



# Najnowsze osiągnięcia DATJ

w zakresie wykorzystania

technik detekcyjnych i akceleratorowych

Sławomir Wronka, 15.06.2015r



# Departament DATJ

## **(DTJ) Departament Aparatury i Technik Jądrowych**

(TJ1) Zakład Fizyki i Techniki Akceleracji Cząstek

(TJ2) Zakład Interdyscyplinarnych Zastosowań Fizyki

(TJ3) Zakład Fizyki Detektorów

(TJ4) Zakład Elektroniki i Systemów Detekcyjnych

(TJ5) Zakład Badań Plazmy

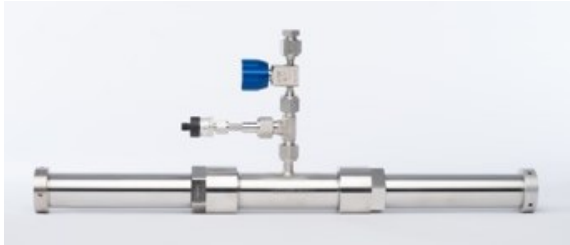
(ZdAJ) Zakład Aparatury Jądrowej





# TJ3 – Scyntylicatory gazowe w projekcie MODES\_SNM

## MODES\_SNM: Modular Detection System for Special Nuclear Material

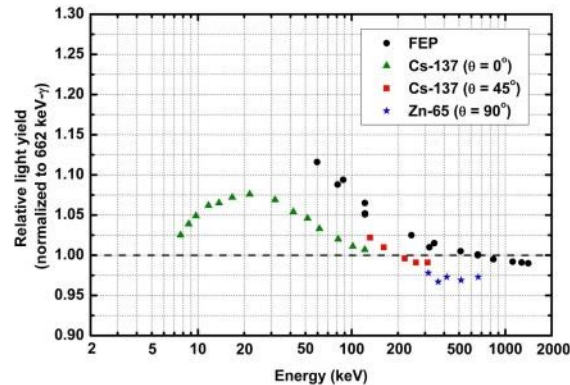
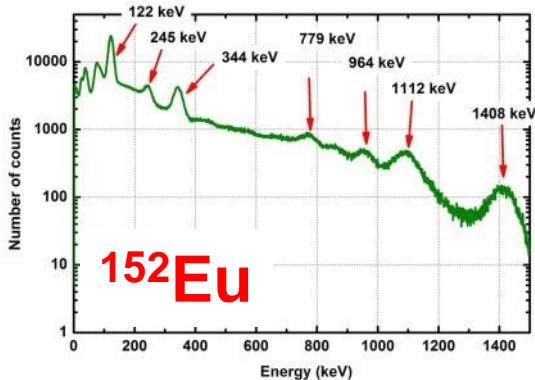
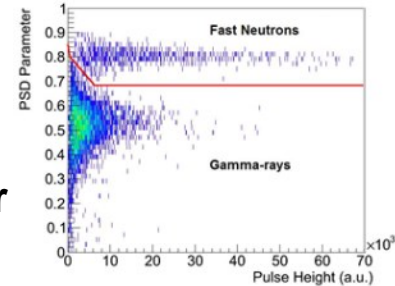


Detektory neutronów prędkich (x8):  
sprężony  $^4\text{He}$  (180 bar) jako scyntylicator



Detektory neutronów wolnych (x2):  
 $^6\text{Li}$  + sprężony  $^4\text{He}$  (180 bar) jako scyntylicator

Detektory gamma (x2):  
sprężony Xe (50 bar) jako scyntylicator



Nieproporcjonalność o podobnym charakterze jak dla NaI:TI – pomiar metodą rozpraszania Comptona



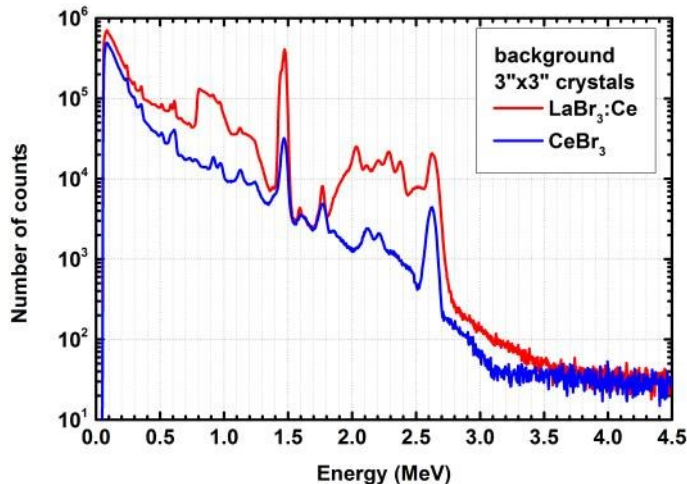


# TJ3 – Detektory dla projektu TAWARA\_RTM

## TAWARA\_RTM: Tap Water Radioactivity Real Time Monitor

Detektor SPEC – pomiary potencjalnego skażenia radioaktywnego wody.  
Identyfikacja izotopów gamma-promieniotwórczych o niskiej aktywności  
– konieczność maksymalnej redukcji tła.

- scyntylator  $\text{CeBr}_3$ :  
74 mm (średnica) x 76 mm (długość)
- osłona anti-komptonowska BGO:  
28.5 mm (grubość) x 200 mm (długość)
- osłona ołowiana:  
50 mm (grubość) x 450 mm (długość)



Niska aktywność wewnętrzna  $\text{CeBr}_3$ :  
Detektor  $\text{CeBr}_3$  został wyhodowany z wyselekcjonowanych materiałów o obniżonej zawartości izotopów promieniotwórczych

Pb shield

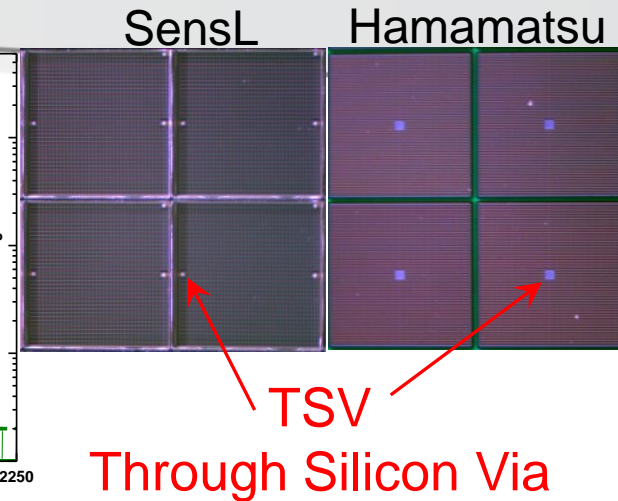
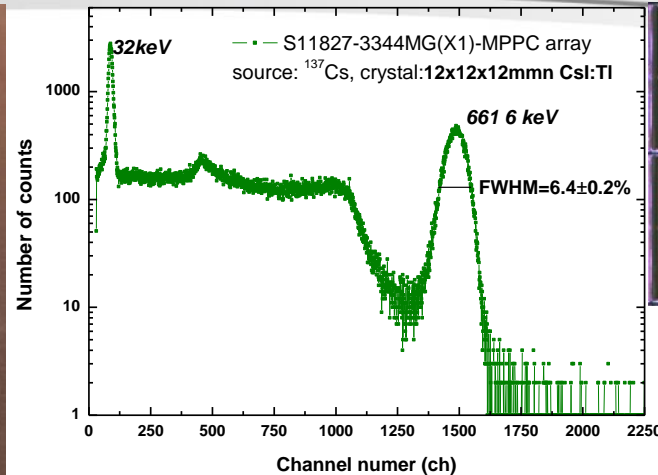
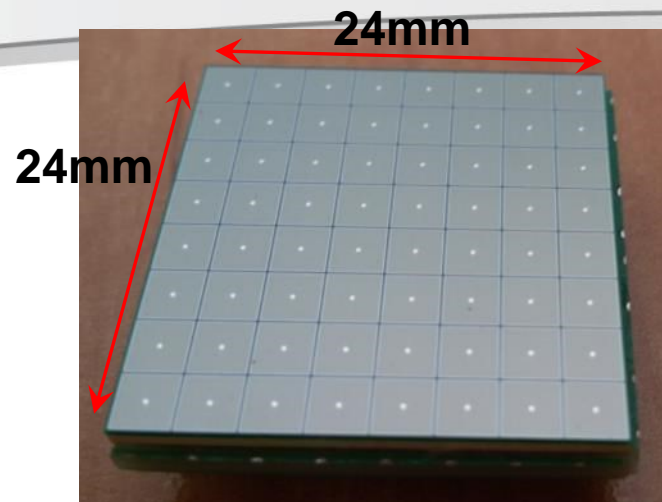
BGO  
Anti-Compton

$\text{CeBr}_3$





# TJ3 – Fotopowielacze krzemowe (SiPM)



## Zakład TJ3 ściśle współpracuje z czołowymi firmami produkującymi i rozwijającymi fotopowielacze krzemowe:

- **Hamamatsu (Japonia)** – doświadczenia i testy z dużymi matrycami (12x12mm, 24x24mm oraz 48x48mm) i odczytem scyntylatorów o rozmiarach 1cal i większych
- **SensL (Irlandia)** – charekteryzacja najnowszych, prototypowych detektorów wykonanych w technologii TSV (12x12mm)
- **FBK, Fondazione Bruno Kessler (Włochy)** – testy detektorów o gęstym upakowaniu komórek i rozszerzonej liniowości

## TJ3 w swoich zasobach posiada także SiPM firm:

Zecotek Photonics (Singapur), ST-Microelectronics (Włochy), Amplification Technologies (USA)

## Główne zastosowania testowane w TJ3:

- Spektrometria gamma (aplikacja: monitor promieniowania gamma m.in. Projekt JET)
- Badania czasowej zdolności rozdzielczej (aplikacja: PET, TOF PET)



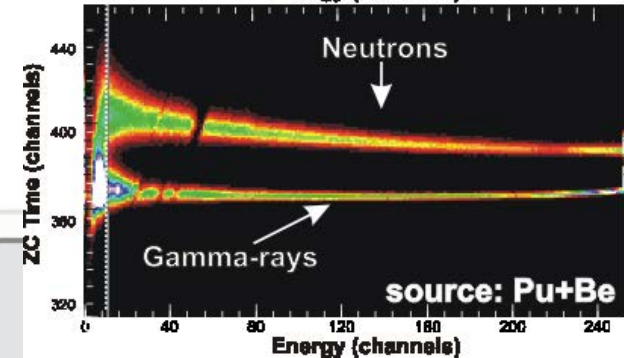
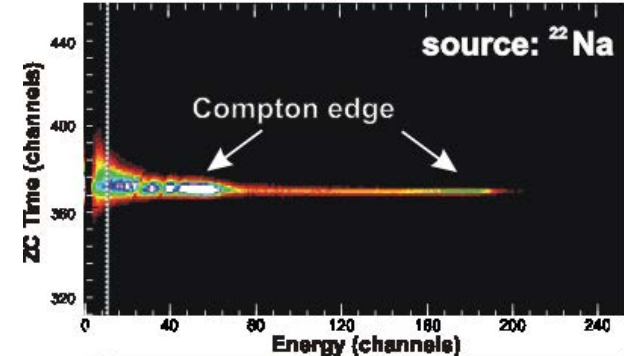
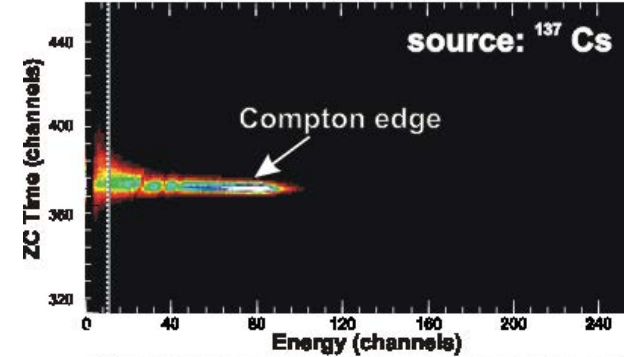
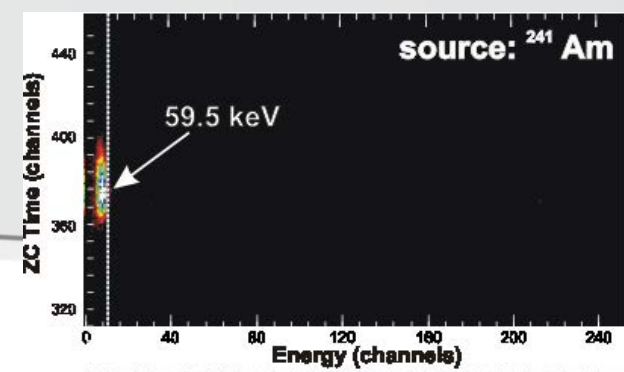
# Rozróżnianie n-gamma z odczytem światła - SiPM



Kryształ:  
Stilbene o wymiarach 25.4x25.4 mm

Fotodetektor:  
fotopowielacz krzemowy Hamamatsu o wymiarach 12x12mm będący matrycą 16 kanałów (4x4 kanały), wykonany w technologii TSV (through silicon via), napięcie pracy 65.5V

		4x4ch TSV MPPC array	PMT XP5500B
<b>Scintillator</b>	Bias voltage (V)	65.50 ±0.01	1100
<b>Stilbene 25x25mm</b>	Phe/MeV	2240 ±220	6380 ±300
	FOM- 100 keVee	1.16 ±0.06	1.59 ±0.08
	FOM- 300 keVee	2.13 ±0.11	3.11 ±0.16
	FOM- 500 keVee	2.86 ±0.14	3.45 ±0.17
	<b>FOM- 1 MeVee</b>	<b>3.41 ±0.17</b>	<b>4.17 ±0.21</b>







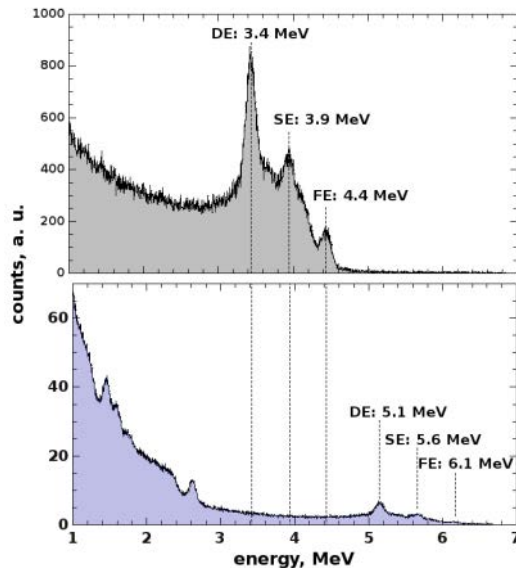
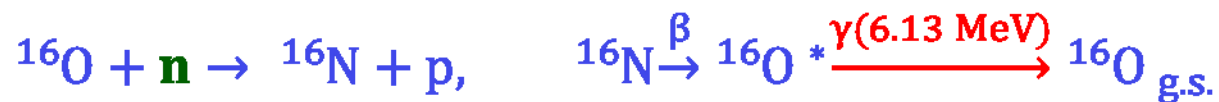
## **EUROfusion\_NCBJ\_JET4**

Udział NCBJ w budowie detektorów we Wspólnym Europejskim Programie Wspólnoty EURATOM powołanym decyzją Rady UE Nr 1314/2013 z dnia 16 grudnia 2013, uzupełniającym program Horyzont 2020

- modernizacja gamma-kamery i spektrometru gamma oraz budowa nowego układu detekcyjnego dla cząstek alfa na tokamaku JET w Culham ze względu na promieniowanie gamma o dużej intensywności
- realizacja w latach 2014-2017
- prace związane z konstrukcją, budową oraz testowaniem układów detektorów, jak również symulacjami Monte Carlo - Narodowe Centrum Badań Jądrowych
- wstęp do programu badawczego realizowanego w ramach Konsorcjum EUROFusion przy projektowaniu diagnostyk dla ITERa



## Reakcja świadcząca o zajściu syntezy w plazmie:



- użycie detektorów o krótkim czasie scyntylacji, np.  $\text{CeBr}_3$  (20 ns),
- nowy DAQ dla pomiarów promieniowania gamma o intensywności rzędu Mcps
- zastosowanie krzemowych fotodetektorów (SiPM) z układem do kompensacji zmian temperatury

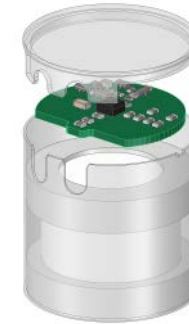




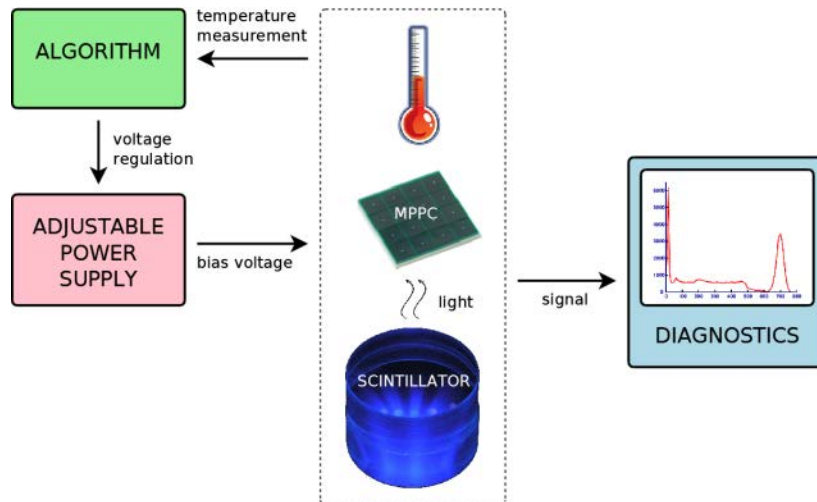
# Układ stabilizacji wzmacnienia detektorów promieniowania gamma opartych o MPPC dla tokamaku JET

## TJ4 we współpracy z TJ3

SiPM/MPPC - Multi-Pixel Photon Counter - Krzemowy fotodetektor będący alternatywą dla fotopowielaczy. Umożliwia pracę przy wysokich intensywnościach promieniowania i w silnym polu magnetycznym. Konieczna jest optymalizacja pracy MPPC ze względu na silną zależność i jego właściwości od temperatury otoczenia..



Kapsuła z dedykowaną płytą PCB.



Zmiana napięcia zasilania detektora umożliwia utrzymanie stałego wzmacnienia układu opartego na MPPC przy zmiennej temperaturze otoczenia.

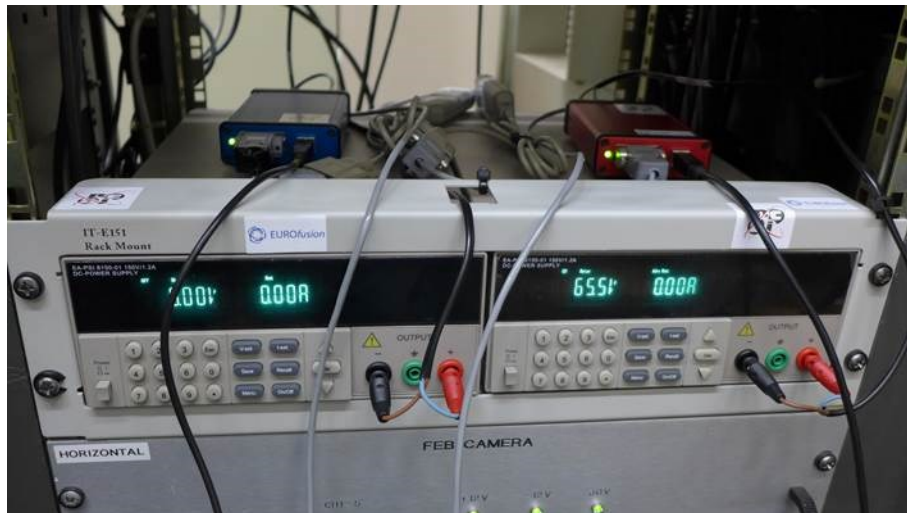


Układ kontrolno-pomiarowy.

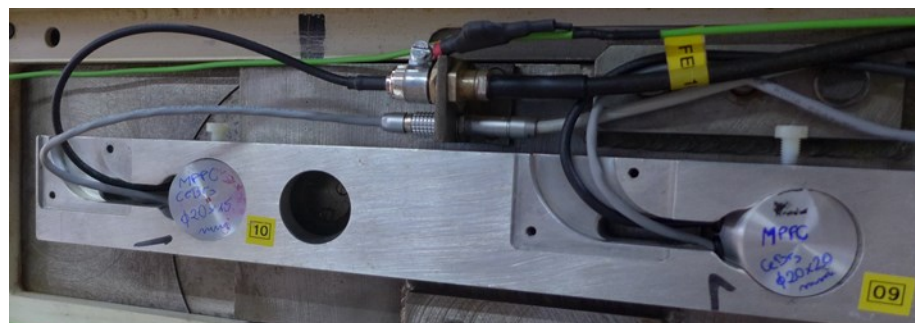


# Układ stabilizacji wzmocnienia detektorów promieniowania gamma opartych o MPPC dla tokamaku JET

Układ zainstalowany na tokamaku JET (w maju 2015)



Dedykowany układ kontrolno-monitorujący zaprojektowany przez Marcina Gosk.



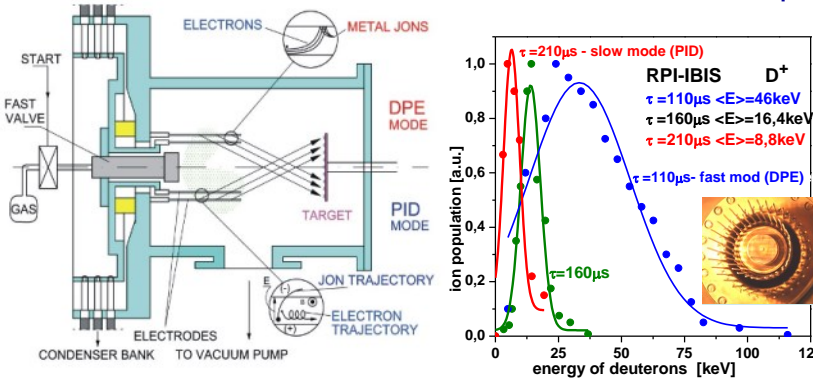
Dedykowany detektor oparty o MPPC zaprojektowany przez Grzegorza Bołtruczka.



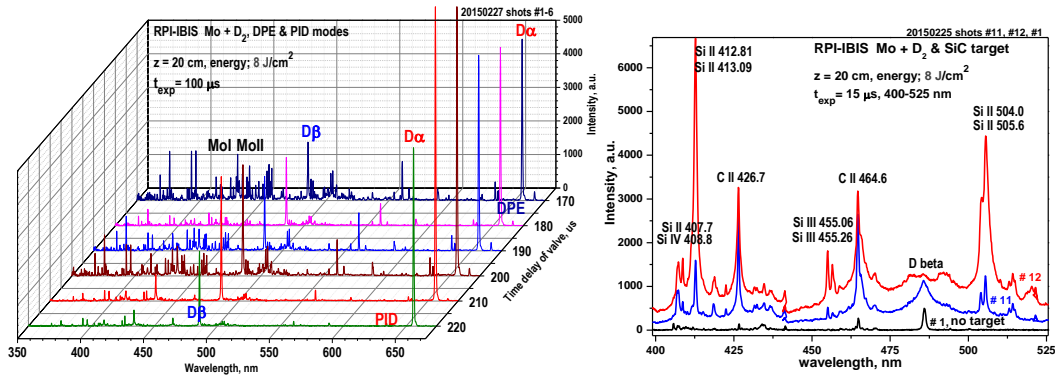
# Studies of pulsed plasma-ion streams during their free propagation and interaction with SiC-targets

E. Skladnik-Sadowska, R. Kwiatkowski, K. Malinowski, M.J. Sadowski, K. Czaus, D. Zaloga, J. Zebrowski, K. Nowakowska-Langier

Experimental studies of interactions of pulsed plasma-ion streams with a silicon-carbide (SiC) target were performed within the RPI-IBIS (Multi-Rod Plasma Injector) facility. Measurements were carried out by means of optical spectroscopy and corpuscular diagnostic techniques. Spectroscopic measurements have been performed with a Mechelle@900 spectrometer. Spectral lines of SiI- SiIV and CI-CIV species were identified. Structural changes in the irradiated targets were investigated with a SEM technique and energy-dispersive X-ray spectrometer (EDS).

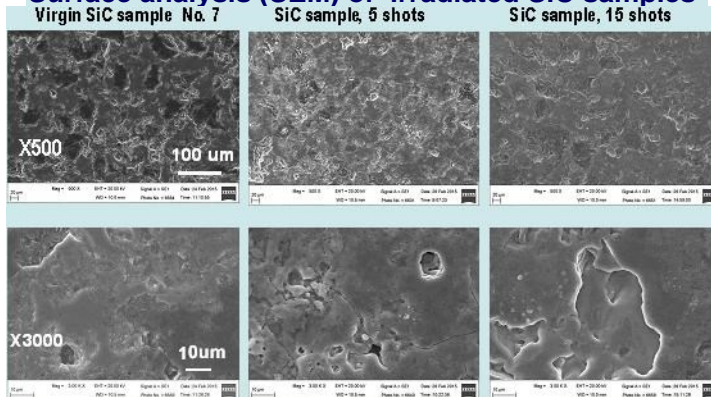


Scheme of the RPI-IBIS facility and energy distributions of deuterons, as measured for different operational modes (slow-PID and fast-DPE).



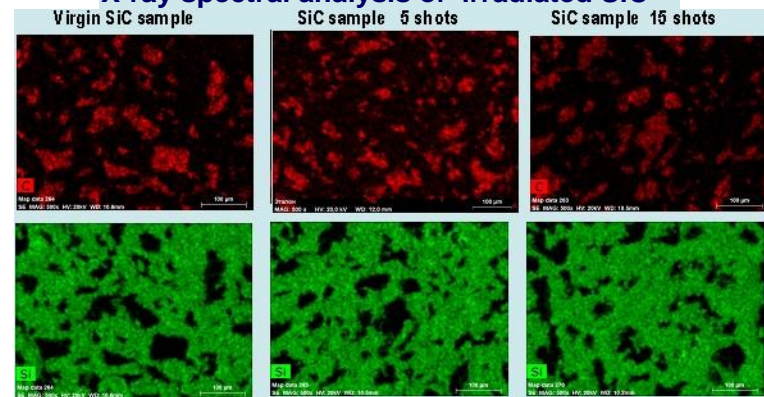
Selected parts of the VR spectra recorded in the RPI-IBIS for different operational modes and a portion of the VR spectra recorded in RPI-IBIS without any target (shot #1) and with a SiC-target (shots #11-12).

## Surface analysis (SEM) of irradiated SiC samples



Images of the virgin SiC sample surface (No 7) and after its irradiation by pulsed  $8\text{-J/cm}^2$  plasma streams during 5 and 15 shots, as seen at different magnifications.

## X-ray spectral analysis of irradiated SiC



Surface distributions of carbon (top) and silicon (bottom), as measured by means of the X-ray spectral analysis at the magnification  $\times 500$ .



# ENHANCEMENT OF $p + {}^{11}\text{B} \rightarrow 3\alpha + 8.7 \text{ MeV}$ NUCLEAR REACTIONS INDUCED IN BORON AND HYDROGEN-DOPED SILICON TARGETS BY PALS LASER PULSES.

A. Picciotto<sup>1</sup>, ..., A. Szydłowski<sup>2</sup>, A. Malinowska<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Micro-Nano Facility, Fondazione Bruno Kessler, 38123 Trento, Italy

<sup>2</sup>National Centre for Nuclear Studies, 05-400 Otwock Świerk, Poland

Our experiment aims to produce a high yield of alpha particles by triggering the proton boron nuclear reaction  ${}^{11}\text{B} + p \rightarrow 3\alpha + 8.7 \text{ MeV}$ . This reaction has a main channel with a maximum cross section for protons with energies of 600-700 keV. This channel generates alpha particles with an energy distribution ranging from 2.5 to 5.5 MeV and a maximum at  $\sim 4.3 \text{ MeV}$ .

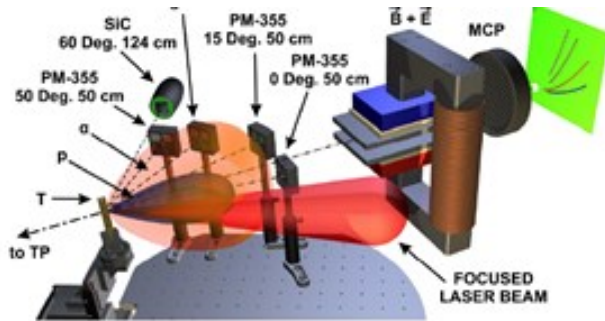


Fig.1. Experimental setup.

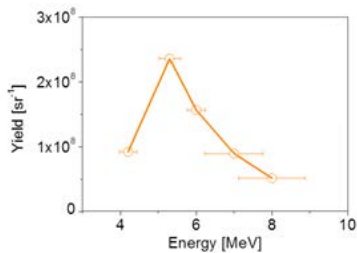


Fig.3. Alpha-particle energy spectrum obtained from PM-355 analysis using detectors with different Al filter thicknesses (6-20  $\mu\text{m}$ ).

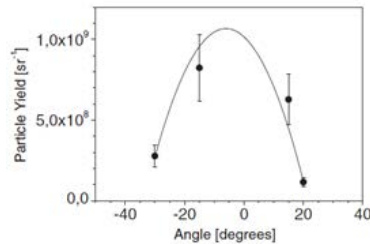


Fig.4. Alpha particle angular distribution obtained from PM-355 analysis using detectors placed at different angles with respect to the lased incident direction in the same laser shot.

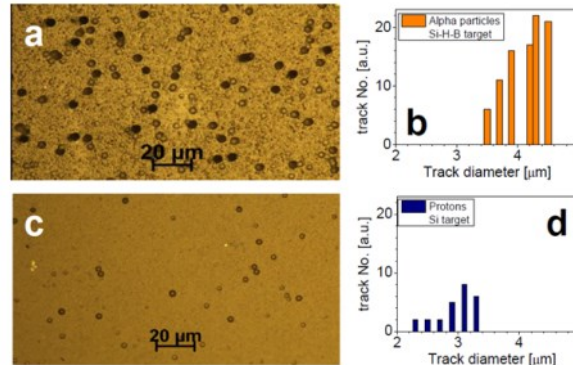


Fig.2. Picture of craters produced by incident protons (small light craters) and  $\alpha$ -particles (large black craters) for (a) the Si-H-B target and (b) the corresponding histogram of particle crater diameters. (c) Picture of craters produced by incident protons (small light craters) for Si target and (d) corresponding histogram of particle crater diameters.

## Conclusions

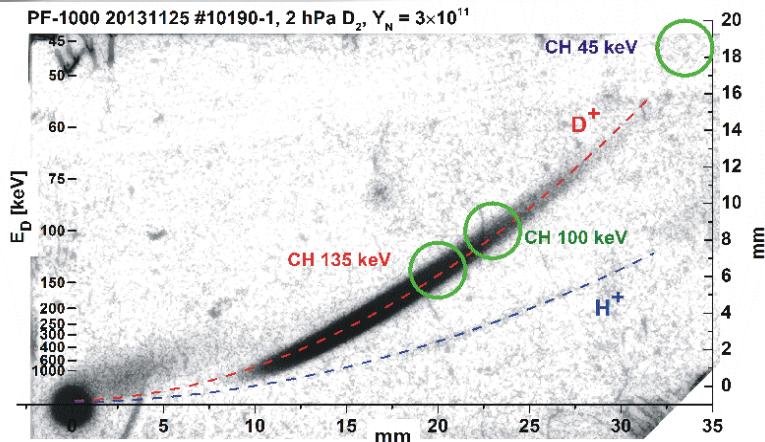
- A fusion rate  $\sim 10^9$   $\alpha$ -particles per steradian per pulse was achieved using long-laser pulses and boron-hydrogen enriched silicon targets.
- This results is attributable to the high current proton beam generated by the long (nanoseconds) laser pulses, which present an optimal energy spectrum with a plateau around the maximum of the nuclear reaction cross section.
- The multilayer target with a high boron concentration at a given depth allowed the nuclear reactions to occur when the boron ion density is still high (i.e. still close to the target surface), thus ensuring a very high fusion rate.



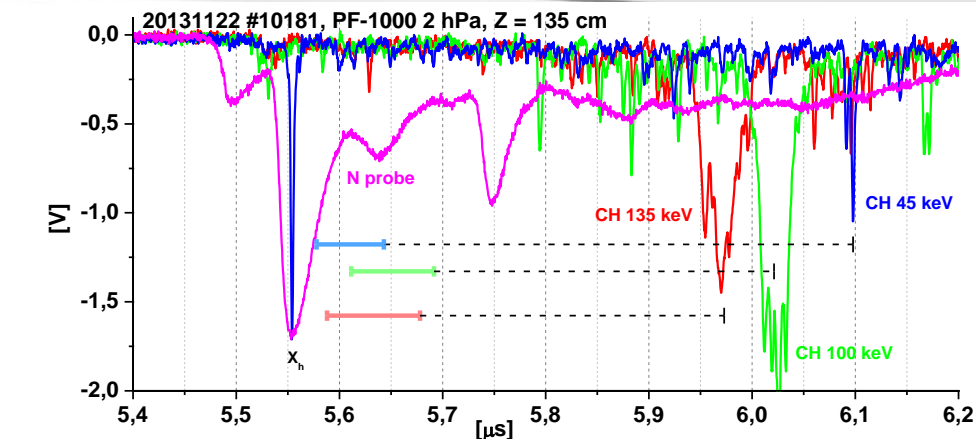
# Opis procesów zachodzących w plazmie, również pod kątem oddziaływania z tarczami /badania materiałowe/.

TJ5

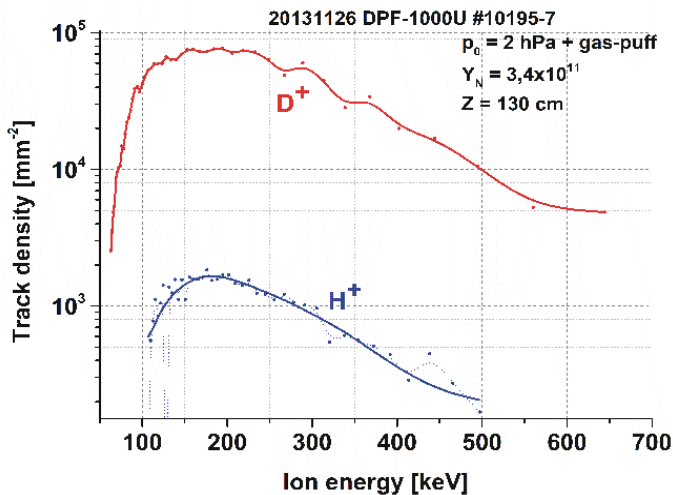
National Centre for Nuclear Research, Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion



Positions of scintillators along the deuterium parabola inside Thomson spectrometer



Signals registered by means of three scintillators and neutron scintillation probe, during one of the discharges within PF-1000 device. The instants of ion emission, calculated on the basis of ToF method, are marked with color lines



Exemplary deuterium and proton energy spectra, as recorded during PF-1000 discharges

- Wyznaczenie widm energii jonów emitowanych z wyładowania PF w różnych warunkach pracy układu PF-1000, w tym również przy dynamicznym napełnianiu gazu;
- Wyznaczenie momentu emisji prędkich deuterionów z obszaru gorącej plazmy powstającej w wyładowaniu PF;
- Wykazanie korelacji pomiędzy czasami emisji twardego promieniowania rentgenowskiego i deuterionów o energiach do 150 keV;
- Potwierdzenie istnienia wyraźnych niejednorodności strumieni jonowych podczas wyładowań z impulsowym napełnianiem gazu.



# Cherenkov-type diagnostics

L.Jakubowski, K.Malinowski, M.Rabiński, M.J.Sadowski, J.Żebrowski (TJ5)

- Od dziesięciu lat prowadzone są prace nad wykorzystaniem detektorów typu Czerenkowa do badań wiązek wysokoenergetycznych elektronów w Tokamakach.
- Od ~25 lat detektory Czerenkowa były stosowane w Świerku do badań impulsowych wiązek elektronów emitowanych w silnoprądowych wyładowaniach typu nieliniowy Z-pinch.
- W roku 2014 badania te były prowadzone w ramach konsorcjum EUROfusion w tokamaku COMPASS w Pradze (Czechy), a także opracowano wyniki wcześniejszych pomiarów w tokamaku FTU we Frascati (Włochy).





# Cherenkov-type diagnostics

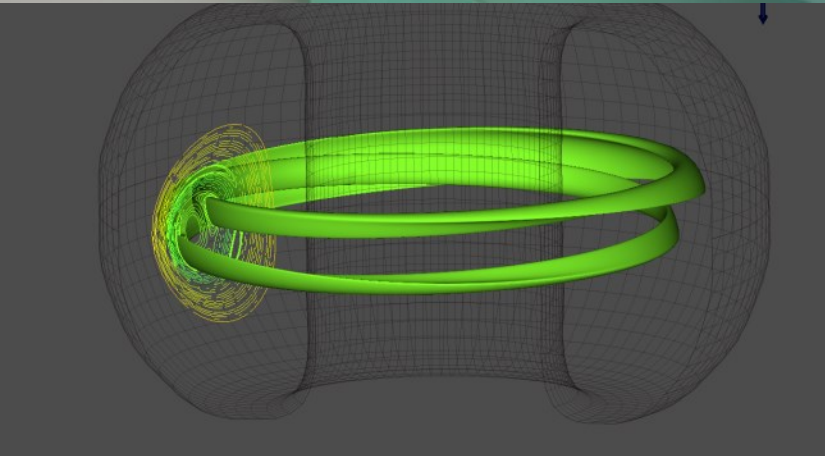
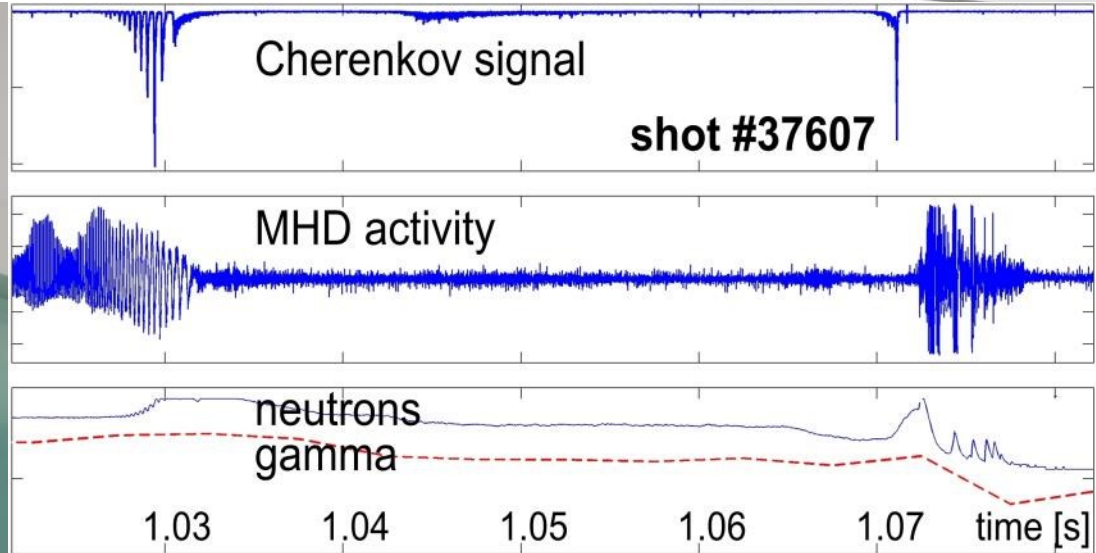
L.Jakubowski, K.Malinowski, M.Rabiński, M.J.Sadowski, J.Żebrowski (TJ5)

- **Bardzo interesująca jest zaobserwowana po raz pierwszy korelacja emisji promieniowania Czerenkowa z występowaniem wysp magnetycznych.**
- Wyspy magnetyczne występujące w tokomakach są to helikalne struktury w polu magnetycznym spowodowane wystąpieniem zewnętrznych pól lub niestabilnościami prądu lub gradientu ciśnienia.



# Cherenkov-type diagnostics

L.Jakubowski, K.Malinowski, M.Rabiński, M.J.Sadowski, J.Żebrowski (TJ5)



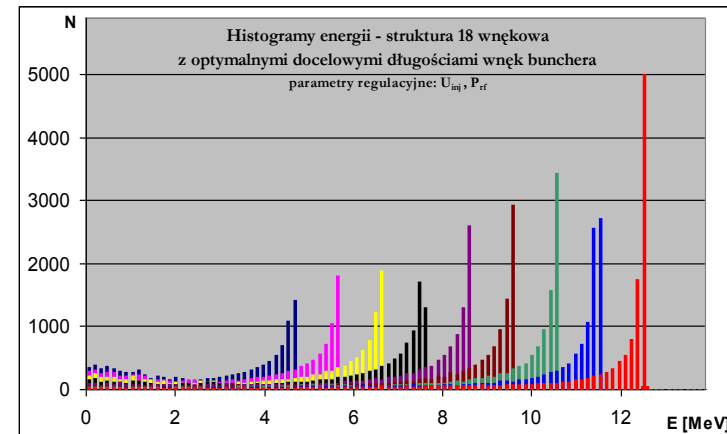
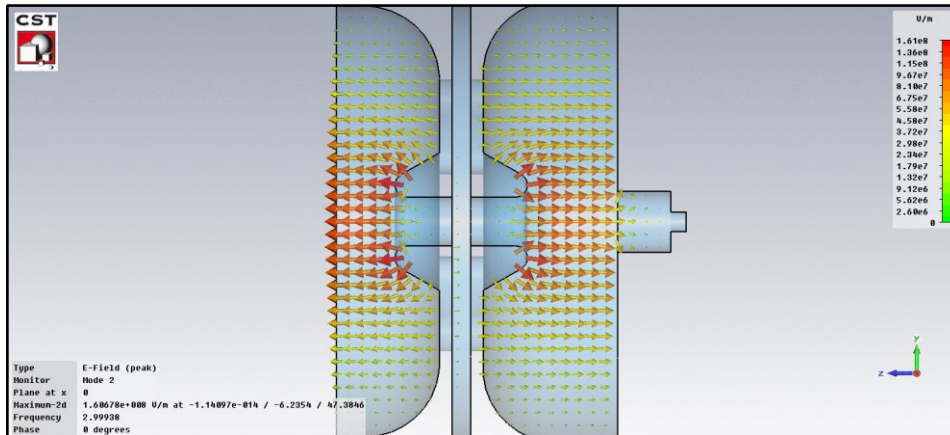
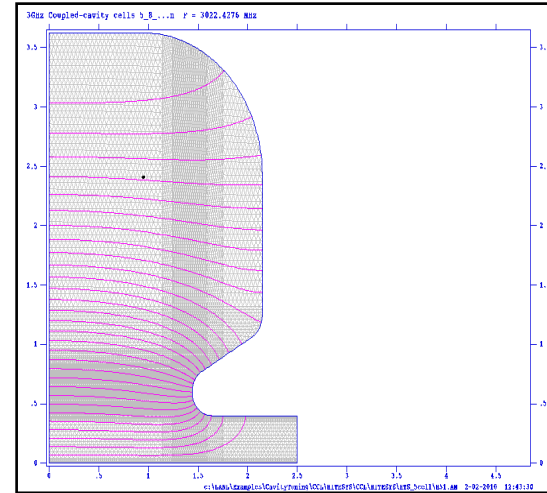
Correlation found between magnetic island rotation and signal from single-channel Cherenkov probe (FTU tokamak – Frascati, Italy)

F.Causa, ..., L.Jakubowski, K.Malinowski, M.Rabiński, M.J.Sadowski, J.Żebrowski: ECPD2015\_066



# Bilans mocy w strukturze, symulacja rozkładu pola w programie Superfish i Microwave Studio(3D). Dynamika wiązki.

Struktura	Moc tracona na ścianach struktury - przypadek idealny obliczenia SUPERFISH	Szacowane rzeczywiste zapotrzebowanie na moc po uwzględnieniu dodatkowych strat w strukturze i torze mikrofalowym
14 wnęk	<b>2.6 MW</b>	<b>3.3 MW</b>
16 wnęk	<b>2.4 MW</b>	<b>3.0 MW</b>
<b>18 wnęk</b>	<b>2.1 MW</b>	<b>2.7 MW</b>



Dane do mechanicznego projektu struktury i układu zasilania mocą RF

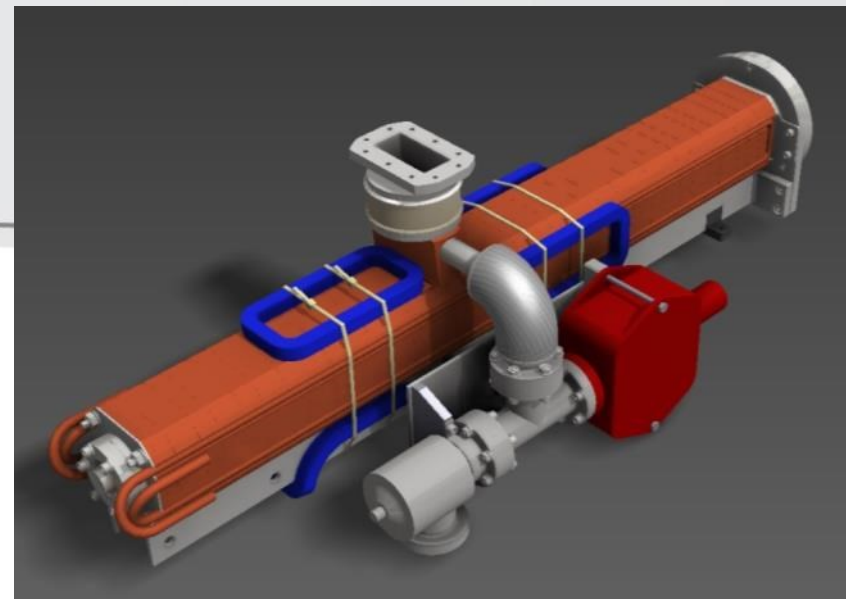




# Projektowanie i strojenie struktur przyspieszających

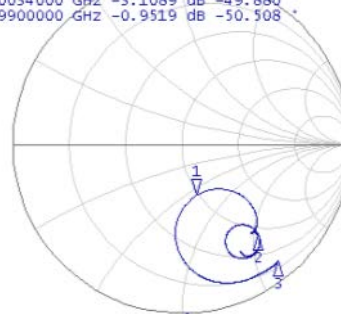
Strojenie mikrofalowe struktur przyspieszających:

- Kontrola częstotliwości rezonansowych pojedynczych rezonatorów
- Strojenie zestawionych rezonatorów
- Dobór geometrii wejścia mocy dla osiągnięcia pożądanego współczynnika sprzężenia (wykresy)



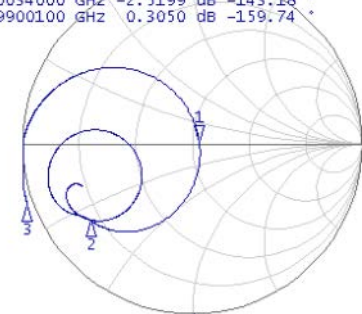
Tr1 S11 Smith (Log/Phase) Scale 1.000U [F1 de1]

```
>1 2.9981700 GHz -10.066 dB -73.243 *  
2 3.0034000 GHz -3.1089 dB -49.880 *  
3 2.9900000 GHz -0.9519 dB -50.508 *
```



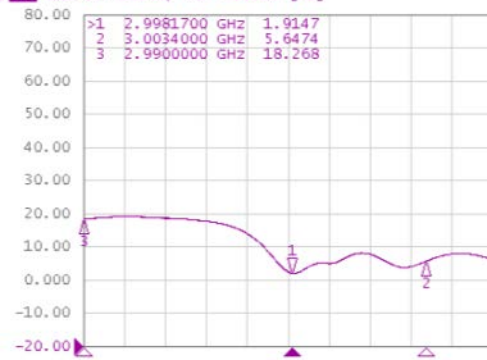
Tr1 S11 Smith (Log/Phase) Scale 1.000U [F1 de1]

```
>1 2.9980400 GHz -27.505 dB 11.447 *  
2 3.0034000 GHz -2.5199 dB -143.18 *  
3 2.9900100 GHz 0.3050 dB -159.74 *
```



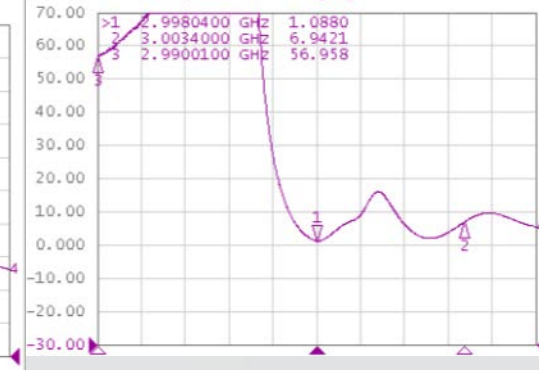
Tr4 S11 SWR 10.00/ Ref -20.00 [F1]

```
>1 2.9981700 GHz 1.9147  
2 3.0034000 GHz 5.6474  
3 2.9900000 GHz 18.268
```



Tr4 S11 SWR 10.00/ Ref -30.00 [F1]

```
>1 2.9980400 GHz 1.0880  
2 3.0034000 GHz 6.9421  
3 2.9900100 GHz 56.958
```

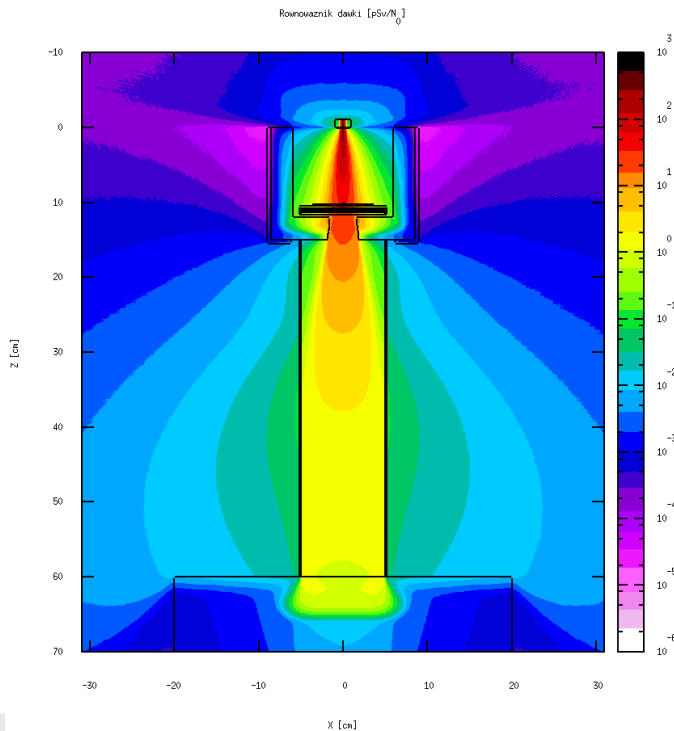




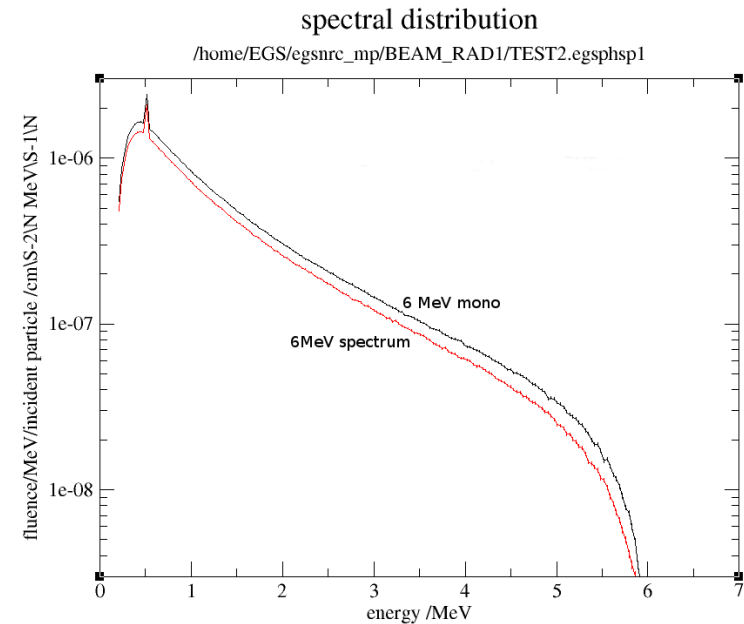
# Metody obliczeniowe Monte-Carlo

## Modelowanie głowic akceleratorów

Układ formowania wiązki elektronów w akceleratorze śródoperacyjnym



Głowica akc. radiograficznego-  
rozkład widmowy energii fotonów

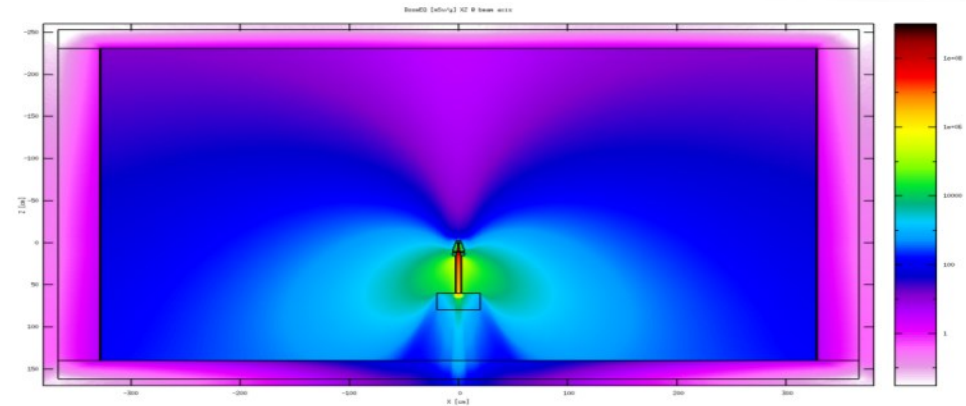




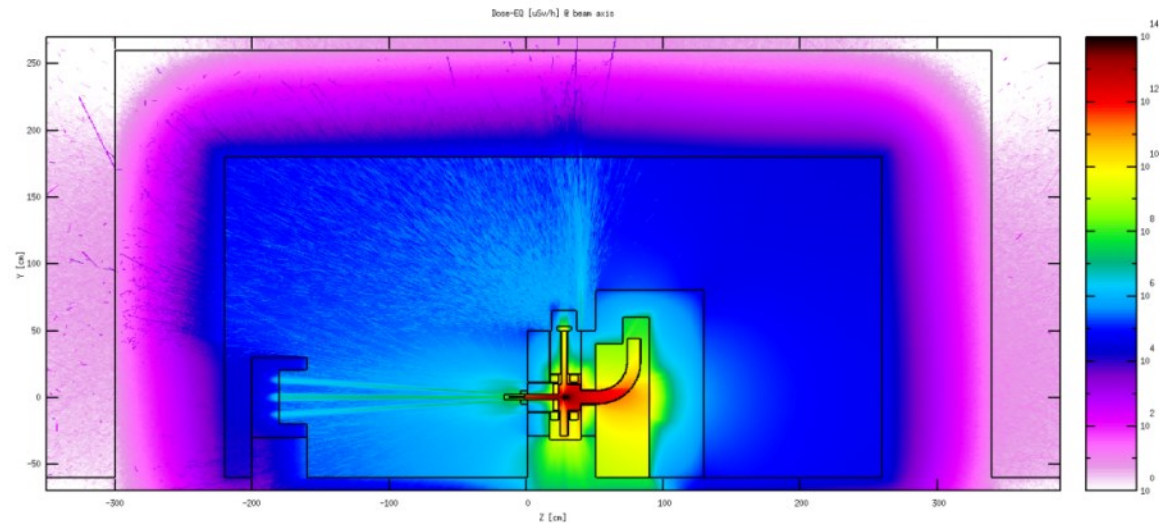
# Metody obliczeniowe Monte-Carlo

Obliczanie osłonności dla stanowisk akceleratorowych

Akcelerator  
śródooperacyjny  
- projekt Intra Dose



Eksperyment  
GBAR –CERN



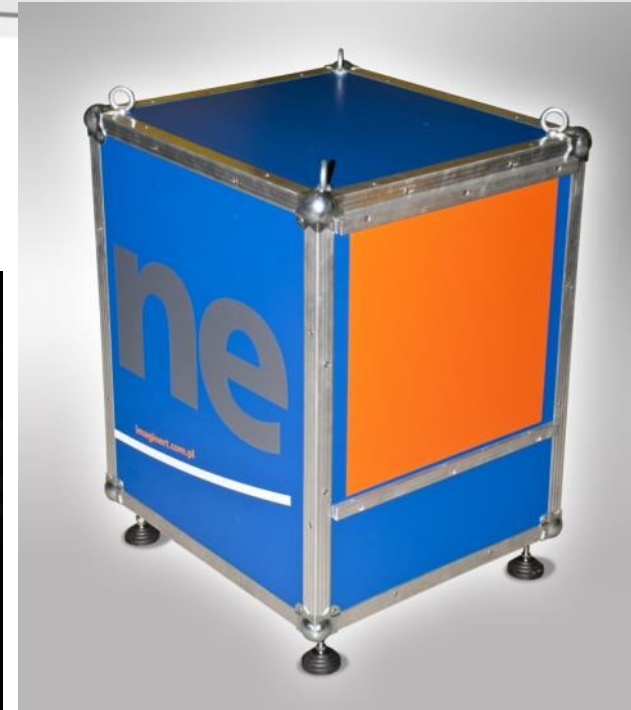
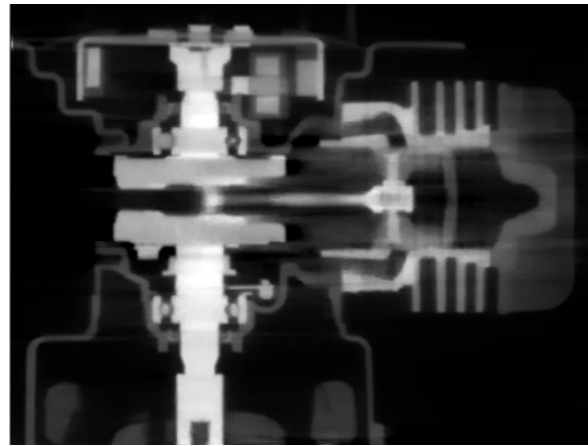
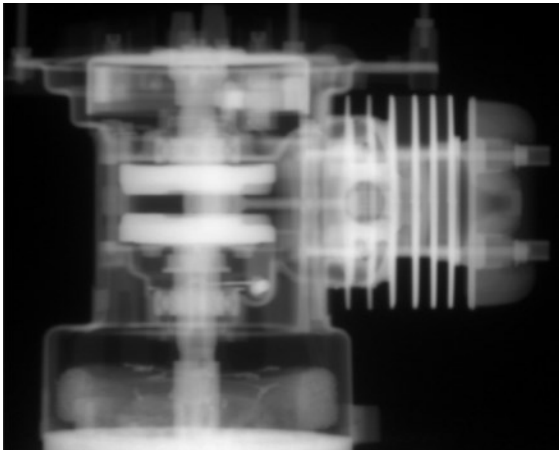




# Rozwój detektorów radiograficznych

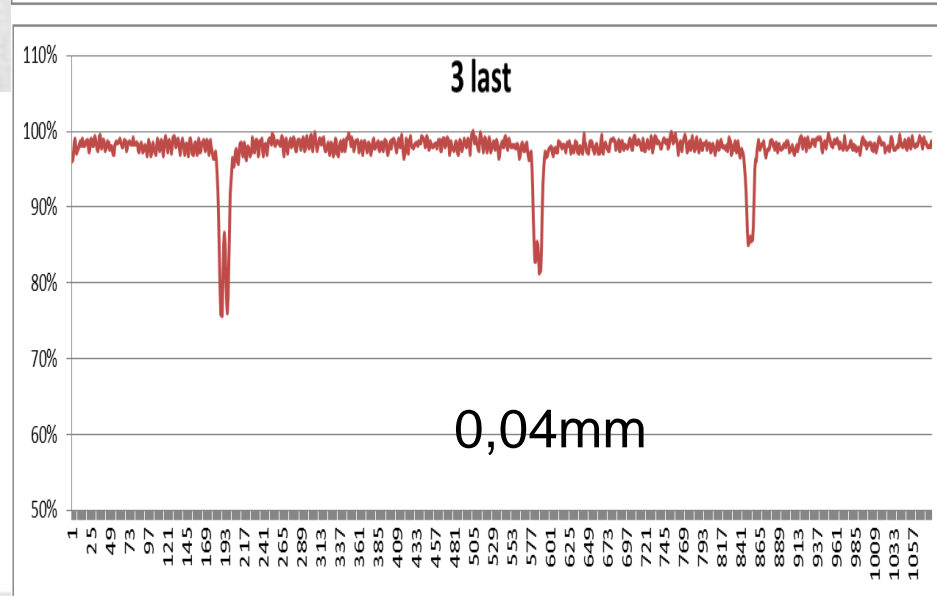
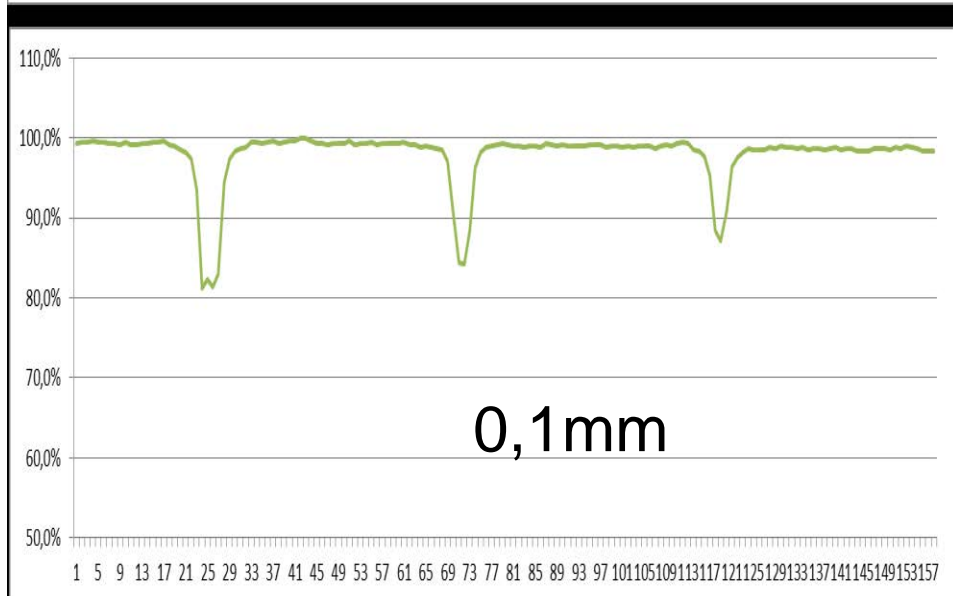
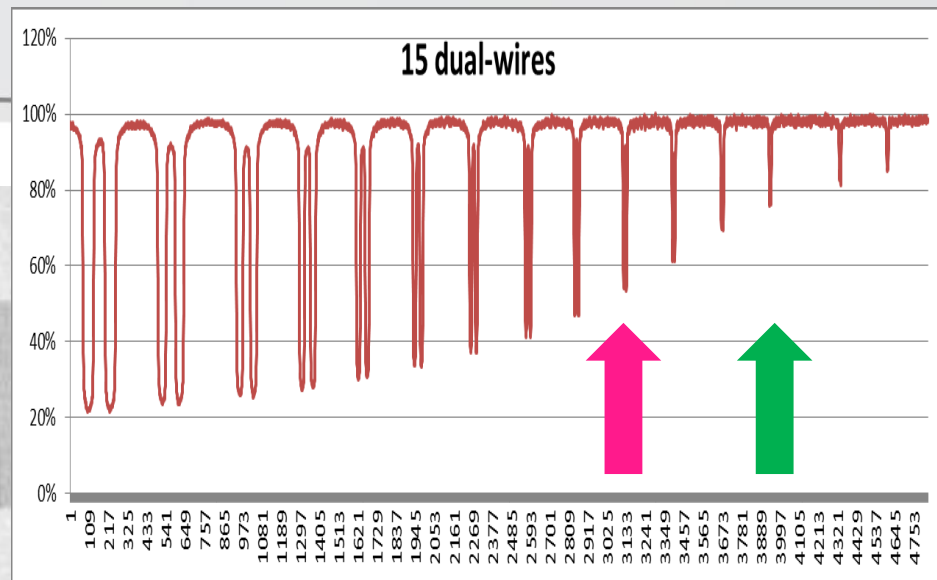
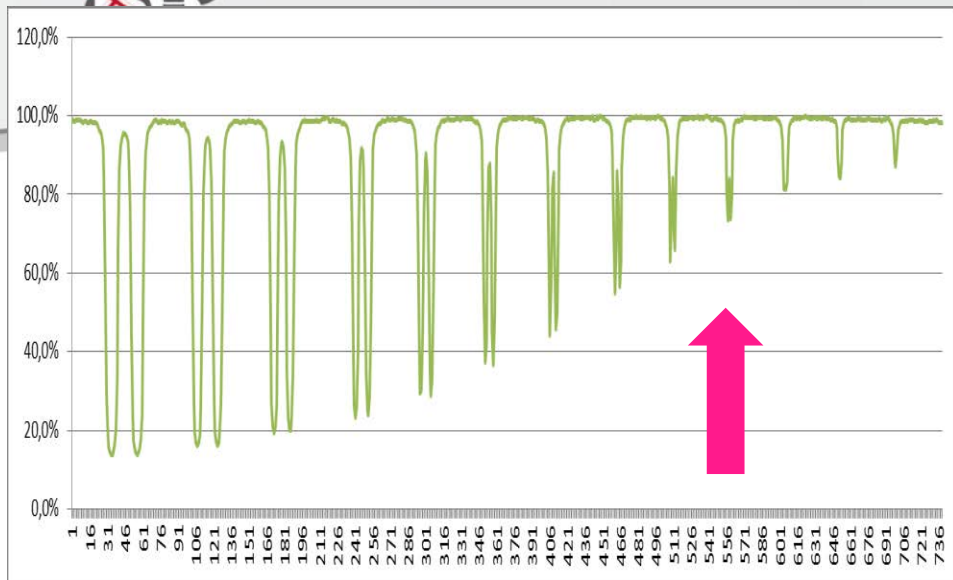
## Skomercjalizowany detektor SMOC

- Wysokoenergetyczna tomografia CT



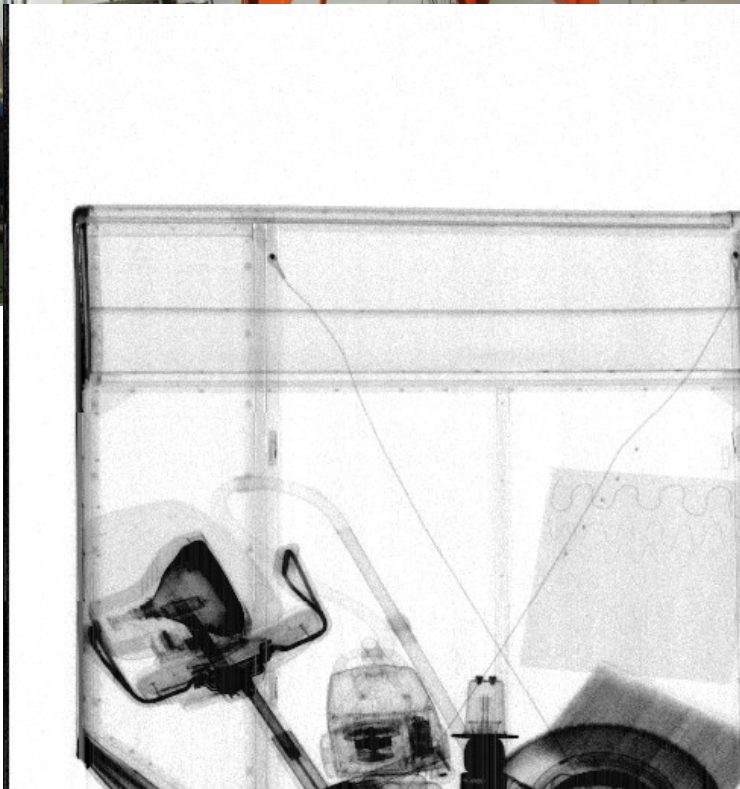
- Badania szybkie – do 120 fps
- W ramach projektu Innotech – radiografia wysokiej rozdzielczości

**Osiągnięto rozdzielczość 40 $\mu$ m.**





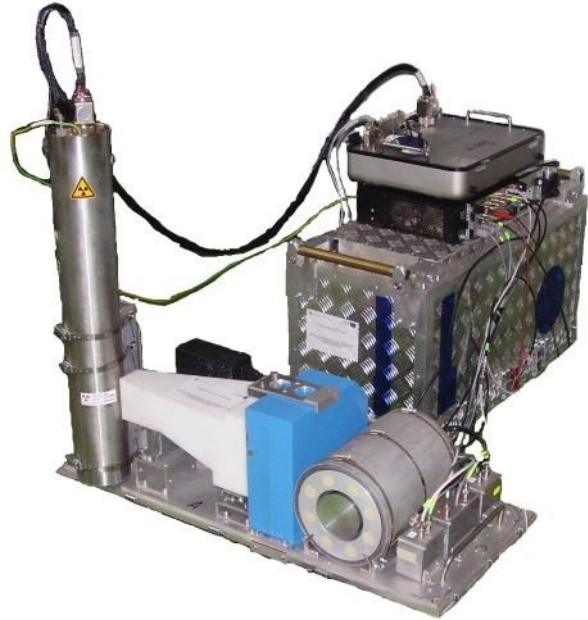
# Kontrola ładunku - CANIS







# Komercjalizacja rezultatów projektu AiD



Analizator SWAN znalazł zastosowanie jako demonstrator możliwości Neutronowej Analizy Aktywacyjnej do identyfikacji i oceny jakości rudy miedzi.

Obecnie realizowany jest komercyjny projekt badawczy „Wykorzystanie technologii neutronowej analizy aktywacyjnej do określania zawartości pierwiastków użytecznych w rudzie miedzi in situ oraz na różnych etapach jej urabiania i transportu,” zlecony NCBJ przez KGHM „Polska Miedź” SA

