



華中師範大學
CENTRAL CHINA NORMAL UNIVERSITY

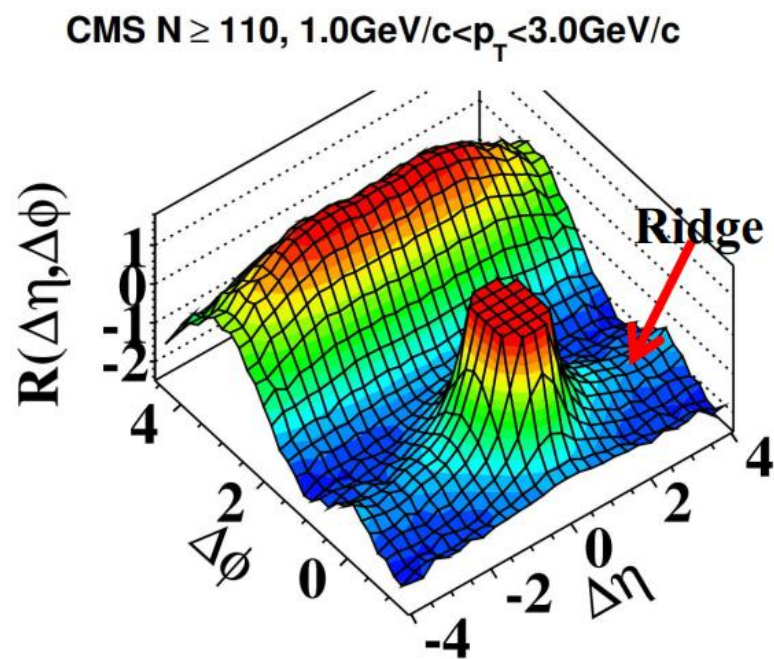
色玻璃凝聚有效场论中的长程脊状关联

张东海
(西华师范大学)

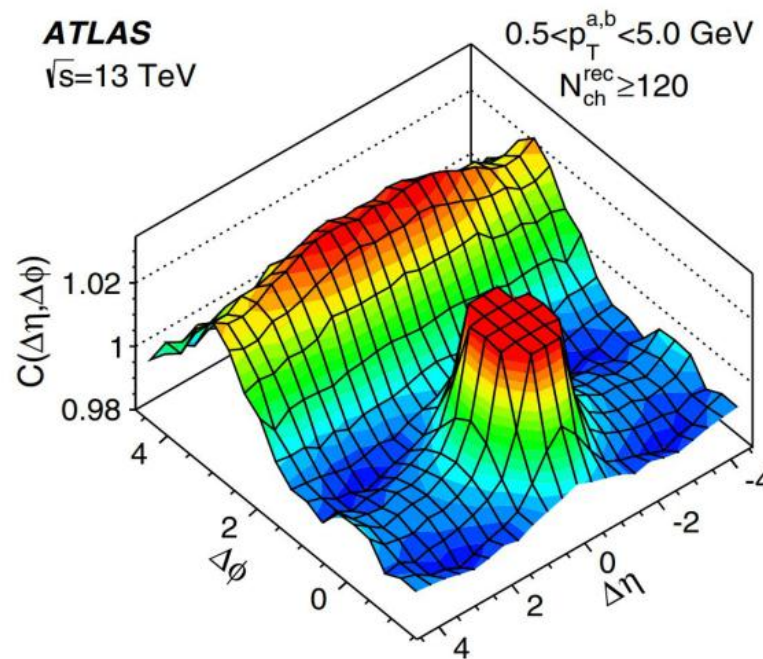
合作导师：吴元芳教授
许明梅副教授

2022年8月10日

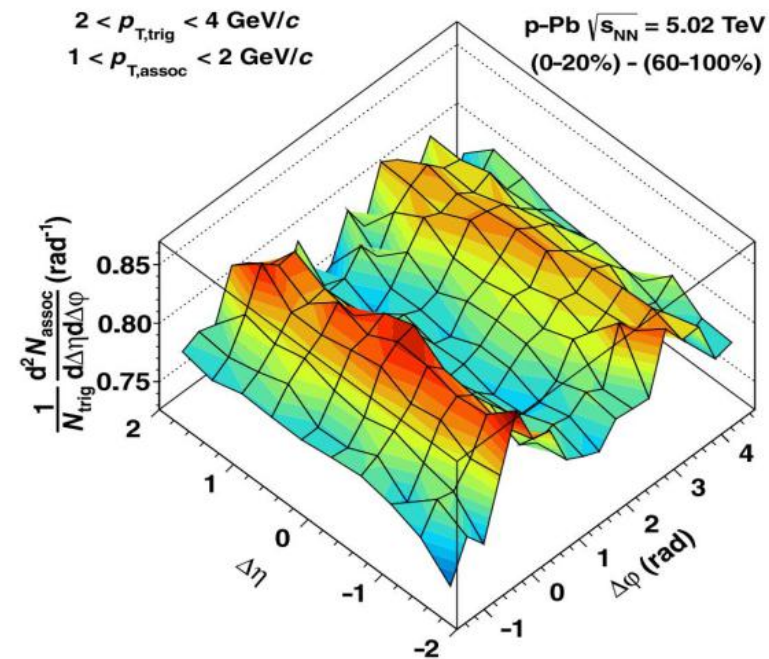
两粒子关联是很重要的物理观测量，用于揭示末态粒子集体效应的起源。



JHEP.09,091 (2010).



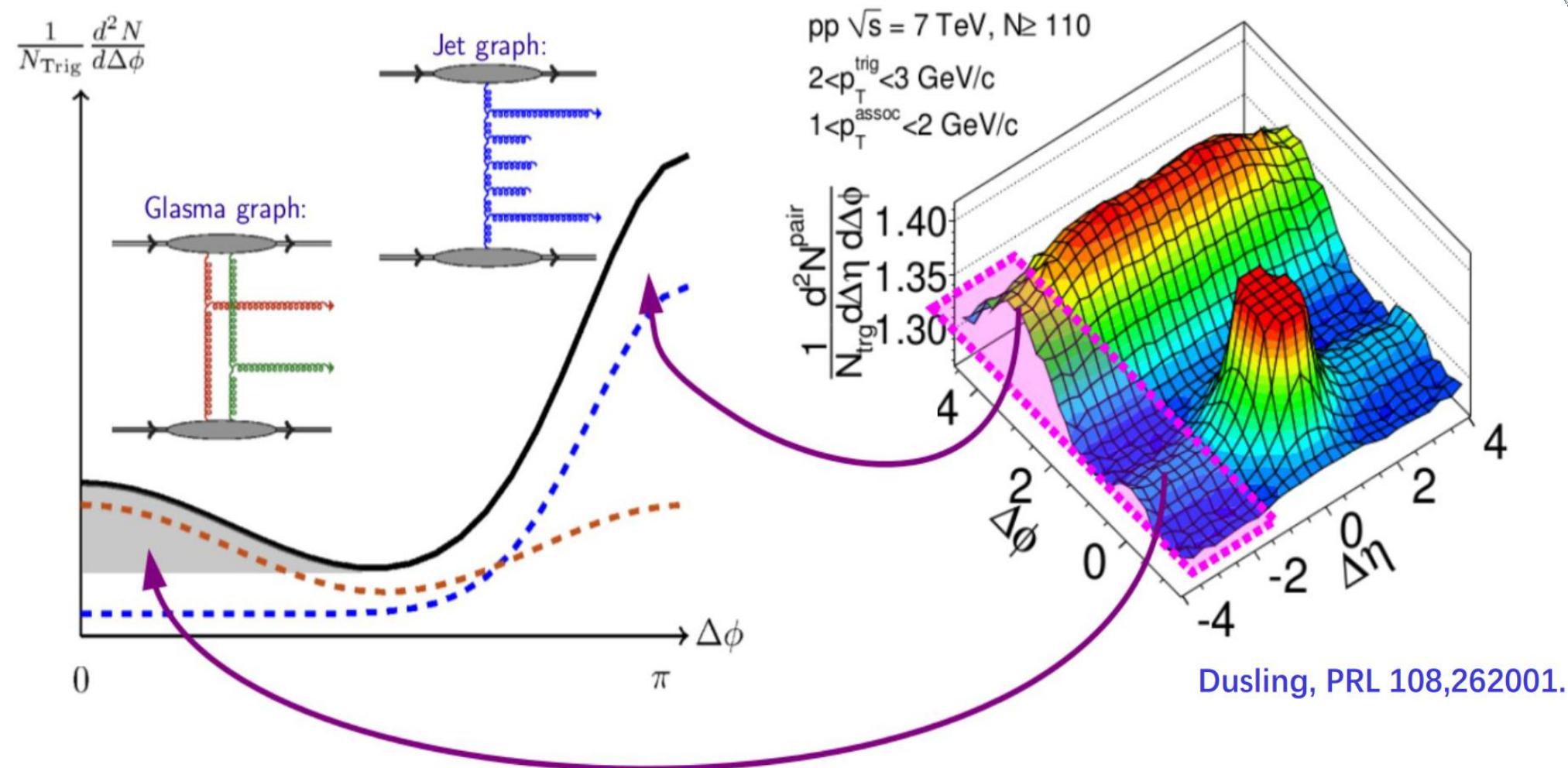
PRL 116,172301(2016).



PLB 719,29-41(2013).

方位角方向上：在近端 ($\Delta\phi = 0$) 和远端 ($\Delta\phi = \pi$) 各有一个峰。

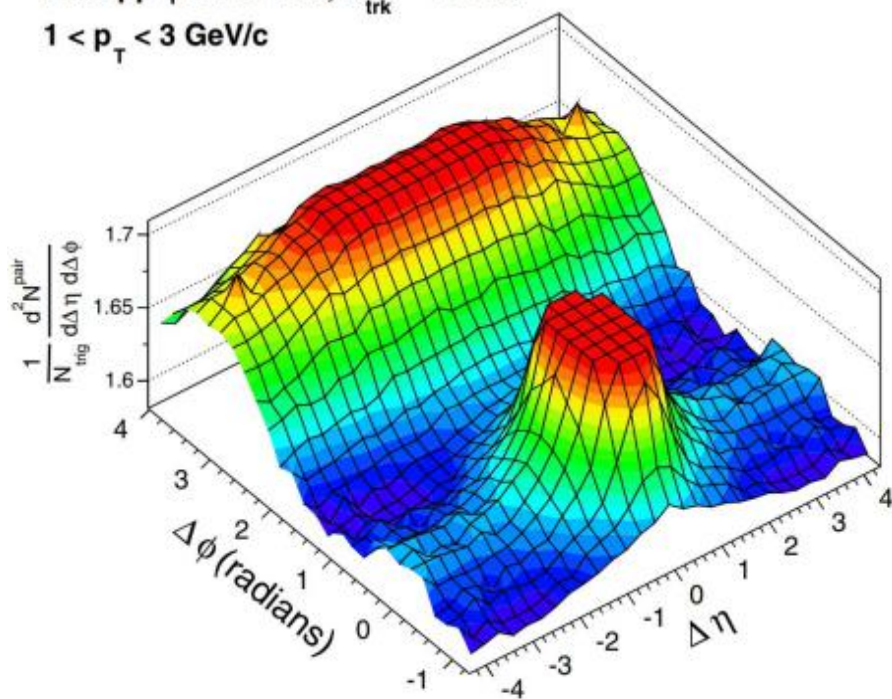
快度方向上：在近端 ($\Delta\phi = 0$) 的长程快度间隔处有一个拉长的凸起的结构。



近端 ($\Delta\phi = 0$) 的ridge 结构由 Glasma 费曼图来描述。

实验测量中的两粒子关联

CMS pp $\sqrt{s} = 13$ TeV, $N_{\text{trk}}^{\text{offline}} \geq 105$
 $1 < p_T < 3$ GeV/c



CMS Collaboration, PRL.116,172302 (2016)

$$\frac{1}{N_{\text{Trig}}} \frac{d^2 N^{\text{pair}}}{d\Delta y d\Delta\phi} = B(0,0) \frac{S(\Delta y, \Delta\phi)}{B(\Delta y, \Delta\phi)}.$$

$$S(\Delta y, \Delta\phi) = \frac{1}{N_{\text{Trig}}} \frac{d^2 N^{\text{same}}}{d\Delta y d\Delta\phi}.$$

$$B(\Delta y, \Delta\phi) = \frac{1}{N_{\text{Trig}}} \frac{d^2 N^{\text{mix}}}{d\Delta y d\Delta\phi}.$$

实验分析中的信号分布除了包含真正的关联外，还包含：1. 无关联粒子的组合背景，
 2. 探测器接受度以及粒子探测效率的影响。

$$Y(\Delta y, \Delta\phi) = \frac{1}{N_{Trig}} \frac{d^2 N^{pair}}{d\Delta y d\Delta\phi} = B(0,0) \frac{S(\Delta y, \Delta\phi)}{B(\Delta y, \Delta\phi)}.$$

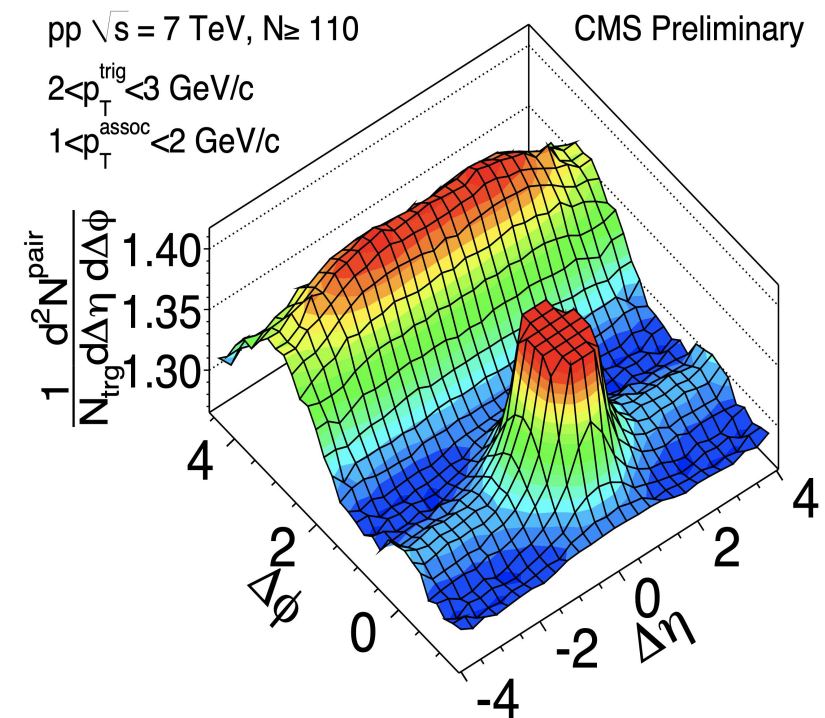
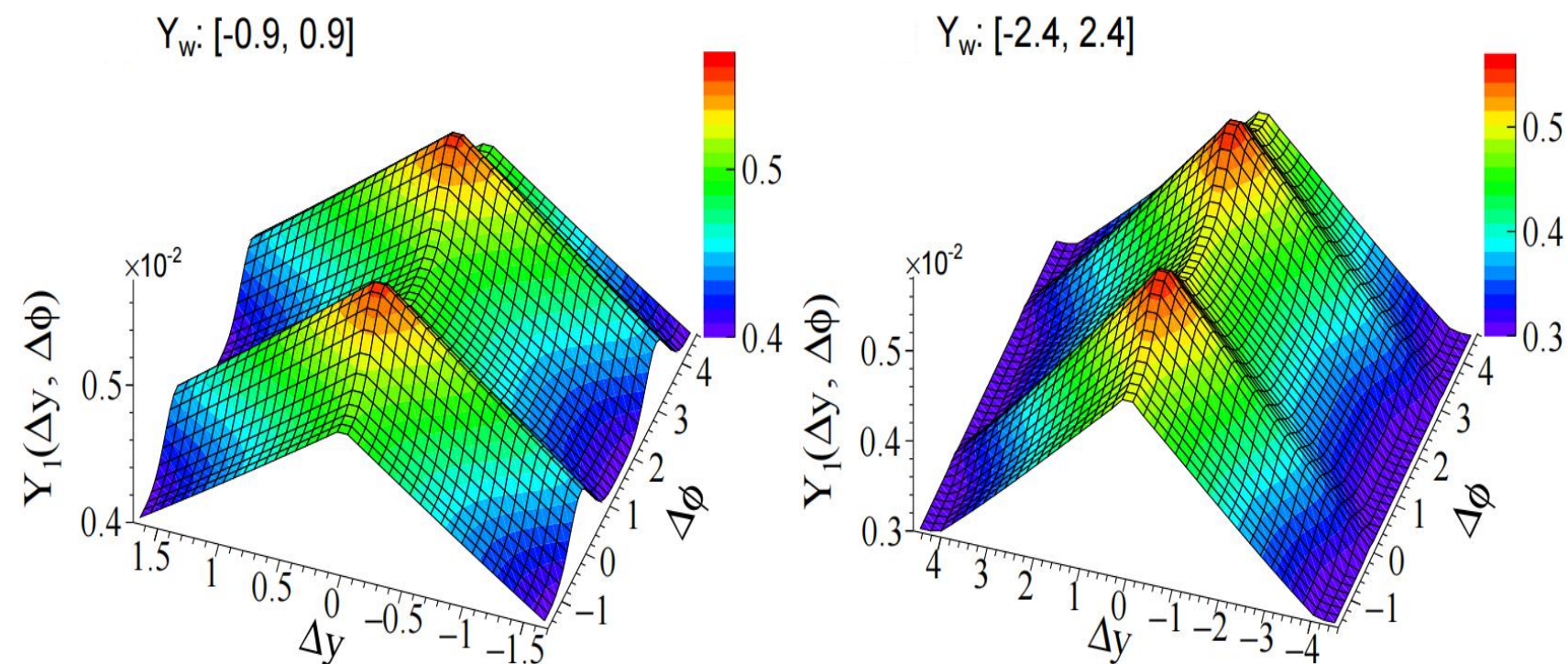
$$S(\Delta y, \Delta\phi) = \frac{1}{N_{Trig}} \frac{d^2 N_{Assoc}}{d\Delta y d\Delta\phi}.$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 N_{Assoc}}{d\Delta y d\Delta\phi} &= \int y_p \int y_q \delta(y_q - y_p - \Delta y) \int \phi_p \int \phi_q \delta(\phi_p - \phi_q - \Delta\phi) \\ &\times \int_{p_{\perp}^{min}}^{p_{\perp}^{max}} \frac{d\vec{p}_{\perp}^2}{2} \int_{q_{\perp}^2}^{q_{\perp}^2} \frac{d\vec{q}_{\perp}^2}{2} \frac{dN_{2,Glasma}^{corr}}{d^2\vec{p}_{\perp} dy_p d^2\vec{q}_{\perp} dy_q}, \end{aligned}$$

目前理论上采用的方法:

$$B_1(\Delta y, \Delta\phi) = 2|\Delta\eta_{max} - \Delta\eta_{min}| \left(1 - \frac{|\eta_p - \eta_q|}{|\eta_{max} - \eta_{min}|}\right)$$

K. Dusling, R. Venugopalan, PRD 87, 094034 (2013).



CMS collaboration, JPG. 38 124051

该归一化方案下的理论计算结果与实验结果在快度方向上不符。

我们改进的归一化方案



$$Y(\Delta y, \Delta \phi) = \frac{1}{N_{Trig}} \frac{d^2 N^{pair}}{d\Delta y d\Delta \phi} = B(0,0) \frac{S(\Delta y, \Delta \phi)}{B(\Delta y, \Delta \phi)}.$$

$$S(\Delta y, \Delta \phi) = \frac{1}{N_{Trig}} \frac{d^2 N_{Assoc}}{d\Delta y d\Delta \phi}.$$

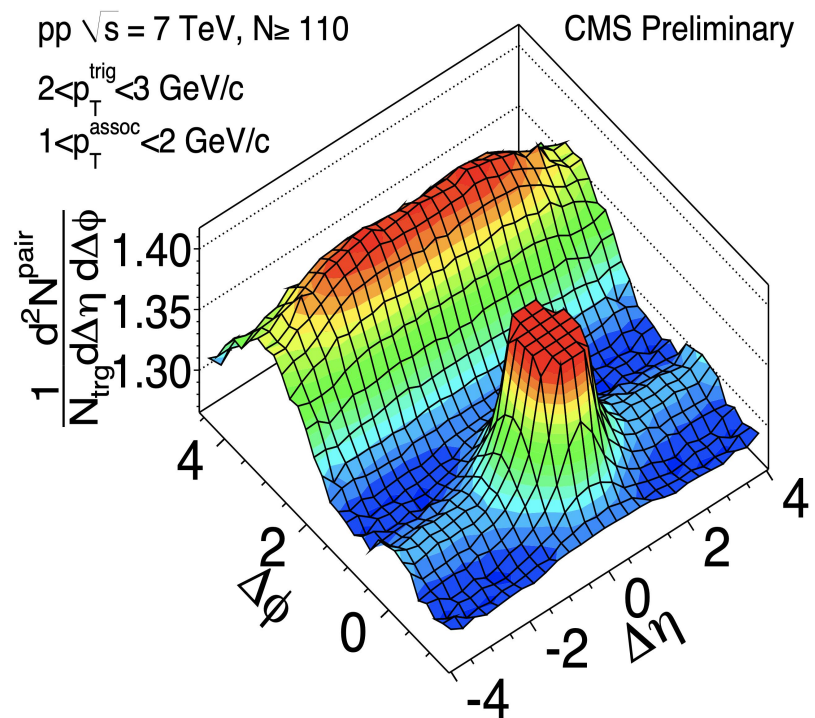
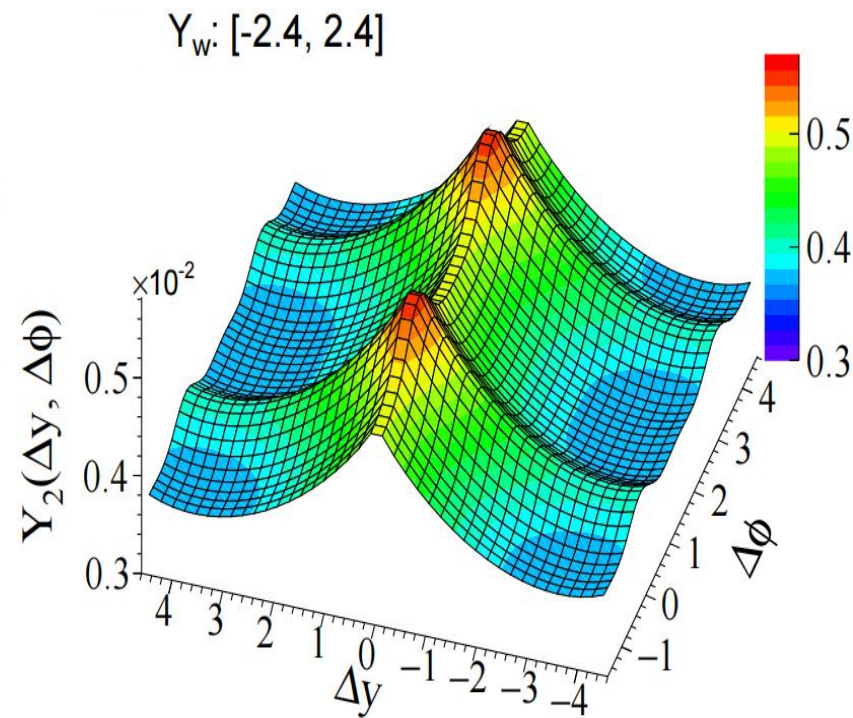
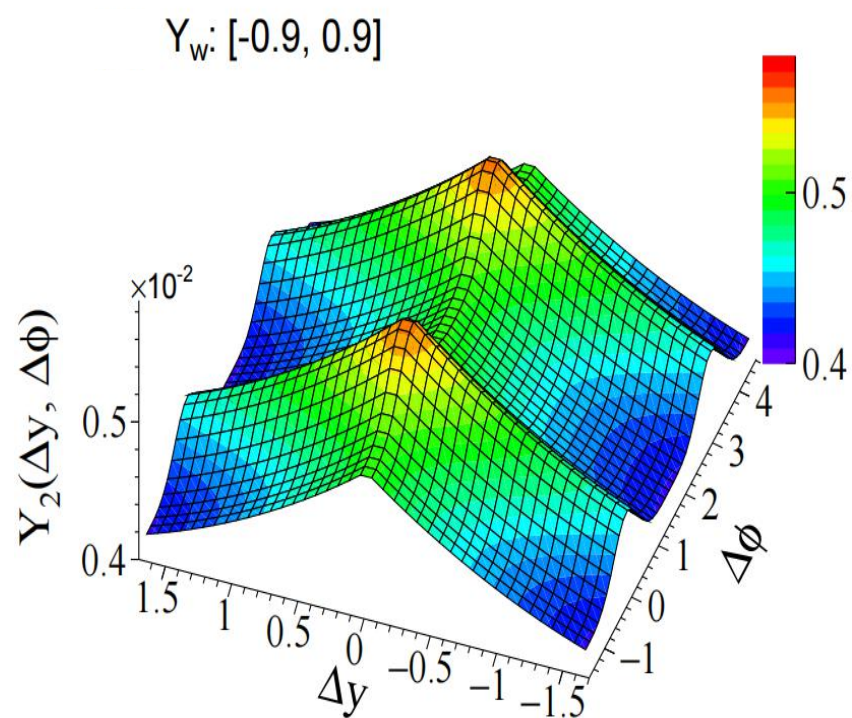
$$\begin{aligned} \frac{d^2 N_{Assoc}}{d\Delta y d\Delta \phi} &= \int y_p \int y_q \delta(y_q - y_p - \Delta y) \int \phi_p \int \phi_q \delta(\phi_p - \phi_q - \Delta \phi) \\ &\times \int_{p_{\perp}^{min}}^{p_{\perp}^{max}} \frac{d\vec{p}_{\perp}^2}{2} \int_{q_{\perp}^2} \frac{d\vec{q}_{\perp}^2}{2} \frac{dN_{2,Glasma}^{corr}}{d^2 \vec{p}_{\perp} dy_p d^2 \vec{q}_{\perp} dy_q}, \end{aligned}$$

$$B_2(\Delta y, \Delta \phi) = \frac{1}{N_{Trig}} \frac{d^2 N^{uncorr}}{d\Delta y d\Delta \phi}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 N^{uncorr}}{d\Delta y d\Delta \phi} &= \int y_p \int y_q \delta(y_q - y_p - \Delta y) \int \phi_p \int \phi_q \delta(\phi_p - \phi_q - \Delta \phi) \\ &\times \int_{p_{\perp}^{min}}^{p_{\perp}^{max}} \frac{d\vec{p}_{\perp}^2}{2} \int_{q_{\perp}^2} \frac{d\vec{q}_{\perp}^2}{2} \frac{dN_1}{d^2 \vec{p}_{\perp} dy_p} \frac{dN_1}{d^2 \vec{q}_{\perp} dy_q}. \end{aligned}$$

如果: $\frac{dN_1}{d^2 \vec{p}_{\perp} dy_p} = C$, 便可得到 $B_1(\Delta y, \Delta \phi)$ 。

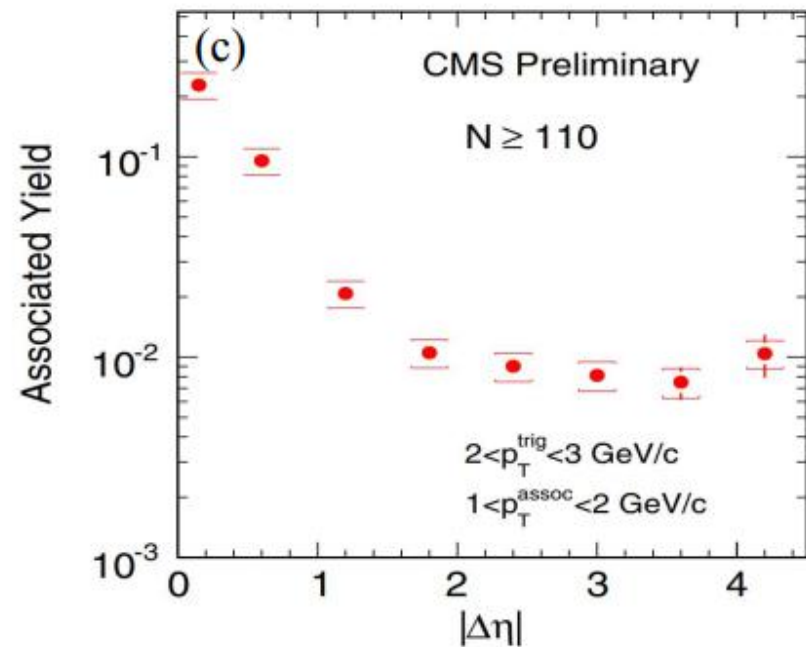
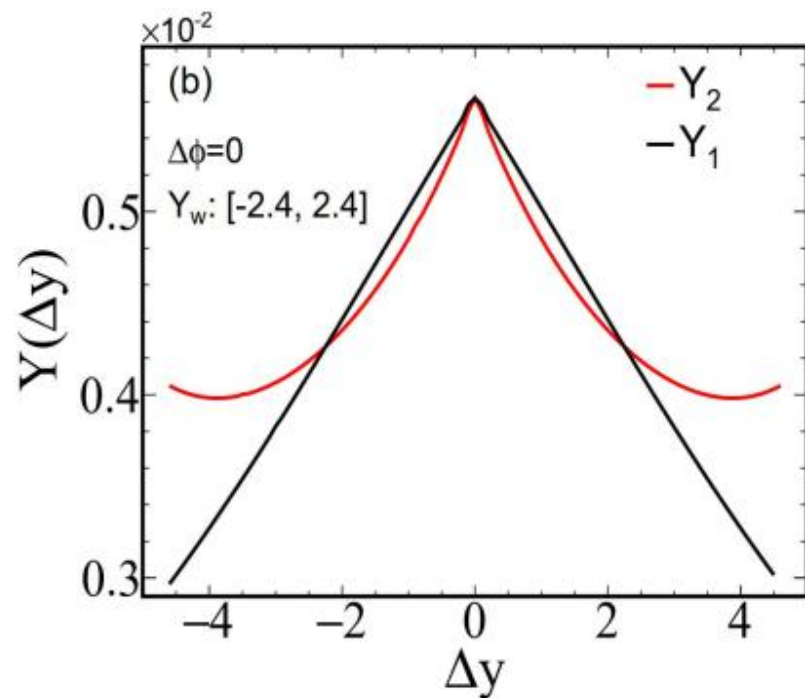
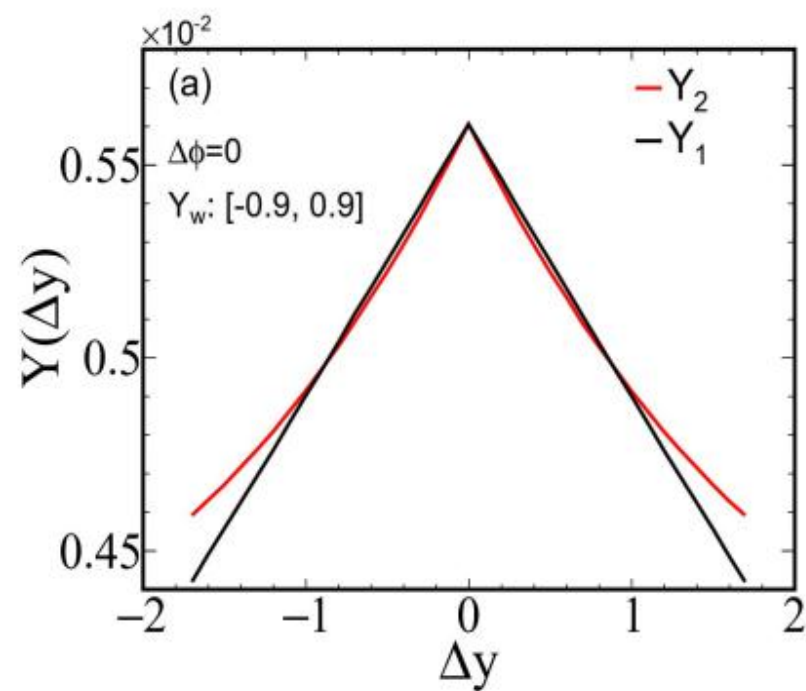
$$[B_1(\Delta y, \Delta \phi) = 2|\Delta \eta_{max} - \eta_{min}| (1 - \frac{|\eta_q - \eta_p|}{|\eta_{max} - \eta_{min}|})]$$



CMS collaboration, JPG. 38 124051

利用改进后的归一化方案得到的理论计算结果与实验结果在长程快速度间隔处一致符合。

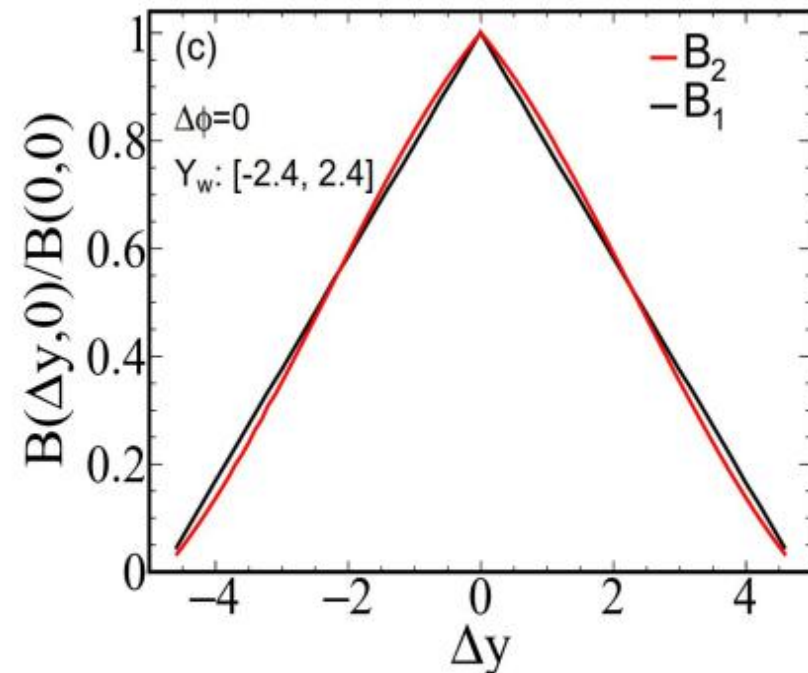
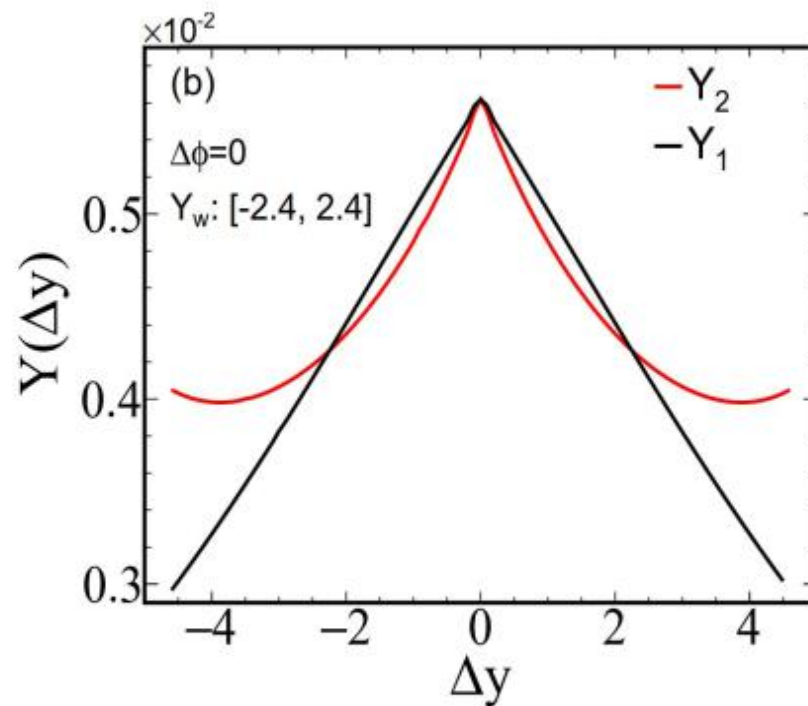
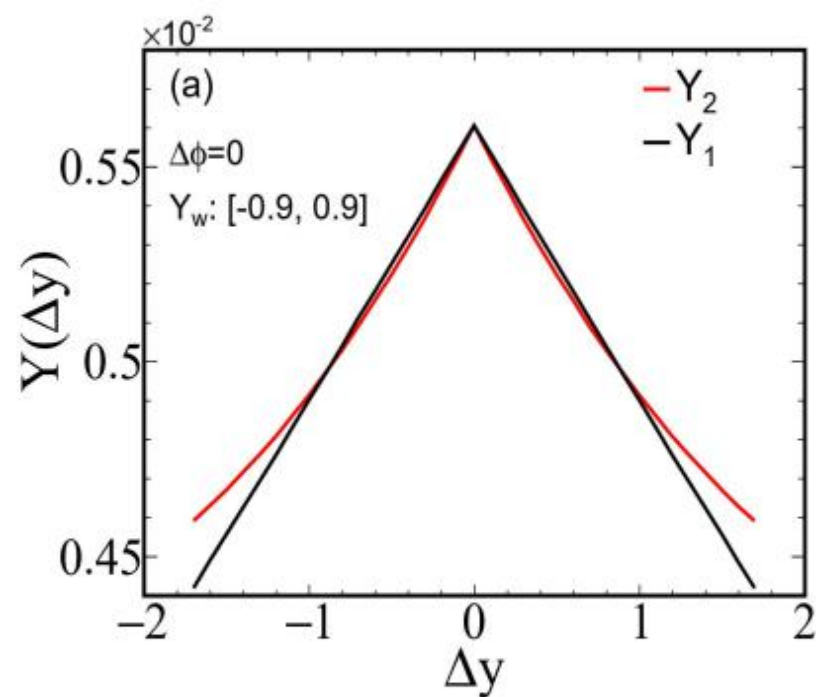
关联在 Δy 方向上的投影



CMS collaboration, JPG. 38 124051 (2011)

1. 两种背景方案下，快度方向上的分布趋势有差别。
2. 大快度窗口下的快度分布，差别更显著。
3. 采用我们的归一化方案计算的快度分布和实验结果符合的更好。

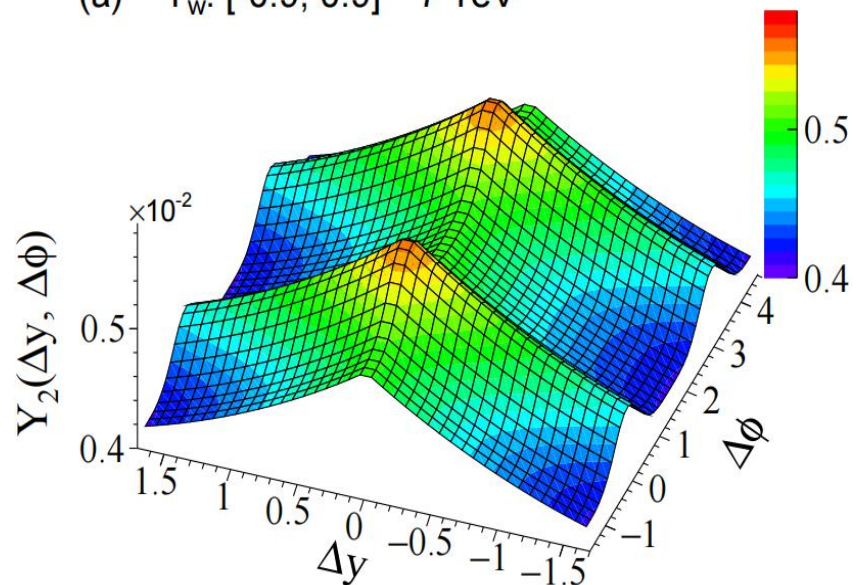
归一化系数的比较



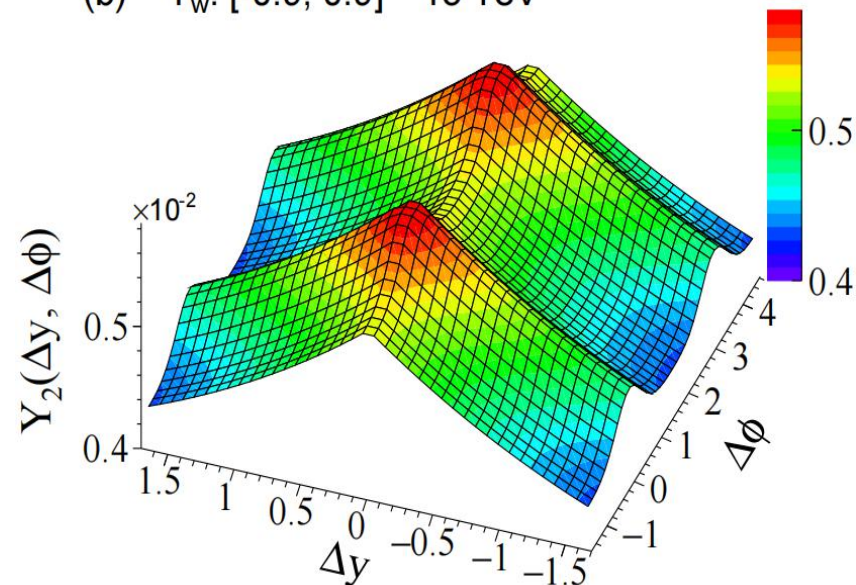
归一化系数 $B(\Delta y, 0)/B(0, 0)$ 的快度分布存在差别导致了归一化后快度分布有差别。

$$Y(\Delta y, \Delta\phi) = \frac{1}{N_{Trig}} \frac{d^2 N^{pair}}{d\Delta y d\Delta\phi} = B(0, 0) \frac{S(\Delta y, \Delta\phi)}{B(\Delta y, \Delta\phi)}.$$

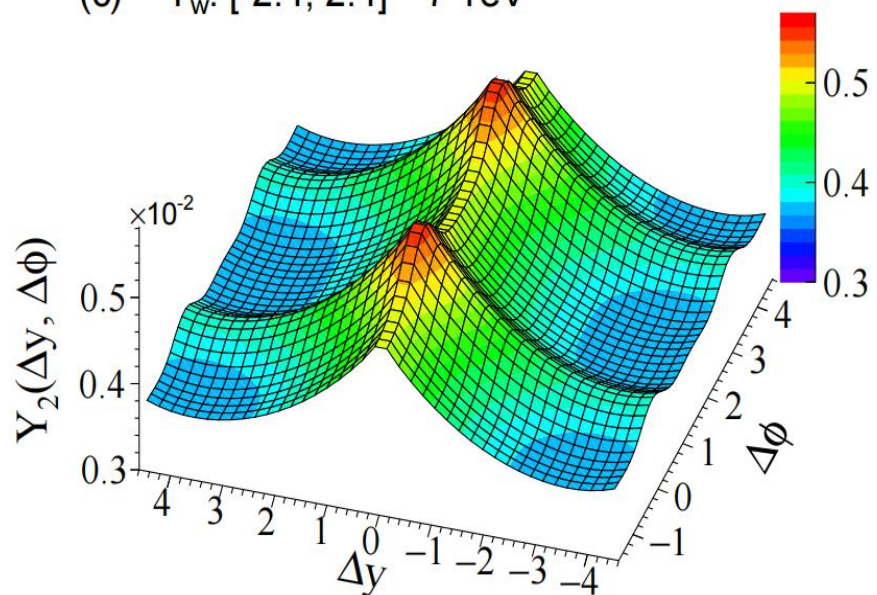
(a) $Y_w: [-0.9, 0.9]$ 7 TeV



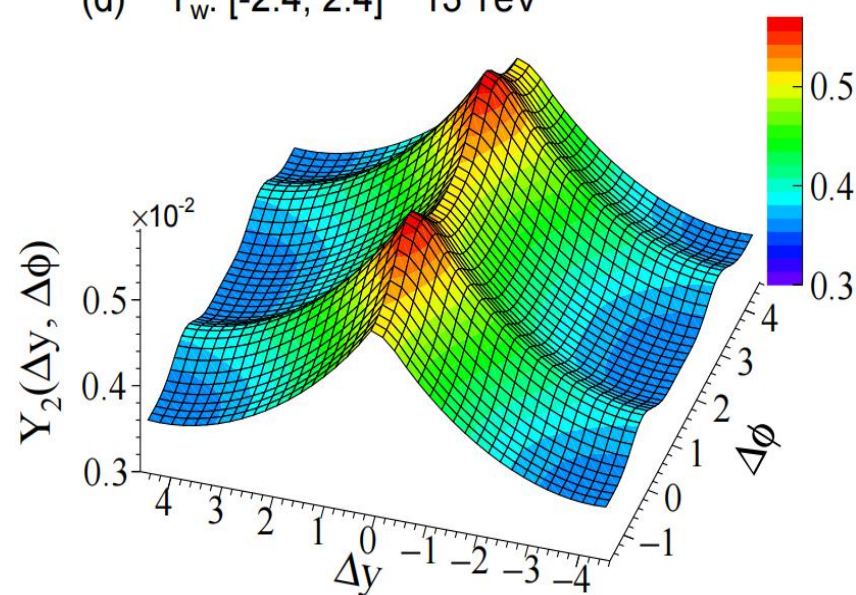
(b) $Y_w: [-0.9, 0.9]$ 13 TeV

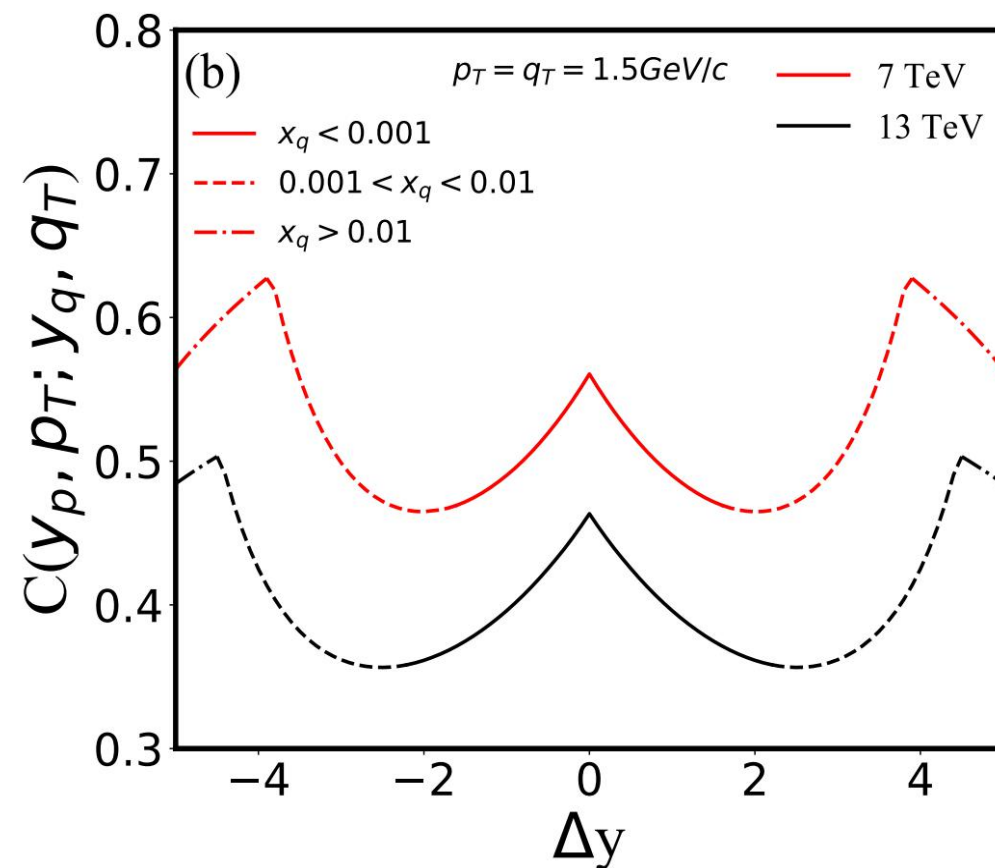
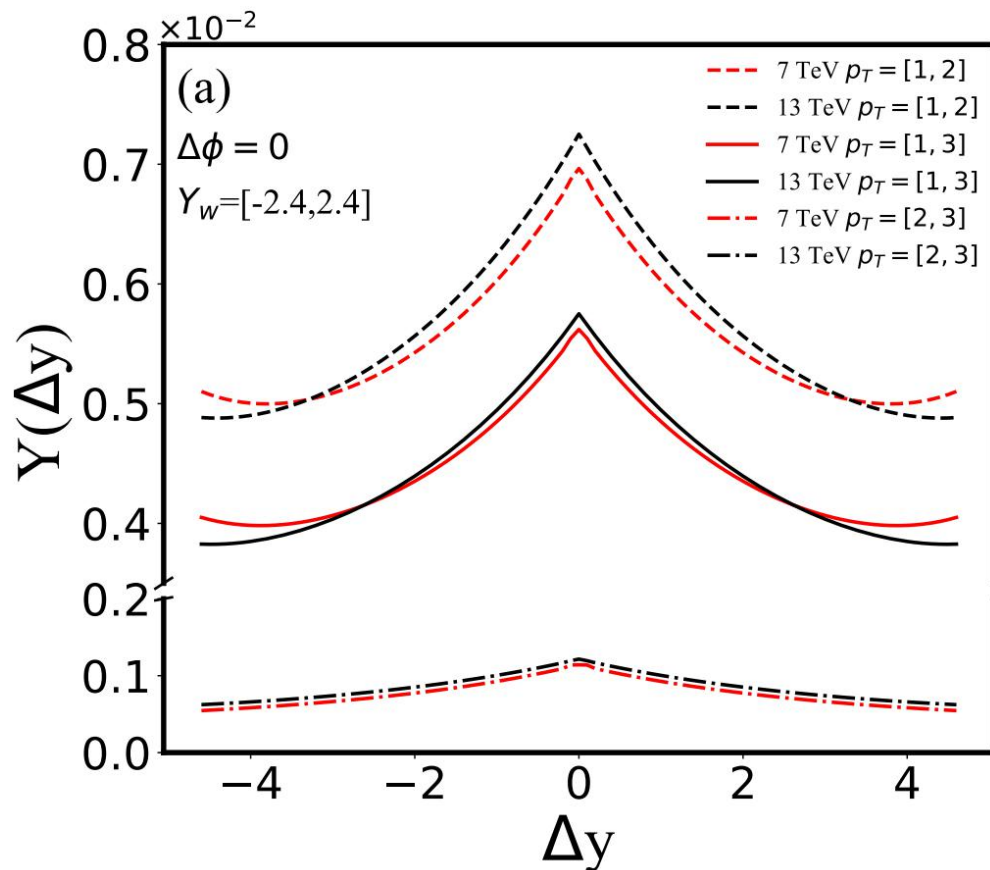


(c) $Y_w: [-2.4, 2.4]$ 7 TeV



(d) $Y_w: [-2.4, 2.4]$ 13 TeV





上翘结构会随着能量的增加，往更大的快度间隔处移动，这个特征反映的是大 x 部分子与小 x 胶子之间的强关联导致的。

1

我们指出在有限相空间中两粒子二维关联的背景是由两个独立的单粒子谱在其对应的相空间中的卷积。利用这个背景归一化，我们计算了pp 碰撞 7 TeV 能量下的两胶子二维关联，其结果比在先前研究者采用的参数化方案更好的描述了实验观察到的赝快度方向上的脊状关联结果。

2

利用我们改进的归一化方案，我们研究了脊状关联的横动量以及能量依赖性，我们发现大快度间隔处的上翘结构会随着能量的增加往更大的快度间隔处移动，这个特征与CGC理论密切相关。未来实验可以通过此特征进一步精细的检验CGC理论。