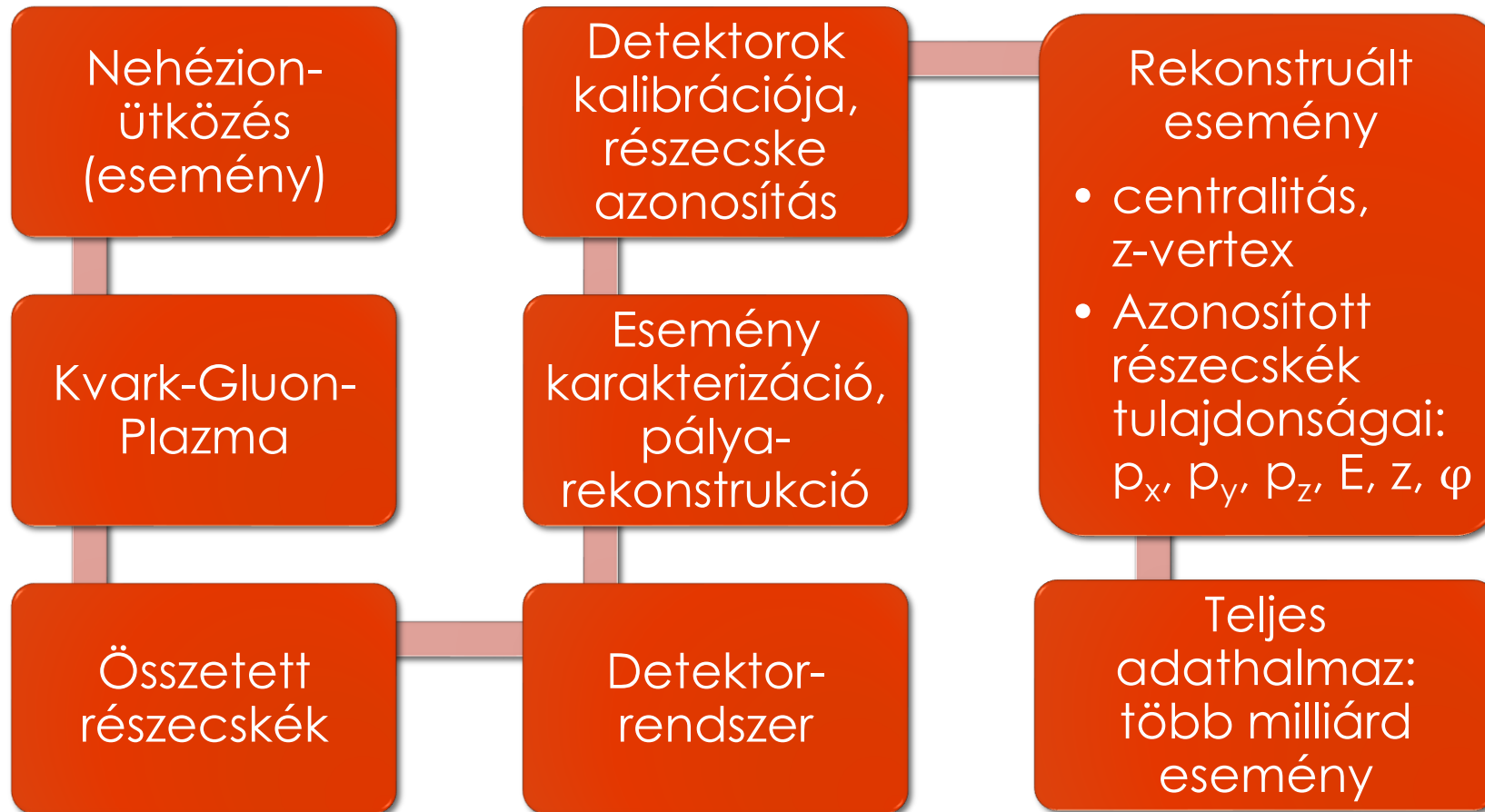


HBT-korrelációk mérése

NAGYENERGIÁS NEHÉZIONFIZIKA, AVAGY A TÖKÉLETES KVARKFOLYADÉK

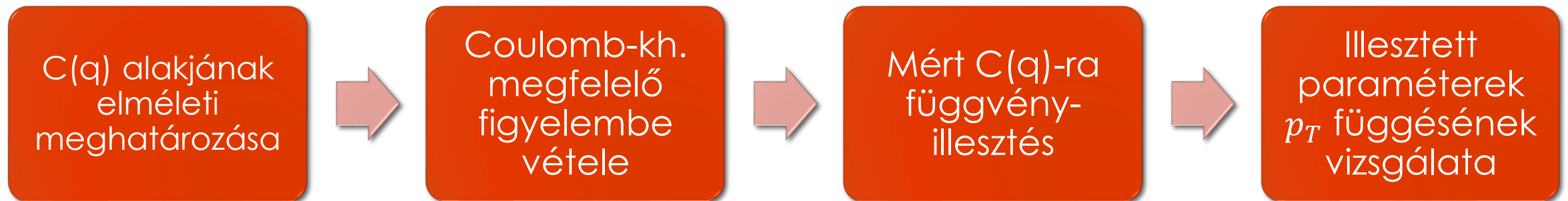
Nehézion-ütközéstől a korrelációs függvényig - események rekonstrukciója



Nehézion-ütközéstől a korrelációs függvényig - korrelációs függvények mérése

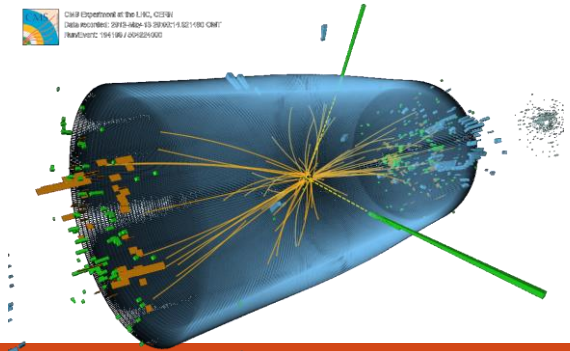
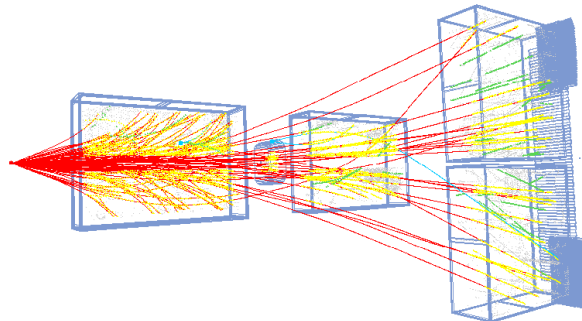
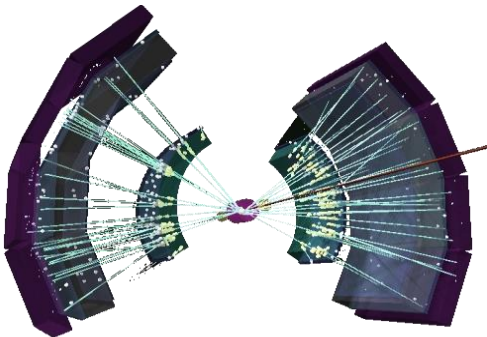


Nehézion-ütközéstől a korrelációs függvényig - korrelációs függvények illesztése



Minek a függvényében végzünk ilyen méréseket?

- Részecsketípus π^\pm K^\pm p^\pm
- Tömegközépponti ütközési energia $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV} - 7.7 \text{ GeV}$
- Többrészecske-korrelációk (2,3,...,n) $\pi^+ \pi^+$ $\pi^+ \pi^+$
- Centralitás (mennyire fedtek át az ütköző atommagok)
- Kísérleti helyszín (RHIC - PHENIX, SPS - NA61, LHC - CMS)



Párvágások

Részecskepálya rekonstrukciós algoritmus sajátosságai:

- Splitting: túl közel haladó részecskepályák nem különböztethetők meg
- Merging: az algoritmus egy pályát kettéoszt – „ghost track” keletkezik

Elkészítjük a részecskepárok térbeli szeparációs eloszlásait, az aktuális és háttérpárok esetén is, majd ezekből korrelációs eloszlást képzünk:

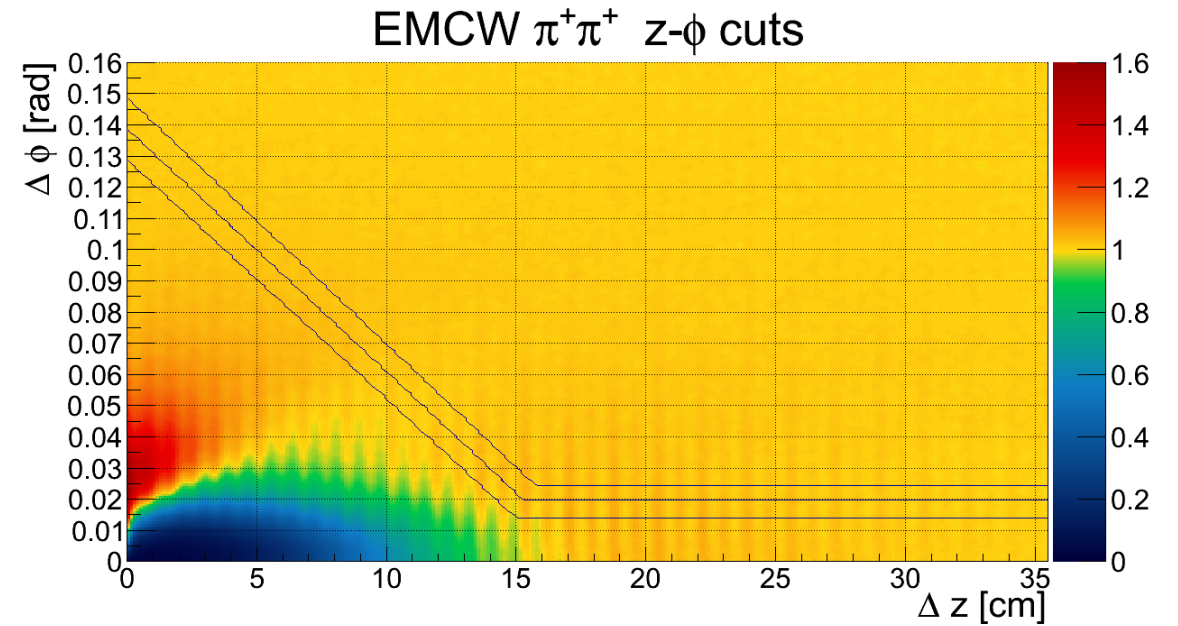
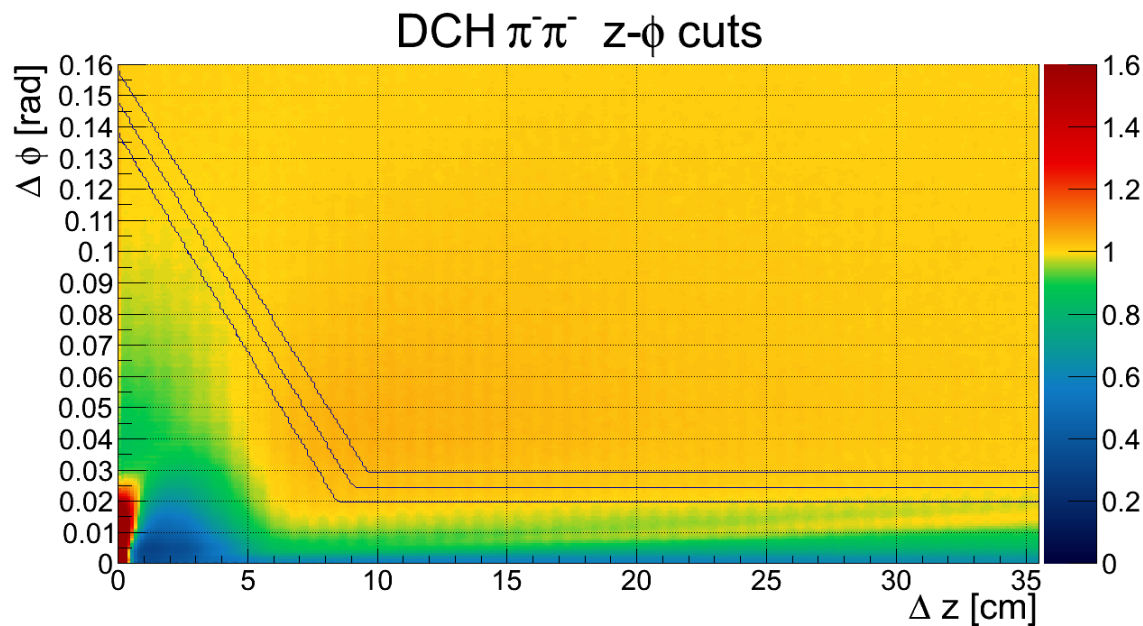
$$C(\Delta\varphi, \Delta z) = \frac{A(\Delta\varphi, \Delta z) \int_{\Delta\varphi_1}^{\Delta\varphi_2} \int_{\Delta z_1}^{\Delta z_2} B(\Delta\varphi, \Delta z)}{B(\Delta\varphi, \Delta z) \int_{\Delta\varphi_1}^{\Delta\varphi_2} \int_{\Delta z_1}^{\Delta z_2} A(\Delta\varphi, \Delta z)},$$

Ahol $[\Delta\varphi_1, \Delta\varphi_2]$ és $[\Delta z_1, \Delta z_2]$ olyan tartományok, ahol már nem jelentős a splitting/merging effektus

Párvágások

Részecsképálya rekonstrukciós algoritmus sajátosságai:

- Splitting: túl közel haladó részecsképályák nem különböztethetők meg
- Merging: az algoritmus egy pályát kettéoszt – „ghost track” keletkezik



Eseménykeverés

- Aktuális eloszlás, $A(q)$:
azonos eseményben keletkezett részecskepárok relatív impulzus eloszlása, még tartalmaz kül. kinematikai, akceptanciai effektusokat, amiket ki kell zárni!
- Háttéreloszlás, $B(q)$:
A párok tagjai különböző eseményekben keletkeztek
- Korrelációs függvény:

$$C(q) = \frac{A(q)}{B(q)} \cdot \frac{\int_{q_1}^{q_2} B(q) dq}{\int_{q_1}^{q_2} A(q) dq},$$

ahol $[q_1, q_2]$ olyan tartomány, ahol a korrelációs függvény már nem mutat kvantumstatisztikus effektusokat.

Eseménykeverés

- Fontos, hogy az aktuális és háttér esemény azonos kinematikai és akceptanciai effektusokat tartalmazzon
- A háttérkeverés során csak olyan eseményeket használunk, aminek centralitása illetve ütközési vertex pozíciója közel azonos az aktuális eseményével
- Az eseménykeverés technikai kivitelezése többféleképp történhet, tekintsünk át néhány példát!

Példák eseménykeverési módszerekre

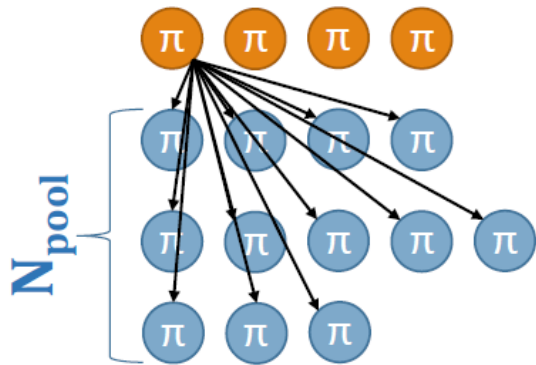
Előfordulhat, hogy egy háttér eseményből több részecskét is párosítunk egy aktuális részecskével

A kiválasztott háttér részecskék száma azonos az aktuálisokéval, és mind különböző eseményből van

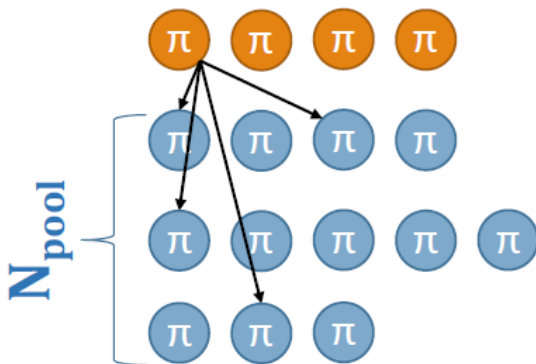
- A-módszer: egy előre definiált méretű (N_{pool}) háttér esemény halmazt tartunk, és az aktuális esemény minden részecskéjét párosítjuk a háttér halmazban lévő összes azonos töltésű részecskével.
- B-módszer: a háttérhalmazból random választunk az aktuális esemény multiplicitásával azonos számú részecskét, ezekkel párosítjuk az aktuális esemény összes részecskéjét
- C-módszer: a háttérhalmazból random választunk az aktuális esemény multiplicitásával azonos számú eseményt, és mindegyikből random választunk egy részecskét, majd ezeket egymással párosítjuk

Példák eseménykeverési módszerekre

A módszer



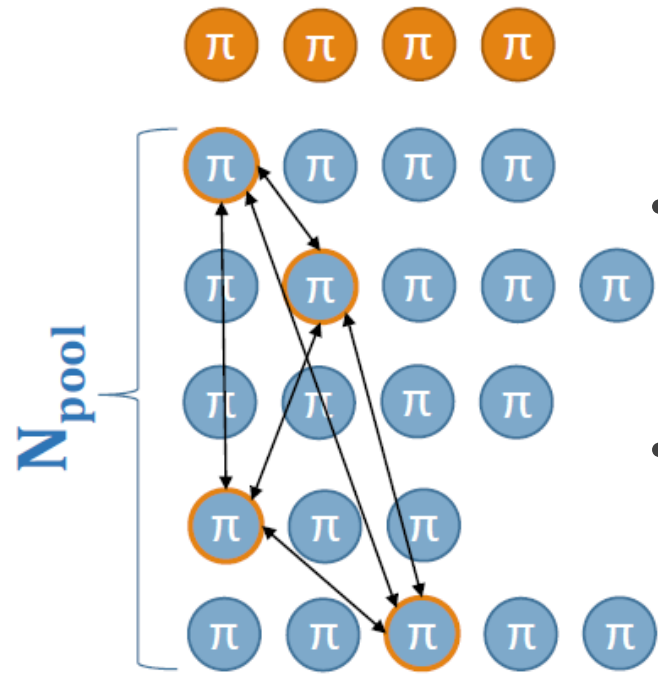
B módszer



- A-módszer: egy előre definiált méretű (N_{pool}) háttér esemény halmazt tartunk, és az aktuális esemény minden részecskéjét párosítjuk a háttér halmazban lévő összes azonos töltésű részecskével.
- B-módszer: a háttérhalmazból random választunk az aktuális esemény multiplicitásával azonos számú részecskét, ezekkel párosítjuk az aktuális esemény összes részecskéjét
- C-módszer: a háttérhalmazból random választunk az aktuális esemény multiplicitásával azonos számú eseményt, és mindegyikből random választunk egy részecskét, majd ezeket egymással párosítjuk

Példák eseménykeverési módszerekre

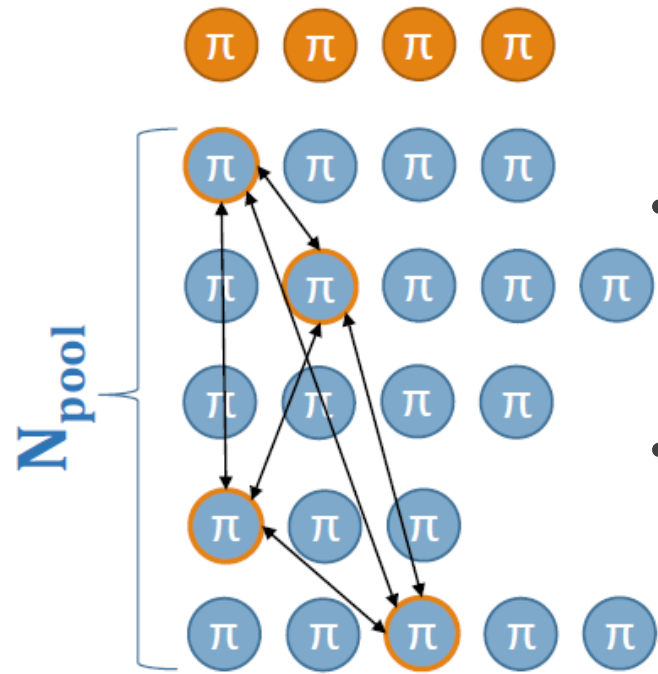
C módszer



- A-módszer: egy előre definiált méretű (N_{pool}) háttér esemény halmazt tartunk, és az aktuális esemény minden részecskéjét párosítjuk a háttér halmazban lévő összes azonos töltésű részecskével.
- B-módszer: a háttérhalmazból random választunk az aktuális esemény multiplicitásával azonos számú részecskét, ezekkel párosítjuk az aktuális esemény összes részecskéjét
- C-módszer: a háttérhalmazból random választunk az aktuális esemény multiplicitásával azonos számú eseményt, és mindegyikből random választunk egy részecskét, majd ezeket egymással párosítjuk

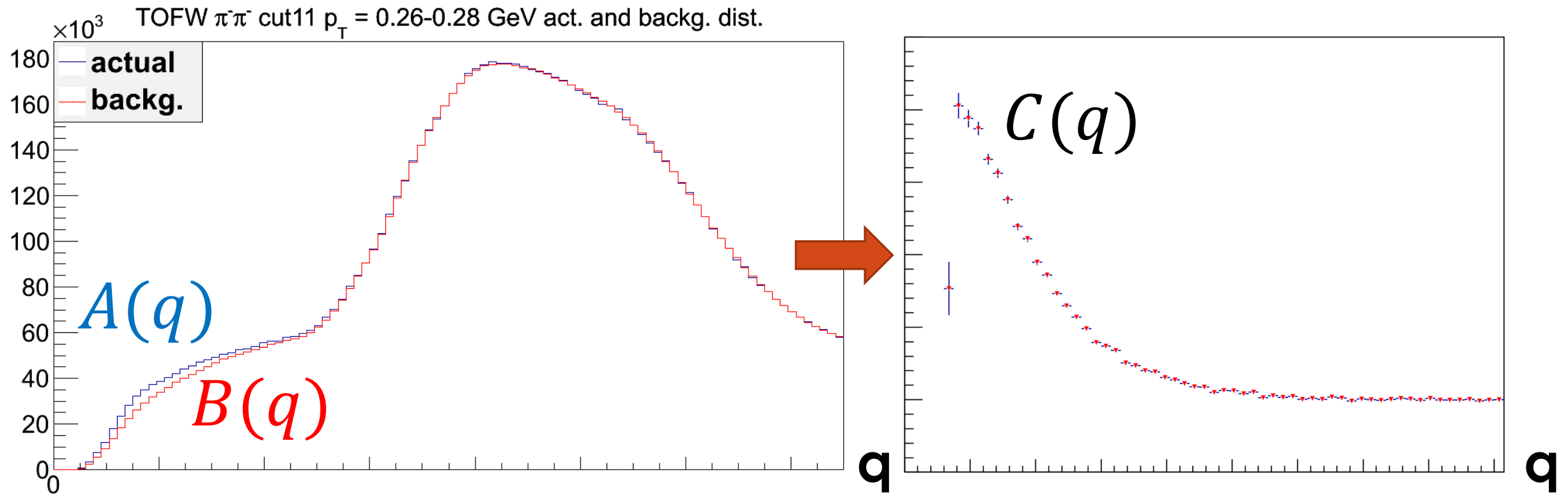
Példák eseménykeverési módszerekre

C módszer



- A-módszer: egy előre definiált méretű (N_{pool}) háttér esemény halmazt tartunk, és az aktuális esemény minden részecskéjét párosítjuk a háttér halmazban lévő összes azonos töltésű részecskével. ✓
- B-módszer: a háttérhalmazból random választunk az aktuális esemény multiplicitásával azonos számú részecskét, ezekkel párosítjuk az aktuális esemény összes részecskéjét. ✗
- C-módszer: a háttérhalmazból random választunk az aktuális esemény multiplicitásával azonos számú eseményt, és mindegyikből random választunk egy részecskét, majd ezeket egymással párosítjuk. ✓

Eseménykeverés



Illesztések



Coulomb-effektus kezelése

Nagyon fontos a végállapoti kölcsönhatások (Coulomb-kh.) megfelelő kezelése!

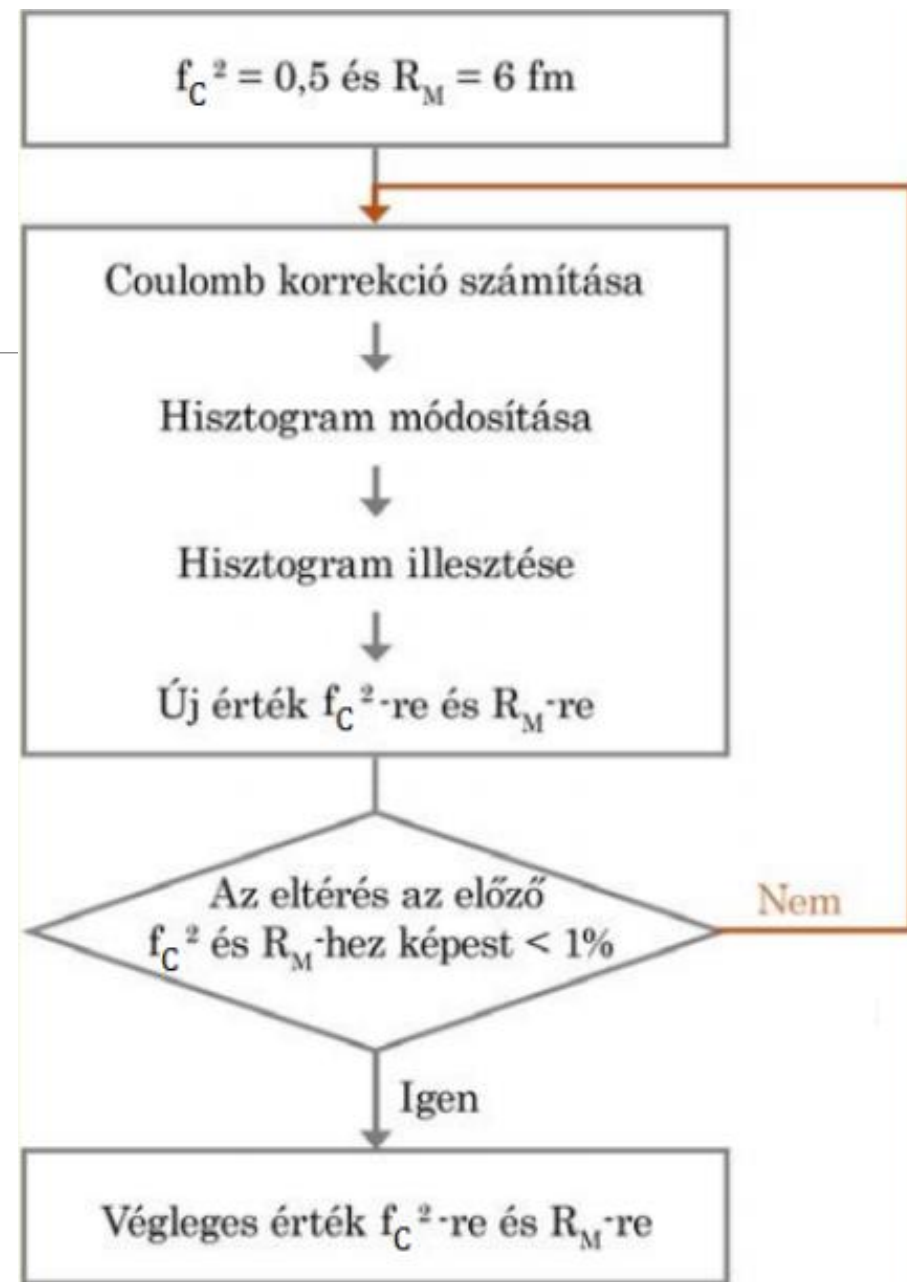
Lehetséges módszerek:

- Coulomb-korrekción, iterációs módszer

$$C_2^{(0)}(q) = C_2^{Coul.}(q) \cdot K(q, R, \alpha, \lambda) = 1 + \lambda \cdot e^{-|Rq|^\alpha}$$

Pontszerű forrás esetén a Coulomb-korrekción:

- Gamow-faktor: $\frac{2\pi\eta}{e^{2\pi\eta} - 1}$, $\eta = \frac{\alpha m_\pi}{2\hbar k}$
- Másik lehetőség: közvetlen a Coulomb-kh.t tartalmazó alak illesztése



Illesztések

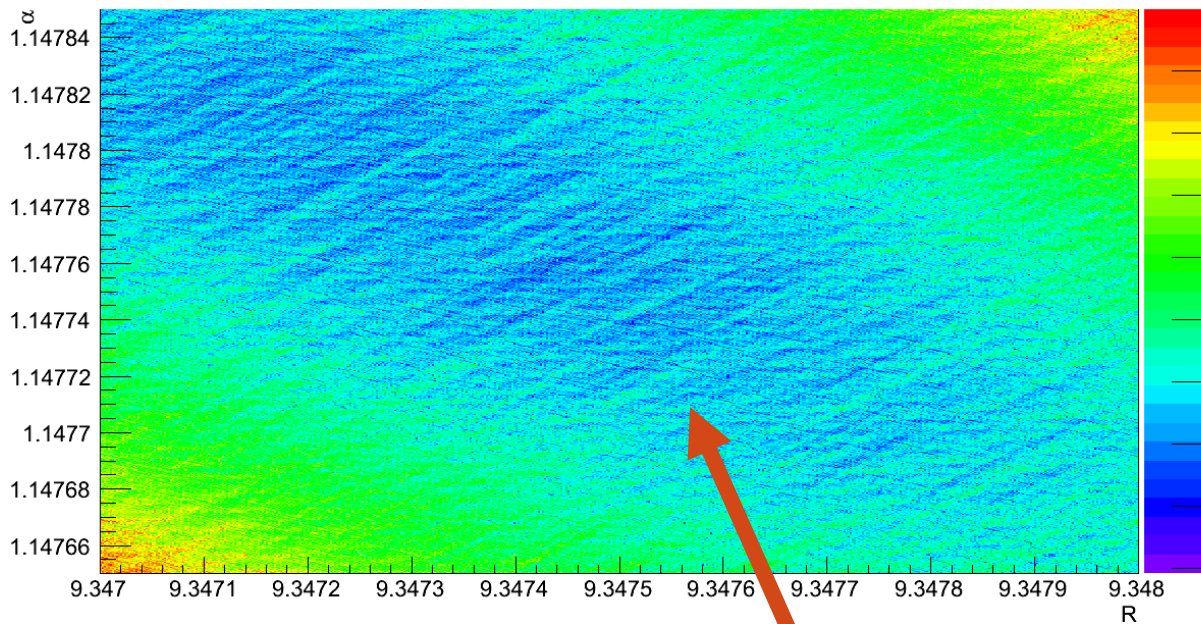
Coulomb-kh.-al számolt függvényalak: analitikusan nem számolható, numerikus számolás is nehézkes

$$C_2(k) = 1 - \lambda + \lambda \frac{2\pi\eta}{e^{2\pi\eta} - 1} \left[\int_0^\infty dr r^2 \mathcal{L}(\alpha, 2^{1/\alpha} R, r) \int_0^{2kr} \frac{d\xi}{kr} |F(-i\eta, 1, i\xi)|^2 + \int_0^\infty dr r^2 \mathcal{L}(\alpha, 2^{1/\alpha} R, r) \int_{-1}^1 dy e^{2ikry} F(-i\eta, 1, ikr(1-y)) F(i\eta, 1, -ikr(1+y)) \right].$$

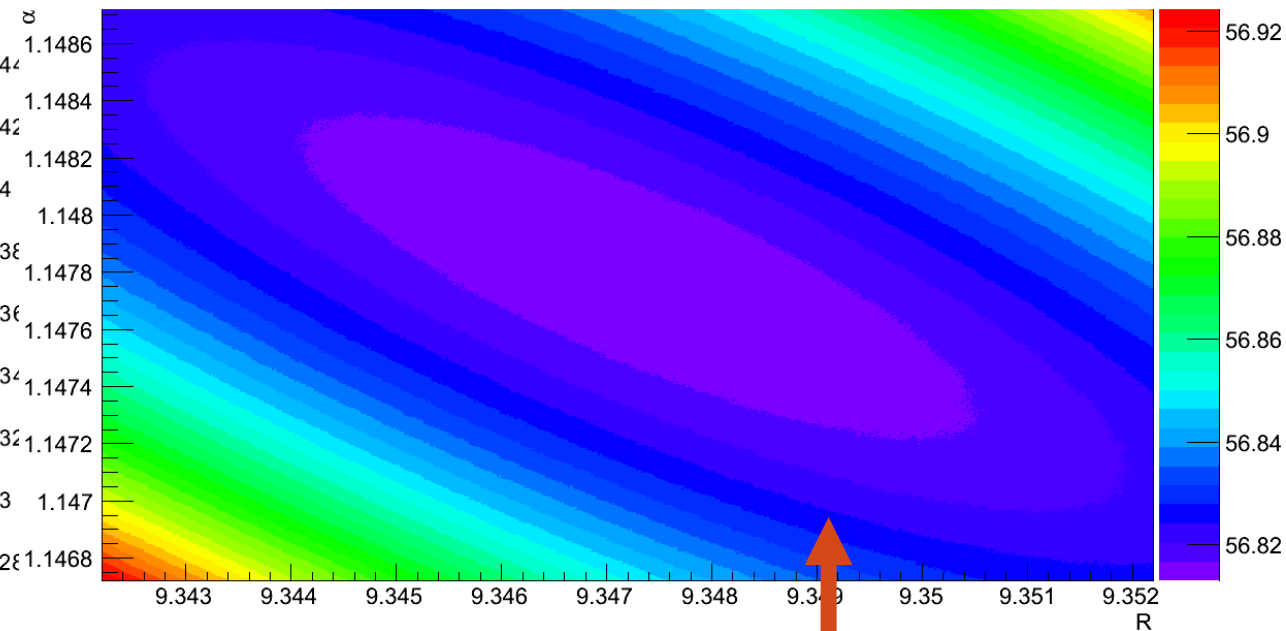
- Elkészíthetünk egy adatbázist, előre kiszámolt fv.értékekkel a paraméterek sok különböző értéke esetén – ezzel gyors illesztések végezhetőek
- Illesztéseket χ^2 minimalizáló algoritmussal végezzük
- Simán az adatbázist használva numerikusan fluktuáló χ^2 térképet kapunk
- Használhatunk egy második körös iteratív utánégetőt a Coulomb-korrektíós iteráció mintájára

Illesztések

χ^2 map R vs α $\pi^+\pi^-$ cut0 $p_T = 0.16-0.18$ GeV



χ^2 map R vs α $\pi^+\pi^-$ cut0 $p_T = 0.16-0.18$ GeV



- Simán az adatbázist használva numerikusan fluktuáló χ^2 térképet kapunk
- Használhatunk egy második körös iteratív utánégetőt a Coulomb-korrekciós iteráció mintájára

Illesztések

- Második körös illesztő függvény (a nulla indexű paraméterek az első körből kapott értékek):

$$C_2^{(0)}(\lambda, R, \alpha; k) \frac{C_2(\lambda_0, R_0, \alpha_0; k)}{C_2^{(0)}(\lambda_0, R_0, \alpha_0; k)} \times N \times (1 + \varepsilon k),$$

(A normalizációs paraméter és a lineáris háttér gyakorlatban elhanyagolható, $N \approx 1$ és $\varepsilon \approx 0$.)

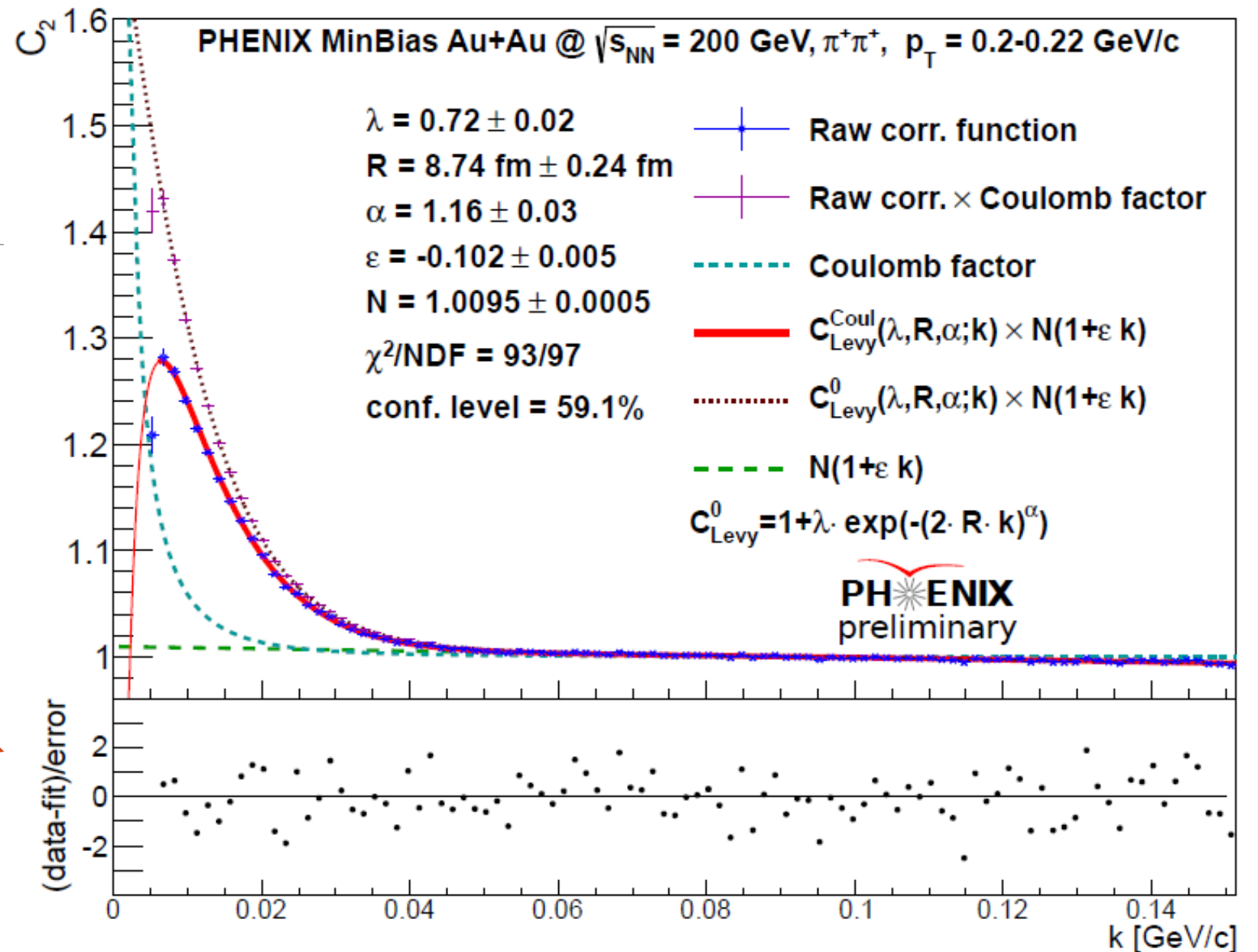
ahol $C_2^{(0)}(\lambda, R, \alpha; k) \equiv C_2^{(0)}(k) = 1 + \lambda \cdot e^{-(2kR)^\alpha}$

- Ha a következő körös paraméterek jelentősen különböznek (több mint 1% eltérés $\Delta_{iteráció}$ -ban), akkor beállítjuk az új paramétereket és újabb kör illesztést végzünk. Addig folytatjuk a folyamatot, amíg

$$\Delta_{iteráció} = \sqrt{\frac{(R_{n+1} - R_n)^2}{R_n^2} + \frac{(\lambda_{n+1} - \lambda_n)^2}{\lambda_n^2} + \frac{(\alpha_{n+1} - \alpha_n)^2}{\alpha_n^2}} < 0.01.$$

Illesztések

Az alsó segédábra az illesztés minőségét mutatja. A pontok nagyjából egyenletesen szórnak nulla körül, tehát az illesztés megbízható volt.



Szisztematikus bizonytalanság

- A meghatározott paraméterek értéke függ a kísérleti beállításoktól, pl. különböző vágásoktól, illetve az illesztési algoritmus beállításaitól
- A vizsgálat során meg kell állapítani a jelentős szisztematikus bizonytalanság forrásokat, majd azok függvényében vizsgálni a kinyert paraméterek változását
- Aszimmetrikus bizonytalanságok meghatározásának egy lehetséges módja:

$$\delta P^\uparrow(i) = \sqrt{\sum_n \frac{1}{N_n^{j\uparrow}} \sum_{j \in J_n^\uparrow} (P_n^j(i) - P^0(i))^2}$$

$$\delta P^\downarrow(i) = \sqrt{\sum_n \frac{1}{N_n^{j\downarrow}} \sum_{j \in J_n^\downarrow} (P_n^j(i) - P^0(i))^2}$$

$$P = R, \alpha, \lambda$$

i : transzverz impulzus bin indexe

n : különböző hibaforrások

j : az adott hibaforrás különböző beállításai

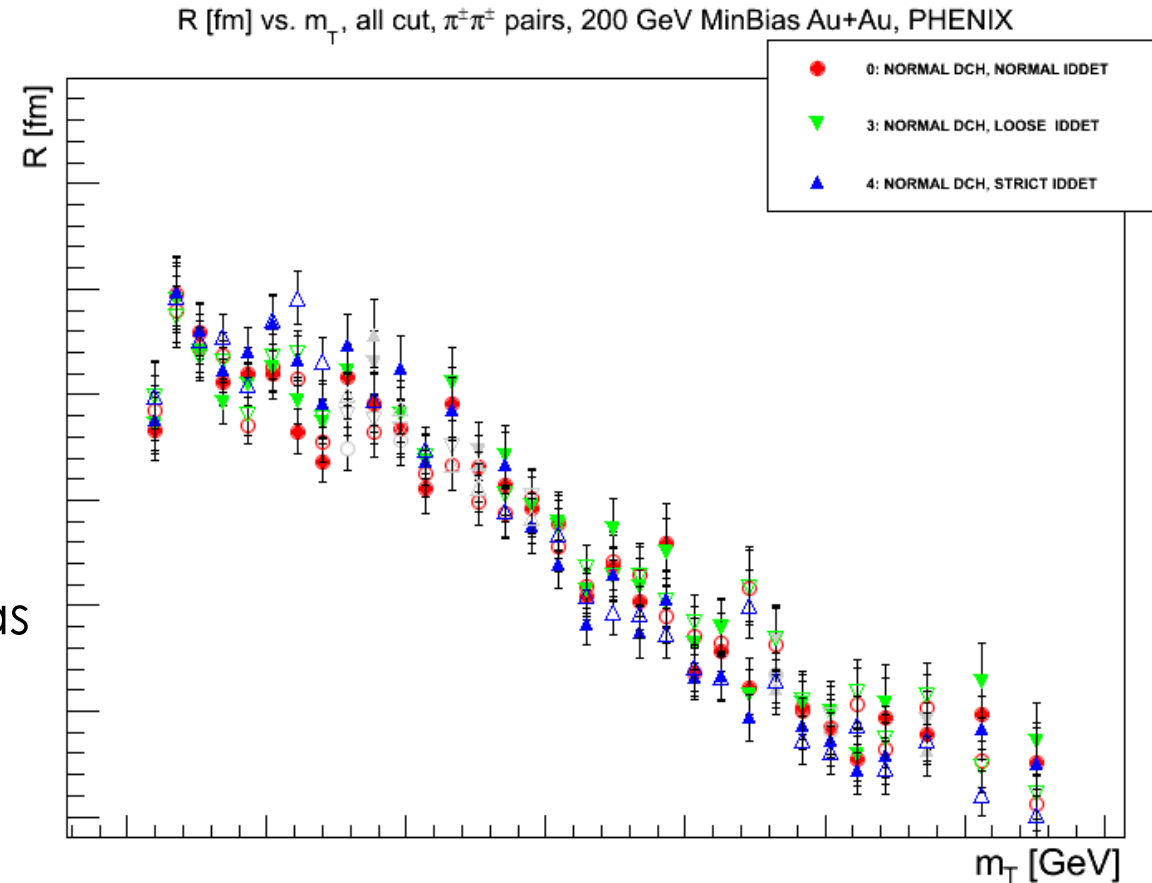
J_n^\downarrow : azon j értékek halmaza, ahol $P_n^j(i) < P^0(i)$

$N_n^{j\downarrow}$: J_n^\downarrow számossága


- A P paraméter hibája az adott p_T binben az alapbeállítástól való eltérésekből számolható

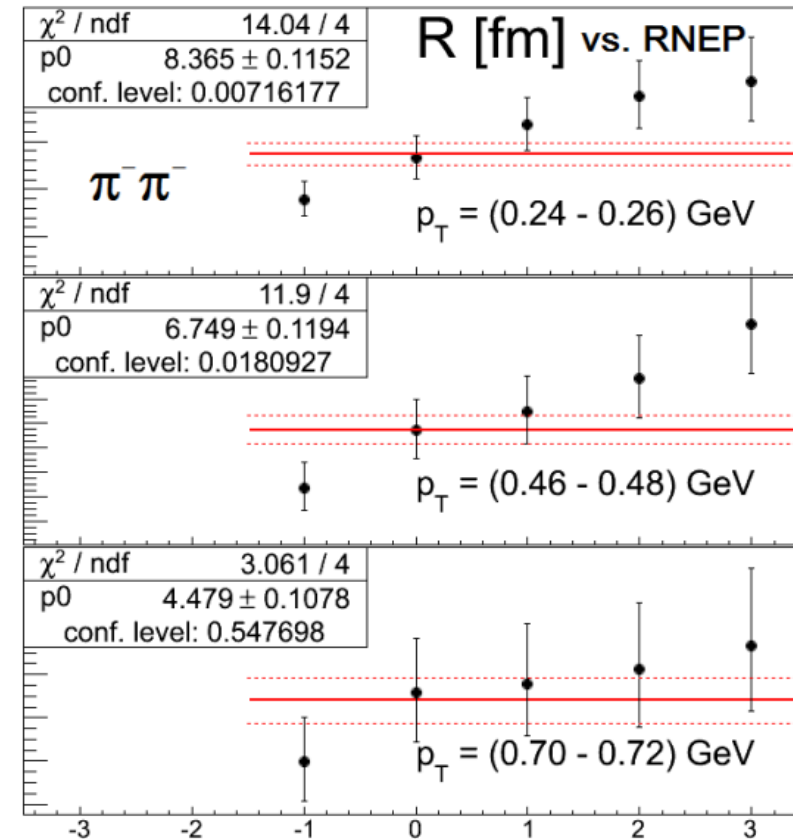
Szisztematikus bizonytalanság

- Példa: kétrészecske vágás változtatása, R paraméter vizsgálata
- Teli szimbólum: pozitív pion párok
- Üres szimbólum: negatív pion párok
- Kör: alapbeállítás
- Lefelé álló háromszög: megengedőbb vágás
- Felfelé álló háromszög: szigorúbb vágás



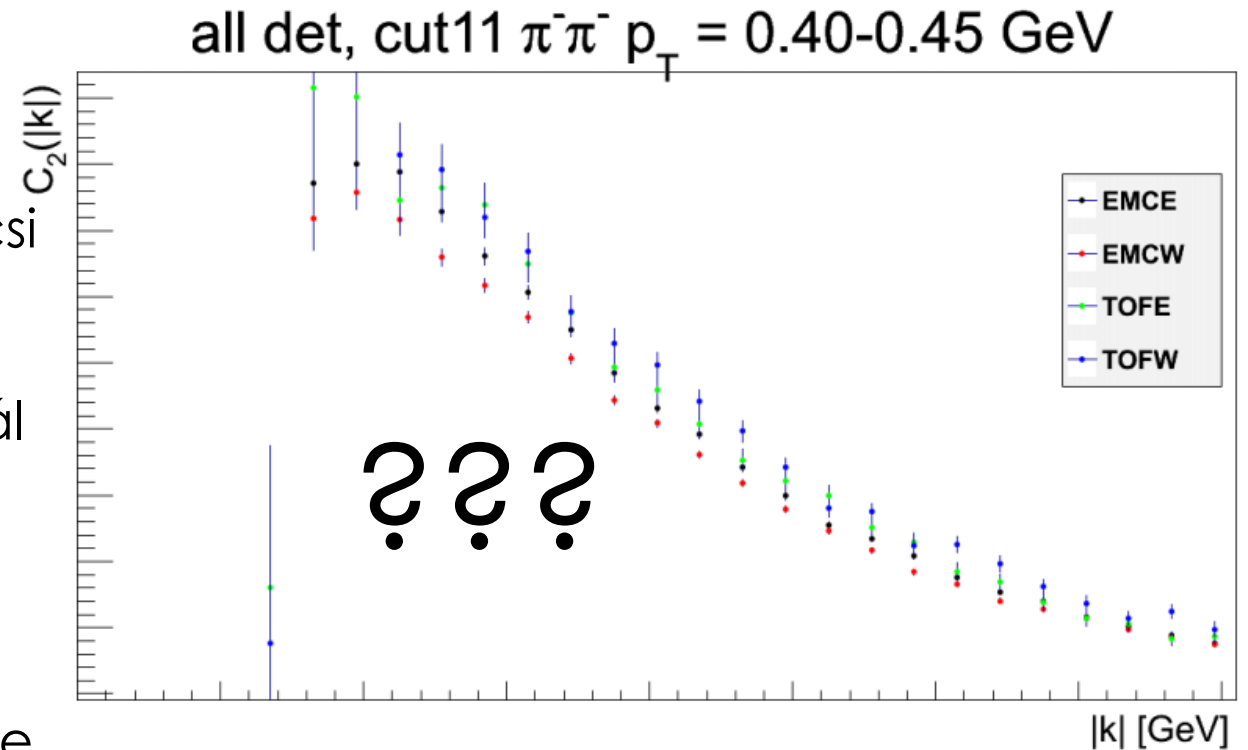
Szisztematikus bizonytalanság forrásai

- Részecskeazonosítás melyik detektorral történt
- Illesztési határok változtatása 
- Egyrészecske vágások (PID, matching)
- Párvágások
- p_T illetve q binek száma
- Függvényalaktól vett eltérés (Lévy-sorfejtés)



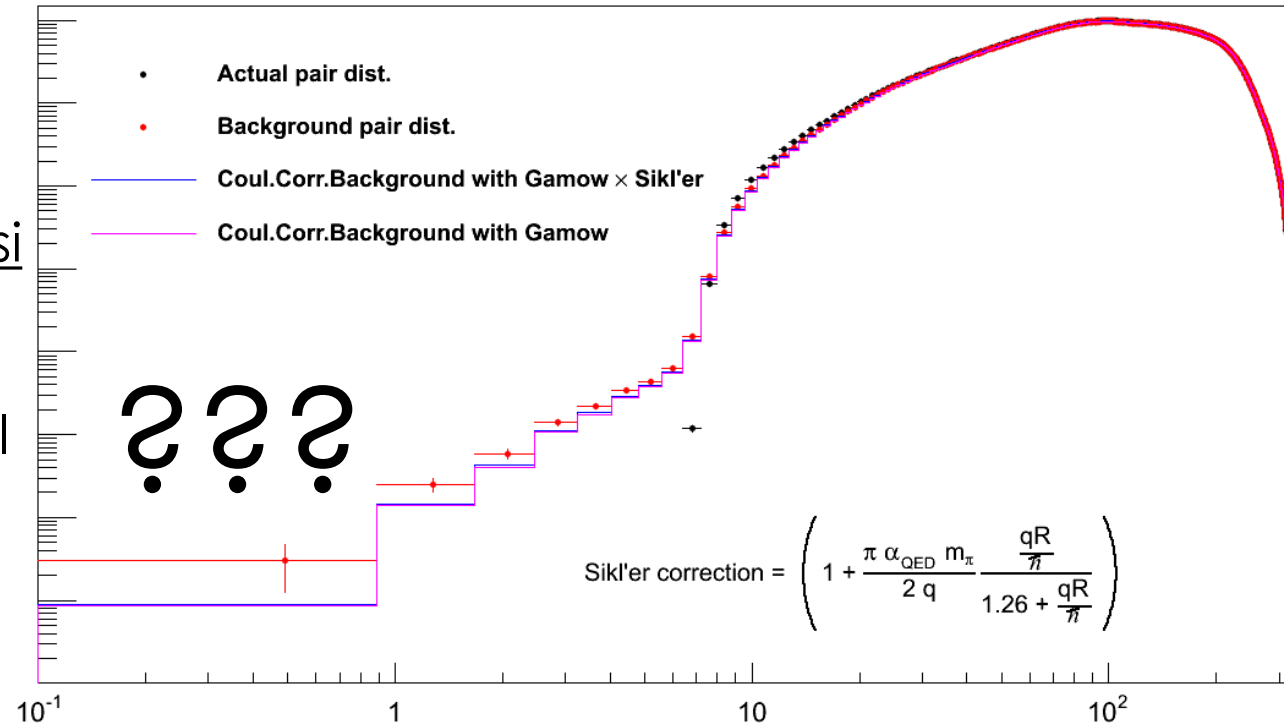
A kísérleti analízis közben felmerülő egyéb problémák, kihívások (néhány példa)

- Különböző detektorok által azonosított részecskék korr. fv.ei közti különbségek
- Az aktuális és háttér eloszlások nagyon kicsi relatív impulzusnál vett viselkedése
- A korrelációs fv.ek nagy relatív impulzusnál megfigyelt nem konstans viselkedése
- Megfelelő kinematikai változó választása
- Alacsony energiás adatok esetén az egyre rosszabb statisztikából adódó kihívás



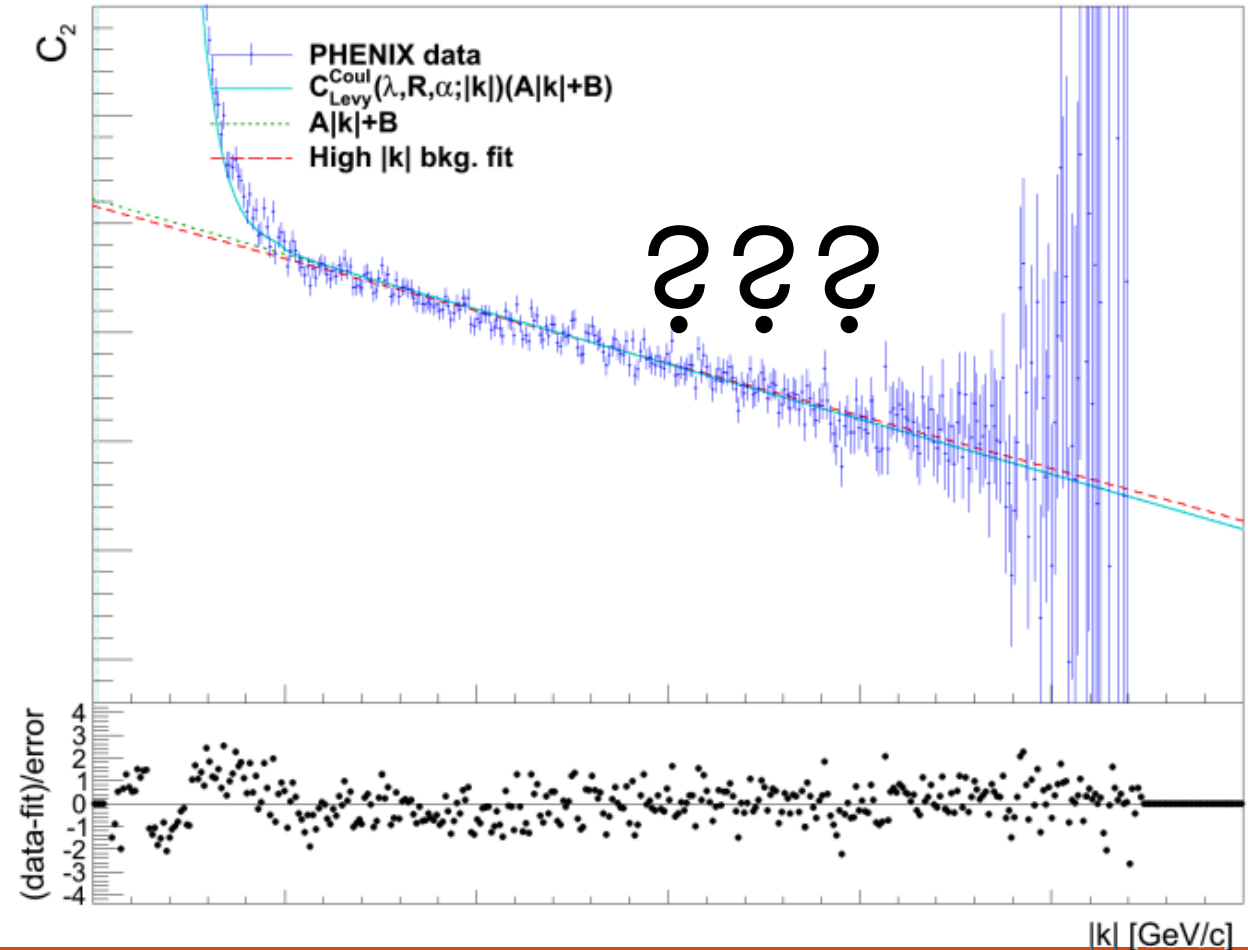
A kísérleti analízis közben felmerülő egyéb problémák, kihívások (néhány példa)

- Különböző detektorok által azonosított részecskék korr. fv.ei közti különbségek
- Az aktuális és háttér eloszlások nagyon kicsi relatív impulzusnál vett viselkedése
- A korrelációs fv.ek nagy relatív impulzusnál megfigyelt nem konstans viselkedése
- Megfelelő kinematikai változó választása
- Alacsony energiás adatok esetén az egyre rosszabb statisztikából adódó kihívás



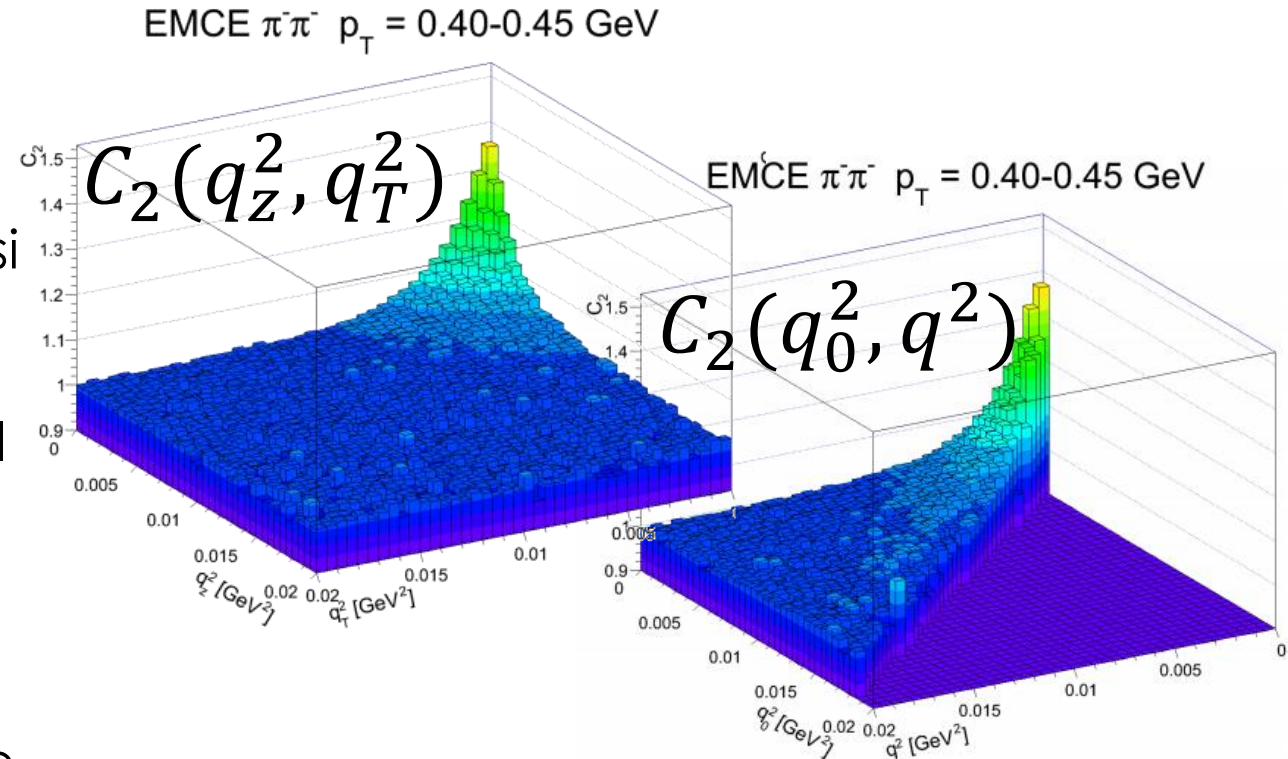
A kísérleti analízis közben felmerülő egyéb problémák, kihívások (néhány példa)

- Különböző detektorok által azonosított részecskék korr. fv.ei közti különbségek
- Az aktuális és háttér eloszlások nagyon kicsi relatív impulzusnál vett viselkedése
- A korrelációs fv.ek nagy relatív impulzusnál megfigyelt nem konstans viselkedése
- Megfelelő kinematikai változó választása
- Alacsony energiás adatok esetén az egyre rosszabb statisztikából adódó kihívás



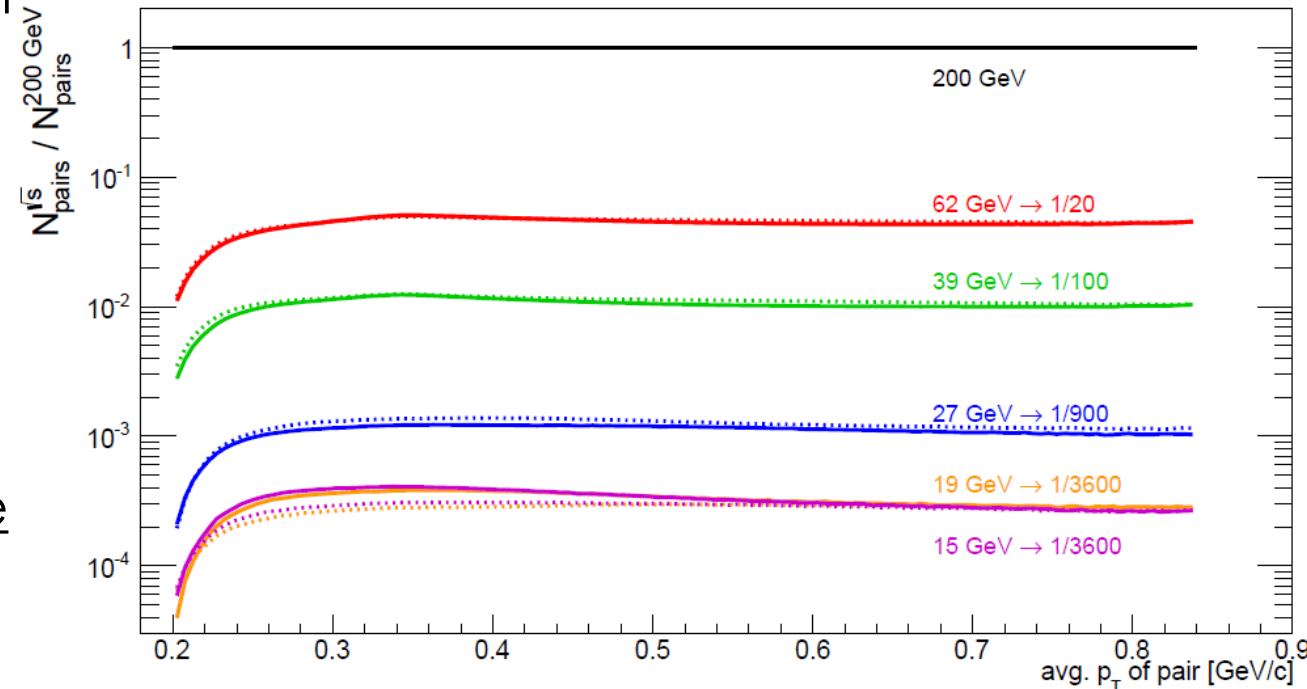
A kísérleti analízis közben felmerülő egyéb problémák, kihívások (néhány példa)

- Különböző detektorok által azonosított részecskék korr. fv.ei közti különbségek
- Az aktuális és háttér eloszlások nagyon kicsi relatív impulzusnál vett viselkedése
- A korrelációs fv.ek nagy relatív impulzusnál megfigyelt nem konstans viselkedése
- Megfelelő kinematikai változó választása
- Alacsony energiás adatok esetén az egyre rosszabb statisztikából adódó kihívás

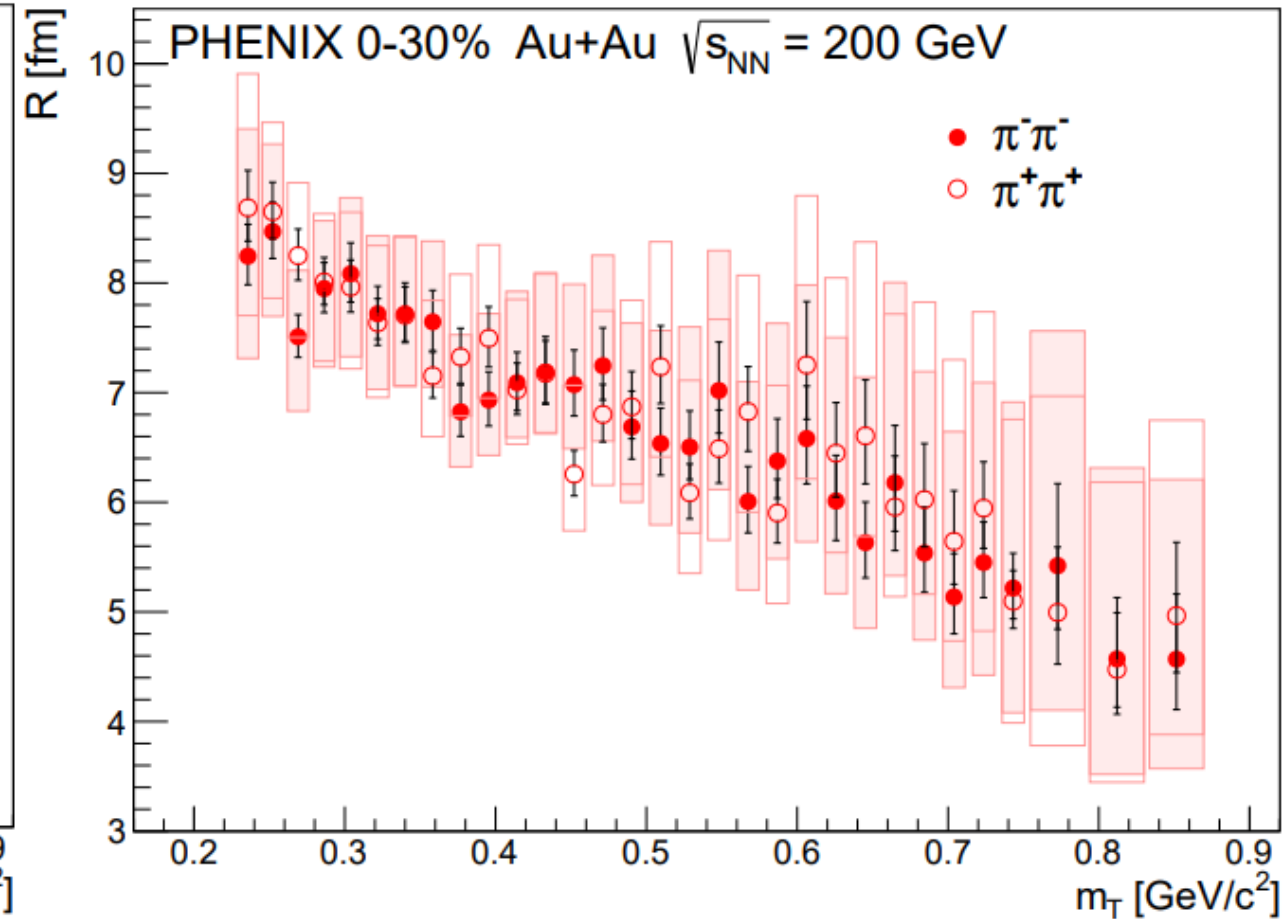
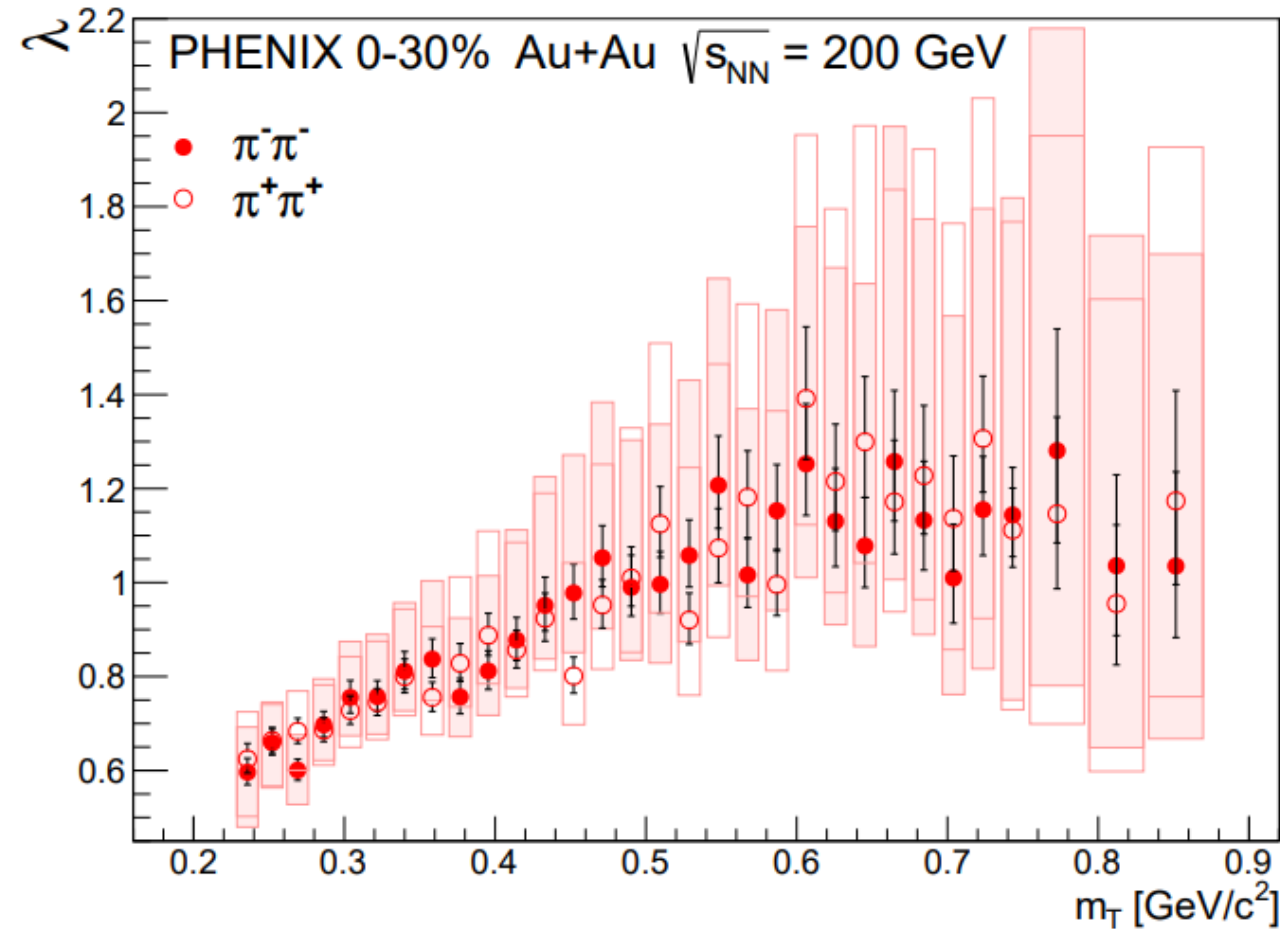


A kísérleti analízis közben felmerülő egyéb problémák, kihívások (néhány példa)

- Különböző detektorok által azonosított részecskék korr. fv.ei közti különbségek
- Az aktuális és háttér eloszlások nagyon kicsi relatív impulzusnál vett viselkedése
- A korrelációs fv.ek nagy relatív impulzusnál megfigyelt nem konstans viselkedése
- Megfelelő kinematikai változó választása
- Alacsony energiás adatok esetén az egyre rosszabb statisztikából adódó kihívás



Eredmények



Eredmények

