



NZ61

Zakład Fizyki Transportu Promieniowania

Kierownik dr hab. Wojciech Królas
Prezentuje dr hab. Jakub Bielecki

Zakład dokonał ogromnej transformacji tematyki badawczej od typowych zjawisk fizyki transportu neutronów do problemów **fizyki plazmy**.

Transformacja zakończona sukcesem o czym świadczą **4 prace doktorskie** z fizyki plazmy wykonane pod kierunkiem pracowników zakładu oraz **habilitacja** z tej dziedziny. O wysokim poziomie grupy świadczy m.in. pozyskanie dobrego **post-doc'a** z Cadarache.

Opis tematyki badawczej

Fizyka plazmy – diagnostyka plazmy wysokotemperaturowej

- Rozwój metod spektroskopowych z użyciem detektorów diamentowych do pomiaru neutronów i prędkich jonów z emisji w plazmie termojądrowej, projekt układu High Resolution Neutron Spectrometer (HRNS) dla ITERa (współpraca: EUROfusion, Fusion for Energy), [M. Scholz, J. Dankowski, A. Kurowski, G. Tracz]
- Badanie zjawisk towarzyszących szybkim impulsom plazmowym generowanym w układach Plasma Focus, [A. Kulińska, M. Scholz, Ł. Marciniak]
- Opracowanie nowych metod obrazowania rentgenowskiego plazmy w urządzeniach fuzyjnych (współpraca: CEA) [A. Jardin, J. Bielecki]
- Opracowanie metodyki pomiarów SXR i HXR do badania plazmy w urządzeniach fuzyjnych (WEST) (współpraca: CEA) [J. Bielecki, A. Jardin]
- Spektrometria neutronowa o wysokiej rozdzielczości energetycznej dla określania parametrów plazmy termojądrowej pod kątem programu ITER (współpraca: ITER Organization) [J. Dankowski, M. Scholz, A. Kurowski, G. Tracz]
- Badanie współzależności zjawiska transportu ciężkich domieszek w plazmie tokamakowej i generacji prądu techniką niskiej częstotliwości hybrydowej [M. Scholz, J. Bielecki, A. Jardin, K. Król]

Badania oddziaływania promieniowania jądrowego z różnymi ośrodkami

- Koncepcja budowy akceleratorowego źródła neutronowego IFMIF-DONES (Demo-Oriented Neutron Source) projektowanie modułu STUMM, modelowania pola promieniowania, zarządzanie projektem (współpraca: EUROfusion) [W. Królas, U. Wiącek, G. Tracz, D. Dworak]
- Badanie aktywacji rzeczywistych materiałów tokamaka ITER (współpraca: EUROfusion) [A. Wójcik-Graguła]
- Modelowanie pól promieniowania generowanych przez aparaturowe źródła neutronowe oraz odpowiedzi detektorów [U. Wiącek, G. Tracz, D. Dworak]

Współpraca międzynarodowa

Współpraca poprzez umowy dwustronne IFJ PAN z:

- ✓ ITER Organisation (koordynator M. Scholz)
- ✓ IPP Praga (upgrade tokamaka COMPASS, także NAWA, porozumienie PAN-CAS) (koord. J. Bielecki, J. Dankowski)
- ✓ CEA Cadarache (projekt POLONIUM, koord. J. Bielecki)

Biegająca od 2007 roku współpraca poprzez konsorcjum europejskie Euratom/EUROfusion:

IFJ PAN w umowie konsorcjum występuje jako *linked-third-party*. Polskie instytuty i uczelnie reprezentowane są przez IFPiLM. Umowa konsorcjum na lata 2014-2020. Oczekiwana kontynuacja konsorcjum EUROfusion w FP9 w latach 2021-2027.

- ✓ Dostęp do aparatury i danych pomiarowych
 - ✓ Wysoka pozycja w projektach (Deputy Project Leader w ENS, koordynatorzy zadań), rozpoznawalność IFJ PAN
 - ✓ Finansowanie wynagrodzeń (w całości lub w części)
 - ✓ Finansowanie wyjazdów
- } w sumie w 2018 roku było to ok. **220 tys. Euro**

Programy EUROfusion, w które NZ61 jest zaangażowany:

- ✓ Early Neutron Source (WPENS) – projekt laboratorium akceleratorowego neutronów DONES (W. Królas, U. Wiącek, U. Woźnicka, A. Kurowski, G. Tracz, D. Dworak)
- ✓ JET1 (WPJET1) – dostęp do danych z eksperymentów/wyjazdy na eksp. na tokamaku JET (J. Bielecki, J. Dankowski)
- ✓ JET3 (WPJET3-ACT) – badanie materiałów ITERa naświetlonych w JET (A. Wójcik-Gargula)
- ✓ Medium and Small Tokamak (WPMST) – dostęp do tokamaków ASDEX (Garching) i TCV (Lausanne) (J. Bielecki, A. Jardin)
- ✓ Education (WPEDU) – finansowanie prac i wyjazdów na eksperymenty doktorantów

Od 2015 roku organizujemy międzynarodowe szkoły diagnostyki plazmy fuzyjnej PhDiaFusion (2015, 2017, 2019)

- ✓ Około 50 uczestników, znani wykładowcy z dobrych ośrodków, studenci z zagranicy

Inne formy współpracy:

- ✓ Uczestnictwo w międzynarodowych gremiach decyzyjnych ITER Organisation i F4E – ITPA, TAP (M. Scholz)
- ✓ Grant NCN Harmonia na współpracę z CEA Cadarache – 2019-2022 (M. Scholz, **952 tys. PLN**)
- ✓ Wspólne promocje doktoratów w IFJ PAN i CEA Cadarache – A. Jardin (2017), K. Król (2021)
- ✓ Udział w projekcie ESFRI DONES Preparatory Phase (2019-2021) (W. Królas)
- ✓ Współpraca z Uniwersytetem w Tallinie (pobyt doktorantki z Estonii w IFJ PAN, wykłady w Tallinie M. Scholz, A. Kulińska)
- ✓ Współpraca z Atomic Energy Commission Syria i U. Singapore (A. Kulińska, Ł. Marciniak)

Aparatura badawcza

Nanosekundowe źródła neutronów prędkich Plasma Focus (dwa urządzenia: PF-4 i PF-24)

W urządzeniach typu Plasma-Focus neutrony prędkie (2.45 MeV) generowane są wskutek wyładowania wysokoprądowego w gazie deuterowym, w reakcji $D + D \rightarrow {}^3\text{He} (0.82 \text{ MeV}) + n (2.45 \text{ MeV})$.

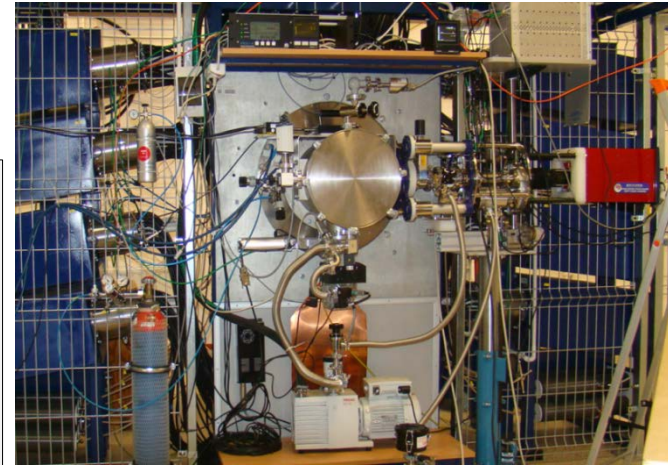
Dodatkowe wyposażenie: ultraszybka kamera do obrazowania ogniska plazmowego w zakresie SXR i VUV

Wybrane publikacje

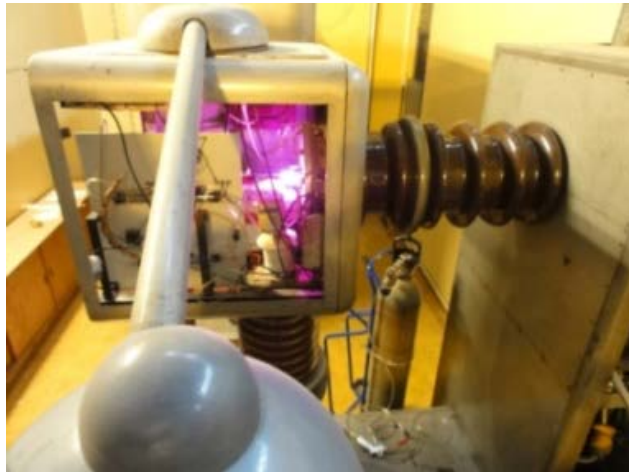
- M. Akel, Ł. Marciniak, et al. IEEE Transaction, (2019)
- J. Bielecki, et al. Radiat. Prot. Dosim. 180 (2018) 427-431
- Ł. Marciniak, et al. J. Fusion Energ. 37 (2018) 124-129
- Ł. Marciniak, et al. Nukleonika 61 (2016) 413-418
- J. Bielecki et al. Fusion Eng. Des. 112 (2016) 646-655

Doktoraty

Ł. Marciniak (2019),
K. Król (rozpoczęty)



Impulsowy generator neutronów prędkich (IGN-14)



Akceleratorowy impulsowy generator neutronów prędkich (14 MeV), pracujący w systemie liniowego przyspieszania jonów deuteru, które wywołują reakcję jądrową z trytem zaabsorbowanym w stałej tarczy (T/Ti).

Reakcja: $D + T \rightarrow {}^4\text{He} (3.561 \text{ MeV}) + n (14.029 \text{ MeV})$

Wybrane publikacje

- J. Dankowski, et al. Diam. Relat. Mater. 79 (2017) 88-92
- A. Igielski, et al., Nucl. Instr. Meth. A 797 (2015) 210-215

Doktoraty

J. Dankowski (2016)
A. Kurowski (2018)



Klaster komputerowy McRadiat

10 niezależnych serwerów (typu IBM x3550, x3650 i x3550 M3) obliczenia Monte Carlo MCNP, FLUKA

Conceptual Design and Interface Specifications of High Resolution Neutron Spectrometer for ITER (HRNS)

F4E-GRT-403

Czas realizacji:

26.09.2014 – 30.06.2017

Budżet: 940 406 EUR

Konsorcjum:

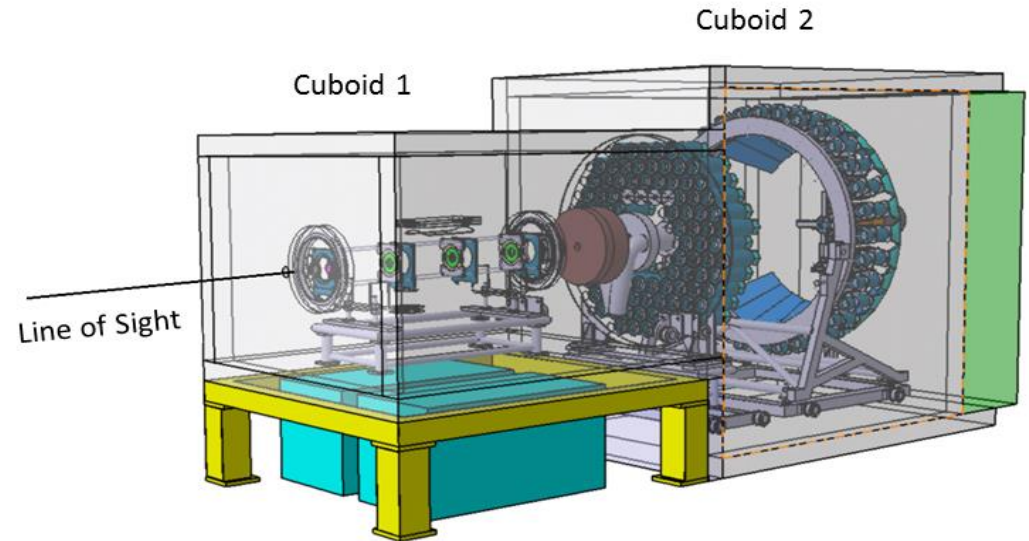
IFJ PAN (Lider) + Uppsala Univ.

M. Scholz, U. Woźnicka, L. Hajduk (DAI)

Zaprojektowano układ diagnostyczny dla tokamaka ITER. Jest to pierwszy grant F4E koordynowany przez polski zespół

Wybrane publikacje

- Wójcik-Gargula et al., Radiat. Prot. Dosim. 180 (2018) 75-79
- M. Scholz, et al., Nuclear Fusion (2019) doi: 10.1088/1741-4326/ab0dc1



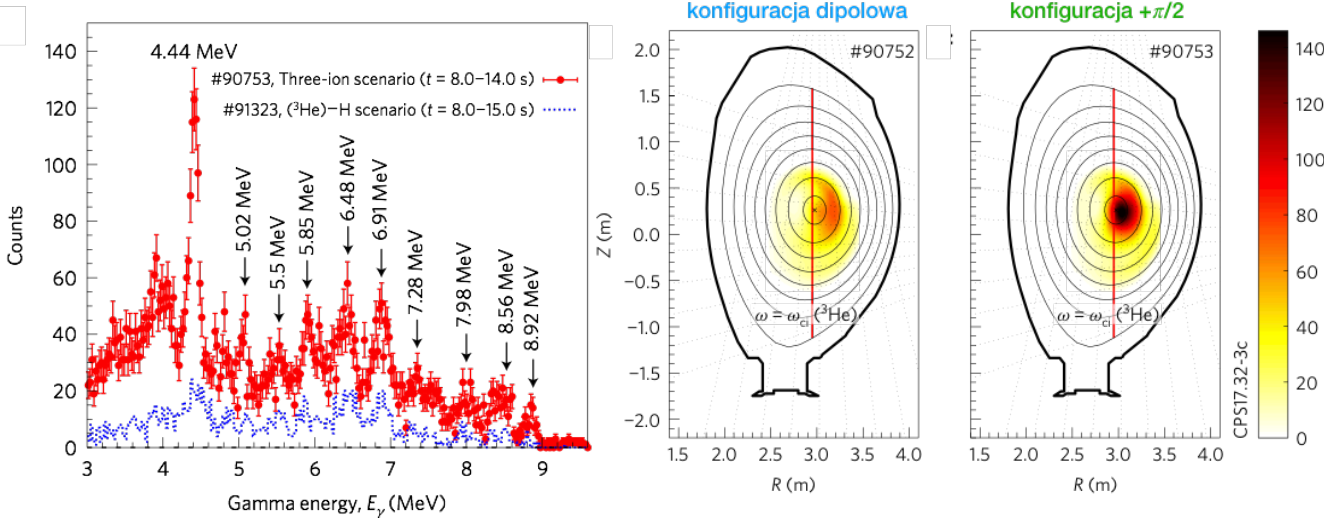
HRNS jest kompleksem 4 spektrometrów, który zapewnia pomiar widm neutronowych dla różnych scenariuszy pracy tokamaka ITER

W skład HRNS wchodzi:

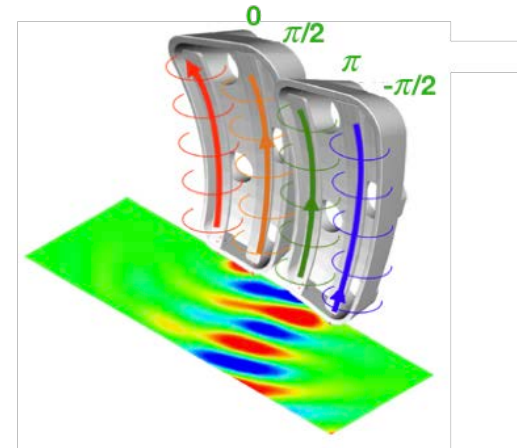
- Niemagnetyczny spektrometr protonów odrzutu generowanych w cienkiej folii.
- Spektrometr czasu przelotu wstecznie rozproszonych neutronów.
- Detektory diamentowe scCVD.

Projekt został zaakceptowany w 2019 roku przez ITER Organization jako *Conceptual Design* i stanowi podstawę do dalszych prac projektowych tego systemu

Nowatorska metoda rezonansowego ogrzewania plazmy termojądrowej

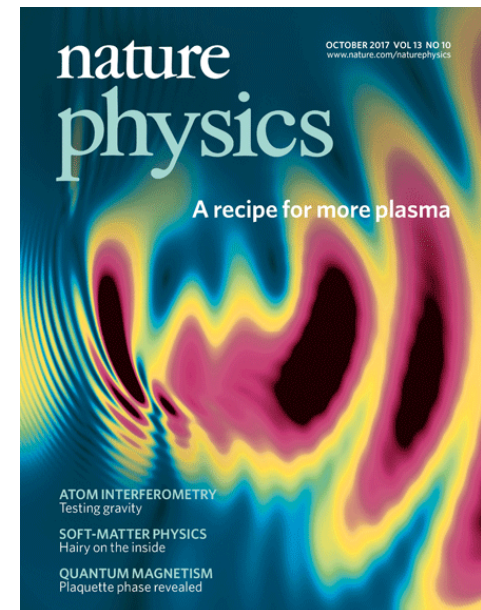


- konfiguracja dipolowa $[0, \pi, 0, \pi]$ $k_{\parallel}=6.7 \text{ m}^{-1}$
- konfiguracja " $+\pi/2$ " $[0, \pi/2, \pi, -\pi/2]$ $k_{\parallel}=3.4 \text{ m}^{-1}$



- Nowa, innowacyjna metoda rezonansowego ogrzewania plazmy termojądrowej falami E-M,
- Spektroskopia gamma oraz inwersja tomograficzna,
- Potwierdzenie eksperymentalne: JET (CCFE), Alcator C-Mod (MIT),
- Kluczowe znaczenie dla przyszłego Międzynarodowego Testowego Reaktora Termojądrowego (ITER)
- **Nagroda im. H. Niewodniczańskiego, 2018**

Y. Kazakov, J. Bielecki et al., Nature Physics 13 (2017) 973–978



Udział w projekcie akceleratorowego źródła prędkich neutronów DONES dla programu fuzji termojądrowej

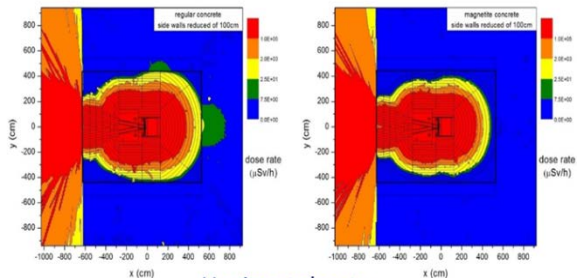
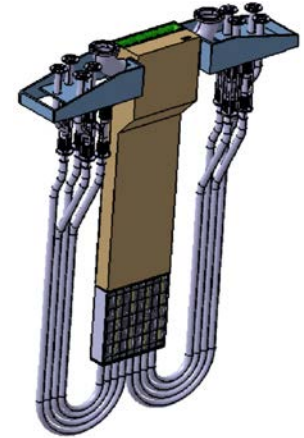
Zarządzanie projektem WPENS Eurofusion:

W. Królas Deputy Project Leader i Project Manager, U. Woźnicka Design Review Secretary
Technical Meeting w IFJ PAN (10/2018, 90 uczestników), rozpoznawalność Instytutu w środowisku fuzyjnym

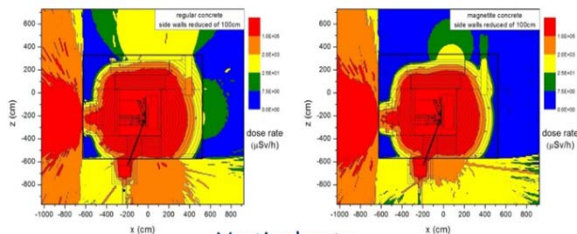
Projektowanie układu STUMM (Start-up and Monitoring Module)

Koordynator U. Wiącek, kieruje zespołem z IFJ PAN (NZ61 i DAI) oraz NCBJ

- Moduł będzie użyty do charakteryzacji pola promieniowania w miejscu naświetlania próbek oraz walidacji modelowania neutroniki
- Będzie składał się z pełnej gamy detektorów neutronów i promieniowania gamma



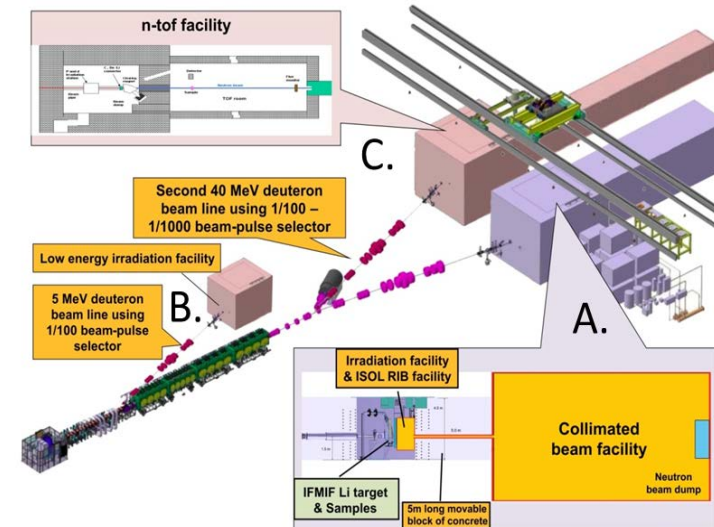
Horizontal cuts



Vertical cuts

Neutronika – modelowanie pola promieniowania w laboratorium DONES przy użyciu kodów transportu promieniowania (MCNP), obliczanie mapy pola promieniowania, aktywacja materiałów. G. Tracz, D. Dworak

„White Book report”: propozycja komplementarnego programu badań naukowych (fizyka jądrowa i zastosowania), kontynuacja w formie pakietu prac w ramach projektu **ESFRI DONES Preparatory Phase** (istotny udział IFJ PAN, NZ22 i NZ61)



Wybrane publikacje

- A. Ibarra, W. Królas, et al., Nucl. Fusion 58 (2018) 105002
- D. Bernardi, W. Krolas et al., Fusion Eng. and Design (2019)
- A. Ibarra, W. Królas, et al., Nucl. Fusion (2019)

Tematy zaproponowanych prac doktorskich/magisterskich

Rozprawy doktorskie:

- J. Bielecki* Badanie wpływu populacji elektronów nadtermicznych na transport domieszek w plazmie termojądrowej uwięzionej w tokamaku – **rozmowy w toku**
- M. Scholz* Perspektywy wykorzystania reakcji proton+Bor w syntezie termojądrowej (Plasma Focus PF-24)
- A. Kulińska* Zjawisko kompresji radiacyjnej w mieszaninach gazów dla układu Plasma Focus PF-24 – weryfikacja kodu modelu Lee
- W. Królas* Modelowanie pola promieniowania w laboratorium DONES na potrzeby wybranych eksperymentów fizycznych
- W. Królas* Numeryczny model odpowiedzi spektrometrycznej systemu HRNS (High Resolution Neutron Spectrometer) dla tokamaka ITER

Prace licencjackie i magisterskie:

- J. Bielecki* Źle uwarunkowane problemy odwrotne w wybranych zagadnieniach fizycznych
- A. Wójcik-Gargula* Pomiary spektrometryczne promieniowania gamma materiałów aktywowanych w tokamaku JET na potrzeby projektu ITER
- **w realizacji**
- A. Wójcik-Gargula* Charakterystyka lokalnego widma neutronów wewnątrz litowo-deuterowego konwertera neutronów termicznych na 14 MeV w reaktorze MARIA
- J. Dankowski* Zjawisko luminescencji diamentu w detektorach neutronów prędkich pracujących w wysokich temperaturach na przykładzie diagnostyki neutronowej RNC (Radial Neutron Camera) tokamaka ITER
- J. Dankowski* Efekt polaryzacji wewnętrznej oraz zaburzenia transportu nośników ładunków w kryształach diamentu jako elementu układów pomiarowych neutronów prędkich w projekcie ITER
- J. Dankowski* Interpretacja sygnału detektora diamentowego CVD w mieszanych polach promieniowania jonizującego