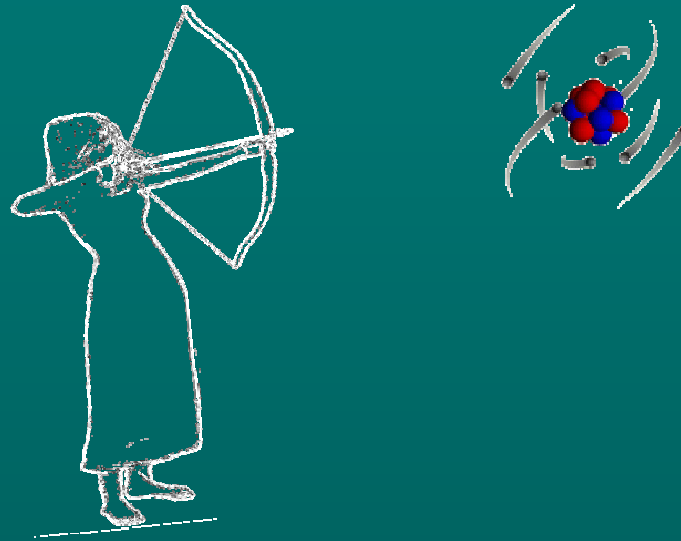




UNIWERSYTET WARSZAWSKI



# Tarcze do badań w fizyce jądrowej



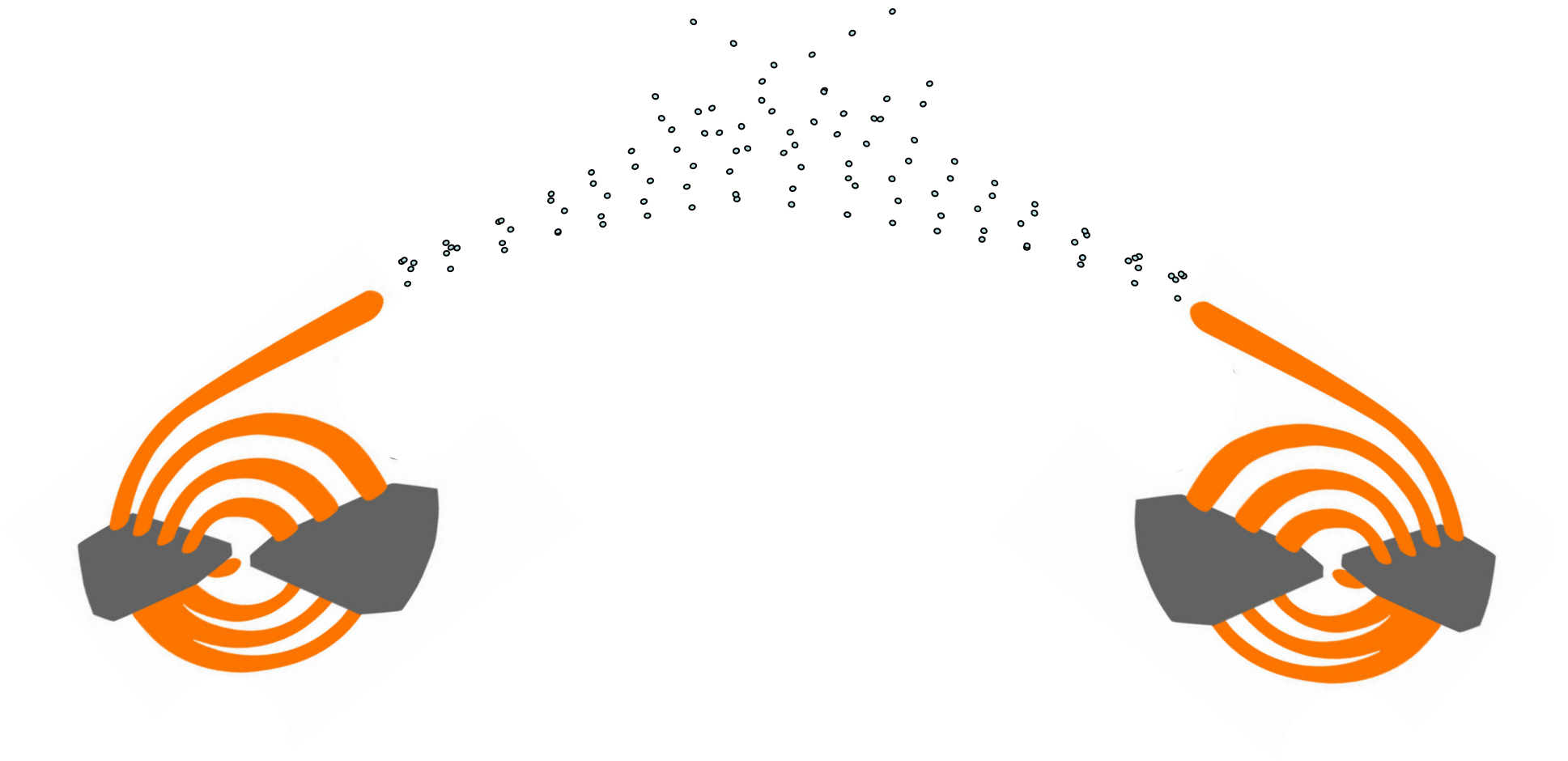
**Anna Stolarz**

**Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów**

*XII Warsztaty Studenckie, październik 2016*

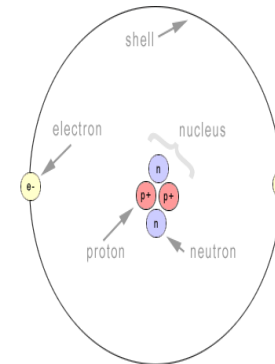
Reakcja jądrowa – proces, w którym zachodzi przemiana jądra jednego pierwiastka w jądro innego.

Może być to przemiana spontaniczna (rozpady radioaktywne), jak i wywołana przez zderzenie dwóch jąder albo jądra z cząstkami elementarnymi (wymuszona).





+

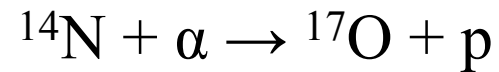


Substancja lub obiekt poddany bombardowaniu cząstkami takimi jak elektron, proton, lub ciężkie jony nazywana jest tarczą.

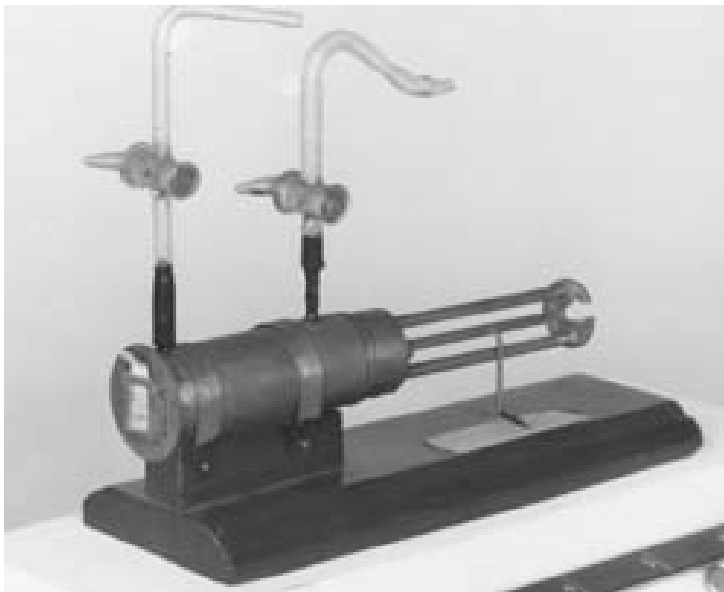
Cząstki bombardujące mogą pochodzić ze spontanicznie rozpadających się izotopów lub mogą być dostarczane przez .... akceleratory.

# Transmutacja Rutherforda

Cząstki  $\alpha$  pochodzące z Po ( $^{210}\text{Po}$ ) zamkniętego razem z gazowym azotem w szklanej rurze, w zderzeniu z atomami azotu prowadziły do powstawania jąder wodoru (nazwanych przez Rutherforda protonami)

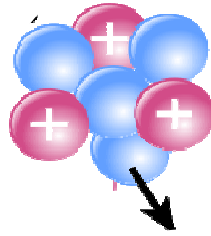


*„An anomalous effect in nitrogen”*



*Aparat, w którym Rutherford przeprowadził reakcję transmutacji azotu w tlen w 1919 roku.*

Lit-7



Pierwszą reakcją jądrową z wykorzystaniem wiązki cząstek elementarnych przeprowadzili John Cockcroft i Ernest Walton w 1932 roku bombardując Li-7 przyspieszonymi protonami. W wyniku tej reakcji powstały dwa jądra helu (cząstki  $\alpha$ )

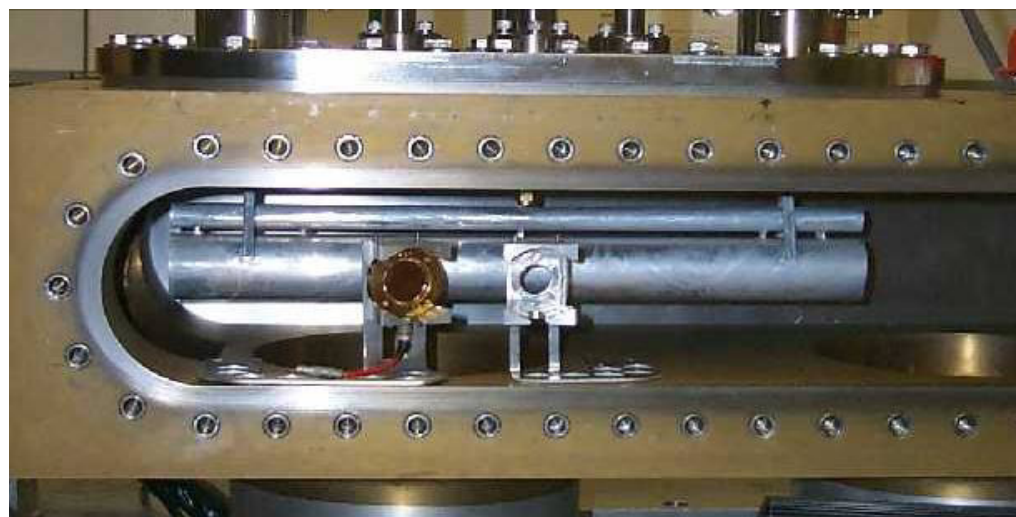
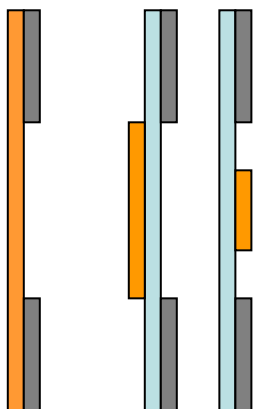
## Gazowe lub ciekłe

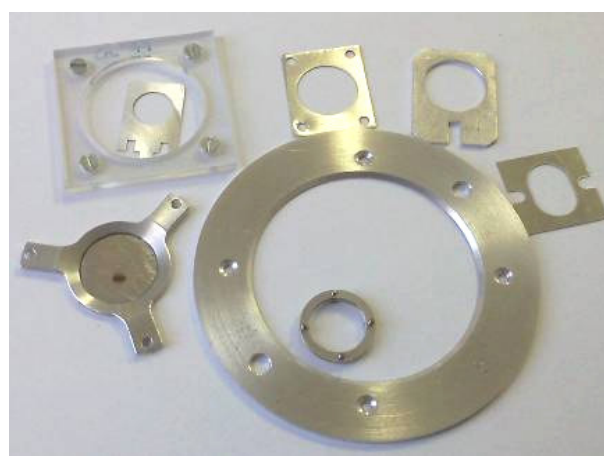
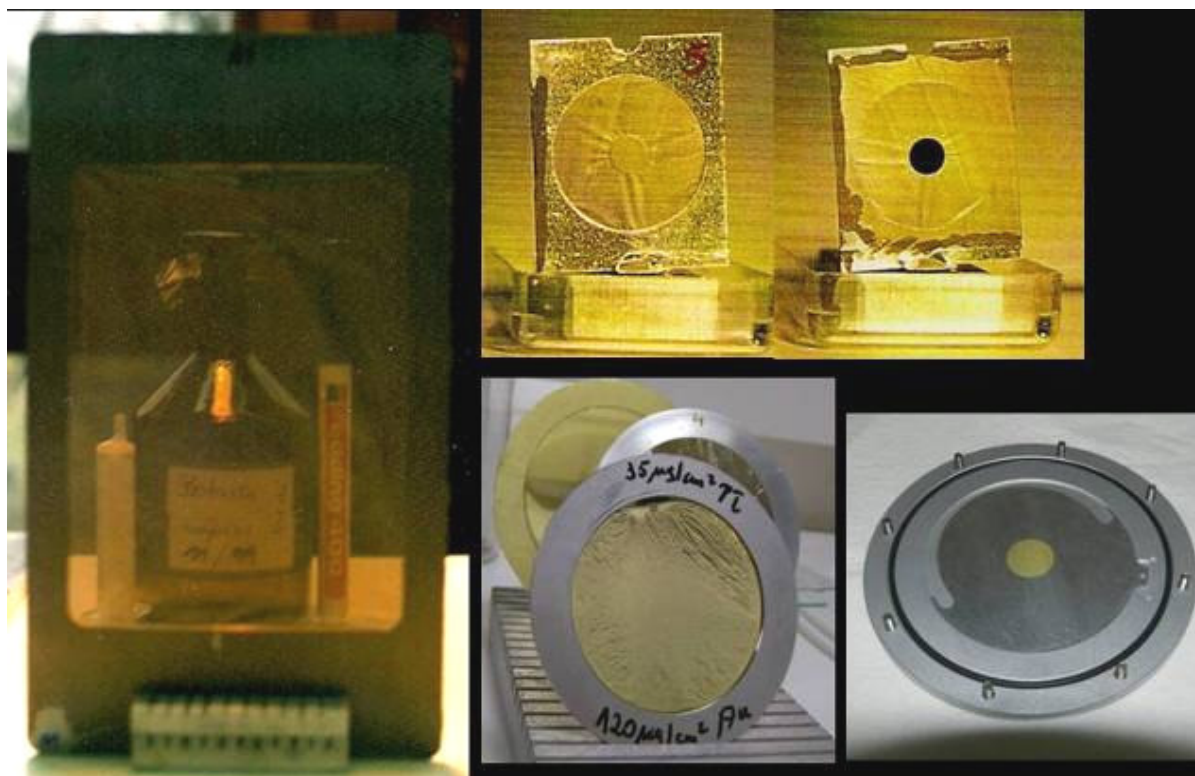
- strumień gazu lub cieczy (także stopione metale)
- materiał zamknięty w chłodzonej komorze
- tarcze gazowe są też przygotowywane za pomocą tzw. implementacji w ciało stałe



## Tarcze z ciała stałego

- samopodtrzymujące się
- na nośnikach (podkładkach)





## Parametry tarczy

W eksperymentach fizyki jądrowej na ogół używa się tarcz o grubości od  $\sim 1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  do  $10\text{-}20 \text{ mg}/\text{cm}^2$ .

### **Grubość:**

masa/powierzchnia czyli  $\text{g-mg-}\mu\text{g}/\text{cm}^2$

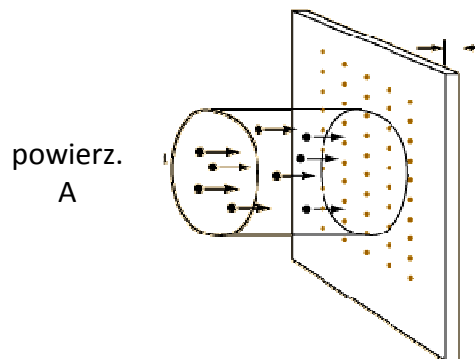
$$\text{Au} = 1.9 \text{ mg}/\text{cm}^2 \quad \text{Al} = 1.9 \text{ mg}/\text{cm}^2$$

We wczesnych publikacjach dotyczących badań jądrowych np. grupa Rutherforda pisała o grubości będącej odpowiednikiem pochłanianie w cm ‘grubości’ powietrza albo jako ilość substancji zużytej do zrobienia tarczy “*A suitable amount of uranium precipitated by ammonia as uranate and, after drying, exposed to bombardment with neutrons*” [Lise Meitner et al, Ber.dtsch. Chem. Ges. 69 (1936) 905]



Liczba reakcji jądowych jakie zachodzą w jednostce czasu wskutek bombardowania tarczy wiązką cząstek/jonów jest proporcjonalna do:

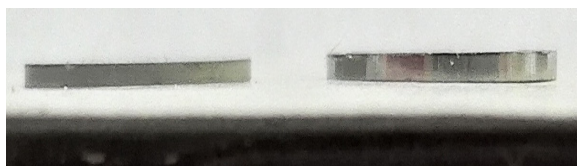
- przekroju czynnego (mówiącego o prawdopodobieństwie zajścia reakcji)
- intensywności wiązki
- ilości jąder, które wiązka 'widzi' w tarczy



Każdy mol substancji zawiera taką samą liczbę cząstek (np. atomów, cząsteczek, itp). Liczba ta jest nazywana liczbą Avogadro

$$N_A = (6,02214129 \pm 0,00000027) \times 10^{23} \text{ cząstek}$$

**Liczba jąder/atomów** mogących wziąć udział w reakcji jest **proporcjonalna do masy** próbki/tarczy, tak więc wygodniejsze jest opisywanie grubości tarczy w g-mg- $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  niż w jednostkach liniowych (mm,  $\mu\text{m}$ ).



$$1 \text{ mol} = 1 \text{ gramoatom} = A \text{ [g]}$$

$$1 \text{ mol} = 1 \text{ gramocząsteczka} = \sum A_n \text{ [g]}$$

*Au*

1  $\mu\text{m}$

$$= 5.9 \times 10^{18}$$

*Al*

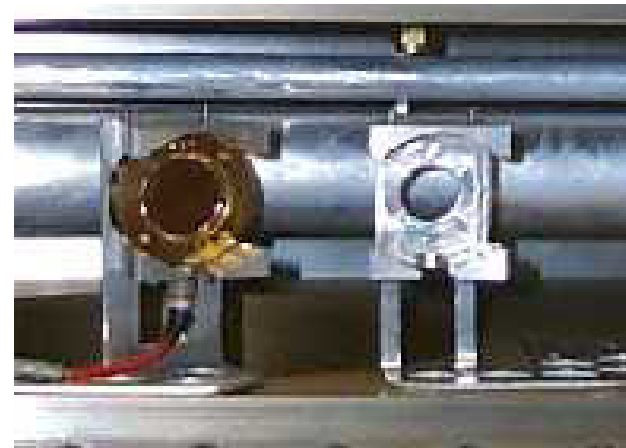
1  $\mu\text{m}$

$$= 6.02 \times 10^{19}$$

# *Jak zrobić tarczę?*

## Parametry tarczy:

- \* skład czyli jądro jakie potrzebne do badanej reakcji/zjawiska
- \* stan skupienia: stałe, ciekłe, gazowe
- \* grubość (wynika z przekroju czynnego planowanej reakcji) i jej jednorodność
- \* czystość a także postać chemiczna
- \* 'forma' mechaniczna czyli:
  - samopodtrzymująca się/samonośna czy na podkładce
  - (samo- powyżej  $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  ale dla C nawet  $2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ )



## *Jak zrobić ?*

a także

- dostępność metody (aparatury) w pracowni tarczowej
- koszt metody
- czystość metody (możliwości wprowadzenia zanieczyszczeń)

*Jak???*

mechanicznie:

walcowanie

$0.5 \text{ mg/cm}^2 - > \text{g/cm}^2$

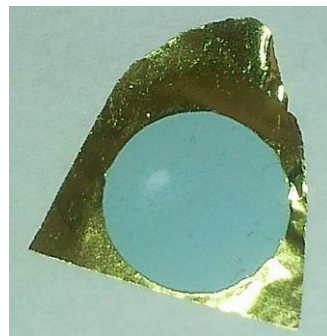
tabletkowanie

$\sim 20 \text{ mg/cm}^2 - > \text{g/cm}^2$

sedymentacja

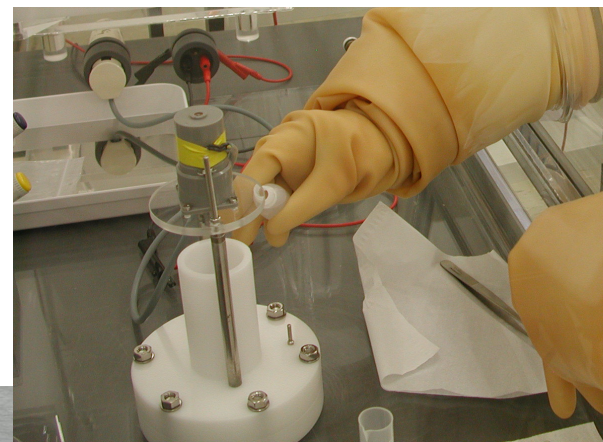
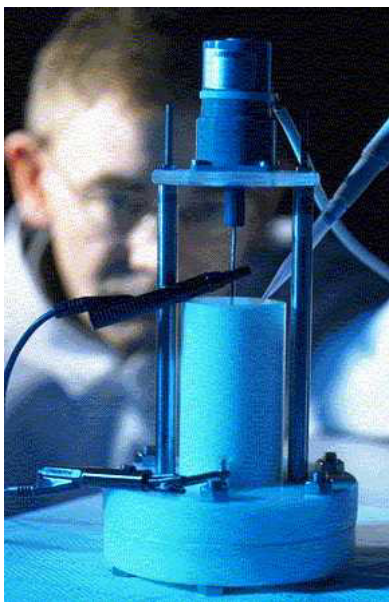
- ✓ grawitacyjna lub
- ✓ wymuszona czyli z użyciem wirówki

$\sim 2 \text{ mg/cm}^2 - > \text{g/cm}^2$



*Jak?*

chemicznie: elektro-osadzanie ze środowiska wodnego lub organicznego na przewodzącą podkładkę



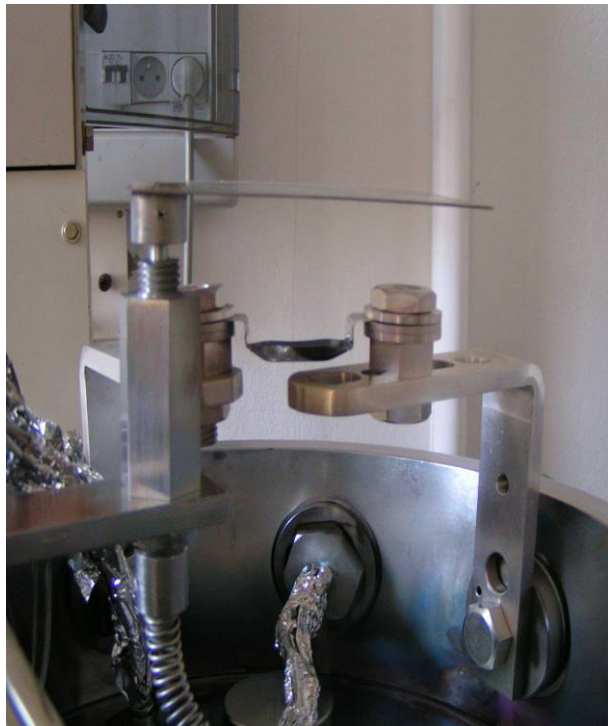
## Jak???

osadzanie par materiału w wysokiej próżni  
(samonośne lub na podkładkach)

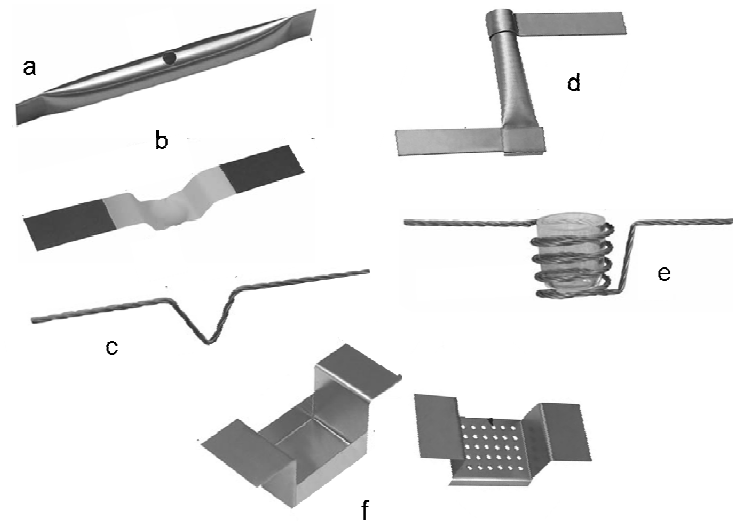
-grzanie oporowe

-e-gun

-sputtering



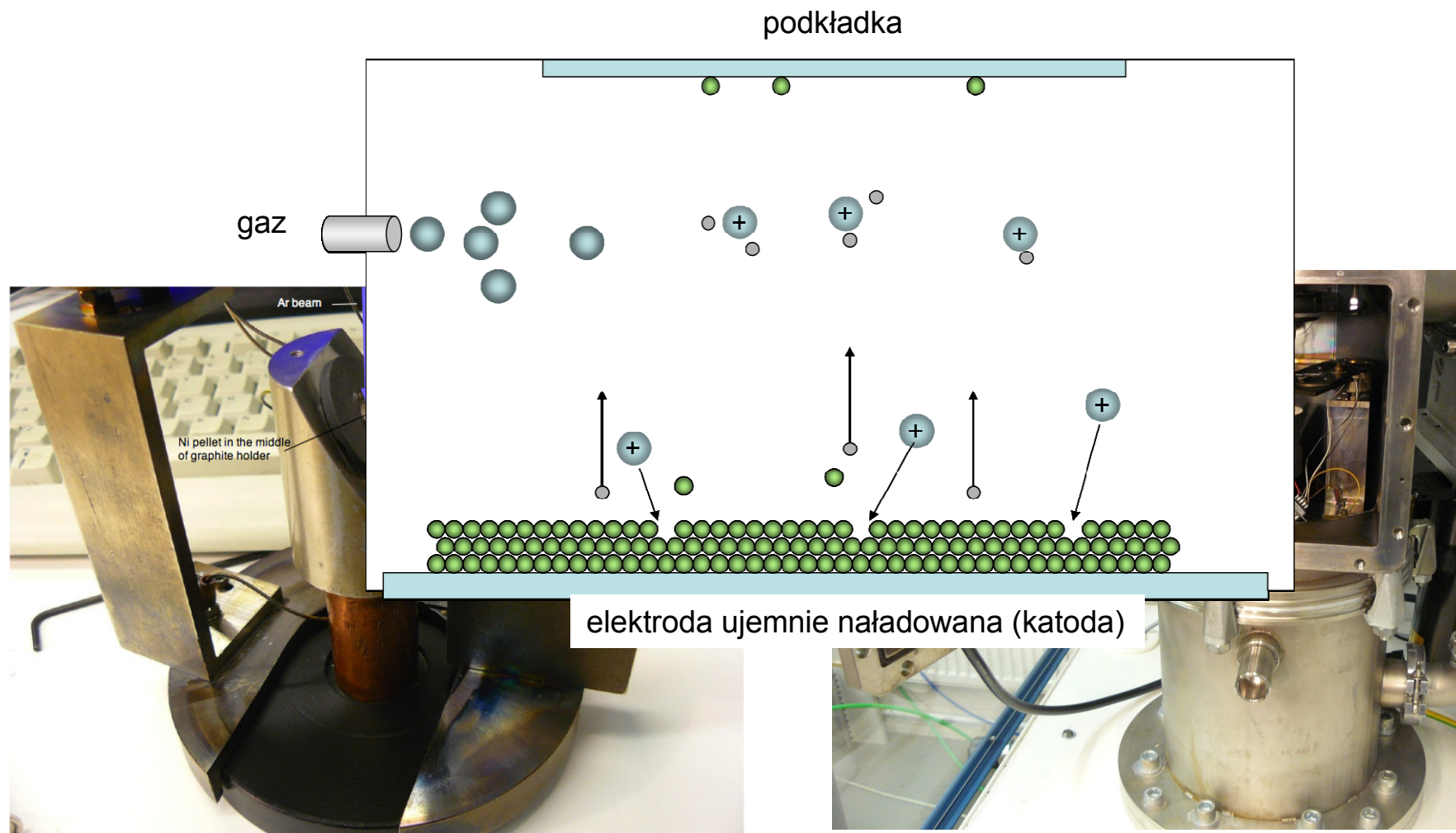
grzanie oporowe



działko elektronowe

*Jak ???*

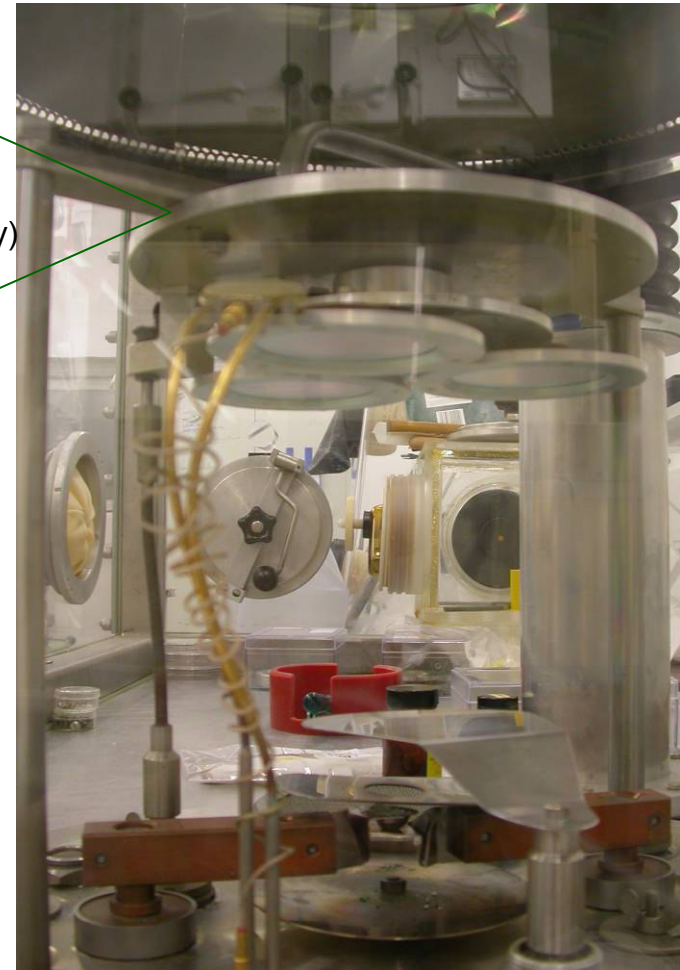
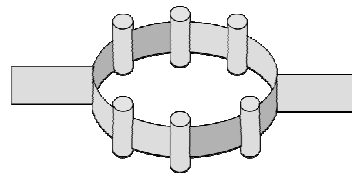
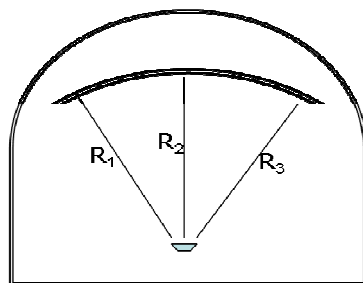
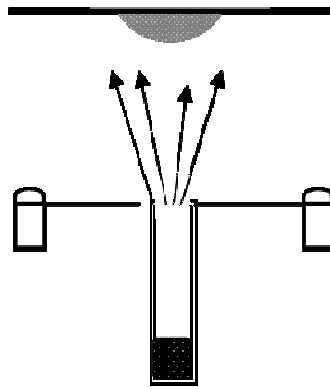
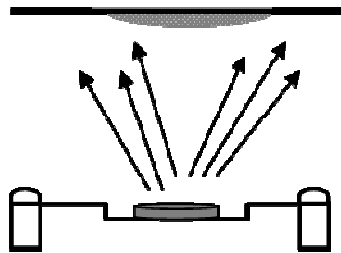
wybijanie materiału z katody przyśpieszonymi jonami gazu szlachetnego



*Jak ???*

parowanie w wysokiej próżni

wirujące podkładowki (w celu polepszenia  
jednorodności grubości osadzanej warstwy)





*Jak ???*

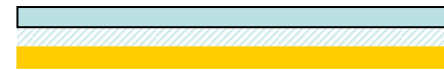


parowanie węgla  
łuk  
e-działko  
ablacja laserowa (laser ablation)

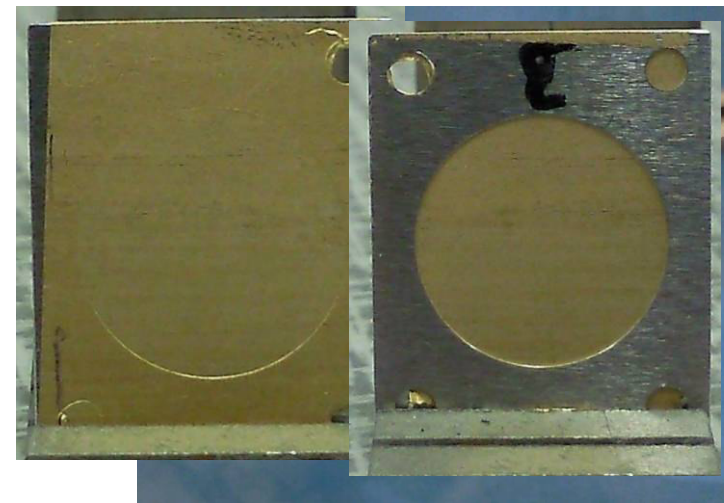
*Jak ???*



od par osadzonych na podkładce  
do tarczy samopodtrzymującej się



szkło  
'odklejacz"  
osadzony materiał



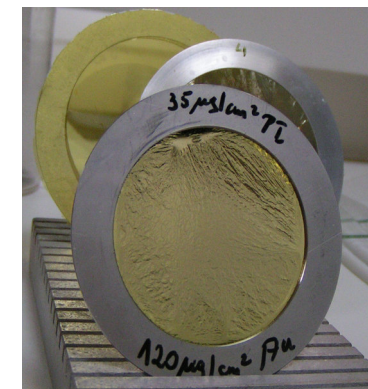
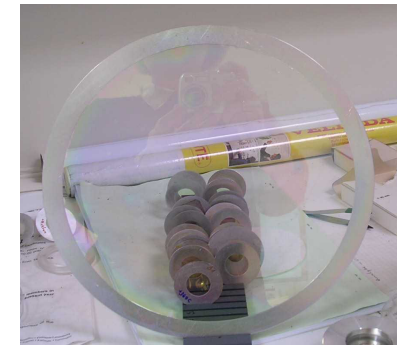
na podkładkach

podkładki

cienkie folie metalowe

folia węglowa

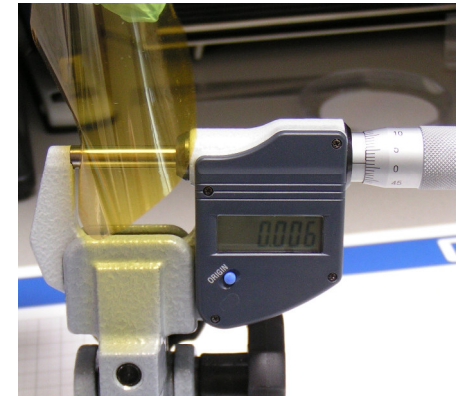
plastikowe: Mylar, Kapton, Formvar



## Charakterystyka tarczy

**Pomiar grubości:** (masa /powierzchnia czyli g-mg- $\mu$ g/cm<sup>2</sup>)

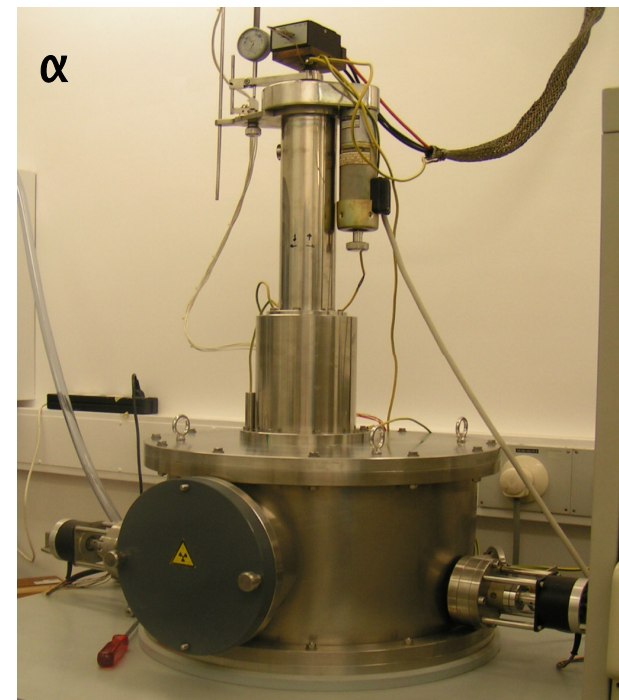
- \* mechanicznie czyli suwmiarką, śrubą mikrometryczną albo miernikami elektrycznymi
- \* ważenie zdefiniowanej powierzchni
- \* spektrofotometrycznie
- \* pomiar strat energii cząstek  $\alpha$
- \* profilometry  
bezpośredniego kontaktu i bezkontaktowe
- \* in-situ w trakcie procesu parowania za pomocą tzw. mikrowagi kwarcowej



## ***Określanie grubości tarcz radioaktywnych:***

- jeśli robione za pomocą naparowania: wstępnie za pomocą mikrowagi kwarcowej
- gotowa tarcza: przez pomiar aktywności

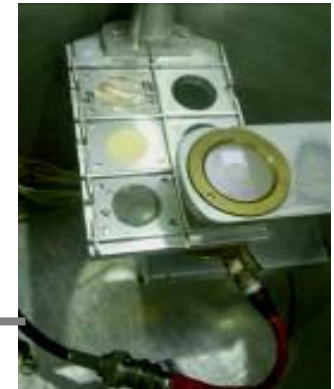
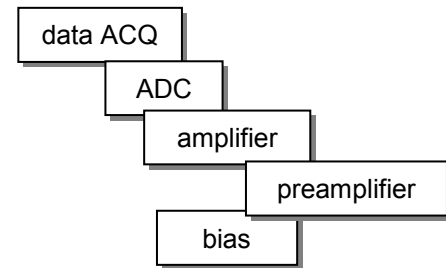
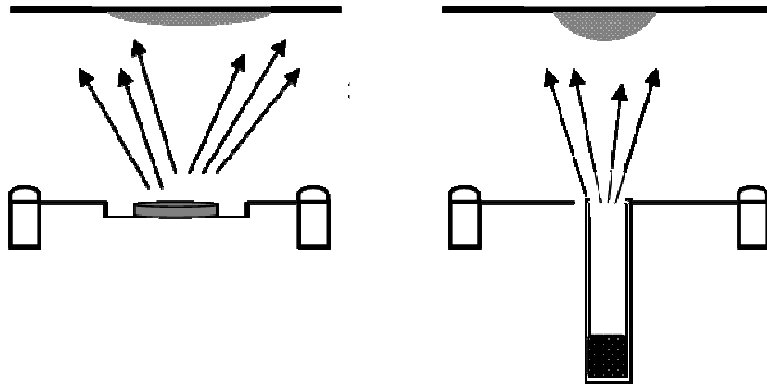
jednorodność za pomocą skanowania rozłożenia aktywności

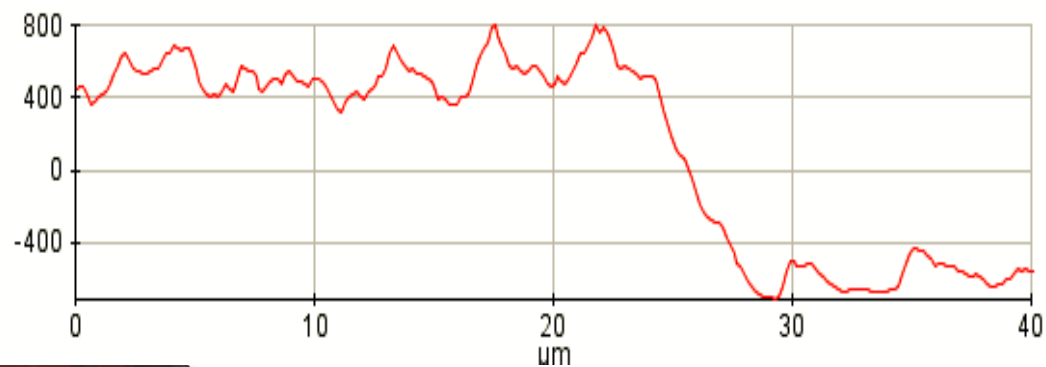
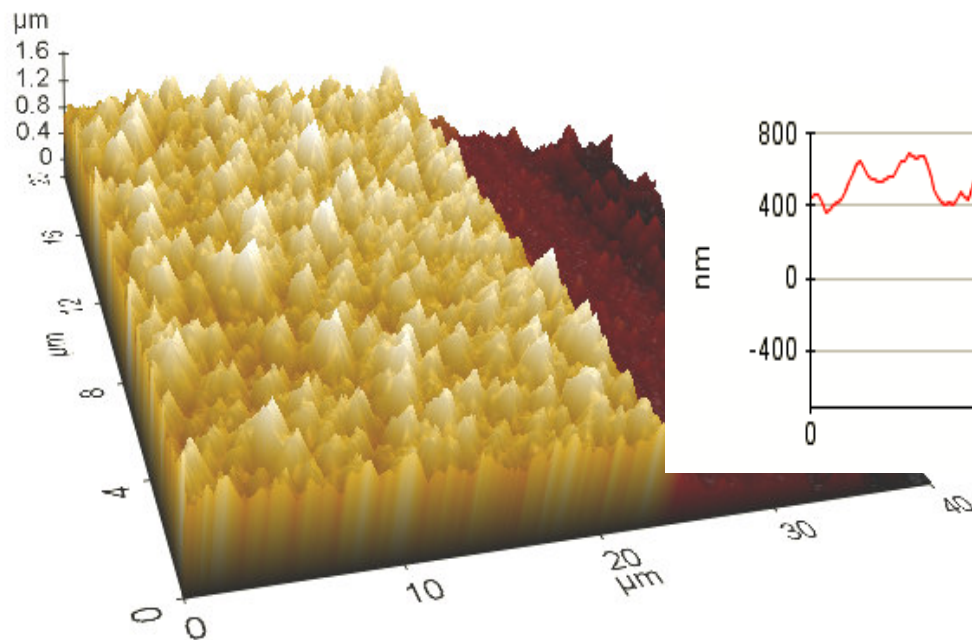


## Parametry tarczy

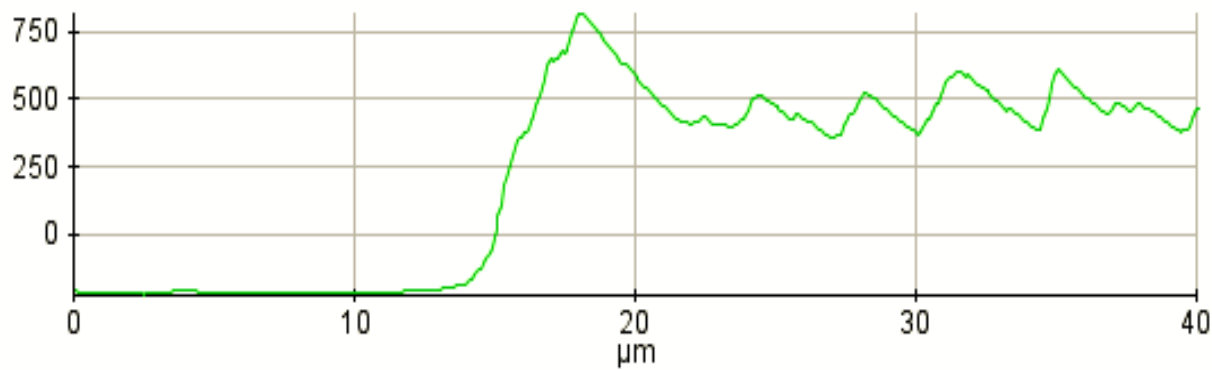
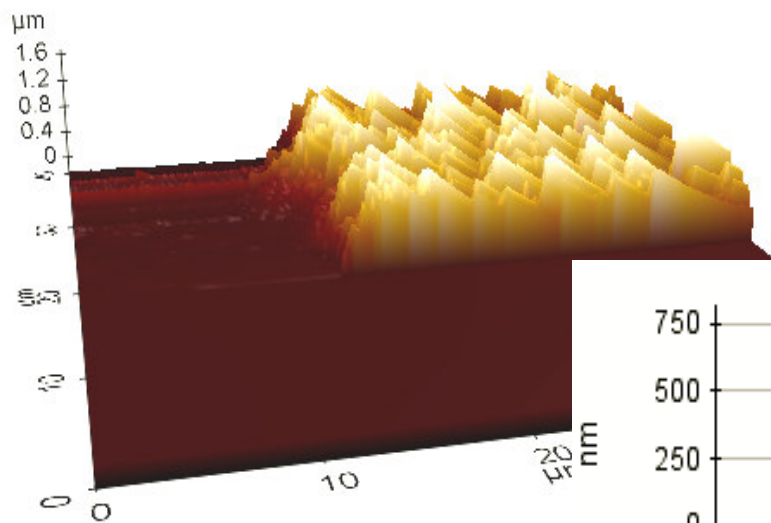
**Grubość** (masa/powierzchnia tzn. g-mg- $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

**Jednorodność grubości:**





*AFM czyli mikroskopia sił atomowych*



## *Parametry tarczy*

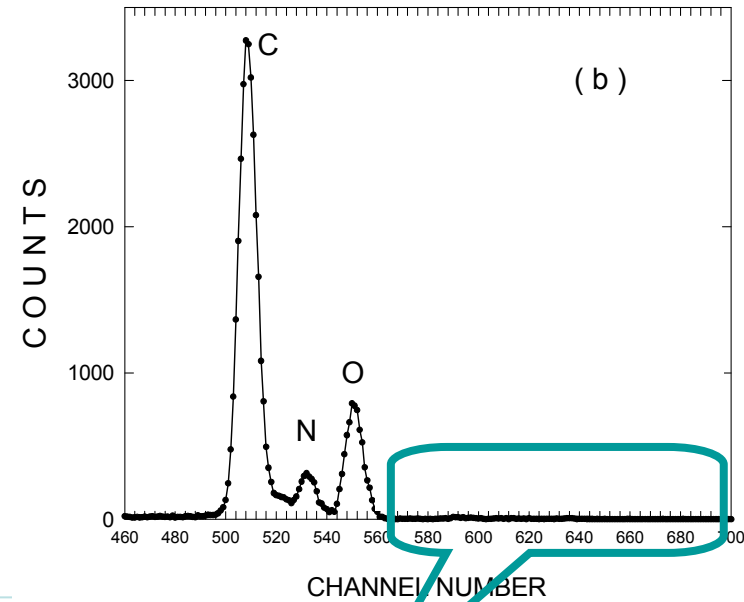
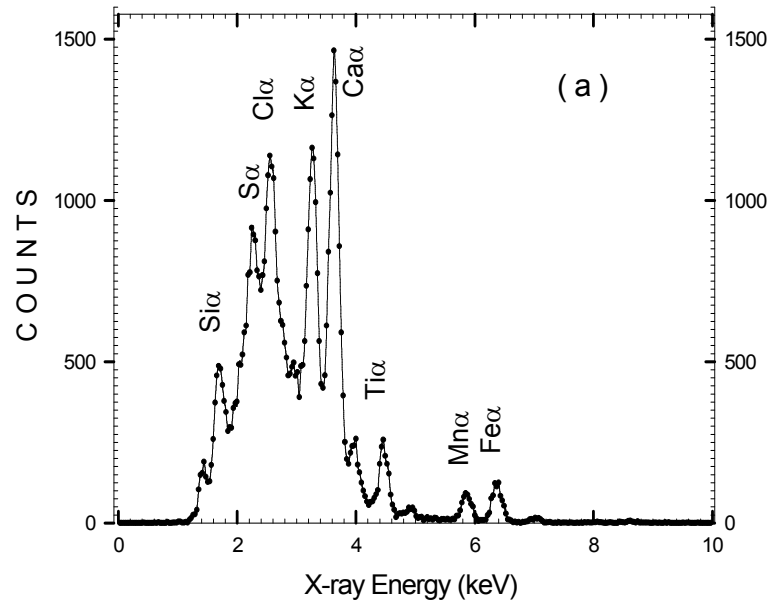
**Grubość** (masa/powierzchnia tzn. g-mg- $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )

**Jednorodność grubości** (a także topografia powierzchni)

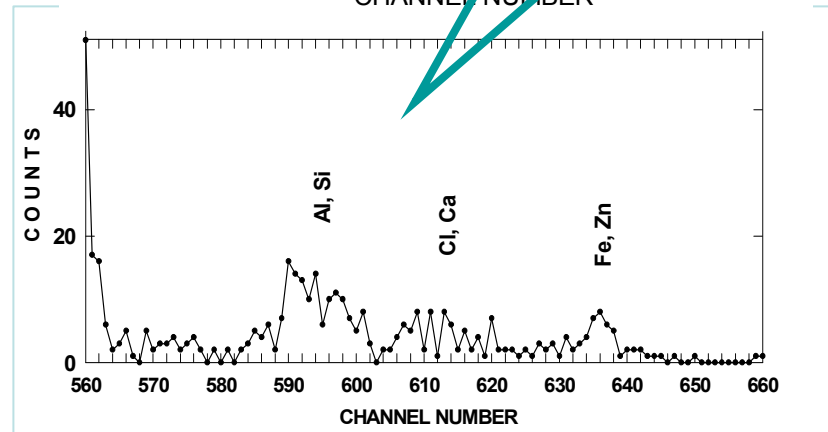
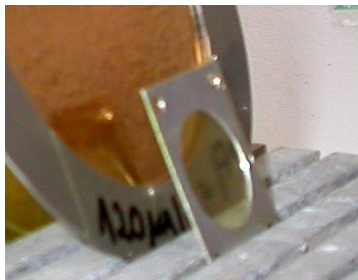
**Czystość/skład tarczy**



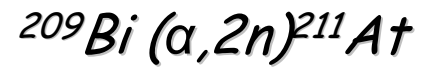
Czystość:



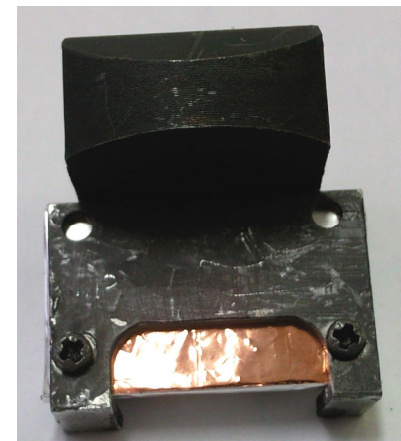
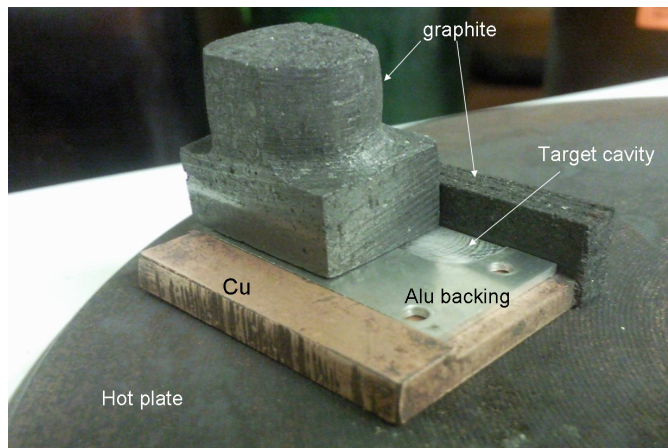
PIXE spektrum  
(folii poliimidowej)



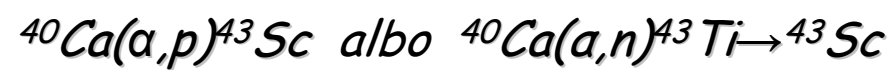
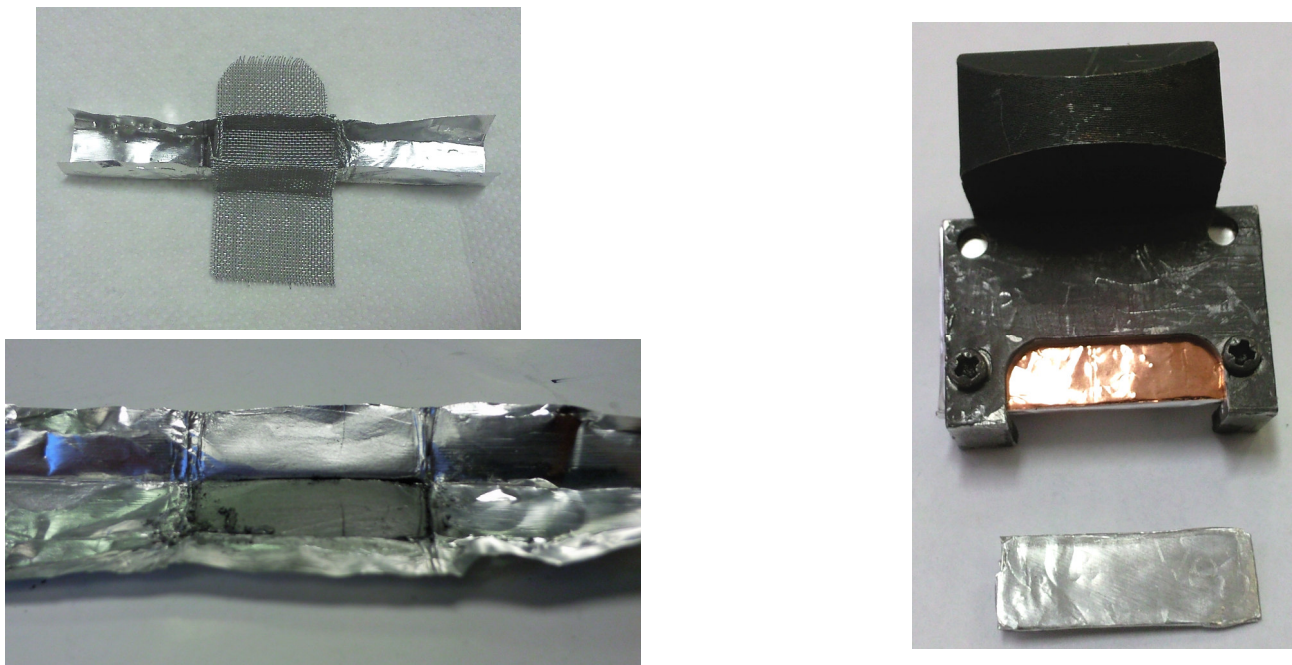
# *Tarcze do produkcji radioizotopów z wykorzystaniem wiązki $\alpha$*



*tarcza  $\sim 100 \text{ mg/cm}^2$*



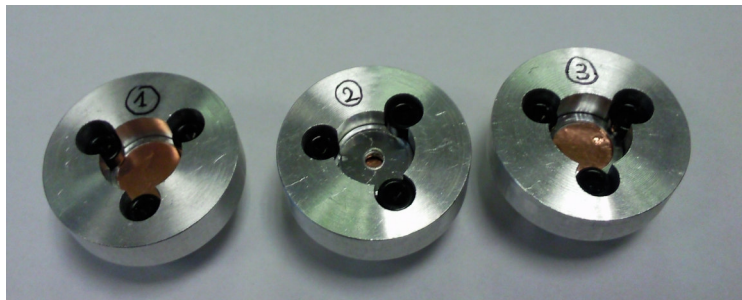
## *Tarcze do produkcji radioizotopów z wykorzystaniem wiązki $\alpha$*



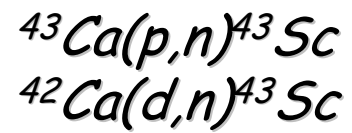
$\text{nat CaCO}_3 \sim 50\text{-}60 \text{ mg/cm}^2$

# Tarcze do produkcji radioizotopów z wykorzystaniem wiązki p

$^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99m}\text{Tc}$      $\sim 370 \text{ mg/cm}^2$

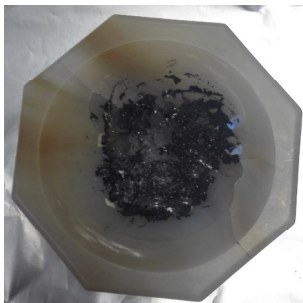
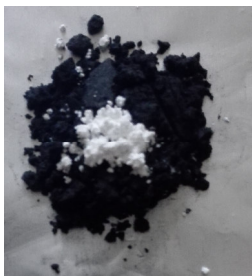


Tarcze przygotowane w postaci pastylki formowanej w matrycy z pomocą prasy hydraulicznej z molibdenu sproszkowanego

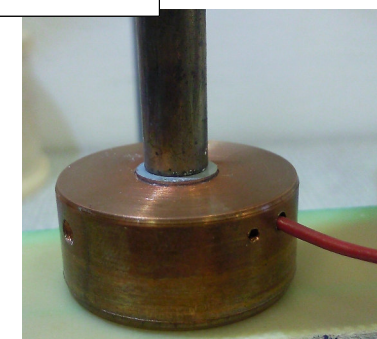
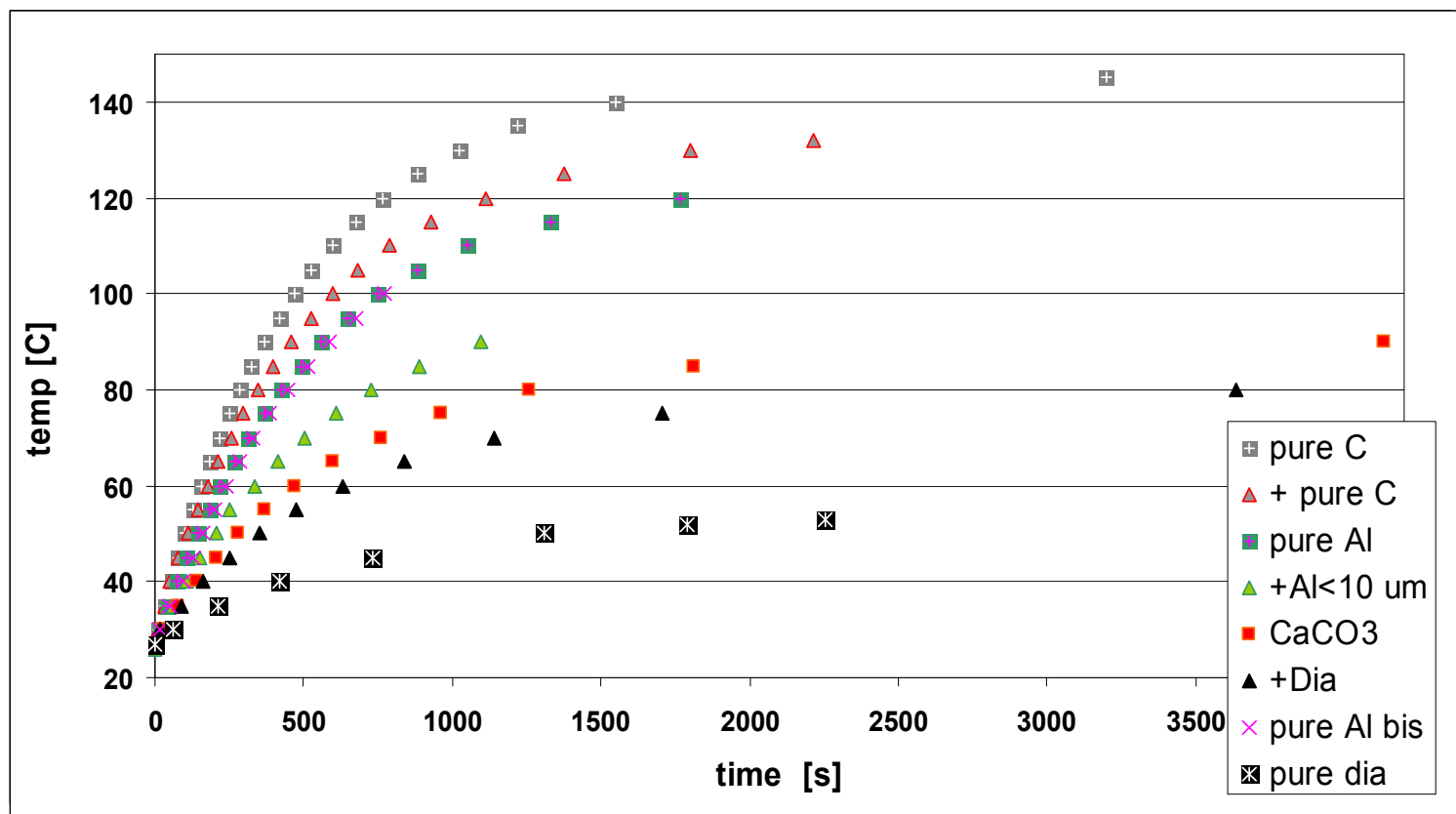


*grafit*+ $\text{CaCO}_3$   
 $\sim 250\text{-}300\text{ mg/cm}^2$   
 $\sim 55\text{ mg/cm}^2$

Tarcze przygotowane w postaci pastylki z mieszanki grafitu i materiału tarczowego.



*grafit* +  
 $\text{CaCO}_3$



## odprowadzenie ciepła

odprowadzenie ciepła  
deponowanego w tarczy przez bombardującą ją wiązkę :

$$W = \Delta E \times I$$

przewodzenie + promieniowanie + konwekcja

przewodzenie:

$$q = k A dT / s$$

gdzie

A = pow. przez którą odprowadzane jest ciepło (m<sup>2</sup>)

k = przewodność cieplna tarczy (W/(m K))

dT = różnica temp (K)

s = odległość od plamki wiązki do pow. zimnej (m)

promieniowanie

$$q = \varepsilon \sigma T^4 A$$

gdzie

A – pow. parowania [m<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  - emisyjność

$\sigma$  - stała Stefana-Boltzmana [W m<sup>-2</sup>K<sup>-4</sup>]

T - różnica temp [K]

Wpływ deponowanego ciepła może być zmniejszony

- stosując tzw 'koło tarczowe
- stosując 'drganie wiązki (tzw. beam wobbling)



tarcza używana w projekcie  
TASCA  
Transactinide Separator and  
Chemistry Apparatus

## Dobre rady

- ↳ Zamawiając tarczę zdefiniuj precyzyjnie parametry istotne dla planowanego eksperymentu unikając stawiania wymagań nieistotnych. To może pomóc zredukować nie tylko koszty ale także czas zużyty na przygotowanie tarczy

*pierwiastek / izotop*

*grubość, wymiary*

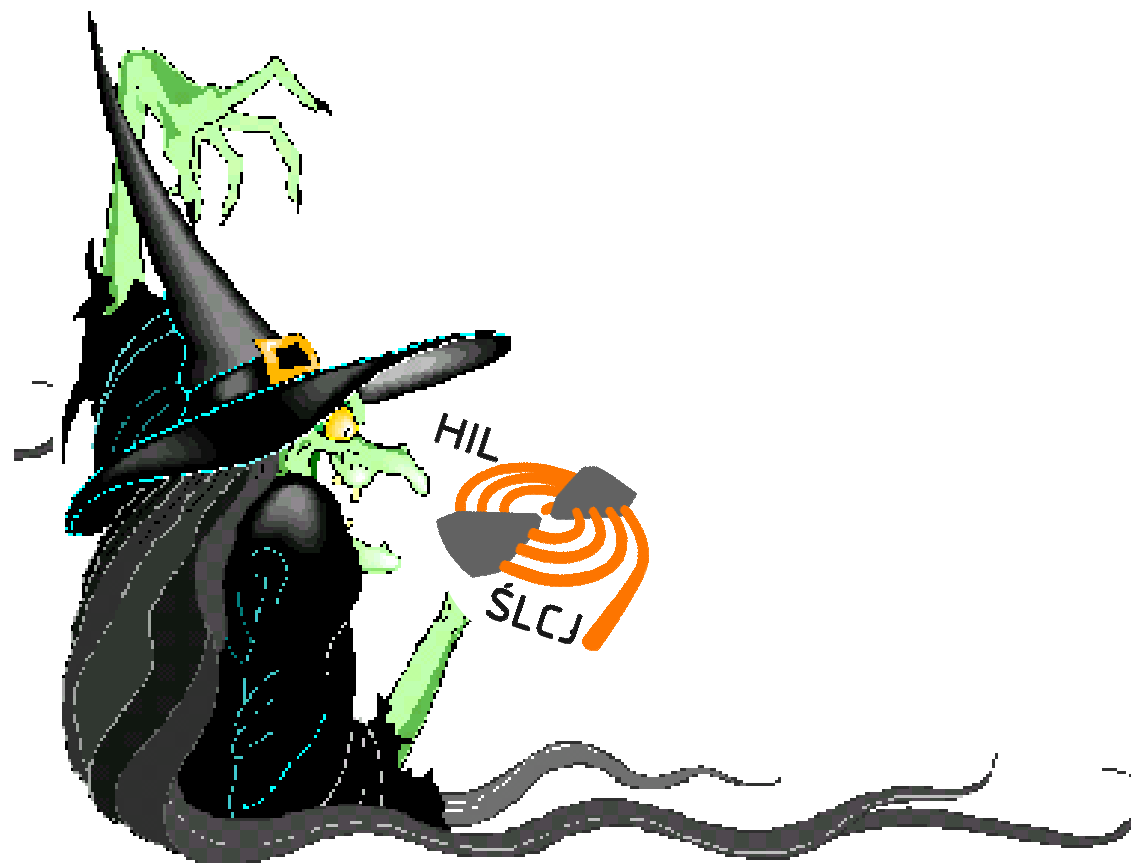
*na podkładce czy samopodtrzymująca się, jeśli na podkładce podaj jej parametry i ewentualne zamienniki*

- ↳ Nie przeceniaj formy chemicznej zamawianej tarczy

*nie zawsze tarcza musi być w formie pierwiastkowej, często badana reakcja może być przeprowadzona na jądrze związanym z innymi pierwiastkami a zrobienie takiej tarczy może być dużo łatwiejsze i tańsze*

- ↳ Planując tarczę przedyskutuj sprawę z targetowcem jeśli możliwe. Czasem może pomóc ci więcej niż myślisz.





częściowy spis artykułów na stronie  
*International Nuclear Target Development Society*  
[www.intds.org](http://www.intds.org)



25 x 25 cm of 9  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  of Al

