

Patryk Prus

Charm and beauty w LHC

12.06.2023

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
AGH University of Science and Technology



Plan prezentacji

- Eksperymenty
- Bjorken x
- Rodzaje zderzeń
- Cross-sections

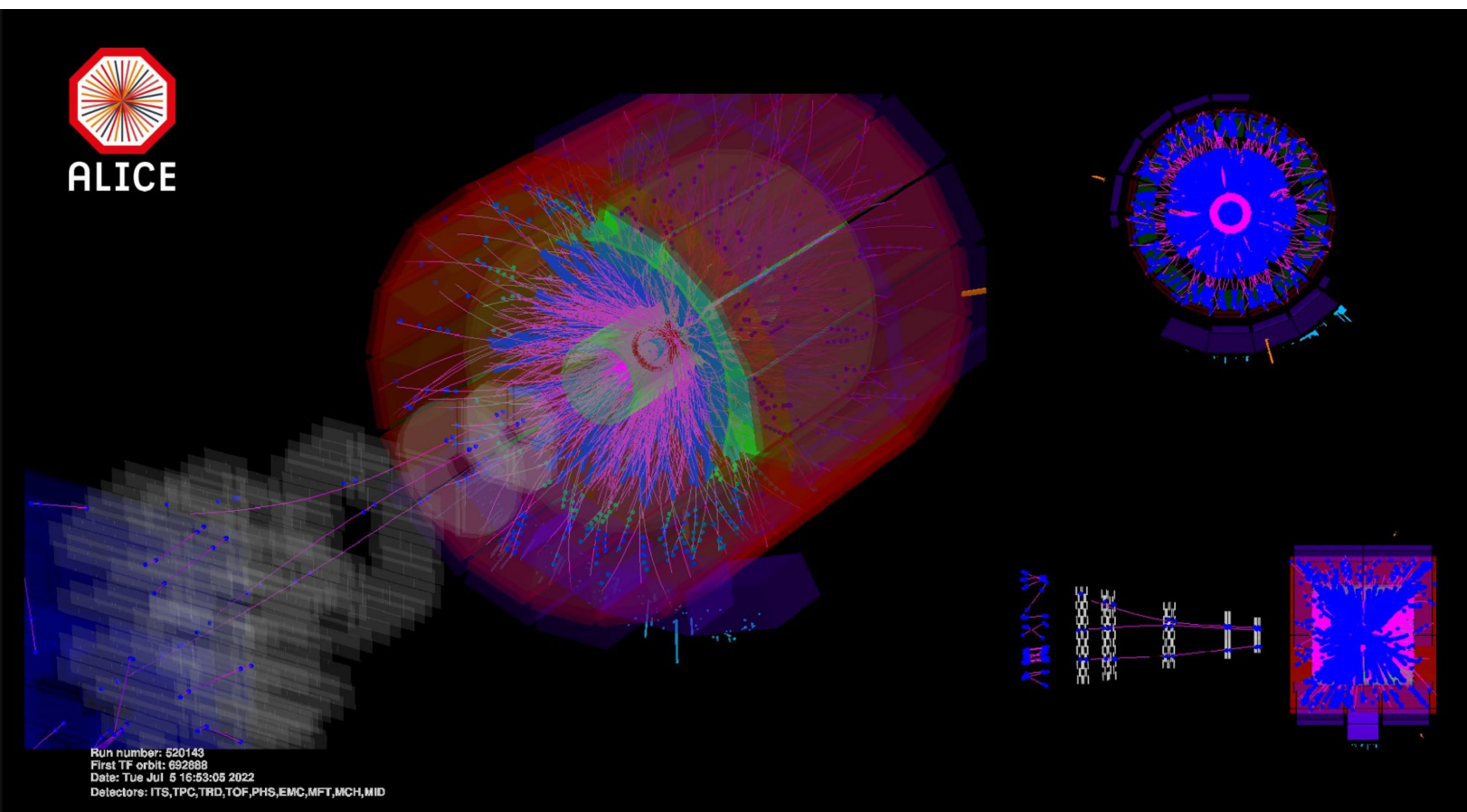
Eksperymenty

W przeciwieństwie do elektronów, kwarki nie mogą swobodnie poruszać się w zwykłej materii, sytuacja zmienia się w przypadku wysokiej energii jak tej w LHC.

Eksperymenty z produkcją ciężkich kwarków:

- ALICE
- ATLAS
- CMS
- LHCb

ALICE



Eksperyment ALICE odgrywa kluczową rolę w badaniu zagadnień związanych z produkcją cząstek charm (c) i beauty (b). Dzięki swojej specjalizacji w fizyce jąder ciężkich i plazmie kwarkowo-gluonowej, ALICE umożliwia precyzyjne pomiary i analizy związane z tymi cząstkami.

ALICE 2022 Zderzenia proton-proton

Bjorken x

Jest to liczba określająca ułamek impulsu podłużnego przenoszonego przez cząstkę podczas interakcji.

Machine System $\sqrt{s_{NN}}$	SPS Pb–Pb 17 GeV	RHIC Au–Au 200 GeV	LHC Pb–Pb 5.5 TeV	LHC pp 14 TeV
$c\bar{c}$	$x \simeq 10^{-1}$	$x \simeq 10^{-2}$	$x \simeq 4 \cdot 10^{-4}$	$x \simeq 2 \cdot 10^{-4}$
$b\bar{b}$	–	–	$x \simeq 2 \cdot 10^{-3}$	$x \simeq 6 \cdot 10^{-4}$

Produkcja

Rozważmy proces $gg \rightarrow Q\bar{Q}$ w przypadku dwóch jonów (A_1, Z_1) oraz (A_2, Z_2) . Jeśli pominiemy wewnętrzny pęd poprzeczny to czteropędy dwóch przychodzących gluonów są równoważne.

$$(x_1, 0, 0, x_1) \cdot (Z_1/A_1)\sqrt{s_{pp}}/2 \quad \text{oraz} \quad (x_2, 0, 0, -x_2) \cdot (Z_2/A_2)\sqrt{s_{pp}}/2$$

Kwadrat niezmienniczej masy dany jest jako $M_{Q\bar{Q}}^2 = x_1 \frac{Z_1}{A_1} x_2 \frac{Z_2}{A_2} s_{pp}$, a podłużna prędkość relatywistyczna $y_{Q\bar{Q}} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{x_1 Z_1 A_2}{x_2 Z_2 A_1} \right)$.

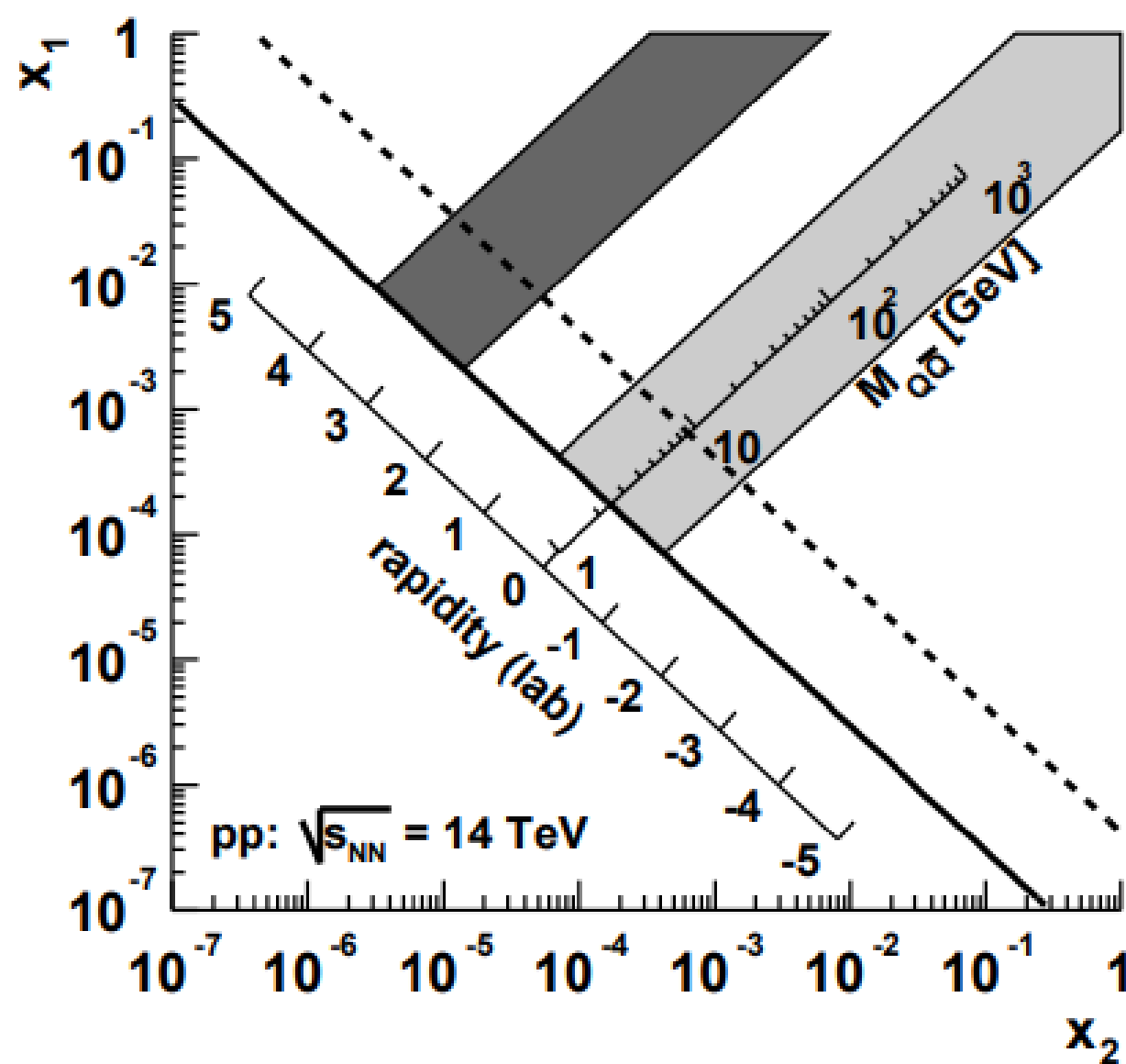
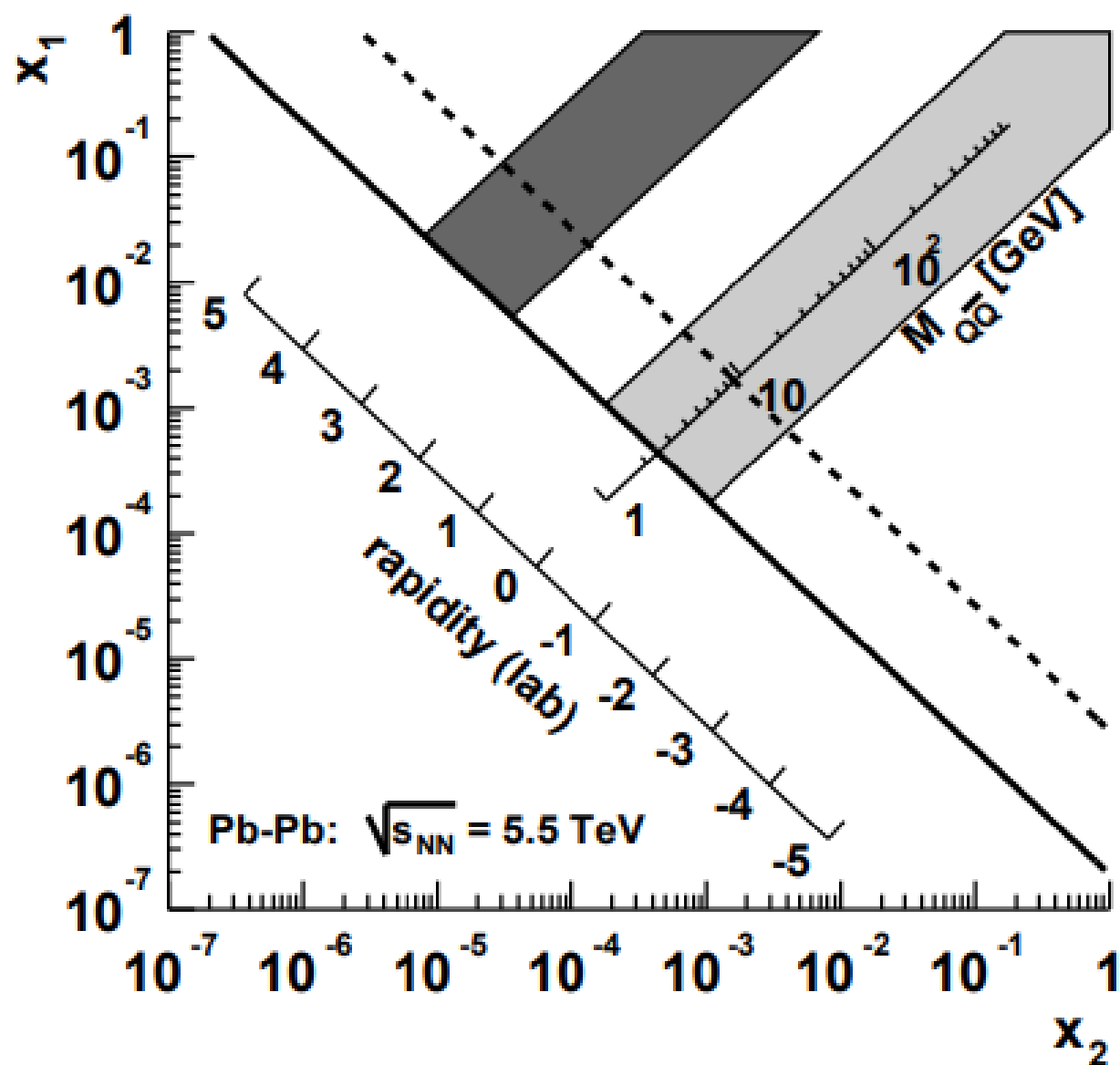
$$x_1 = \frac{A_1}{Z_1} \frac{M_{Q\bar{Q}}}{\sqrt{s_{pp}}} \exp(y_{Q\bar{Q}}) \quad \text{oraz} \quad x_2 = \frac{A_2}{Z_2} \frac{M_{Q\bar{Q}}}{\sqrt{s_{pp}}} \exp(-y_{Q\bar{Q}})$$

— $M_{Q\bar{Q}}^{\min} = 2.4 \text{ GeV}$: charm

--- $M_{Q\bar{Q}}^{\min} = 9 \text{ GeV}$: beauty

□ Central barrel: $|\eta| < 0.9$

■ Muon arm: $2.5 < \eta < 4$



Rodzaje zderzeń

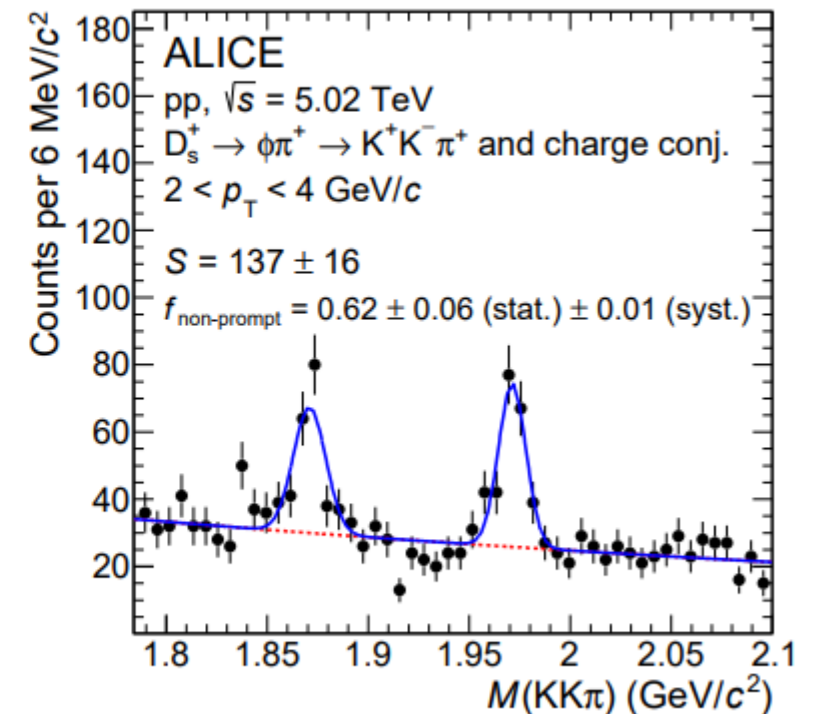
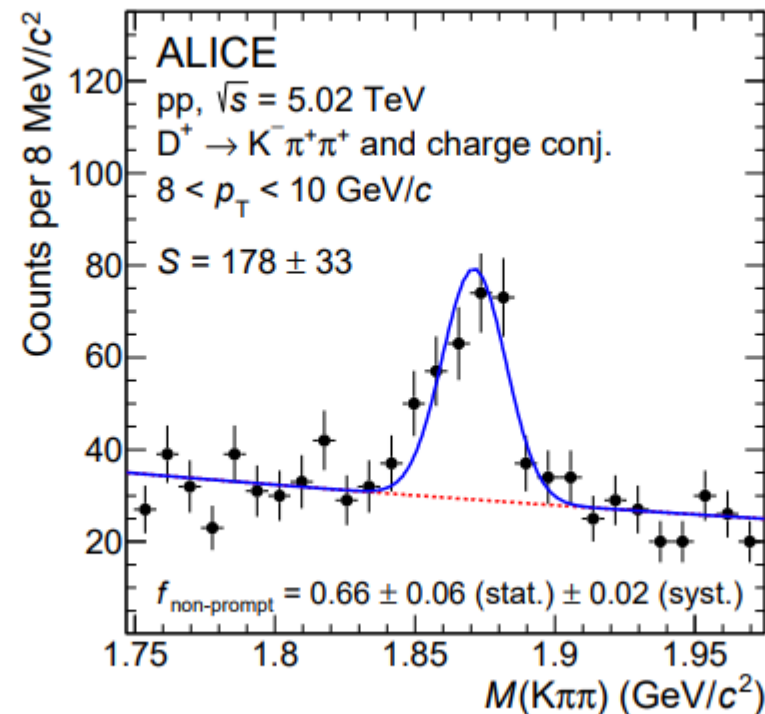
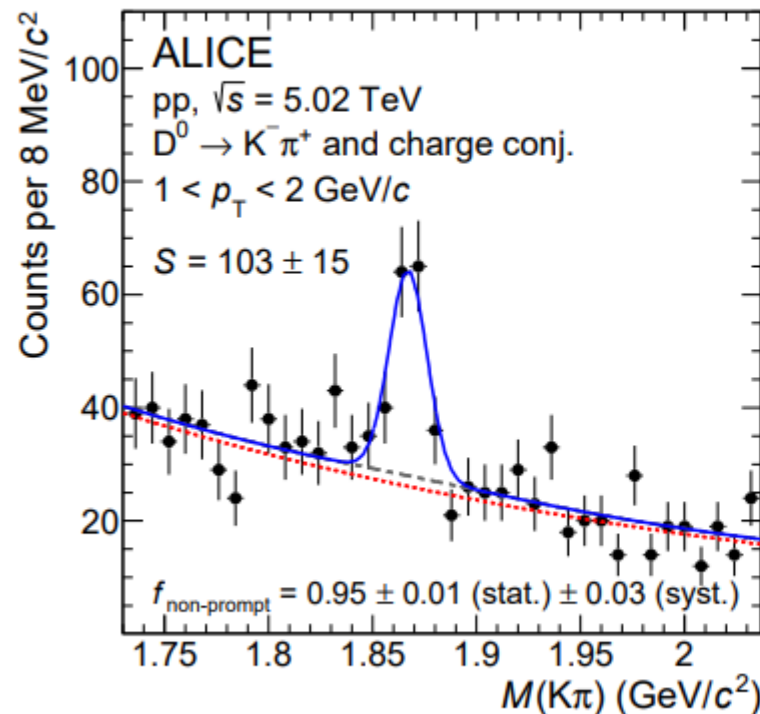
Wyróżniamy kilka podstawowych rodzajów zderzeń:

- Proton – proton (pp)
- Ołów – ołów (Pb-Pb)
- Proton – ołów (p-Pb)
- Złoto – Złoto (Au-Au) RHIC

Zderzenia pp

Produkcja charm and beauty odbywa się głównie poprzez twarde rozpraszanie, które powodują tworzenie par kwark-antykwar. Zachodzi to w czystym środowisku hadronowym, gdzie nie występuje tworzenie plazmy kwarkowo-gluonowej.

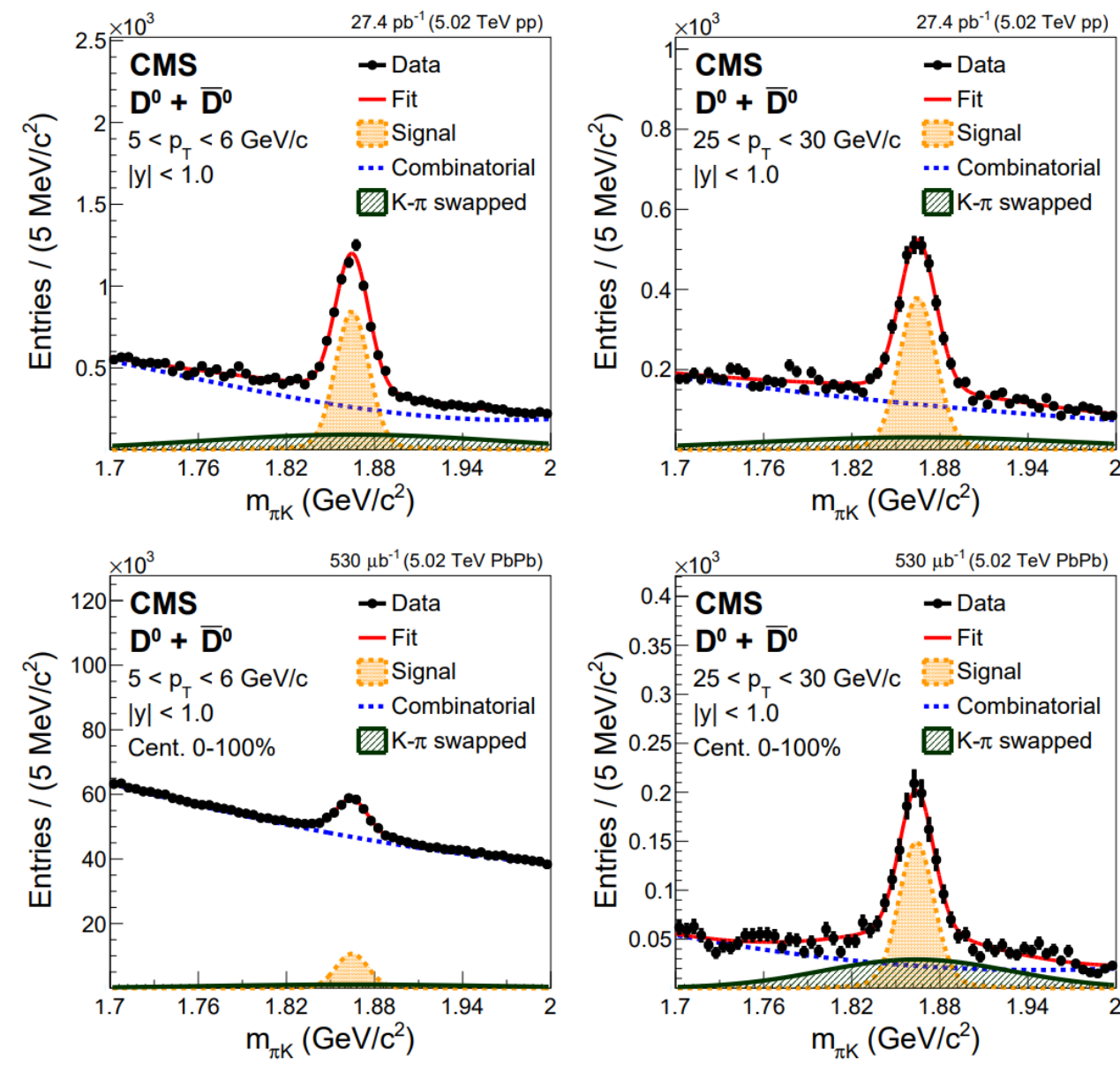
Cząstka subatomowa złożona z pary kwarków to mezon D.



Zderzenia Pb-Pb

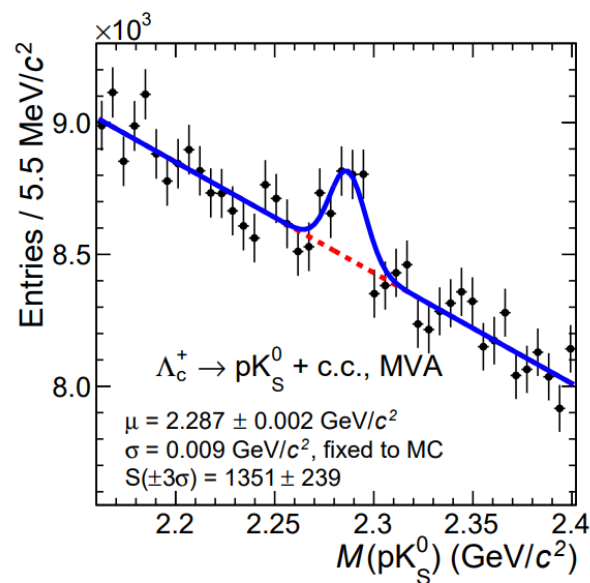
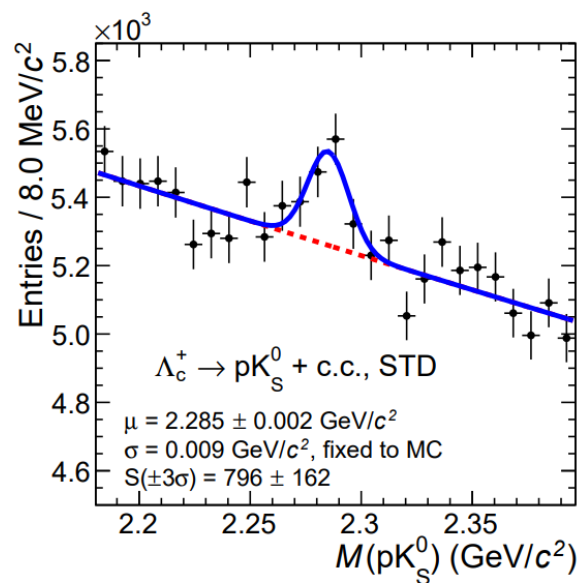
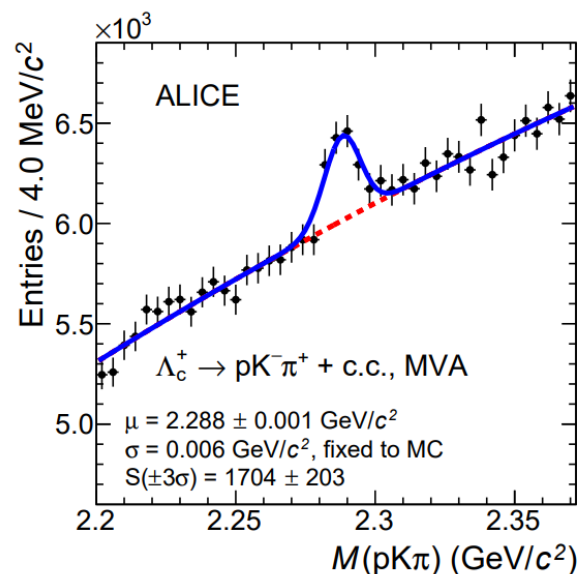
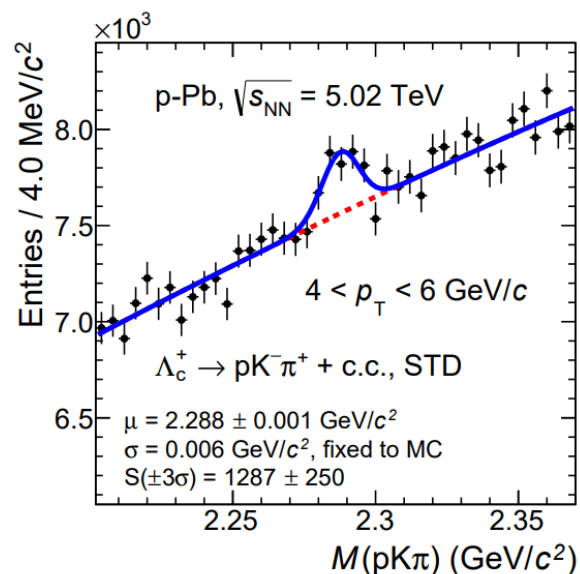
W tym przypadku zderzeń dochodzi do powstania wysoko-gęstego medium zwanego plazmą kwarkowo-gluonową (QGP). W tym środowisku zachodzą silne oddziaływania między kwarkami charm and beauty.

Liczba wyprodukowanych hadronów zawierających powyższe kwarki jest znacznie większa niż w zderzeniach pp.



Zderzenia p-Pb

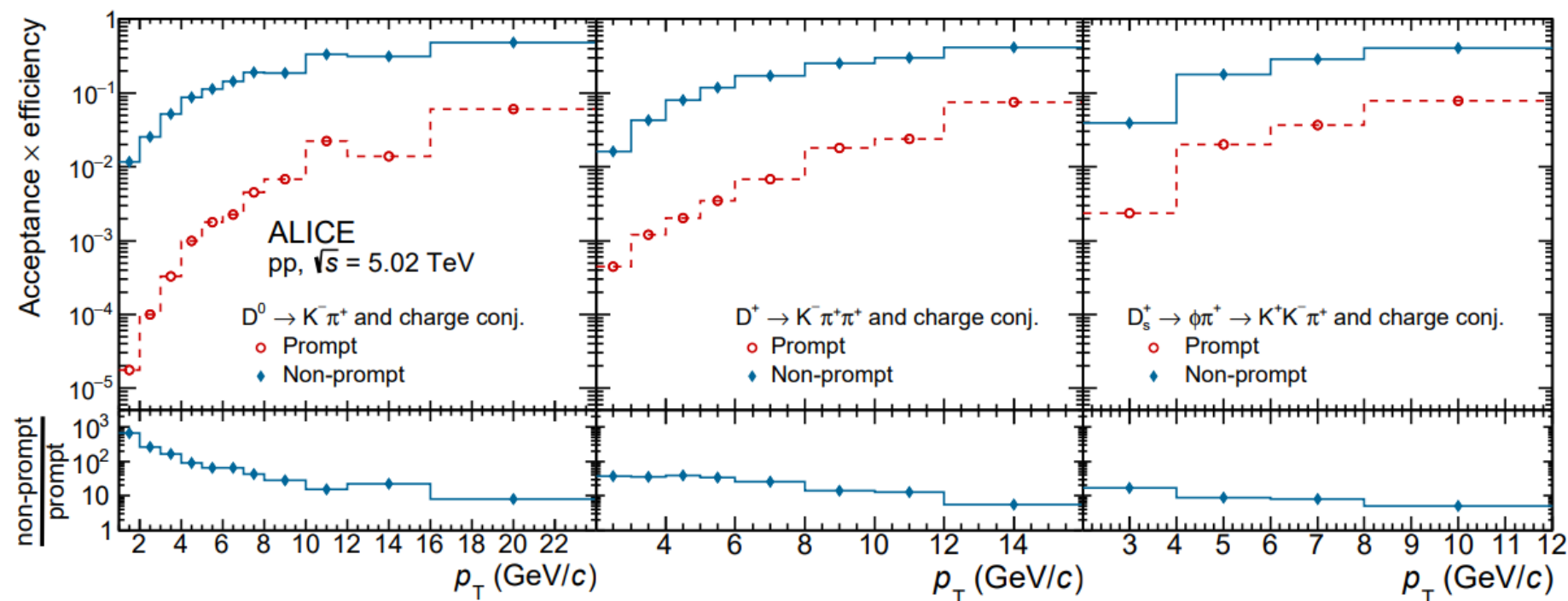
W tych zderzeniach dochodzi do interakcji między protonami, które są zbudowane z kwarków u i d, a jądrami ołowiu, które zawierają zarówno protony, jak i neutrony. Mogą powstać cząstki zawierające ciężkie kwarki, takie jak Λ_c



Prompt D i non-prompt D

Prompt D - czyli produkowanych w wyniku fragmentacji kwarka charm, zarówno bezpośrednio, jak i poprzez rozpad pobudzonych stanów charm i charmonium.

Non-prompt D - produkowane w wyniku rozpadów hadronów beauty



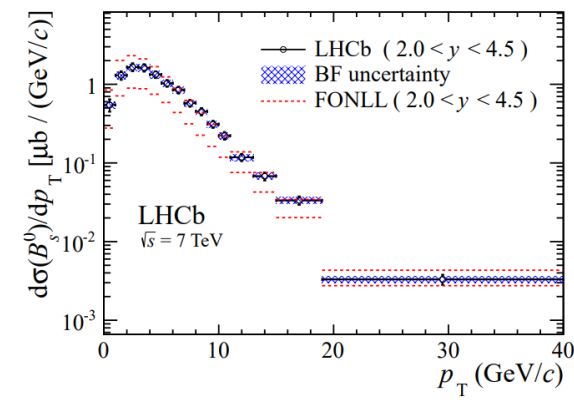
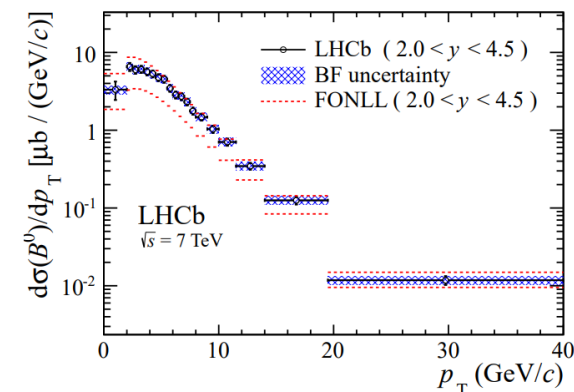
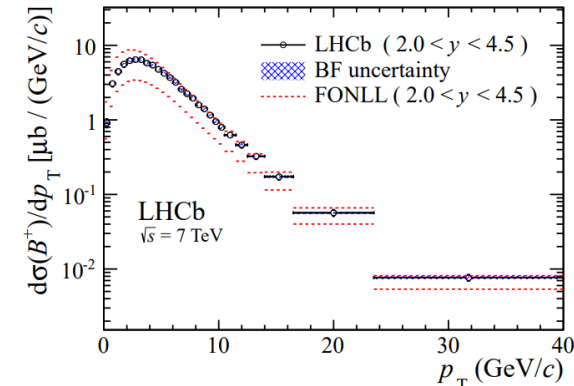
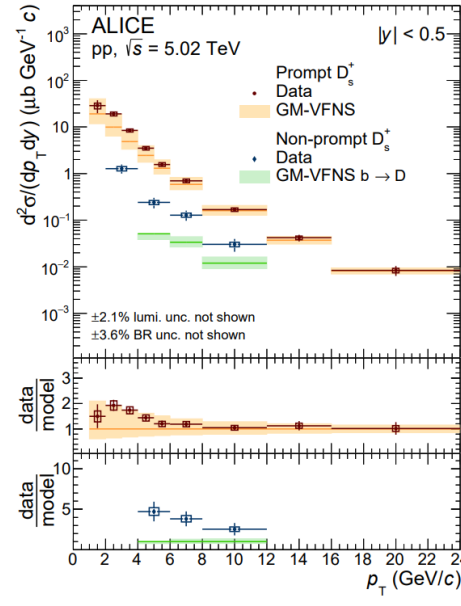
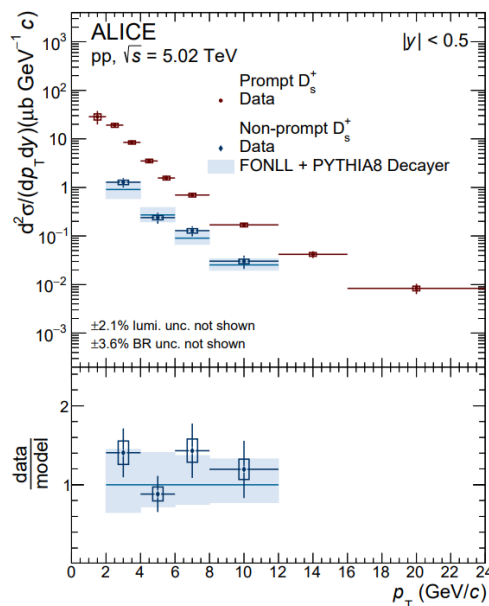
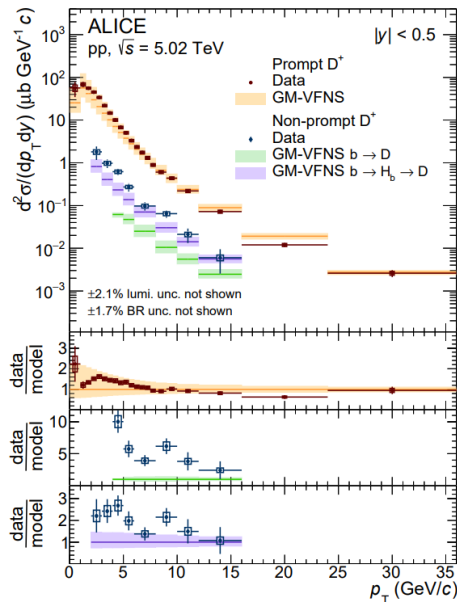
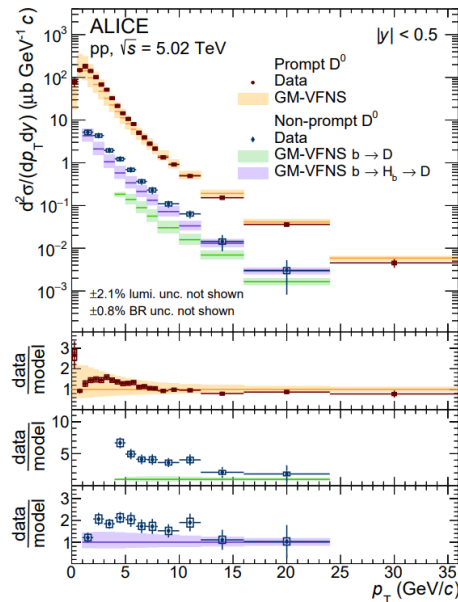
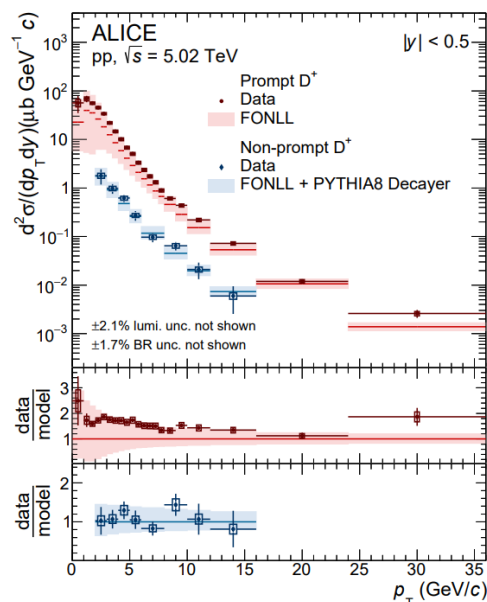
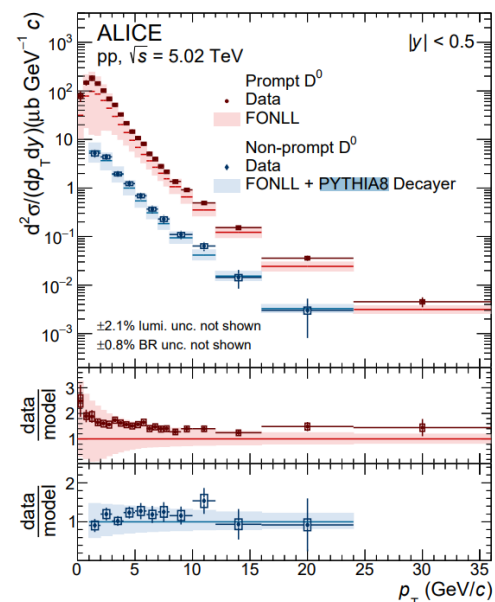
Przekrój czynny

To miara prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia, a liczba zdarzeń na sekundę jest równa L / σ .

Jest kilka metod do obliczenia teoretycznych wartości przekrojów czynnych, między innymi:

- FONL
- GM-VFNS
- POWHEG

Porównanie teorii z danymi



Bibliografia

- „Charm and beauty production at LHC” N. Carrer
- „Measurement of beauty and charm production in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV via non-prompt and prompt D mesons” ALICE Collaboration
- „Measurement of charm production at central rapidity in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 2.76$ TeV” ALICE Collaboration
- „Measurement of B meson production cross-sections in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV” The LHCb collaboration
- “ Λ_c production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV and in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV” ALICE Collaboration
- „Production of Muons from Heavy Flavor Decays at Forward Rapidity in pp and Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV” B. Abelev
- „Measurement of electrons from semileptonic heavy-flavour hadron decays at midrapidity in pp and Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV” ALICE Collaboration
- „Production of muons from heavy-flavour hadron decays in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV” ALICE Collaboration
- „Nuclear modification factor of D0 mesons in PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV” The CMS Collaboration