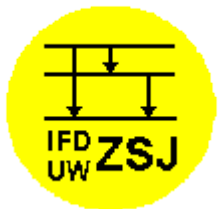


# Pułapki jonowe w spektroskopii gamma i monitorowaniu środowiska



Jan Kurpeta 2 XII 2009

# Wiązki monoizotopowe w spektroskopii jądrowej

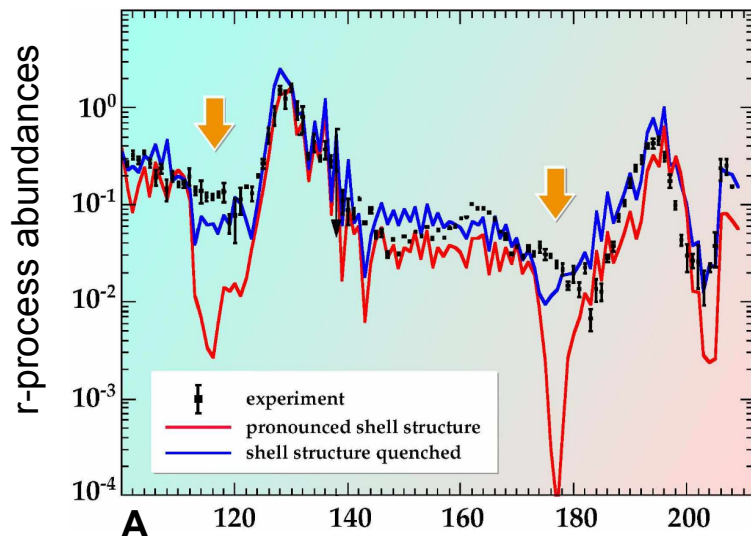
- eksperymenty - luty, październik 2008
- perspektywy rozwoju badań

Pułapki jonowe a międzynarodowy system monitorowania testów broni jądrowej

- światowa sieć detektorów Xe
- produkcja źródeł  $^{133m}\text{Xe}$  przez JYFLTRAP

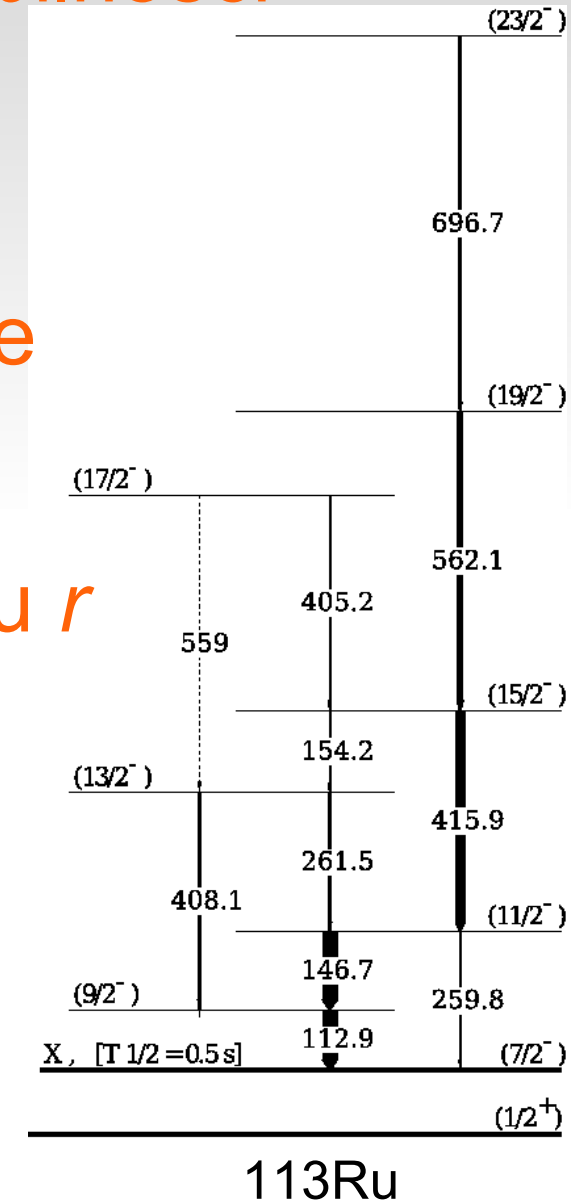
# Obszar badań

- struktura jądrowa z dala od ścieżki stabilności i zamkniętych powłok
- obszar gwałtownych zmian deformacji
- rozpad  $\beta$  i rozszczepienie spontaniczne
- rozwój i testowanie modeli jądrowych
- okolice ścieżki astrofizycznego procesu  $r$

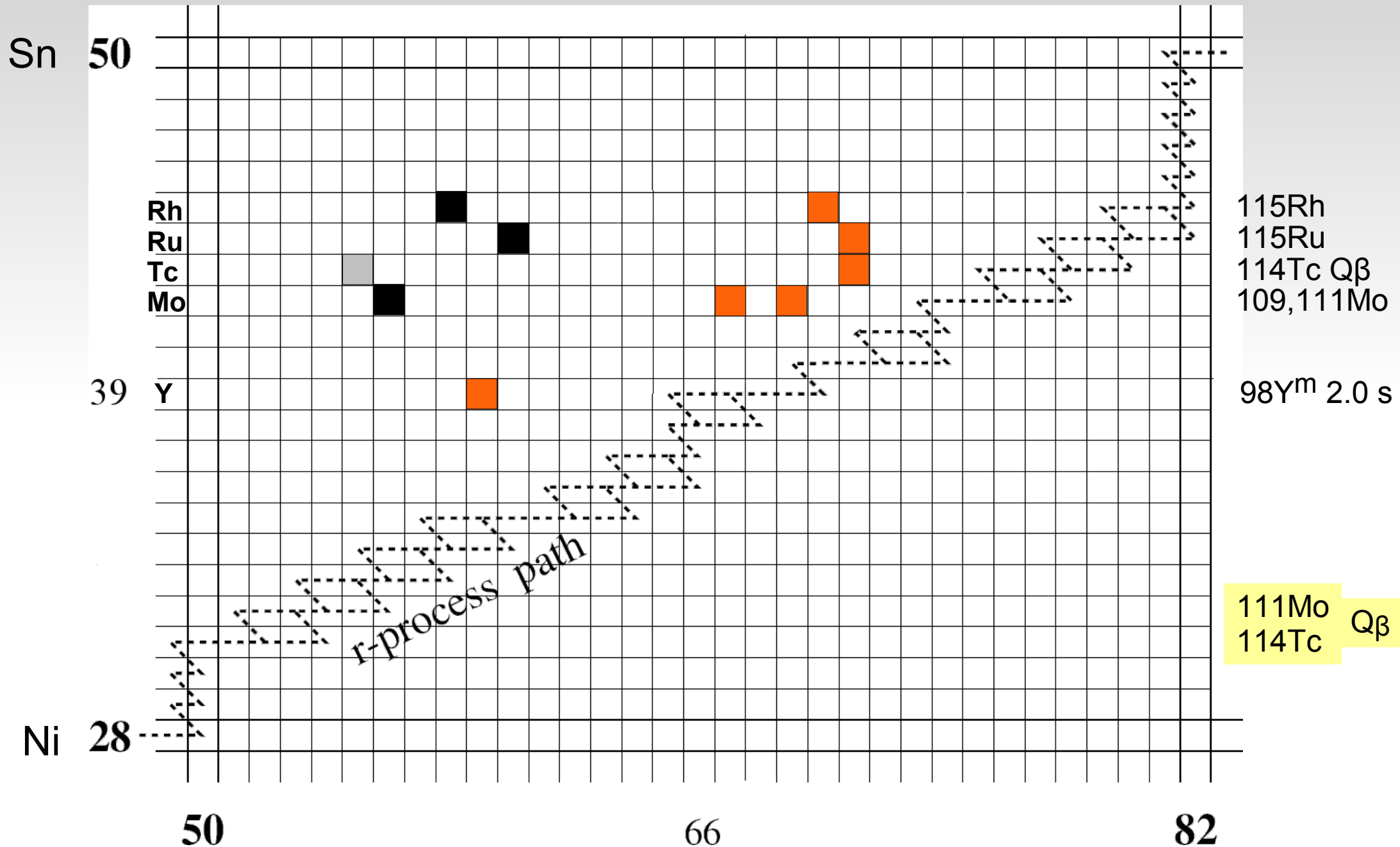


IGISOL +  
EUROGAM 2  
spin stanu  
podstawowego

$5/2^+$   $\rightarrow$   $1/2^+$

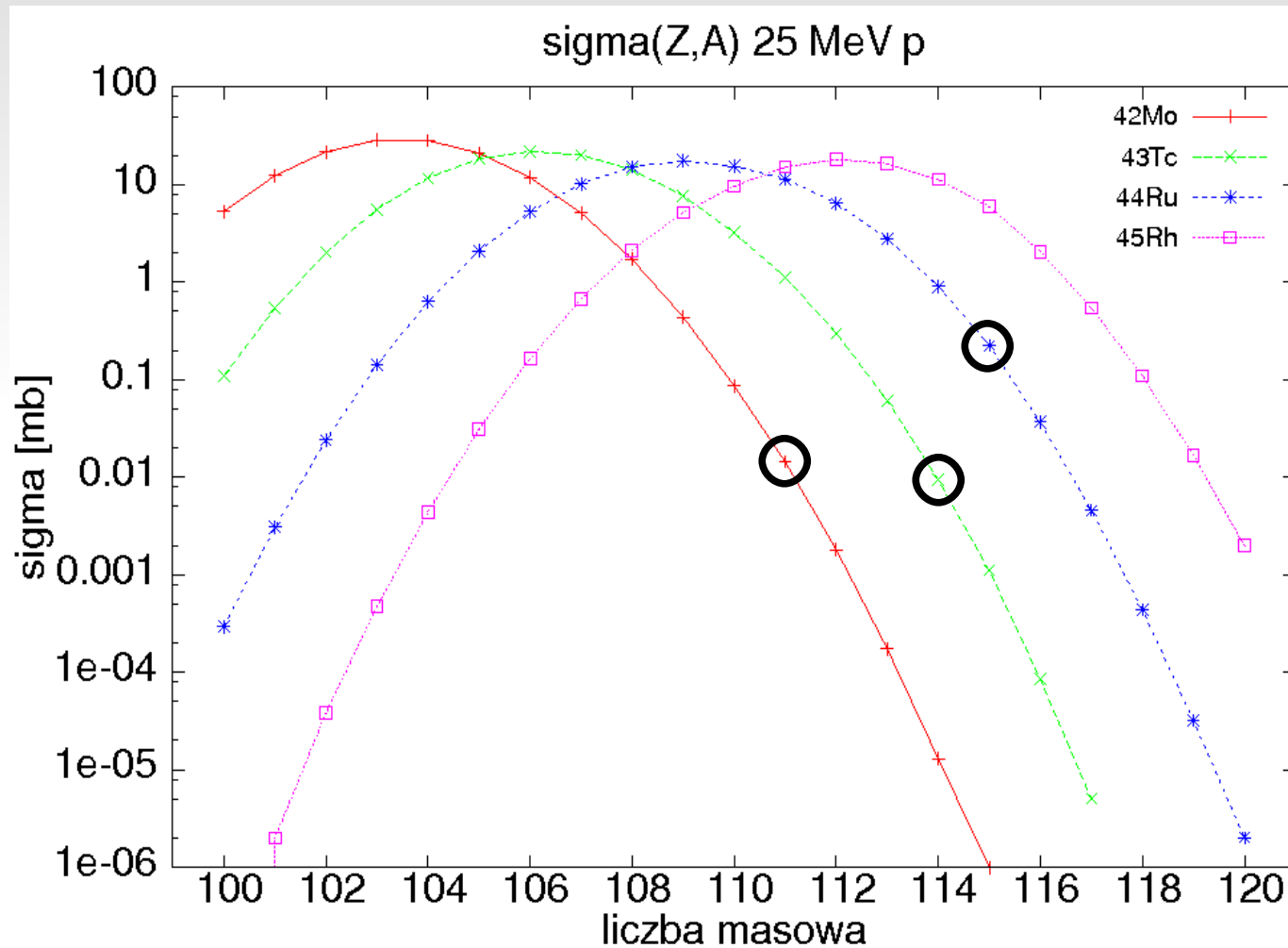


# Spektroskopia jąder $A \approx 110$





# Metoda wytwarzania



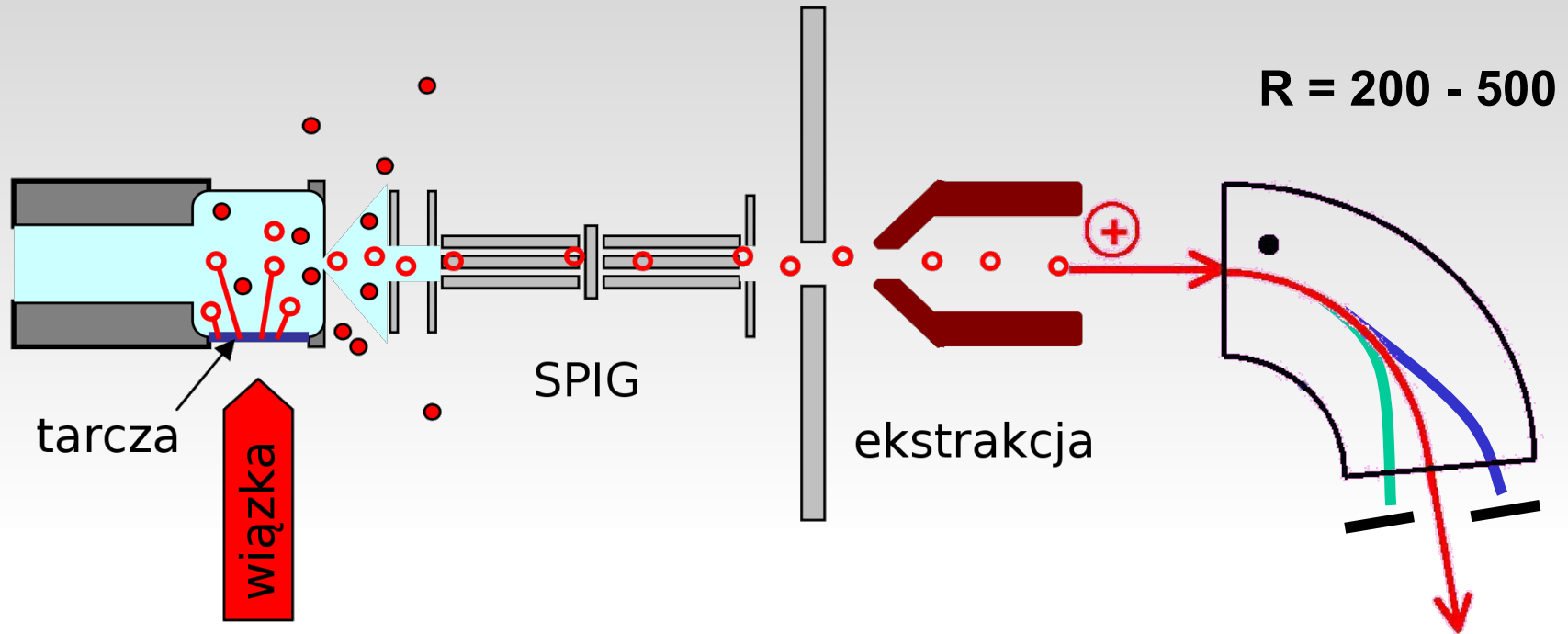
Rozszczepienie uranu indukowane protonami 20-30 MeV

Rozszczepienie indukowane deuteronami daje wzrost produkcji jąder neutrono-nadmiarowych

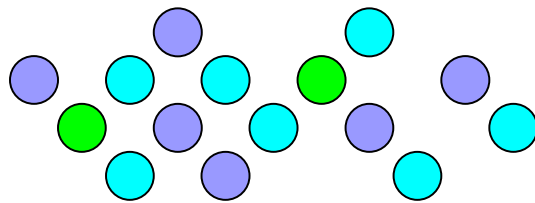
# Wiązka monoizotopowa

## IGISOL

- hamowanie w He
- szybkość ( $\sim 1$  ms)
- dostarcza jony każdego pierwiastka
- pierwiastki trudnotopliwe



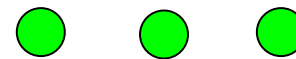
$R = 10^4 - 10^5$



wiązka izobarów



wzbudzenie kwadrupolowe



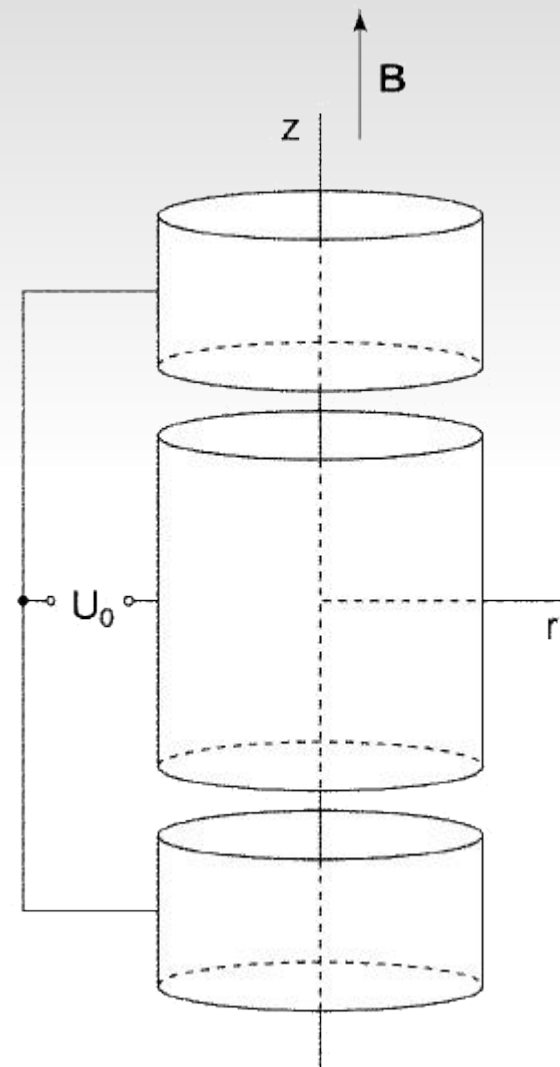
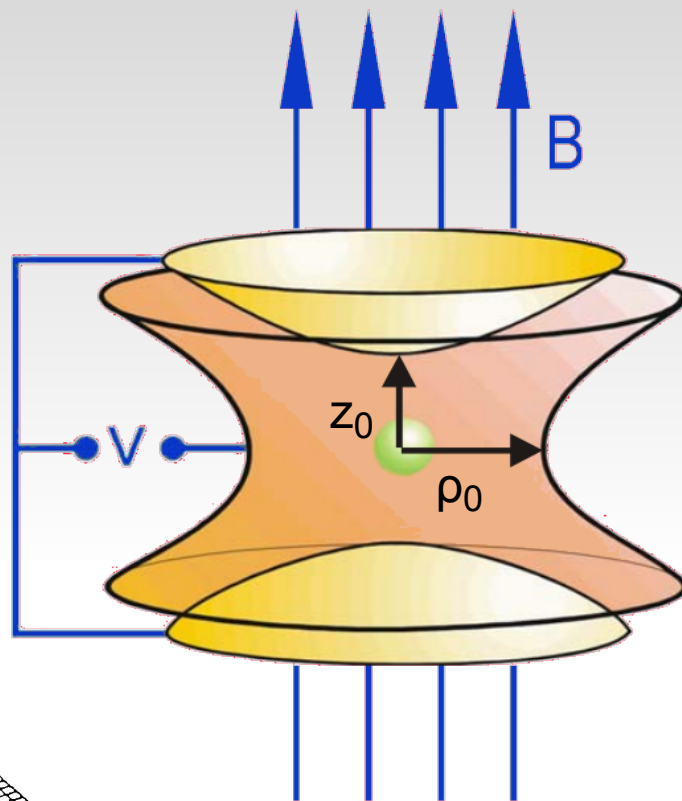
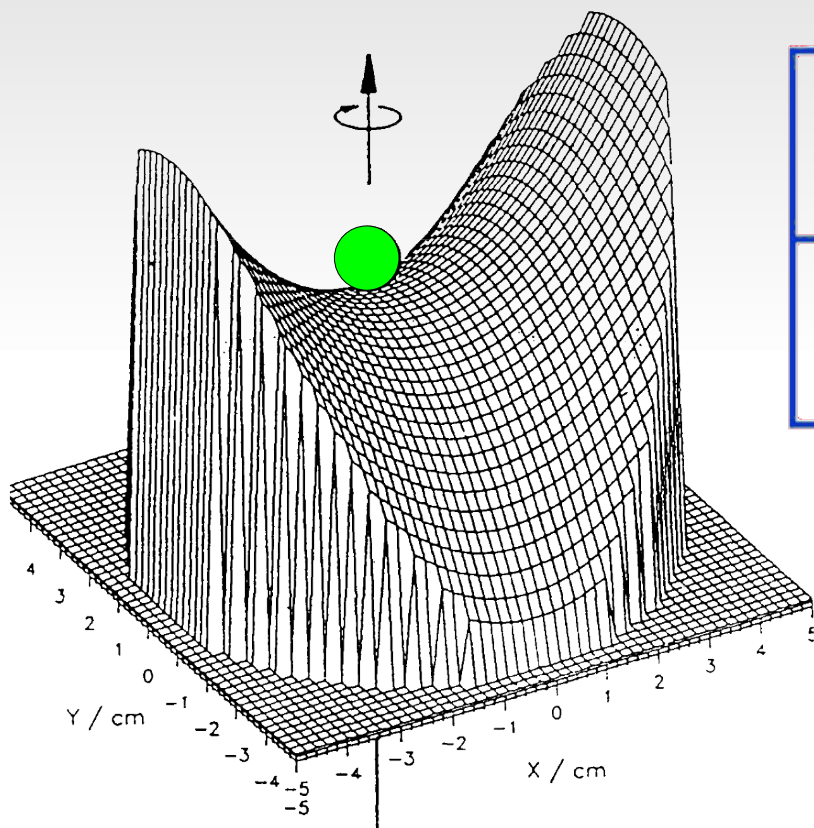
wiązka monizotopowa



koincydencje  $\beta$  i  $\gamma$

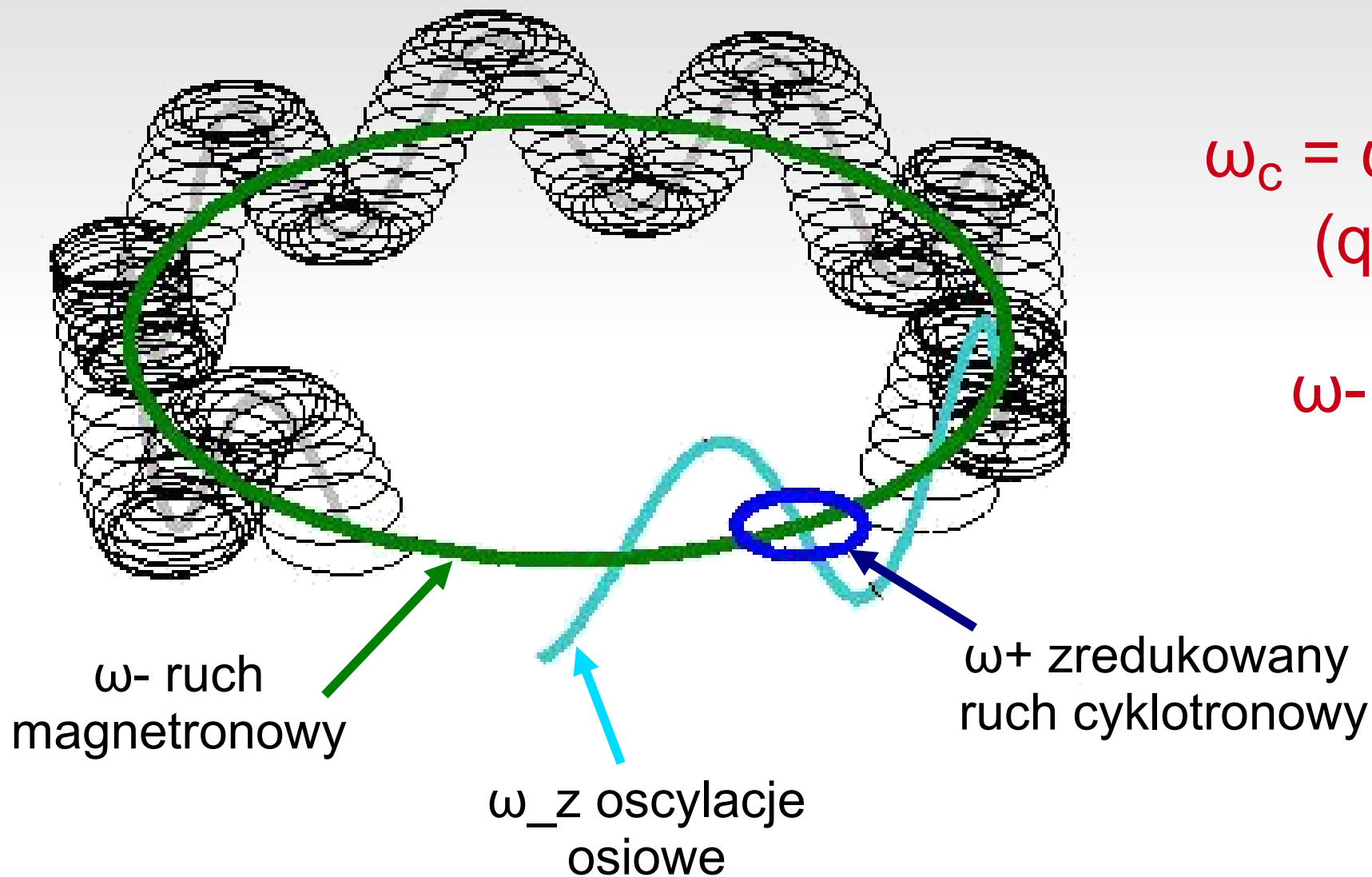
# Pułapkowanie jonów

W. Paul 1989



$$V(\rho, z) \sim 2z^2 - \rho^2$$

# Ruch jonów w pułapce

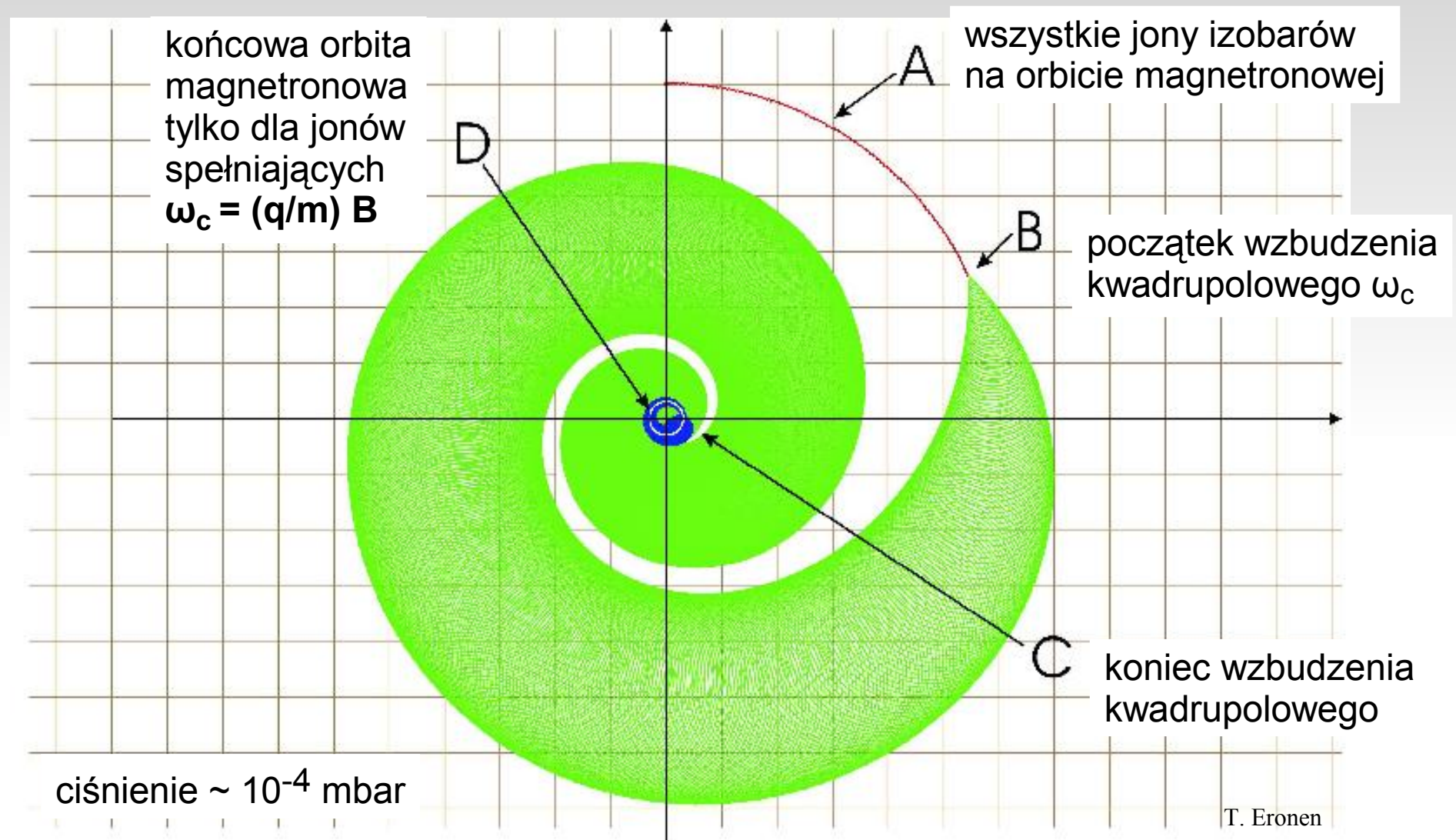


$$\omega_c = \omega^- + \omega^+ = (q/m) B$$

$$\omega^- \ll \omega^+$$

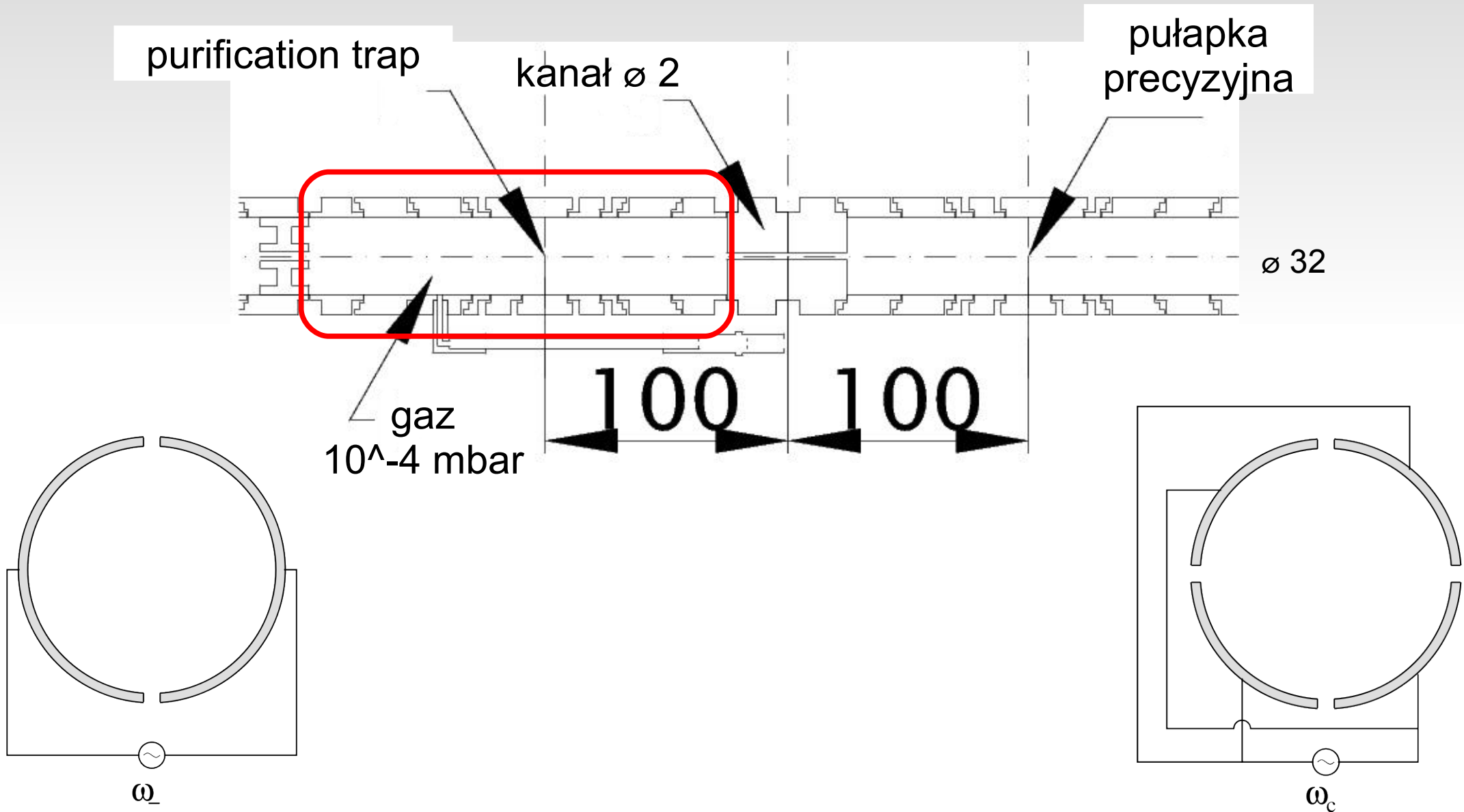


# Oddzielanie wybranych jonów

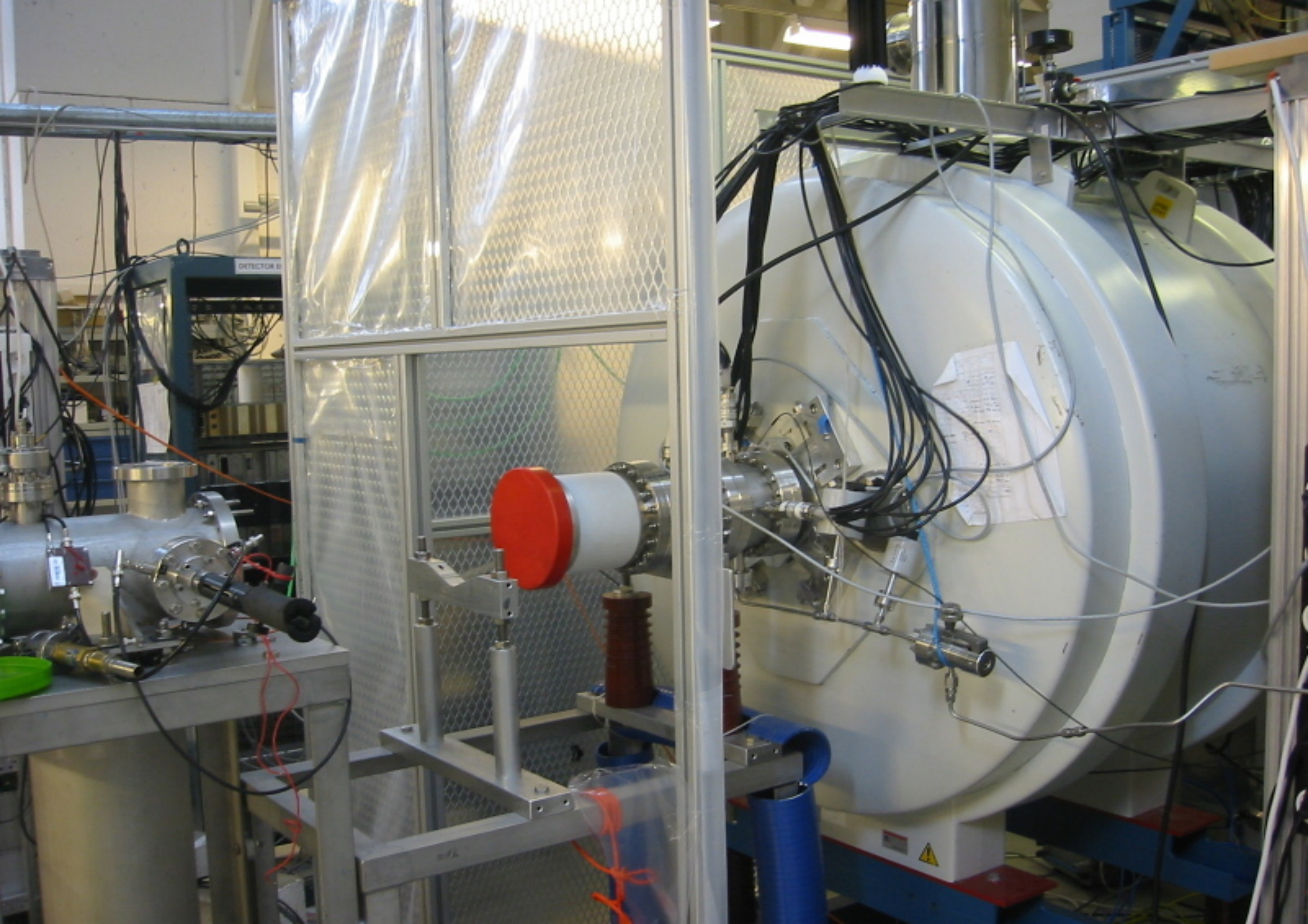


Wzbudzenie kwadрупolowe – oba ruchy radialne są wzbudzone swoją sumaryczną częstotliwością - sprzężenie ruchu magnetronowego i zredukowanego cyklotronowego

# Podwójna pułapka Penninga

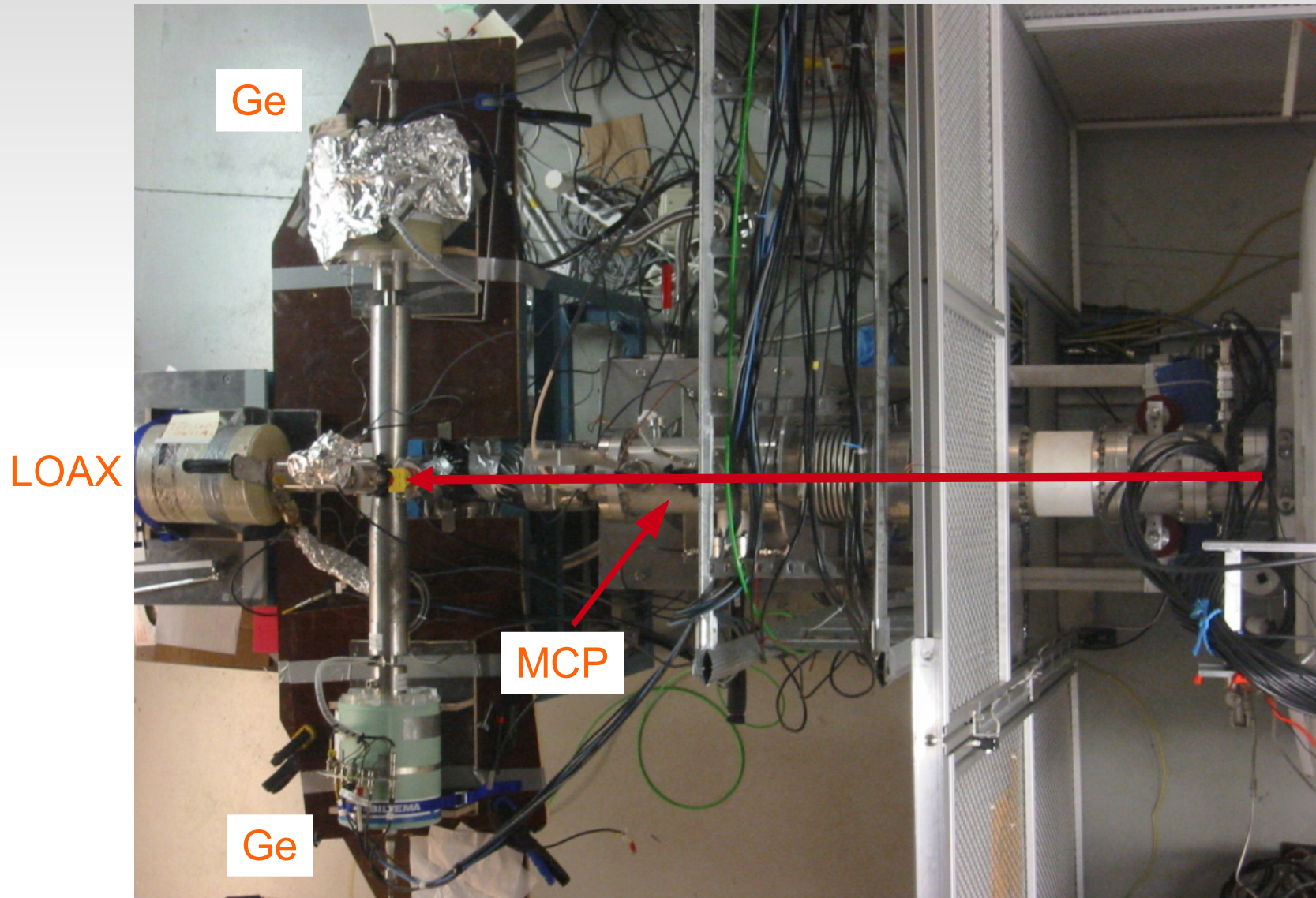






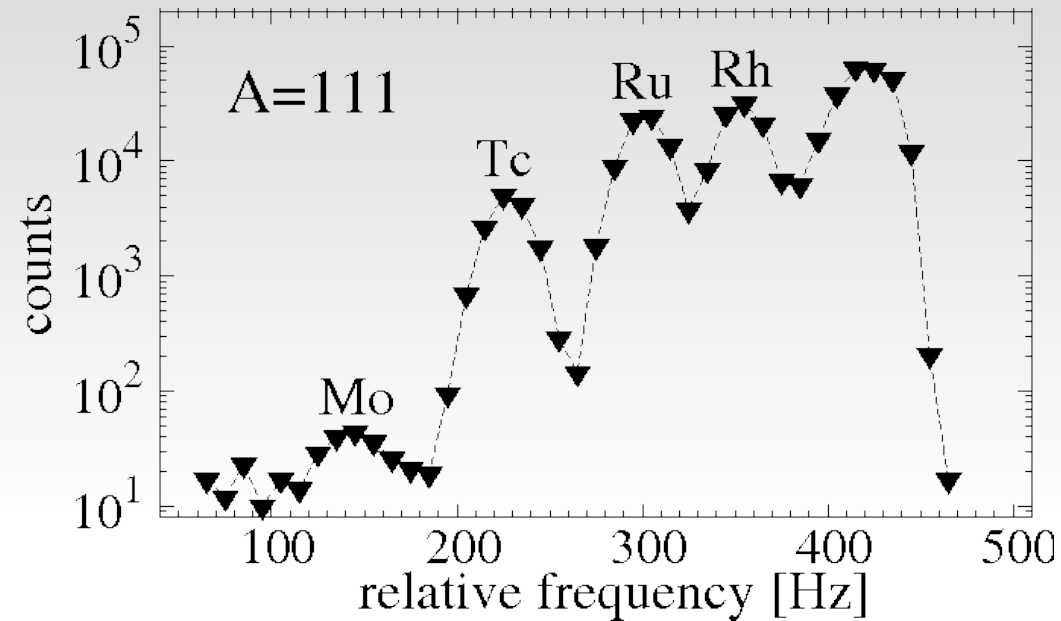
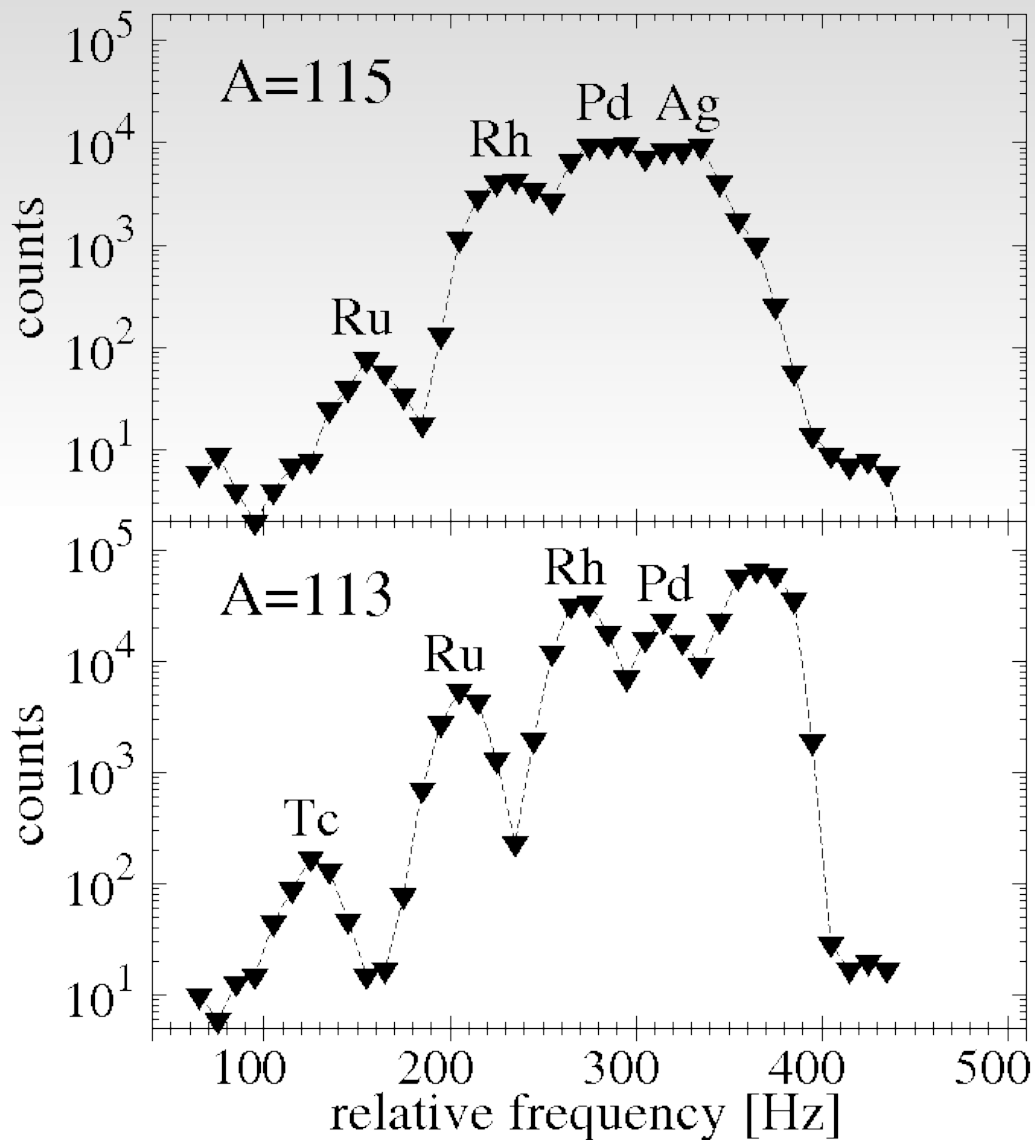


# Detektory za pułapką





# Skanowanie masowe



skanowanie elektrycznego pola kwadrupolowej pułapki w szerokim zakresie częstotliwości pokrywającym cały łańcuch izobarów

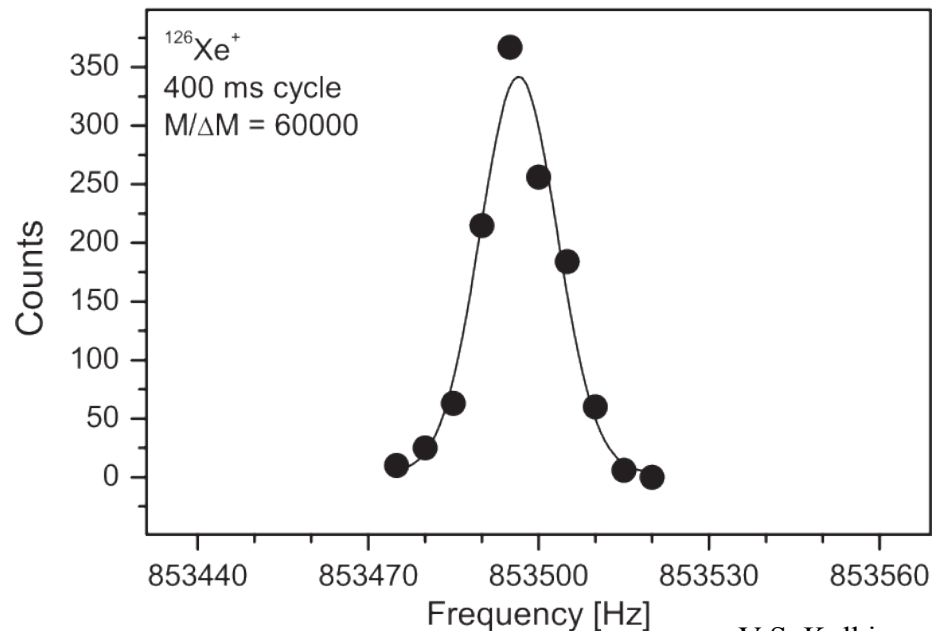
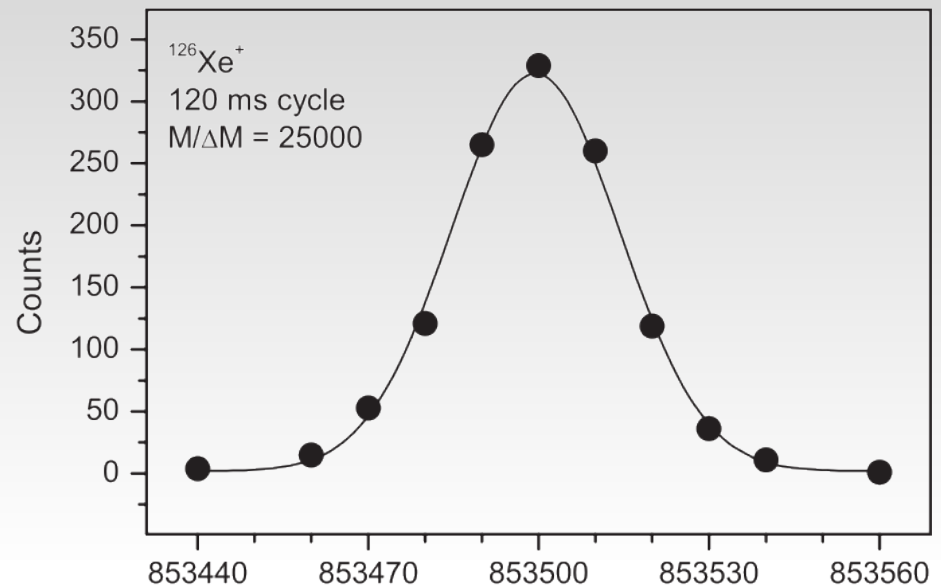
# Psujemy rozdzielczość

$$R = \frac{M}{\Delta M_{FWHM}}$$

masowa zdolność rozdzielcza  
wzrasta z:

- długością cyklu pułapkowania
- obniżaniem ciśnienia gazu

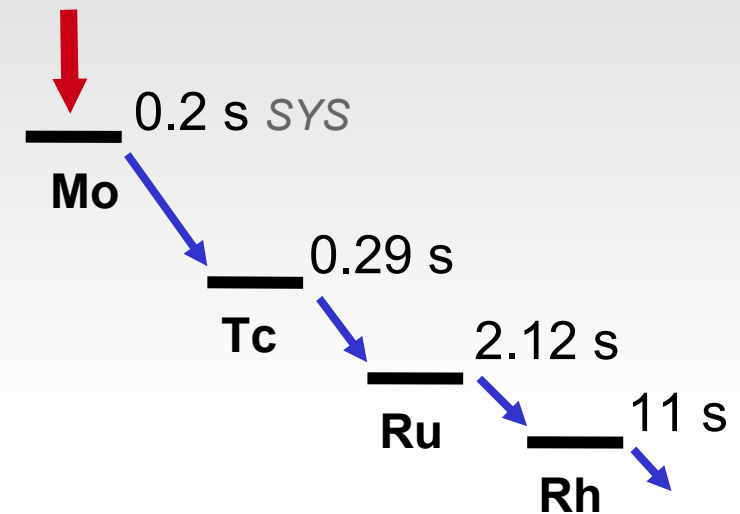
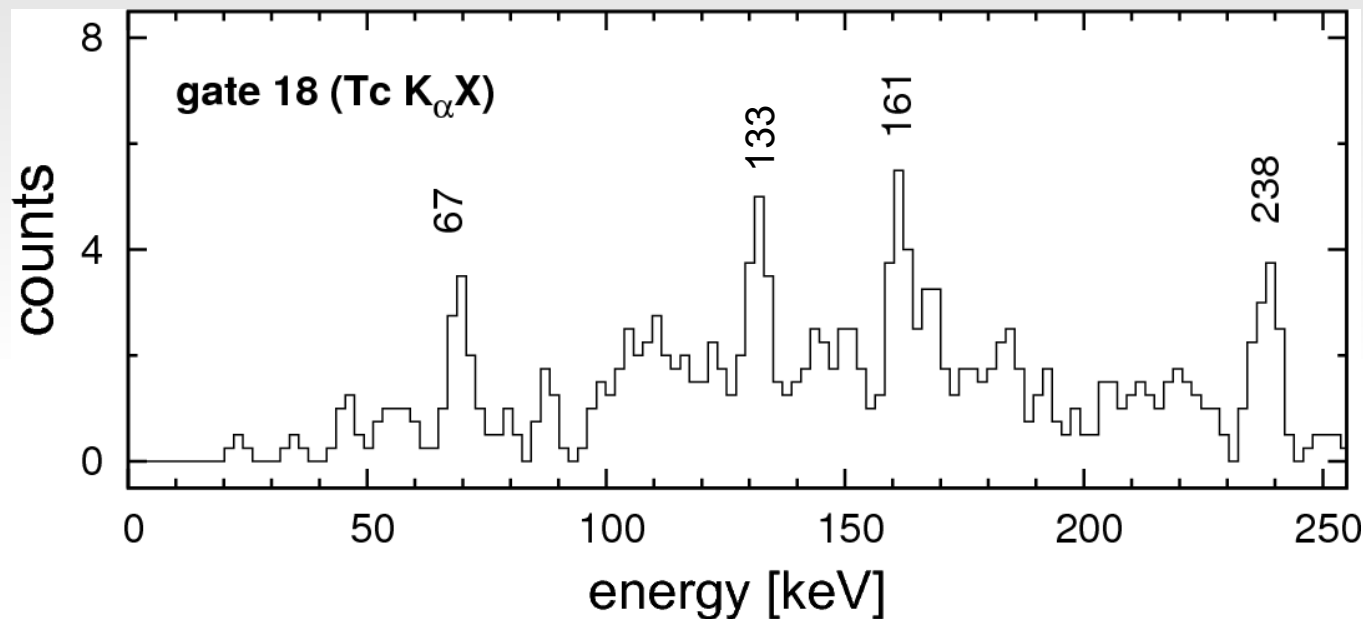
krótszy cykl pułapkowania =  
więcej jonów dla spektroskopii  
bardzo egzotycznych nuklidów



V.S. Kolhinen

# Rozpad $\beta$ $^{111}\text{Mo}$

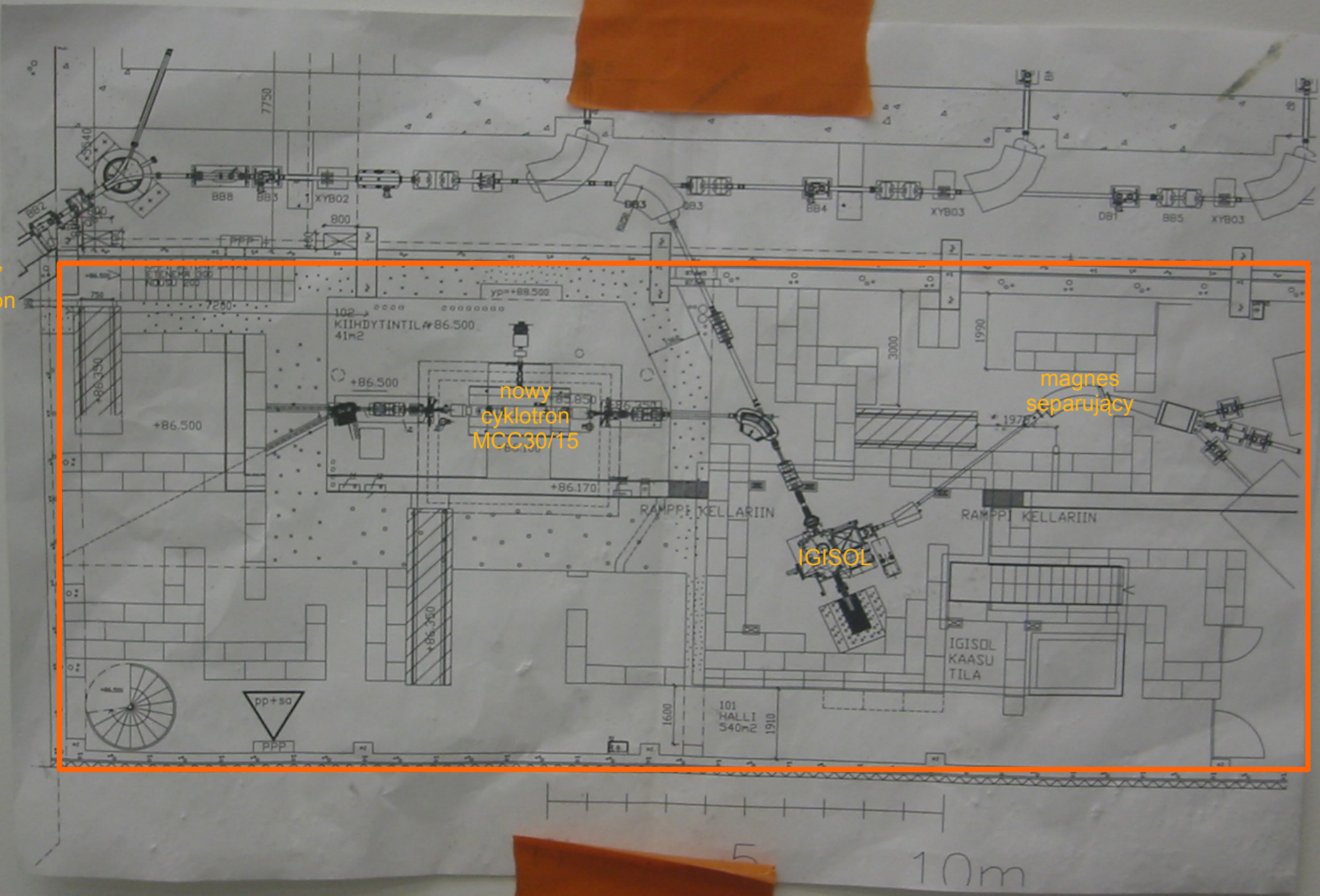
Widmo koincydencyjne dla Tc  $K_{\alpha}$  X



Dwa przejścia pokrywają się z danymi z rozszczepienia spontanicznego  
X.Y. Luo et al., Phys. Rev. C74, 024308 (2006)  $^{252}\text{Cf}$ : 67.5, 132.0 keV  
W. Urban et al., Eur. Phys. J. A 24, 161 (2005)  $^{248}\text{Cm}$ : 67.0, 131.6 keV

# Perspektywy rozwoju spektroskopii za pułapką Penninga

"stary"  
cyklotron  
K-130





28 sierpnia 2008



początek prac przy budowie hali dla nowego cyklotronu i separatora IGISOL



**September 5, 2008**

The sand close to the building was left as radiation shielding until October 6, when the light ion runs with the K130 cyclotron end. After it only heavy ion beams and very low intensity light ion beams will be accelerated until adequate radiation shielding is ready.



”Trap-assisted beta-decay spectroscopy of the very neutron-rich refractory elements.” 30 września – 6 października 2008



koniec czerwca 2009



budowa hali zakończona

Jan Kurpeta 2 XII 2009

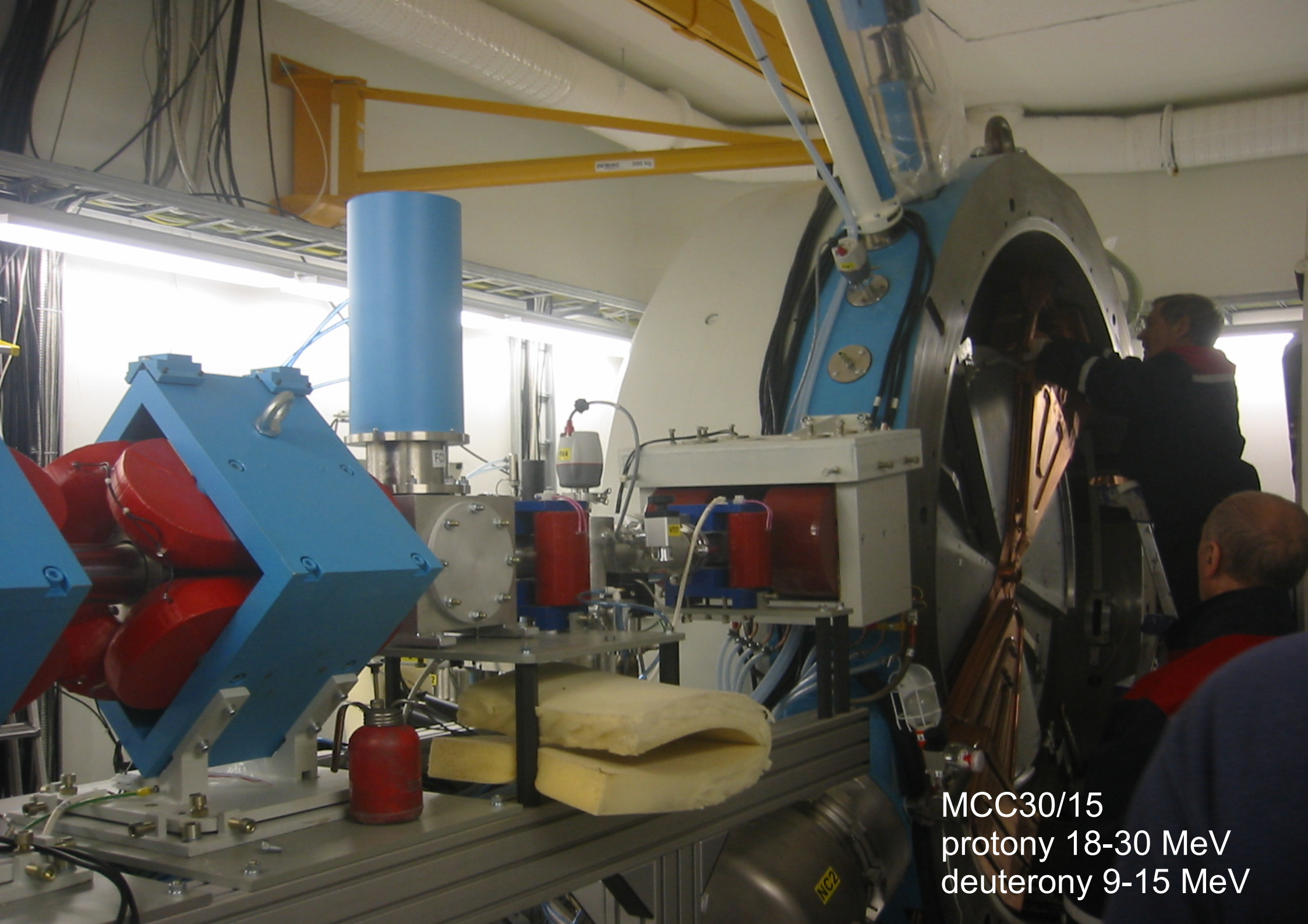


9 sierpnia 2009



opuszczanie nowego cyklotronu do przygotowanego dla niego pomieszczenia w nowej hali





MCC30/15  
protony 18-30 MeV  
deuterony 9-15 MeV





nowa hala laboratorium, do której zostanie przeniesiony separator IGISOL wraz ze współdziałającymi układami doświadczalnymi



# Rola pułapek jonowych w międzynarodowym systemie monitorowania testów broni jądrowej



# Zakaz prób jądrowych

Traktat o Całkowitym Zakazie Prób z Bronią Jądrową  
(Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty, CTBT)

[www.ctbto.org](http://www.ctbto.org)

- uchwalony 10 września 1996 roku
- zacznie obowiązywać po podpisaniu i ratyfikacji przez wszystkie 44 państwa posiadające broń jądrową lub elektrownie jądrowe
- podpisany przez 181 krajów, ratyfikowany przez 149 (Polska 24 IX 1996 / 25 V 1999)
- nie podpisały m.in.: Indie, Pakistan, Korea Północna, Syria
- nie ratyfikowały m.in.: Chiny, Irak, Iran, Izrael, USA

informacje ze strony [www.abw.gov.pl](http://www.abw.gov.pl)

# Monitorowanie prób jądrowych

## Technologie monitorowania

- \* stacje sejsmiczne (170) – eksplozje podziemne
- \* stacje hydroakustyczne (11) – eksplozje podwodne
- \* stacje infradźwiękowe (60) – głównie eksplozje w atmosferze
- \* monitorowanie radionuklidów (80/40) – wykrywanie cząsteczek radioaktywnych i gazów szlachetnych



# Monitorowanie prób jądrowych

stacje monitorujące obecność gazów szlachetnych



Monitorowanie radionuklidów to **jedyna** technologia pozwalająca stwierdzić czy wykryta eksplozja może być próbą broni jądrowej.

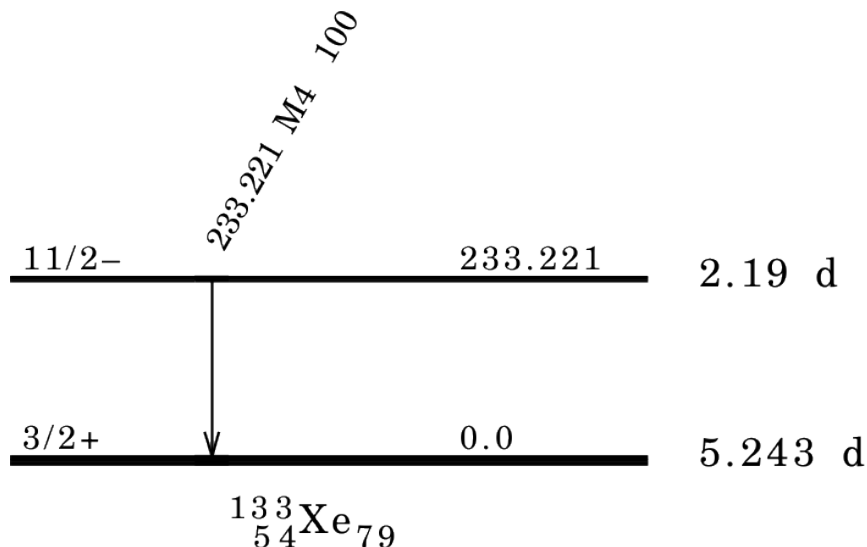
# Izotopy ksenonu

ważne dla monitorowania prób broni jądrowej

131mXe	11.84	d
133mXe	2.19	d
133 Xe	5.243	d
135 Xe	9.14	h

- duży przekrój czynny na produkcję w rozszczepieniu
- wystarczająco długi okres półrozpadu
- stosunek ilości 133mXe/133Xe pozwala określić pochodzenie próbki:

- produkcja izotopów
- reaktor jądrowy
- próba jądrowa



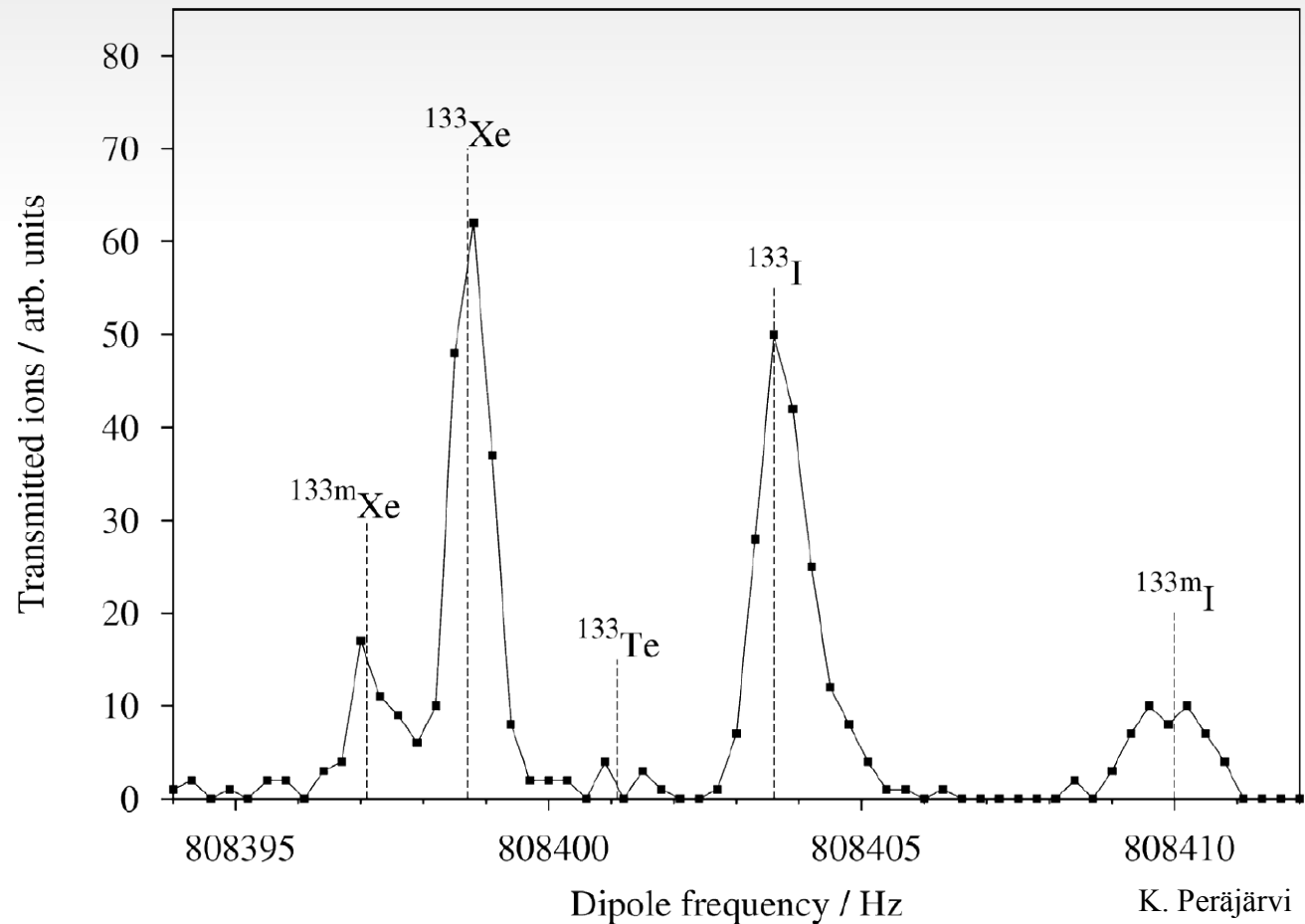
Czyste próbki 133mXe są konieczne do standaryzacji i kalibracji światowej sieci detektorów ksenonu.



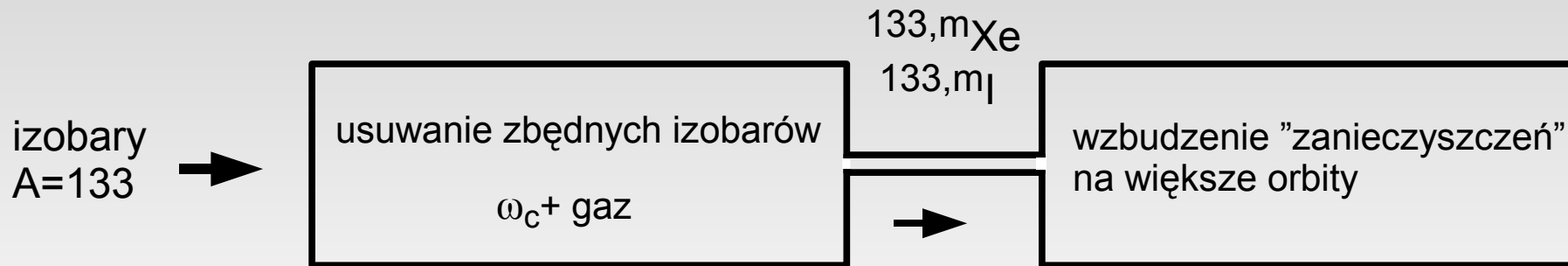
# Produkcja $^{133\text{m}}\text{Xe}$

- rozszczepienie  $\text{U}^{\text{nat}}$ . indukowane protonami
- separacja izobarów  $A=133$  metodą IGISOL
- separacja  $^{133\text{m}}\text{Xe}$  w pułapkach Penninga  $R \sim 10^6$
- implantacja jonów w cienką folię aluminiową

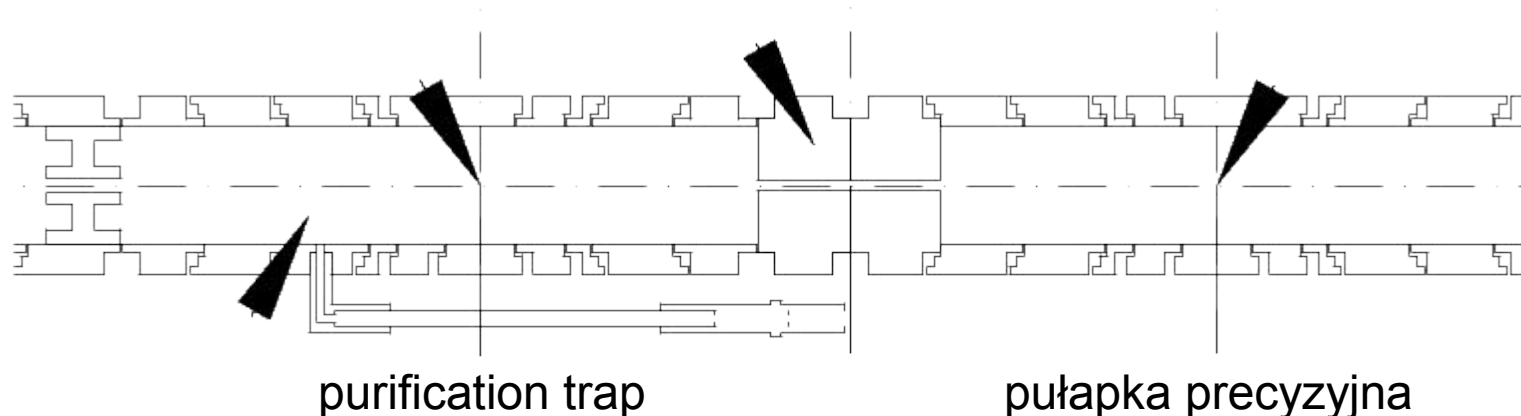
stan podstawowy i izomer  
w  $^{133}\text{Xe}$  można rozdzielić  
w pułapce precyzyjnej  
 $\Delta\nu \sim 1.7 \text{ Hz}$



# Separacja $^{133m}\text{Xe}$

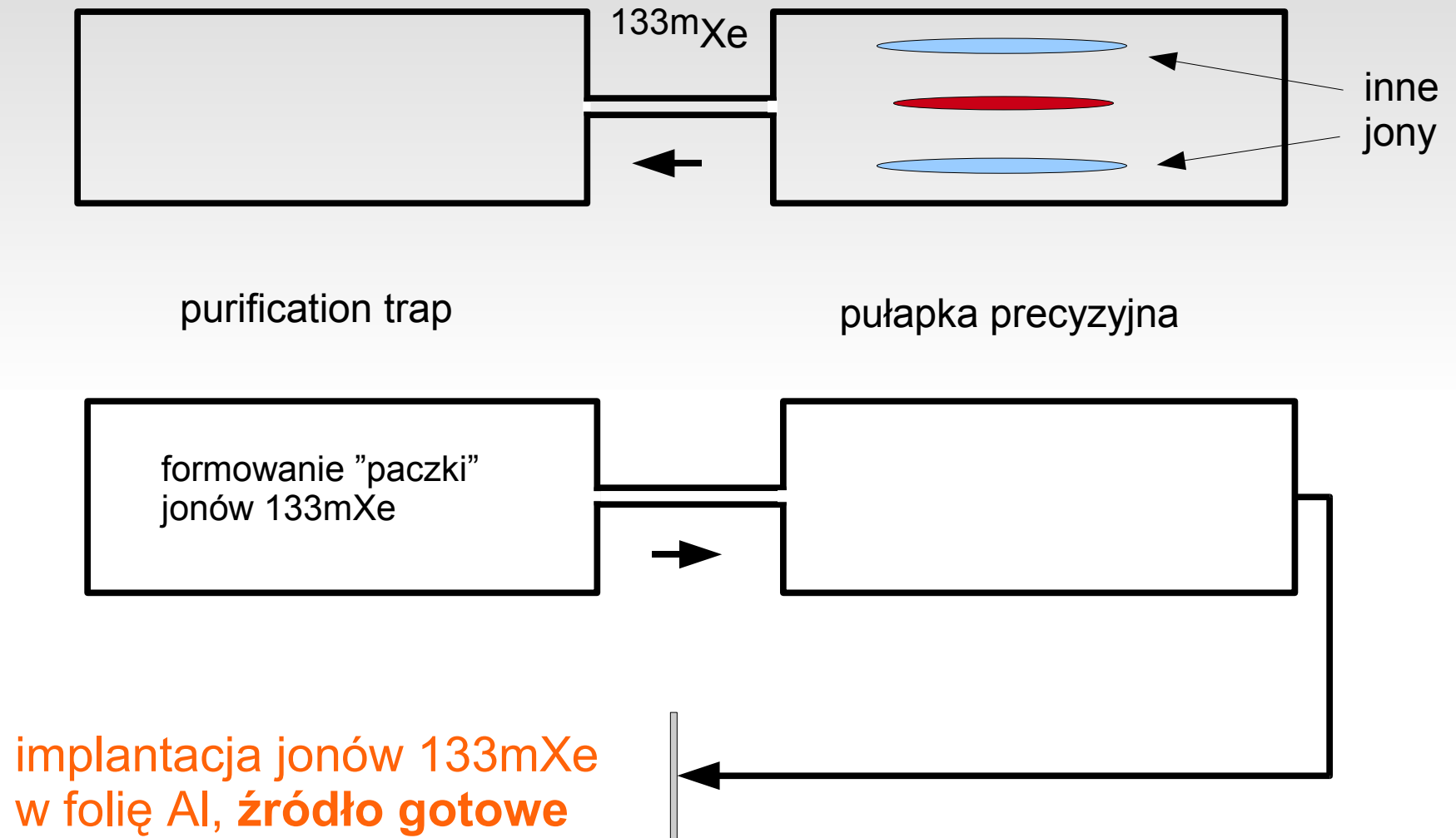


jony  $^{133m}\text{Xe}$  pozostają w centrum pułapki, wzbudzenie jest dostrojone do **niechcianych jonów** <sup>1)</sup>



1) wysoką masową zdolność rozdzielczą uzyskano dzięki metodzie rozdzielonych w czasie pól oscylacyjnych (ang. time-separated oscillatory fields)

# Separacja $^{133m}\text{Xe}$ cd.



Ksenon do potrzeb kalibracji uwalniamy podgrzewając folię Al



# Lokalizacja prób w Korei



październik 2006 – obecność izotopów Xe potwierdza próbę jądrową

maj 2009 – nie wykryto izotopów Xe charakterystycznych dla eksplozji jądrowej ?!