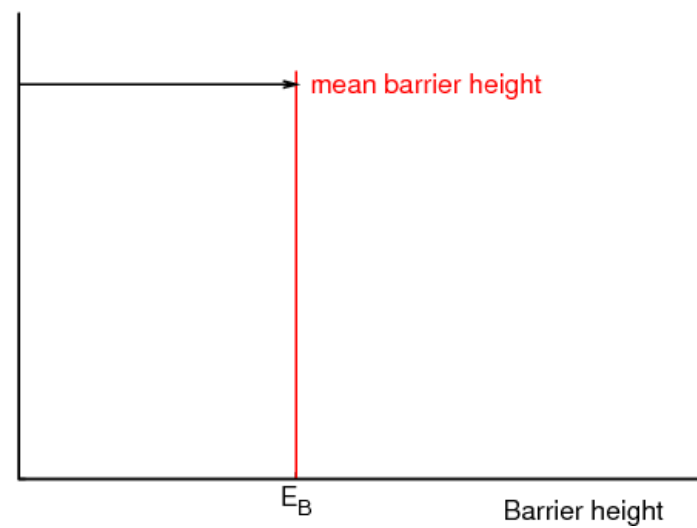
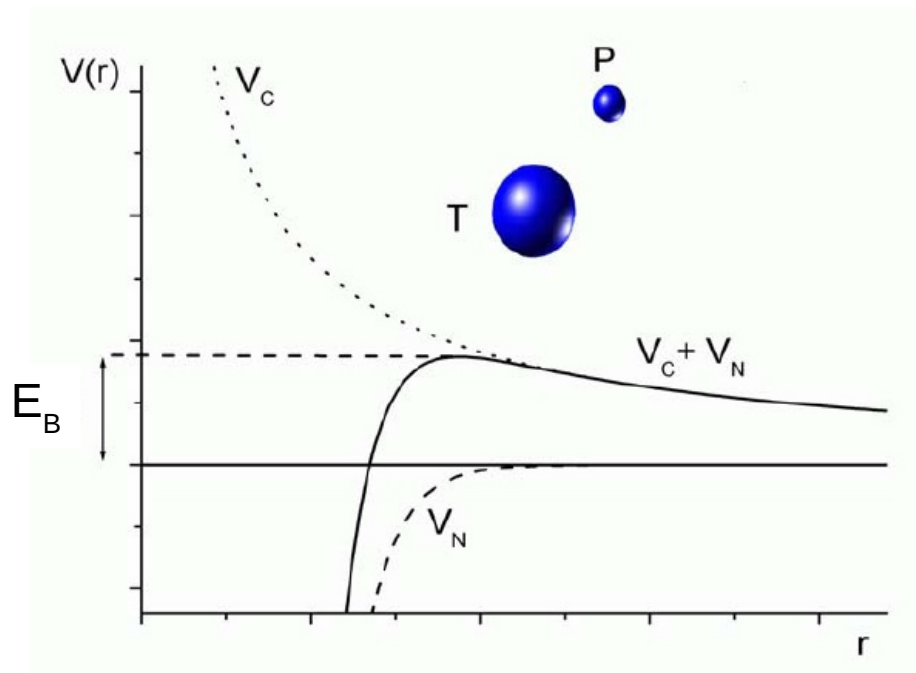


Rozkład wysokości barier na fuzję w systemach $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$ - wpływ dyssypacji

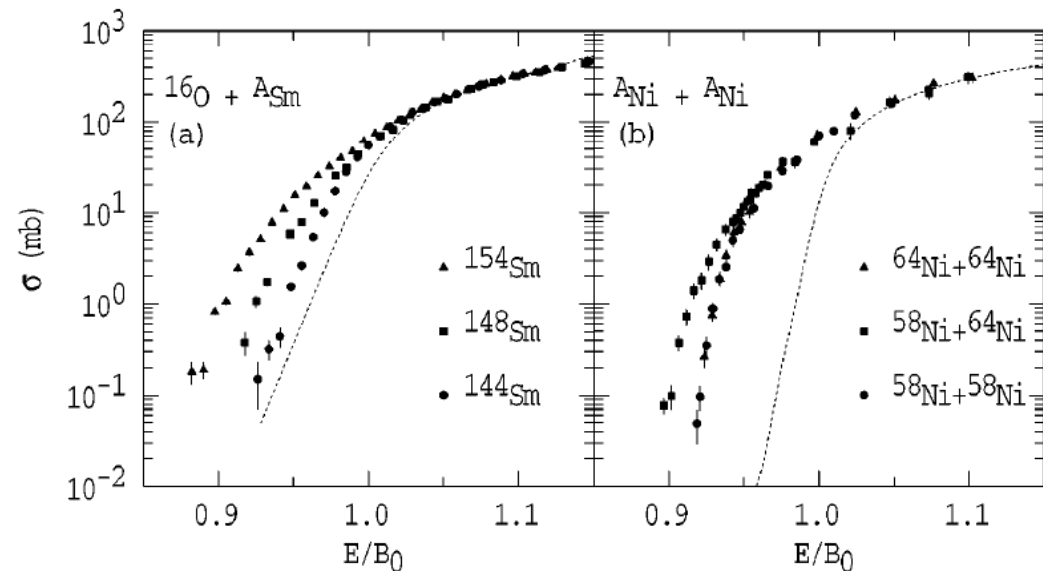
Agnieszka Trzcińska / Barriers Collaboration

Bariera kulombowska



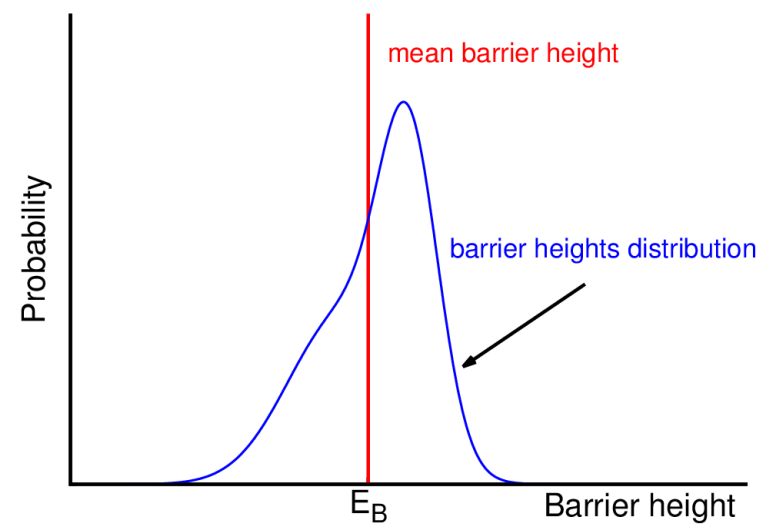
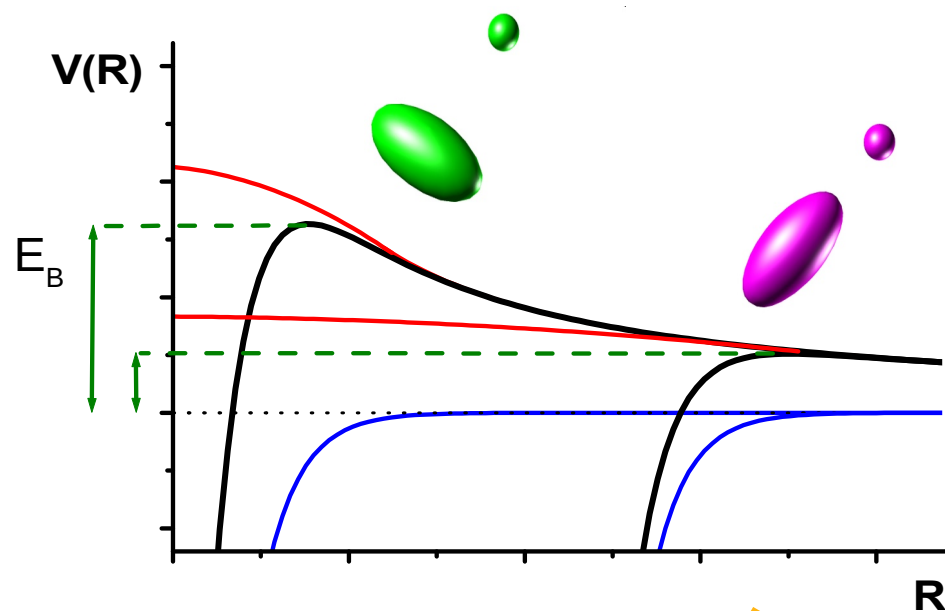
Bariera kulombowska – jedna?

- ◆ Pojedyncza bariera (*Single Barrier Model*) – dobry opis przekrojów czynnych na fuzję dla lekkich układów
- ◆ Dla cięższych układów (np. $^{16}\text{O} + ^A\text{Sm}$) w eksperymencie obserwuje się wyższe przekroje czynne na fuzję dla energii podbarierowych



- ◆ Dobrze przewidywania przekrojów czynnych na fuzję uzyskuje się uwzględniając wiele barier wynikających ze sprzężeń różnych kanałów reakcji → rozkład wysokości barier

Rozkład wysokości barier



Rozkład wysokości barier

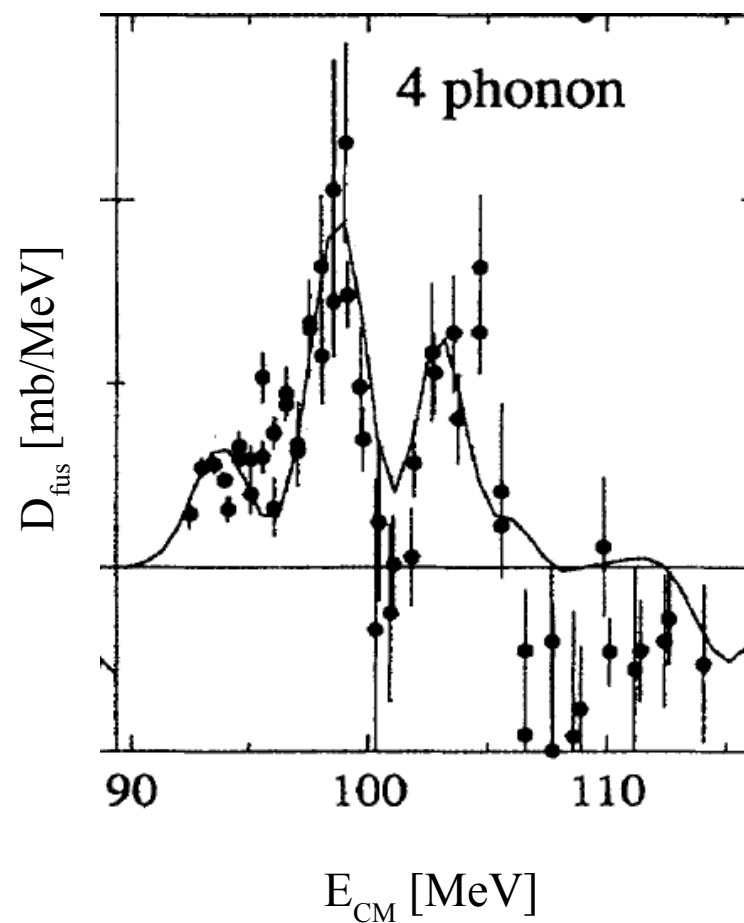
Struktura w rozkładach wysokości barier

pojawia się **nie tylko** w układach

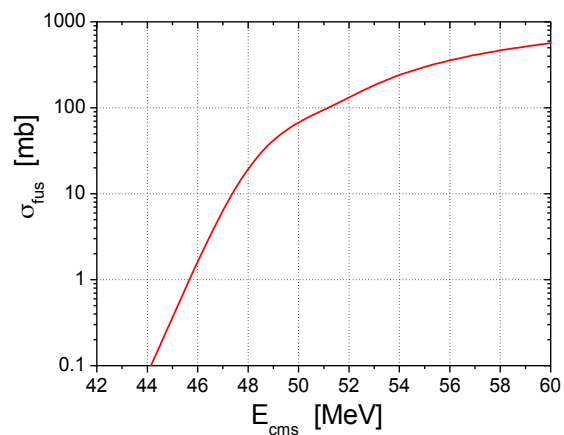
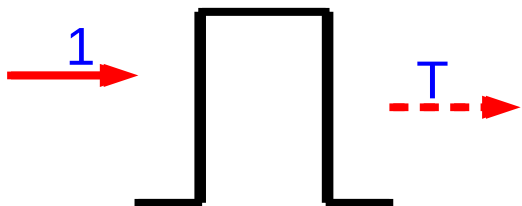
ze zdeformowanymi jądrami: $^{58}\text{Ni} + ^{60}\text{Ni}$



natura zjawiska jest kwantowa

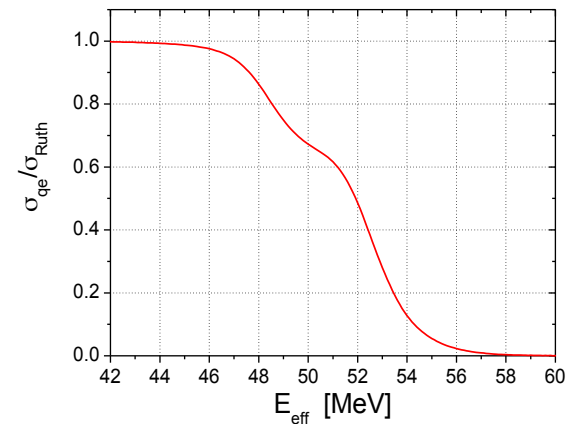
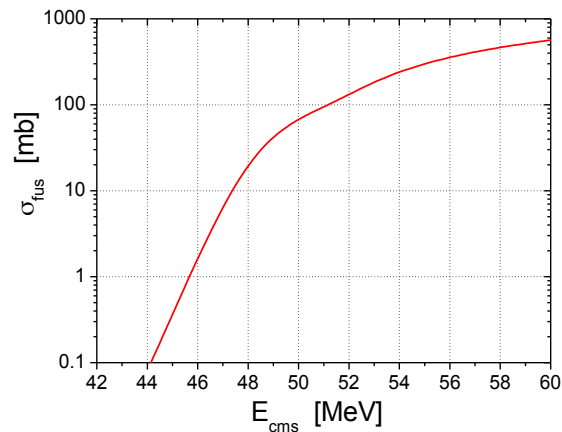
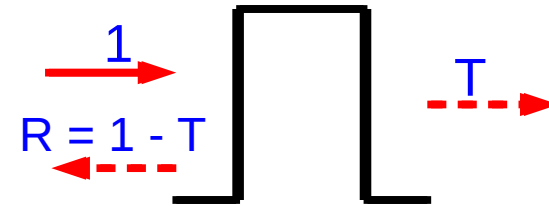
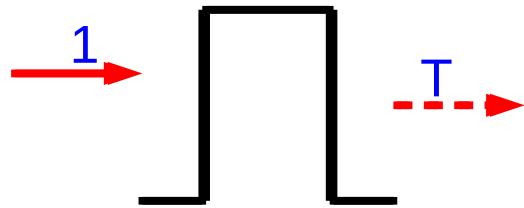


Metody doświadczalnego wyznaczania rozkładów barier na fuzję



$$D_{fus}(E) = \frac{d^2}{dE^2} (E \sigma_{fus})$$

Metody doświadczalnego wyznaczania rozkładów barier na fuzję

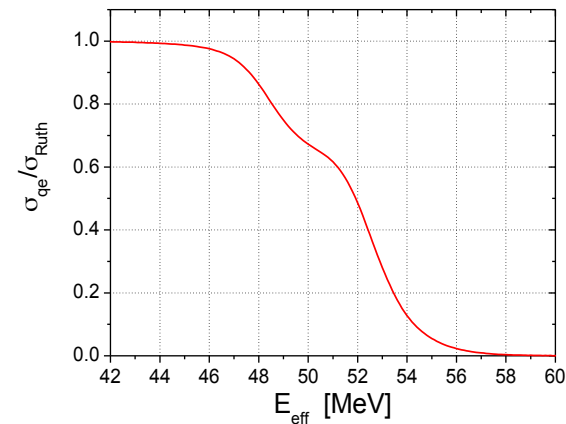
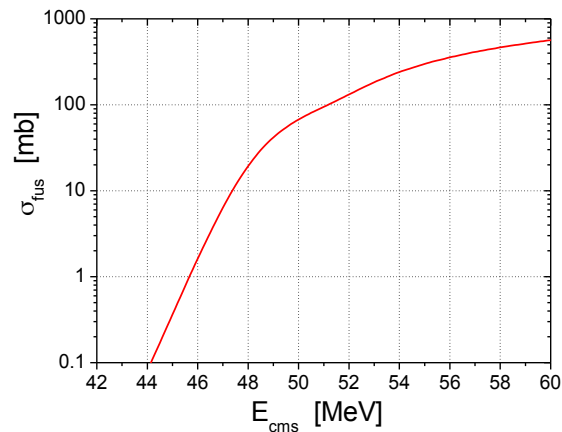
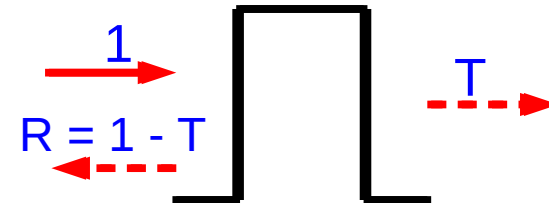
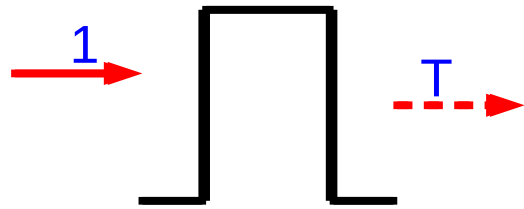


$$D_{fus}(E) = \frac{d^2}{dE^2} (E \sigma_{fus})$$

$$D_{eq}(E) = -\frac{d}{dE} \left(\frac{\sigma_{qe}}{\sigma_{Ruth}} \right)$$

$$\text{where } E_{eff} = \frac{2E}{1 + \text{cosec}(\theta/2)}$$

Metody doświadczalnego wyznaczania rozkładów barier na fuzję



$$D_{fus}(E) = \frac{d^2}{dE^2} (E \sigma_{fus})$$

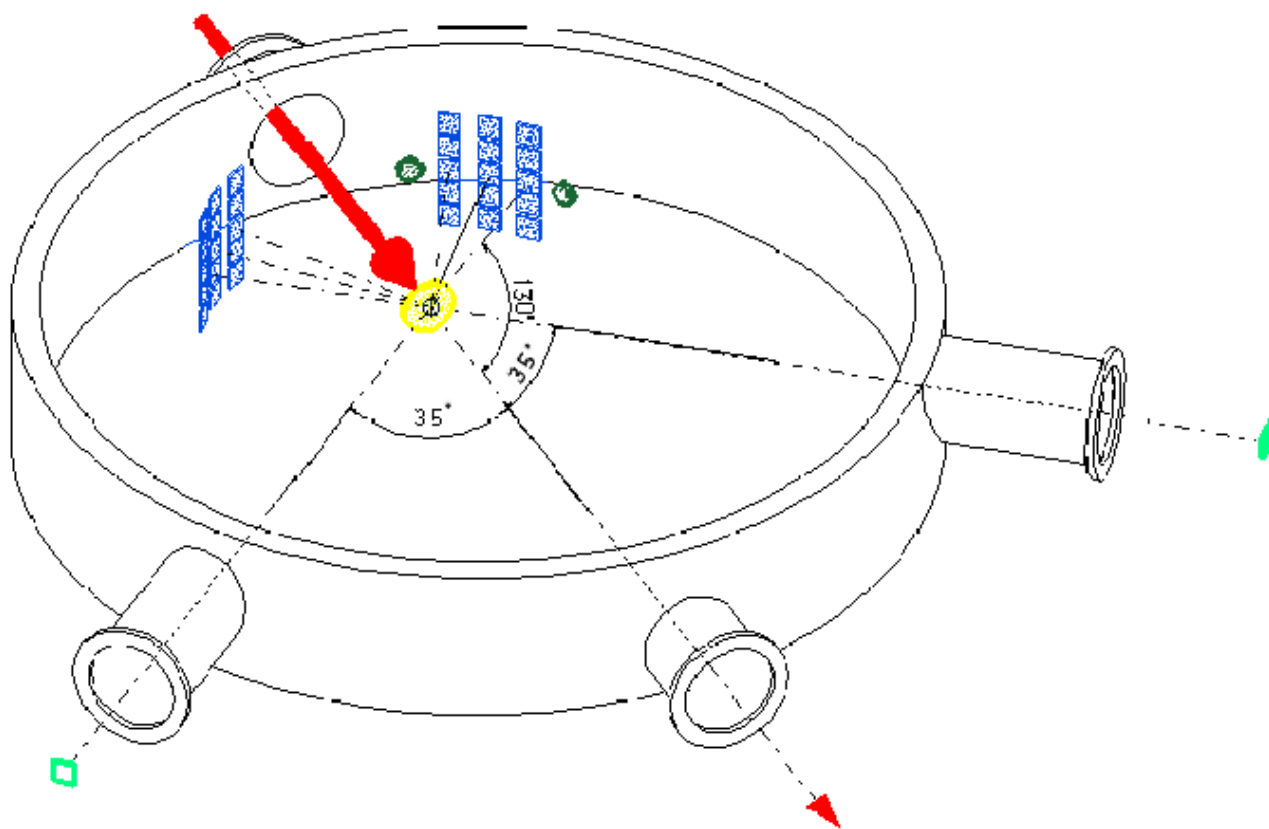
$$D_{eq}(E) = -\frac{d}{dE} \left(\frac{\sigma_{qe}}{\sigma_{Ruth}} \right)$$

Przybliżoną równoważność obu metod pokazano w pracy L.F. Canto *et al.*, Phys. Rep. 424 (2006) 1

Wcześniejsze eksperymenty – układ doświadczalny

CUDAC:

kompaktowa (40 cm) komora @ ŚLCJ

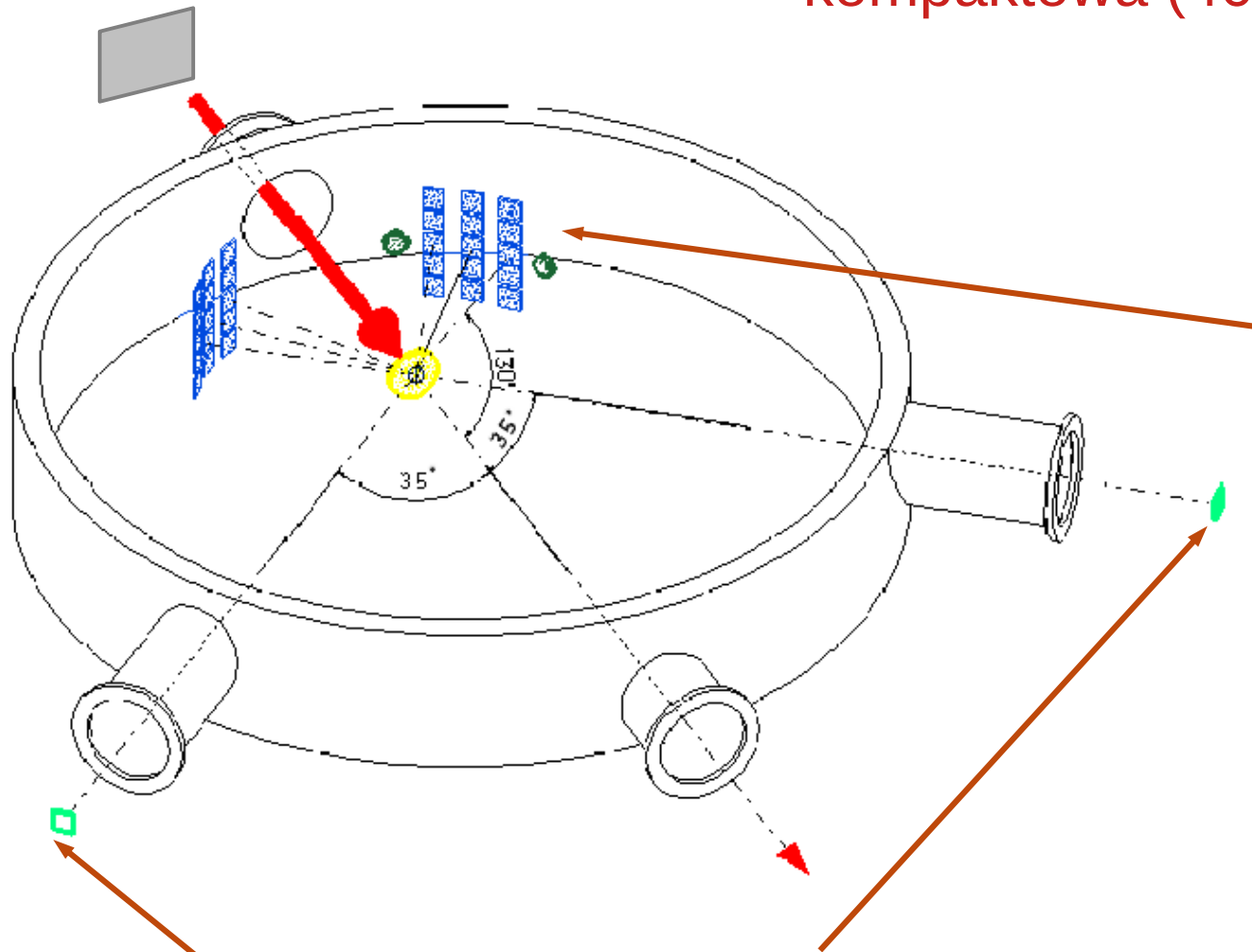


Wcześniejsze eksperymenty – układ doświadczalny

degrader

CUDAC:

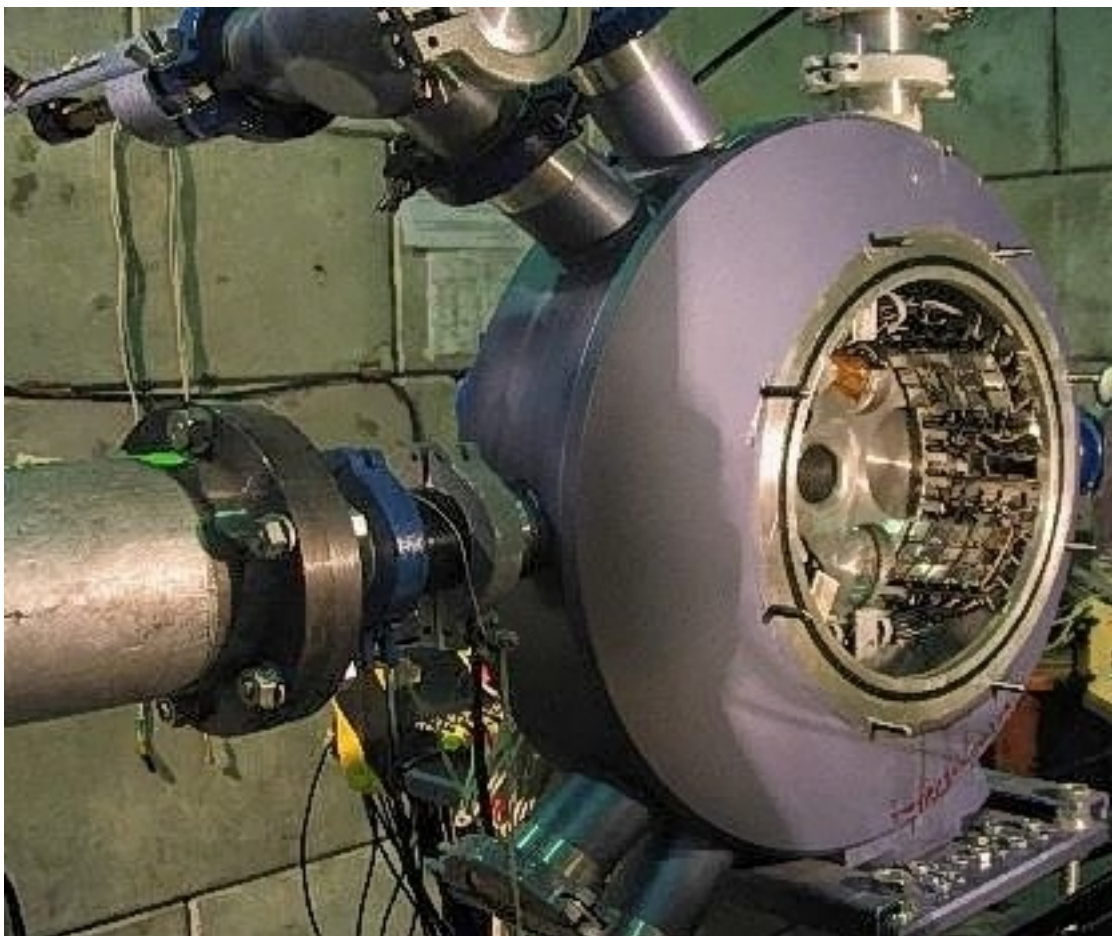
kompaktowa (40 cm) komora @ ŚLCJ



30 PIN diód 1x1cm
@130°, 140°, 150°

2 PIN diody @ 35°

Wcześniejsze eksperymenty – układ doświadczalny

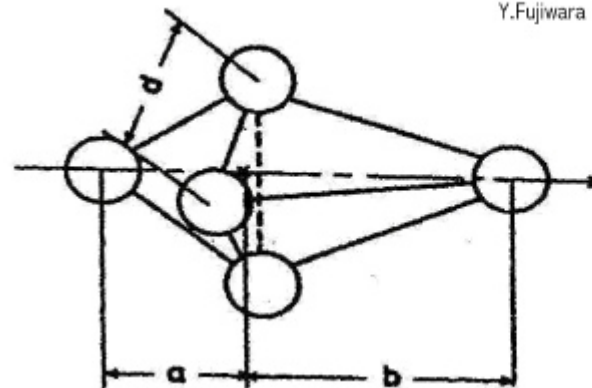
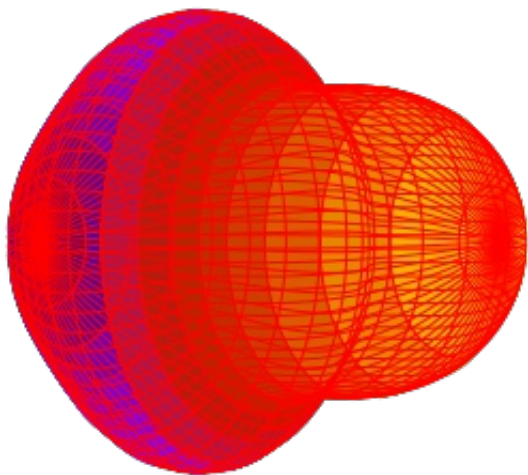


wiązka

Wcześniejsze eksperymenty – ^{20}Ne jako pocisk

- pocisk: ^{20}Ne – jądro silnie zdeformowane:

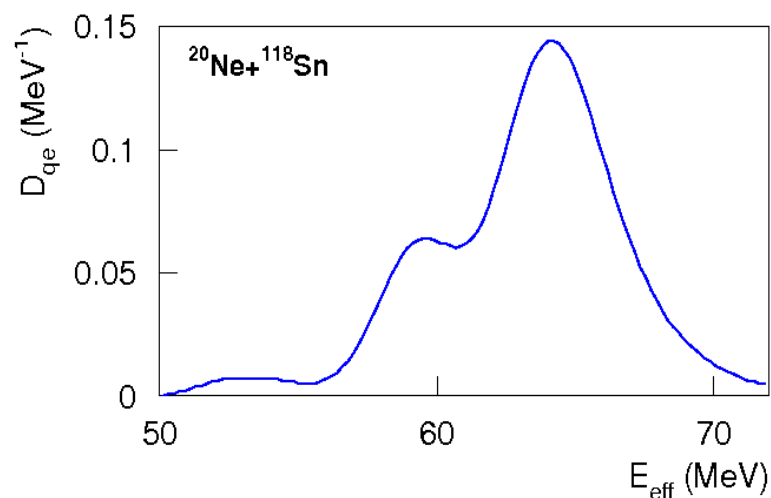
$$\beta_2 = 0.46, \beta_3 = 0.39, \beta_4 = 0.27$$



Y.Fujiwara et al., Suppl.Progr.Th.Phys. 68(1980)111

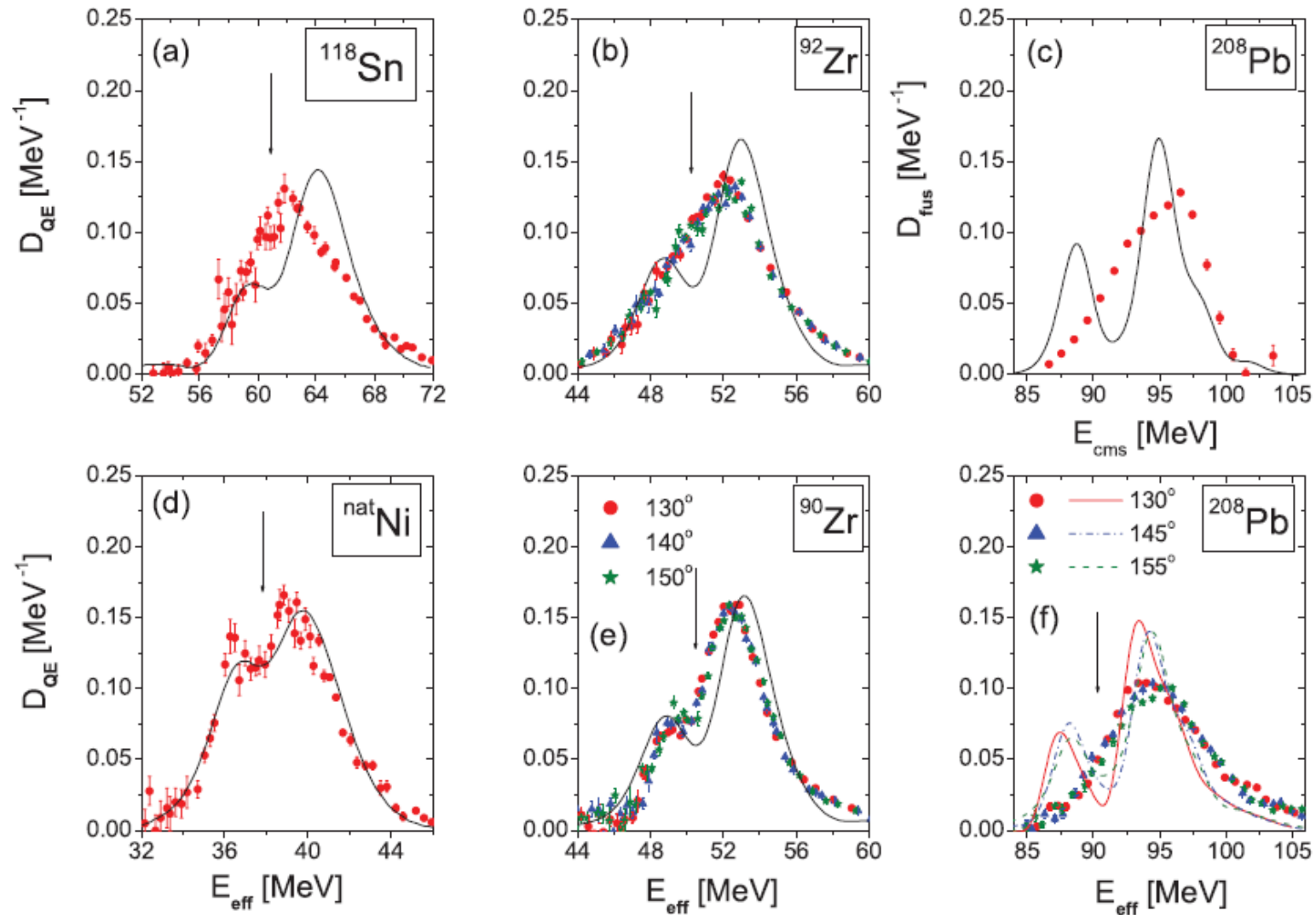
Wcześniejsze eksperymenty – ^{20}Ne jako pocisk

- pocisk: ^{20}Ne – jądro silnie zdeformowane:
 $\beta_2 = 0.46$, $\beta_3 = 0.39$, $\beta_4 = 0.27$
- obliczenia przeprowadzone metodą Kanałów Sprzężonych (CC) przewidują rozkład barier ze „strukturą” dla systemu $^{20}\text{Ne}+X$



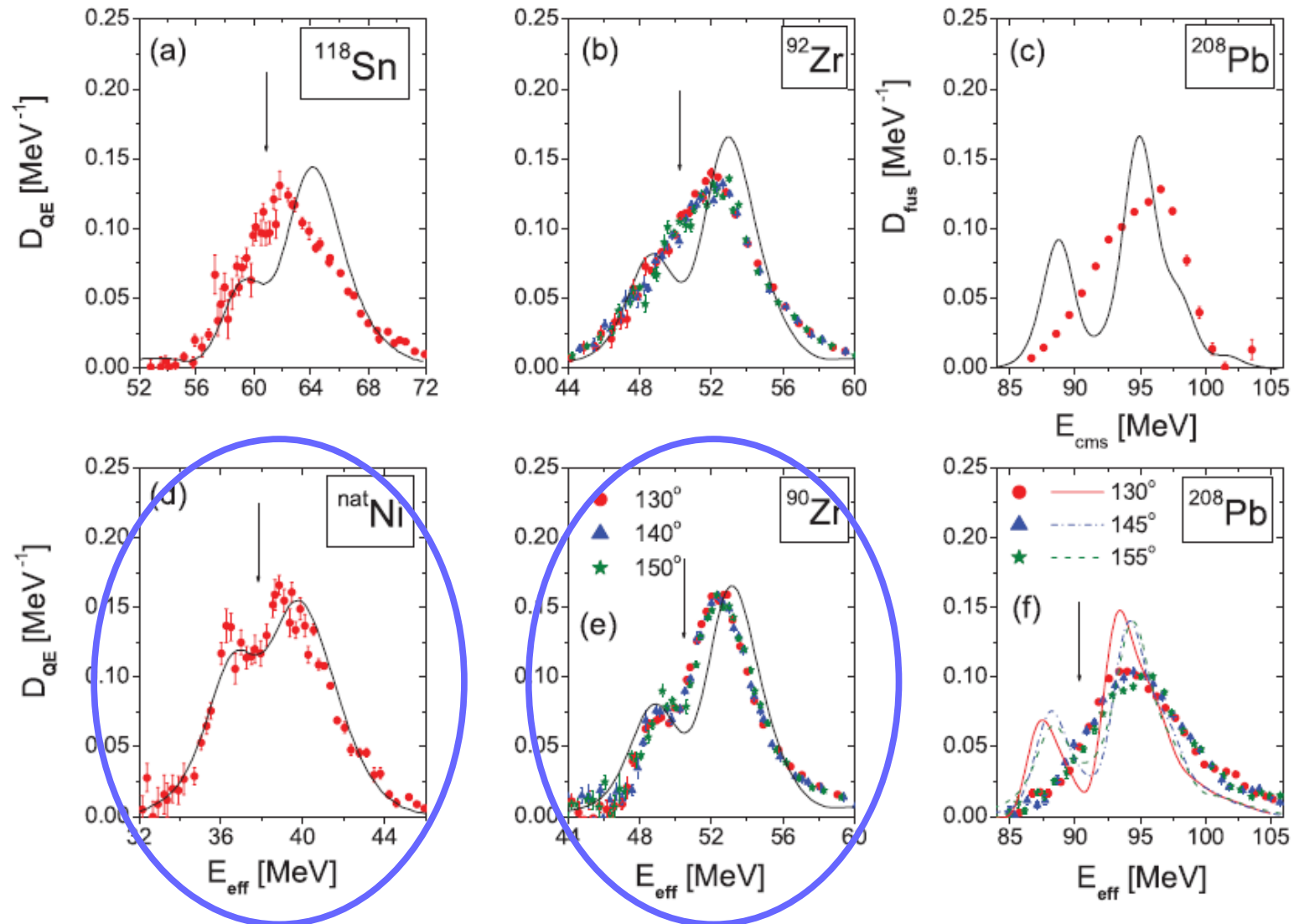
Wcześniejsze eksperymenty – wyniki

rozkłady barier dla układów $^{20}\text{Ne} + \dots$



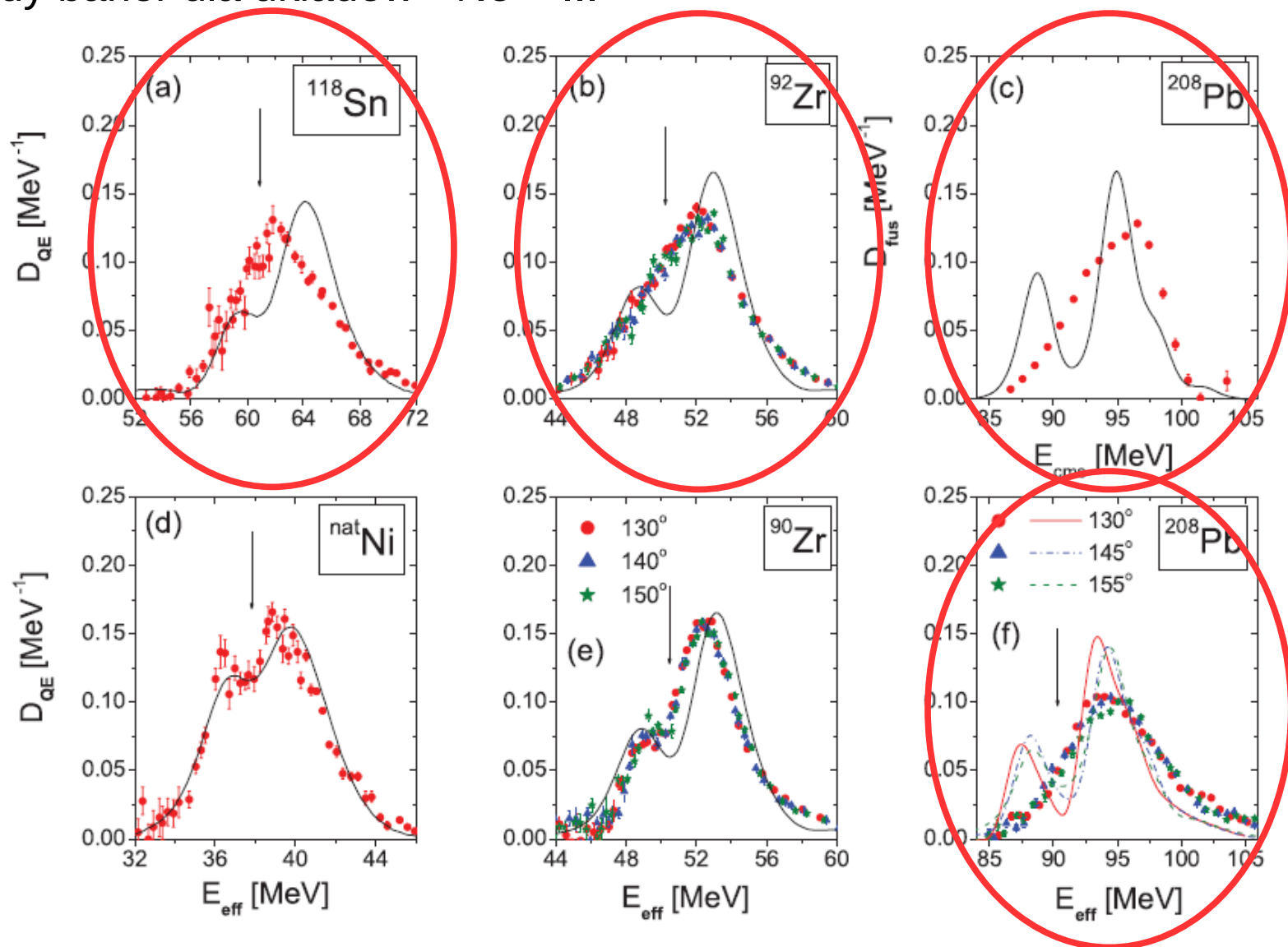
Wcześniejsze eksperymenty – wyniki

rozkłady barier dla układów $^{20}\text{Ne} + \dots$



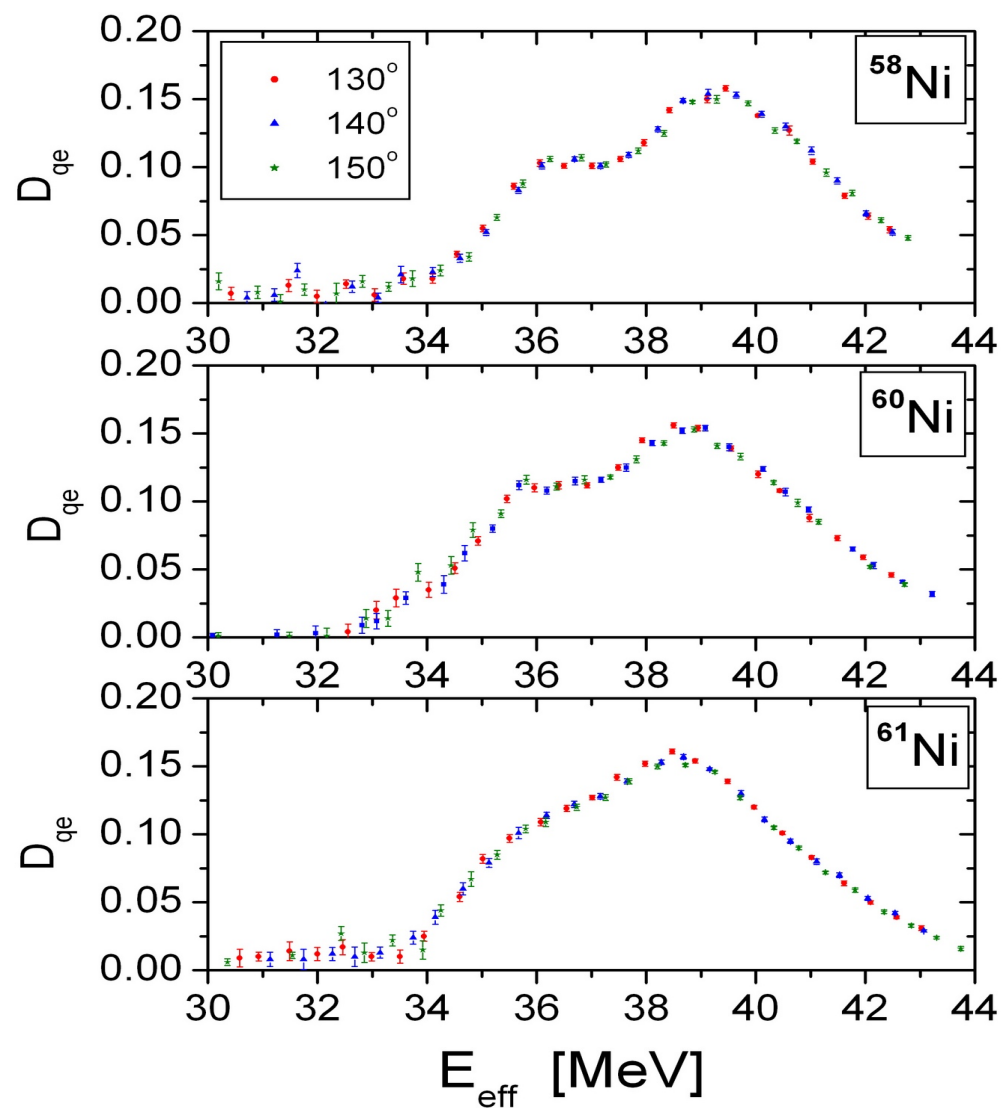
Wcześniejsze eksperymenty – wyniki

rozkłady barier dla układów $^{20}\text{Ne} + \dots$



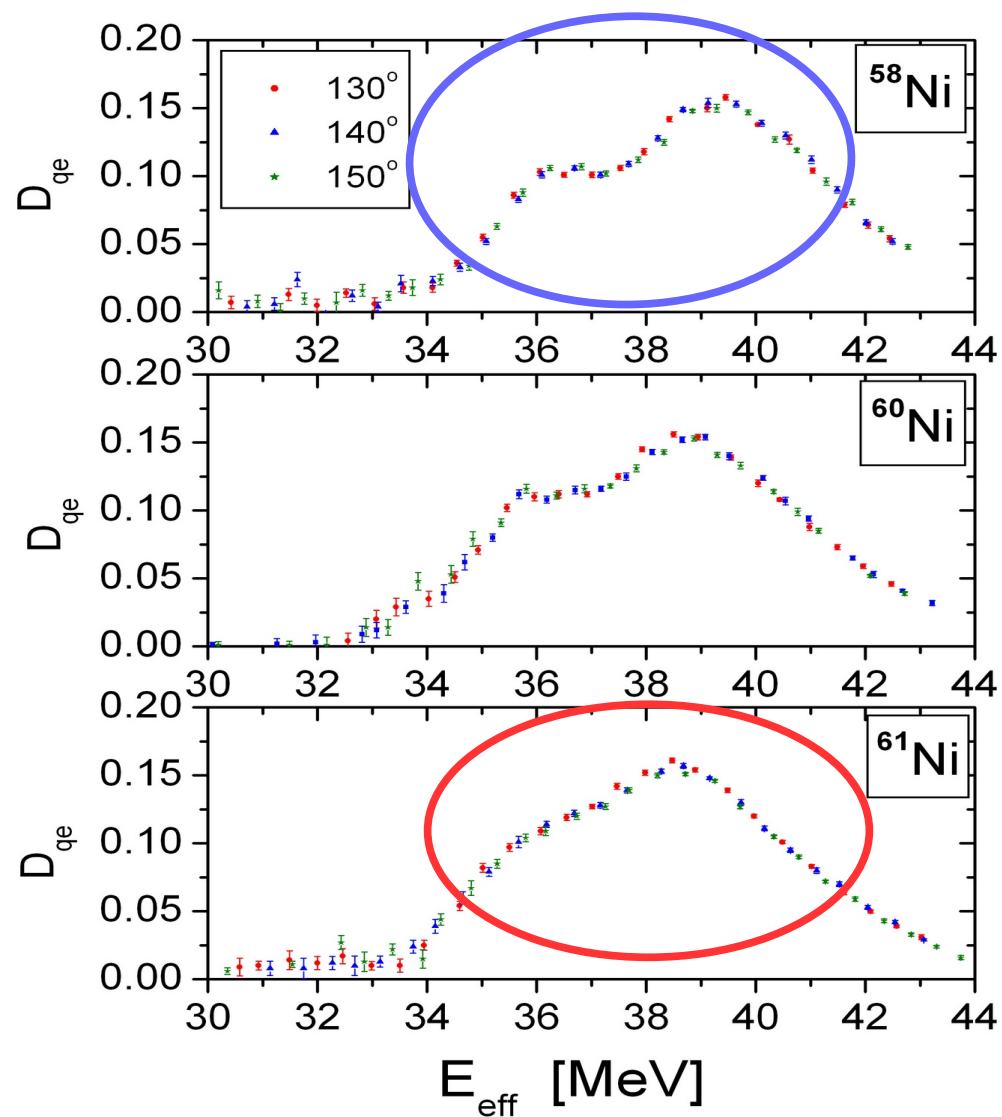
Wcześniejsze eksperymenty – wyniki

rozkłady barier dla układów $^{20}\text{Ne} + \dots$



Wcześniejsze eksperymenty – wyniki

rozkłady barier dla układów $^{20}\text{Ne} + \dots$



Brak „struktury” – wyjaśnienie?

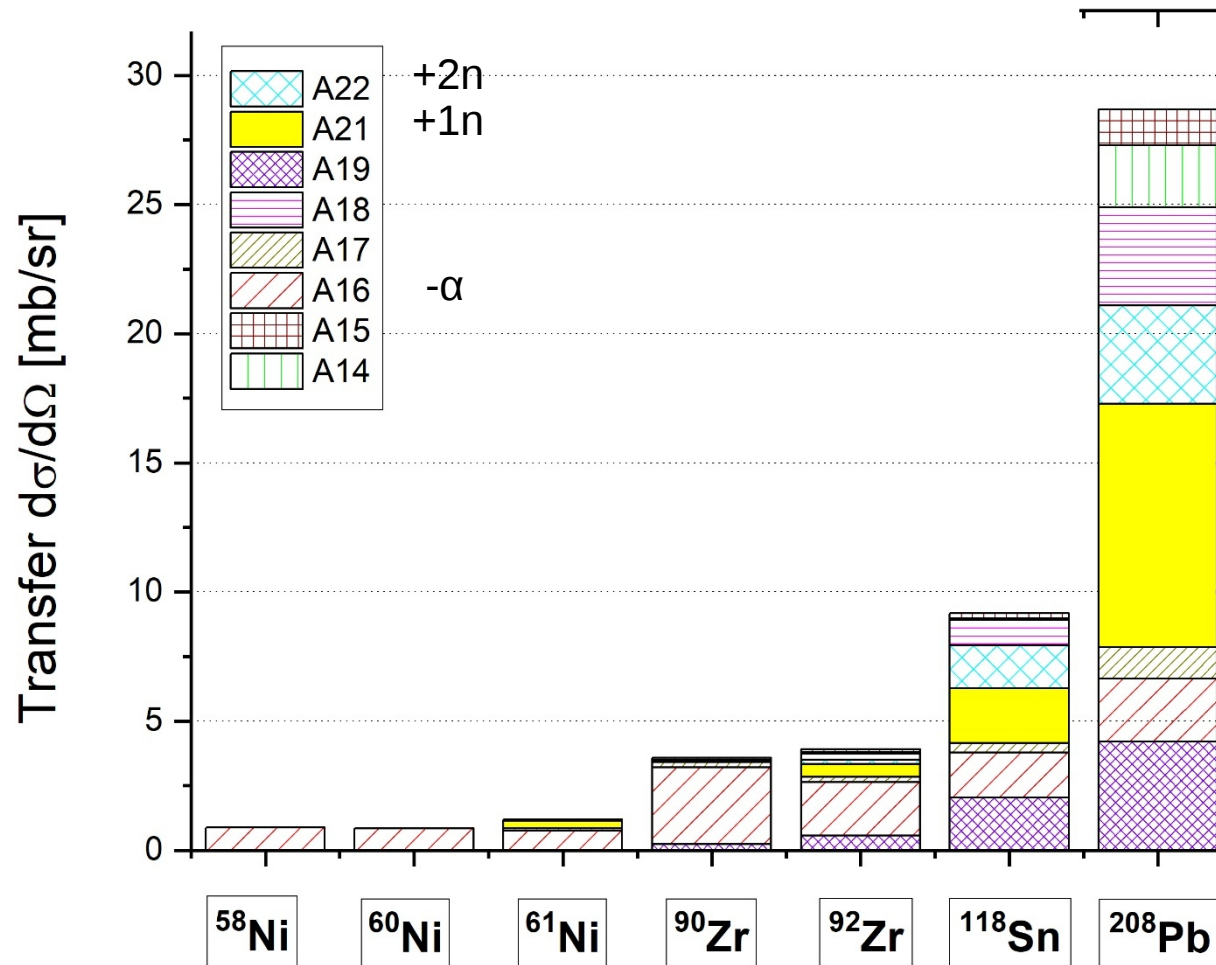
- słabe kanały reakcji nieuwzględnione w obliczeniach?
np. transfery n, α , ...



- sprawdzenie hipotezy → pomiar przekrojów czynnych na transfer w zbadanych układach przy energii okołobarierowej energii pocisku

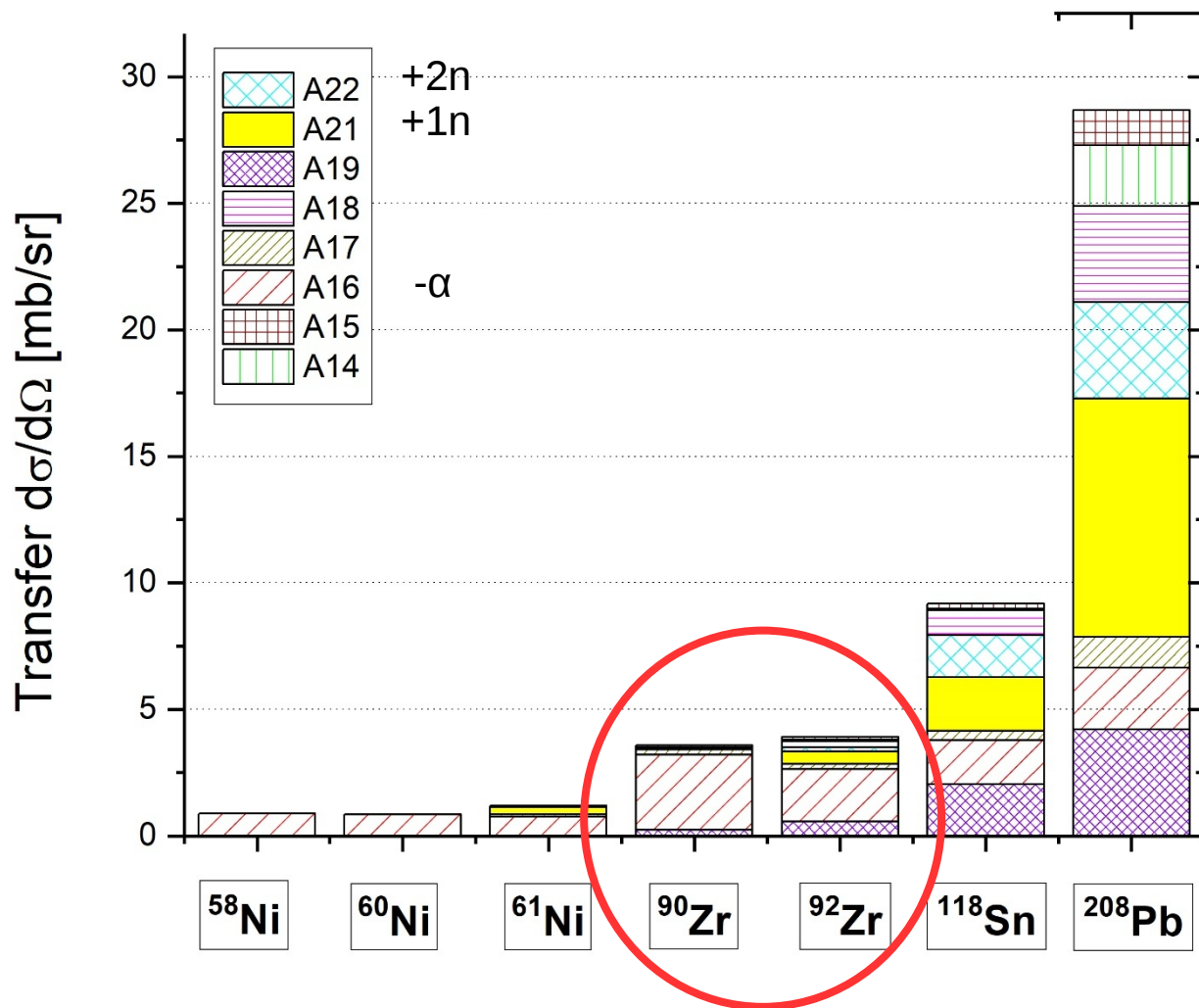
Przekroje czynne na transfery

masa jąder po transferze



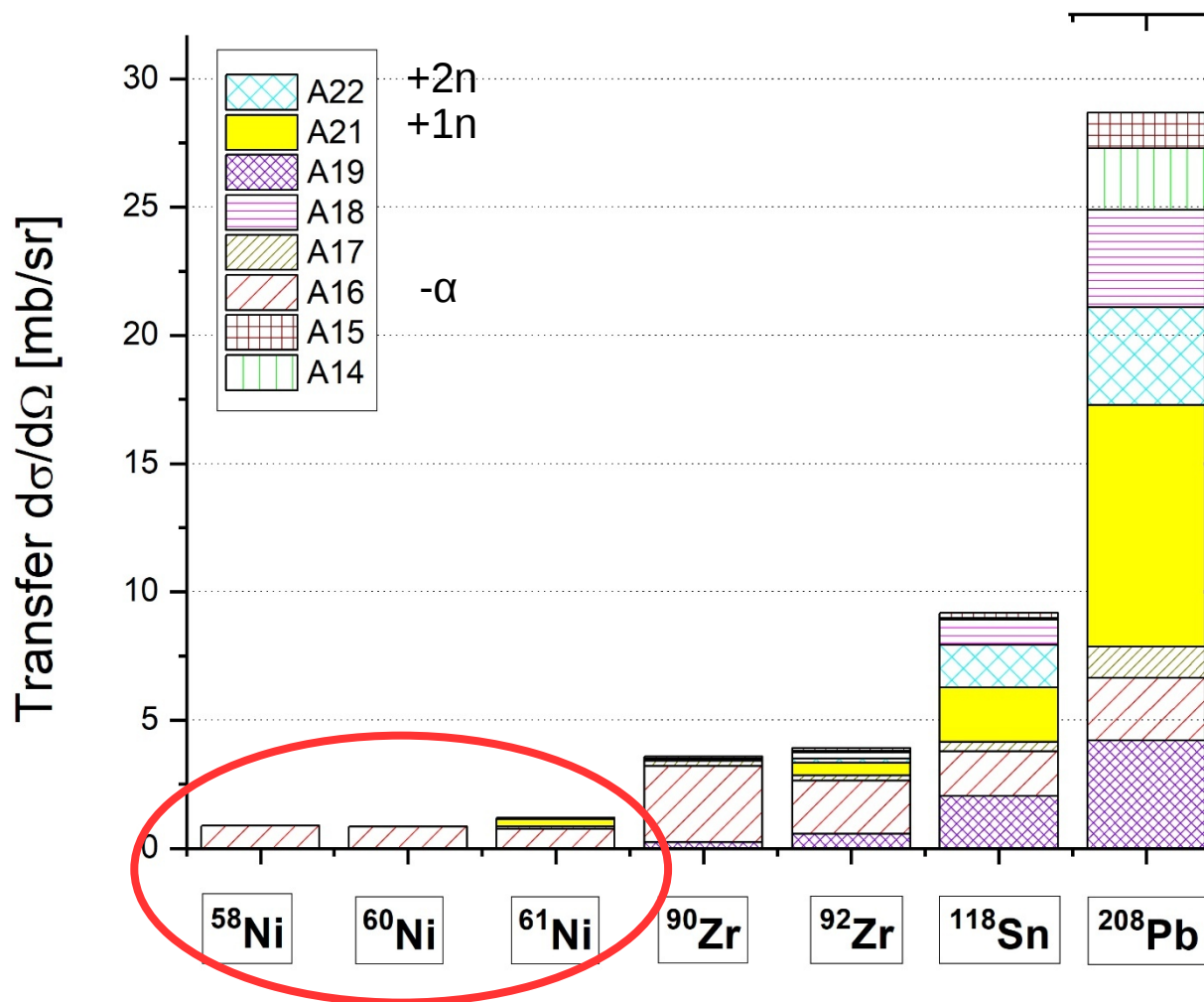
Przekroje czynne na transfery

masa jąder po transferze



Przekroje czynne na transfery

masa jąder po transferze



Brak „struktury” – wyjaśnienie?

- słabe kanały reakcji nieuwzględnione w obliczeniach?
np. transfery n, α , ...



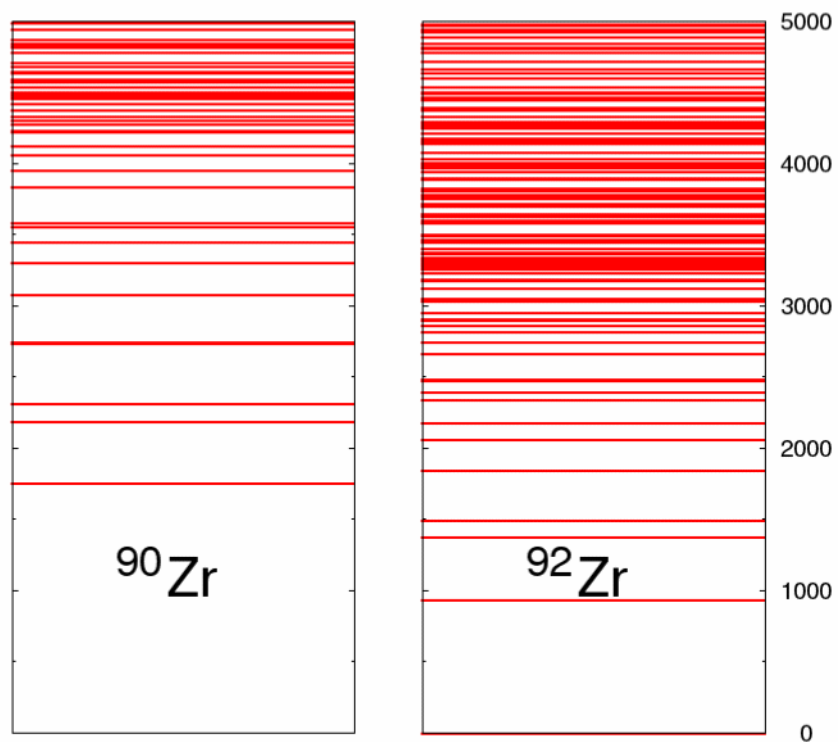
tylko w niektórych przypadkach

- Inne słabe kanały reakcji? - wzbudzenia niekolektywne (jednocząstkowe)

Brak „struktury” – wyjaśnienie?

^{90}Zr , ^{92}Zr

różnice w gęstości poziomów jąder wzbudzonych

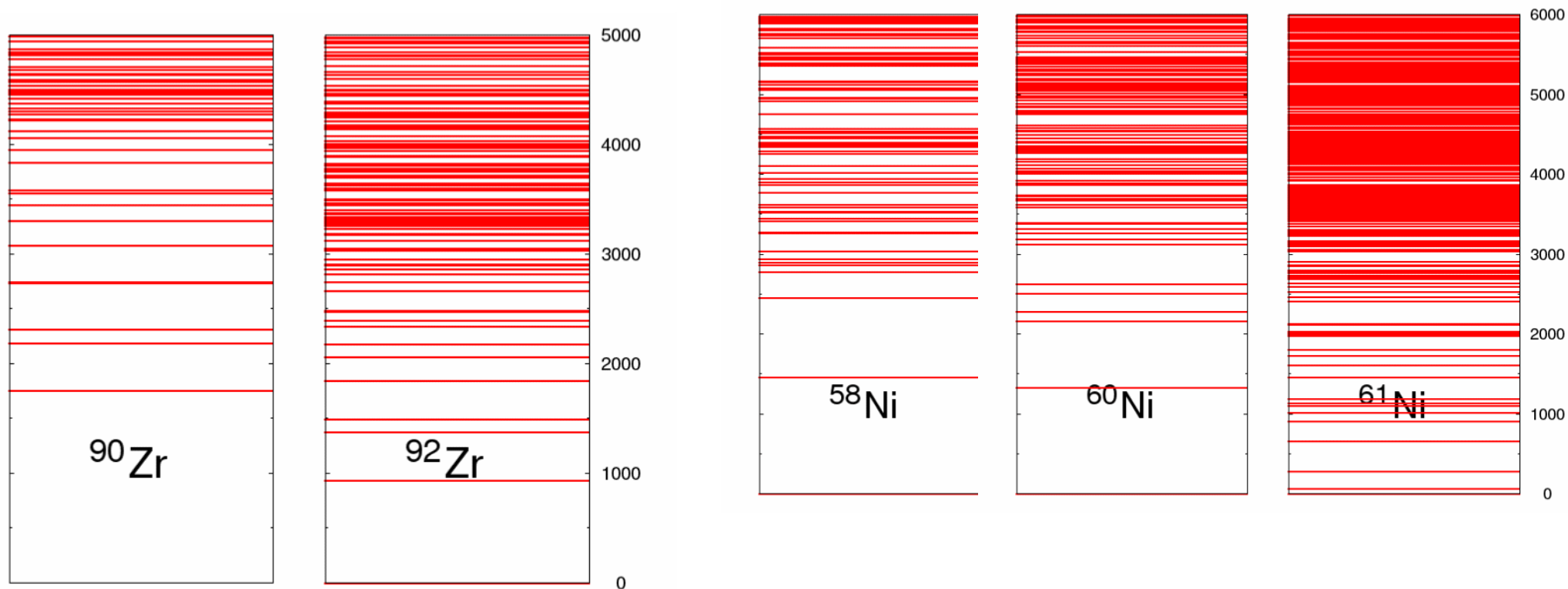


Brak „struktury” – wyjaśnienie?

^{90}Zr , ^{92}Zr

^{58}Ni , ^{60}Ni , ^{61}Ni

różnice w gęstości poziomów jąder wzbudzonych



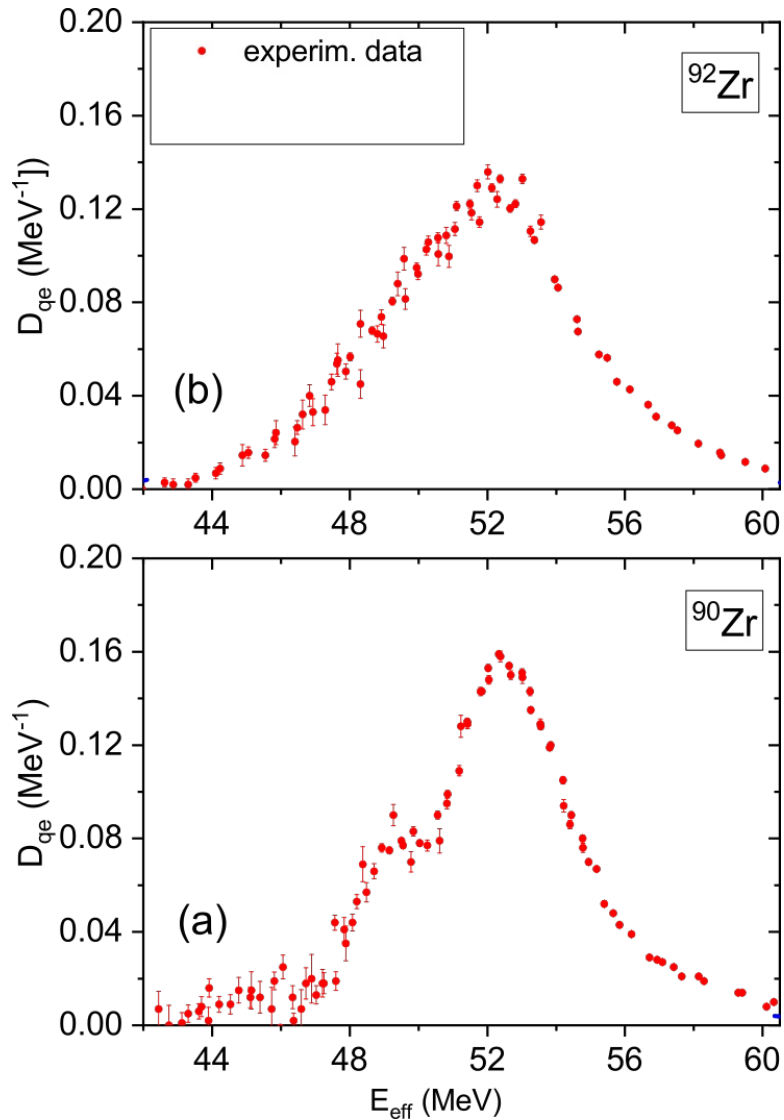
Znaczenie wzbudzeń niekolektywnych

- w Metodzie Kanałów Sprzężonych (CC) w równaniu Schrödingera uwzględnia się koherentną superpozycję kilku stanów
- wzbudzenia stanów niekolektywnych prowadzą do **nieodwracalnego** „tłumienia” ruchu względnego do wielu wewnętrznych stopni swobody
- oddziaływanie układu kwantowego ze złożonym otoczeniem (poziomy jednocząstkowe) prowadzi do **dekoherencji** (zburzenia koherentnej superpozycji)
- dynamika dyssypacyjna (dekoherentna) → poza standardowym modelem kanałów sprzężonych

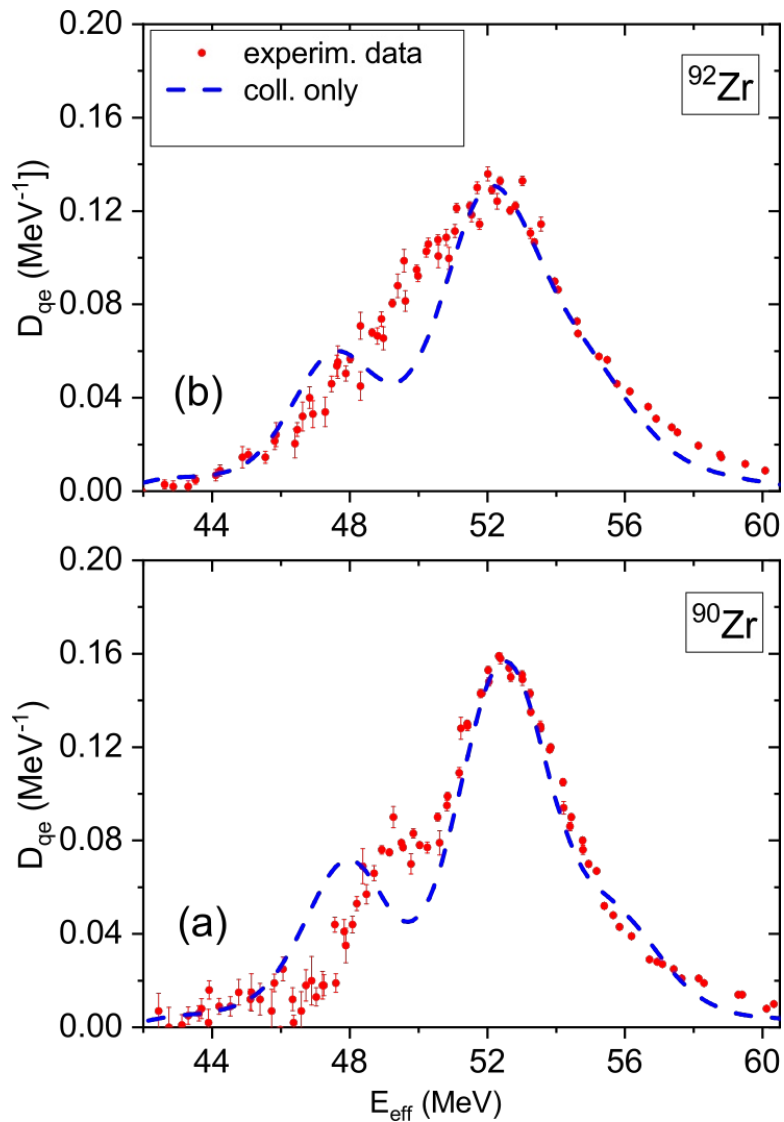
Jak uwzględniać wzbudzenia niekolektywne?

- nieodwracalna dynamika: A. Diaz-Torres (*na razie brak modelu*)
- “na siłę” S. Yusa, K. Hagino:
PRC 85 (2012) 056404 ($^{16}\text{O}+^{208}\text{Pb}$)
- CC + teoria macierzy losowych (*random matrix theory*):
 - S. Yusa, K. Hagino: PRC 88 (2013) 054621 \leftarrow $^{20}\text{Ne} + ^{90,92}\text{Zr}$
 - nasza praca PRC 100 (2019) 014616 \leftarrow $^{20}\text{Ne} + ^{90,92}\text{Zr}$ i $^{20}\text{Ne} + ^{58,60,61}\text{Ni}$

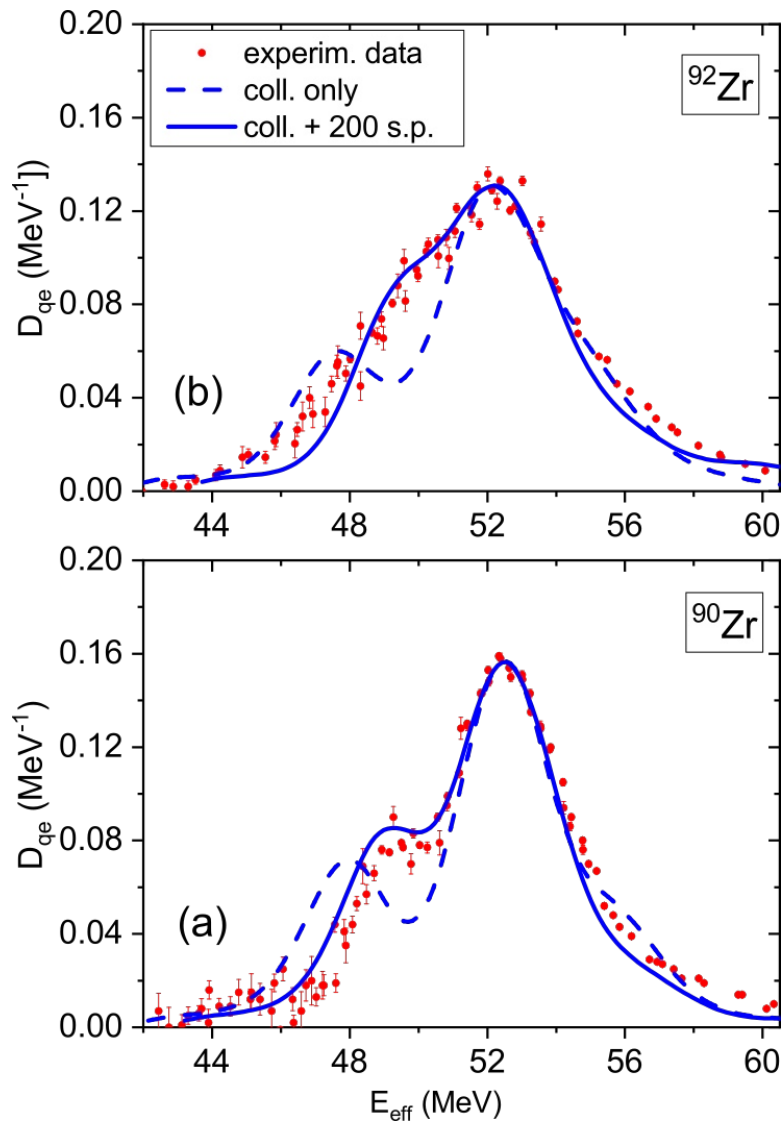
Rozkłady barier – uwzględnienie wzbudzeń jednocząstkowych (dyssypacji)



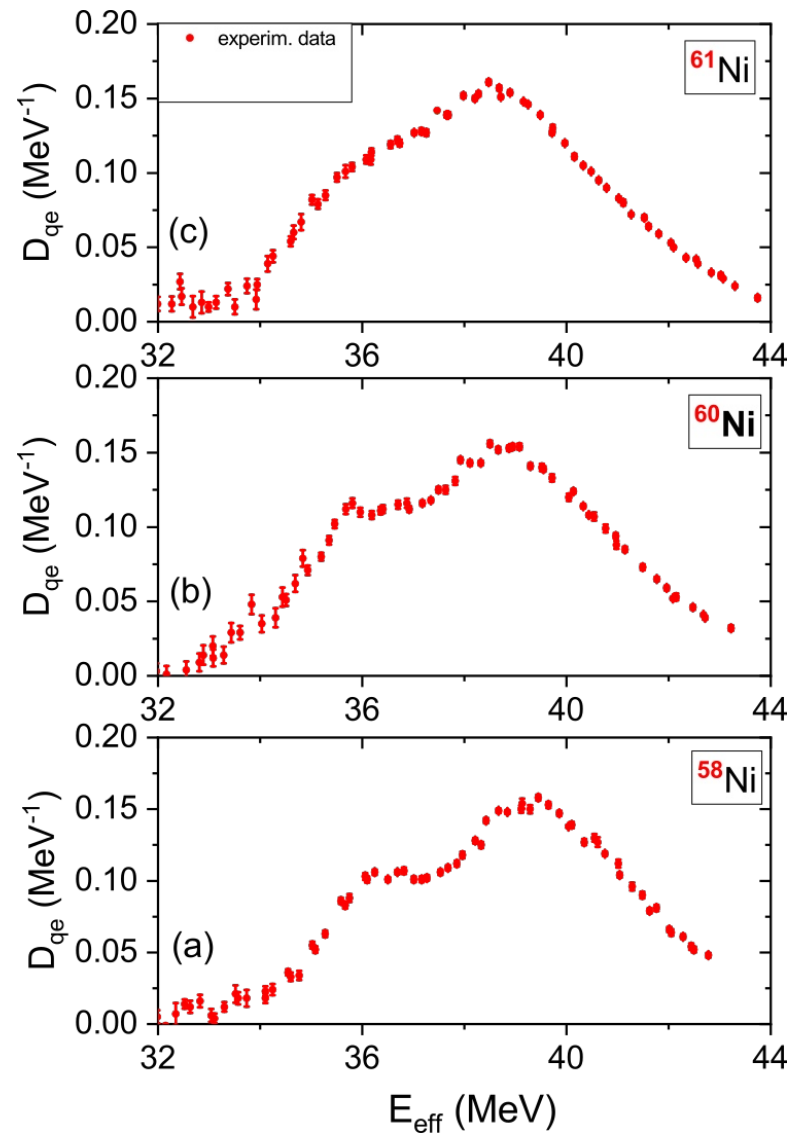
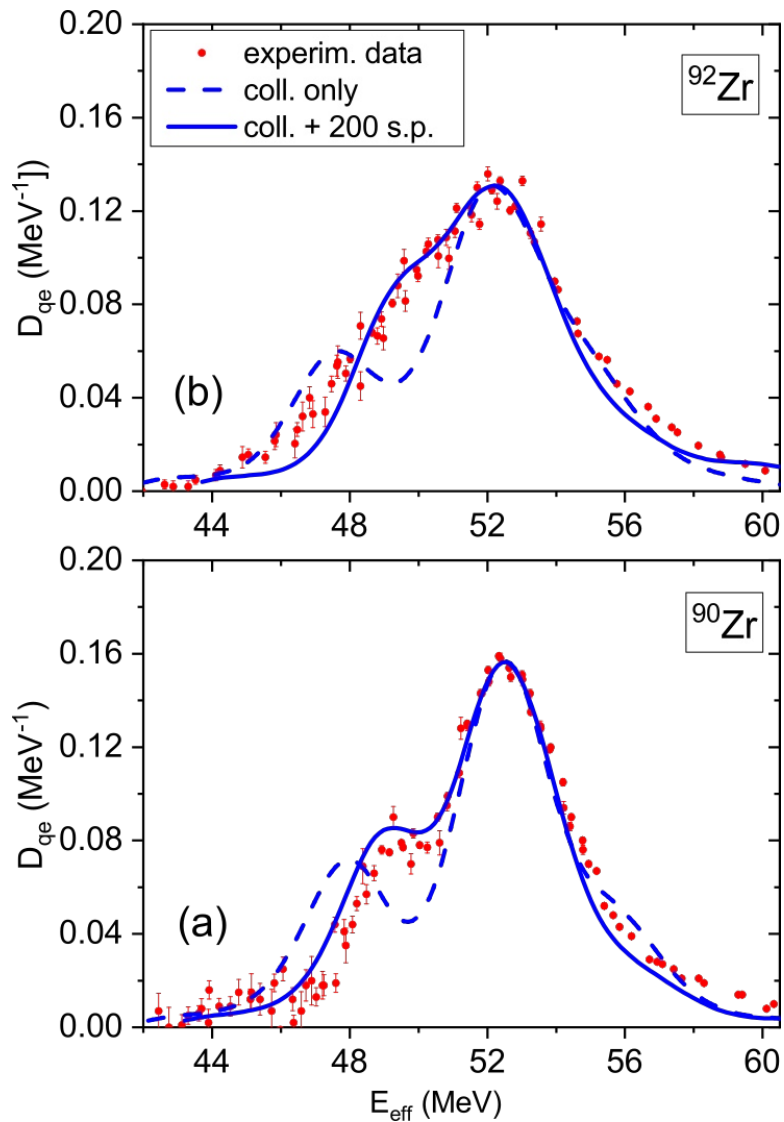
Rozkłady barier – uwzględnienie wzbudzeń jednocząstkowych (dyssypacji)



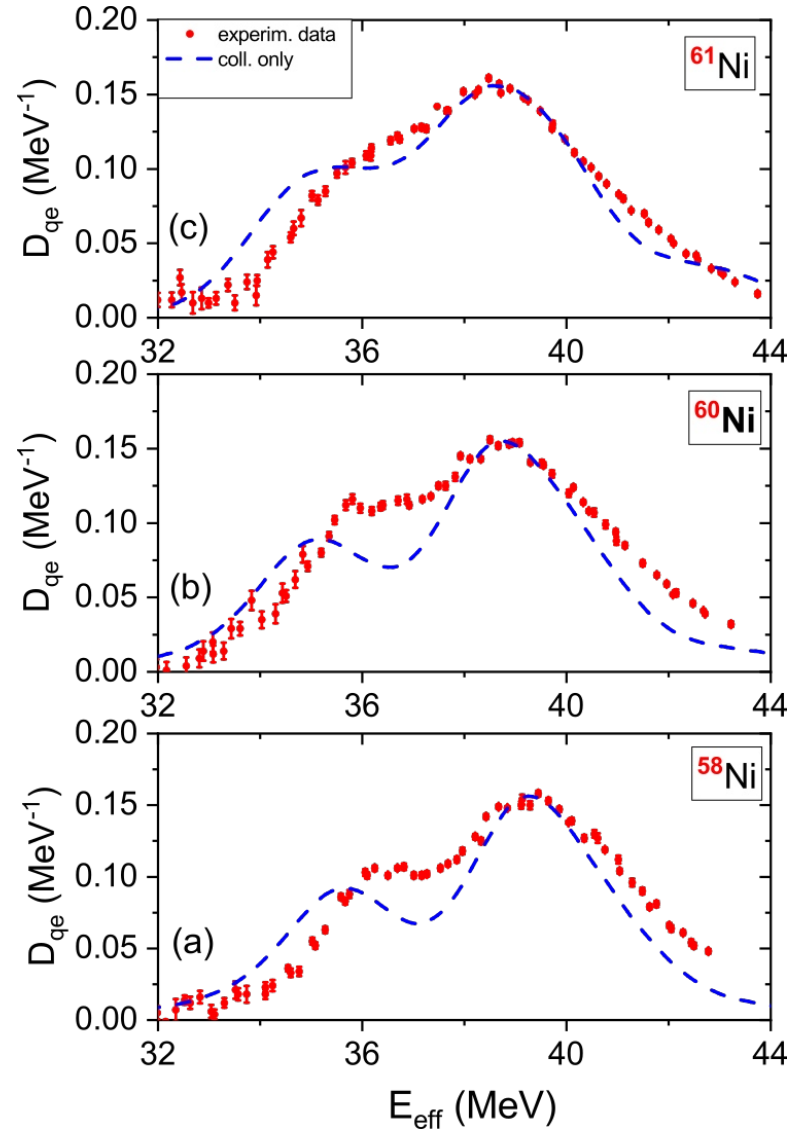
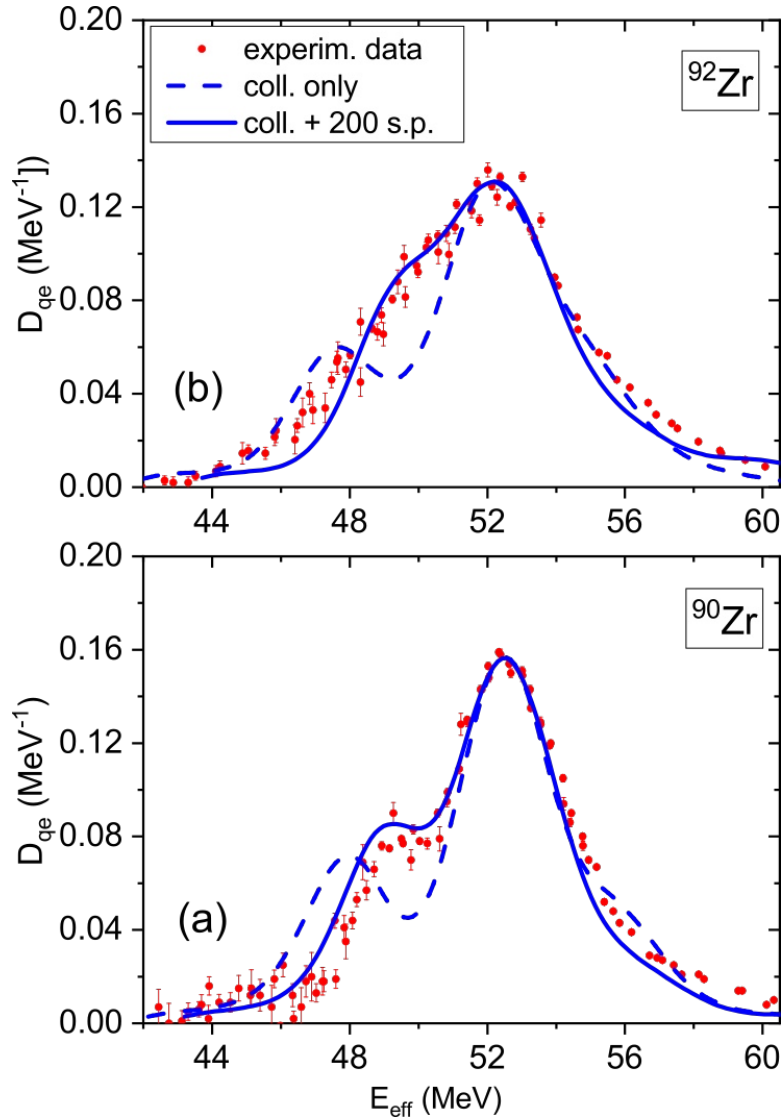
Rozkłady barier – uwzględnienie wzbudzeń jednocząstkowych (dyssypacji)



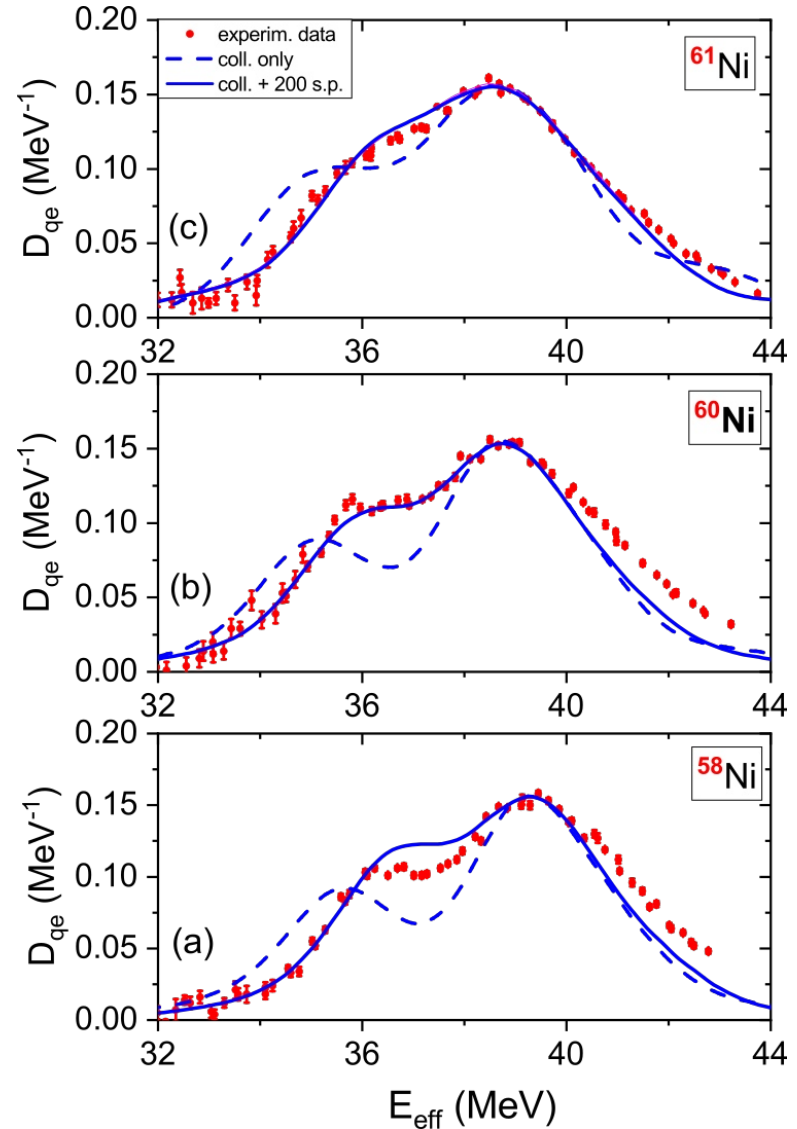
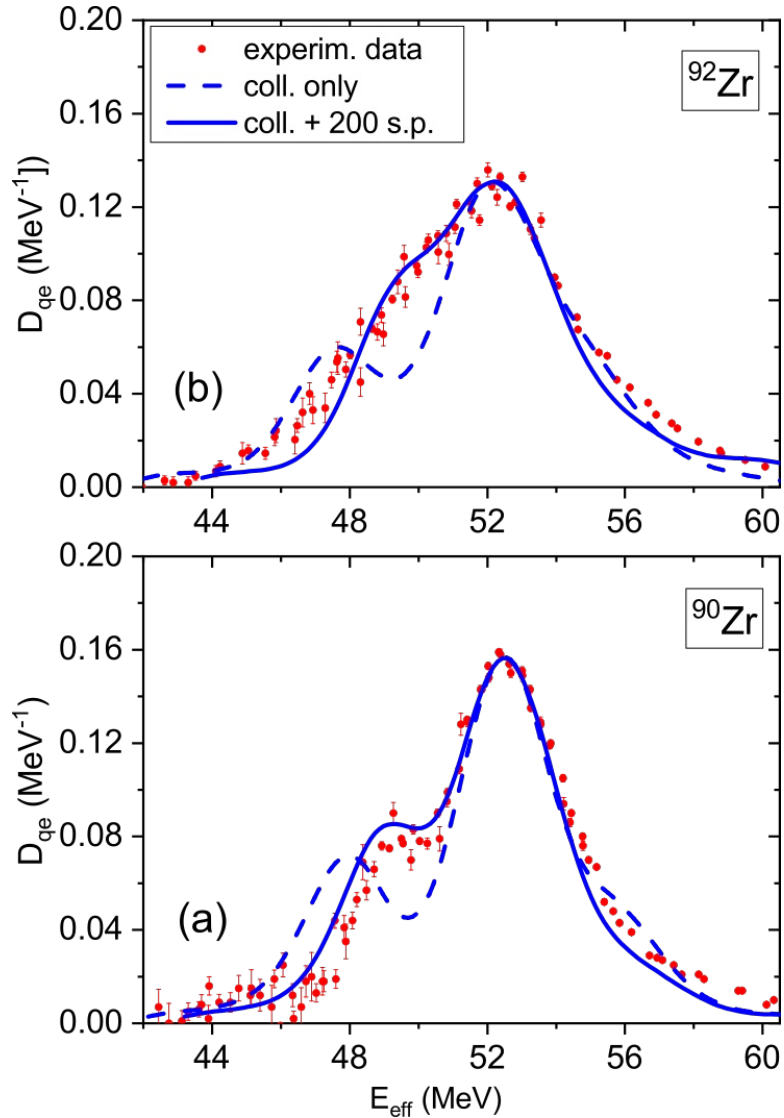
Rozkłady barier – uwzględnienie wzbudzeń jednocząstkowych (dyssypacji)



Rozkłady barier – uwzględnienie wzbudzeń jednocząstkowych (dyssypacji)



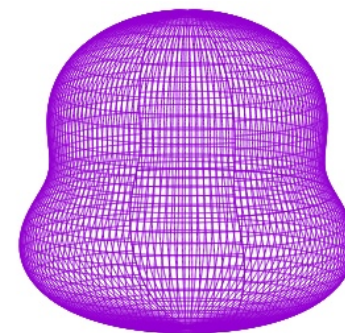
Rozkłady barier – uwzględnienie wzbudzeń jednocząstkowych (dyssypacji)



Sprawdzenie hipotezy – pocisk ^{24}Mg

^{24}Mg – także jądro zdeformowane (6 cząstek α)

$$\beta_2 = 0.59, \beta_3 = 0.23, \beta_4 = -0.03$$



┘

Rozkład barier $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$ – eksperyment

Eksperyment: @ LNS Catania

Wiązka (Tandem): ^{24}Mg @ energy 68 MeV– 88.5 MeV

Tarcze: ^{90}Zr and ^{92}Zr , $\sim 100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$

Rozkład barier $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$ – eksperyment

Eksperyment: @ LNS Catania, @ CHIMERA

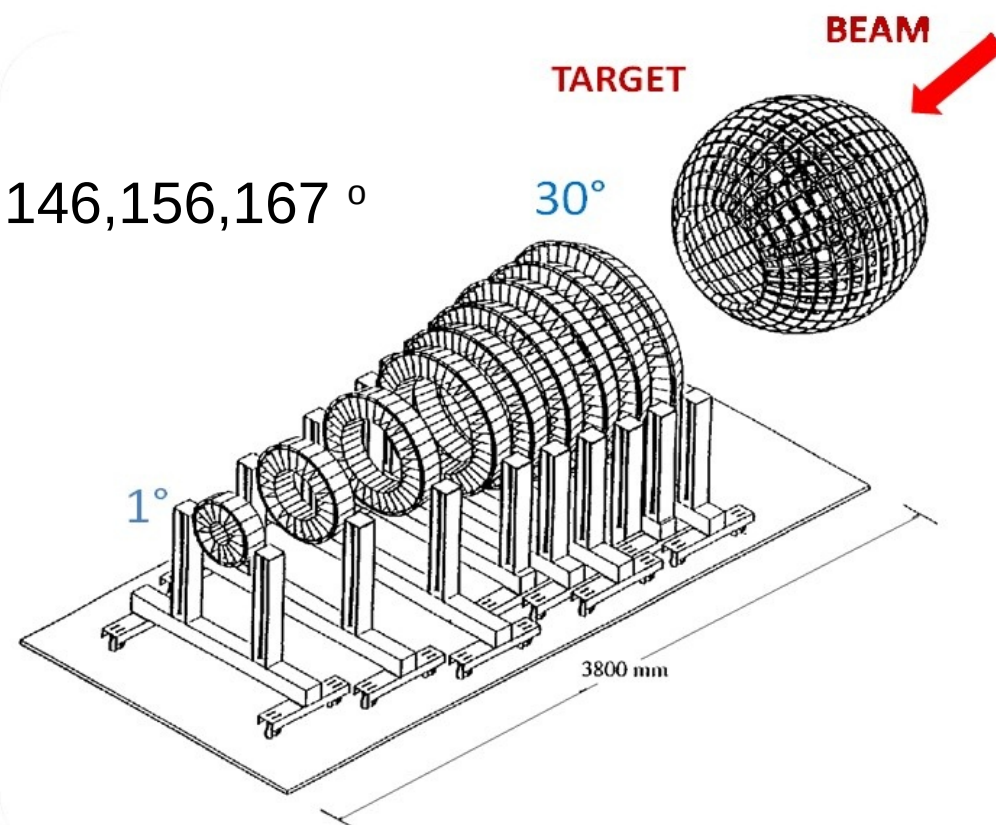
Wiązka (Tandem): ^{24}Mg @ energy 68 MeV– 88.5 MeV

Tarcze: ^{90}Zr and ^{92}Zr , $\sim 100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$

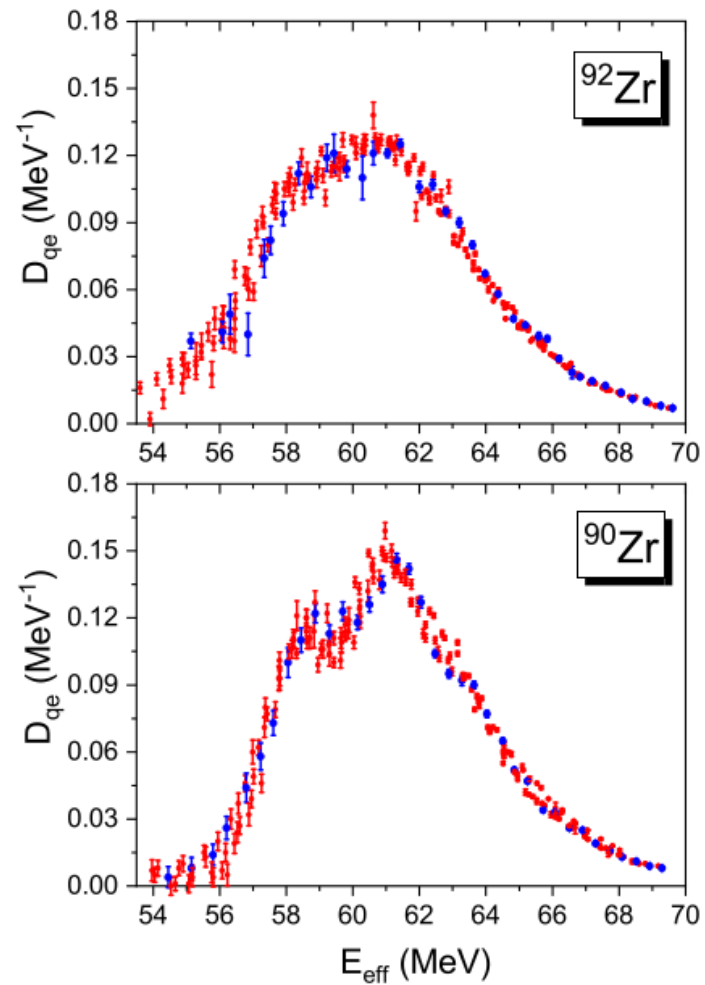
Detektory – układ CHIMERA:

wsteczne: pierścienie @ 122,130,138,146,156,167 °

przednie: 4 detektory @ 29 °



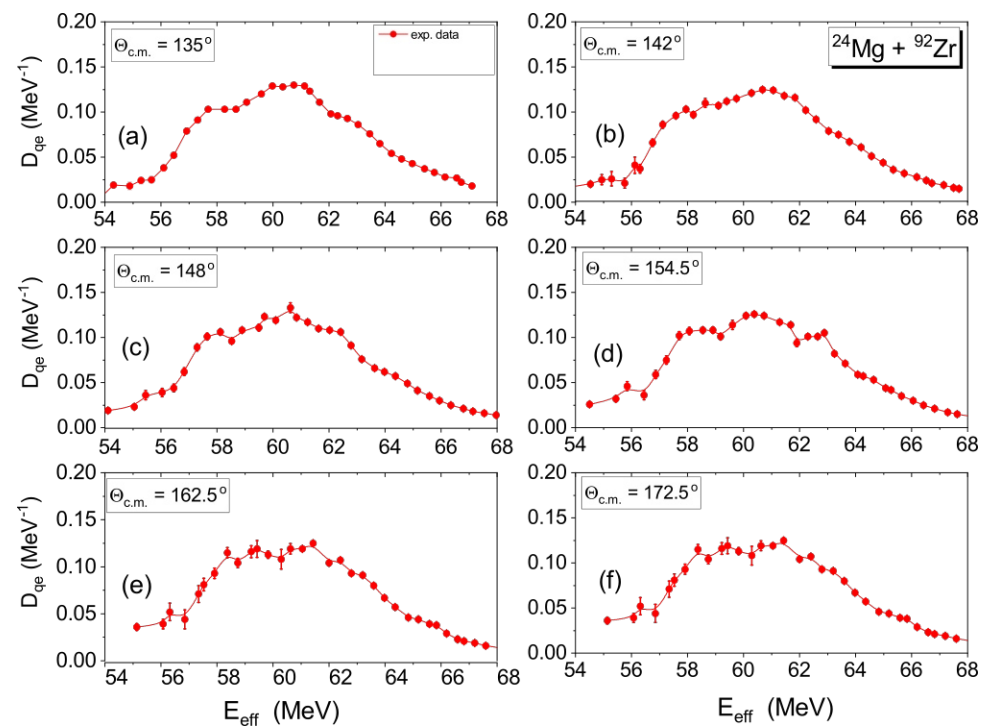
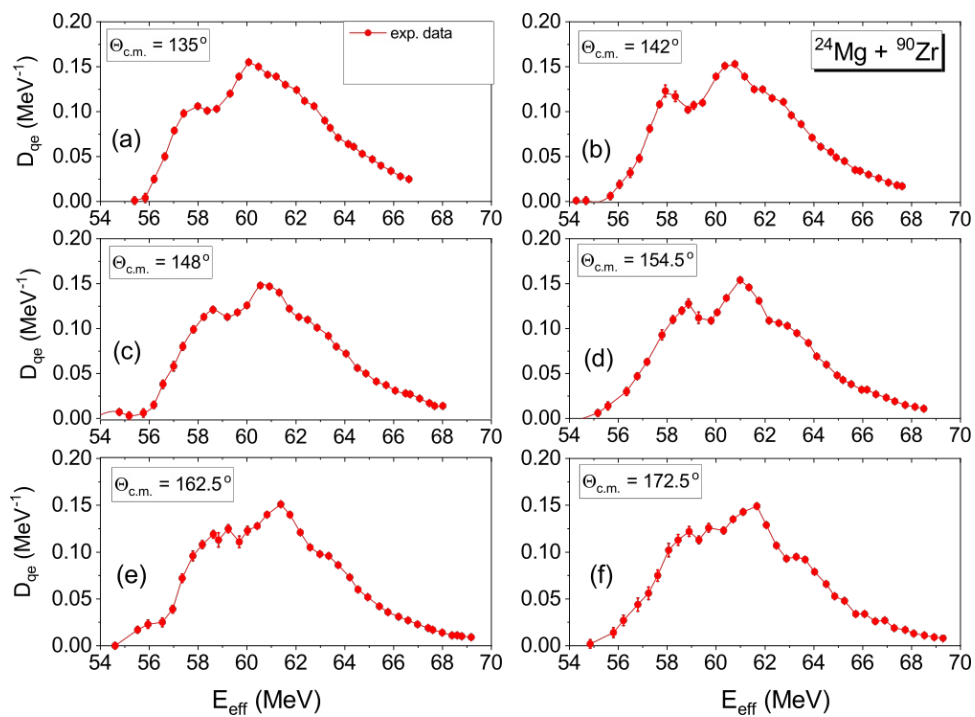
Rozkład barier $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$



Rozkład barier $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$

^{90}Zr

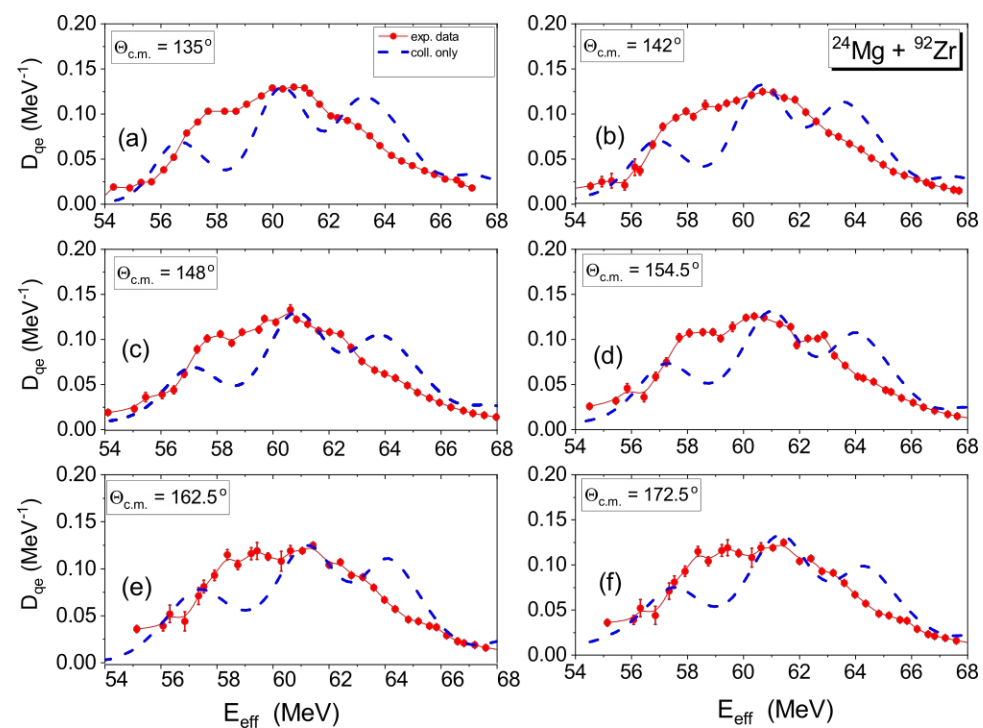
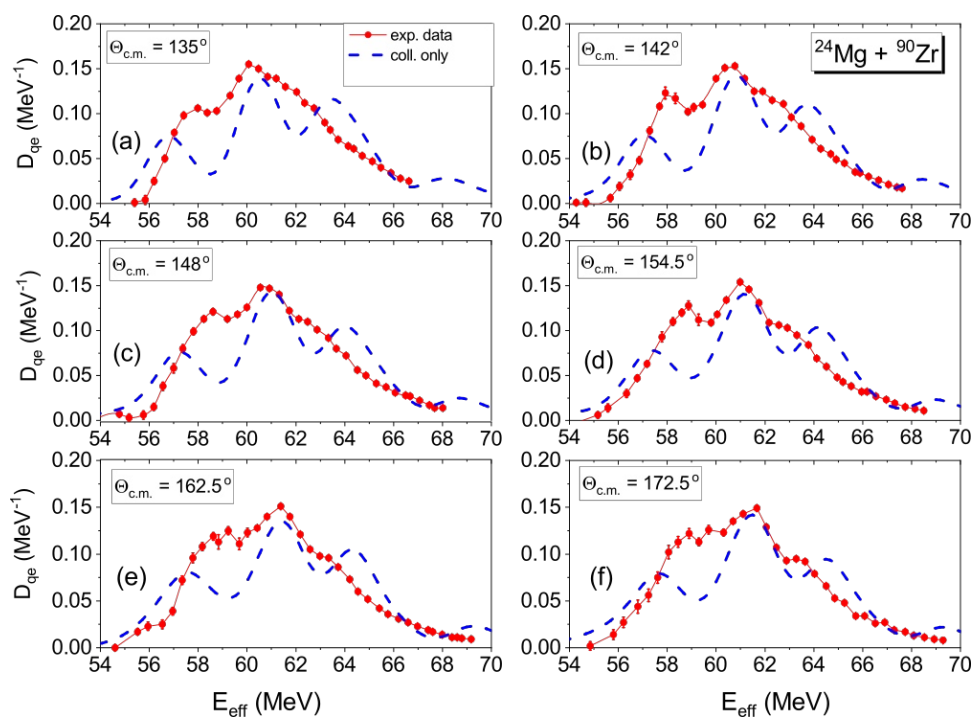
^{92}Zr



Rozkład barier $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$

^{90}Zr

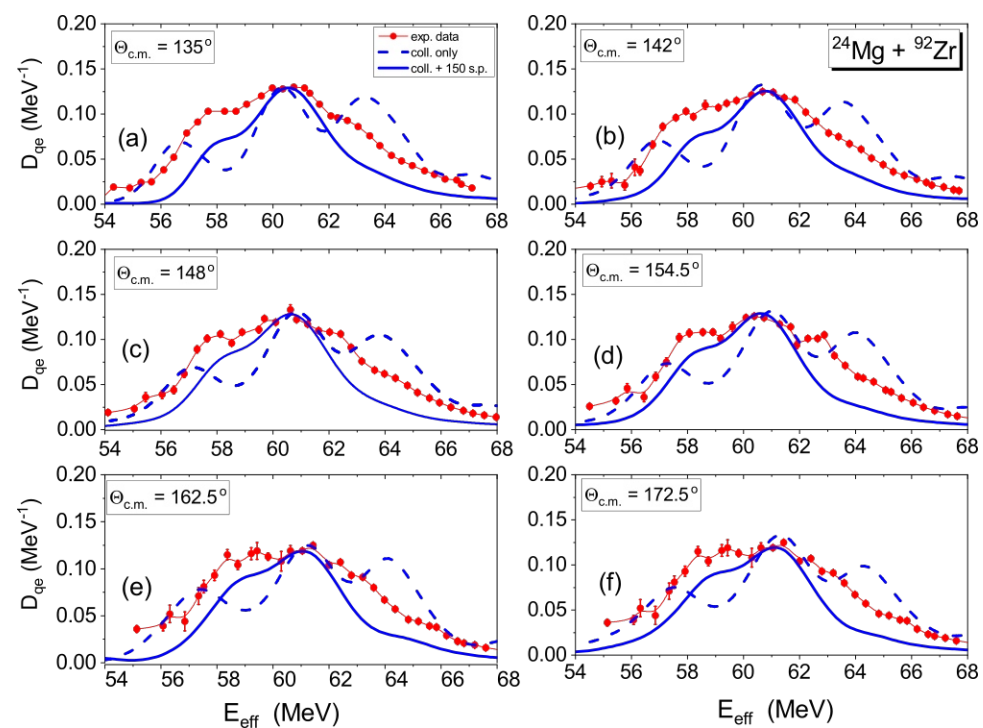
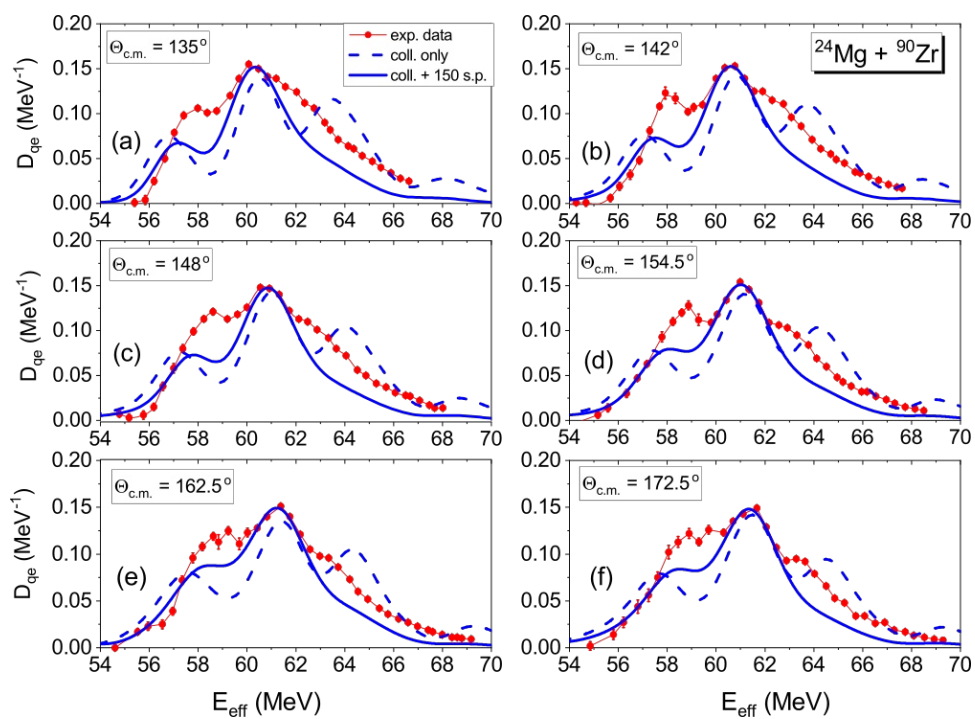
^{92}Zr



Rozkład barier $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$

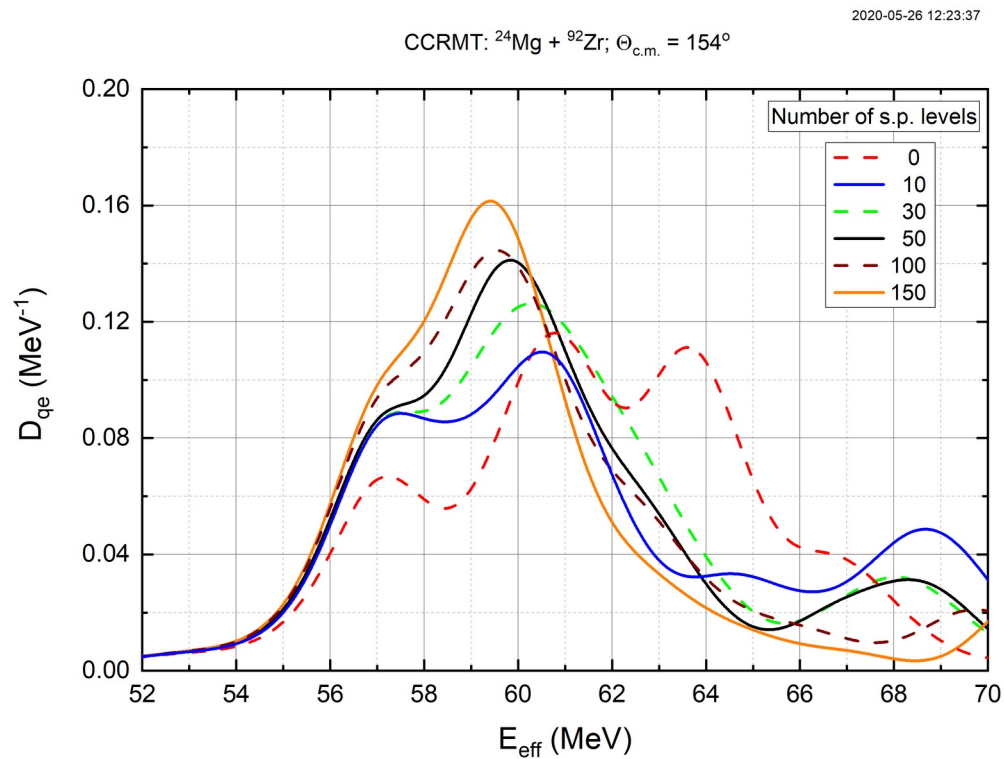
^{90}Zr

^{92}Zr

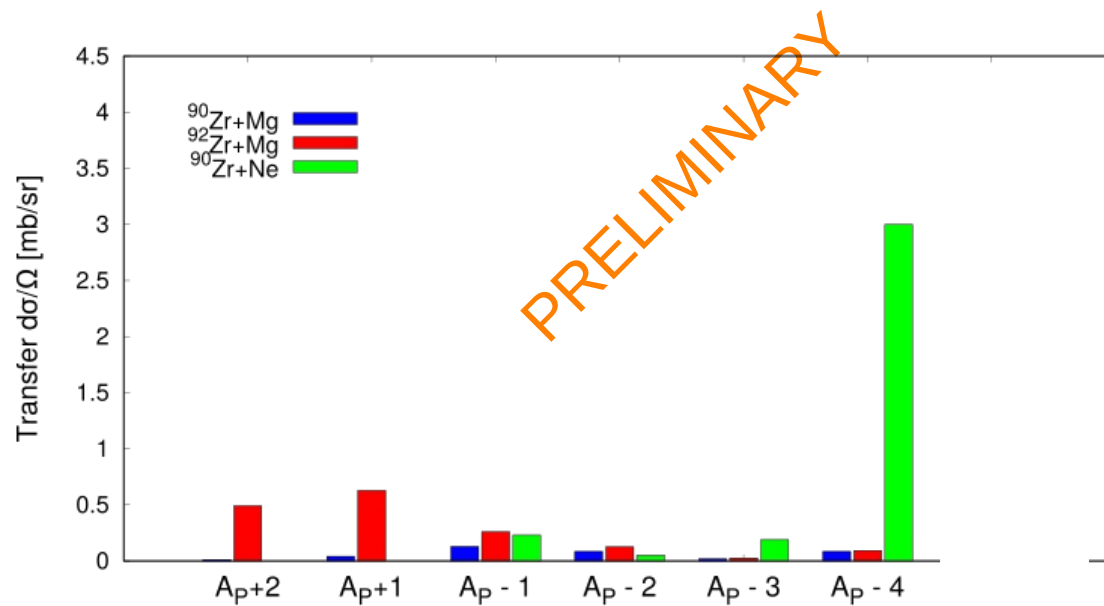


Rozkład barier $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$

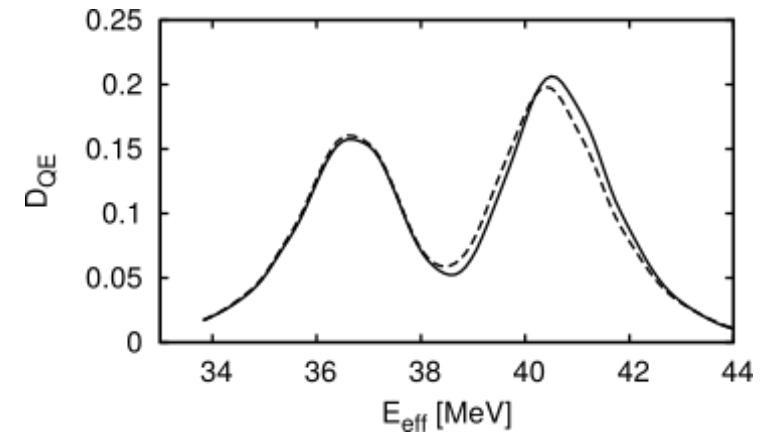
ewolucja kształtu rozkładu barier wraz z liczbą uwzględnionych poziomów jednocząstkowych



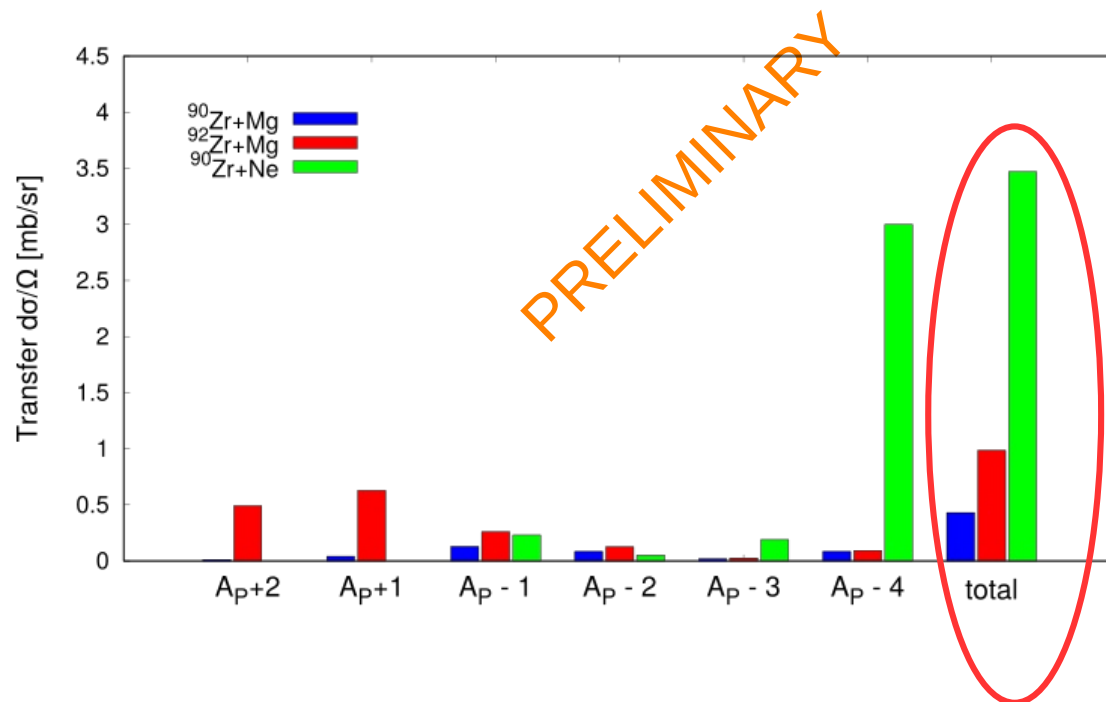
Transfery? $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$



- $d\sigma/d\Omega$ na “pick-up” 1n i 2n niż w układzie z ^{20}Ne , ale:
 - wpływ transferu 1n jest zaniedbywalny



Transfery? $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$



- $d\sigma/d\Omega$ na “pick-up” 1n i 2n niż w układzie z ^{20}Ne , ale:
 - wpływ transferu 1n jest zanedbywalny
 - sumaryczny przekrój czynny na wszystkie kanały transferu < niż $^{20}\text{Ne}+^{90}\text{Zr}$
- wzbudzenia niekolektywne (jednocząstkowe) wyjaśniają „wygładzenie” rozkładu barier w $^{24}\text{Mg}+^{92}\text{Zr}$

Podsumowanie i wnioski

- Wyznaczono rozkłady barier (D_{qe}) dla $^{24}\text{Mg}+^{90,92}\text{Zr}$
 - pomiary dla wielu kątów → obserwacja zależności kątowej D_{qe}
- Dyssypacja (wzbudzenia niekolektywne) silnie wpływa na kształt rozkładu wysokości barier
- Pominiecie tego efektu i stosowanie uproszczonego modelu przy wyznaczaniu takich parametrów jak deformacje jąder w wielu przypadkach może prowadzić do błędnych wniosków

Co dalej?

- Pomiar rozkładów wysokości barier dla $^{24}\text{Mg}+^{90,92}\text{Zr}$ metodą fuzyjną – zaakceptowany eksperyment w LNS Catania i zbudowany/przetestowany filtr prędkości (filtr Wiena)
- W ramach realizacji grantu SHENG1
 - pomiar rozkładu wysokości barier w $^{20}\text{Ne}+^{90,92}\text{Zr}$ metodą fuzyjną (zainstalowanie filtra Wiena w Wwie, rozbudowa komory ICARE w ŚLCJ)
 - pomiar rozkładu wysokości barier z $^{20}\text{Ne}+^{92,94,95}\text{Mo}$ w ŚLCJ (zmodernizowana komora CUDAC)
 - pomiar rozkładu wysokości barier z wiązkami O, Mg, Ne(?) / tarczami Mo w CIAE (Pekin)
- Próba zrozumienia roli transferów

Eksperyment $^{24}\text{Mg} + ^{90,92}\text{Zr}$ – współpraca:

ŚLCJ UW: E. Piasecki, M. Kowalczyk, A. Trzcińska

Collaboration CHIMERA: G. Cardella, D. Dell'Aquila, E. De Filippo, S.

De Luca, B. Gnoffo, G. Lanzalone, I. Lombardo, Maiolino , N. S.

Martorana, A. Pagano , E. V. Pagano, S. Pirrone , G. Politi, L.

Quattrocchi, F. Rizzo , P. Russotto, A. Trifiro , M. Trimarchi , M. Vigilante

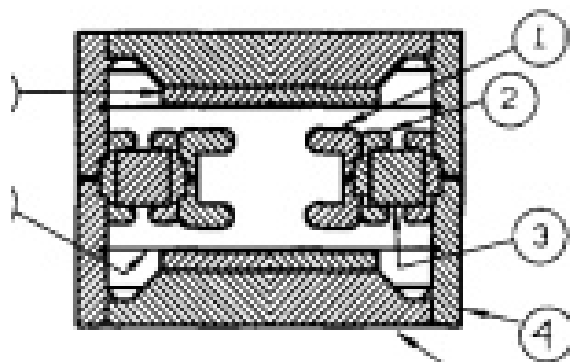
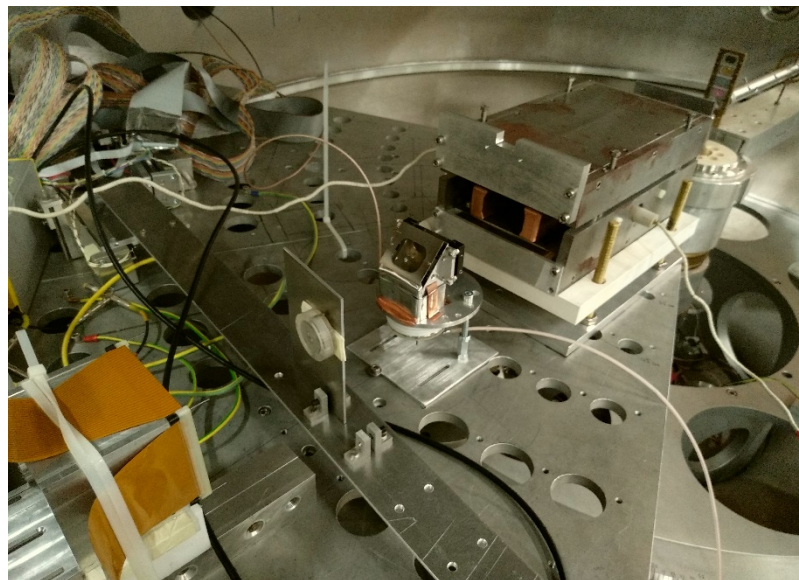
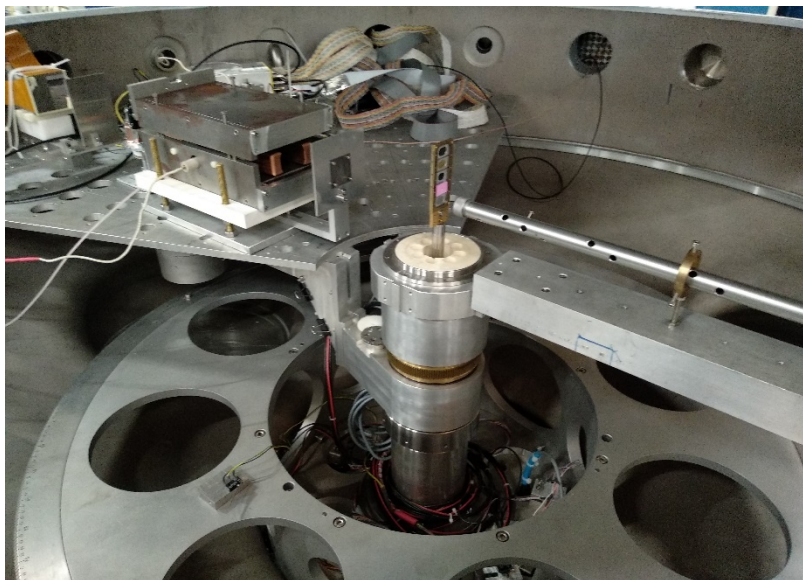


Dziękuję za uwagę

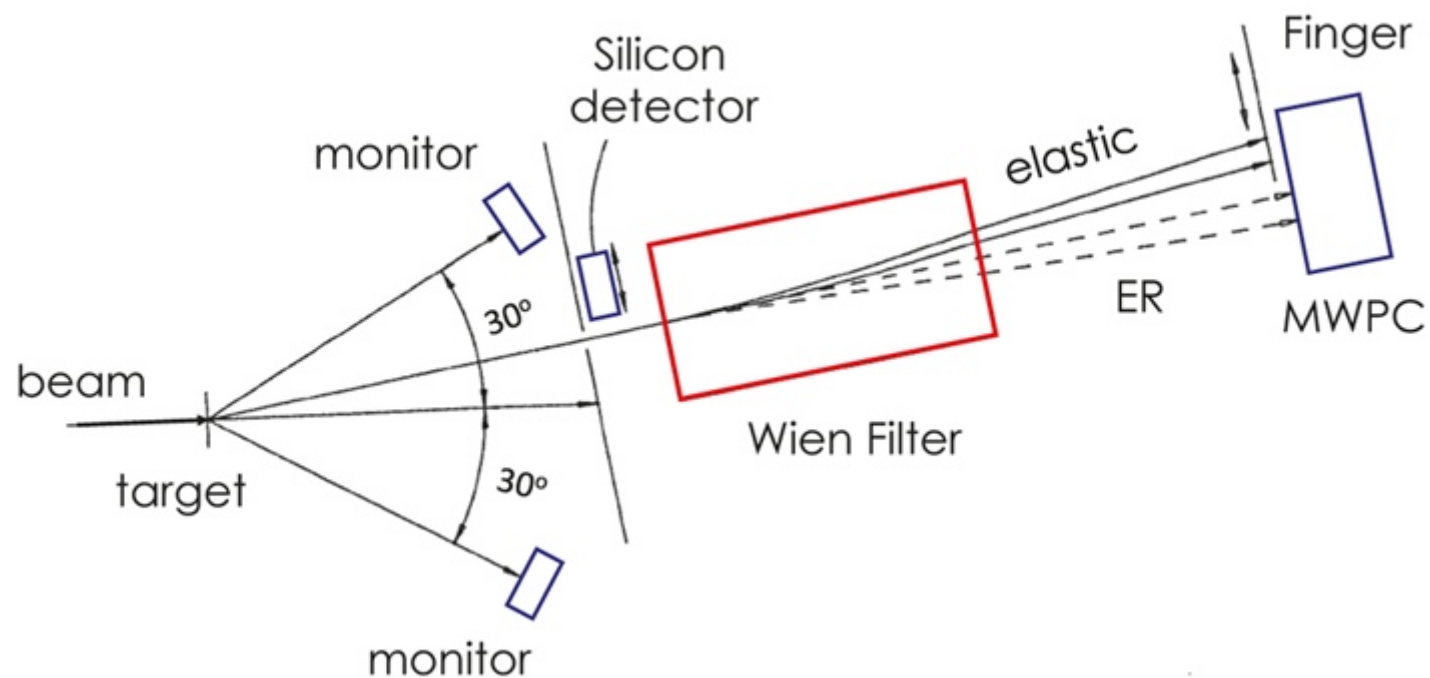


Slajdy dodatkowe

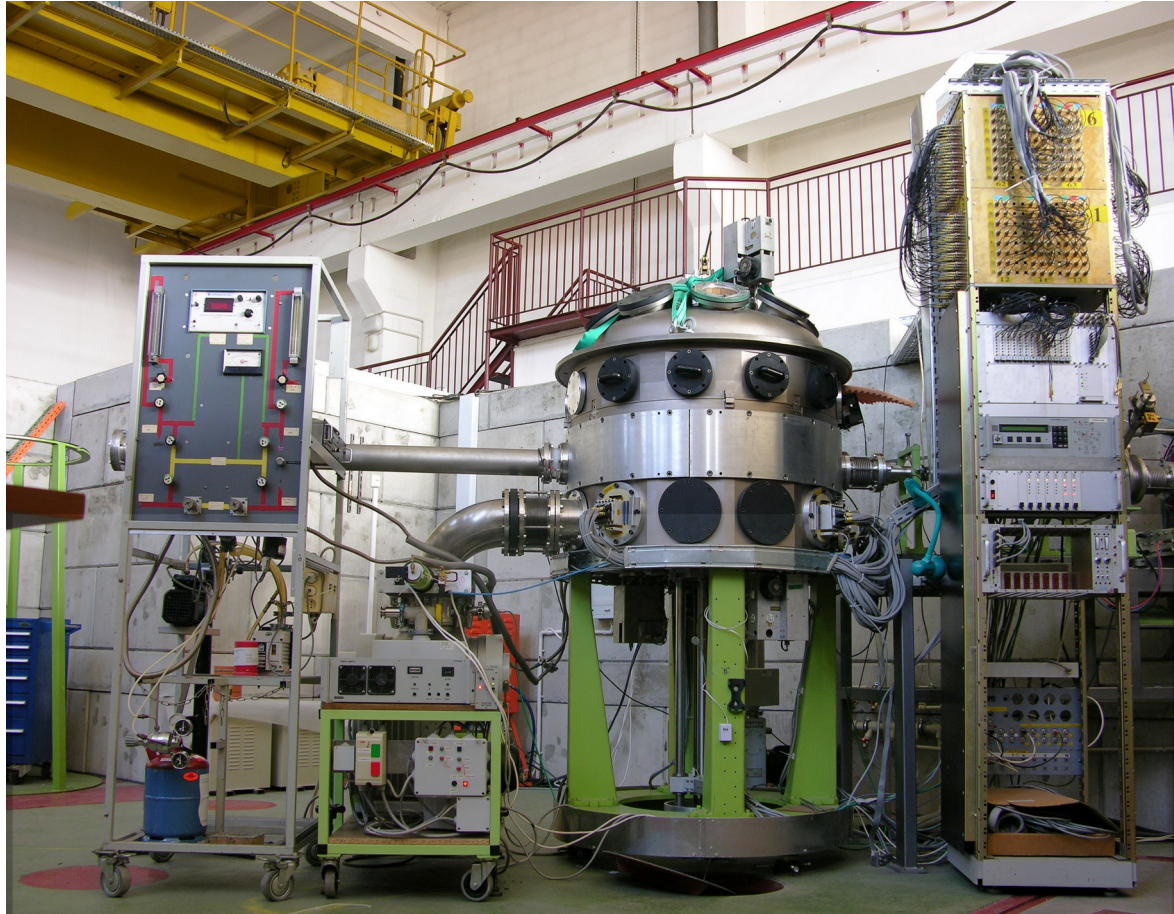
Filtr Wiener (testy w LNS Katania)



Idea pomiaru fuzji z wykorzystaniem filtru Wienera



Transfer probability measurements: ICARE @ HIL



ToF @ ICARE chamber – transfer cross section measurement

