

**Przegląd działalności naukowej IFJ PAN
27 – 28 stycznia 2014**

Oddział V Zastosowań Fizyki i Badań Interdyscyplinarnych

NZ54: Zakład Fizyki Transportu Promieniowania

Kierownik: dr hab. Krzysztof Drozdowicz

TEMATYKA wg zadań IFJ 2012/2012/2013 (Temat 4)

Zadanie 2. **Badania eksperymentalne, teoretyczne i numeryczne oddziaływania promieniowania jądrowego z różnymi ośrodkami**

- Modelowanie i pomiar neutronowych strumieni impulsowych w ośrodkach skończonych (włączając niejednorodne)
- Rozwój metod pomiarowych i interpretacyjnych dla jądrowej geofizyki otworowej w oparciu o modelowania złożonych pól neutronowych metodą Monte Carlo

Zadanie 3. **Metody detekcji neutronów dla diagnostyki plazmy D-D i D-T pod kątem badań dla programu ITER**

- Obliczenia pól promieniowania przy stellaratorze W7-X
- Detekcja neutronów opóźnionych z aktywacji materiałów rozszczepialnych w polu neutronowym wytwarzanym przez duże układy termojądrowe
- Badania detektorów diamentowych dla pomiarów neutronów i prędkich jonów z emisji w plazmie termojądrowej
- Modelowanie plazmy w tokamaku / Badanie efektów paramagnetycznych wzbudzanych dryfem elektrycznym w częściowo zjonizowanej i namagnetyzowanej plazmie

Zespół: 13 pracowników (2011-2013)

Prof. dr hab. Urszula Woźnicka

Dr hab. Krzysztof Drozdowicz, prof. IFJ PAN

Dr inż. Jakub Bielecki (od lipca 2013, staż JET)

Dr Marek Scholz (od 2013 r) [habilitacja wkrótce]

Dr Grzegorz Tracz

Dr Dariusz Twaróg

Dr Urszula Wiącek

Mgr inż. Jan Dankowski [otwarty przewód doktorski]

Mgr Dominik Dworak (także w CERN)

Mgr Barbara Gabańska (zatrudn. IFJ / projekt)

Mgr inż. Andrzej Igielski (zatrudn. IFJ / projekt)

Mgr inż. Arkadiusz Kurowski

Tech. Władysław Janik (także w CERN i Greifswaldzie)

7 PR – EURATOM UE, Project No. FU07-CT-2007-00061 (3x rok)
w ramach Asocjacji EURATOM – IPPLM (Poland) **Fusion energy research**
Przychód łączny 2011-2013: **119 052 EUR**

Projekty współfinansowane MNiSW

Badania nad fuzją jądrową jako źródłem energii (3x rok)

Przychód łączny 2011-2013: **1 670 283 zł**

Grant MNiSW N N525 337238 (G54393, U. Woźnicka) 2010–2012: **215 000 zł**

Grant MNiSW N N505 485840 (G54410, K. Drozdowicz) 2011–2013: **344 100 zł**

Projekt NCBiR Nr SP/J/2/143234/11 (konsorcjum, U. Woźnicka)

Badania i rozwój technologii dla kontrolowanej fuzji termojądrowej (2011–2014)

w ramach Strategicznego projektu badawczego "Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej",

w **NZ54** tzw. etapy:

Nr 3 *Koncepcja nowych metod diagnostyki produktów syntezy termojądrowej*

(K. Drozdowicz) **754 160 zł**

Nr 9 *Adaptacja i wyposażenie laboratorium pomiarów neutronowych w IFJ dla rozwoju metod detekcji produktów syntezy t-j* (A. Kurowski) **700 350 zł**

Udział w projekcie międzynarodowym niewspółfinansowanym
MNiSW Nr **755/N-7XW/2010/0** (W42035, prof. Jeżabek) 2010–2013
*Realizacja przez IFJ PAN zadań badawczych i inżynierskich związanych z
budową stellaratora Wendelstein 7X. Faza 2.*

– *Uruchomienie zestawu pomiarowego przy źródle PF z komorą detekcji neutronów
opóźnionych w IFJ PAN (2012), **195 000 zł***

– *Uruchomienie neutronowych torów pomiarowych (time-of-flight oraz z detektorem
półprzewodnikowym) przy źródle PF wraz z niezbędnymi pracami modernizacyjnymi
i adaptacyjnymi, w IFJ PAN (2013), **744 665 zł***

Uruchomienie laboratorium aparaturowych źródeł neutronów
im. prof. Jana A. Czubka (październik 2013)

Statystyka (2011–2013)

Publikacje: JCR – 10, wszystkie – 43

Przychody z grantów: 4 623 558 zł + 119 572 EUR

Plany

Kontynuacja opracowywania nowych metod diagnostyki plazmy wysokotemperaturowej

Współpraca

tokamaki: COMPASS (Praga), WEST (Cadarache), MAST (Culham),
stellarator W7-X (Greifswald)

Dr Marek Scholz

**Plasma Focus a Synteza Termojądrowa
(*postęp pracy habilitacyjnej*)**

$$\tau_C = \frac{Q_p}{P_l} = \frac{3nT}{P_l}$$

$$P_F \geq \frac{Q_p}{\tau_C}$$

Q_p – energia wewnętrzna w jednostce objętości plazmy

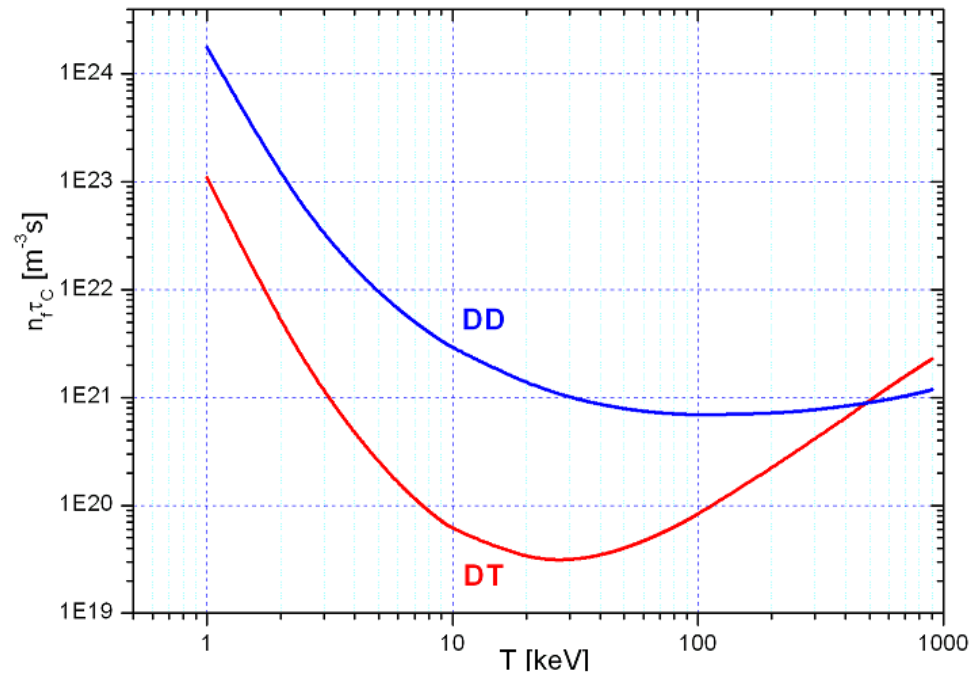
τ_C – miara szybkości stygnięcia plazmy w przypadku wyłączenia wszystkich układów grzania plazmy

dla reakcji DT

$$\frac{1}{4} n^2 Q_{DT} \langle \sigma v \rangle \geq \frac{3nT}{\tau_C}$$

$$n\tau_C \geq \frac{12T}{Q_{DT} \langle \sigma v \rangle}$$

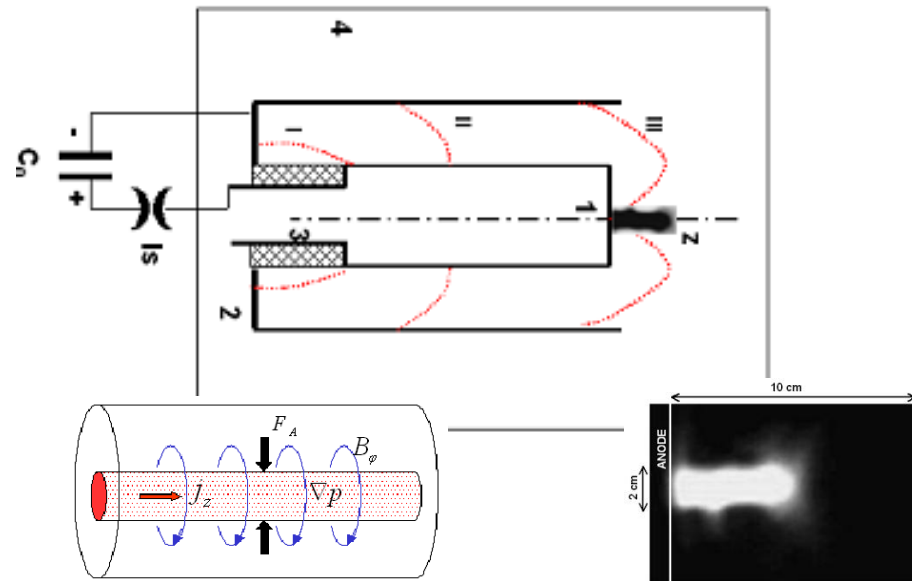
τ_C charakteryzuje jakość układów utrzymania plazmy



$$T \geq 10 \text{ keV}; n\tau_C \geq 3 \cdot 10^{19} \text{ m}^{-3} \text{ s}$$

Plasma Focus a Synteza Termojądrowa

Dla plazmy deuterowej:

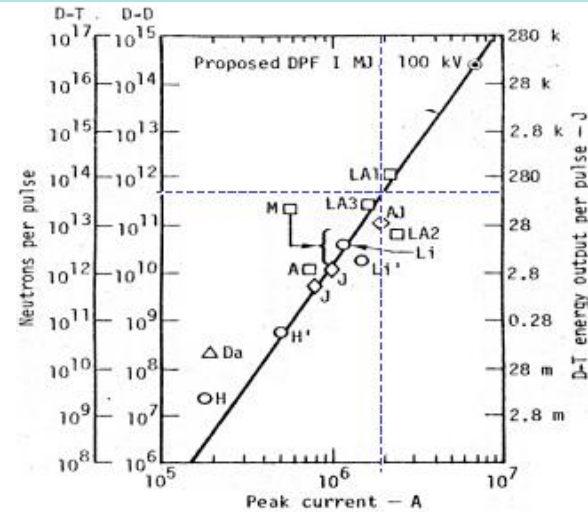


$$N_d T = \frac{I_p^2}{4c^2} \quad y_n = \frac{1}{2} \left(\frac{N_d}{\pi a^2} \right)^2 \langle \sigma v \rangle_{dd}$$

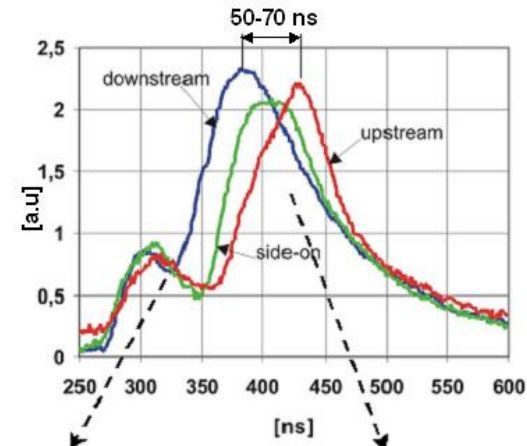
$$n\tau \sim I_p^2 \quad y_n \sim I_p^4$$

$$I_p = 1 \text{ MA}, N_d = 1,56 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}, T = 10 \text{ keV}$$

Temperatura plazmy za niska $T \sim 1 \text{ keV}$, ale y_n jak dla $T \sim 5 - 6 \text{ keV}$



Nie udało się przekroczyć 10^{12} neutronów z reakcji D-D. **Problem z załamaniem Y_n od I^4**



Energia emitowanych neutronów z syntezy DD nie była izotropowa – emitowane neutrony nie pochodzą z reakcji termojądrowej

MONOGRAFIA

1. Wstęp..... ✓
2. Fizyczne podstawy kontrolowanej syntezy termojądrowej..... ✓
3. Fizyka układu Plasma-Focus..... ✓
4. Wydajność reakcji syntezy (D,D) w układzie Plasma-Focus..... ✓
5. Badanie procesów skalowania układu Plasma-Focus PF-1000 dla energii baterii rzędu setek kJ..... ✓
 - 5.1 Układ eksperymentalny PF-1000.... ✓
 - 5.2 Wyposażenie diagnostyczne układu PF-1000..... ✓
 - 5.3 Opis wyników eksperymentalnych otrzymanych na PF-1000..... ✓
6. Podsumowanie..... ✓

Nie udało się przekroczyć 10^{12} neutronów z reakcji (D,D). Problem z załamaniem Y_n od I^4

Pokazano eksperymentalnie, kiedy i w jakich warunkach $Y_n \sim I^4$

Temperatura plazmy za niska $T \sim 1$ keV, ale y_n jak dla $T \sim 5 - 6$ keV

Emitowane neutrony nie pochodzą z reakcji termojądrowej

Pokazano istnienie grupy ($\sim 1\%$) nadtermicznych elektronów i jonów (20 – 200 keV) odpowiedzialnych za syntezę

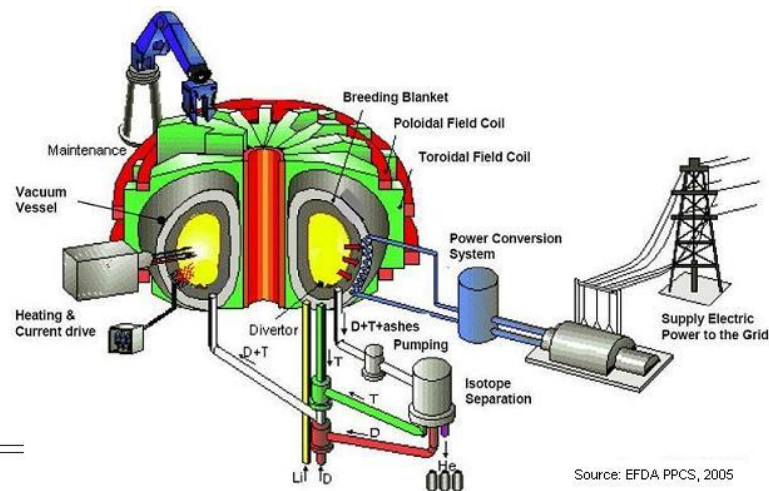
Energia emitowanych neutronów z syntezy (D,D) nie była izotropowa

Pokazano eksperymentalnie istnienie składowej B_z w plazmie, co uprzywilejowuje kierunek ruchu nadtermicznych jonów

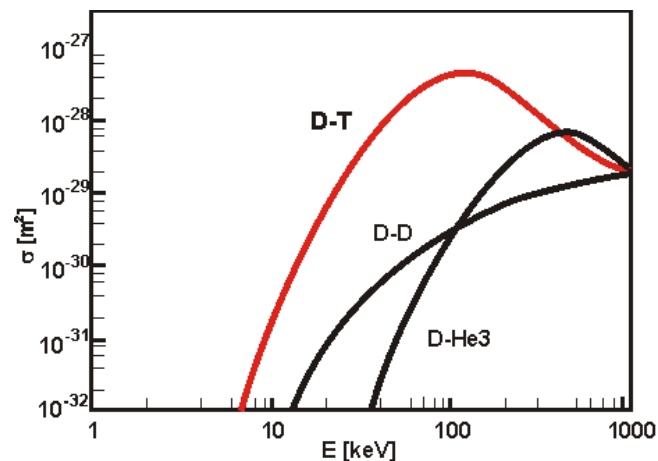
Nie znamy mechanizmów dysypacji energii pola magnetycznego w plazmie i akceleracji jonów !

Mgr inż. Jan Dankowski

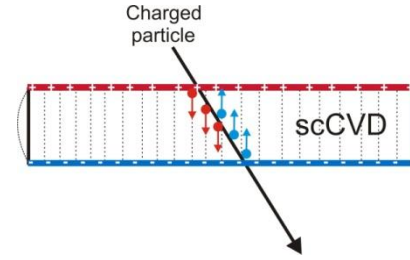
**Spektrometryczne pomiary szybkich jonów
i neutronów z syntezy termojądrowej
detektorami diamentowymi CVD**



Location	Radiation	
Radiation level at first wall	Neutron flux	$3 \times 10^{18}/\text{m}^2 \text{ s}$
	Neutron fluence (end of life)	$3 \times 10^{25}/\text{m}^2$
	Ionizing radiation (gamma rays) dose rate	$2 \times 10^3 \text{ Gy/s}$
	Energetic ion/atoms flux	$5 \times 10^{19}/\text{m}^2 \text{ s}$
Radiation level at first diagnostic component location (near gaps in blanket modules for MF, inside the diagnostic manipulator for IC)	Neutron flux	$1 \times 10^{17}/\text{m}^2 \text{ s}$
	Typical neutron damage rate	$6 \times 10^{-9} \text{ dpa/s}$
	Neutron fluence (end of life)	$2 \times 10^{24}/\text{m}^2$
	Typical neutron damage (end of life)	0.1 dpa
	Ionizing radiation (gamma rays) dose rate	$\sim 10^2 \text{ Gy/s}$
	Energetic ion/atoms flux	$\sim 10^{18}/\text{m}^2 \text{ s}$
	Nuclear heating	$1 \text{ MW}/\text{m}^3$
	Typical operating temperature	520 K
	Atmosphere	Vacuum



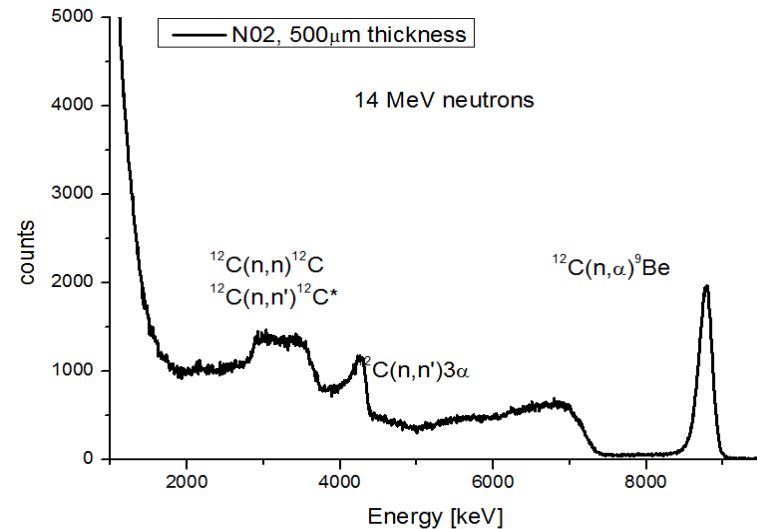
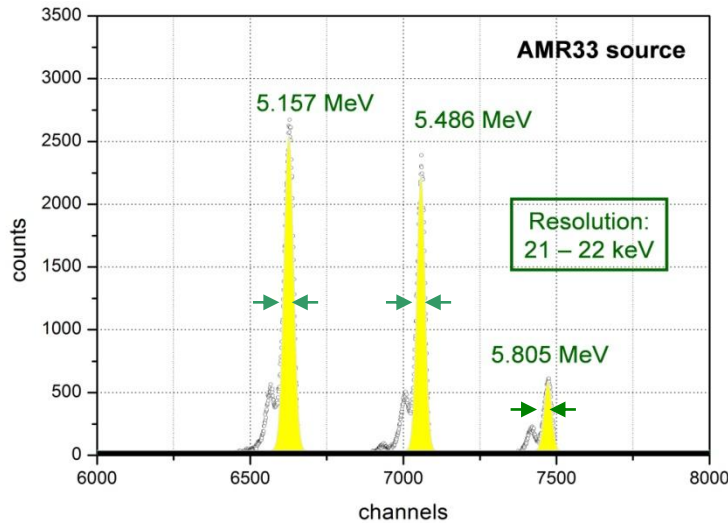
Spektrometryczne pomiary produktów reakcji syntezy za pomocą detektorów diamentowych



Jony: α , p, d, etc.

Neutrony $E_n > 5.8 \text{ MeV}$, $E_n < 5.8 \text{ MeV}$, only with converter (HDPE, ...)

Fotony, $E > 5.5 \text{ eV}$, (UV, X)



Dotychczasowa działalność:

Badanie spektrometrycznych własności struktur krystalicznych scCVD

Sprawdzenie odpowiedzi detektorów diamentowych dla α , p, d, t, n

Dostosowanie generatora neutronów prędkich ING-14 do pomiarów produktów reakcji D-D, D-T

Sprawdzenie spektrometrycznej odpowiedzi detektora diamentowego dla $T < 250$ °C

Umowa dotycząca współpracy IFJ PAN / IPP AS CR:

Pomiar strumienia neutronów przy tokamaku COMPASS

Plany:

Zaprojektowanie torów pomiarowych dla detektorów diamentowych do pomiaru cząstek uciekających z plazmy w tokamaku COMPASS.

Wykorzystanie detektorów diamentowych do spektrometrycznego pomiaru produktów reakcji D-D Przy tokamaku COMPASS.

Dziękuję za uwagę