe

Dorobek publikacyjny w roku 2018 i w latach poprzednich

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Całkowita liczba publikacji	44	39	83	87	79	76	74
Zmiana [%]		-11%	113%	5%	-9%	-4%	-3%
Punkty za publikacje dla IFPiLM	924,5	892	1528,5	1937,5	1380,5	1450,5	1541,25
Zmiana [%]		-4%	71%	27%	-29%	5%	2%

Publikacje według czasopism (uszeregowane według liczby punktów dla IFPiLM; nie wszystkie czasopisma są ujęte w tabeli)

Czasopismo	Punktacja	L. artykułów	Punkty dla IFPiLM
FUSION ENGINEERING AND DESIGN	30	6	172,5
PHYSICS OF PLASMAS	30	6	167,5
REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS	30	6	165
NUCLEAR FUSION	40	6	160
PROCEEDINGS OF SPIE	15	10	150
LASER AND PARTICLE BEAMS	25	4	85
JOURNAL OF FUSION ENERGY	20	4	80
JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES	15	5	75
JOURNAL OF INSTRUMENTATION	25	3	62,5
CONTRIBUTIONS TO PLASMA PHYSICS	15	4	56,25
SCIENTIFIC REPORTS	40	1	40
RADIATION MEASUREMENTS	35	1	35
PHYSICS LETTERS A	30	1	30
EPS 2018	15	3	30
JOURNAL OF ELECTRON SPECTR. AND RELATED PH.	25	1	25
RADIATION PHYSICS AND CHEMISTRY	25	1	25
MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY	30	1	22,5
NATURE PHYSICS	45	1	22,5

Lista publikacji jest na stronie internetowej Instytutu pod adresem: [Lista publikacji IFPiLM 2018](#)

Prezentacje konferencyjne

W roku 2018 pracownicy naukowcy Instytutu przedstawili referaty na 18 konferencjach i szkołach, w tym:

- 7 wykładów zaproszonych
- 40 komunikatów ustnych i plakatów

Referaty zaproszone

35th European Conference on Laser Interaction with Matter (ECLIM), 22-26.10.2018, Rethymno, Greece

- J. Badziak “Towards ultra-intense ultra-short ion beams driven by a multi-PW laser”

International Conference and School on Plasma Physics and Controlled Fusion ICPPCF-2018, 10-13.09.2018 Charków, Ukraina

- A. Chomiczewska “Studies of impurities behaviour for the optimization of plasmas and heating scenarios at tokamaks in perspective for ITER”
- M. Kubkowska “W7-X plasma diagnostics for impurity transport studies”

III Akademijskie Forum Energii Jądrowej, 16-18.05.2018, Kraków, Polska

- N. Krawczyk: „Synteza termojądrowa - energia przyszłości”

14th Kudowa Summer School “Towards Fusion Energy” , 04-08.06.2018, Kudowa Zdrój

- T. Pisarczyk “Application of the polaro-interferometry to measure of the electron density and spontaneous magnetic fields in laser-produced plasma experiment”
- M. J. Sadowski: „Progress in Studies and Applications of Plasma-Focus and Z-Pinch Devices”
- Z. Peradzyński, K. Makowski, J. Kurzyna: „The Early Stage of the Plasma Discharge in the Pulsed Plasma Thrusters”

Lista konferencji i prezentacji na tych konferencjach jest na stronie internetowej Instytutu pod adresem: [Prezentacje konferencyjne IFPiLM 2018](#)

Organizacja konferencji i spotkań roboczych

ICDMP Workshop and ISC Meeting

W dniach 4-5 października 2018 roku w Warszawie odbyło się spotkanie Komitetu Naukowego Międzynarodowego Centrum Badania Gęstej Namagnesowanej Plazmy (International Centre for Dense Magnetised Plasmas – ICDMP). Wzięli w nim udział naukowcy z 13 krajów (Bułgaria, Republika Czeska, Estonia, Francja, Indie, Malezja, Niemcy, Rosja, Singapur, Stany Zjednoczone, Ukraina, Włochy oraz Polska), nominowani przez odpowiednie organizacje rządowe.

W trakcie spotkania polskie kierownictwo ICDMP przedstawiło sprawozdanie z realizacji zadań Centrum w ostatnim roku (październik 2017 – wrzesień 2018) oraz plan prac Centrum na następny rok. Uczestnicy spotkania zaprezentowali również najnowsze wyniki badań problemów gęstej namagnesowanej plazmy, uzyskane w swoich laboratoriach (11 referatów).

Kudowa Summer School

Szkoła fizyki plazmy *Kudowa Summer School „Towards Fusion Energy”* od lat jest organizowana w Kudowie Zdroju przez Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy z udziałem Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Zajęcia w Kudowie odbywają się co dwa lata i są przeznaczone dla młodych naukowców: magistrów i doktorantów z różnych krajów, uczestniczących w badaniach w zakresie fizyki plazmy i technologii termojądrowej. Zaprezentowane podczas szkoły wykłady wprowadziły uczestników w aktualną tematykę fuzji termojądrowej i zapoznały ich z najnowszymi osiągnięciami badań w tym zakresie.

W zajęciach podczas ostatniej edycji wzięło udział ponad 29 młodych naukowców z całego świata. Zaprezentowali oni wyniki swoich prac w formie krótkich komunikatów. Wykłady dotyczące stanu badań w zakresie wyżej wspomnianej tematyki wygłosiło 16 wybitnych uczonych.

Dyrektorem szkoły był dr Jef Ongena zatrudniony w Królewskiej Akademii Wojskowej w Brukseli. Skład Komitetu Naukowego był następujący: Jerzy Wołowski – przewodniczący, Monika Kubkowska, Tadeusz Pisarczyk, Anna Bielska – sekretarz. W skład Lokalnego Komitetu Organizacyjnego weszli: Agnieszka Szelecka – przewodnicząca, Agnieszka Zarszewska – wiceprzewodnicząca, Dominika Makaruk, Przemysław Tchórz, Anna Bielska – sekretarz.

Podczas Letniej Szkoły w Kudowie wygłoszono następujące wykłady:

1. Christoph BIEDERMANN, Max Planck Institute for Plasma Physics, Greifswald, Germany, „Wendelstein W7-X experiment, diagnostics and results of the first operation phase”.
2. David CAMPBELL, Science and Operations Dep., ITER Organiz., St-Paul-lez-Durance, France, The status of ITER”.
3. Tony DONNÉ, EUROfusion Programme Manager, PMU-Garching, Germany, PMU-Culham, U.K., “Fusion roadmap – where are we now?”.
4. Danilo GIULIETTI, University of Pisa and INFN, Pisa, Italy, “Nuclear fusion reactions induced by laser-plasma acceleration”.
5. Sebastien HACQUIN “ITER Physics Department within the EUROfusion Programme Management Unit, Culham, U.K.,” JET ITER-Like Wall operation and its physics understanding”.

6. Dieter H.H. HOFFMANN, Technische Universität Darmstadt, Germany, Physics and application of intense ion beam interaction with matter”.
7. Joseph KRÁSA, Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Rep., “Production of neutrons through fusion reactions of fast deuterons at high laser intensity”.
8. Daniele MARGARONE, Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Rep., “European project Extreme Light Infrastructure (ELI) for the investigation of light-matter interactions at the highest intensities and the shortest time scales”.
9. Jef ONGENA, Research Director at the Plasma Physics Lab., Royal Military Academy, Brussels Area, Belgium, “European project Extreme Light Infrastructure (ELI) for the investigation of light-matter interactions at the highest intensities and the shortest time scales”.
10. John PASLEY, University of York, York, UK, “IFE - Physics of ignition and thermonuclear burn”.
11. Ewa PAWELEC, Institute of Physics, Opole University, Poland, “Spectroscopic investigation of a low-temperature plasma”.
12. Zbigniew PERADZYŃSKI, Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion, Warsaw, Poland, “Development of the discharge in pulsed plasma thrusters”.
13. Tadeusz PISARCZYK, Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion, Warsaw, Poland, “Application of the polaro-interferometry to measure of the electron density and spontaneous magnetic fields in laser-produced plasma experiments”.
14. Oldrich RENNER, Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Rep., “X-ray spectroscopic study of laser-produced plasma”.
15. Marek SADOWSKI, National Centre for Nuclear Research, Otwock-Warsaw, Poland, “Progress in studies and applications of PF and Z-pinch devices.
16. Vladimir TIKHONCHUK, CELIA, Bordeaux Univ. 1, Bordeaux, France, “The role of laser produced hot electrons in the alternative schemes of fuel ignition in the inertial confinement fusion”.

Większość studentów biorących udział w Szkole przedstawiła 10-minutowe prezentacje dotyczące wyników swoich badań. W wyniku konkursu na najlepszą prezentację troje uczestników zostało wyróżnionych nagrodami. Sześć prac zaprezentowanych w Kudowie, po recenzjach, skierowano do publikacji – dwie w czasopiśmie „Laser and Particle Beams” i cztery w „Journal of Physics: Conference Series”.

Udział w pracach badawczych za granicą

W roku 2018 pracownicy IFPiLM wyjeżdżali do ośrodków zagranicznych w ramach współpracy naukowej. Lista tych ośrodków jest poniżej:

1. Laboratorium PALS w Pradze
 - a. w ramach projektu LaserLab: Space-time measurements of spontaneous magnetic field in correlation with the electron and ion emission from the ablative plasma on the PALS laser in the context of ICF application.
 - b. w ramach współpracy z Ośrodkiem Laserowym CELIA Uniwersytetu w Bordeaux.
 - c. w ramach projektu Harmonia NCN: Impulsy elektromagnetyczne inicjowane oddziaływaniem lasera z tarczą w układach laserowych wielkiej mocy
2. Laboratorium IPP-Euratom w Pradze
 - a. symulacje komputerowe dotyczące symulacji plazmy w tokamaku COMPASS w Pradze (Czechy) z użyciem kodu COREDIV
 - b. Współpraca przy opracowaniu, przygotowaniu i zastosowaniu tomografii oraz układu mierzącego promieniowanie ELM dla tokamaka COMPASS
3. Laboratorium CELIA w Uniwersytecie w Bordeaux
 - a. w ramach projektu Harmonia NCN i COST: Badania na laserze ECLIPSE
4. Laboratorium ENEA we Frascati
 - a. W ramach projektu WPMST2 – eksperyment LIBS wspólnie z ENEA Frascati
5. Laboratorium JET w Culham
 - a. w ramach projektu WPJET1 (EUROfusion) – Udział w kampanii eksperymentalnej na tokamaku JET: badanie zanieczyszczeń plazmy metodami spektroskopowymi (diagnostyki VUV i miękkiego promieniowania rentgenowskiego) i bolometria; modelowanie numeryczne wyładowań w tokamaku JET
 - b. w ramach projektu WPJET3 (EUROfusion) – Zadania ACT i NC-14: In-vessel calibration
6. Rutherford Appleton Laboratory w Didcot
 - a. W ramach projektu ToIFE – Eksperyment dotyczący laserowego napędzania protonów
7. Uniwersytet w Szeged
 - a. W ramach projektu ToIFE – Eksperyment dotyczący laserowego napędzania protonów
8. Laboratorium TCV w Lozannie
 - a. w ramach projektu WPMST1 (EUROfusion) - Udział w kampanii eksperymentalnej na tokamaku TCV – badanie za pomocą diagnostyki spektroskopowej CXRS zanieczyszczeń plazmy węglem
9. Laboratorium W7-X w Greifswaldzie
 - a. w ramach projektu WPS1 (EUROfusion) - Udział w kampanii eksperymentalnej na stellaratorze W7-X – obsługa i analiza danych z diagnostyki PHA

10. Laboratorium LHD, NIFS w Toki, Japonia
 - a. Udział w kampanii eksperymentalnej na stellaratorze LHD
11. Laboratorium WEST, Cadarache, Francja
 - a. Udział w ramach projektu GEM (EUROfusion)
12. Laboratorium ASDEX Upgrade w Garching
 - a. w ramach projektu WPMST1 (EUROfusion) – Udział w kampanii eksperymentalnej na tokamaku ASDEX Upgrade: spektroskopia, modelowanie numeryczne wyładowań w tokamaku
13. Udział w Integrated Tokamak Modelling Code Camps, w ramach Kontraktu Badawczego EUROfusion
14. Udział w projekcie EAST, Chiny
15. Udział w projekcie JT-60SA, Japonia
16. Udział w analizach numerycznych dla projektu ITER w ramach ITER Scientist Network Fellowship, Cadarache, Francja
17. Udział w analizach numerycznych dla stellaratora W7-X oraz H1, Canberra, Australia

Wystąpienia o granty badawcze NCN, NCBiR, FNP

NCN

dr Maryna Czernyshova: GEMSA: Detektor gazowy oparty na technologii GEM do zastosowań na synchrotronach. Konkurs OPUS. Wniosek niezakwalifikowany przez panel I

dr Paweł Gąsior: Nanoszenie cienkich warstw na periodyczne struktury światłowodowe za pomocą impulsowej depozycji laserowej. Konkurs OPUS. Wniosek niezakwalifikowany przez panel I

Rozwój kadry naukowej

Zostało wszczęte postępowanie habilitacyjne dr. Sławomira Jabłońskiego.

Seminaria środowiskowe (Sekcji Fizyki Plazmy PTF)

W roku 2018 naukowcy IFPiLM wygłosili 4 referaty:

1. mgr Włodzimierz Stępniewski: „Symulacje gęstej plazmy w układzie X-pinch”
2. mgr Leszek Ryc: „Spektroskopia promieniowania X za pomocą detektorów półprzewodnikowych”
3. dr Grzegorz Pełka: „Symulacje plazmy brzegowej w limiterowej konfiguracji stellaratora Wendelstein 7-X”
4. dr Piotr Chmielewski: "Modelowanie zjawiska detachment'u w obszarze brzegowym plazmy tokamakowej"

Seminaria instytutowe w IFPiLM

W roku 2018 odbyło się 9 seminariów instytutowych oraz seminarium sprawozdawcze:

1. dr Grzegorz Pełka: „Rozwój trójwymiarowego kodu Findif - stan obecny”
2. mgr inż. Arsenii Riazantsev: „Plasma Potential Measurements in the Vicinity of a Hall Effect Thruster, Using an Emissive Langmuir Probe”
3. dr inż. Paweł Gąsior: „Nagroda Nobla z fizyki w 2018 roku”
4. dr Agata Chomiczewska: „Studies of impurities behaviour for the optimization of plasmas and heating scenarios at tokamaks in perspective for ITER”
5. dr Jacek Kurzyna: „Podstawy fizyczne i koncepcja projektu HIKHET - 0,5 kW class HET”
6. inż. Przemysław Tchórz: „Numeryczne badanie laserowej akceleracji jonów węgla femtosekundowym impulsem laserowym relatywistycznym natężeniu”
7. mgr inż. Ewa Łaszyńska: „Badania kalibracyjne aparatury przeznaczonej do aktywacyjnej diagnostyki neutronów z reakcji syntezy jądrowej D-T w tokamaku JET”
8. dr Piotr Chmielewski: „Transport zanieczyszczeń w obszarze brzegowym plazmy tokamakowej”
9. dr inż. Sławomir Jednoróg: „Zastosowanie wielowymiarowych funkcji rejestracji fotonów w neutronice”

Popularyzacja fizyki i osiągnięć IFPiLM

- A. Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy wziął udział w III Astro Pikniku w dniach 8-9 września 2018 w Podzamczu Chęcińskim koło Kielc, którego organizatorem było Centrum Nauki Leonarda da Vinci. Dużym zainteresowaniem uczestników Pikniku cieszyła się makieta przyszłej elektrowni termojądrowej DEMO prezentowana przez naukowców z Instytutu.
- B. W ramach warszawskiego Festiwalu Nauki zorganizowano dla młodzieży gimnazjalnej w dniach 25 i 26 września pokazy pod nazwą „Promieniowanie wśród nas” i „Laboratorium koncentratora plazmowego *plasma focus* PF1000U” połączone ze zwiedzaniem laboratorium. 26 września gimnazjaliści wysłuchali wykładu pt. „Fizyka i zastosowania plazmy gorącej”.
- C. W dniu 4 października 2018 roku podczas IX Sieradzkiej Konferencji Kosmicznej (2-4.10.2018), w ramach działalności popularyzatorskiej, dr Jacek Kurzyna wygłosił wykład zaproszony pt. „Plazmowe i jonowe napędy kosmiczne”.
- D. W dniu 30 listopada studenci Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej odwiedzili IFPiLM. Studenci zwiedzili laboratoria i wysłuchali wykładu na temat fizyki plazmy i fuzji termojądrowej oraz programu badawczego Instytutu.
- E. Instytut uczestniczył w XVII Ogólnopolskiej Sesji Kół Naukowych Fizyków „Fizyka – Okno Na Świat” w dniach 14 - 17 grudnia 2018 w WAT. Na tej Sesji reprezentant IFPiLM wygłosił referat na temat badań fuzji termojądrowej i badań prowadzonych w Instytucie.
- F. IFPiLM i Teatr GO – Fundacja Proscenium organizują wspólnie warsztaty artystyczno-naukowe „Stany skupienia - nauka i sztuka” w sali teatru GO znajdującego się na terenie Instytutu. Warsztaty prowadzą pracownicy naukowcy Instytutu z młodzieżą szkolną.

Wydarzenia

- A. W dniu 6 lutego gośćmi Instytutu byli: Józef Sobolewski, dyrektor Departamentu Energii Jądrowej oraz Mirosław Lewiński, radca ministra energii. Departament Energii Jądrowej odpowiada za sprawy związane z wykorzystaniem energii jądrowej dla potrzeb społeczno-gospodarczych kraju, w tym za wdrożenie Programu polskiej energetyki jądrowej.
- B. Pod względem kwoty (w liczbach bezwzględnych) środków finansowych otrzymywanych z UE IFPiLM zajął 4. pozycję wśród wszystkich krajowych instytutów badawczych zaangażowanych w europejskie projekty objęte programem Horyzont 2020.
- C. We wrześniu Instytut przystąpił do organizowanej Asocjacji pod nazwą Laserlab-Europe AISBL. Statut tego konsorcjum opracowany z udziałem IFPiLM został formalnie zarejestrowany. Asocjacja AISBL będzie promować współpracę między europejskimi laboratoriami dysponującymi największymi laserami. Będzie też organizować i koordynować zastosowania takich laserów do badań i do rozwoju technologii laserowych.
- D. Zatrudnione w IFPiLM dr Agata Chomiczewska i dr Monika Kubkowska są współautorkami artykułu pt. „Magnetic configuration effects on the Wendelstein 7-X stellarator” opublikowanego w czerwcu 2018 roku w najważniejszym czasopiśmie naukowym dotyczącym fizyki - „Nature Physics”. Publikacja pokazuje wyniki badań uzyskane w ramach projektów EUROfusion w stellaratorze W 7-X w laboratorium IPP w Greifswaldzie (Niemcy).
- E. IFPiLM wspólnie z Politechniką Warszawską uzyskał patent nr P-417461 na wynalazek pt. „Sposób i układ do separacji nakładających się impulsów”, którego twórcami są dr T. Czarski i dr M. Chernyshova z IFPiLM oraz dwóch pracowników z Politechniki Warszawskiej. Wynalazek jest ważny dla doskonalenia techniki pomiarowej stosowanej w badaniach plazmowych.
- F. W styczniu 2018 roku Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk „UNIPRESS” został członkiem Centrum naukowo-przemysłowego Nowe Technologie Energetyczne koordynowanego przez IFPiLM.
- G. W dniu 5 kwietnia 2018 roku odbyło się spotkanie informacyjne dotyczące budowy tokamaka DTT we Włoszech oraz możliwości współpracy polsko-włoskiej w ramach tego projektu. W spotkaniu uczestniczyli przedstawiciele polskich jednostek zainteresowanych taką kooperacją oraz goście ze strony włoskiej, którzy zapoznali polskich uczestników z zagadnieniami technicznymi projektu. Reprezentanci polskich instytucji przedstawili możliwości współpracy przy budowie układu DTT i przygotowaniu urządzeń diagnostycznych dla tego tokamaka.
- H. W dniu 20 września 2018 roku oficjalna delegacja Instytutu Fizyki Plazmy Chińskiej Akademii Nauk (ASIPP) złożyła wizytę w IFPiLM. Wcześniejsza współpraca w dziedzinie modelowania plazmy tokamaka EAST w ASIPP oraz przyszłego reaktora CFETR (China Fusion Engineering Test Reactor) zaowocowała podpisaniem porozumienia o współpracy obu instytutów w dziedzinie badań nad fuzją jądrową.

I. Dyrektor Instytutu przyznał Nagrody II stopnia w trzech kategoriach:

Naukowej

Agata Chomiczewska (*de domo Czarnecka*)

za

Koordinację zadania EUROfusion *Impact of ICRH on impurities for optimization of scenarios* i badania w tym obszarze

Technicznej

Zespołowi w składzie:

Jerzy Król

Janina Pokorska

za

Prace związane z przygotowaniem tarcz do eksperymentów laserowych

Organizacyjnej

Anna Rowicka

za

Pozyskanie środków, ich rozliczenie oraz koordynację działań związanych z realizacją inwestycji budowlanej pn. „Termoizolacja hali badawczo-laboratoryjnej oraz wymiana i modernizacja instalacji centralnego ogrzewania”

I. Dyrektor Instytutu przyznał 3 stypendia z dotacji statutowej dla młodych naukowców. Nagrodzonymi byli:

Marta Gruca

Maciej Jakubczak

Katarzyna Mikszuta

J. Dyrektor Instytutu przyznał 3 stypendia doktorskie. Otrzymali je:

Ewa Łaszyńska

Włodzimierz Stępniewski

Agnieszka Zaraś-Szydłowska