

„Wybrane zagadnienia spektroskopii jądrowej”  
2004

# Fragmentacja pocisków

Marek Pfützner  
823 18 96  
*pfutzner@mimuw.edu.pl*

<http://zsj.fuw.edu.pl/pfutzner>

# Plan wykładu



1. Wiązki radioaktywne i główne metody ich wytwarzania;  
podstawy metody fragmentacji.



2. Reakcja fragmentacji pocisków i jej modele.

3. Wiązka wtórna i jej własności.



4. Optyka jonowa; układy dyspersyjne i achromatyczne.  
Separator fragmentów; degrader jako element optyczny.



5. Detekcja i identyfikacja jonów.



6. Programy symulacyjne LISE i MOCADI.

7. Separatory fragmentów na świecie.



8. Przykłady eksperymentów.



9. Układy drugiej generacji.



2

## Rozdział 1

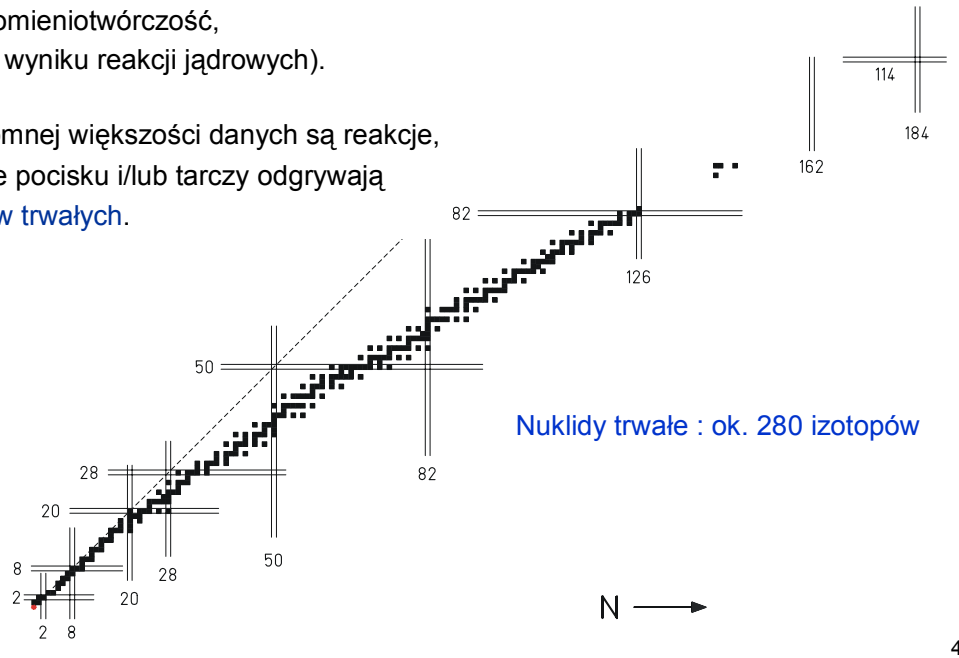
### Wiązki radioaktywne i główne metody ich wytwarzania



3

# Wstęp

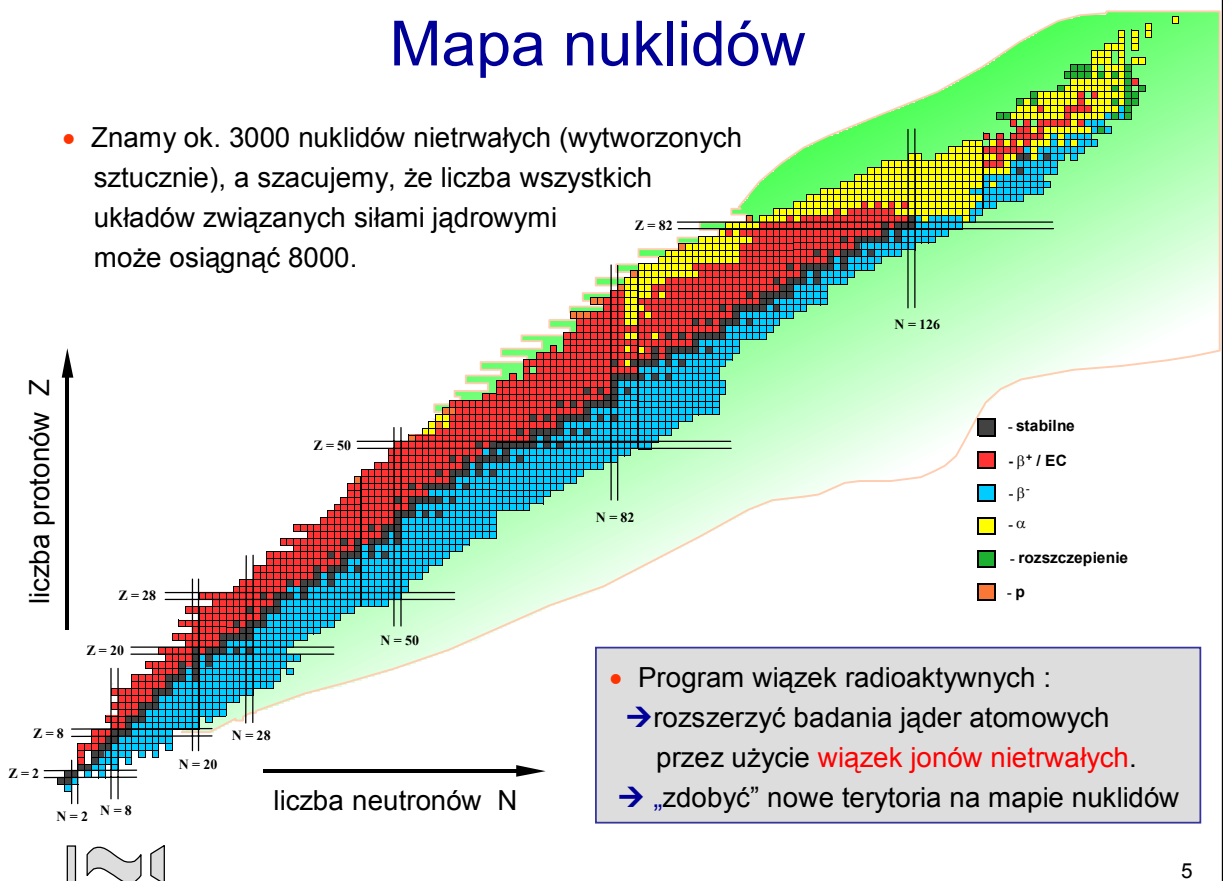
- Wiedzę o jądrach atomowych zdobywamy badając :
  - naturalną promieniotwórczość,
  - reakcje jądrowe (z udziałem jąder i/lub cząstek elementarnych),
  - sztuczną promieniotwórczość, (powstałą w wyniku reakcji jądrowych).
- Źródłem ogromnej większości danych są reakcje, w których role pocisku i/lub tarczy odgrywają **jądra nuklidów trwałych**.



4

# Mapa nuklidów

- Znamy ok. 3000 nuklidów nietrwałych (wytworzonych sztucznie), a szacujemy, że liczba wszystkich układów związanych siłami jądrowymi może osiągnąć 8000.

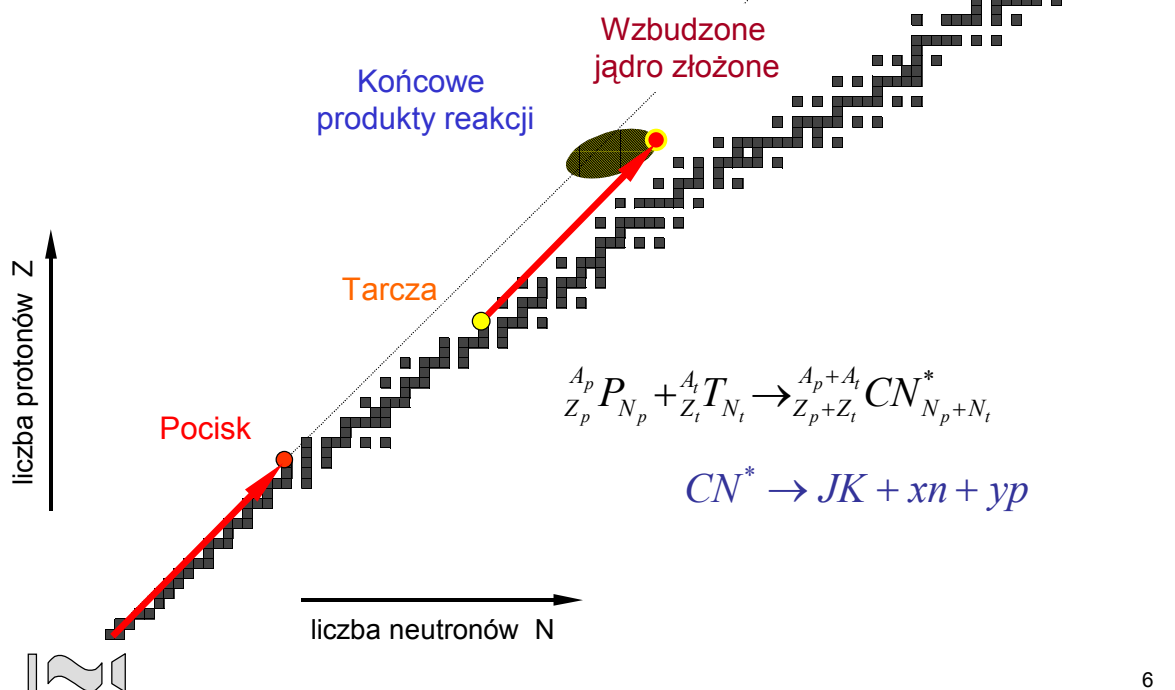


- Program wiązek radioaktywnych :
  - rozszerzyć badania jąder atomowych przez użycie **wiązek jonów nietrwałych**.
  - „zdobyć” nowe terytoria na mapie nuklidów



5

# Reakcja fuzji

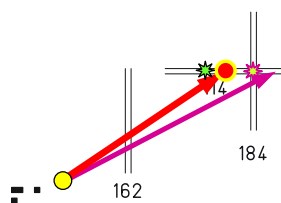
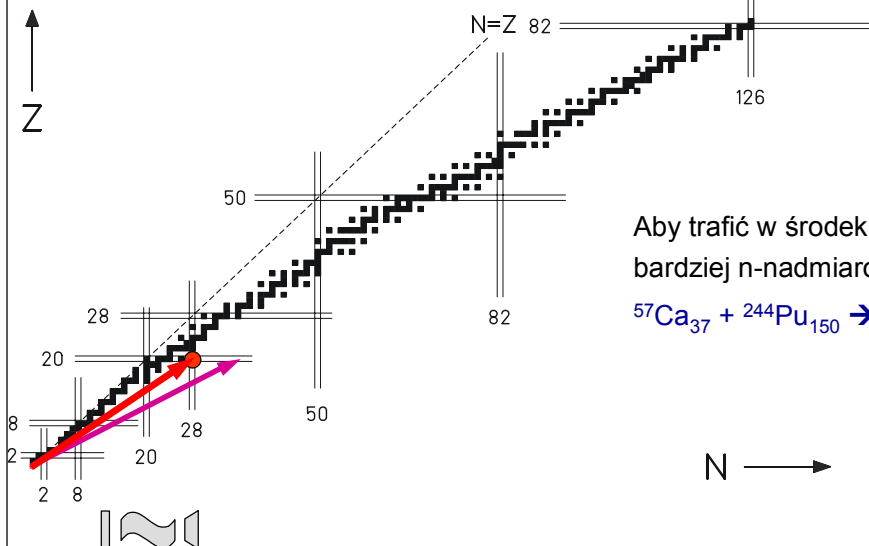


6

# Wytwarzanie pierwiastków superciężkich

W okolicy liczb Z=114 i N=184 spodziewana jest wyspa względnie długożyciowych nuklidów

Z Dubnej doniesiono o syntezie pierwiastka 114 :

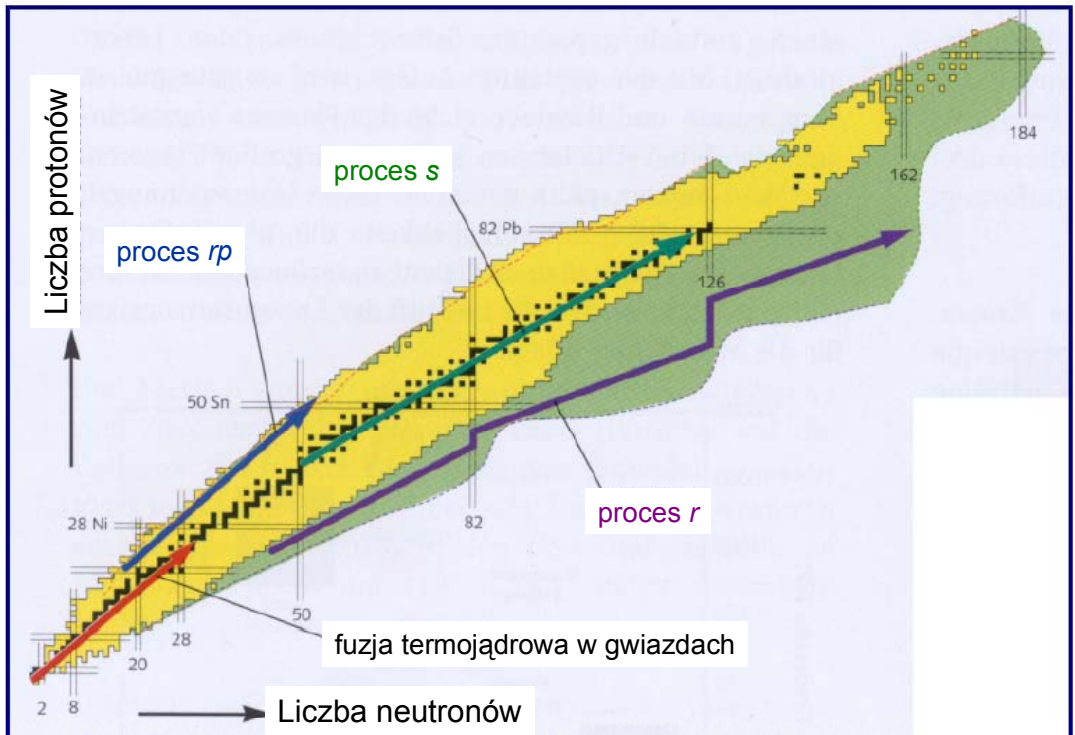


Aby trafić w środek tej wyspy trzeba użyć bardziej n-nadmiarowych pocisków ! :



7

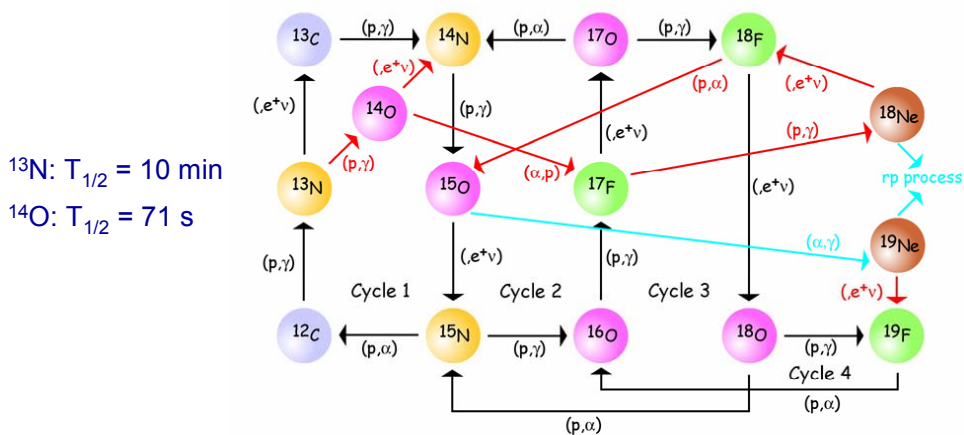
# Procesy nukleosyntezy



8

## Przykład : cykl CNO

Cykle CNO – ważne dla zrozumienia nukleosyntezy. Przejście ze zwykłego cyklu CNO do cyklu gorącego (hot CNO) wymaga zbadania reakcji  $^{13}\text{N}(p,\gamma)^{14}\text{O}$



$^{13}\text{N}$ :  $T_{1/2} = 10 \text{ min}$   
 $^{14}\text{O}$ :  $T_{1/2} = 71 \text{ s}$

CNO:  $T_9 < 0.2$     Hot CNO:  $0.2 < T_9 < 0.5$     rp process:  $T_9 > 0.5$

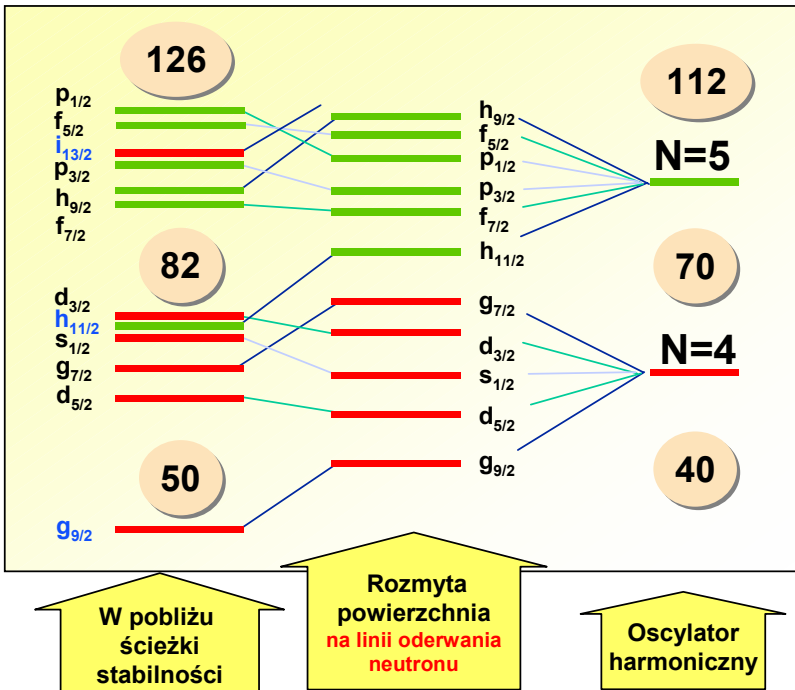
- Pomiary z wiązkami radioaktywnymi w odwrotnej kinematyce :
- a)  $^{13}\text{N} + p \rightarrow ^{14}\text{O} + \gamma$  – Louvain-la-Neuve, PRL67(1991) 808
  - b)  $^{14}\text{O} + \text{wirt. } \gamma \rightarrow ^{13}\text{N} + p$  – RIKEN, PLB 264(1991)259



9

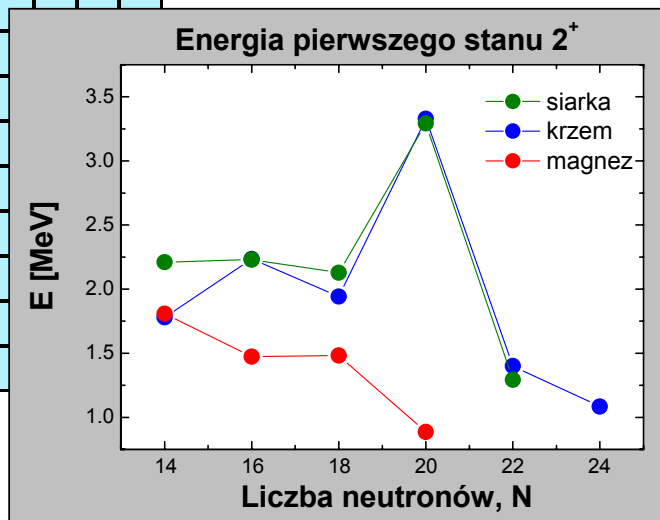
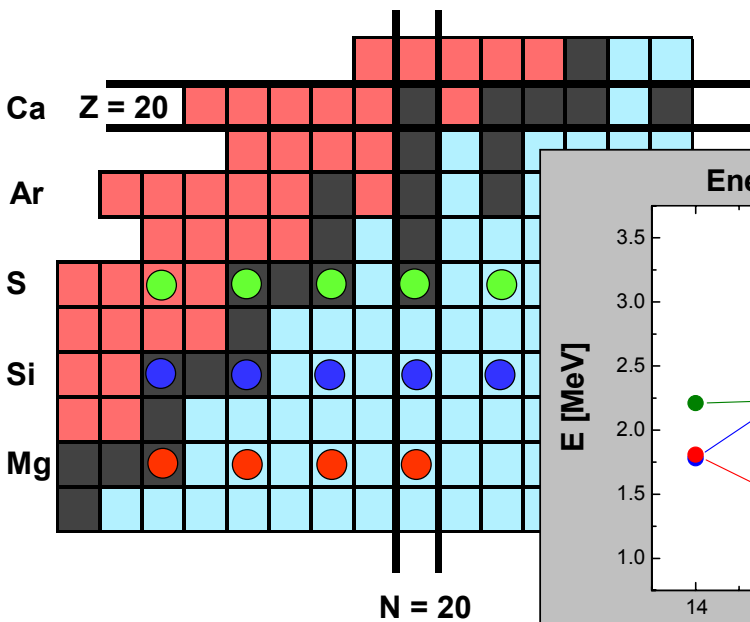
# Struktura jądrowa

Przewidywania teoretyczne : Dobaczewski i in., 1996



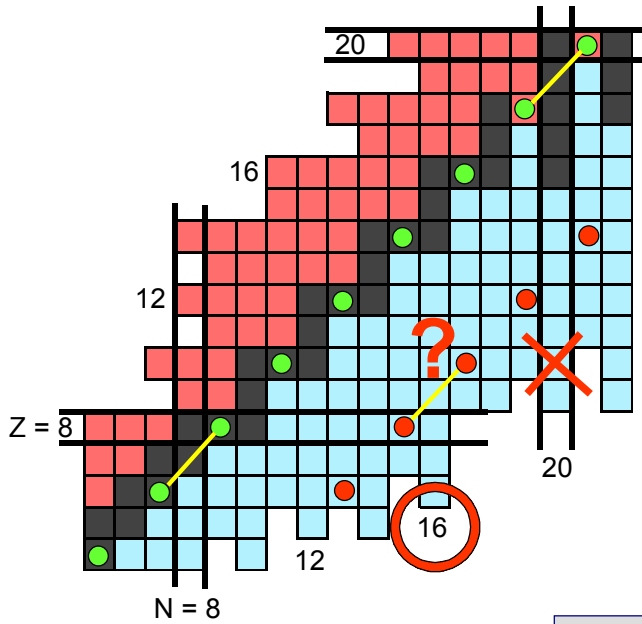
10

# Liczby magiczne

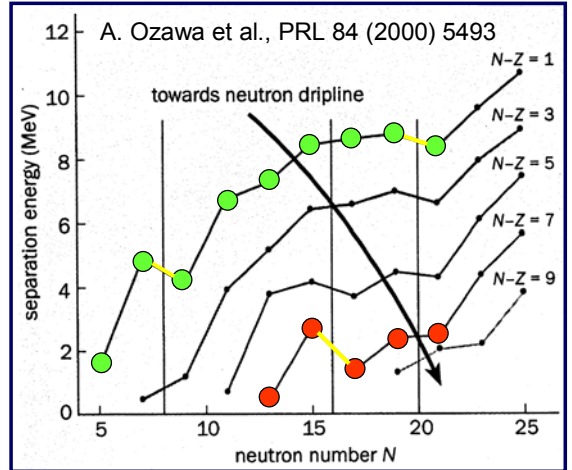


11

# Liczby magiczne (2)



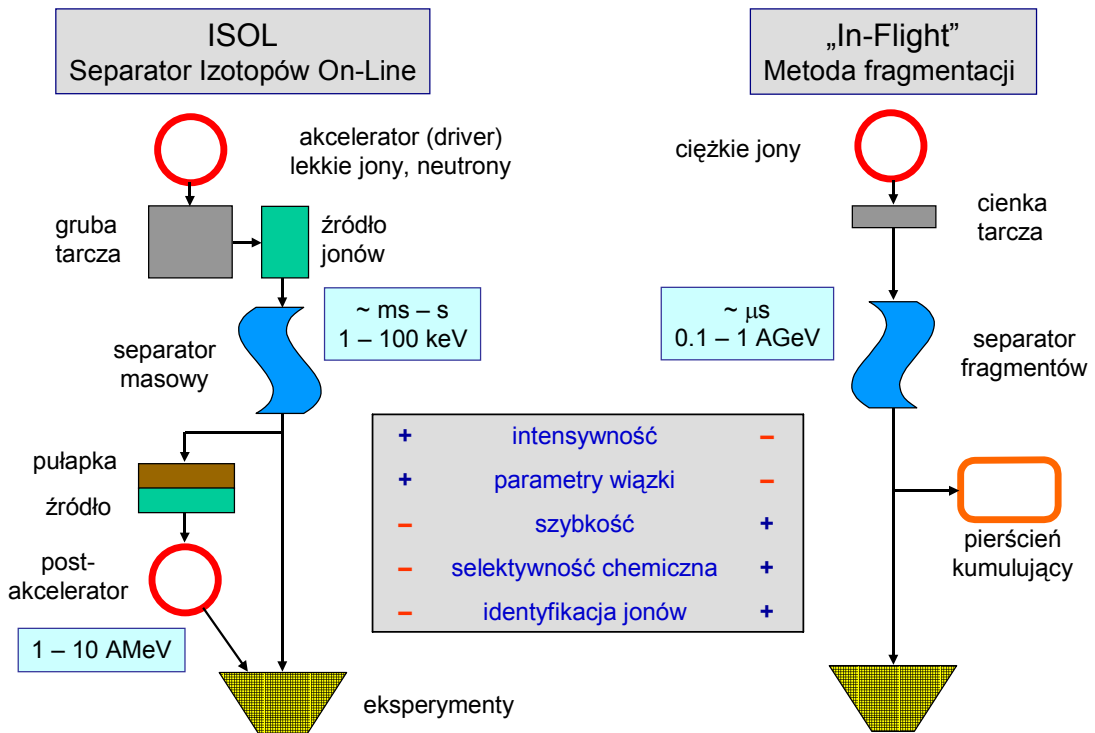
Energia separacji neutronu  $S_n$  skokowo zmniejsza się, gdy liczba neutronów  $N$  przekracza liczbę magiczną



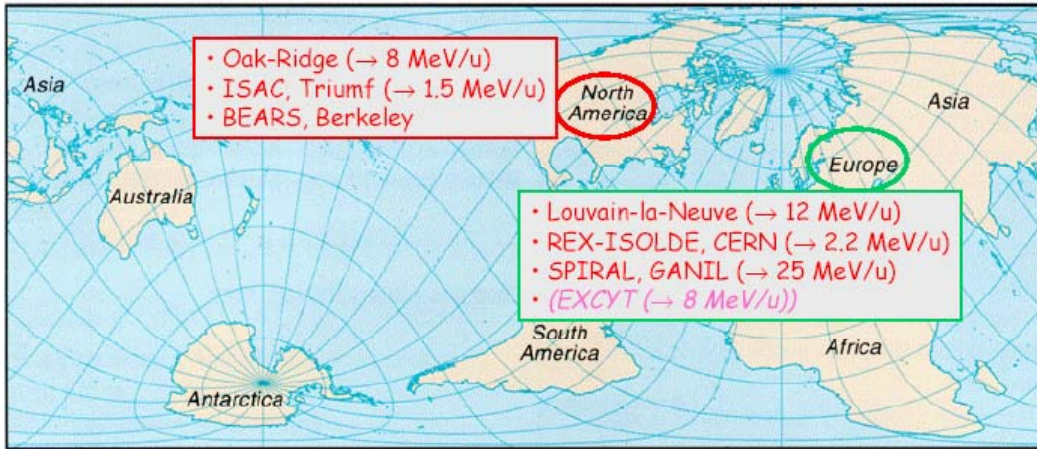
→ Potrzebne : pomiary mas i innych własności nuklidów na skraju mapy



# Wiązki radioaktywne: dwie metody



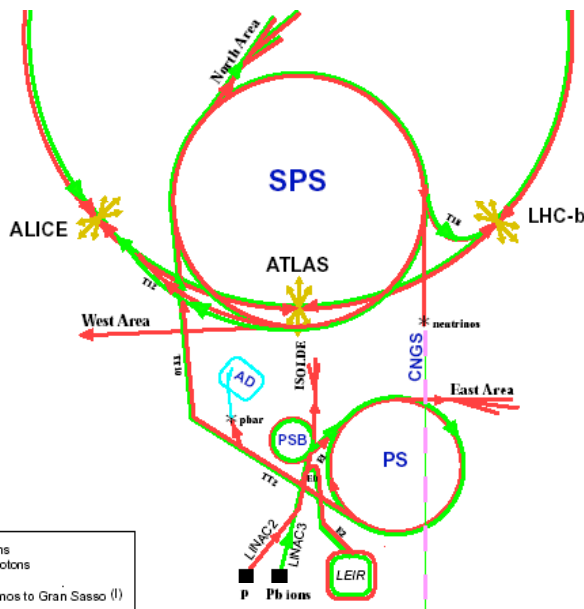
# Układy typu ISOL na świecie



## Przykład 1 : ISOLDE w CERN

Układ akceleratorów w CERN pod Genewą na granicy FR-CH

Do produkcji nuklidów w układzie ISOLDE wykorzystuje się wiązkę protonów o energii do 1.4 GeV i intensywności do 2  $\mu$ A z synchrotronu PSB



LHC: Large Hadron Collider  
 SPS: Super Proton Synchrotron  
 AD: Antiproton Decelerator  
 ISOLDE: Isotope Separator OnLine DEvice  
 PSB: Proton Synchrotron Booster  
 PS: Proton Synchrotron

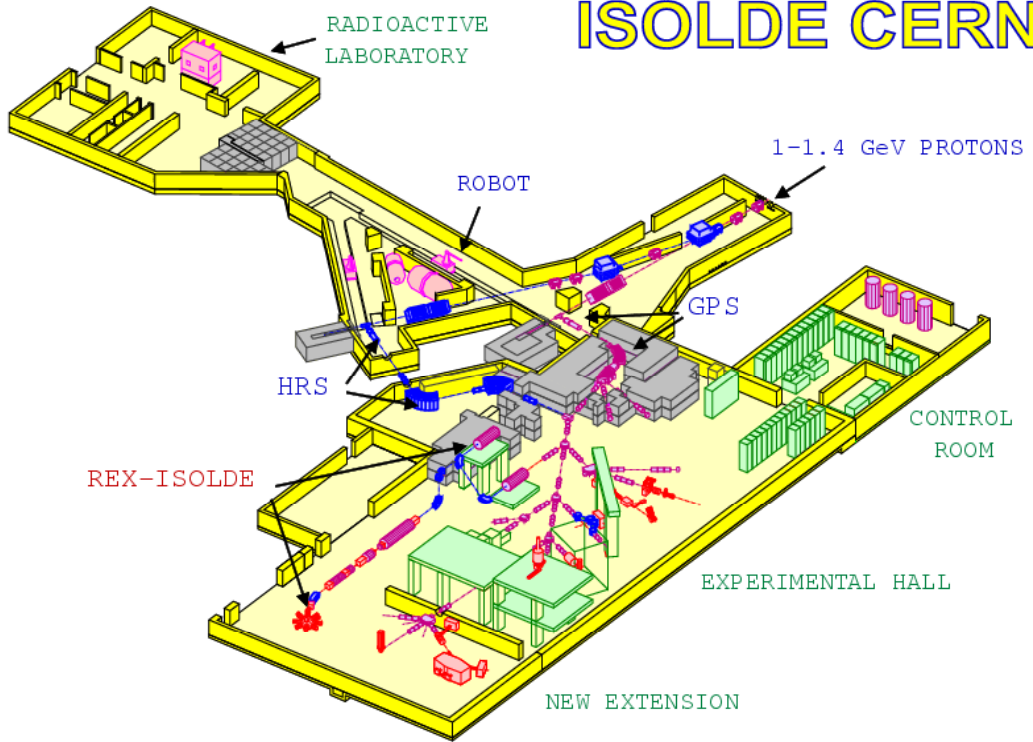
→ <http://isolde.web.cern.ch/ISOLDE/>



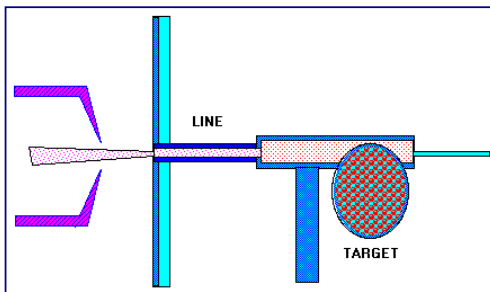


# Plan ogólny

# ISOLDE CERN



# Tarcza, źródło jonów i separator

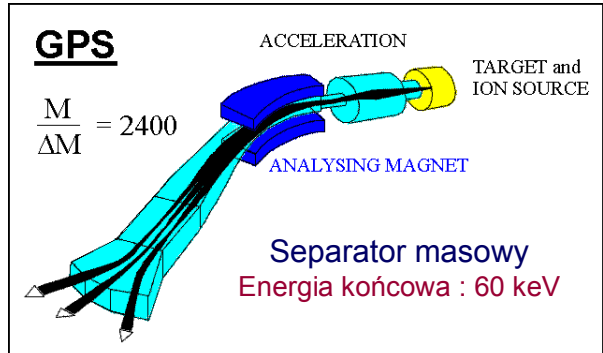


H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Rn	
Fr	Ra	Ac																
			LANTHANIDES															
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			ACTINIDES															
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

selektywność chemiczna !

Przykładowe źródło jonów, tzw. powierzchniowe. Jonizacja produktów zachodzi w przewodzie („LINE”) pod wpływem wysokiej temperatury (do 2400 °C)

Uzyskuje się wiązki ponad 600 izotopów 68 pierwiastków o czasach życia > 1ms

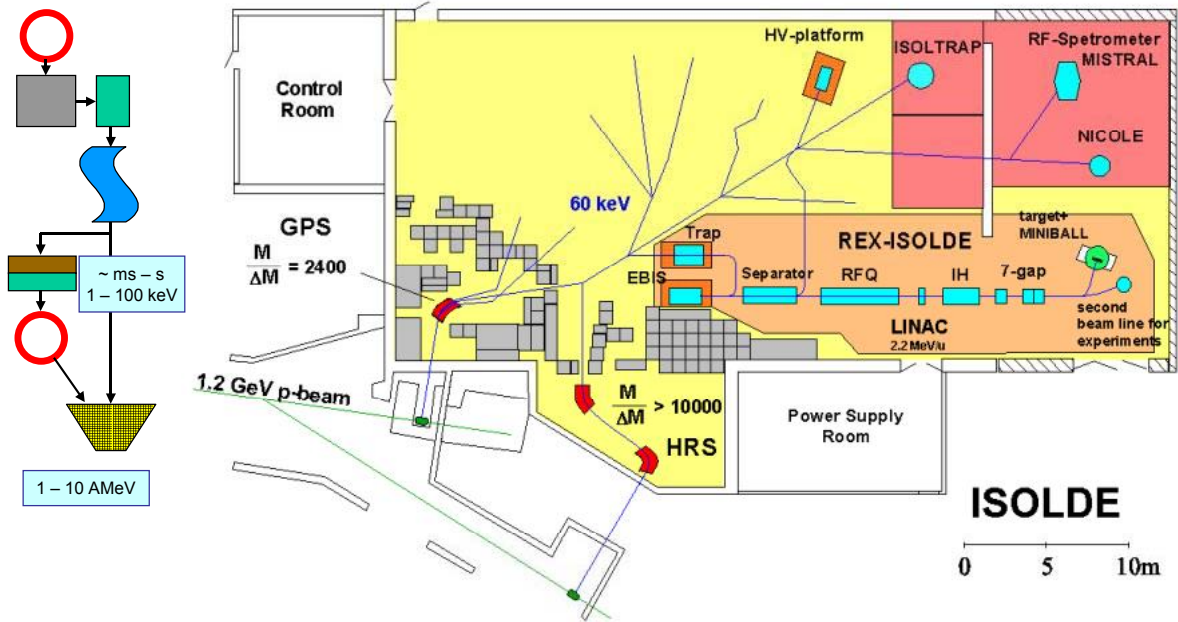


**GPS**

$$\frac{M}{\Delta M} = 2400$$



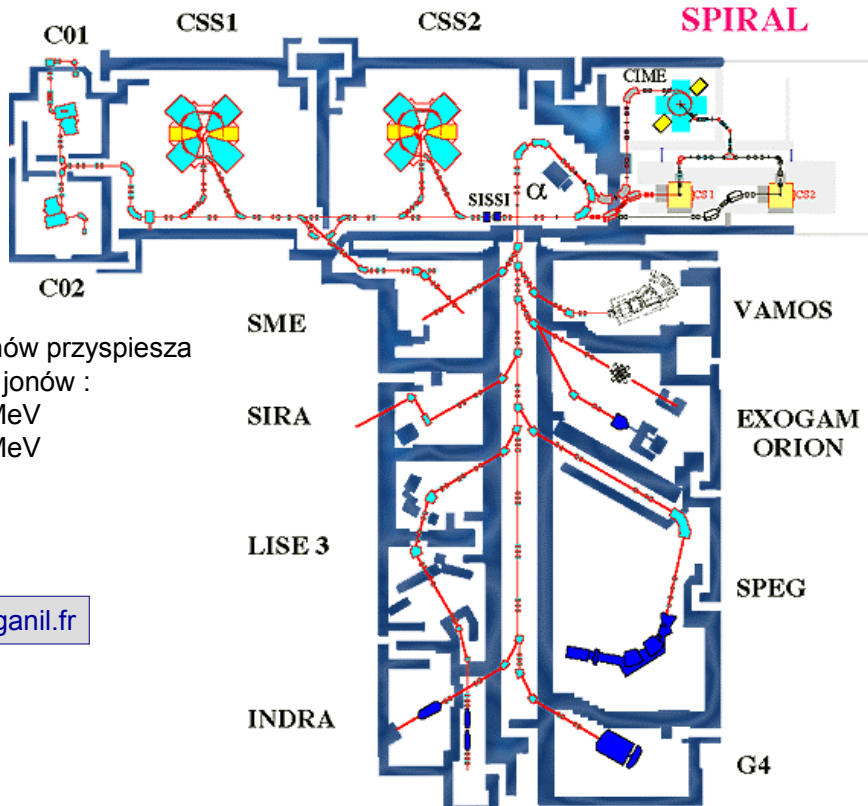
# REX-ISOLDE



18

# Przykład 2 : SPIRAL w GANIL

Grand Accelérateur  
National d'Ions Lourds  
Caen, France



Układ cyklotronów przyspiesza wiązki ciężkich jonów :

- C do 95 A MeV
- U do 25 A MeV

<http://www.ganil.fr>



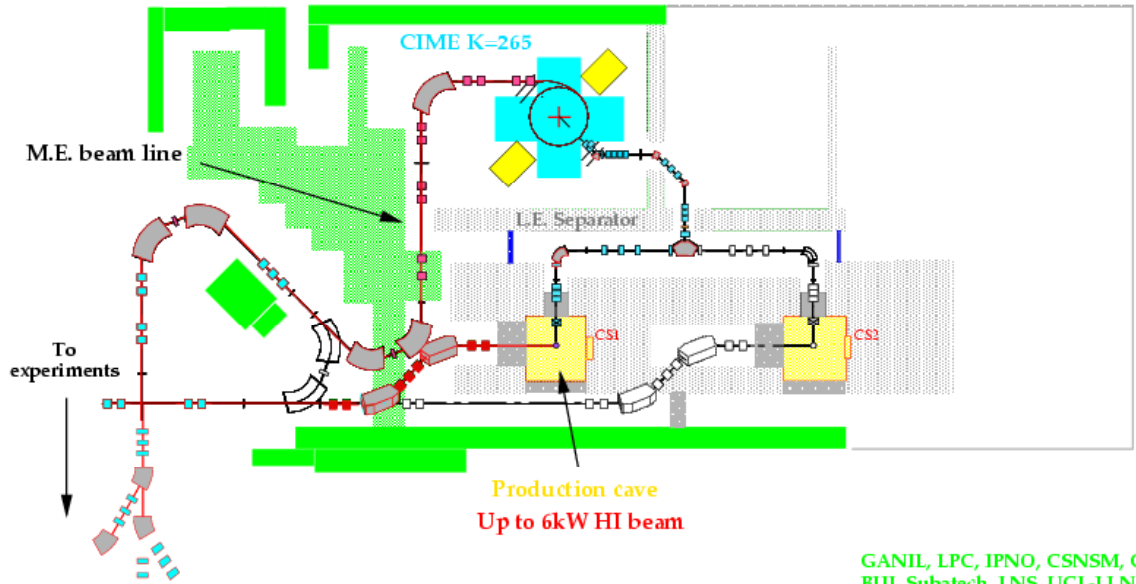
19

# SPIRAL

IN2P3/CNRS-DSM/CEA-Basse Normandie

M. Lieuvin - project leader

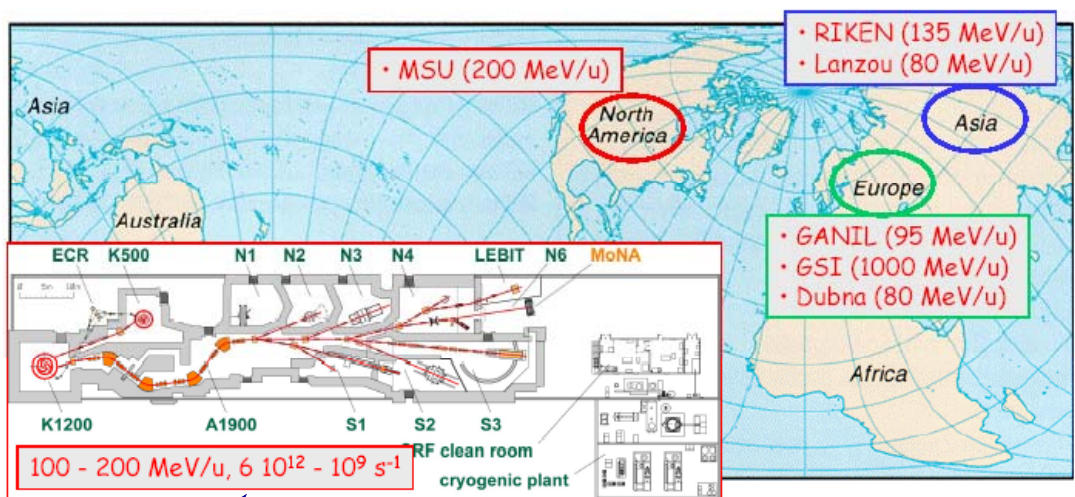
1.7.A MeV < E < 25.A MeV



GANIL, LPC, IPNO, CSNSM, CENBG, BIII, Subatech, LNS, UCL-LLN, ISOLDE-CERN, IFUSP-SP, U. Madrid



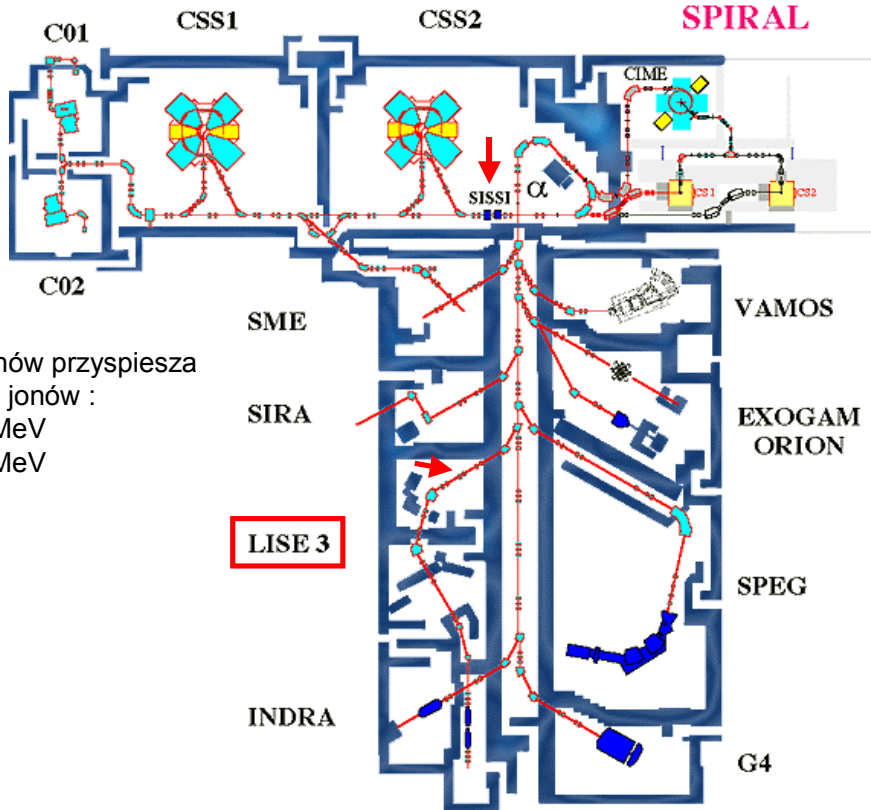
## Układy „In-Flight” na świecie



Przykład 1: MSU



## Przykład 2 : LISE w GANIL

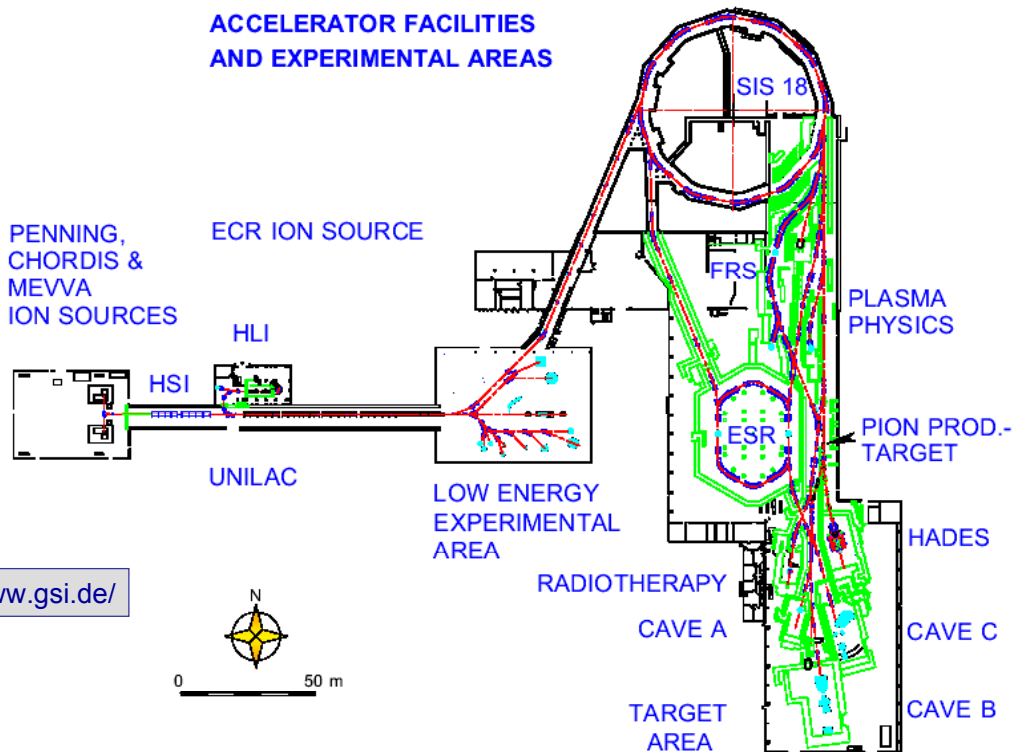


Układ cyklotronów przyspiesza wiązki ciężkich jonów :

- C do 95 A MeV
- U do 25 A MeV



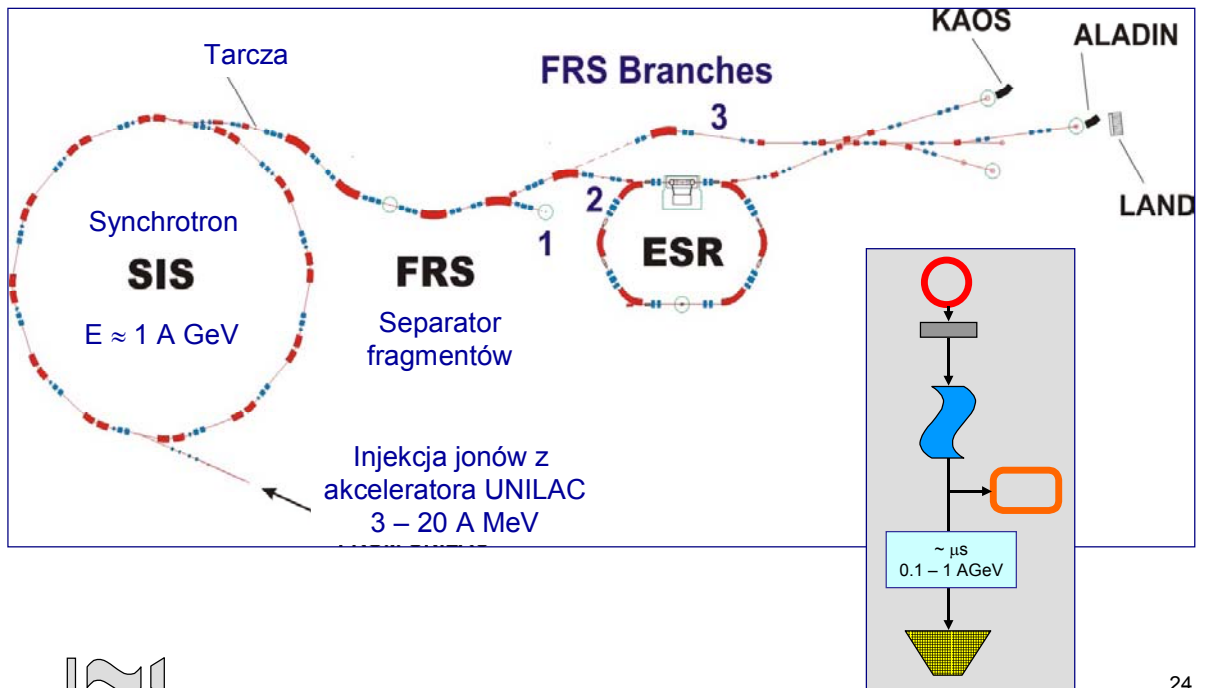
## Przykład 3 : GSI Darmstadt



→ <http://www.gsi.de/>

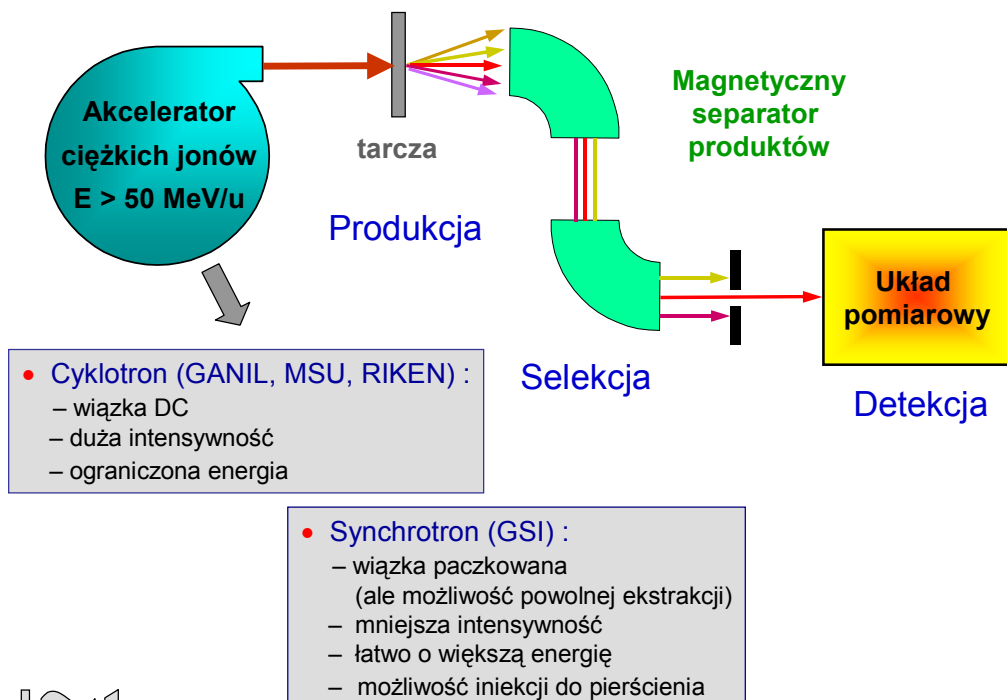


# FRagment Separator w GSI



24

## Schemat układu fragmentacyjnego



25