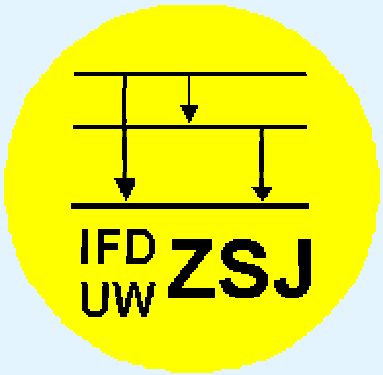
Zakład Spektroskopii Jądrowej IFD UW



Marek Pfützner
pfutzner@mimuw.edu.pl

Krzysztof Miernik
Zenon Janas
Agnieszka Korgul
Jan Kurcewicz

ul. Pasteura 7
tel.: (022) 823 18 96
http://zsjlin.igf.fuw.edu.pl/

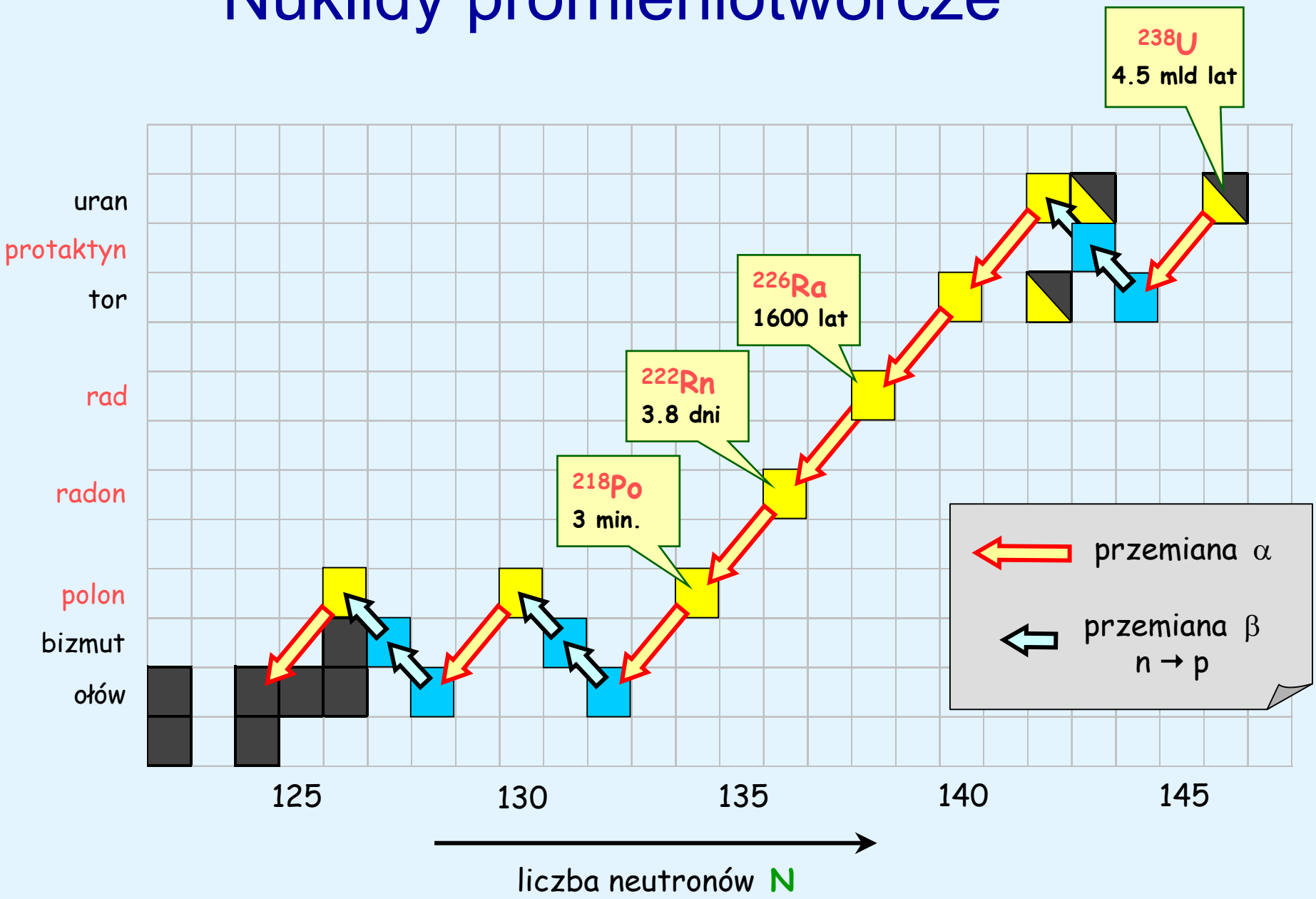
Nuklidy trwałe



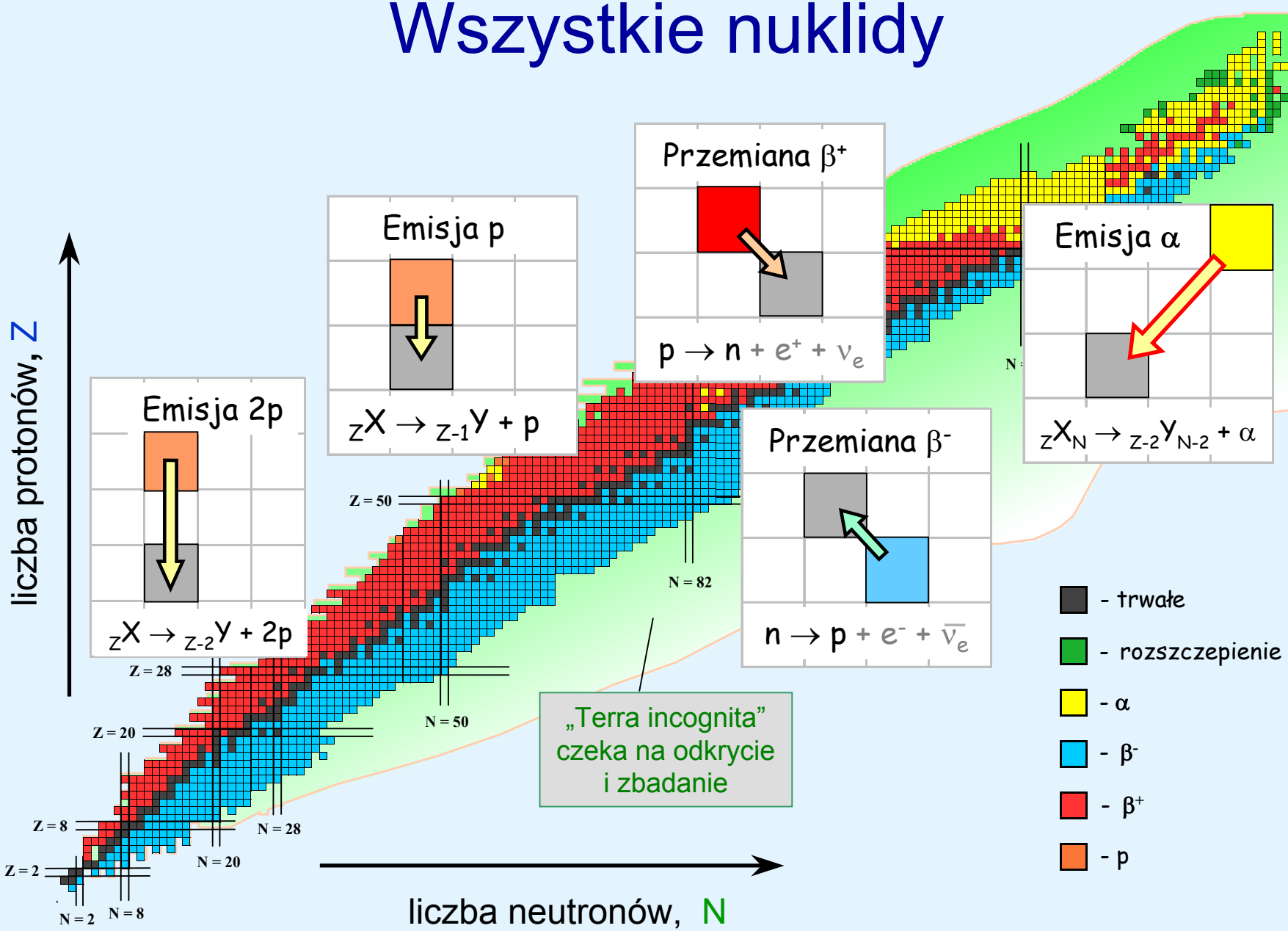
287 nuklidów, w tym

83 pierwiastki od wodoru (Z=1)
do uranu (Z=92)

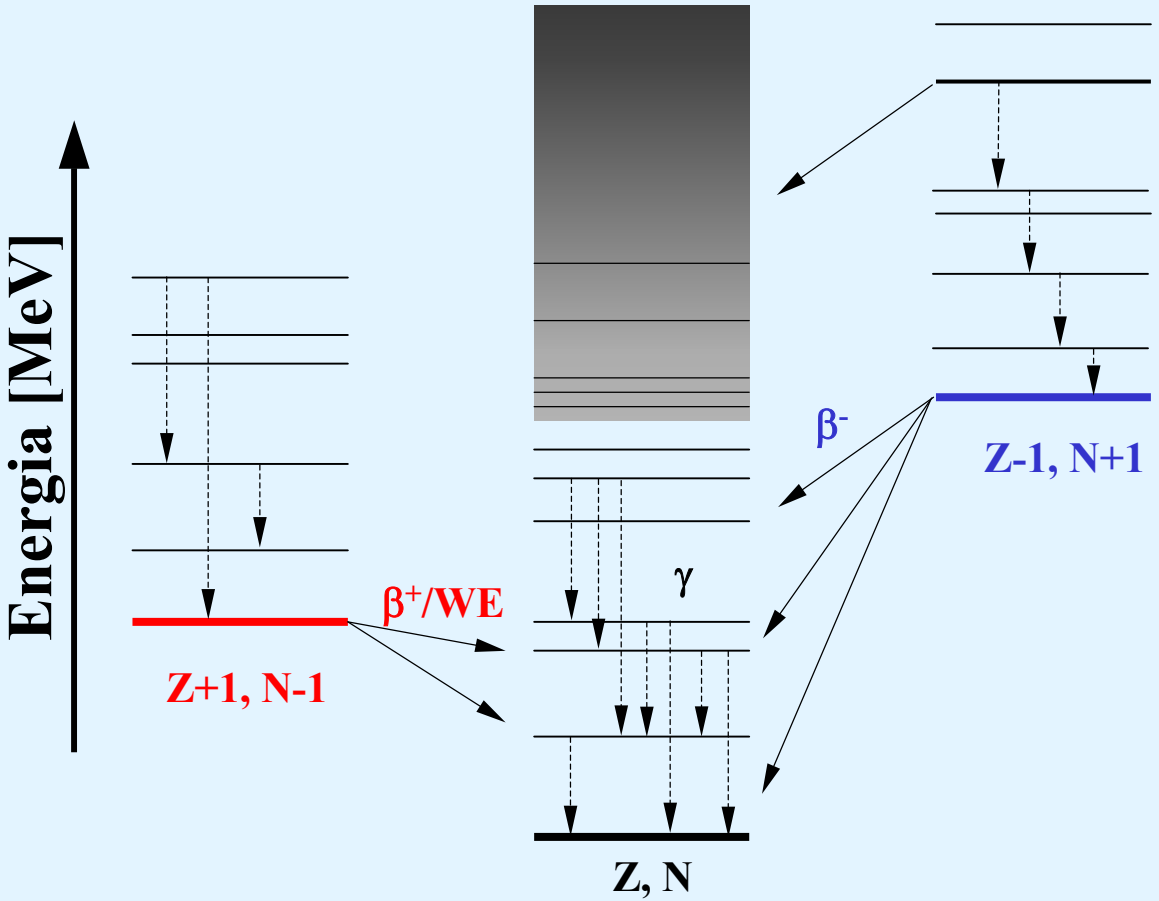
Nuklidy promieniotwórcze



Wszystkie nuklidy

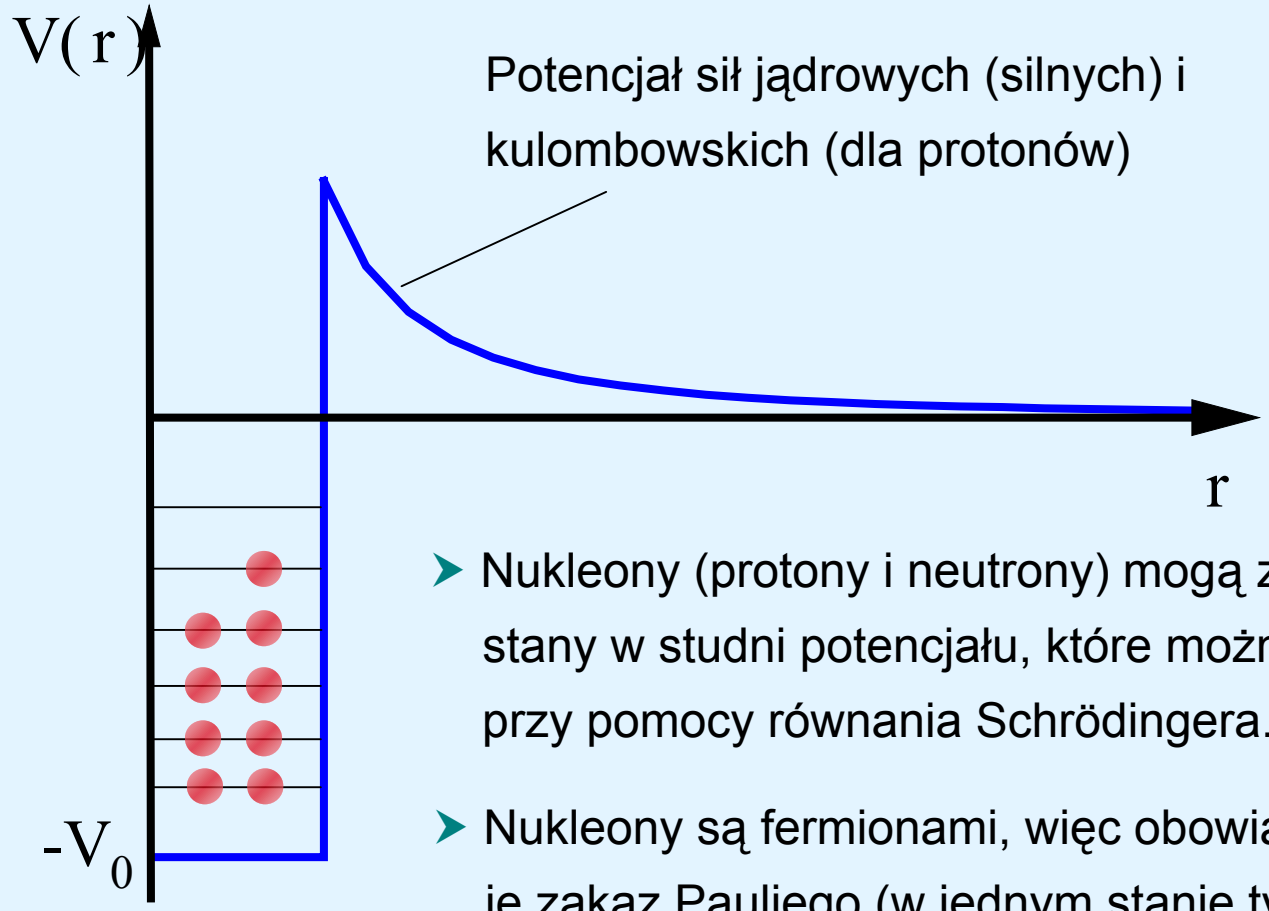


Trzeci wymiar świata nuklidów



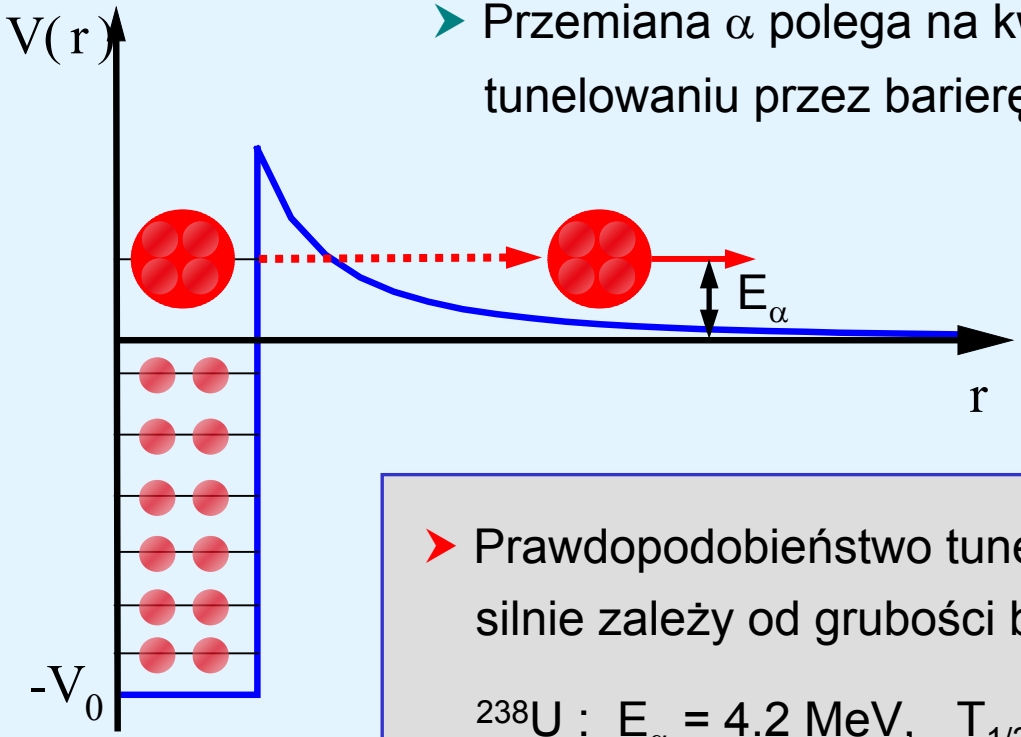
Zadanie spektroskopii : **poznać strukturę jąder badając przemiany zachodzące między ich stanami**

Jądro atomu to obiekt kwantowy



- Nukleony (protony i neutrony) mogą zajmować stany w studni potencjału, które można wyznaczyć przy pomocy równania Schrödingera.
- Nukleony są fermionami, więc obowiązuje je zakaz Pauliego (w jednym stanie tylko jedna cząstka)!

Jak zachodzi emisja α ?



- Przemiana α polega na kwantowym tunelowaniu przez barierę potencjału

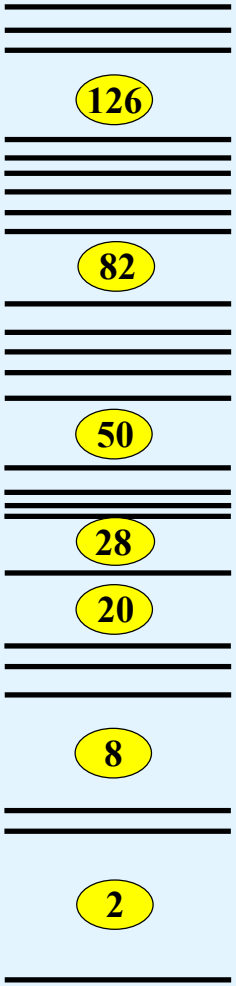
- Prawdopodobieństwo tunelowania bardzo silnie zależy od grubości bariery !

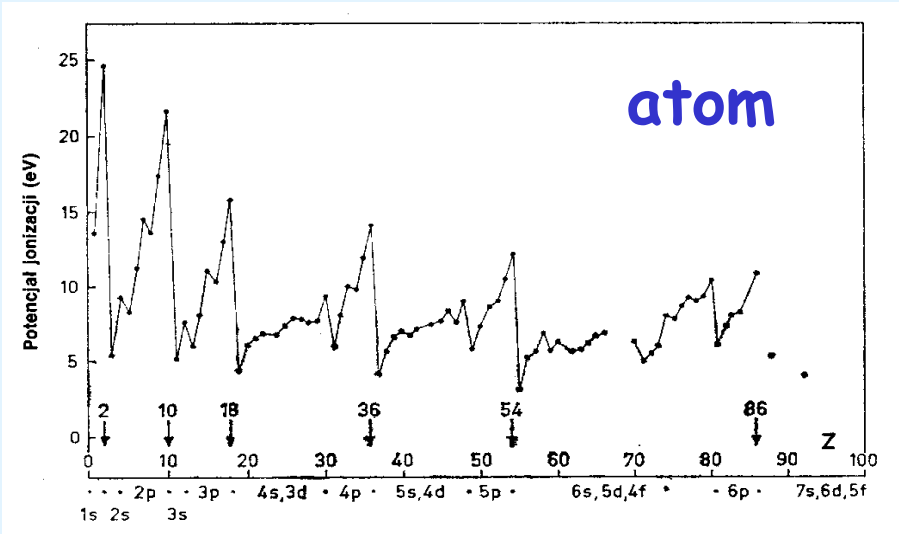
^{238}U : E_α = 4.2 MeV, $T_{1/2}$ = 4.5 mld lat

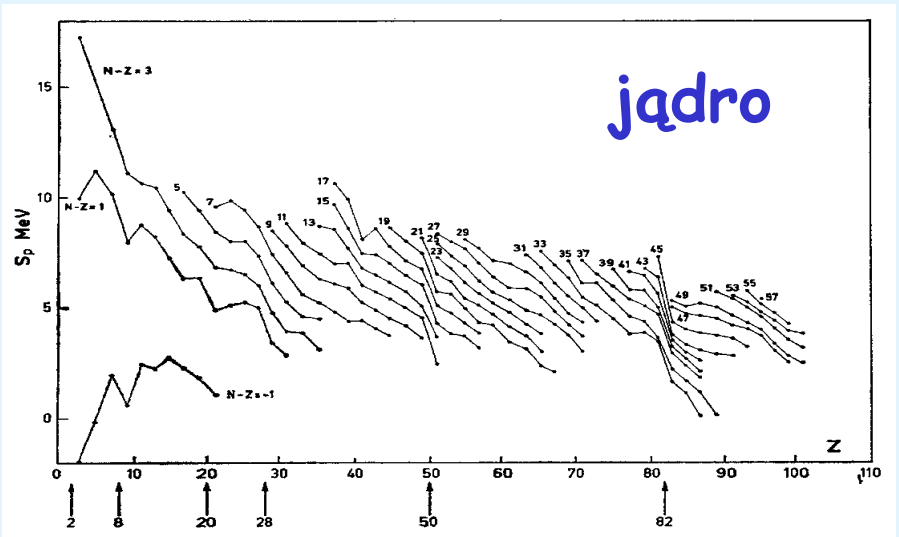
^{226}Ra : E_α = 5 MeV, $T_{1/2}$ = 1600 lat

^{212}Po : E_α = 8.8 MeV, $T_{1/2}$ = 3 min

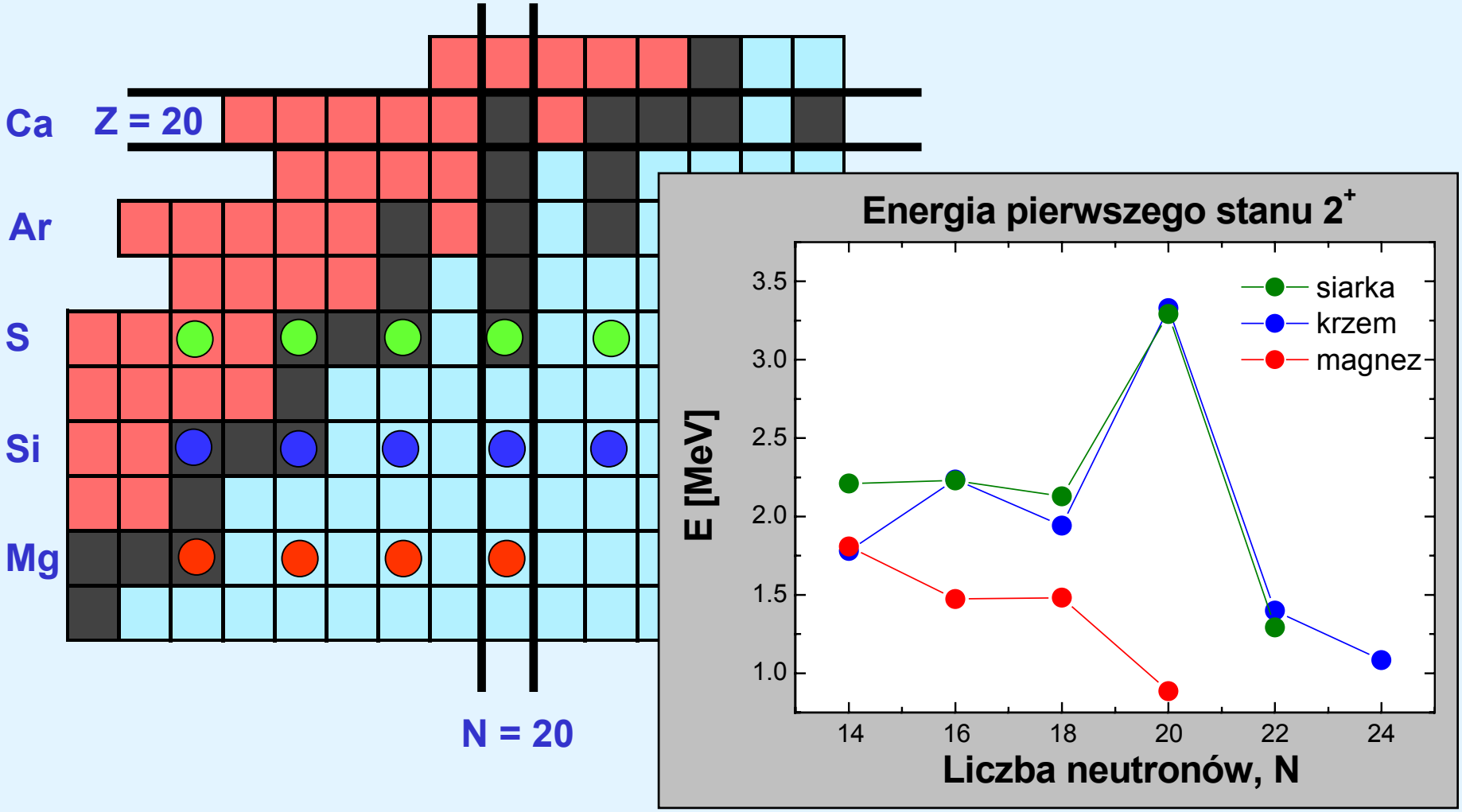
Struktura powłokowa jąder i liczby magiczne



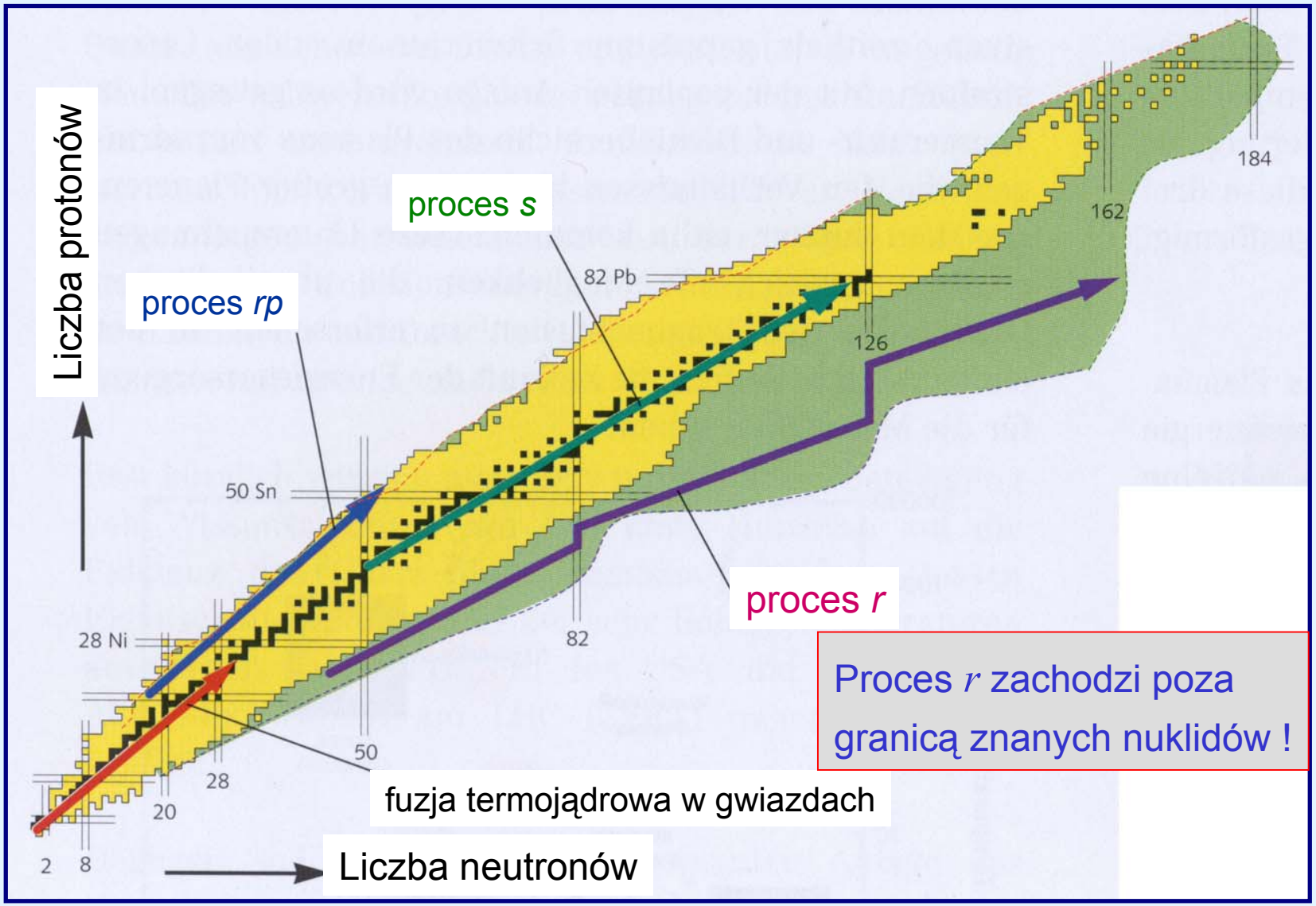




Liczby magiczne



Procesy nukleosyntezy



Nuklidy egzotyczne

W warunkach ziemskich niezwykle trudne do wytworzenia i bardzo nietrwałe.

Przykłady :

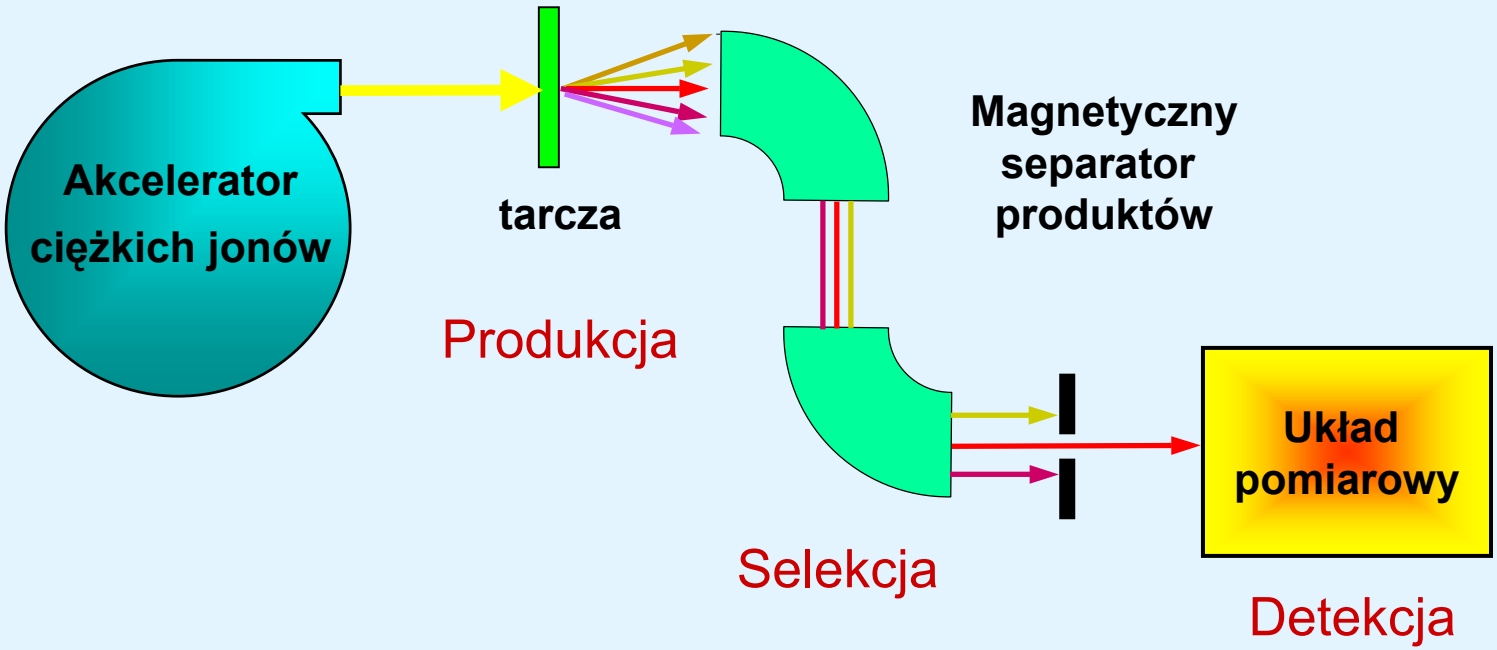
- Izotopy o wielkim niedoborze lub nadmiarze neutronów, czyli nuklidy bardzo dalekie od ścieżki trwałości.

- Jony o wielkim ładunku elektrycznym, np. jądra ciężkich pierwiastków całkowicie odarte z elektronów atomowych.

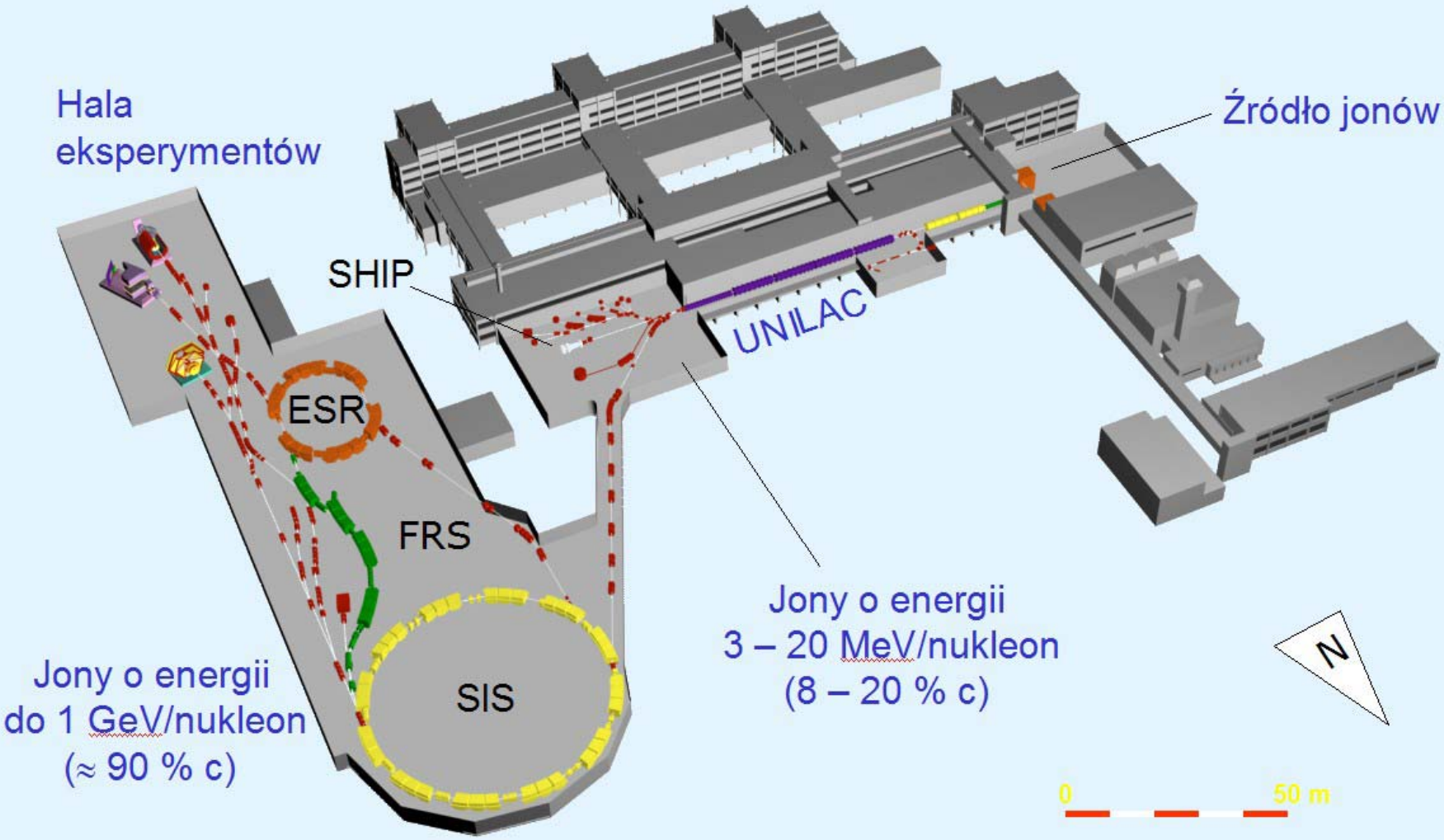
Od niedawna wytwarzane i badane w laboratoriach dzięki ciągłemu postępowi w technice eksperymentalnej.

Jak dobrać się do nuklidów na skraju mapy ?

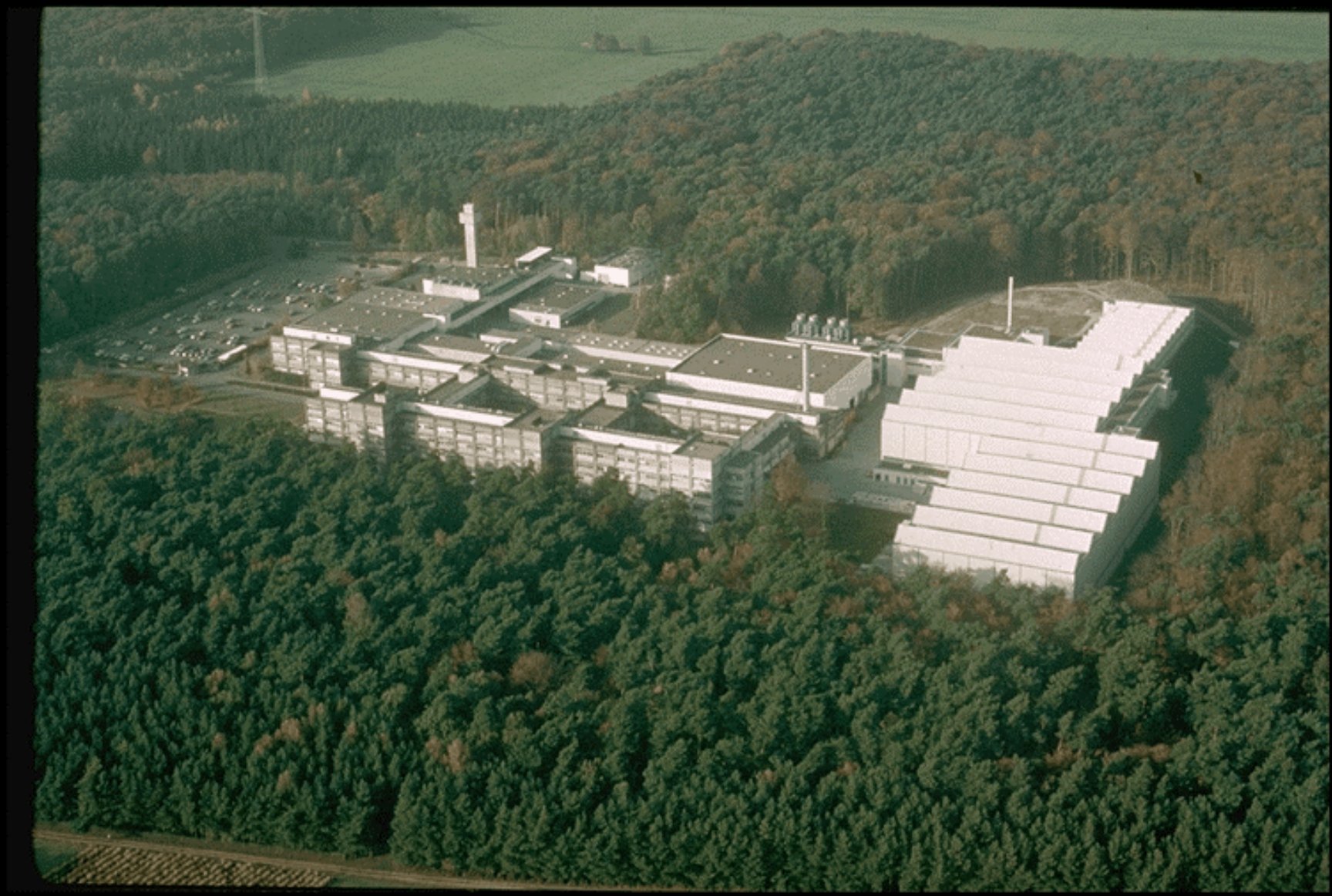
Schemat typowego eksperymentu



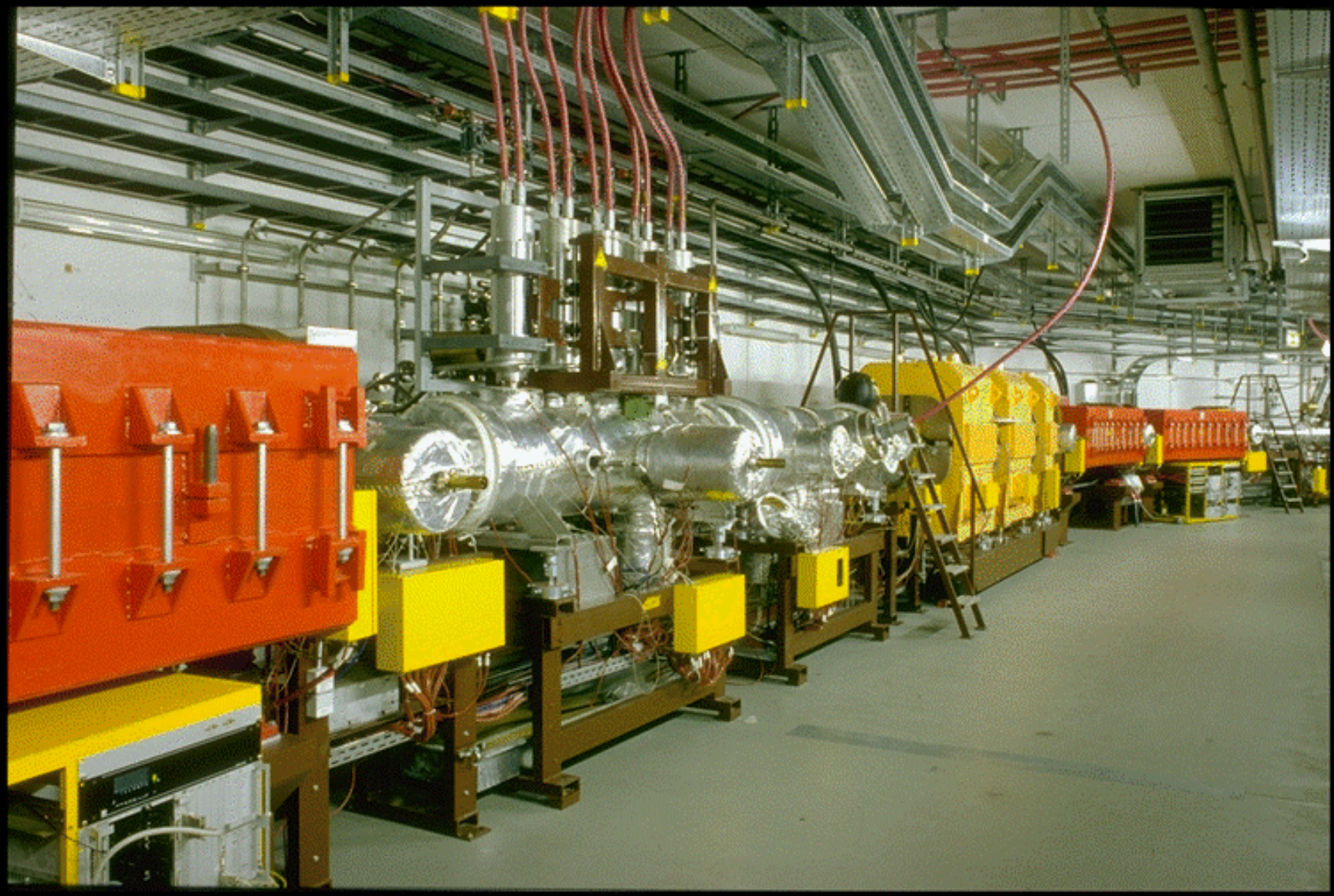
Przykład: GSI Darmstadt



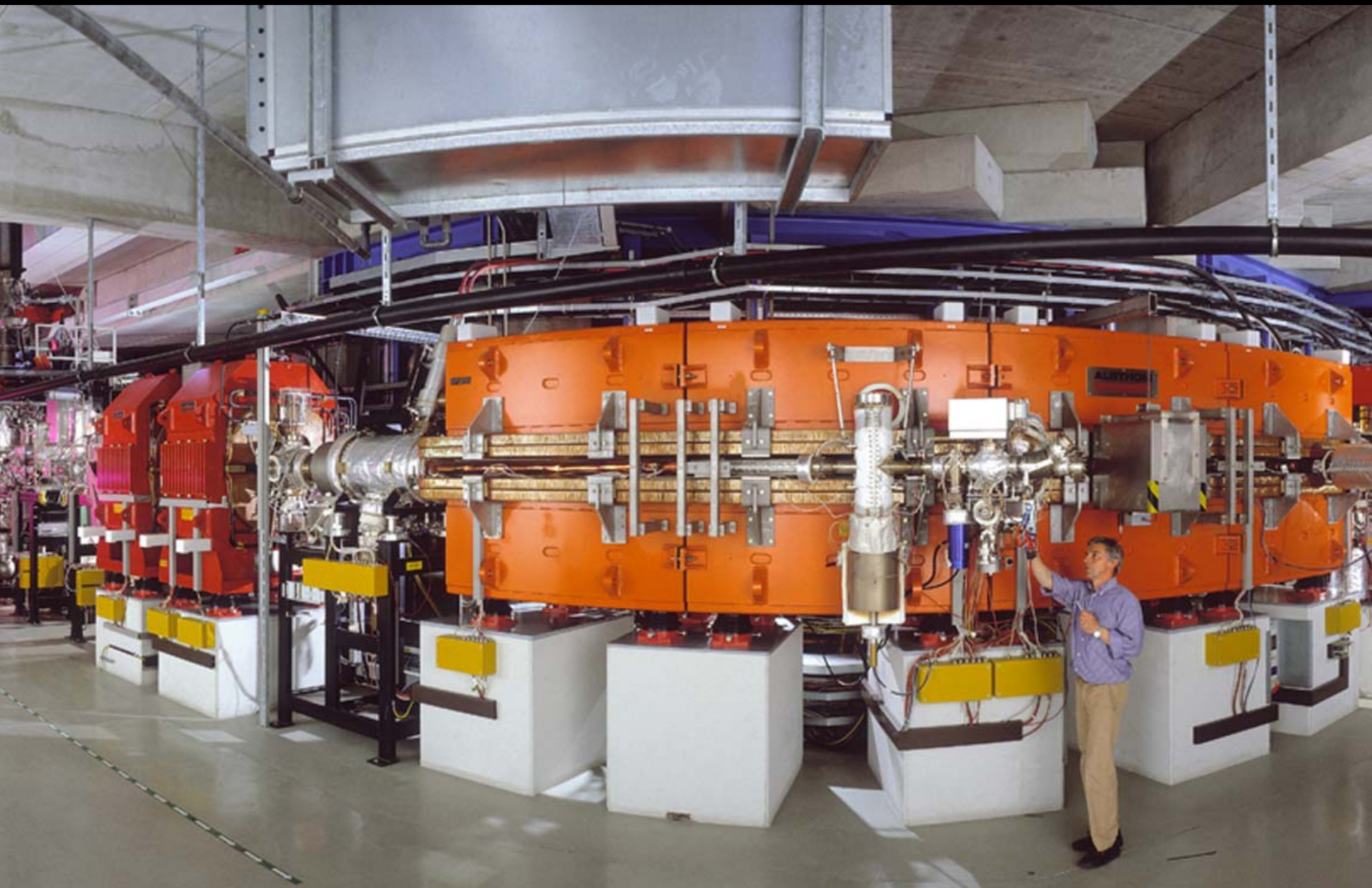
Laboratorium GSI w Darmstadt



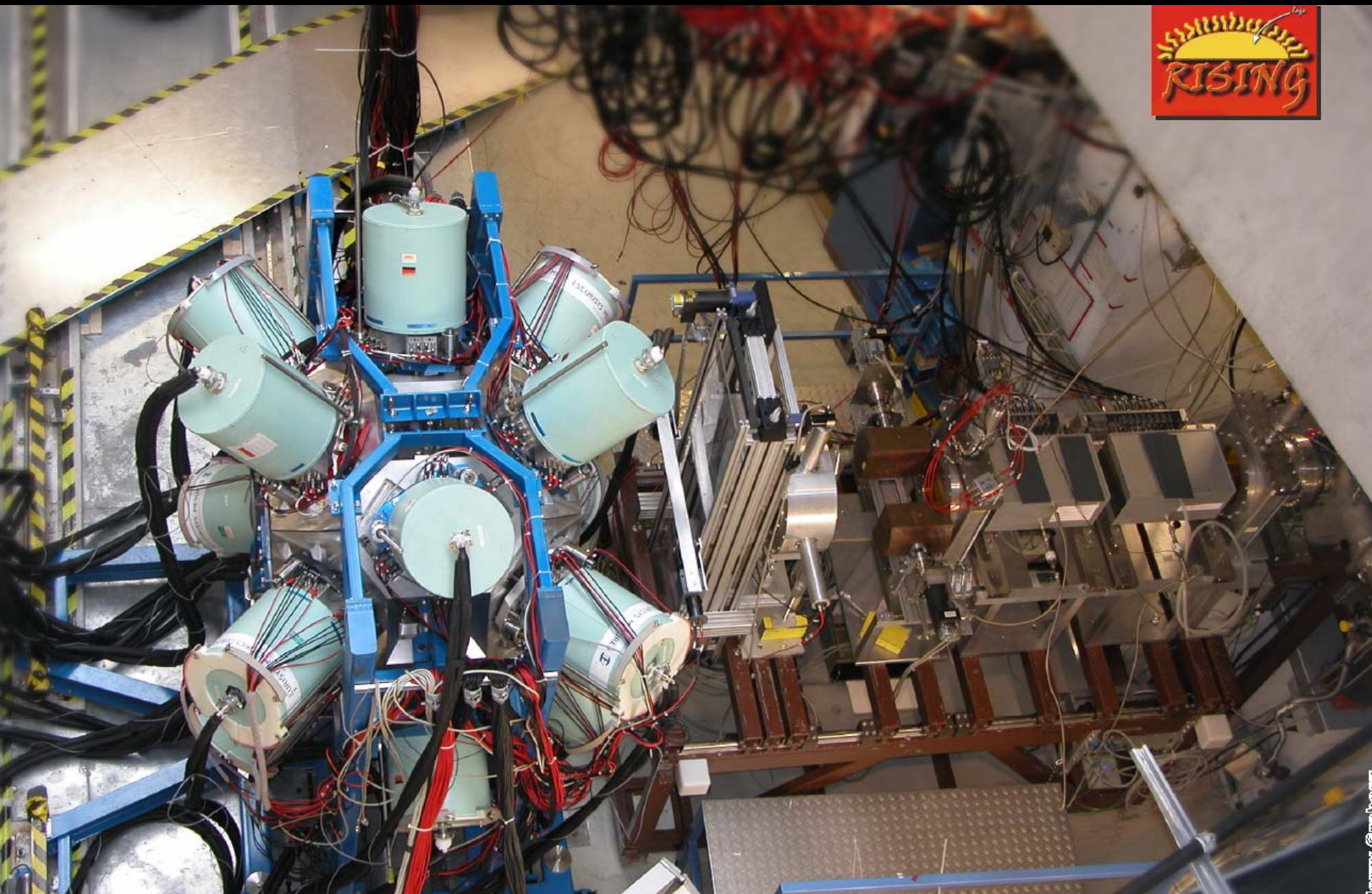
Separator magnetyczny



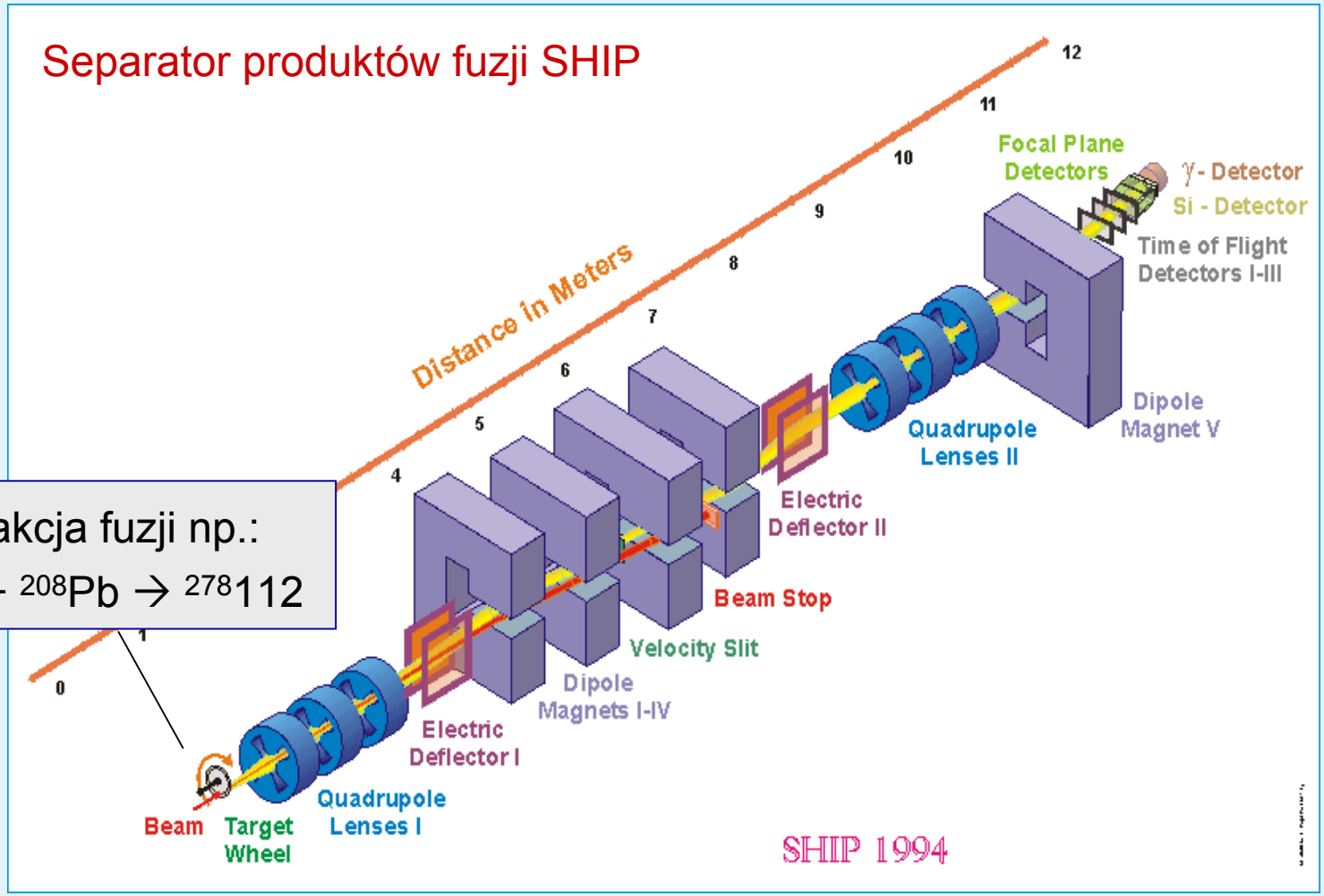
Fragment pierścienia ESR



Detektory, kable, elektronika...



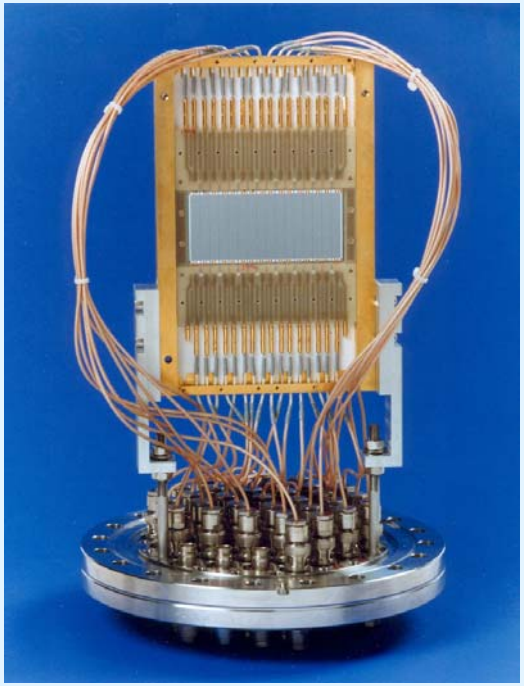
Wytwarzanie pierwiastków superciężkich



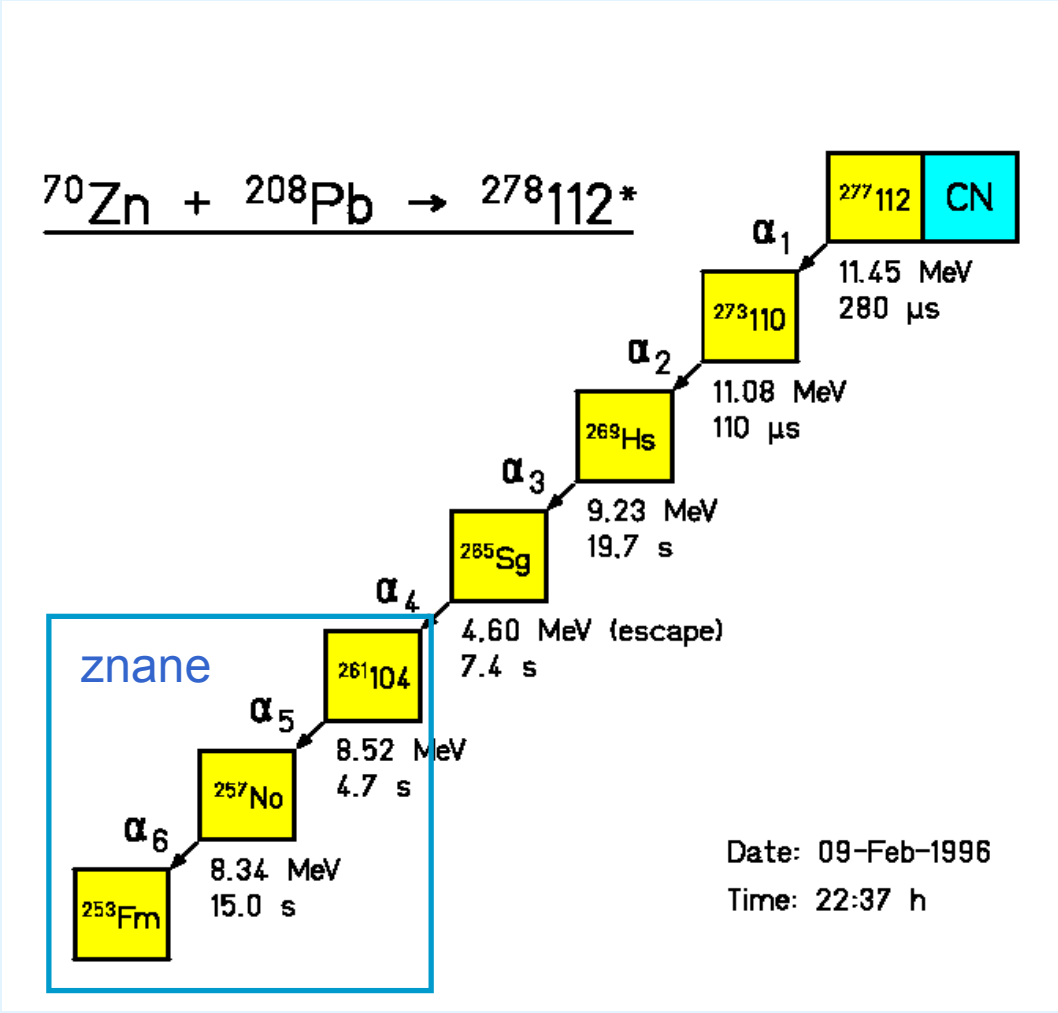
Reakcja fuzji np.:

$^{70}Zn + {}^{208}Pb \rightarrow {}^{278}112$

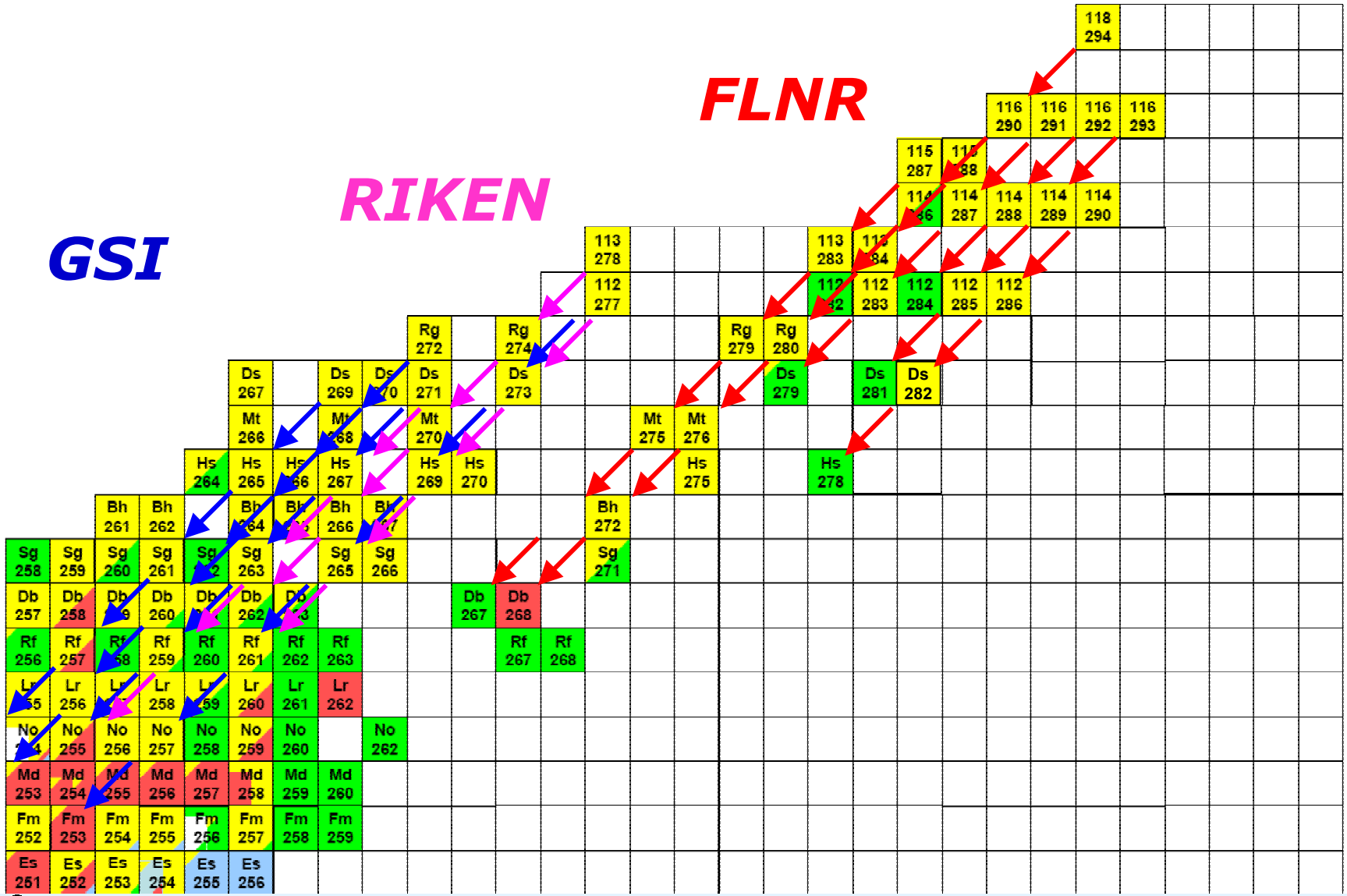
Identyfikacja rozpadu $^{277}112$



Krzemowy detektor paskowy

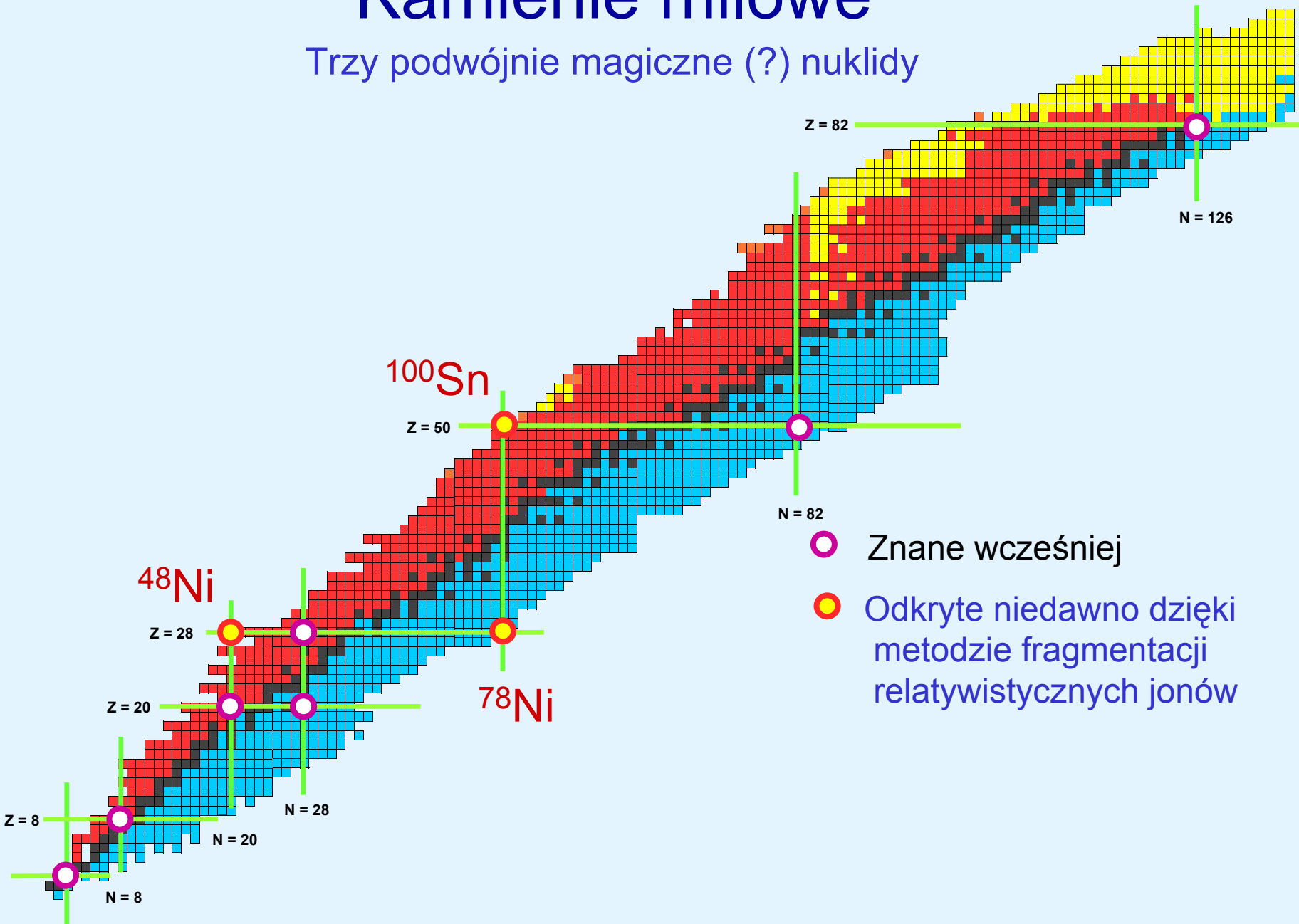


SHE Synthesis – Status September 2004



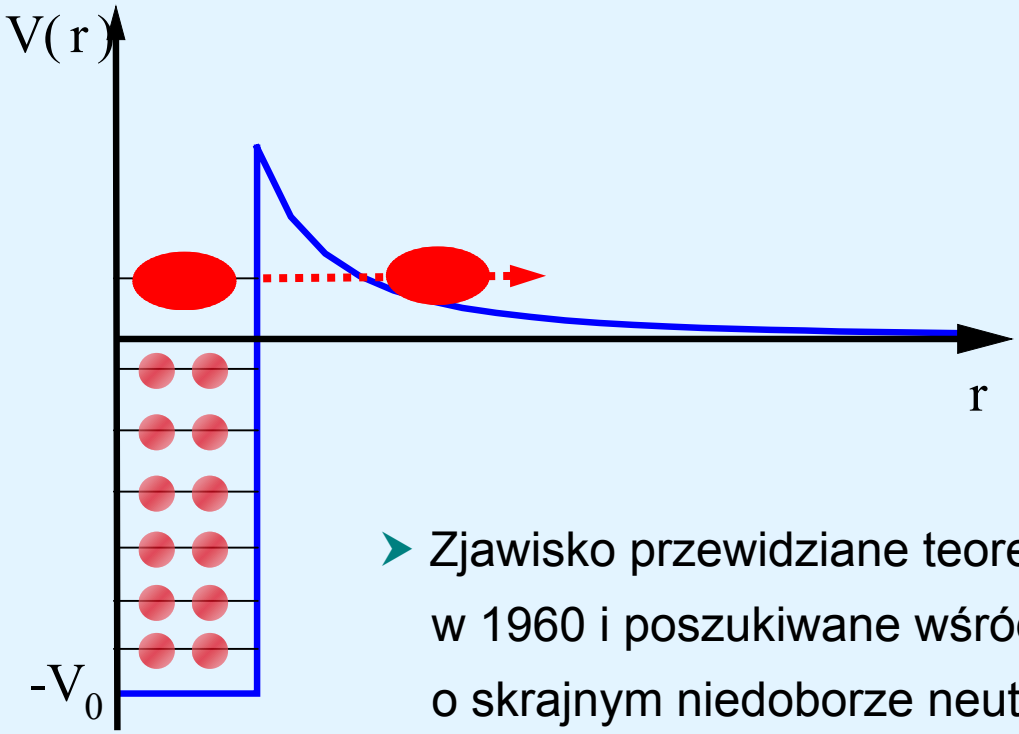
Kamienie milowe

Trzy podwójnie magiczne (?) nuklidy



Promieniotwórczość dwuprotonowa

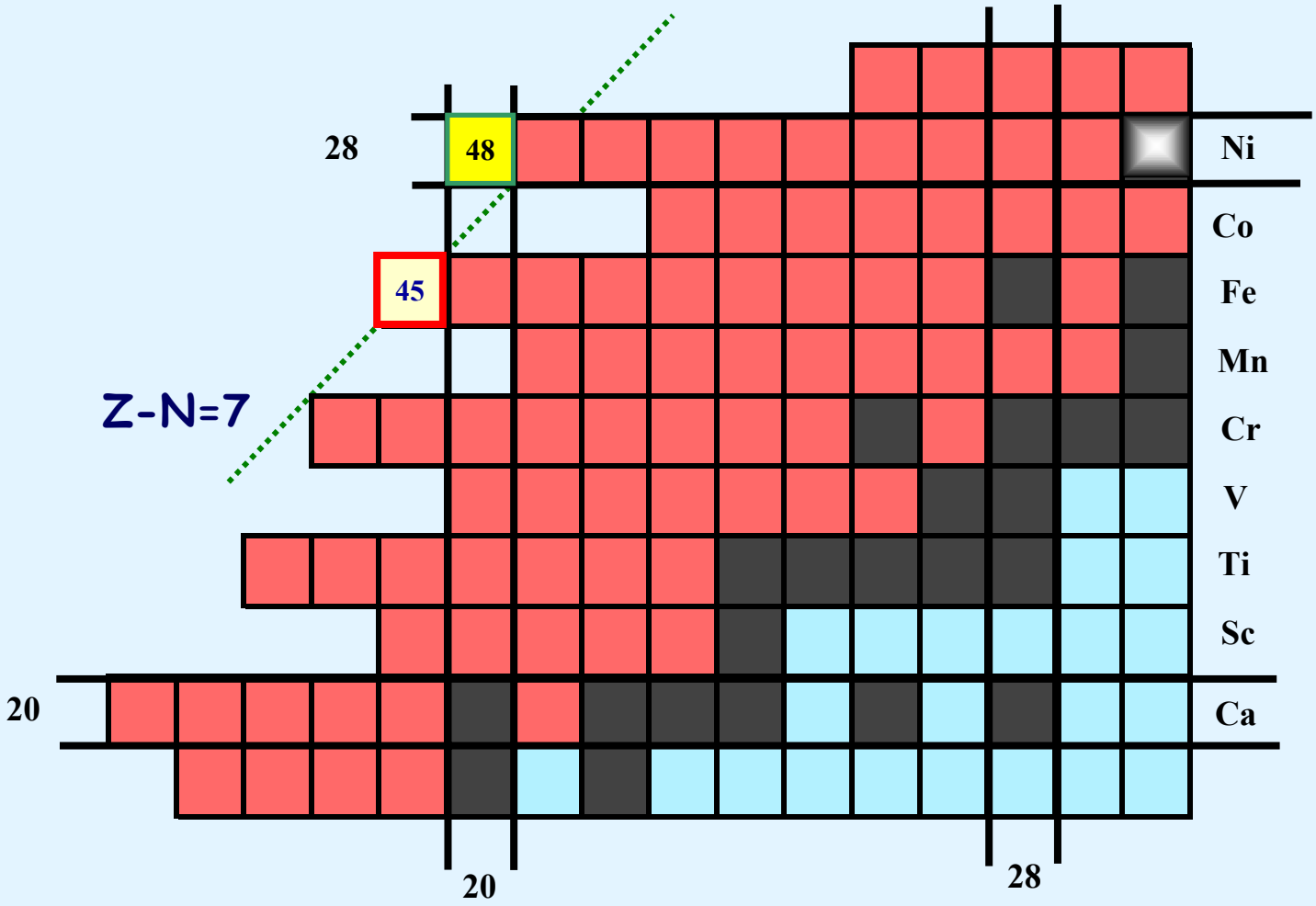
Czy możliwy jest proces, w którym jądro emituje dwa protony jednocześnie?



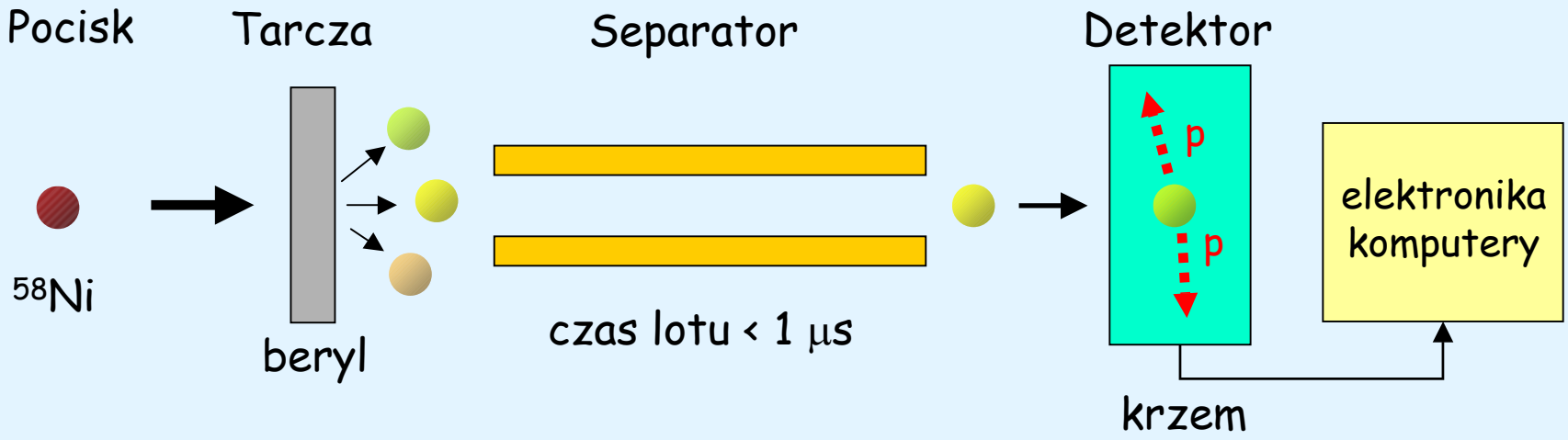
- Zjawisko przewidziane teoretycznie w 1960 i poszukiwane wśród nuklidów o skrajnym niedoborze neutronów.

Jądra w obszarze ^{48}Ni

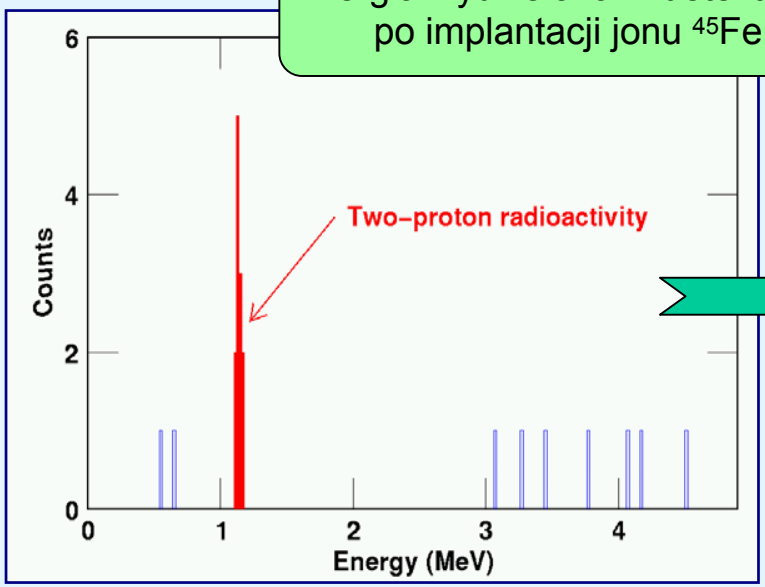
Kandydaci do rozpadu 2p



Badanie ^{45}Fe w GSI i w GANIL



Energia wydzielona w detektorze po implantacji jonu ^{45}Fe



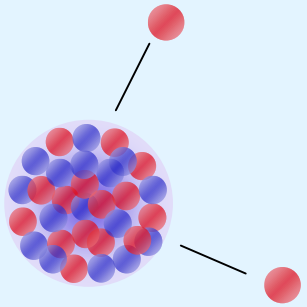
Wyniki :

- wydzielona energia, E = 1.1 MeV
- półokres rozpadu, $T_{1/2} \approx 3$ ms

→ zgodne tylko z hipotezą emisji 2p !

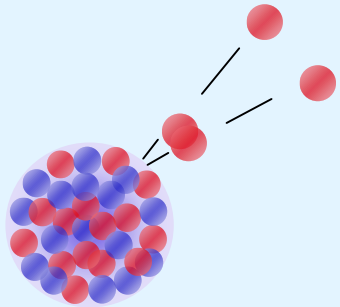
Wyzwanie: korelacje między protonami

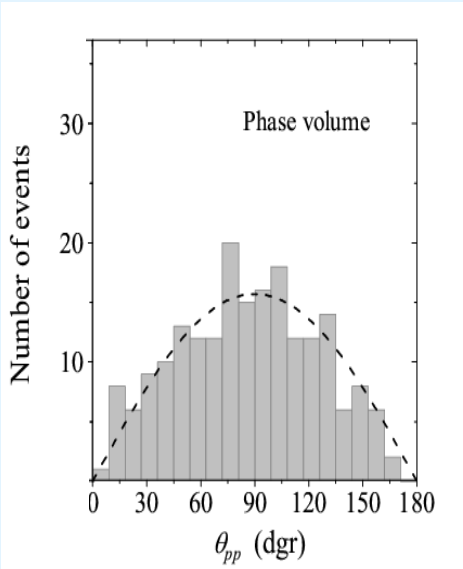
- rozkład izotropowy

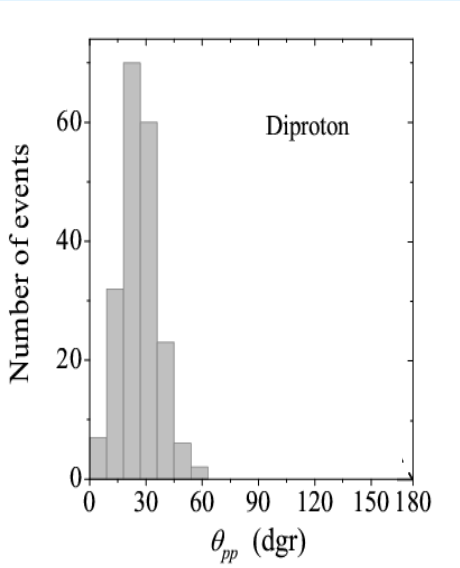


?

- emisja ^{2}He







Q: What did the Nuclear Physicist have for lunch?
A: Fission Chips.

Q: What happens when electrons lose their energy?
A: They get Bohr'ed.

Jak zarejestrować tory obydwu protonów?

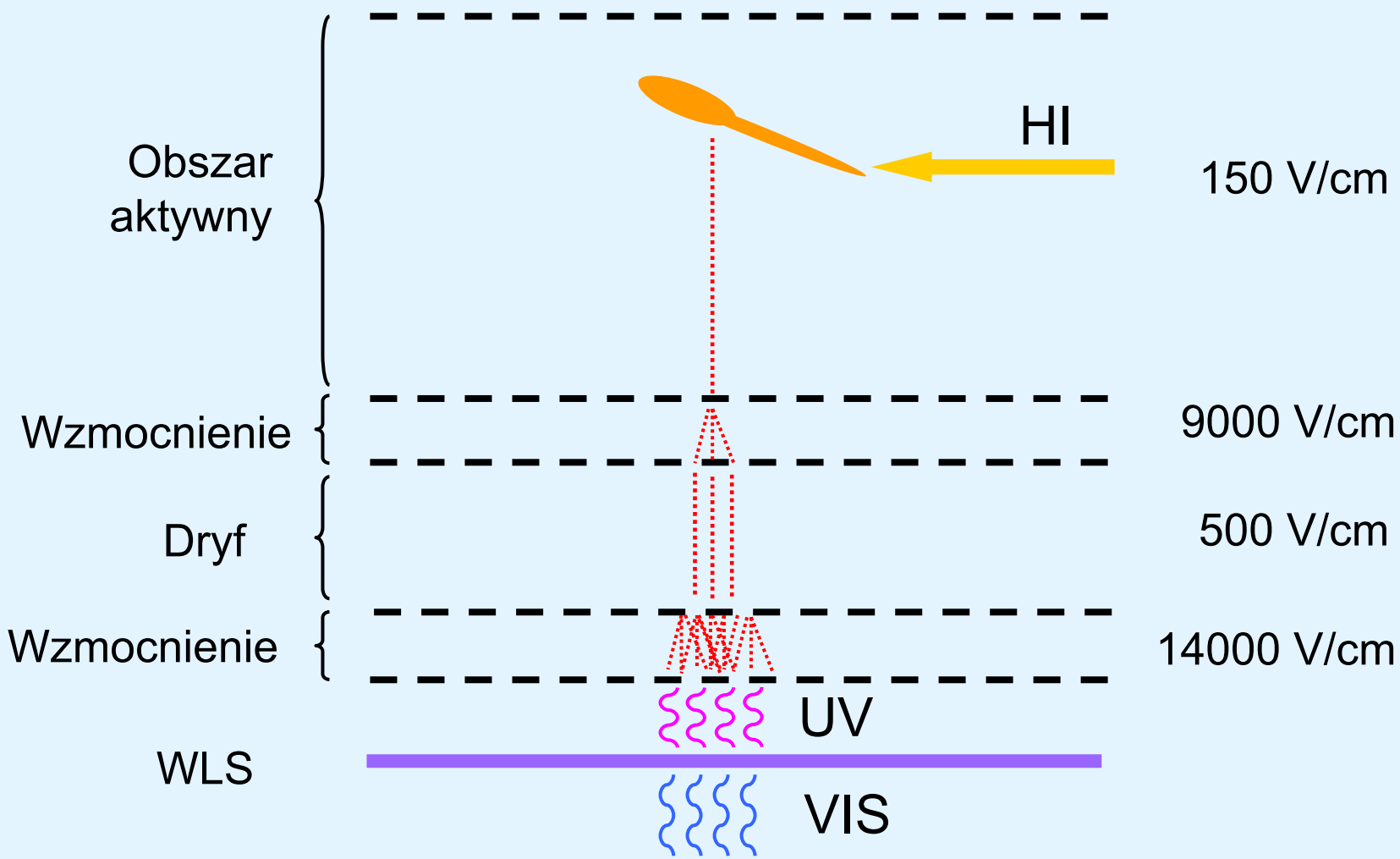
mgr Krzysztof Miernik

Optical Time Projection Chamber

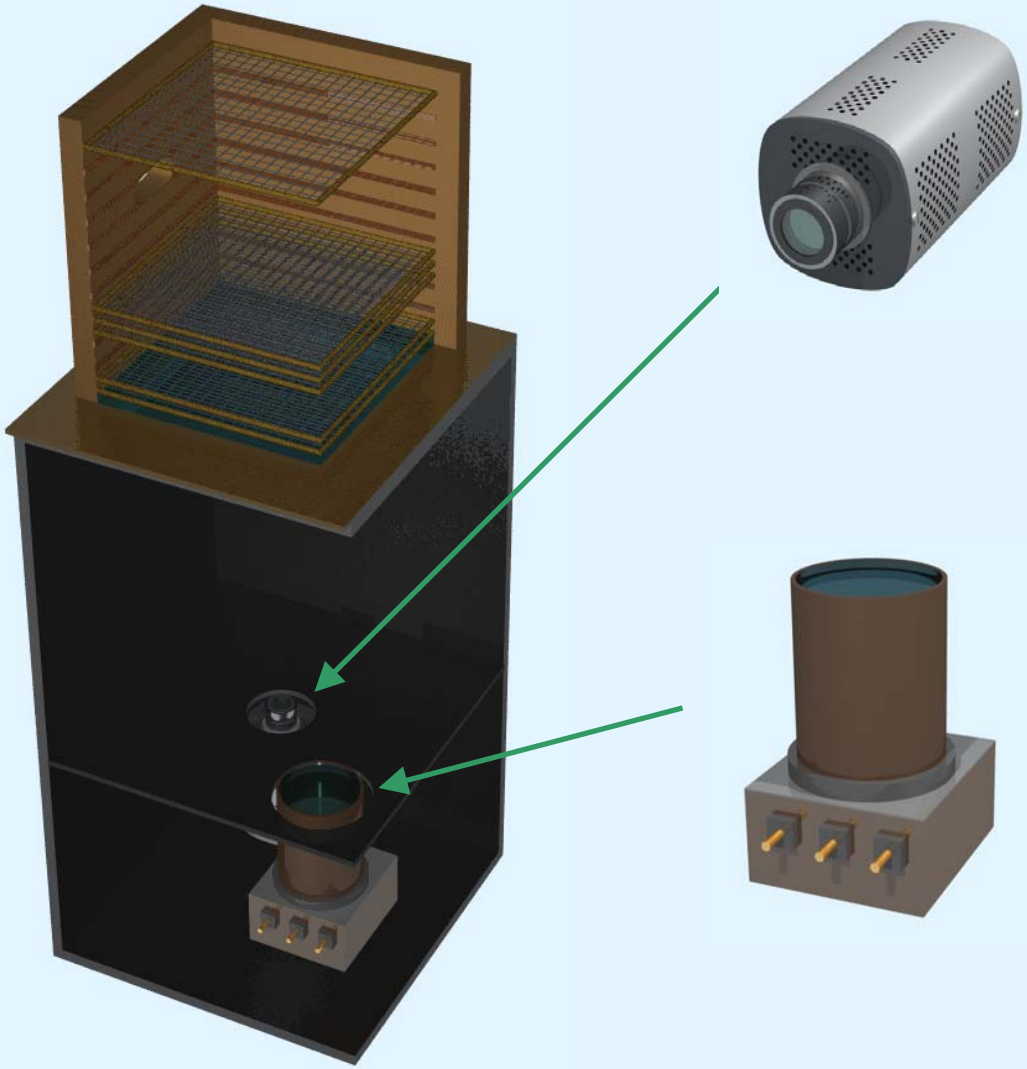


Komora dryfowa z odczytem optycznym

Optical Time Projection Chamber



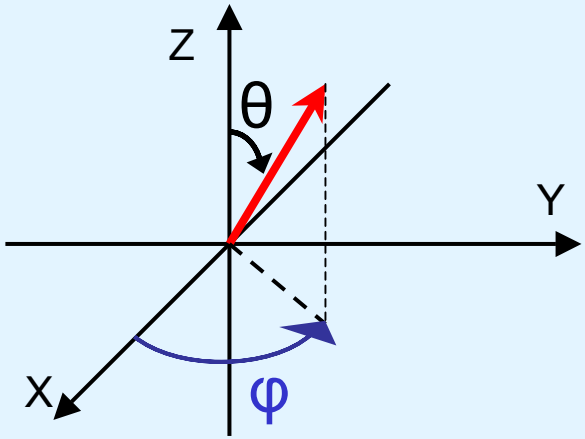
Optical Time Projection Chamber

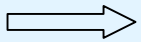


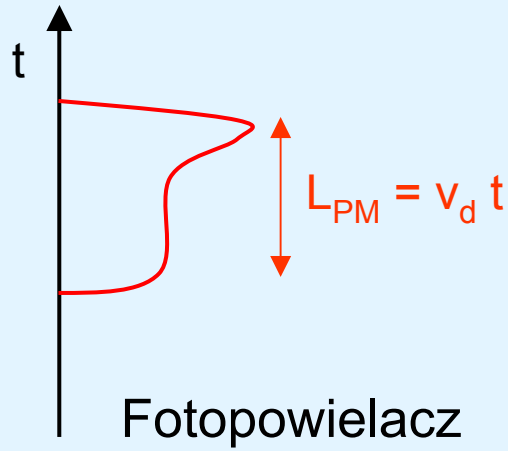
Kamera CCD 2/3’’
- 1000x1000 pix
- 12-bitów
- wzmacniacz obrazu (x2000)

Fotopowielacz 5’’

Rekonstrukcja zdarzeń

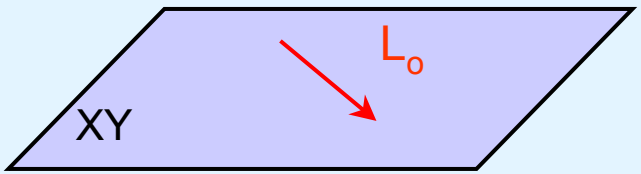






Fotopowielacz





Kamera

Rekonstrukcja zdarzenia: (r, Θ, φ)

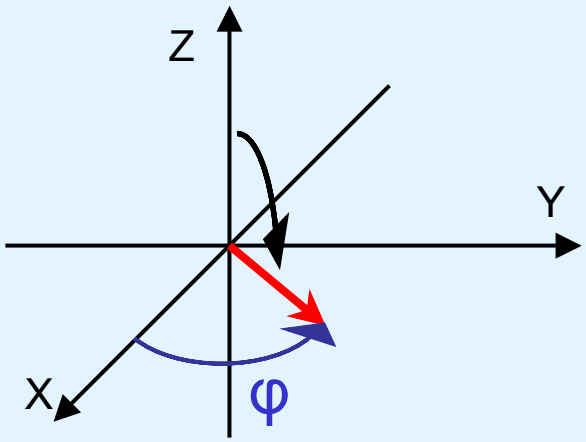
$L_o = r \cos\Theta$

$L_{PM} = r \sin\Theta$

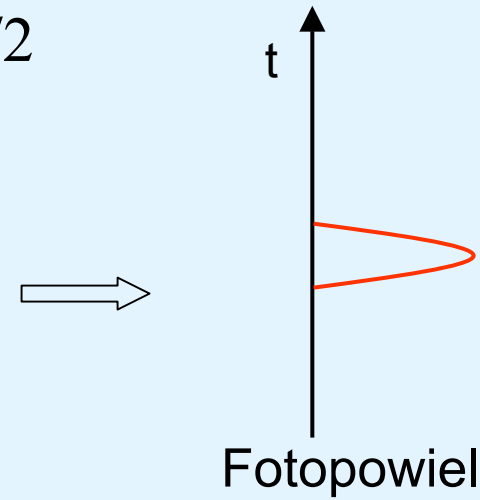
$r^2 = L_o^2 + L_{PM}^2$

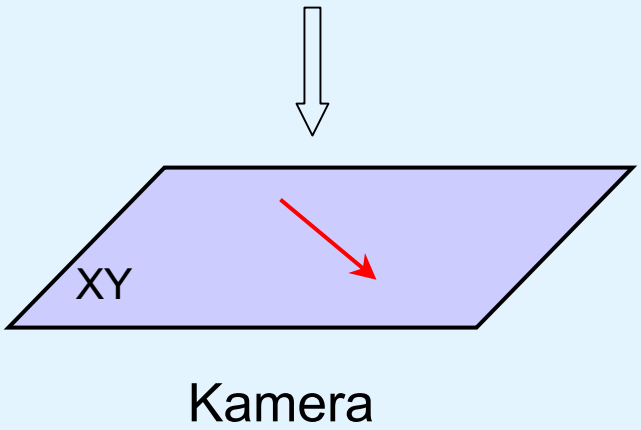
$\Theta = \arctan(L_o/L_{PM})$

Rekonstrukcja zdarzeń

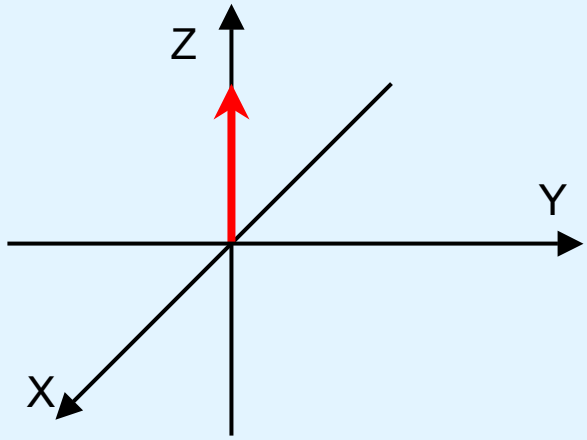


$\theta = \pi/2$

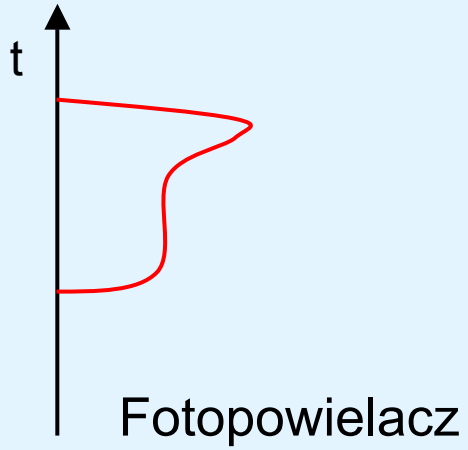




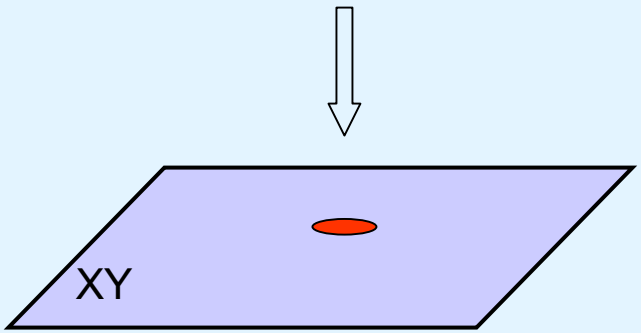
Rekonstrukcja zdarzeń



$\theta = 0$

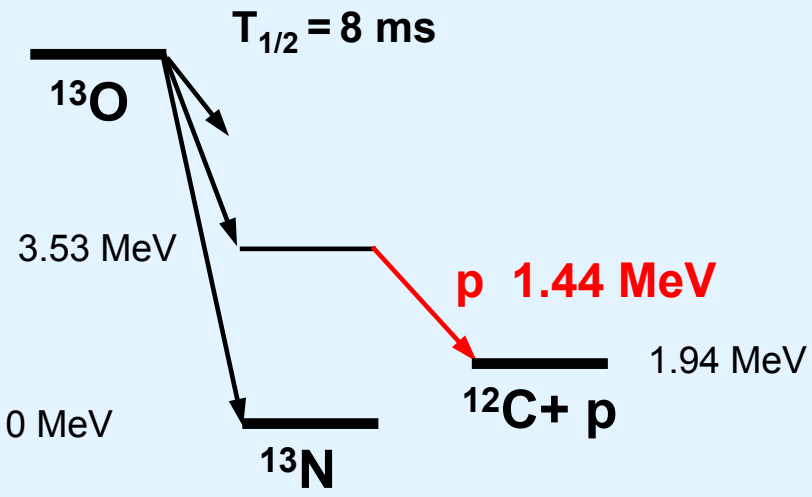


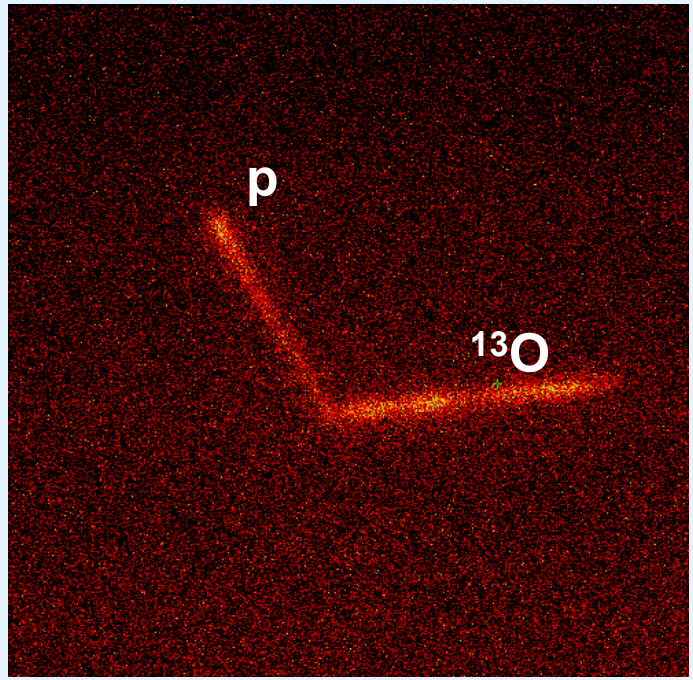
Fotopowielacz

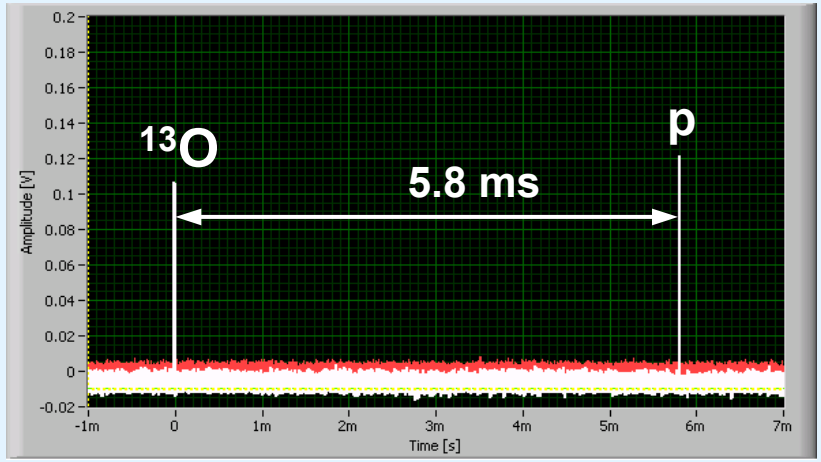


Kamera

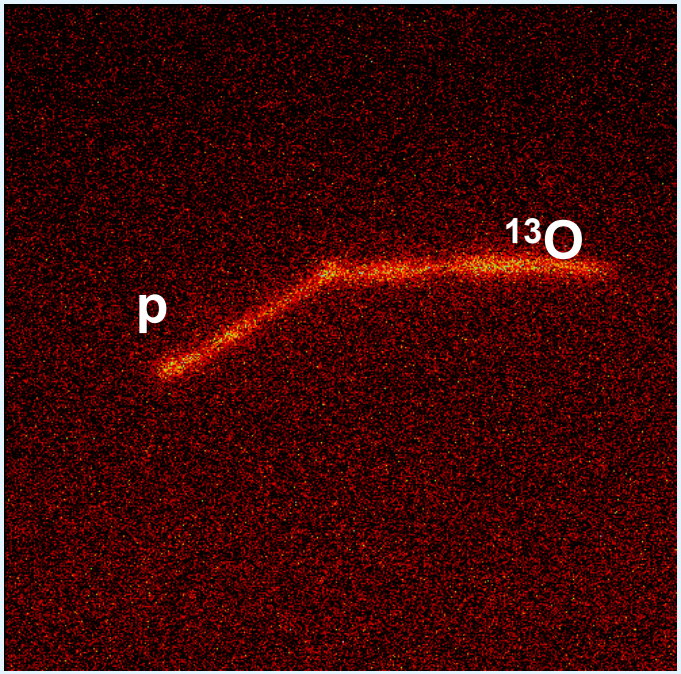
Protony z rozpadu ^{13}O

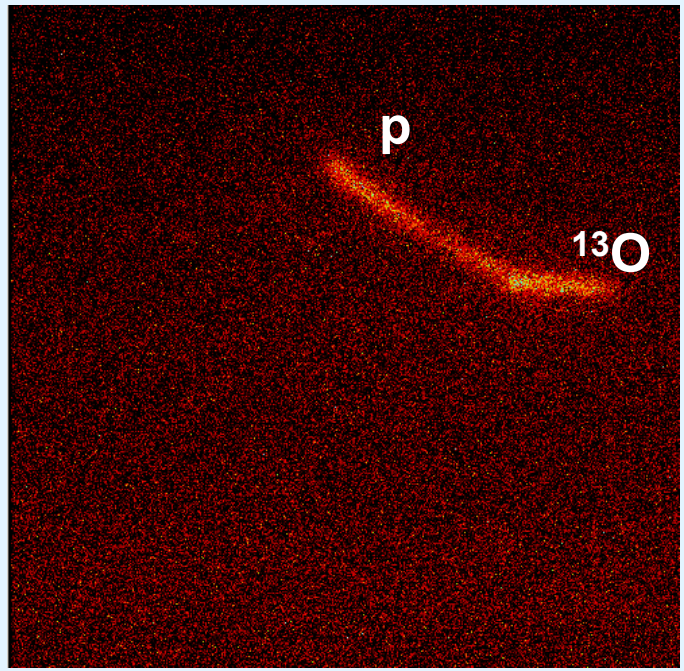


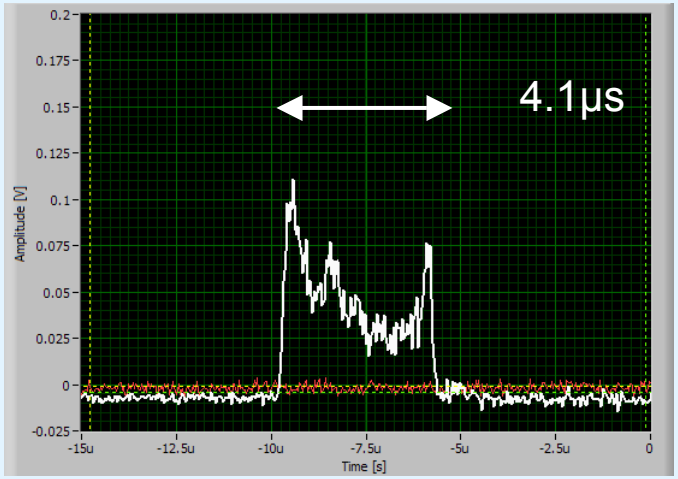


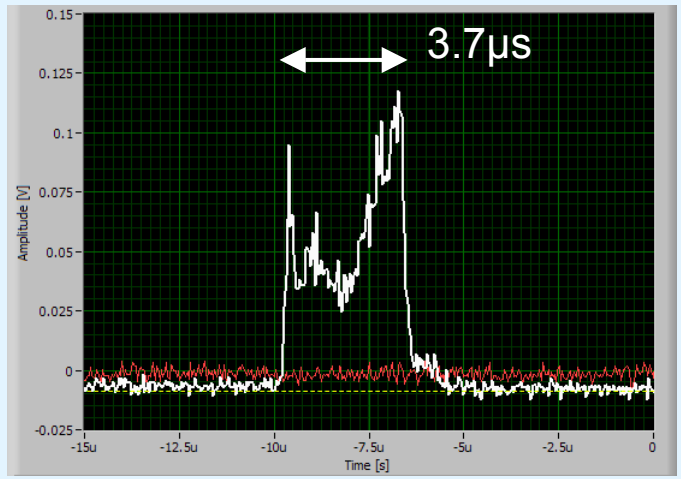


Protony z rozpadu ^{13}O

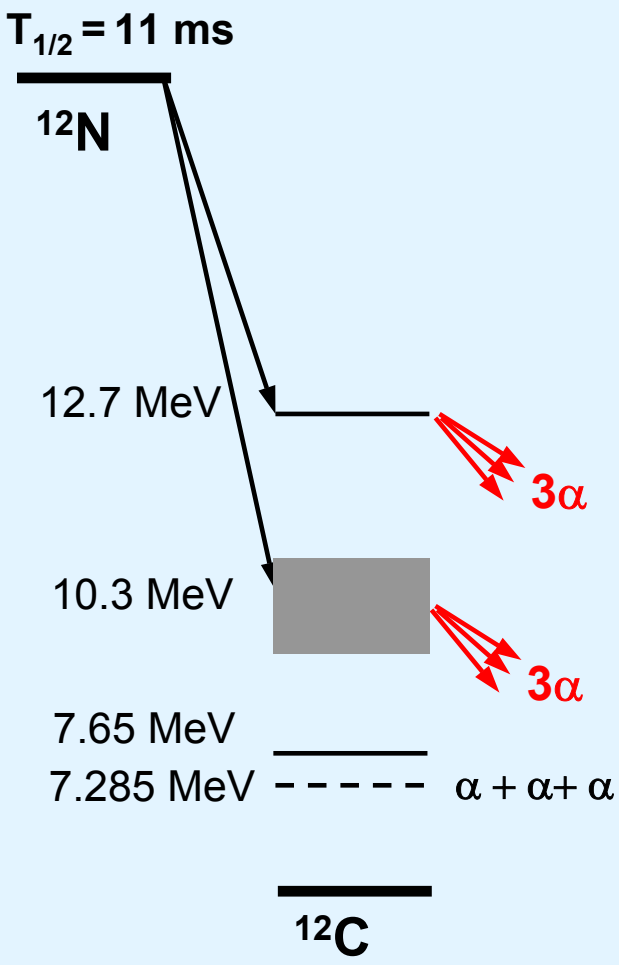


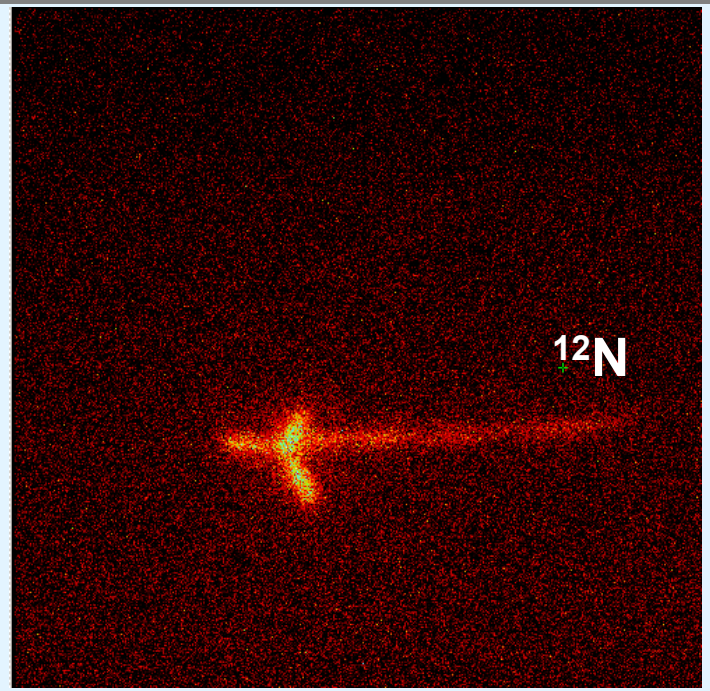


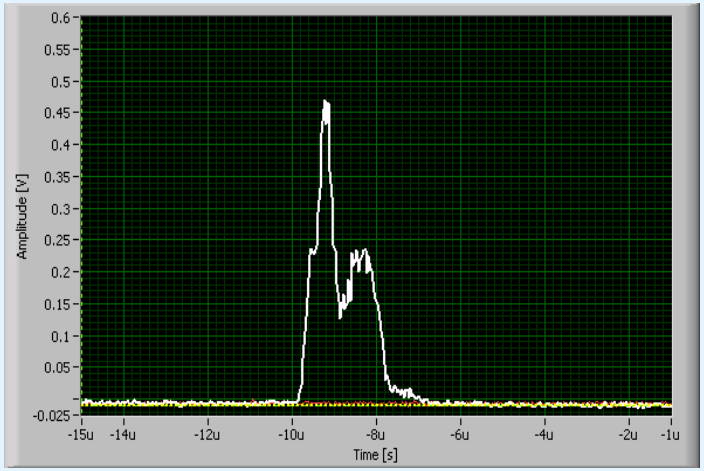




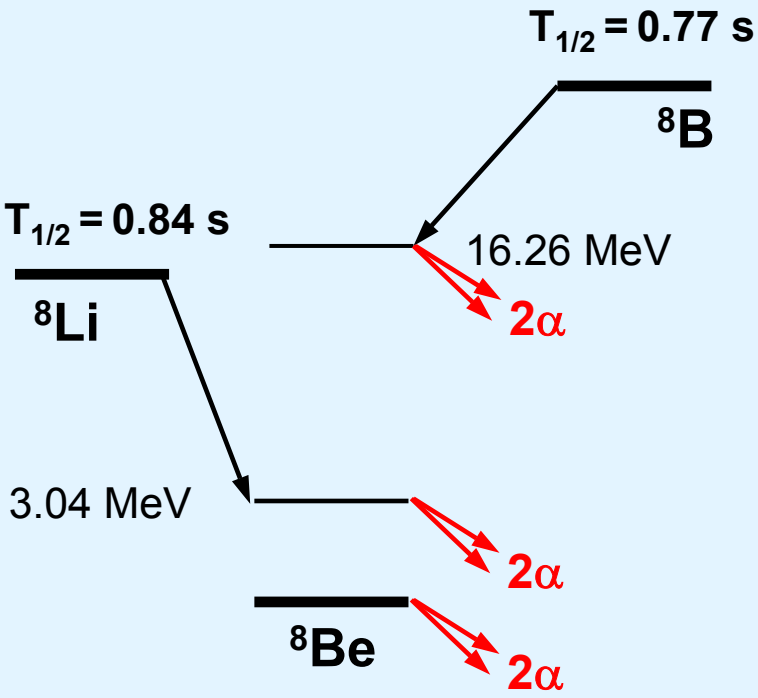
Rozpad 3α jądra ^{12}C

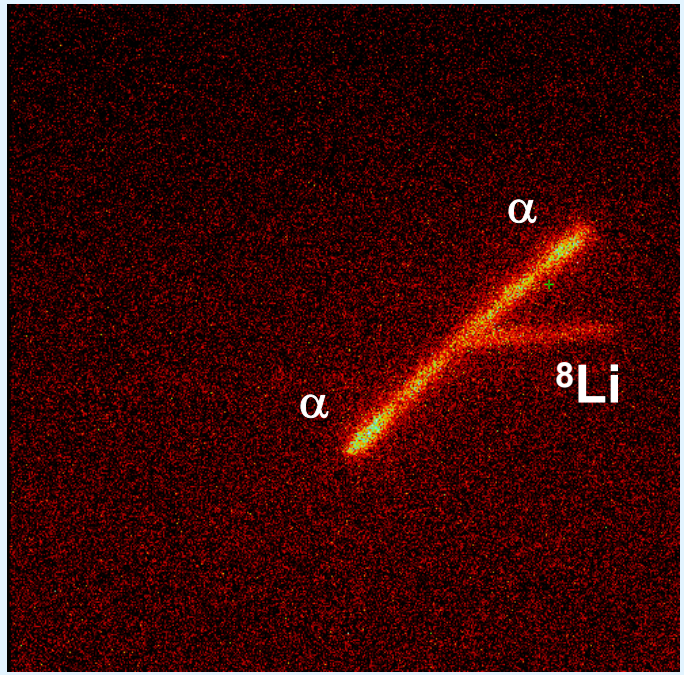


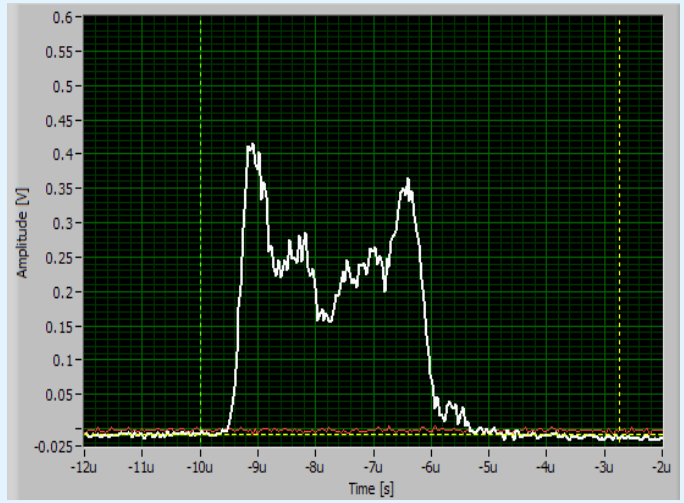




Rozpad 2α jądra ^{8}Be








DANGER
FALLING ROCKS
DUE TO
PROTON DECAY

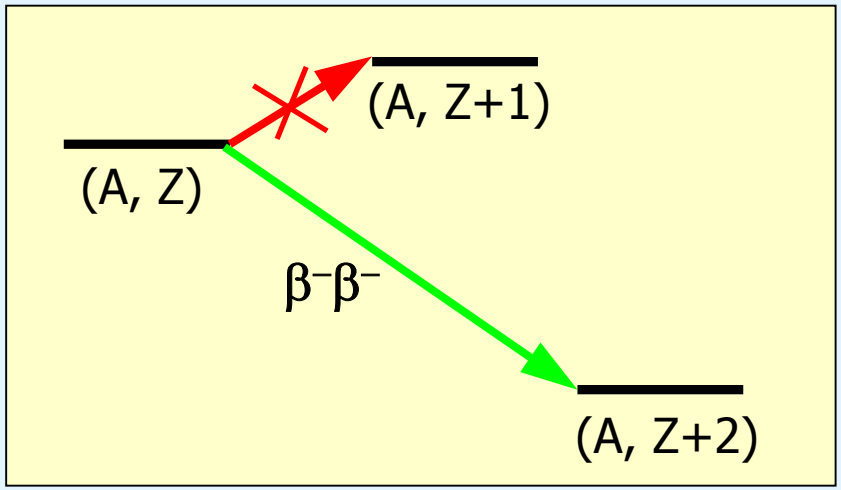
Nasz detektor może też dać mały wkład do ... wielkiego eksperymentu

dr hab. Zenon Janas

Pytania o naturę neutrin

- jaką masę mają neutrina ?
- jaka jest hierarchia mas ?
- czy neutrino = antyneutrino ?

Podwójny rozpad beta



Rodzaje rozpadów ββ :

- **2νββ**

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z+2) + 2\,e^- + 2\,\bar{\nu}_e$$

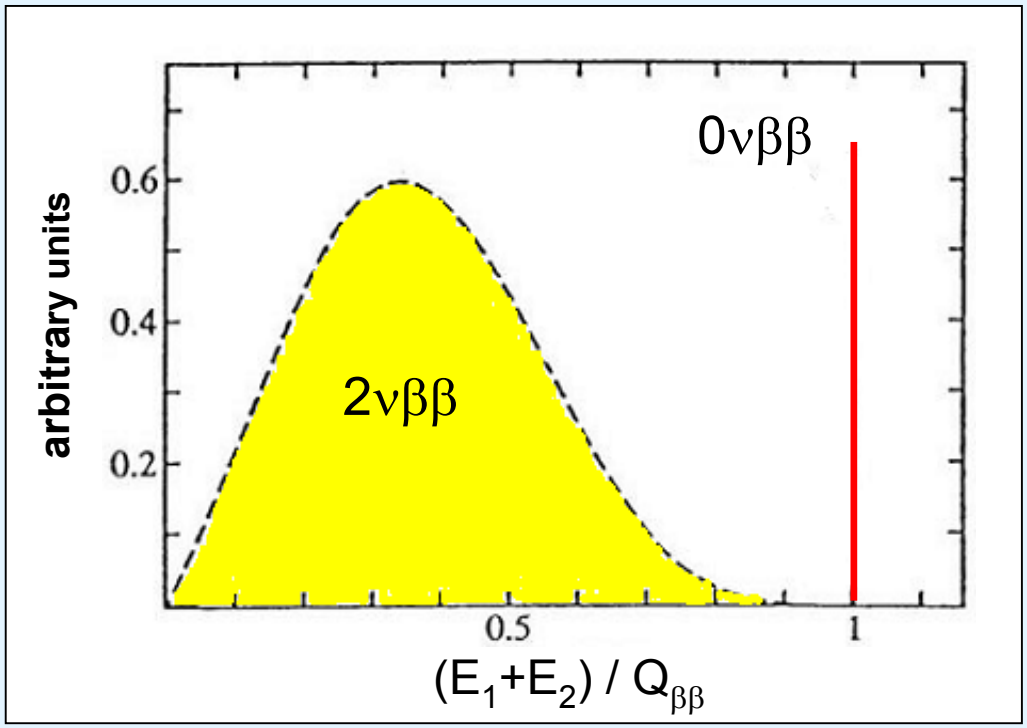
$\Delta L = 0$

- **0νββ**

$$(A, Z) \rightarrow (A, Z+2) + 2e^-$$

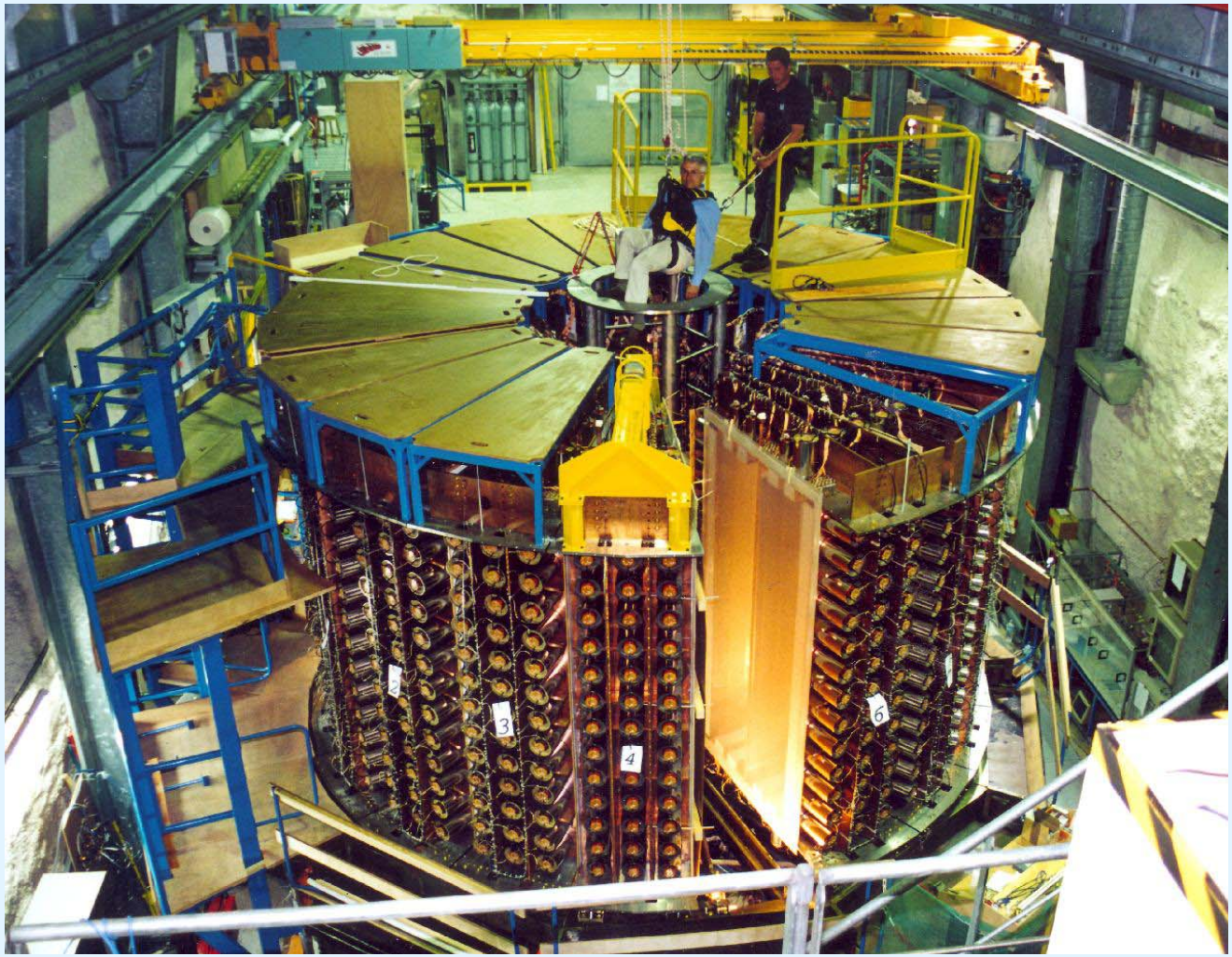
$\Delta L = 2$

Widmo sumy energii elektronów emitowanych w rozpadzie ββ

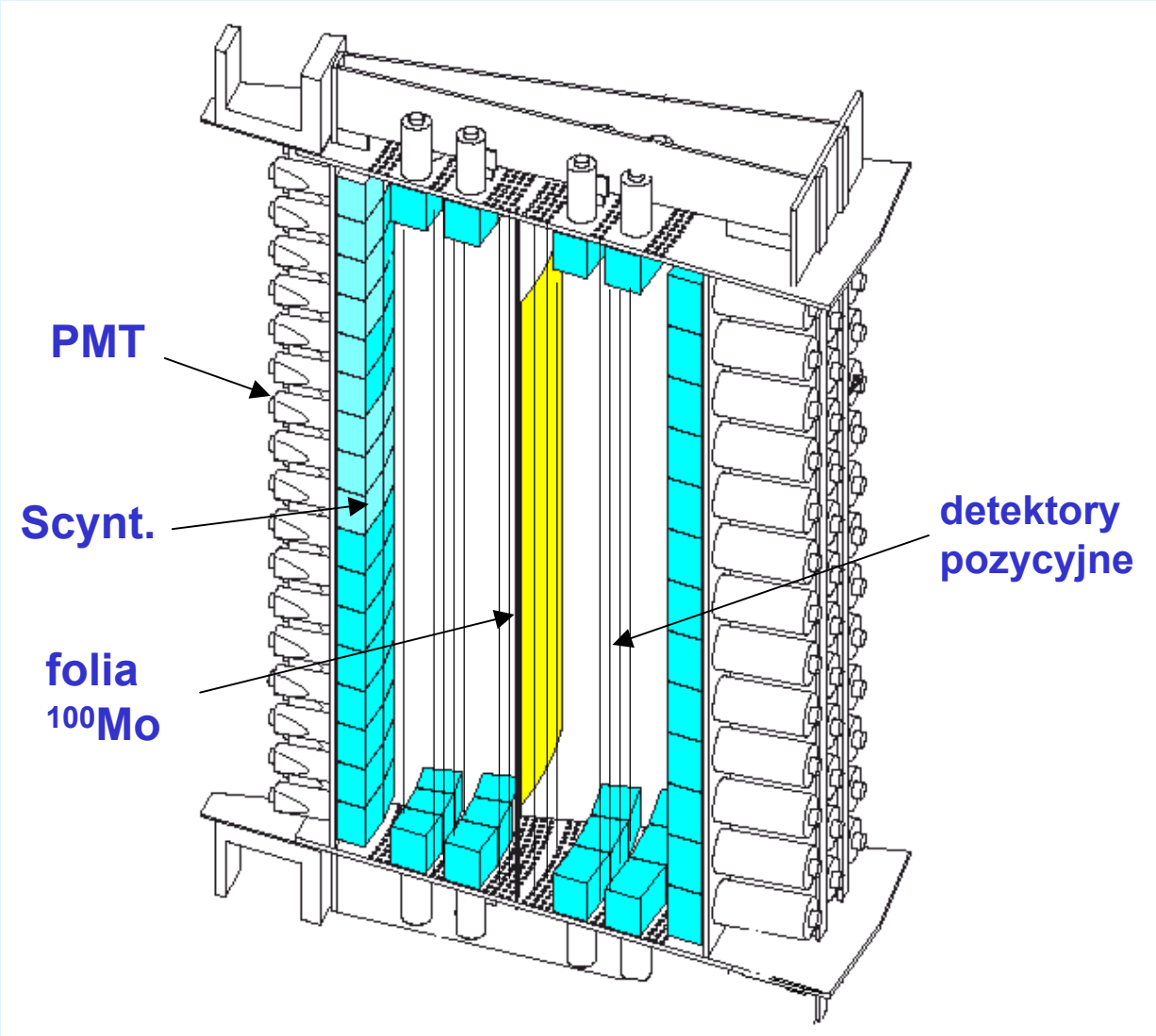


Neutrino Ettore Majorana Observatory

podziemne (1780 m) laboratorium w tunelu Fréjus

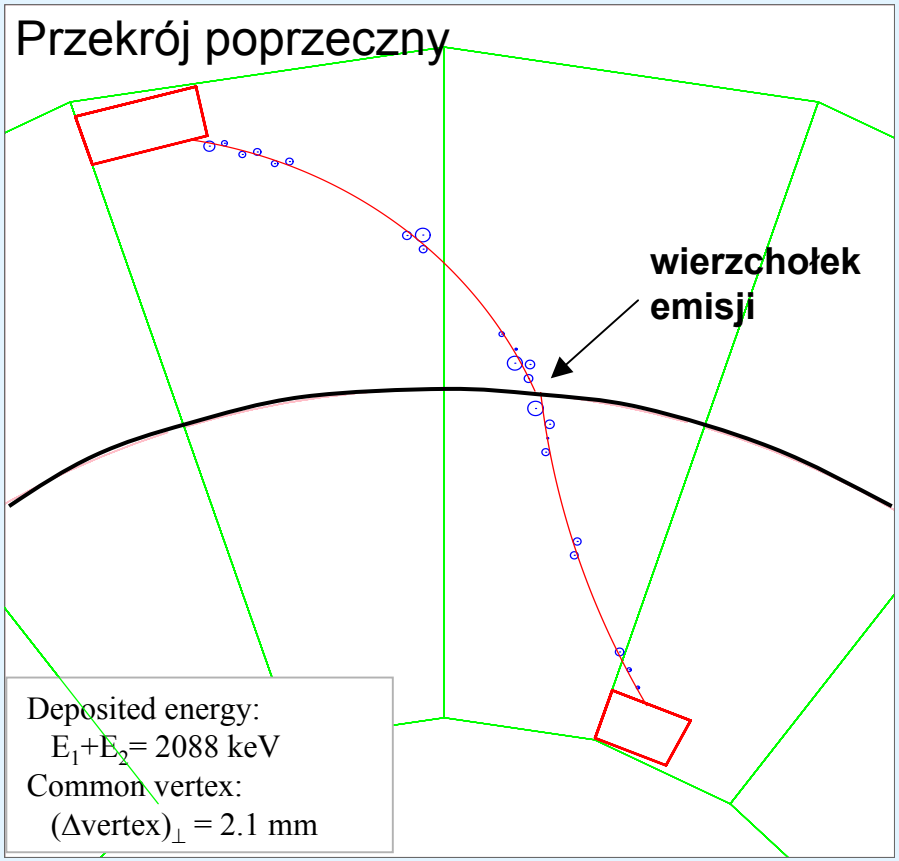


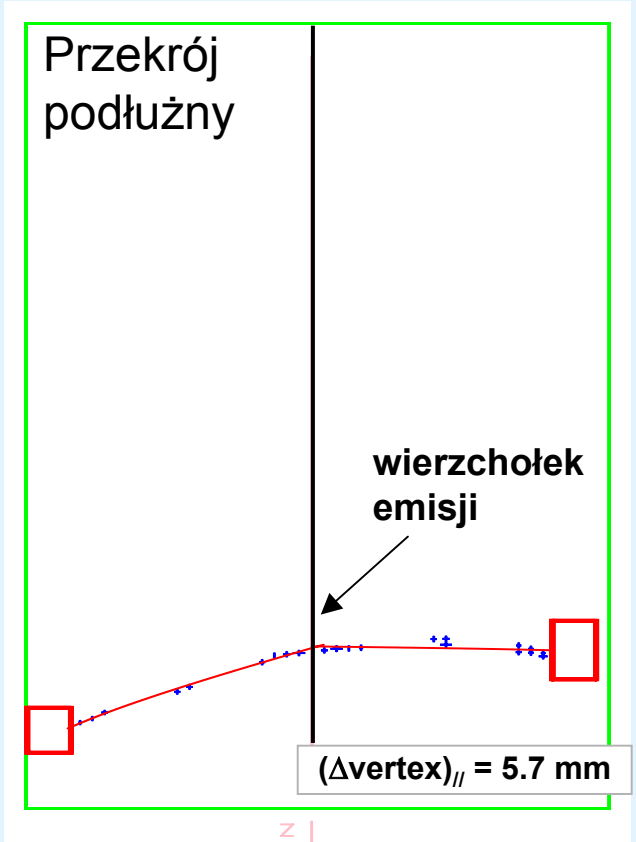
Sektor detektora NEMO-3



R. Arnold et al., NIM A536 (2005) 79

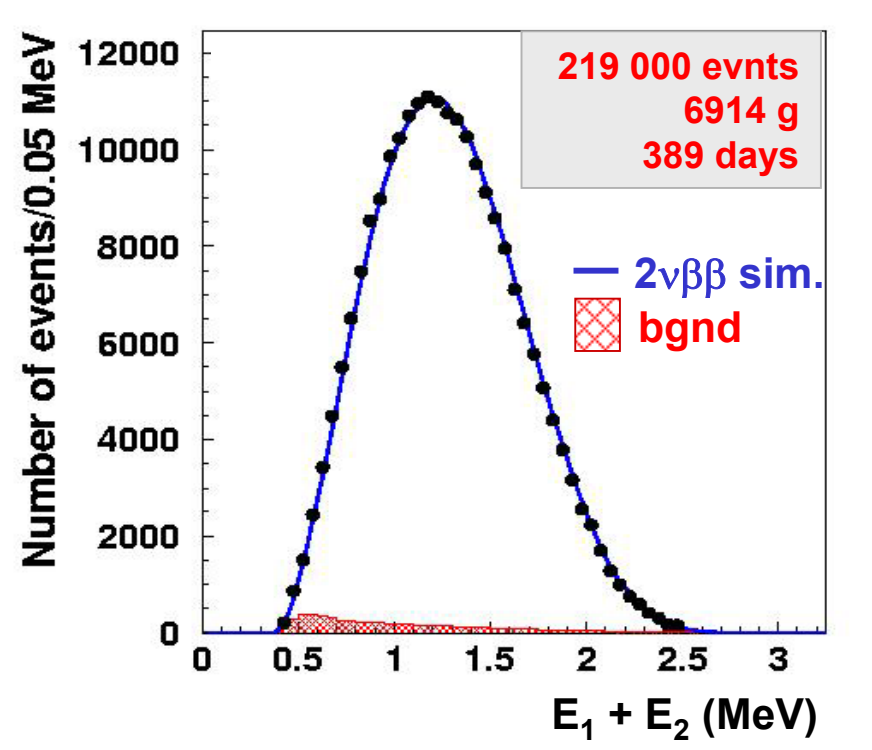
Typowe zdarzenie ββ





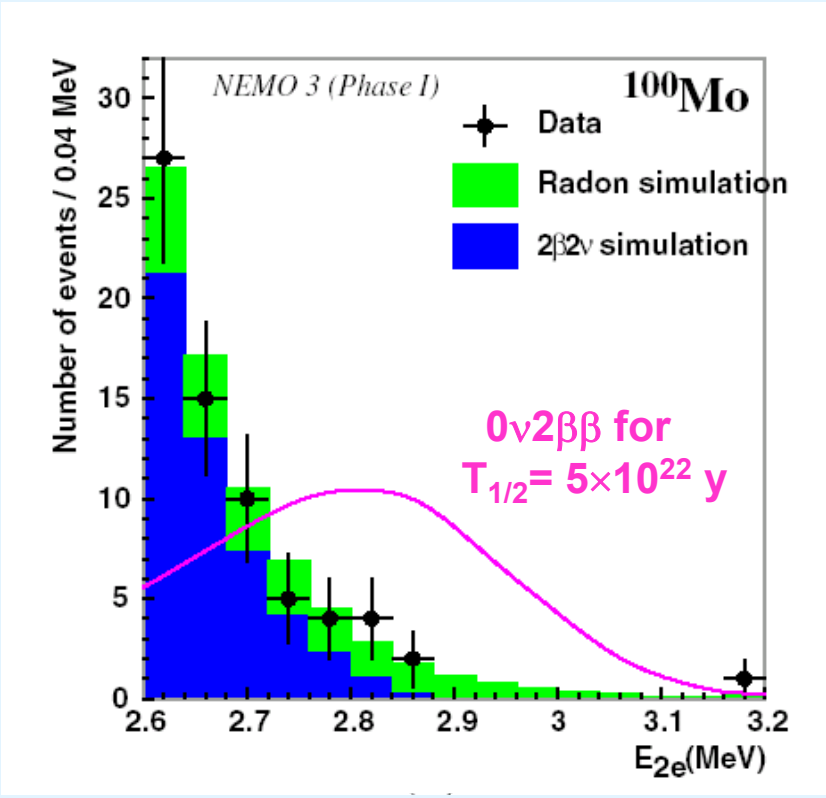
Rozpad $2\nu\beta\beta$ ^{100}Mo

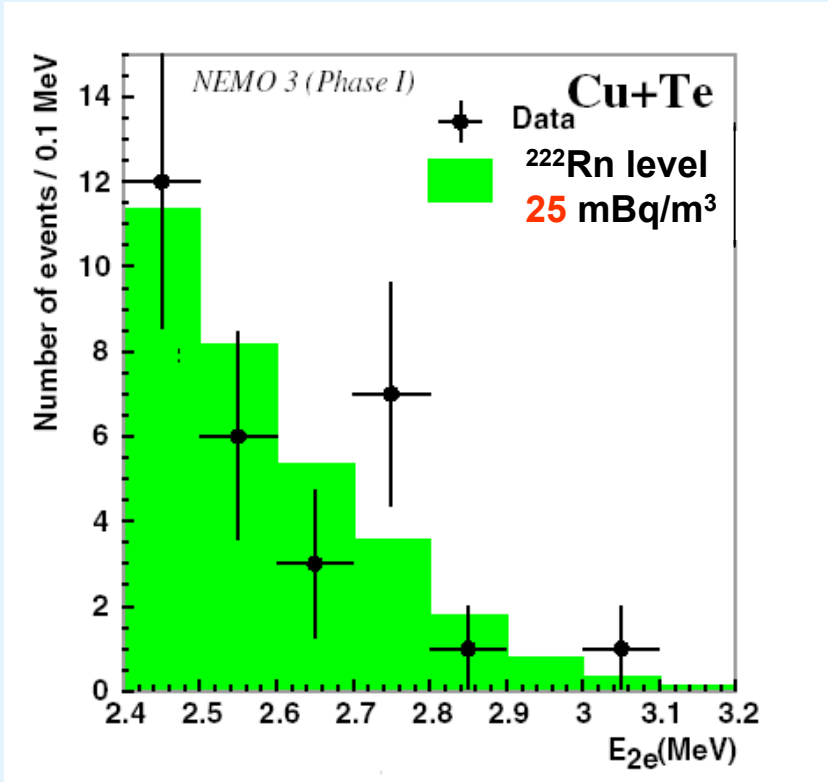
widmo sumy energii elektronów



$$T_{1/2}^{2\nu} = 7.1 \pm 0.6 \times 10^{18}\ \text{y}$$

Rozpad $0\nu\beta\beta$ ^{100}Mo





$$T^{0\nu}_{1/2} > 4.6 \times 10^{23}\ \text{y}$$

$$\langle m_{\beta\beta} \rangle < 2.8\ \text{eV}$$

2.8 - 3.2 MeV range

$N_{observed}$ = 7 events

bgnd = 8.1 ± 1.3

R. Arnold et al., PRL 95 (2005) 182302

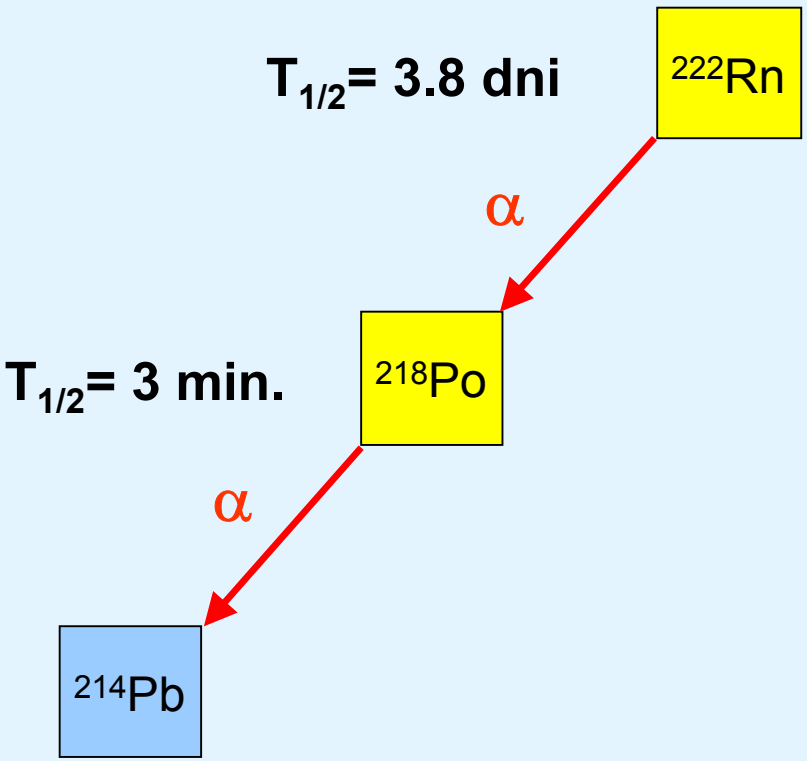
2005 : namiot otaczający detektor +
system oczyszczania powietrza

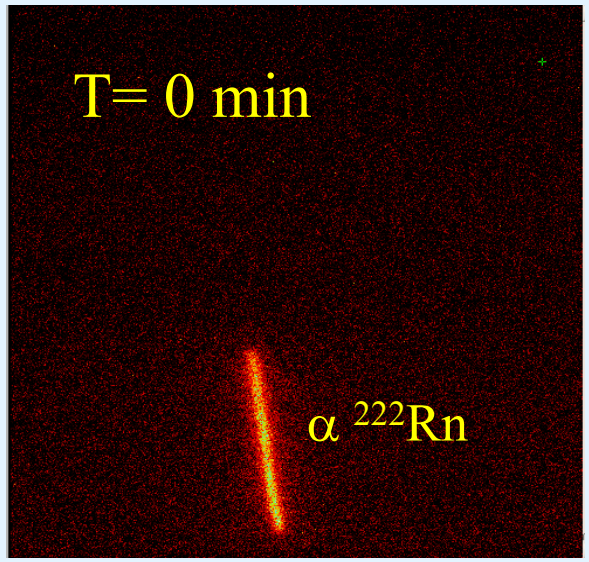
stężenie radonu 25 mBq/m^3 → 3 mBq/m^3

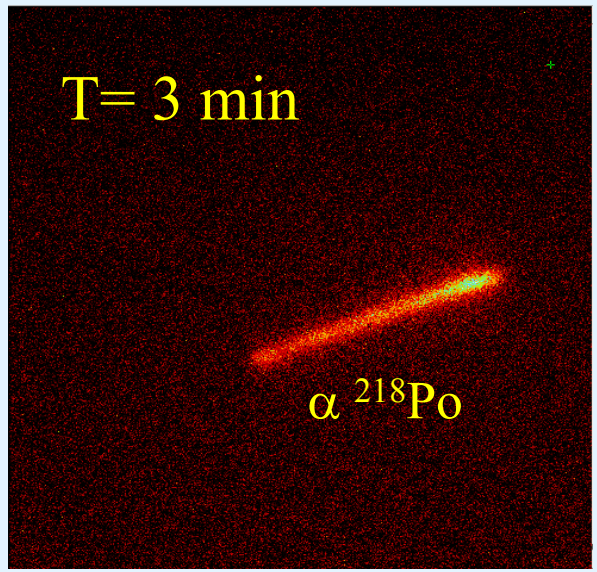


© S. Julian, LAL

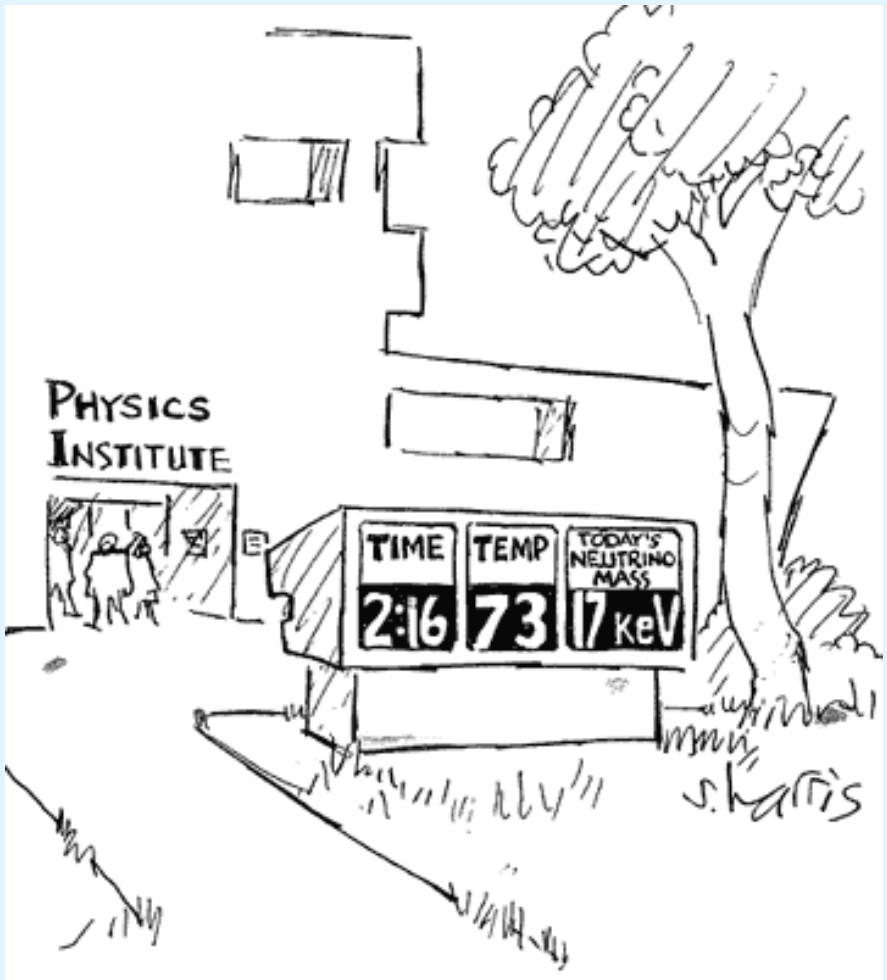
Detekcja radonu w OTPC







Czułość ~0.1 mBq/m^3

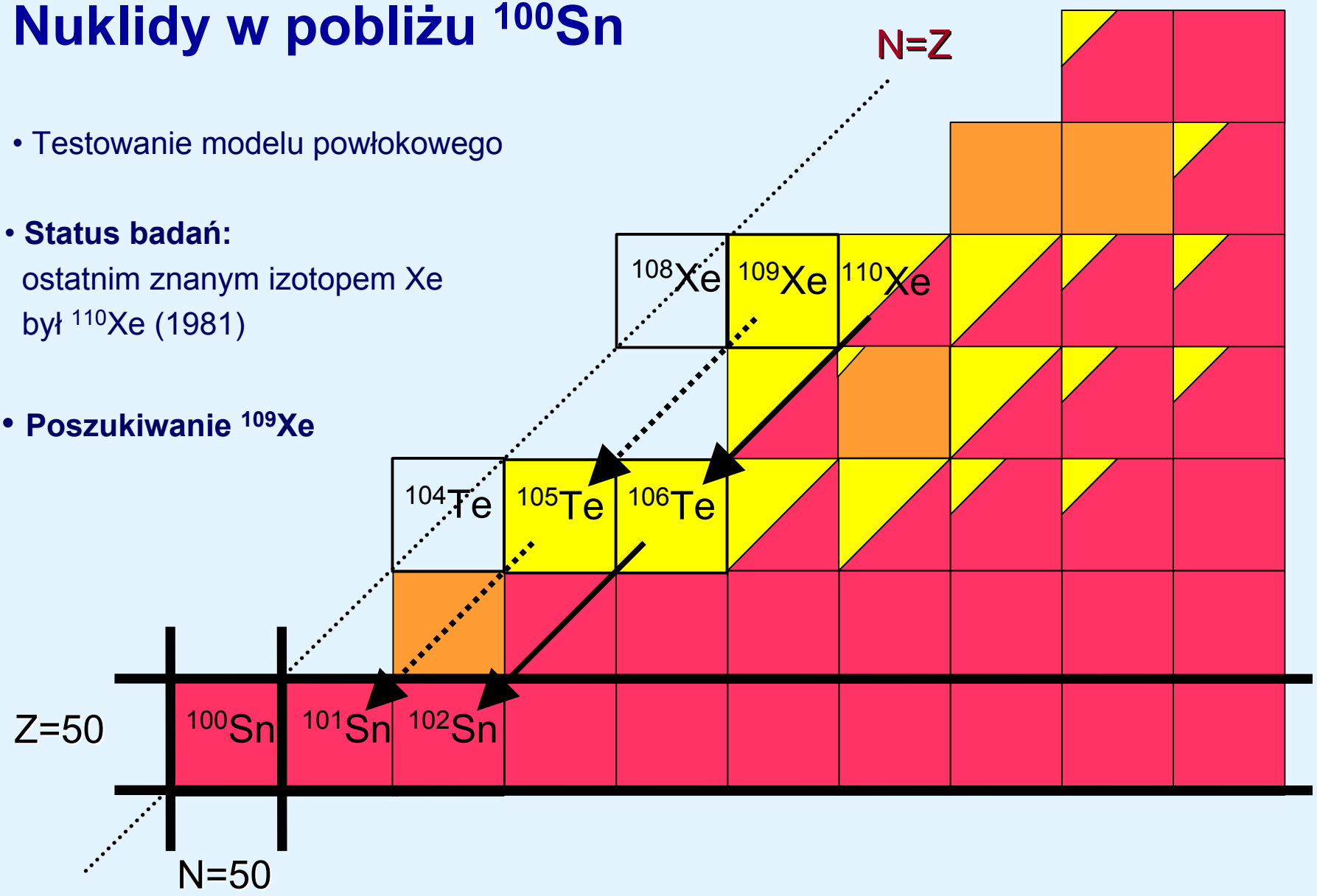

PHYSICS
INSTITUTE
TIME
TEMP
TODAY'S NEUTRINO MASS
2:16
73
17 keV
S. Harris

Wracamy do klasycznej spektroskopii bardzo egzotycznych nuklidów

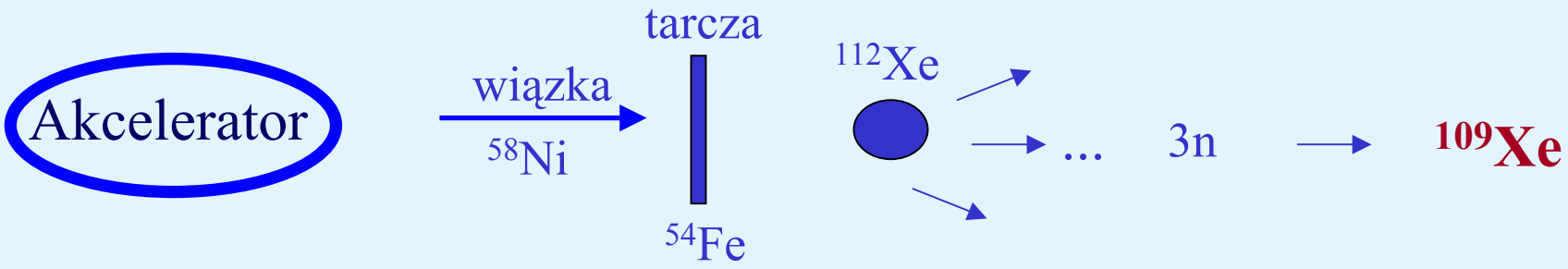
dr Agnieszka Korgul

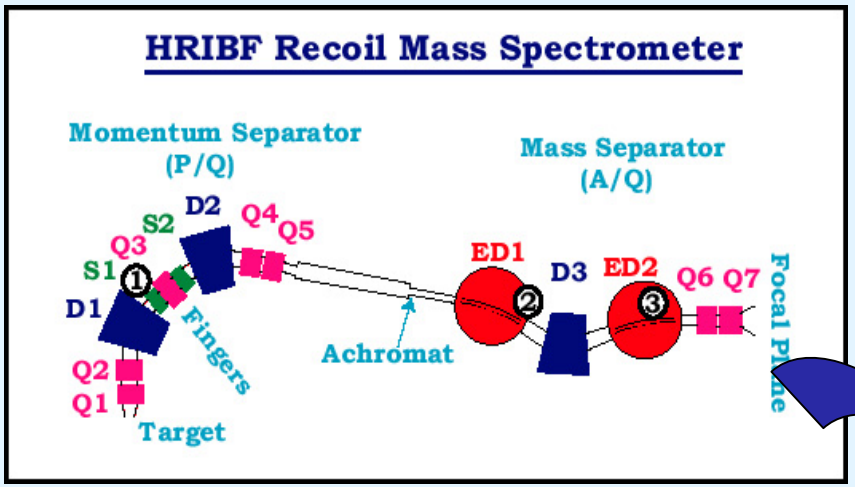
Nuklidy w pobliżu ^{100}Sn

- Testowanie modelu powłokowego
- **Status badań:**
  ostatnim znanym izotopem Xe
  był ^{110}Xe (1981)
- **Poszukiwanie ^{109}Xe**



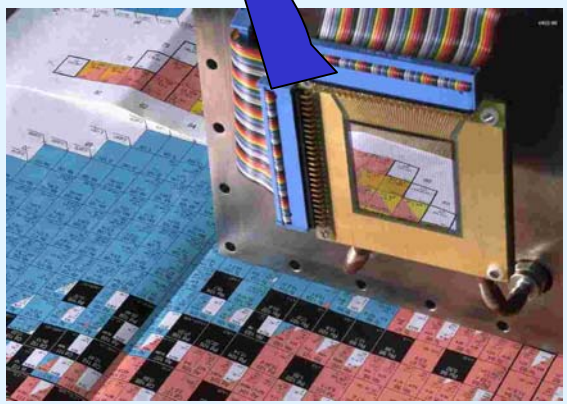
Eksperyment (ORNL, USA 2005)

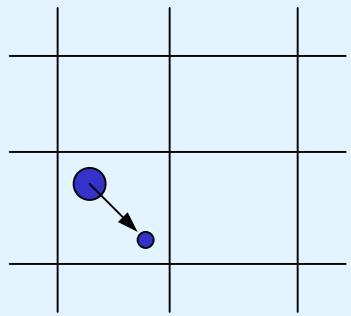




=



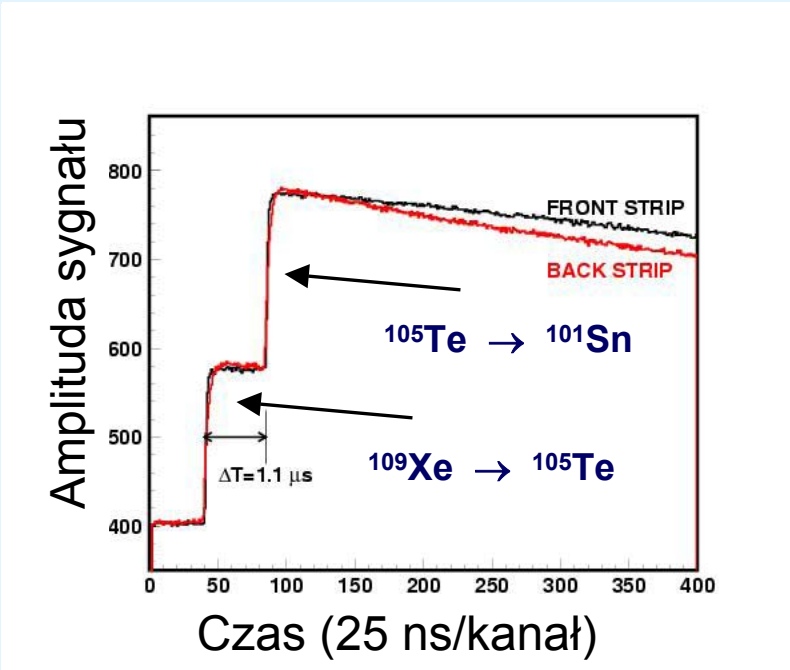


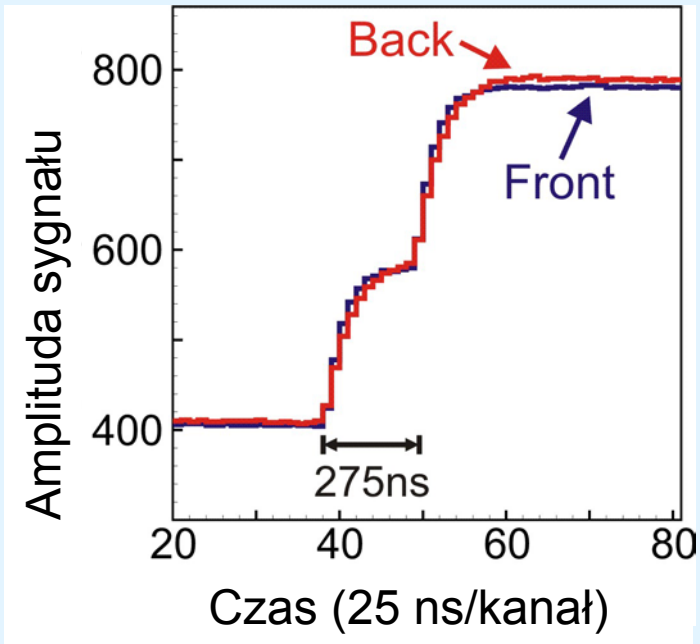


- Implantacja w detektorze paskowym (DSSD)

Obserwacja cząstek α z ^{109}Xe i ^{105}Te

Przykładowe koincydencje α - α zmierzone w eksperymencie

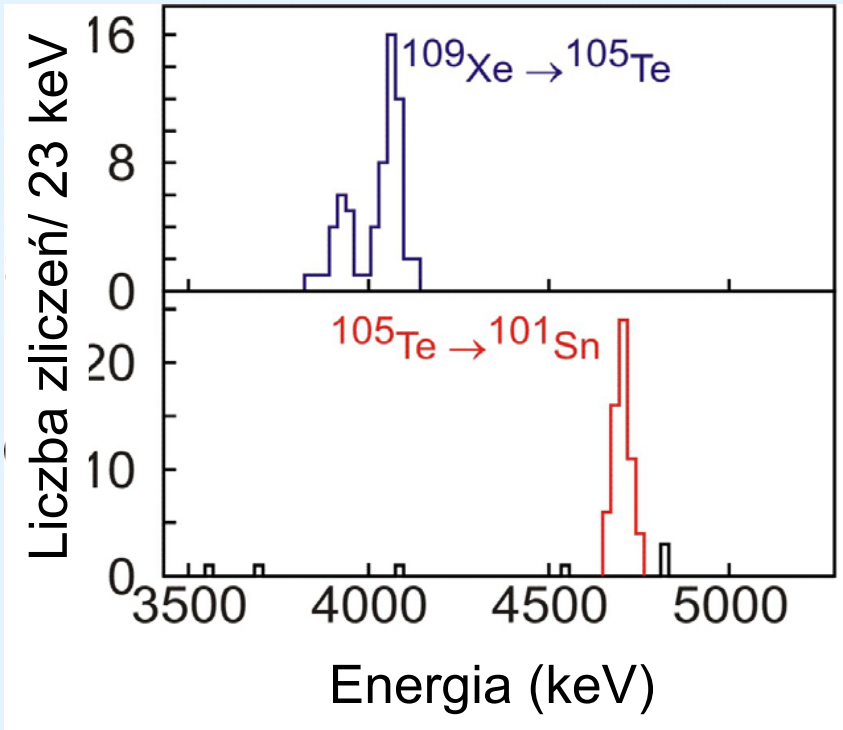




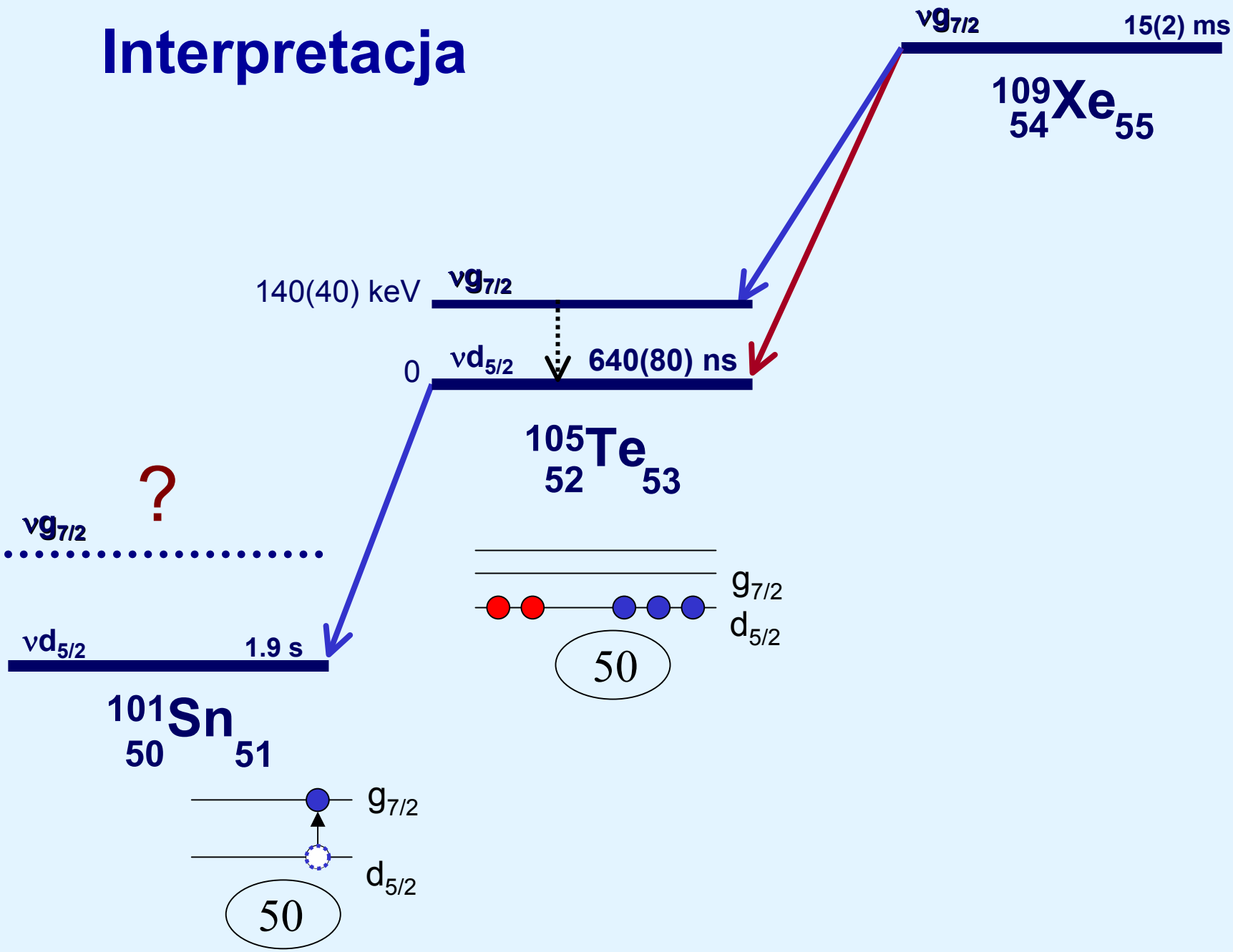
Wynik

Po 25 latach udało się zaobserwować łańcuch rozpadów α

$$^{109}Xe \rightarrow {}^{105}Te \rightarrow {}^{101}Sn$$



Interpretacja



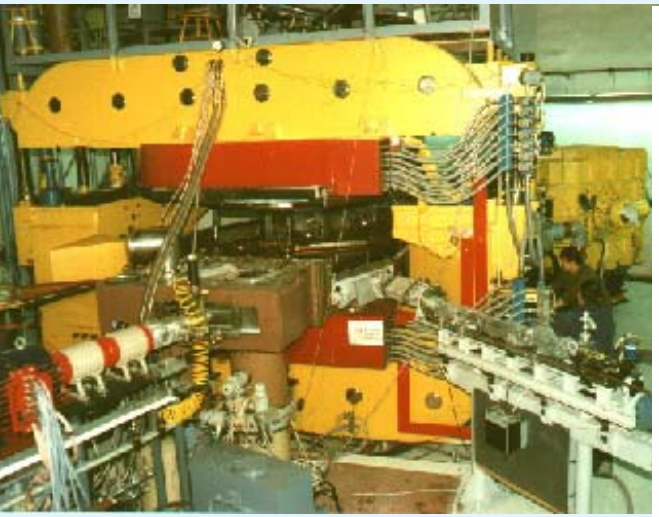


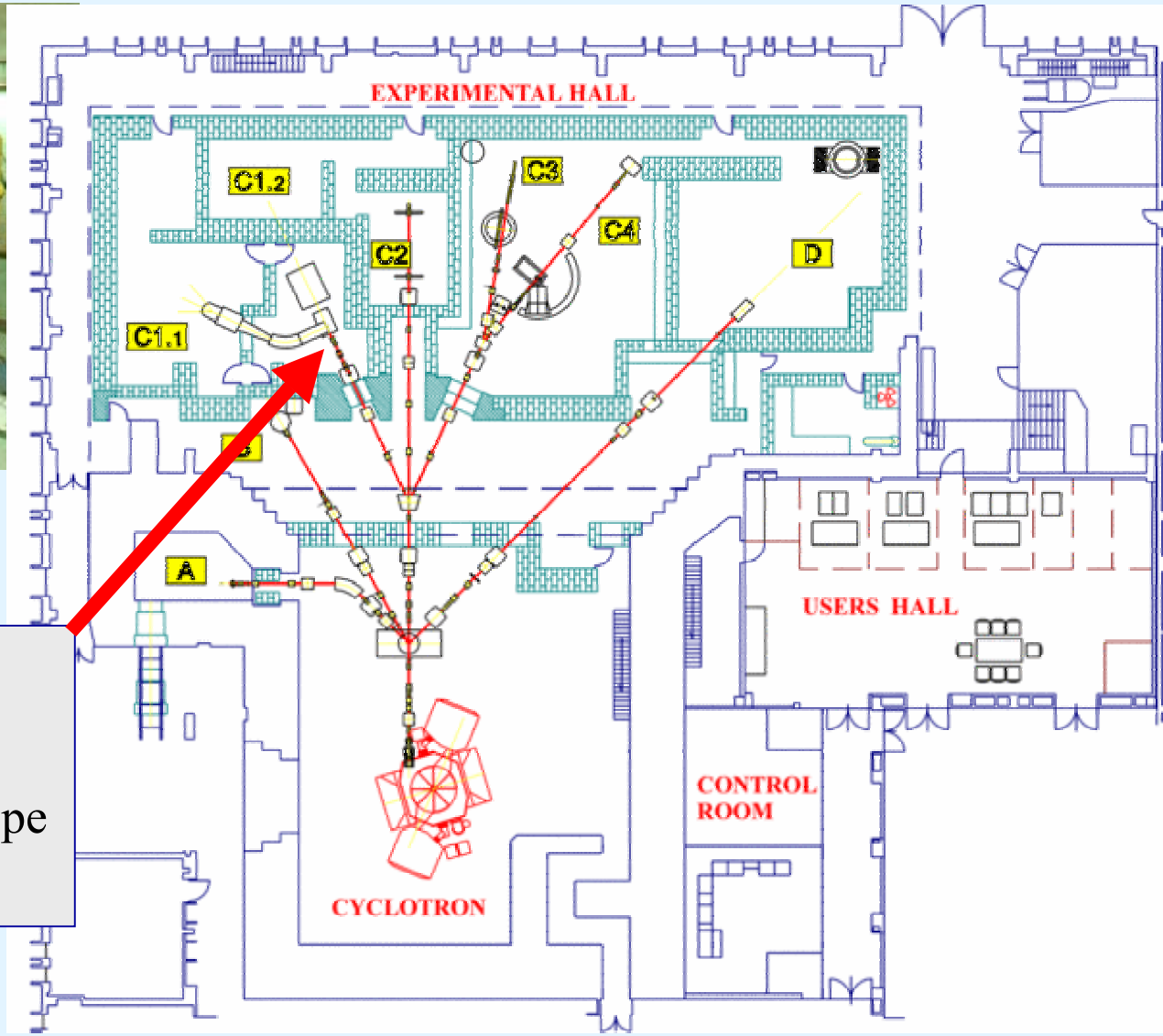
"Particles, particles, particles."

Czy możemy coś odkryć przy warszawskim cyklotronie?

mgr (prawie dr) Jan Kurcewicz

Cyklotron warszawski

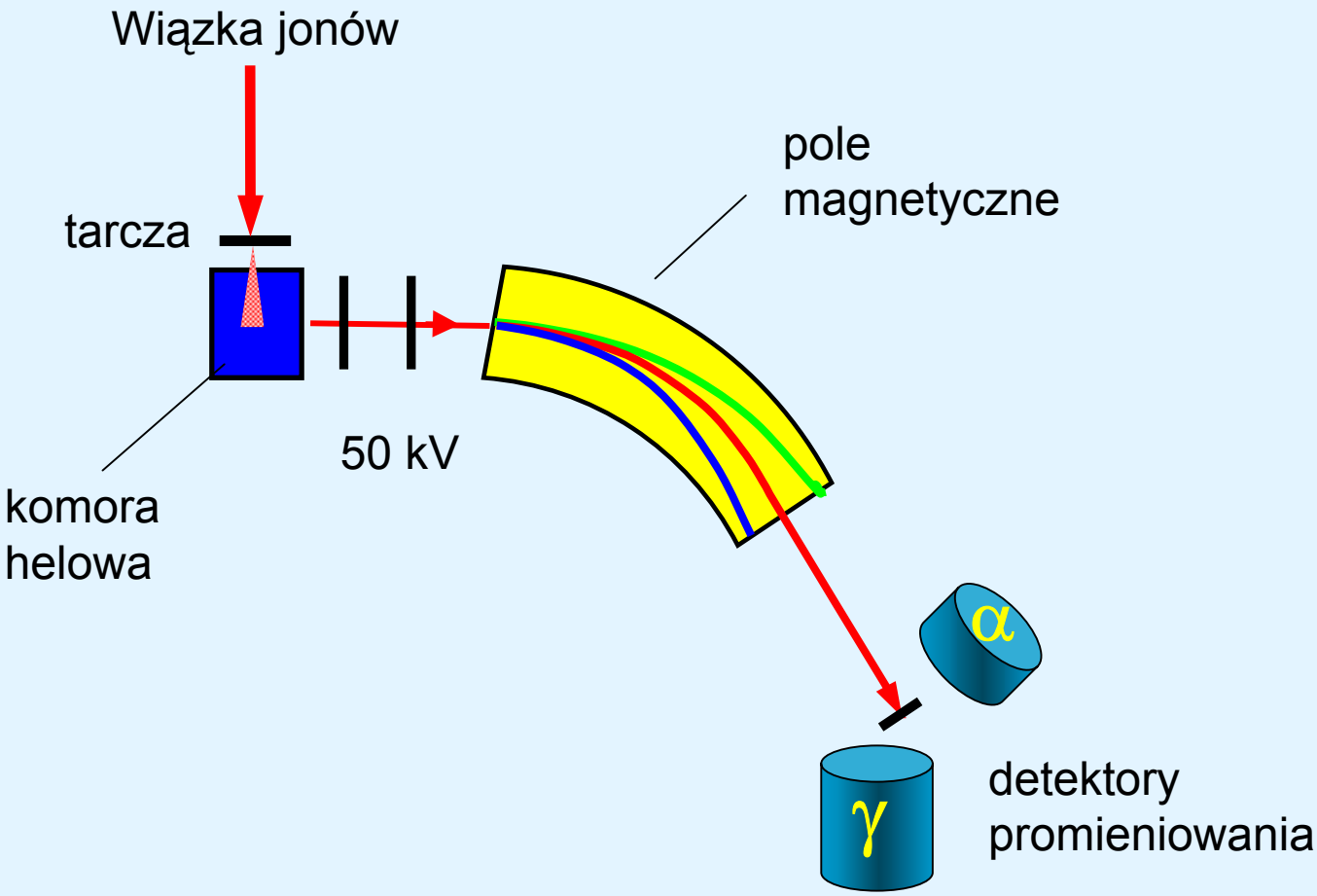




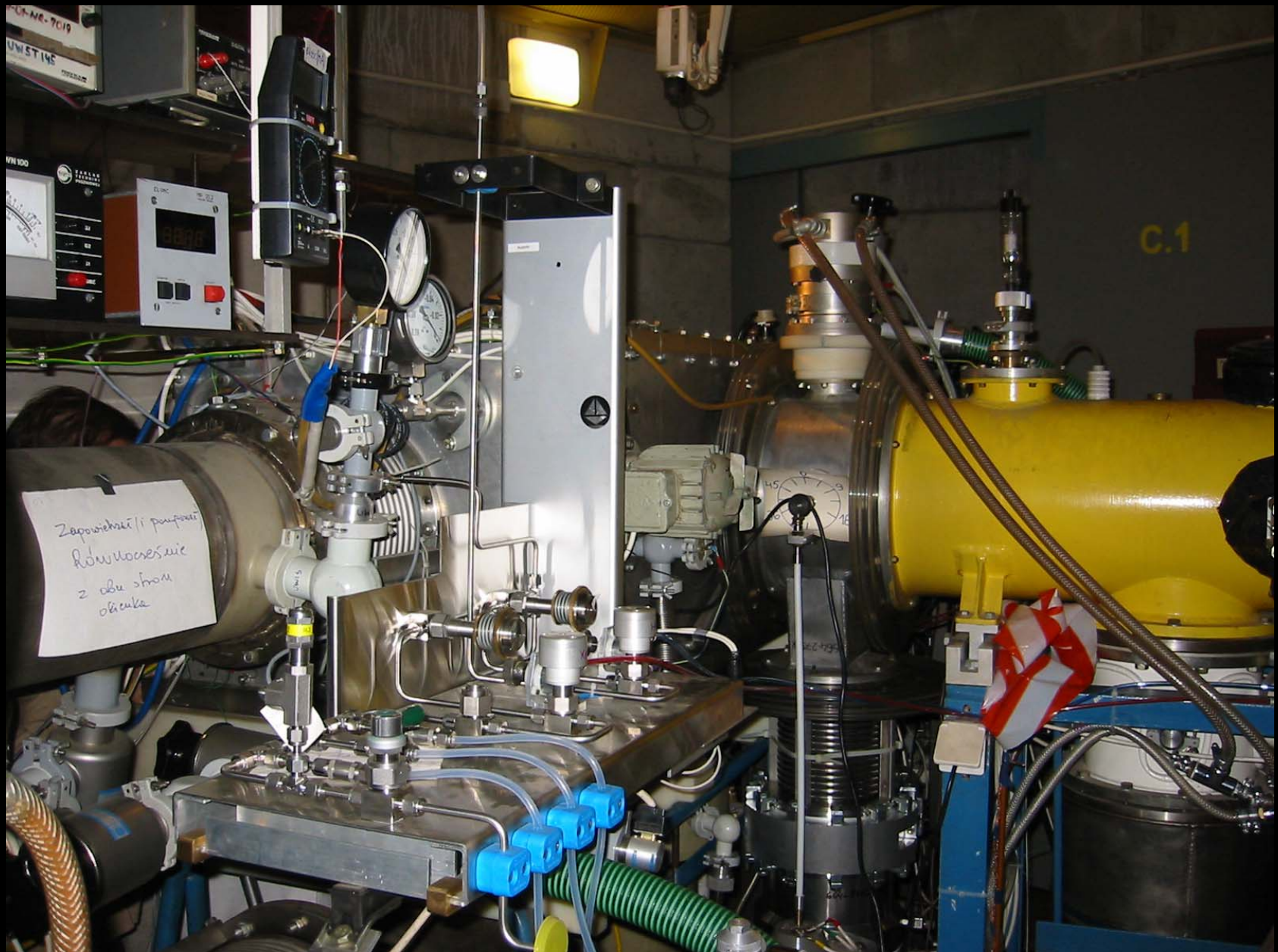
WIGISOL

Warsaw **I**on **G**uide **I**sotope **S**eparator **O**n- **L**ine

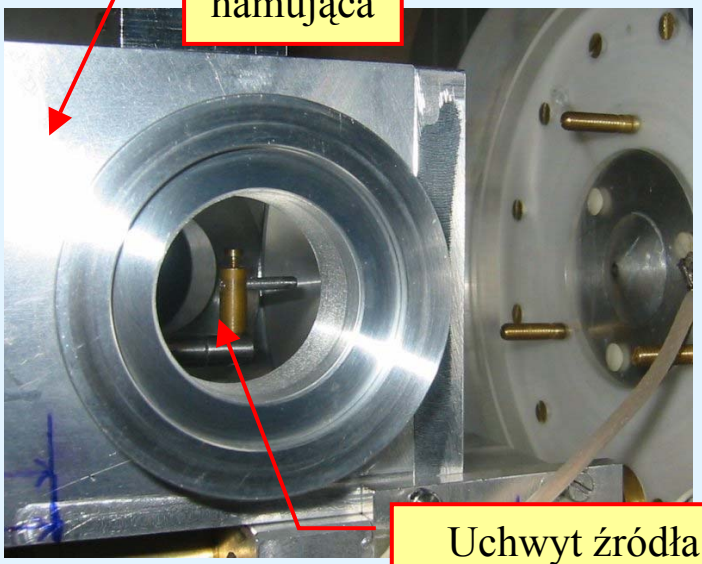
Separator masowy - WIGISOL

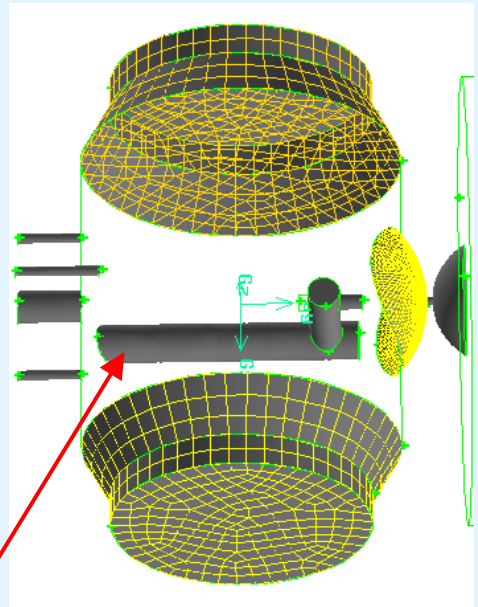


WIGISOL



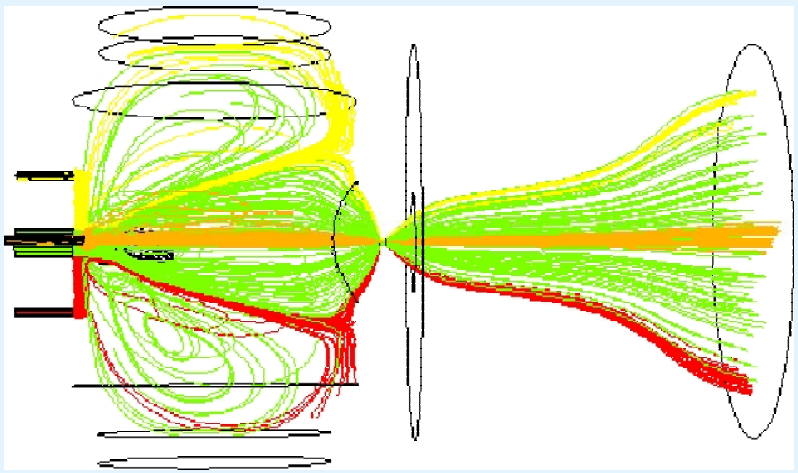
Symulacje przepływu gazu przez źródło jonów





Komputerowy model komory hamującej jony

Wynik symulacji: obraz linii prądu helu przepływa-jącego przez komorę

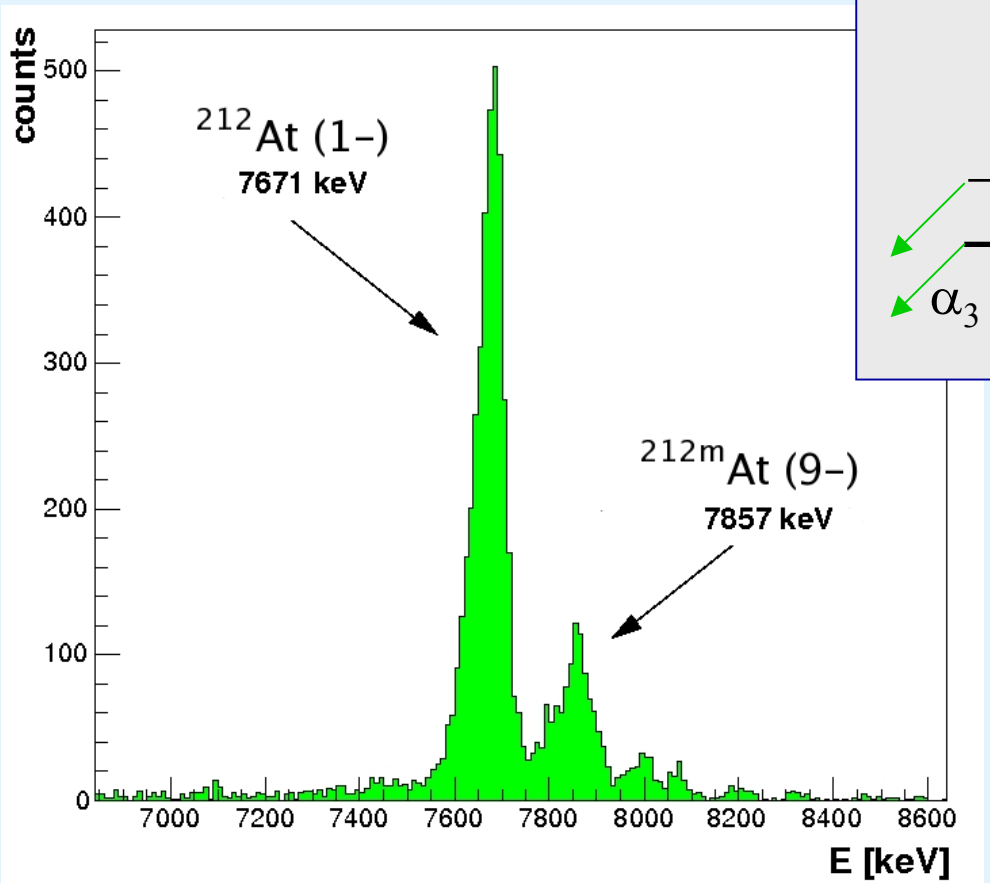


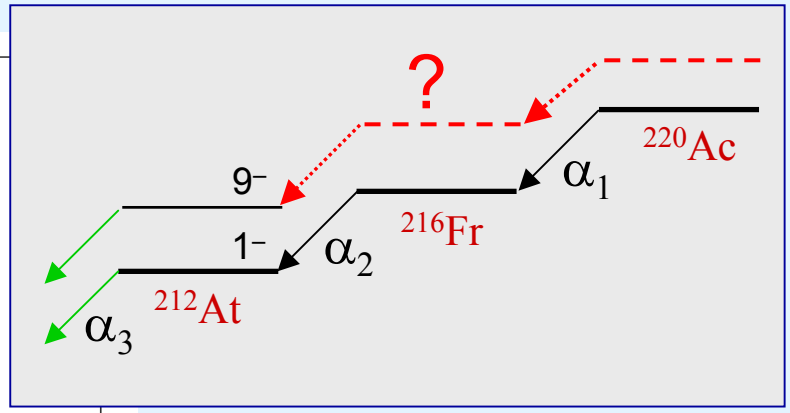
Numeryczne symulacje przepływu gazu.
Optymalizacja parametrów źródła jonów

Spektroskopia alfa

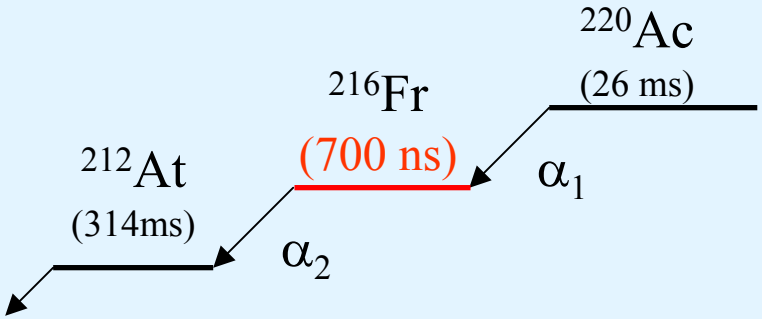
reakcja : ^{14}N (80 MeV) + $^{209}Bi \rightarrow {}^{220}Ac + 1p + 2n$

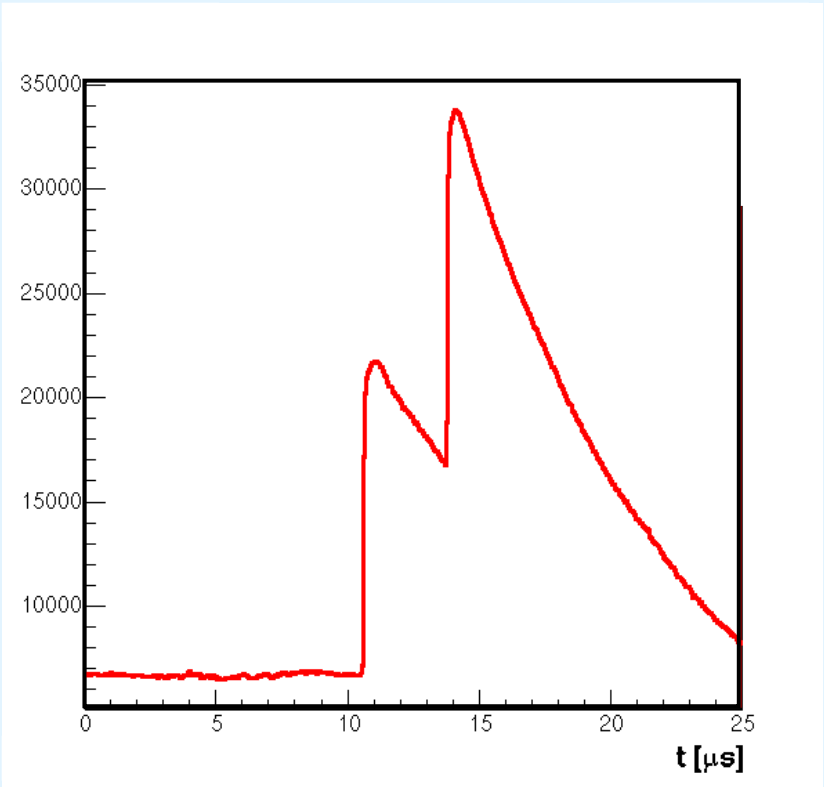
obserwowany rozpad: $^{220}Ac \xrightarrow[\alpha_1]{} {}^{216}Fr \xrightarrow[\alpha_2]{} {}^{212}At \xrightarrow[\alpha_3]{} {}^{208}Bi$

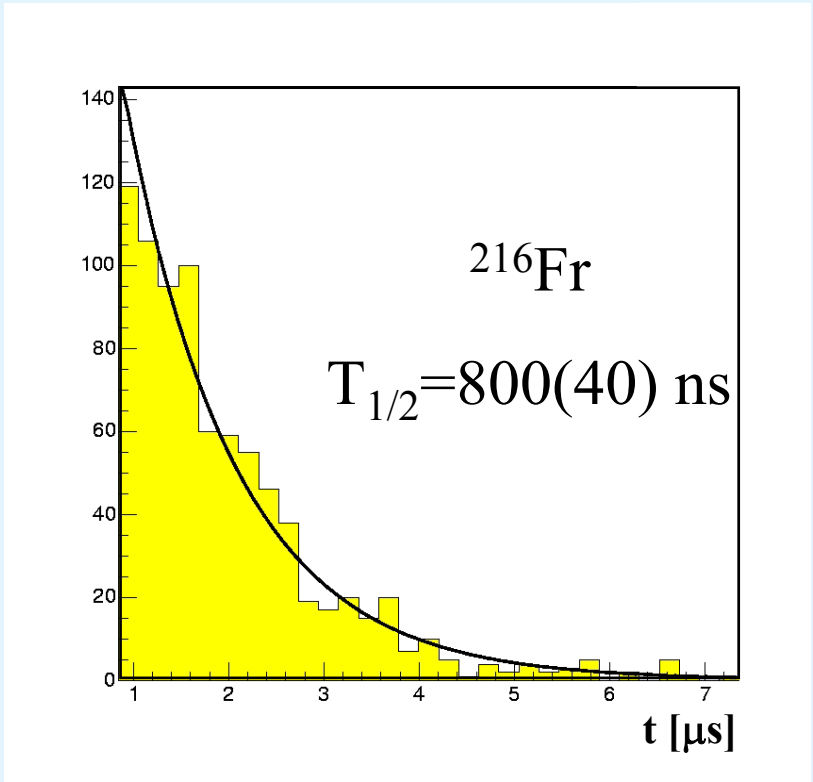




Elektronika cyfrowa









"You know what I hate about this place?
The heavy water."

Podsumowanie (I)

W naszych badaniach staramy się:

- dotrzeć do granic stabilności jądrowej,
- zrozumieć procesy nukleosyntezy,
- poznać strukturę powłokową jąder dalekich od trwałości,
- opisać szczegółowo przemiany jądrowe,
- wyjaśnić mechanizmy reakcji jądrowych,
- szukać nowych zjawisk jądrowych.

Badania prowadzimy we współpracy z ośrodkami:

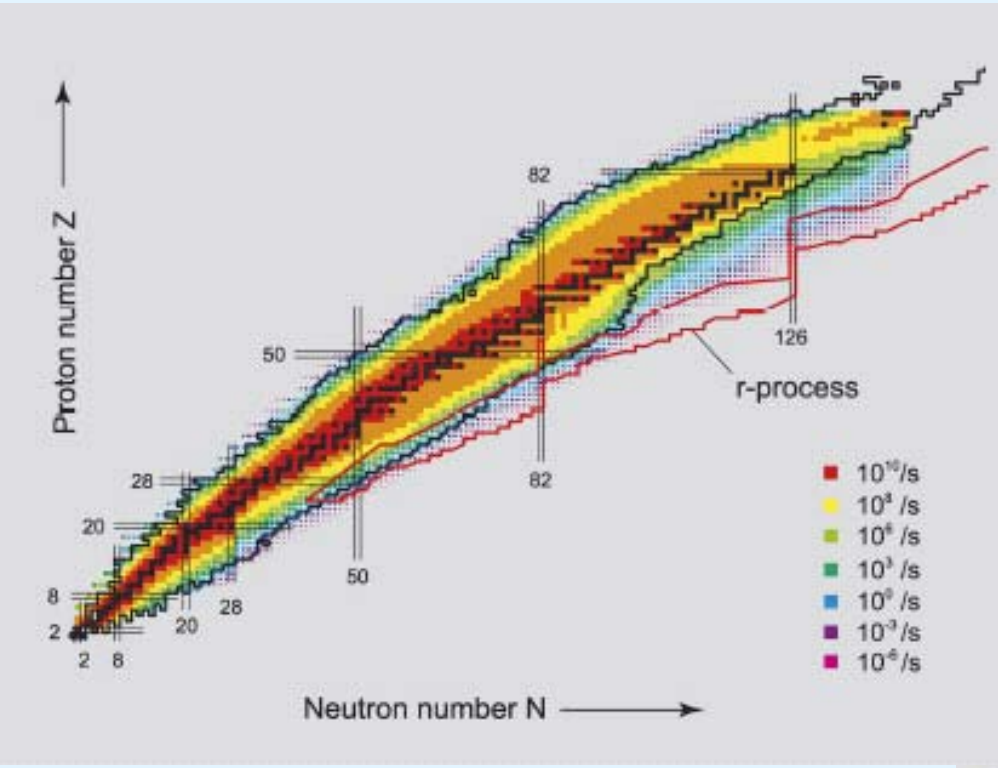
- GSI Darmstadt (Niemcy)
- GANIL Caen (Francja)
- ILL Grenoble (Francja)
- ORNL, Oak Ridge (USA)
- MSU/NSCL East Lansing (USA)
- CERN/Isolde, Genewa (Szwajcaria)
- Uniwersytet w Jyväskylä (Finlandia)

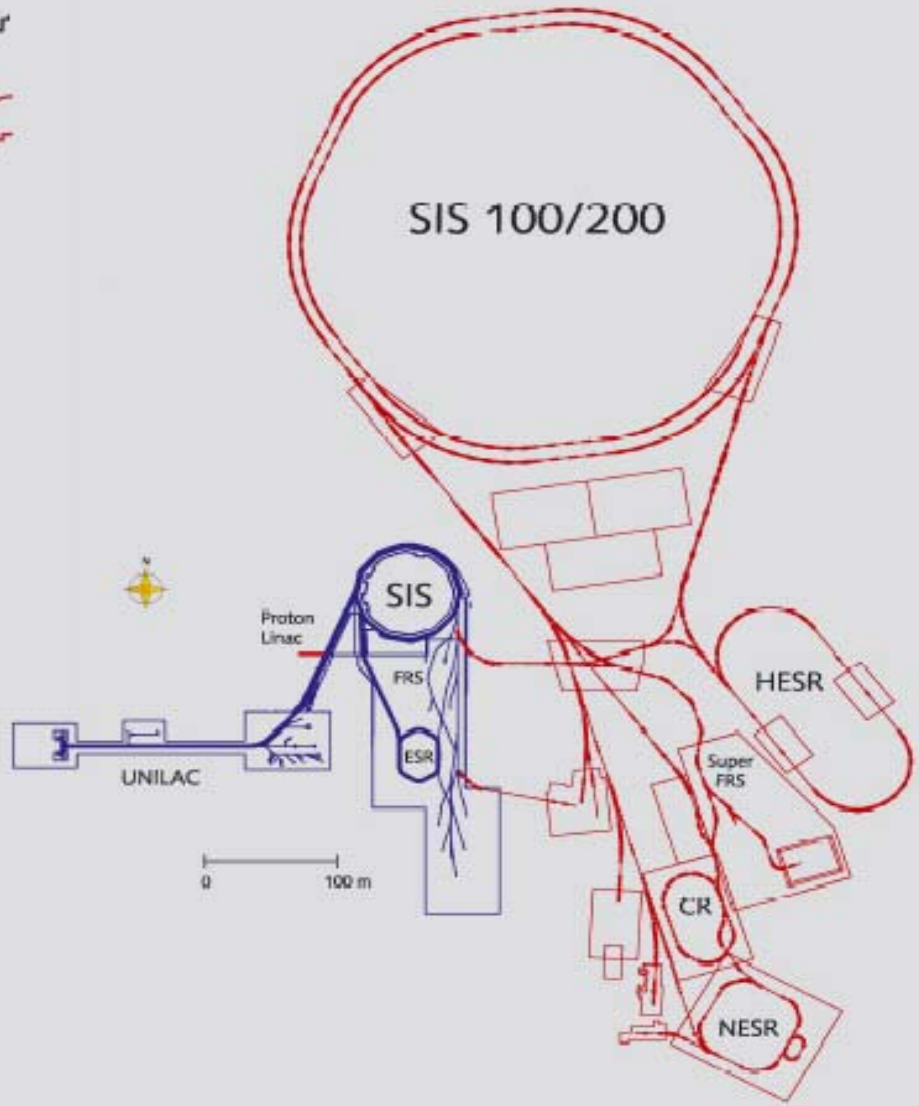
Podsumowanie (II)

Warto podkreślić:

- interdyscyplinarność – spektroskopia jądrowa korzysta z osiągnięć innych dyscyplin i ma zastosowanie w bardzo wielu dziedzinach nauki (cz. elementarne, astrofizyka, f. atomowa, f. ciała stałego, biologia, medycyna, ...)
- praca w stosunkowo małych zespołach – możliwość aktywnego udziału w projekcie na wszystkich etapach i we wszystkich aspektach.
- perspektywy naukowe – znakomite! W Europie, USA, Japonii i Chinach powstają nowe, duże ośrodki fizyki jądrowej, w których nuklidy egzotyczne będą jednym z głównych obiektów badań.

Projekt rozbudowy GSI





Koszt projektu

~ 1200 mln euro

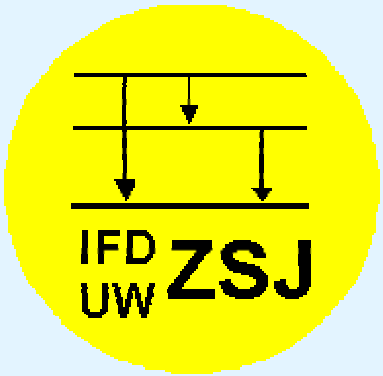
Planowana rozbudowa GSI

Projekt zatwierdzony do realizacji → http://www.gsi.de



Radioactivity - it's as easy as alpha, beta, gamma...

Zapraszamy !!!



ul. Pasteura 7

tel.: (022) 823 18 96

http://zsjlin.igf.fuw.edu.pl/

kierownik: prof. Andrzej Płochocki

plohocki@mimuw.edu.pl