

The background of the slide is a deep space image showing a dense field of stars and nebulae. A prominent, bright, yellowish-white nebula is visible in the lower-left quadrant, surrounded by numerous smaller stars. The overall color palette is dominated by dark blues and blacks, with highlights of yellow, orange, and white from the celestial bodies.

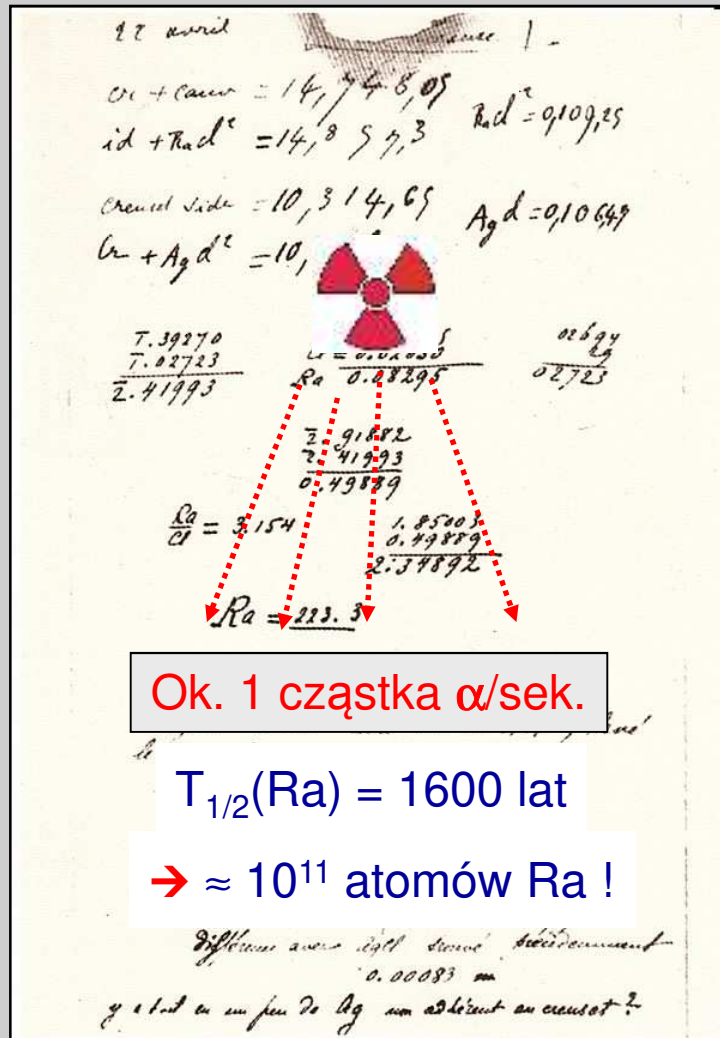
Egzotyczne nuklidy a historia kosmosu

Marek Pfützner
Instytut Fizyki Doświadczalnej UW

Ogólnopolskie Seminarium Nauczycieli Fizyki, 16 marca 2005

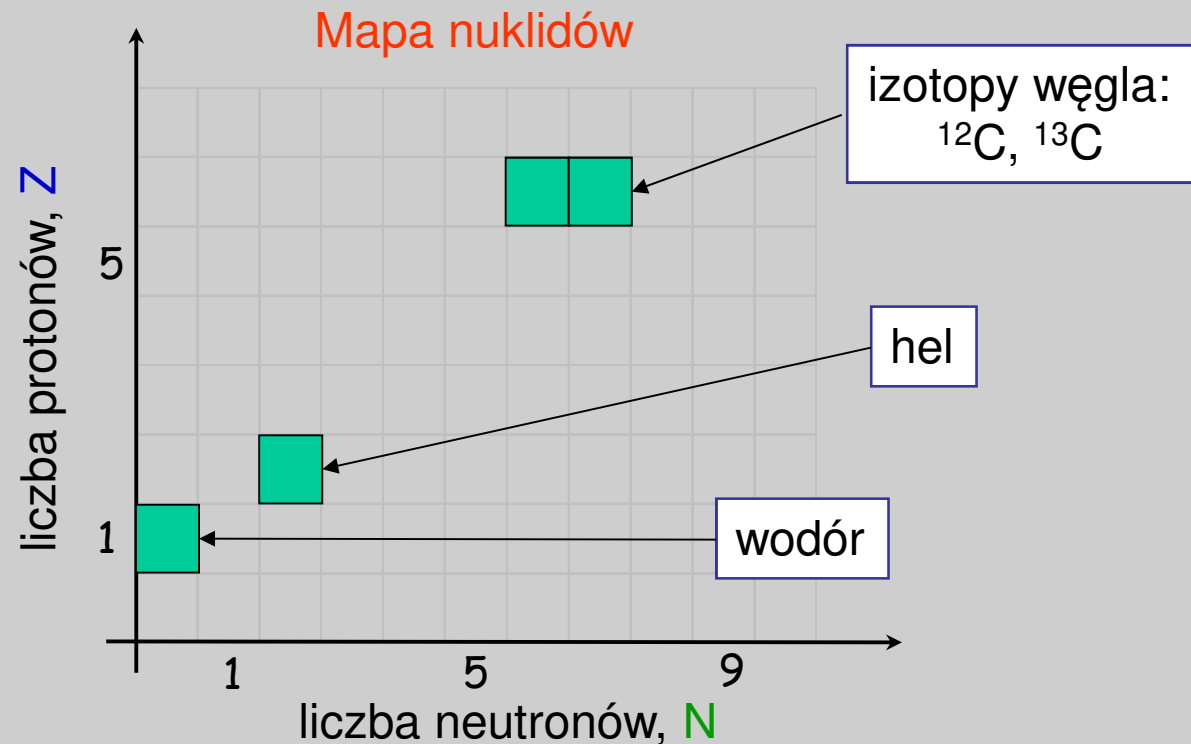
Instytut Radowy w Paryżu

11 rue Pierre-et-Marie-Curie

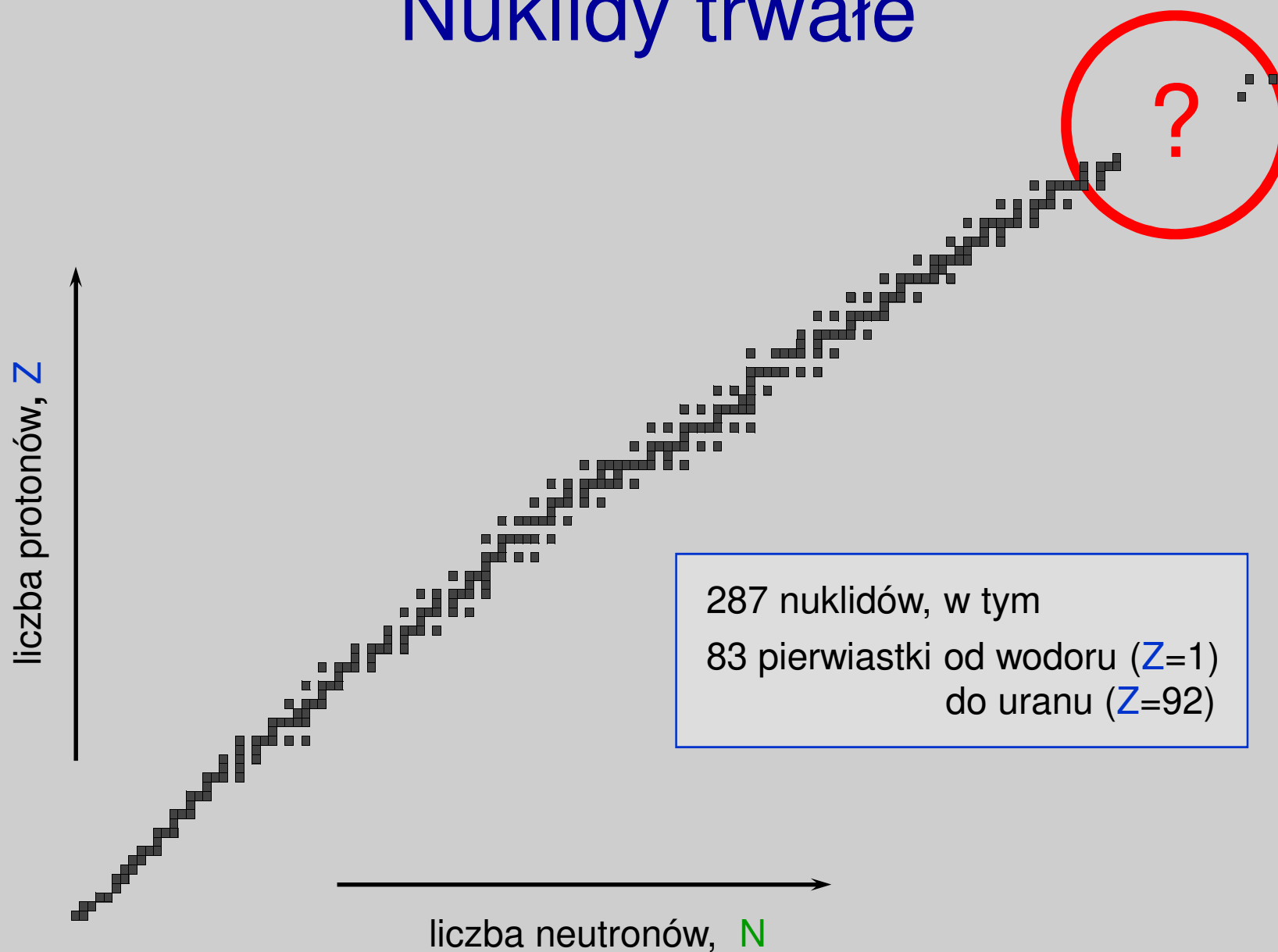


Nuklidy

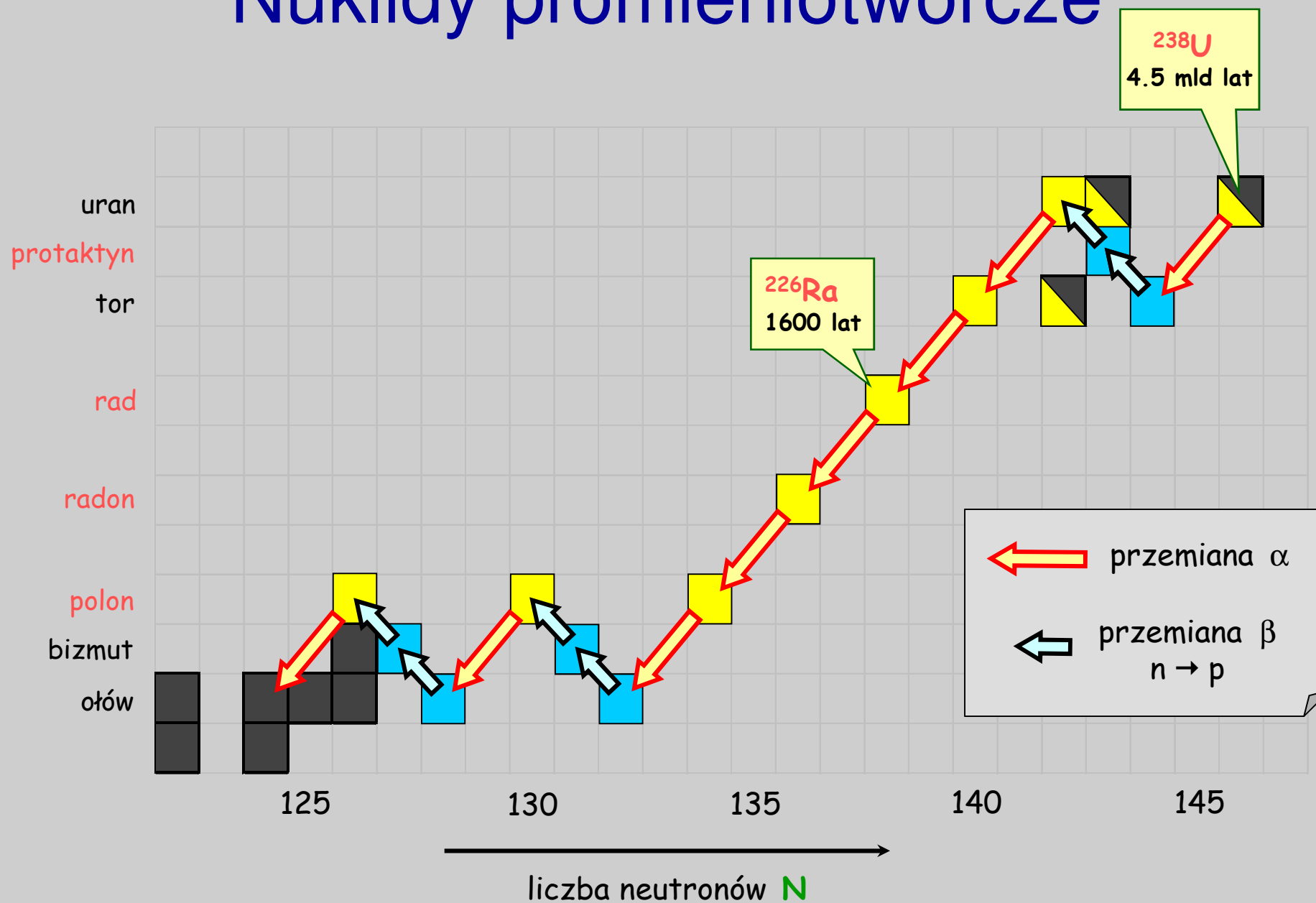
- ▶ Nuklid (atom, zazwyczaj obojętny elektrycznie) :
 Z protonów + N neutronów + Z elektronów
- ▶ Nuklid pozbawiony części (lub wszystkich) elektronów → jon
- ▶ Liczba Z decyduje o właściwościach chemicznych
→ pierwiastki chemiczne
- ▶ Różne liczby N → izotopy



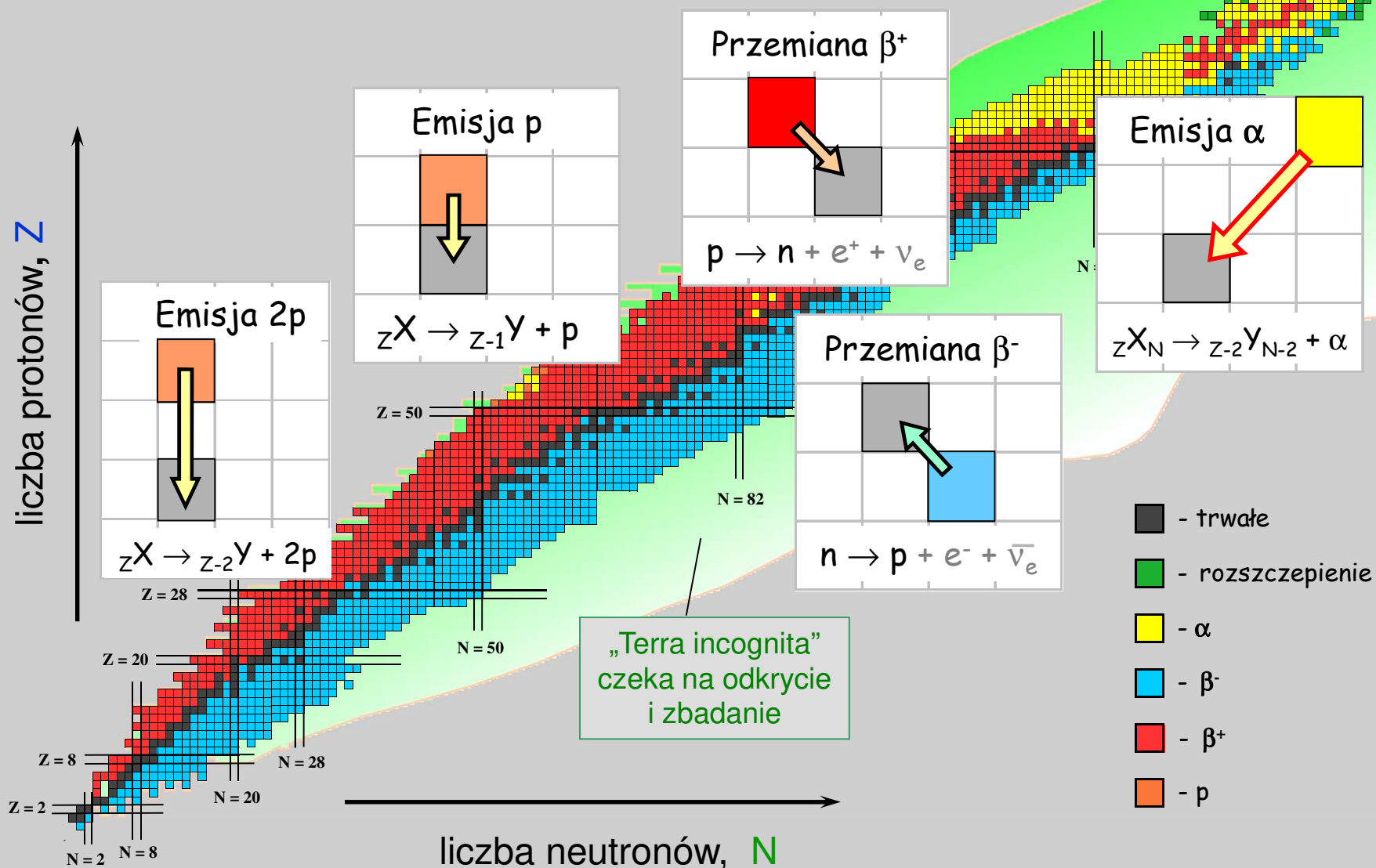
Nuklidy trwałe



Nuklidy promieniotwórcze



Wszystkie nuklidy



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 nowym technikom :

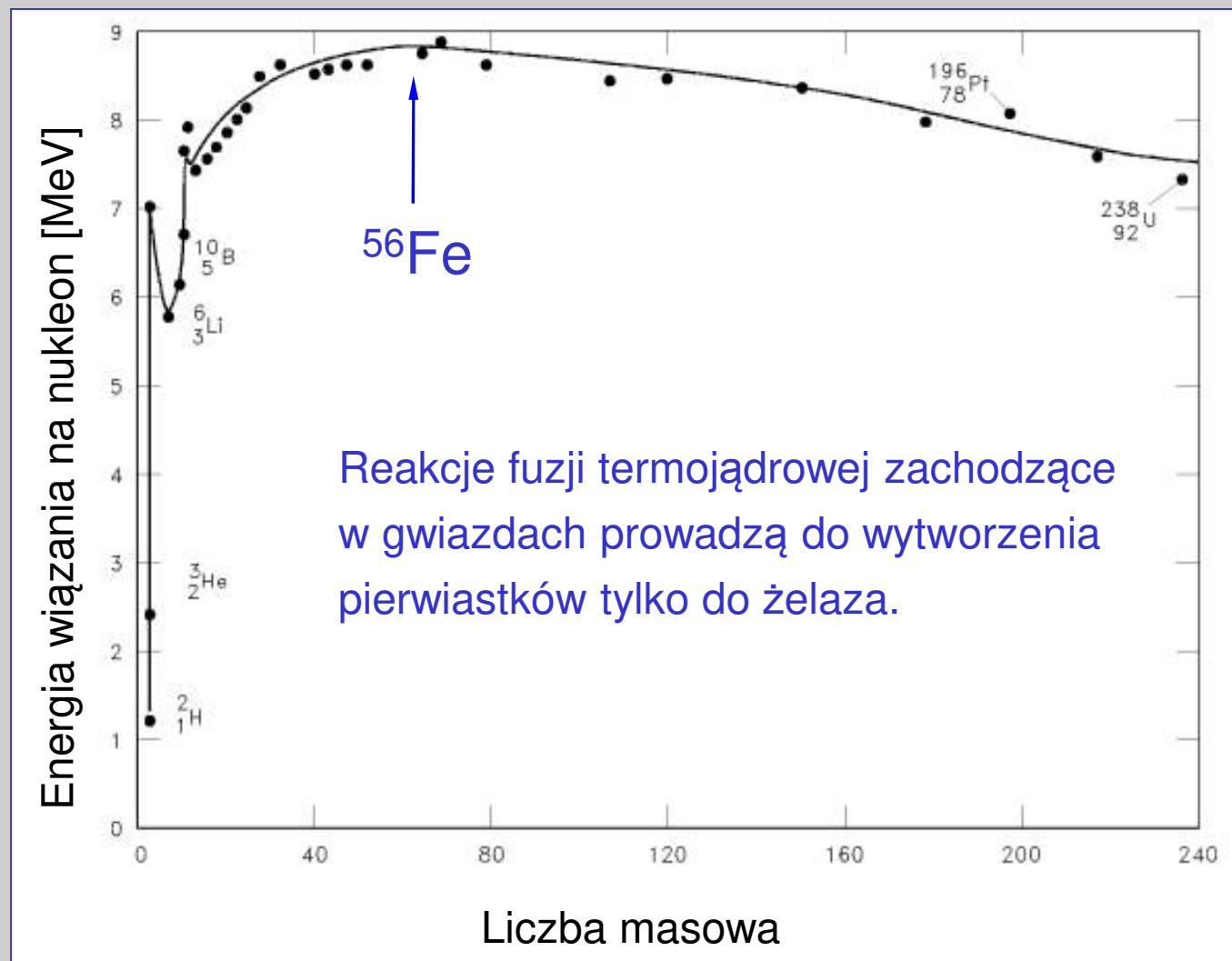
- przyspieszania ciężkich jonów do energii relatywistycznych,
- separacji produktów reakcji jądrowych,
- utrzymywania jonów w pierścieniu kumulacyjnym.

Dwa zagadnienia

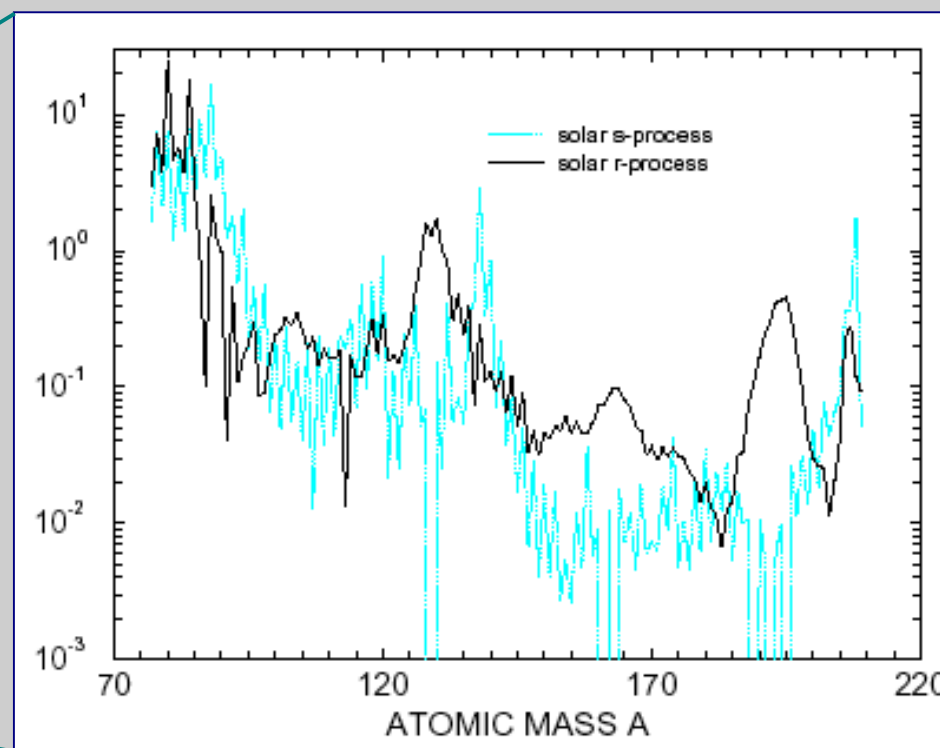
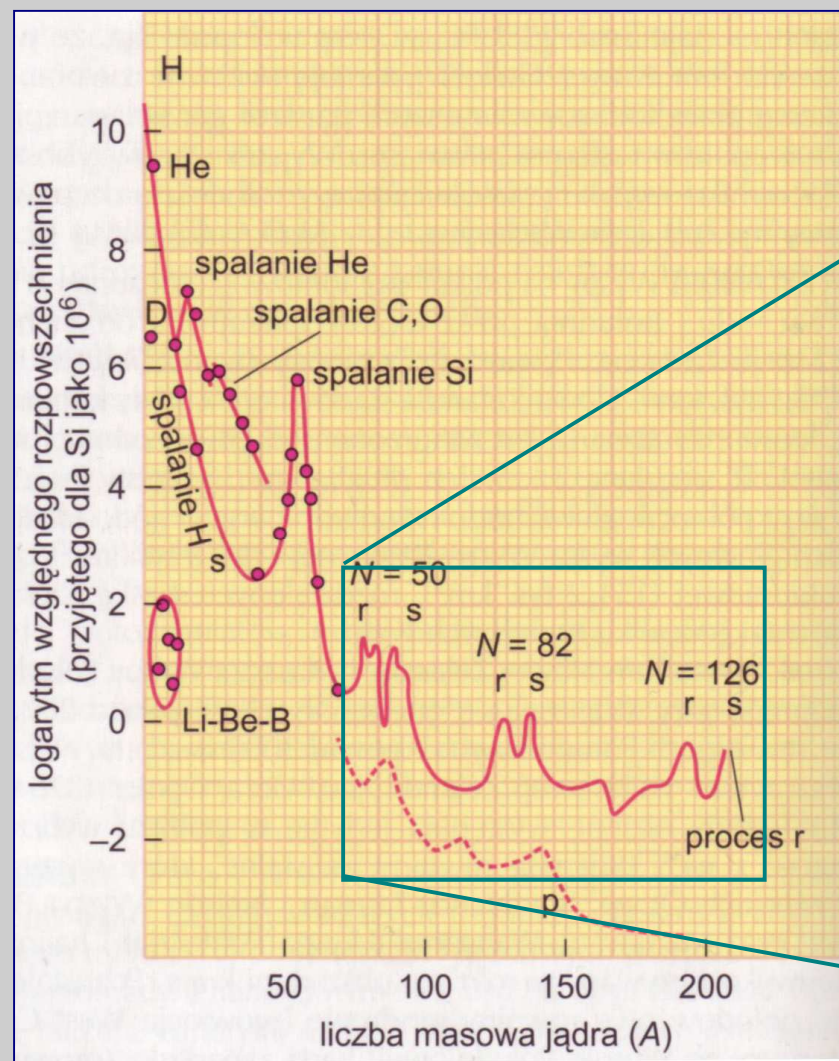
Na dwóch przykładach zilustrujemy związek między własnościami nuklidów egzotycznych a poznawaniem historii kosmosu.

1. Pełne zrozumienie procesów nukleosyntezy wymaga zbadania nuklidów bardzo dalekich od ścieżki trwałości.
2. Niezwykła przemiana beta, która może zachodzić tylko wtedy, gdy atom pozbawiony jest wszystkich elektronów, co zaburza bieg kosmicznego zegara.

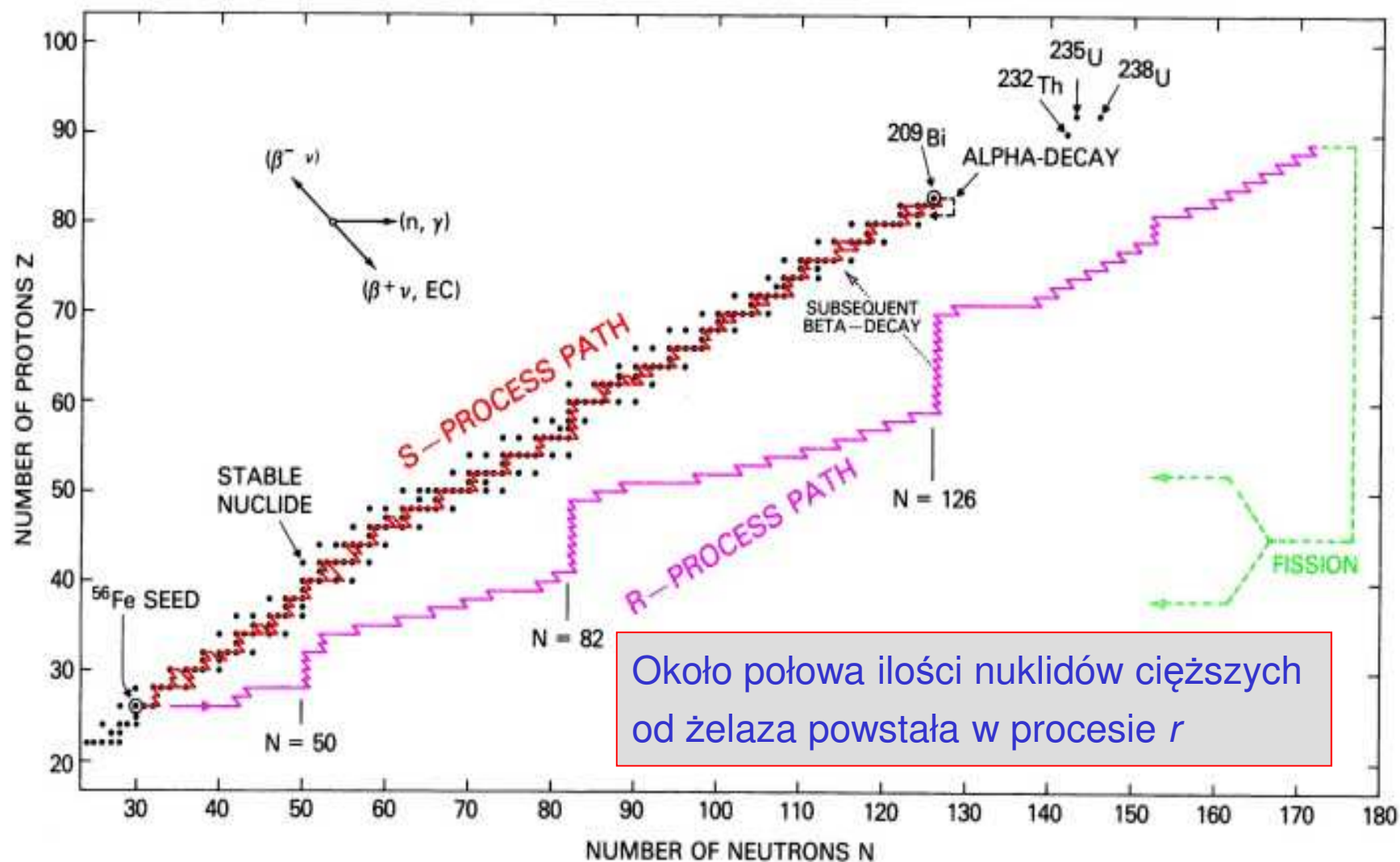
Nukleosynteza w gwiazdach



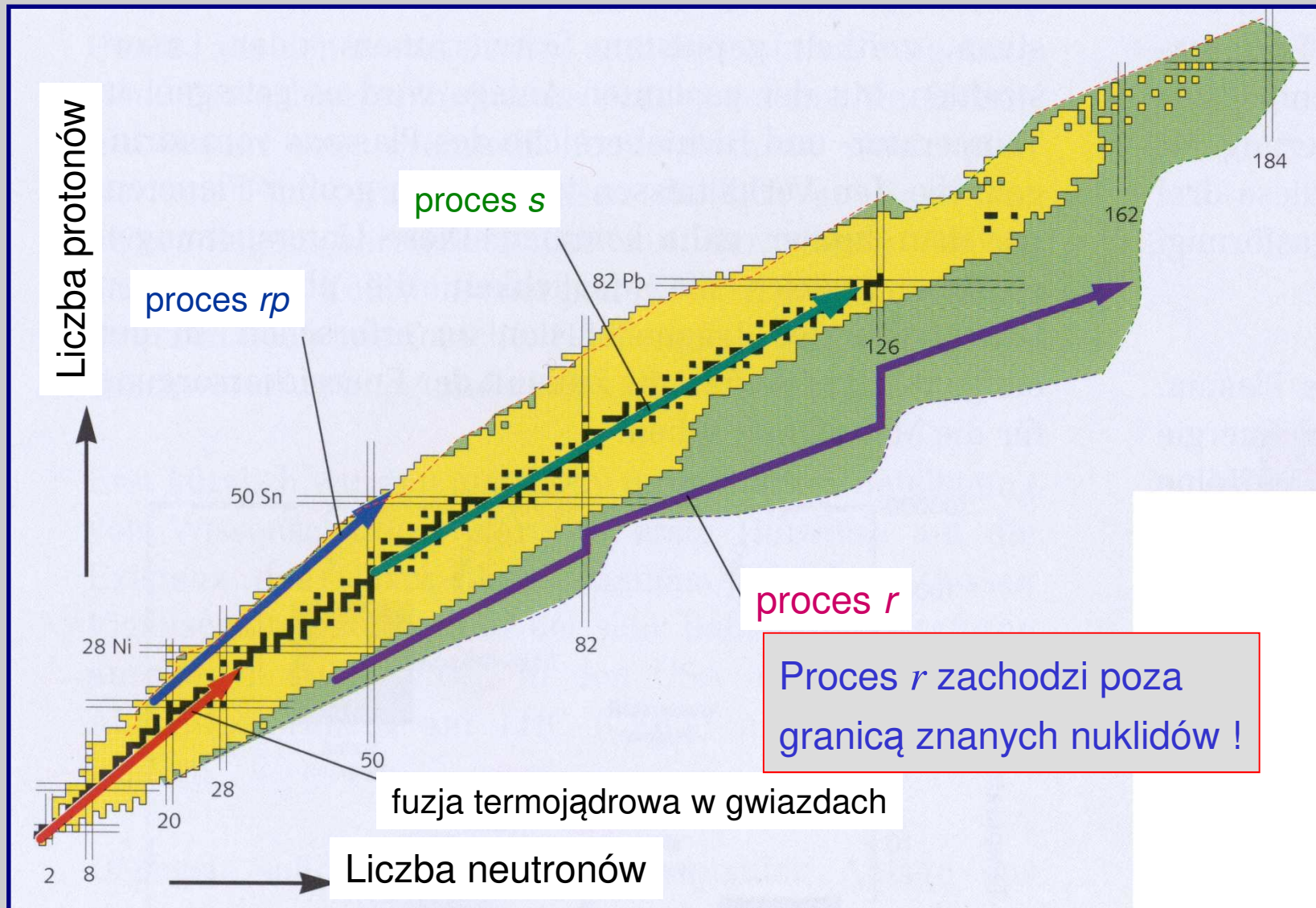
Rozpowszechnienie nuklidów



Procesy s i r



Procesy nukleosyntezy



Symulacja procesu r

Nucleosynthesis in the r -process

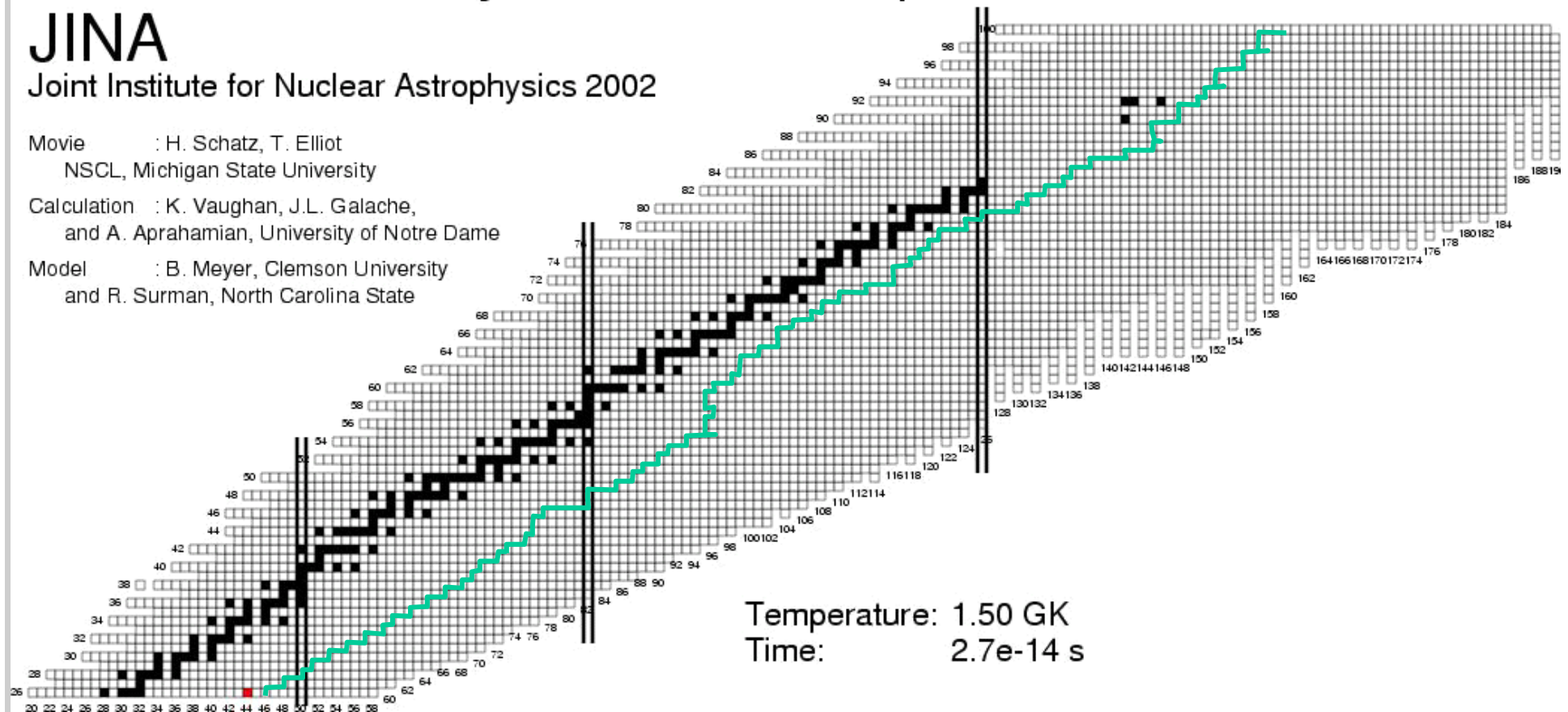
JINA

Joint Institute for Nuclear Astrophysics 2002

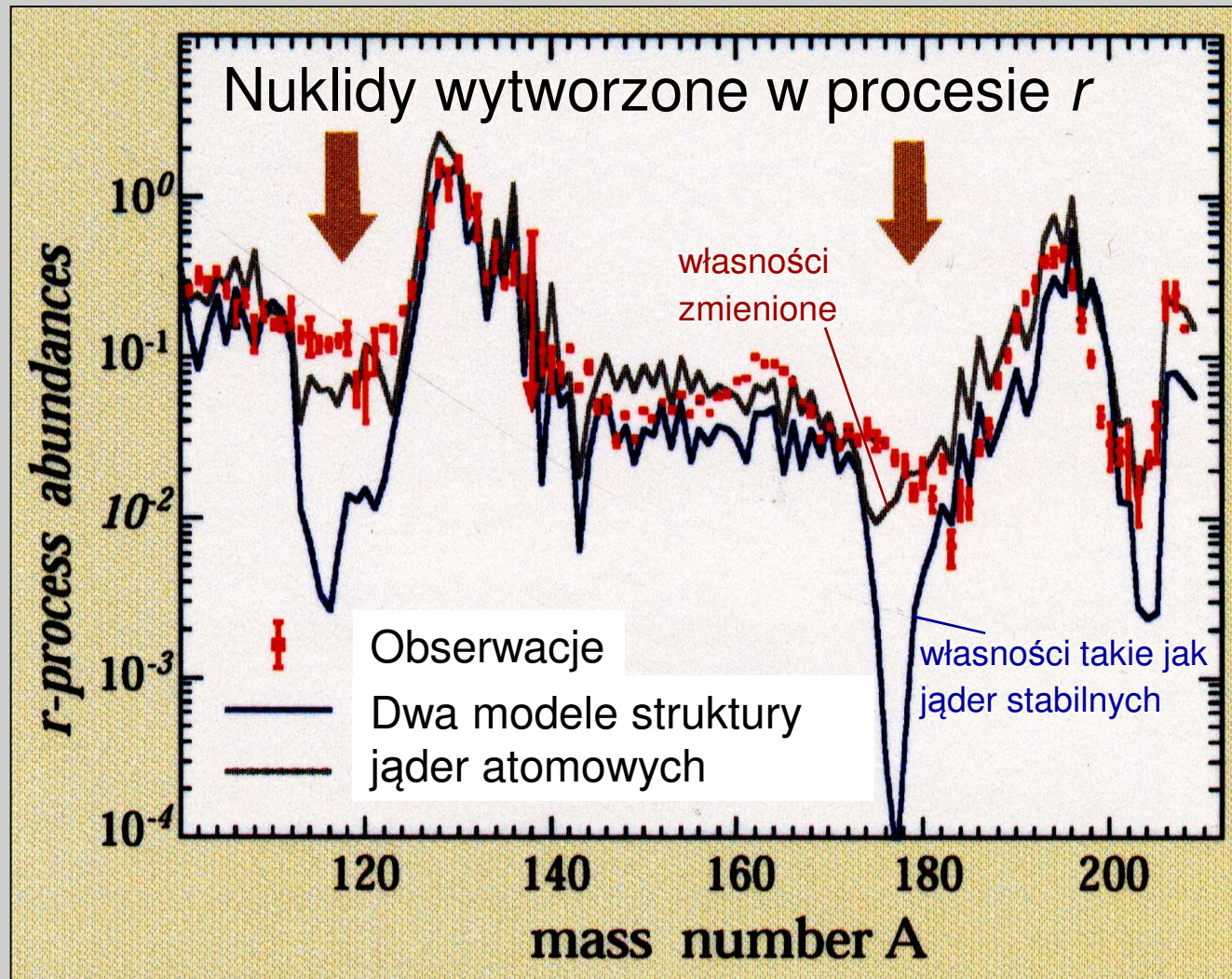
Movie : H. Schatz, T. Elliot
NSCL, Michigan State University

Calculation : K. Vaughan, J.L. Galache,
and A. Aprahamian, University of Notre Dame

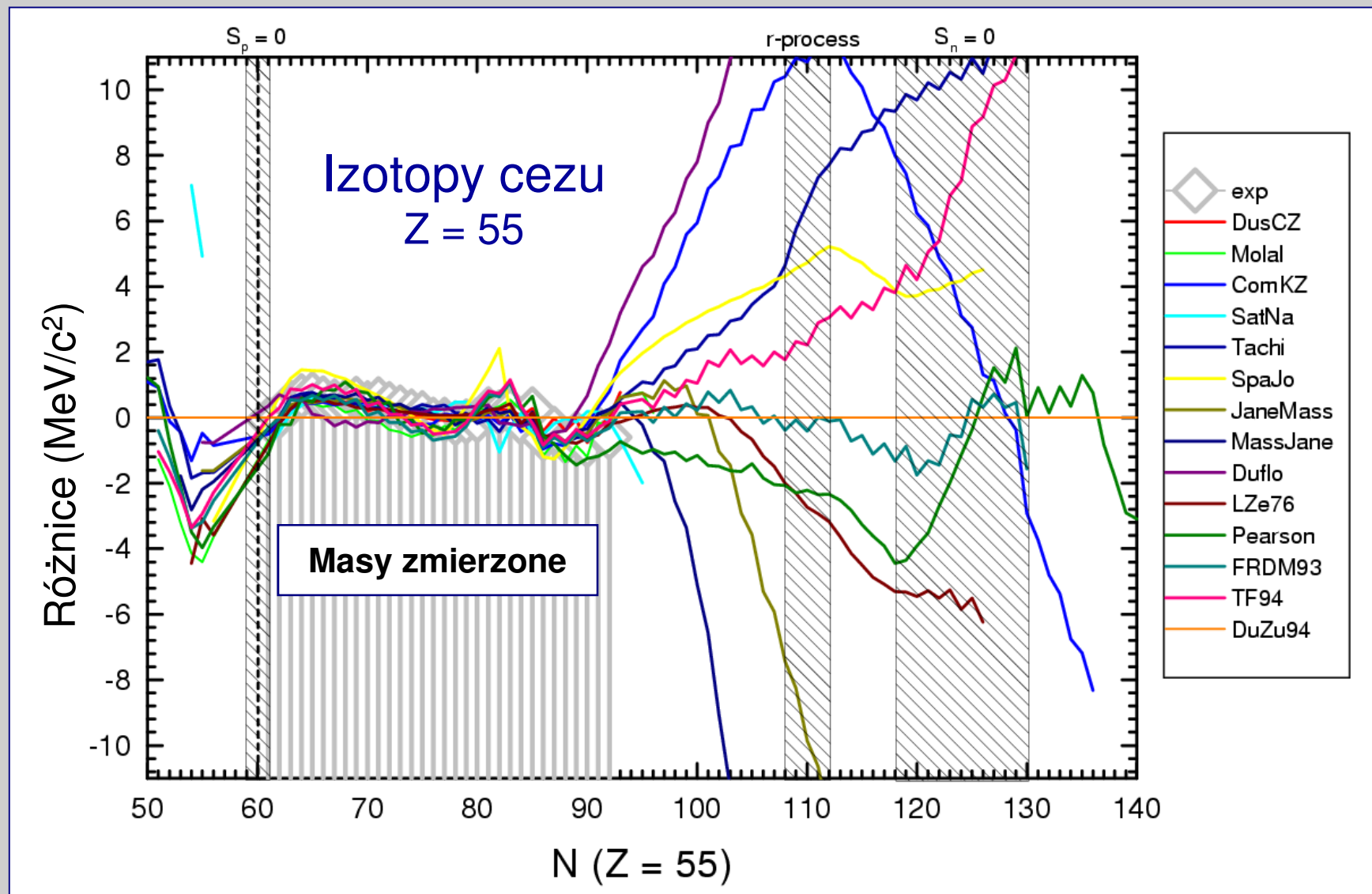
Model : B. Meyer, Clemson University
and R. Surman, North Carolina State



Wkład procesu r

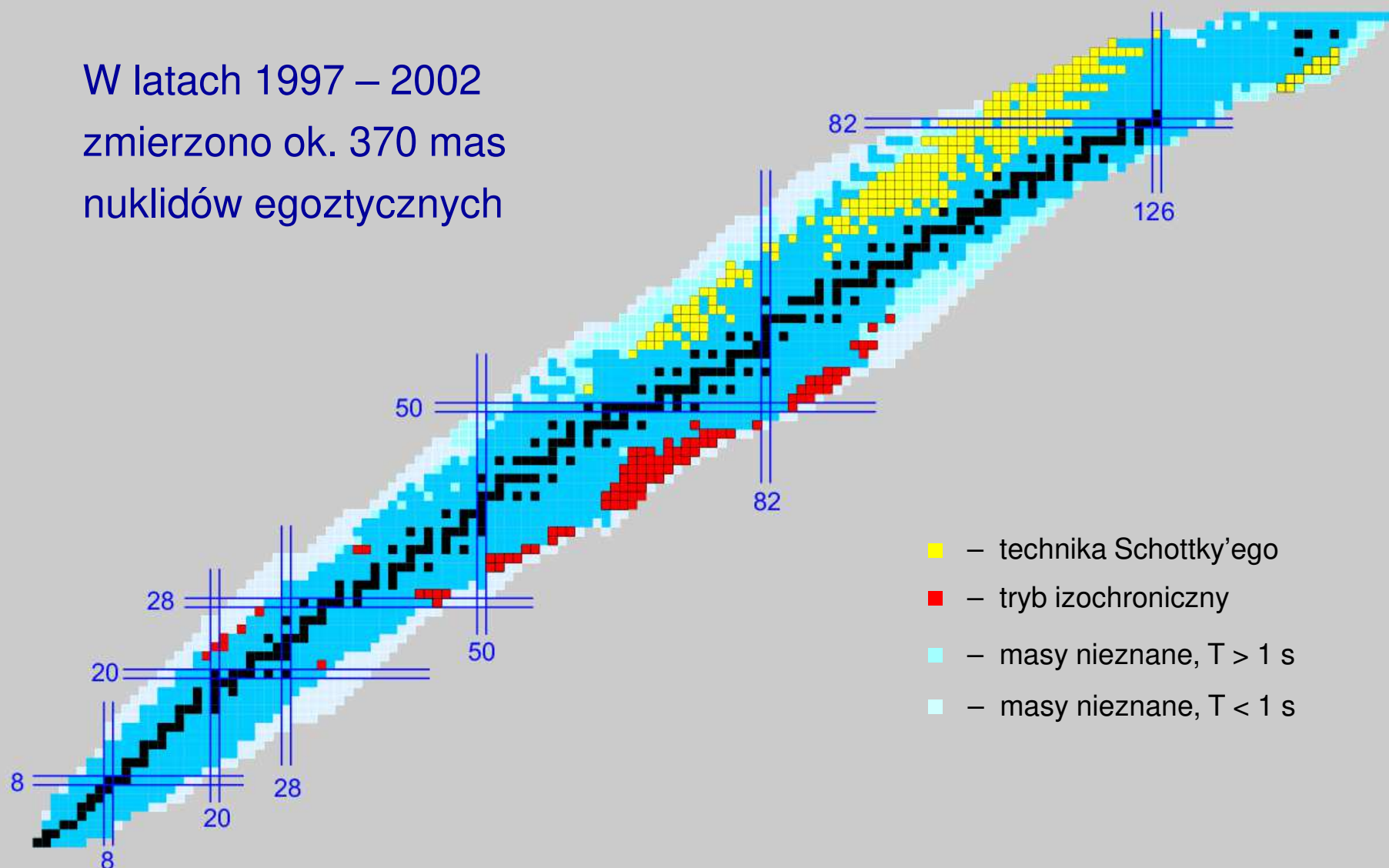


Przewidywania mas nuklidów



Pomiary mas w pierścieniu ESR

W latach 1997 – 2002
zmierzono ok. 370 mas
nuklidów egzotycznych

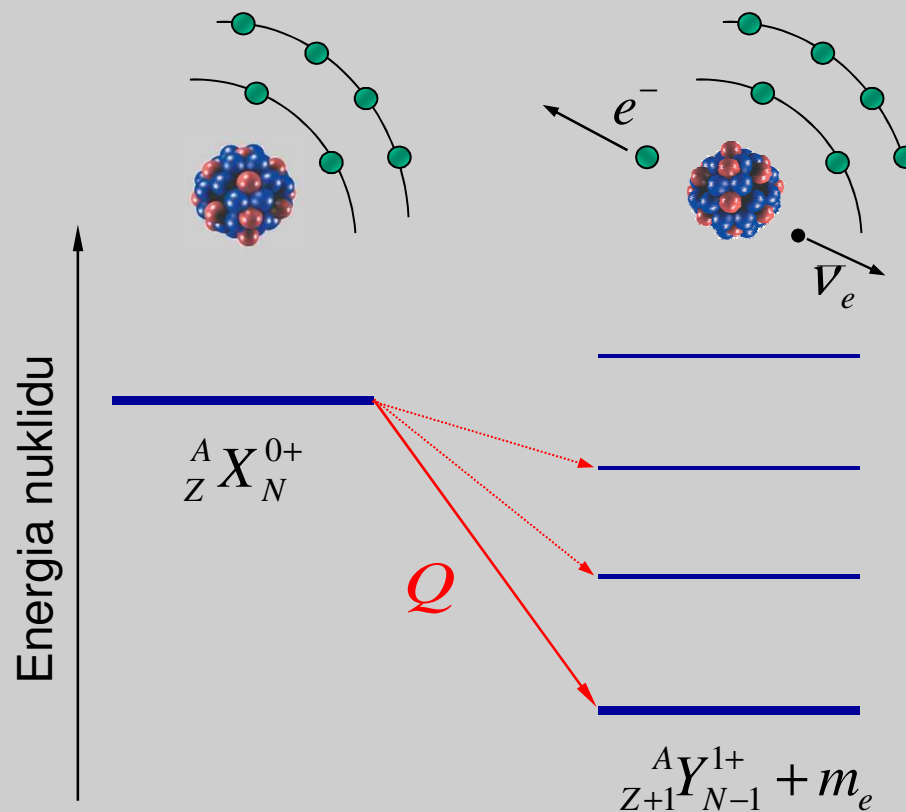
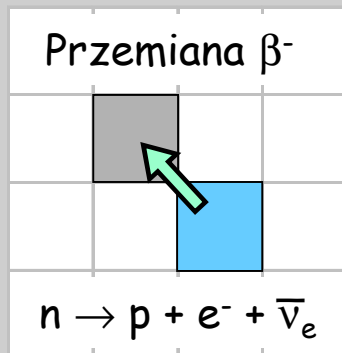


Dwa zagadnienia

Na dwóch przykładach zilustrujemy związek między własnościami nuklidów egzotycznych a poznawaniem historii kosmosu.

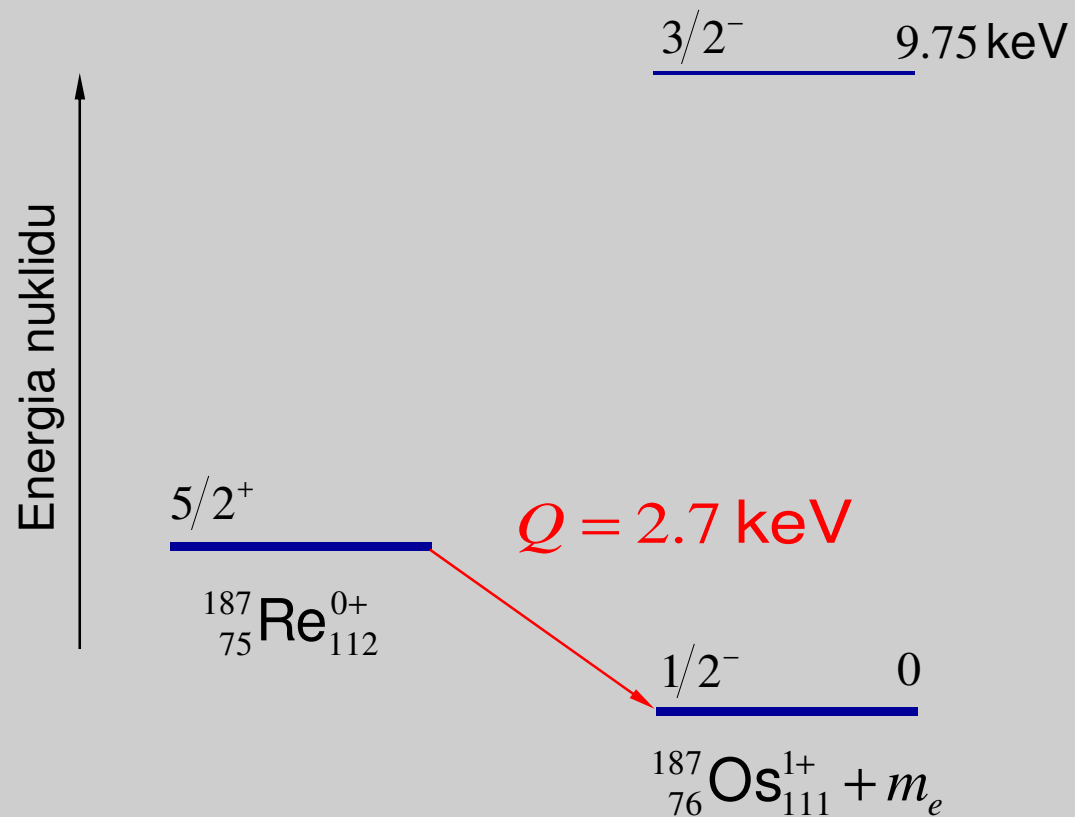
1. Pełne zrozumienie procesów nukleosyntezy wymaga zbadania nuklidów bardzo dalekich od ścieżki trwałości.
2. Niezwykła przemiana beta, która może zachodzić tylko wtedy, gdy atom pozbawiony jest wszystkich elektronów, co zaburza bieg kosmicznego zegara.

Zwykła przemiana beta



- ▶ Wydzielona energia Q jest unoszona przez elektron i antyneutrino, które uciekają z nuklidu końcowego.
- ▶ Przemiana może zachodzić do różnych stanów jądra końcowego.

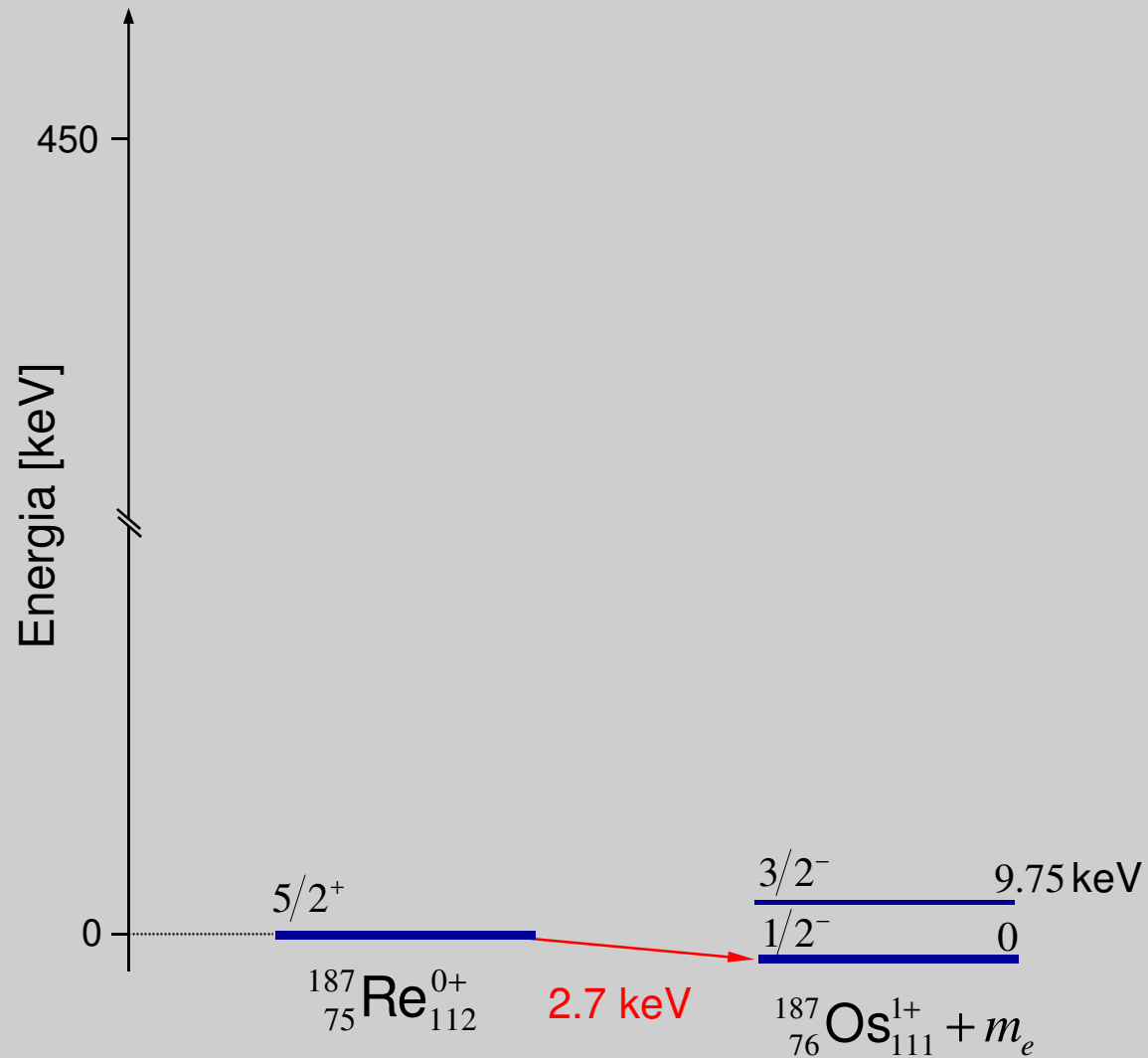
Przypadek ^{187}Re



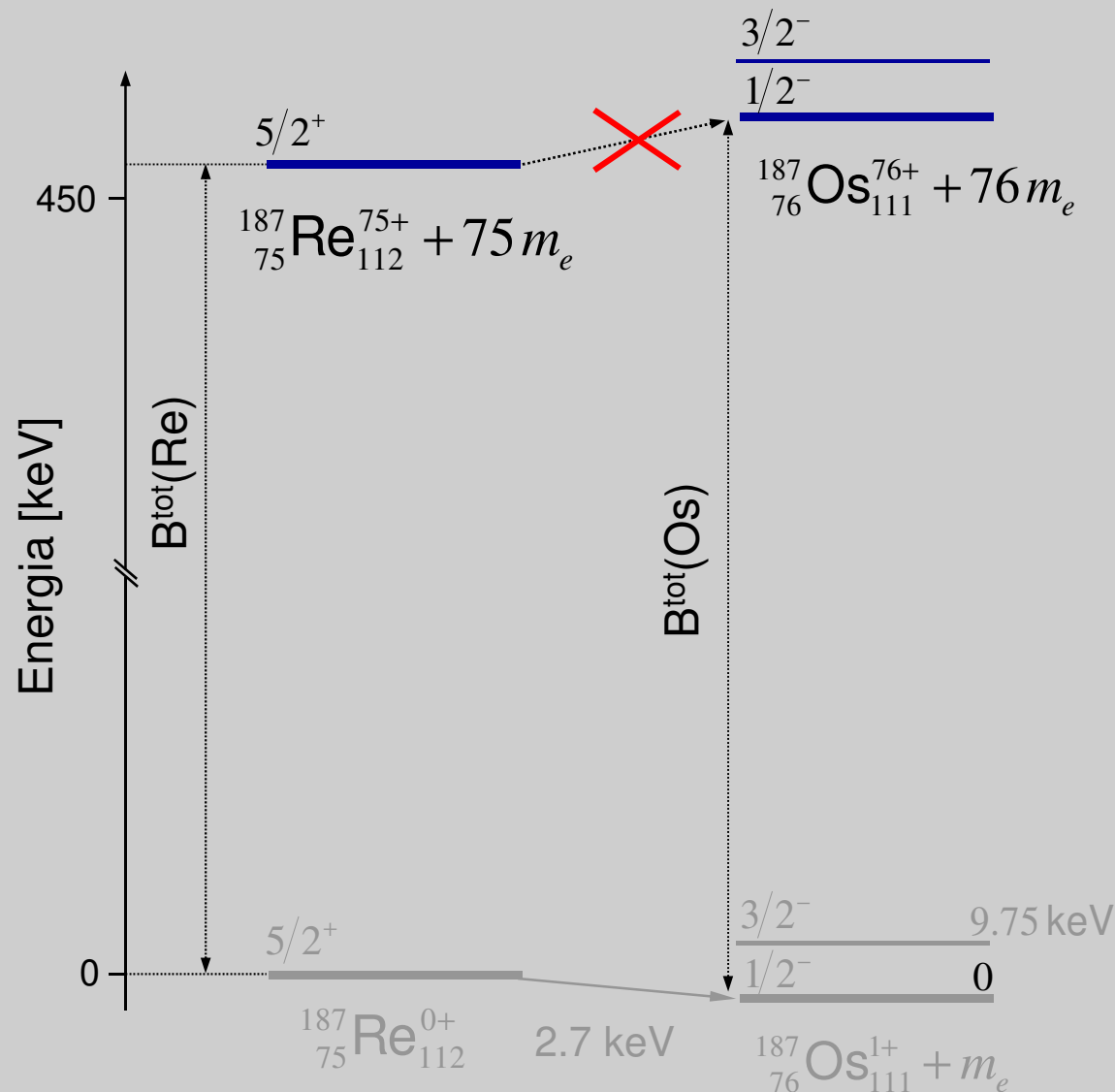
Półokres rozpadu
obojętnego ^{187}Re :
 $T_{1/2} = 42.3 \cdot 10^9 \text{ lat}$

Możliwa przemiana
tylko do stanu pod-
stawowego ^{187}Os

Przemiana zjonizowanego ^{187}Re

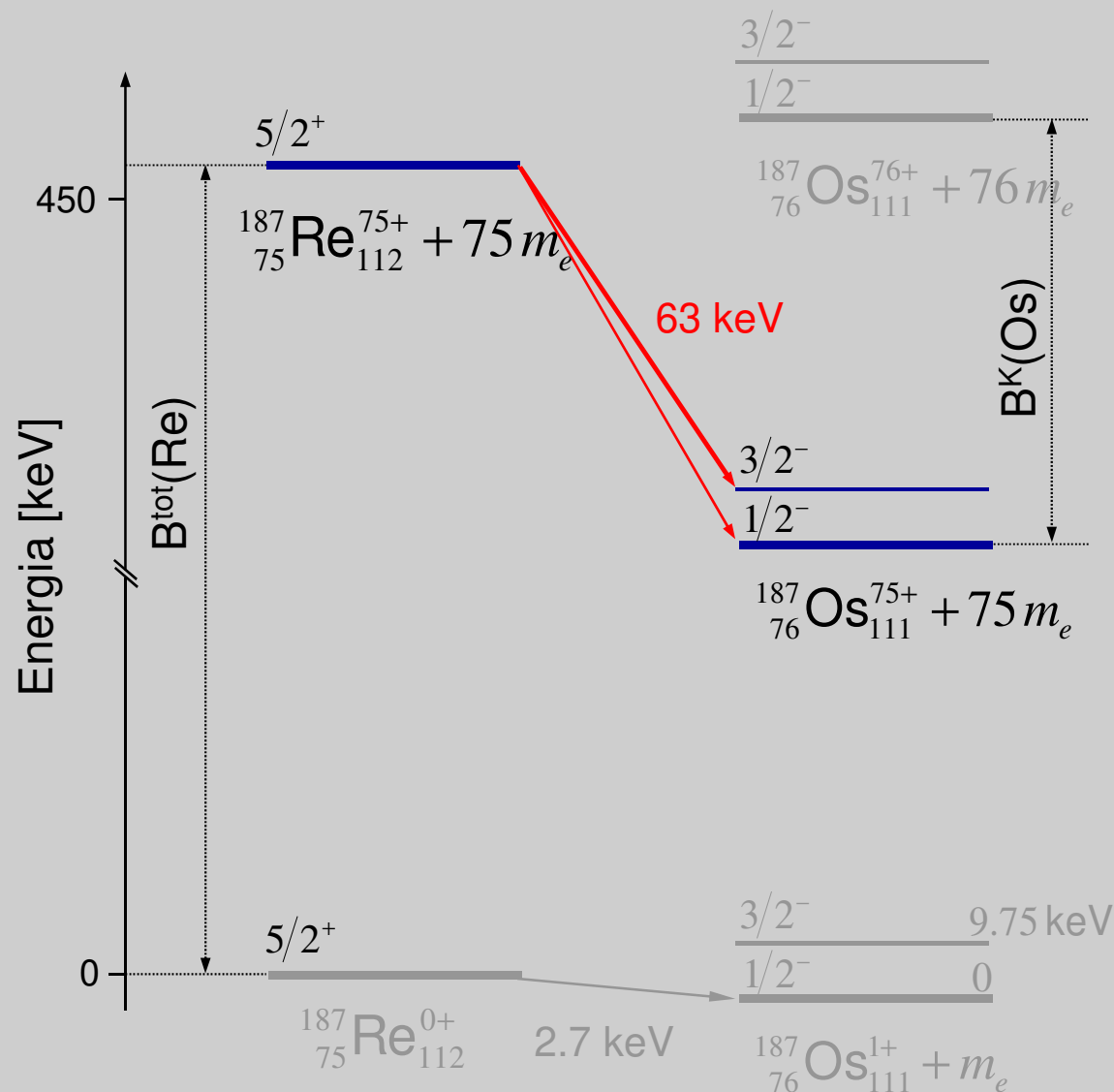


Przemiana zjonizowanego ^{187}Re

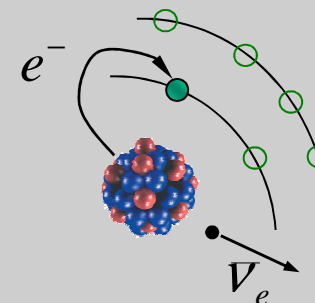


- ▶ Zabieramy wszystkie elektrony orbitalne.
- ▶ Zwykła przemiana β nie jest teraz możliwa !

Przemiana zjonizowanego ^{187}Re

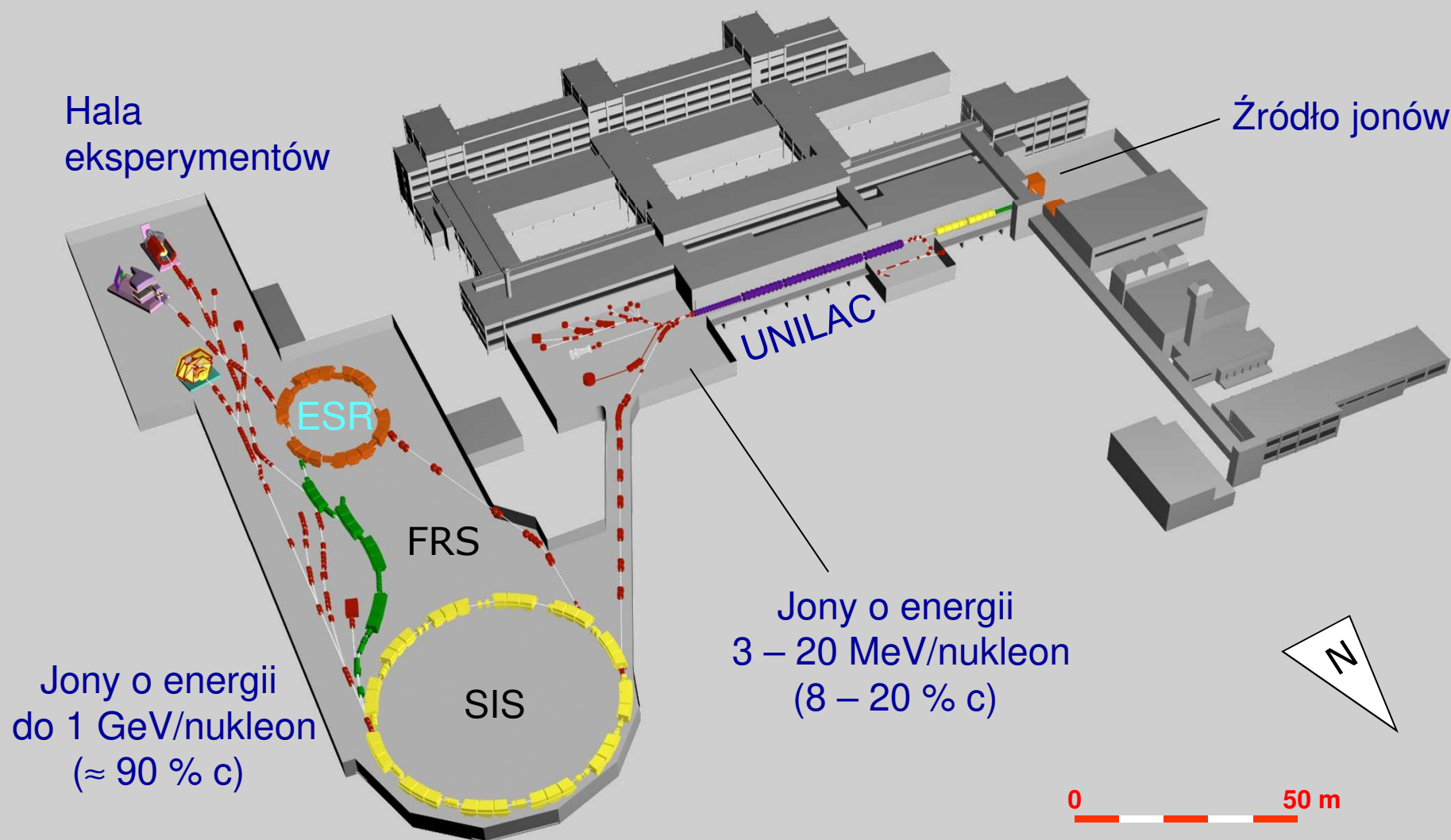


- ▶ Zabieramy wszystkie elektrony orbitalne.
- ▶ Zwykła przemiana β nie jest teraz możliwa !
- ▶ Ale emitowany elektron może zatrzymać się na pustym orbitalu atomowym !

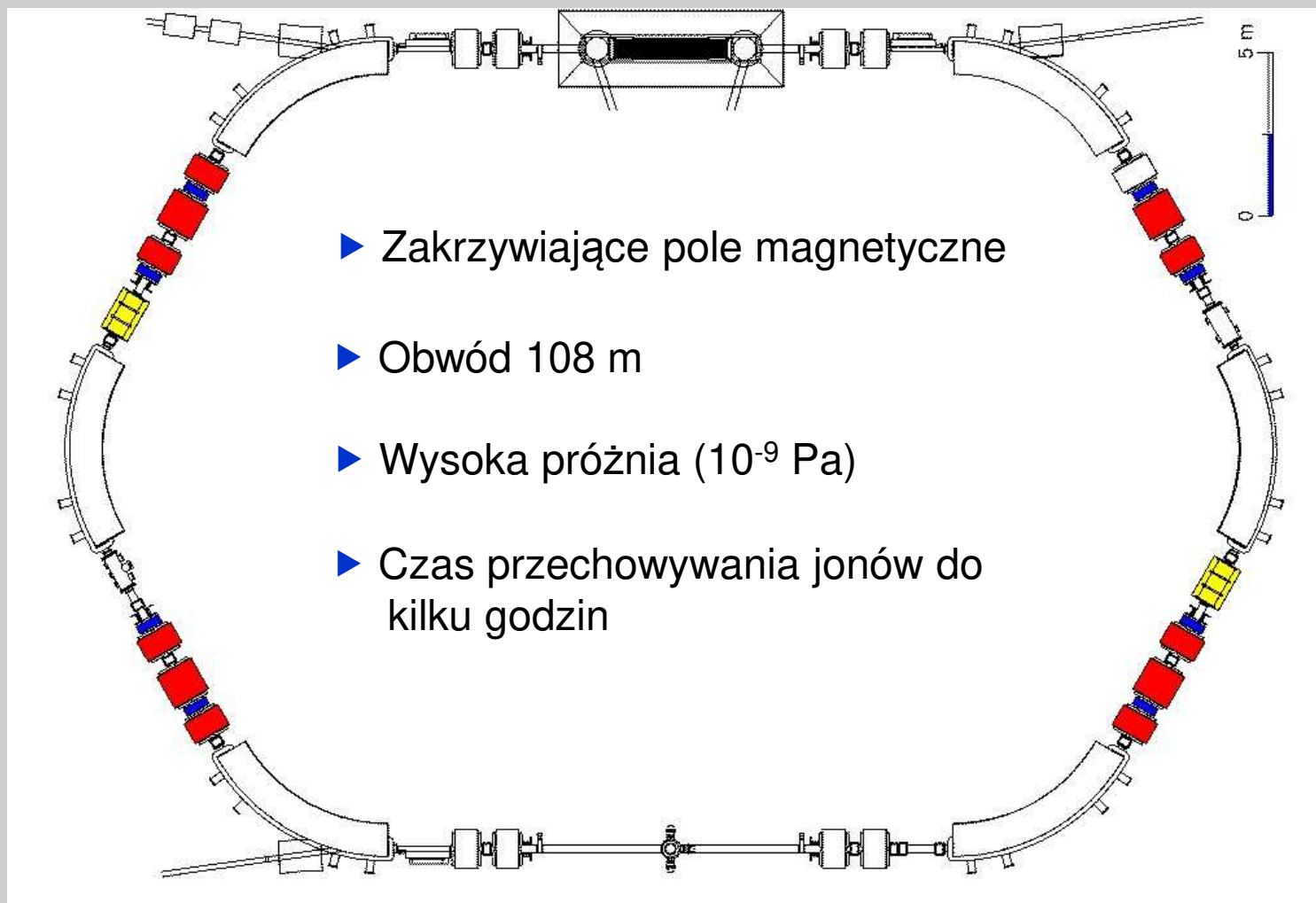


Przemiana beta do stanu związanego

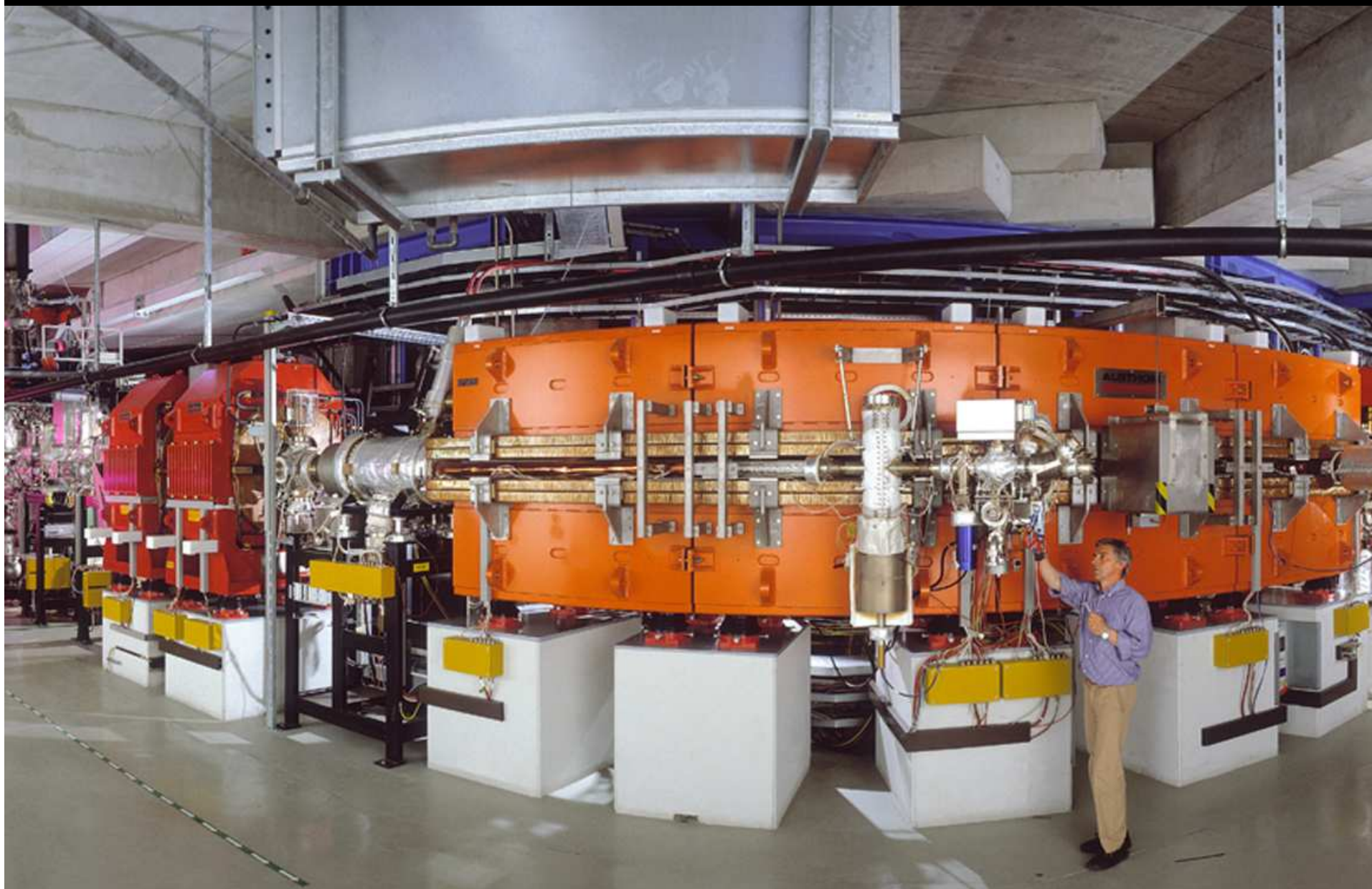
Laboratorium GSI Darmstadt



Pierścień kumulacyjny ESR



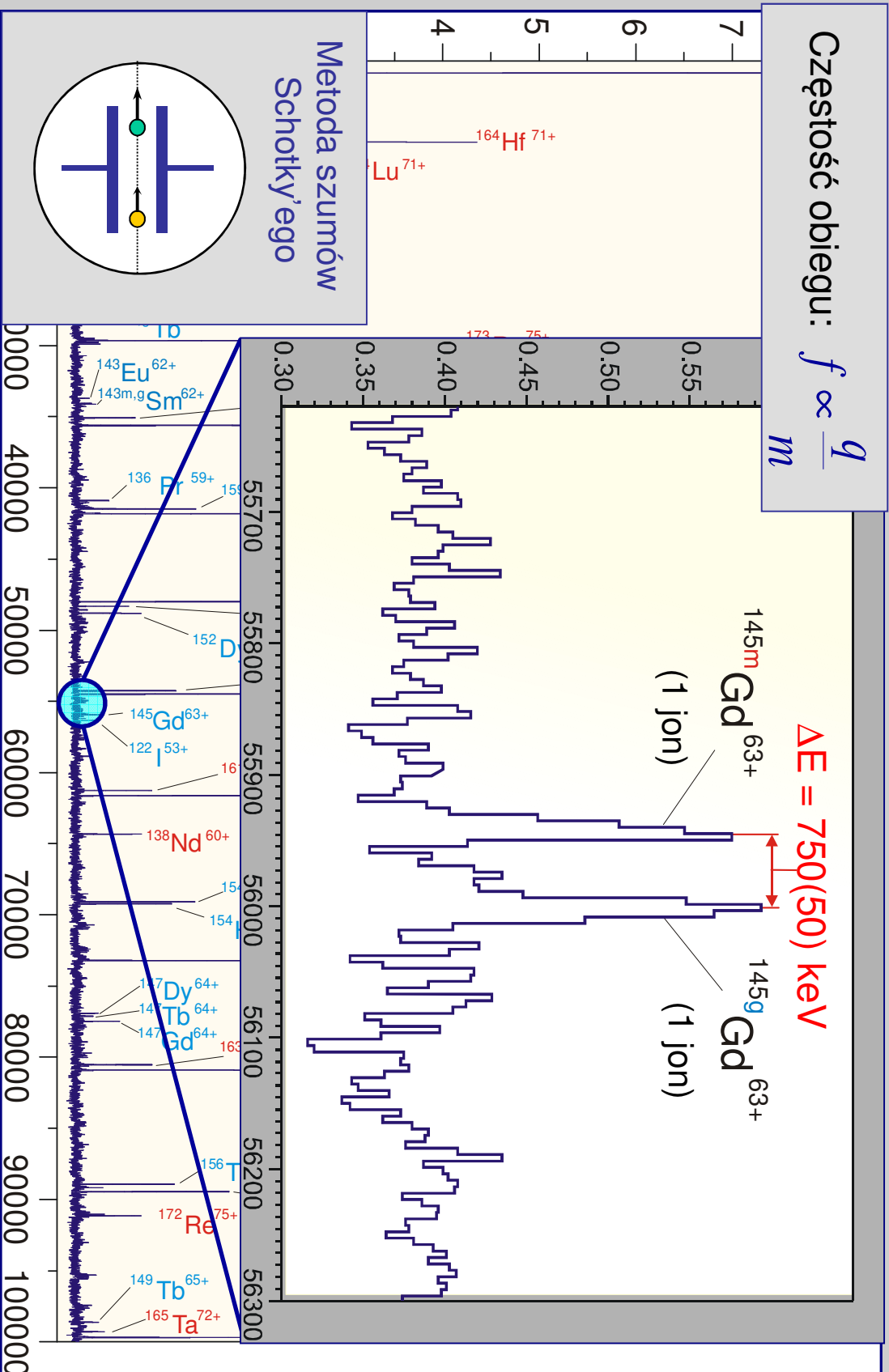
Fragment pierścienia ESR



Rejestracja cząstek w pierścieniu

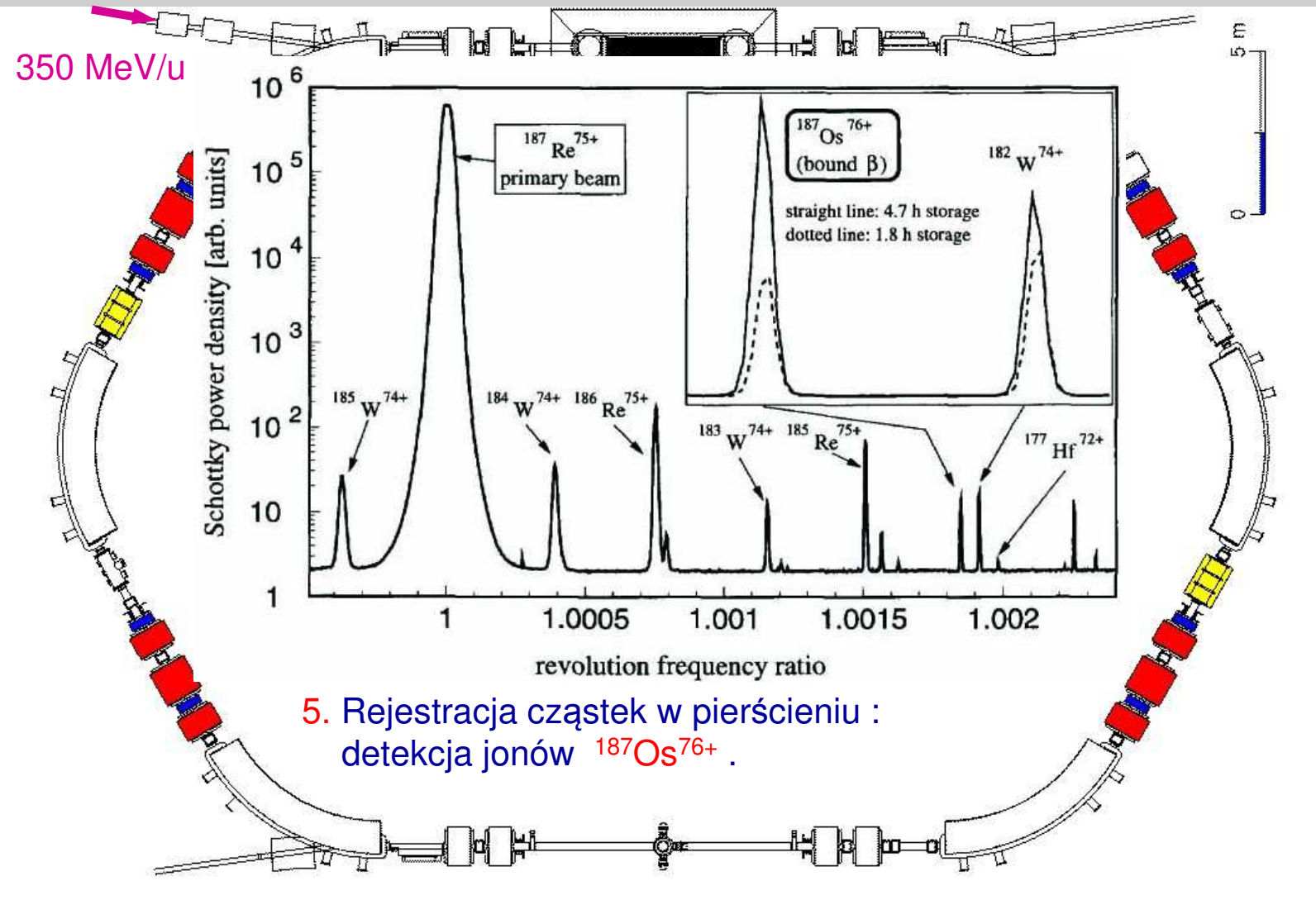
Częstość obiegu: $f \propto \frac{q}{m}$

Intensywność



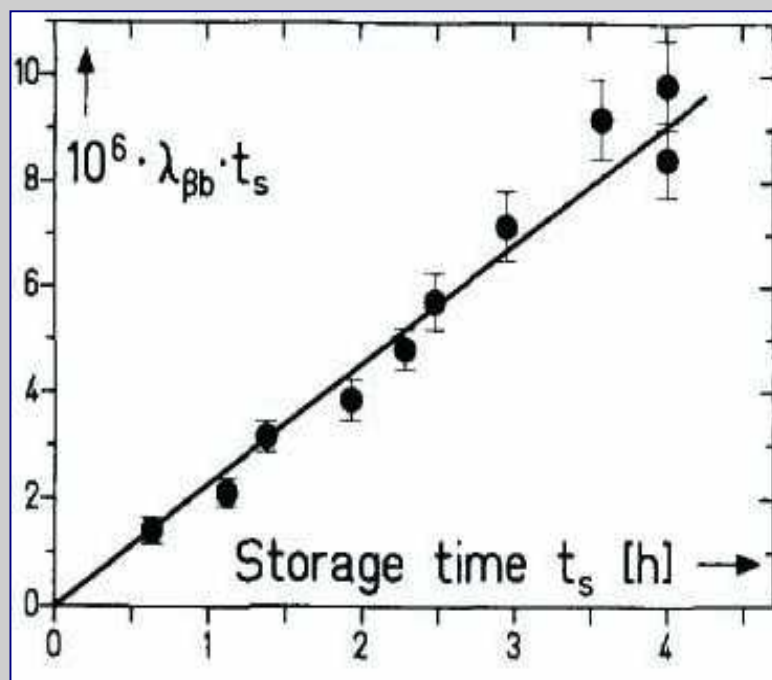
Częstość [Hz]

Pomiar ^{187}Re w pierścieniu ESR



Wynik eksperymentu

Liczba jonów $^{187}\text{Os}^{76+}$ w funkcji czasu



➔ Wniosek :

Półokres rozpadu całkowicie zjonizowanego ^{187}Re :

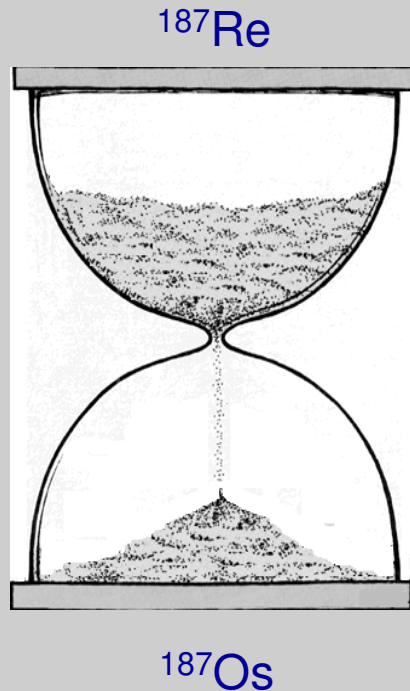
$$T_{1/2} = 32.9 \pm 2.0 \text{ lat}$$

Półokres rozpadu obojętnego ^{187}Re :

$$T_{1/2} = 42.3 \cdot 10^9 \text{ lat}$$

Jeśli ^{187}Re pozbawimy elektronów, to rozpada się miliard (10^9) razy szybciej !

Kosmiczny zegar



- ▶ Długożyciowe nuklidy, jak ^{187}Re , pomagają wyznaczyć wiek naszej Galaktyki.
- ▶ W trakcie swej historii ^{187}Re mógł znajdować się w warunkach b. wysokiej temperatury (wnętrza gwiazd), gdzie był zjonizowany. Zegar oparty na tym nuklidzie przyspiesza wtedy do 10^9 razy.
- ▶ Efektywne tempo zaniku ^{187}Re zależy od :
 - $T_{1/2}$ w stanie obojętnym i zjonizowanym (fizyka jądrowa),
 - chemicznej ewolucji Galaktyki (astrofizyka).

- ▶ Obecny stan wiedzy :

$$T_{1/2}^{\text{eff}}(^{187}\text{Re}) \approx 25 \text{ Gy} \rightarrow \text{wiek Galaktyki} : T_G > 12 \text{ Gy}$$

Podsumowanie

- Dzięki nowoczesnym metodom fizyki jądrowej możemy wytwarzać i badać z wielką czułością (pojedyncze atomy !), m.in.:
 - nuklidy bardzo dalekie od trwałości,
 - wysoko zjonizowane atomy ciężkich pierwiastków.
- Własności takich egzotycznych nuklidów są potrzebne m.in. do:
 - zrozumienia procesów nukleosyntezy,
 - „regulacji” kosmicznych zegarów.
- Jako ilustrację związku fizyki jądrowej z astrofizyką omówiłem :
 - trudności z opisem procesu r ,
 - rozpad beta ^{187}Re do stanu związanego.
- Przykłady innych osiągnięć :
 - identyfikacja > 100 nowych izotopów,
 - pomiar mas kilkuset nuklidów dalekich od trwałości,
 - odkrycie promieniotwórczości dwuprotonowej.
- Badania egzotycznych nuklidów mają świetne perspektywy.

Planowana rozbudowa GSI

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



Planowane intensywności wiązek radioaktywnych

