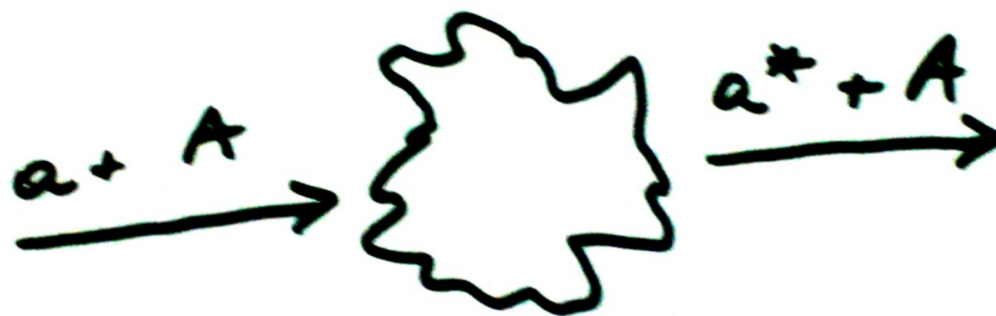
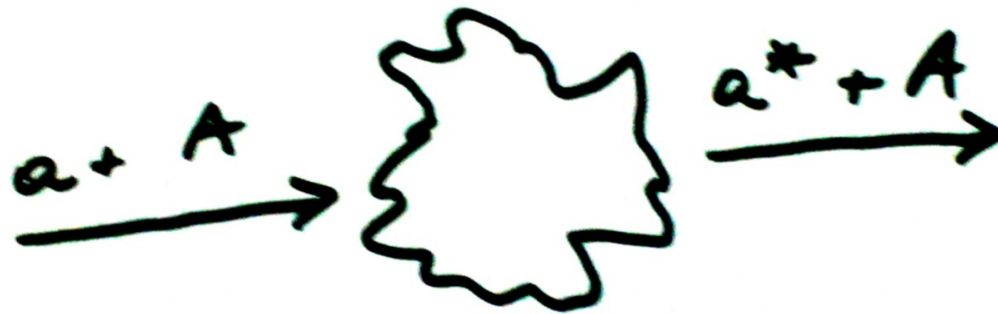


# Wstęp do reakcji jądrowych

Krzysztof Rusek

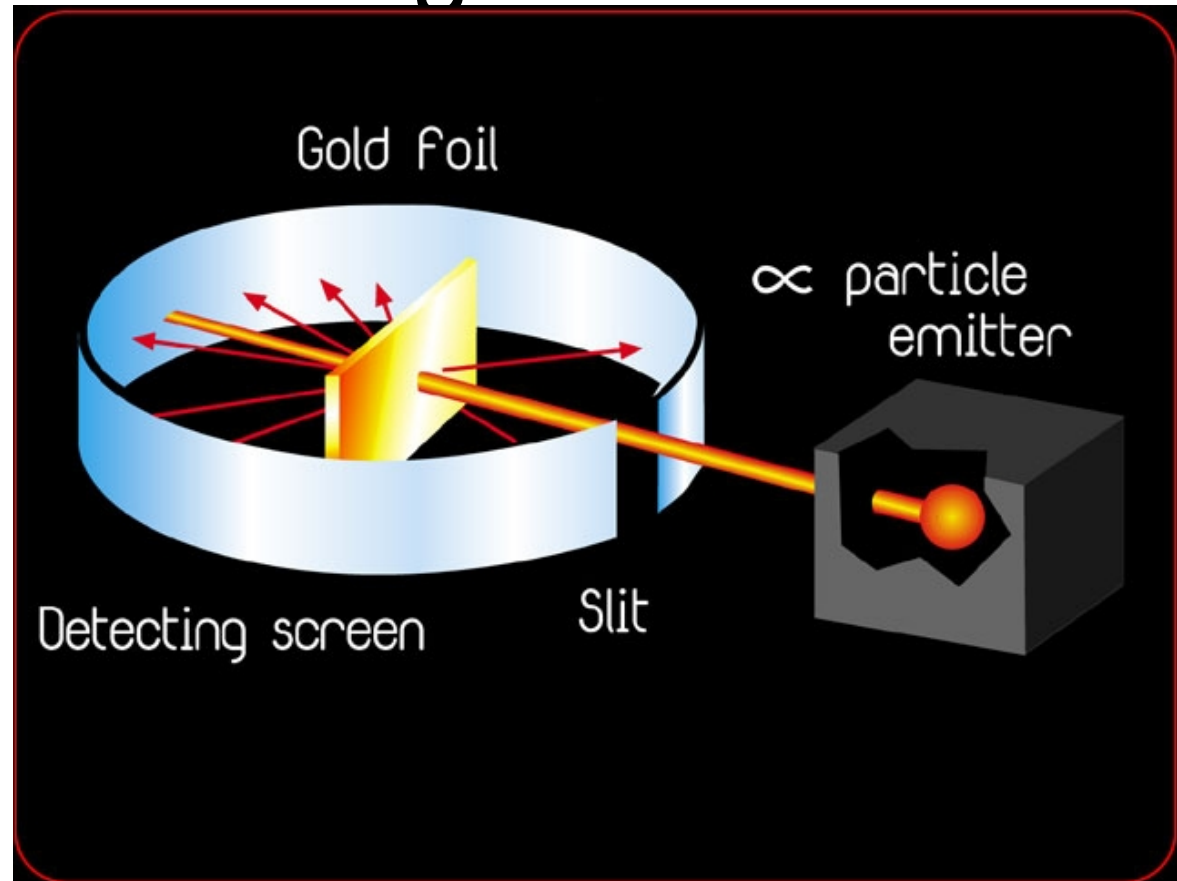


Reakcja jądrowa – proces, który zachodzi w wyniku „zderzenia” dwóch jąder atomowych



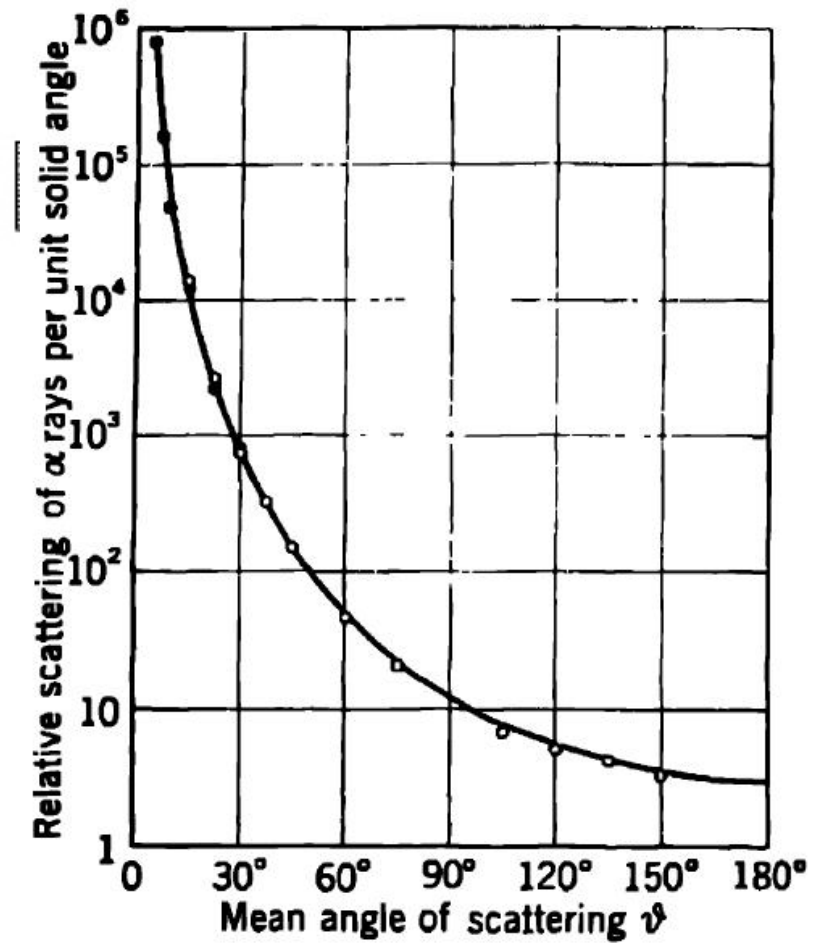
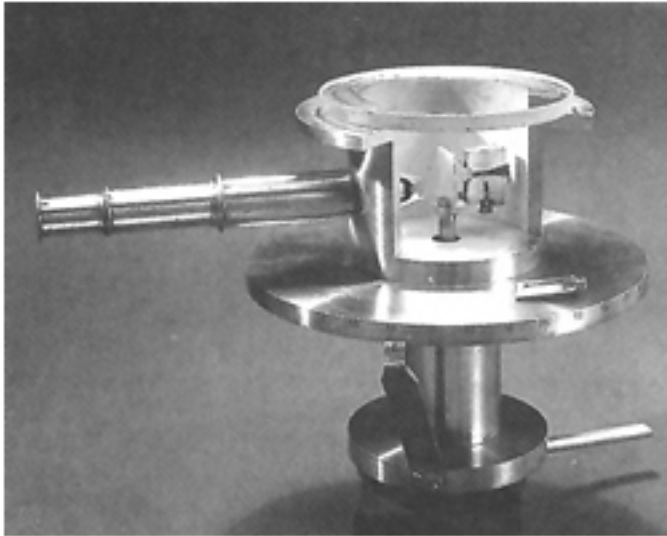
Metoda badania własności jąder atomowych a także metoda ich wytwarzania

# Początek: Odkrycie jądra atomowego



**E. Rutherford, 1911**

# Odkrycie jądra atomowego

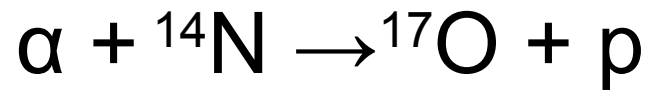


# Pierwsza reakcja jądrowa

Philosophical Magazine, vol 37,  
1919, str 581

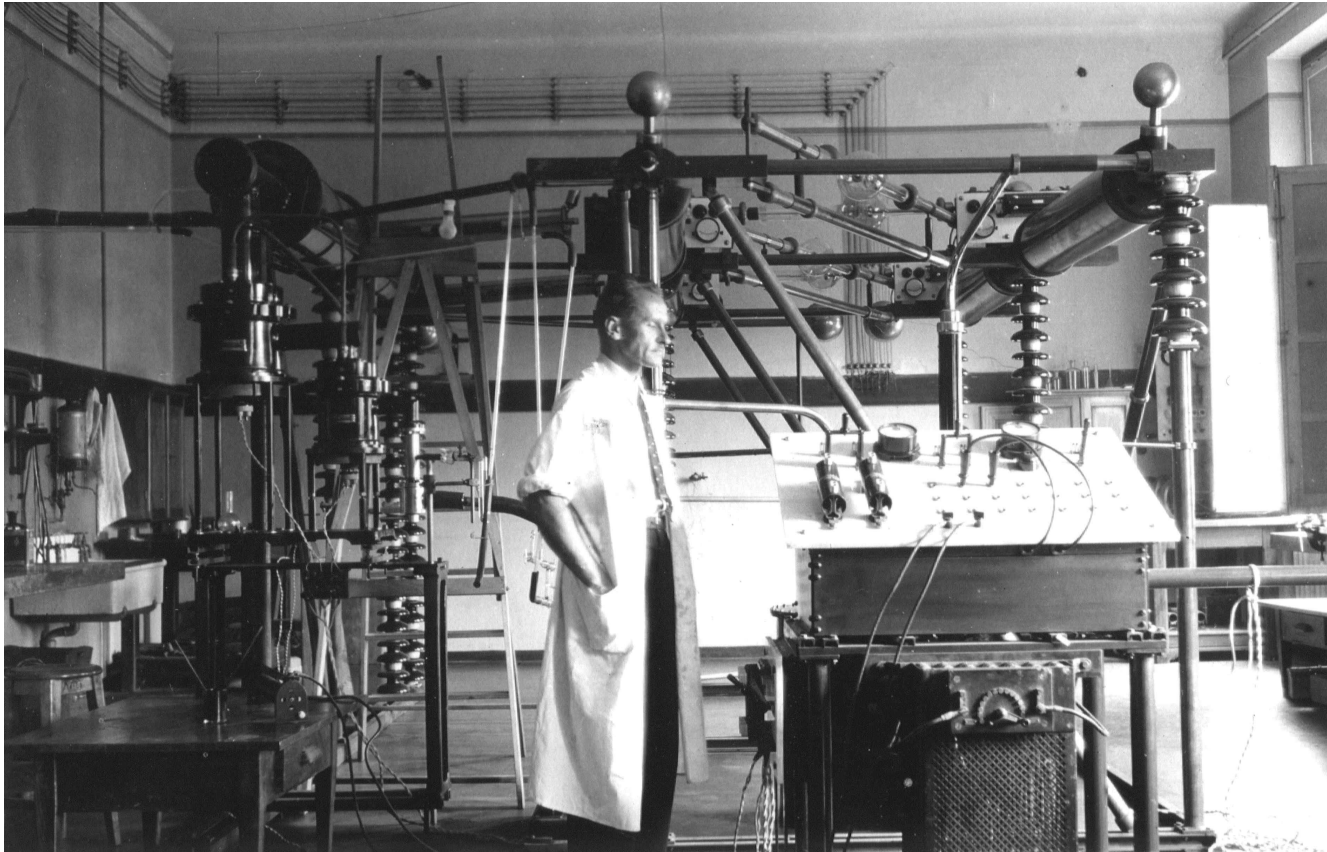
LIV. *Collision of  $\alpha$  Particles with Light Atoms. IV. An Anomalous Effect in Nitrogen.* By Professor Sir E. RUTHERFORD, F.R.S.\*

**I**T has been shown in paper I. that a metal source, coated with a deposit of radium C, always gives rise to a number of scintillations on a zinc sulphide screen far beyond the range of the  $\alpha$  particles. The swift atoms causing these scintillations



# Pierwszy polski akcelerator zbudowany na Hożej przez A. Sołtana (1937)

deuterony 0.4 MeV, prąd wiązki do 200  $\mu$ A

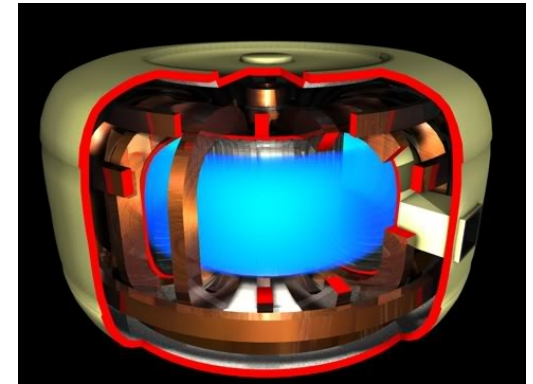


# Mikroświat

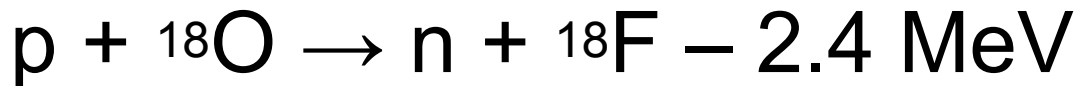
- Rozmiary: atom  $\sim 10^{-10}$  m, jądro  $\sim 10^{-15}$  m
- Siły: Kulombowskie – słabe, nieskończony zasięg, dobrze znane,  
Jądrowe – silne o krótkim zasięgu, wciąż niedostatecznie poznane

# Dlaczego je badamy?

- Pozyskiwanie energii:



- Produkcja radiofarmaceutyków:





Protony i neutrony powstały w pierwszej sekundzie po Wielkim Wybuchu (14 mld lat temu)

H, He, Li, Be, B powstały w pierwszych 20 min

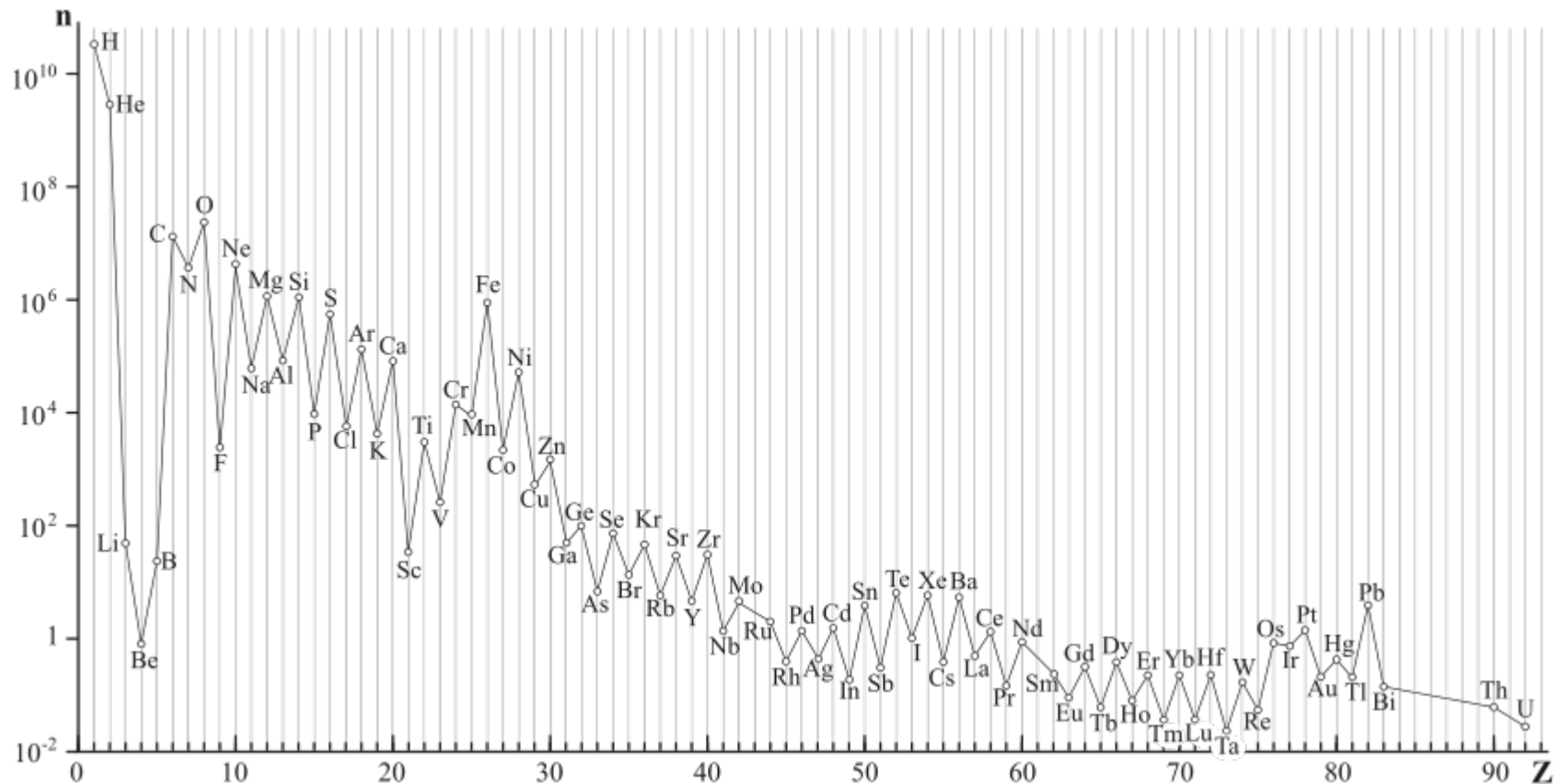
Inne pierwiastki powstały później w gwiazdach

Dlaczego tak mało antymaterii?

Co to jest czarna materia?

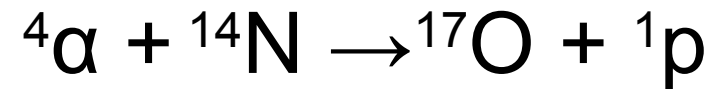
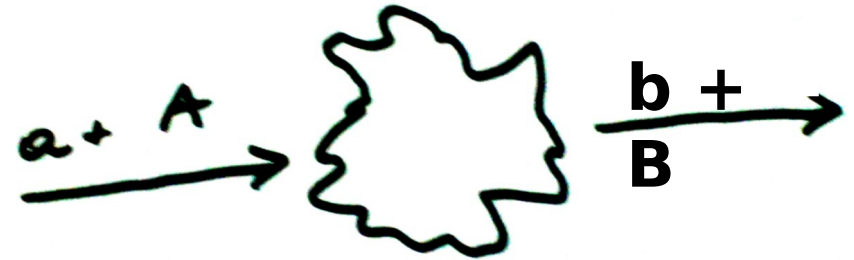
Co to jest ciemna energia?

- Rozpowszechnienie pierwiastków we Wszechświecie



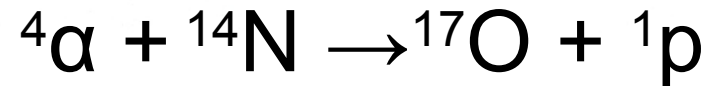
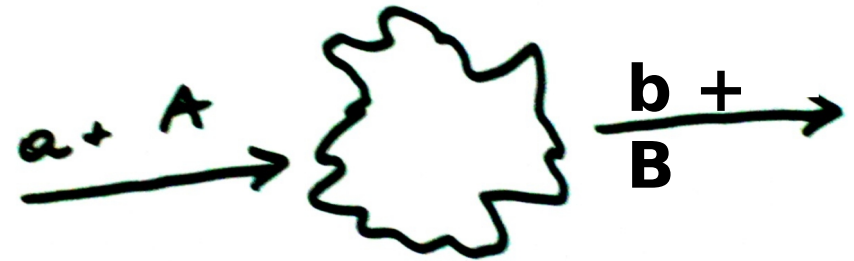
# Zasady zachowania

- Liczby nukleonów
- Ładunku
- Energii
- Pędu
- Momentu pędu



2            7            8            1

# Zasada zachowania energii



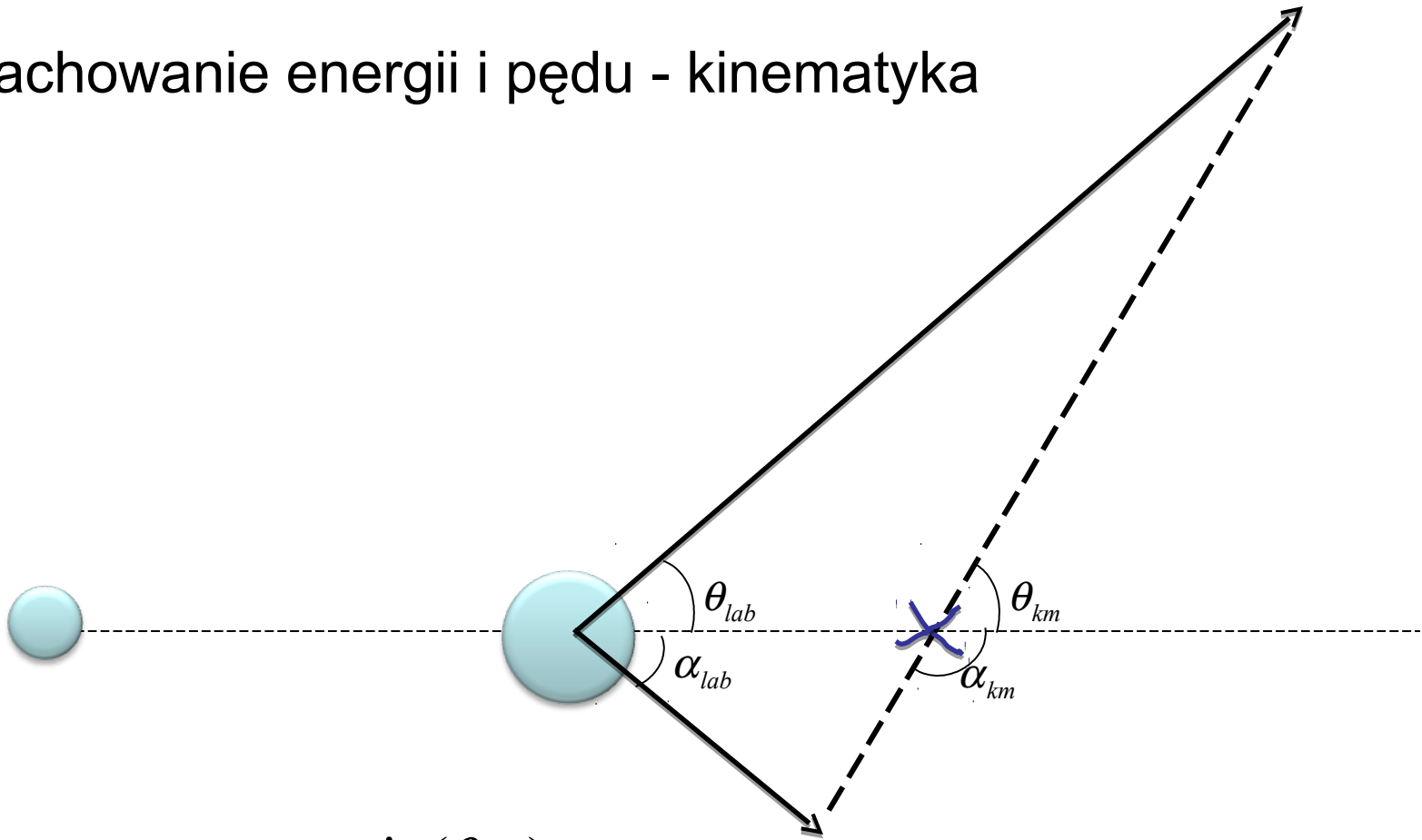
$$Q = -1.2 \text{ MeV}$$

$$E_1 + (M_a + M_A)c^2 = E_2 + (M_b + M_B)c^2$$

$$Q = (M_a + M_A - M_b - M_B)c^2$$

$$E_2 - E_1 = Q$$

# Zachowanie energii i pędu - kinematyka



$$\tan(\theta_{lab}) = \frac{\sin(\theta_{cm})}{\cos(\theta_{cm}) + v_M / v_{cm}}$$

$$E_{CM} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} E_{lab}$$

# Podstawowe Rodzaje

Przez jądro złożone  
(compound)

- Dwa stopnie

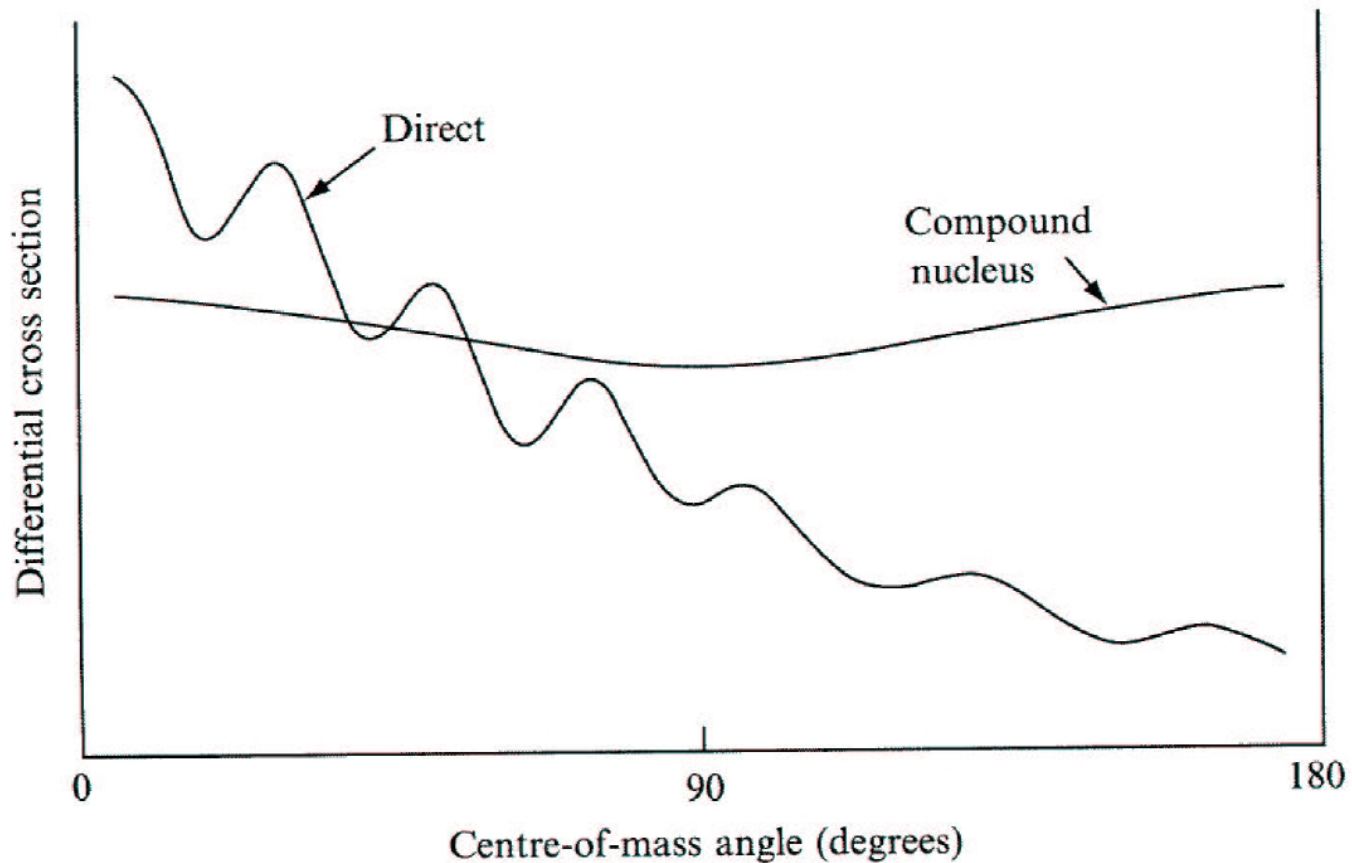


- Długi czas  $10^{-16}$  -  $10^{-18}$  s
- Izotropowa emisja cząstek
- mała energia cząstek

Bezpośredniego  
oddziaływania (direct)

- Jeden stopień
- Krotki czas  $10^{-22}$  s
- Cząstki emitowane „do przodu”
- Duża energia cząstek

# Rozkłady kątowe emitowanych cząstek



# Rodzaje reakcji bezpośredniego oddziaływania

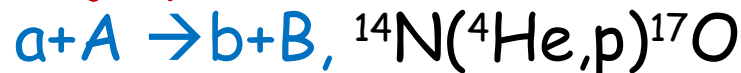
1- Elastyczne rozpraszanie,



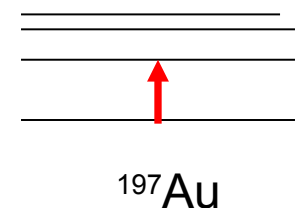
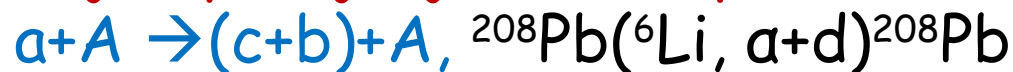
2- Rozpraszanie nieelastyczne



3- Reakcje przekazu nukleonów,



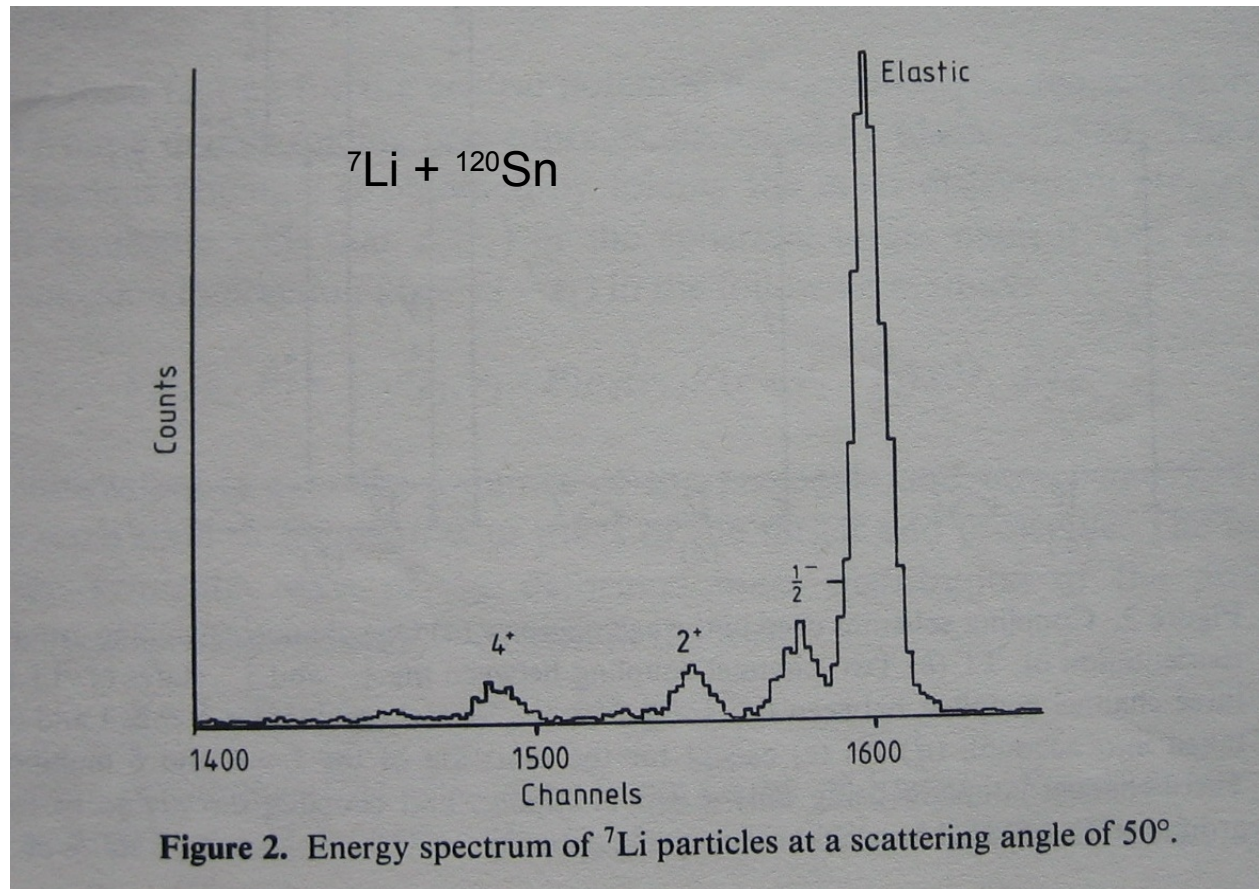
3- Reakcje dysocjacji (breakupu),





# Co mierzymy

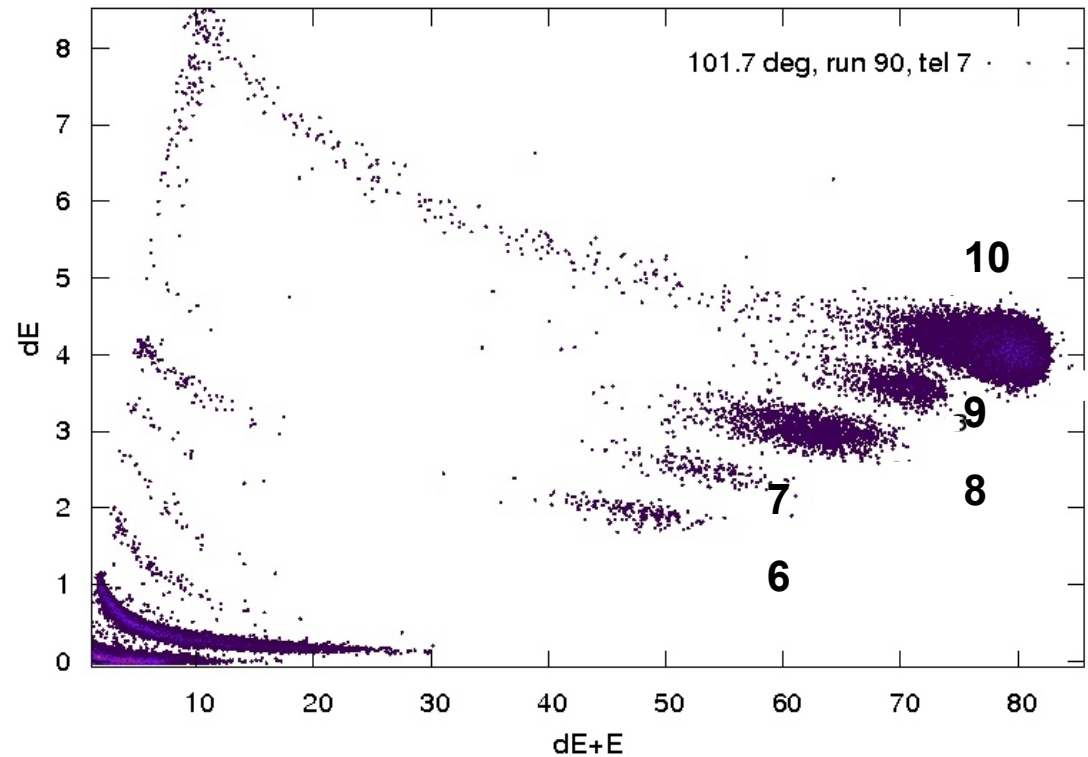
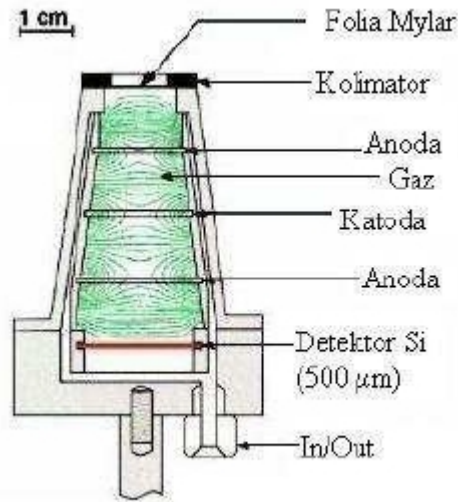
- energię emitowanych cząstek



# Co mierzymy

- Rodzaj cząstek

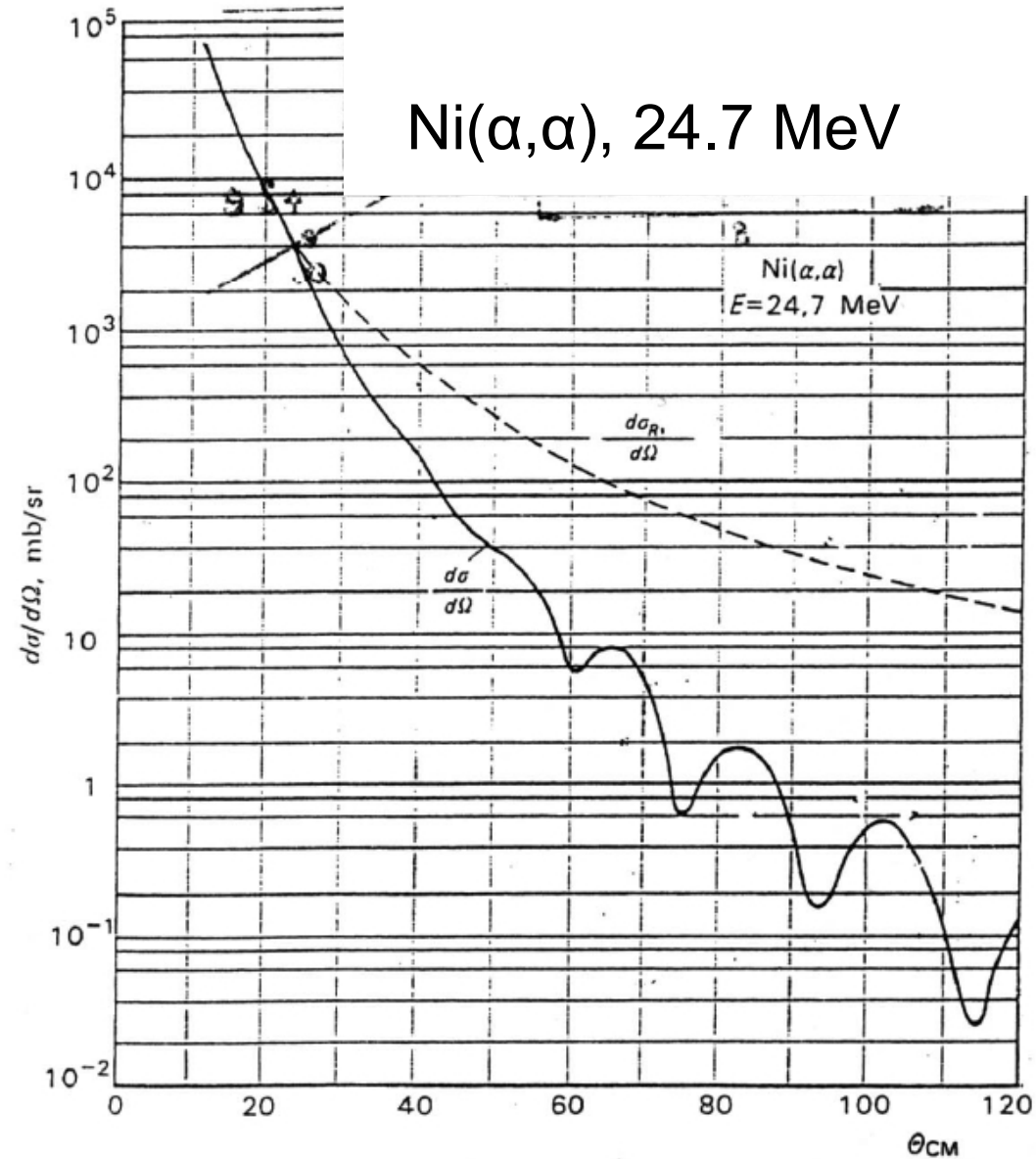
$^{20}\text{Ne} + ^{208}\text{Pb}$ , 115 MeV



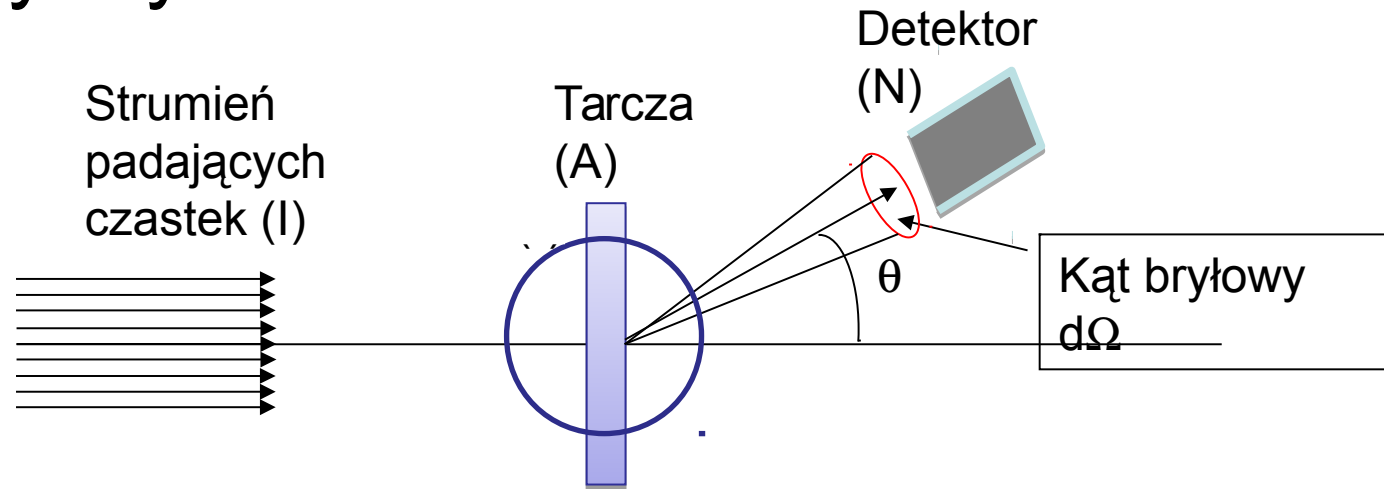
Strata energii  $\sim Z^2 / E$

# Co mierzymy

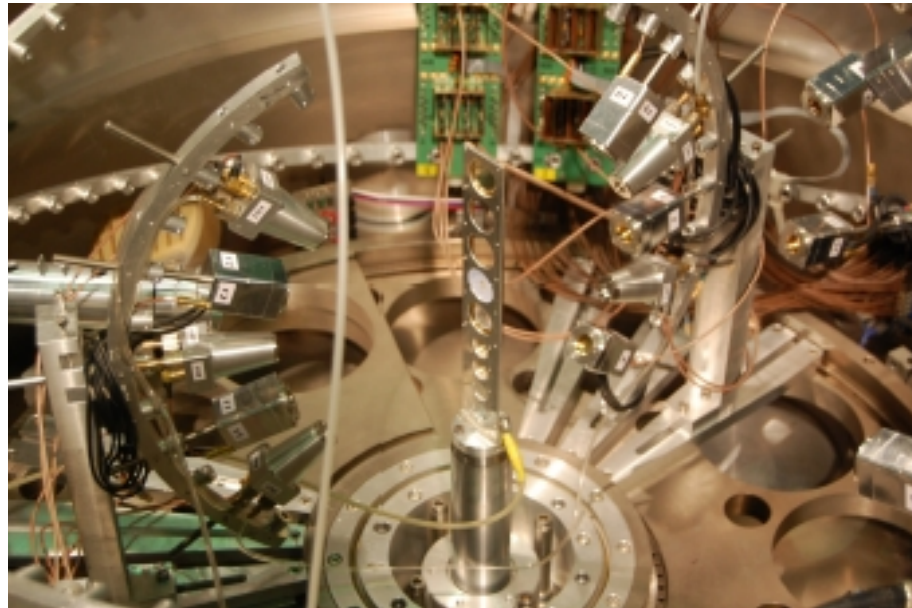
- Prawdopodobieństwo emisji pod danym kątem (rozkłady kątowe)



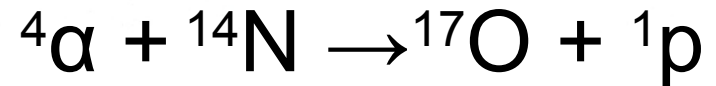
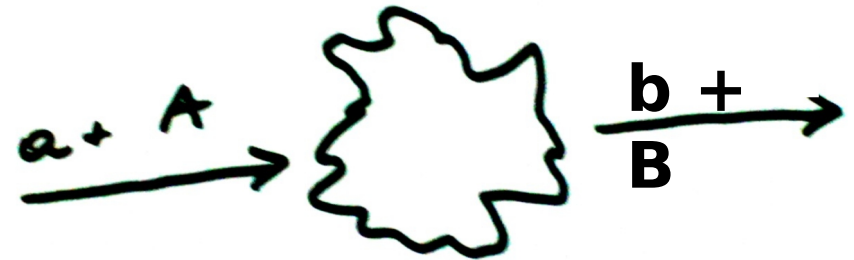
# Przekrój czynny:



$$\sigma(\vartheta) = N / (I A d\Omega) \quad \text{Jednostką jest barn (b) / sr} = 10^{-28} \text{ cm}^2 / \text{sr}$$



# Teoria – mechanika kwantowa



$$H(\mathbf{r}, R) \psi(\mathbf{r}, R) = E \psi(\mathbf{r}, R)$$

$$H(\mathbf{r}, R) = H_0(\mathbf{r}) + T(R) + V(\mathbf{r}, R)$$

$$\psi(\mathbf{r}, R) = \varphi(\mathbf{r}) \chi(R)$$

# Laboratoria Europejskie



## Long Range Plan

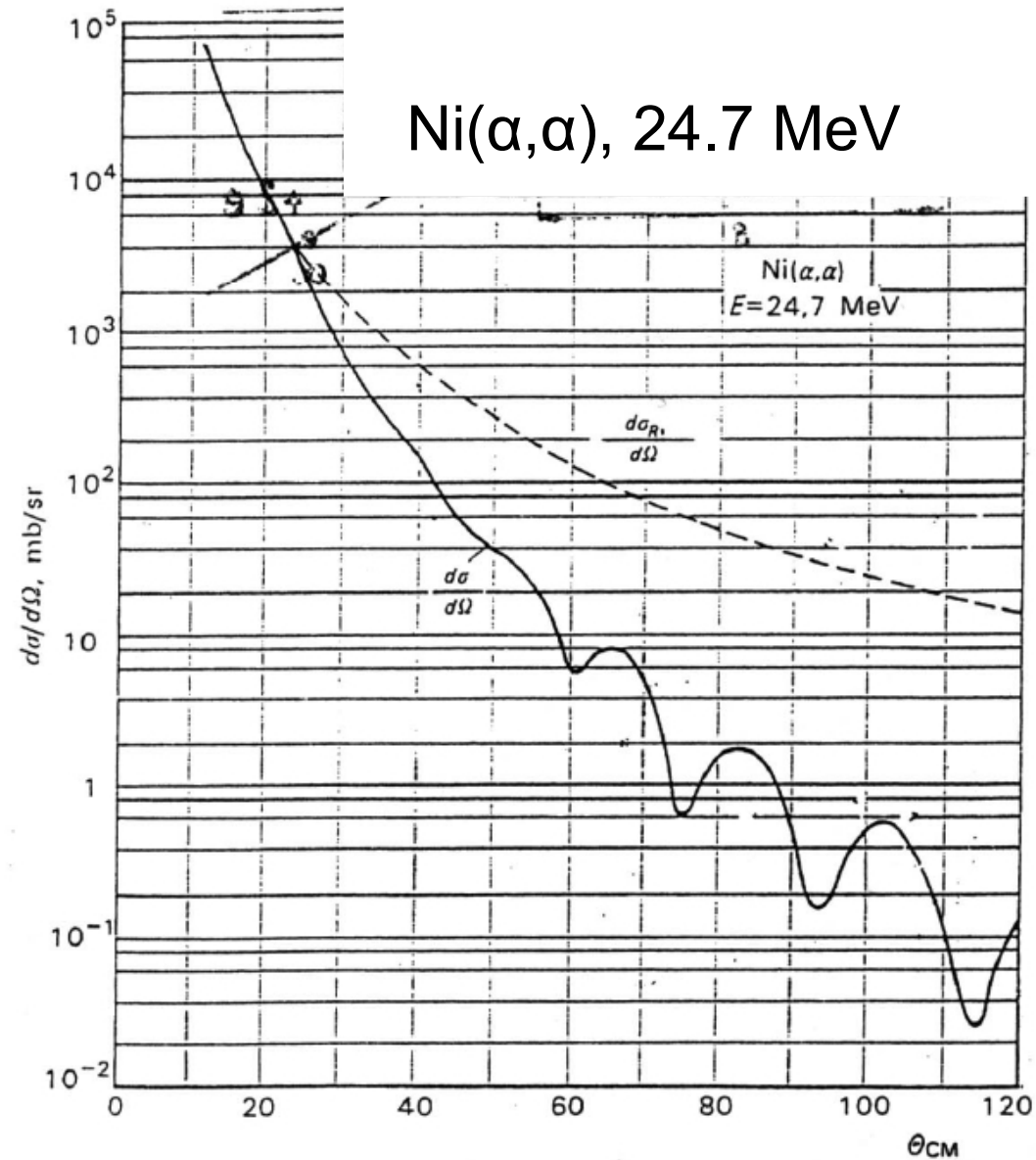
NuPECC – komisja ekspercka  
European Science Foundation





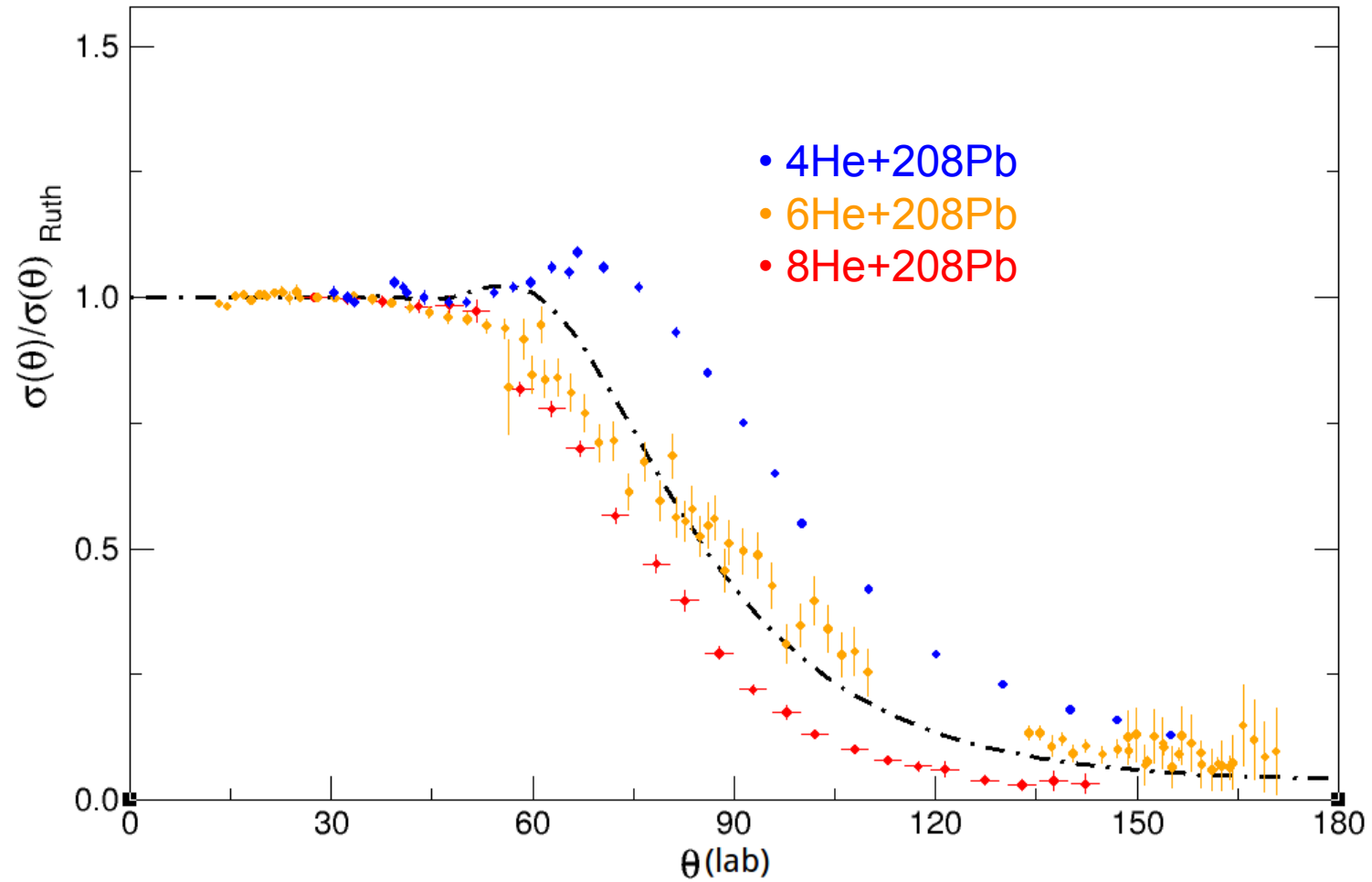
# Rozpraszanie elastyczne

Źródło wiedzy o  
rozmiarach jąder  
i o ich  
oddziaływaniach

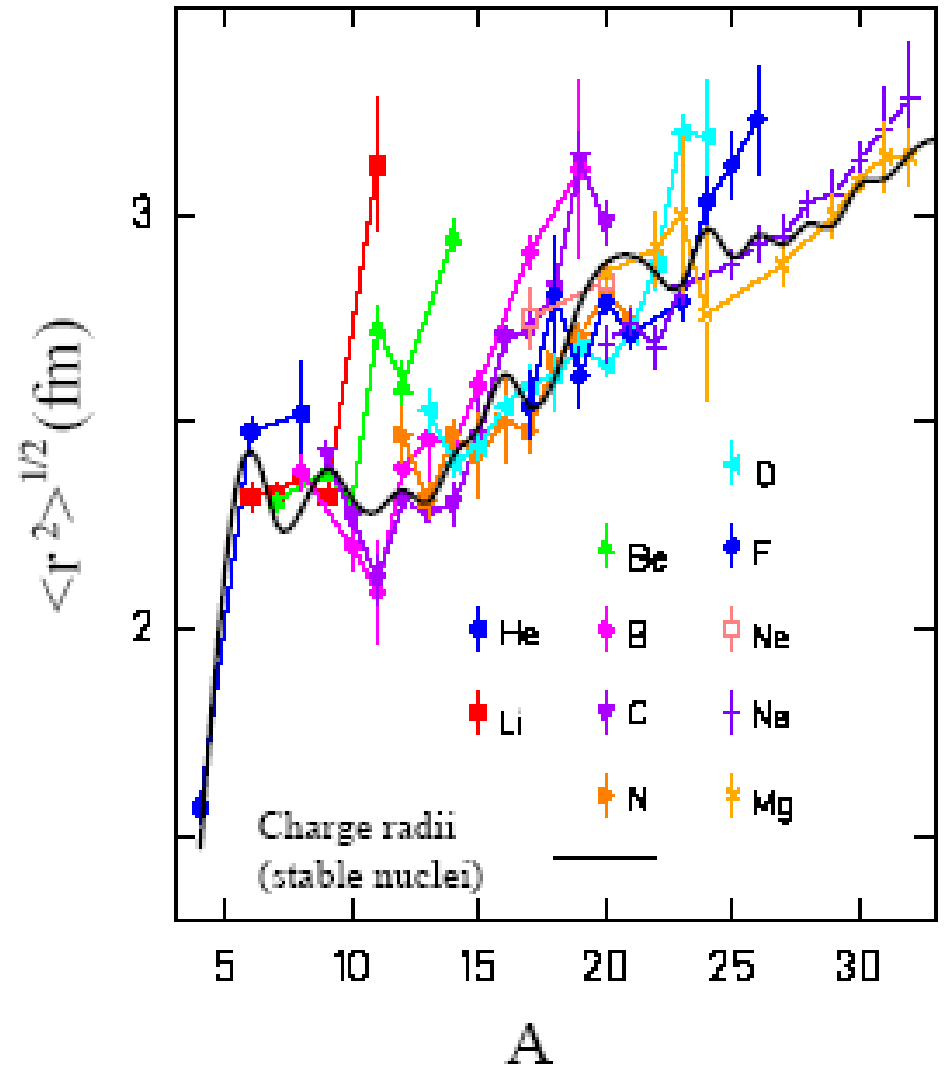
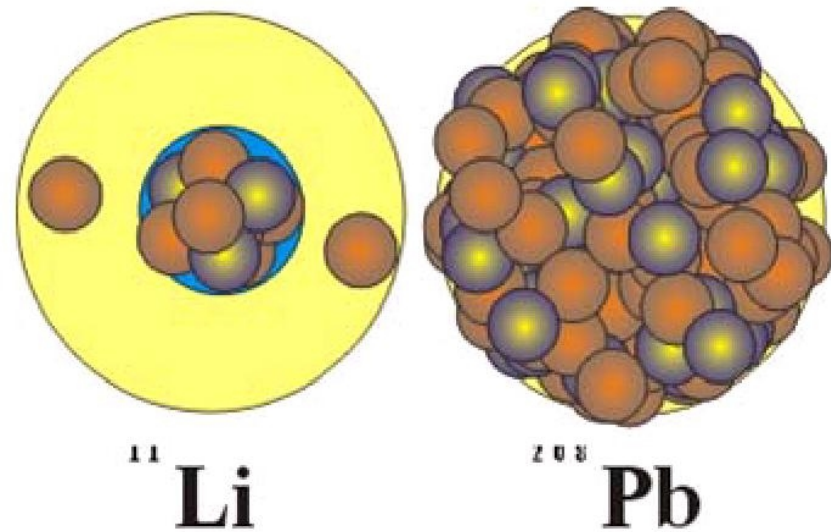




# Rozmiary jąder



# Rozmiary jąder



# Rozpraszanie nieelastyczne

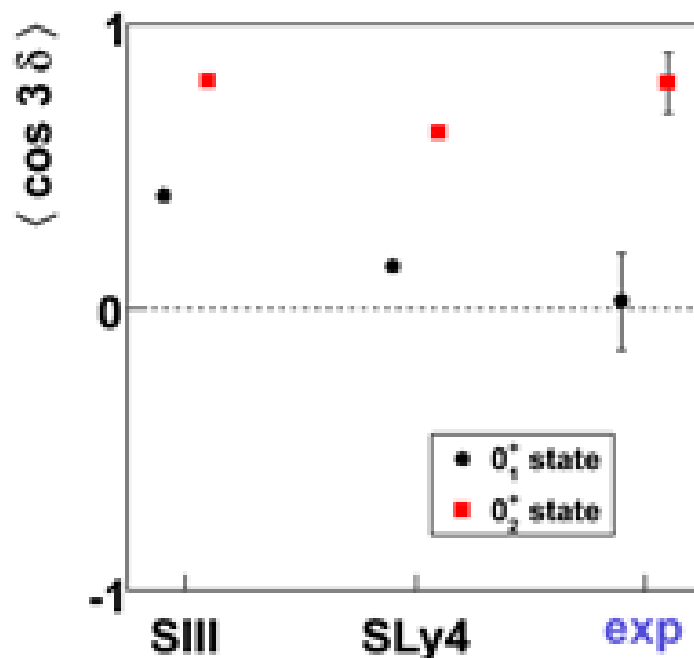
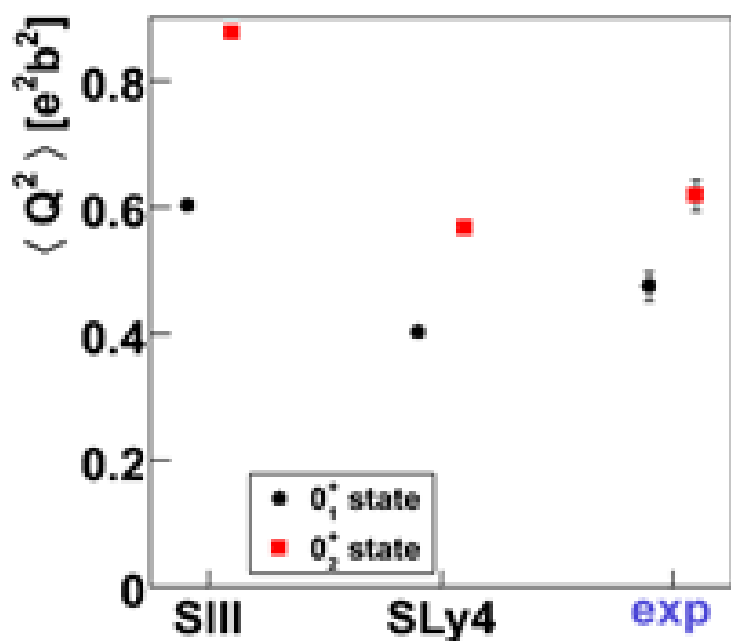
## Deformacja $^{100}\text{Mo}$ :

Teoria:

L. Próchniak

Int. J. Mod. Phys. E19 (2010) 705,

L. Próchniak, S. G. Rohoziński, J. Phys. G: Nucl. Part. 36 (2009) 123101



triaxial



# Reakcje transferu nukleonów

Źródło wiedzy o strukturze jąder, metoda „produkcji” jąder niestabilnych

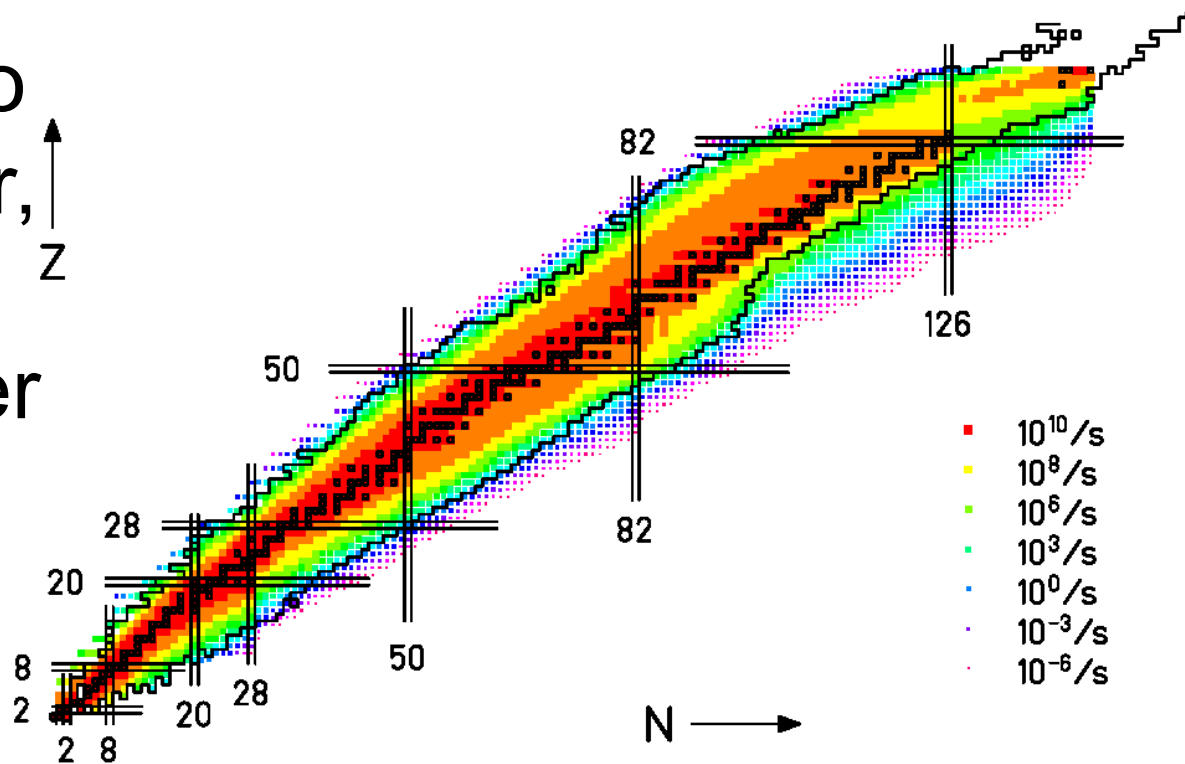
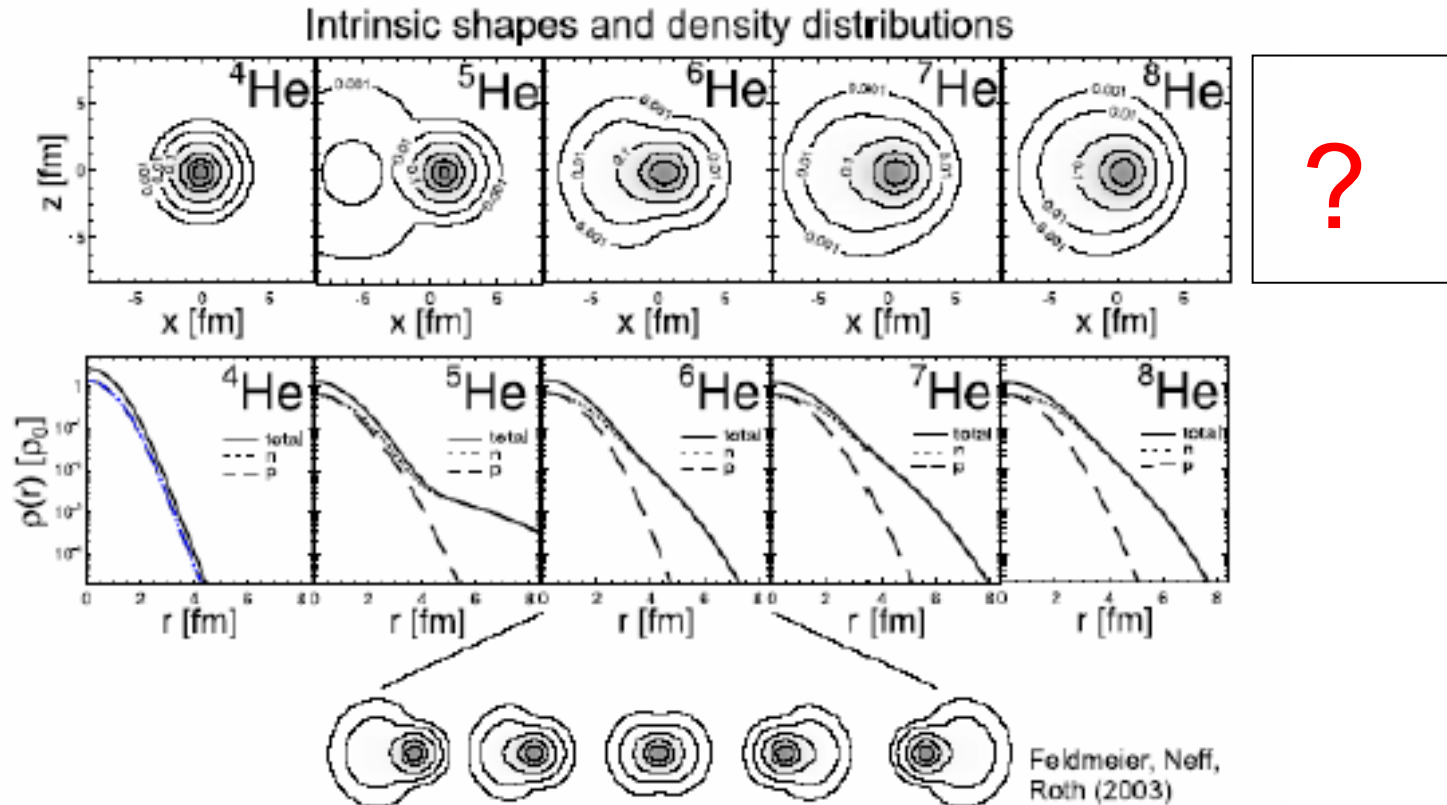


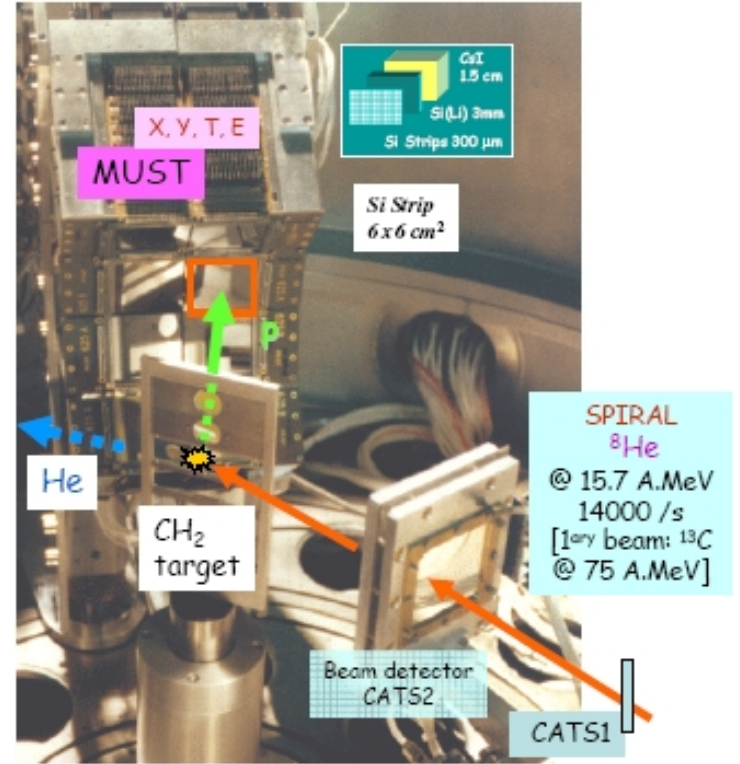
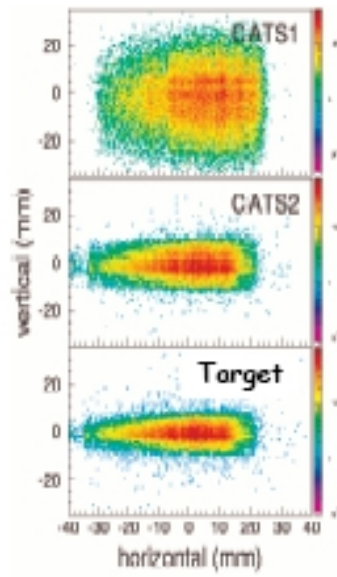
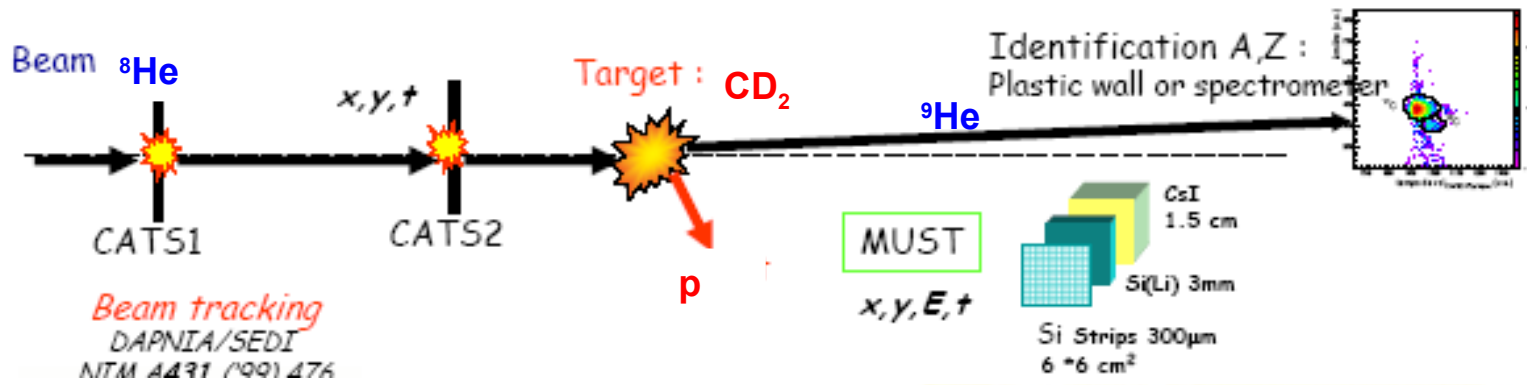
Figure 1.17: Predicted productions rates (for nuclei with half-lives larger than 100 ns) at the proposed facility. Primordial nuclei, closed shells, and the limits of known nuclei are indicated in black.

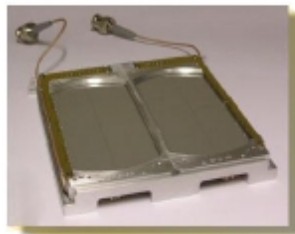
# Struktura ${}^9\text{He}$ – jądra z pogranicza stabilności



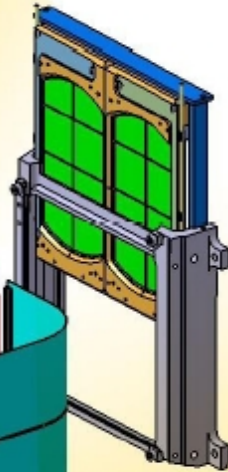
Eksperyment:  $d + {}^8\text{He} \rightarrow p + {}^9\text{He}$

# Experimental set-up

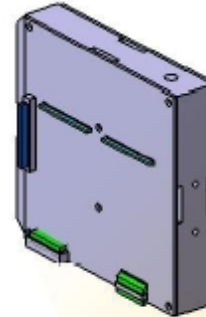
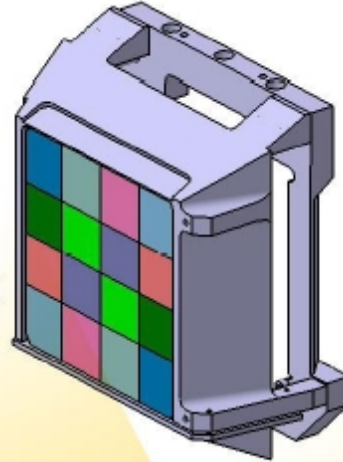




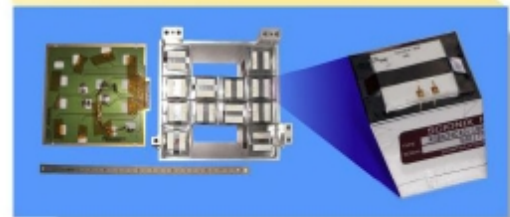
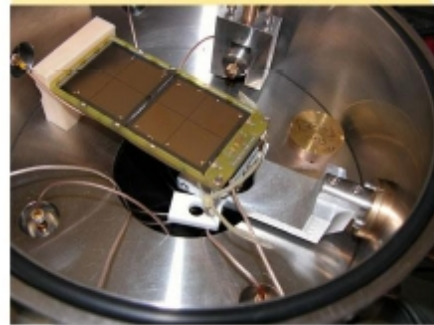
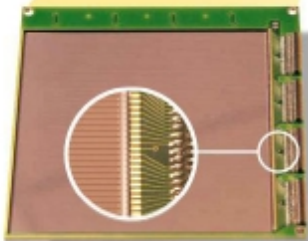
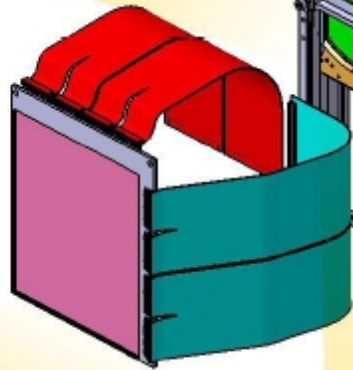
Si(Li) 5mm



CsI 4cm

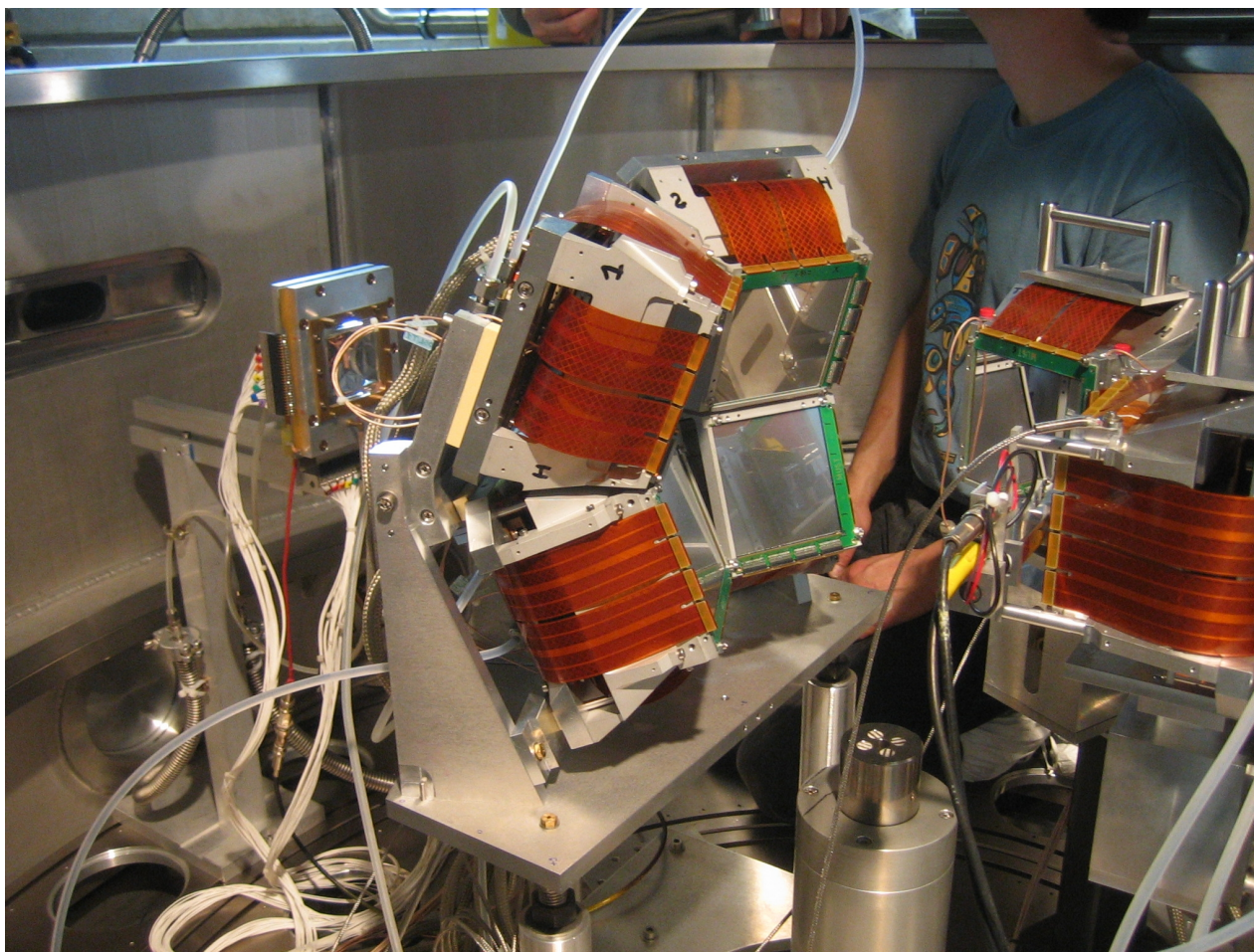


DSSD  
10x10cm<sup>2</sup>  
128X+128Y  
300μm



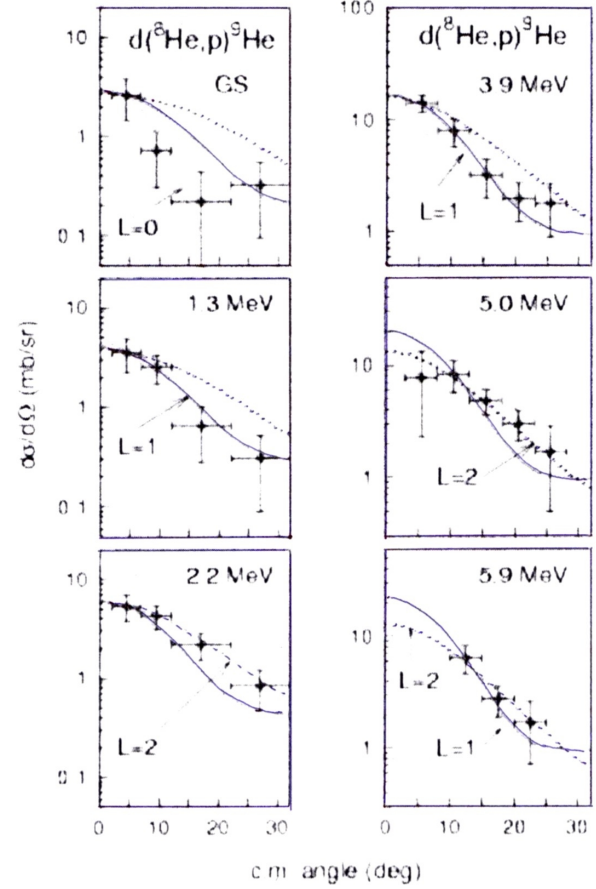
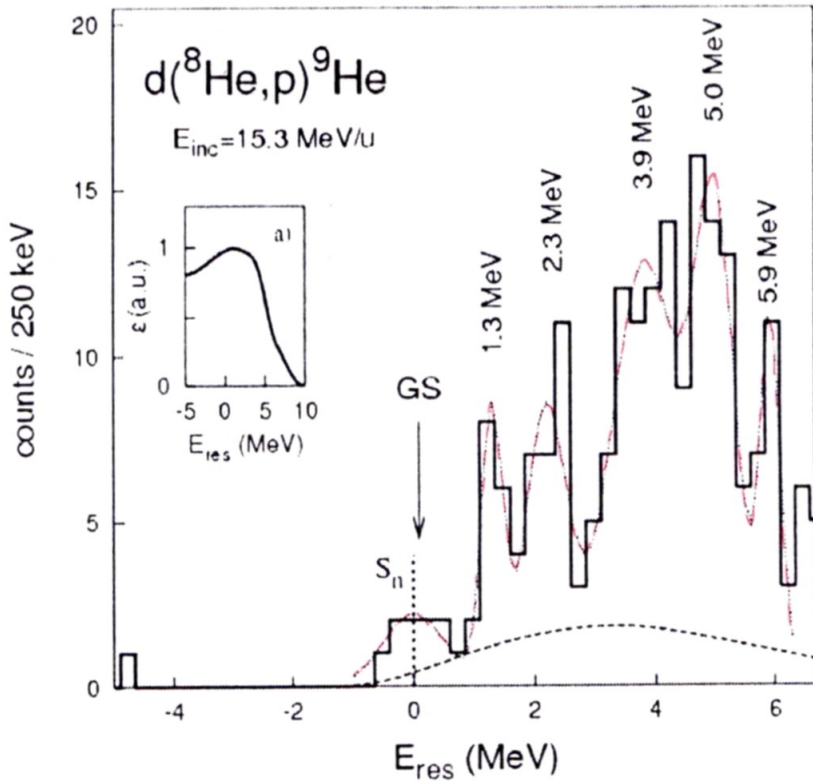


# Układ pomiarowy

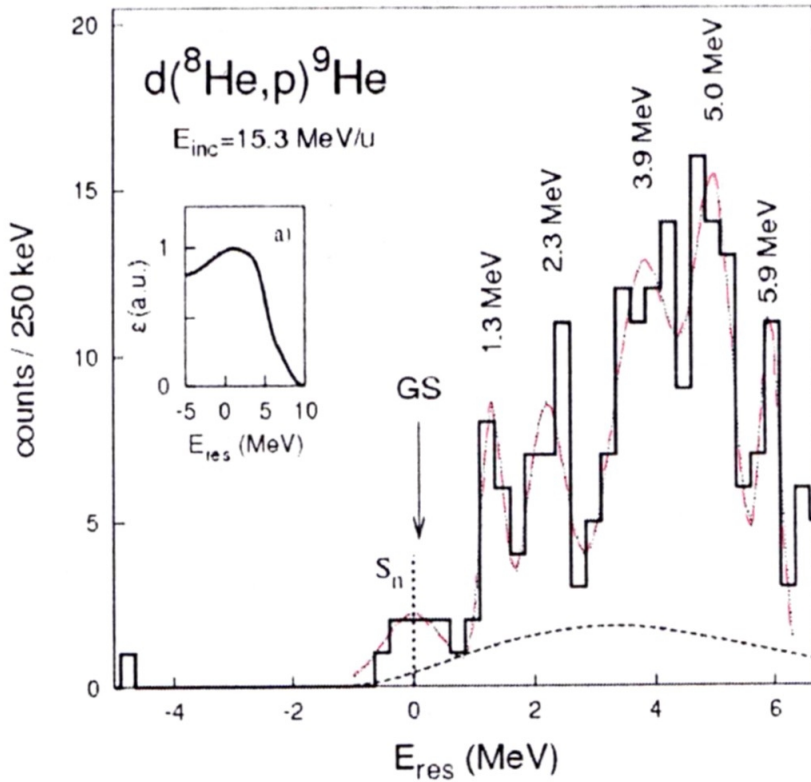




# Wstępne wyniki



# Wstępne wyniki



Ex (MeV)	J	$\Gamma$ (MeV)
0.02	$\frac{1}{2}^+$	
1.3	$(\frac{1}{2}, \frac{3}{2})^-$	0.2
2.3	$(\frac{3}{2}, \frac{5}{2})^-$	0.7
3.87	$(\frac{1}{2}, \frac{3}{2})^-$	1.6
5.0	$(\frac{3}{2}, \frac{5}{2})^+$	0.9
5.93	?	0.3

Dziękuję za uwagę