



IFPiLM

INSTYTUT FIZYKI PLAZMY I LASEROWEJ MIKROSYNTEZY

IM. SYLWESTRA KALISKIEGO

REAKCJA FUZJI JĄDROWEJ

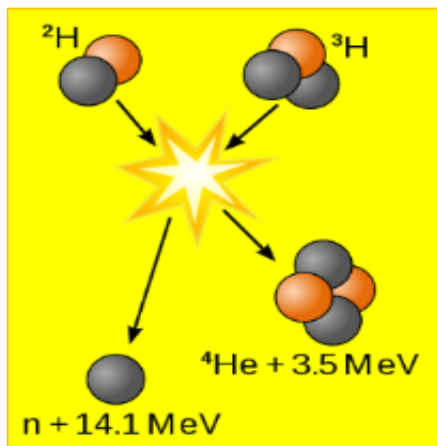
oraz

INFORMACJA o INSTYTUCIE FIZYKI PLAZMY i LASEROWEJ MIKROSYNTEZY

Jerzy Wołowski

Wizyty studentów w IFPiLM w listopadzie i grudniu 2019 roku.

REAKCJA SYNTEZY TERMOJĄDROWEJ (FUZJA)

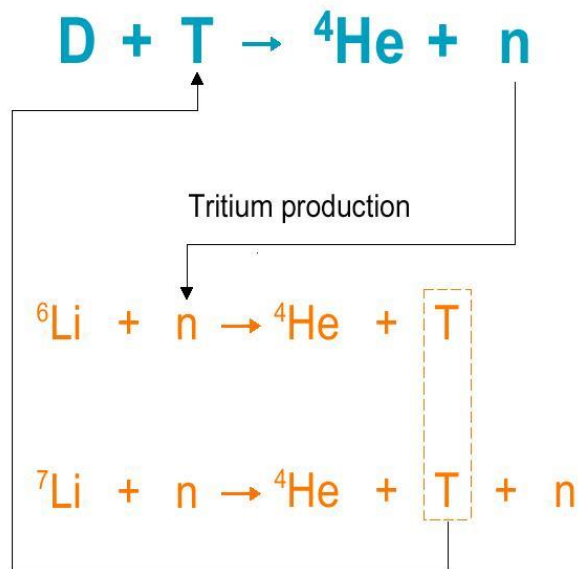


Reakcje fuzji, w tym reakcje syntezy jąder deuteru (D) i trytu (T) (izotopy wodoru), mogą zachodzić w gorącej plazmie, takiej jaka jest w centrach Słońca i gwiazd.

Reakcji D + T towarzyszy wydzielenie neutronów i jąder helu o dużych energiach.

Reakcje fuzji mogą być realizowane w plazmowych urządzeniach laboratoryjnych.

Warunkiem uzyskania sumarycznej energii z reakcji fuzji większej od energii dostarczonej do realizacji tej reakcji w plazmie jest osiągnięcie określonej wartości iloczynu $n_i \times t \times T_i$ przy czym $T_i > 5$ keV.



Deuter – z wody morskiej (0,02% wodoru w wodzie to wodór ciężki, czyli deuter).

Tryt – z litu (lekkiego metalu występującego w skorupie ziemskiej i w wodzie morskiej). Okres połowicznego rozpadu trytu = 12,3 lat.

Energia uwolniona – 26 MWh/g (dla 5000 gospodarstw domowych przez 1 dzień).

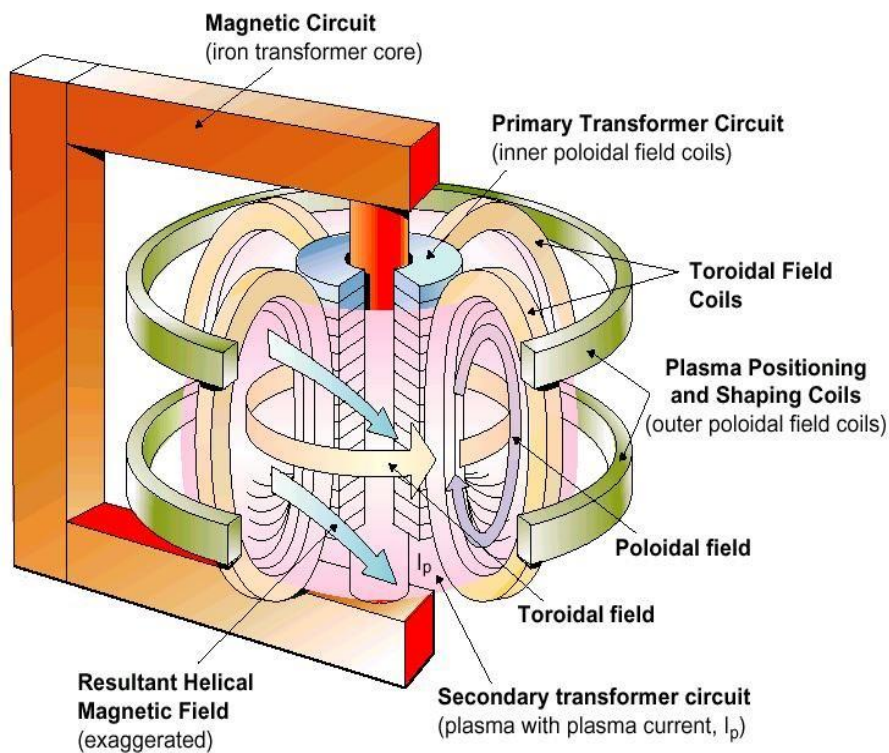
ZALETY ENERGETYKI TERMOJĄDROWEJ:

- praktycznie nieograniczone zasoby surowców,
- nie wytwarza gazów cieplarnianych,
- znacznie wydajniejsza od tzw. odnawialnych źródeł energii,
- mało długozyciowych odpadów radioaktywnych,
- nie ma zagrożenia wybuchem.

ZNACZENIE OPANOWANIA FUZJI JĄDROWEJ

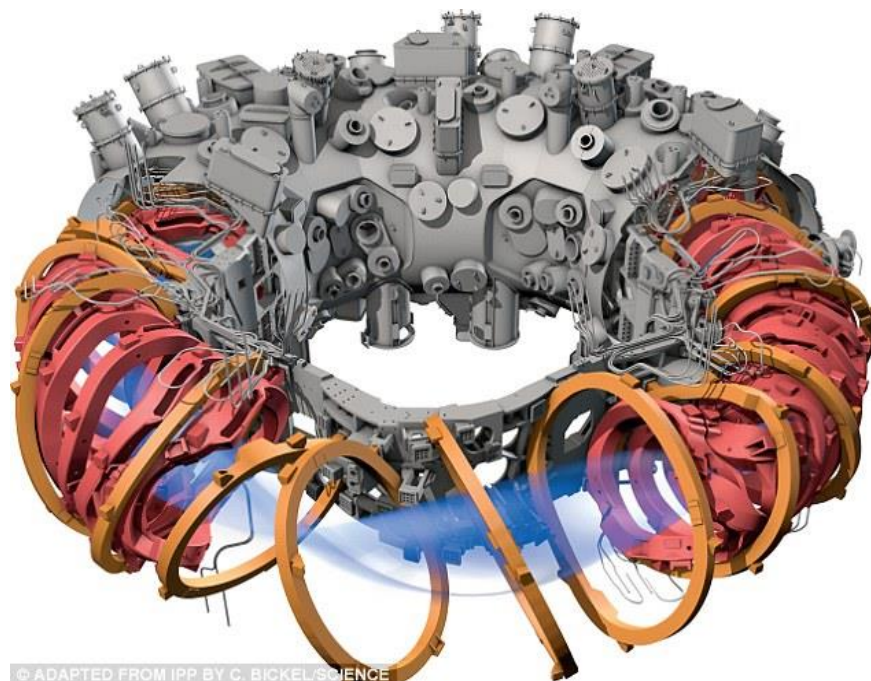
- *Opanowanie fuzji t-j dla produkcji energii jest jednym z najważniejszych, ale bardzo trudnych zadań światowej nauki i technologii.*
- *Ma to doprowadzić do uzyskania nowego, praktycznie niewyczerpalnego źródła energii bezpiecznego dla ludności i środowiska.*
- *Prace w tym zakresie są realizowane w dużych ośrodkach badawczych na całym świecie.*

Schemat pól magnetycznych w tokamaku



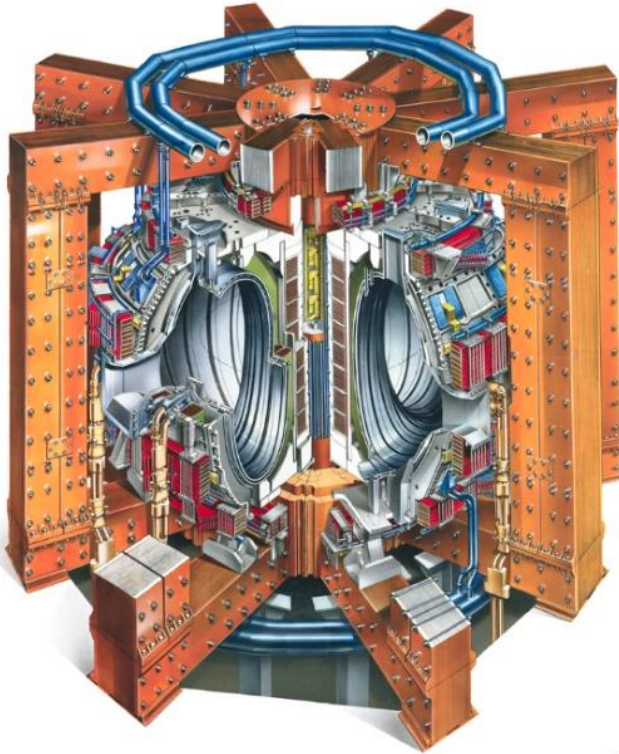
Tokamak jest najważniejszym układem fuzyjnym przewidywanym do zastosowania w elektrowni termojądrowej.

Schemat pól magnetycznych w stellaratorze



Stellarator jest ważnym konkurentem tokamaka w zastosowaniu do elektrowni termojądrowej.

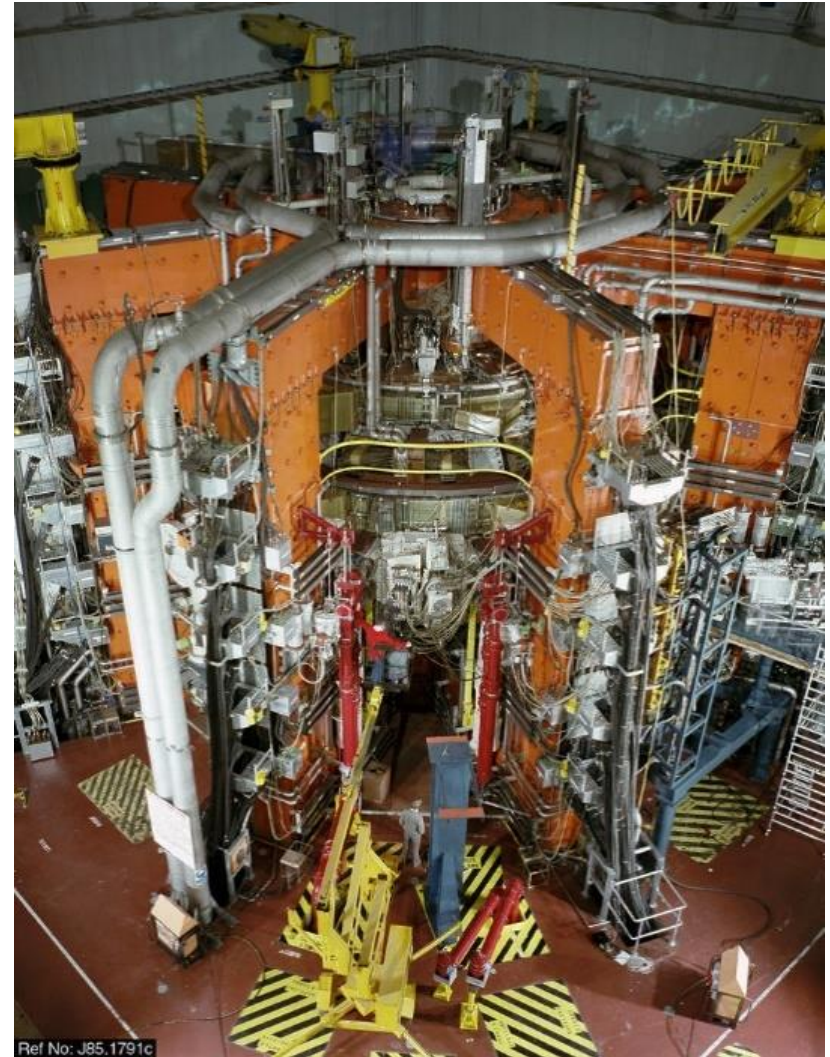
Tokamak JET (Culham, Anglia)



82.348c

Parametry tokamaka JET:

- komora próżniowa: wysokość 4 m; średnica 2,4 m
- objętość plazmy: 80 m³ – 100 m³
- prąd w plazmie do 5 MA
- ograniczające pole magnetyczne ~4 Tesla.



Ref No: J85.1791c

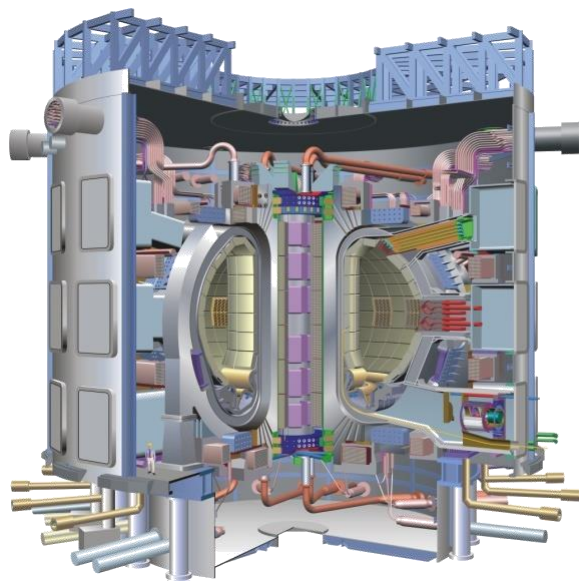
Tokamak JET - wspólny europejski układ termojądrowy



J91.517c

ITER - eksperymentalny reaktor fuzyjny budowany w Cadarache we Francji

ITER - to światowy projekt budowy eksperymentalnego reaktora fuzyjnego

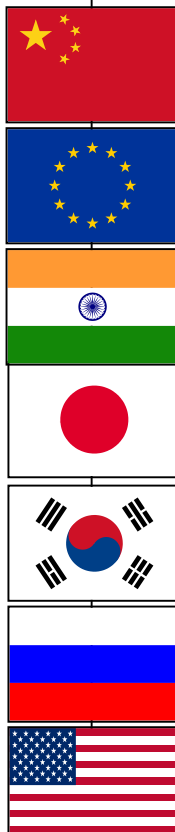


Czas trwania reakcji fuzji: ~1000 sek.

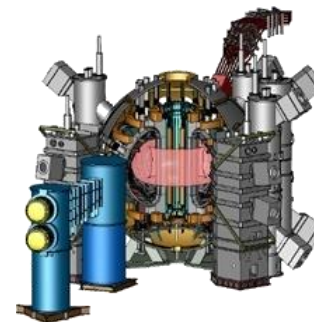
Moc reaktora: do 1000 MW

Pełna sprawność: po roku 2027

ITER



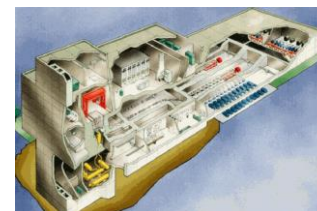
B.A.



JT-60SA japoński tokamak



IFERC - centrum obliczeniowe



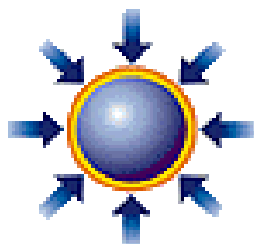
IFMIF-EVEDA - układ do badań materiałowych

Fuzja inicjowana laserem

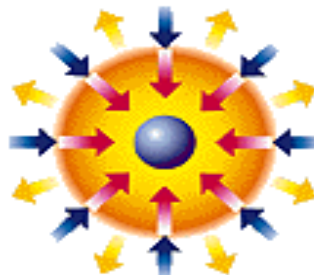
Tarcza Hohlaum
do pośredniego
napędu tarczy



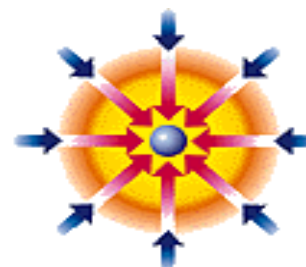
Zapłon paliwa DT w centrum tarczy



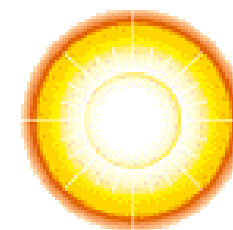
Sferyczne
oświetlenie
promienio-
waniem



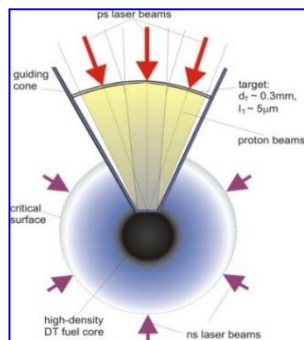
Ekspansja plazmy
i implozja paliwa DT
w centrum



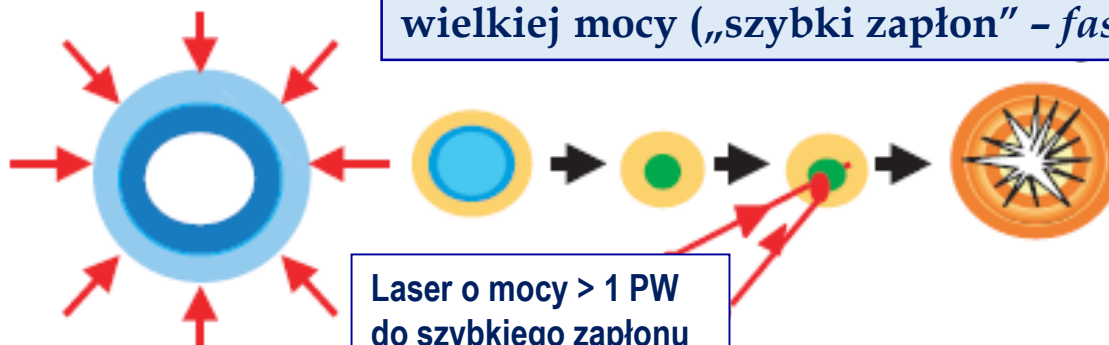
Wielka temperatura
i gęstość DT
w centrum



Centralny zapłon
paliwa DT

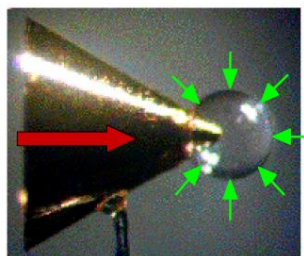


Niecentralny zapłon paliwa DT dodatkowym laserem
wielkiej mocy („szybki zapłon” - *fast ignition*)



Laser o mocy > 1 PW
do szybkiego zapłonu

- Mniejsze wymagania dotyczące symetrii implozji tarczy.
- Mniejsza energia lasera (x 10) do wstępnej kompresji plazmy DT.



Laser NIF (National Ignition Facility)

Laser NIF jest stosowany w LLNL (USA) do badania syntezy laserowej z tzw. napędem pośrednim (*indirect drive*)

Parametry:

- 192 wiązki laserowe,
- długość fali 1054 nm, (1-harmoniczna), czas trwania kilku nsek, energii do 3 MJ i mocy do 500 TW,
- długość fali 351 nm (3-ecia harmoniczna), energia do 1,5 MJ,
- energia promieniowania X w tarczy Hohlräum absorbowana w mikrotarczy – 150 kJ.

Laser NIF



Wnętrze komory plazmowej



- ❑ Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrośyntezы utworzono 1 stycznia 1976 roku.
- ❑ Od roku 2005 Instytut koordynuje w Polsce prace dotyczące syntezy termojądrowej objęte programem EURATOM.
- ❑ Obecnie Instytut podlega Ministerstwu Aktywów Państwowych.



ODDZIAŁ PLAZMY WYTWARZANEJ LASEREM

- ❑ Zakład Fizyki i Zastosowań Plazmy Laserowej
- ❑ Laboratorium Laserów Wielkiej Mocy.



ODDZIAŁ PLAZMY W POLU MAGNETYCZNYM

- ❑ Zakład Fuzji Jądrowej i Spektroskopii Plazmy
- ❑ Zakład Diagnostyki i Technologii Plazmowych.

W Instytucie jest zatrudnionych 78 pracowników, w tym:
6 profesorów, 6 profesorów instytutu i 25 doktorów.

ORGANIZACJE ZNAJDUJĄCE SIĘ W STRUKTURZE INSTYTUTU:

- Międzynarodowe Centrum Gęstej Plazmy Namagnetysowanej (ICDMP)
- Laboratorium Plazmowych Napędów Satelitarnych (PlaNS)
- Laboratorium Symulowanych Wyładowań Atmosferycznych (LSWA)

- ❑ Udział w kampaniach eksperymentalnych na tokamakach JET, ASDEX-UG, WEST, TCV i COMPAS i na stellaratorze W7-X i LHD.
- ❑ Modelowania numeryczne (w tym dotyczące reaktorów fuzyjnych ITER i DEMO oraz stellaratora W7-X).
- ❑ Oddziaływania plazma-ściana (prace w IFPiLM – LIBS i PF1000U):
 - zastosowanie metody LIBS w technologii tokamaków (analiza spektralna laserowo-wzbudzonej powierzchni próbki),
 - badania skutków oddziaływania plazmy z tarczą w układzie PF1000U (symulacja takich efektów w tokamaku).
- ❑ Przygotowanie i zastosowanie diagnostyk:
 - PHA - spektrometr promieniowania X dla układu W7-X,
 - detektory rentgenowskie GEM dla układów JET i WEST (tomografia z użyciem detektorów GEM),
 - diagnostyka neutronowa (kamera neutronowa i prom. gamma).

- ❑ Laboratorium LIBS - spektroskopowe badania powierzchni poddanej działaniu laserem
 - Lasery repetytywne
 - Komory eksperymentalne
 - Układy pomiarowe

- ❑ Laboratorium układu *plasma focus* PF1000U (energia w baterii = 1 MJ)
 - Koncentrator plazmowy PF1000U
 - Układy pomiarowe

- ❑ Laboratorium Plazmowych Napędów Satelitarnych (PlaNS)
 - Układy pomiarowe
 - Komora próżniowa

- ❑ Laboratorium Symulowanych Wylądowań Atmosferycznych
 - Generatory silnoprządowe.

Prace zespołów z IFPiLM w laboratorium JET

- ❑ Przygotowanie i zastosowanie układów diagnostycznych do badań:
 - spektroskopia rentgenowska dużej rozdzielczości (KX1)
 - zbudowany w IFPiLM detektor GEM
 - aktywacyjna diagnostyka neutronowa.
- ❑ Udział w kolejnych kampaniach eksperymentalnych.
- ❑ Symulacje numeryczne zjawisk w tokamaku JET.

Działania zespołu z IFPiLM w laboratorium stellaratora Wendelstein W7-X w Greifswaldzie (Niemcy)

- ❑ Budowa, instalacja i doskonalenie układu do badań promieniowania X generowanego w układzie stellaratora W7-X.
- ❑ Udział w kolejnych kampaniach eksperymentalnych na układzie W7-X - pomiar promieniowania X na podstawie analizy wysokości impulsu z detektora (metoda PHA).
- ❑ Symulacje numeryczne zjawisk w stellaratorze.

WYKONYWANE BADANIA

- ☐ Oddziaływanie lasera wielkiej mocy z materią
- ☐ Mechanizmy laserowej akceleracji jonów
- ☐ Optymalizacja fuzji laserowej w wersji z „szybkim zapłonem”
- ☐ Strugi plazmowe generowane laserem
- ☐ Pola magnetyczne w plazmie laserowej.

Współpraca (główne kierunki):

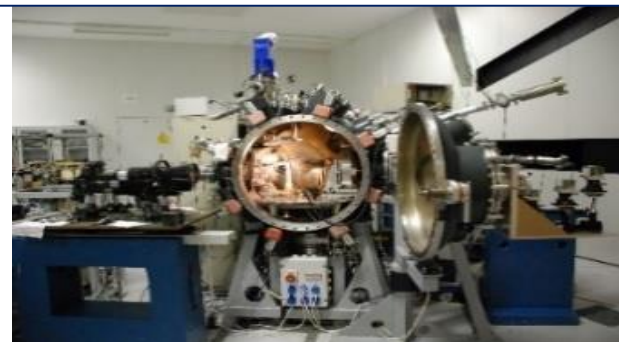
- Centrum Badawcze PALS, Praga, Czechy*
- Uniwersytet w Bordeaux – Laboratorium CELIA, Francja*

- ❑ Europejskie projekty finansowane w ramach konsorcjum **Laserlab-EUROPE** realizowane głównie w Lab. PALS w Pradze (Czechy).
- ❑ Europejskie projekty finansowane w ramach konsorcjum **EUROfusion**.
- ❑ **Regionalny Program Operacyjny Województwa Mazowieckiego „Rozbudowa i Modernizacja Laboratorium Laserów Wielkiej Mocy”**.
- ❑ Badania finansowane przez **Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego**:
 - działalność statutowa Instytutu
 - projekty NCN-HARMONIA
 - dopłata do projektów europejskich.

Laser PALS w Pradze (Czechy)



Komora plazmowa przy laserze PALS



WAŻNIEJSZE URZĄDZENIA

- Impulsowy laser wielkiej mocy PULSAR

Parametry:

Energia impulsu: ~ 500 mJ

Czas impulsu: < 40 fs

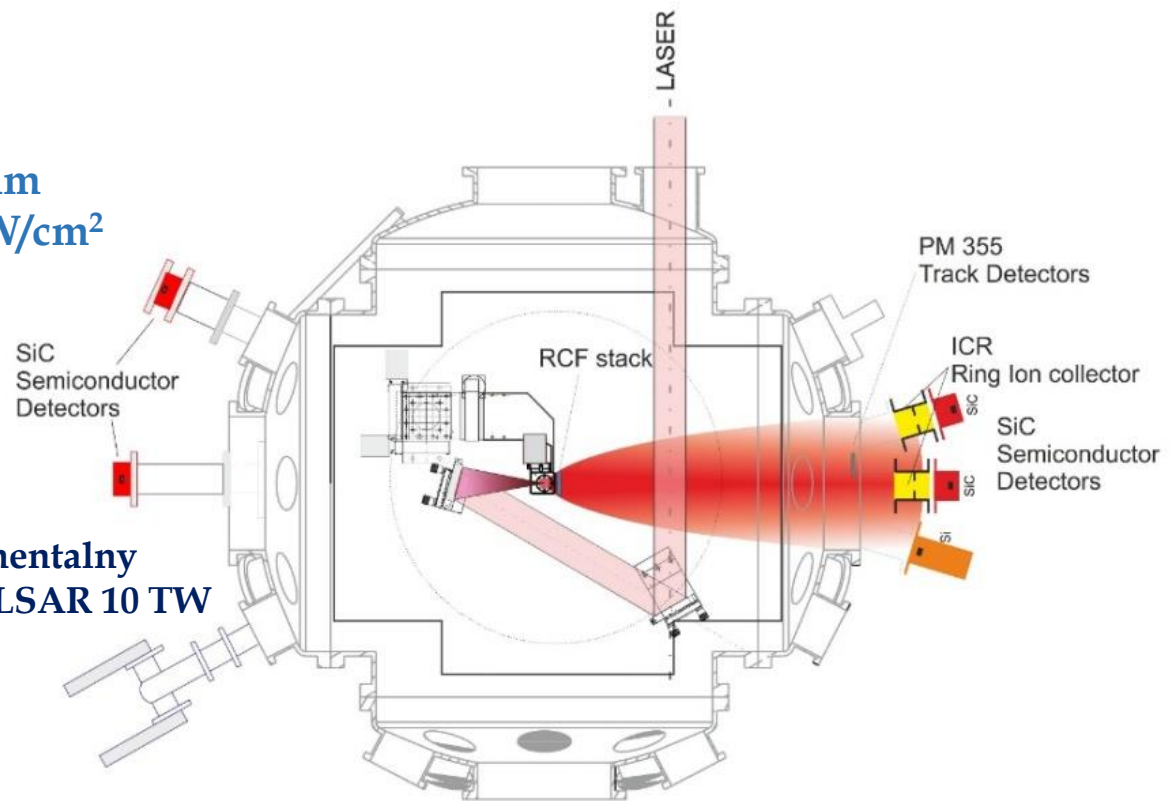
Powtarzalność: 1-10 Hz

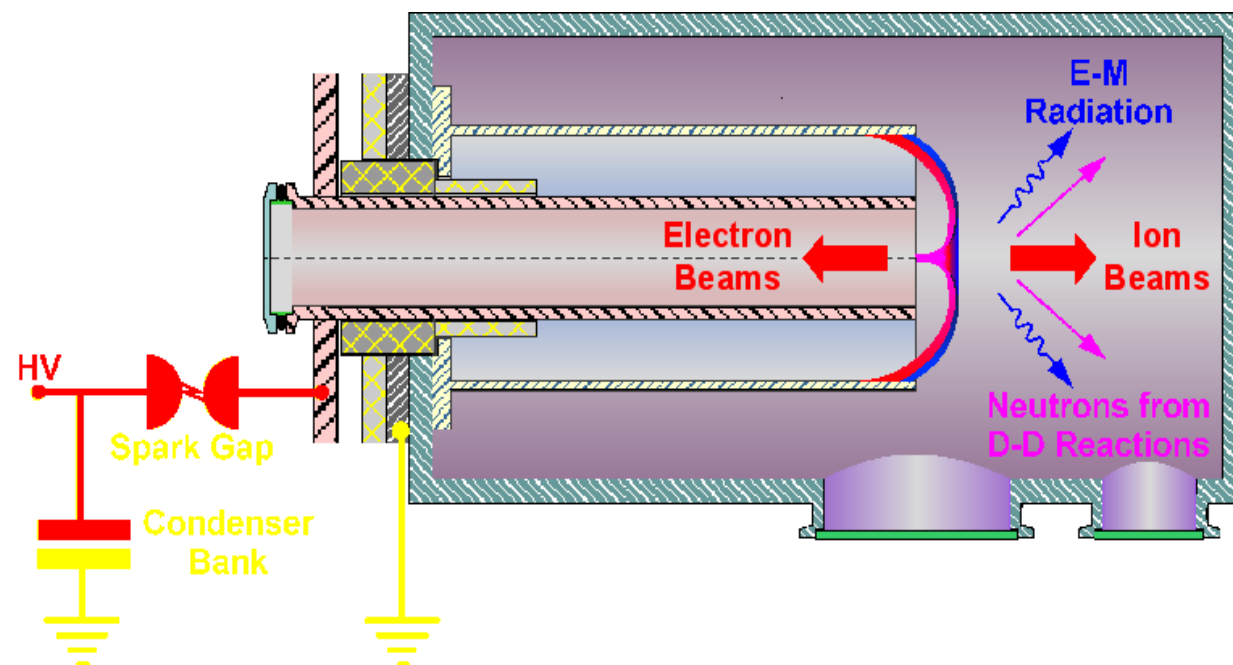
Długość fali: 790 – 810 nm

Gęstość mocy: $10^{18} - 10^{19}$ W/cm²

- Próżniowe komory plazmowe
- Interferometria laserowa
- Diagnostyki jonowe i rentgenowskie.

Układ eksperymentalny przy laserze PULSAR 10 TW





*Kraje uczestniczące w
Międzynarodowym
Centrum Gęstej Plazmy
Namagnetyzowanej
(ICDMP) działającym w
IFPiLM:*

*Chile, Chiny, Czechy,
Bułgaria, Estonia, Francja,
Niemcy, Rosja, Singapur,
Ukraina, Włochy.*

PROGRAM BADAŃ:

- Badania dynamiki wyładowania oraz emisji cząstek i promieniowania z „pinchu”.
- Zastosowania układu PF1000U do:
 - testowania diagnostyk plazmowych
 - badania oddziaływań strumień plazmy - tarcza.

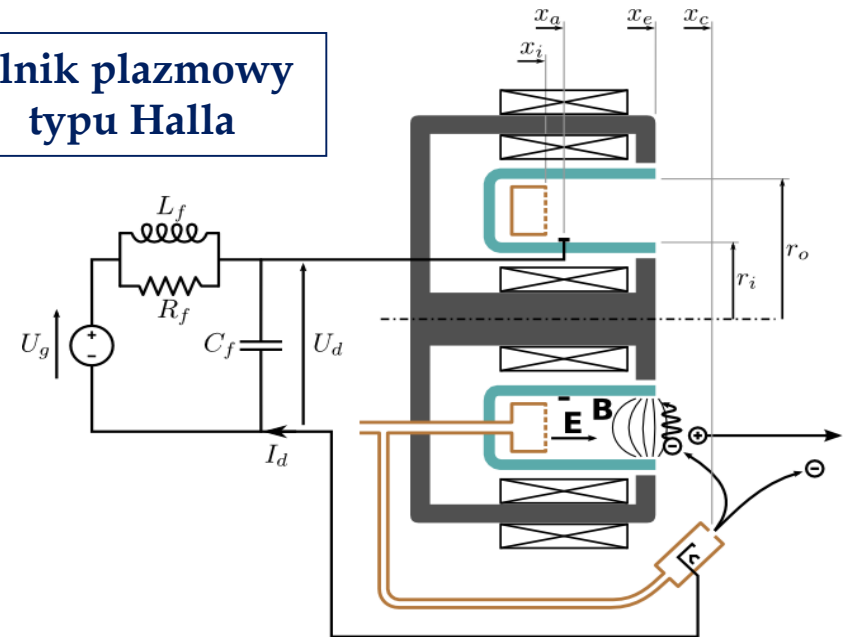
PROJEKTY

- Projekt ESA - KLIMT (*Krypton Large Impulse Thruster*) silnik bazujący na zjawisku Halla - zamówienie ESA.
- Projekt L μ PPT: (*Innovative Liquid Micro Pulsed Plasma Thrusters for Nanosatellites*) – model impulsowego silnika ablacyjnego.

WSPÓŁPRACA:

- Europejska Agencja Kosmiczna
- Kilka ośrodków europejskich zajmujących się technologiami kosmicznymi.

Silnik plazmowy
typu Halla



W LSWA generatory silnoprądowe są stosowane do sprawdzania odporności różnych urządzeń technicznych na skutki wyładowań atmosferycznych.



Instytut organizuje co dwa lata międzynarodową Letnią Szkołę fuzji jądrowej w Kudowie-Zdroju.

Instytut uczestniczy w organizacji co dwa lata Międzynarodowej Konferencji PLASMA dotyczącej fizyki i zastosowań plazmy.

Pracownicy Instytutu co roku uczestniczą w Festiwalach Nauki i Piknikach Naukowych.

Instytut wspólnie z teatrem GO (znajdującym się na terenie Instytutu) organizuje dla młodzieży szkolnej warsztaty teatralne dotyczące tajników fuzji jądrowej.



Dziękuję za uwagę!