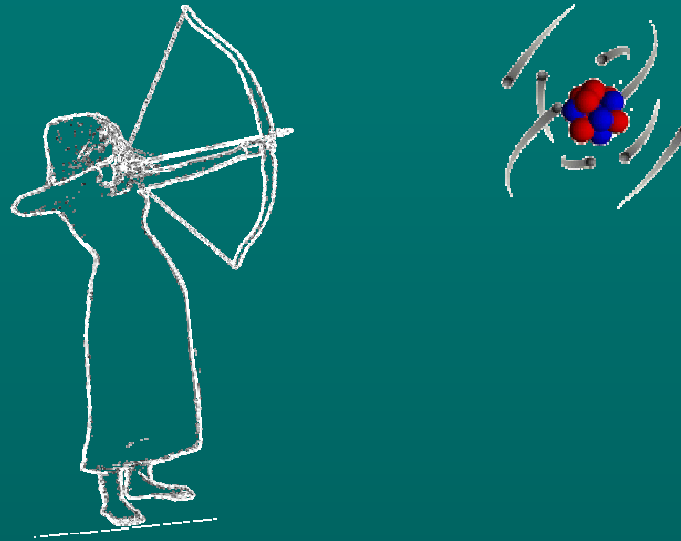




UNIwersytet Warszawski



Tarcze do badań w fizyce jądrowej



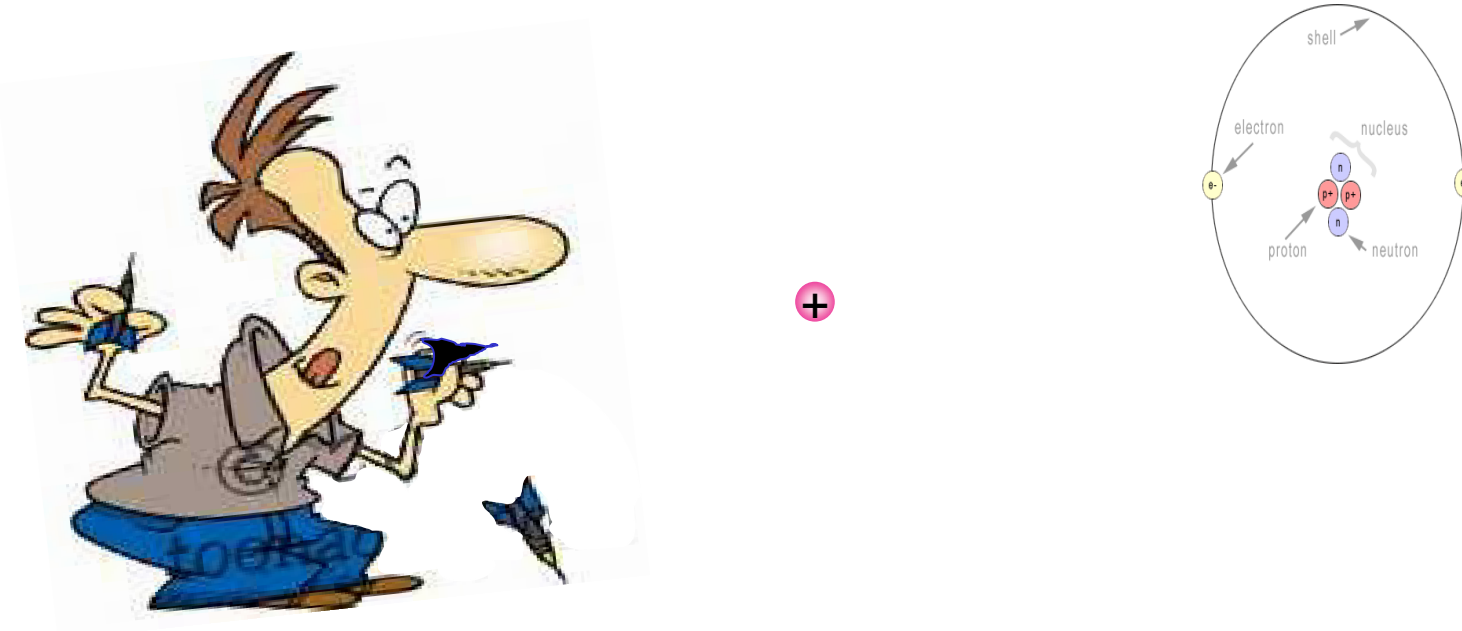
Anna Stolarz

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

XI Warsztaty Studenckie, październik 2015

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).

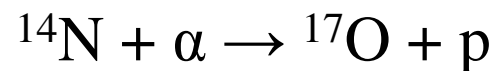


Substancja lub obiekt poddany bombardowaniu cząstkami takimi jak elektron, proton, lub ciężkie jony nazywana jest tarczą

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

Transmutacja Rutherforda

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

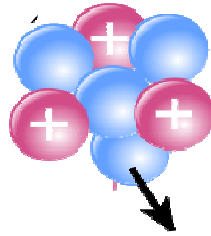


„An anomalous effect in nitrogen”



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

Lit 7
(Li-7)



Po raz pierwszy całkowicie sztuczną reakcją jądrową przeprowadzili John Cockcroft i Ernest Walton w 1932 roku bombardując Li-7 przyśpieszonymi protonami. W wyniku tej reakcji powstały dwa jądra helu (cząstki α)

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



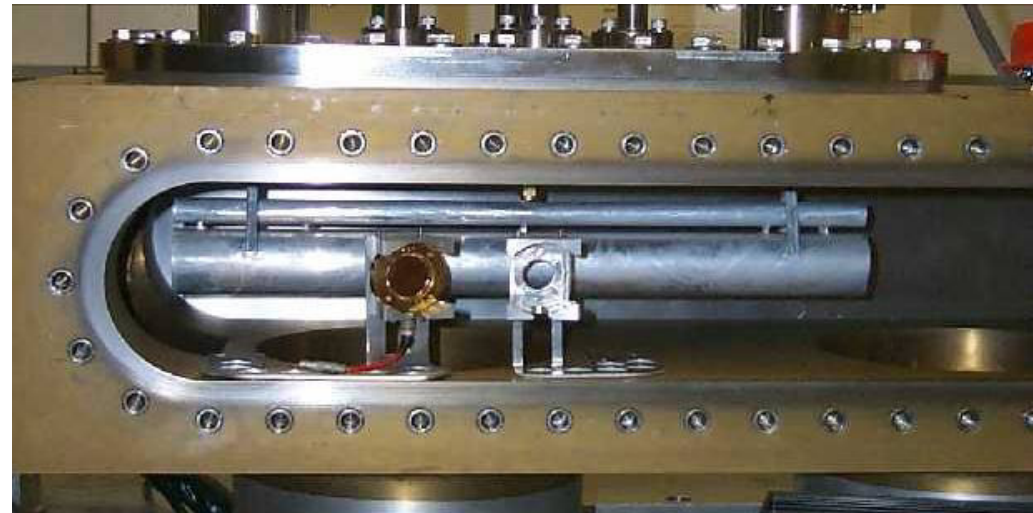
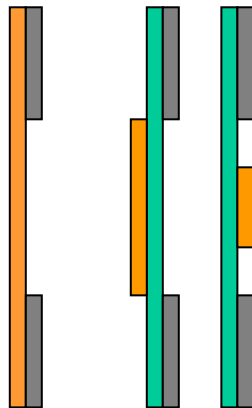
Gazowe lub ciekłe

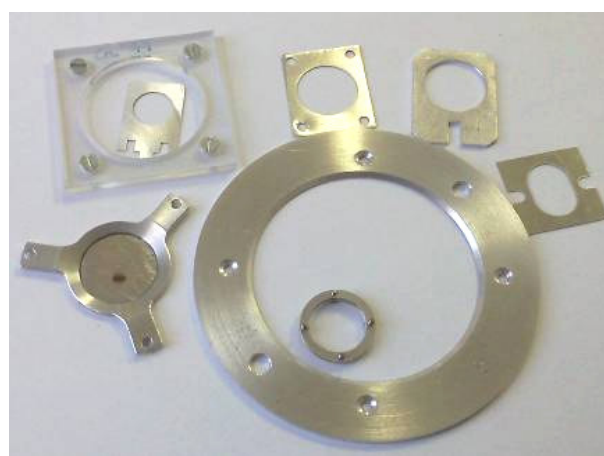
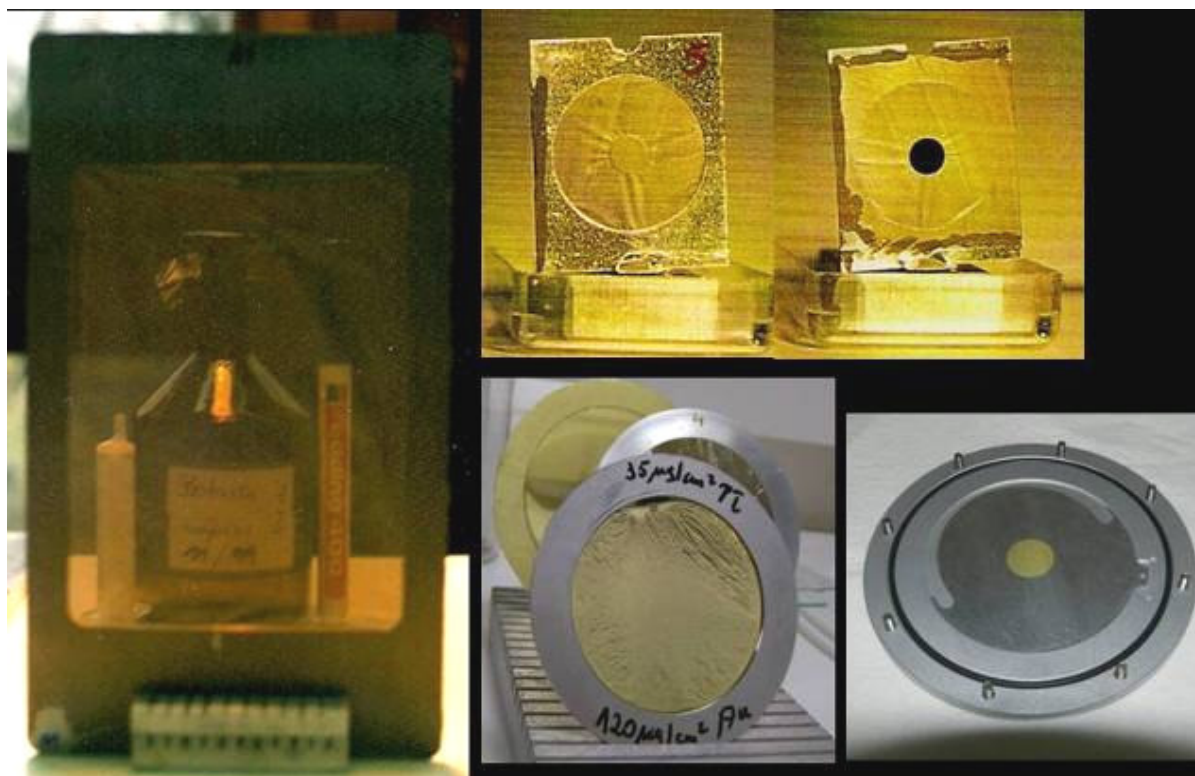
- strumień gazu lub cieczy (także stopione metale)
- materiał zamknięty w chłodzonej komorze
- tarcze gazowe są też przygotowywane za pomocą tzw. implementacji w ciało stałe



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:

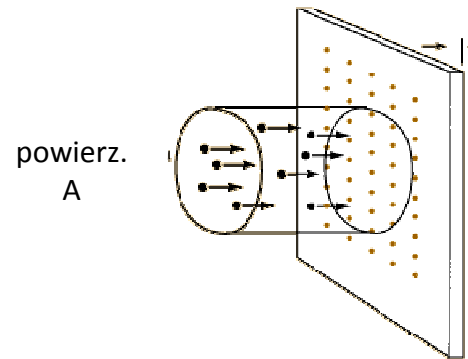
g-mg- $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ czyli masa/powierzchnia

$$\text{Au} = 1 \mu\text{m} \quad \text{Al} = 7 \mu\text{m}$$

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 jądrowych 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



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

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

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

$$1 \text{ mol} = 1 \text{ gramoatom} = A \text{ (g)}$$

$$1 \text{ mol} = 1 \text{ gramocząsteczka} = \sum A_n \text{ (g)}$$

Parametry tarczy:

- * skład czyli jądro jakie potrzebne do badanej reakcji/zjawiska
- * stan skupienia: stałe, ciekłe, gazowe
- * grubość (wynika z przekroju czynnego planowanej reakcji)
- * czystość (a także wzbogacenie) 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???

mechaniczne:
walcowanie

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

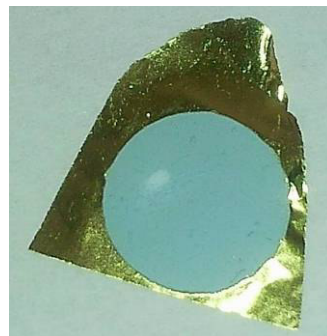
tabletkowanie

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

sedymantacja

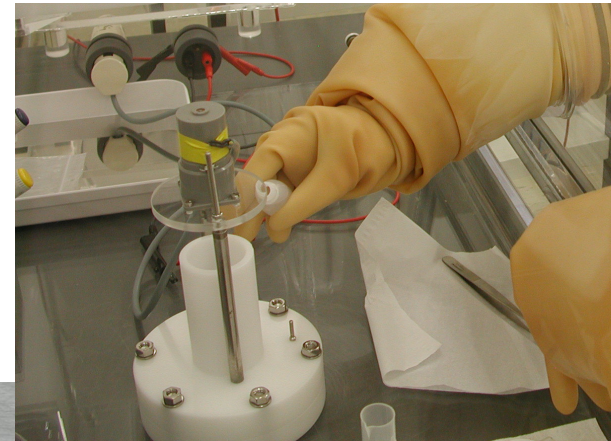
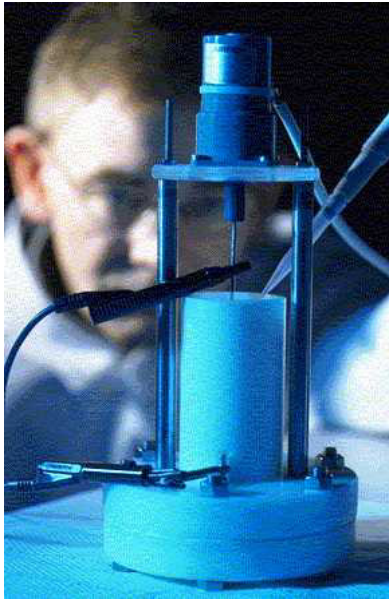
grawitacyjna lub
wymuszona

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



Jak?

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



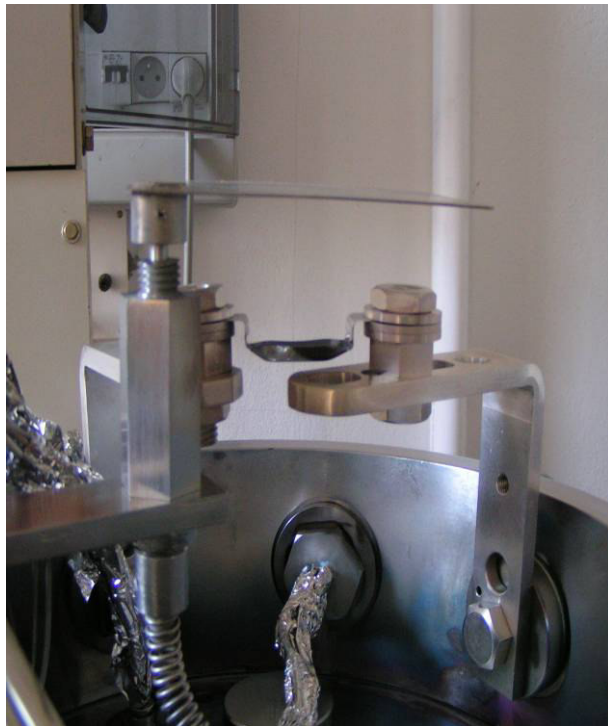
Jak???

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

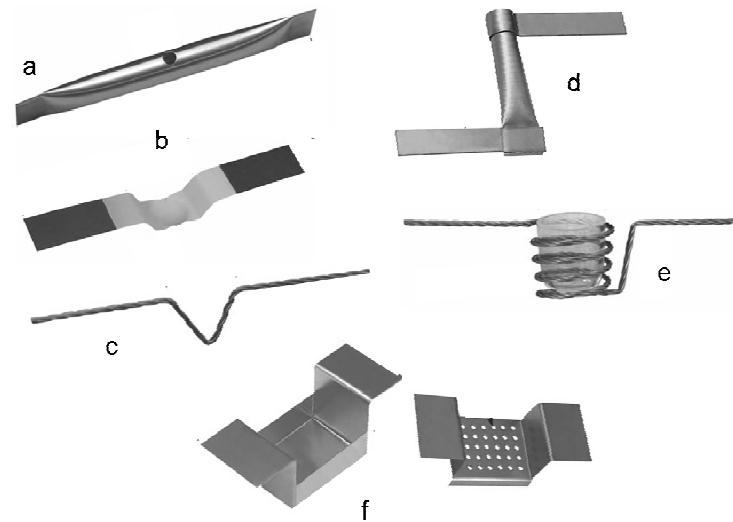
-grzanie oporowe

-e-gun

-sputtering



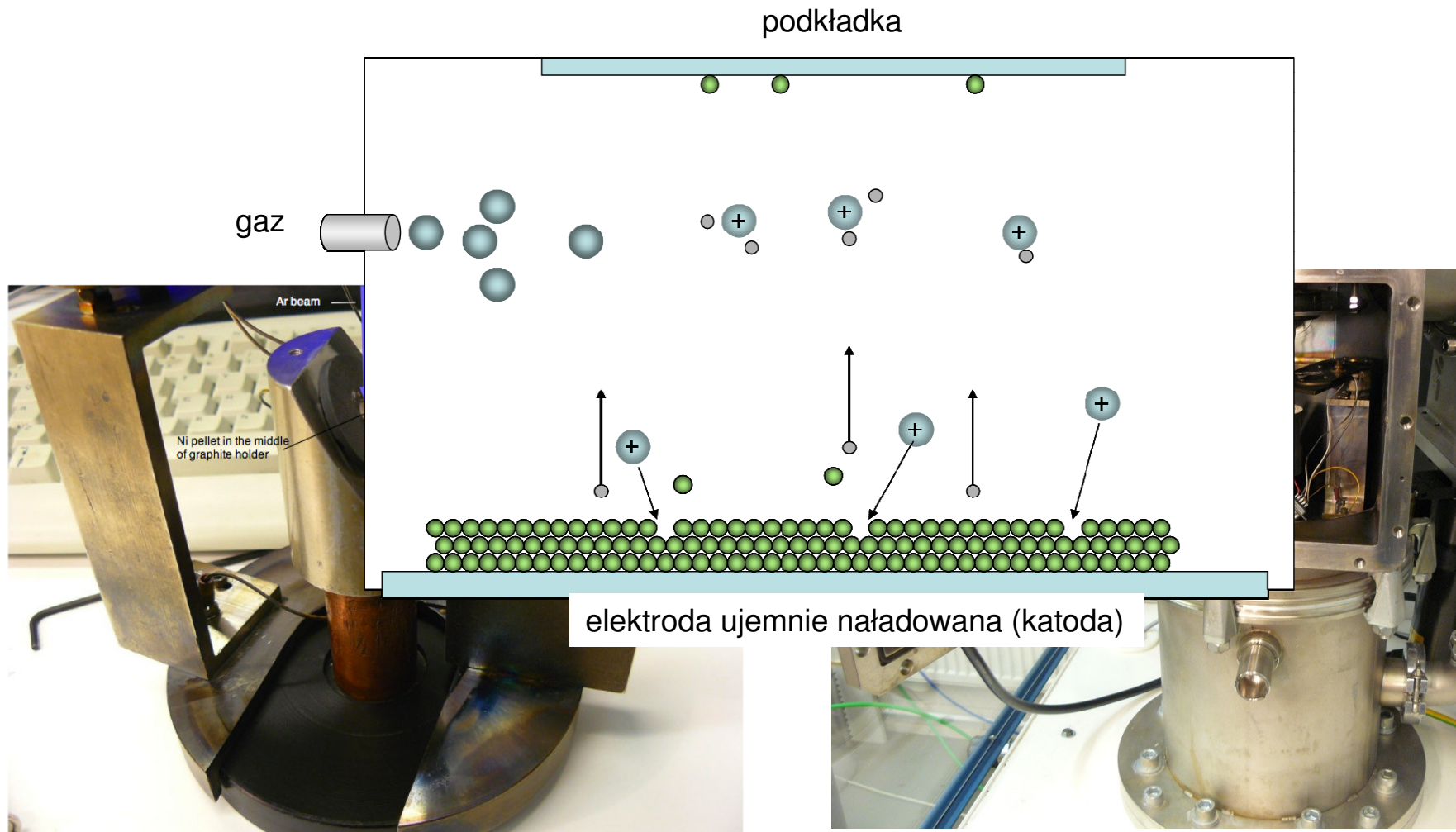
grzanie oporowe



działko elektronowe

Jak ???

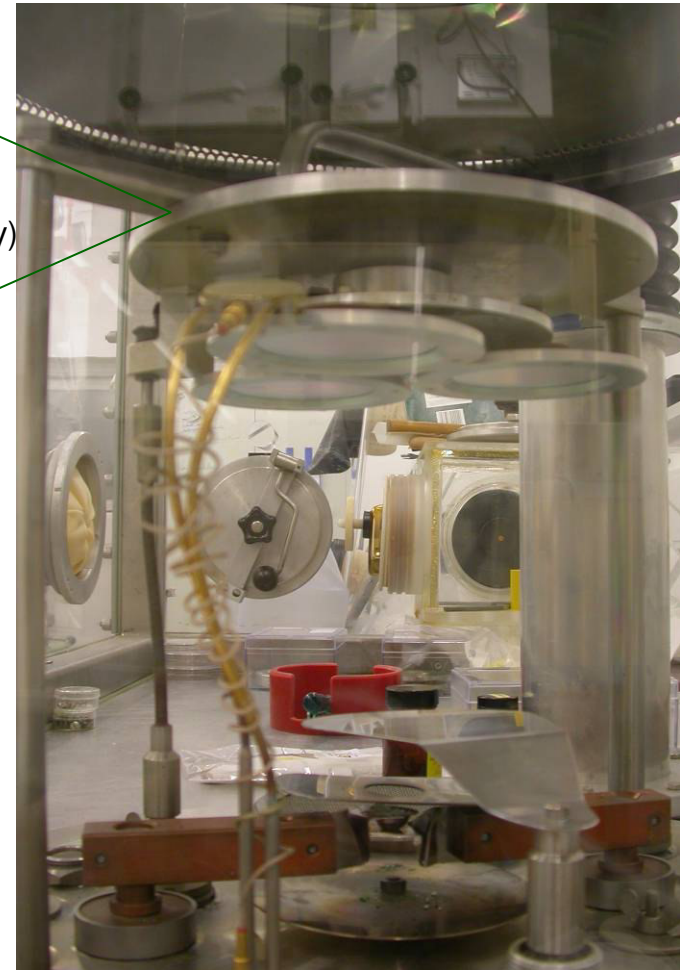
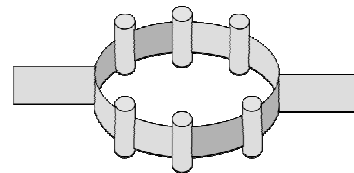
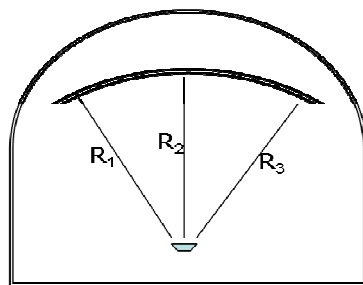
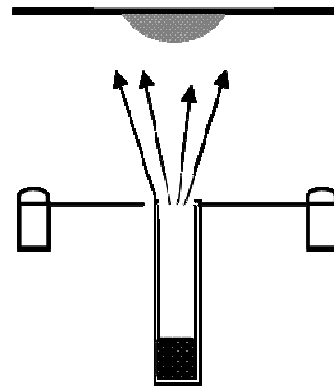
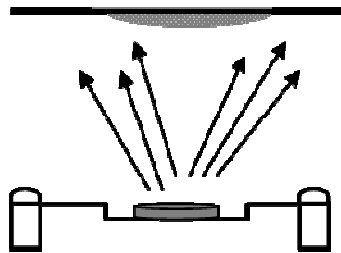
wybijanie materiału z katody przyśpieszonymi jonami gazu szlachetnego



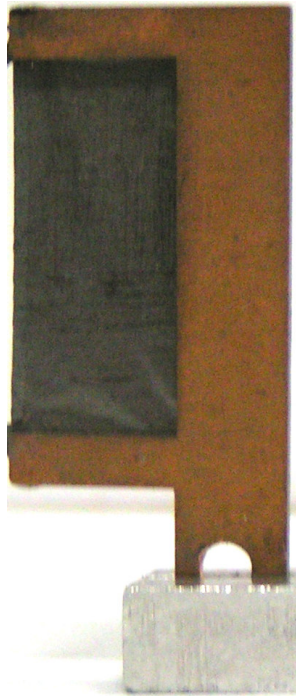
Jak ???

parowanie w wysokiej próżni

wirujące podkładki (w celu polepszenia
jednorodności grubości osadzanej warstwy)



Jak ???

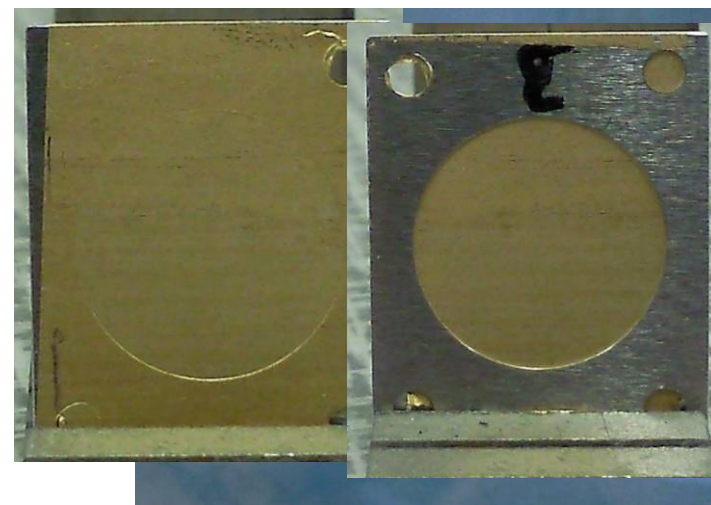


parowanie węgla
łuk
e-działko
ablacja laserowa (laser ablation)

Jak ???



osadzanie par na podkładce



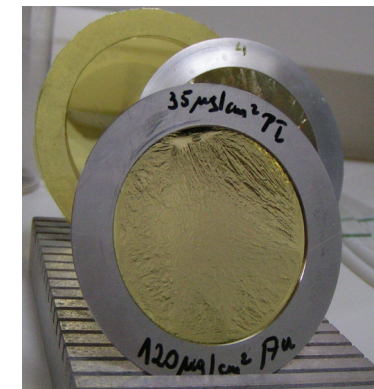
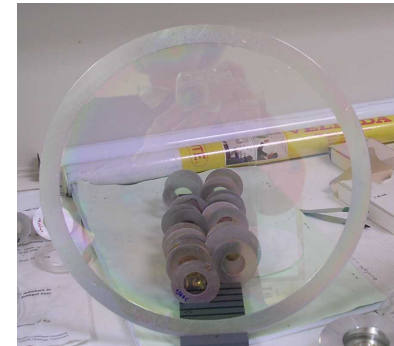
na podkładkach

podkładki

cienkie folie metalowe

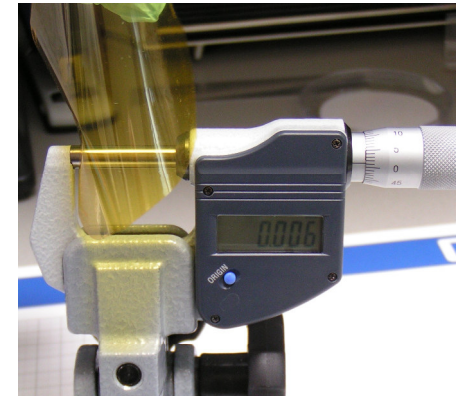
folia węglowa

plastikowe: Mylar, Kapton, Formvar



Pomiar grubości: (masa /powierzchnia czyli g-mg- $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

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

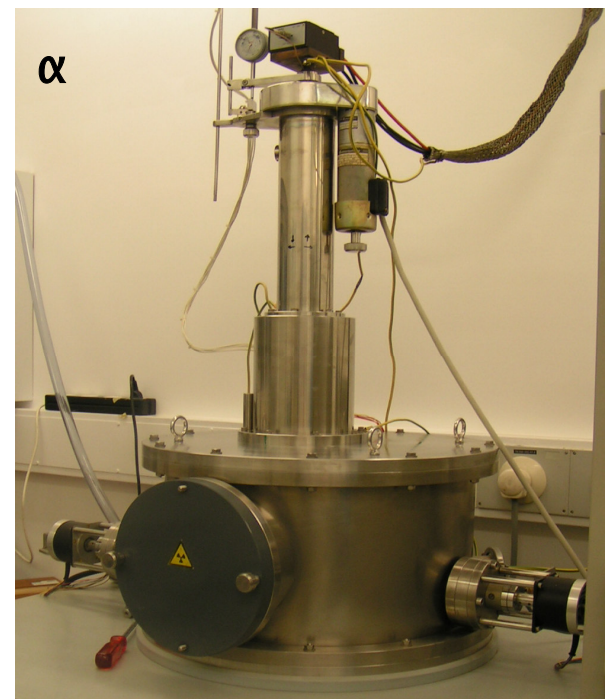


Określanie grubości tarcz radioaktywnych:

jeśli robione za pomocą naparowania: wstępnie za pomocą mikrowagi kwarcowej

gotowa tarcza: przez pomiar aktywności

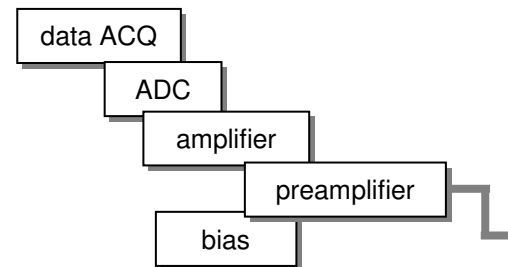
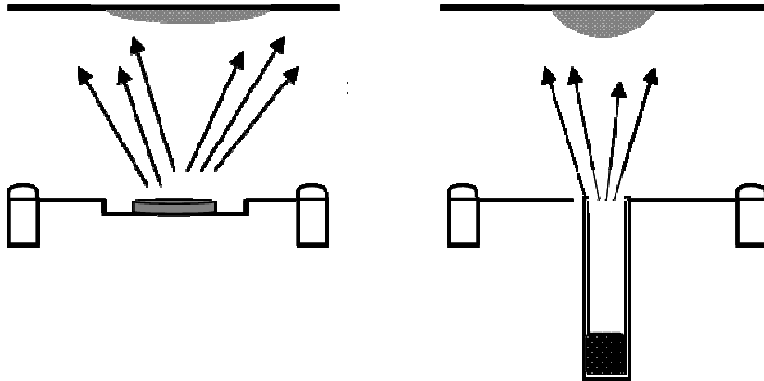
jednorodność za pomocą skanowania rozłożenia aktywności

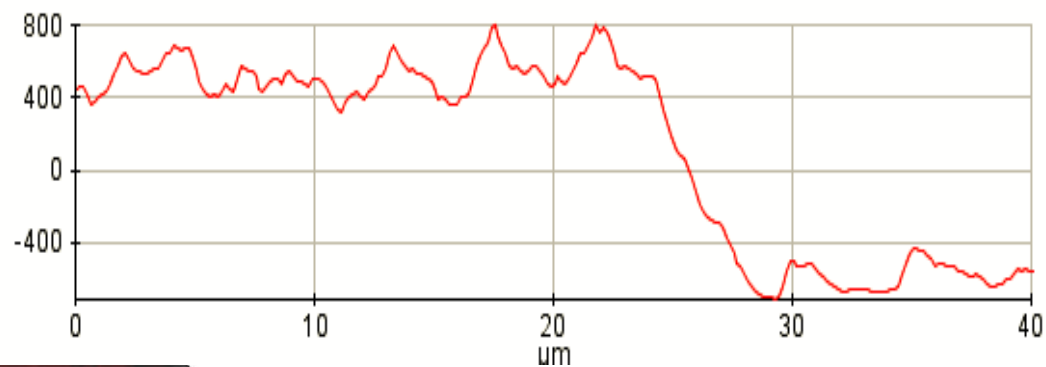
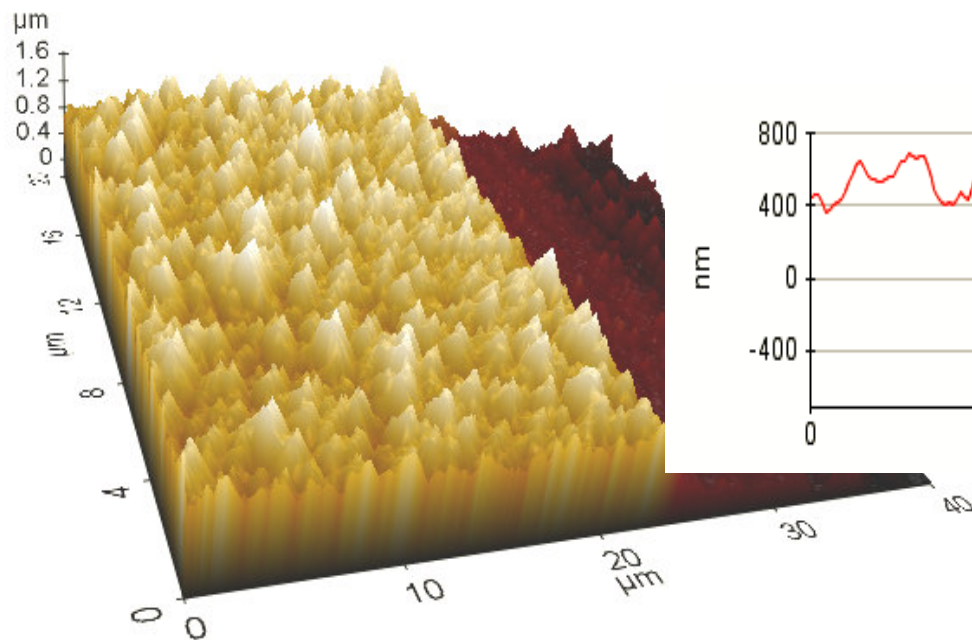


Parametry tarczy

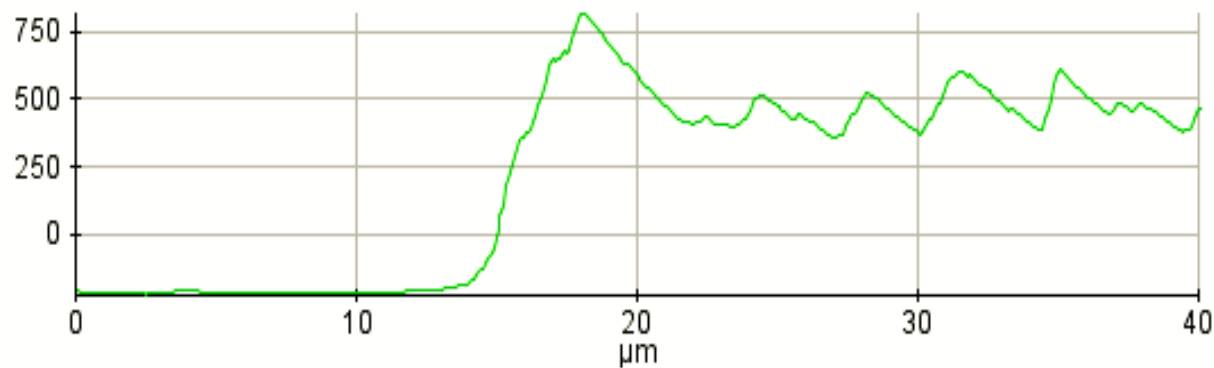
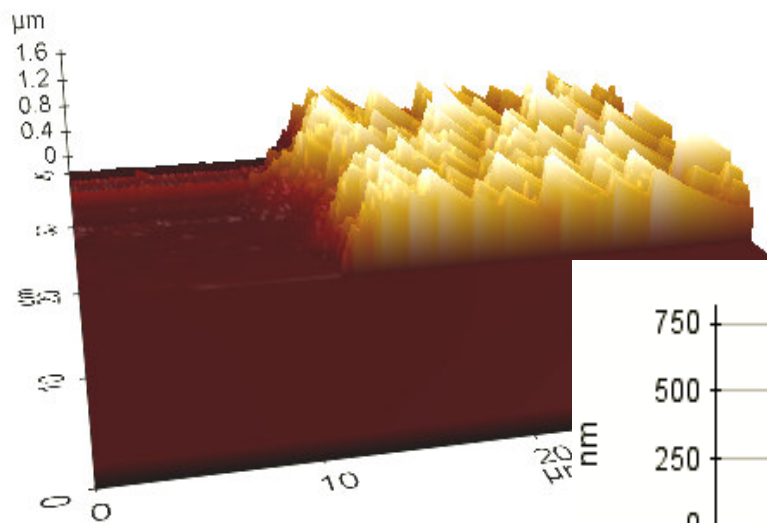
Grubość (masa/powierzchnia tzn. g-mg- $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

Jednorodność grubości: ?





AFM czyli mikroskopia sił atomowych



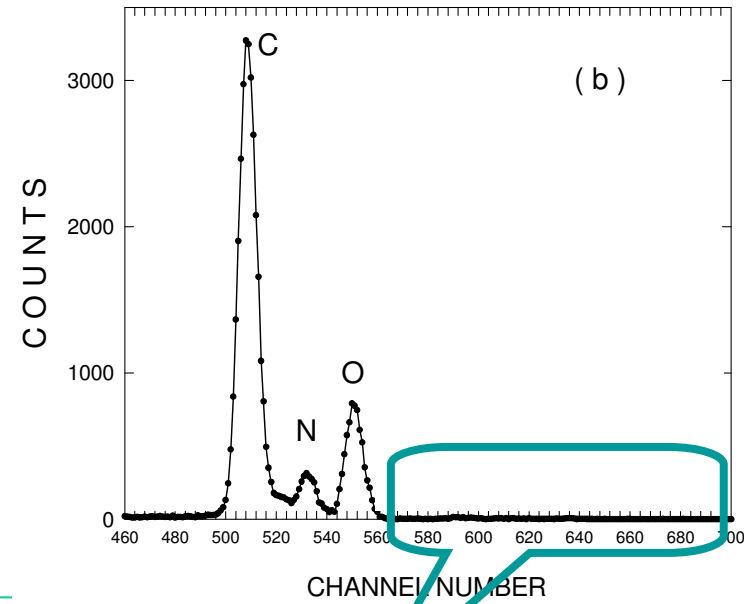
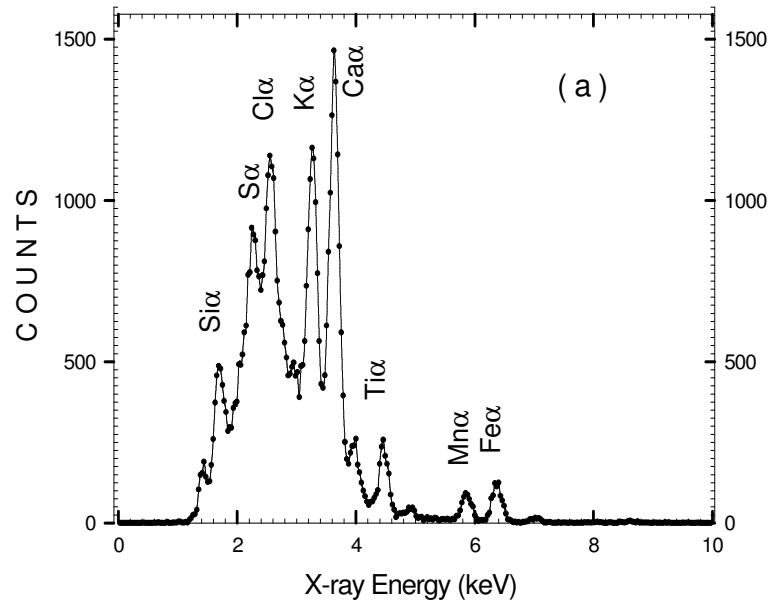
Parametry tarczy

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

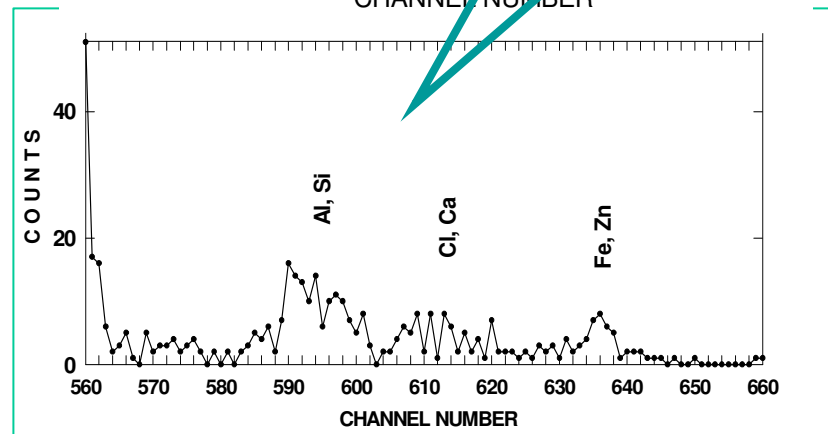
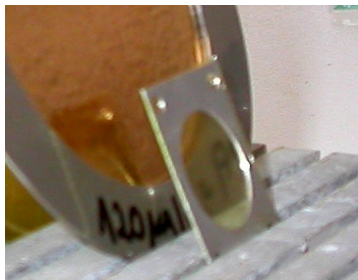
Jednorodność grubości (a także topografia powierzchni)

Czystość/skład tarczy

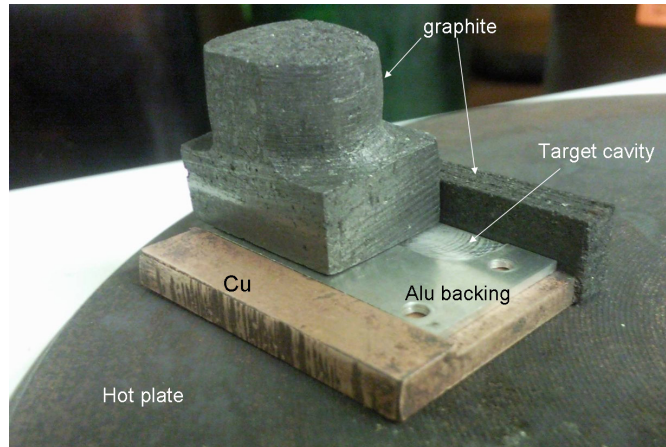
Czystość:



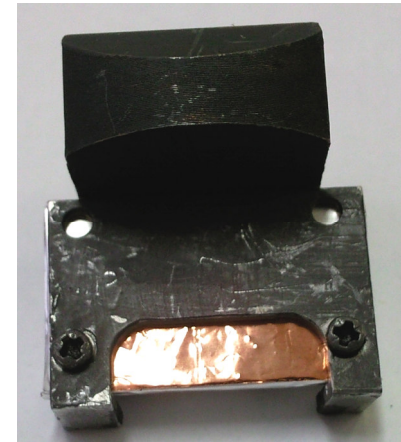
PIXE spektrum
(folii poliimidowej)



Tarcze do produkcji radioizotopów



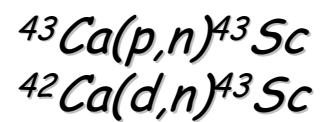
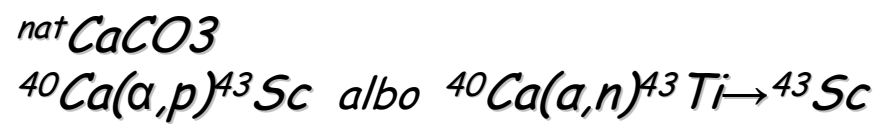
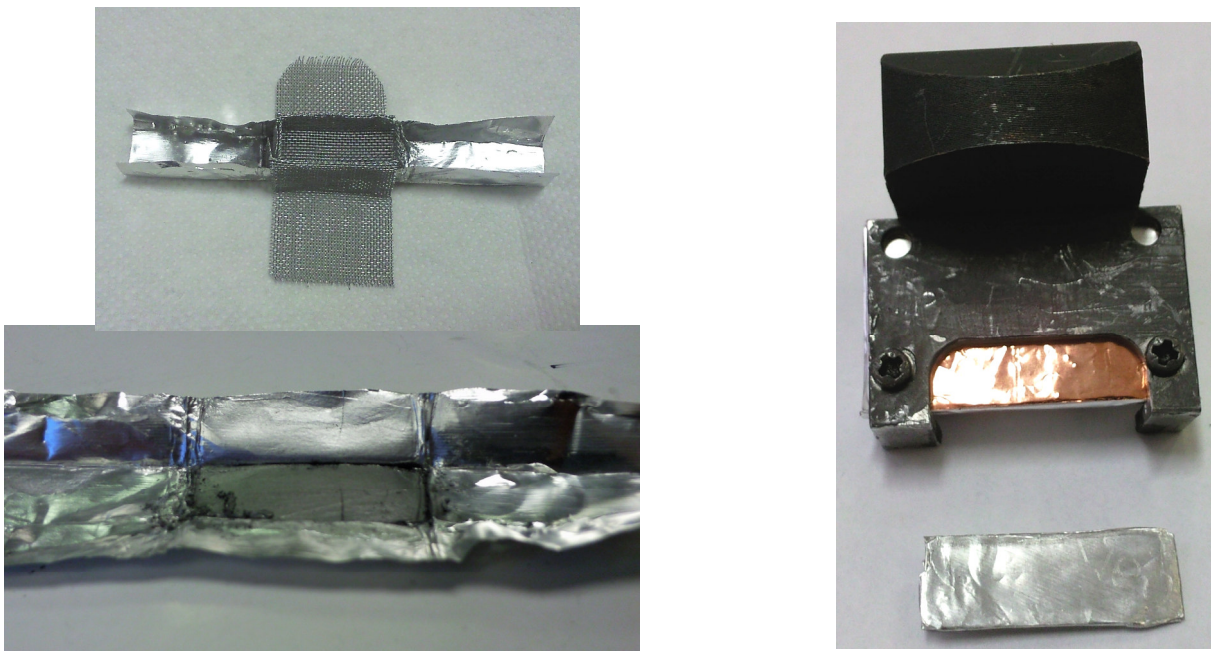
$^{209}\text{Bi} (\alpha, 2n) ^{211}\text{At}$
tarcza $\sim 100 \text{ mg/cm}^2$



$^{100}\text{Mo} (p, 2n) ^{99\text{m}}\text{Tc}$



Tarcze do produkcji radioizotopów



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 (m²)

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 [m²]

ε - emisyjność

σ - stała Stefana-Boltzmana [W m⁻²K⁻⁴]

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

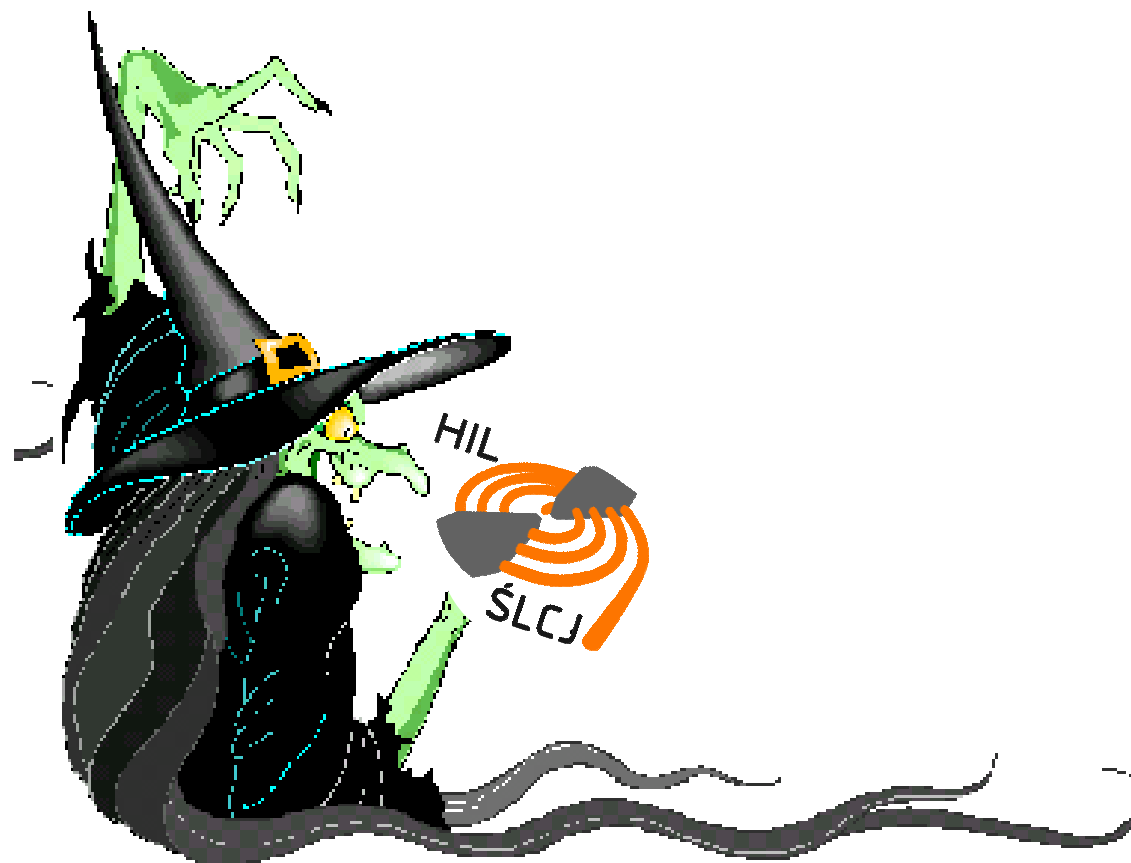
pierwiastek / izotop

grubość, wymiary

na podkładce czy samopodrzymująca 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