

INTERNATIONAL MASTERCLASSES HANDS ON PARTICLE PHYSICS

Masterclasses: Warsztaty z fizyki cząstek

Politechnika Warszawska



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Wzmocnienie dziwności

Wzmocnienie dziwności = sygnatura plazmy kwarkowo-gluonowej.

Teoretycy twierdzą, że więcej cząstek dziwnych powinno powstawać w zderzeniach ciężkich jonów (podzielonych przez liczbę zderzeń elementarnych), gdzie powstaje plazma kwarkowo-gluonowa, niż w zderzeniach proton-proton.

Jak sprawdzić? **Policzyć cząstki dziwne zarówno w zderzeniach ołów-ołów jak i proton-proton.**



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Use of Event Display at the Control Room



2009/11/23



A Large Ion Collider Experiment



Event display at the ALICE Control Room (LHC Point 2) - 2024

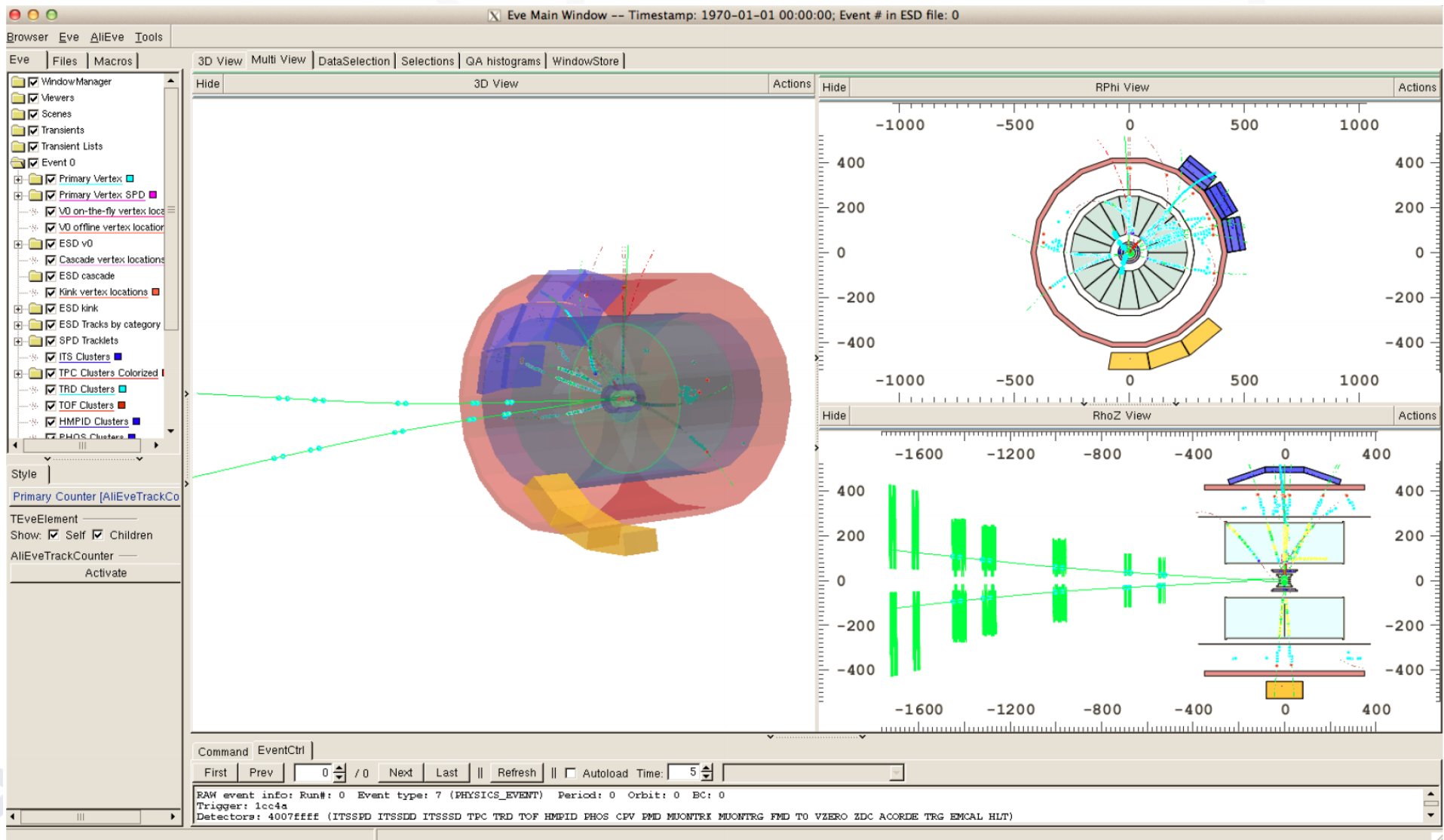


Wydział
Fizyki

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



hands on particle physics

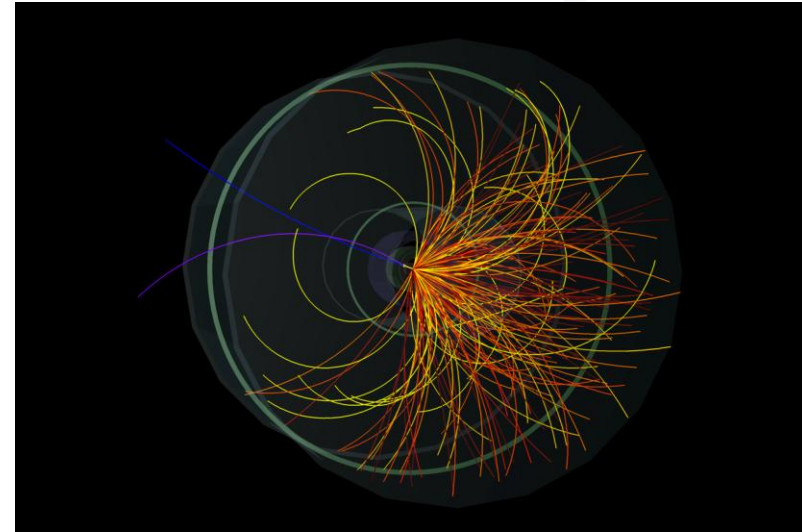


**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Analiza wizualna

- „Demo”. Zderzenia proton-proton.
- Czym są V0?
- Ślady cząstek w detektorze.
- Różne cząstki:
kaony, lambdy, anty-lambdy.
- Obsługa programu.
- Liczymy cząstki!
- Zderzenia ołów-ołów



$\Lambda \rightarrow p\pi^-$

<https://alice-web-masterclass.app.cern.ch/>

Student #: nr komputera

Hasło: warsaw1

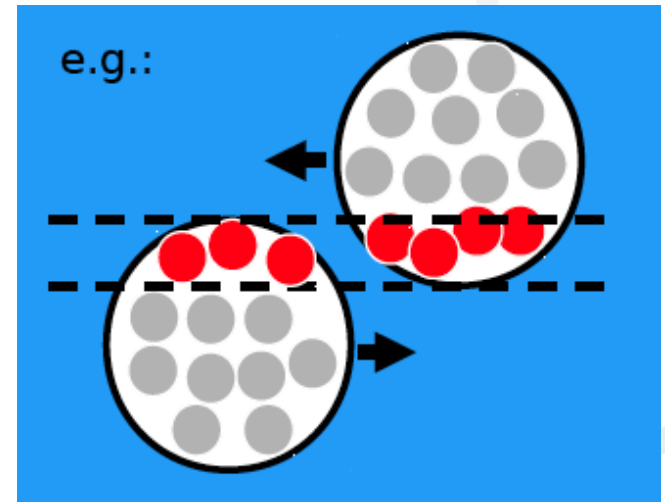


**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Analiza Pb-Pb w binach centralności

- „Wysoka statystyka”
- Dopasowujemy tło (funkcja kwadratowa)
- Dopasowujemy sygnał (Gauss)
- Szukamy liczby cząstek dziwnych:
wynik = całość - tło
- Różne zespoły analizują różne centralności



<https://alice-web-masterclass.app.cern.ch/>



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Szukamy liczby cząstek dziwnych: wynik (sygnał) = całość - tło



Navigation

Particle Type
Kaon

Collision & Centrality
Pb-Pb 30%-40%

Plot Invariant mass

Fit

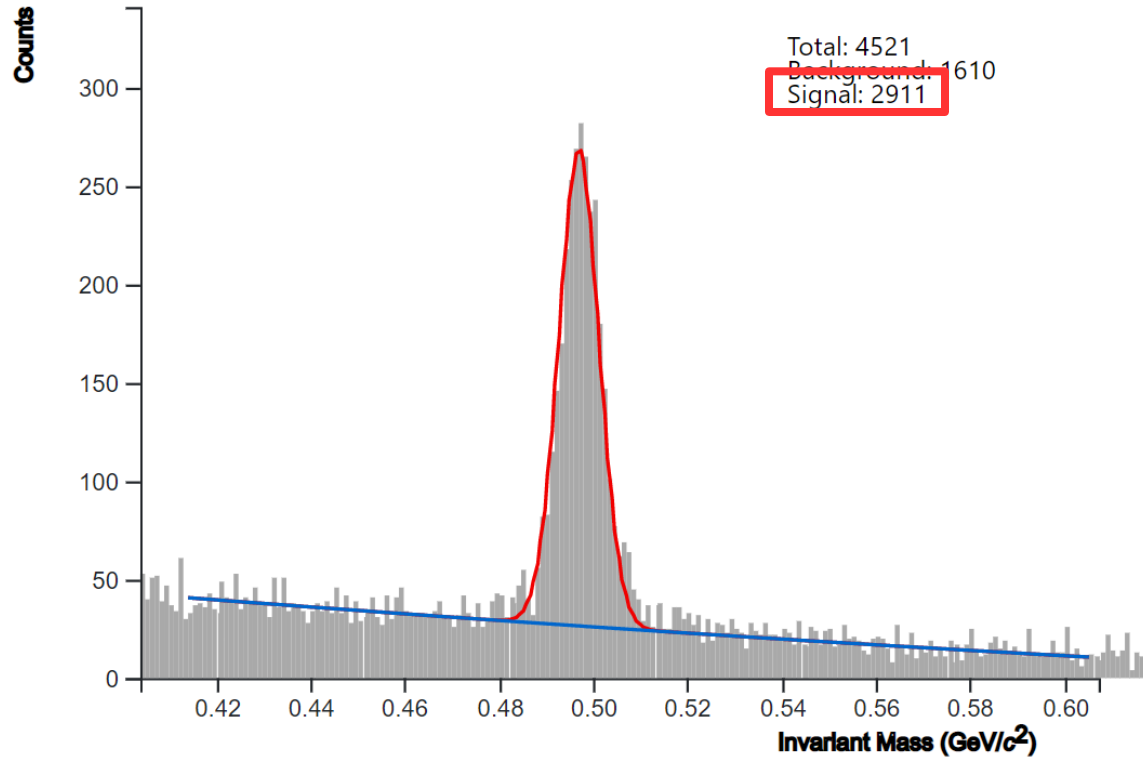
Signal range
0.478 0.544

Background range
0.414 0.607

Fit

Accept

Large Scale Analysis



Wydział
Fizyki

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

centrality	<Npart>	Nevents	NKs	efficiency Ks	yield Ks	Ks enhancement
0-10	360	213		0.26	81.44	1.81
10-20	260	290		0.26	58.34	1.80
20-30	186	302		0.29	40.16	1.73
30-40	129	310		0.29	31.07	1.93
40-50	85	302		0.29	24.49	2.31
50-60	52	300		0.29	8.12	1.25
60-70	30	315		0.35	3.20	0.85
70-80	16	350		0.26	1.70	0.85

znane
dane
wasz pomiar
dane
obliczone

Wydajność (efficiency) = $N_{\text{cząstek}}(\text{zmiierzonych})/N_{\text{cząstek}}(\text{wyprodukowanych})^*$

*wartości wydajności : uzyskane z wyników badań przeprowadzonych przez eksperyment

Uzysk : liczba cząstek wyprodukowanych w pojedynczym zderzeniu

Uzysk (yield) = $N_{\text{cząstek}}(\text{wyprodukowanych})/N_{\text{events}} = N_{\text{cząstek}}(\text{zmiierzonych})/(\text{wydajność} \times N_{\text{zderzeń}})$

Wzmocnienie dziwności (enhancement): uzysk cząstek dziwnych podzielony przez liczbę nukleonów partycypujących w zderzeniu oraz przez uzysk cząstek dziwnych w zderzeniach proton-proton*.

Uzysk K_s (pp) = 0.25 /zderzenie ; Uzysk Λ (pp) = 0.0617 /zderzenie ; $\langle N_{\text{part}} \rangle = 2$ dla pp

*Uzysk w pp dla 2.76 TeV na podstawie interpolacji wyników z 900 GeV i 7 TeV



centrality	<Npart>	Nevents	NKs	efficiency Ks	yield Ks	Ks enhancement
0-10	360	213		0.26	81.44	1.81
10-20	260	290		0.26	58.34	1.80
20-30	186	302		0.29	40.16	1.73
30-40	129	310		0.29	31.07	1.93
40-50	85	302		0.29	24.49	2.31
50-60	52	300		0.29	8.12	1.25
60-70	30	315		0.35	3.20	0.85
70-80	16	350		0.26	1.70	0.85

↑↑ known
↑↑ given
↑↑ measured
↑↑ given
↑↑ calculated

Efficiency = Nparticles(measured)/Nparticles(produced)*

*assumption on efficiency values : to match yields in Analysis Note
Measurement of Ks and Λ spectra and yields in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV with the ALICE experiment

Yield : number of particles produced per interaction

Yield = Nparticles(produced)/Nevents = Nparticles(measured)/(efficiency x Nevents)

Strangeness enhancement: the particle yield normalised by the number of participating nucleons in the collision, and divided by the yield in proton-proton collisions*

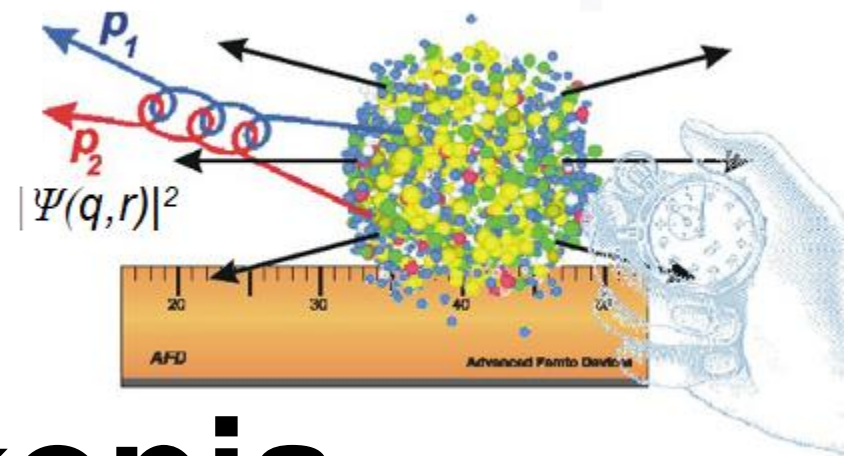
K_s -Yield (pp) = 0.25 /interaction ; Λ -Yield(pp) = 0.0617 /interaction ; $\langle N_{part} \rangle = 2$ for pp

*pp yields at 2.76 TeV from interpolation between 900 GeV and 7 TeV
Analysis Note "Ks, Λ and anti Λ production in pp collisions at 7 TeV"



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



Femtoskopia (metoda HBT)

<https://alice-femtoanalysis-masterclass.app.cern.ch/>



Wydział
Fizyki

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

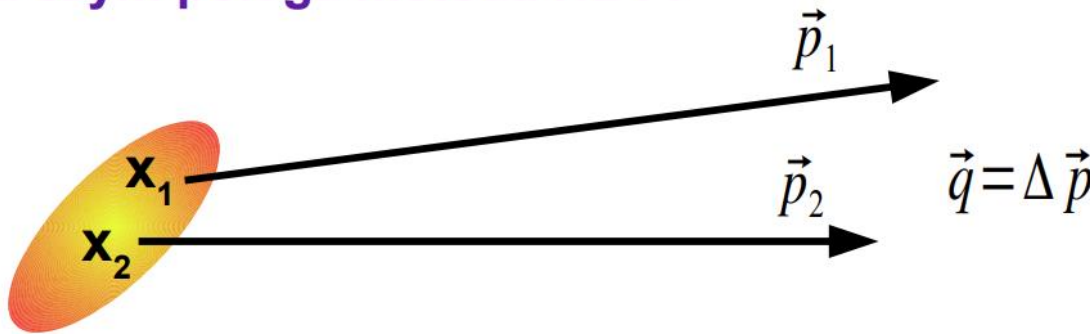
INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

Interferencja – dobrze znane zjawisko związane z superpozycją dwóch lub więcej fal

Fakt: dwie kwantowo nierozróżnialne ale różne cząstki mogą powodować efekt interferencyjny.

Możemy użyć tej metody żeby dowiedzieć się czegoś o rozmiarze źródła emitującego cząstki.

Na czym polega metoda HBT?

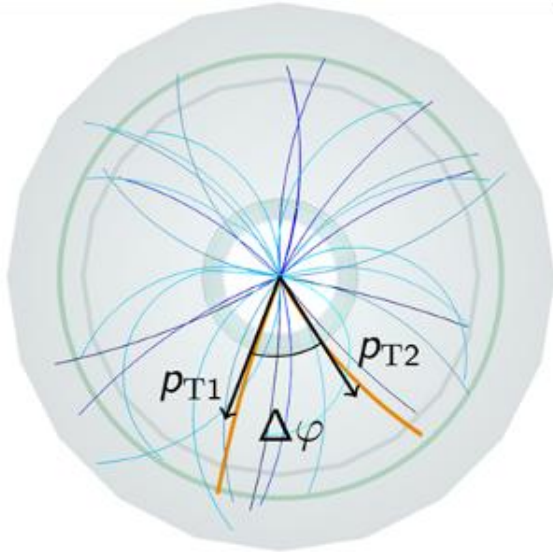


Pomiar rozmiarów źródła rzędu 10^{-15} m – nie da się tego zrobić żadnymi „klasycznymi” metodami

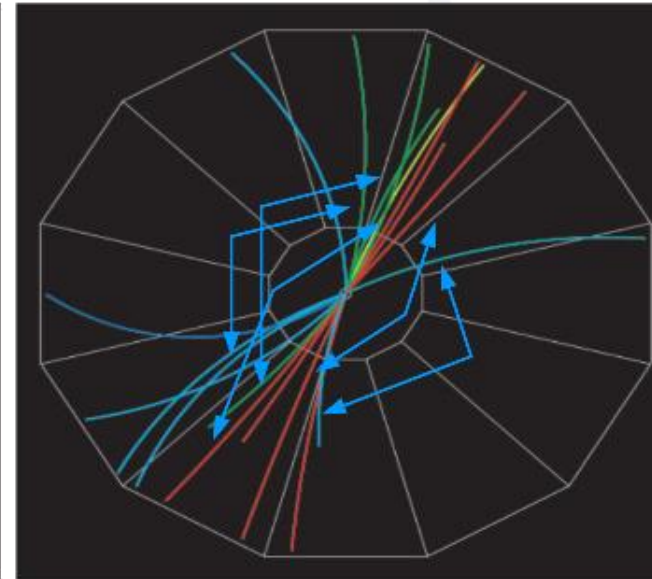
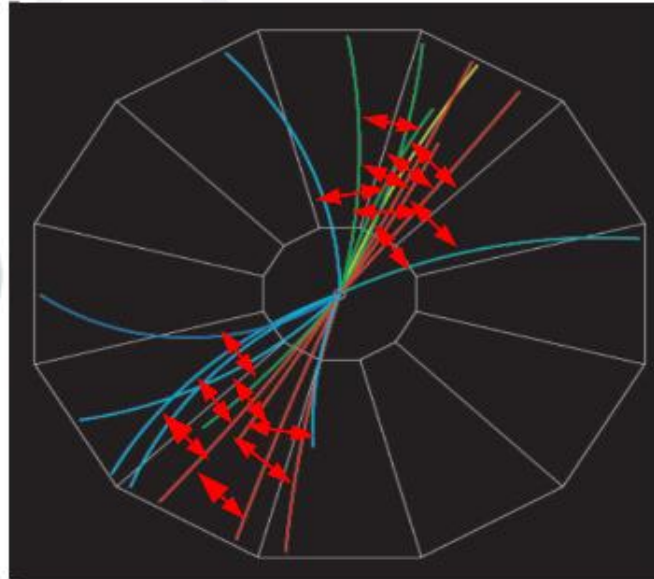
różnice pędów \Rightarrow rozmiary emitujących źródeł

Emisja identycznych cząstek o pędach \mathbf{p}_1 i \mathbf{p}_2 z punktów \mathbf{x}_1 i \mathbf{x}_2 . Jeśli mamy odpowiednio dużo takich par cząstek to badanie tzw. **funkcji korelacyjnej** pozwala na poznanie rozmiarów źródła emisji, dzięki pomiarowi wektora \mathbf{q} (różnicy pędów). Eksperymentalnie: mierzymy różnice pędów między cząstkami

Wykonujemy pomiar wektora q (różnicy pędów) czyli mierzymy różnice pędów między cząstkami.



p_T - transverse momentum;
 φ - azimuthal angle;



- (1) Pomiar “sygnału” (w tym samym zderzeniu)
- (2) Pomiar “tła” – różne zderzenia.



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

1. Jeśli \vec{q} staje się b. duże (dla ustalonej wartości \vec{k}) korelacja między cząstkami jest gubiona i $C(\vec{k}, \vec{q})$ zbliża się do 1

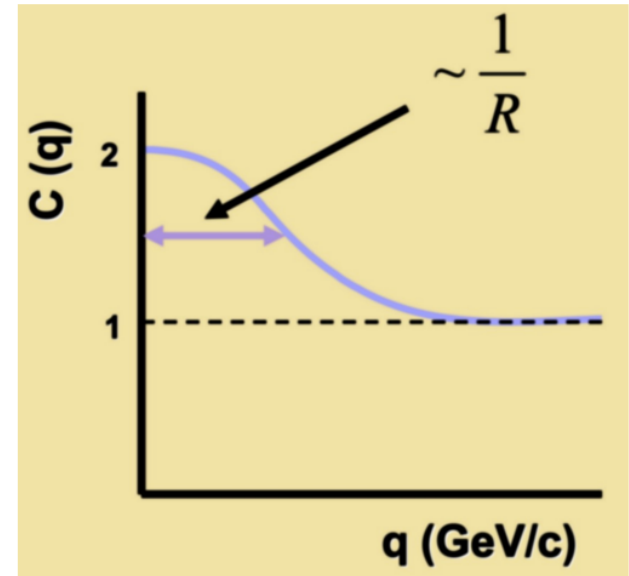
2. Dla ident. bozonów przy małych różnicach pędu funkcja korelacyjna powinna dążyć do 2 (z powodu efektów interferencji Bose-Einsteina)

⇒

3. Otrzymujemy charakterystyczny spadek funkcji ze wzrastającymi wartościami $|\vec{q}|$

Ten **kształt niesie informacje o rozmiarach emitującego źródła**; kształt jest mierzony w momencie kiedy obserwowane cząstki przestają oddziaływać czyli **w momencie wymroźenia termicznego**

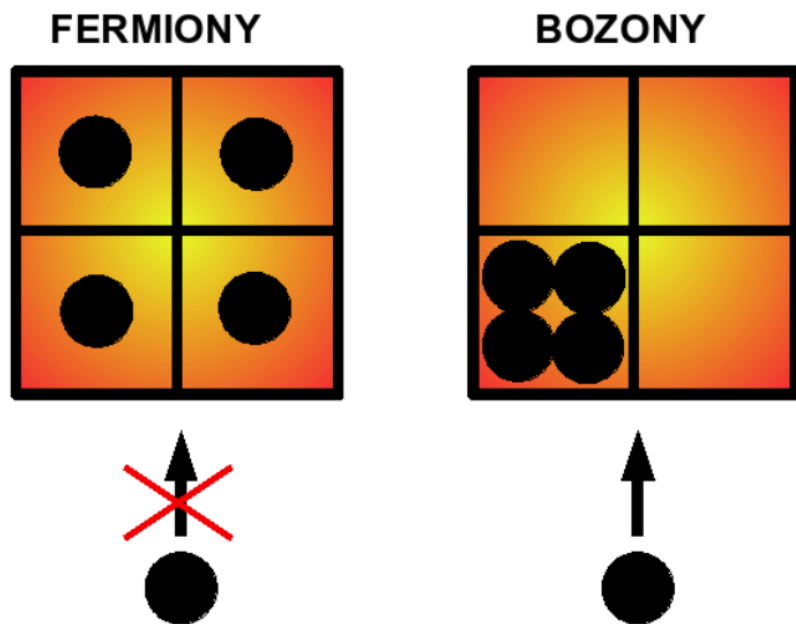
Rys. wykł. J. Pluta



Wydział
Fizyki

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Kształt funkcji korelacyjnej w głównej mierze jest efektem statystyki kwantowej (Bose-Einsteina lub Fermiego-Diraca)



Fermiony – cząstki o spinie połówkowym ($1/2$, $3/2$, ...) podporządkowują się regule Pauliego (zakaz współistnienia w identycznym stanie w tym samym miejscu), **podlegają statystyce Fermiego-Diraca**. Leptony i kwarki (spin = $1/2$), bariony (spin = $1/2$, $3/2$, ...)

Bozony – cząstki o spinie całkowitym (0 , 1 , 2 , ...), ignorują zakaz Pauliego, **podlegają statystyce Bose-Einsteina**. Nośniki sił (spin= 1 z wyjątkiem grawitonu), mezony (spin = 0 , 1 , 2 , ...)

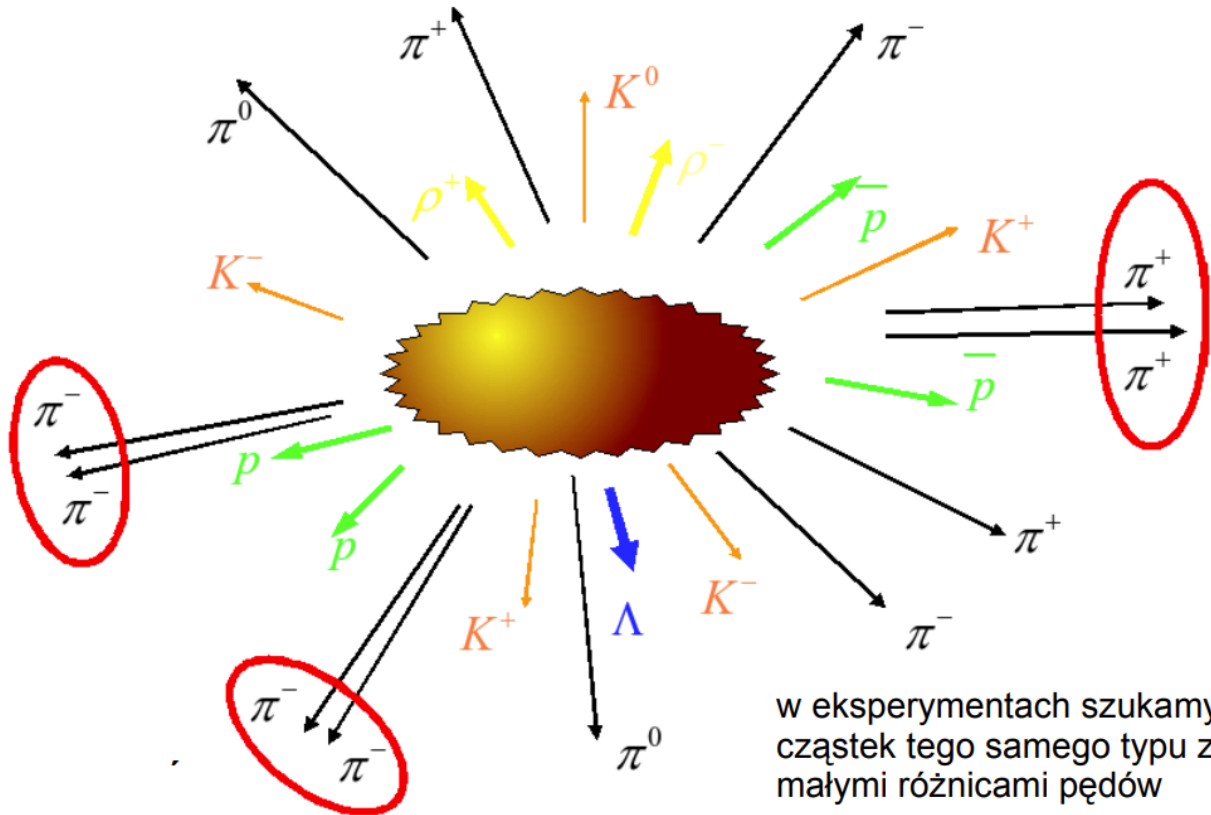
Statystyka BE zwiększa prawdopodobieństwo znalezienia więcej niż jednej cząstki w danym stanie kwantowym (przy b. niskich T mamy kondensat BE – wszystkie bozony zajmują ten sam, najniższy, poziom energetyczny a ich f-cje falowe w pełni się przekrywają)

Funkcja falowa dwóch identycznych bozonów musi być symetryczna względem zamiany cząstek, to powoduje, że:

Dla identycznych bozonów (te same ładunki !) symetria wymagana przez statystykę BE powoduje zwiększoną produkcję bozonów z małymi różnicami pędów →

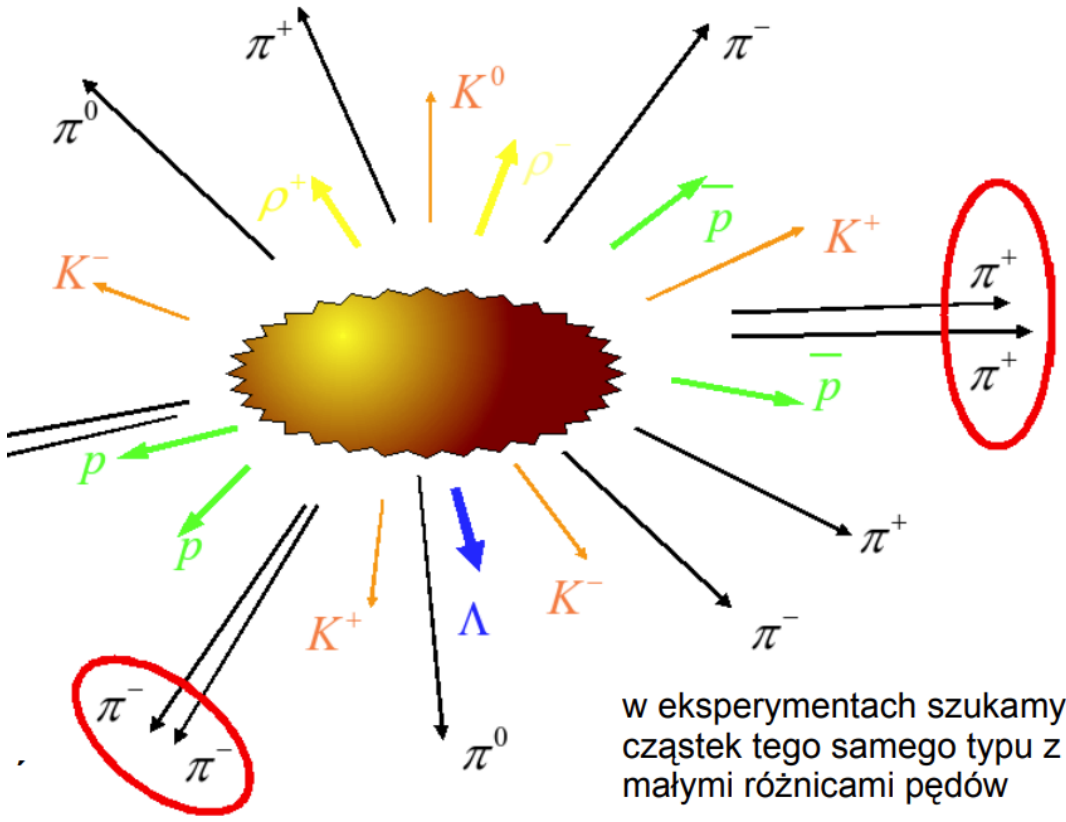
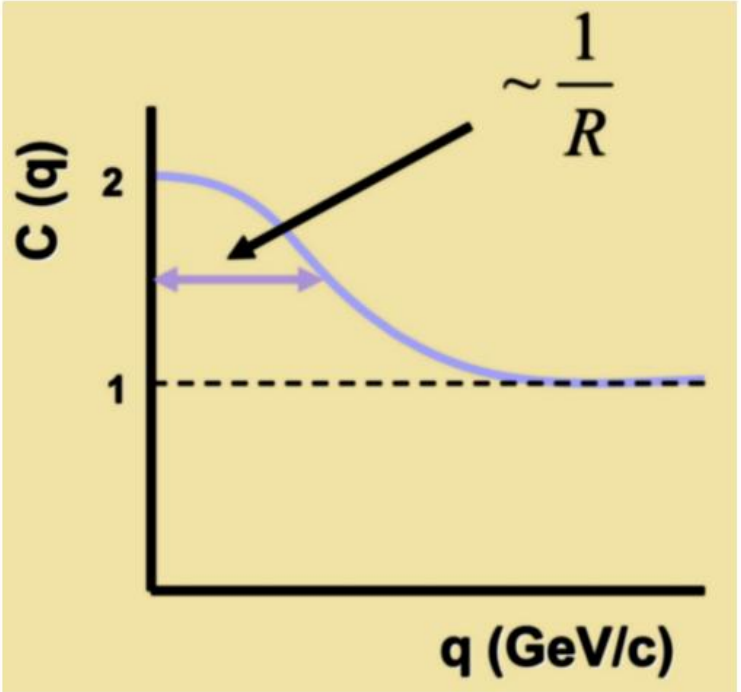
Tak więc identyczne bozony „wola” produkować się blisko siebie – czyli z małymi różnicami w pędzie (identyczne fermiony wręcz przeciwnie). To powoduje charakterystyczne wzmocnienie w funkcji korelacyjnej dla małych różnic pędu.

Korelacje Bose–Einsteina (efekt czysto kwantowy) – obserwacja, że charakterystyczną cechą bozonów jest ich tendencja do pojawiania się w większej ilości w tym samym stanie



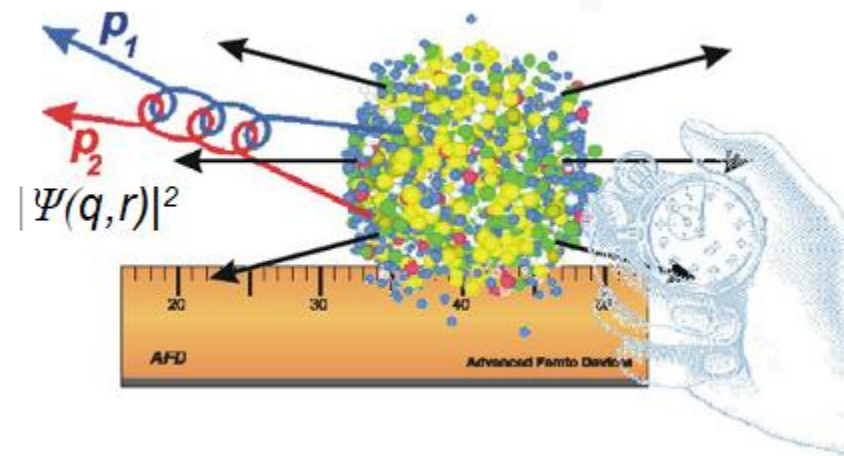
Tak więc identyczne bozony „wola” produkować się blisko siebie – czyli z małymi różnicami w pędzie (identyczne fermiony wręcz przeciwnie). To powoduje charakterystyczne wzmocnienie w funkcji korelacyjnej dla małych różnic pędu.

Rys. wykł. J. Pluta



w eksperymentach szukamy par cząstek tego samego typu z małymi różnicami pędów

$$q_{inv} = 2k^*$$



Ćwiczenie

<https://alice-femtoanalysis-masterclass.app.cern.ch/>



**Wydział
Fizyki**

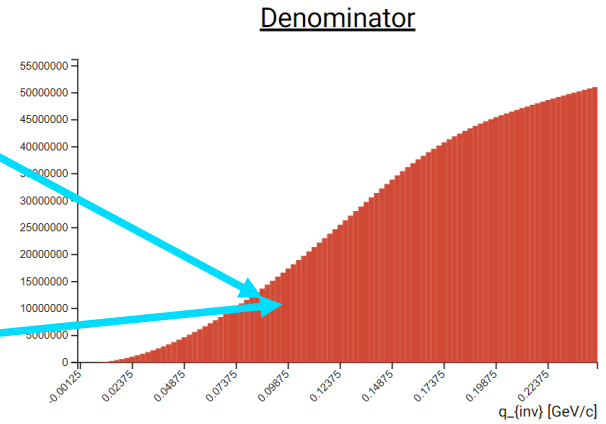
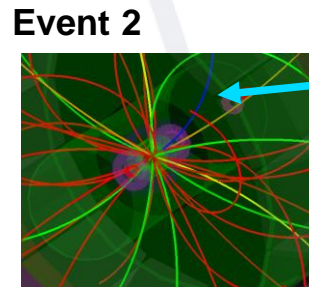
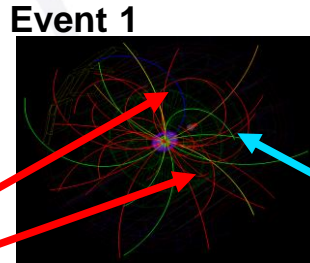
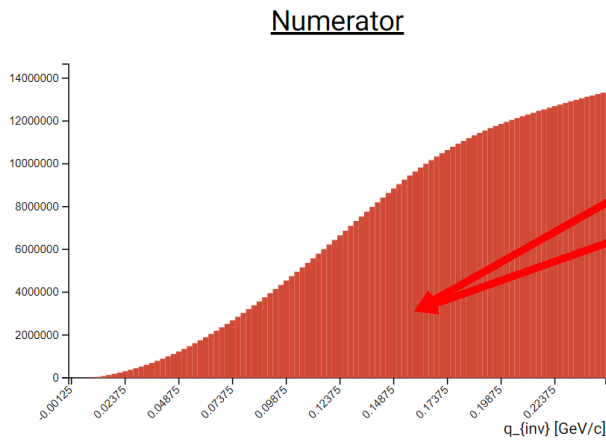
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

INTERNATIONAL
MASTERCLASSES
hands on particle physics

Experimental Correlation Function

Correlated pairs

Uncorrelated reference

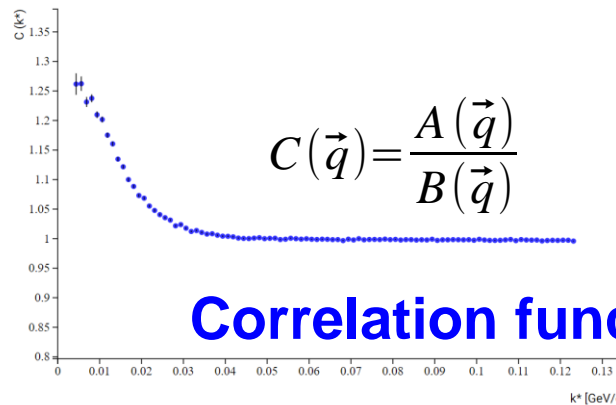


Same event pairs

Mixed event pairs

$$\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$$

$$\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$$



Correlation function
 $k^* = \frac{1}{2} q$



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA



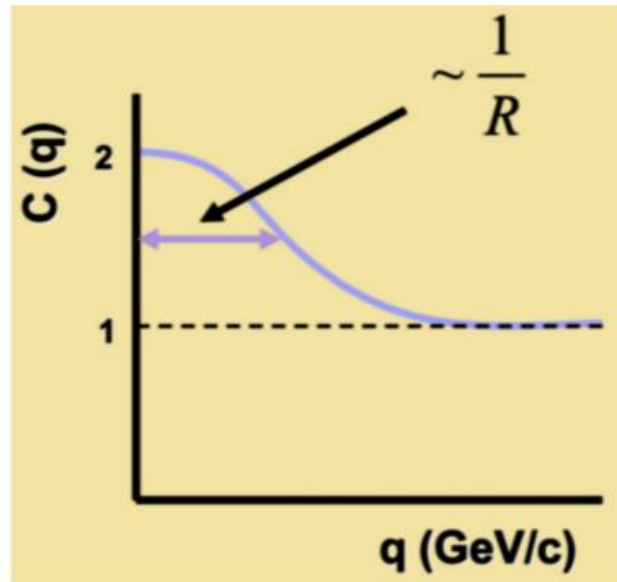
INTERNATIONAL

MASTERCLASSES

hands on particle physics

Fitting

- Funkcja korelacyjna pion-pion
- Efekty statystyki kwantowej Bosego-Einsteina



$$C(q) = 1 + \exp(-q^2 R^2)$$

Goldhaber et. Al, 1959, for spherical source
and only B-E effects.



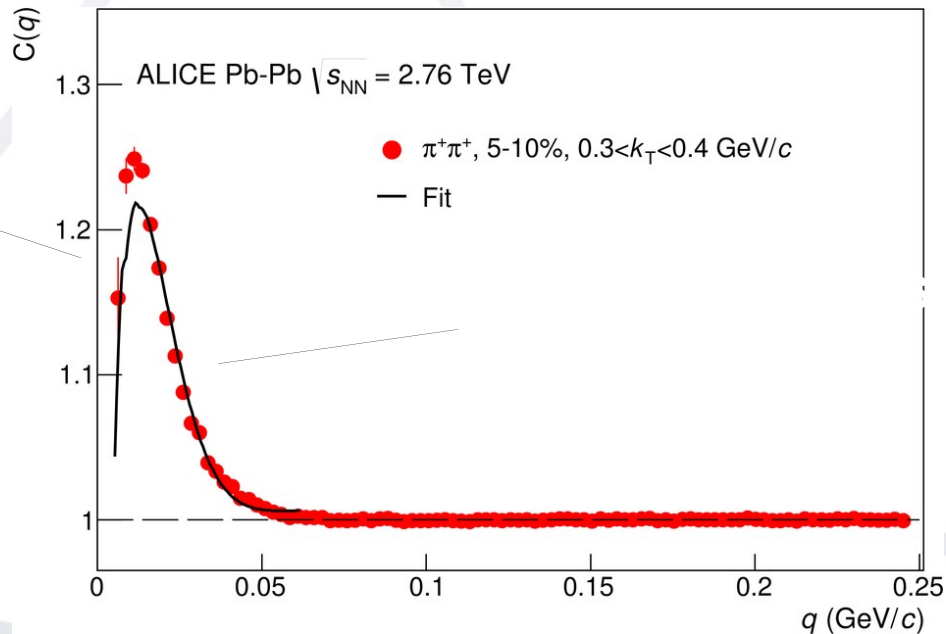
**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Dopasowanie (Fitting)

- W rzeczywistych danych musimy wziąć pod uwagę również oddziaływanie Columba

Funkcja idzie w dół: **Coulomb**



Wydział
Fizyki

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Fitting

- Funkcja opisująca korelację (w 1 D):

$$C = (1 - \lambda) + \lambda * (K(q)) * (1 + \exp(-R^2 q^2))$$

- gdzie $K(q)$ to funkcja Coulomb
- R i λ to są wolne parametry które chcemy uzyskać
- q (or k^*) to zmienna na osi "x"

-Trudność:

Nie istnieje analityczny wzór na $K(q)$



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Co możemy zrobić?

- Możemy policzyć $K(q)$ numerycznie, dla danego R .
 - To jest process iteracyjny. Na początek “zgadujemy” R , liczymy $K(q)$, próbujemy dopasować. Posiadając wynik dopasowania (przybliżoną wartość R) możemy ponownie wyliczyć $K(q)$ dla tego nowego R .



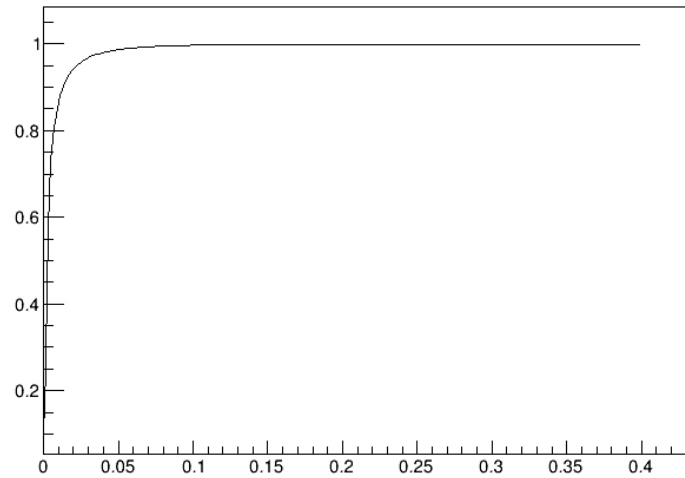
**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Przykład

- Funkcja Coulomba dla pionów,
 $R = 2 \text{ fm}$

Coulomb wave-function squared over the source



**Wydział
Fizyki**

POLITECHNIKA WARSZAWSKA