

# Korrelációs mérések a forró maganyag vizsgálatában

Varga-Kőfaragó Mónika

MTA Wigner FK

Nagyenergiás Fizika Osztály, Magyar ALICE csoport

2018 október 17.

Simonyi Nap



A kutatást a NKFIH/OTKA K 120660 számú pályázata támogatta.

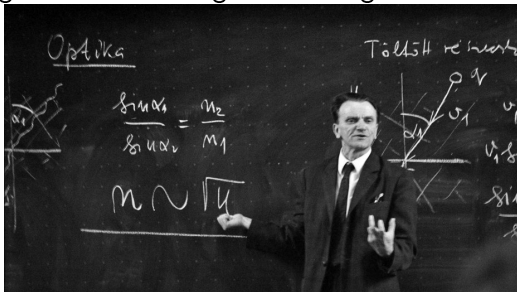
# Nehézion ütközések

- Cél: anyag vizsgálata extrém körülmények mellett (nyomás, hőmérséklet)
- Ma: hatalmas (27 km kerületű) gyorsító
- Történelem: Simonyi Károly – első magyar magfizikai részecskegyorsító
- 1951 dec. Magyarországon első mesterséges atommag átalakulása



Készítette: Ssimonyi  
A feltöltő saját munkája

CC BY-SA 3.0



Fotó: Ürmössy Károly



posta.hu



- 700 keV-re gyorsított protonokat
- Később megemelték 1 MeV-re
- Ma ennek a  $\sim$ milliószorosa
- Ma az ELTÉ-n van kiállítva

CC BY-SA 2.5

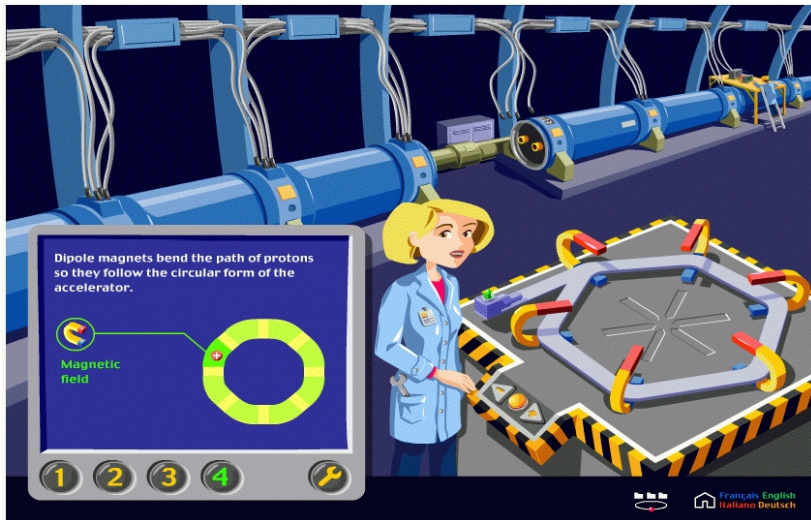
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=848400>

# Miért és hogyan gyorsítjuk a részecskéket?

- Magfizikai célja:
  - Atommagok mesterséges átalakítása
  - Atommag befogja a rálőtt protont
- Részecskefizikai célja:
  - Standard modell tesztelése
  - Standard modellen túl találni valamit
  - Ehhez felhasználjuk:  $E = mc^2$
- Nehézionfizikai célja:
  - Az Univerzum első másodpercének vizsgálata
  - Ehhez hatalmas nyomás és hőmérséklet kell

# Hogyan gyorsítjuk a részecskéket?

- Töltött részecskét
  - Elektromos térrel lehet gyorsítani
  - Mágneses térrel lehet elkanyarítani

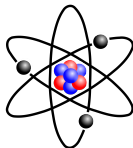
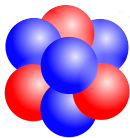
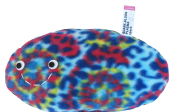


# A világegyetem rövid története

- Világegyetem tágul  $\rightarrow$  múltban sűrűbb volt
- Világegyetem kezdete: Ősrobbanás
- A világegyetem kora: 13,7 milliárd év

# A világegyetem rövid története

- Világegyetem tágul  $\rightarrow$  múltban sűrűbb volt
- Világegyetem kezdete: Ősrobbanás
- A világegyetem kora: 13,7 milliárd év



Ősrobbanás

Kvark-gluon  
plazma

Atommagok

Atomok

Csillagok

Mai világ

$t = 0$  s

0,000001 s

3 perc

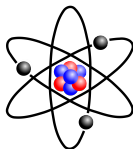
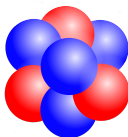
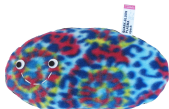
400 000 év

300 000 000 év

13,7 milliárd év

# A világegyetem rövid története

- Világegyetem tágul  $\rightarrow$  múltban sűrűbb volt
- Világegyetem kezdete: Ősrobbanás
- A világegyetem kora: 13,7 milliárd év



Ősrobbanás

Kvark-gluon  
plazma

Atommagok

Atomok

Csillagok

Mai világ

$t = 0$  s

0,000001 s

3 perc

400 000 év

300 000 000 év

13,7 milliárd év

- Kvark-gluon plazma

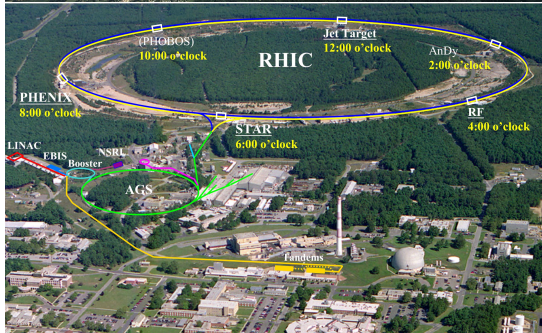
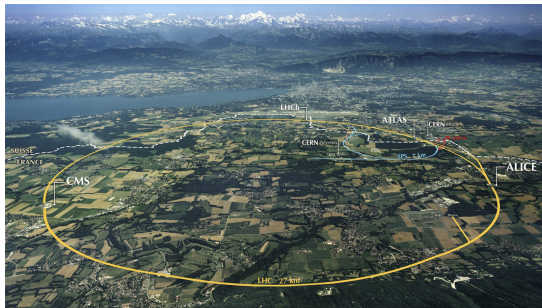
- Létrehozható nehézion ütközésekben
- Nagyon rövid ideig létezik  $\rightarrow$  utána kifagy részecskékké
- Detektorokban már csak a kifagyott részecskéket látjuk



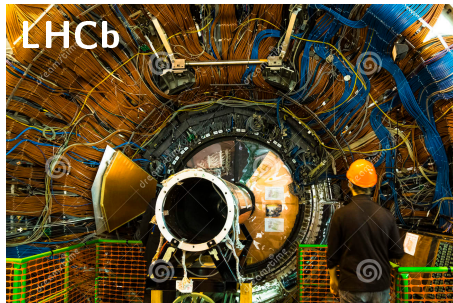
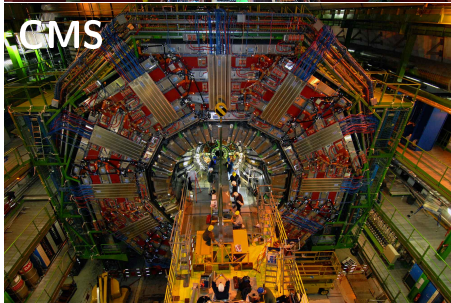
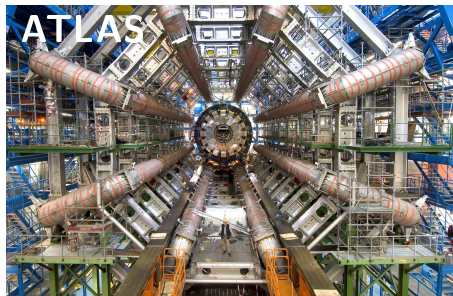


# Hogyan vizsgálhatjuk a kvark-gluon plazmát?

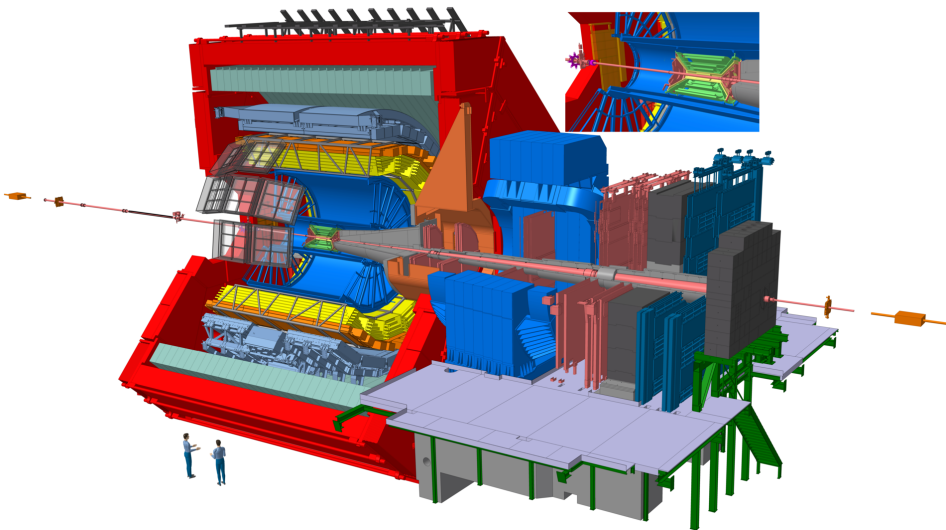
- Először is elő kell állítani: részecske ütköztetőket



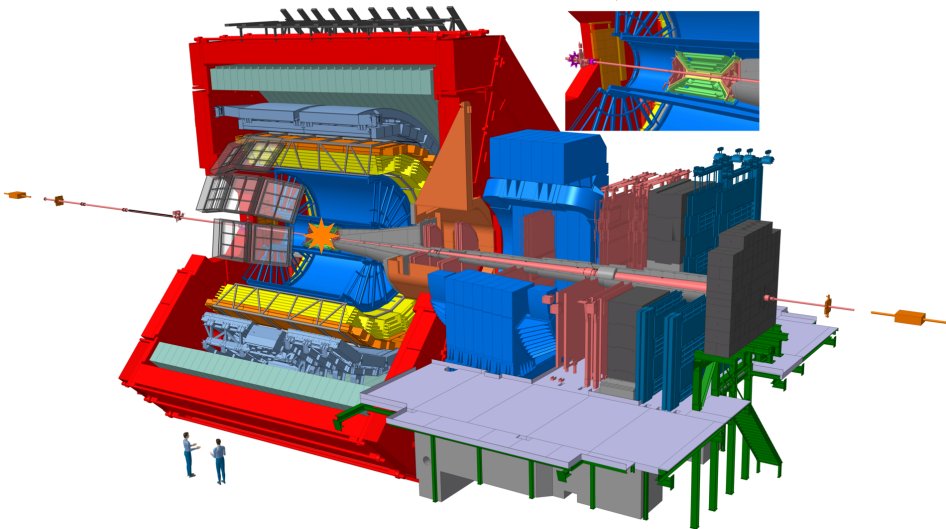
# Az LHC négy nagy detektora



# Az ALICE kísérlet



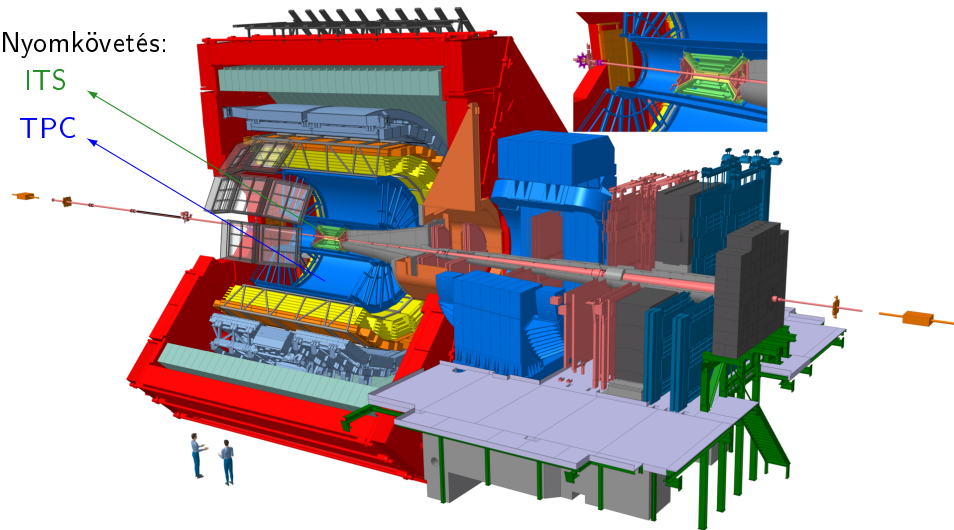
✦ Ütközési pont



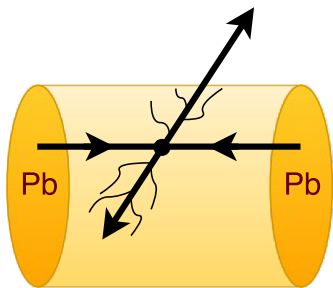
Nyomkövetés:

ITS

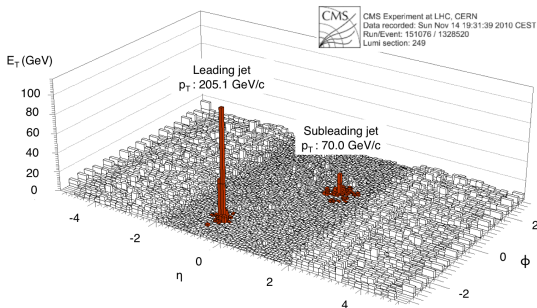
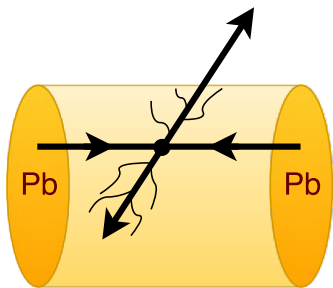
TPC



- Az ütközésben kvark-antikvark párok keletkeznek
- Egymásnak háttal repülnek ki
- Kvarkok mint egy irányba kirepülő sok részecske jelennek meg  $\Rightarrow$  jet
- Jetek kölcsönhatnak a kvark-gluon plazmával



- Az ütközésben kvark-antikvark párok keletkeznek
- Egymásnak háttal repülnek ki
- Kvarkok mint egy irányba kirepülő sok részecske jelennek meg  $\Rightarrow$  jet
- Jetek kölcsönhatnak a kvark-gluon plazmával
- Két háttal kirepülő jet nem azonos energiával jelenik meg



Phys. Rev. C84 (2011) 024906



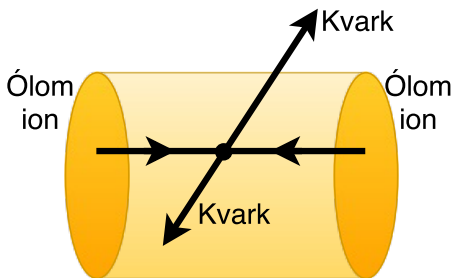


- Golyó és víz kölcsönhatása

# A kvarkok folyadékának vizsgálata

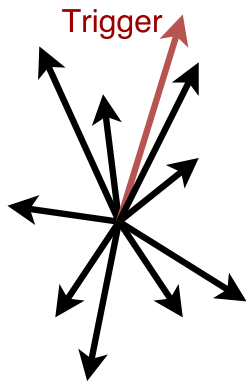


- Golyó és víz kölcsönhatása



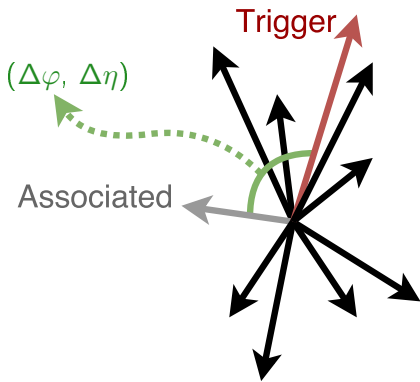
- Jetek és a kvark-gluon plazma kölcsönhatása
- Nehézség:  
a jet az ütközésben keletkezik

- Trigger és asszociált részecske
- Azimut szög ( $\Delta\varphi$ ) különbség
- Pszeudorapiditás ( $\Delta\eta$ ) különbség



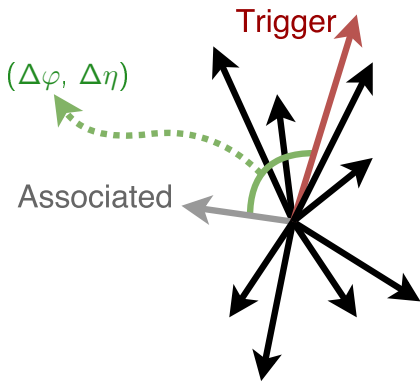
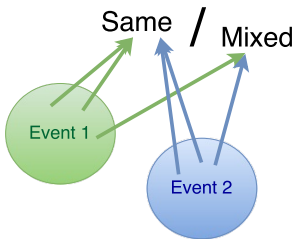
# Korrelációs mérések

- Trigger és asszociált részecske
- Azimut szög ( $\Delta\varphi$ ) különbség
- Pszeudorapiditás ( $\Delta\eta$ ) különbség

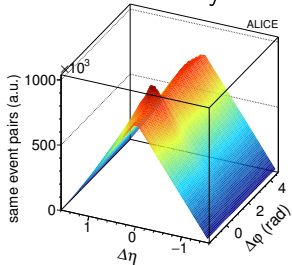


- Trigger és asszociált részecske
- Azimut szög ( $\Delta\varphi$ ) különbség
- Pszeudorapiditás ( $\Delta\eta$ ) különbség
- Triggerenkénti hozam:

$$\frac{1}{N_{trig}} \frac{d^2 N_{assoc}}{d\Delta\eta d\Delta\varphi} = \frac{S(\Delta\eta, \Delta\varphi)}{\alpha M(\Delta\eta, \Delta\varphi)}$$

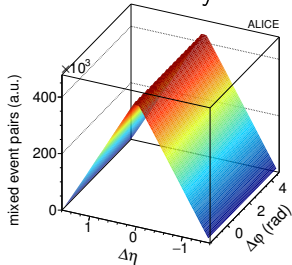


## Azonos esemény



ALICE-P0B-114797

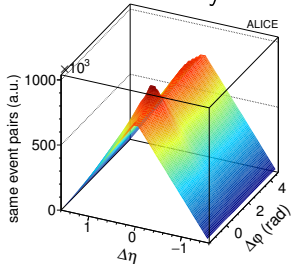
## Kevert esemény



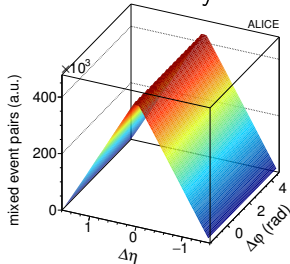
ALICE-P0B-114791

# Példa korrelációs mérésre

## Azonos esemény

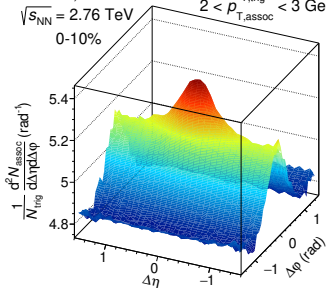


## Kevert esemény



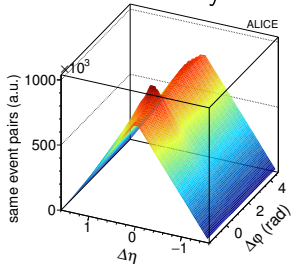
ALICE, Pb-Pb  
 $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$  TeV  
0-10%

$3 < p_{T, \text{trig}} < 4$  GeV/c  
 $2 < p_{T, \text{assoc}} < 3$  GeV/c

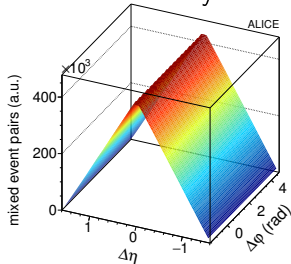


# Példa korrelációs mérésre

## Azonos esemény

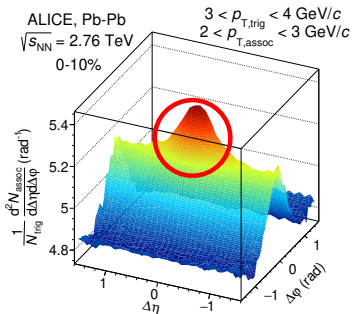


## Kevert esemény



ALICE-P0B-114797

ALICE-P0B-114791

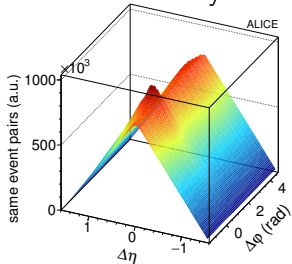


● Jetek mint csúcs jelennek meg

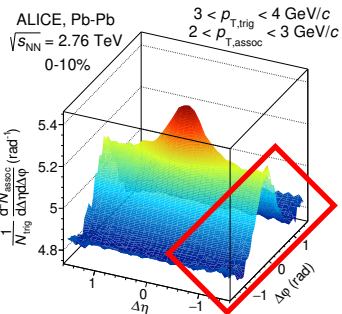
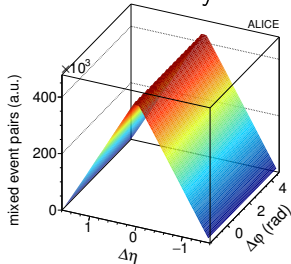


# Példa korrelációs mérésre

## Azonos esemény

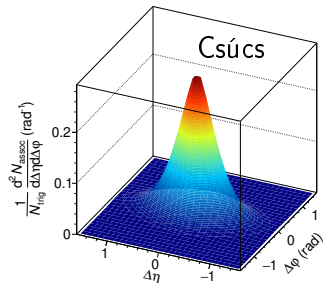
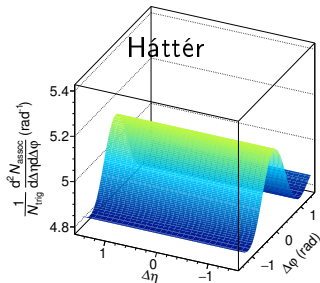
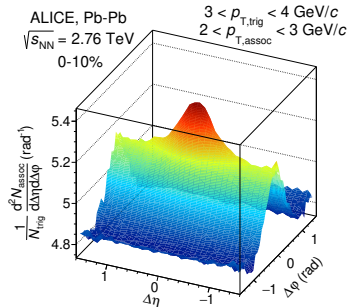


## Kevert esemény



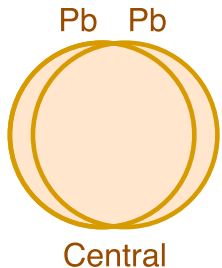
- Jetek mint csúcs jelennek meg
- Nagy háttér

# Illesztés – a háttér és a csúcs szétválasztása

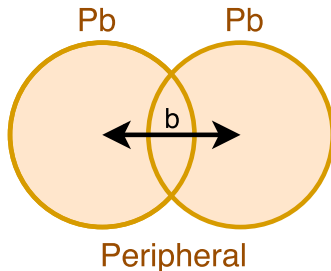


# Mennyire fednek át az ütköző atommagok?

- Centralitás fogalma



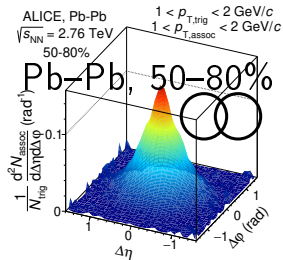
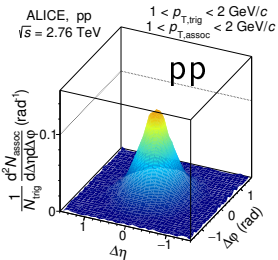
Centrális ütközések



Periférikus ütközések

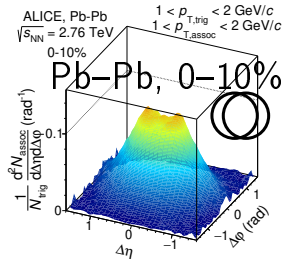
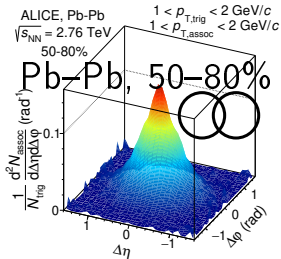
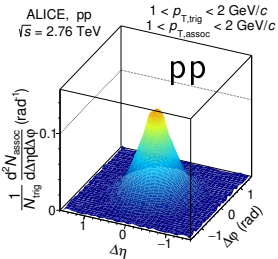
- Térfogat, ahol létrejön a kvark-gluon plazma változik
- Centrális ütközésekben lesz a legnagyobb a hatás
- Periférikus ütközésekre azt várjuk hogy nincs hatás

# A csúcs változása



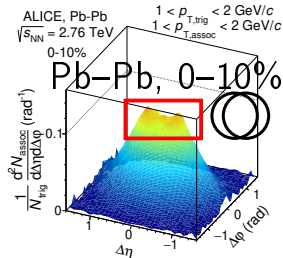
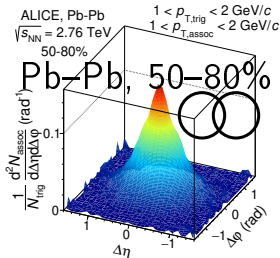
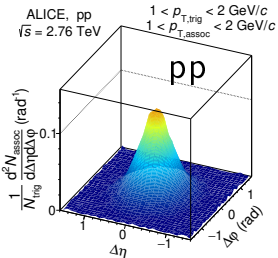
- pp és periférikus ütközés hasonló

# A csúcs változása



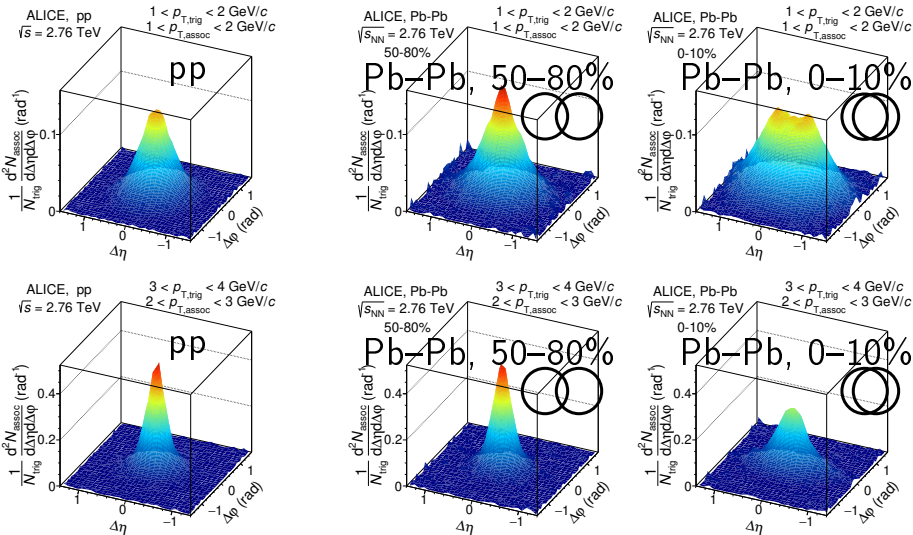
- Szélesebb és aszimmetrikus centrális ütközésekben

# A csúcs változása

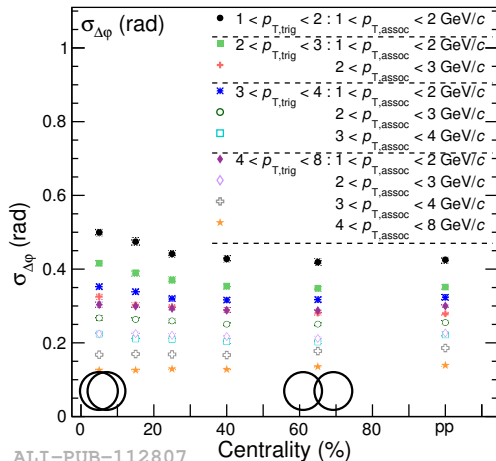


- Kráterszerű alakzat a csúcs közepén

# A csúcs változása

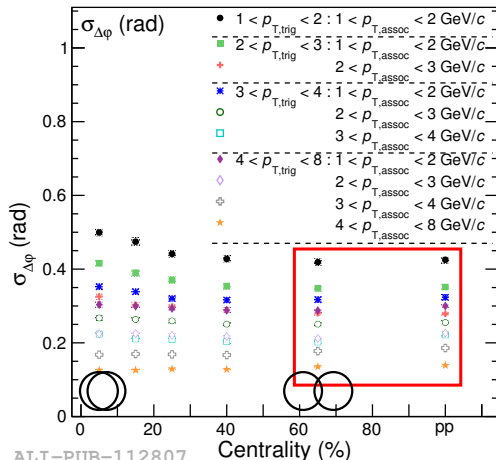


- Csúcs keskenyebb magas impulzusnál

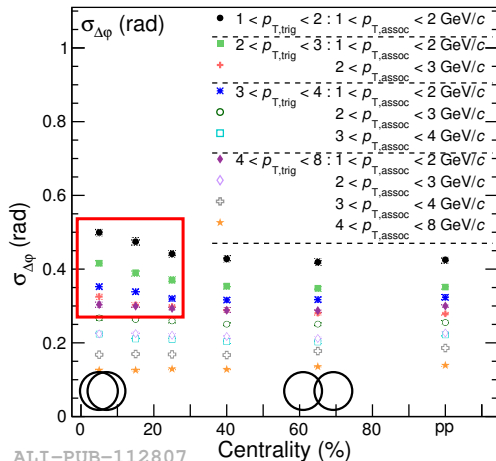


● Szélesség függ az impulzustól

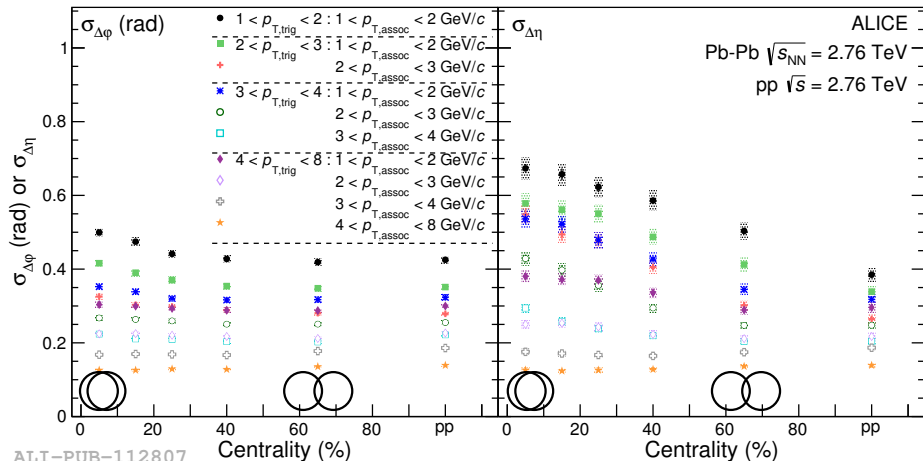




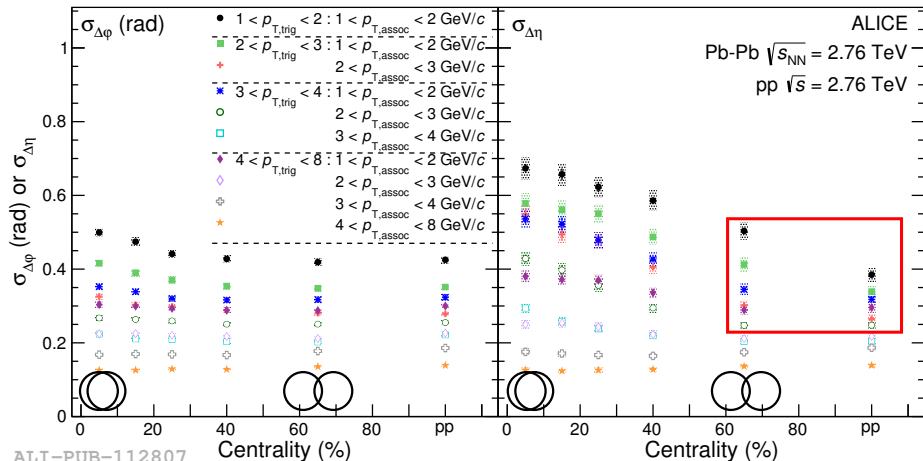
- Szélesség függ az impulzustól
- Periférikus ütközésben  $\Delta\phi$ -ben megegyezik a szélesség a pp ütközéssel



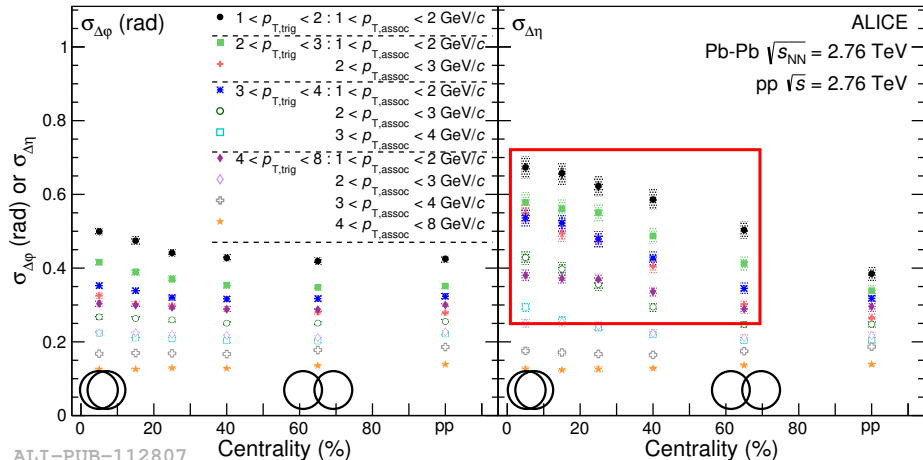
- Szélesség függ az impulzustól
- Periférikus ütközésben  $\Delta\phi$ -ben megegyezik a szélesség a pp ütközéssel
- Kis szélesedés alacsony impulzusnál centrális ütközések felé



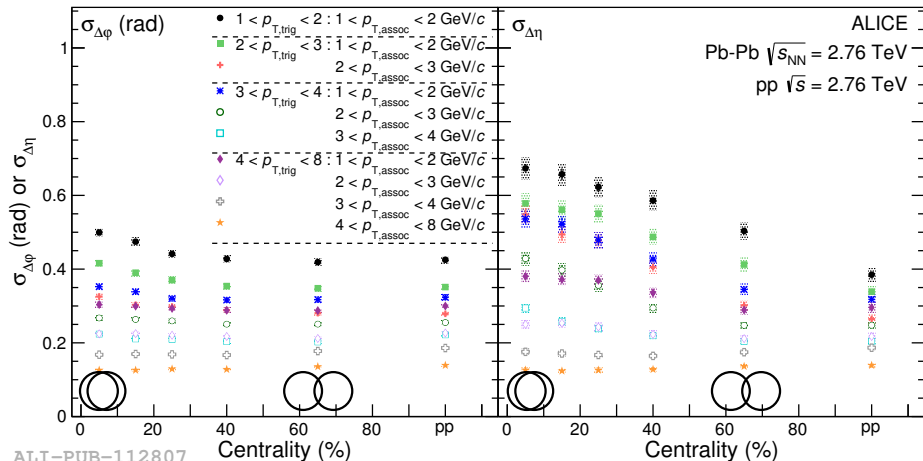
- Szélesség függ az impulzustól



- Szélesség függ az impulzustól
- Periférikus ütközésben  $\Delta\eta$ -ban nagyobb a szélesség mint pp ütközésben



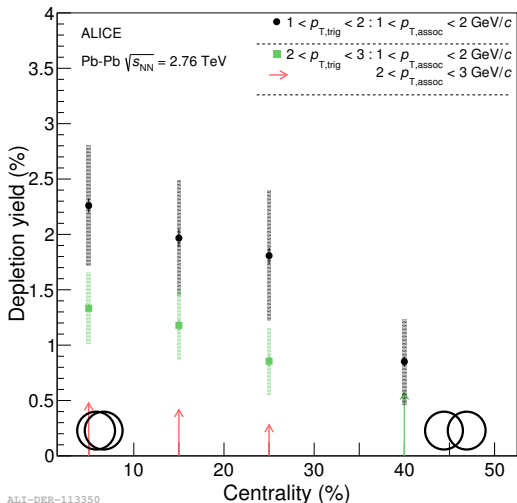
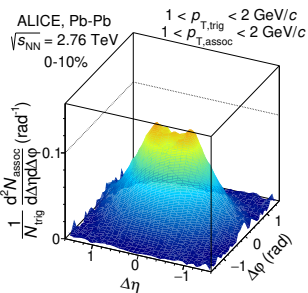
- Szélesség függ az impulzustól
- Periférikus ütközésben  $\Delta\eta$ -ban nagyobb a szélesség mint pp ütközésben
- **Erős szélesedés  $\Delta\eta$ -ban alacsony impulzusnál**



- A jetek legnagyobb módosulása centrális ütközésekben van
- A jetek és a kvark-gluon plazmával kölcsönhatásával magyarázható

# Krátterszerű hiány a csúcson

Phys. Rev. Lett. 119, 102301 (2017)  
Phys. Rev. C 96, 034904 (2017)



- A legnagyobb kráter centrális ütközésekben jelenik meg
- A jetek és a kvark-gluon plazmával kölcsönhatásával magyarázható

- Nagyenergiás ütköztetőkben vizsgálható az Univerzum első másodperce
- Ütközésekben létrejön a kvark-gluon plazma
- Jetek módosulását tanulmányozva megismerhetjük a kvark-gluon plazmát
- Szögkorrelációs mérésekkel vizsgálhatjuk a jetek módosulását

Köszönöm szépen a figyelmet!