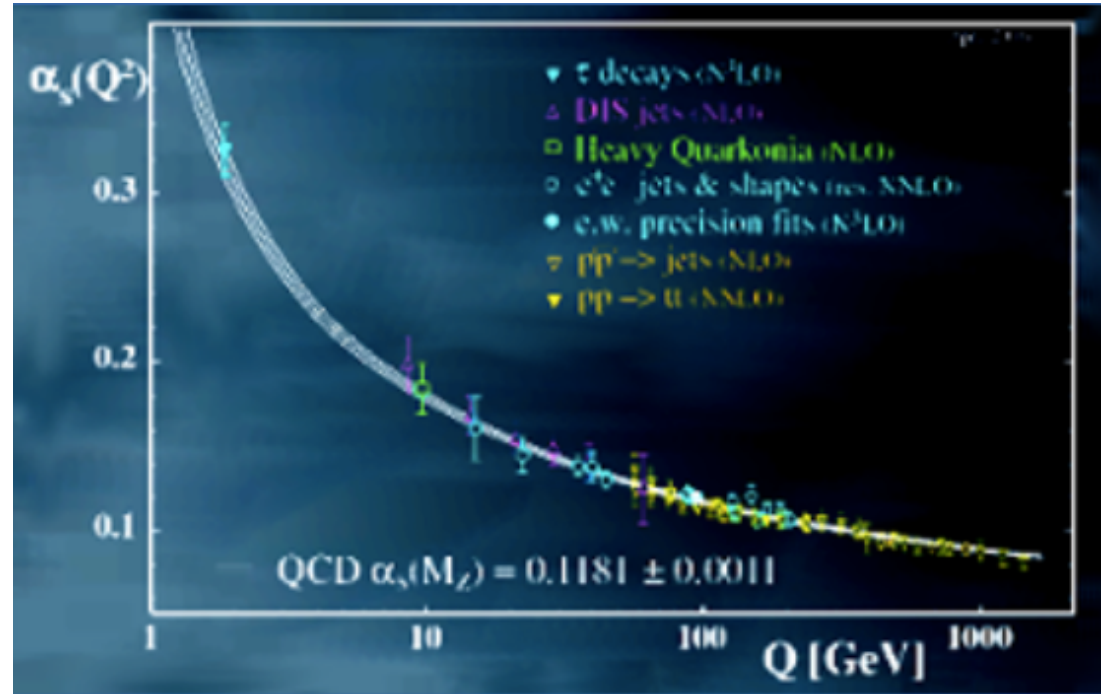


Güçlü
çiftlenim
 α_s 'in
hassas
ölçümleri



Salim ÇERÇİ

14.10.2023



YEFİST 2023 İstanbul Yüksek Enerji
Fiziği Çalıştayı

Giriş: Kuantum Renk Dinamiğinde güçlü çiftlenim

- QCD kuarklar ve gluonlar arasındaki güçlü etkileşmenin ne kadar güçlü olduğunu belirler.
- $m_q = 0$ limitinde QCD'deki tek serbest parametredir.
- Enerji ölçeği Q^2 'nin logaritmik tersiyle ilerler.

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

$$\frac{\partial \alpha_s}{\partial \log Q^2} = \beta(\alpha_s) = -\alpha_s^2(\beta_0 + \beta_1 \alpha_s + \beta_2 \alpha_s^2 + \mathcal{O}(\alpha_s^3))$$

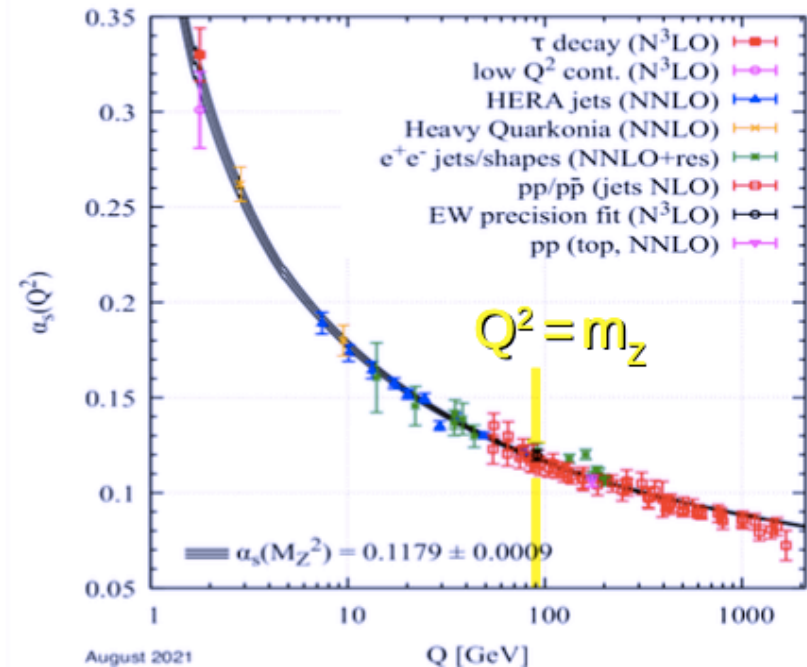
- The solution at three-loop precision is

$$\frac{\alpha_s}{4\pi}(Q^2) = \frac{1}{\beta_0 x} \left[1 - \frac{\beta_1}{\beta_0^2} \frac{\log x}{x} + \frac{\beta_1^2}{\beta_0^4 x^2} \left(\log^2 x - \log x - 1 + \frac{\beta_2 \beta_0}{\beta_1^2} \right) \right]; \quad x = \log \left(\frac{Q^2}{\Lambda^2} \right) \quad \Lambda \approx 0.2 \text{ GeV}$$

Standard Model with n_f quark flavours:



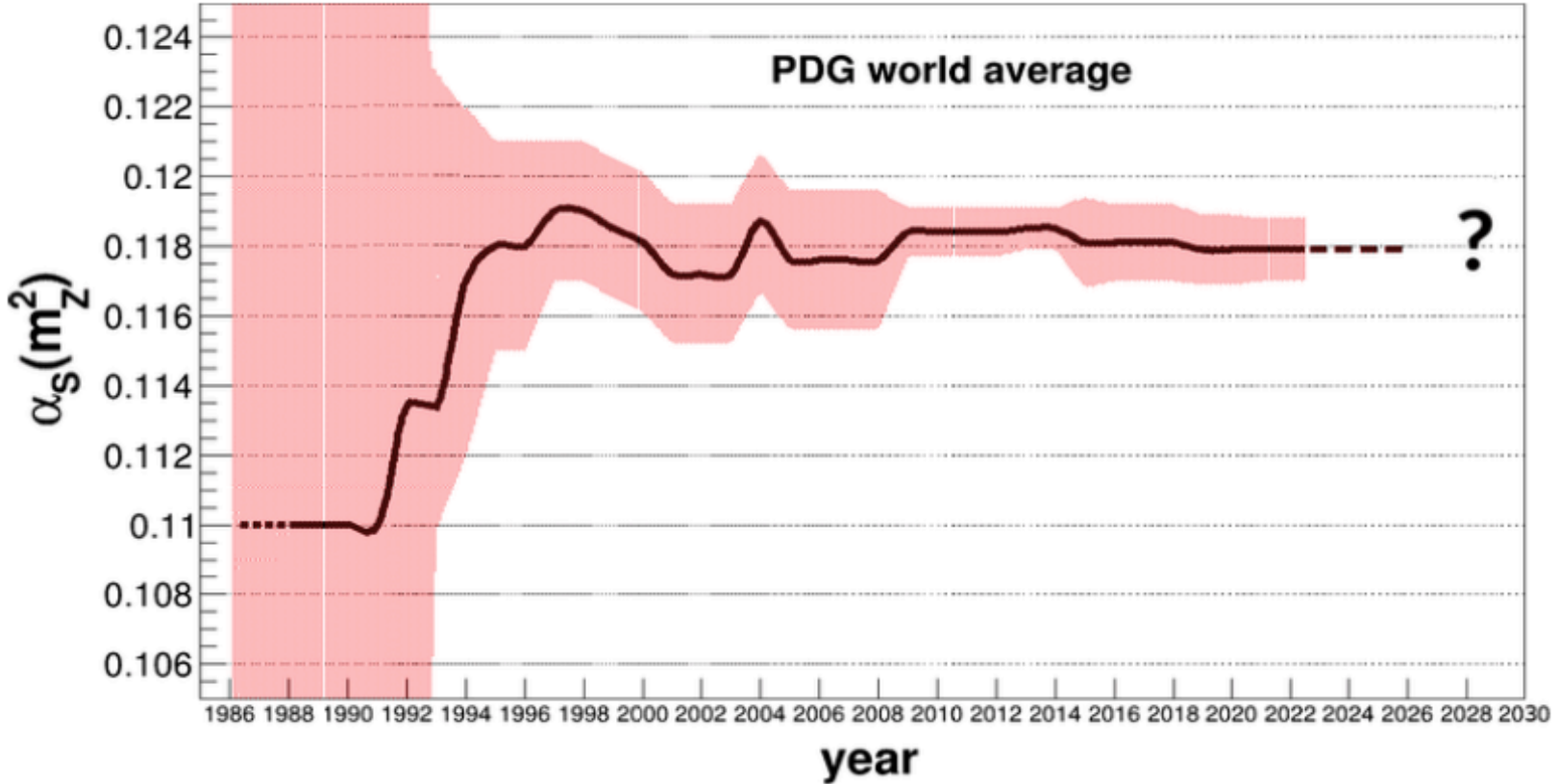
$$\left. \begin{aligned} \beta_0 &= 11 - \frac{2}{3} n_f \\ \beta_1 &= 102 - \frac{38}{3} n_f \\ \beta_2 &= \frac{2857}{2} - \frac{5033}{18} n_f - \frac{325}{54} n_f^2 \end{aligned} \right\}$$



Giriş: Kuantum Renk Dinamiğinde güçlü çiftlenim

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

- QCD kuarklar ve gluonlar arasındaki güçlü etkileşmenin ne kadar güçlü olduğunu belirler.
- $m_q = 0$ limitinde QCD'deki tek serbest parametredir.
- $Q = m_Z$ referans ölçeğinde belirlenir. $\alpha_s \approx \ln(Q^2/\Lambda^2)^{-1}$, $\Lambda \approx 0.2 \text{ GeV}$

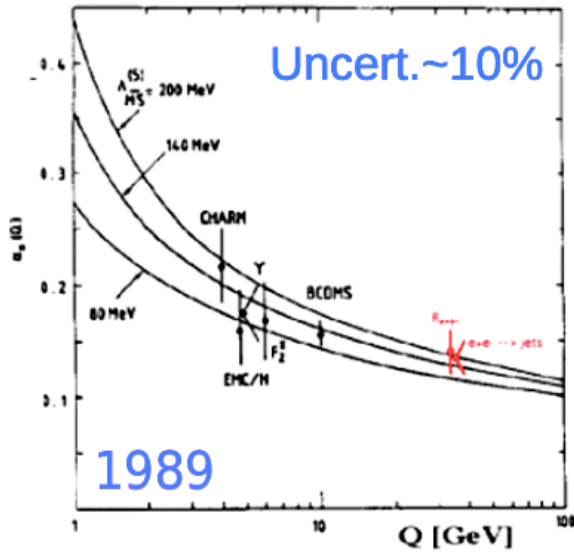


- 1986: İlk PDG dünya-ortalaması ~%100 belirsizlikle..
- 2023: 37 yıl sonra neredeyiz? Deneylelerin katkısı?

Motivasyon: QCD α_s çiftlenimi

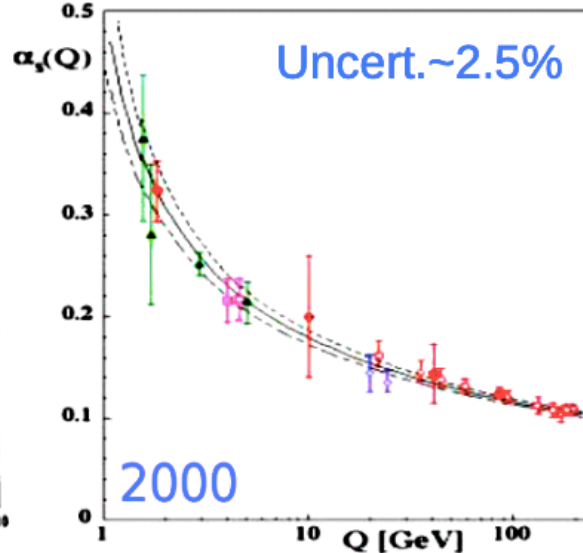
D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

- QCD kuarklar ve gluonlar arasındaki güçlü etkileşmenin ne kadar güçlü olduğunu belirler.
- $m_q = 0$ limitinde QCD'deki tek serbest parametredir.
- $Q = m_Z$ referans ölçeğinde belirlenir. $\alpha_s \approx \ln(Q^2/\Lambda^2)^{-1}$ $\Lambda \approx 0.2$ GeV



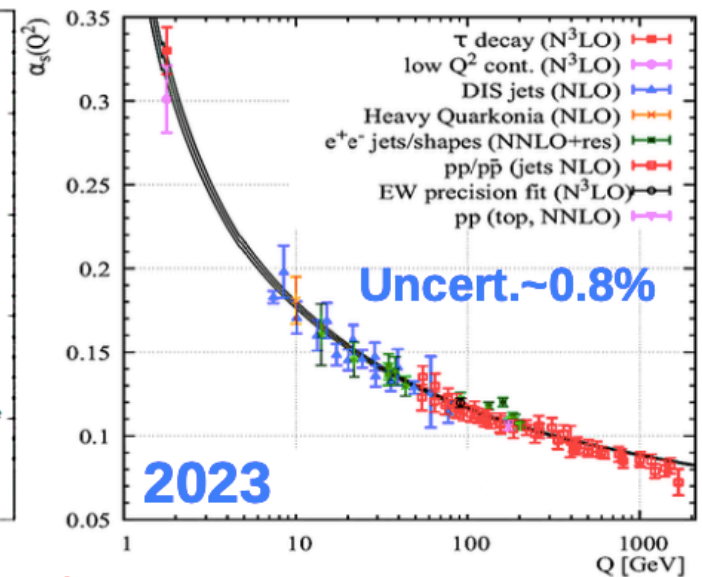
$$\alpha_s(M_Z) = 0.110^{+0.006}_{-0.008} \text{ (NLO)}$$

G. Altarelli, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 39, 1989



$$\alpha_s(M_Z) = 0.1184 \pm 0.0031 \text{ (NNLO)}$$

S. B., J. Phys. G 26, 2000



$$\equiv \alpha_s(M_Z^2) = 0.1179 \pm 0.0009$$

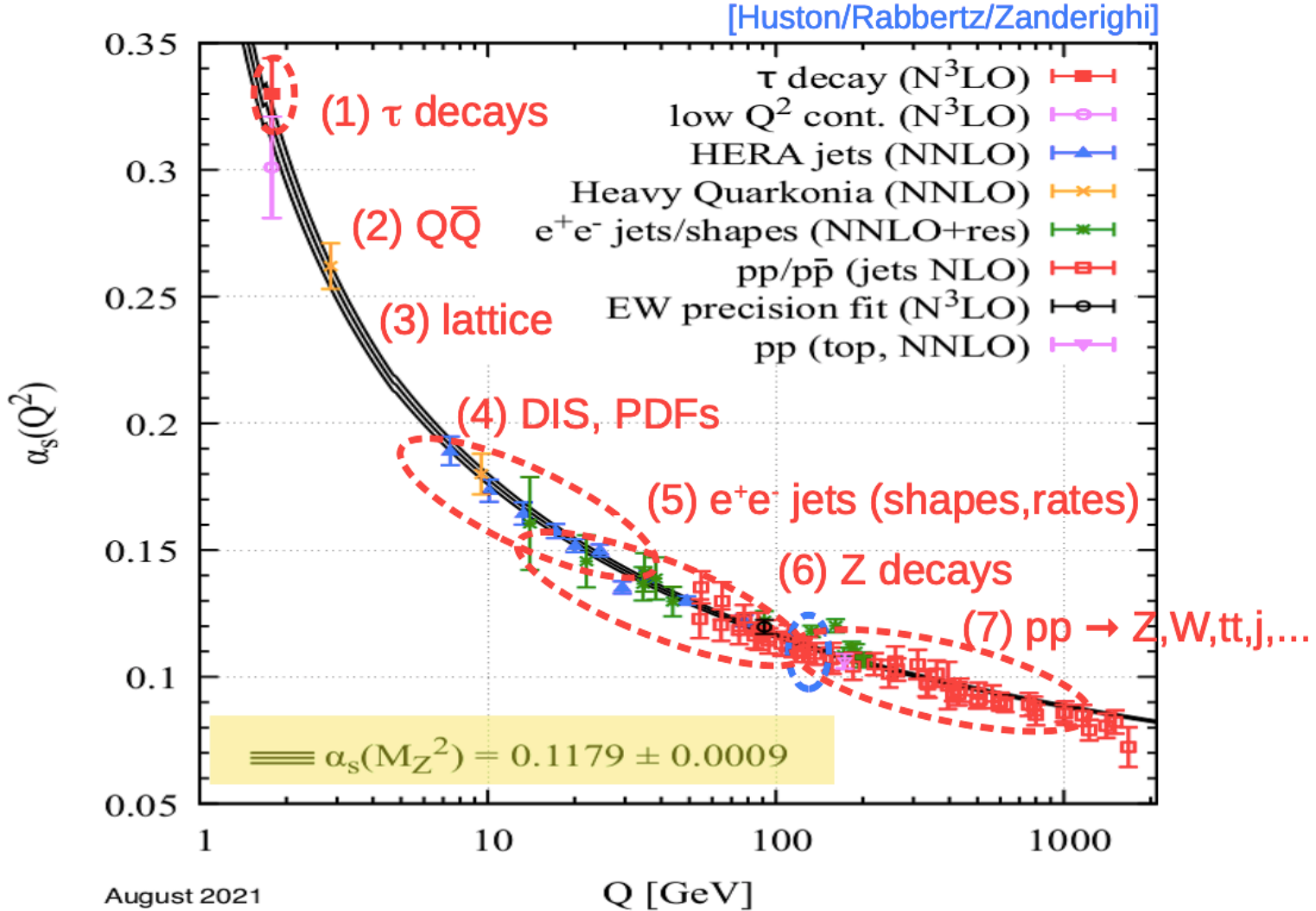
- Tüm etkileşim çiftlenimlerinin en az kesin olarak bilineni!

$$\delta\alpha \sim 10^{-10} \ll \delta G_F \ll 10^{-7} \ll \delta G \sim 10^{-5} \ll \delta\alpha_s \sim 10^{-3}$$

Dünya α_s belirlenmesi (PDG 2023)

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

■ Günümüzde, 7 deneysel gözlemlenebilirin pQCD NNLO,N3LO tahminleriyle ve Z kutup ölçeğindeki küresel ortalamanın karşılaştırılmasıyla belirlenmektedir.



Dünya-ortalama α_s değeri (PDG 2023)

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

- 7 gözlemlenebilir kategoriden ön ortalamaların ortalaması:

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1179 \pm 0.0009 \quad (\pm 0.8\%)$$

Hadronic tau decay (4 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1178 \pm 0.0019 \quad (\pm 1.6\%)$$

Quarkonia properties (4 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1181 \pm 0.0037 \quad (\pm 3.3\%)$$

DIS & PDFs fits (6 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1162 \pm 0.0020 \quad (\pm 1.7\%)$$

$e^+e^- \rightarrow$ hadrons final states (10 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1171 \pm 0.0031 \quad (\pm 2.6\%)$$

Hadron collider measurements (5 values):

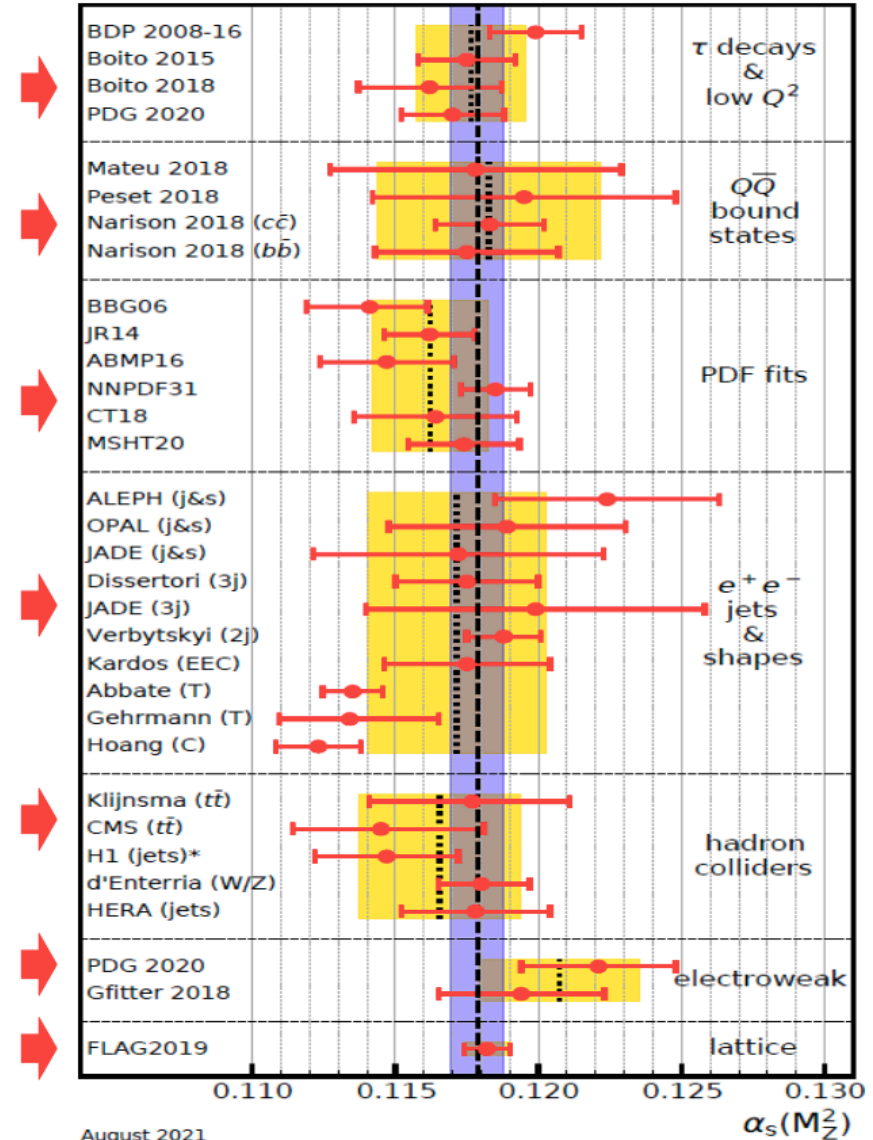
$$\alpha_s(M_Z) = 0.1165 \pm 0.0028 \quad (\pm 2.4\%)$$

Electroweak precision fits (2 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1208 \pm 0.0028 \quad (\pm 2.3\%)$$

Lattice QCD (1 FLAG value):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1182 \pm 0.0008 \quad (\pm 0.7\%)$$



CMS nerede etki oluřturdu/oluřturabilir?

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

- 7 gözlemlenebilir kategoriden ön ortalamaların ortalaması:

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1179 \pm 0.0009 \quad (\pm 0.8\%)$$

Hadronic tau decay (4 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1178 \pm 0.0019 \quad (\pm 1.6\%)$$

Quarkonia properties (4 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1181 \pm 0.037 \quad (\pm 3.3\%)$$

DIS & PDFs fits (6 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1162 \pm 0.0020 \quad (\pm 1.7\%)$$

$e^+e^- \rightarrow$ hadrons final states (10 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1171 \pm 0.0031 \quad (\pm 2.6\%)$$

Hadron collider measurements (5 values):

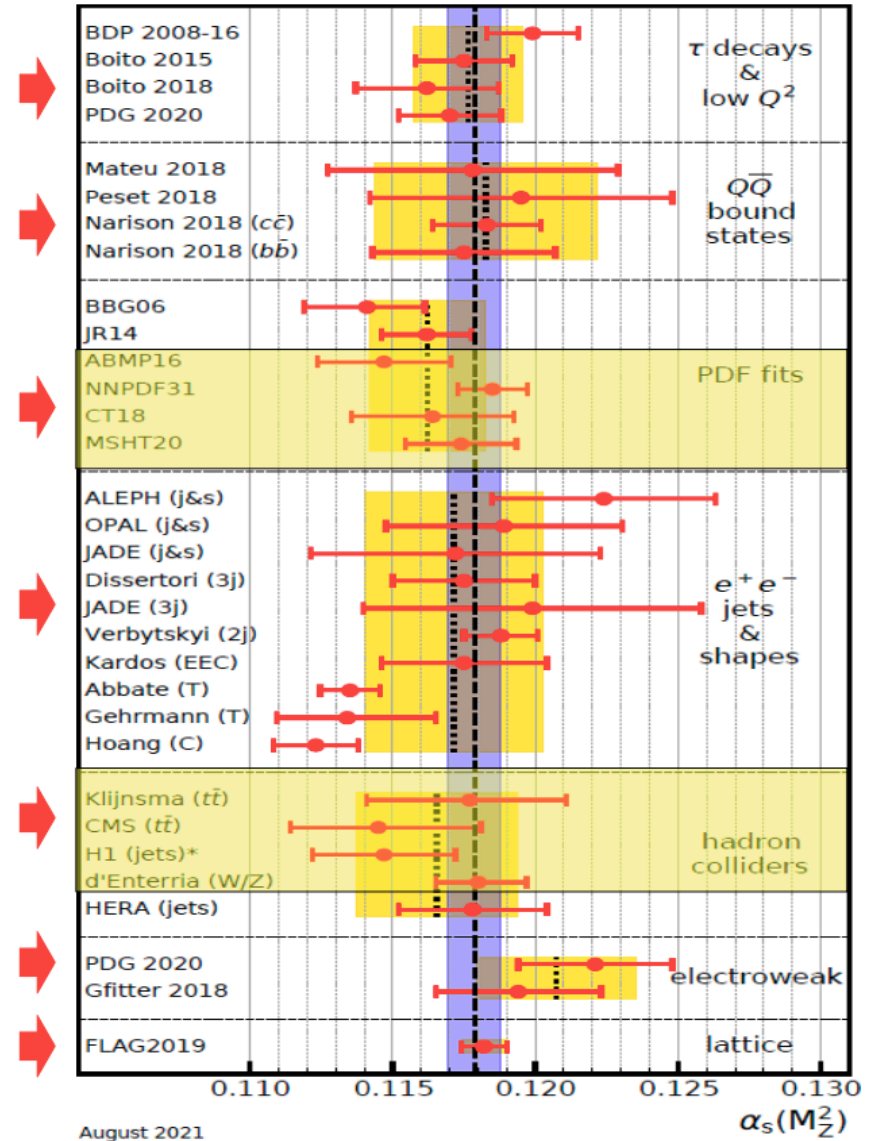
$$\alpha_s(M_Z) = 0.1165 \pm 0.0028 \quad (\pm 2.4\%)$$

Electroweak precision fits (2 values):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1208 \pm 0.0028 \quad (\pm 2.3\%)$$

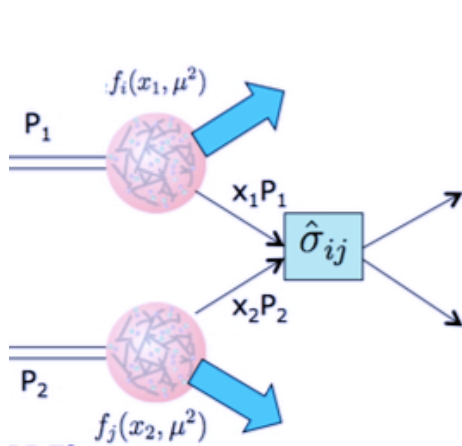
Lattice QCD (1 FLAG value):

$$\alpha_s(M_Z) = 0.1182 \pm 0.0008 \quad (\pm 0.7\%)$$



Sert QCD tesir kesitleri

- Parton density functions (PDFs)
 - evolution with DGLAP equations (Q^2 ordered)



$$\sigma(P_1, P_2) = \sum_{i,j} \int dx_1 dx_2 f_i(x_1, \mu^2) f_j(x_2, \mu^2) \hat{\sigma}_{ij}(p_1, p_2, \alpha_s(\mu^2), Q^2/\mu^2)$$

$$\frac{d^2\sigma}{dp_T dy} = \frac{1}{\epsilon \cdot \mathcal{L}_{\text{eff}}} \frac{N_{\text{jets}}}{\Delta p_T (2 \cdot \Delta|y|)} \propto \alpha_s^2$$

- Hard scattering cross section
 - depend on process
 - valid in short distance
 - small coupling constant
 - calculable with pQCD

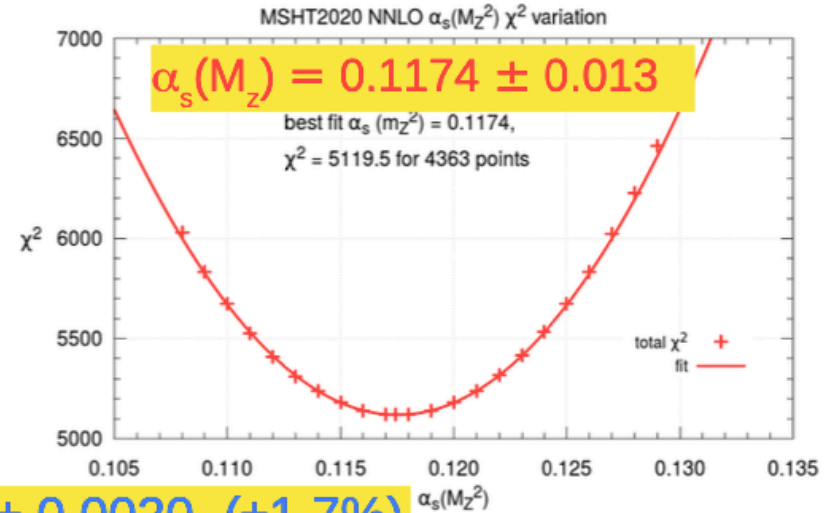
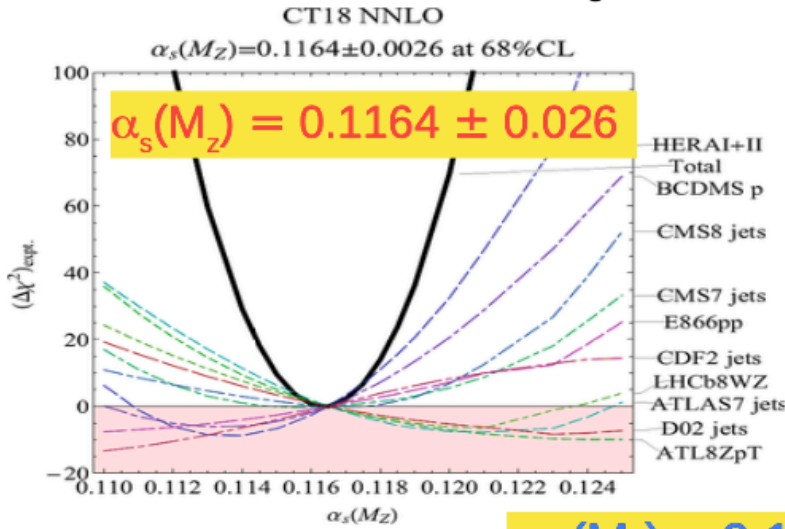
$$\hat{\sigma}_{ij}(p_1, p_2, \alpha_s(\mu^2), Q^2/\mu^2) + \text{parton fragmentation}$$

- Final-state hadronization (q,g,Q \rightarrow π ,k,p,D,B) or bound-state formation (ccbar,bbar):
 - Universal FFs fitted from data+DGLAP evolution

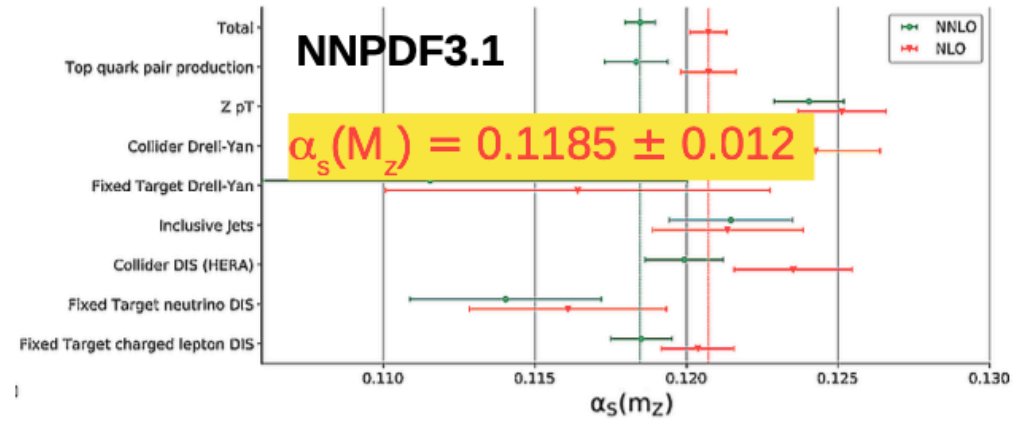
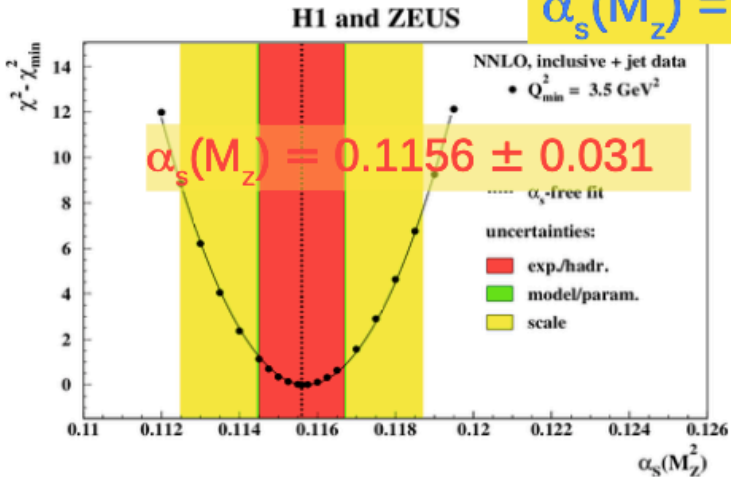
Global-PDF Fits (uyum) α_s belirlenmesi

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

- NNLO PDF uyumları α_s 'i global fitte (PDF+ α_s fiti) serbest değerde bırakarak elde eder:



$\alpha_s(M_Z) = 0.1162 \pm 0.0020$ ($\pm 1.7\%$)

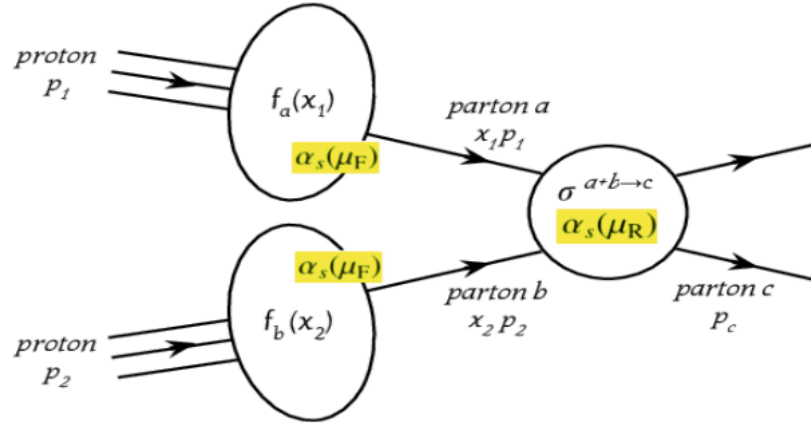


- Yeni verilerin dahil edilmesindeki yavaşlık: Her ~5+ yılda bir tam global fit gerçekleştirilir.

Global-PDF Fits (uyum) α_s belirlenmesi

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

- Yöntem: (1) Global PDF uyumlarına artan sayıda LHC gözlemlenebilirini eklemek.
- (2) Tutarlı bir şekilde PDF + α_s çıkartmak. Not: gluon ve α_s yüksek (düşük) x'te güçlü (anti)korelasyonludur.



$$\sigma(pp \rightarrow X) = \sum_{\text{partons}} \int \int dx_1 dx_2 f_1(x_1, \alpha_s(\mu_F)) f_2(x_2, \alpha_s(\mu_F)) \left[\hat{\sigma}_{\text{LO}} + \alpha_s(\mu_R) \hat{\sigma}_{\text{NLO}} + \alpha_s^2(\mu_R) \hat{\sigma}_{\text{NNLO}} + \dots \right]$$

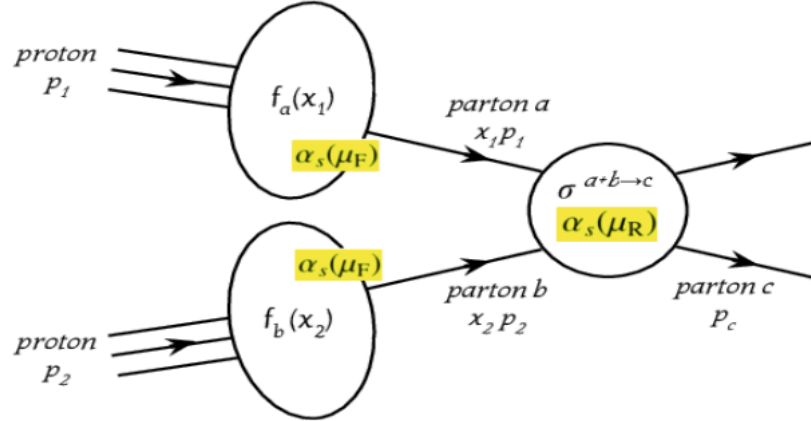
pQCD accuracy: $\mathcal{O}(50\%)$ $\mathcal{O}(20\%)$ $\mathcal{O}(2-5\%)$

- Teori gereksinimleri:
 - NNLO tahmini: Az miktarda % ölçek belirsizliği
 - Düşük pQCD olmayan ve kontrollü EW (ve karışık QCD \otimes EW) düzeltmeleri
- Deneysel gereksinimler:
 - İdeal olarak, belirsizliklerin uygun şekilde yayılması için gözlemlenebilirler arasında tam korelasyon matrislerine ihtiyaç vardır.

LHC pQCD tesir kesitlerinden α_s belirlenmesi

D. d'Enterra CMS Physics Days 2023

- Yöntem: (1) Deneysel tesir kesiti ile NNLO mertebesindeki tesir kesitini PDF + α_s değiştirilerek karşılaştırılır.
- (2) χ^2 minimizasyonu yaparak α_s belirlenir.



$$\sigma(pp \rightarrow X) = \sum_{\text{partons}} \int \int dx_1 dx_2 f_1(x_1, \alpha_s(\mu_F)) f_2(x_2, \alpha_s(\mu_F)) \left[\hat{\sigma}_{\text{LO}} + \alpha_s(\mu_R) \hat{\sigma}_{\text{NLO}} + \alpha_s^2(\mu_R) \hat{\sigma}_{\text{NNLO}} + \dots \right]$$

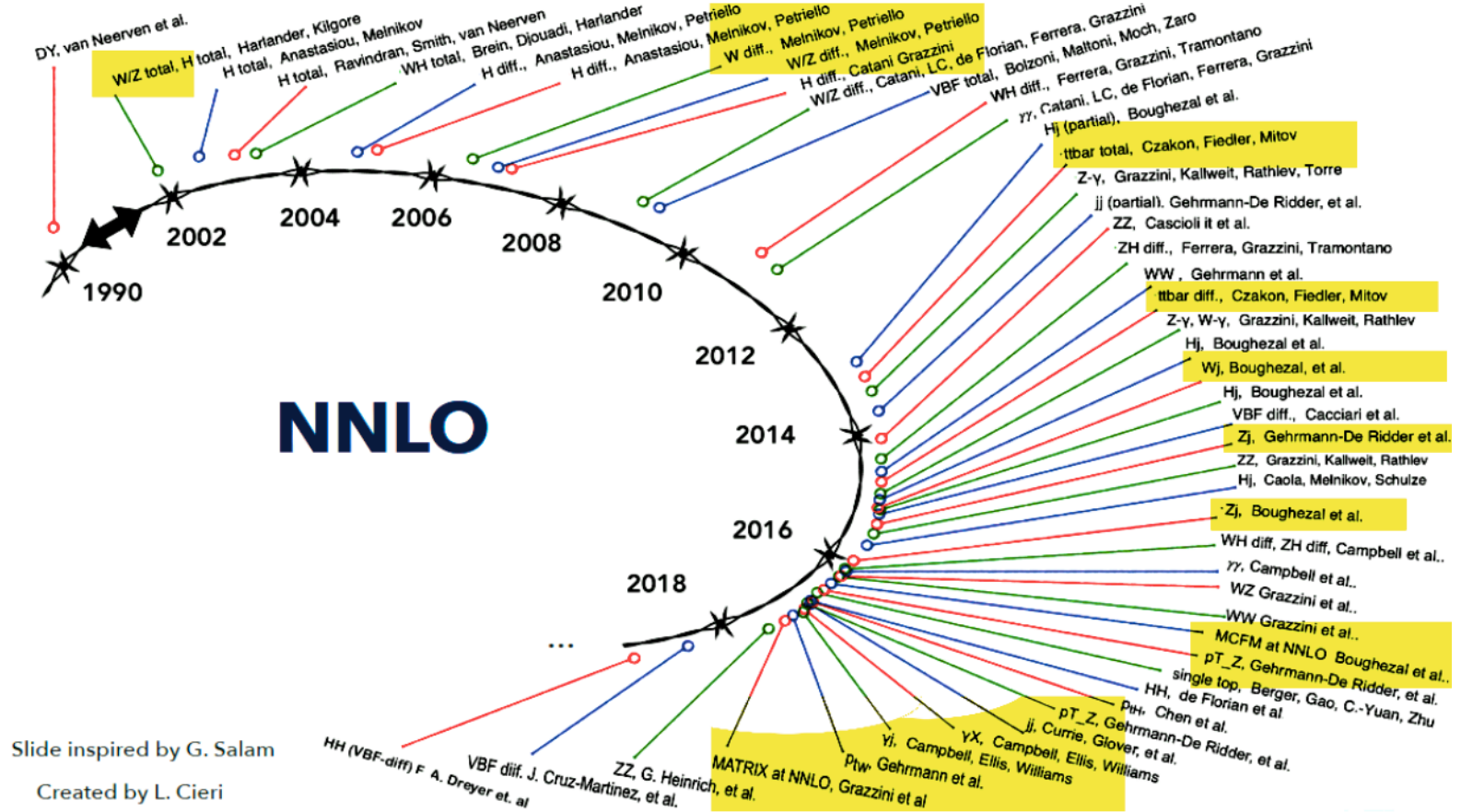
pQCD accuracy: $\mathcal{O}(50\%)$ $\mathcal{O}(20\%)$ $\mathcal{O}(2-5\%)$

- Teori gereksinimleri:
 - NNLO tahmini: daha küçük (%) ölçek belirsizliği
 - Düşük pQCD olmayan ve parametrik (örneğin m_q) belirsizlikler ve kontrollü EW düzeltmeleri
- Deneysel gereksinimler:
 - Daha düşük istatistiksel belirsizlik: büyük tesir kesitlere (örneğin $\sigma \geq 100$ pb) bakılabilir.
 - Daha düşük sistematik belirsizlik: oranlar (böylece luminosite ve diğer sist. belirsizlikler giderilir.)

LHC pQCD tesir kesitlerinden α_s belirlenmesi (2)

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

- NNLO süreçlerinin sayısı artıyor, ancak: henüz global- PDF fitlerinde, büyük tesir kesitlerinde, küçük EW/pQCD olmayan düzeltmelerde, küçük deneysel belirsizliklerde, bulunmamaktadır.

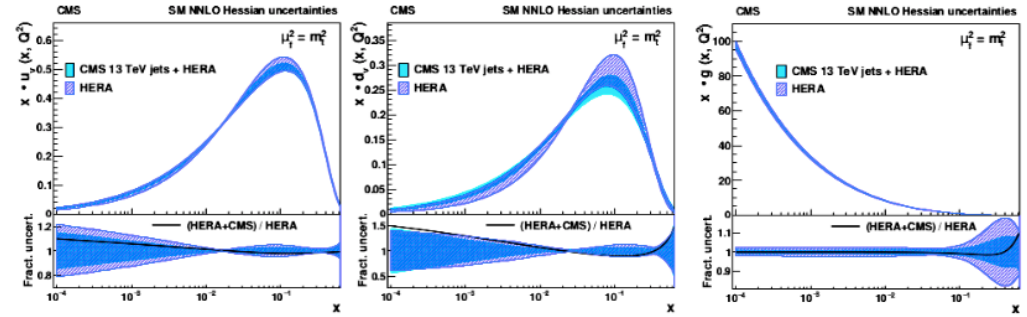
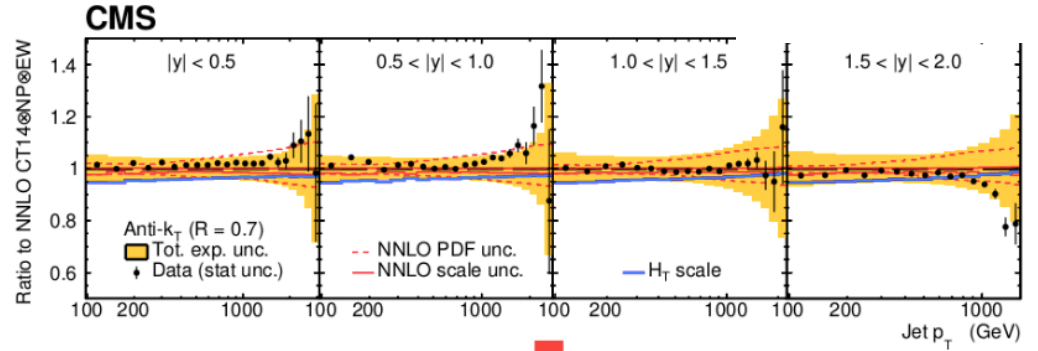
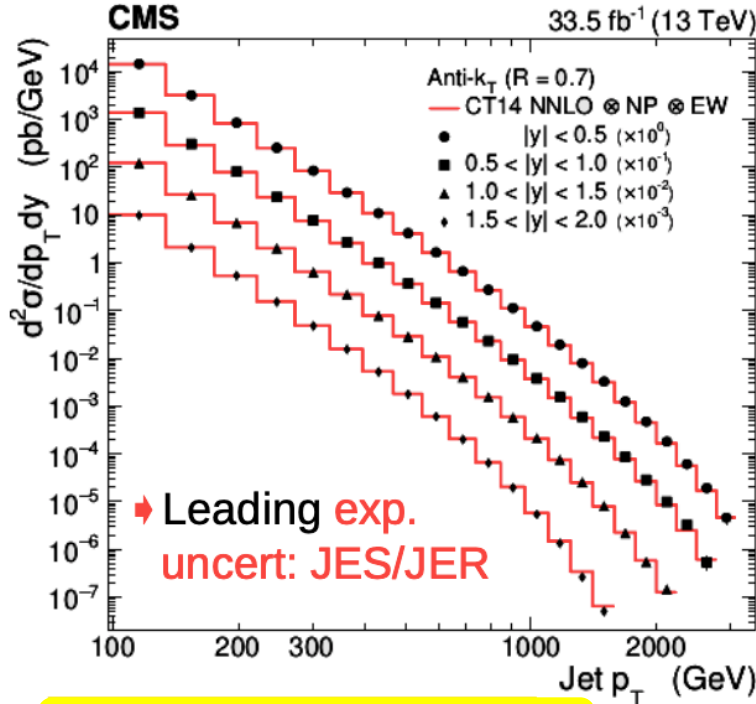


- Öncelikle denenmiş süreçler: $\sigma_{\text{tot}}(\text{ttbar}), \sigma_{\text{tot}}(\text{W,Z}), d\sigma/dp_T(\text{Z, low } p_T), \dots$
- Henüz denenmemiş süreçler: $R_{32}(p_T) = \sigma(3j)/\sigma(2j)$ at NNLO, $\sigma(\text{Z}+j)/\sigma(\text{Z}), \sigma(\text{W}+j)/\sigma(\text{W}), \dots$

Inklusif CMS tesir kesitlerinden α_s belirlenmesi

- CMS inklusif tesir kesiti+HERA DIS verisi+ NNLO PDF fitlerinin xFitter'da birleştirilmesi sonuçları: gluon PDF ve α_s 'in korelasyonu hesaba katılmıştır.

- CMS 13 TeV [arXiv:2111.10431] HERAPDF- tarzı analiz:



YENİ (PDG'de yer alacak!)

$$\alpha_s = 0.1166 \pm 0.0017 (\pm 1.5\%)$$

- Küçük (çoğunlukla fit ederek) belirsizlikle çıkarma:
 - Jet spektrumlarının yakında global PDF uyumuna dahil edilmesi muhtemeldir. (genel tolerans α_s hassasiyetini azaltacak mı?)

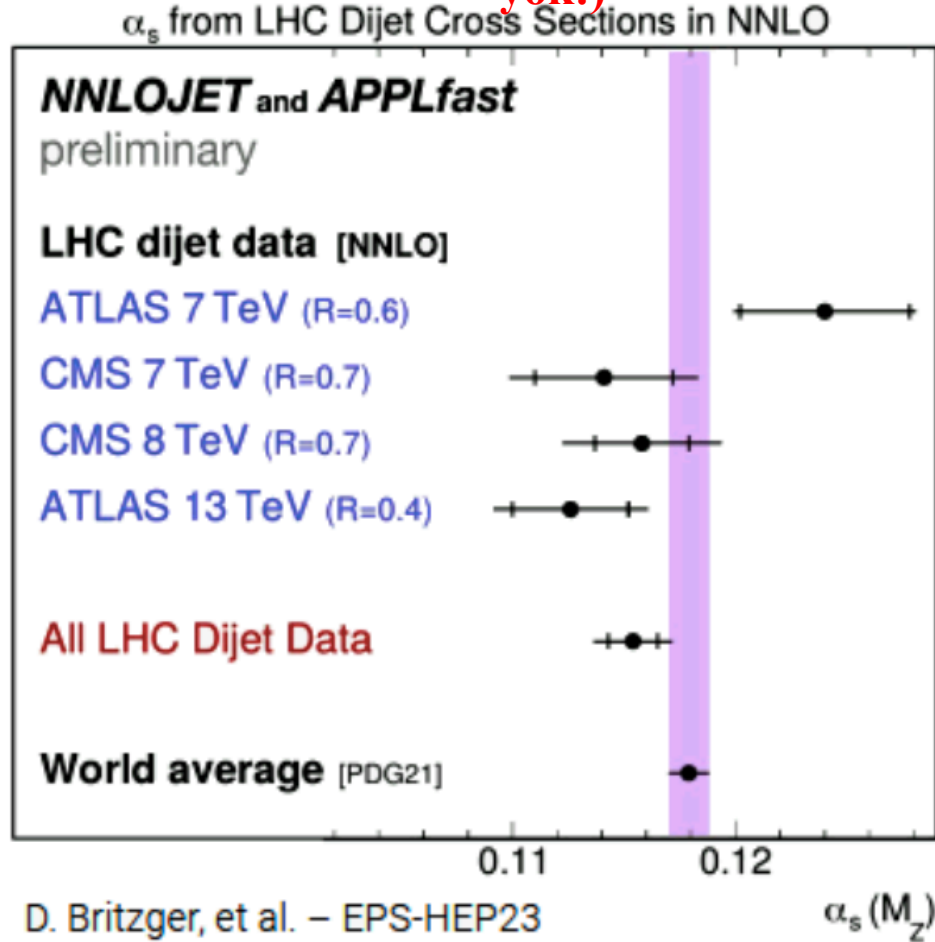
LHC Inklusif tesir kesitlerinden α_s belirlenmesi

D. d'Enterria CMS Physics Days 2023

- Farklı PDF'ler ve α_s için dijet $d\sigma/dp_T(\text{exp})$ to $d\sigma/dp_T(\text{NNLO})$ karşılaştırma.

YENİ (PDG'de yok!)

- $\alpha_s(m_Z)$ from LHC dijet data in NNLO pQCD (MSbar, $n_f=5$, massless, $m_Z=91.1876$ GeV)
- Fit to all dijet data $\chi^2/\text{ndf} = 379.0/(351-1)$
- Reasonable agreement of data sets
- Use NNPDF3.1 as central PDF (other PDF result in a bit larger α_s value, but smaller χ^2)
- Uncertainties include
 - experimental
 - non-perturbative corrections
 - PDF (replicas/eigenvectors)
 - PDFset, PDF α_s , PDF μ_0
 - Scale



- Ön çıkarım küçük (%1.7) belirsizlikle gerçekleştirilmiştir.

$$\alpha_s = 0.1145 \pm 0.0020 (\pm 1.7\%)$$

- o Bu belirsizlik diğer PDF setlerinden yapılan alıntıları kapsıyor mu?

α_s belirlenmesi üzerine yapılan güncel çalışmalarımız

arXiv > hep-ph > arXiv:2210.04592

Search...

Help | Advanced

High Energy Physics – Phenomenology

[Submitted on 10 Oct 2022 (v1), last revised 20 Nov 2022 (this version, v2)]

Impact of inclusive jet cross sections with low transverse momenta on the determination of gluon parton distributions in pp collisions

Deniz Sunar Cerci, Salim Cerci, Katarzyna Wichmann

Jet production at hadron colliders provides constraints on the parton distribution functions (PDFs) of the proton, in particular on the gluon distribution. In the present paper, the impact on PDF of CMS inclusive differential jet cross sections at center-of-mass energy of $\sqrt{s} = 8$ TeV for jets with low momentum p_T and produced in the forward direction is investigated at next-to leading order in perturbative quantum chromodynamics (QCD). The results of the QCD global analysis are compared with theoretical predictions. The impact of low- p_T jet measurements on the determination of the gluon distribution is assessed. The inclusion of the discussed measurements adds further constraints on the uncertainty of the gluon distribution at large Bjorken $x > 0.1$, where the low- p_T data have the largest impact.

Comments: 13 pages, 7 figures

Subjects: **High Energy Physics – Phenomenology (hep-ph)**; High Energy Physics – Experiment (hep-ex)

Cite as: arXiv:2210.04592 [hep-ph]

(or arXiv:2210.04592v2 [hep-ph] for this version)

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.04592> 

arXiv > hep-ph > arXiv:2307.01183

Search...

Help | Advanced

High Energy Physics – Phenomenology

[Submitted on 3 Jul 2023]

Extraction of the strong coupling with HERA and EIC inclusive data

Salim Cerci, Zuhail Seyma Demiroglu, Abhay Deshpande, Paul R. Newman, Barak Schmookler, Deniz Sunar Cerci, Katarzyna Wichmann


The sensitivity to the strong coupling $\alpha_s(M_Z^2)$ is investigated using existing Deep Inelastic Scattering data from HERA in combination with projected future measurements from the Electron Ion Collider (EIC) in a next-to-next-to-leading order QCD analysis. A potentially world-leading level of precision is achievable when combining simulated inclusive neutral current EIC data with inclusive charged and neutral current measurements from HERA, with or without the addition of HERA inclusive jet and dijet data. The result can be obtained with significantly less than one year of projected EIC data at the lower end of the EIC centre-of-mass energy range. Some questions remain over the magnitude of uncertainties due to missing higher orders in the theoretical framework.

Comments: 11 pages, 4 figures

Subjects: **High Energy Physics – Phenomenology (hep-ph)**; High Energy Physics – Experiment (hep-ex); High Energy Physics – Theory (hep-th); Nuclear Experiment (nucl-ex); Nuclear Theory (nucl-th)

Cite as: arXiv:2307.01183 [hep-ph]

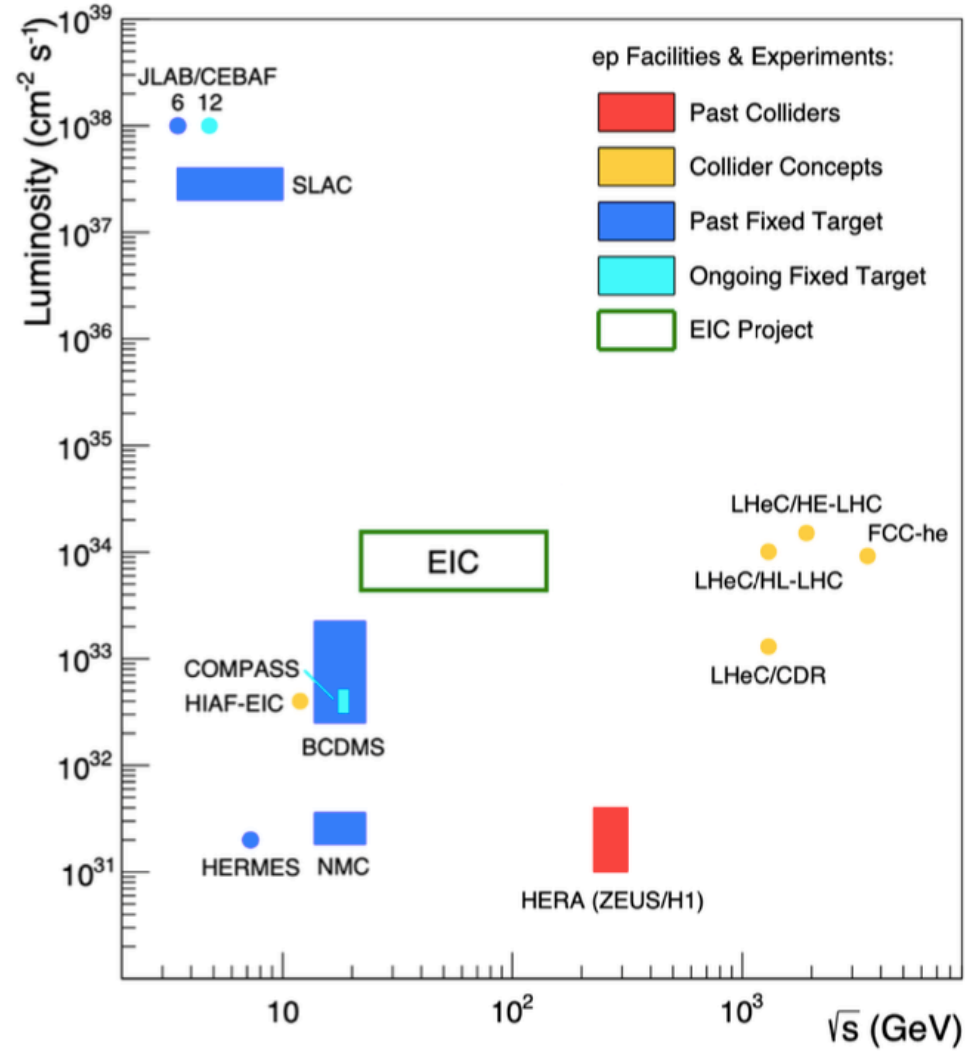
(or arXiv:2307.01183v1 [hep-ph] for this version)

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.01183> 

**CMS Collaboration
dışında!**

Elektron İyon Çarpıştırıcısı (EIC)

- ❖ BNL'de inşa edilecek yeni nesil DIS çarpıştırıcısıdır.
- ❖ EIC benzersiz olacak ve benzeri görülmemiş deneysel yeteneklere sahip olacak;
 - ❑ Yüksek ışıklı ep Çarpıştırıcısı (50×HERA),
 - ❑ Polarize hedef çarpıştırıcısı,
 - ❑ İlk kez yüksek enerjili eA çarpıştırıcısı,
- ❖ Esnek kütle merkezi enerjisi ($30 < s < 140$ GeV), erişim HERA ile karşılaştırıldığında orta ila büyük x değerleri.
- ❖ Fizik hedefleri :
 - ❑ 3 boyutlu proton yapısı,
 - ❑ Proton kütlesi,
 - ❑ Proton spini,
 - ❑ Çekirdeklerdeki yoğun partonik sistemler



Motivasyon: HERA ve EIC

- ❖ HERA ve EIC'nin fizik kapsamaları farklıdır ancak önemli ölçüde örtüşmektedir.
 - ❖ Inklusif DIS kesitleri, HERA'yı tamamlayıcı olacak bir faz alanı bölgesinde yüksek hassasiyetle ölçülecektir.
- ❖ Güçlü çiftlenim α_s , en az kısıtlanandır.
 - ❖ SM kesit hesaplamalarının temel bileşeninin yanı sıra yeni fizik ve büyük birleştirme senaryolarındaki kısıtlamalar.
- ❖ Inklusif NC DIS tesir kesiti, F_2 ve F_L 'ye kadar α_s 'ye duyarlıdır.

$$\frac{d^2\sigma}{dx dQ^2} = \frac{2\pi\alpha^2}{xQ^4} [Y_+ F_2(x, Q^2) - y^2 F_L(x, Q^2) \mp Y_- x F_3(x, Q^2)]$$

Girdi olarak kullandığımız HERA ep verisi

- ❖ Son birleşik H1 ve ZEUS inklusif DIS NC ve CC kesitleri [EPJC(2015)75:580]
 - $\sqrt{s} = 320, 300, 251, 225 \text{ GeV}$
 - Total integrated luminosity: 1fb^{-1}
 - NC: $0.045 \leq Q^2 \leq 50000 \text{ GeV}^2$, $6 \cdot 10^{-7} \leq x_{B_j} \leq 0.65$, $0.005 \leq y \leq 0.95$
 - CC: $200 \leq Q^2 \leq 50000 \text{ GeV}^2$, $1.3 \cdot 10^{-2} \leq x_{B_j} \leq 0.40$, $0.037 \leq y \leq 0.76$
- ❖ H1 ve ZEUS inklusif ve dijet ölçümleri de dahil edilmiştir. [EPJC(2022)82:243]

Data set	Taken From to	$Q^2[\text{GeV}^2]$ range		$\mathcal{L} \text{ pb}^{-1}$	e^+/e^-	$\sqrt{s} \text{ GeV}$	Normalised	All points	Used points
		From	To						
H1 HERAI normalised jets	1999–2000	150	15,000	65.4	e^+p	319	Yes	24	24
H1 HERAI jets at low Q^2	1999–2000	5	100	43.5	e^+p	319	No	28	20
H1 normalised inclusive jets at high Q^2	2003–2007	150	15,000	351	e^+p/e^-p	319	Yes	30	30
H1 normalised dijets at high Q^2	2003–2007	150	15,000	351	e^+p/e^-p	319	Yes	24	24
H1 normalised inclusive jets at low Q^2	2005–2007	5.5	80	290	e^+p/e^-p	319	Yes	48	37
H1 normalised dijets at low Q^2	2005–2007	5.5	80	290	e^+p/e^-p	319	Yes	48	37
ZEUS inclusive jets	1996–1997	125	10,000	38.6	e^+p	301	No	30	30
ZEUS dijets	1998–2000 and 2004–2007	125	20,000	374	e^+p/e^-p	318	No	22	16

- ❖ HERAPDF2Jets NLO'dan gelen trijetler hariç → NNLO tahmini yok
- ❖ H1 düşük Q^2 verileri eklendi - özellikle α_s 'ye duyarlı

Simüle ettiğimiz EIC verisi

- ❖ EIC sözde verileri ATHENA çerçevesinde (JINST 17 P10019) yapılan çalışmalar dikkate alınarak üretilmektedir.
- ❖ Faz alanı boyunca çözünürlükleri optimize etmek için ayrıntılı simülasyon çalışması
- ❖ x ve Q^2 'de on yılda 5 kutu
- ❖ NC sözde verileri beş farklı KME için üretilir

e -beam energy (GeV)	p -beam energy (GeV)	\sqrt{s} (GeV)	Integrated lumi (fb^{-1})
18	275	141	15.4
10	275	105	100
10	100	63	79.0
5	100	45	61.0
5	41	29	4.4

- ❖ CC sözde verileri sadece $s = 140$ için üretilmiştir.
- ❖ Kinematik bölgenin kapsamı:

- $Q^2 > 1 \text{ GeV}^2$
- $0.001 < y = \frac{Q^2}{sx} < 0.95$
- $W^2 = \frac{Q^2(1-x)}{x} > 10 \text{ GeV}^2$

Simüle ettiğimiz EIC verisi

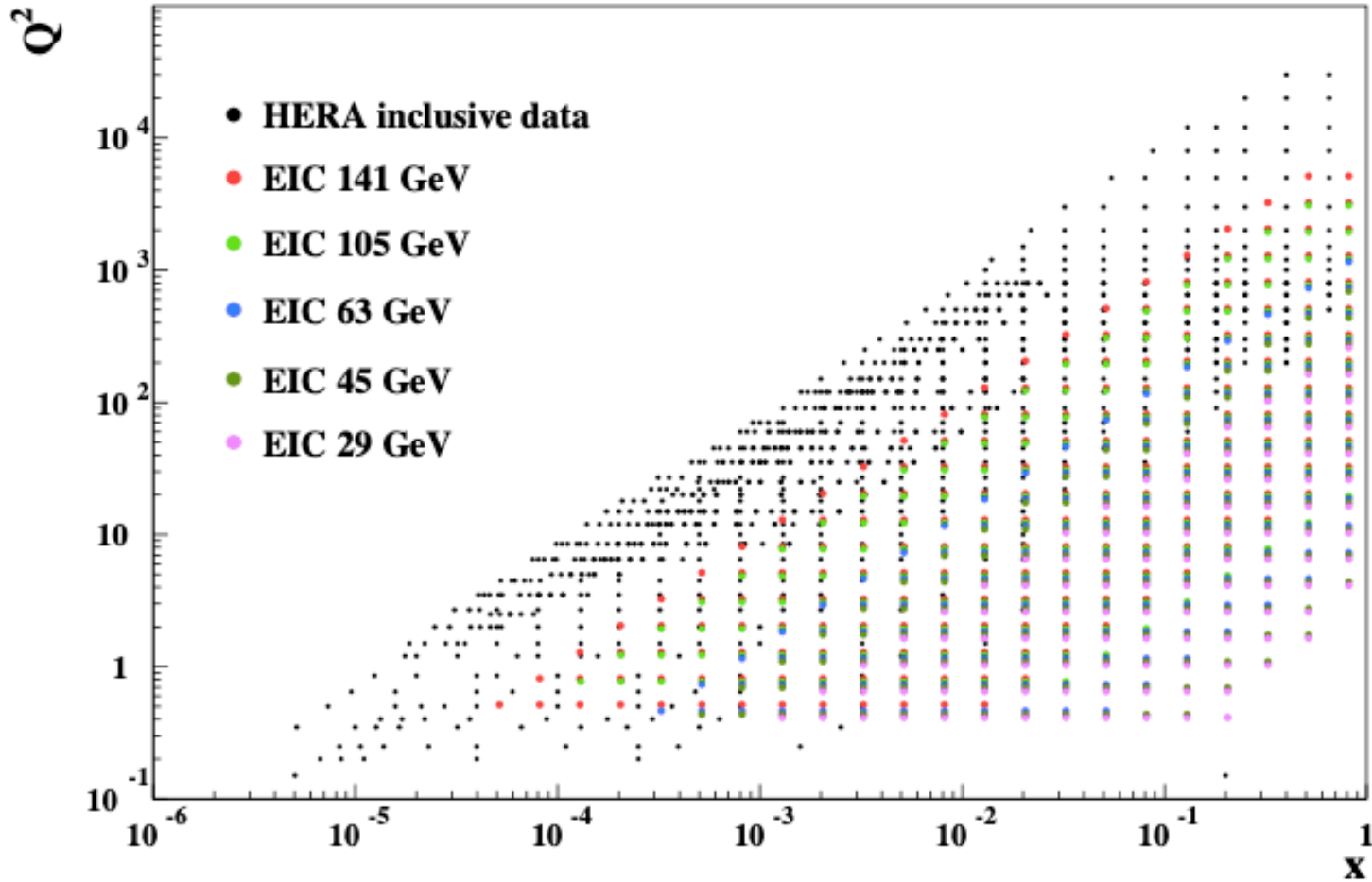
- ❖ EIC sözde QCD uyumuna dayalı → HERAPDF teorik çerçevesi, PDF parametreleri ve model parametre seçimleri.
- ❖ HERAPDF20_NNLO_ALPHAS_116 LHAPDF seti kullanıldı.
- ❖ xFitter çerçevesi kullanıldı.
- ❖ PDF parametreleştirmesi (HERAPDF2.0 yaklaşımını takip ederek):

$$\begin{aligned}xg(x) &= A_g x^{B_g} (1-x)^{C_g} - A'_g x^{B'_g} (1-x)^{25}; \\xu_v(x) &= A_{u_v} x^{B_{u_v}} (1-x)^{C_{u_v}} (1 + E_{u_v} x^2); \\xd_v(x) &= A_{d_v} x^{B_{d_v}} (1-x)^{C_{d_v}}; \\x\bar{U}(x) &= A_{\bar{U}} x^{B_{\bar{U}}} (1-x)^{C_{\bar{U}}} (1 + D_{\bar{U}} x); \\x\bar{D}(x) &= A_{\bar{D}} x^{B_{\bar{D}}} (1-x)^{C_{\bar{D}}}.\end{aligned}$$

- ❖ PDF'ler, $\mu_{f0} = 1.9 \text{ GeV}^2$ QCD evrimi için bir başlangıç ölçeğinde parametrelendirilir.
- ❖ Acaiplik kesri:
- ❖ Teori ayarları ve varyasyonları: $f_s = x\bar{s}/(x\bar{d} + x\bar{s}) = 0.4$
 - Central scales: $\mu_r^2 = \mu_f^2 = Q^2$ for the inclusive DIS data, $\mu_r^2 = \mu_f^2 = Q^2 + p_T^2$ for inclusive jet data and $\mu_r^2 = \mu_f^2 = Q^2 + \langle p_T \rangle^2$ for dijets.
 - Scale variations: μ_r, μ_f scales are varied up and down by a factor of 2.

Kinematik faz uzayı

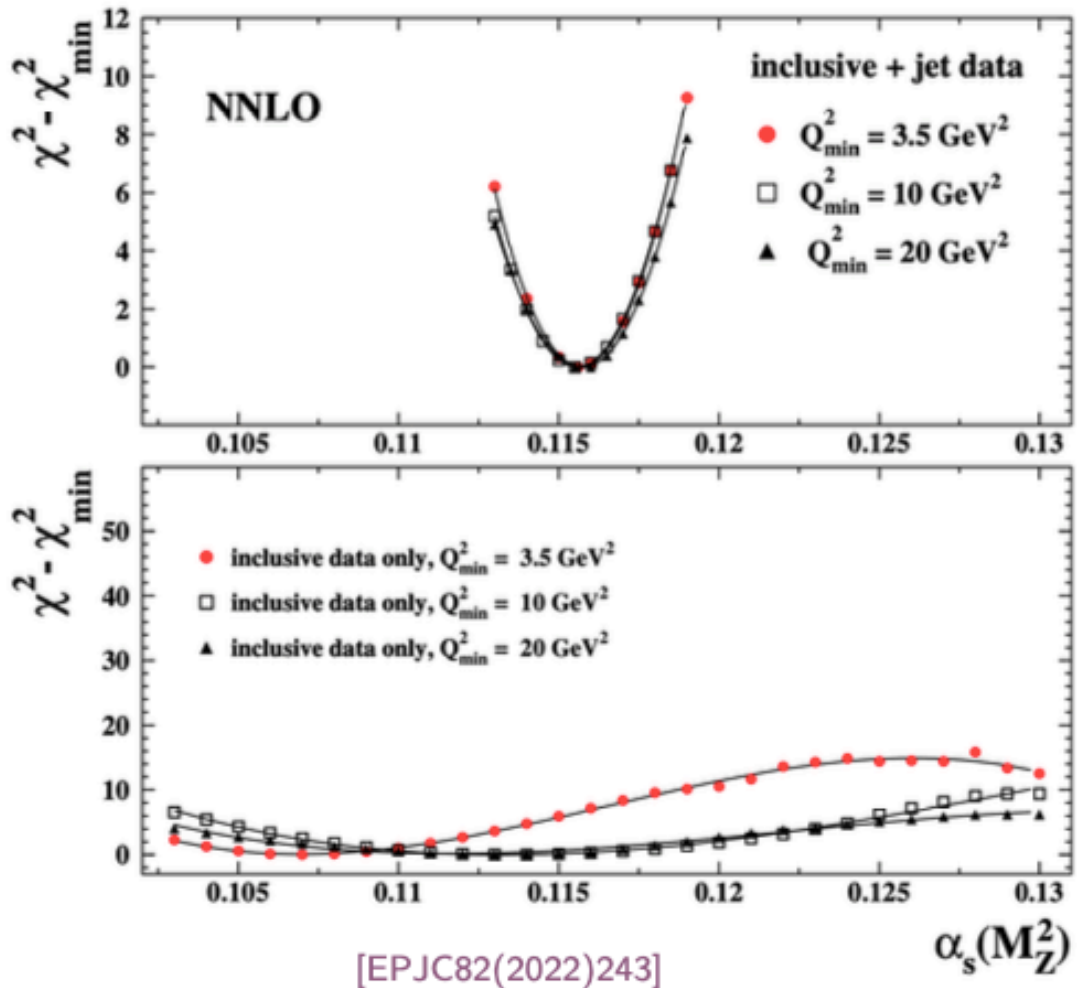
HERA and EIC kinematic phase-space



- ❖ HERA verileri, tesir kesitindeki x ile Q^2 ve $1/Q^4$ faktörü arasındaki kinematik korelasyon nedeniyle sınırlı yüksek x duyarlılığına sahiptir.
- ❖ EIC verileri büyük x , orta Q^2 bölgesini yüksek hassasiyetle doldurur.

Ek serbest bir parametre olarak α_s

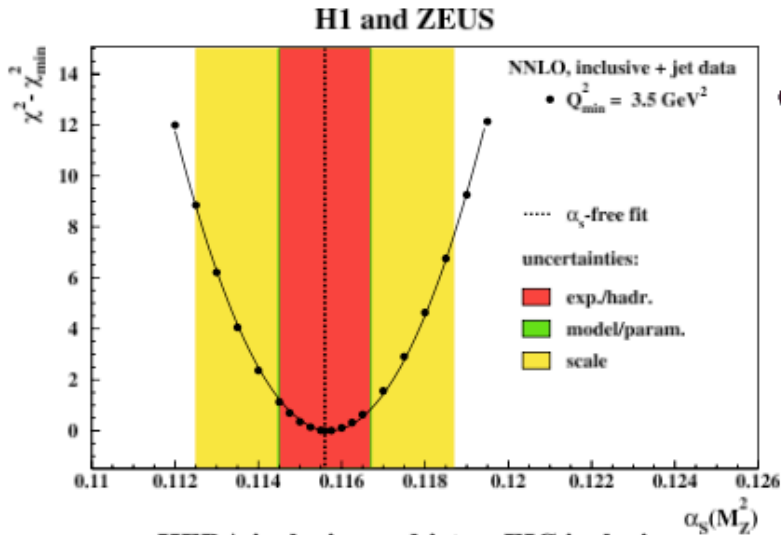
H1 and ZEUS



- ❖ Yalnızca HERA verileri kullanıldığında
 - ❑ İnkusif verileri fit ettiğimizde HERAPDF2.0 sınırlı hassasiyet gösterir
 - ❑ Jet verilerinin dahil edilmesi, PDF'ler üzerinde önemli bir etki yaratmadan eş zamanlı α_s çıkarma işlemlerinin rekabetçi hassasiyetle yapılmasına olanak tanır.
- ❖ HERA+EIC verilerini bir araya getirirken ne olur?

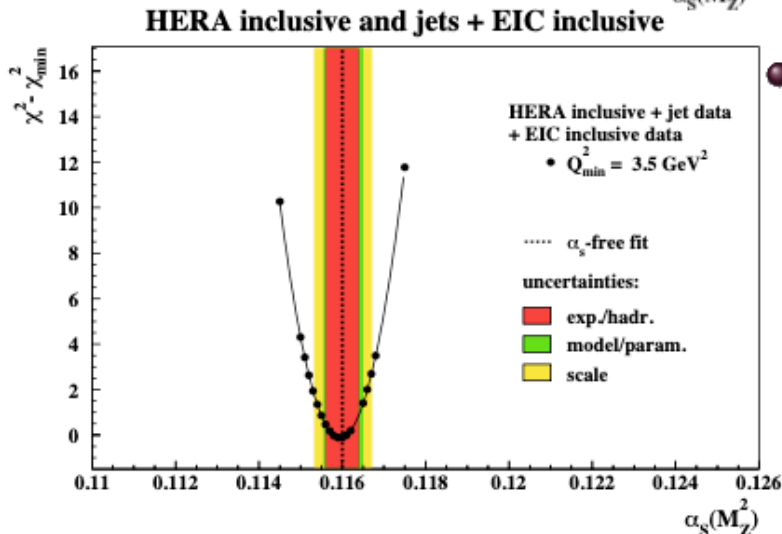
EIC inklusif ve HERA inklusif+jet verileri ile QCD Fitleri

- ❖ PDF'leri ve $\alpha_s(M_Z^2)$ 'yi HERA inklusif ve jet verisi ile EIC inklusif verisiyle eld etmek için eşzamanlı bir NNLO fiti gerçekleştirilir.



- **HERA inclusive + jet data, NNLO:** (EPJC82(2022)243)

$$\alpha_s(M_Z^2) = 0.1156 \pm 0.0011 \text{ (exp)}$$
$$+0.0001 \text{ (model + param)} \pm 0.0029 \text{ (scale)}$$

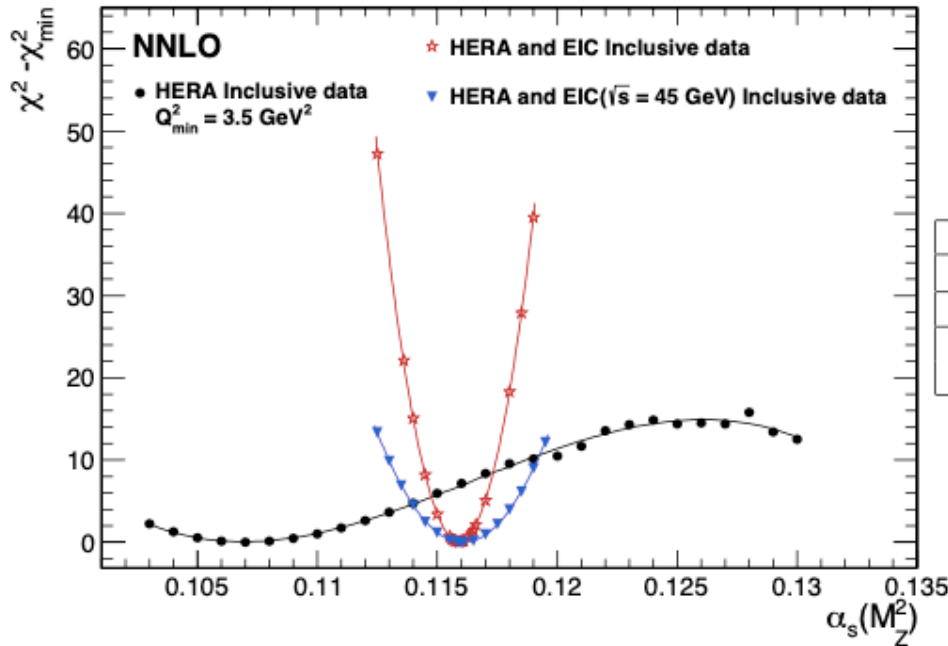


- **EIC inclusive data and HERA inclusive + jet data, NNLO:**

$$\alpha_s(M_Z^2) = 0.1160 \pm 0.0004 \text{ (exp)}$$
$$+0.0003 \text{ (model + param)} \pm 0.0005 \text{ (scale)}$$

HERA ve EIC inklusif verileri ile QCD Fitleri

- ❖ PDF'leri ve $\alpha_s(M_Z^2)$ 'yi HERA ile EIC inklusif verisiyle elde etmek için eşzamanlı bir NNLO fiti gerçekleştirilir.



Central values of model input parameters and their one-sigma variations.

Parameter	Central val.	Downwards var.	Upwards var.
Q_{\min}^2 [GeV ²]	3.5	2.5	5.0
f_s	0.4	0.3	0.5
M_c [GeV]	1.41	1.37	1.45
M_b [GeV]	4.20	4.10	4.30

No scale variations are made for the inclusive data

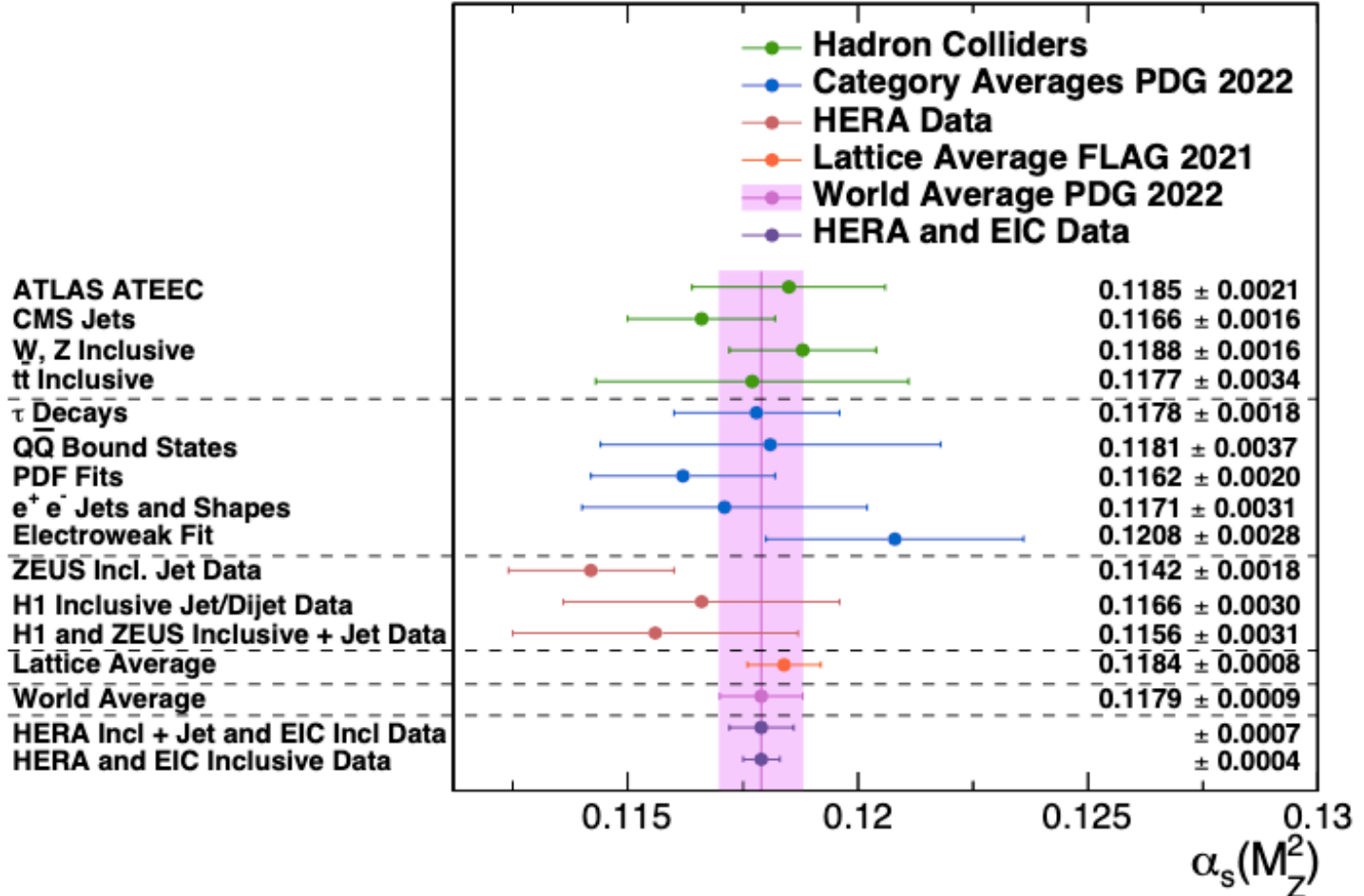
● EIC and HERA inclusive data, NNLO:

$$\alpha_s(M_Z^2) = 0.1159 \pm 0.0004 \text{ (exp)} \begin{matrix} +0.0002 \\ -0.0001 \end{matrix} \text{ (model + param)}$$



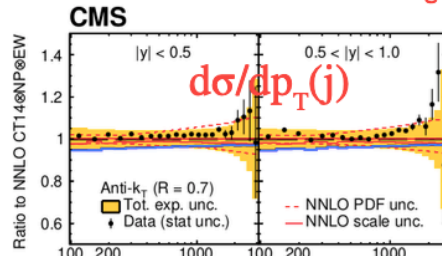
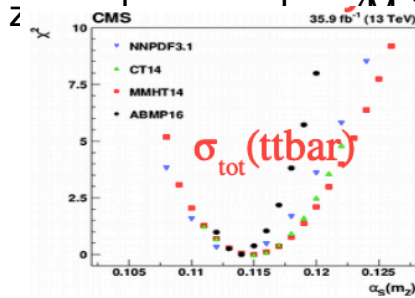
Diğer $\alpha_s(M_Z^2)$ sonuçlarıyla karşılaştırma

- ❖ Yalnızca HERA ve EIC'den gelen inklusif DIS verilerini kullanarak, NNLO'da PDF'lerin ve $\alpha_s(M_Z^2)$ 'nin eş zamanlı uyumuyla $\alpha_s(M_Z^2)$ 'yi potansiyel olarak dünya lideri bir hassasiyetle belirleyebiliyoruz.



Sonuçlar

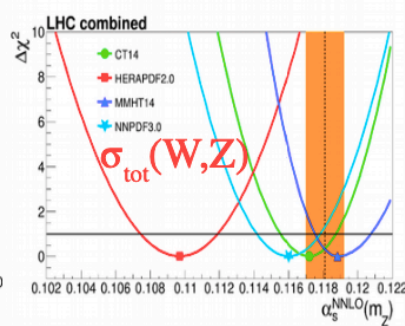
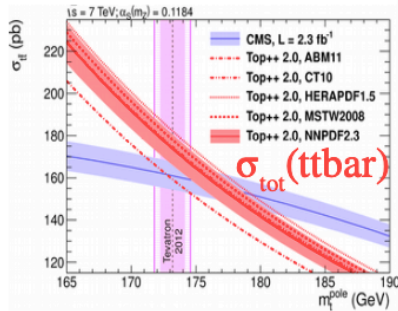
- ❖ Yalnızca HERA ve EIC'den gelen inklusif DIS verilerini kullanarak, NNLO'da PDF'lerin ve $\alpha_s(M_Z^2)$ 'nin eş



$$\alpha_s = 0.1145 \pm 0.0033 (\pm 2.9\%)$$

$$\alpha_s = 0.1170 \pm 0.0019 (\pm 1.6\%)$$

➔ Lumi/JES/JER leading EXP uncerts.



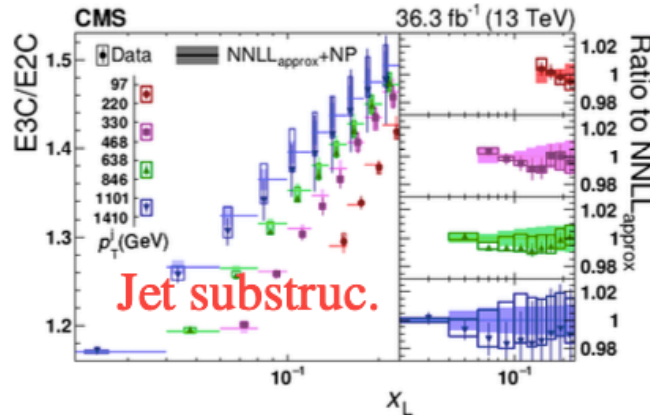
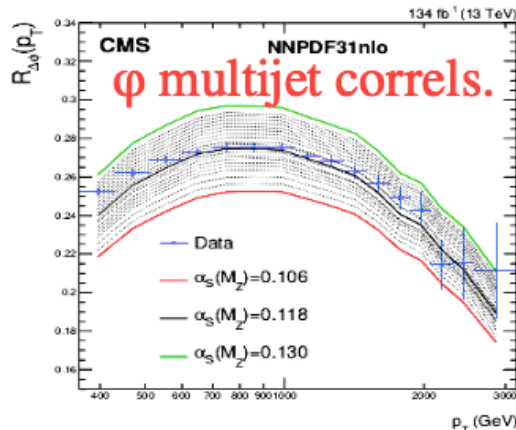
$$\alpha_s = 0.1177 \pm 0.0035 (\pm 3.0\%)$$

$$\alpha_s = 0.1180 \pm 0.0016 (\pm 1.3\%)$$

ABMP16
 NNPDF31
 CT18
 MSHT20

$$\alpha_s = 0.1161 \pm 0.0022 (\pm 1.6\%)$$

➔ Lumi is often lead EXP unc.



Dinlediđiniz için teŖekkür ederiz!