



INSTYTUT PROBLEMÓW JĄDROWYCH im. ANDRZEJA SOŁTANA

DIAGNOSTYKA PLAZMY

ANETA MALINOWSKA
ZAKŁAD FIZYKI I TECHNOLOGII PLAZMY (P-V)

DIAGNOSTYKA PLAZMY

Zespół Z-du V:

inż. Krzysztof Czaus
dr Lech Jakubowski
mgr inż. Aneta Malinowska
mgr inż. Karol Malinowski
dr Elżbieta Sadowska
prof. dr hab. Marek Sadowski
dr Adam Szydłowski
dr Marek Rabiński
dr Jarosław Żebrowski

Współpracujące laboratoria:

Z-d I IPJ, IFPiLM w Warszawie,
IPP CAS w Pradze, ERM w Brukseli,
FZ w Juelich, KIPT w Charkowie

Wkład aparaturowy:

Układy typu PF (PF-360, MAJA PF)
oraz RPI (IBIS)

Badania naukowe: program EURATOM, umowa o współpracy Polsko-Ukraińską.
Prace B-R: możliwość produkcji aparatury na eksport.

Wykorzystanie środków finansowych:

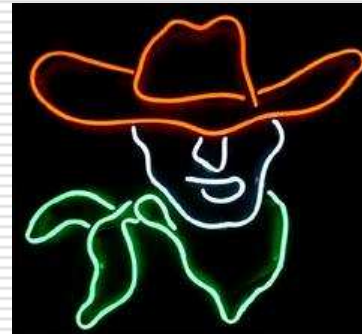
SPUB (EUROATOM),
UE - EURATOM

Plazma-mieszanka atomów, molekuł, jonów, elektronów i fotonów

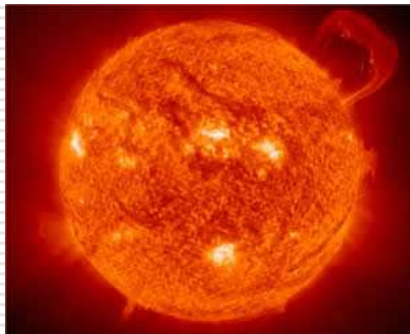
□ Różne rodzaje plazmy:



<http://www.fizyka.net.pl>



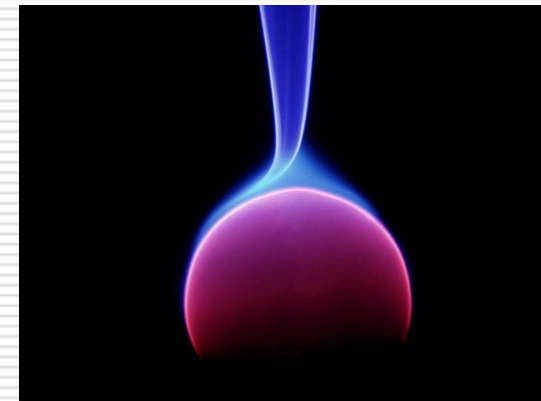
<http://www.fizyka.net.pl>



<http://www.jet.efda.org>



<http://www.fizyka.net.pl>



<http://pl.wikipedia.org>

DIAGNOSTYKA PLAZMY

- Diagnostyka – pomiar parametrów plazmy (temperatura, prędkość, gęstość składników plazmy).

- Klasyfikacja metod diagnostyki plazmy:
 - a) Pasywne,
 - b) Aktywne.

DIAGNOSTYKA PLAZMY

- Metody Pasywne - wszystkie rodzaje metod pomiaru podstawowych parametrów plazmy, które nie wymagają ingerencji w analizowany obszar.

Przykłady: spektroskopia optyczna, spektrometry masowo-energetyczne, scyntylatory, dielektryczne detektory śladowe....

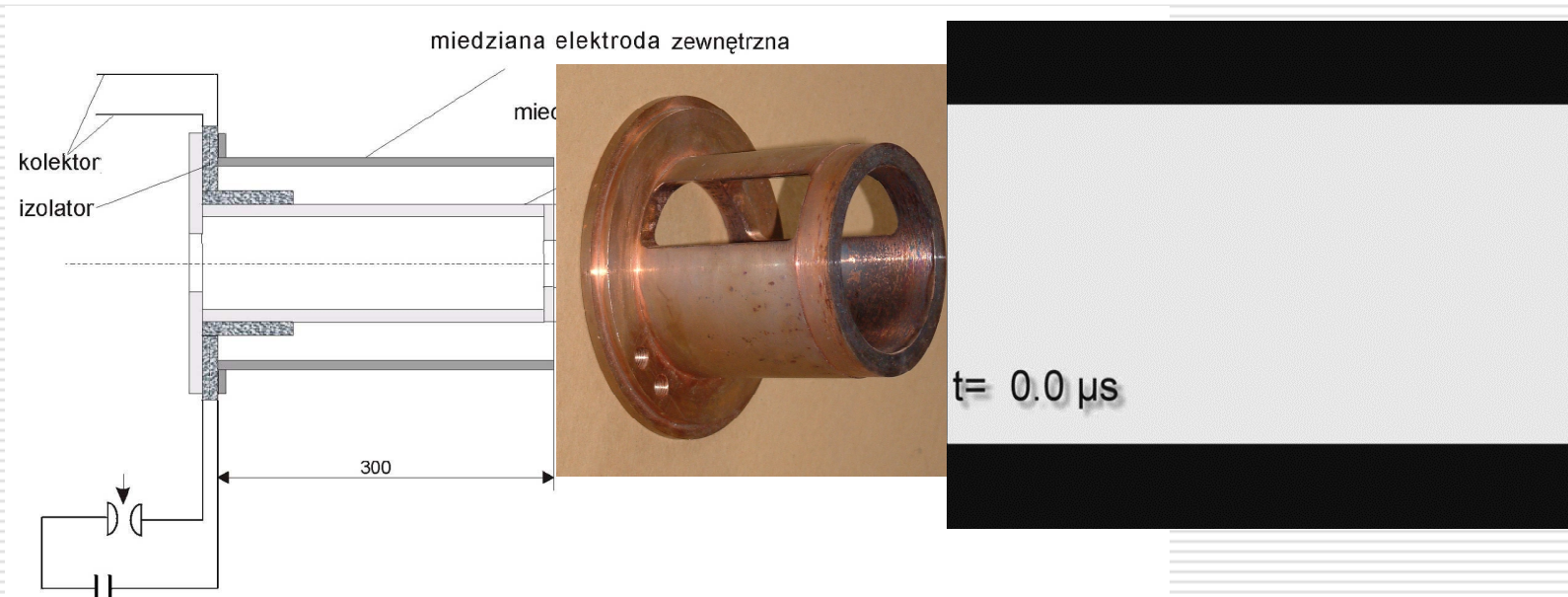
- Metody Aktywne - wszystkie rodzaje metod pomiaru podstawowych parametrów plazmy, które wymagają ingerencji w analizowany obszar.

Przykłady: wiązki laserowe, wiązki korpuskularne, sondy elektryczne i magnetyczne....

DIAGNOSTYKA PLAZMY

□ Układy Eksperymentalne

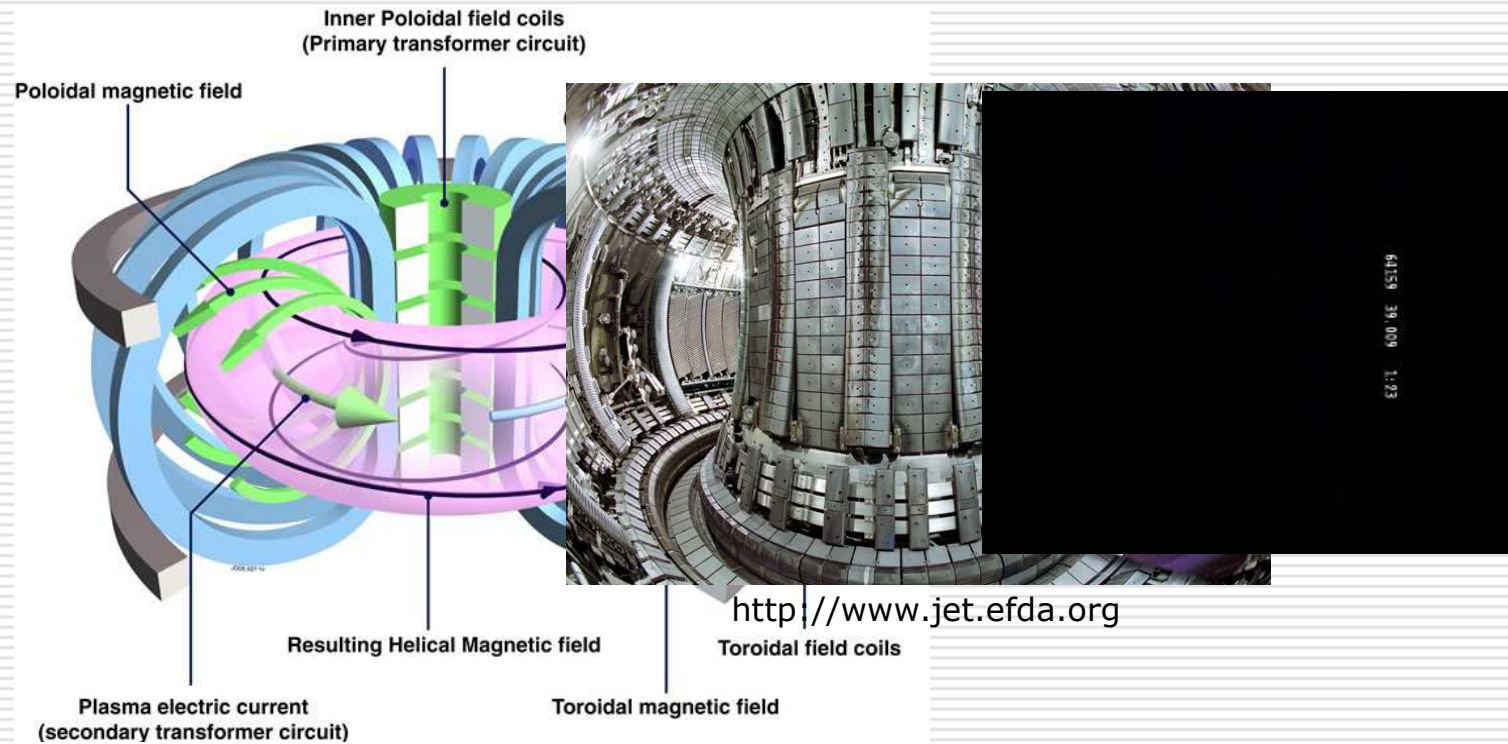
Układy typu Plasma-Focus



DIAGNOSTYKA PLAZMY

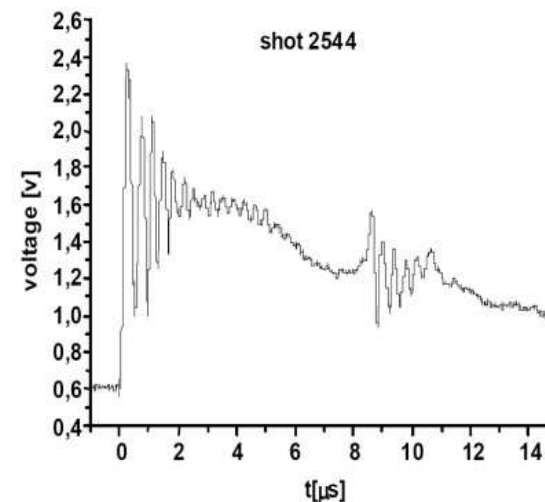
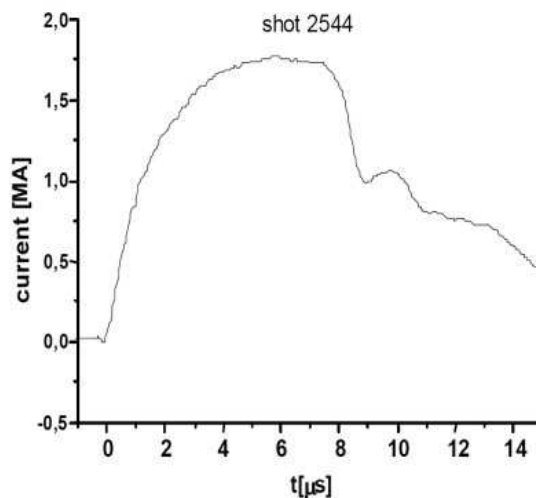
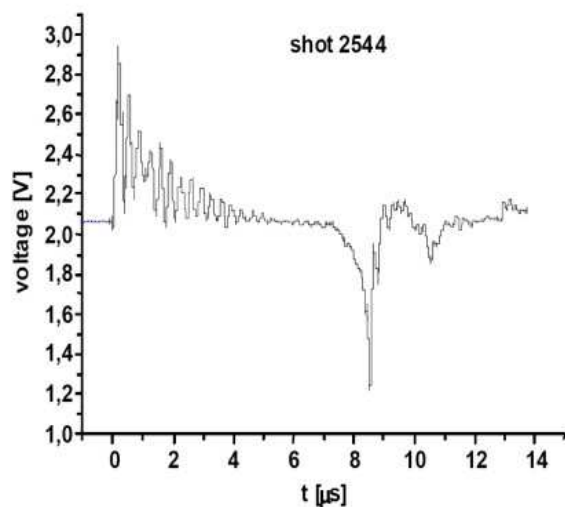
□ Układy Eksperymentalne

Układy typu Tokamak



DIAGNOSTYKA PLAZMY

- Metody monitoringu i kontroli
 - Pomiar prądu oraz pól magnetycznych – Pas Rogowskiego, sondy.

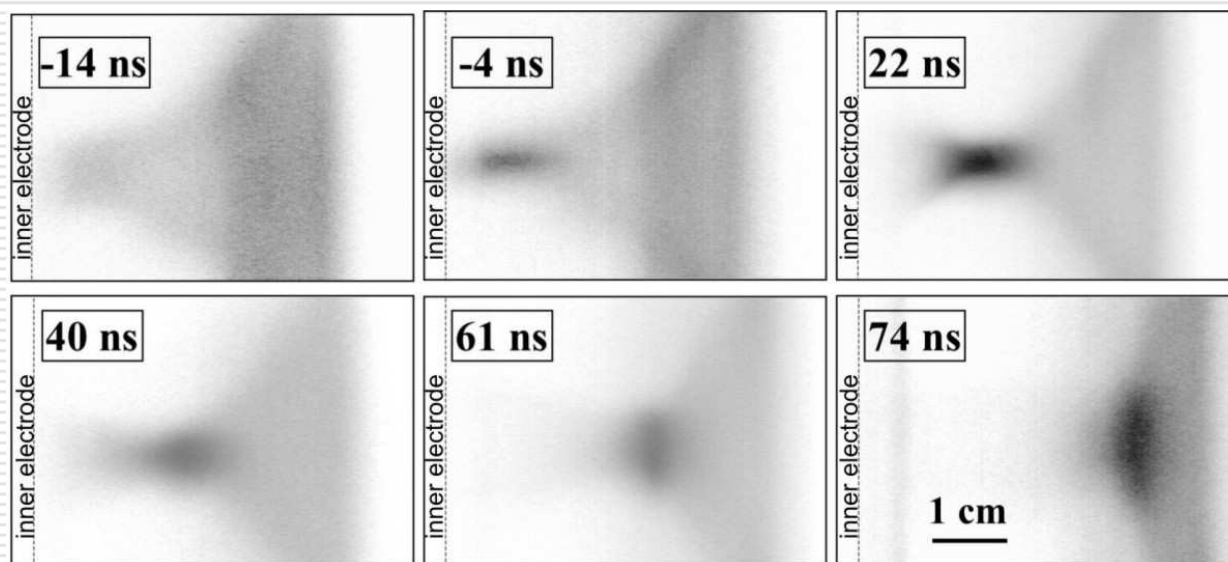


Typowe oscylogramy przedstawiające przebiegi prądu i napięcia, sygnały uzyskane z dzielnika napięcia oraz pasa Rogowskiego na układzie PF-1000.

DIAGNOSTYKA PLAZMY

□ Metody monitoringu i kontroli

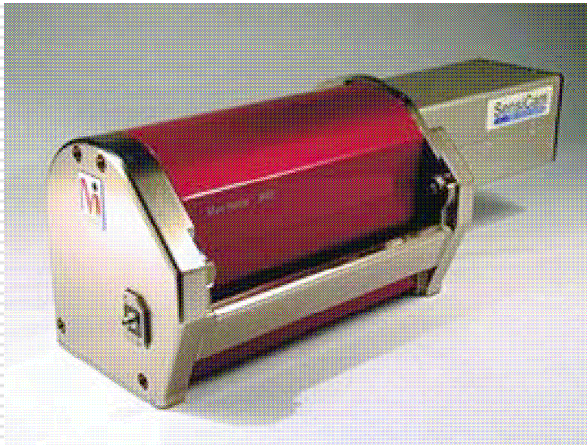
- Pomiar procesów tworzenia plazmy (kształt, rozmiar, prąd, napięcie, energia, ich rozkład i dynamika) – kamery kadrowe i smugowe.



Przykładowa sekwencja obrazów uzyskanych za pomocą dwukanałowej kamery kadrowej na układzie PF-360, gaz roboczy – deuter, ciśnienie 6.0 hPa.

DIAGNOSTYKA PLAZMY

- Diagnostyki Optyczne – rejestracja i identyfikacja linii widmowych w zakresie widzialnej części prom. el.-mag., pomiary szerokości, kształtu oraz względnej intensywności linii



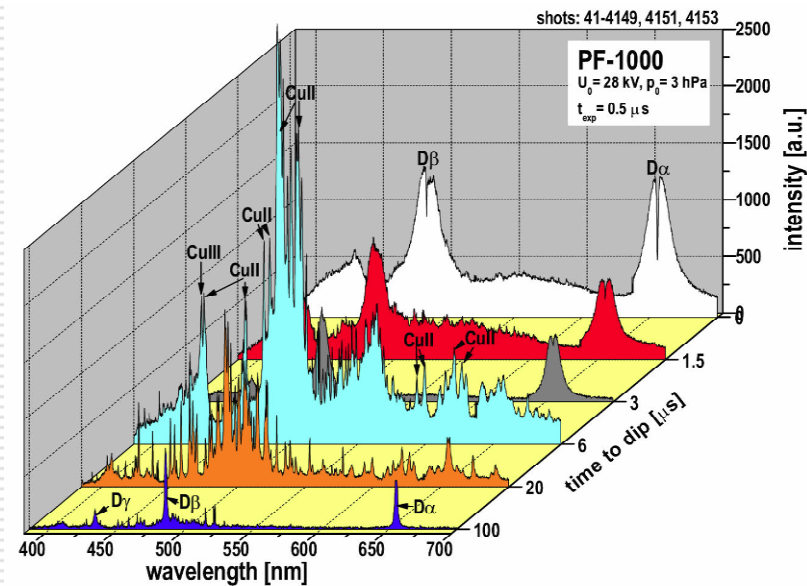
Mechelle®900 + kamera CCD (PCO)

Zakres: 320 - 1050 nm

Rozdzielczość widmowa: $(\lambda/\Delta\lambda)$: >900

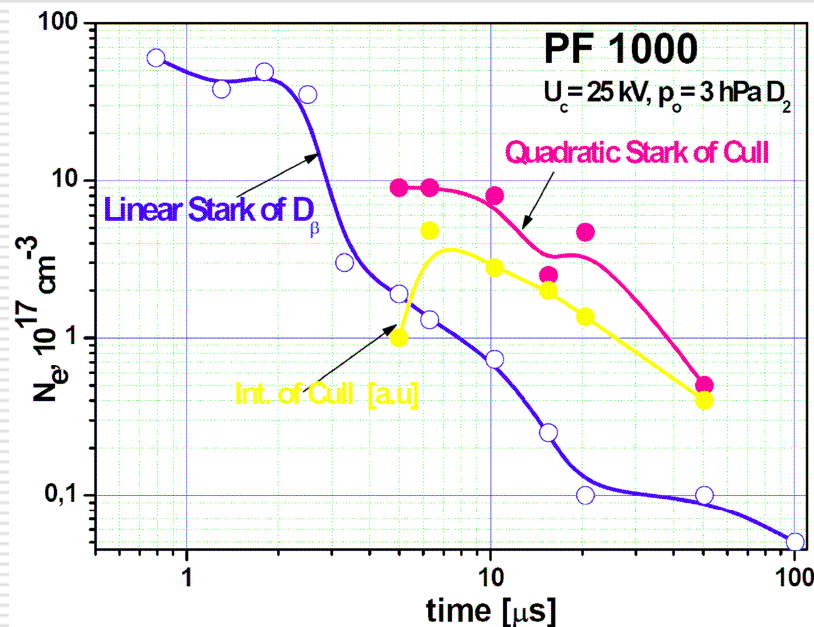
Czas ekspozycji: 100 ns ... 100 ms

Czasowe zmiany linii deuterowych oraz linii zanieczyszczeń (Cu), $t_{\text{exp}}=0.5\mu\text{s}$.



DIAGNOSTYKA PLAZMY

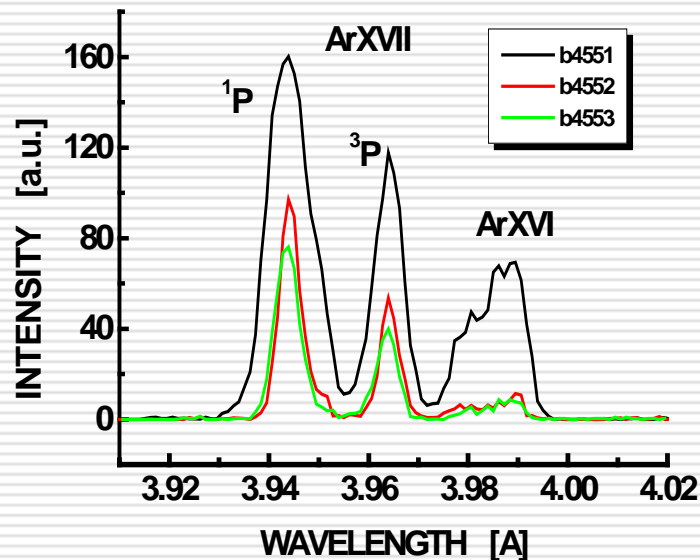
□ Diagnostyki Optyczne



Pomiary oraz analiza linii widmowych z zakresu światła widzialnego pozwala oszacować koncentrację oraz temperaturę plazmy. Do oszacowania koncentracji elektronowej plazmy zastosowano między innymi metodę analizy poszerzenia linii Balmera wodoru (lub deuteru) oraz linii węgla lub miedzi (liniowy i kwadratowy efekt Starka).

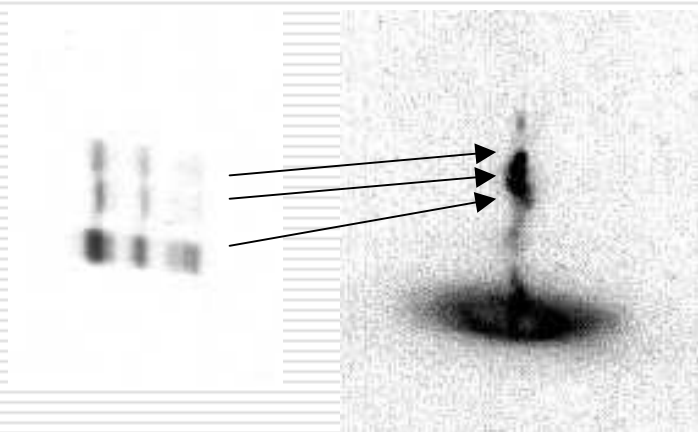
DIAGNOSTYKA PLAZMY

- Diagnostyki z zakresu promieniowania Rentgenowskiego
 - Spektrometry Rentgenowskie - przyrządy służące do badania subtelných efektów dyfrakcyjnych występujących przy uginaniu promieniowania rentg. przez kryształ.



Przykładowe widma rentgenowskie zmierzone za pomocą spektrometru typu Johann, wyposażonego w wygięty cylindrycznie kryształ kwarcu (3.8 Å - 4.2 Å).

DIAGNOSTYKA PLAZMY

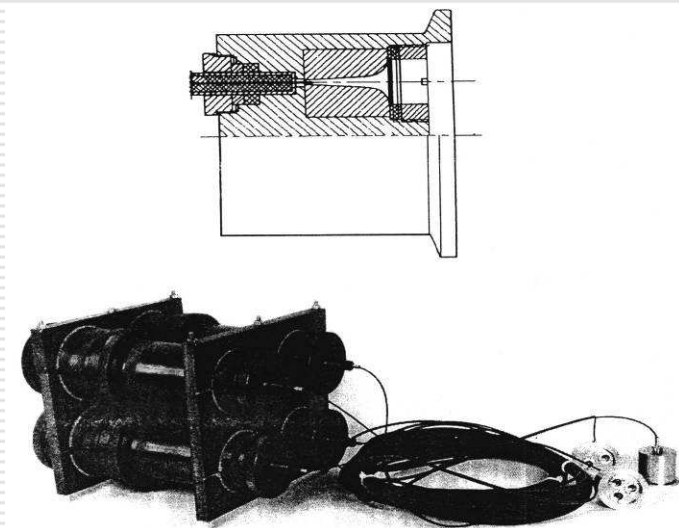


Przestrzenny rozkład hot spots zarejestrowane za pomocą kamery obscura w wyładowaniu PF.

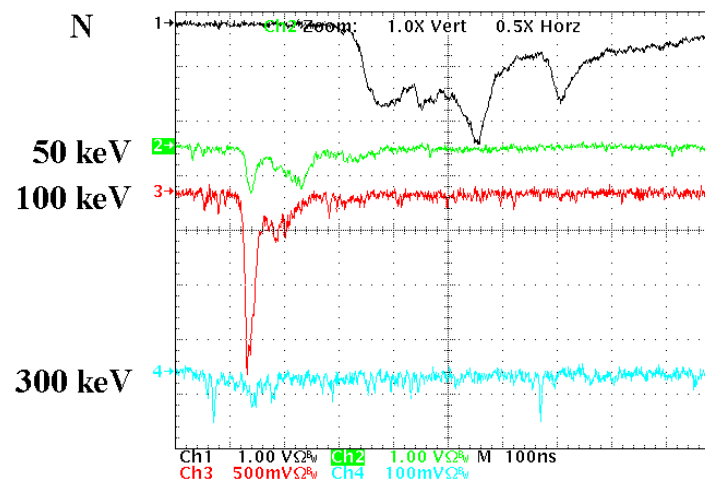
| Spectrum No. | I_R | I_I | I_S | n_e [cm ⁻³] | T_e [eV] |
|--------------|-------|-------|-------|---------------------------|------------|
| 45-51 | 195.0 | 137.7 | 89.9 | 3.0×10^{20} | 255 |
| 45-52 | 109.8 | 60.0 | 13.9 | 1.6×10^{21} | 790 |
| 45-53 | 86.1 | 52.9 | 12.9 | 10^{21} | 650 |

DIAGNOSTYKA PLAZMY

- Badanie plazmy metodami korpuskularnymi
 - Detektor Czerenkowa



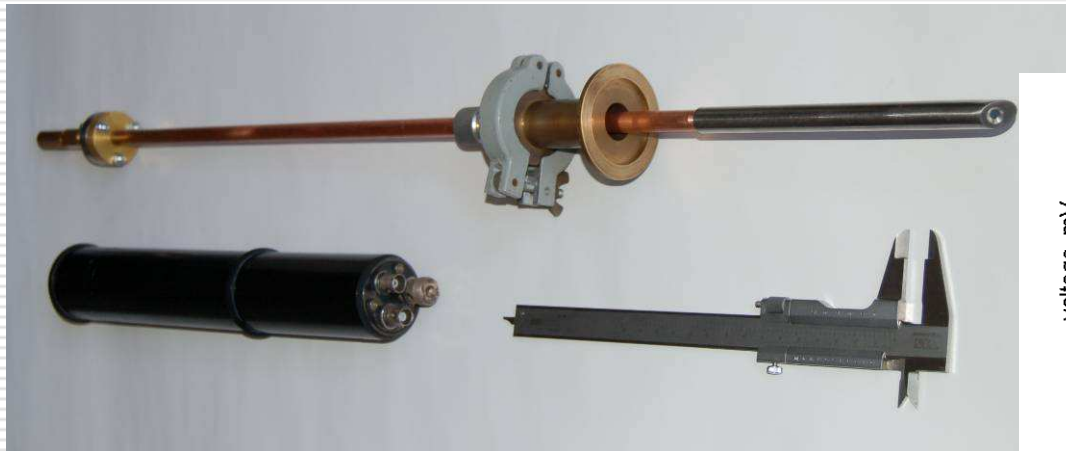
Detektor Czerenkowa



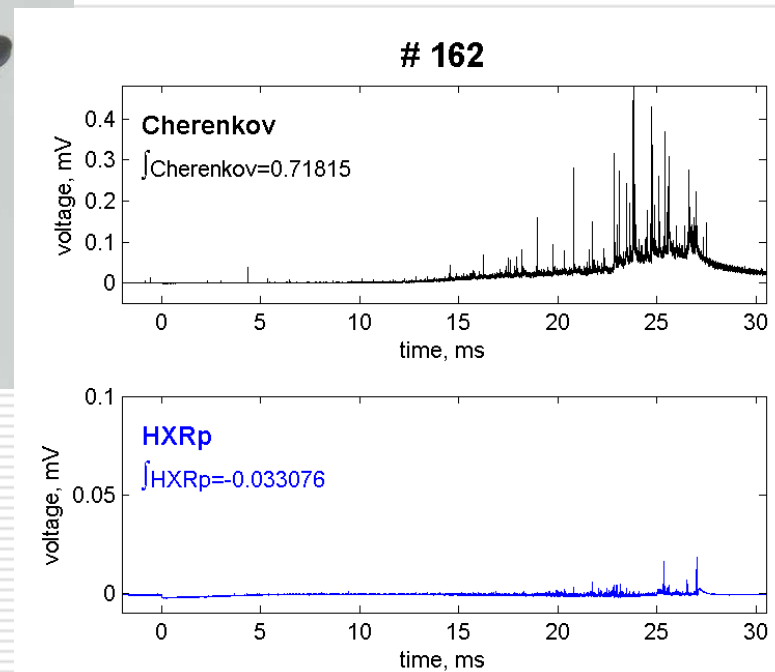
Przykładowy sygnał wiązek elektronowych w korelacji z sygnałem neutronowym.

DIAGNOSTYKA PLAZMY

- Badanie plazmy metodami korpuskularnymi
 - Detektor Czerenkowa.

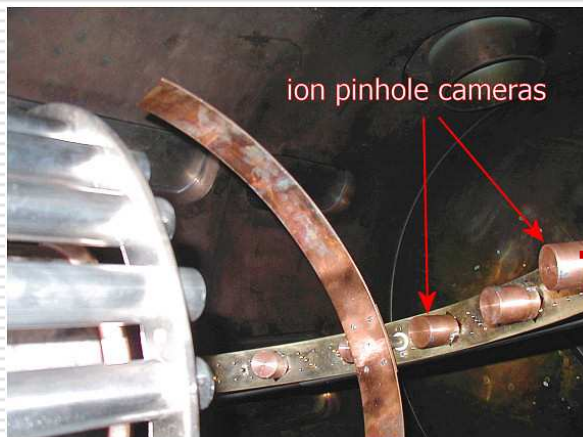


CASTOR



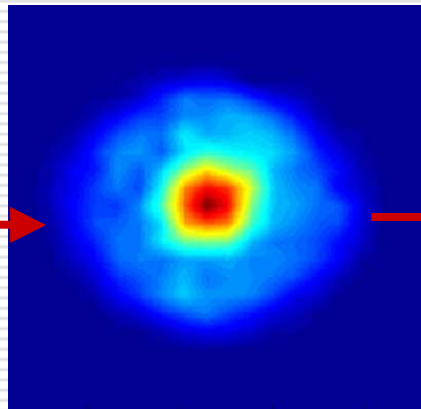
DIAGNOSTYKA PLAZMY

- Badanie plazmy metodami korpuskularnymi
 - Kamery typu pinhole wyposażone w dielektryczny detektor śladowy typu PM-355.



PF-1000

Geometria rozmieszczenia kamer typu pinhole wewnątrz układu typu PF.



Przykładowy obraz źródła protonów, zarejestrowany na powierzchni detektora PM-355.

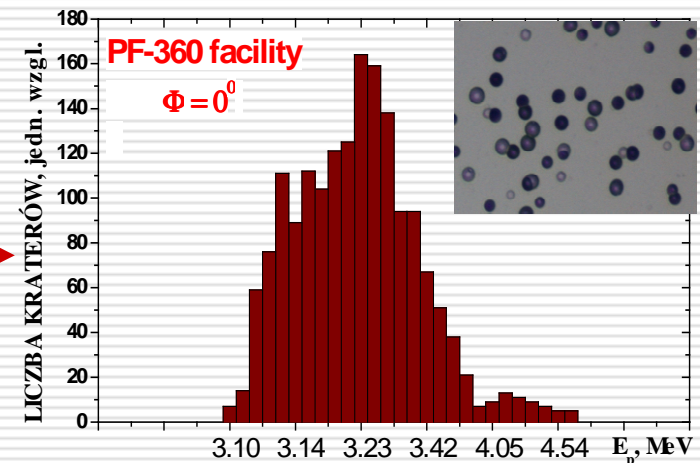


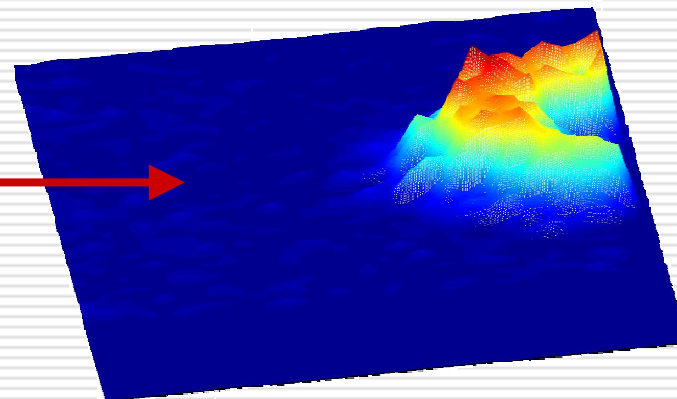
Diagram prezentujący liczbę zarejestrowanych na detektorze protonów w funkcji energii protonów.

DIAGNOSTYKA PLAZMY

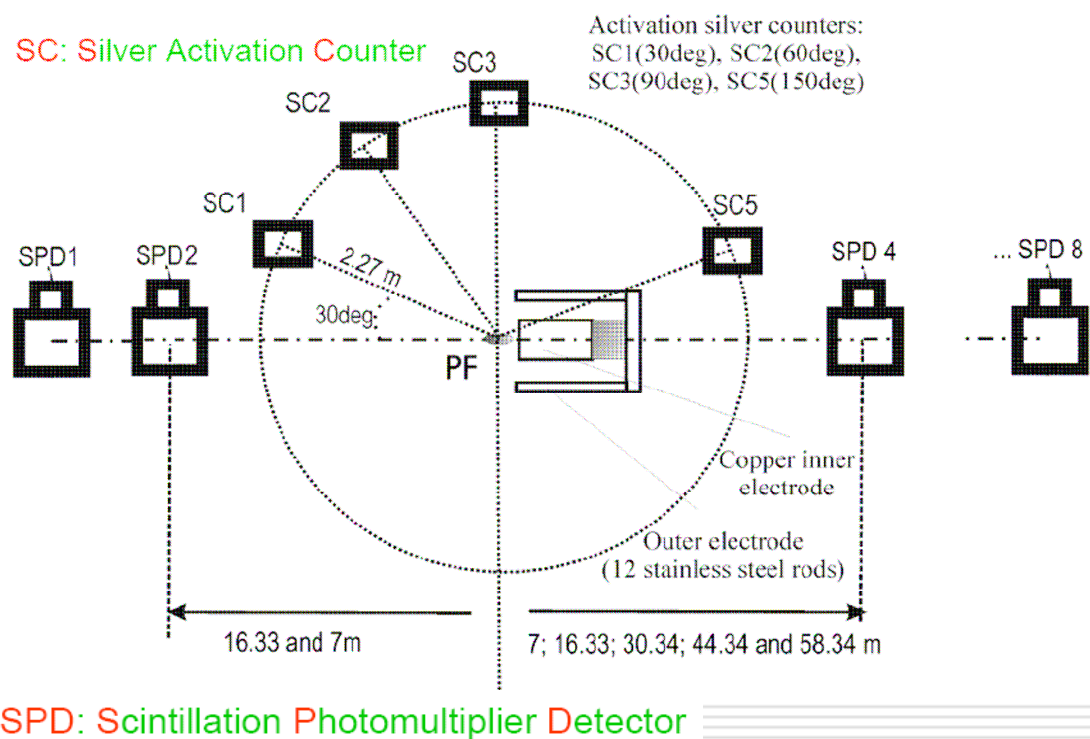
- Badanie plazmy metodami korpuskularnymi
 - Kamery typu pinhole wyposażone w dielektryczny detektor śladowy typu PM-355.



TEXTOR



DIAGNOSTYKA PLAZMY

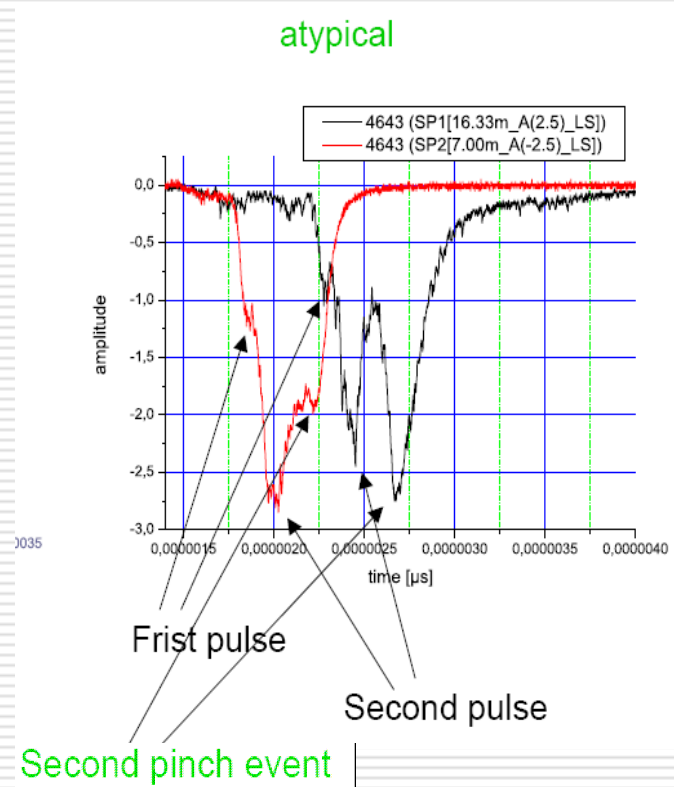
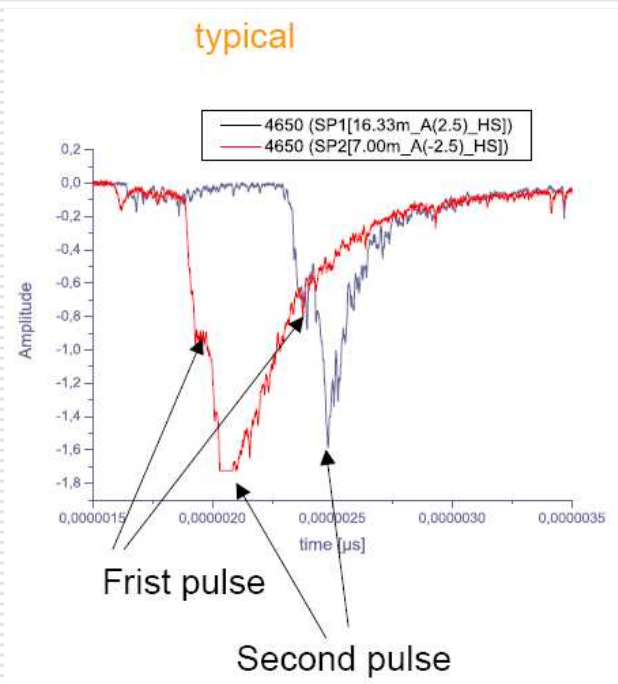


Geometria rozmieszczenia diagnostyki neutronowej na układzie typu PF.

- Liczniki srebrne –
Pomiar wydajności i rozkładów kątowych neutronów. Zestaw liczników G-M z dodatkową folią z Ag.

- Sondy scyntylacyjne –
Pomiar przestrzennych i czasowych parametrów emisji neutronów. Zestaw fotopowielacza i scyntylatora.

DIAGNOSTYKA PLAZMY



Przykładowe sygnały neutronowe zmierzone w odległości 7 m oraz 16.3 m od końca elektrod.

DIAGNOSTYKA PLAZMY

□ Podsumowanie

W zakładzie fizyki i technologii plazmy rozwijanych jest szereg diagnostyk zastosowanych do pomiarów podstawowych parametrów plazmy na różnych typach układów, w których wytwarzana jest plazma. Z roku na rok ulepszone są obecne i rozwijane nowe diagnostyki, dzięki którym będzie można rejestrować więcej parametrów plazmy.

Wiedza jaką można uzyskać z poszczególnych diagnostyk stanowi podstawę do opanowania kontrolowanych reakcji syntezy, co w przyszłości powinno zaowocować wkładem naszych prac w budowę ITER-a, który stanowić będzie rdzeń reaktora DEMO opartego na bazie syntezy termojądrowej.