

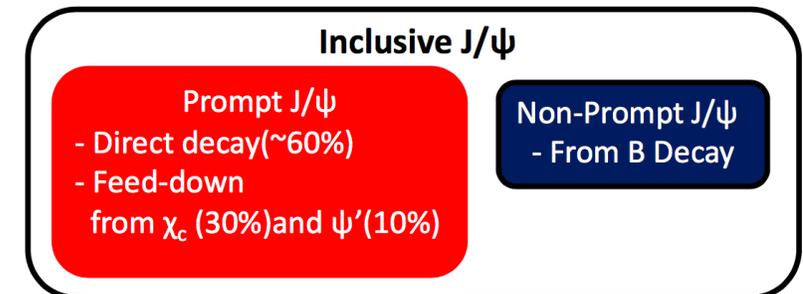
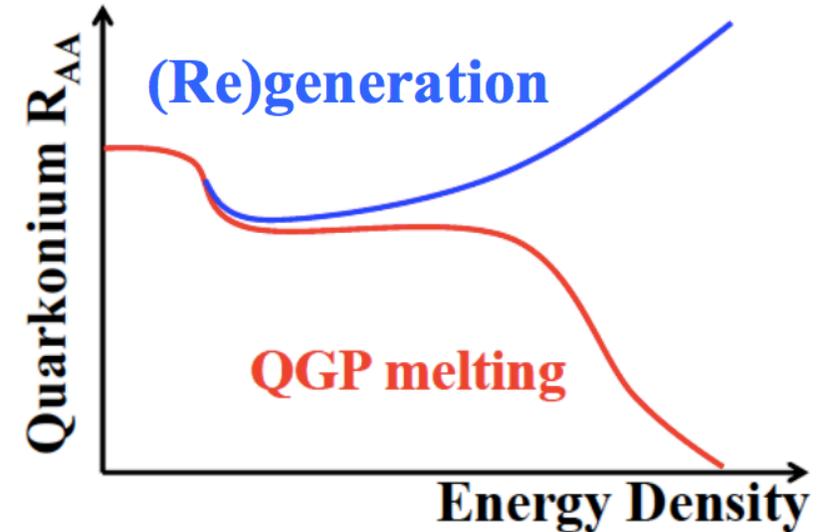
# J/ψ解析の現状とRun3での展望

林 真一

2018/8/18

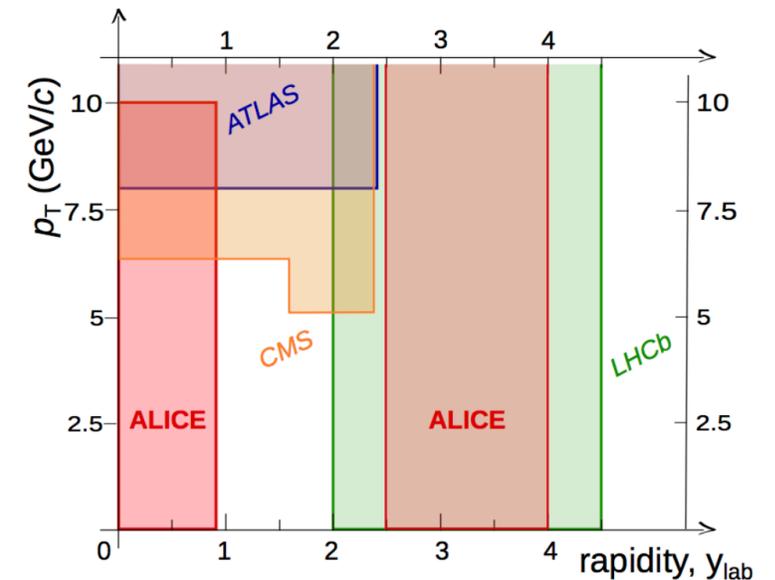
# Introduction

- Quarkonium suppression
  - カラー遮蔽による収量抑制
  - 束縛エネルギーによって融解温度が異なる
    - クォーコニウムの収量を系統的に測定することでQGPの到達温度などの情報を得る
- HF regeneration
  - 無相関なチャームクォークペア同士の再結合
  - ナイーブには  $\propto (N_{\text{coll}})^2 / N_{\text{part}}$
  - チャームのダイナミクスに敏感
    - 重クォークの流体化、熱平衡化
- Feed down
  - Prompt/Non-Prompt J/ $\psi$
  - 崩壊長により Non-Prompt fraction 導出可能
- Other effects
  - CNM効果
  - Medium induced energy loss: color octet state, formation time



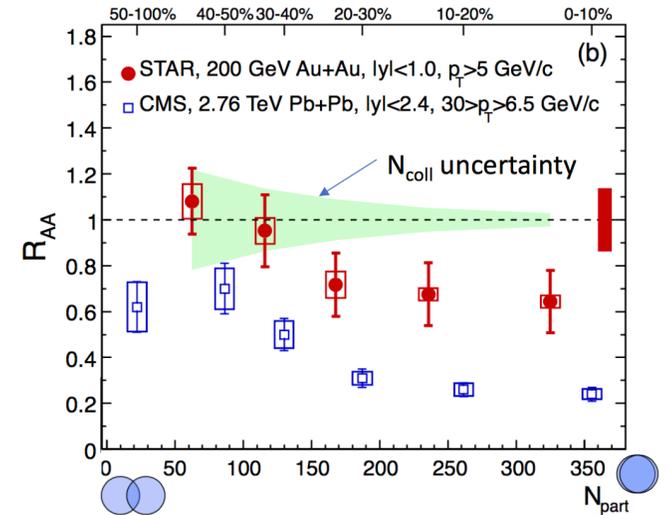
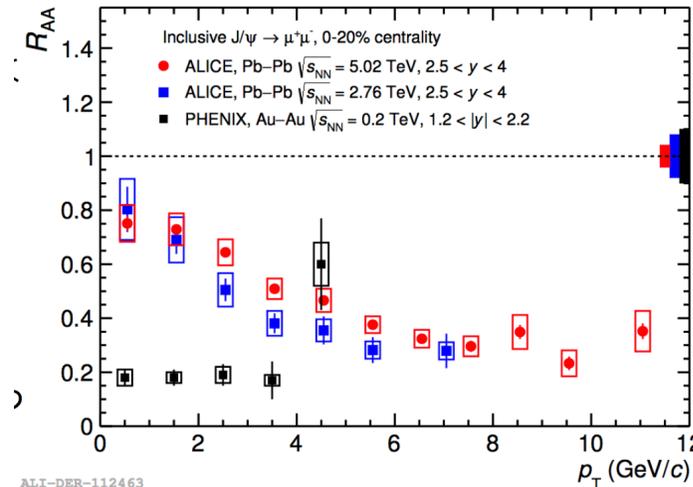
# J/ψ reconstruction with ALICE

- 中心ラピディティ ( $|\eta| < 0.9$ )
  - J/ψ → ee
  - バーテックス検出器によるNon-Prompt測定が可能
  - 基本的にはMBトリガー測定 ( $\sim 13 \mu\text{b}^{-1}$ )
- 前方ラピディティ ( $2.5 < \eta < 4.0$ )
  - J/ψ → μμ
  - ミューオントリガー使用 ( $\sim 225 \mu\text{b}^{-1}$ )
  - 現状Prompt/Non-Prompt解析はできない (Run3から可能)



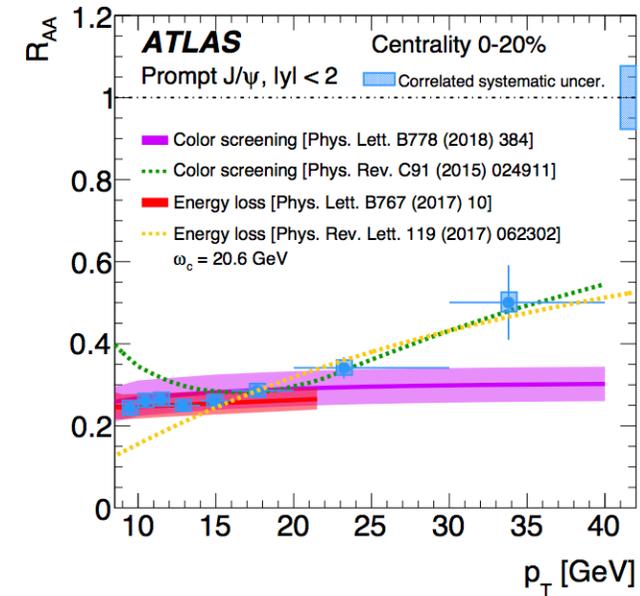
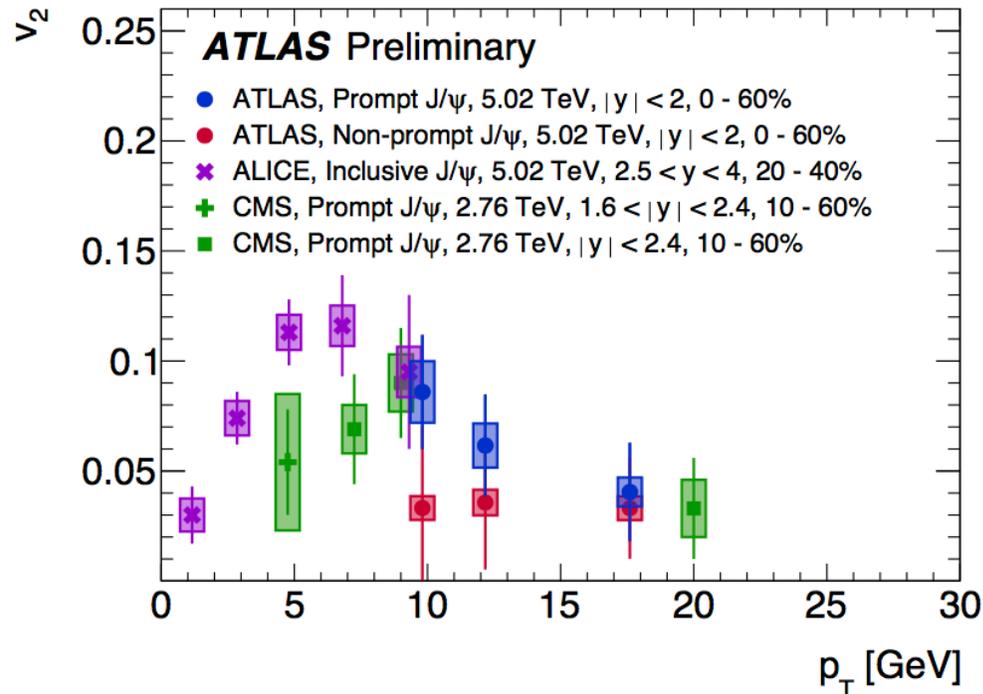
# J/ψ measurements in AA collisions

- 低い運動量で増加
  - 再結合J/ψ
  - RHICでは見えず
    - D中間子の結果を見ると熱化してない訳ではなく  $N_{\text{coll}}$  (チャームの数に対し) が  $N_{\text{part}}$  (軽いクォークの数) が小さい
- 高運動量
  - $R_{AA}(\text{RHIC}) > R_{AA}(\text{LHC})$
- QGP効果以外の寄与は？



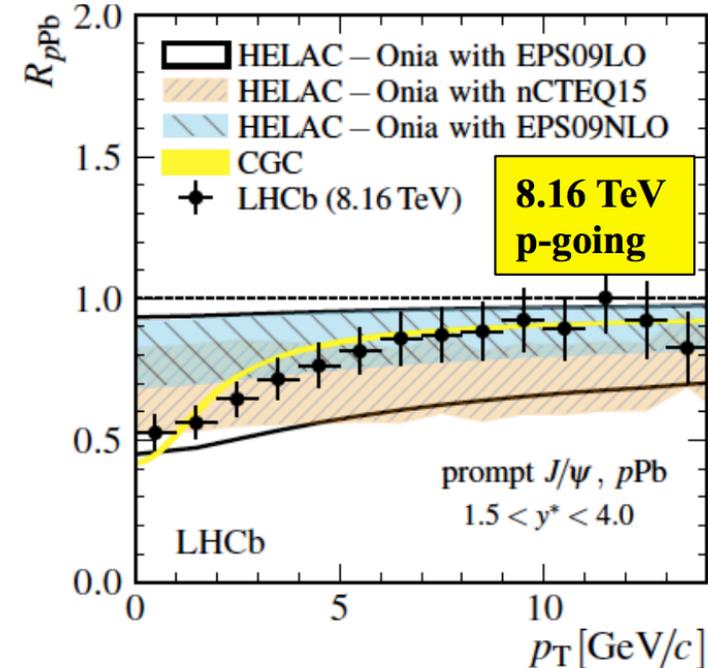
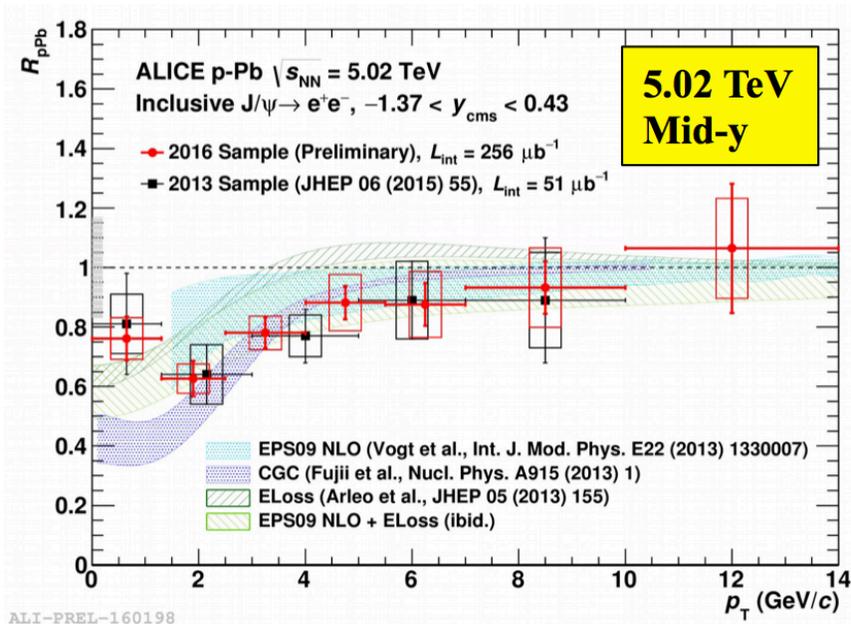
# J/ψ $v_2$

- 高い運動量でも  $v_2$ 
  - Flow 以外の影響?
- 高次の  $v_n$  はどう見えるか



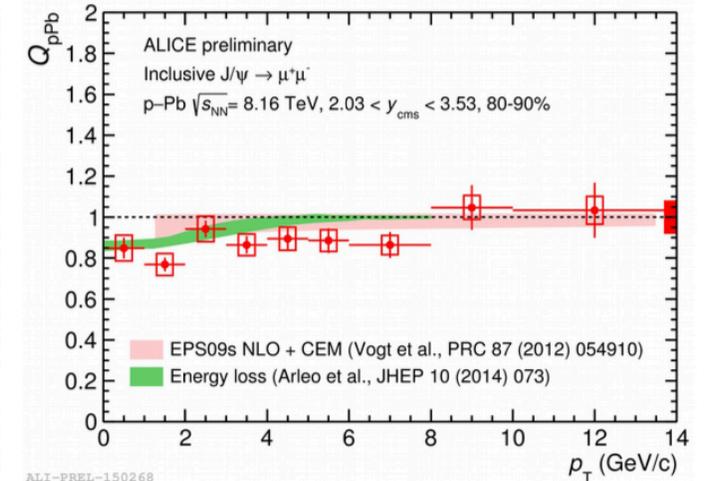
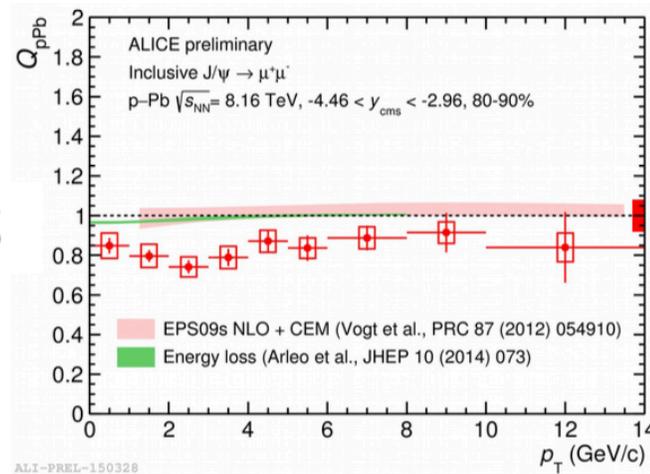
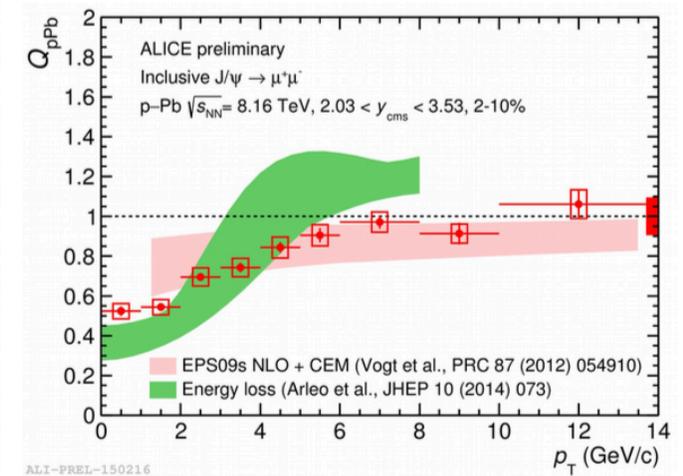
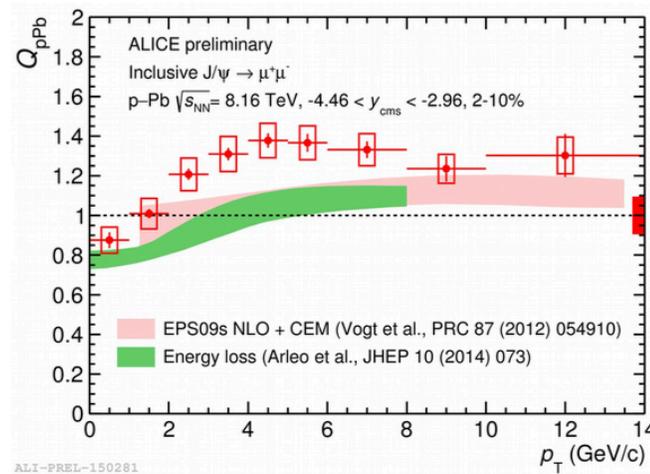
# MB $J/\psi$ production

- CNM, energy loss計算と無矛盾
- 実験の測定精度が理論的不定性より小さくなってきた
  - Gluon nPDFできる可能性
  - 他の寄与の見積もりは妥当か？



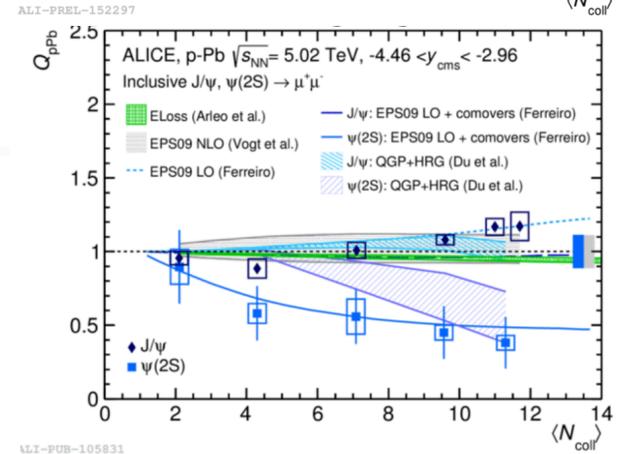
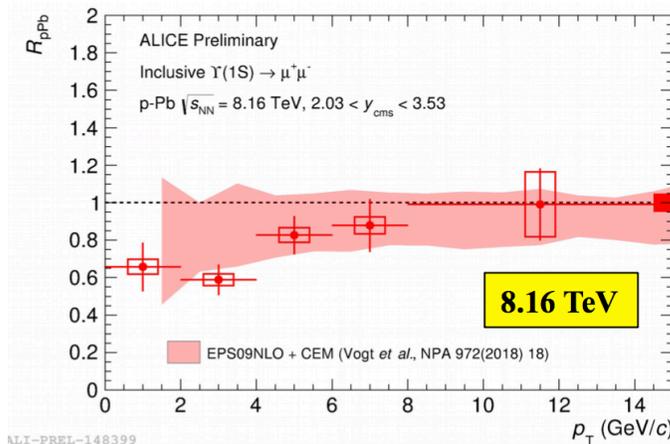
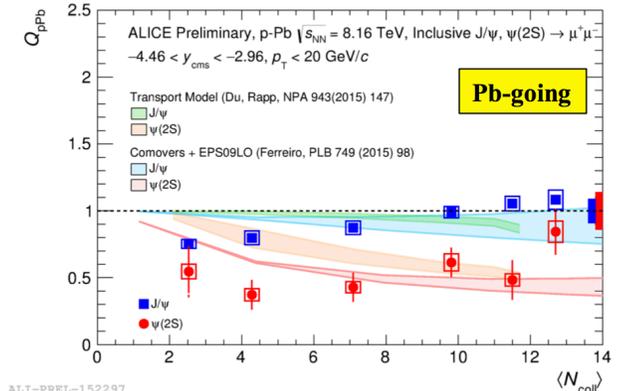
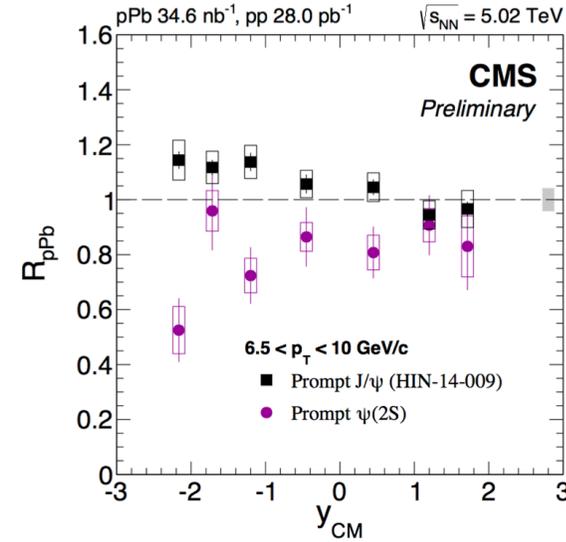
# Centrality dependence in p-Pb

- nPDF, energy lossだけでは特に中心衝突での振る舞いを再現できていない
- 他の寄与の可能性
  - Nuclear absorption
  - Comover break up
  - Collectivity
  - Others

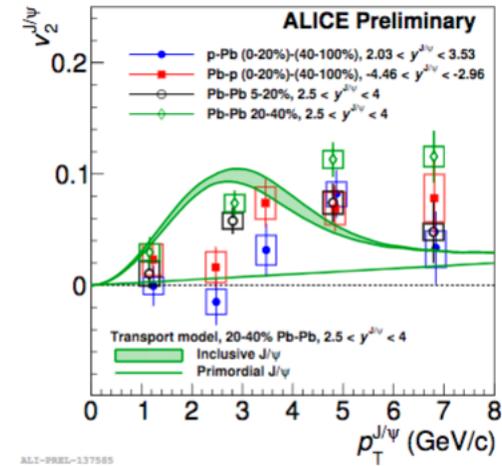
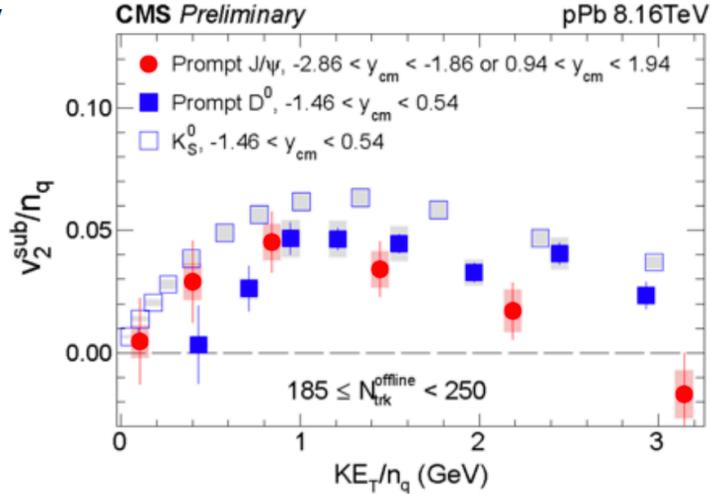
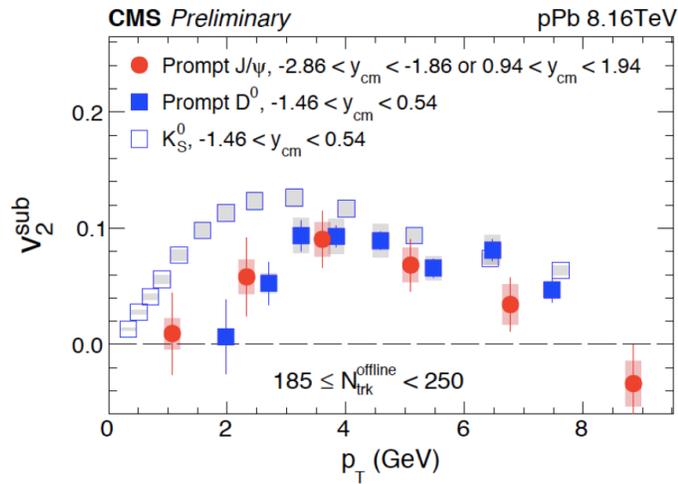


# Other quarkonium measurements in p-Pb

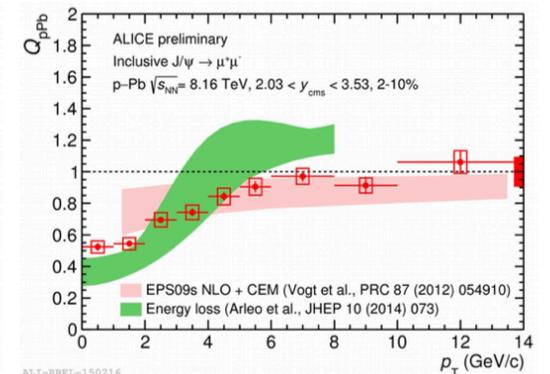
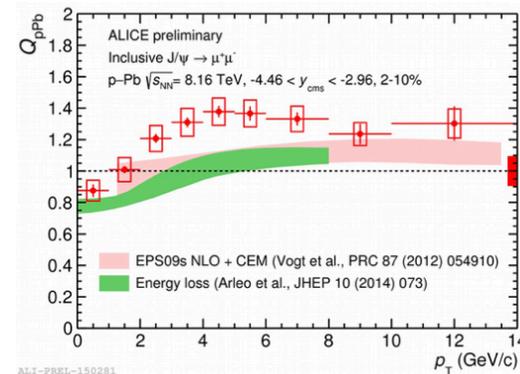
- $\psi'$ 
  - nPDFの影響はJ/ $\psi$ と同程度
  - Particle density:
    - backward > forward
    - Comoverの影響に違い
  - Crossing time
    - エネルギー依存性
- $Y$ も収量抑制を確認



# Collective motion of J/Ψ in p-Pb collisions

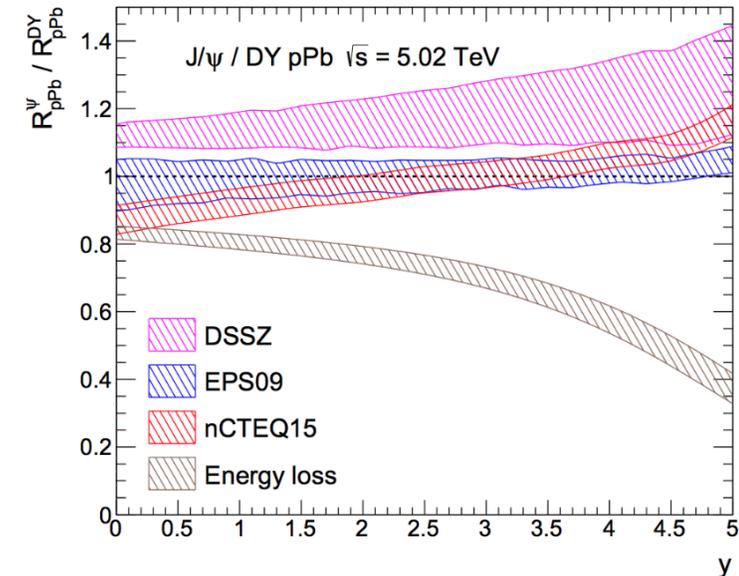


- $v_2(J/\Psi) \sim v_2(D) < v_2(K_S^0)$ 
  - $v_2(cc) \sim v_2(ud)$ ?
- 理論計算よりも高い運動量で顕著
  - Pb-Pbと似た傾向
- 起源はまだよく分からない
  - Flow? Other effects?



# J/Ψ production in p-Pb collisions

- MBに見るとCNM効果と無矛盾
- Centrality, multiplicity に区切ると現状の理論計算では説明できない
- 色々な寄与を見積もるには他の測定  
の助けが必要
  - Other quarkonium
  - Direct photon, HF, drell-yan...
- Non-zero  $v_2$ 
  - $v_2(J/\Psi) \sim v_2(D) < v_2(K_s^0)$
  - 他のクォークonium測定、 $v_n$ 測定



# J/ψ 解析の現状

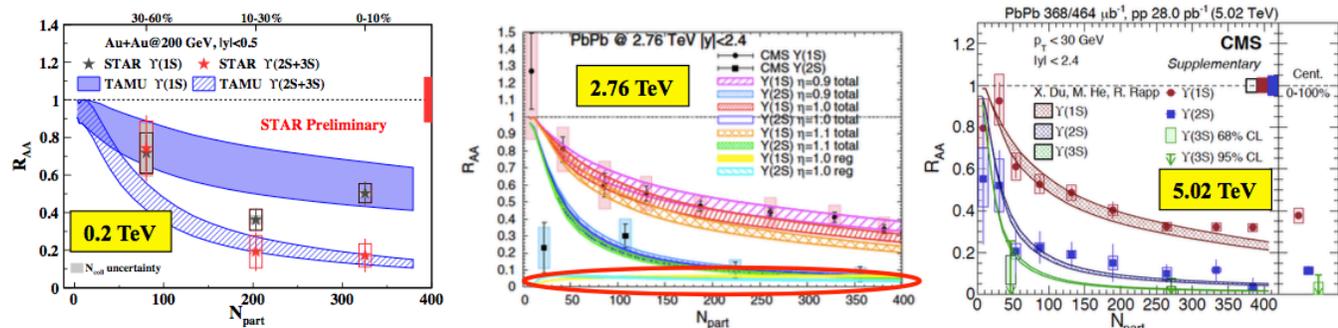
- 中間/高運動量収量抑制の衝突エネルギー依存性、粒子種依存性はsequential meltingと無矛盾
  - 定量的に何か言えないか
  - 系統的なクォークonium測定、特にY
- Low  $p_T$  J/ψ 収量増加とJ/ψ  $v_2$ 
  - How about bottomonia?
- 理論計算の不定性の大部分はチャームの生成断面積の不定性
  - ゼロ $p_T$ までのHF中間子の生成断面積 (Run3で可能)
- Run3
  - 10 times more J/ψ available
  - Resolutionが上がることでS/B は改善：ψ'で6-7

# Test of quantitative comparison to sequential melting

TAMU

- T-dependent binding energy; Kinetic rate equation; Include CNM and regeneration

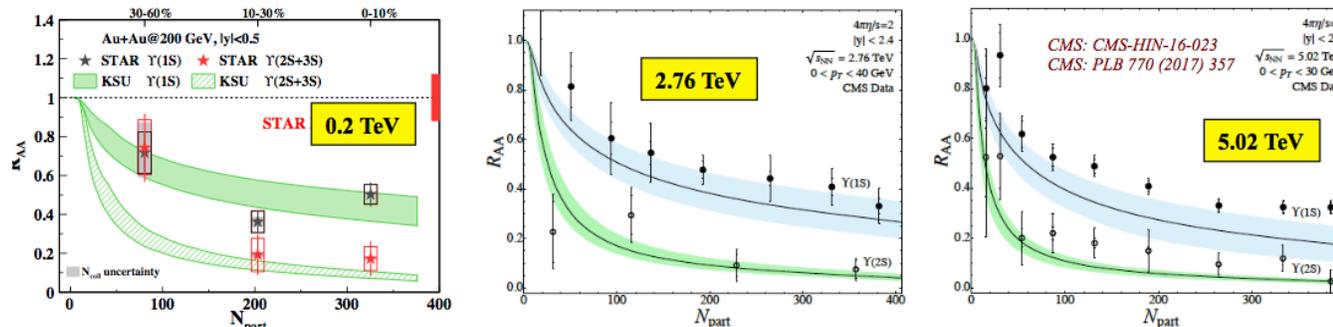
	Y(1S)	Y(2S)	Y(3S)	$\sqrt{s}$ (TeV)	0.2	2.76	5.02
$T_{\text{disso}}$ (MeV)	500	240	190	$T_0^{\text{QGP}}$ (MeV)	310	555	594



- Complex potential (lQCD); aHydro medium; No regeneration or CNM

	Y(1S)	Y(2S)	Y(3S)	$\sqrt{s}$ (TeV)	0.2	2.76	5.02
$T_{\text{disso}}$ (MeV)	600	230	170	$T_0^{\text{QGP}}$ (MeV)	440	545	632

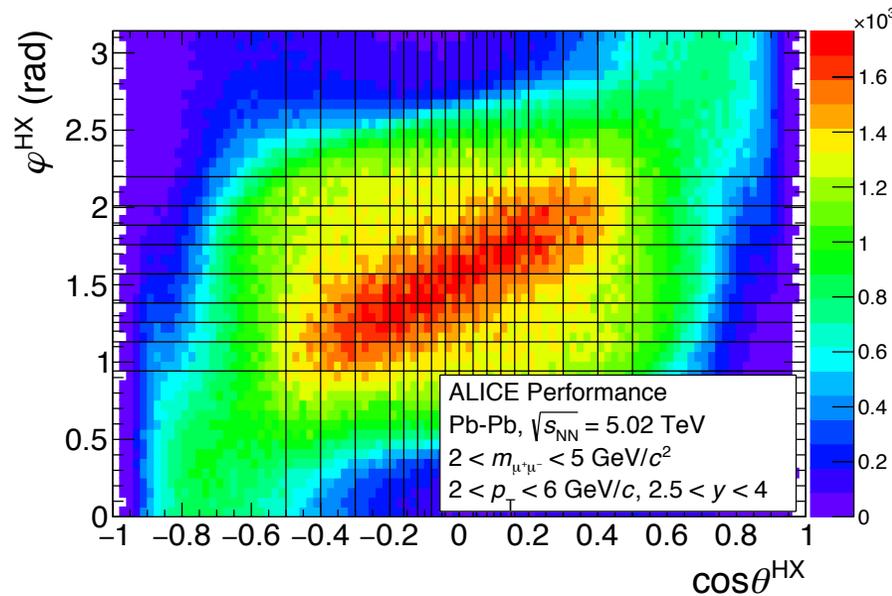
Lattice



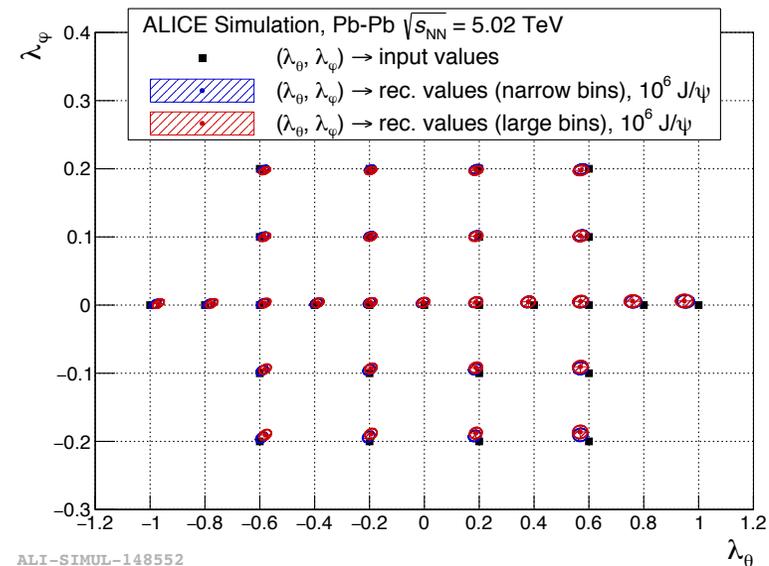
Regeneration?

# New Observable for Quarkonium

- J/ψ polarization
  - ppではほぼゼロ
  - 強い磁場中での生成
    - 有限な値を持つ可能性
  - 初期生成と終状態生成の選別



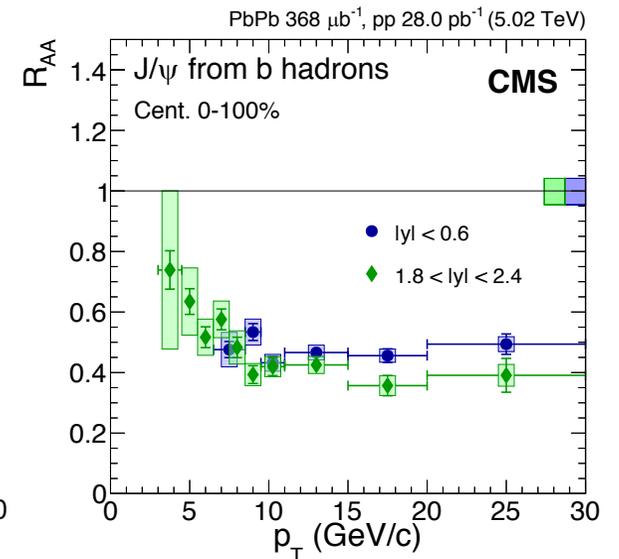
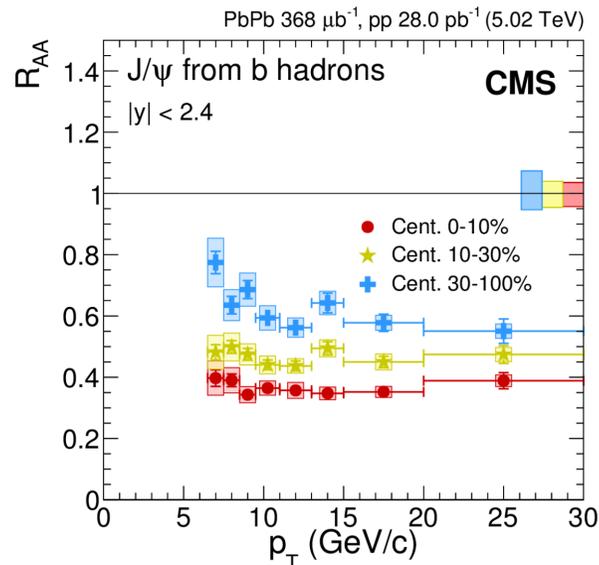
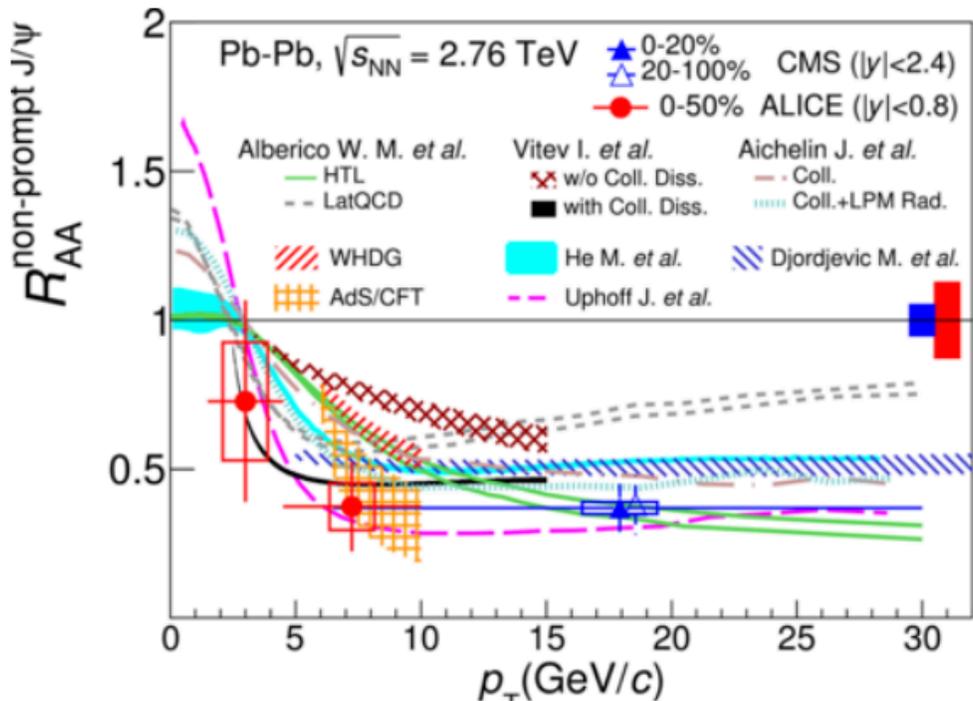
ALI-PERF-148512



ALI-SIMUL-148552

# B → J/ψ

- Run2まではボトムハドロンは直接測定は難しい
- 今年の重イオンRunで10%の統計誤差で測定可能
- CMSは低い運動量は測定困難

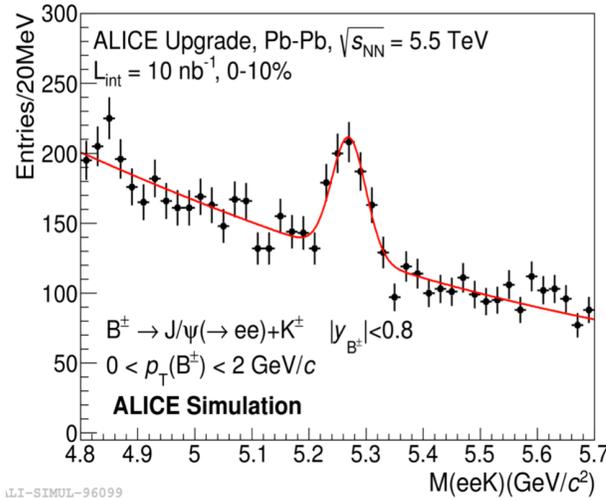


# Bottom quark measurements

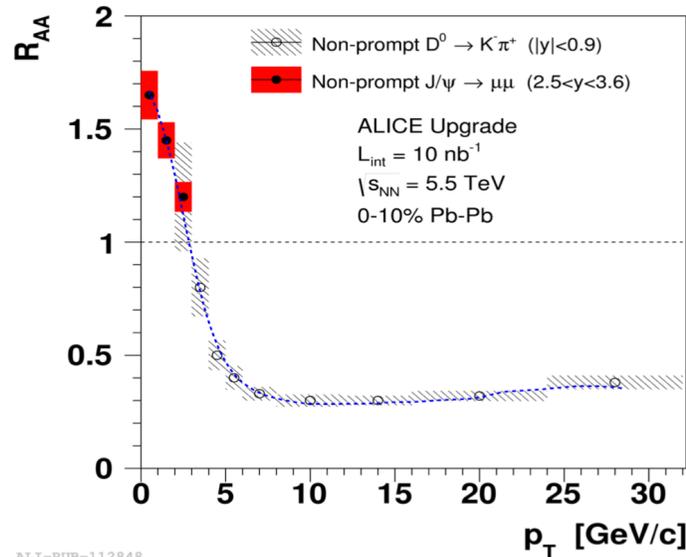
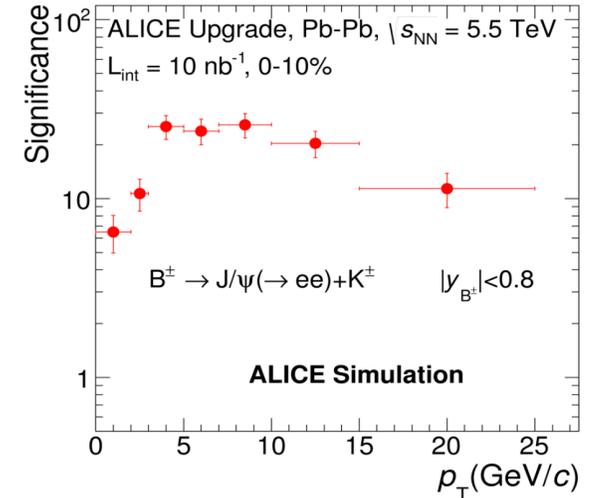
- LHCではB meson( $< 10 \text{ GeV}/c$ )は重クォークの拡散係数導出のカギとなる
- 陽子衝突での生成断面積
  - $\sigma_{bb}/\sigma_{cc} \sim 0.03 @ \sqrt{s}=7 \text{ TeV}$
- Run3ではB中間子をRun2のD中間子と同程度できている
  - $13 \mu\text{b}^{-1} (2015 \text{ Pb-Pb}) \rightarrow 10 \text{ nb}^{-1}$
  - Bottom由来の $v_2$ 測定可能

# Bottom hadron measurements

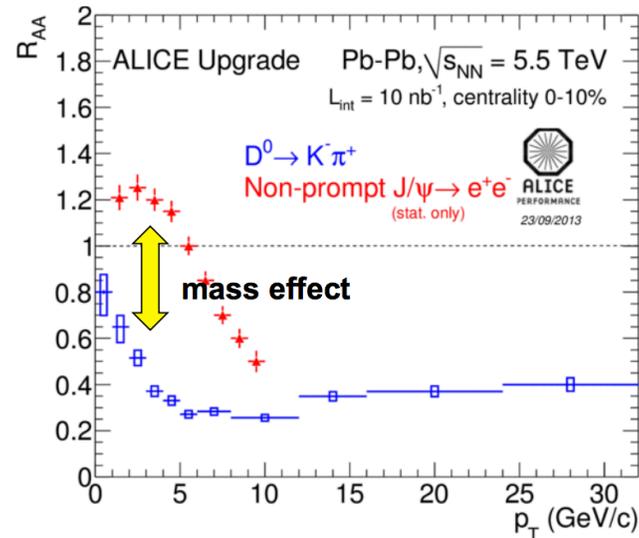
- ボトムハドローンの直接測定が
- B feed-down J/ψ、D による  $v_2$  測定



ALI-SIMUL-96099

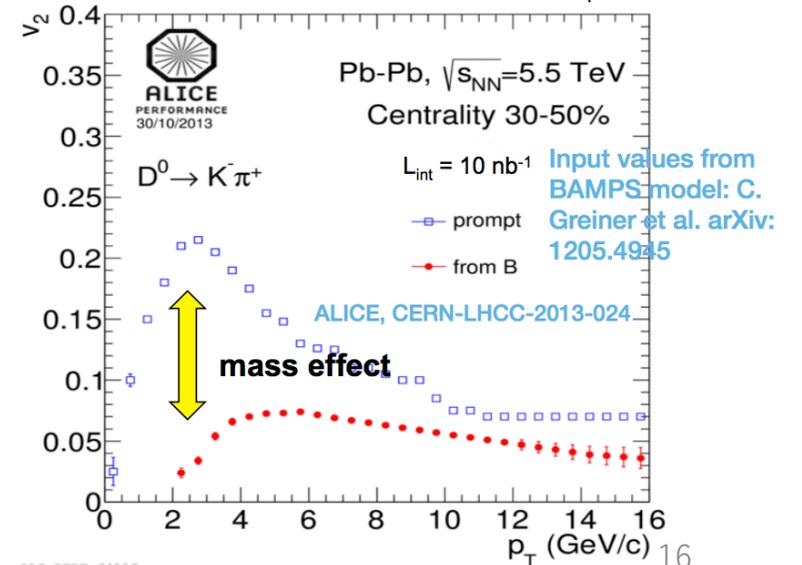


ALI-PUB-112848



ALI-PERF-59950

ALICE, CERN-LHCC-2013-024

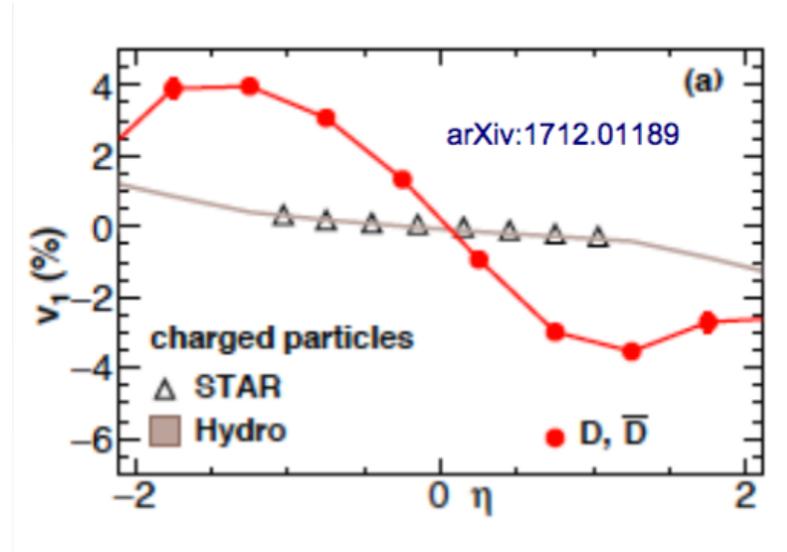
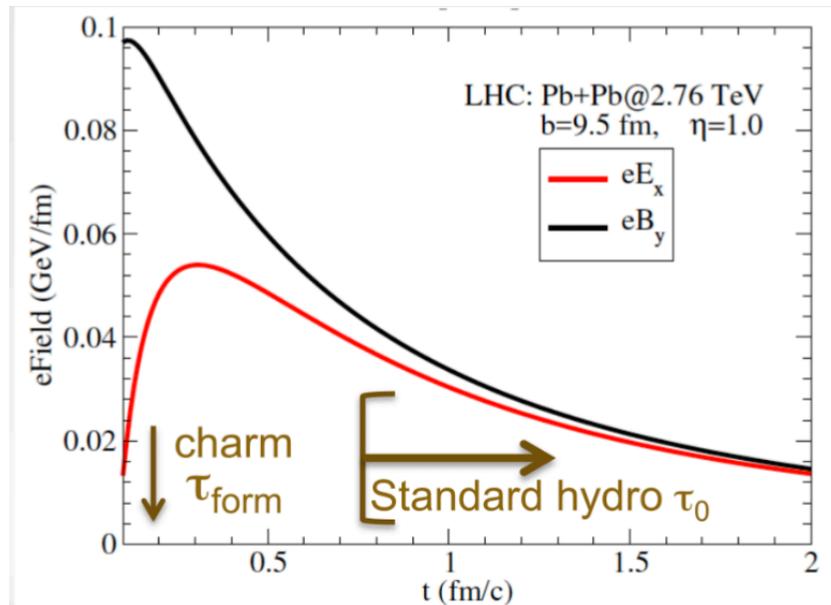


ALI-PERF-64119

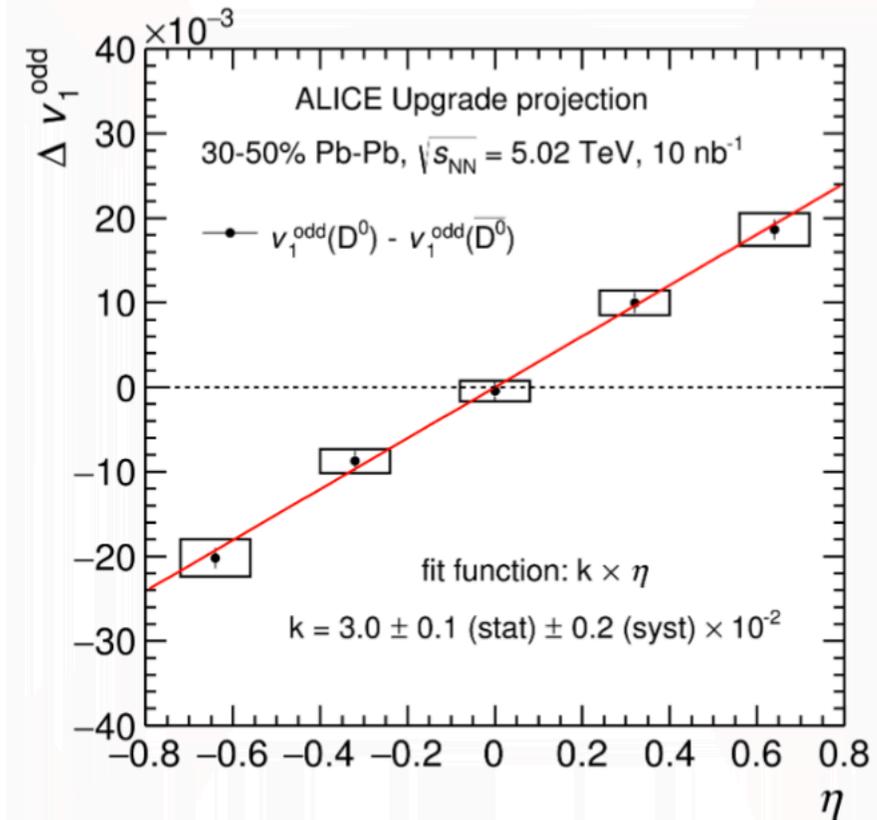
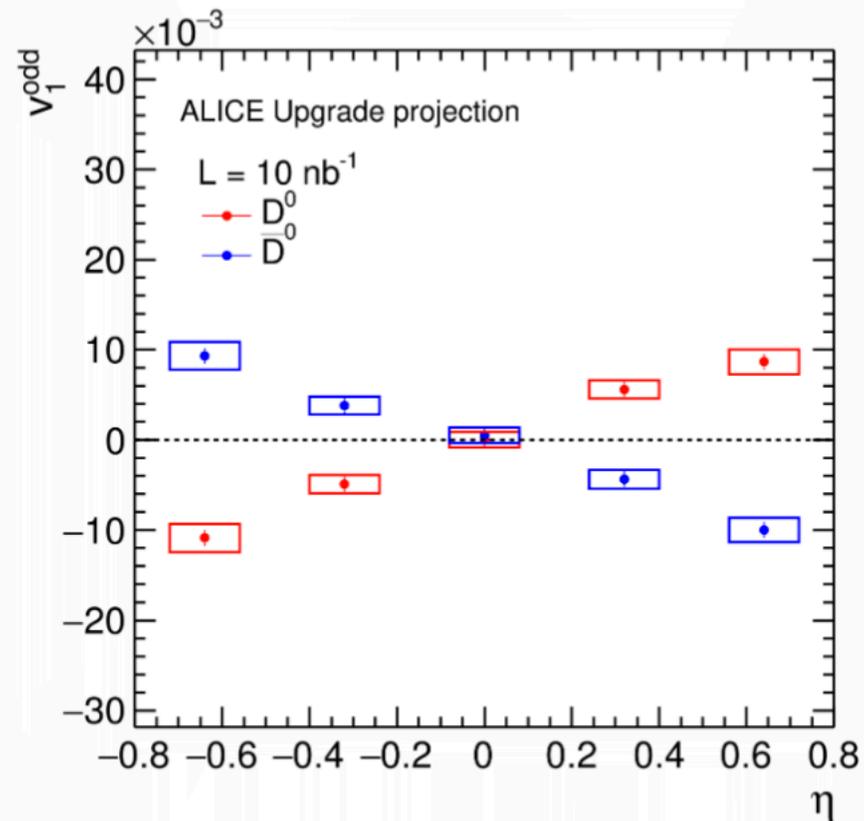
Observable	Current, 0.1 nb <sup>-1</sup>		Upgrade, 10 nb <sup>-1</sup>	
	$p_T^{\min}$ (GeV/c)	statistical uncertainty	$p_T^{\min}$ (GeV/c)	statistical uncertainty
Heavy Flavour				
D meson $R_{AA}$	1	10 %	0	0.3 %
D <sub>s</sub> meson $R_{AA}$	4	15 %	< 2	3 %
D meson from B $R_{AA}$	3	30 %	2	1 %
J/ψ from B $R_{AA}$	1.5	15 % ( $p_T$ -int.)	1	5 %
B <sup>+</sup> yield	not accessible		3	10 %
Λ <sub>c</sub> $R_{AA}$	not accessible		2	15 %
Λ <sub>c</sub> /D <sup>0</sup> ratio	not accessible		2	15 %
Λ <sub>b</sub> yield	not accessible		7	20 %
D meson $v_2$ ( $v_2 = 0.2$ )	1	10 %	0	0.2 %
D <sub>s</sub> meson $v_2$ ( $v_2 = 0.2$ )	not accessible		< 2	8 %
D from B $v_2$ ( $v_2 = 0.05$ )	not accessible		2	8 %
J/ψ from B $v_2$ ( $v_2 = 0.05$ )	not accessible		1	60 %
Λ <sub>c</sub> $v_2$ ( $v_2 = 0.15$ )	not accessible		3	20 %

# Charge dependent D meson $v_1$

- 重クォークの生成時間は軽いクォークに比べて短い ( $\propto 1/m_q$ )
  - 生成段階である程度の強磁場が残っている
    - ファラデー効果
    - ホール効果
  - $v_1$ として数%のシグナル (charged particle: ~0.001%)
- 他にも衝突初期の影響を保持している量はあるか？

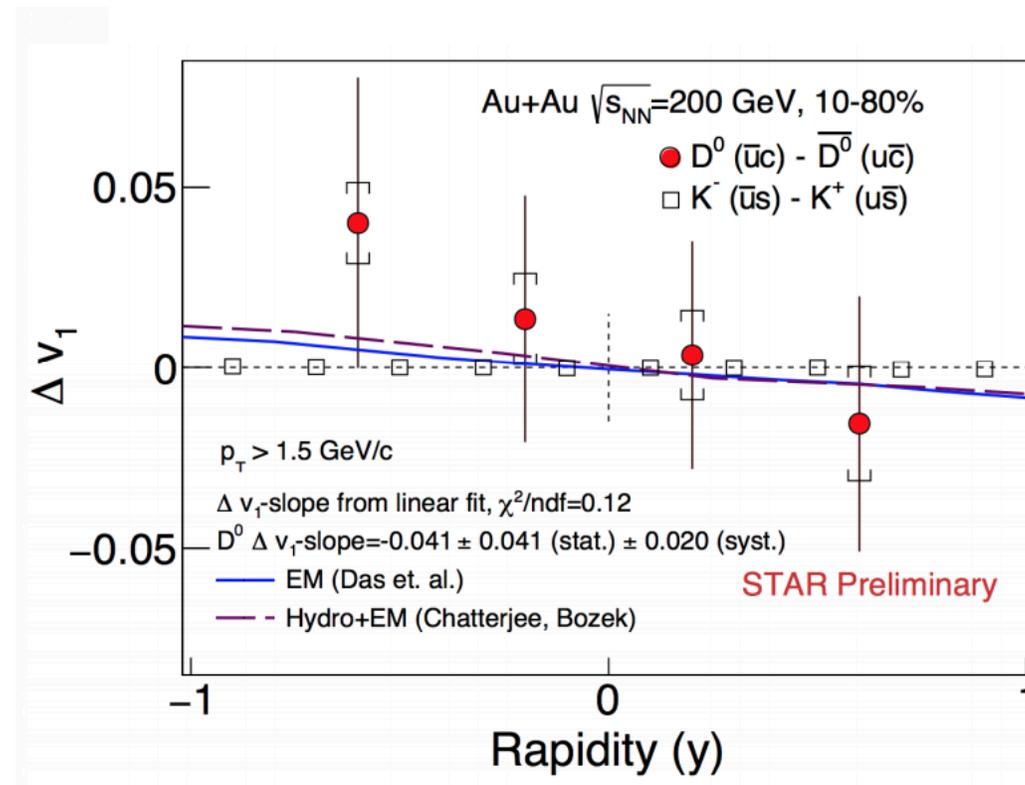


# Directed flow measurement of D meson in Run3



# 先行研究 (STAR)

- STARが測定している
  - 傾向は見えている
  - 統計的にはALICE Run3の方が有利
- 将来的には (Run3では無理だが) ボトムも見たい
  - 生成時間はチャームより早い



# Summary

- J/Ψ productionの現状
  - Low pT enhancement and high pt suppression
  - Sizable  $v_2$  at intermediate and even high pT
    - 起源の解明
  - CNMの定性的、定量的理解
  - Non-Prompt J/Ψ
    - 大きな不定性: 模型の制限ができていない
    - 低い運動量へのアクセスが課題
- Heavy Flavor measurements
  - Run3ではBottom measurementsに期待
  - 衝突初期状態に敏感な測定ができる可能性がある(磁場など)
  - 他にも重クォークバリオン、エキゾチックハドロン生成