

Nehéz kvarkok keletkezése az LHC ALICE kísérleténél



Vértesi Róbert

vertesi.robort@wigner.mta.hu

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont
Részecske- és Magfizikai Intézete

ALICE-Budapest csoport
<http://alice.wigner.mta.hu>



ALICE

Próbák nehéz kvarkokkal

- A nehéz kvarkok keltése: korai folyamatokban

$$\tau_{c,b} \sim \frac{1}{2} m_{c,b} \sim 0.1 \text{ fm} \ll \tau_{\text{QGP}} \sim 5-10 \text{ fm}$$

Rapp, Hees, ISBN:978-981-4293-28-0

- A számuk (gyakorlatilag) nem változik

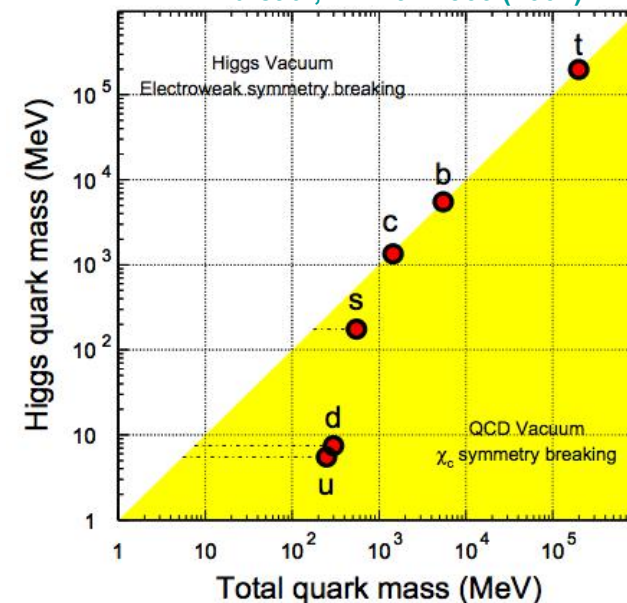
$$m \gg \Lambda \quad (m_c \sim 1.5 \text{ GeV}, m_b \sim 5 \text{ GeV})$$

- Nincs ízváltás
- Elhanyagolható termális keletkezés

→ Nagyon csekély keltés, elnyelődés az sQGP-ben

Collins, Soper, Sterman, NPB 263 (1986) 37.

X. Zhu et al, PLB 647 366 (2007)



Próbák nehéz kvarkokkal

- A nehéz kvarkok keltése: korai folyamatokban

$$\tau_{c,b} \sim \frac{1}{2} m_{c,b} \sim 0.1 \text{ fm} \ll \tau_{\text{QGP}} \sim 5-10 \text{ fm}$$

Rapp, Hees, ISBN:978-981-4293-28-0

- A számuk (gyakorlatilag) nem változik

$$m \gg \Lambda \quad (m_c \sim 1.5 \text{ GeV}, m_b \sim 5 \text{ GeV})$$

- Nincs ízváltás
- Elhanyagolható termális keletkezés

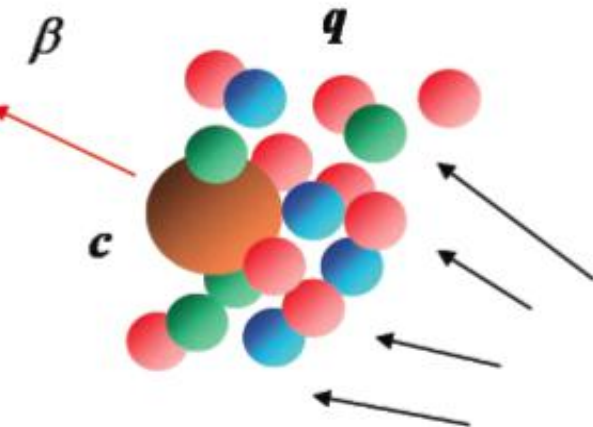
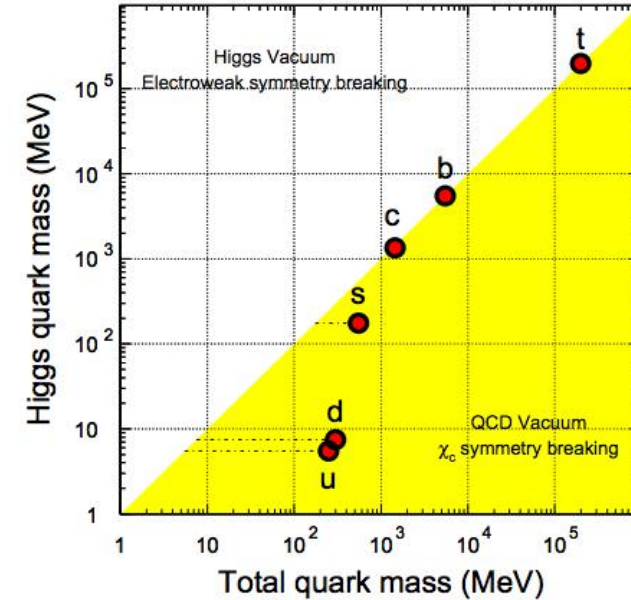
→ Nagyon csekély keltés, elnyelődés az sQGP-ben

Collins, Soper, Sterman, NPB 263 (1986) 37.

- Transzport a teljes reakción keresztül

- Kinematikai tulajdonságok változnak az sQGP-ben: **energiavesztés ütközéssel és sugárzással**
- Információt hoz a **transzport paramétereiről**
- ...egészen **alacsony impulzusokig**
- **Könnyű vagy nehéz? Charm vagy bottom?**

X. Zhu et al, PLB 647 366 (2007)



Próbák nehéz kvarkokkal

- A nehéz kvarkok keltése: korai folyamatokban

$$\tau_{c,b} \sim \frac{1}{2} m_{c,b} \sim 0.1 \text{ fm} \ll \tau_{\text{QGP}} \sim 5-10 \text{ fm}$$

Rapp, Hees, ISBN:978-981-4293-28-0

- A számuk (gyakorlatilag) nem változik

$$m \gg \Lambda \quad (m_c \sim 1.5 \text{ GeV}, m_b \sim 5 \text{ GeV})$$

- Nincs ízváltás
- Elhanyagolható termális keletkezés

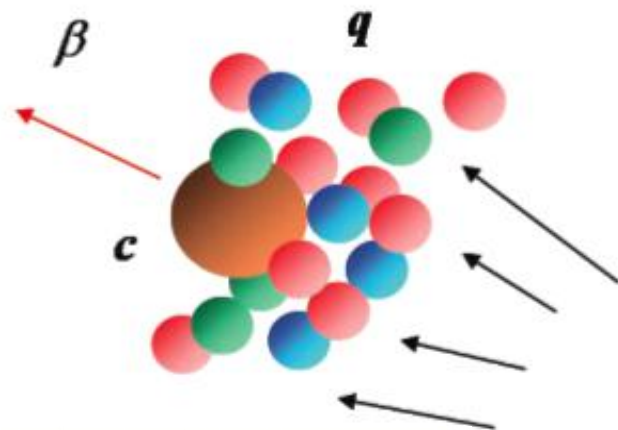
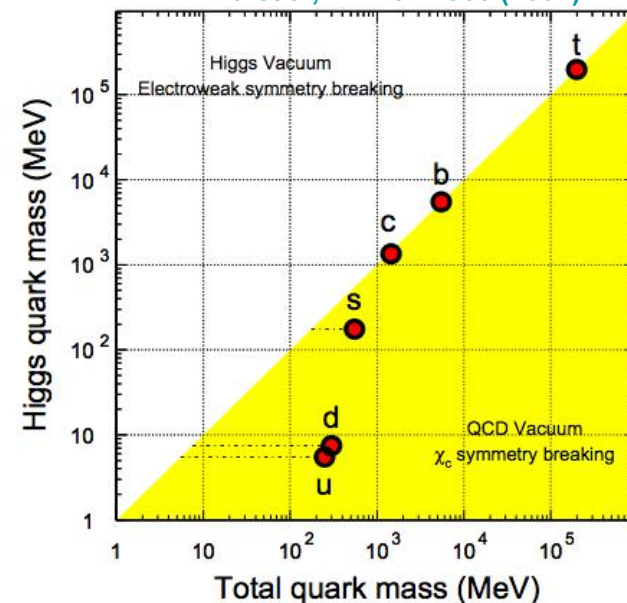
→ Nagyon csekély keltés, elnyelődés az sQGP-ben

Collins, Soper, Sterman, NPB 263 (1986) 37.

- Transzport a teljes reakción keresztül

- Kinematikai tulajdonságok változnak az sQGP-ben: **energiavesztés ütközéssel és sugárzással**
- Információt hoz a **transzport paramétereiről**
- ...egészen **alacsony impulzusokig**
- **Könnyű vagy nehéz? Charm vagy bottom?**

X. Zhu et al, PLB 647 366 (2007)



Áthatoló próba alacsony impulzusoknál is!

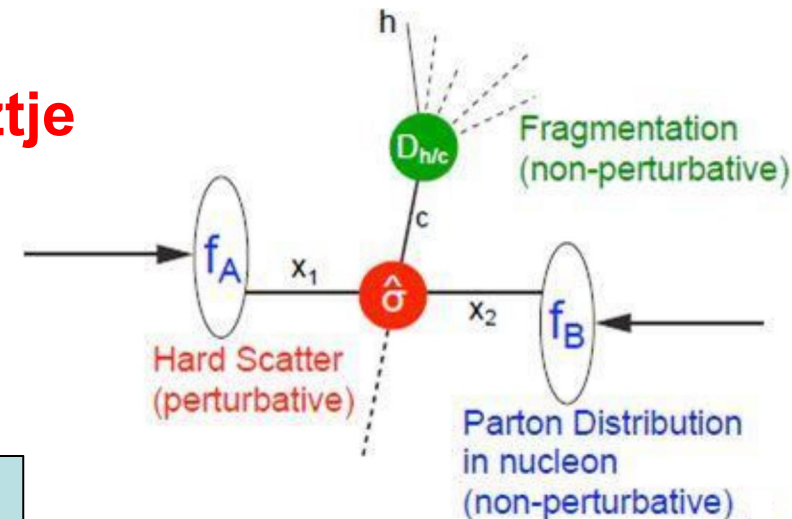
Nehéz kvarkok p+p ütközésekben

■ Hozam pp ütközésekben:

A pQCD modellek elsődleges tesztje

- Nehéz kvarkok: $m_{c,b} \gg \Lambda_{\text{QCD}}$
→ Kis impulzusoknál is perturbatív
- Faktorizálhatóság:
 - Partoneloszlás-függvény (PDF)
 - Kemény szórási folyamat
 - Fragmentáció

Feynman-x:
 $x_1 = p_{\parallel}^A / p_{\parallel,\text{max}}^A$
 Q: Impulzusátadás



$$\sigma_{hh \rightarrow H} = f_a(x_1, Q^2) \otimes f_b(x_2, Q^2) \otimes \sigma_{ab \rightarrow q\bar{q}} \otimes D_{q \rightarrow H}(z_q, Q^2)$$

Nehéz kvarkok p+p ütközésekben

■ Hozam pp ütközésekben:

A pQCD modellek elsődleges tesztje

- Nehéz kvarkok: $m_{c,b} \gg \Lambda_{\text{QCD}}$
→ Kis impulzusoknál is perturbatív
- Faktorizálhatóság:
 - Partoneloszlás-függvény (PDF)
 - Kemény szórási folyamat
 - Fragmentáció

Feynman-x:
 $x_1 = p_{\parallel}^A / p_{\parallel, \text{max}}^A$
 Q: Impulzusátadás

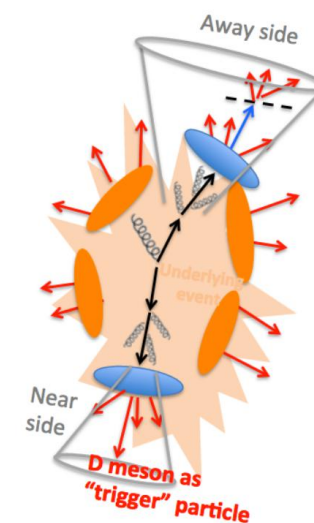
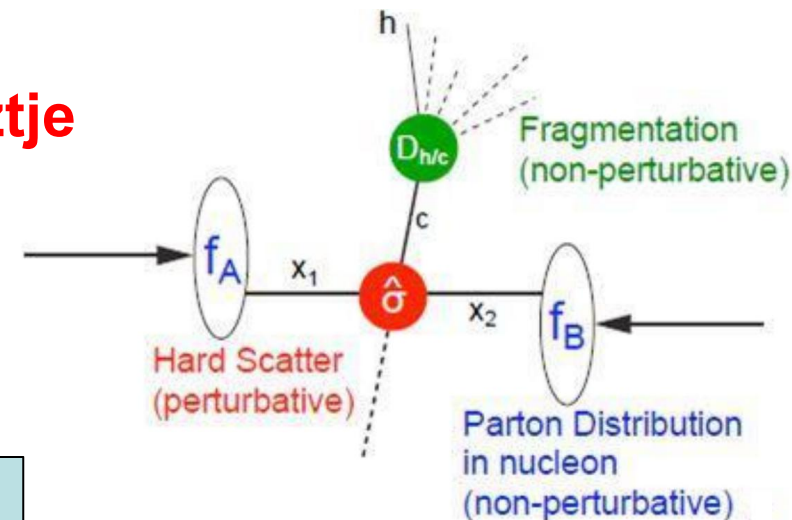
$$\sigma_{hh \rightarrow H} = f_a(x_1, Q^2) \otimes f_b(x_2, Q^2) \otimes \sigma_{ab \rightarrow q\bar{q}} \otimes D_{q \rightarrow H}(z_q, Q^2)$$

■ Jetek és korrelációk

- Könnyű és nehéz jetek: ízfüggő fragmentáció
- Gluonhasadási folyamatok járuléka?

■ Mezonok és barionok

- Fragmentációs modellek tesztje



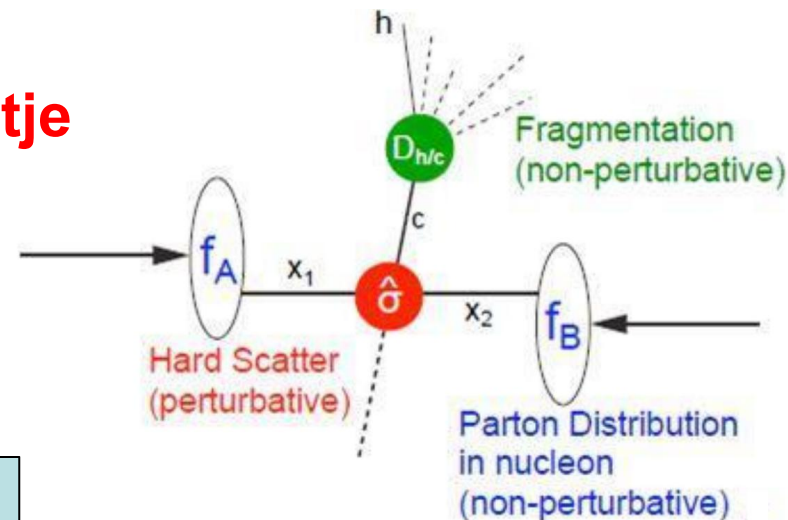
Nehéz kvarkok p+p ütközésekben

■ Hozam pp ütközésekben:

A pQCD modellek elsődleges tesztje

- Nehéz kvarkok: $m_{c,b} \gg \Lambda_{\text{QCD}}$
→ Kis impulzusoknál is perturbatív
- Faktorizálhatóság:
 - Partoneloszlás-függvény (PDF)
 - Kemény szórási folyamat
 - Fragmentáció

Feynman-x:
 $x_1 = p_{\parallel}^A / p_{\parallel, \text{max}}^A$
 Q: Impulzusátadás



$$\sigma_{hh \rightarrow H} = f_a(x_1, Q^2) \otimes f_b(x_2, Q^2) \otimes \sigma_{ab \rightarrow q\bar{q}} \otimes D_{q \rightarrow H}(z_q, Q^2)$$

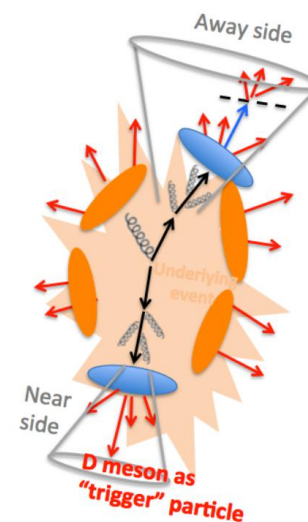
■ Jetek és korrelációk

- Könnyű és nehéz jetek: ízfüggő fragmentáció
- Gluonhasadási folyamatok járuléka?

■ Mezonok és barionok

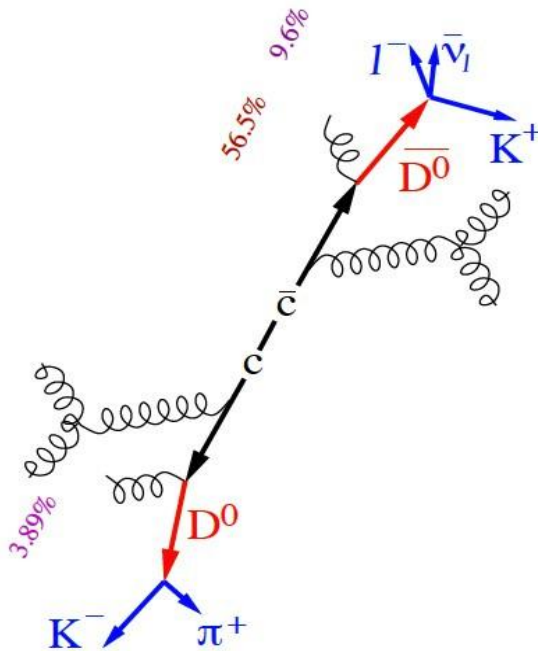
- Fragmentációs modellek tesztje

■ Referencia p+A és A+A ütközések értelmezéséhez



A nehéz kvarkok észlelése

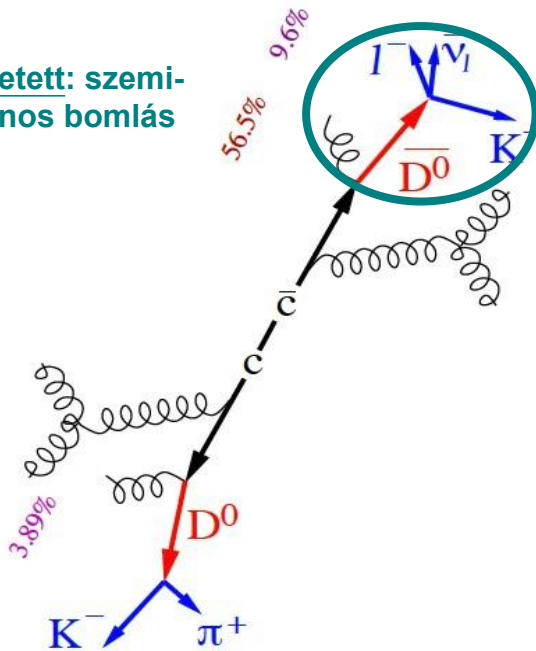
- Kvarkbezárás: **c** és **b** közvetett kimutatás lehetséges csak
- Hadronizáció során mezonokká (**D**, **B**) alakul
- Kimutatás:
 bomlástermékek azonosítása



A nehéz kvarkok észlelése

- Kvarkbezárás: **c** és **b** közvetett kimutatás lehetséges csak
- Hadronizáció során mezonokká (**D**, **B**) alakul
- Kimutatás:
bomlástermékek azonosítása

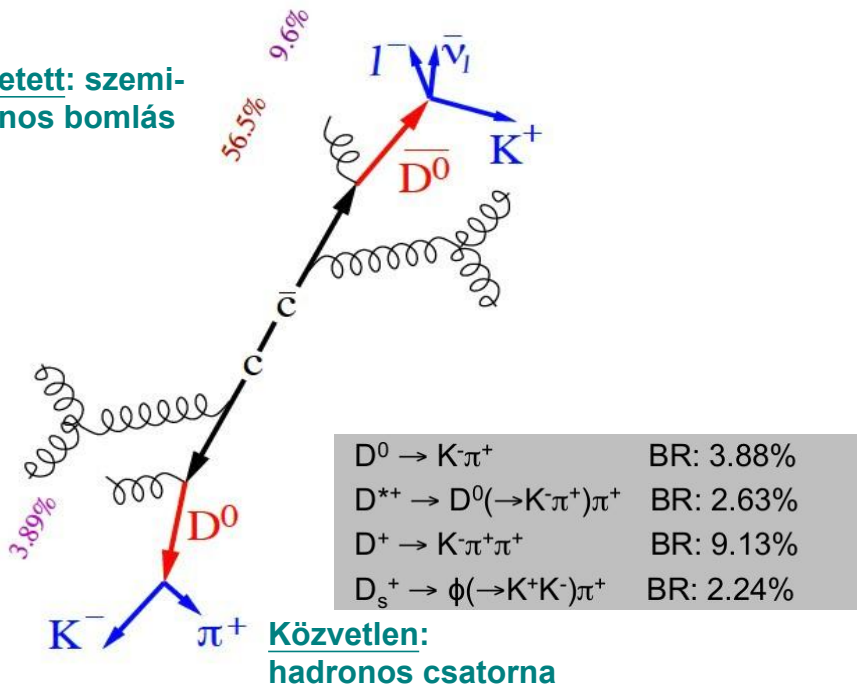
Közvetett: szemi-leptonos bomlás



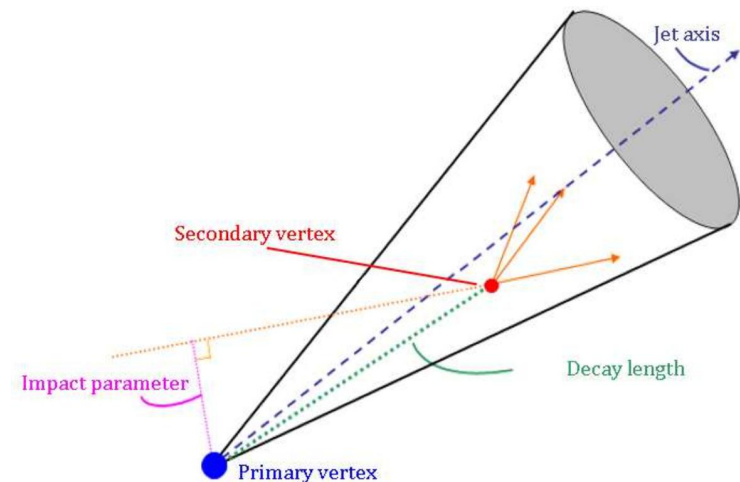
A nehéz kvarkok észlelése

- Kvarkbezárás: **c** és **b** közvetett kimutatás lehetséges csak
- Hadronizáció során mezonokká (**D**, **B**) alakul
- Kimutatás:
bomlástermékek azonosítása

Közvetett: szemileptonos bomlás



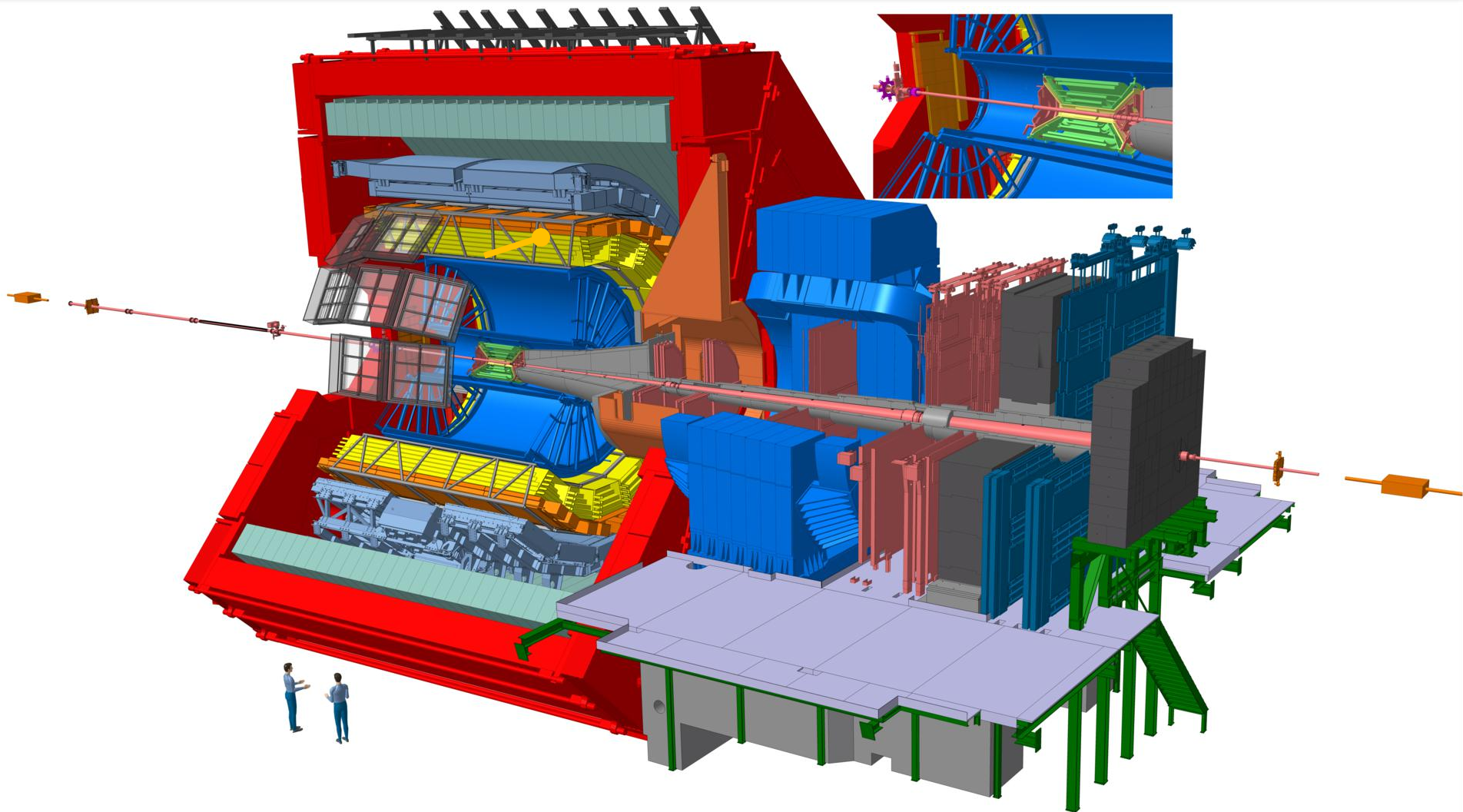
a bomlás helyének visszakövetése
(másodlagos vertex rekonstrukciója)



Nehéz kvarkok élettartama: $c\tau(D) \sim 100\text{-}300\text{ mm}$
 $c\tau(B) \sim 400\text{-}500\text{ mm}$

Másodlagos vertex felbontása: $<100\text{ mm}$

ALICE



- Az LHC dedikált nehézion-kísérlete
- kiemelkedő részecskeazonosítási képességek

ALICE

EMCal: energia, elektron ID

TRD: átmeneti sugárzáson alapuló hadronvétő

TOF: azonosítás pontos repülésiidő-méréssel

központi kar: $|\eta| < 0.9$

ITS: töltött részecskék nyomkövetése, másodlagos vertex

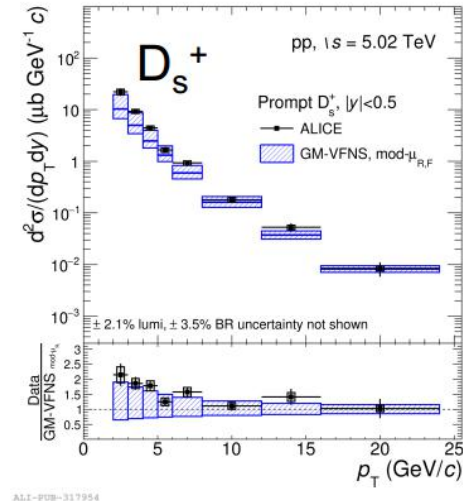
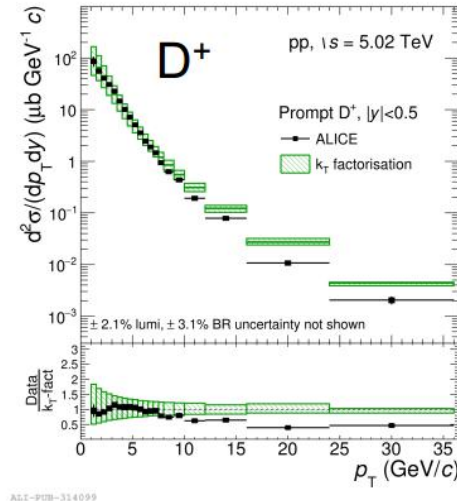
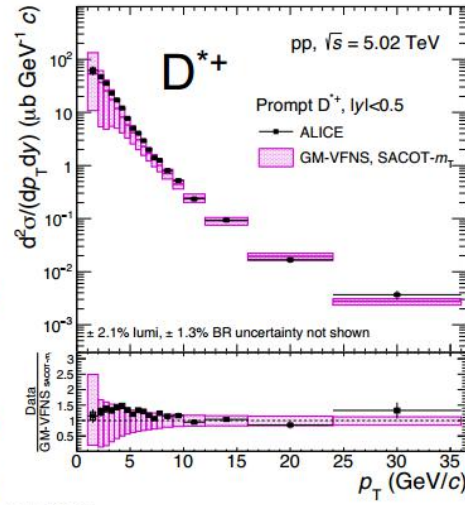
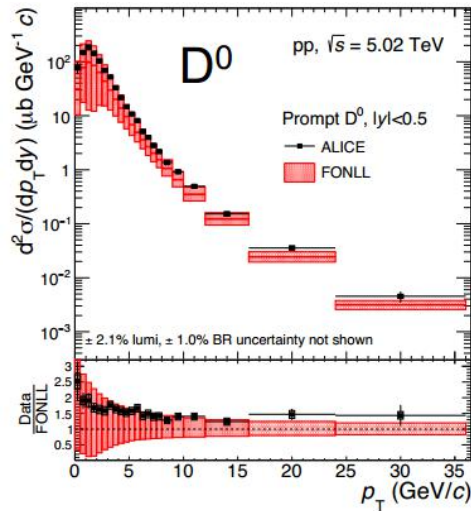
TPC: töltött részecskék nyomkövetése, azonosítás

Müonspektrométer: előreszóró tartomány $-4 < \eta < -2.5$ müon trigger és -nyomkövetés

- Az LHC dedikált nehézion-kísérlete
- kiemelkedő részecskeazonosítási képességek

pp: D-mezonok keltése

Eur.Phys.J. C79 (2019) no.5, 388



FONLL: JHEP 10 (2012) 137

GM-VFNS SACOT- m_T :
JHEP 05 (2018)

k_T -factorization:
PRD 98, no. 1 (2018)

GM-VFNS mod μ_R, F :
JHEP 12 (2017); NPB925 (2017)

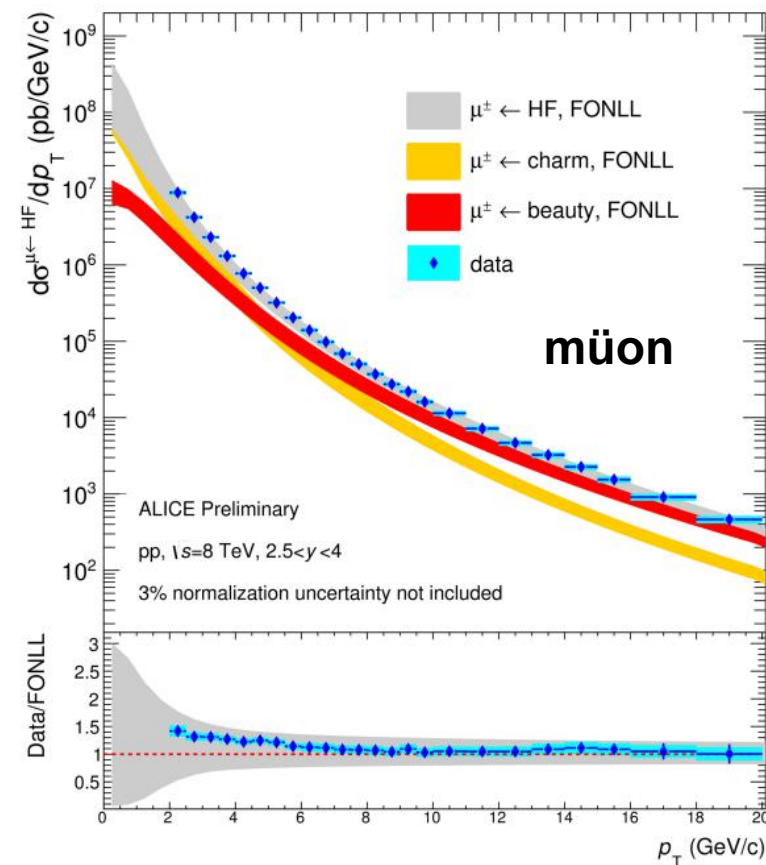
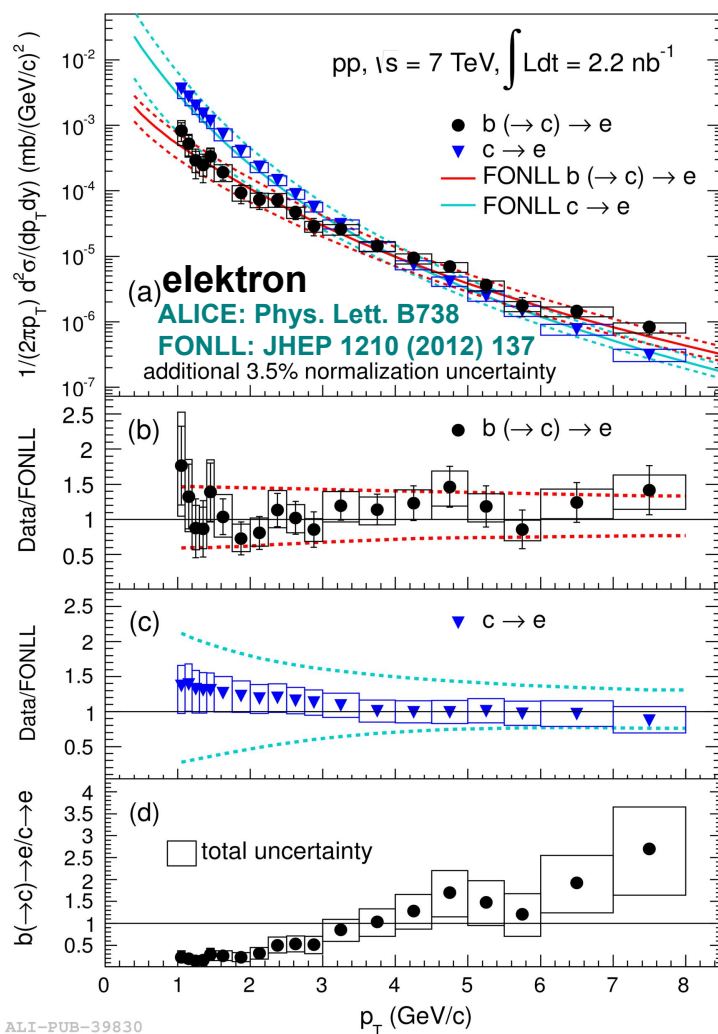
$\sqrt{s}=5.02$ TeV pp: új, nagy pontosságú D^0 , D^{*+} , D^+ , D_s^+ mérések

- D^0 alacsony impulzusokig ($p_T > 0$ GeV/c): csak PID
- Új referencia nehézion-rendszerekhez (p-Pb and Pb-Pb)

A pQCD modellek részletes ellenőrzése

- Faktorizáció alapuló modellek jól leírják
- Erős megszorítás a modellekre (kísérleti bizonytalanság kisebb)

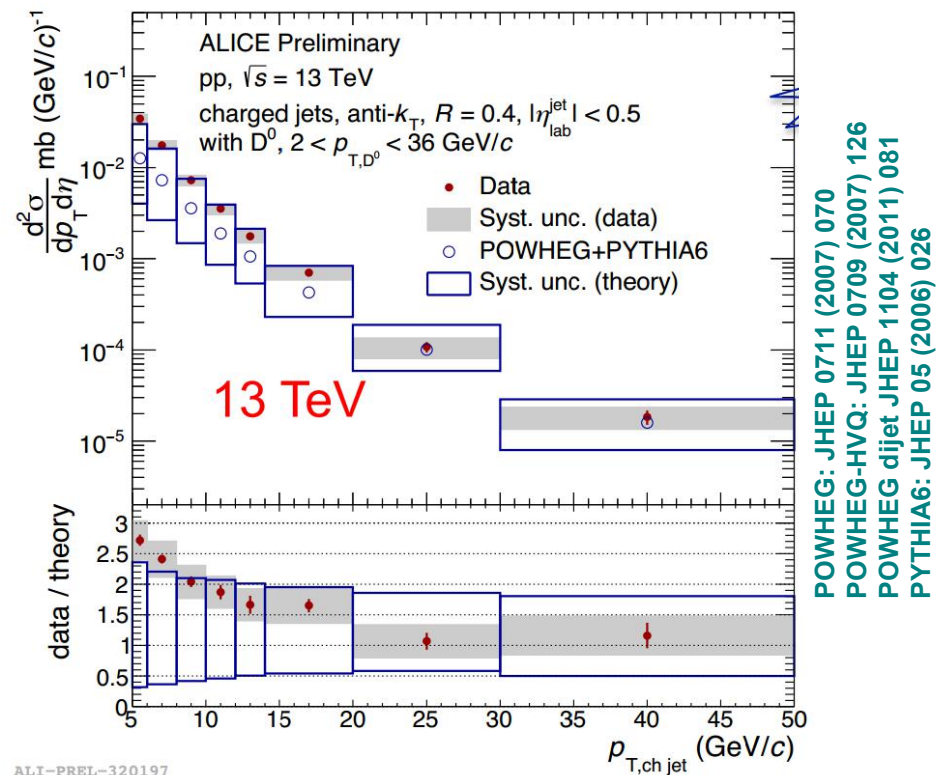
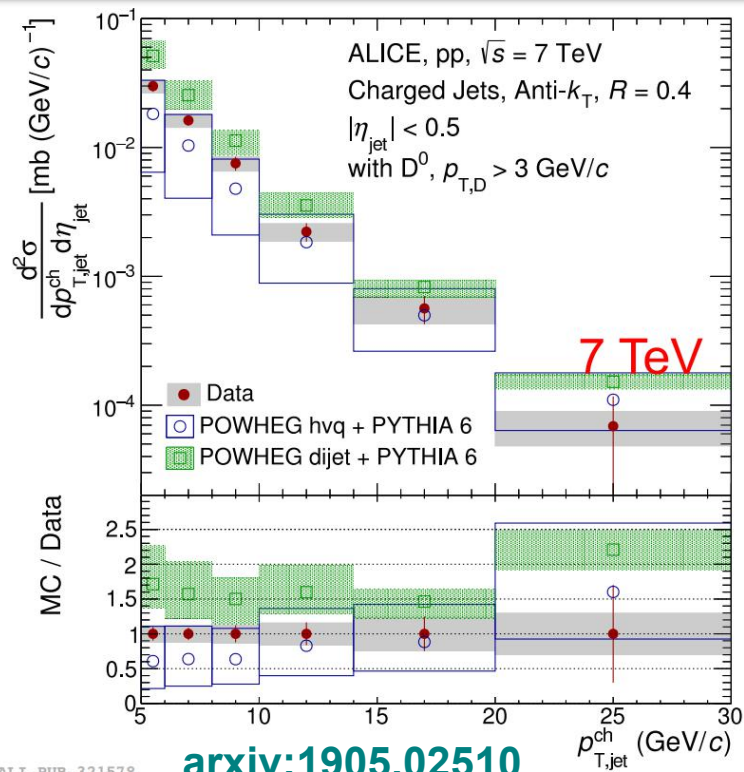
Elektronok és müonok b,c kvarkokból



ALI-PREL-135644

- FONLL pQCD mind a **beauty**, mind a **charm** bomlási elektronokat leírja
- Mid-rapiditású **elektronok** és előreszórt ($2.5 < y < 4$) **müonok** jó leírása

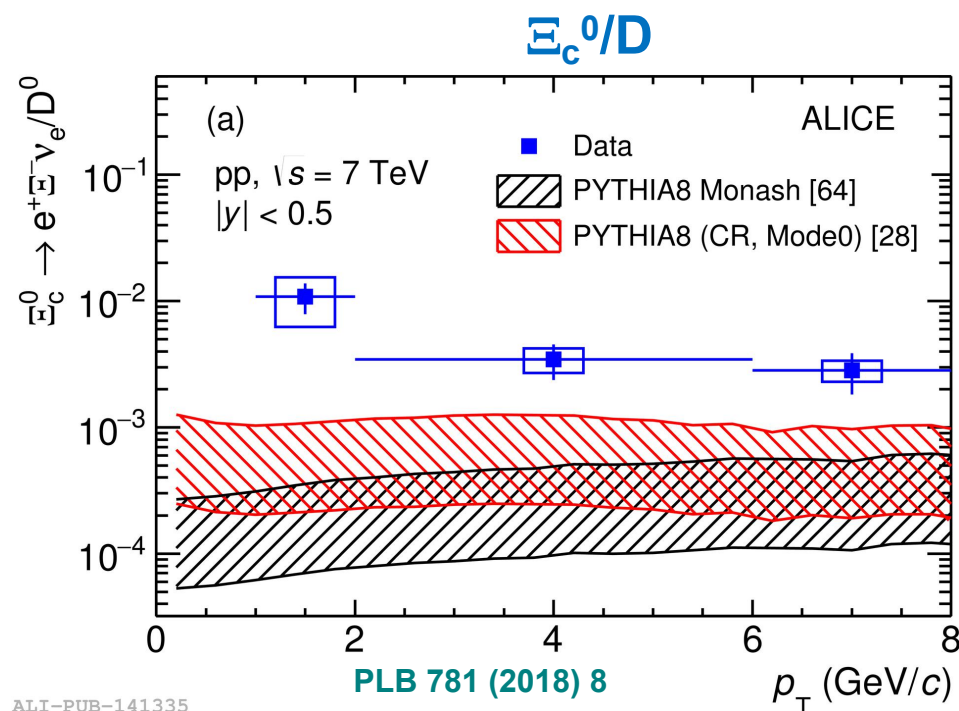
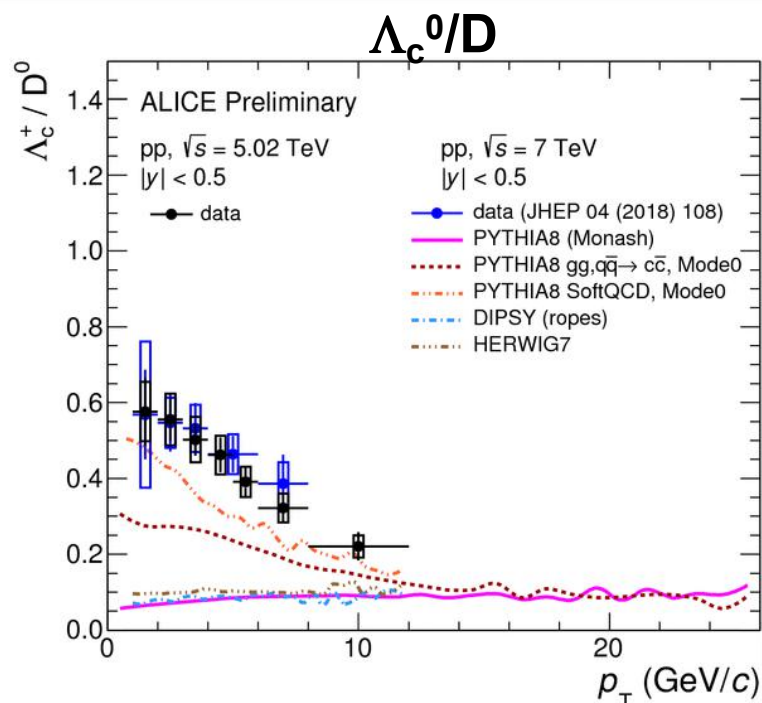
charm-jetek spektruma



- Charm azonosítása a D-mezonok teljes rekonstrukciójával
 - Mérési pontok $p_T^{\text{jet}} = 5$ GeV/c impulzustól fölfelé, 7 és 13 TeV energián
 - POWHEG(HVQ)+PYTHIA6(Perugia11) megfelelően leírja az adatokat
 - Erős megszorítások a modellekre
- ⇒ **egyedi lehetőség a jet jellemzőinek tanulmányozására**

Referencia a maganyag-módosulás méréséhez

Barion-mezon arány: Λ_c^+/D^0 , Ξ_c^0/D^0

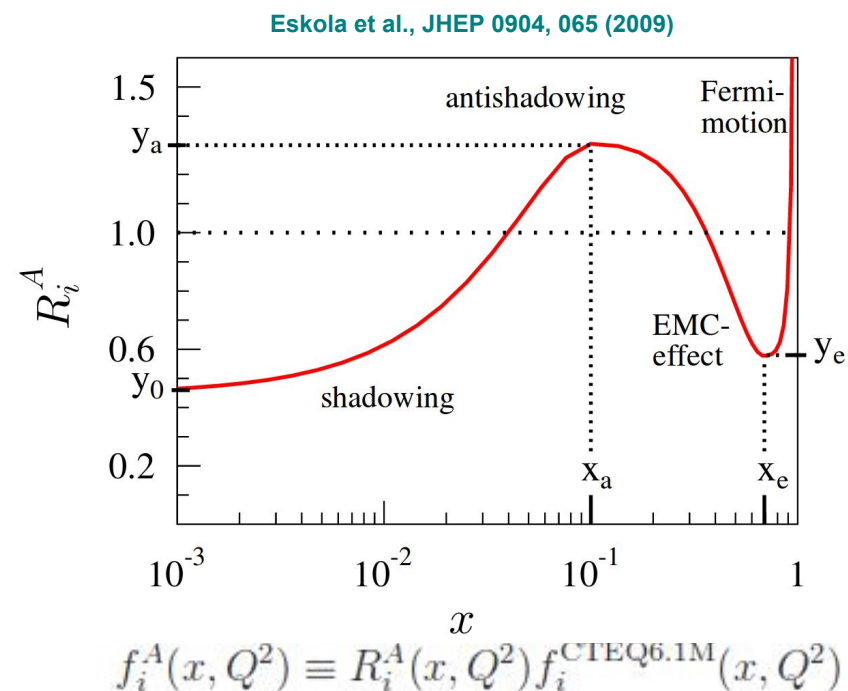


PYTHIA8: JHEP 05 (2006) 026
DIPSY: JHEP 1503 (2015) 148
HERWIG7: EPJ C76 (2016) no.4 196

- Új, pontos Λ_c^+ mérés, és az első Ξ_c mérés az LHC-nél
- Az ee-ütközéseken alapuló modellek alulbecslik a barion:mezon arányt (a Ξ_c^0/D^0 és Λ_c^+/D^0 esetében is)
- Független a hadronizáció az ütköző rendszertől?
 - PYTHIA8 színhúrképződés vezető renden túl:
[Christiansen, Skands, JHEP 1508 \(2015\) 003](#)
 - Ismeretlen charm-tartalmú barionállapotok bomlásából származó többlet:
[He, Rapp, 1902.08889](#)

Nehéz kvarkok p+A ütközésekben

- Hideg maganyag hatásai
 - PDF módosulása (árnyékolás)
 - Gluon-szaturáció
 - Sokszoros szórások ("k_T-kiszélesedés")
 - Elnyelődés a maganyagban

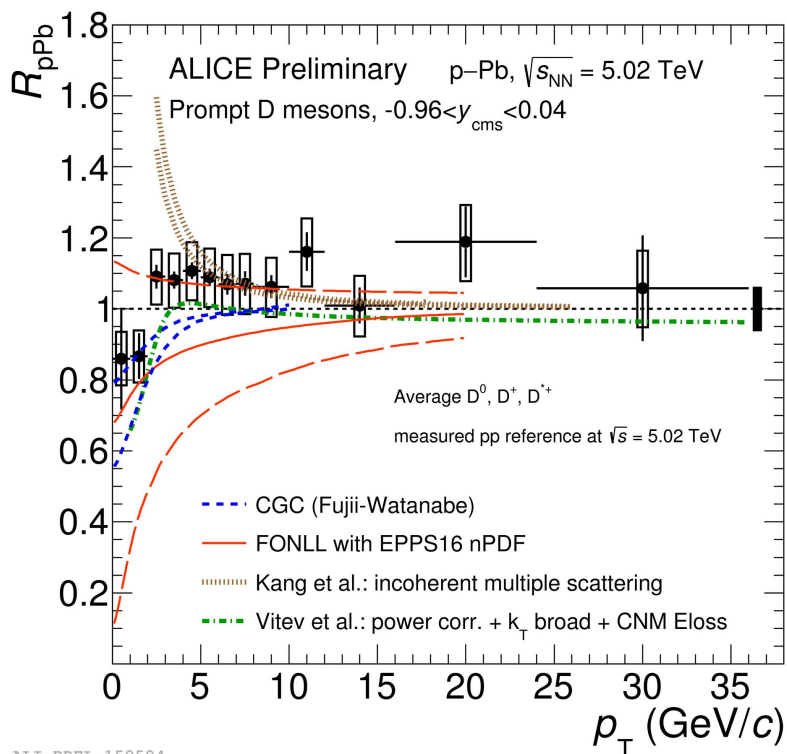


- Nukleáris módosulás (R_{pA} , Q_{CP})

$$R_{pPb} = \frac{d\sigma_{pPb} / dp_T}{A \times d\sigma_{pp} / dp_T}$$

- Viszonyítási alap a forró maganyag hatásaira nézve
Megj: Nem kizárt a forró maganyag sem a nagyenergiás p+A ütközésekben

D-mezonok nukleáris módosulása



$$R_{pPb} = \frac{d\sigma_{pPb} / dp_T}{A \times d\sigma_{pp} / dp_T}$$

Új referencia
 $\sqrt{s}=5.02$ TeV pp adat
 -> kisebb szisztematikus hiba

Modellek:

CGC, arXiv:1308.1258

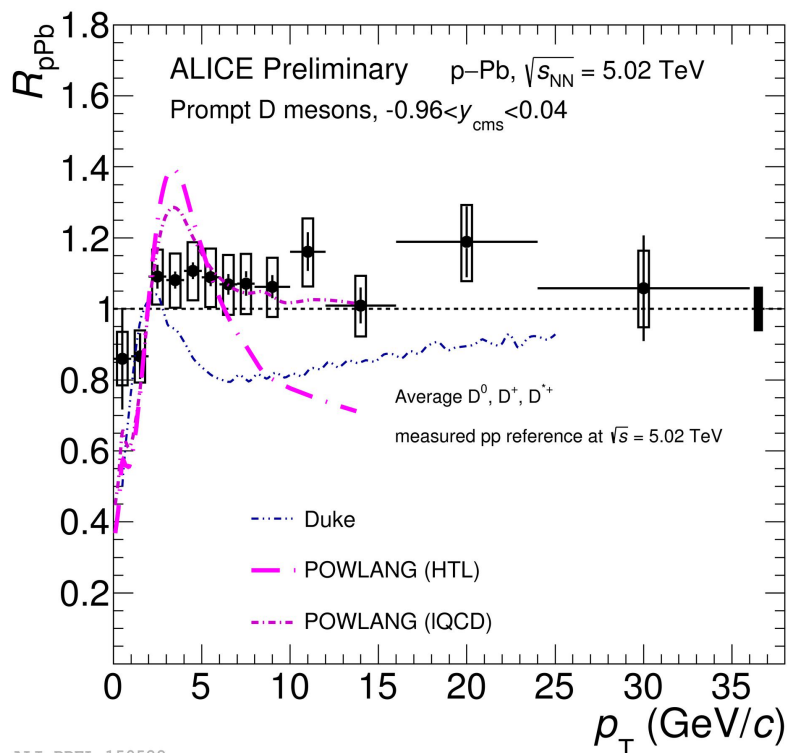
MNR: NPB 373 (1992) 295

Vitev, PRC 75 (2007) 064906

Kang, PLB 740, 23 (2015)

- **D-mezonok keltése p-Pb ütközésekben 5.02 TeV-en**
 - Nincs szignifikáns módosulás a pp ütközésekhez képest
 - Nincs CNM hatásokra utaló jel közepes p_T -től fölfelé
 - Az adatokat számos, CNM hatást tartalmazó modell leírja

Forró maganyag keletkezhet-e?



ALI-PREL-150528

$$R_{pPb} = \frac{d\sigma_{pPb} / dp_T}{A \times d\sigma_{pp} / dp_T}$$

Új referencia

$\sqrt{s}=5.02$ TeV pp adat

-> kisebb szisztematikus hiba

Modellek:

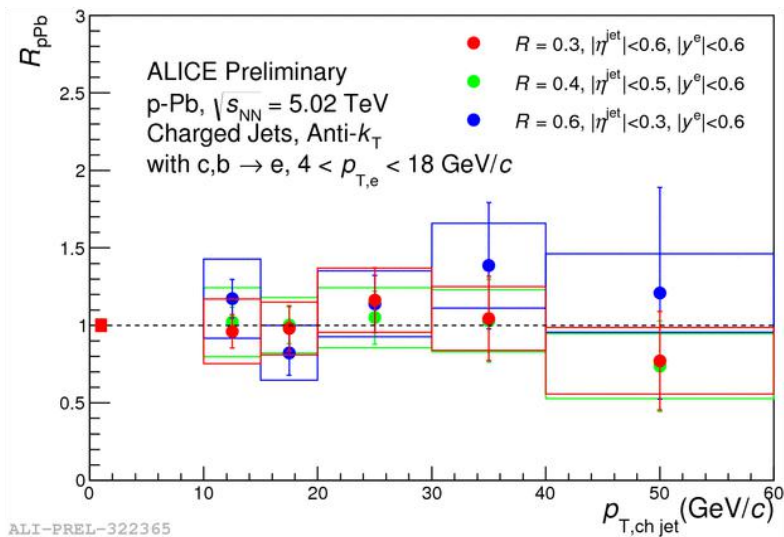
Duke, NPPP 276 (2016) 225

Powlang, JHEP 03 (2016) 123

- **D-mezonok keltése p-Pb ütközésekben 5.02 TeV-en**
 - Nincs szignifikáns módosulás a pp ütközésekhez képest
 - Nincs CNM hatásokra utaló jel közepes p_T -től fölfelé
 - Az adatokat számos, CNM hatást tartalmazó modell leírja
- Egy QGP-képződést feltételező modell szintén leírja az adatokat

Nehézkvark-jetek

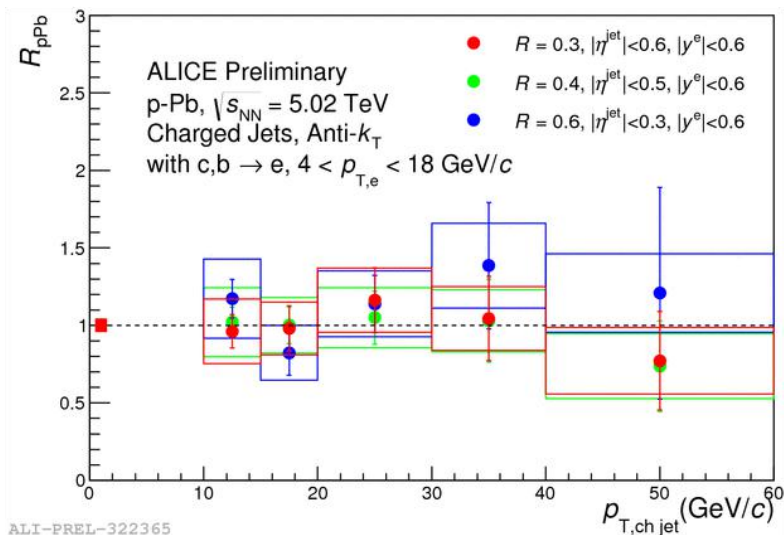
jets with HFE



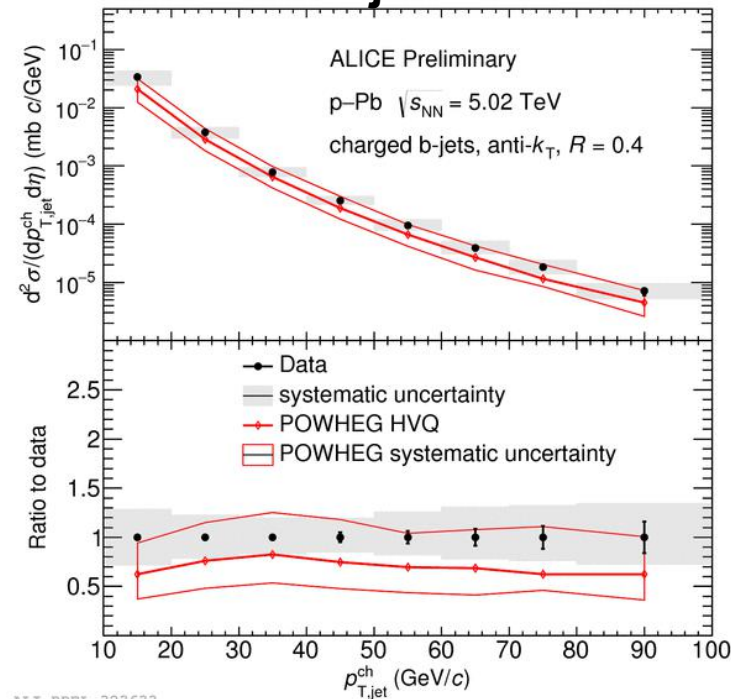
- Nehézkvark-jetek alacsony impulzusokig: $p_T = 10$ GeV/c
- **A HFE jetek nem módosulnak** szignifikánsan mid-rapiditysnál
 - Függetlenül a jet-átmérőtől

Nehézkvark-jetek

jets with HFE



b-jets



- Nehézkvark-jetek alacsony impulzusokig: $p_T = 10$ GeV/c
- **A HFE jetek nem módosulnak szignifikánsan mid-rapiditysnál**
 - Függetlenül a jet-átmérőtől
- A másodlagos vertexekkel azonosított **beauty jetek** hatáskeresztmetszetét leírja a POWHEG HVQ x A (pp)

Nehéz kvarkok A+A ütközésekben

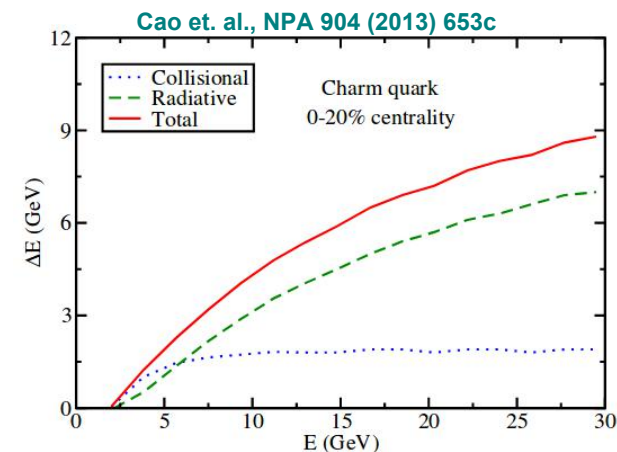
Energiaveszteség

- Sugárzási energiaveszteség
- Energia leadása gluonsugárzással
- Tiltott kúp, színtöltés hatása:
- várakozás: tömeg szerinti rendezettség

$$\Delta E_g > \Delta E_q > \Delta E_c > \Delta E_b \rightarrow R_{AA}^h < R_{AA}^D < R_{AA}^B$$

Nukleáris módosulási tényező:

$$R_{AA}(p_T) = \frac{1}{\langle N_{\text{coll}} \rangle} \frac{dN_{AA}/dp_T}{dN_{pp}/dp_T}$$



Nehéz kvarkok A+A ütközésekben

Energiaveszteség

- **Sugárzási energiaveszteség**
- **Energia leadása gluonsugárzással**
- Tiltott kúp, színtöltés hatása:
- várakozás: tömeg szerinti rendezettség

$$\Delta E_g > \Delta E_q > \Delta E_c > \Delta E_b \rightarrow R_{AA}^h < R_{AA}^D < R_{AA}^B$$

Nukleáris módosulási tényező:

$$R_{AA}(p_T) = \frac{1}{\langle N_{\text{coll}} \rangle} \frac{dN_{AA}/dp_T}{dN_{pp}/dp_T}$$

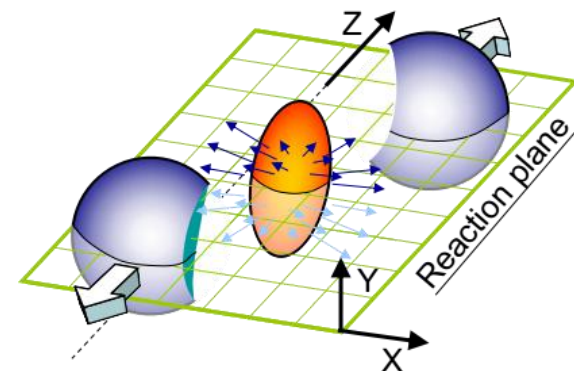
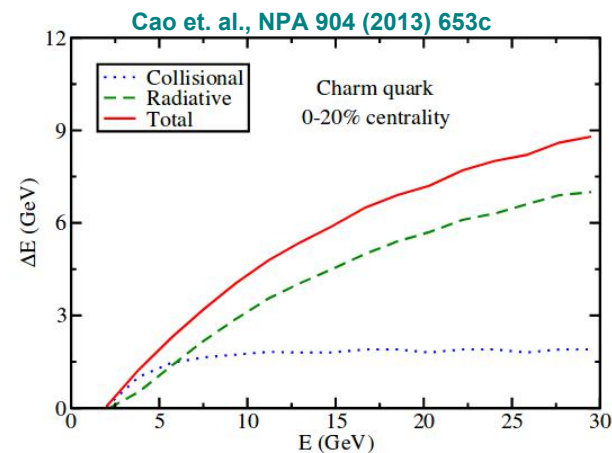
Kollektív dinamika

- Nehéz kvark - könnyű kvark koaleszcencia?
- Nehéz kvark termalizációja?

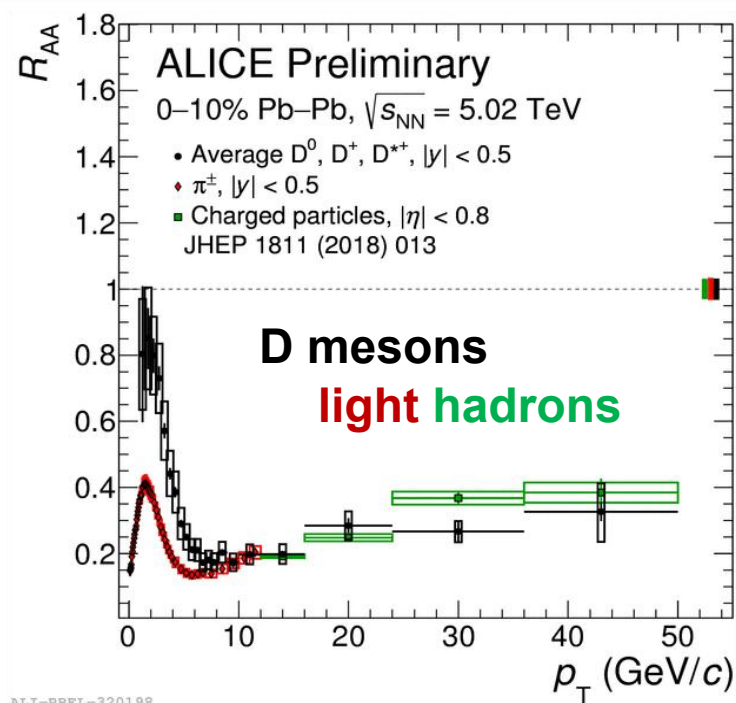
$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_T dp_T dy} \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} v_n \cos(n(\varphi - \Psi_R)) \right)$$

$$v_n = \langle \cos(n(\varphi - \Psi_R)) \rangle$$

Azimutális anizotrópia paraméter v_2 :
“elliptikus folyás”



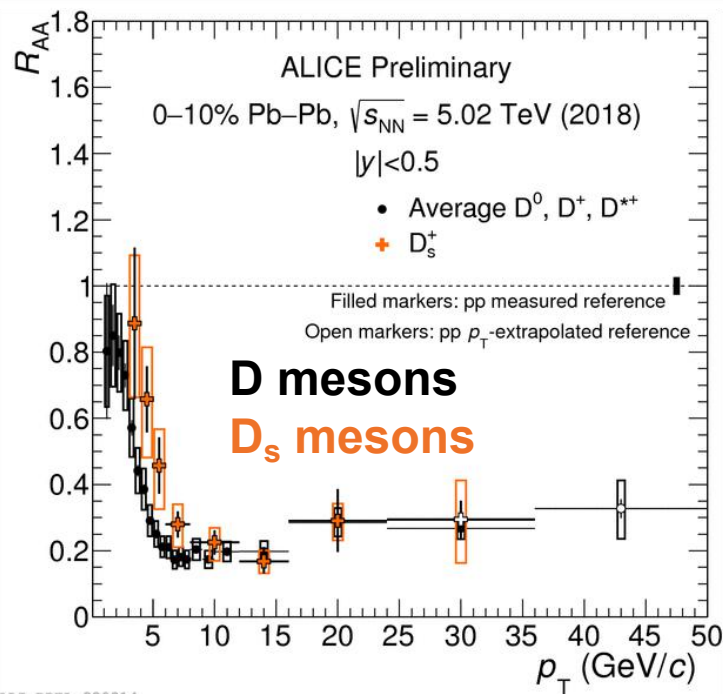
D-mezonok energialeadása



$$R_{AA}(p_T) = \frac{1}{\langle N_{\text{coll}} \rangle} \frac{dN_{AA}/dp_T}{dN_{pp}/dp_T}$$

- **Erős elnyomás nagy p_T -ken**
 - A charm elnyomása a könnyű és a ritka kvarkokhoz hasonló
 - Nincs tömeg szerinti rendezettség! (tiltott kúp, szintöltés-hatás)
- Alacsony p_T -ken a **D** gyengébb elnyomása

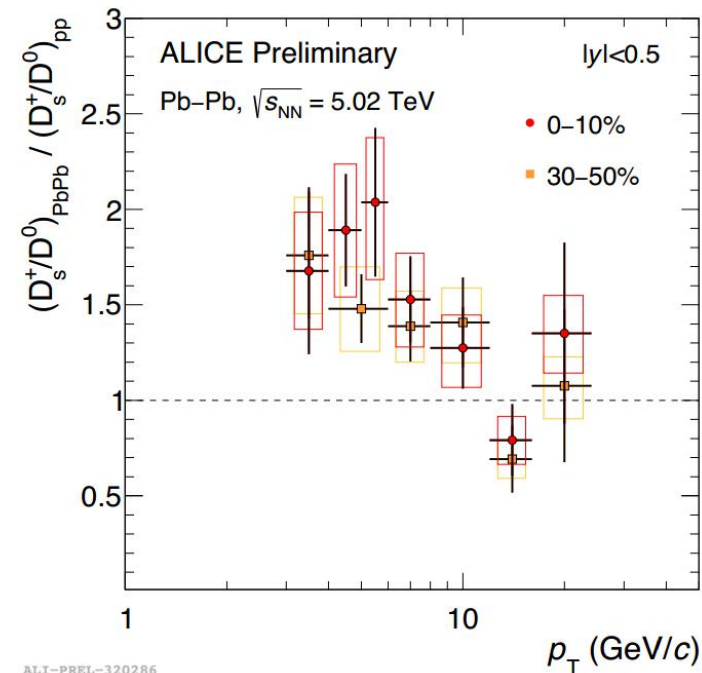
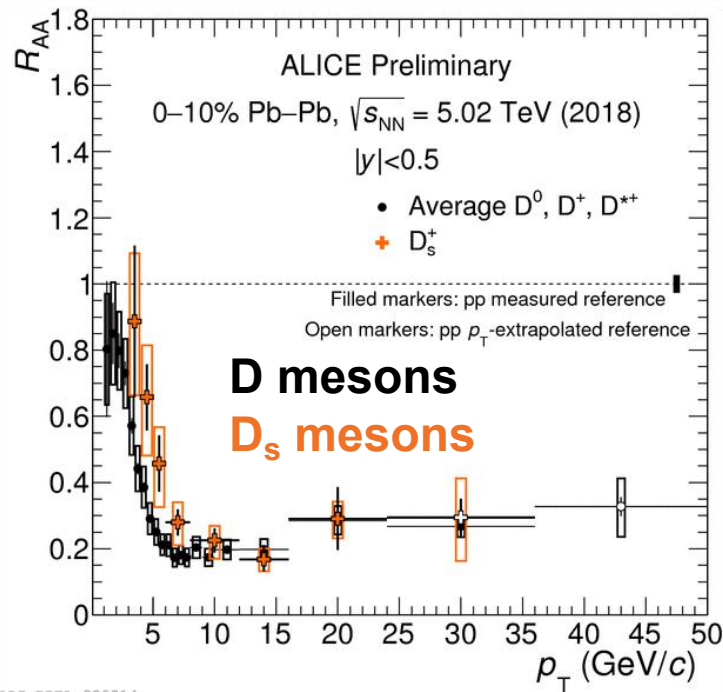
D-mezonok energialeadása



$$R_{AA}(p_T) = \frac{1}{\langle N_{coll} \rangle} \frac{dN_{AA}/dp_T}{dN_{pp}/dp_T}$$

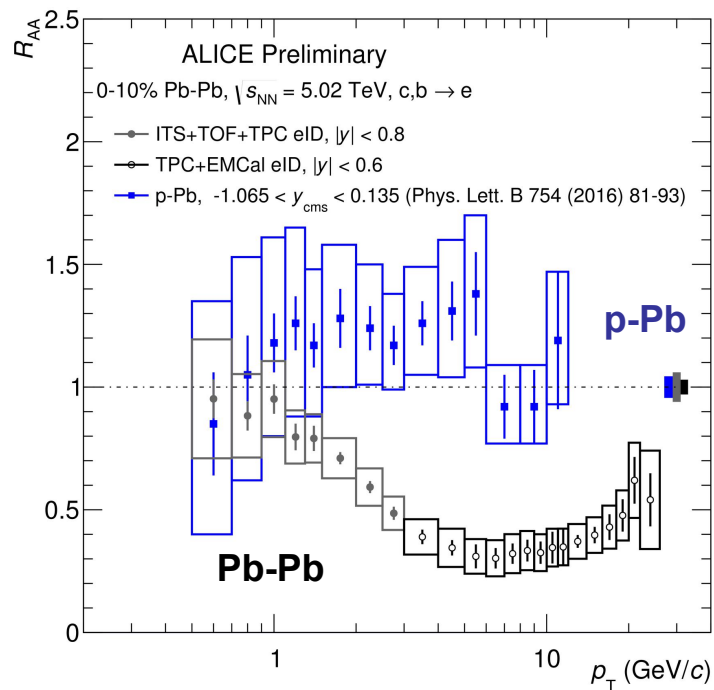
- **Erős elnyomás nagy p_T -ken**
 - A charm elnyomása a könnyű és a ritka kvarkokhoz hasonló
 - Nincs tömeg szerinti rendezettség! (tiltott kúp, színtöltés-hatás)
- Alacsony p_T -ken a **D** és **D_s** gyengébb elnyomása

D-mezonok energialeadása

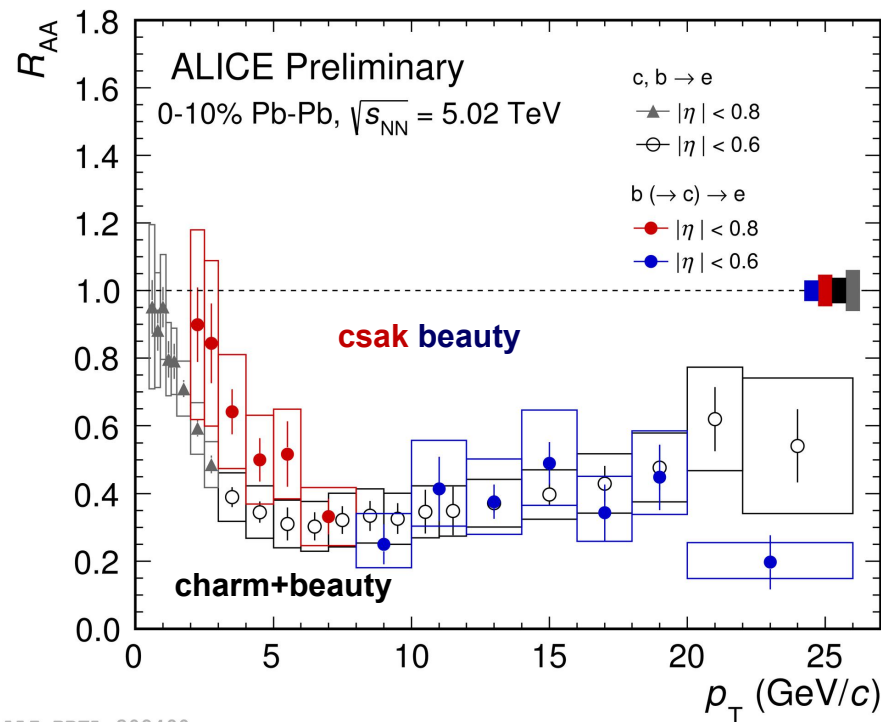


- **Erős elnyomás nagy p_T -ken**
 - A charm elnyomása a könnyű és a ritka kvarkokhoz hasonló
 - Nincs tömeg szerinti rendezettség! (tiltott kúp, színtöltés-hatás)
- Alacsony p_T -ken a **D** és **D_s** gyengébb elnyomása
- A D_s -nek a D-nél gyengébb elnyomására utaló eredmények

Charm és beauty: HF-elektronok



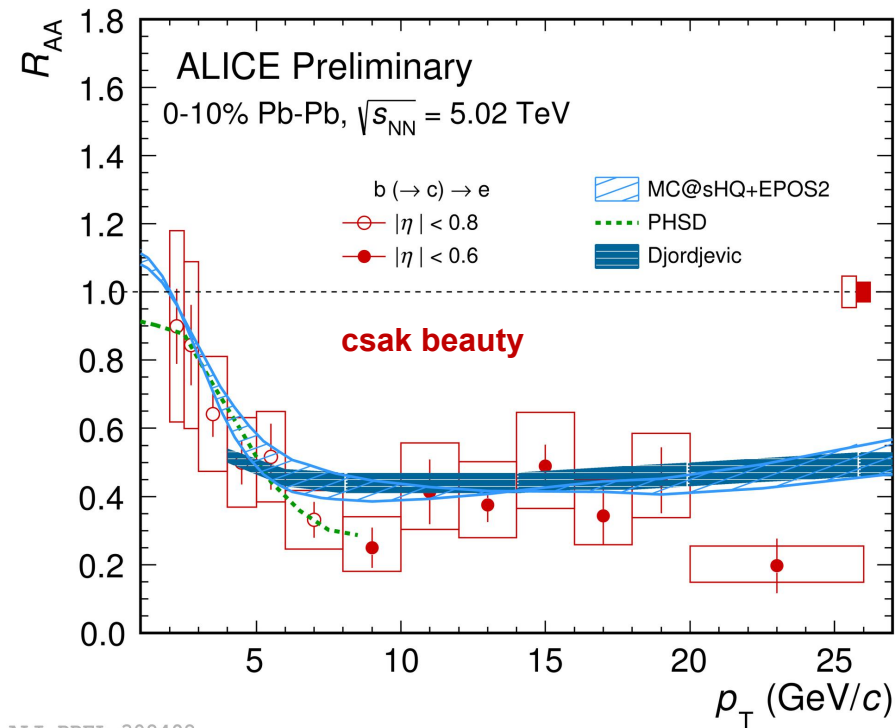
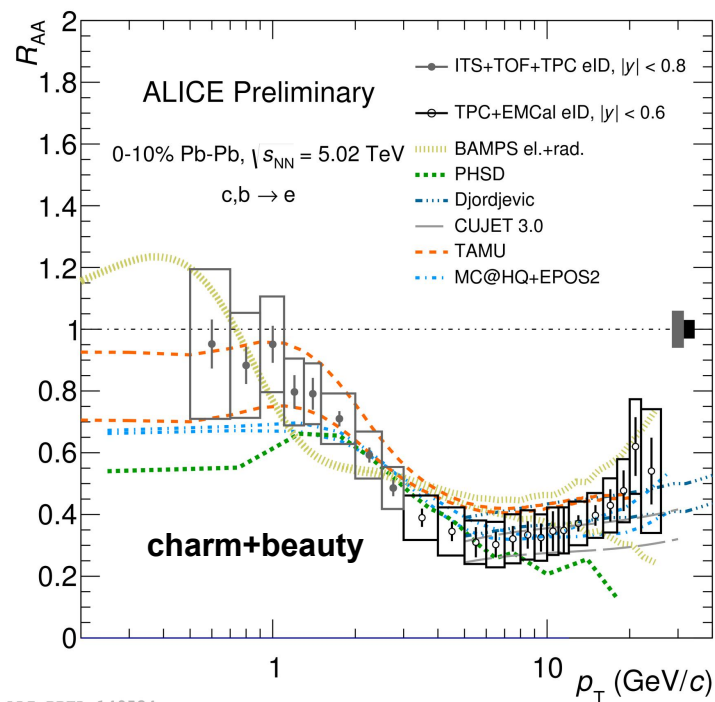
ALI-PREL-149521



ALI-PREL-308490

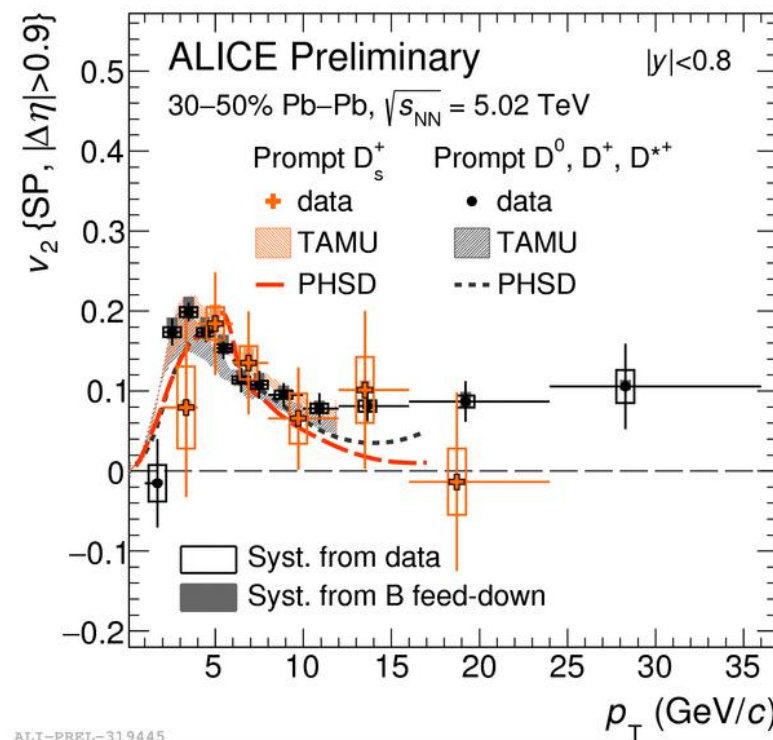
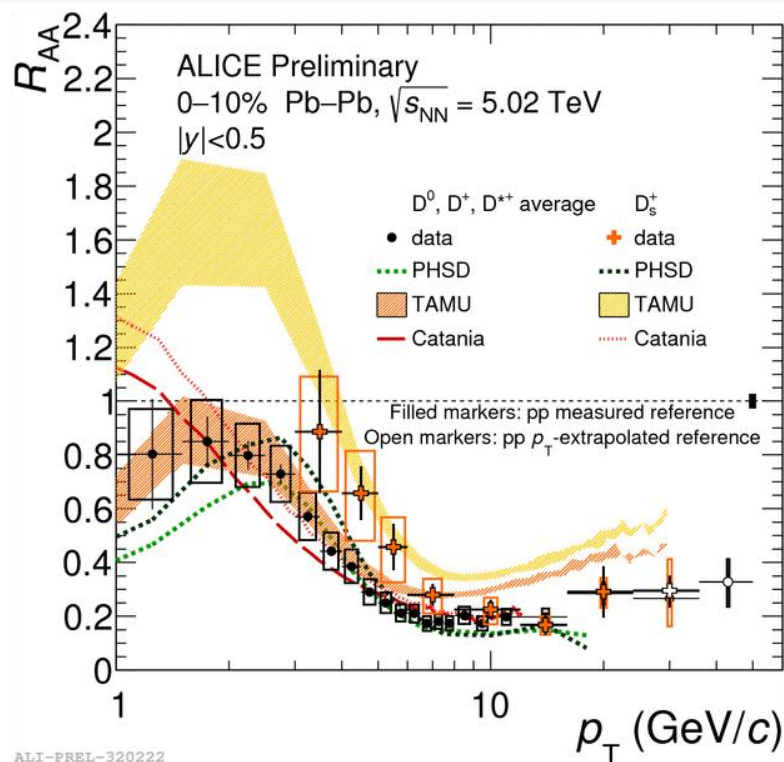
- Jelentős $(c,b) \rightarrow e$ elnyomás Pb-Pb ütközésekben, közepes és nagy p_T -n
 - Megjegyzés: A p-Pb adatok bizonytalanságon belül nem mutatnak elnyomást
- Elkülönített beauty elektronok gyengébb b-quark elnyomásra utalnak

Charm és beauty: HF-elektronok



- Jelentős $(c,b) \rightarrow e$ elnyomás Pb-Pb ütközésekben, közepes és nagy p_T -n
 - Megjegyzés: A p-Pb adatok bizonytalanságon belül nem mutatnak elnyomást
- Elkülönített beauty elektronok gyengébb b-quark elnyomásra utalnak
- A modellek a $(c,b) \rightarrow e$ és a $b(\rightarrow c) \rightarrow e$ járulékokat is leírják
 - A különbség oka: kvarktömegfüggő energiaveszteség

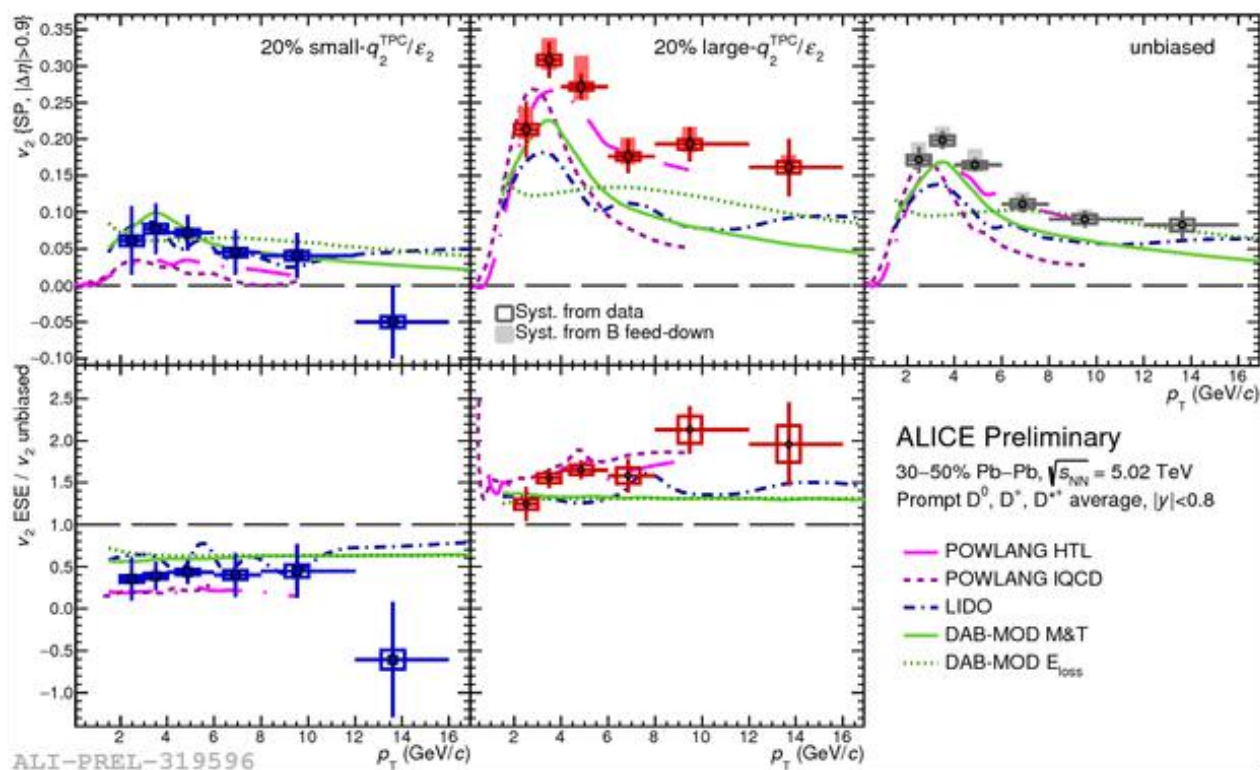
Kollektív viselkedés: charm



TAMU: PLB 735,445-450(2014)
PHSD: PRC 92, 014910 (2015)
Catania: EPJC (2018) 78, 348

- Új kis p_T -s adatok: erős megszorítás a modellekre
 - Feladat: **D** és **D_s** R_{AA} és v_2 szimultán leírása
 - **Charm és könnyű kvarkok koaleszcenciája** árnyékolással és ütközési/sugárzási energiaveszteséggel

Esemény alakjától függő anizotrópia



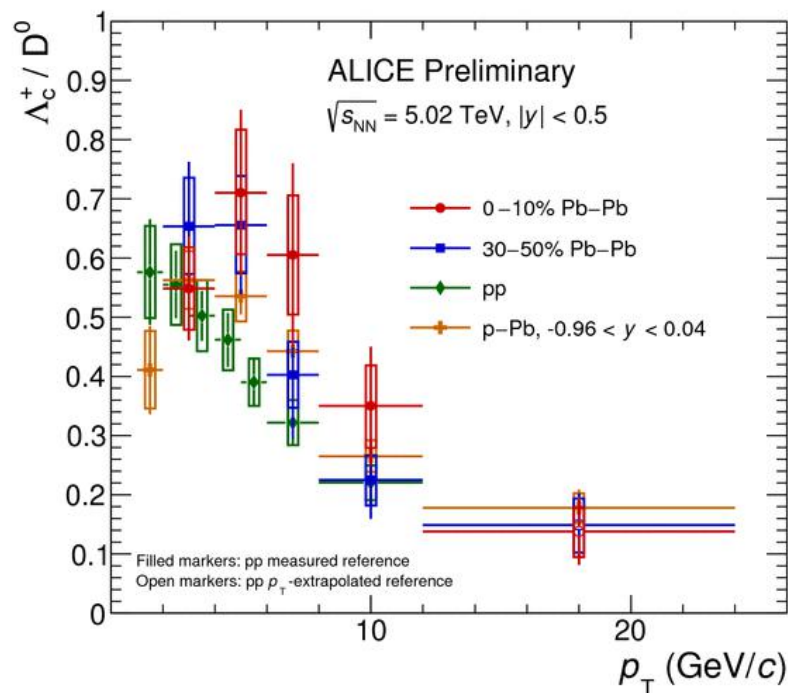
Események kategorizálása a *másodrendű redukált anizotrópia vektor* alapján

$$q_2 = |\mathbf{Q}_2| / \sqrt{M},$$

$$\mathbf{Q}_2 = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^M \cos(2\varphi_i) \\ \sum_{i=1}^M \sin(2\varphi_i) \end{pmatrix}$$

- A D mezonok azimutális anizotrópiája a könnyű hadronokéval közel azonos (kategorizálás nélkül)
- Alacsony(magas) q_2 értékekhez alacsonyabb(magasabb) azimutális anizotrópia tartozik
- Transzportmodellek elfogadhatóan leírják a méréseket

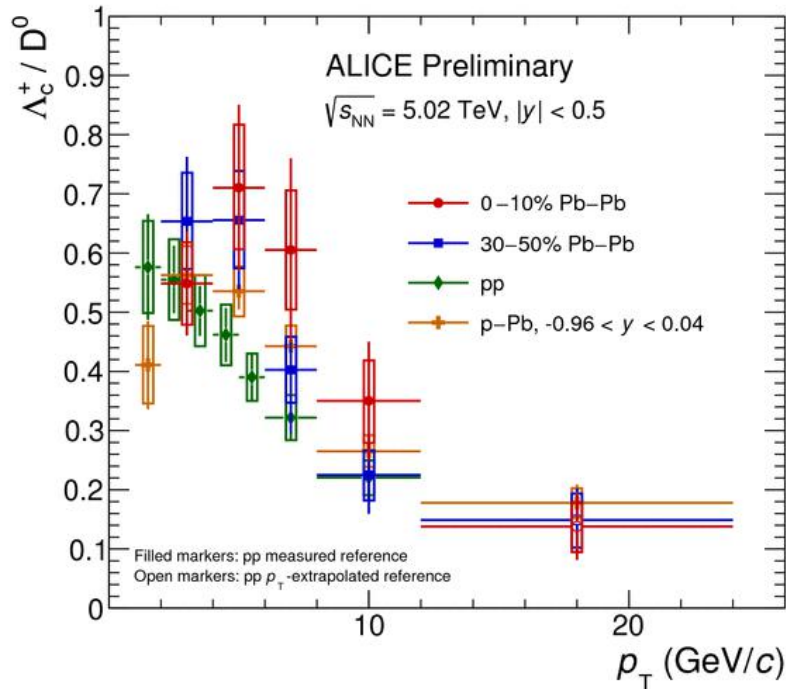
Λ_c^0/D^0 nehézion-ütközésekben



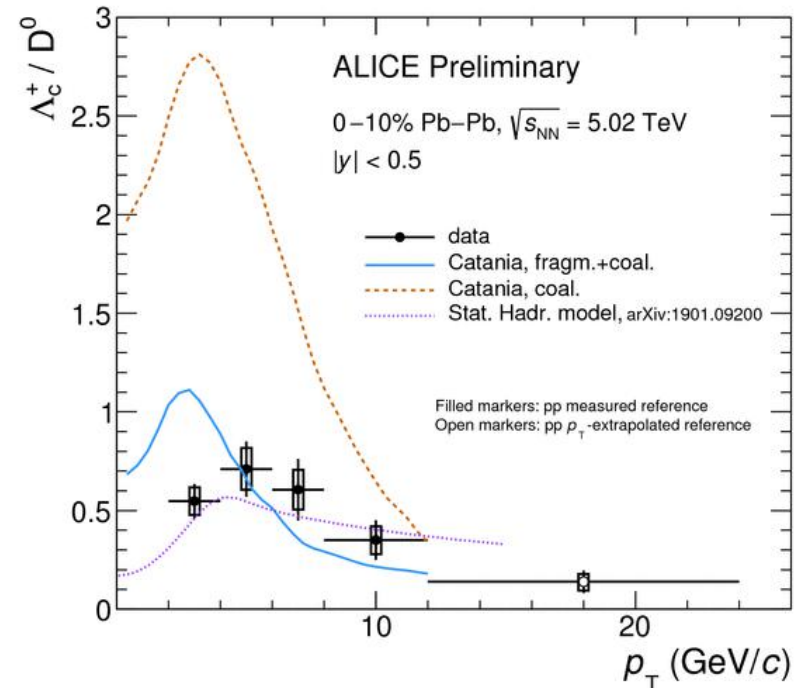
ALI-PREL-321706

- Pb-Pb ütközések esetén a pp-nél magasabb Λ_c^+/D^0 arányra utaló jel
 - pp, pPb, Pb-Pb adatok: az ütköző rendszer méretétől való függés a jelen pontosság mellett nem egyértelmű

Λ_c^0/D^0 nehézion-ütközésekben



ALI-PREL-321706



ALI-PREL-321682

- Pb-Pb ütközések esetén a pp-nél magasabb Λ_c^+/D^0 arányra utaló jel
 - pp, pPb, Pb-Pb adatok: az ütköző rendszer méretétől való függés a jelen pontosság mellett nem egyértelmű
- A koaleszcenciát és fragmentációt tartalmazó Catania modell leírja a Pb-Pb ütközésekben megfigyelt Λ_c^+/D^0 arányt

Összefoglalás

QCD vákuum: pp ütközések $\sqrt{s}=5, 7, 8$ és 13 TeV energián

- *D-mezonok, nehéz kvarkból származó leptonok, jetek:*
 - A hatáskeresztmetszeteket a pQCD modellek leírják.
Az elméletek bizonytalansága meghaladja a kísérletit
- *Barionok és mezonok aránya: új mechanizmusok szükségesek*
 - Ütközési rendszertől függő nehézkvark-fragmentáció?

Összefoglalás

QCD vákuum: pp ütközések $\sqrt{s}=5, 7, 8$ és 13 TeV energián

- *D*-mezonok, nehéz kvarkból származó leptonok, jetek:
 - A hatáskeresztmetszeteket a pQCD modellek leírják.
Az elméletek bizonytalansága meghaladja a kísérletit
- *Barionok és mezonok aránya*: új mechanizmusok szükségesek
 - Ütközési rendszertől függő nehézkvark-fragmentáció?

Maganyag-módosulás $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV-es p-Pb ütközésekben

- A hideg maganyag nem módosítja jelentősen a *D* mezonok, nehézkvark-elektronok vagy a jetek hozamát
- Nem zárható ki a forró maganyag keletkezése sem

Összefoglalás

QCD vákuum: pp ütközések $\sqrt{s}=5, 7, 8$ és 13 TeV energián

- *D-mezonok, nehéz kvarkból származó leptonok, jetek:*
 - A hatáskeresztmetszeteket a pQCD modellek leírják.
Az elméletek bizonytalansága meghaladja a kísérletit
- *Barionok és mezonok aránya: új mechanizmusok szükségesek*
 - Ütközési rendszertől függő nehézkvark-fragmentáció?

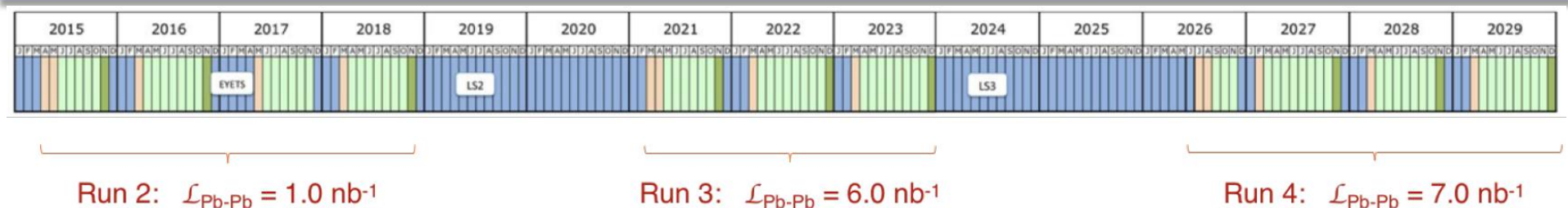
Maganyag-módosulás $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV-es p-Pb ütközésekben

- A hideg maganyag nem módosítja jelentősen a D mezonok, nehézkvark-elektronok vagy a jetek hozamát
- Nem zárható ki a forró maganyag keletkezése sem

Forró közeg: $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV Pb-Pb ütközések

- **Energialeadás**
 - Nagy impulzusoknál nincs tömeg szerinti rendezés: $R_{AA}^{\pi} \approx R_{AA}^D$
 - Alacsonyabb p_T -nél megfigyelhető a rendezés: $R_{AA}^{b \rightarrow e} > R_{AA}^{b,c \rightarrow e}$
- **Kollektivitás és koaleszcencia:**
 - Alacsony p_T -s R_{AA} és D_s -képződés: közeggel való koaleszcencia
 - Jelentős azimutális anizotrópia $\rightarrow v_2$ & R_{AA} szimultán leírása kihívás

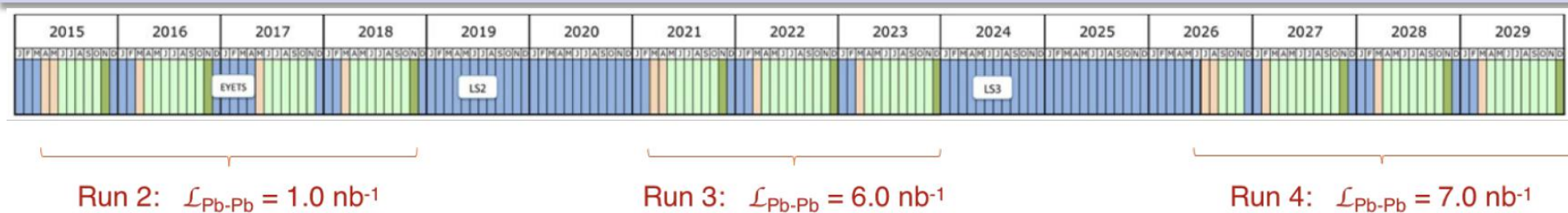
ALICE Upgrade - Run-3 és Run-4



LS2 után:

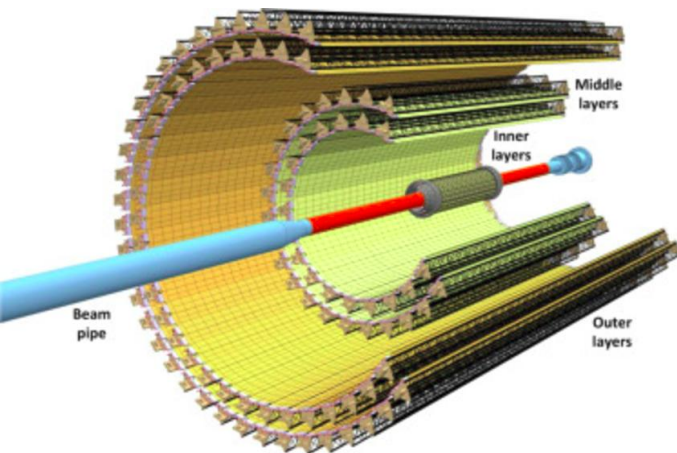
- Cél az 50 kHz Pb-Pb ütközési ráta elérése
- Igényelt Pb-Pb luminozitás: 13 nb^{-1} (50-100x Run2 Pb-Pb)
- Lényegesen jobb nyomkövetési hatások és felbontás
- Detektorfejlesztések: ITS, TPC, MFT, FIT
- Gyorsabb, folyamatos kiolvasás a jelenlegi triggerek helyett

ALICE Upgrade - Run-3 és Run-4

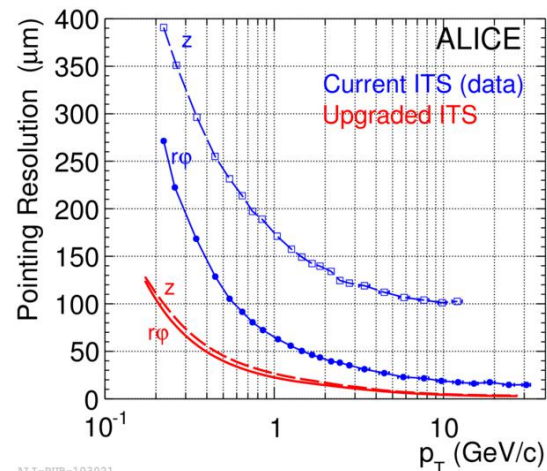


- LS2 után:**
- Cél az 50 kHz Pb-Pb ütközési ráta elérése
 - Igényelt Pb-Pb luminozitás: 13 nb^{-1} (50-100x Run2 Pb-Pb)
 - Lényegesen jobb nyomkövetési határfok és felbontás
 - Detektorfejlesztések: ITS, TPC, MFT, FIT
 - Gyorsabb, folyamatos kiolvasás a jelenlegi triggererek helyett

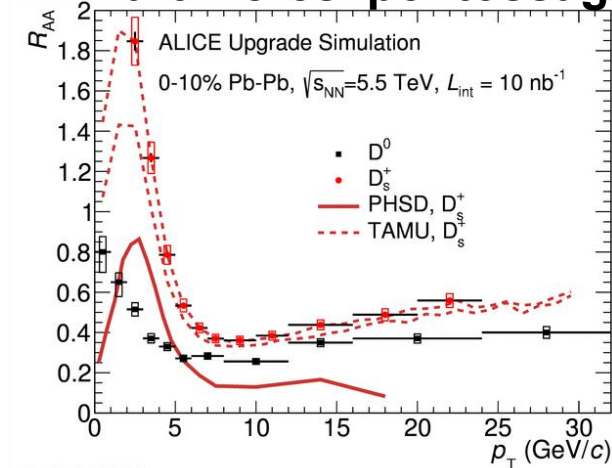
Az ITS fejlesztése



előrelátható felbontás



várt mérési pontosság





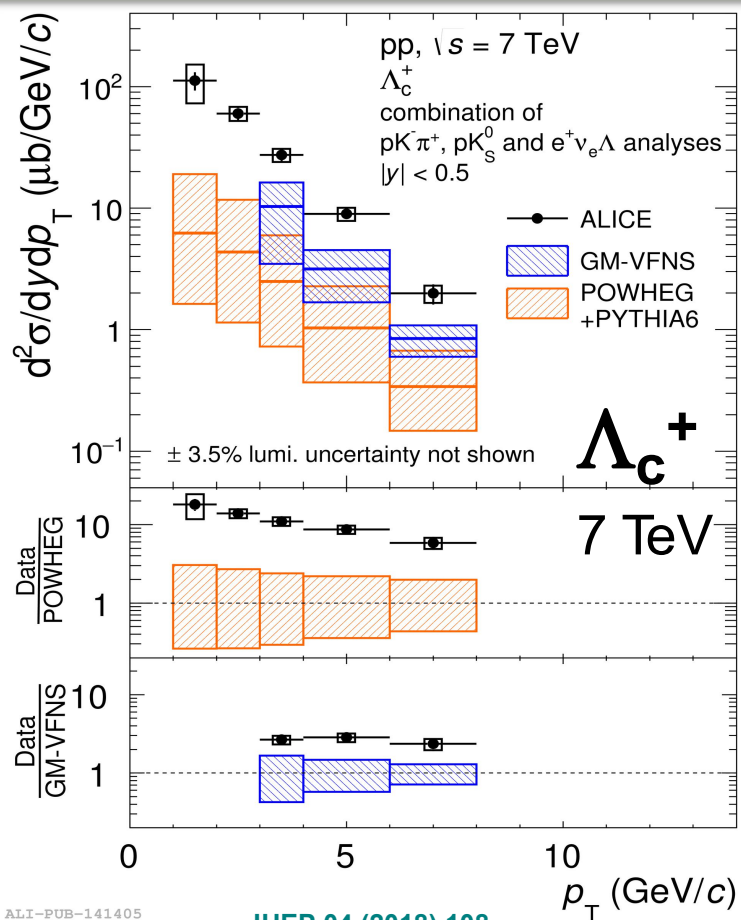
Köszönöm a figyelmet!



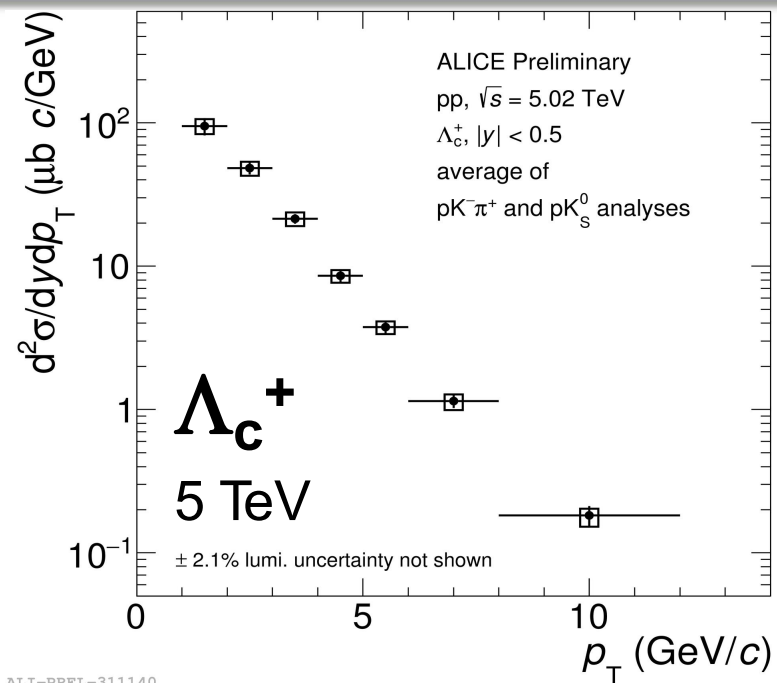
ALICE



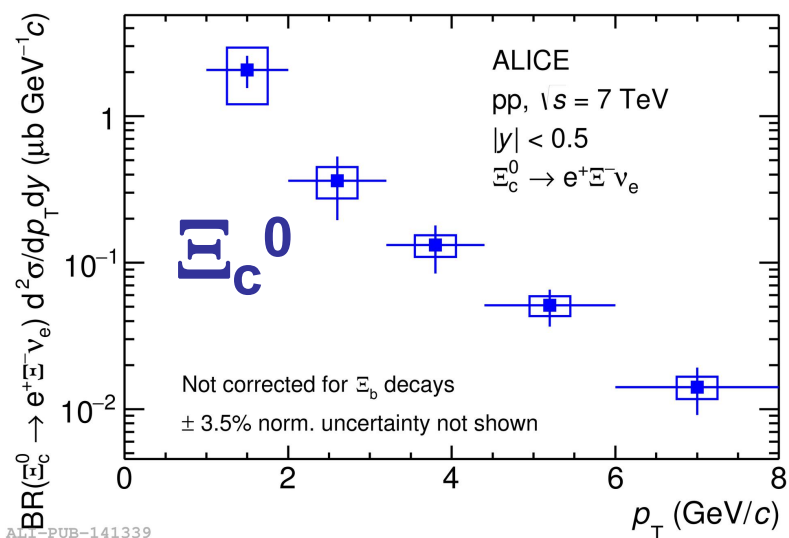
Charm-tartalmú barionok: Λ_c^+ és Ξ_c



GM-VFNS: EPJ C41 (2005) 199,
 EPJ C72 (2012) 2082
 POWHEG: JHEP 06 (2010) 043
 PYTHIA8: JHEP 05 (2006) 026



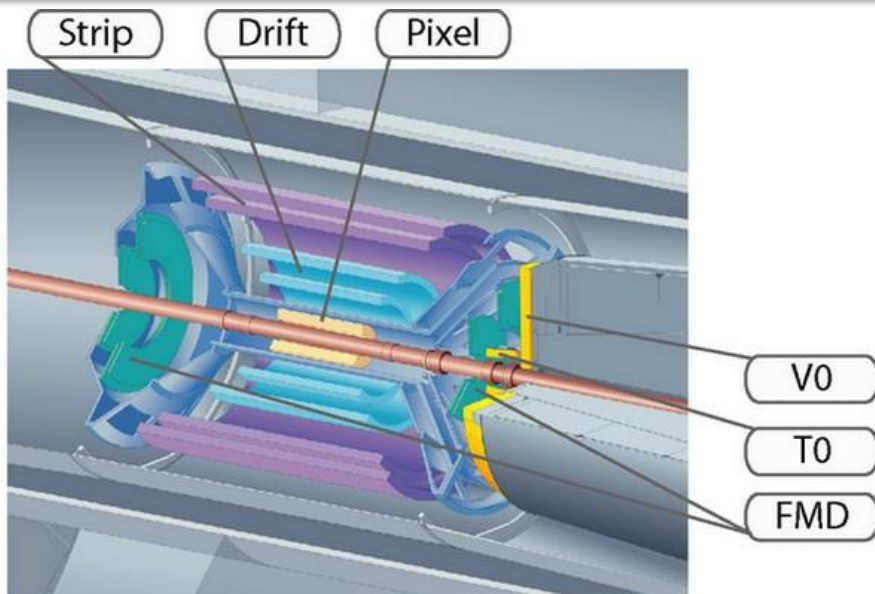
ALI-PREL-311140



ALI-PUB-141339

- Első Ξ_c mérés az LHC-nél
- Új, pontos Λ_c^+ mérés
 - A Λ_c^+ keletkezését alulbecslik a modellek

Másodlagos vertex keresése - ITS



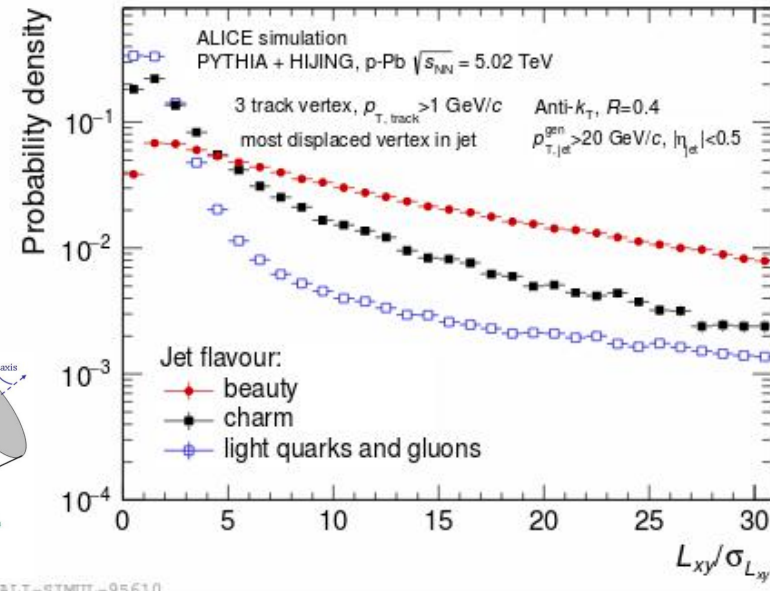
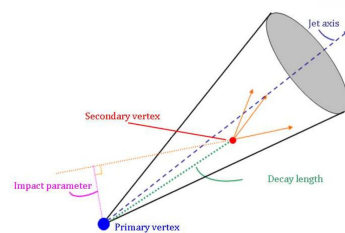
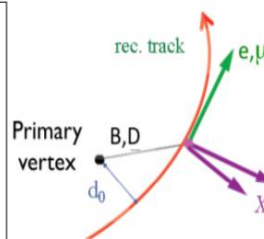
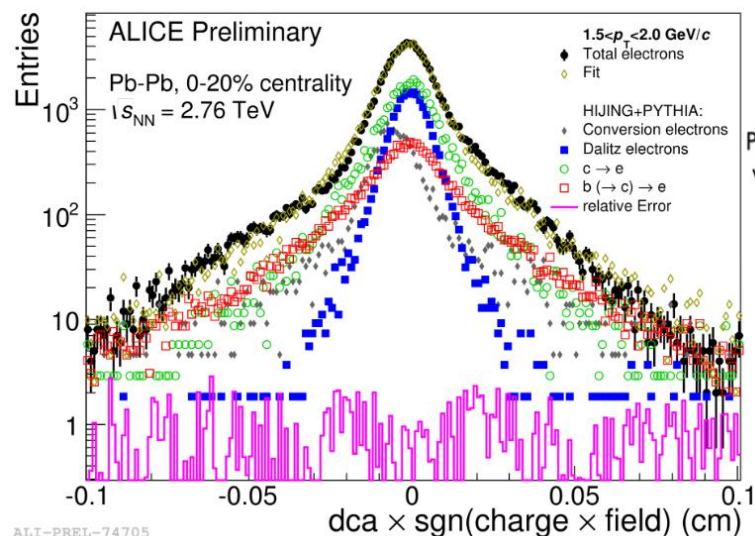
- Félvezető technológia
- Másodlagos vertex észlelése

Nehéz kvarkok élettartama: $c\tau(D) \sim 100\text{-}300 \text{ mm}$
 $c\tau(B) \sim 400\text{-}500 \text{ mm}$

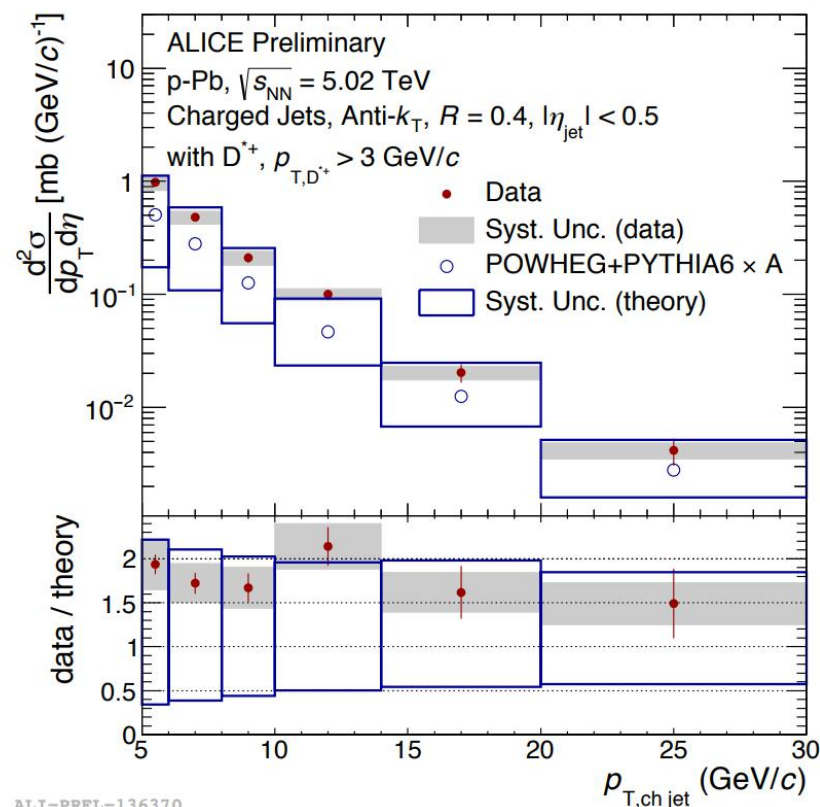
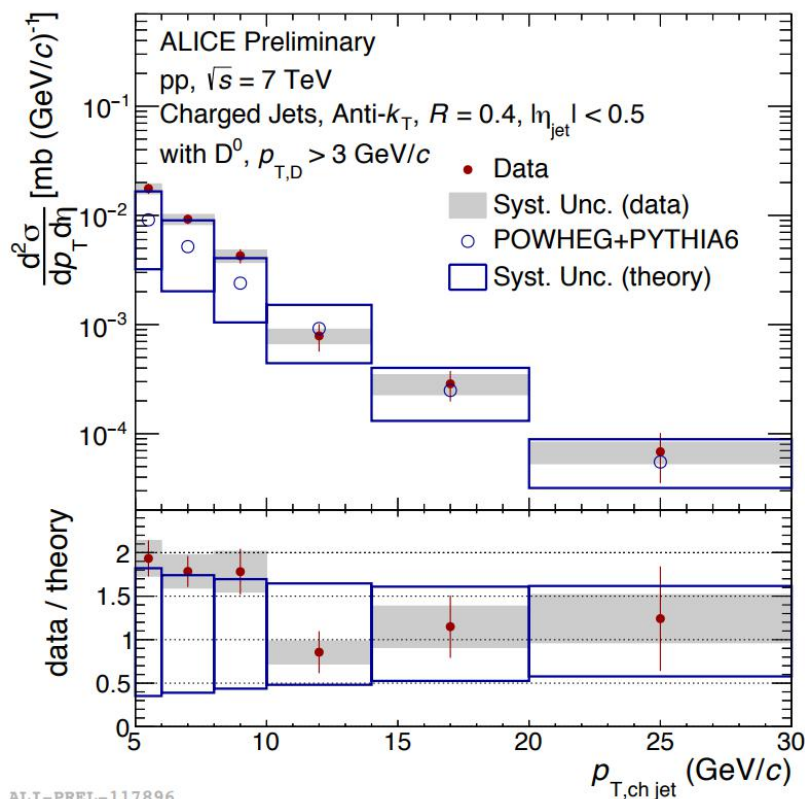
Másodlagos vertex felbontása: $<100 \text{ mm}$

- Vertextávolság szignifikanciája (jet)

Distance of Closest Approach (e)



Charm jets in pp and p-Pb collisions



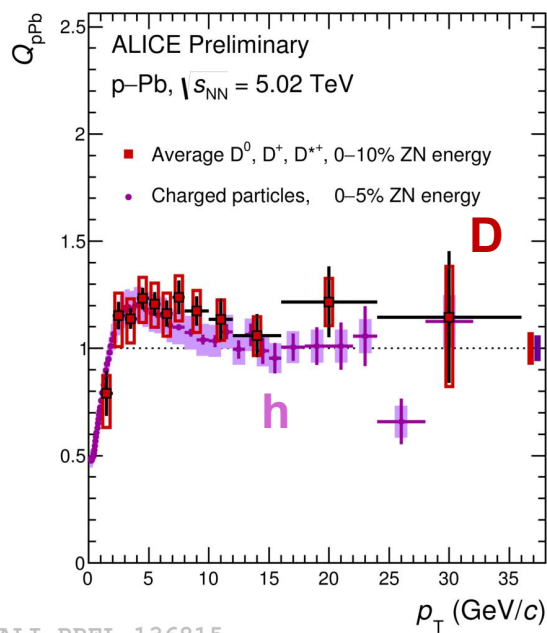
- New D-jet measurements down to $p_T^{\text{jet}} = 5$ GeV/c
- POWHEG+PYTHIA6 (Perugia11) describes data within uncertainties
- Data provides strong constraints on theory!

==> Unique opportunity to study charm jet properties

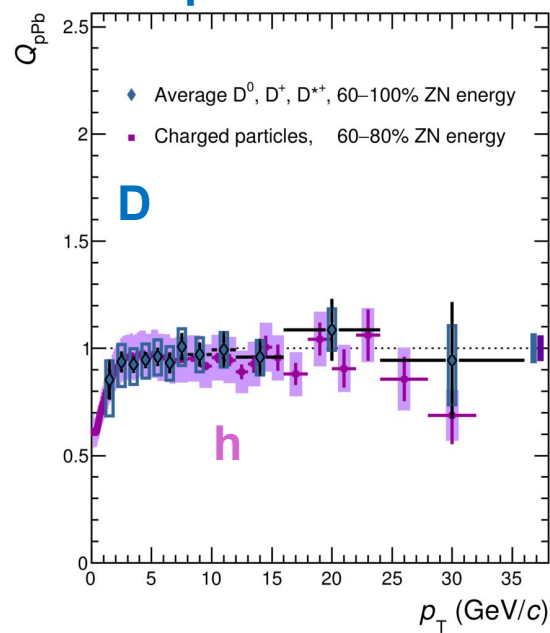
Baseline for future Pb-Pb measurement (jet modification)

p-Pb: centralitásfüggő módosulás

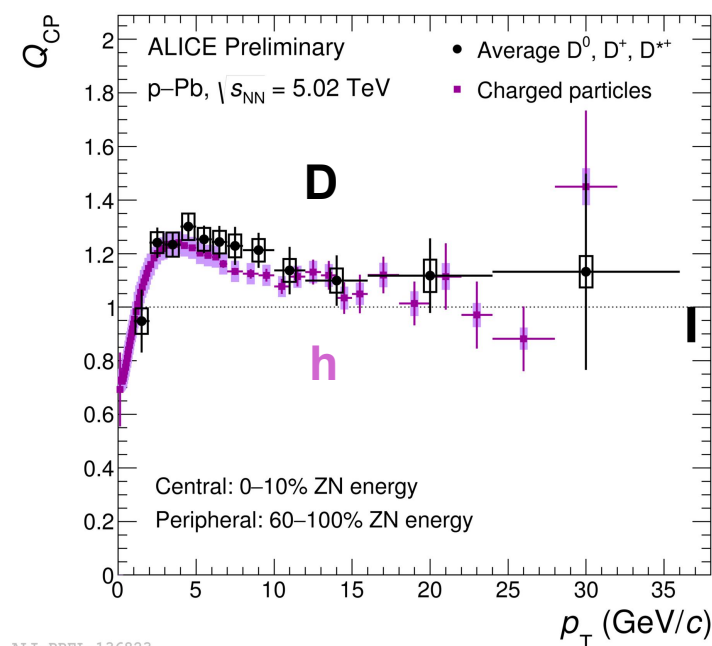
centrális



periférikus

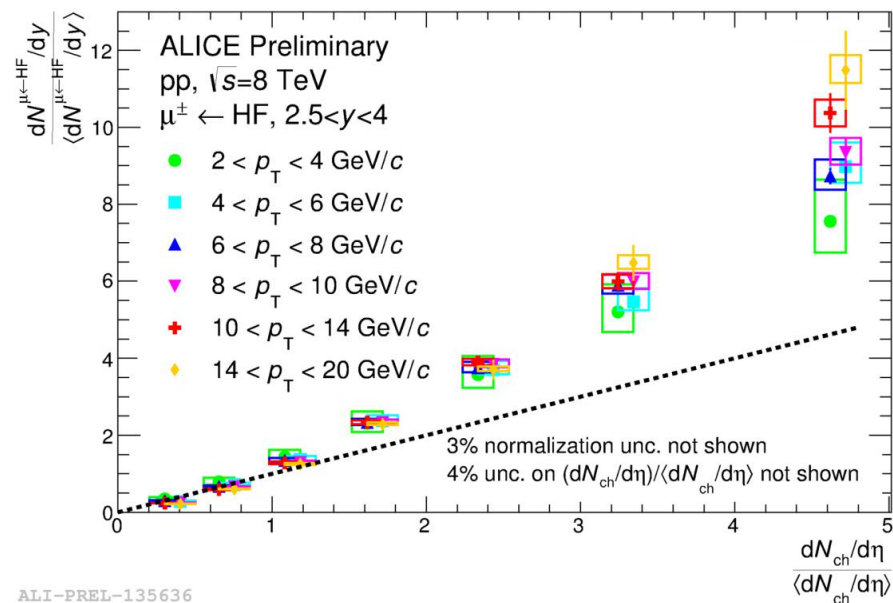
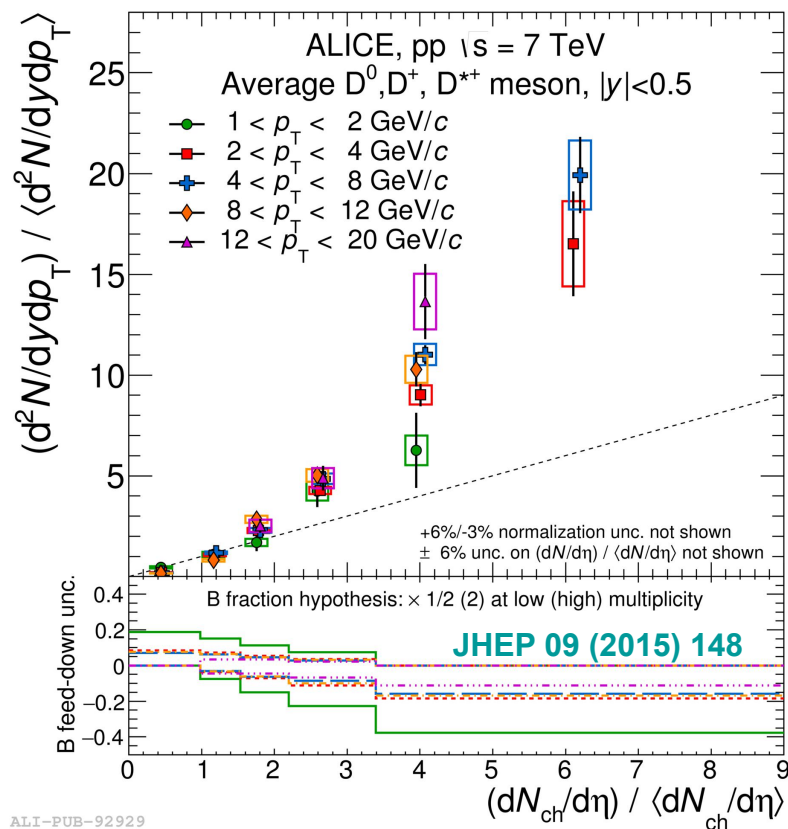


centrális/periférikus



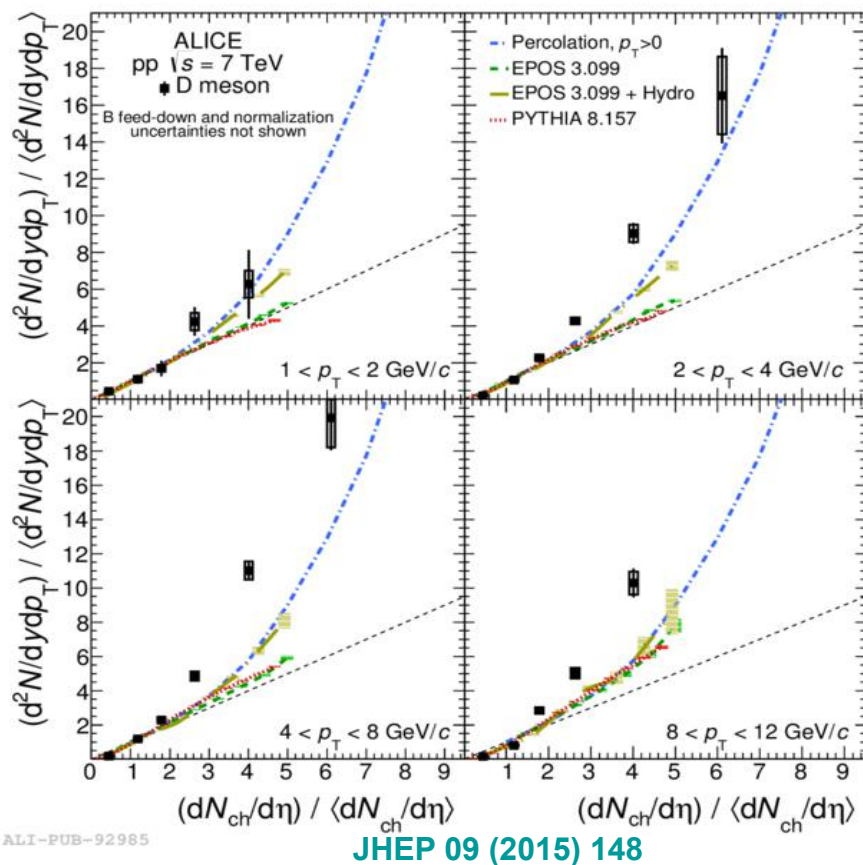
- D-mezon Q_{pPb} konzisztens 1-gyel - centrális és periférikus esetben is
 - Szintén konzisztens a töltött hadronokkal mindkét esetben
- Az arányok eltérő centrális és periférikus módosulásra utalnak (Q_{CP})
 - Valószínű kollektivitás kis rendszerekben (radiális folyás)
 - Kezdeti- és végállapotok szintén szerepet játszhatnak (pl. többszörös szórások)
 - *Megjegyzés: az interpretációt nehezíti a centralitásdefiníciók mintatorzító hatása. (Viszonylag kicsi a ZN-centralitás esetében)*

Hozamok a multiplicitás függvényében



- A **D mezonok** és a **müonok** hozama az eseménymultiplicitás függvényében lineárisnál meredekebben emelkedik

D-mezonok multiplicitásfüggő hozama



- **Perkolációs modell** - [PRC 86 \(2012\) 034903](#)
 - Target-projektíl színcsere (sokparton-kölcsönhatáshoz hasonló)
 - Lineárisnál meredekebb emelkedés
- **EPOS 3.099+Hydro** - [PRC 89 \(2014\) 064903](#)
 - Gribov-Regge formalizmus
 - Mult.függő sokparton-kölcsönhatás
 - Lineárisnál meredekebb emelkedés
- **PYTHIA8** - [Comp.Phys.Commun. 178 \(2008\) 852](#)
 - SoftQCD szín-újrarendezéssel (CR)
 - Sokparton-kölcsönhatás (MPI)
 - Kezdeti és végállapotú gluonsugárzás
 - Lineáris növekedés

- A D mezonok és a müonok hozama az eseménymultiplicitás függvényében lineárisnál meredekebben emelkedik
- **A sokparton-kölcsönhatást (MPI) vagy hasonló mechanizmust tartalmazó modellek reprodukálják a trendet**