

Autoreferat

1. **Imię i nazwisko:** Szymon Puławski
2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.**
 - Doktor nauk fizycznych w zakresie fizyki
Data: 21 września 2015
Tytuł rozprawy: “Identification and analysis of charged hadrons in $p+p$ interactions from NA61/SHINE experiment at CERN SPS energies”
Promotor: dr hab. Seweryn Kowalski
Jednostka naukowa: Uniwersytet Śląski w Katowicach
 - Magister fizyki
Data: 28 czerwca 2011
Tytuł rozprawy: “Projekt detektora ładunku dla eksperymentu NA61/SHINE”
Promotor: dr hab. Seweryn Kowalski
Jednostka naukowa: Uniwersytet Śląski w Katowicach
3. **Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.**
 - Profesor Uczelni, pracownik badawczo-dydaktyczny, od grudnia 2020
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski w Katowicach
 - Adiunkt, pracownik badawczo-dydaktyczny, październik 2019 – grudzień 2020
Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych, Uniwersytet Śląski w Katowicach
 - Adiunkt, pracownik badawczo-dydaktyczny, listopad 2015 – wrzesień 2019
Instytut Fizyki im. Augusta Chełkowskiego/Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, Uniwersytet Śląski w Katowicach
 - Asystent, pracownik badawczo-dydaktyczny, listopad 2014 – wrzesień 2015
Instytut Fizyki im. Augusta Chełkowskiego/Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, Uniwersytet Śląski w Katowicach
4. **Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.**

Monografia pod tytułem “Strangeness production in proton-proton and heavy ion collisions at SPS energies”, ISBN 978-83-66248-96-0, 2022 rok, Wydawnictwo Presscom Sp. z o.o. stanowi podstawowe osiągnięcie autora, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). W monografii przedstawiłem analizę danych i interpretację wyników otrzymanych przeze mnie w ramach współpracy międzynarodowej w eksperymencie NA61/SHINE w CERN.

Jednym z kluczowych zagadnień współczesnej fizyki jest zrozumienie oddziaływań silnych, w szczególności badanie właściwości silnie oddziałującej materii. W tym

celu przeprowadzane są systematyczne i długofalowe badania w seriach eksperymentów. Jednak wiedza eksperymentalna w tej dziedzinie pozostaje wciąż niejednoznaczna i niewystarczająca. W określeniu praw hadronizacji oraz badaniu silnie oddziałującej materii niezwykle istotny jest pomiar produkcji dziwności. Jest to jedno z kluczowych narzędzi pozwalających zrozumieć dynamikę zderzeń ciężkich jonów, a produkcja dziwności stanowi jeden z pierwszych sygnałów nowego stanu materii - plazmy kwarkowo-gluonowej (QGP).

Plazma kwarkowo-gluonowa to silnie oddziałująca materia składająca się z quasi-wolnych kwarków i gluonów. Może powstawać w wysokoenergetycznych reakcjach jądrowych, gdzie po fazie dynamicznego zwiększania swojej objętości rozszerza się, po to aby następnie ulec ochłodzeniu i przejść do stanu gazu hadronowego. Informacje o QGP są zwykle maskowane przez ponowne rozpraszanie hadronów, które mają miejsce w późnym etapie zderzenia, co utrudnia bezpośrednią obserwację plazmy kwarkowo-gluonowej. Podczas wysokoenergetycznych zderzeń produkowane są cząstki, których znaczna większość nie posiada w swoim składzie cząstek dziwnych, jednak podczas badań zasugerowano, że hadrony obdarzone kwarkiem dziwnym są lepszym źródłem informacji o QGP głównie przez fakt stosunkowo małej wartości przekroju czynnego na reakcję z pionami - dominującymi składnikami gazu hadronowego, przez co ich rozkłady ściśle odzwierciedlają stan układu tuż po procesie hadronizacji [1–5].

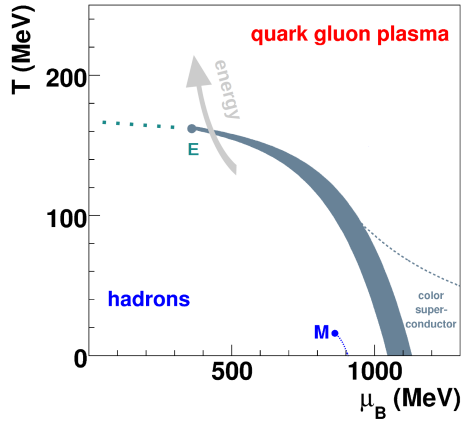
Standardowe podejście do zderzeń ciężkich jonów [6] zakłada produkcję silnie oddziałującej materii w równowadze lokalnej na wczesnym etapie zderzenia. Właściwości tej materii zależą od energii oraz gęstości barionowej układu. Ekspansja materii jest modelowana poprzez hydrodynamikę i jej konwersję do stanu końcowego hadronów z wykorzystaniem statystycznych modeli hadronizacji. Gęstość energii we wczesnej fazie kolizji wzrasta monotonicznie wraz z energią zderzenia. Przy wystarczająco wysokich energiach zakłada się, że stan materii zmienia się z fazy gazu hadronowego w plazmę kwarkowo-gluonową (QGP).

Diagram fazowy silnie oddziałującej materii wylaniający się z rozważań teoretycznych i wyników eksperymentalnych, który znajduje się na Rysunku 1 przedstawiony jest w funkcji powszechnie stosowanych zmiennych - temperatury i barionowego potencjału chemicznego. Punkt **M** jest punktem krytycznym jądrowego przejścia fazowego ciecz-gaz, natomiast zacieniowany obszar przedstawia teoretycznie przewidywaną granicę faz pierwszego rzędu między gazem hadronowym, a fazą plazmy kwarkowo-gluonowej, która ma zakończyć się w krytycznym punkcie końcowym **E**. W punkcie **E** gwałtowna przemiana fazowa zamienia się w przejście oznaczone linią przerywaną.

Pierwsze przejście fazowe silnie oddziałującej materii - przejście między cieczą jądrową a gazem jądrowym - zaobserwowano badając zderzenia ciężkich jonów przy bardzo niskich energiach [8]. Przejście to zachodzi w temperaturze $T \approx 6 \cdot 10^{10}$ K (≈ 5 MeV). Linia przejścia fazowego i punkt krytyczny **M** leżą przy wysokich wartościach potencjału bariochemicznego μ_B i niskich T .

Drugie przejście fazowe między gazem hadronowym a plazmą kwarkowo-gluonową jest badane w wielu eksperymentach. Sygnatury przypisane temu przejściu są silnie związane z produkcją dziwności: wzmocnienie dziwności oraz stosunek dziwności do entropii.

W monografia poruszam zagadnienia, którymi się zajmowałem:



Rysunek 1: Hipotetyczny szkic diagramu fazowego silnie oddziaływającej materii z punktem krytycznym, przedstawiony w funkcji potencjału μ_B i temperatury T [7].

- **Dane $p+p$ jako dane referencyjne dla ciężkich jonów**

Wyniki eksperymentalne dotyczące zderzeń $p+p$ służą jako podstawowe odniesienie w poszukiwaniu “nowej” fizyki w zderzeniach ciężkich jonów. Najpopularniejsze modele opisujące oddziaływania $p+p$ różnią się jakościowo od standardowego podejścia do zderzeń ciężkich jonów. Są to modele rezonansowe [9], w których hydrodynamiczne rozszerzanie się silnie oddziaływającej materii powstałej w zderzeniach jądro-jądro ($A+A$) jest zastępowane w zderzeniach $p+p$ przez wzbudzenie rezonansów lub silnych pól między ładunkami kolorowymi kwarków i di-kwarków (struny). Założenie statystycznej hadronizacji materii zostało zastąpione dynamicznym modelowaniem rozpadów rezonansowych i/lub strun oraz fragmentacją kwarków/gluonów na hadrony. Różne podejście do modelowania oddziaływań $p+p$ i zderzeń ciężkich jonów były wspierane przez jakościową niezgodność danych $p+p$ z przewidywaniami modeli statystycznych i hydrodynamicznych — duże fluktuacje krotności cząstek i potężowy kształt widm pędu poprzecznego przy wysokich p_T [10].

- **Wzmocnienie dziwności**

Koncepcja wzmocnienia produkcji dziwności jako sygnatury plazmy kwarkowo-gluonowej

w zderzeniach $A+A$ została sformułowana wiele lat temu [11]. Została ona oparta na oszacowaniu, że czas potrzebny na uzyskanie równowagi dziwności w QGP jest tego samego rzędu jak oczekiwany czas życia fireball utworzonego w zderzeniach $A+A$ (≈ 10 fm/c). Dlatego w przypadku tworzenia QGP oczekuje się, że produkcja dziwności osiągnie wartość równowagową. Wytwarzanie dziwności we wtórnych oddziaływaniach hadronowych oszacowano jako zaniedbywane. W związku z tym, jeżeli plazma kwarkowo-gluonowa nie zostanie utworzona, można przypuszczać, że produkcja dziwności będzie znacznie niższa niż przewidywana na podstawie obliczeń stanu równowagi QGP. W ten sposób pojawiła się sygnatura powstawania QGP: wzrost produkcji dziwności powinien sygnalizować przejście do QGP. Współczynnik wz-

mocnienia dziwności E dla danego rodzaju cząstki jest zdefiniowany jako:

$$E = \frac{2}{\langle N_W \rangle} \frac{dn/dy(A+A)}{dn/dy(p+p)}, \quad (1)$$

gdzie $\langle N_W \rangle$ to liczba zranionych (biorących udział w oddziaływaniu) nukleonów w zderzeniu [12], a dn/dy to krotność dziwnych cząstek podzielona przez szerokość przedziału pospiesznosci. Przy energiach SPS (30-158 A GeV) i wyższych, liczba zranionych nukleonów jest zbliżona lub równa liczbie uczestniczących w zderzeniu nukleonów. Przez wiele lat współczynnik dziwności w eksperymentach przy energiach SPS był badany w odniesieniu do danych $p+A$ ze względu na brak dostępnych wyników reakcji $p+p$.

- **Stosunek dziwności do entropii**

Modele zakładające przejście fazowe pomiędzy gazem hadronowym, a plazmą kwarkowo-gluonową przewidują niemonotoniczną zależność w funkcji energii zderzeń, kilku właściwości produkcji hadronów. W szczególności modele przewidywały ostre maksimum w stosunku wyprodukowanych dziwnych hadronów (hadronów zawierających kwarki s i \bar{s}) do pionów (najlżejszych hadronów) w początkowym obszarze przejścia fazowego. Wykazano, że stosunek K/π przy energiach SPS jest dobrą miarą stosunku dziwności do entropii [13], który jest inny w fazie gazu hadronowego i QGP (kwarki, antykwarki i gluony). Stosunek krotności dziwnych hadronów do pionów jest zwykle opisywany eksperymentalnie jako:

$$R_S = \frac{\langle K^+ \rangle}{\langle \pi^+ \rangle}, \quad (2)$$

gdzie $\langle K^+ \rangle$ to średnia krotność dodatnich kaonów, a $\langle \pi^+ \rangle$ to krotność dodatnich pionów. Zgodnie z modelami teoretycznymi przyjmuje się zwykle, że prawie połowę wytworzonej dziwności niosą kaony dodatnie. Zaobserwowano eksperymentalnie, że stosunek $\langle K^+ \rangle / \langle \pi^+ \rangle$ wzrasta wraz z energią zderzenia do $\sqrt{s_{NN}} \approx 7$ GeV. Zależność od energii zderzeń stosunku K^+/π^+ w zderzeniach ciężkich jonów wykazuje tak zwaną strukturę *horn*. Po szybkim wzroście stosunek $\langle K^+ \rangle / \langle \pi^+ \rangle$ przechodzi przez maksimum rozkładu w zakresie energii SPS, a następnie spada i stabilizuje się na wartości plateau przy wyższych energiach.

- **Mechanizm produkcji cząstek w zderzeniach**

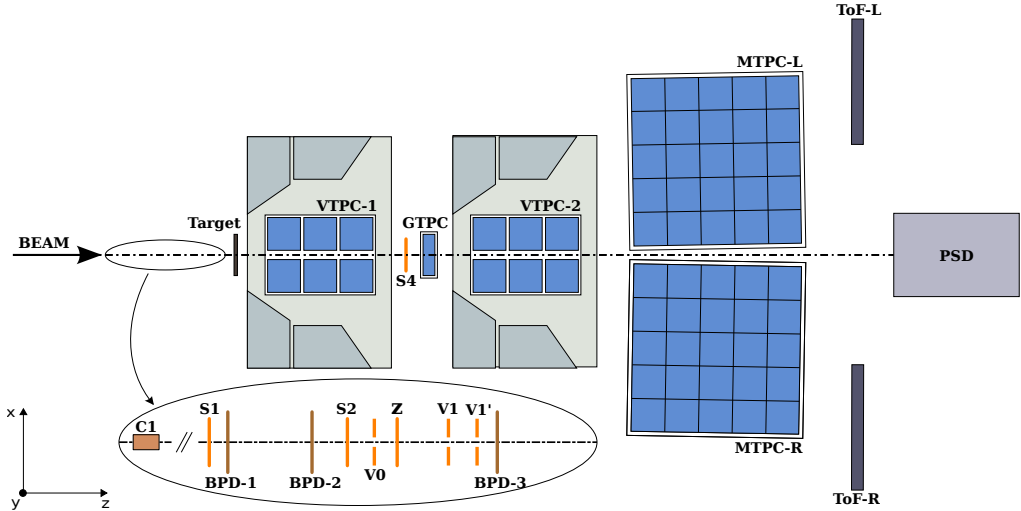
Dziwne bariony są w centrum zainteresowania w fizyce zderzeń cząstek ze względu na zawartość dziwnych kwarków walencyjnych (kwark s). Stan początkowy zderzających się cząstek nie zawiera dziwnego kwarku walencyjnego, dlatego wszystkie cząstki o niezerowej liczbie kwantowej dziwności powstają podczas zderzenia. Z tego powodu, dziwne bariony są cenną próbką w opisie mechanizmów produkcji cząstek w zderzeniach wysokoenergetycznych. Wytwarzanie dziwnych hiperonów zapewnia również informacje niezbędne do zrozumienia procesu tworzenia strun. Na strunach w zderzeniach proton-proton o wysokiej energii tworzą tzw. „wzbudzenia” struny, hipotetyczne obiekty, które rozpadają się na hadrony. Struktura ta jest dobrze potwierdzona w procesie anihilacji elektron-pozyton przy niskich energiach [14], gdzie wirtualny foton rozpada się na łańcuch kwarkowo-antykwarowy, a ten następnie rozpada się na mezony (M), bariony (B) i antybariony (\bar{B}).

- **Poszukiwanie egzotycznych cząstek**

- Pentakwarki to bariony zbudowane z pięciu kwarków, postulowane i poszukiwane od dziesięcioleci w procesach hadronowych. W 1964 roku Gell-Mann i Zweig [15] wspomnieli o możliwości dodania pary kwark-antykwarok do minimalnych stanów mezonu i barionu $q\bar{q}$ i qqq , proponując w ten sposób nowe konfiguracje $qq\bar{q}\bar{q}$ i $qqqq\bar{q}$. W ciągu ostatnich dziesięcioleci stany pentakwarków były szeroko badane teoretycznie w kontekście elementarnego modelu kwarków [16–18]. Eksperymentalnie, od czasu pierwszej obserwacji potencjalnego stanu pentakwarku $\Theta^+(1540)$ [19], nadal nie ma zgodności co do tego, czy odkryty został najbliższy stan egzotycznego anty-dupletu. Zostało przeprowadzone wiele eksperymentów, których celem był pomiar Θ^+ , z których niektóre obserwowały sygnał, a inne nie. Powód, iż pewne eksperymenty obserwują Θ^+ , podczas gdy inne nie, może mieć przyczynę albo o charakterze eksperymentalnym, albo osobliwym mechanizmie produkcji Θ^+ (lub obu jednocześnie). Obserwację kandydatów najcięższych składników multipletu $\bar{10}$ odnotowano jedynie w eksperymencie NA49 w CERN w reakcjach $p+p$ [20]. Inne eksperymenty jednak nie potwierdziły tego wyniku dla różnych reakcji jak również regionów przestrzeni fazowej [21, 22]. Pełniejszy przegląd wyników eksperymentalnych znajduje się w Ref. [23].
- Opis produkcji dziwnych kwarków w oddziaływaniach hadron-hadron i późniejszej hadronizacji stanowi wyzwanie dla modeli fenomenologicznych inspirowanych QCD i opartych na strunach. Dotyczy to zwłaszcza hiperonów podwójnie dziwnych i ich rezonansów. Do tej pory nie istniały żadne wyniki eksperymentalne z pomiarów oddziaływań $p+p$ w zakresie energii CERN SPS. Dostępne były głównie pomiary produkcji hiperonów podwójnie dziwnych produkowanych w większości w reakcjach $K^- + p$ i $p + A$. Przy wyższych energiach rezonanse $\Xi(1530)^0$ i $\bar{\Xi}(1530)^0$ badano w zderzeniach $p+p$ w CERN LHC [24]. Mikroskopowe modele transportu struny/hadron są szeroko stosowane do opisu i zrozumienia relatywistycznych zderzeń ciężkich jonów. Dane dotyczące produkcji dziwności, a zwłaszcza podwójnie dziwnych rezonansów w zderzeniach $p+p$, dostarczają ważnych danych dla modeli teoretycznych, których celem jest opisanie mechanizmu zderzeń ciężkich jonów.

Dane wykorzystane w analizie, na podstawie której została napisana monografia pt. “Strangeness production in proton-proton and heavy ion collisions at SPS energies” zostały zebrane przez współpracę fizyków NA61/SHINE w CERN. Detektor NA61/SHINE to wielofunkcyjne urządzenie zaprojektowane do pomiaru produkcji cząstek w zderzeniach jądro+jądro, hadron+jądro i $p+p$ [25]. Detektor jest zainstalowany w CERN Super Proton Synchrotron (SPS) na linii H2 północnego obszaru doświadczalnego. Głównymi elementami systemu pomiaru cząstek są cztery Komory Projektacji Czasu (TPC) o dużej objętości. Dwie z nich, zwane Vertex TPC (VTPC), znajdują się za tarczą wewnątrz magnesów nadprzewodzących o maksymalnej łącznej mocy zakrzywiającej 9 Tm. Pole magnetyczne jest modyfikowane proporcjonalnie do pędu wiązki w celu uzyskania podobnej akceptacji przestrzeni fazowej przy wszystkich energiach. Główne TPC (MTPC) i dwie ściany detektorów czasu przelotu (ToF-L/R) są umieszczone symetrycznie do linii wiązki za magnesami. Piąta mała TPC (GAP-TPC) jest umieszczona pomiędzy VTPC1 i

VTPC2 bezpośrednio na linii wiązki. Projectile Spectator Detector (PSD) zamyka układ detekcyjny. Jest to kalorymetr elektromagnetyczny, którego zadaniem jest pomiar centralności zderzenia. W układzie detekcyjnym znajduje się także zestaw detektorów mierzących pozycję oraz ładunek wiązki przed tarczą. Schematycznie układ detekcyjny eksperymentu NA61/SHINE jest przedstawiony na Rysunku 2.



Rysunek 2: Schemat detektora NA61/SHINE [25].

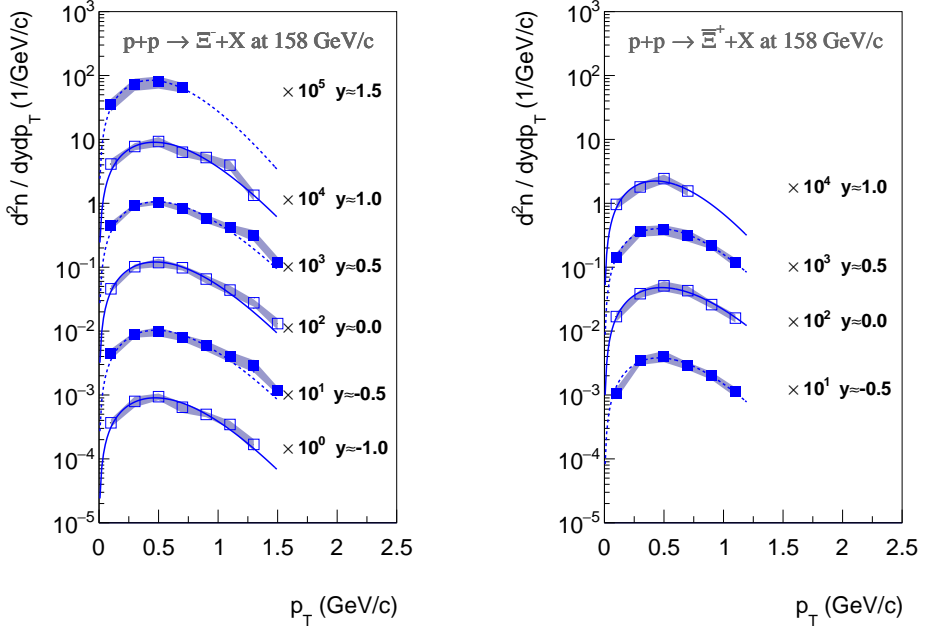
W monografii przedstawiam procedurę analizy danych, a w szczególności:

- Kryteria wyboru przypadków i torów cząstek.
- Metody wyznaczenie widm cząstek.
- Poprawki do zebranych widm otrzymane z symulacji.
- Sposób uzyskania tzw. poprawionych rozkładów i średnich krotności cząstek.
- Wyznaczenie statystycznych i systematycznych niepewności pomiarowych.

Opisane zostały także metody wyboru nieelastycznych zderzeń $p+p$ oraz centralnych zderzeń $\text{Be}+\text{Be}$. Te dwie grupy danych stanowią przedmiot wykonanej przeze mnie analizy. W dalszej części przybliżona została metoda rekonstrukcji cząstek Ξ i Ω zbudowanych z kilku kwarków dziwnych. Wybór takich cząstek zwiększa szansę na obserwację sygnału plazmy kwarkowo-gluonowej, w porównaniu do cząstek zawierających 0 lub 1 kwark dziwny. Przedyskutowany został także problem produkcji egzotycznego stanu, tzw. pentakwarku, obserwowanego w eksperymencie NA49, który był poprzednikiem eksperymentu NA61/SHINE. Zostały zastosowane dwie optymalizacje metody poszukiwania tego stanu w eksperymencie NA61/SHINE, z czego jedna jest identyczna z metodą użytą w NA49. Monografia zawiera również, oprócz wyników dla cząstek dziwnych, wyniki analizy naładowanych hadronów, dla których opisane zostały metody ich identyfikacji. Ponadto, przeprowadzona została szczegółowa dyskusja niepewności statystycznych i systematycznych we wszystkich omawianych analizach.

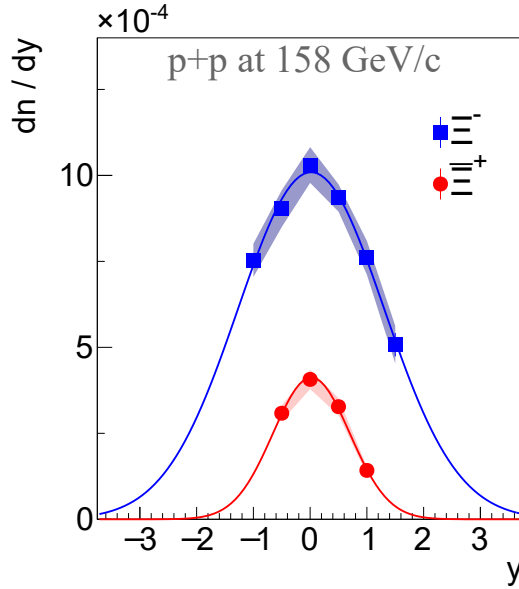
Do najważniejszych wyników przedstawionych w monografii należy zaliczyć:

- rozkłady krotności Ξ^- i Ξ^+ , w dwuwymiarowej przestrzeni fazowej pospieszczeni i pędu poprzecznego. Rozkłady te są przedstawione na Rysunku 3, pozwoliły na pomiar rozkładów pospieszczeni przedstawionych na Rysunku 4. Wyznaczona została także średnia krotność produkcji tych barionów wynosząca $\langle \Xi^- \rangle = (3.3 \pm 0.1 \pm 0.6) \times 10^{-3}$ i $\langle \Xi^+ \rangle = (7.9 \pm 0.2 \pm 1.0) \times 10^{-4}$.



Rysunek 3: Rozkłady pędu poprzecznego w przedziałach pospieszczeni Ξ^- (lewy) i Ξ^+ (prawy) produkowanych w zderzeniach nieelastycznych $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c. Podane wartości pospieszczeni widoczne na Rysunkach odpowiadają środkom przedziałów. Błędy statystyczne są mniejsze niż rozmiary punktów, a niepewności systematyczne zostały przedstawione za pomocą zacieniowanego obszaru. Rozkłady są przeskalowane przez podany współczynnik.

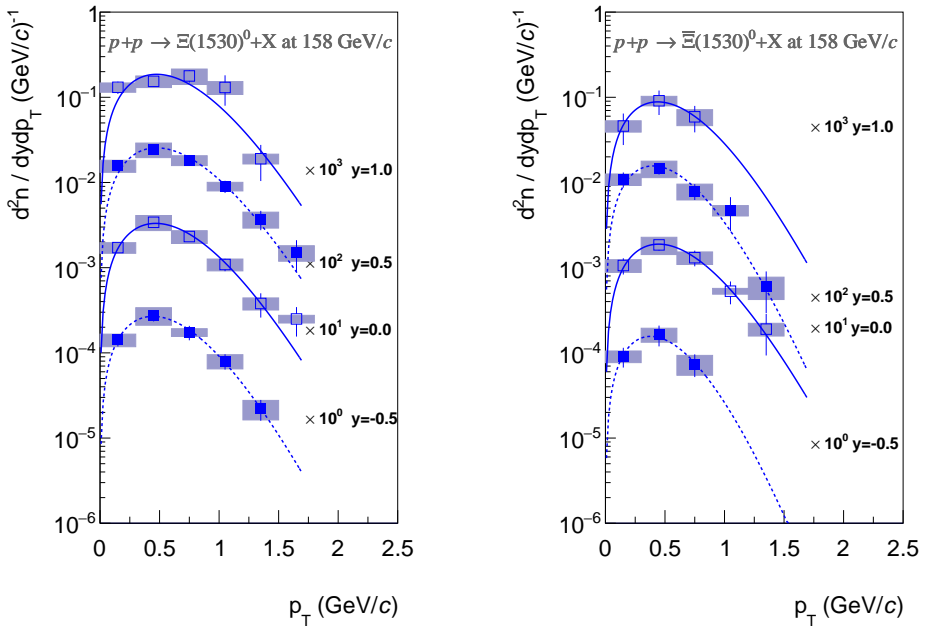
- rozkłady krotności rezonansów $\Xi(1530)^0$ i $\Xi(1530)^+$, w dwuwymiarowej przestrzeni fazowej pospieszczeni i pędu transwersalnego (Rysunku 5). Na ich podstawie wyznaczono rozkłady pospieszczeni przedstawione na Rysunku 6. Wyznaczona została także średnia krotność wynosząca $\langle \Xi(1530)^0 \rangle = (6.73 \pm 0.25 \pm 0.67) \times 10^{-4}$ oraz $\langle \Xi(1530)^+ \rangle = (2.71 \pm 0.18 \pm 0.18) \times 10^{-4}$.
- rozkłady krotności Ω^- i Ω^+ w funkcji pospieszczeni i pędu poprzecznego (Rysunek 7). Wyznaczona została średnia krotność wynosząca $\langle \Omega^- \rangle = (1.057 \pm 0.047 \pm 0.094) \times 10^{-4}$.
- rozkłady produkcji naładowanych hadronów - pionów, kaonów i protonów oraz ich antycząstek - produkowanych w 20% najbardziej centralnych zderzeniach Be+Be przy pędach wiązki 19A, 30A, 40A, 75A oraz 150A GeV/c otrzy-



Rysunek 4: Rozkłady pospieszności Ξ^- (niebieskie kwadraty) i Ξ^+ (czerwone punkty) produkowanych w zderzeniach nieelastycznych $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c. Błędy statystyczne są mniejsze niż rozmiary punktów, a niepewności systematyczne zostały przedstawione za pomocą zacieniowanego obszaru. Krzywe pokazują dopasowanie funkcji Gaussa do otrzymanych wyników.

mane z wykorzystaniem identyfikacji bazującej na stratach energii (dE/dx) w komorach projekcji czasowej. Przykładowe rozkłady pędu transversalnego K^+ oraz protonów przy pięciu pędach wiązki są przedstawione na Rysunkach 8 oraz 9. Przedstawione wyniki są porównane z wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem dodatkowo pomiaru czasu przelotu ($tof-dE/dx$). Otrzymane tą metodą wyniki pozwoliły na wyznaczenie rozkładów pospieszności K^+ , K^- , π^+ , π^- , protonów i antyprotonów przy pięciu pędach wiązki (Rysunku 10). Wyznaczone zostały również średnie krotności zmierzonych naładowanych hadronów przedstawione w Tabeli 1.

W monografii poruszam także zagadnienie znaczenia danych referencyjnych $p+p$ dla interpretacji wyników otrzymywanych z analizy zderzeń ciężkich układów takich jak Au+Au czy Pb+Pb. Pokazałem, że w przypadku stosunku K^+/π^+ w funkcji energii zderzenia w $p+p$, obserwowana jest zmiana jego nachylenia przy tej samej energii, która przypada na maksimum stosunku K^+/π^+ w zderzeniach Pb+Pb. Ponadto wykazałem, że stosunek produkcji K^+/π^+ , który można interpretować jako stosunek produkcji dziwności do entropii w zderzeniach Be+Be jest bardzo zbliżony do tego otrzymanego w pomiarach zderzeń $p+p$. Porównanie zależności energetycznej stosunków K^+/π^+ dla wartości pospieszności bliskich 0 w układzie środka masy oraz średnich krotności tych cząstek w zderzeniach $p+p$,

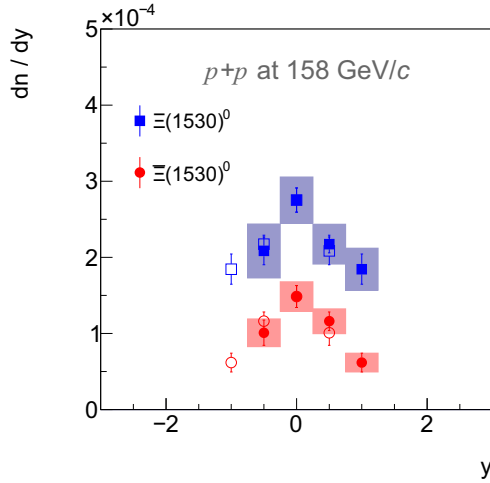


Rysunek 5: Rozkłady pędu poprzecznego w przedziałach pospieszności $\Xi(1530)^0$ (lewy) i $\bar{\Xi}(1530)^0$ (prawy) produkowanych w zderzeniach nieelastycznych $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c. Podane wartości pospieszności odpowiadają środkom przedziałów. Błędy statystyczne są pokazane jako pionowe linie, a niepewności systematyczne zostały przedstawione za pomocą zacieniowanego obszaru. Rozkłady są przeskalowane poprzez podany współczynnik. Linie pokazują dopasowaną do rozkładów funkcję eksponencjalną.

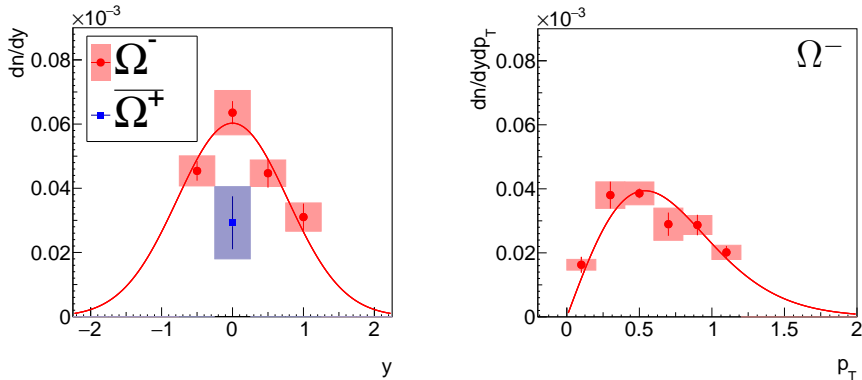
Be+Be oraz Pb+Pb znajduje się na Rysunku 11.

Krotności Ξ^- oraz $\bar{\Xi}^+$ produkowane w zderzeniach $p+p$ zostały użyte jako wartość referencyjna dla cięższych układów przy obliczaniu współczynnika wzmocnienia dziwności. Do tej pory jako wartość referencyjna dla zderzeń ciężkich jonów wykorzystywane były krotności zmierzone w zderzeniach $p+\text{Be}$. Wyniki analizy pokazały że już dla układu $p+\text{Be}$ widoczne jest niewielkie wzmocnienie produkcji dziwności (Rysunek 12).

Otrzymane wyniki zostały porównane zarówno z dostępnymi wynikami światowymi jak i modelami teoretycznymi opisującymi produkcję naładowanych hadronów. Przykład porównania rozkładów pędu transwersalnego Ξ^- oraz $\bar{\Xi}^+$ produkowanych w zderzeniach $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c z modelami: UrQMD 3.4 [30, 31], EPOS 1.99 [32], AMPT 1.26 [33–35], SMASH 1.6 [36, 37] i PHSD [38, 39] został przedstawiony na Rysunku 13. Porównanie otrzymanych wyników produkcji Ω^- oraz $\bar{\Omega}^+$ w zderzeniach $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV znajduje się na Rysunku 14. rozkładów pospieszności, pędu poprzecznego, ani stosunku antycząstka-cząstka. Wyjątek stanowi $\Xi(1530)^0$, gdzie model EPOS przewiduje otrzymane wyniki z dobrą dokładnością.

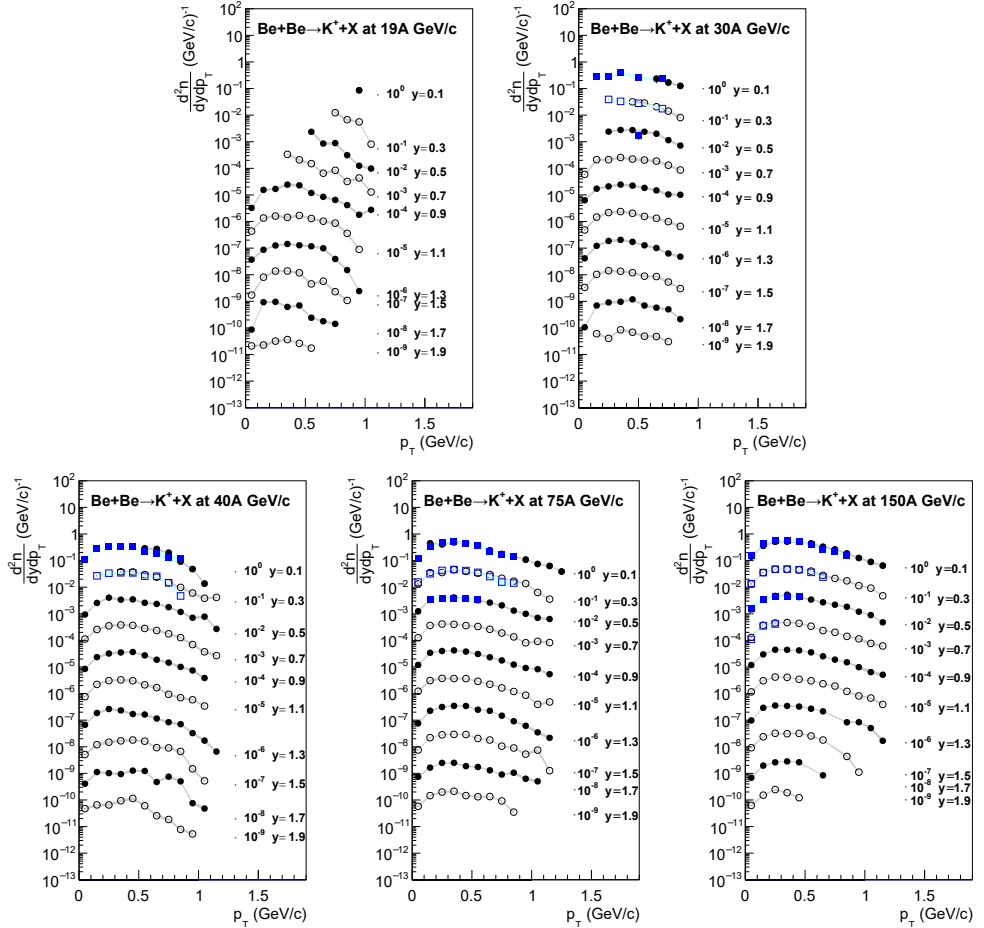


Rysunek 6: Rozkłady pospieszności $\Xi(1530)^0$ (niebieskie kwadraty) i $\bar{\Xi}(1530)^0$ (czerwone punkty) produkowanych w zderzeniach nieelastycznych $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c. Błędy statystyczne są przedstawione za pomocą pionowych linii, a niepewności systematyczne pomiarów zostały przedstawione za pomocą zaciemnianego obszaru. Pełne symbole przedstawiają zmierzone punkty, a niewypełnione są symetrycznym odbiciem względem pośpieszności 0.

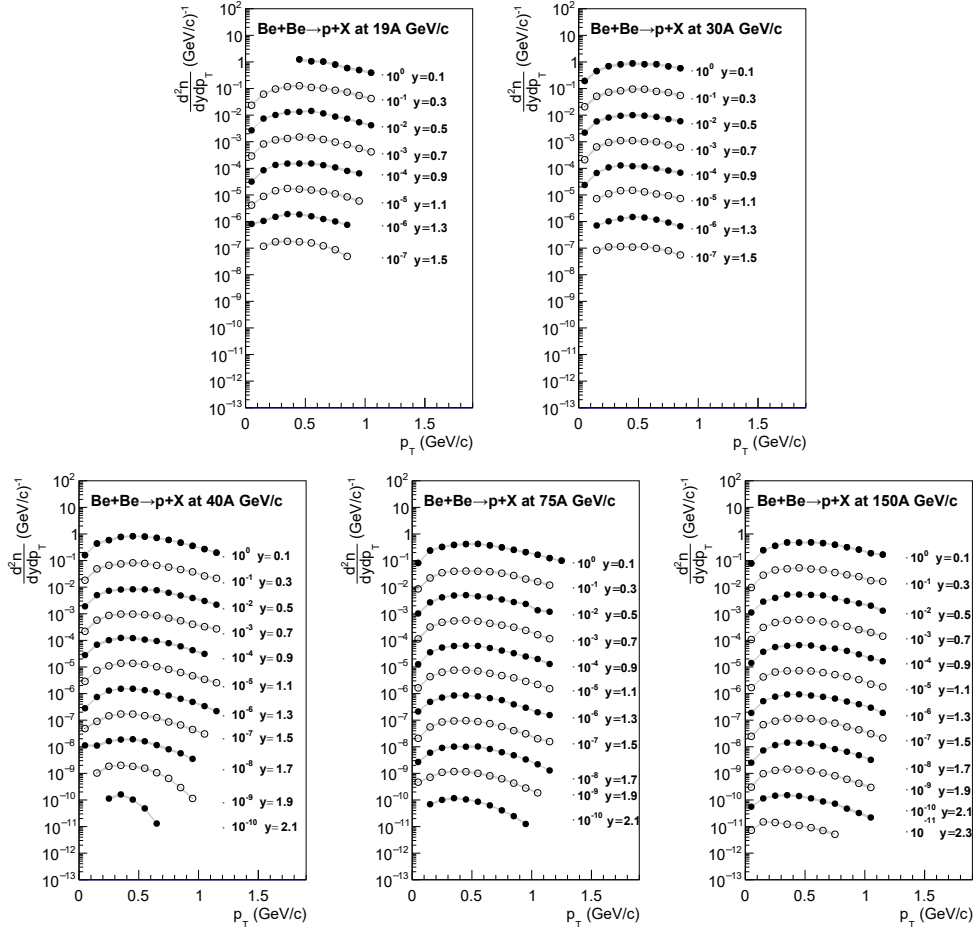


Rysunek 7: Rozkłady pospieszności Ω^- oraz $\bar{\Omega}^+$ (lewy) i pędu transwersalnego Ω^- w przedziale pospieszności od -1.5 do 1.5 (prawy) produkowanych w zderzeniach nieelastycznych $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c. Błędy statystyczne są przedstawione za pomocą pionowych linii, a niepewności systematyczne to zaciemnione obszary.

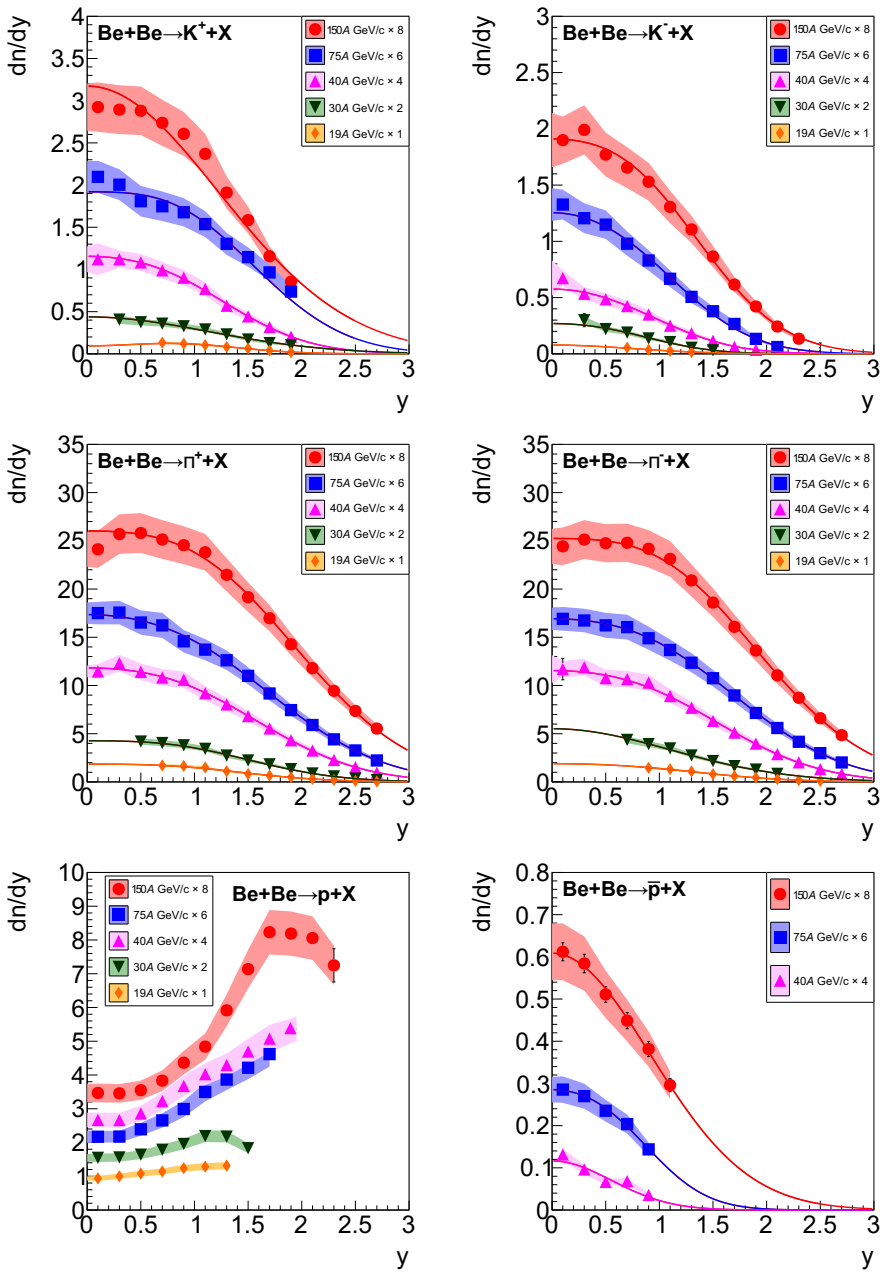
Otrzymane i przedstawione wyniki produkcji $\Xi(1530)^0$ oraz $\bar{\Xi}(1530)^0$ są pierwszymi pomiarami tej produkcji w zderzeniach $p+p$ przy energiach SPS. Wcześniej pomiar produkcji rezonansu Ξ w zderzeniach $p+p$ został przeprowadzony tylko przez eksperyment ALICE przy energii zderzenia $\sqrt{s_{NN}} = 7$ TeV [24]. Stosunek krotności $\Xi(1530)$ do Ξ produkowanych dla wartości pospieszności bliskich 0 w



Rysunek 8: Rozkłady pędu poprzecznego w przedziałach pospieszności K^+ produkowanych w 20% najbardziej centralnych zderzeń Be+Be. Podane wartości pospieszności odpowiadają środkom przedziałów. Czarne punkty (niebieskie kwadraty) przedstawiają wyniki uzyskane z wykorzystaniem metody dE/dx ($tof-dE/dx$). Niepewności systematyczne są przedstawione za pomocą zacieniowanego obszaru, a statystyczne za pomocą pionowych linii.



Rysunek 9: Rozkłady pędu poprzecznego w przedziałach pospieszności protonów produkowanych w 20% najbardziej centralnych zderzeń Be+Be. Podane wartości pospieszności odpowiadają środkom przedziałów. Wyniki uzyskane zostały z wykorzystaniem metody dE/dx . Niepewności systematyczne są przedstawione za pomocą zacieniowanego obszaru, a statystyczne za pomocą pionowych linii.



Rysunek 10: Rozkłady pospieszności K^+ , K^- , π^+ , π^- , p i \bar{p} produkowanych w 20% najbardziej centralnych zderzeń Be+Be. Linie pokazują dopasowaną do rozkładów funkcję eksponencjalną. Rozkłady dla różnych pędów wiązki zostały przeskalowane poprzez następujące współczynniki: 150A GeV/c przez 8, 75A GeV/c przez 6, 40A GeV/c przez 4, 30A GeV/c przez 2 and 19A GeV/c przez 1. Niepewności systematyczne są przedstawione za pomocą zacieniowanego obszaru, a statystyczne za pomocą pionowych linii

Tabela 1: Średnie krotności K^+ , K^- , π^+ , π^- , p i \bar{p} produkowanych w 20% najbardziej centralnych zderzeń Be+Be. Dla każdej wartości przedstawione zostały niepewności statystyczne i systematyczne, odpowiednio jako pierwsza i druga wartość niepewności.

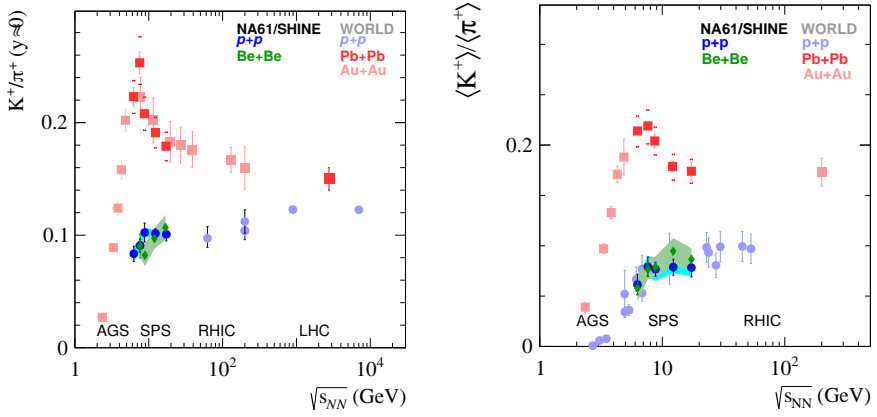
	$\langle K^+ \rangle$	$\langle K^- \rangle$
19A GeV/c	$0.308 \pm 0.025 \pm 0.040$	$0.131 \pm 0.030 \pm 0.041$
30A GeV/c	$0.522 \pm 0.044 \pm 0.052$	$0.220 \pm 0.046 \pm 0.046$
40A GeV/c	$0.665 \pm 0.012 \pm 0.071$	$0.256 \pm 0.011 \pm 0.042$
75A GeV/c	$0.904 \pm 0.027 \pm 0.104$	$0.464 \pm 0.019 \pm 0.046$
150A GeV/c	$1.067 \pm 0.012 \pm 0.108$	$0.628 \pm 0.011 \pm 0.062$
	$\langle \pi^+ \rangle$	$\langle \pi^- \rangle$
19A GeV/c	$5.323 \pm 0.340 \pm 0.998$	$5.021 \pm 0.321 \pm 1.129$
30A GeV/c	$6.807 \pm 0.200 \pm 0.605$	$6.333 \pm 0.321 \pm 0.713$
40A GeV/c	$8.449 \pm 0.208 \pm 0.705$	$8.033 \pm 0.419 \pm 0.745$
75A GeV/c	$9.581 \pm 0.078 \pm 0.756$	$9.312 \pm 0.099 \pm 0.754$
150A GeV/c	$12.344 \pm 0.085 \pm 0.975$	$11.817 \pm 0.086 \pm 0.957$
	$\langle \bar{p} \rangle$	
19A GeV/c	-	
30A GeV/c	-	
40A GeV/c	$0.034 \pm 0.004 \pm 0.006$	
75A GeV/c	$0.084 \pm 0.004 \pm 0.009$	
150A GeV/c	$0.146 \pm 0.006 \pm 0.015$	

zderzeniach $p+p$ przy energii 17.3 GeV oraz 7 TeV został przedstawiony w Tabeli 2. Stosunek ten dla zderzeń $p+p$ jest podobny: $0.294 \pm 0.017 \pm 0.047$ przy 17.3 GeV oraz $0.3241 \pm 0.0053^{+0.0325}_{-0.0275}$ przy 7 TeV, przy czym stosunek krotności $\Xi(1530)^0$ wzrasta z energią o rząd wielkości od $(2.75 \pm 0.18 \pm 0.58) \times 10^{-4}$ przy 17.3 GeV do $(2.56 \pm 0.07^{+0.40}_{-0.37}) \times 10^{-3}$ przy 7 TeV.

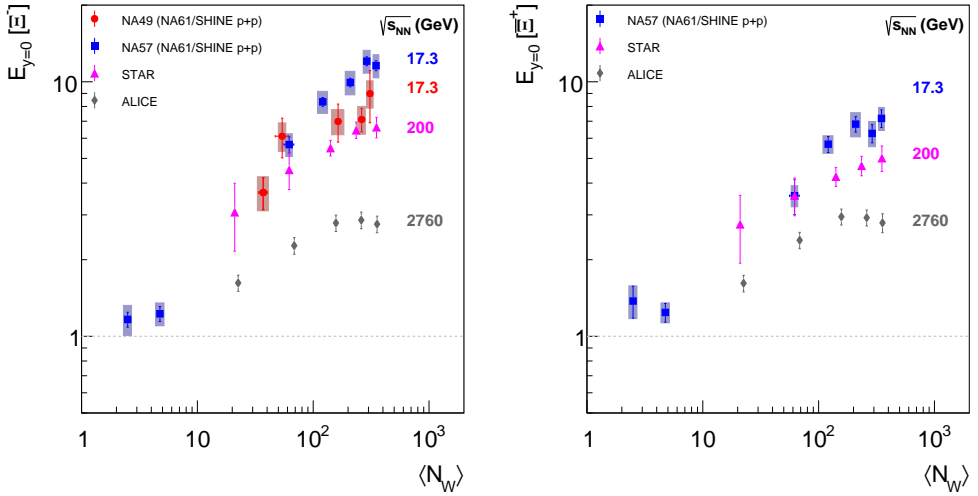
Tabela 2: Stosunki $\Xi(1530)^0$ do Ξ^- , $\bar{\Xi}(1530)^0$ do $\bar{\Xi}^+$, oraz $(\Xi(1530)^0 + \bar{\Xi}(1530)^0)$ do $(\Xi^- + \bar{\Xi}^+)$ dla wartości pospieszności bliskich 0 zmierzone w zderzeniach $p+p$ przy energii 17.3 GeV [40] i 7 TeV [24, 41]. Niepewności systematyczne stosunków zostały wyliczone przy założeniu, że niepewności krotności Ξ i $\Xi(1530)$ są niezależne.

	$\sqrt{s_{NN}} = 17.3 \text{ GeV}$	$\sqrt{s_{NN}} = 7 \text{ TeV}$
$\Xi(1530)^0 / \Xi^-$	$0.267 \pm 0.018 \pm 0.058$	
$\bar{\Xi}(1530)^0 / \bar{\Xi}^+$	$0.364 \pm 0.040 \pm 0.078$	
$\frac{\Xi(1530)^0 + \bar{\Xi}(1530)^0}{\Xi^- + \bar{\Xi}^+}$	$0.294 \pm 0.017 \pm 0.047$	$0.3241 \pm 0.0053^{+0.0325}_{-0.0275}$

W monografii przedstawiłem również porównanie rozkładów p_T dla wartości pospieszności bliskich 0 oraz rozkładów pospieszności K^+ , K^- i π^- produkowanych w 20% najbardziej centralnych zderzeń Be+Be. Przykład porównania rozkładów pędu poprzecznego cząstek produkowanych w zderzeniach Be+Be przy pędzie wiązki 150A GeV/c został przedstawiony na Rysunku 15. Wartości Krotności dodatnich koanów jest zawyżona w przewidywaniach AMPT, PHSD and EPOS, nato-

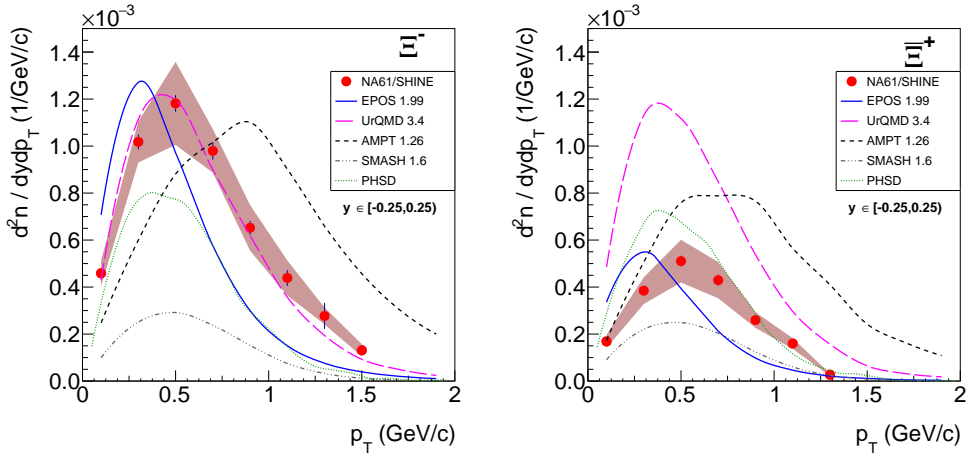


Rysunek 11: Zależność energetyczna stosunku krotności K^+/π^+ dla wartości popieszczeń bliskich 0 (*lewy*) i w pełnej akceptacji (*prawy*) dla zderzeń $p+p$, 20% najbardziej centralnych zderzeń Be+Be oraz centralnych zderzeń Pb+Pb i Au+Au. Błąd statystyczny to pionowe linie, a systematyczny to zacieniowany obszar.

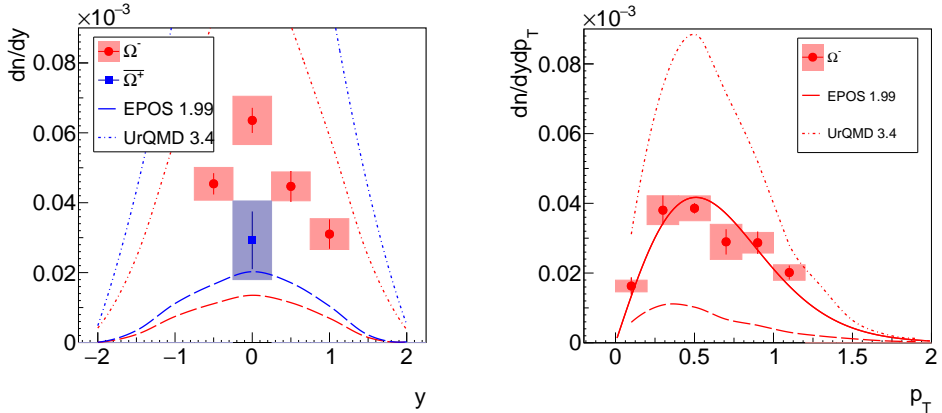


Rysunek 12: Współczynnik wzmocnienia dziwności E dla wartości popieszczeń bliskich 0 w funkcji średniej ilości zderzanych nukleonów $\langle N_W \rangle$ wyznaczony jako stosunek krotności Ξ^- (*lewy*) i Ξ^+ (*prawy*) w zderzeniach jadro-jądrowo na $\langle N_W \rangle$ podzielony przez odpowiadającą wartość zmierzoną w zderzeniach $p+p$. Czerwone punkty – NA49 Pb+Pb przy pędzie wiązki 158A GeV [26], niebieskie kwadraty – NA57 $p+Be$, $p+Pb$ and Pb-Pb przy $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV [27], różowe trójkąty – STAR Au+Au przy $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV [28], szare diamenty – ALICE Pb+Pb przy $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV [29]. Systematyczne niepewności zostały przedstawione jako zacieniowane obszary.

miast UrQMD i SMASH opisuje w przybliżeniu otrzymane wyniki. W przypadku negatywnych kaonów modele EPOS oraz SMASH opisują dobrze rozkłady p_T , nato-

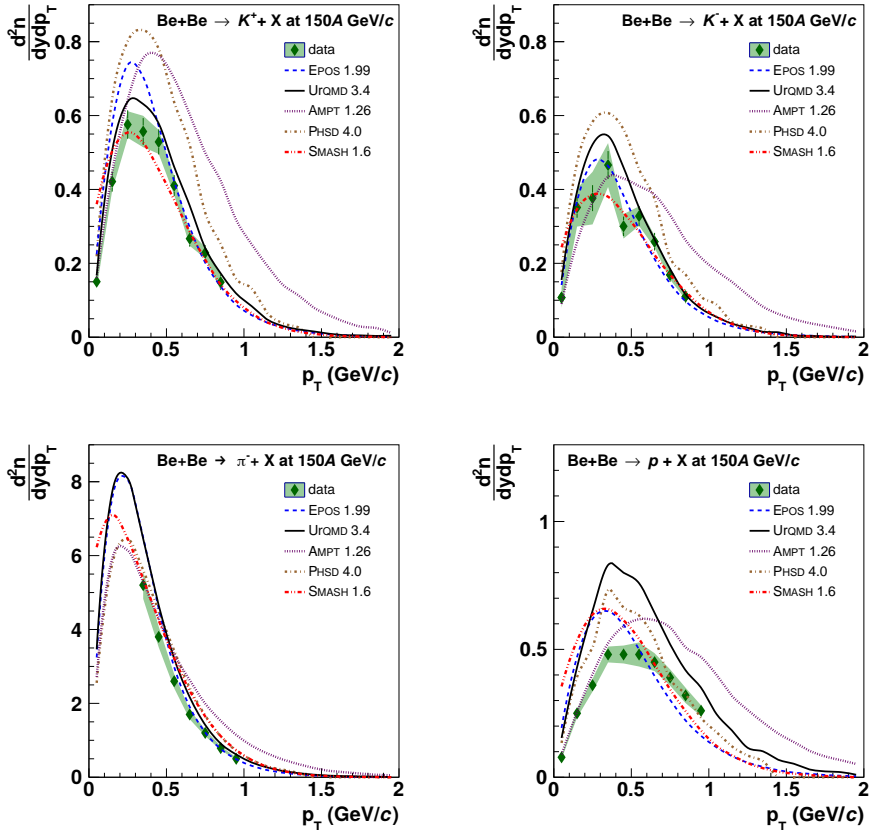


Rysunek 13: Rozkłady pędu poprzecznego w przedziale pospieszności od -0.25 do 0.25 Ξ^- (*lewy*) i Ξ^+ (*prawy*) wyprodukowanych w nieelastycznych zderzeniach $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c. Niepewności systematyczne zostały zaprezentowane jako zaciemniony obszar, a statystyczne jako pionowe linie. Przewidywania modeli UrQMD 3.4 [30, 31], EPOS 1.99 [32], AMPT 1.26 [33–35], SMASH 1.6 [36, 37] i PHSD [38, 39] zostały przedstawione odpowiednio jako różowa, niebieska, czarna, szara i zielona linia.



Rysunek 14: Rozkłady pospieszności Ω^- oraz $\bar{\Omega}^+$ (*lewy*) i pędu poprzecznego Ω^- w przedziale pospieszności od -1.5 do 1.5 (*prawy*) produkowanych w zderzeniach nieelastycznych $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c. Niepewności systematyczne pomiarów zostały przedstawione za pomocą zaciemnionych obszarów, a statystyczne to pionowe linie. Przewidywania modeli UrQMD 3.4 [30, 31], EPOS 1.99 [32] zostały przedstawione jako czerwona kropkowana linia i niebieska przerywana linia.

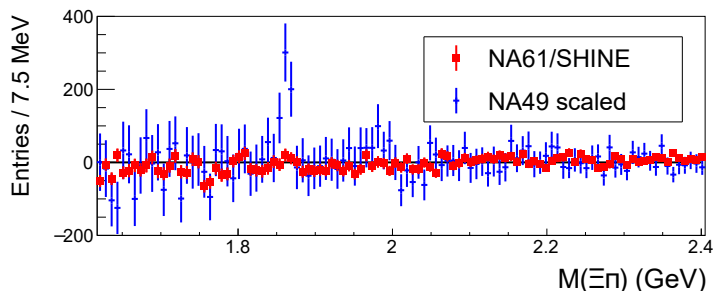
miast PHSD i AMPT zawiżają ich produkcję. Podobne zachowanie jest obserwowane w przypadku produkcji π^- . W przypadku protonów wszystkie modele zawiżają ich produkcję.



Rysunek 15: Porównanie rozkładów p_T K^+ (górnny lewy), K^- (górnny prawy), π^- (dolny lewy) i p (dolny prawy) dla wartości prędkości bliskich 0 dla 20% najbardziej centralnych zderzeń Be+Be przy pędzie wiązki 150A GeV/c z modelami: EPOS 1.99 (niebieska przerywana linia), UrQMD 3.4 (czarna linia), AMPT 1.26 (fioletowa kropkowana linia), PHSD 4.0 (brązowa kropkowo-przerywana linia) i SMASH 1.6 (czerwona przerywana podwójnie kropkowana linia).

W monografii przedstawiłem także także podjęte próby poszukiwania sygnału stanu pentakwarku $\Xi_{3/2}^{--}$, $\Xi_{3/2}^0$. Cząstki te są kandydatami na najcięższe składniki multipletu $\bar{10}$. Poszukiwanie to bazowało na badaniu możliwych kanałów rozpadu postulowanych stanów na: $\Xi^- \pi^-$, $\Xi^- \pi^+$, $\Xi^+ \pi^-$ oraz $\Xi^+ \pi^+$. W ramach przeprowadzonych badań przeprowadziłem dwie analizy optymalizujące selekcję potencjalnych kandydatów przez maksymalizację sygnału $\Xi(1530)^0$ oraz wykorzystanie kryteriów wyboru zastosowanych przez eksperyment NA49, który zaobserwował kandydatów na opisywany stan. Była to pierwsza próba poszukiwania w/w stanu przeprowadzona w zderzeniach $p+p$ (statystyka nowych danych jest mniej więcej o rząd wielkości wyższa niż danych wykorzystanych w eksperymencie NA49) przy tym samym pędzie wiązki oraz z wykorzystaniem detektora o bardzo zbliżonej akceptacji. Sygnał $\Xi_{3/2}^{--}$, $\Xi_{3/2}^0$ nie został potwierdzony. Zestawienie obu wyników zostało przedstawione na Rysunku 16.

Otrzymane krotności cząstek posłużyły także do dopasowania czterech wersji mod-



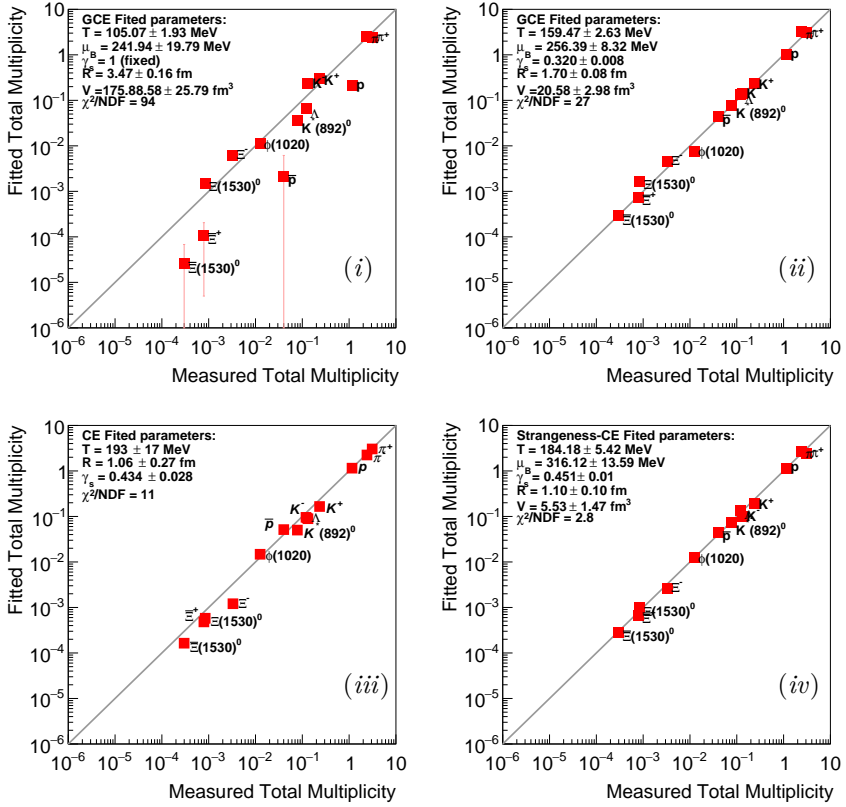
Rysunek 16: Suma rozkładów masy niezmienniczej $\Xi^- \pi^-$, $\Xi^- \pi^+$, $\Xi^+ \pi^-$, i $\Xi^+ \pi^+$ po odjęciu tła wybrane zgodnie z procedurą stosowaną w eksperymencie NA49. Czerwone punkty przedstawiają wyniki NA61/SHINE; niebieskie punkty odpowiadają znormalizowanym rozkładom otrzymanym w eksperymencie NA49 (Fig. 3b w Ref. [20]), gdzie wąski pik o masie 1860 GeV był obserwowany. Znaczącość statystyczna sygnału to 5.6 odchyień standardowych.

elu gazu hadronowego z wykorzystaniem oprogramowania THERMAL-FIST 1.3 [42]. Najlepsze rezultaty zostały otrzymane z wykorzystaniem wersji kanonicznej z wolnym parametrem odpowiedzialnym za produkcję dziwności γ_s (Rysunku 17).

Przedstawione w monografii wyniki zostały opublikowane w [40, 45, 49–51] w pracach współpracy NA61/SHINE. W publikacjach tych jestem głównym, korespondencyjnym autorem.

Literatura

- [1] H. van Hecke, H. Sorge, and N. Xu, *Evidence of early multistrange hadron freezeout in high-energy nuclear collisions*, Phys. Rev. Lett. **81**, 5764 (1998), arXiv:nucl-th/9804035.
- [2] S. A. Bass and A. Dumitru, *Dynamics of hot bulk QCD matter: From the quark gluon plasma to hadronic freezeout*, Phys. Rev. **C61**, 064909 (2000), arXiv:nucl-th/0001033.
- [3] M. He, R. J. Fries, and R. Rapp, *Ideal Hydrodynamics for Bulk and Multistrange Hadrons in $\sqrt{s_{NN}}=200$ AGeV Au-Au Collisions*, Phys. Rev. **C85**, 044911 (2012), arXiv:1112.5894.
- [4] X. Zhu *et al.*, *Hybrid model approach for strange and multistrange hadrons in 2.76A TeV Pb+Pb collisions*, Phys. Rev. **C91**, 034904 (2015), arXiv:1501.03286.
- [5] T. Hirano *et al.*, *Integrated Dynamical Approach to Relativistic Heavy Ion Collisions*, Prog. Part. Nucl. Phys. **70**, 108 (2013), arXiv:1204.5814.
- [6] W. Florkowski, *Phenomenology of Ultra-Relativistic Heavy-Ion Collisions* (World Scientific Publishing Co, 2010).
- [7] NA49-future Collaboration, N. Antoniou *et al.*, CERN Report No. SPSC-P-330. CERN-SPSC-2006-034, 2006 (unpublished), revised version submitted on 2006-11-06 12:38:20.
- [8] J. Pochodzalla *et al.*, *Probing the nuclear liquid - gas phase transition*, Phys. Rev. Lett. **75**, 1040 (1995).



Rysunek 17: Średnie krotności π^+ , π^- , K^+ , K^- , p , \bar{p} , $K^*(892)^0$, Λ , $\phi(1020)$, Ξ^- , $\bar{\Xi}^+$, $\Xi(1530)^0$ oraz $\bar{\Xi}(1530)^0$ w zderzeniach $p+p$ przy pędzie wiązki 158 GeV/c [40, 43–48] w porównaniu ze średnimi krotnościami otrzymanymi z wykorzystaniem czterech różnych wersji dopasowania Modelu Gazu Rezonansowego: Wielkiego Zespołu Kanonicznego ze stałym $\gamma_s = 1$ (i), Wielkiego Zespołu Kanonicznego z γ_s jako wolnym parametrem, Zespołu Kanonicznego z γ_s jako wolnym parametrem (iii) oraz "Zespołu Kanonicznego Dziwności" (Strangeness Canonical Ensemble) z γ_s jako wolnym parametrem (iv).

- [9] B. Andersson *et al.*, *Parton Fragmentation and String Dynamics*, Phys. Rept. **97**, 31 (1983).
- [10] V. V. Begun, M. Gazdzicki, and M. I. Gorenstein, *Power Law in Micro-Canonical Ensemble with Scaling Volume Fluctuations*, Phys. Rev. **C78**, 024904 (2008), arXiv:0804.0075.
- [11] J. Rafelski and B. Muller, *Strangeness Production in the Quark - Gluon Plasma*, Phys.Rev.Lett. **48**, 1066 (1982), [Erratum: Phys.Rev.Lett. 56, 2334 (1986)].
- [12] A. Bialas, M. Bleszynski, and W. Czyz, *Multiplicity Distributions in Nucleus-Nucleus Collisions at High-Energies*, Nucl. Phys. **B111**, 461 (1976).
- [13] M. Gazdzicki, M. Gorenstein, and P. Seyboth, *Onset of deconfinement in nucleus-nucleus collisions: Review for pedestrians and experts*, Acta Phys.Polon. **B42**, 307 (2011), arXiv:1006.1765.
- [14] K. Werner, *Strings, pomerons, and the venus model of hadronic interactions at ultrarelativistic energies*, Phys. Rept. **232**, 87 (1993).
- [15] M. Gell-Mann, *A Schematic Model of Baryons and Mesons*, Phys. Lett. **8**, 214 (1964).
- [16] H. Hogaasen and P. Sorba, *The Systematics of Possibly Narrow Quark States with Baryon Number One*, Nucl. Phys. **B145**, 119 (1978).
- [17] D. Strottman, *Multi - Quark Baryons and the MIT Bag Model*, Phys. Rev. **D20**, 748 (1979).
- [18] C. Roiesnel, *Low-energy Meson - Nucleon Scattering Analysis in the P Matrix Formalism*, Phys. Rev. **D20**, 1646 (1979).
- [19] LEPS, T. Nakano *et al.*, *Evidence for a narrow $S = +1$ baryon resonance in photoproduction from the neutron*, Phys. Rev. Lett. **91**, 012002 (2003), arXiv:hep-ex/0301020.
- [20] NA49, C. Alt *et al.*, *Observation of an exotic $S = -2$, $Q = -2$ baryon resonance in proton proton collisions at the CERN SPS*, Phys. Rev. Lett. **92**, 042003 (2004), arXiv:hep-ex/0310014.
- [21] HERA-B, K. T. Knoepfle, M. Zavertyaev, and T. Zivko, *Search for Θ^+ and $\Xi^-(3/2)$ pentaquarks in HERA-B*, J. Phys. **G30**, S1363 (2004), arXiv:hep-ex/0403020.
- [22] ZEUS, S. Chekanov *et al.*, *Search for pentaquarks decaying to Ξ - π in deep inelastic scattering at HERA*, Phys. Lett. **B610**, 212 (2005), arXiv:hep-ex/0501069.
- [23] T. Liu, Y. Mao, and B.-Q. Ma, *Present status on experimental search for pentaquarks*, Int. J. Mod. Phys. **A29**, 1430020 (2014), arXiv:1403.4455.
- [24] ALICE, B. B. Abelev *et al.*, *Production of $\Sigma(1385)^\pm$ and $\Xi(1530)^0$ in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV*, Eur. Phys. J. C **75**, 1 (2015), arXiv:1406.3206.
- [25] NA61/SHINE, N. Abgrall *et al.*, *NA61/SHINE facility at the CERN SPS: beams and detector system*, JINST **9**, P06005 (2014), arXiv:1401.4699.
- [26] NA49, T. Anticic *et al.*, *System-size dependence of Λ and Ξ production in nucleus-nucleus collisions at 40A and 158A-GeV measured at the CERN Super Proton Synchrotron*, Phys. Rev. C **80**, 034906 (2009), arXiv:0906.0469.

- [27] NA57, F. Antinori *et al.*, *Enhancement of hyperon production at central rapidity in 158-A-GeV/c Pb-Pb collisions*, J. Phys. G **32**, 427 (2006), arXiv:nucl-ex/0601021.
- [28] STAR, B. Abelev *et al.*, *Enhanced strange baryon production in Au + Au collisions compared to p + p at $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV*, Phys. Rev. C **77**, 044908 (2008), arXiv:0705.2511.
- [29] ALICE, B. B. Abelev *et al.*, *Multi-strange baryon production at mid-rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV*, Phys. Lett. B **728**, 216 (2014), arXiv:1307.5543, [Erratum: Phys.Lett.B 734, 409–410 (2014)].
- [30] S. Bass *et al.*, *Microscopic models for ultrarelativistic heavy ion collisions*, Prog.Part.Nucl.Phys. **41**, 255 (1998), arXiv:nucl-th/9803035.
- [31] M. Bleicher *et al.*, *Relativistic hadron hadron collisions in the ultrarelativistic quantum molecular dynamics model*, J.Phys. **G25**, 1859 (1999), arXiv:hep-ph/9909407.
- [32] K. Werner, *The hadronic interaction model EPOS*, Nucl. Phys. Proc. Suppl. **175-176**, 81 (2008).
- [33] Z.-W. Lin *et al.*, *Multiphase transport model for relativistic heavy ion collisions*, Phys. Rev. C **72**, 064901 (2005).
- [34] Z.-W. Lin, *Evolution of transverse flow and effective temperatures in the parton phase from a multiphase transport model*, Phys. Rev. C **90**, 014904 (2014).
- [35] B. Zhang *et al.*, *Multiphase transport model for relativistic nuclear collisions*, Phys. Rev. C **61**, 067901 (2000).
- [36] J. Mohs, S. Ryu, and H. Elfner, *Particle Production via Strings and Baryon Stopping within a Hadronic Transport Approach*, J. Phys. G **47**, 065101 (2020), arXiv:1909.05586.
- [37] J. Weil *et al.*, *Particle production and equilibrium properties within a new hadron transport approach for heavy-ion collisions*, Phys. Rev. C **94**, 054905 (2016), arXiv:1606.06642.
- [38] W. Cassing and E. Bratkovskaya, *Parton-Hadron-String Dynamics: an off-shell transport approach for relativistic energies*, Nucl. Phys. A **831**, 215 (2009), arXiv:0907.5331.
- [39] W. Cassing and E. Bratkovskaya, *Parton transport and hadronization from the dynamical quasiparticle point of view*, Phys. Rev. C **78**, 034919 (2008), arXiv:0808.0022.
- [40] NA61/SHINE, A. Aduszkiewicz *et al.*, *Measurements of Ξ^- and Ξ^+ production in proton-proton interactions at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV in the NA61/SHINE experiment*, Eur. Phys. J. C **80**, 833 (2020), arXiv:2006.02062.
- [41] ALICE, B. Abelev *et al.*, *Multi-strange baryon production in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV with ALICE*, Phys. Lett. B **712**, 309 (2012), arXiv:1204.0282.
- [42] V. Vovchenko and H. Stoecker, *Thermal-FIST: A package for heavy-ion collisions and hadronic equation of state*, Comput. Phys. Commun. **244**, 295 (2019), arXiv:1901.05249.
- [43] NA61/SHINE, N. Abgrall *et al.*, *Measurement of negatively charged pion spectra in inelastic p+p interactions at $p_{lab} = 20, 31, 40, 80$ and 158 GeV/c*, Eur.Phys.J. **C74**, 2794 (2014), arXiv:1310.2417.

- [44] NA61/SHINE, A. Aduszkiewicz *et al.*, *Measurements of π^\pm , K^\pm , p and \bar{p} spectra in proton-proton interactions at 20, 31, 40, 80 and 158 GeV/c with the NA61/SHINE spectrometer at the CERN SPS*, Eur. Phys. J. C **77**, 671 (2017), arXiv:1705.02467.
- [45] NA61/SHINE, A. Aduszkiewicz *et al.*, *Proton-Proton Interactions and Onset of Deconfinement*, Phys. Rev. C **102**, 011901 (2020), arXiv:1912.10871.
- [46] NA61/SHINE, A. Aduszkiewicz *et al.*, *$K^*(892)^0$ meson production in inelastic $p+p$ interactions at 158 GeV/c beam momentum measured by NA61/SHINE at the CERN SPS*, Eur. Phys. J. C **80**, 460 (2020), arXiv:2001.05370.
- [47] NA61/SHINE, A. Aduszkiewicz *et al.*, *Measurement of ϕ meson production in $p+p$ interactions at 40, 80 and 158 GeV/c with the NA61/SHINE spectrometer at the CERN SPS*, Eur. Phys. J. C **80**, 199 (2020), arXiv:1908.04601.
- [48] NA61/SHINE, A. Aduszkiewicz *et al.*, *Production of Λ -hyperons in inelastic $p+p$ interactions at 158 GeV/c*, Eur. Phys. J. C **76**, 198 (2016), arXiv:1510.03720.
- [49] NA61/SHINE, A. Acharya *et al.*, *Measurements of π^\pm , K^\pm , p and \bar{p} spectra in ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$ collisions at beam momenta from 19A to 150A GeV/c with the NA61/SHINE spectrometer at the CERN SPS*, (2020), arXiv:2010.01864.
- [50] NA61/SHINE, A. Aduszkiewicz *et al.*, *Search for an Exotic $S = -2, Q = -2$ baryon resonance in proton-proton interactions at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV*, Phys. Rev. D **101**, 051101 (2020), arXiv:1912.12198.
- [51] NA61/SHINE, A. Acharya *et al.*, *Measurements of $\Xi(1530)^0$ and $\bar{\Xi}(1530)^0$ production in proton-proton interactions at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV in the NA61/SHINE experiment*, Eur. Phys. J. C **81**, 911 (2021), arXiv:2105.09144.

5. **Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.**

Autor korespondencyjny/główny publikacji (współpraca fizyków NA61/SHINE przyjęła zasadę, że lista autorów wszystkich publikacji jest alfabetyczna):

- [1] A. Acharya *et al.* [NA61/SHINE], “Measurements of $\Xi(1530)^0$ and $\bar{\Xi}(1530)^0$ production in proton–proton interactions at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV in the NA61/SHINE experiment,” Eur. Phys. J. C **81** (2021) no.10, 911 doi:10.1140/epjc/s10052-021-09631-6 [arXiv:2105.09144 [nucl-ex]].
- [2] A. Acharya *et al.* [NA61/SHINE], “Measurements of π^\pm , K^\pm , p and \bar{p} spectra in ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$ collisions at beam momenta from 19A to 150A GeV/c with the NA61/SHINE spectrometer at the CERN SPS,” Eur. Phys. J. C **81** (2021) no.1, 73 doi:10.1140/epjc/s10052-020-08733-x [arXiv:2010.01864 [hep-ex]].
- [3] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], “Measurements of Ξ^- and $\bar{\Xi}^+$ production in proton-proton interactions at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV in the NA61/SHINE experiment,” Eur. Phys. J. C **80** (2020) no.9, 833 doi:10.1140/epjc/s10052-020-8381-0 [arXiv:2006.02062 [nucl-ex]].

- [4] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], “Search for an Exotic $S = -2, Q = -2$ baryon resonance in proton-proton interactions at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV,” *Phys. Rev. D* **101** (2020) no.5, 051101 doi:10.1103/PhysRevD.101.051101 [arXiv:1912.12198 [hep-ex]].
- [5] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], “Proton-Proton Interactions and Onset of Deconfinement,” *Phys. Rev. C* **102** (2020) no.1, 011901 doi:10.1103/PhysRevC.102.011901 [arXiv:1912.10871 [hep-ex]].
- [6] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], “Measurements of π^\pm , K^\pm , p and \bar{p} spectra in proton-proton interactions at 20, 31, 40, 80 and 158 GeV/c with the NA61/SHINE spectrometer at the CERN SPS,” *Eur. Phys. J. C* **77** (2017) no.10, 671 doi:10.1140/epjc/s10052-017-5260-4 [arXiv:1705.02467 [nucl-ex]].

Publikacje pokonferencyjne:

- [1] S. Pulawski [NA61/SHINE], “Multi-strange hadron production in $p+p$ interactions at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV,” *EPJ Web Conf.* **259** (2022), 11005 doi:10.1051/epjconf/202225911005
- [2] S. Pulawski and S. Kowalski, “Particle Production Properties at SPS Energy Range — Recent Results from the NA61/SHINE Experiment,” *Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement* **14** (2021) no.3, 567-571 doi:10.5506/APhysPolBSupp.14.567
- [3] S. Pulawski [NA61/SHINE], “Recent Results from NA61/SHINE,” *Springer Proc. Phys.* **250** (2020), 37-45 doi:10.1007/978-3-030-53448-6_5
- [4] S. Pulawski [NA61/SHINE], “Spectra and multiplicities from NA61/SHINE,” *PoS CPOD2017* (2018), 017 doi:10.22323/1.311.0017
- [5] S. Pulawski, “Recent results from the strong interactions program of NA61/SHINE,” *EPJ Web Conf.* **164** (2017), 07033 doi:10.1051/epjconf/201716407033 [arXiv:1705.02462 [nucl-ex]].
- [6] S. Pulawski [NA61/SHINE], “Physics Beyond Collider-Future NA61,” *Acta Phys. Polon. B* **48** (2017), 2297 doi:10.5506/APhysPolB.48.2297
- [7] S. Pulawski [NA61/SHINE], “Recent results from NA61/SHINE,” *Acta Phys. Polon. B* **46** (2015) no.11, 2381 doi:10.5506/APhysPolB.46.2381 [arXiv:1510.07794 [nucl-ex]].
- [8] S. Pulawski [NA61], “Energy dependence of hadron spectra and multiplicities in $p + p$ interactions,” *PoS CPOD2014* (2015), 010 doi:10.22323/1.217.0010 [arXiv:1502.07916 [nucl-ex]].
- [9] S. Pulawski [NA61/SHINE], “Identified hadron spectra in $p+p$ interactions at 20, 31, 40, 80 and 158 GeV/c from NA61/SHINE at the CERN SPS,” *PoS CPOD2013* (2013), 056 doi:10.22323/1.185.0056

Koordinacja pracy/członek komitetów redakcyjnych publikacji:

- [1] A. Acharya *et al.* [NA61/SHINE], “ $K^*(892)^0$ meson production in inelastic $p+p$ interactions at 40 and 80 GeV/c beam momenta measured by NA61/SHINE at the CERN SPS,” *Eur. Phys. J. C* **82** (2022) no.4, 322 doi:10.1140/epjc/s10052-022-10281-5 [arXiv:2112.09506 [nucl-ex]]. **Członek komitetu**

- [2] A. Acharya *et al.* [NA61/SHINE], “ K_S^0 meson production in inelastic $p+p$ interactions at 158 GeV/c beam momentum measured by NA61/SHINE at the CERN SPS,” *Eur. Phys. J. C* **82** (2022) no.1, 96 doi:10.1140/epjc/s10052-021-09976-y [arXiv:2106.07535 [hep-ex]]. **Koordinator prac**
- [3] A. Acharya *et al.* [NA61/SHINE], “Measurements of π^- production in ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$ collisions at beam momenta from 19A to 150A GeV/c in the NA61/SHINE experiment at the CERN SPS,” *Eur. Phys. J. C* **80** (2020) no.10, 961 [erratum: *Eur. Phys. J. C* **81** (2021) no.2, 144] doi:10.1140/epjc/s10052-020-08514-6 [arXiv:2008.06277 [nucl-ex]]. Korespondencyjny autor publikacji i autor części analiz. **Członek komitetu**
- [4] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], “Two-particle correlations in azimuthal angle and pseudorapidity in central ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$ collisions at the CERN Super Proton Synchrotron,” *Eur. Phys. J. C* **80** (2020) no.12, 1151 doi:10.1140/epjc/s10052-020-08675-4 [arXiv:2006.02153 [nucl-ex]]. **Koordinator prac**
- [5] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], “ $K^*(892)^0$ meson production in inelastic $p+p$ interactions at 158 GeV/c beam momentum measured by NA61/SHINE at the CERN SPS,” *Eur. Phys. J. C* **80** (2020) no.5, 460 doi:10.1140/epjc/s10052-020-7955-1 [arXiv:2001.05370 [nucl-ex]]. **Koordinator prac**

Pozostałe publikacje (praca w grupie analizy danych, dozowanie zbierania danych, obsługa detektora eksperymentu)

- [1] M. Urbaniak, S. Kowalski, S. Puławski, Y. Balkova, A. Makhnev, F. Guber, D. Serebryakov and J. Kulawik, *PoS PANIC2021* (2022), 085 doi:10.22323/1.380.0085
- [2] V. Abgaryan *et al.* [MPD], [arXiv:2202.08970 [physics.ins-det]].
- [3] M. Bielewicz, A. Bancer, M. Barabanov, A. Chlopik, M. Czarnynoga, D. Dabrowski, A. Dudzinski, A. Dziedzic, M. Grodzicka-Kobylka and J. Grzyb, *et al.* *JINST* **16** (2021) no.11, P11035 doi:10.1088/1748-0221/16/11/P11035
- [4] A. Acharya *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **81** (2021) no.5, 397 doi:10.1140/epjc/s10052-021-09135-3 [arXiv:2101.08494 [hep-ex]].
- [5] A. Makhnev, F. Guber, D. Serebryakov, S. Puławski and S. Kowalski, *J. Phys. Conf. Ser.* **1690** (2020) no.1, 012050 doi:10.1088/1742-6596/1690/1/012050
- [6] A. Acharya *et al.* [NA61/SHINE], *Phys. Rev. D* **103** (2021) no.1, 012006 doi:10.1103/PhysRevD.103.012006 [arXiv:2010.11819 [hep-ex]].
- [7] A. Acharya *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **81** (2021) no.5, 384 doi:10.1140/epjc/s10052-021-09107-7 [arXiv:2009.01943 [nucl-ex]].
- [8] S. Kowalski *et al.* [NA61], *Acta Phys. Polon. B* **50** (2019), 1765-1770 doi:10.5506/APhysPolB.50.1765 [arXiv:1911.01398 [nucl-ex]].
- [9] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], *Phys. Rev. D* **100** (2019) no.11, 112004 doi:10.1103/PhysRevD.100.112004 [arXiv:1909.06294 [hep-ex]].
- [10] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], *Phys. Rev. D* **100** (2019) no.11, 112001 doi:10.1103/PhysRevD.100.112001 [arXiv:1909.03351 [hep-ex]].

- [11] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **80** (2020) no.3, 199 doi:10.1140/epjc/s10052-020-7675-6 [arXiv:1908.04601 [nucl-ex]].
- [12] R. Alemany, C. Burrage, H. Bartosik, J. Bernhard, J. Boyd, M. Brugger, M. Calviani, C. Carli, N. Charitonidis and D. Curtin, *et al.* [arXiv:1902.00260 [hep-ex]].
- [13] A. Dainese *et al.* [QCD Working Group], [arXiv:1901.04482 [hep-ex]].
- [14] A. Abada *et al.* [FCC], *Eur. Phys. J. ST* **228** (2019) no.5, 1109-1382 doi:10.1140/epjst/e2019-900088-6
- [15] A. Abada *et al.* [FCC], *Eur. Phys. J. ST* **228** (2019) no.4, 755-1107 doi:10.1140/epjst/e2019-900087-0
- [16] A. Abada *et al.* [FCC], *Eur. Phys. J. ST* **228** (2019) no.2, 261-623 doi:10.1140/epjst/e2019-900045-4
- [17] A. Abada *et al.* [FCC], *Eur. Phys. J. C* **79** (2019) no.6, 474 doi:10.1140/epjc/s10052-019-6904-3
- [18] N. Abgrall *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **79** (2019) no.2, 100 doi:10.1140/epjc/s10052-019-6583-0 [arXiv:1808.04927 [hep-ex]].
- [19] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], *Phys. Rev. D* **98** (2018) no.5, 052001 doi:10.1103/PhysRevD.98.052001 [arXiv:1805.04546 [hep-ex]].
- [20] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **77** (2017) no.9, 626 doi:10.1140/epjc/s10052-017-5184-z [arXiv:1705.08206 [nucl-ex]].
- [21] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **77** (2017) no.2, 59 doi:10.1140/epjc/s10052-017-4599-x [arXiv:1610.00482 [nucl-ex]].
- [22] N. Abgrall *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **76** (2016) no.11, 617 doi:10.1140/epjc/s10052-016-4440-y [arXiv:1603.06774 [hep-ex]].
- [23] A. Damyanova, A. Bravar, Y. Karadzhev, A. Grzeszcuk, E. Kaptur, S. Kowalski, S. Pulawski, S. Corrodi and R. Gredig, *PoS PhotoDet2015* (2016), 010 doi:10.22323/1.252.0010
- [24] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **76** (2016) no.4, 198 doi:10.1140/epjc/s10052-016-4003-2 [arXiv:1510.03720 [hep-ex]].
- [25] N. Abgrall *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **76** (2016) no.2, 84 doi:10.1140/epjc/s10052-016-3898-y [arXiv:1510.02703 [hep-ex]].
- [26] A. Aduszkiewicz *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **76** (2016) no.11, 635 doi:10.1140/epjc/s10052-016-4450-9 [arXiv:1510.00163 [hep-ex]].
- [27] N. Abgrall *et al.* [NA61], *JINST* **9** (2014), P06005 doi:10.1088/1748-0221/9/06/P06005 [arXiv:1401.4699 [physics.ins-det]].
- [28] N. Abgrall *et al.* [NA61/SHINE], *Eur. Phys. J. C* **74** (2014) no.3, 2794 doi:10.1140/epjc/s10052-014-2794-6 [arXiv:1310.2417 [hep-ex]].
- [29] N. Abgrall *et al.* [NA61/SHINE], *Phys. Rev. C* **89** (2014) no.2, 025205 doi:10.1103/PhysRevC.89.025205 [arXiv:1309.1997 [physics.acc-ph]].
- [30] N. Abgrall *et al.* [NA61/SHINE], *Nucl. Instrum. Meth. A* **701** (2013), 99-114 doi:10.1016/j.nima.2012.10.079 [arXiv:1207.2114 [hep-ex]].
- [31] M. Rybczynski *et al.* [NA61/SHINE], *PoS ConfinementX* (2012), 207 doi:10.22323/1.171.0207 [arXiv:1301.3360 [nucl-ex]].

- [32] N. Abgrall *et al.* [NA61/SHINE], Phys. Rev. C **85** (2012), 035210 doi:10.1103/PhysRevC.85.035210 [arXiv:1112.0150 [hep-ex]].

Najważniejsze wystąpienia konferencyjne (głównie wystąpienia plenarne i zaproszone):

- (a) International Conference on Strangeness in Quark Matter (SQM 2022), Busan, Korea, “Recent results from SHINE”. **Referat plenarny, zaproszony**
- (b) International Conference on Strangeness in Quark Matter (SQM 2021) “Multi-strange hadron production in $p+p$ interactions at $\sqrt{s_{NN}} = 17.3$ GeV”. **Referat zaproszony**
- (c) European Physical Society conference on high energy physics 2021 (EPS-HEP 2021), Online “News from the NA61/SHINE strong interactions program at CERN SPS”. **Referat**
- (d) 19th International Conference on Hadron Spectroscopy and Structure in memoriam Simon Eidelman (HADRON 2021), Mexico, “Particle spectra measurements from NA61/SHINE strong interactions program”. **Referat zaproszony**
- (e) International Conference on Strangeness in Quark Matter (SQM 2019), Bari, Italy “Recent results from NA61/SHINE” **Referat plenarny, zaproszony.**
- (f) Open session of SPS and PS Experiments Committee (SPSC) “NA61/SHINE Status 2018”. **Referat plenarny**
- (g) International conference on Critical Point and Onset of Deconfinement (CPOD 2017), Stony Brook, USA “Spectra and multiplicities from NA61/SHINE”. **Referat plenarny, zaproszony**
- (h) International conference on Critical Point and Onset of Deconfinement (CPOD 2014), Bielefeld, Germany (invited speaker) “Energy dependence of hadron spectra and multiplicities in $p+p$ interactions”. **Referat plenarny, zaproszony**
- (i) Matter To The Deepest Recent Developments In Physics Of Fundamental Interactions XLI International Conference of Theoretical Physics, Podlesice, Polska Physics beyond collider - future NA61”. **Referat plenarny, zaproszony**
- (j) 12th International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP 2015), Lanzhou, China “Strangeness production in $p+p$ interactions at 20, 31, 40, 80, and 158 GeV/c from NA61/SHINE at the CERN SPS”. **Referat plenarny**

Inne istotne informacje:

- (a) Trzy miesięczny staż w Niemczech, Institut für Kernphysik Goethe-Universität Frankfurt am Main 2015 rok (luty-maj).
- (b) Wielokrotne wyjazdy do Szwajcarii, CERN, (długość wyjazdów od tygodnia do trzech miesięcy) od 2013 roku do dziś - dozоровanie zbierania danych , koordynowanie zbierania danych, prace eksperckie i obsługa detektora
- (c) Kierownik grantów:

- ETIUDA-2, "Analiza produkcji zidentyfikowanych hadronów w zderzeniach $p+p$ w zakresie pędów wiązki 13-158 GeV/c", NCN UMO-2014/12/T/ST2/00692, 2014-2015
 - PRELUDIUM-6, "Analiza produkcji zidentyfikowanych hadronów w zderzeniach $p+p$ w zakresie pędów wiązki 13-158 GeV/c", NCN UMO-2013/11/N/ST2/03879, 2014-2016
- (d) Wykonawca w grantach:
- GRIEG, "Badanie produkcji powabu w zderzeniach ciężkich jonów"
 - BEETHOVEN, "Pomiary przekrojów czynnych w procesach fragmentacji niezbędne do interpretacji oddziaływań promieniowania kosmicznego wędrującego przez Galaktykę"
 - HARMONIA, "Badania zderzeń proton-proton, hadron-jądro oraz jądro-jądro przy relatywistycznych energiach w ramach eksperymentu NA61/SHINE przy CERN SPS"
 - HARMONIA, "Badanie zderzeń proton-proton, hadron-jądro oraz jądro-jądro przy relatywistycznych energiach w ramach eksperymentu NA61/SHINE przy CERN SPS - II etap"
- (e) Pełnione funkcje we współpracy NA61/SHINE:
- Zastępca koordynatora do spraw modernizacji detektora eksperymentu NA61/SHINE.
 - Zastępca koordynatora grupy NA61/SHINE z Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.
 - Koordynator do spraw wiązki i detektorów wiązki eksperymentu NA61/SHINE.
 - Koordynator grupy oprogramowania w latach 2020-2021.
 - Koordynator grupy zajmującej się identyfikacją naładowanych hadronów w latach 2018-2019.
 - Koordynator działań prowadzących do przygotowania programu eksperymentu NA61/SHINE po 2020 roku oraz addendum do istniejącego programu eksperymentalnego.
- (f) Członek komitetu organizacyjnego konferencji "The International Conference on Critical Point and Onset of Deconfinement" - CPOD 2020 - konferencja online (March 15 – March 19, 2021).
- (g) Członek komitetu organizacyjnego "NA61/SHINE Analysis / Software / Calibration Meeting" - Chorzów, Polska (May 27 - May 31, 2019)
- (h) Członek komitetu organizacyjnego "NA61/SHINE Beyond 2020 Workshop" - Genewa, Szwajcaria (July 26 -July 28, 2017)
- (i) Członek grupy CERN Physics Beyond Collider.
- (j) Członek kolaboracji MPD NICA do 2022 roku - obecnie działalność ta została zawieszona.
- 6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.**
- Promotor 4 prac magisterskich, 7 licencjackich i 18 inżynierskich realizowanych w Uniwersytecie Śląskim

- Promotor pomocniczy rozprawy doktorskiej.
- Zastępca dyrektora kierunków fizyka, biofizyka, fizyka medyczna i mikro i nanotechnologia.
- Współautor programu kształcenia dla specjalności studiów drugiego stopnia na kierunku fizyka.
- Członek Wydziałowej Komisji Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych do spraw kształcenia.
- Zastępca przewodniczącego komisji do spraw kształcenia kierunków fizyka, biofizyka, fizyka medyczna i mikro i nanotechnologia.
- Członek zespołu do spraw zapewnienia jakości kształcenia na kierunku informatyka stosowana w latach 2019-2020, WNŚiT, UŚ.
- Organizator Akademii CISCO w ramach Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.
- Koordynator praktyk studenckich na kierunku informatyka stosowana
- Wykładowca w ramach "Święta liczby Pi" oraz Dni Otwartych Instytutu Fizyki, UŚ.

Prowadzone zajęcia/przedmioty ze studentami:

- Sieci komputerowe - koordynator, wykład, laboratoria: 2015-2022 na kierunkach Informatyka stosowana i Fizyka Techniczna
- Moduł kierunkowy do wyboru - bezpieczeństwo sieci komputerowych - koordynator, wykład, laboratoria 2017-2022 na kierunku Informatyka Stosowana
- Moduł kierunkowy do wyboru - kurs c++ - koordynator, wykład 2018-2022 na kierunku Informatyka Stosowana
- Programowanie - koordynator, wykład, laboratorium 2021/2022 na kierunku Fizyka Medyczna
- Computer Programming - koordynator, wykład, laboratorium 2021/2022 na kierunku Fizyka
- Technology in social media - koordynator, wykład, laboratorium 2021/2022 w Szkole Filmowej im. Krzysztofa Kieślowskiego
- Wstęp do programowania cz. 1 - koordynator, wykład na kierunku mikro i nanotechnologia
- Technologia informacyjna (cz.2) - laboratorium 2011/2012 na kierunku dziennikarstwo
- Programowanie - CZ.2 - laboratorium 2012-2014 na kierunku informatyka
- Zastosowanie informatyki w medycynie - laboratorium 2012/2013 na kierunku Fizyka Medyczna
- Programowanie - CZ.1 - laboratorium 2013/2014 na kierunku fizyka
- Bazy danych - laboratorium 2014/2015 na kierunku informatyka
- Systemy operacyjne - laboratorium 2014/2015 na kierunku informatyka
- Kurs projektowania i administracji systemami zarządzania treścią - laboratorium 2014/2015 na kierunku informatyka

- Proseminarium - seminarium 2015/2016 na kierunku informatyka
 - Kurs administrowania bazami danych - laboratorium 2015/2016 na kierunku informatyka
 - Użytkowanie oprogramowania inżynierskiego - laboratorium 2015/2016 na kierunku informatyka stosowana
 - Pracowania dyplomowa, seminarium dyplomowe, wykonanie pracy dyplomowej, przygotowanie do egzaminu dyplomowego - laboratorium 2017/2018 na kierunku Fizyka Techniczna
 - Podstawy użytkowania systemów komputerowych - laboratorium 2018/2019 na kierunku Informatyka stosowana
 - Środowiska i narzędzia wytwarzania oprogramowania - laboratorium 2019/2020 na kierunku Informatyka stosowana
 - Tutoring ekspercki - tutoring 2019-2022 w ramach Szkoły Doktorskiej UŚ
 - Przedmiot B związany ze specjalnością - Systemy operacyjne i sieci komputerowe - Wykład 2021/22 na kierunku chemia
7. **Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.**

—

.....
(podpis wnioskodawcy)