

# Laboratorium Neutronowej Analizy Aktywacyjnej w NCPS Solaris

Michał Silarski, Katarzyna Dziejcz-Kocurek



Rozpraszanie neutronów i metody komplementarne w badaniach materii  
Chlewiska, 13.06.2024



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

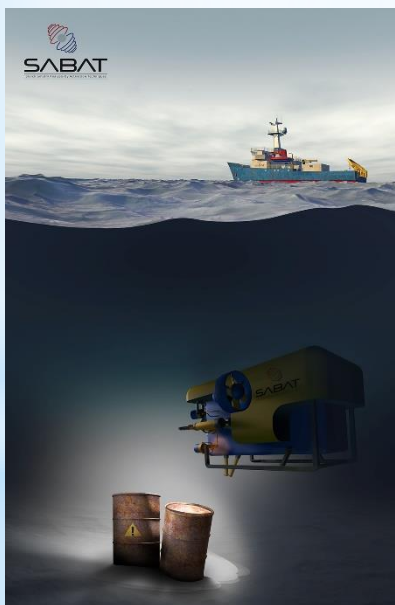


Unia Europejska  
Europejski Fundusz  
Rozwoju Regionalnego

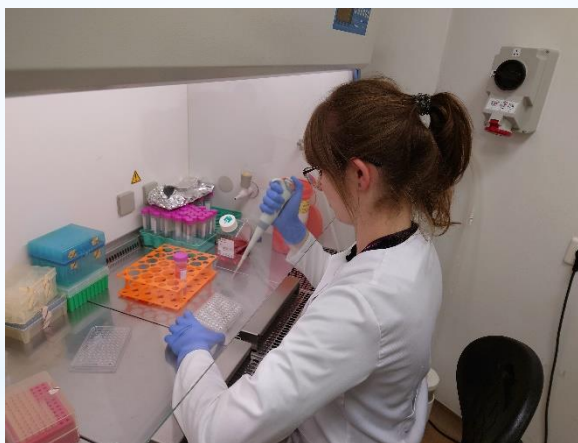


# Nasze cele - zastosowanie neutronów w następujących obszarach badawczych

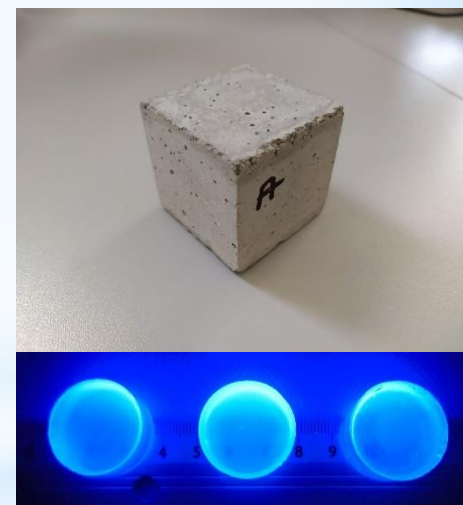
\* **Bezpieczeństwo publiczne**



\* **Medycyna i fizyka medyczna**



\* **Badania materiałowe**



\* a także **badania podstawowe** w każdej z tych dziedzin

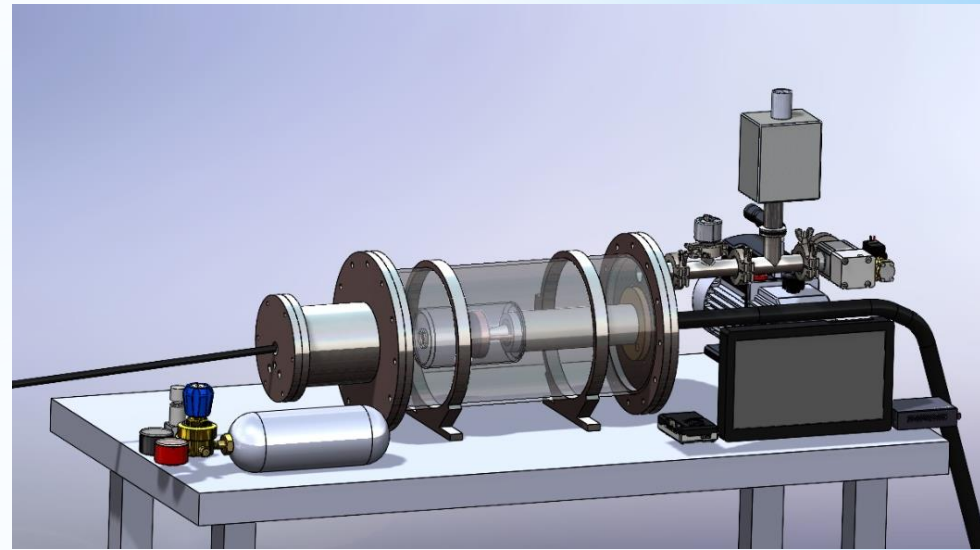
# Laboratorium Neutronowej Analizy Aktywacyjnej

- ❖ **Nieinwazyjne wykrywanie materiałów niebezpiecznych za pomocą wiązek neutronów**
  - ❖ Gazy bojowe, amunicja konwencjonalna oraz ciężkie paliwo
  - ❖ Antyterroryzm
  - ❖ Zastosowanie sieci neuronowych w określeniu czy testowane materiały są niebezpieczne
- ❖ **Rozwój terapii BNCT**
  - ❖ Testowanie modeli nowotworów w polu promieniowania neutronowego
  - ❖ Rozwój metod monitorowania rozkładu boru w czasie rzeczywistym (PGRASPECT)
  - ❖ Oznaczanie zawartości boru w próbkach utrwalonych
  - ❖ Badanie uszkodzeń radiacyjnych materiałów pod kątem nowych nośników boru
- ❖ **Testy nowych materiałów osłonowych przeciw kwantom gamma oraz neutronom (np. nowe betony)**
- ❖ **Testy detektorów neutronów szybkich oraz termicznych**
  - ❖ Rozwój nowych materiałów scyntylacyjnych do jednoczesnej detekcji neutronów i kwantów gamma (pulse-shape discrimination)

# Laboratorium Neutronowej Analizy Aktywacyjnej

## ❖ Generator NGU-120

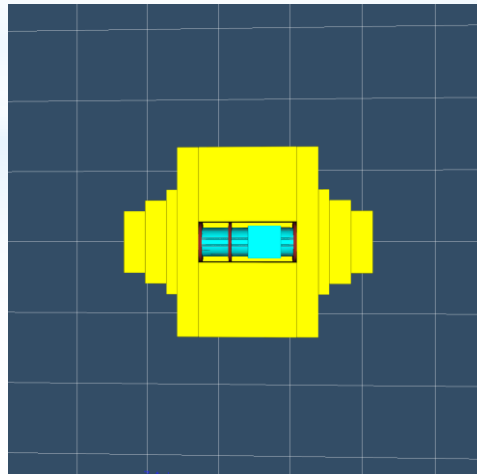
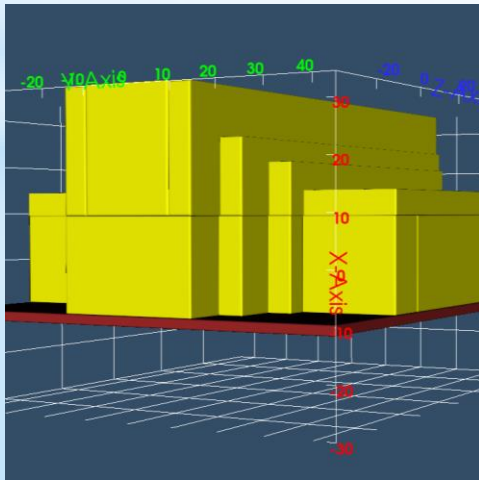
- ✓ Typ Deuter-Deuter
- ✓ Natężenie prądu wiązki: 1mA
- ✓ Tarcza  $TiD_2$
- ✓ Tryb pracy: ciągły lub impulsowy
- ✓ Maksymalna energia neutronów: 2.5 MeV (14 MeV)
- ✓ Intensywność:  $1 \cdot 10^8$  n/s
- ✓ System awaryjnego wyłączenia



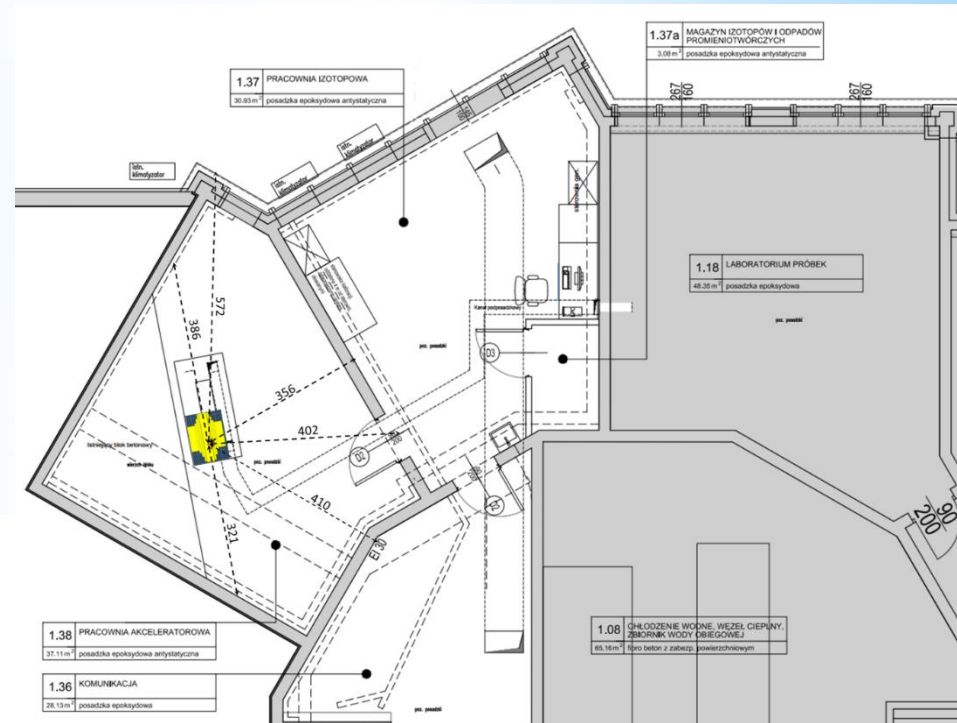
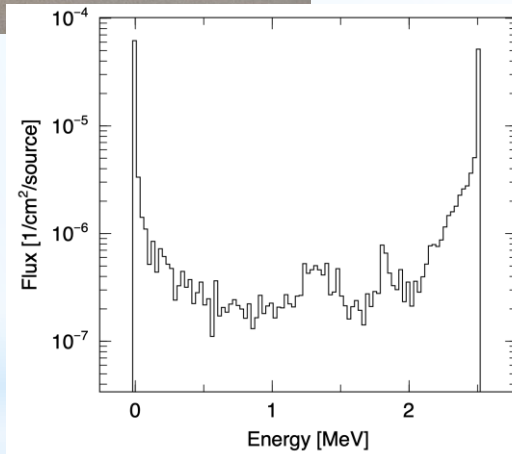
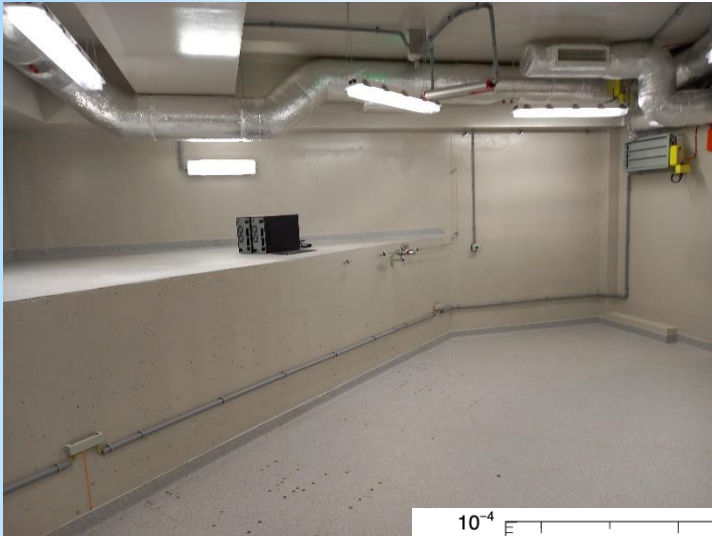
## ❖ Spektroskopia promieniowania $\gamma$ oraz neutronów:

### ❖ HPGe + Scyntylatory LaBrCe:Sr

### ❖ Detektory neutronów oparte na scyntylatorach plastikowych (EJ-276, BC-702, BC-720) oraz kryształach stilbenu



# Laboratorium Neutronowej Analizy Aktywacyjnej



$\phi_{\text{term}}$ [1/(cm <sup>2</sup> ·s)/source]	$\phi_{\text{epi term}}$ [1/(cm <sup>2</sup> ·s)/source]	$\phi_{2,5\text{MeV}}$ [1/(cm <sup>2</sup> ·s)/source]	$\phi_{\text{All}}$ [1/(cm <sup>2</sup> ·s)/source]	$\phi_{\gamma}$ [1/(cm <sup>2</sup> ·s)/source]	d [cm]
$(4,11 \pm 0,03) \cdot 10^{-4}$	$(3,95 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$	$(2,93 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	$(1,16 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$	$(1,99 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	5
$(6,14 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$	$(6,10 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$	$(2,93 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	$(1,46 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$	$(2,57 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	35
$(6,23 \pm 0,04) \cdot 10^{-4}$	$(6,10 \pm 0,03) \cdot 10^{-5}$	$(2,93 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	$(1,46 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$	$(2,56 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}$	70

# BEZPIECZEŃSTWO PUBLICZNE

# Bezpieczeństwo publiczne: projekt SABAT

- ❖ **Pozostałości po Wojnach Światowych:**  
~250 kt amunicji (w tym 65 kt gazów bojowych) zatopionych w Morzu Bałtyckim
- ❖ Główne znane zanieczyszczone akweny: Mały Bełt, Głębia Bornholmska oraz południowo-zachodnia część Głębi Gotlandzkiej
- ❖ **Nieznana ilość pozostałości broni chemicznej jest rozproszona po całym Bałtyku**
- ❖ Poważne zagrożenie dla ludzi i środowiska:
  - ❖ „Bursztyn” znajdujący na plażach
  - ❖ Pociski wyławiane w sieciach rybackich
  - ❖ Zagrożenie dla marynarki



<http://www.sfora.pl/polska/Napalm-w-Baltyku-Przed-katastrofa-nie-ma-ratunku-a52539>

**Koszty rozminowania dna w związku z budową gazociągu Nord Stream:  
100 mln euro**

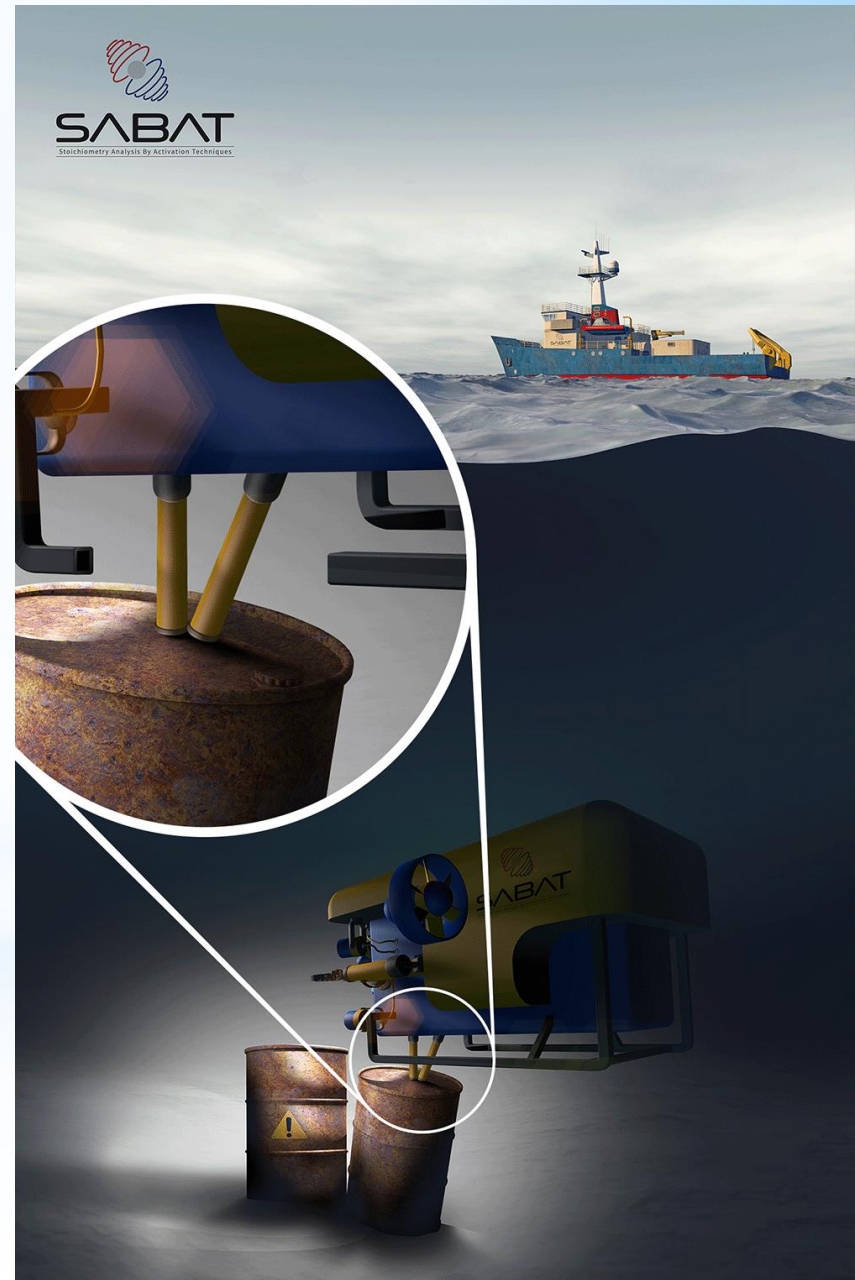
# Bezpieczeństwo publiczne: Projekt SABAT

❖ Pierwszy polski wykrywacz w środowisku wodnym bazujący na neutronach składający się z:

- Generators neutronów
- Detektora kwantów gamma (scyntylator)
- Systemu akwizycji danych oraz elektroniki odczytu detektora
- Systemów zasilania generatora, detektora oraz elektroniki odczytu

❖ **Zalety:**

- nieinwazyjne oraz zdalne określenie stopnia zagrożenia
- kompaktowy oraz mobilny system detekcji

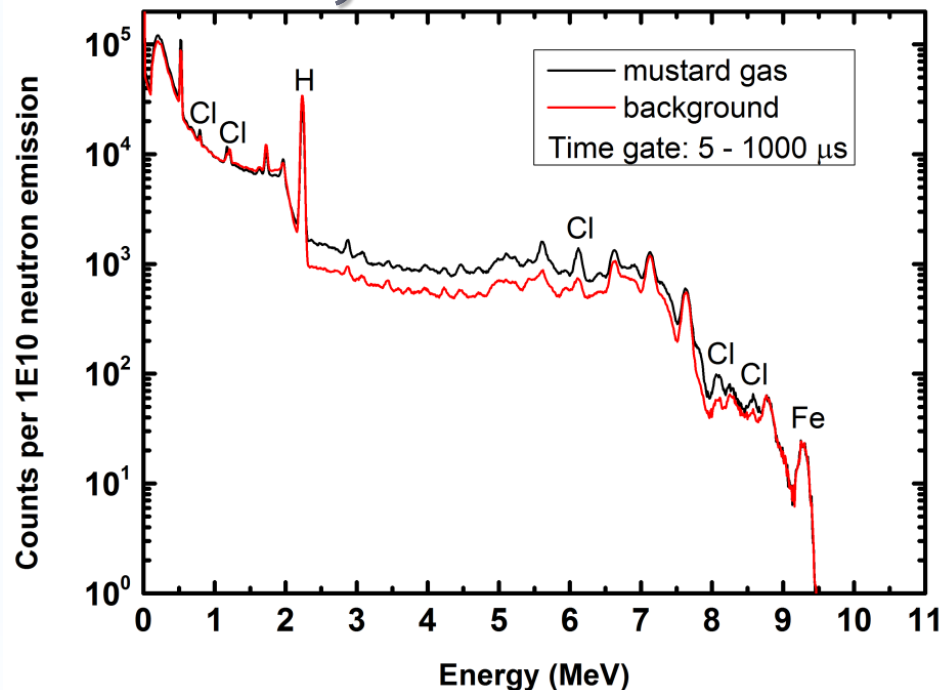




# Bezpieczeństwo publiczne: Projekt SABAT

## ❖ Symulacje za pomocą pakietu MCNP

- Detektor  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  2" x 2"
- Pojemnik z iperytem: 100 x 100 x 40  $\text{cm}^3$
- Czas pomiaru: 10 s

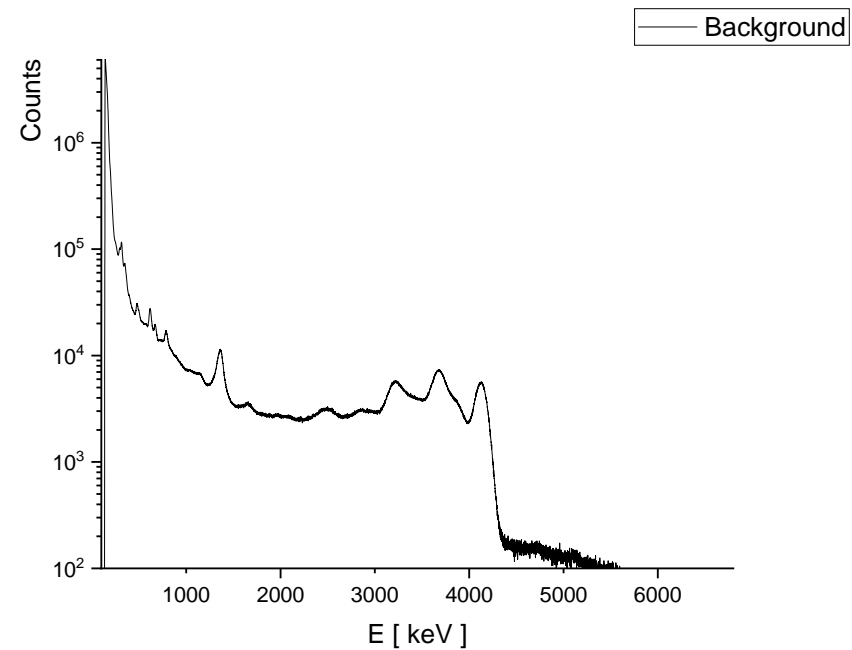
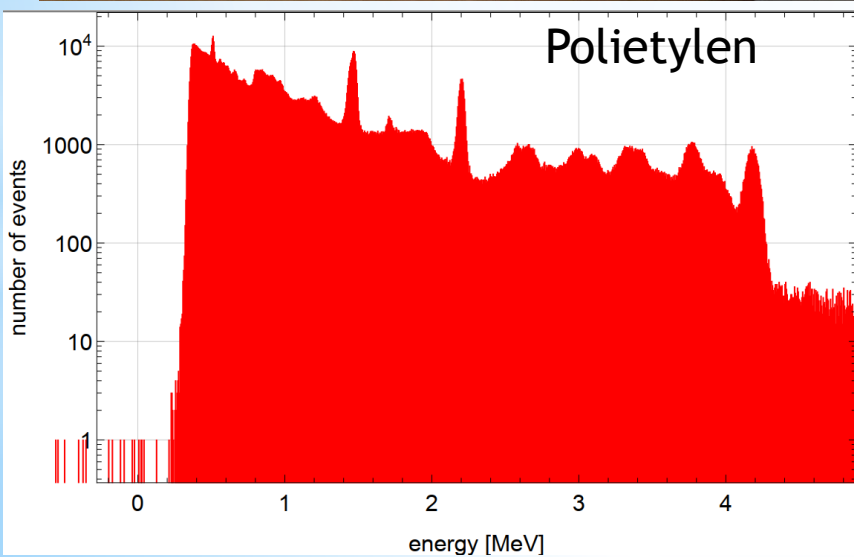
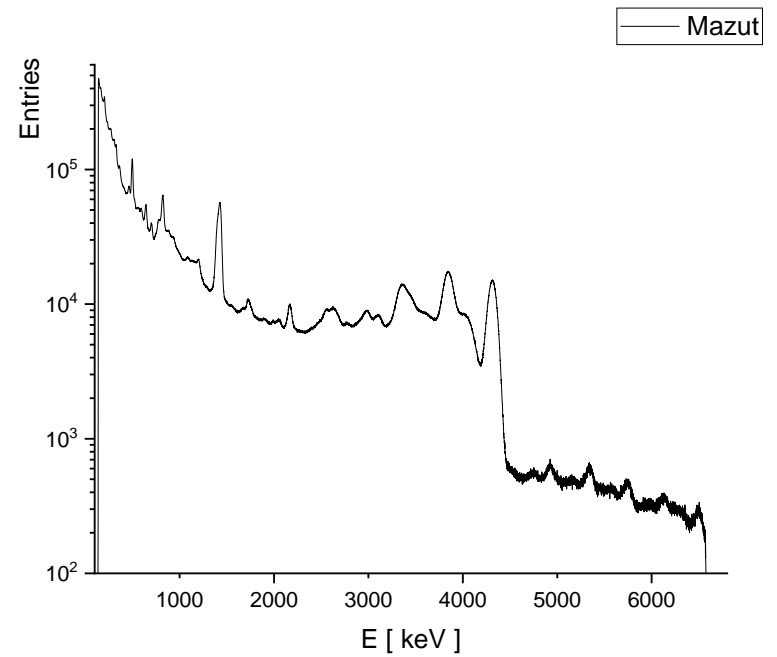


Stosunek pierwiastkowy	Sygnal	Tło
<b>Nie elastyczne rozpraszanie</b>		
S(2.23)/O(6.13)	$0.36 \pm 0.04$	$0.22 \pm 0.04$
Cl(2.12)/O(6.13)	$0.45 \pm 0.04$	$0.29 \pm 0.02$
C(4.44)/O(6.13)	$0.31 \pm 0.03$	$0.19 \pm 0.04$
<b>Wychwył neutronu</b>		
Cl(6.13)/H(2.23)	$0.053 \pm 0.003$	$0.014 \pm 0.002$

Stosunek pierwiastkowy	Sygnal	Tło
<b>TNT (<math>\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6</math>)</b>		
C(4.44)/O(6.13)	$0.36 \pm 0.04$	$0.133 \pm 0.02$
N(10.83)/Cl(2.12)	$0.0112 \pm 0.0028$	0
<b>CLARK I (<math>\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{AsCl}</math>)</b>		
C(4.44)/O(6.13)	$0.47 \pm 0.05$	$0.31 \pm 0.03$
<b>CLARK II (<math>\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{AsN}</math>)</b>		
C(4.44)/O(6.13)	$0.56 \pm 0.05$	$0.31 \pm 0.03$

P. Sibczyński, M. Silarski et al., JINST 14 (2019) P09001

# Bezpieczeństwo publiczne: Projekt SABAT



## Terapia BNCT wątroby, Pavia, 2001 jakby Sci-Fi...



Chirurgiczne usunięcie  
wątroby 2 h po podaniu BPA



Przygotowywanie wątroby  
do transportu do reaktora



Umieszczanie wątroby w reaktorze LENA



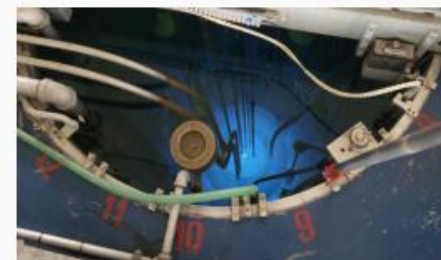
Prof. S. Altieri (P) & Prof. Alavi (L)  
Kraków, lipiec 2022

### Zdjęcia: Prof. Saveiro Altieri

*Department of Physics University of Pavia , Italy  
and  
National Institute of Nuclear Physics  
(INFN) Section of Pavia, Italy*

**szczęśliwy Pacjent 😊  
40 dni po operacji/terapii**

- A. Zonta et al. *Journal of Physics: Conference Series* **41** (2006) 484

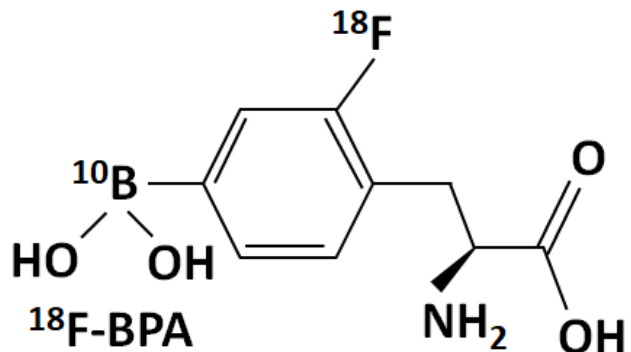
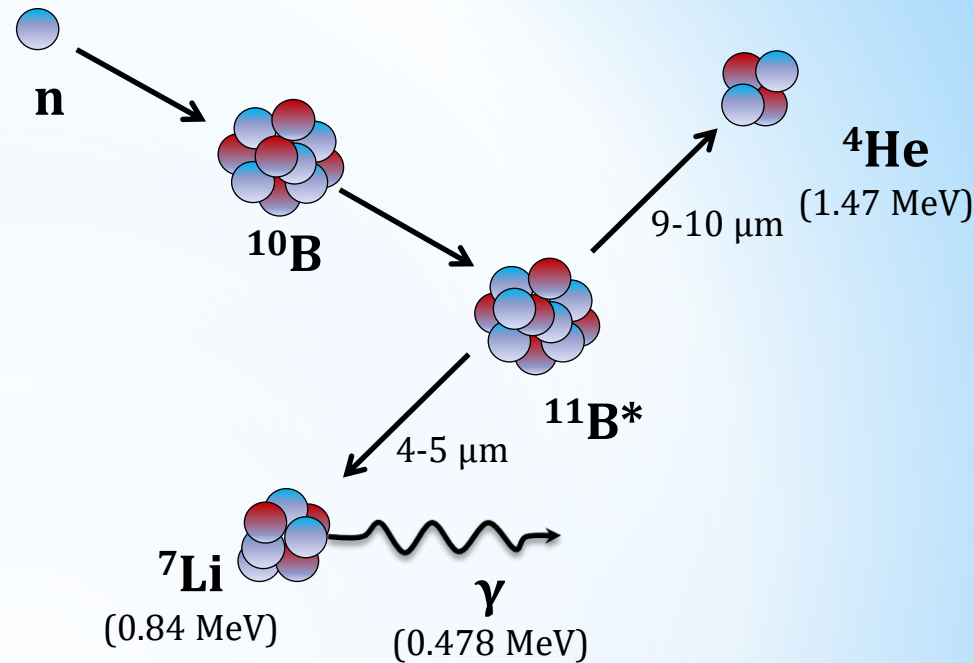


Univ. of Pavia / Reaktor LENA  
Pavia, wrzesień 2023



# Medycyna: Terapia Borowo-Neutronowa BNCT

- ❖ Terapia stosowana przeciwko nowotworom wysoce złośliwym i opornym terapeutycznie:
  - ❖ glejak wielopostaciowy
  - ❖ czerniak złośliwy
  - ❖ nawracające nowotwory głowy i szyi
  - ❖ nowotwory płuc
- ❖ Napromienianie neutronami (epi)termicznymi
- ❖  $^{10}\text{B}$  transportowany selektywnie do komórek rakowych



## Terapia BNCT wątroby, Pavia, 2001 jakby Sci-Fi...



Chirurgiczne usunięcie  
wątroby 2 h po podaniu BPA



Przygotowywanie wątroby  
do transportu do reaktora



Umieszczanie wątroby w reaktorze LENA



Prof. S. Altieri (P) & Prof. Alavi (L)  
Kraków, lipiec 2022

### Zdjęcia: Prof. Saveiro Altieri

*Department of Physics University of Pavia , Italy  
and  
National Institute of Nuclear Physics  
(INFN) Section of Pavia, Italy*

**szczęśliwy Pacjent 😊  
40 dni po operacji/terapii**

- A. Zonta et al. *Journal of Physics: Conference Series* **41** (2006) 484

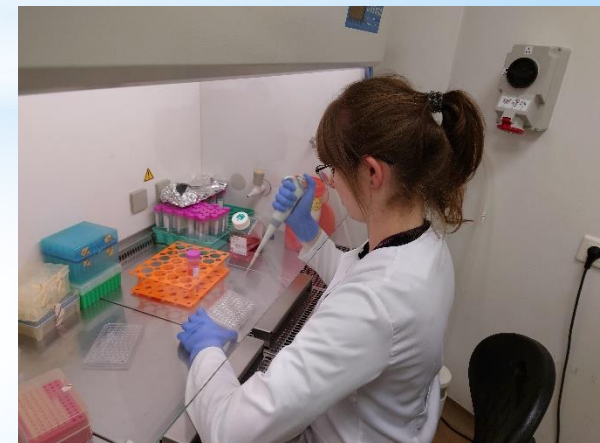


Univ. of Pavia / Reaktor LENA  
Pavia, wrzesień 2023



# Medycyna: Terapia Borowo-Neutronowa BNCT

- ❖ **Rozwój systemu monitorowania rozkładu boru w czasie rzeczywistym**
  - ❖ Konstrukcja pozycyjnie czułego detektora scyntylacyjnego z osłoną antykomptonowską (pomiar linii z wychwytu na borze oraz wodorze)
  - ❖ Testy i charakterystyka zbudowanego systemu z wykorzystaniem fantomów
- ❖ **Badanie biodystrybucji i właściwości nowych nośników dla BNCT**
  - ❖ Analiza wtórnego promieniowania gamma (pomiar intensywności emisji kwantów gamma o energii 478 keV)
  - ❖ Badanie nośników boru zawierających jednocześnie żelazo
- ❖ **Opracowanie modelu dla oceny biologicznych skutków promieniowania neutronowego**
  - ❖ hodowle komórkowe (3D – sferoidy)
  - ❖ Pierwszy etap badań z wykorzystaniem źródła AmBe oraz reaktora w Pavii

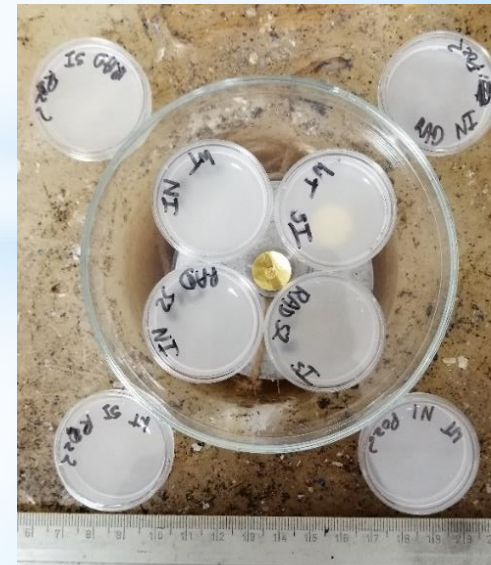


# Medycyna: Terapia Borowo-Neutronowa BNCT

- ❖ **Badanie wpływu neutronów na stopień utlenienia żelaza w uwodnionym tetra-fluoroboranie żelaza (II)** (Praca licencjacka, Marta Urbańska, 2021, promotor: dr K. Dziedzic-Kocurek)
- ❖ **Badanie wpływu promieniowania neutronowego na przeżywalność linii komórkowej WM266-4 czerniaka** (Praca magisterska, Sabina Rachwalska, 2020, promotor: dr K. Dziedzic-Kocurek)
- ❖ **Badanie uszkodzeń radiacyjnych komórek drożdży powstających pod wpływem promieniowania neutronowego** (Praca magisterska, Katarzyna Radwan, 2021, promotor: dr M. Silarski)



15

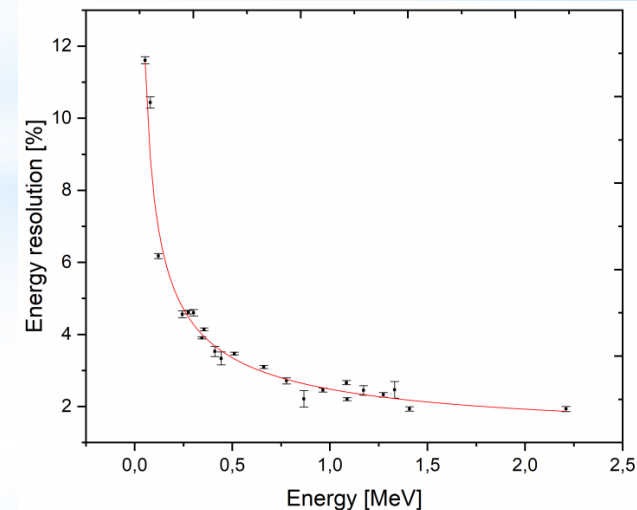
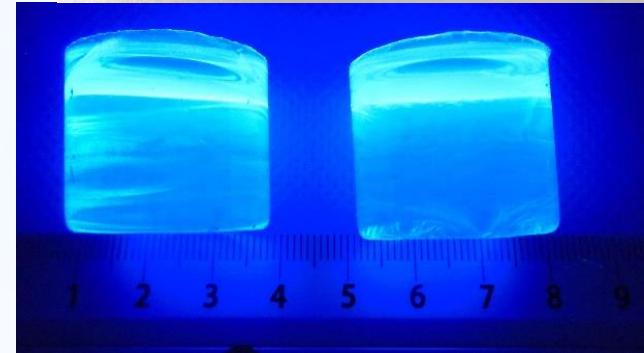


# **BADANIA MATERIAŁOWE**



# Badania Materiałowe

- ❖ **Badania nowych materiałów osłonowych przeciwko promieniowaniu gamma oraz neutronowemu**
- ❖ **Rozwój systemów detekcyjnych neutronów oraz kwantów  $\gamma$** 
  - ❖ **Możliwość utworzenia „Beam Test Facility” dla zewnętrznych użytkowników**
  - ❖ **Charakterystyka nowych materiałów do detekcji neutronów**
  - ❖ **Prace nad nowymi materiałami scyntylacyjnymi (scyntylatory oparte na pentafluorostyrenie)**



A photograph of a server room. The room features a raised floor with a concrete base. On the floor, there are several server racks. The ceiling is white and has several long, rectangular fluorescent light fixtures. Large, silver, insulated pipes run across the ceiling. On the right wall, there is a yellow electrical panel. The overall scene is a typical data center environment.

\* DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ