

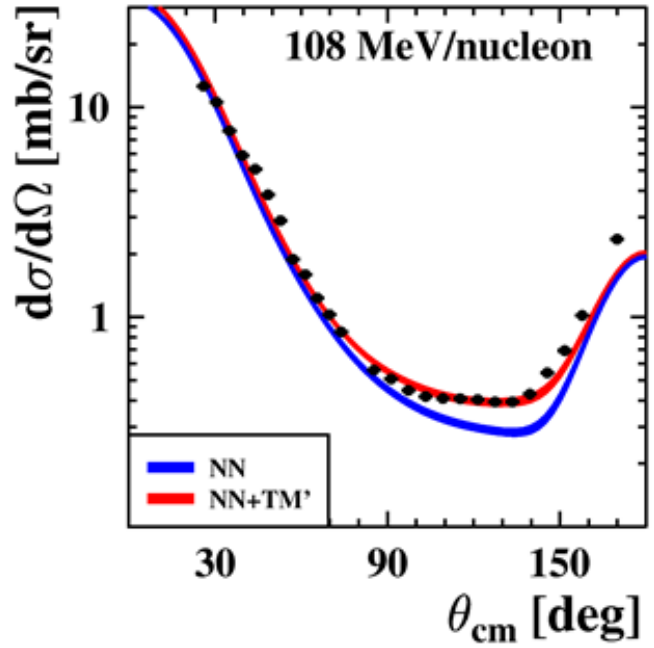
Eksperymentalne badania dynamiki układu trzech nukleonów w reakcji rozbicia deuteronu wywołanej protonem o energii 108 MeV

Angelina Łobejko



Polskie Towarzystwo Fizyczne
Sekcja Fizyki Jądrowej

Układ Trzech Nukleonów (3N)



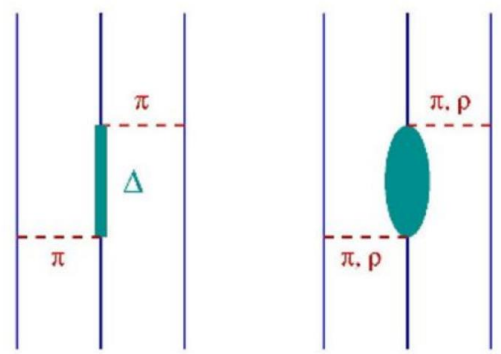
➤ **Przewidywanie potencjałów NN:**

- **Bardzo dobrze opisują** dane eksperymentalne rozprożeń elastycznych dla **układu 2N**;
- **Nie odtwarzają** w sposób prawidłowy **energii wiązania ³H** oraz **³He**, a także cięższych układów;
- **Nie odtwarzają** minimum przekroju czynnego **rozpraszania elastycznego d(N,N)d**;

➤ **Wprowadzenie siły trójnukleonowej (3NF)** jako konceptu **dodatkowej dynamiki** związanej z obecnością trzeciego nukleonu

➤ W **ChEFT** siła 3N pojawia się **naturalnie**

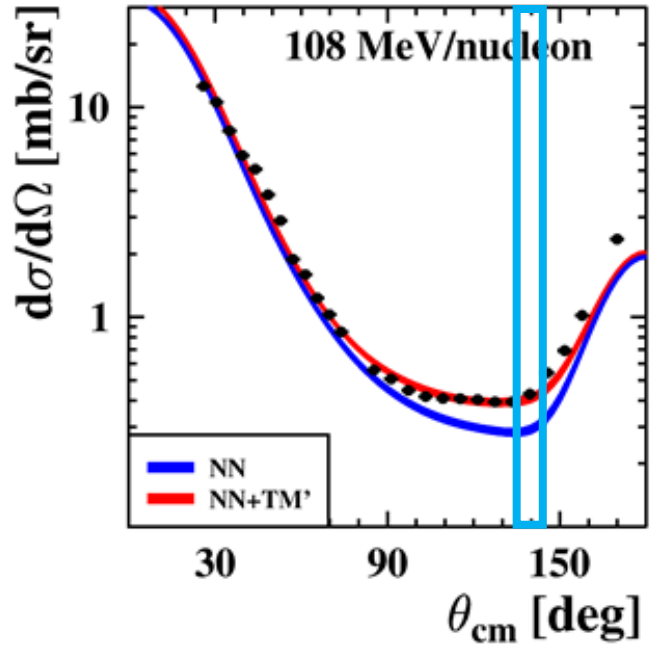
Modele 3NF



	2NF	3NF	4NF
LO	X H	-	-
NLO	X H K K X H	-	-
N2LO	H K	H H X X	-
N3LO	X H K K X H	H H H H X X	H H H H
N4LO	H K X H K K X H	H H H H X X	H H H H X X

W PRZYGOTOWANIU

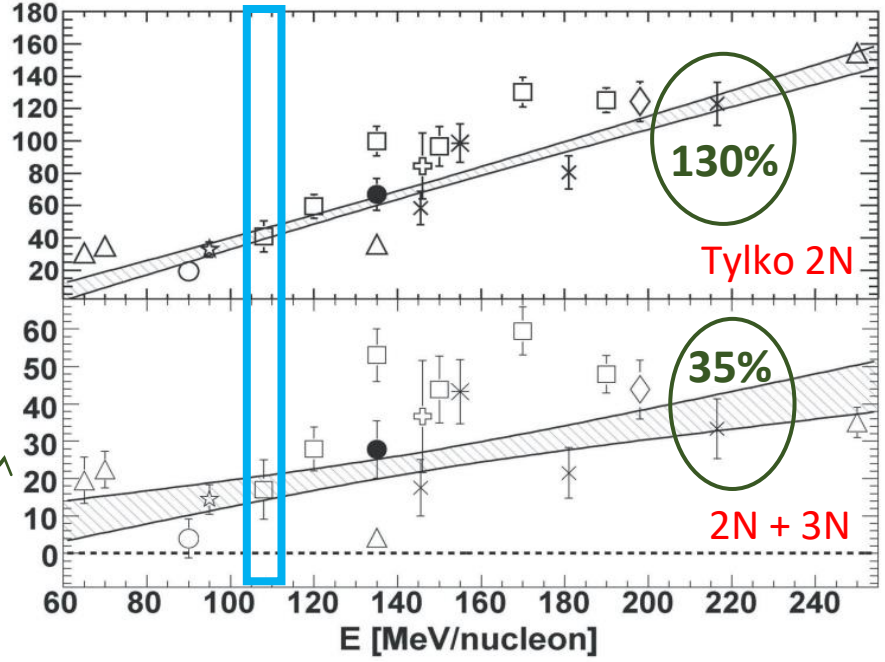
Motywacja badań układów 3N w zderzeniach proton-deuteron



$\theta_{cm} = 140^\circ$

3x mniejsza skala

108 MeV



- Przy pośrednich energiach **elastyczne rozpraszanie** proton-deuteron **wykazuje znaczną czułość na efekty 3NF**;
- Obliczenia oparte tylko na **oddziaływaniu 2N nie odwzorowują danych** eksperymentalnych przy kątach wstecznych ($\theta_{cm} = 140^\circ$);
- Reakcja **rozbicia deuteronu** - stan końcowy **trzech ciał bogaty w konfiguracje** kinematyczne wykazujące **różnorodną czułość na poszczególne elementy dynamiki**;

Badanie układu 3N – BINA@CCB

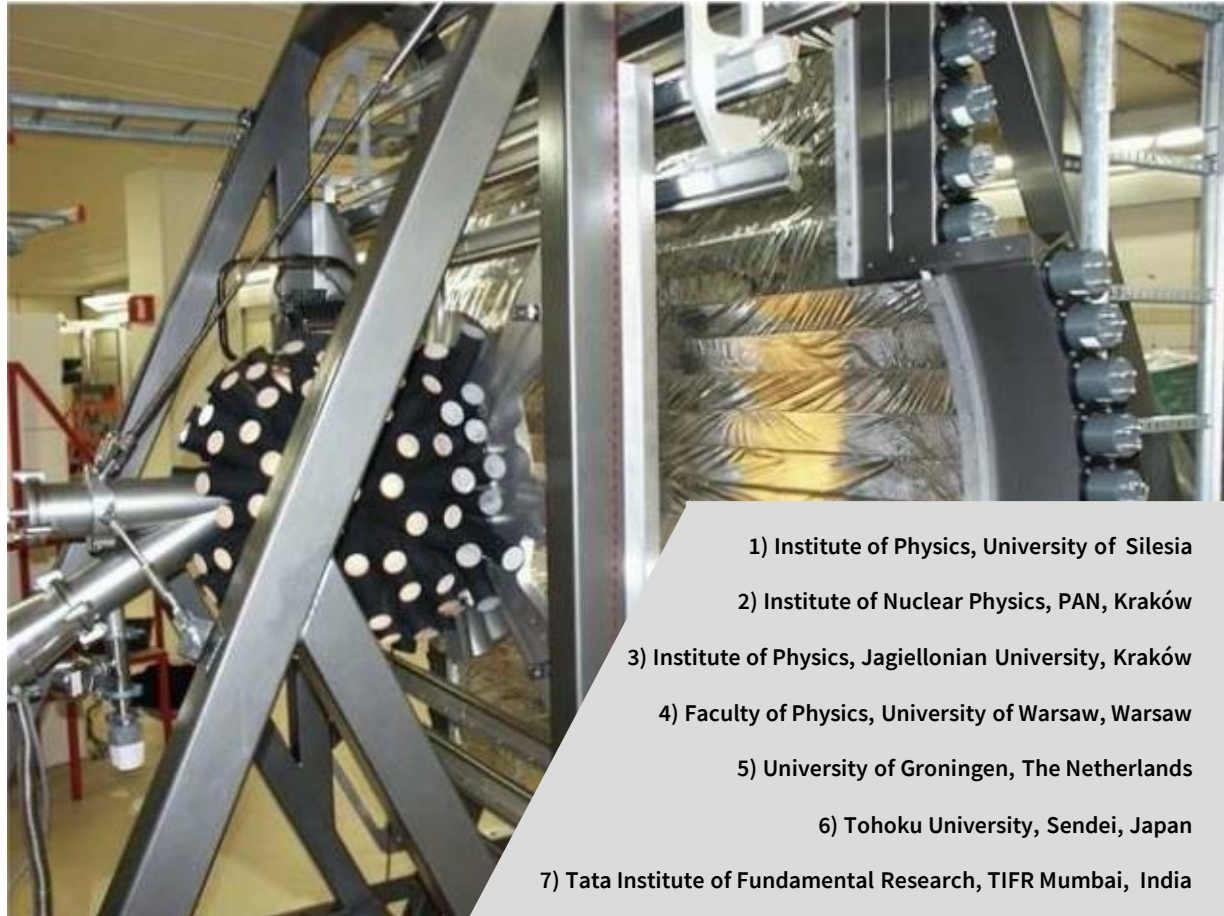
BINA – Big Instrument for Nuclear-Polarization Analysis

➤ Program eksperymentalny:

- Pomiar rozpraszania elastycznego $^2\text{H}(p, pd)$ dla **108, 135** oraz **160 MeV**;
- Pomiar reakcji rozbitcia deuteronu $^2\text{H}(p, pp)n$ dla energii **108** oraz **160 MeV**;

➤ Cele:

- Badanie **3NF**;
- Weryfikacja przewidywanych efektów – **kulombowskiego**, a także **relatywistycznych**;
- Testowanie **obliczeń ChEFT**;



- 1) Institute of Physics, University of Silesia
- 2) Institute of Nuclear Physics, PAN, Kraków
- 3) Institute of Physics, Jagiellonian University, Kraków
- 4) Faculty of Physics, University of Warsaw, Warsaw
- 5) University of Groningen, The Netherlands
- 6) Tohoku University, Sendai, Japan
- 7) Tata Institute of Fundamental Research, TIFR Mumbai, India

Pierwszy pomiar eksperymentalny po zainstalowaniu BINA w CCB!

Układ eksperymentalny

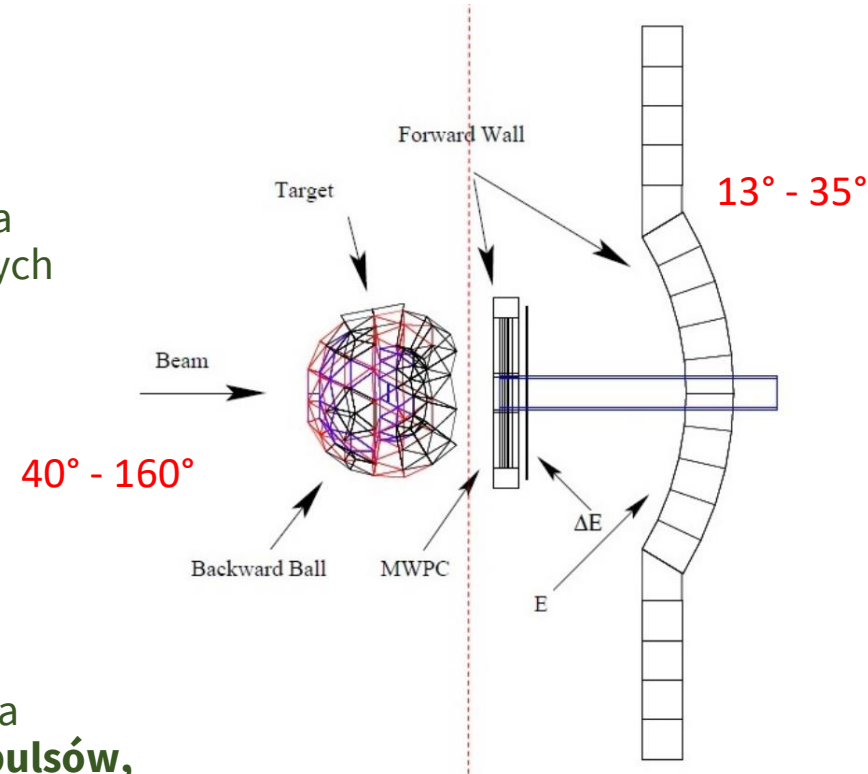
• Przednia część detektora (Wall):

1. Multi-Wire Proportional Chamber (MWPC):

- **3 płaszczyzny drutów anodowych** – rekonstrukcja **kątów wylotu** rejestrowanych cząstek naładowanych

2. Hodoskop ΔE -E:

- Dwie warstwy plastikowych scyntylatorów:
 - **ΔE – 24 pionowych** cienkich pasków
 - **E – 10 poziomych** grubych belek

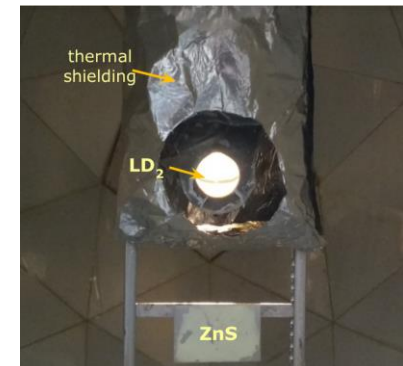


• Tylna część detektora (Ball):

- Układ **149 phoswich** (phosfor sandwich) – kombinacja scyntylatorów o **różnej charakterystyce kształtu impulsów**, optycznie sprzężonych ze sobą, ze wspólnym PMT

- W detektorze Ball umieszczony jest **układ tarczy**:

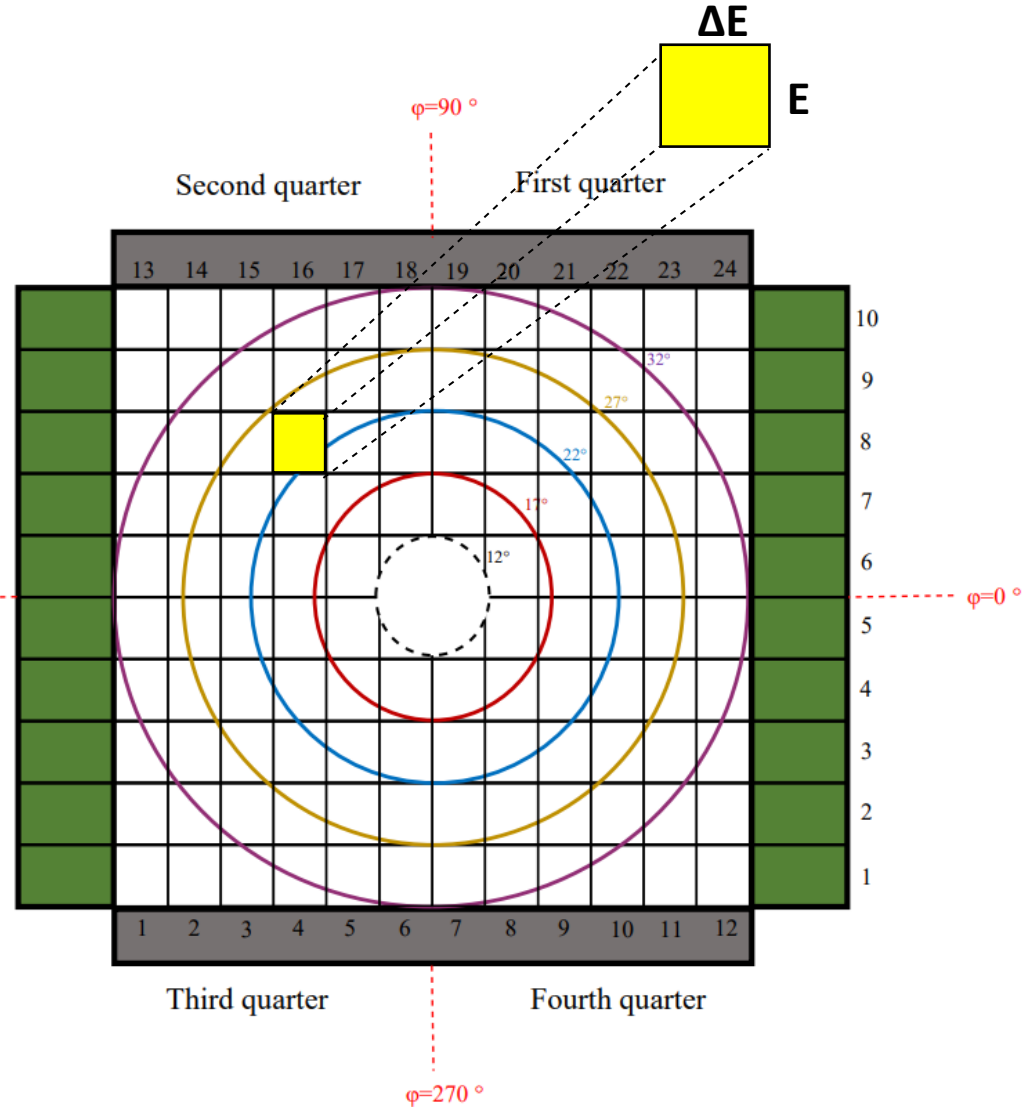
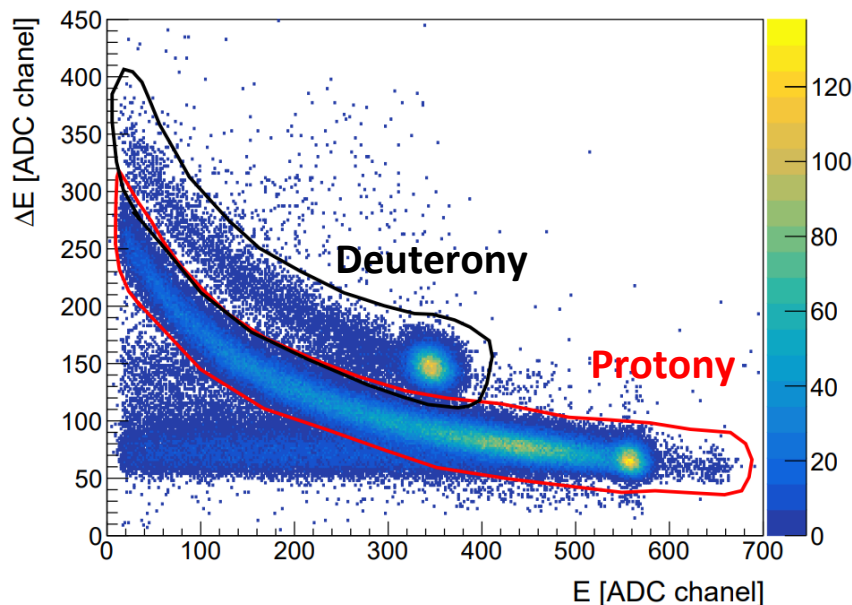
- 1) Tarcza LD_2
- 2) Tarcza Al z cienką warstwą ZnS (obserwacja wiązki i kalibracja)



DANE ZAREJESTROWANE TYLKO W **PRZEDNIEJ CZĘŚCI DETEKTORA!**

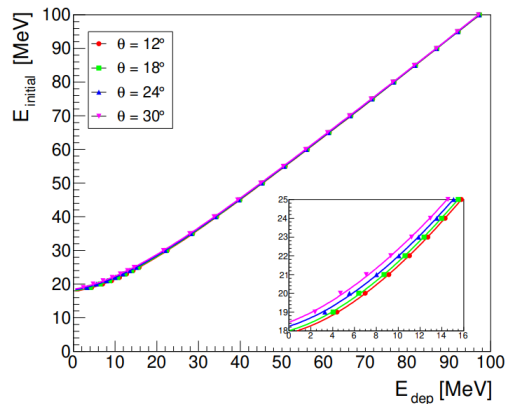
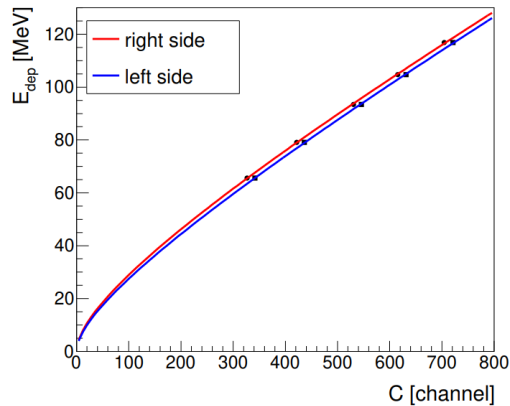
Analiza danych – identyfikacja cząstek

- Identyfikacja cząstek oparta na **metodzie ΔE -E**;
- **Dobre rozróżnienie** między rozkładem **protonów** i **deuteronów**;
- Bramki są zakładane **wystarczająco szeroko**, aby uniknąć utraty cząstek -> dozwolone jest ich nieznaczne nakładanie;

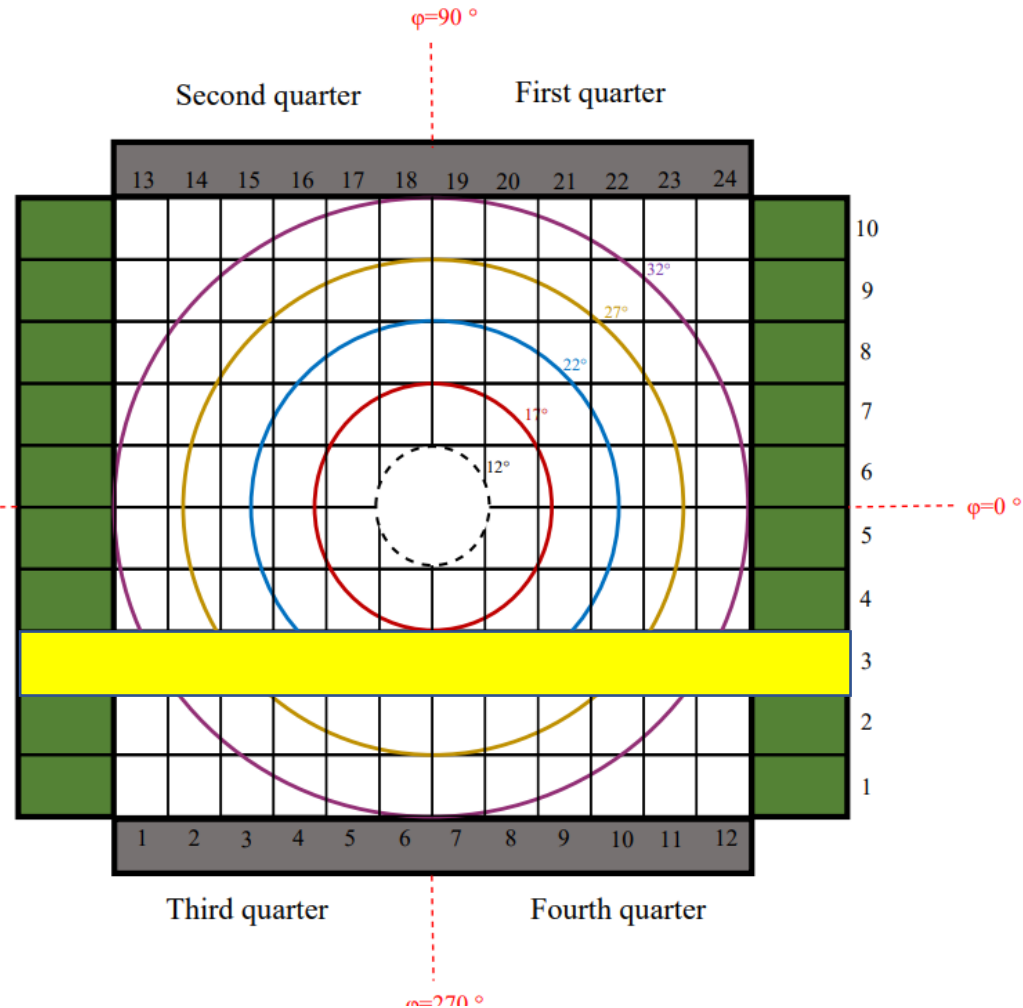


Analiza danych – kalibracja energetyczna

- 1) Zależna od pozycji transformacja **wysokości impulsu na energię zdeponowaną w detektorze E**;
- 2) Transformacja **energii zdeponowanej na energię początkową**.



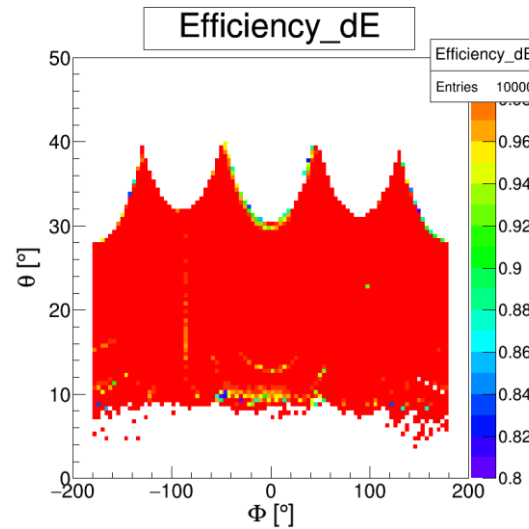
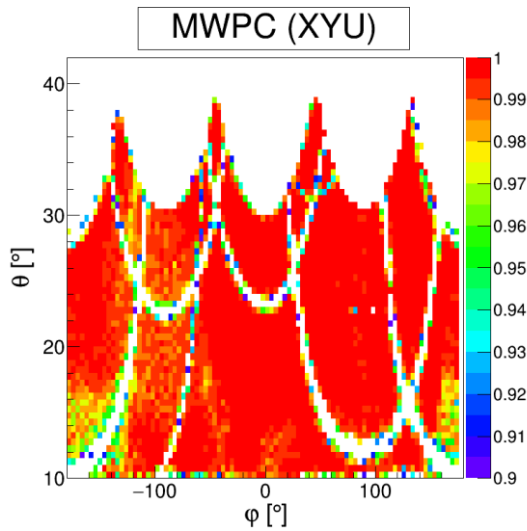
$$C = \sqrt{c_1 \cdot c_2}$$



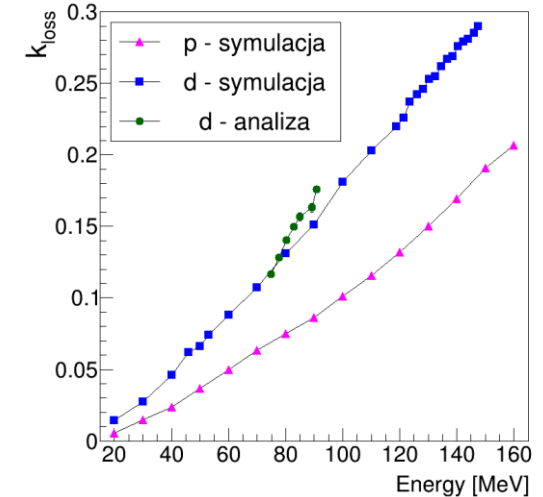
$$E_{dep}(s, n, \theta) = a(s, n, \theta) \cdot C + b(s, n, \theta) \cdot \sqrt{C};$$

Analiza danych – wydajność detektora

Wydajność detektora Wall

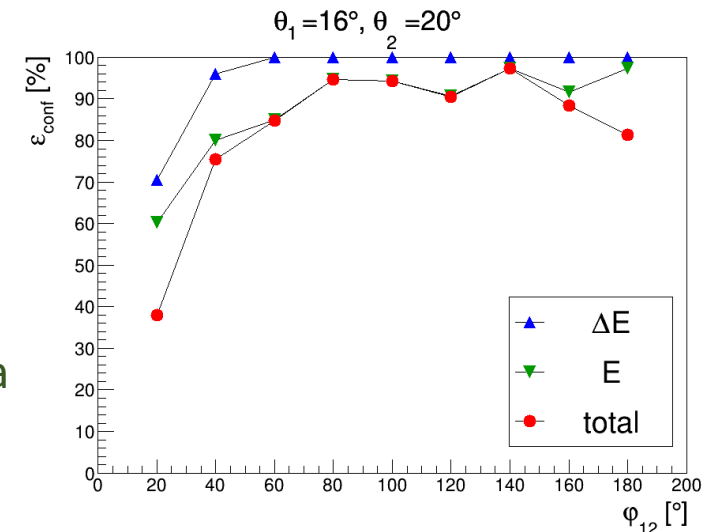


Straty zdarzeń w wyniku oddziaływań hadronowych



Wydajność konfiguracyjna detektora

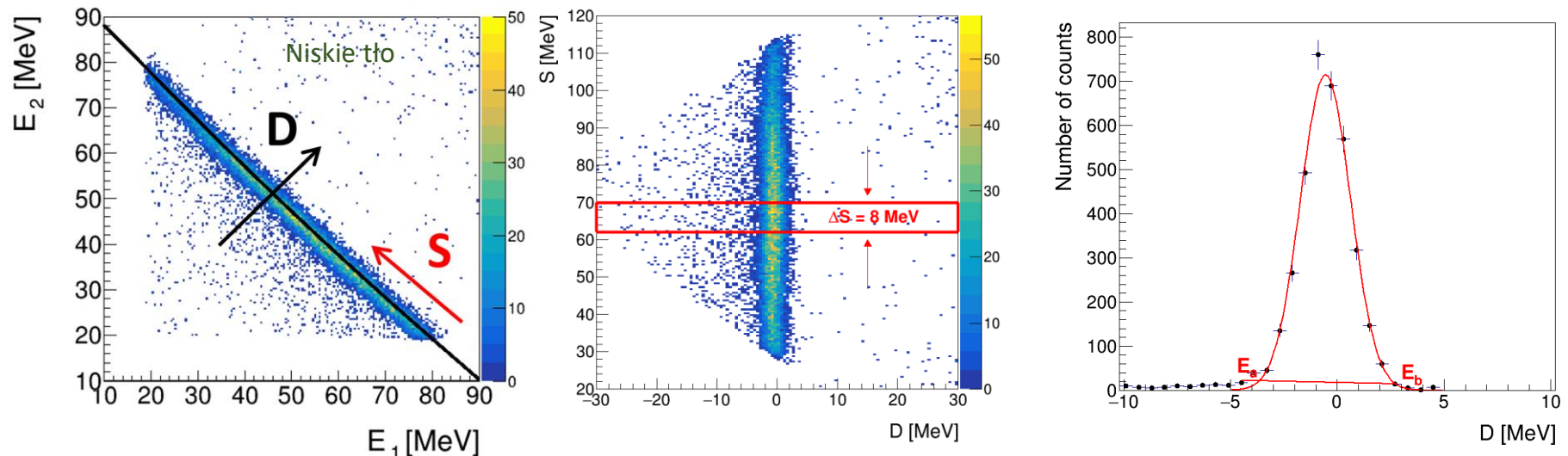
- **Prawidłowa rejestracja cząstek** w Wall – sygnał ze wszystkich płaszczyzn MWPC, ΔE oraz E;
- Rejestracja dwóch cząstek **w tym samym elemencie** ΔE , bądź E – energia lub informacja PID jest zaburzona – **zdarzenie usuwane z analizy**;
- Wydajność **triggera koincydencyjnego**;



Pomiar reakcji ${}^2\text{H}(p,pp)n$ dla 108 MeV

- Zdarzenia zidentyfikowane jako **koincydencja proton-proton** są analizowane **zdarzenie po zdarzeniu** i sortowane według konfiguracji kątowej ($\theta_1, \theta_2, \varphi_{12}$);
- Dane **prawidłowo zaklasyfikowane** do konfiguracji kątowej **powinny grupować** się wokół teoretycznej **krzywej kinematycznej** w płaszczyźnie E_2 vs E_1 ;
- **Transformacja** widma na inne zmienne kinematyczne – **S** (wartość **długości łuku** mierzona **wzdłuż krzywej** kinematycznej) oraz **D** (**odległość** od krzywej kinematycznej);
- Procedura **odcinania tła** dla każdego **przedziału ΔS** z osobna;

$$\theta_1 = 15^\circ, \theta_2 = 19^\circ, \varphi_{12} = 160^\circ$$



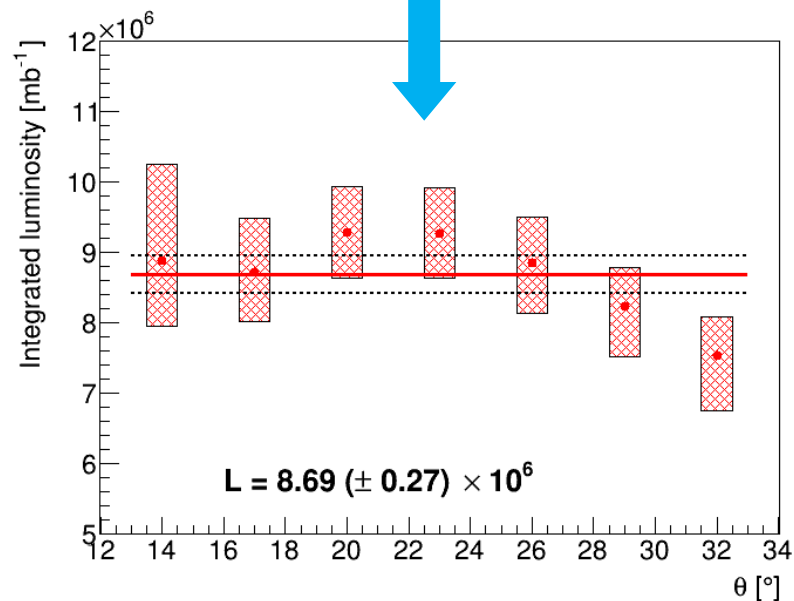
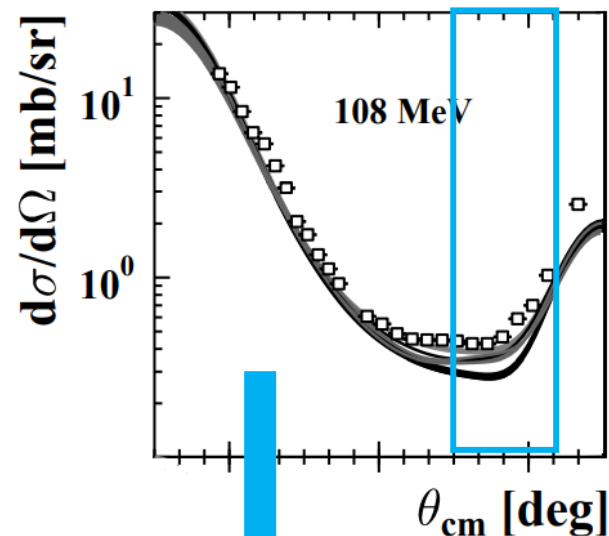
Normalizacja – analiza zdarzeń elastycznych

- **Deuterony** pochodzące z **elastycznego rozpraszania** były podstawą procedury normalizacji;
- Wyznaczono **światłość wiązki** jako liczbę elastycznie rozproszonych deuteronów do znanego przekroju czynnego zmierzonego w KVI – Ermisch et al., *Phys. Rev. C* 71, 064004 (2005) – dane eksperymentalne z błędem systematycznym pomiędzy 4% - 6.5%.

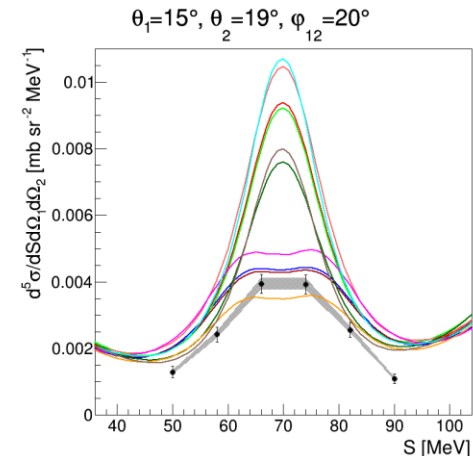
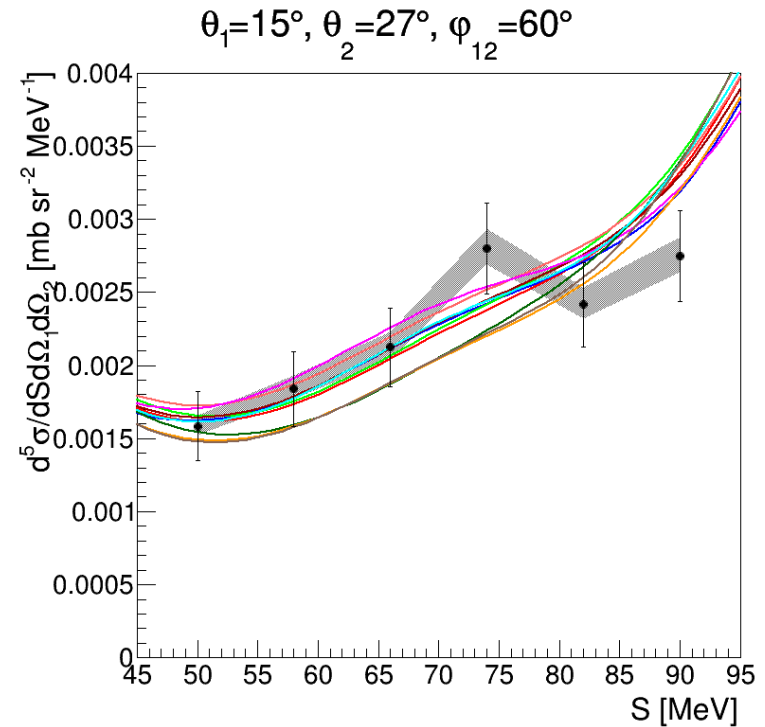
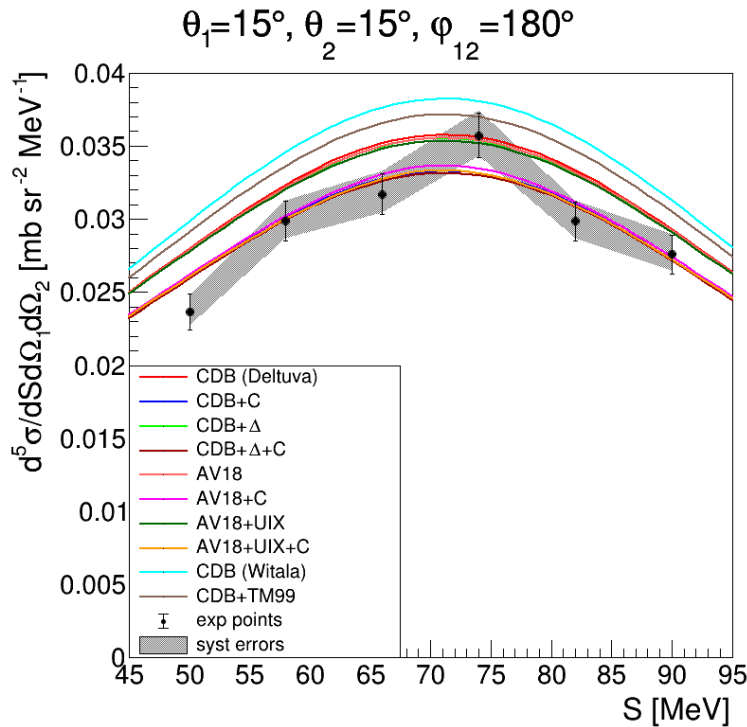
$$L(\theta) = \frac{N^{el}(\theta)}{\sigma_{LAB}^{el}(\theta)} \cdot \frac{1}{\Delta\Omega} \cdot \frac{1}{\varepsilon(\theta)}$$

- **Niepewności statystyczne** oraz **systematyczne**:

Sources of errors	The impact on breakup cross section [%]
Statistical uncertainties	2 – 11%
Total systematic error	3.9 – 8.5%
· Normalization	3%
· Particle identification	1%
· Configurational efficiency	0.01 – 7%
· Hadronic interaction	1%
· Energy calibration	
+ angle reconstruction	
+ detector efficiency	1%
· Trigger efficiency	3%



Wyniki oraz ich porównanie z obliczeniami

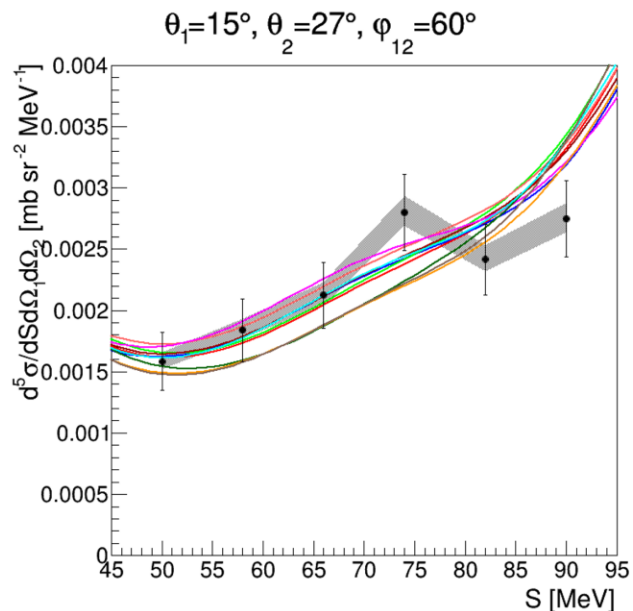
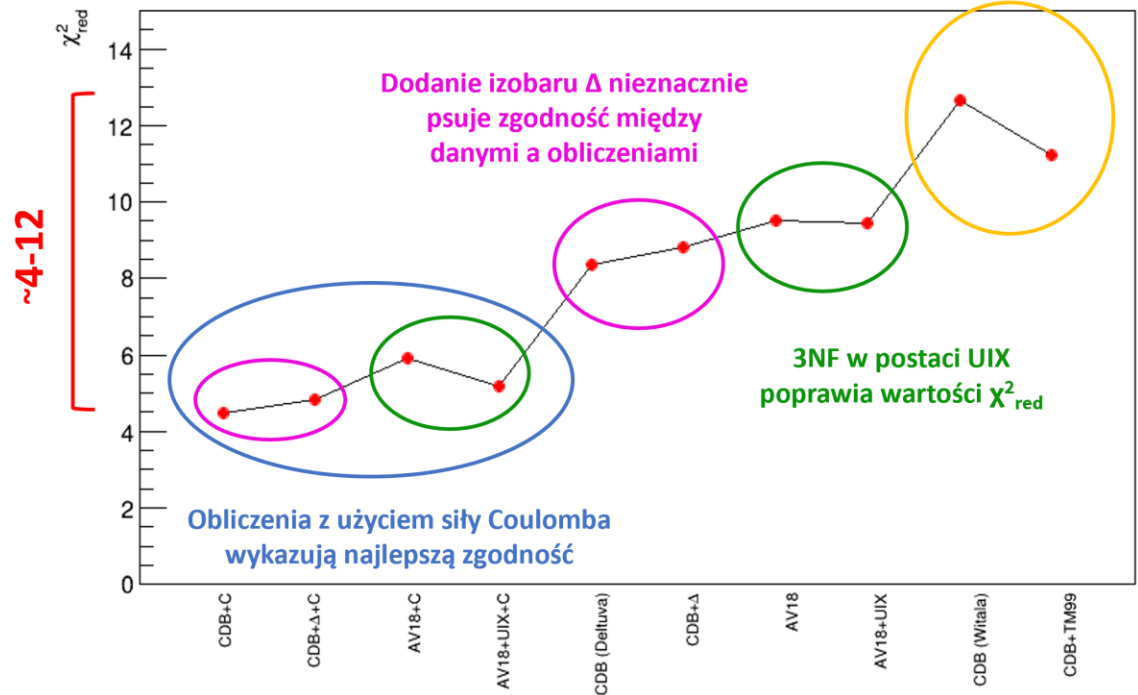
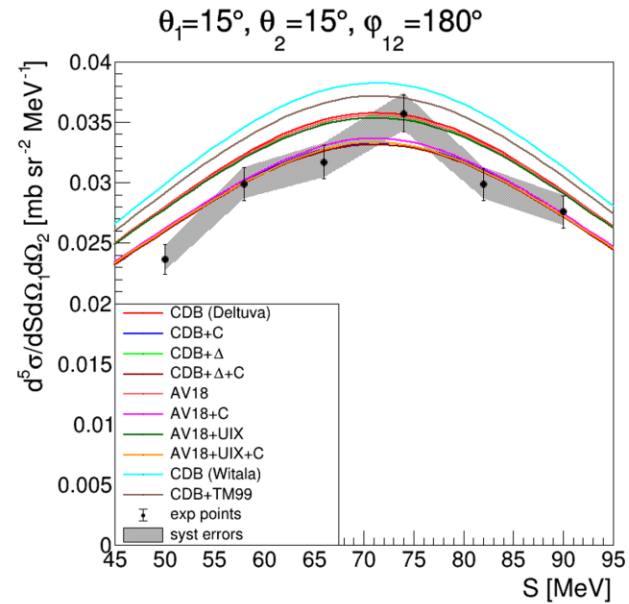


- Różniczkowe przekroje czynne uzyskane dla zestawu **84 konfiguracji kątowych**; kąty polarne θ od 13° do 33° i kąt azymutalny φ_{12} od 50° do 190° \longrightarrow **503 punktów pomiarowych**;
- $\varphi_{12}=20^\circ$ oraz $\varphi_{12}=40^\circ$ są zdominowane przez oddziaływania kulombowskie, więc dalsza analiza χ^2_{red} pomija te konfiguracje;

Wyniki oraz ich porównanie z obliczeniami

3NF poprawia χ^2_{red} , ale nadal jest to duża rozbieżność!

$$\chi^2_{red} = \frac{1}{N} \sum_{i=10} \left(\frac{\sigma_i^{exp} - \sigma_i^{th}}{\Delta\sigma_i^{tot}} \right)^2$$

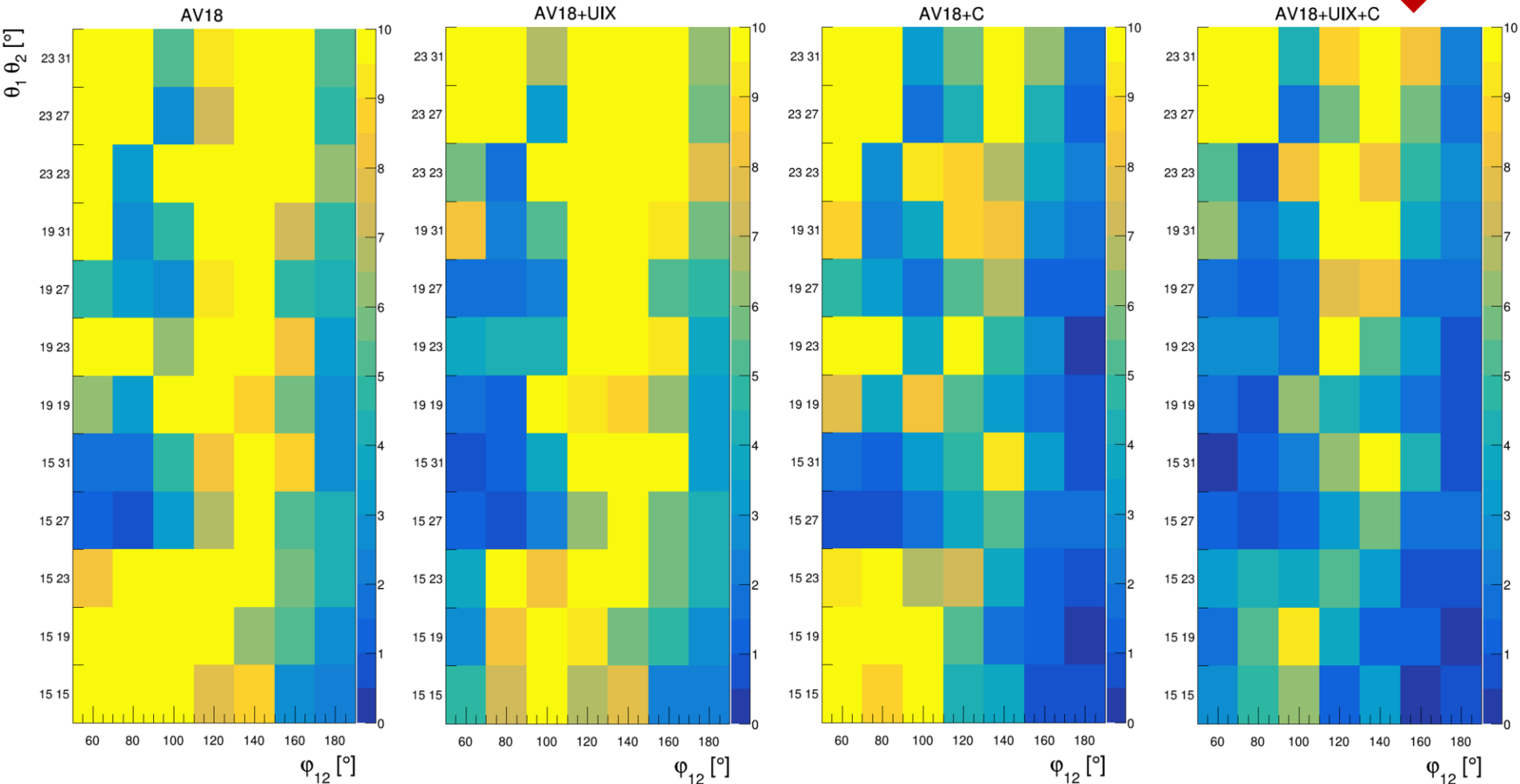


- **Globalne wyniki χ^2_{red} silnie zależą od modelu teoretycznego;**
- **Obliczenia z siłą Coulomba mają najlepszą zgodność;**
- **Efekt 3NF wprowadzony w postaci izobaru Δ jest znikomy;**
- **Modele 3NF: TM99 oraz UIX wprowadzają efekty, które są bardziej znaczące.**

Wyniki oraz ich porównanie z obliczeniami

- **Ogromna rozbieżność między danymi eksperymentalnymi, a obliczeniami teoretycznymi;**

- **Najlepszy opis dają obliczenia uwzględniające zarówno 3NF, jak i oddziaływania kulombowskie**



Podsumowanie i wnioski

- **Oddziaływanie kulombowskie** powinno być uwzględnione w opisie teoretycznym;
- **Niewielki wpływ 3NF** w prezentowanych danych, mimo to **najlepszy opis** uzyskuje się w przypadku **dołączenia 3NF i oddziaływania kulombowskiego**;
- **Weryfikacja normalizacji – bezpośredni pomiar bezwzględnej wartości różniczkowego przekroju czynnego** za pomocą **stałej tarczy CD_2** i określenie wartości świetlności wiązki;
- **Połączenie** obecnych danych z danymi zebranymi w 2019 w **celu podwojenia statystyki** oraz analiza konfiguracji z detekcją protonu w części Ball;
- Porównanie wyników z **nowo rozwijanymi obliczeniami ChEFT** (tylko dla NNLO) – przedstawione wyniki wskazują na konieczność uwzględnienia w obliczeniach także oddziaływania kulombowskiego.

Dziękuję za uwagę!