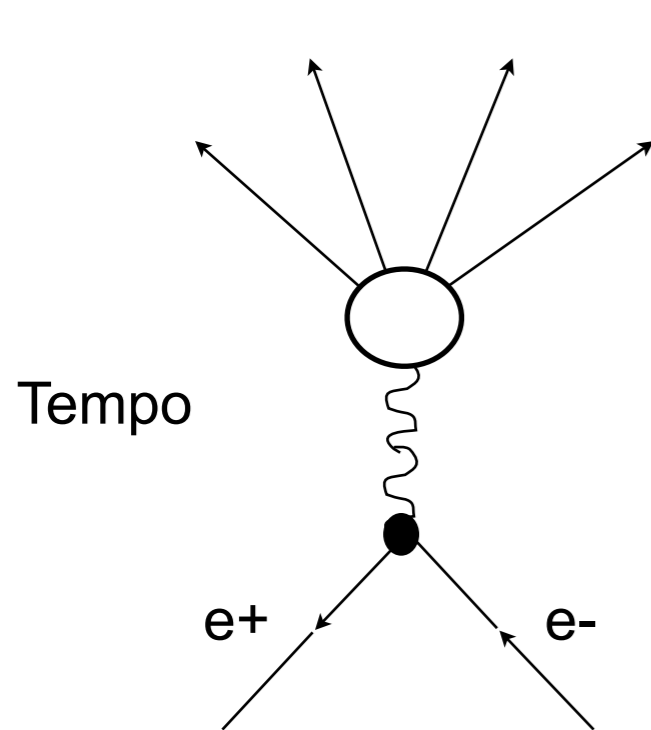


Luciano Maiani:
Lezione Fermi 14
La rivoluzione dei Partoni (2):
Adone scopre la produzione puntiforme di adroni.
La CromoDinamica Quantistica-QCD

Sommario

1. Ada e ADONEa Frascati
2. Gli esperimenti ad ADONE osservano una produzione abbondante di adroni ad energie sopra 1 GeV (1970)
3. Analisi nel modello dei partoni
4. La liberta' asintotica delle forze di colore
5. Sogni di Grande Unificazione?
6. Violazioni dello scaling di Bjorken
7. R in funzione dell'energia, oggi

Collisori



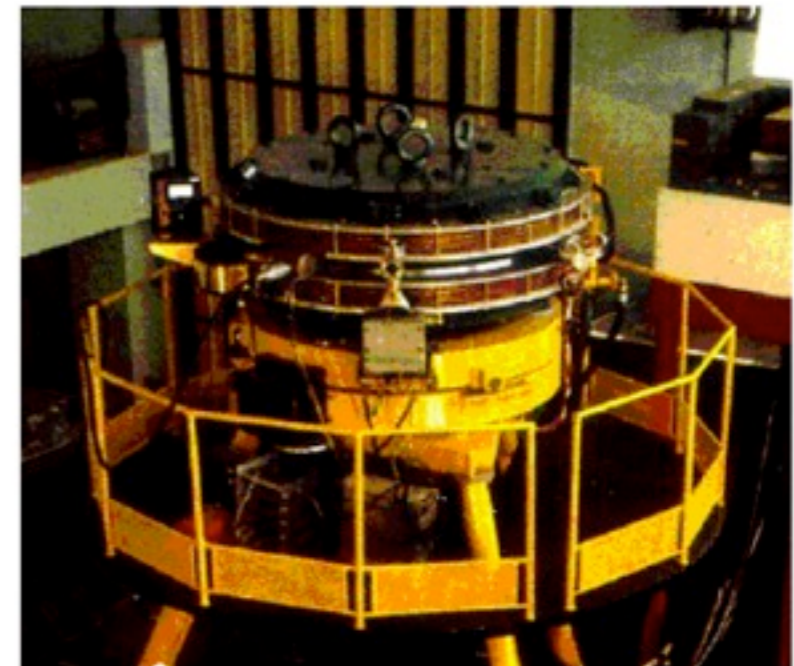
$e^+e^- \rightarrow$ molte particelle

Fotoni virtuali Time-like

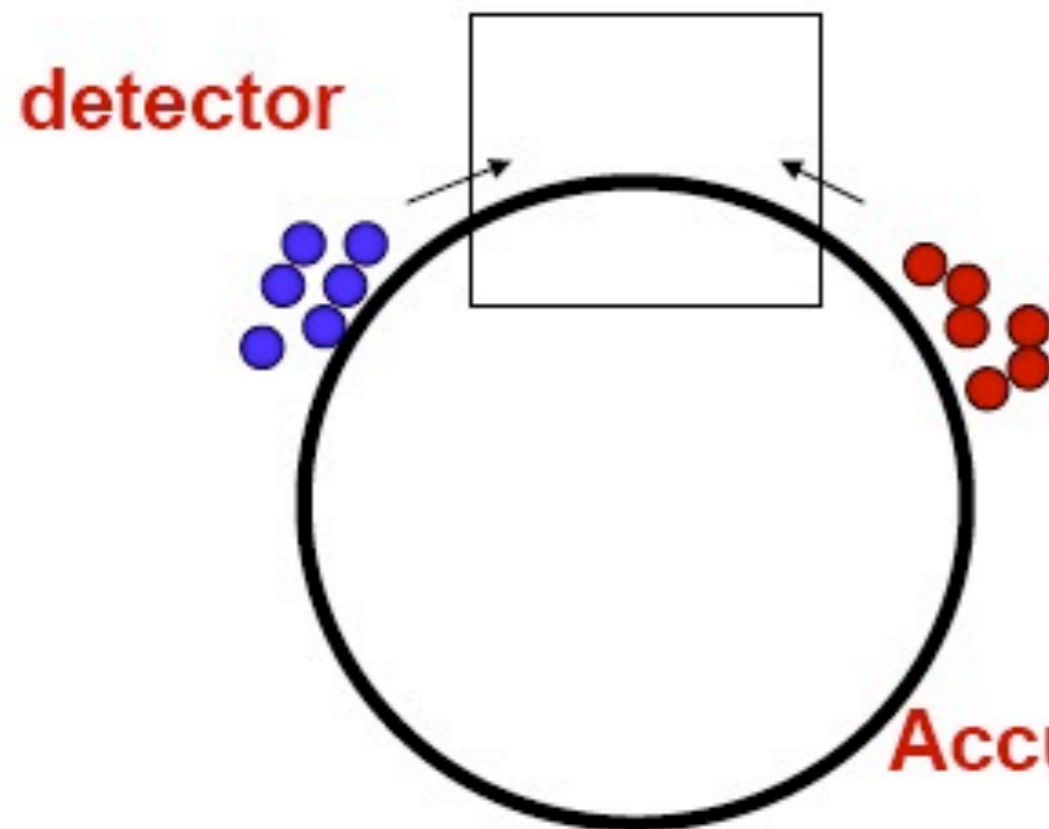
- L'annichilazione elettrone-positrone e' produce un fotone virtuale "time-like", $q^2 > 0$
- in questo caso il fotone si puo' trasformare in coppie materia-antimateria
ogni tipo di materia puo' essere creata in laboratorio
- i vari tipo di materia sono accoppiati al fotone con cariche elettriche simili: i collider possono informarci "democraticamente" sulle forme di materia esistenti

AdA at Frascati: history

Il primo collisore elettrone-positrone e' stato realizzato da Bruno Touscheck e coll. a Frascati, nel 1962 (AdA= Anello di Accumulazione)



Bruno Touscheck at Frascati:



Bruno Touschek

After escaping from a concentration camp during the Second World War, the Austrian-born Touschek began work in Göttingen and Glasgow, and eventually reached Rome in 1952. On 7 March 1960 he gave a historic seminar at Frascati that would change the face of physics. Pointing out the importance of carrying out a systematic study of electron-positron collisions, he suggested that this could be achieved by constructing a single magnetic ring in which electrons and positrons circulate at the same energy but in opposite directions. Soon afterwards, **the first electron-positron accumulation ring**, AdA, was built under his leadership in Frascati.

B. Touschek,
Institute of Physics, Rome.

Frascati is developing two storage rings. The first (code name AdA = anello d'accumulazione = storage ring) designed for storing electrons and positrons of up to 250 MeV is actually undergoing the first tests, the second (code name Adone) a storage ring for electrons and positrons of up to 1.5 GeV, is still being planned.

The AdA team consists of C. Bernardini, G.F. Corazza, G. Ghigo, R. Querzoli and myself. The magnet was planned by Dr. Sacerdoti and built in Terni, the radiofrequency by Dr. Puglisi.

Adone is a national effort. A design team headed by Dr. Amman has the task of arriving at a specific design proposal by the beginning of 1962. Simultaneously a committee is preparing the experiments to be carried out with the machine. If by the beginning of 1962 it is found that the project has a reasonable chance of success from a technical point of view; it is expected that the machine should be working late in 1964.

Let me be very brief on the Adone project : electrons and positrons circulate in a magnetic ring designed to contain particles of up to 1.5 GeV energy. The energy losses are replaced by R.F. Injection is effected by means of a low energy (of between 50-200 MeV). The final energy is reached by raising the magnetic field to the desired value.

Cronologia di Adone

- 27 Genn. 1961. “Storage ring for electrons and positrons ‘ADONE’ ” Nota interna Laboratori di Frascati, F. Amman, C. Bernardini, R. Gatto, G. Ghigo e B. Touschek
- meta’ 1961, ‘la Bibbia’: N. Cabibbo e R. Gatto, “Electron-Positron *Colliding Beam Experiments*”, *Phys. Rev.* **124** (1961), 1577-1595.
- Inizio 1962. Parte il “progetto ADONE”
- 1963. Inizia la costruzione. Circonferenza di 105 m, 12 celle, 4 sezioni per gli esperimenti dove i fasci collidono
- fine 1967. Primi fasci accumulati. Instabilita’ testa coda. Nuove ricerche per raggiungere la luminosita’ desiderata.
- Siamo “nel sessantotto”....
- 1969. Inizio fisica
- 1970. Rivelata una produzione di “stati multiadronici”, 2 pioni, 4 pioni, etc. ad un livello inatteso, confrontabile con la produzione di coppie $\mu^+ \mu^-$
- Misure di prima e seconda generazione fino al 1978.
- 1978-1993. Luce di Sincrotrone, esperimenti LADON (elettroni contro laser), FENICE (produzione neutrone-antineutrone).

ADONE (1969-1993)





The Gamma-Gamma Detector

Roma-Frascati, leaders G. Salvini, R. Querzoli



The Mu-Pion Detector

Frascati-Roma-Padova, leader M. Conversi



The Boson Detector

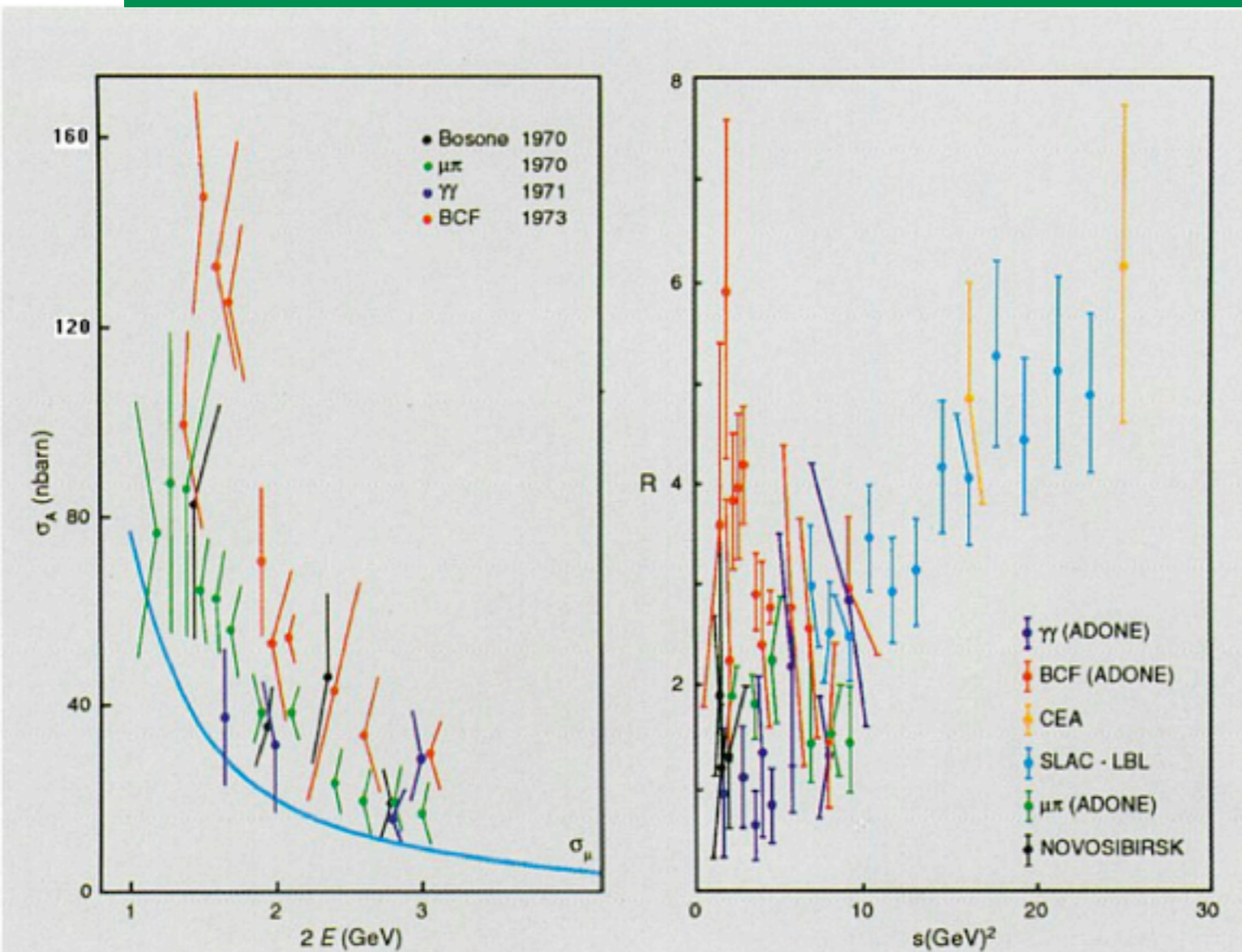
Frascati-Napoli-Pavia-Roma, leaders C. Bernardini,
V. Silvestrini



The BCF Detector

Bologna-CERN-Napoli, leader A. Zichichi

2. Gli esperimenti ad ADONE osservano una produzione abbondante di adroni ad energie sopra 1 GeV (1970)



Multihadron production results obtained in Frascati from 1969 to 1974 (left plot): the blue line shows the muon pair production cross section. The right plot shows world data on R (multihadron to muon production rate) up to 1974.

(Luisa Bonolisi in ANALYSIS, vedi Lettere Consigliate 2)

L'8 dicembre 1970 Wolfgang Panofsky scriveva a Marcello Conversi: "We are all very excited about the progress of Frascati ring and its relationship to the SLAC deep inelastic scattering. We think that these results probably will open up some of the most fundamental ideas in physics today and time will tell whether the parton idea will be the only surviving explanation."⁴³

3. Analisi nel modello dei partoni

Hadron Production in e^+e^- Collisions (*).

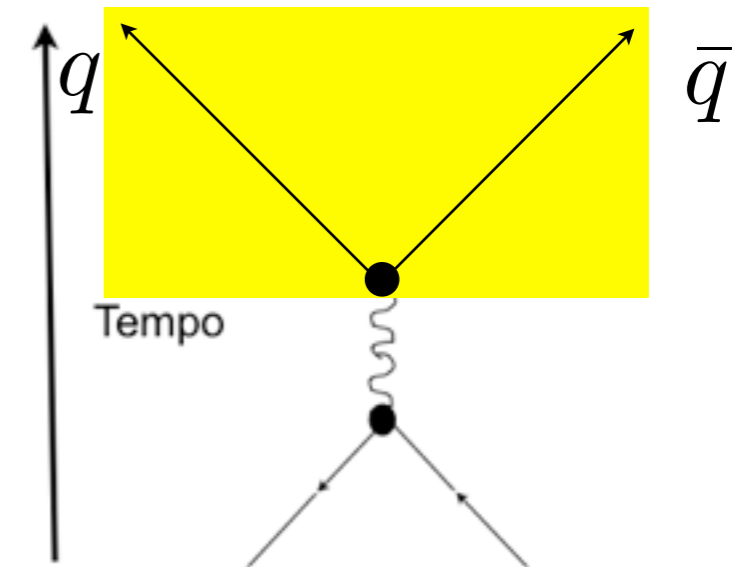
N. CABIBBO

Istituto di Fisica dell'Università - Roma
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Roma

G. PARISI and M. TESTA

Istituto di Fisica dell'Università - Roma

(ricevuto il 30 Maggio 1970)



1. - The simple properties of deep inelastic electron-proton scattering has suggested models where these processes arise as interactions of virtual photons with an « elementary » component of the proton. These as yet unspecified elementary components of the proton have been given the name of « partons » by FEYNMAN ⁽¹⁾. The model has been studied by BJORKEN and PASCHOS ⁽²⁾ and successively by DRELL, LEVY and TUNG MOW YAN ⁽³⁾ who gave a field-theoretical treatment of the parton model, and were able to recover some of the experimentally observed properties of this process. In this letter we wish to extend the method of ref. ⁽³⁾ to the study of the total cross-section of electron-positron annihilation into hadrons.

This treatment leads to an asymptotic (very high cross-section c.m. energy, $2E$) of the form

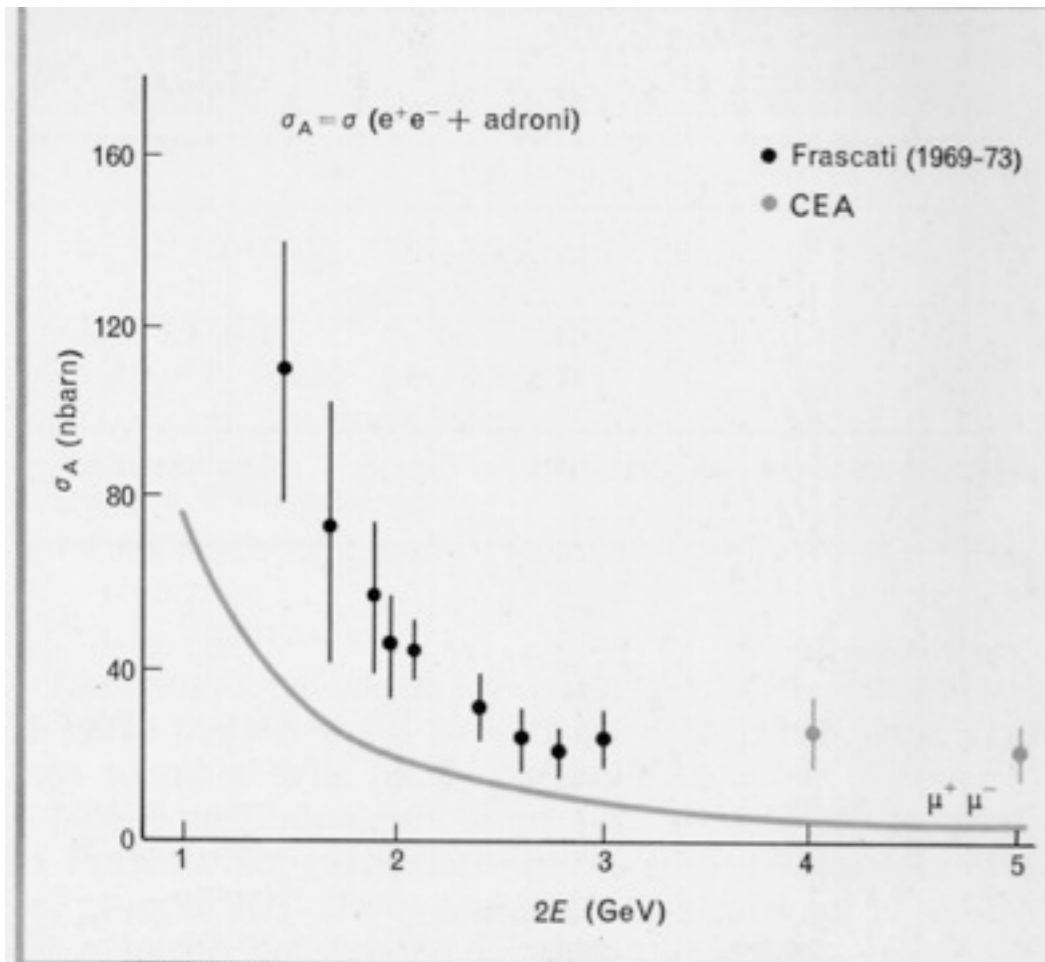
$$(1) \quad \sigma \rightarrow \frac{\pi\alpha^2}{12E^2} \left[\sum_{\text{spin } 0} (Q_i)^2 + 4 \sum_{\text{spin } \frac{1}{2}} (Q_i)^2 \right], = \frac{\pi\alpha^2}{12E^2} [4R]$$

where Q_i is the charge of the i -th parton in units of e . This is simply the sum of the

$$R = \frac{4}{9} + \frac{1}{9} + \frac{1}{9} = \frac{2}{3},$$

for u, d, s, no color

Il colore: una simmetria nascosta



Sezione d'urto totale s_A per la produzione adronica. Sintesi dei risultati ottenuti a Frascati dal gruppo di Adone. Confronto di s_A a 4 e 5 GeV con s_m , la sezione d'urto per la produzione di m^+m^- . A posteriori appare del tutto evidente che il valore della sezione d'urto totale risulta in buon accordo con l'ipotesi di quark "colorati".

Physics Series, Volume VIII:

ADONE a milestone on the particle way, p. 89

Ed. V. Valente –1997

dalla Lez. 8 sui quark:

- Una spina nel fianco: si dice che $\Delta^{++}(\text{spin } 3/2) = u \uparrow u \uparrow u \uparrow$ ma e' una configurazione proibita per il Principio di Pauli. Forse la regola non vale all'interno del protone? o forse i quark sono solo finzioni matematiche? oppure obbediscono ad una statistica diversa?
- sembra di essere tornati ai tempi di Pauli, per molti vale l'opinione di Mr. Debye:
 - *who told me recently in Bruxelles: "Oh, It's better not to think about this at all, like new taxes."*

SUPPONIAMO:

- ogni quark esiste in 3 modi diversi, detti colore: $u_{1,2,3}$, $d_{1,2,3}$, $s_{1,2,3}$
- c'e' uno e un solo modo di costruire lo stato $\Delta^{++}(\text{spin } 3/2) = u_a \uparrow u_b \uparrow u_c \uparrow$ che sia antisimmetrico per lo scambio dei quark. Stesso vale per tutti i barioni.
- il colore risolve il problema della statistica, e inoltre...

u, d, s in tre colori prevede: $R = 2/3 * 3 = 2$

in accordo con $R \sim 2$ di ADONE !!!

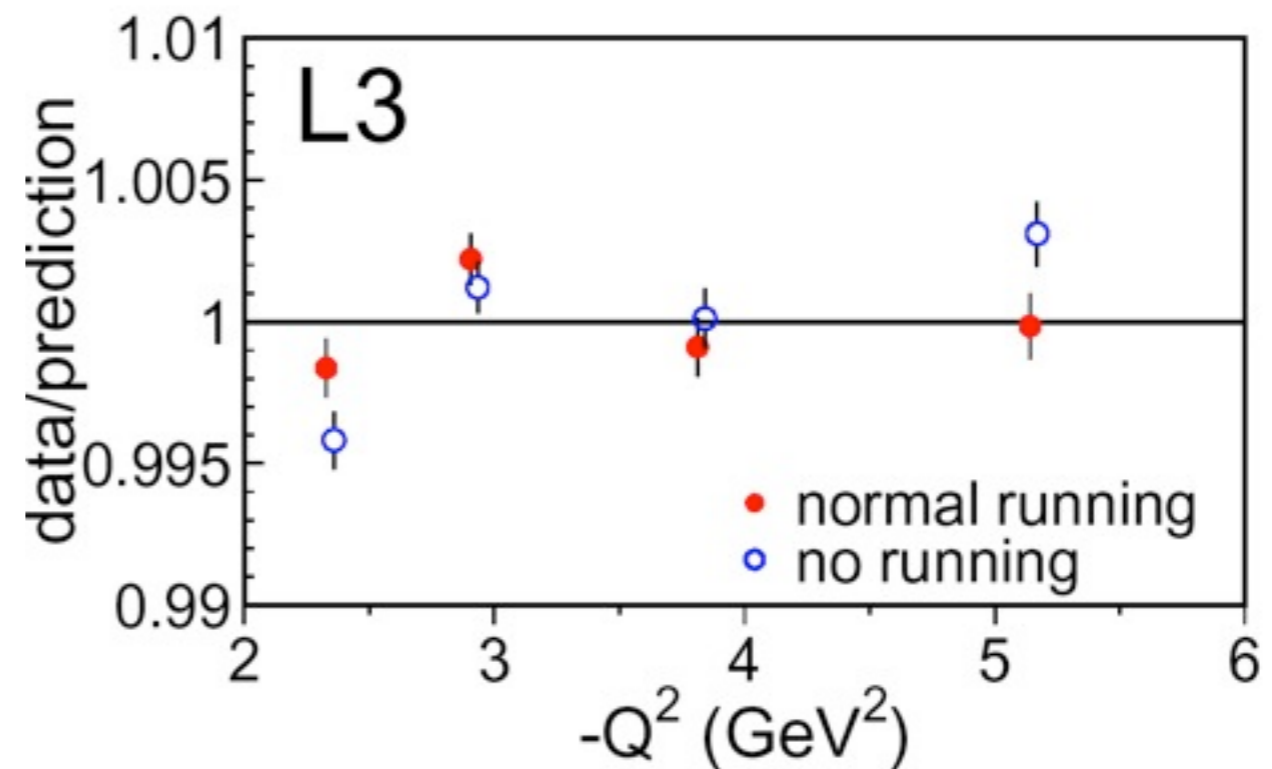
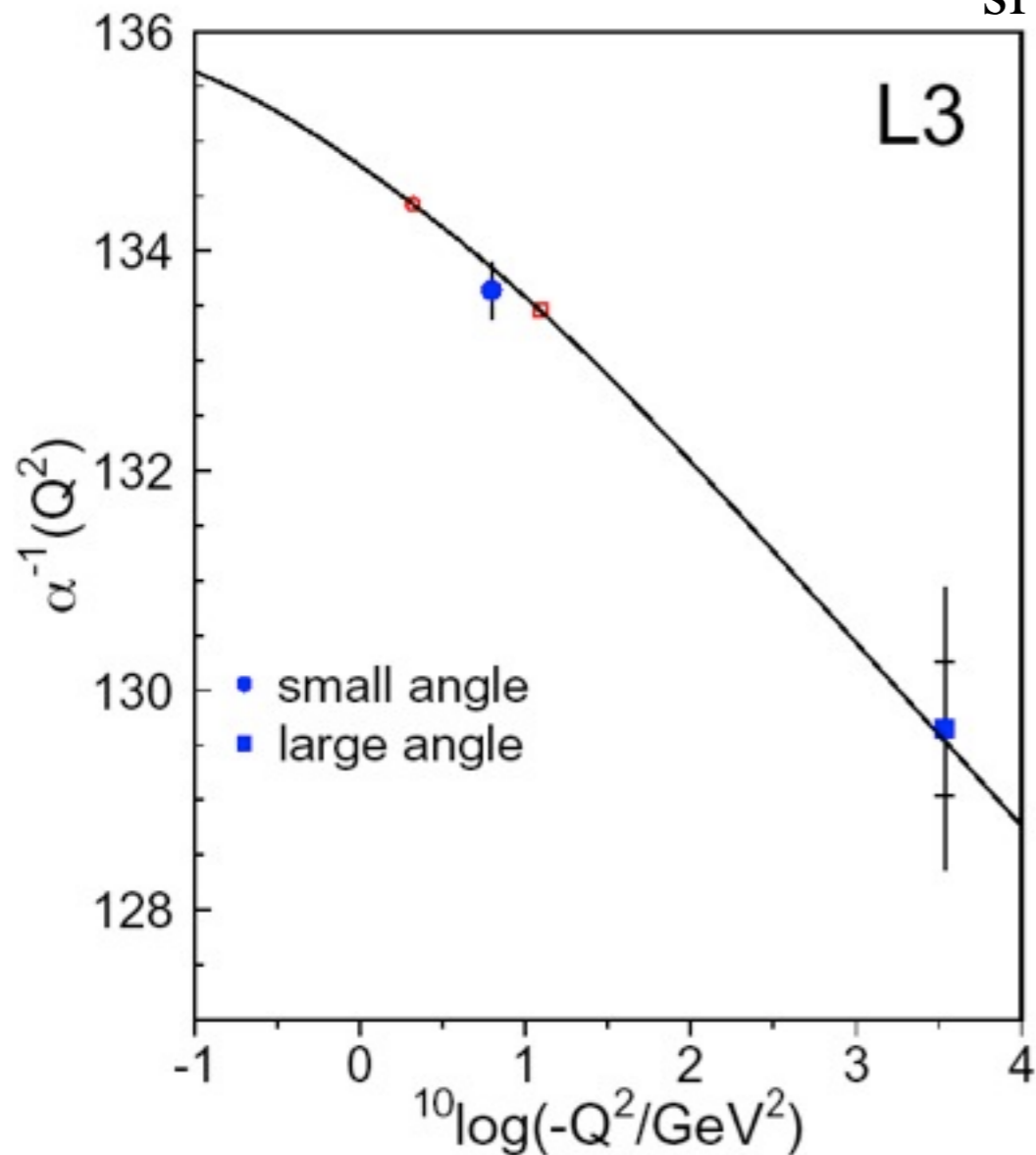
4. La liberta' asintotica delle forze di colore

- Yang e Mills (1954) generalizzano l'invarianza di gauge della QED a simmetrie non abeliane
- Han e Nambu: ipotizzano che la simmetria di colore sia una simmetria di gauge nel senso di yang-Mills: forze di colore
- Fritsch e Gell-Mann (1972) ipotizzano che il colore sia indipendente dalla carica dei quark: QCD
- Gross&Wilczeck, Politzer (1973) le forze della QCD sono "asintoticamente libere": a grandi q^2 (piccole distanze) l'intensita' delle forze di QCD decresce!
- e' la giustificazione del modello dei partoni, con correzioni logaritmiche calcolabili (Parisi, Altarelli e Parisi): una nuova industria che produce risultati di precisione nella dinamica delle interazioni forti a grandi q^2 (anni '70)
- e' il contrario di quanto avviene in QED, dove la intensita' aumenta a grandi q^2
- nelle collisioni p-p a grandi momenti, si vedono le collisioni dei partoni quasi-liberi !

QED: the “running” fine structure constant from Bahba scattering

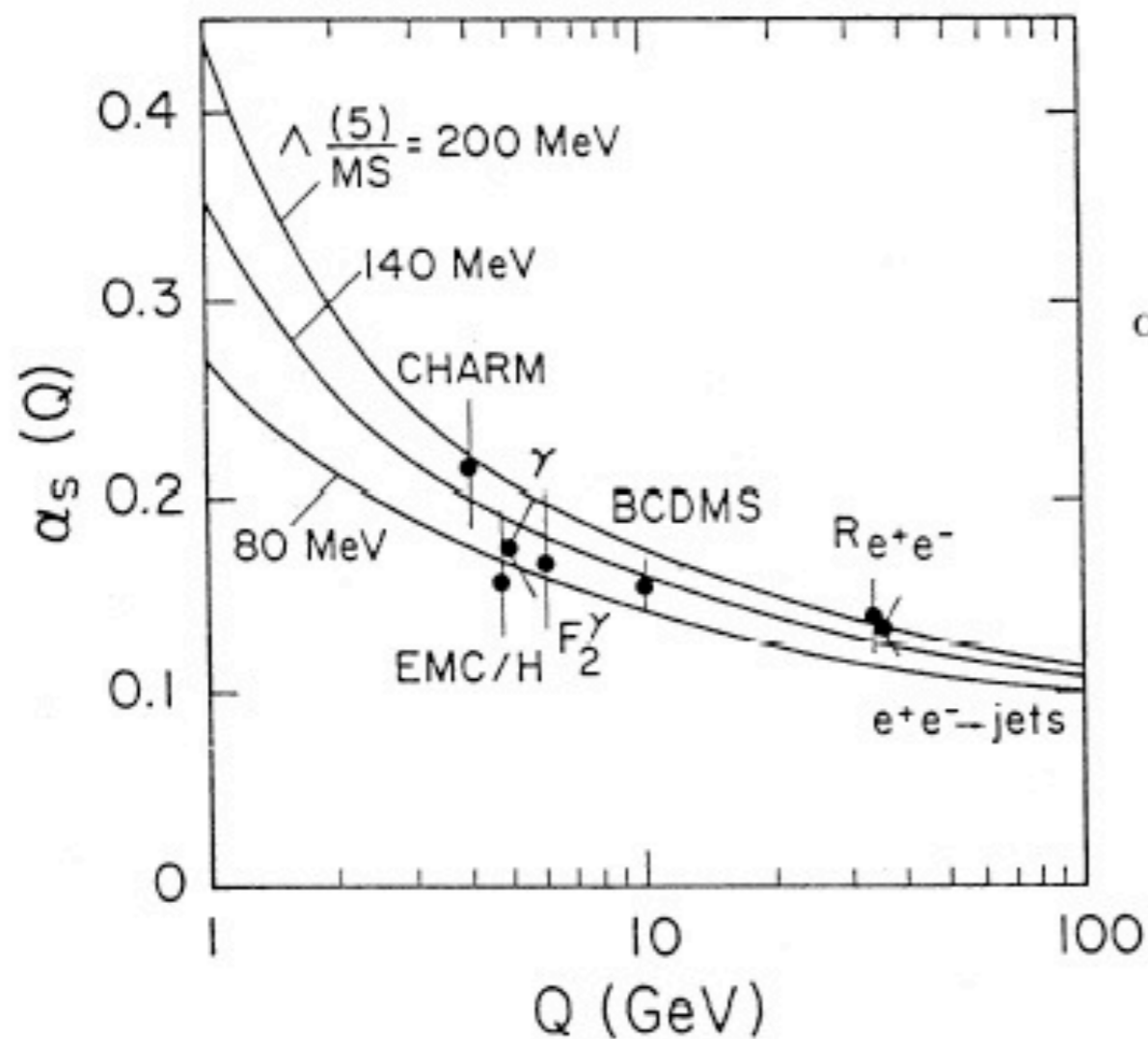
nota:

si tratta di $1/\alpha$: se decresce, l'intensita' della forza aumenta



QCD: la costante "running" dallo studio dei jets

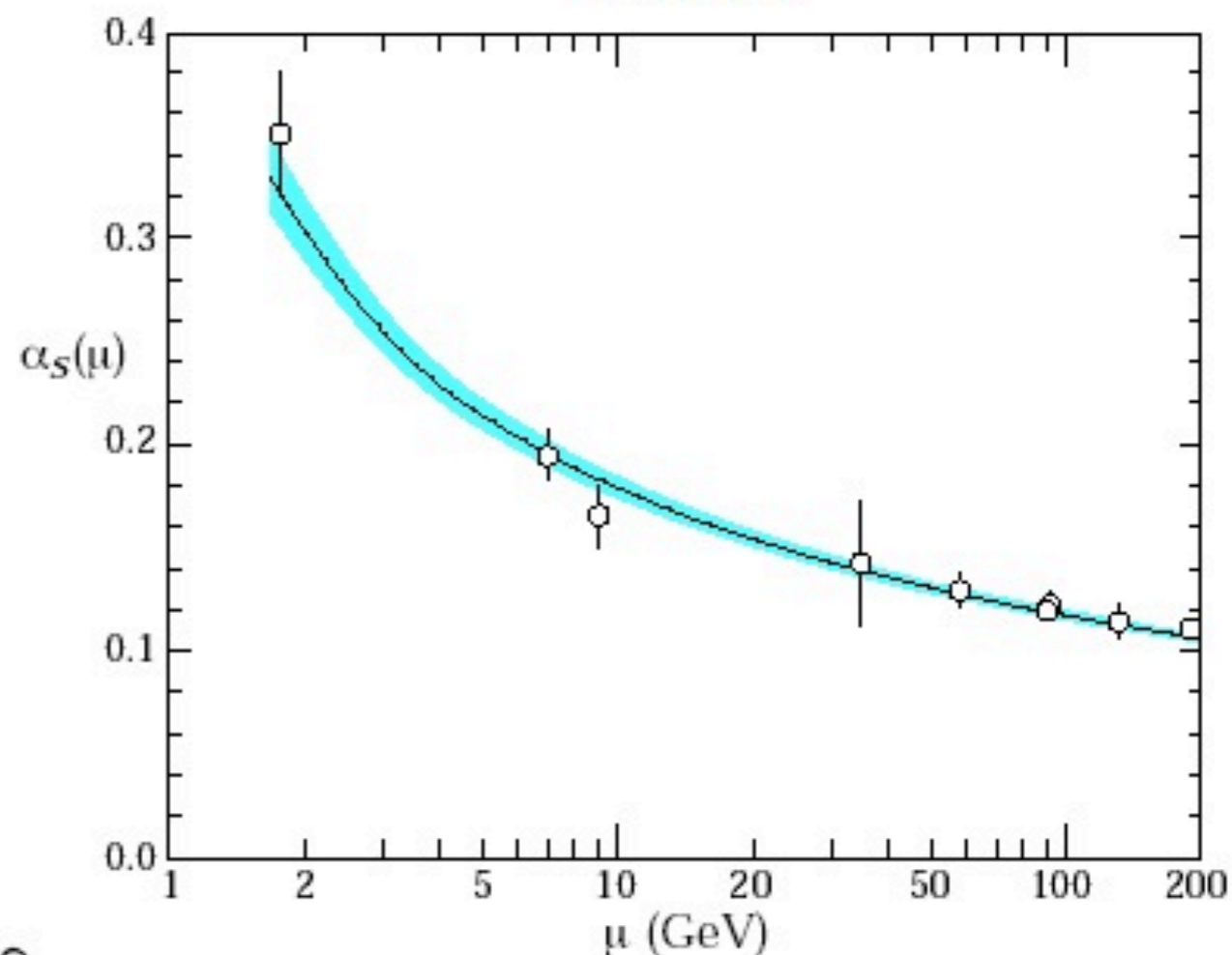
1989



$$\alpha_s(M_Z) = 0.11 \pm 0.01$$

Physics at LEPI (after Altarelli)

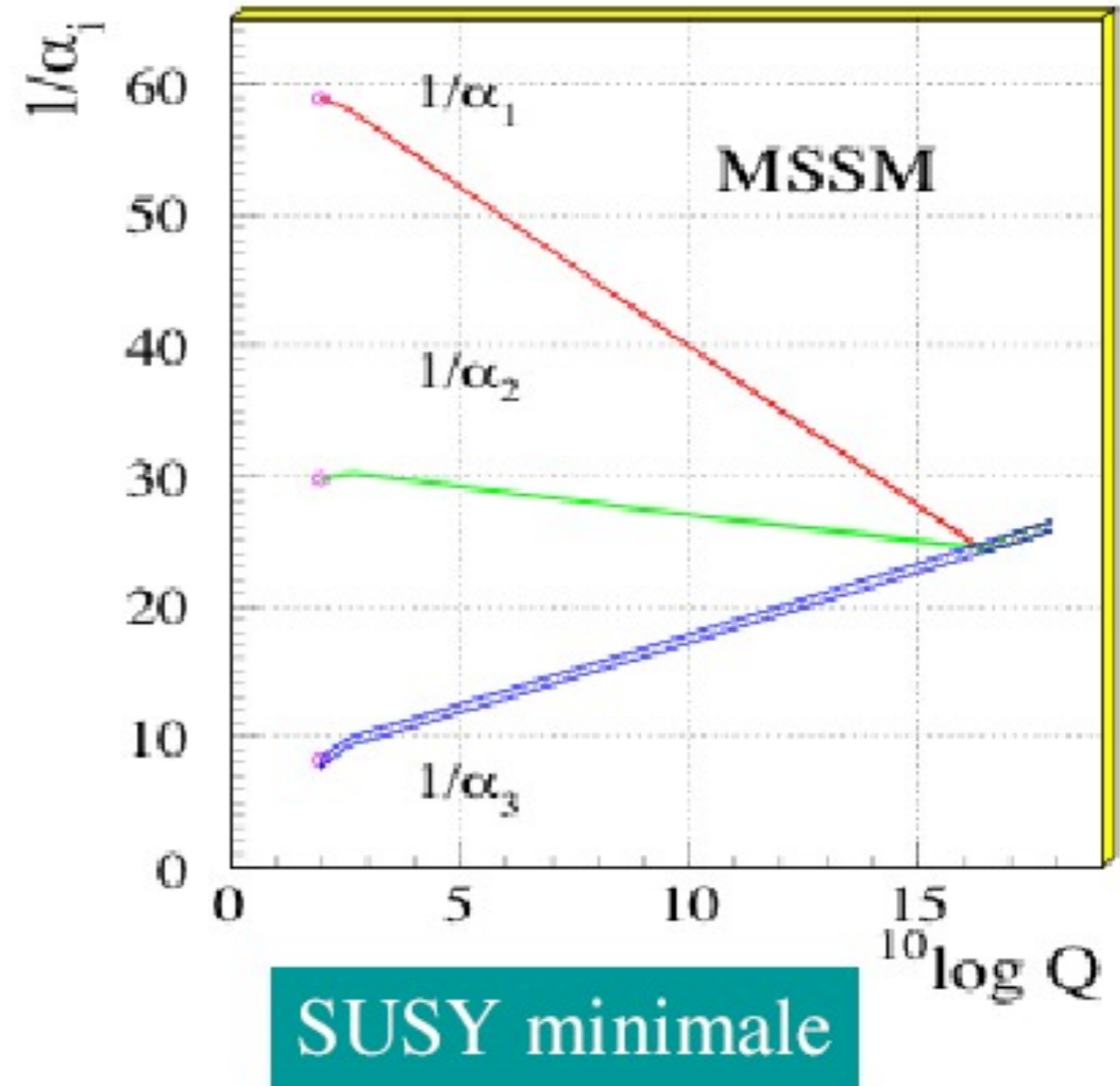
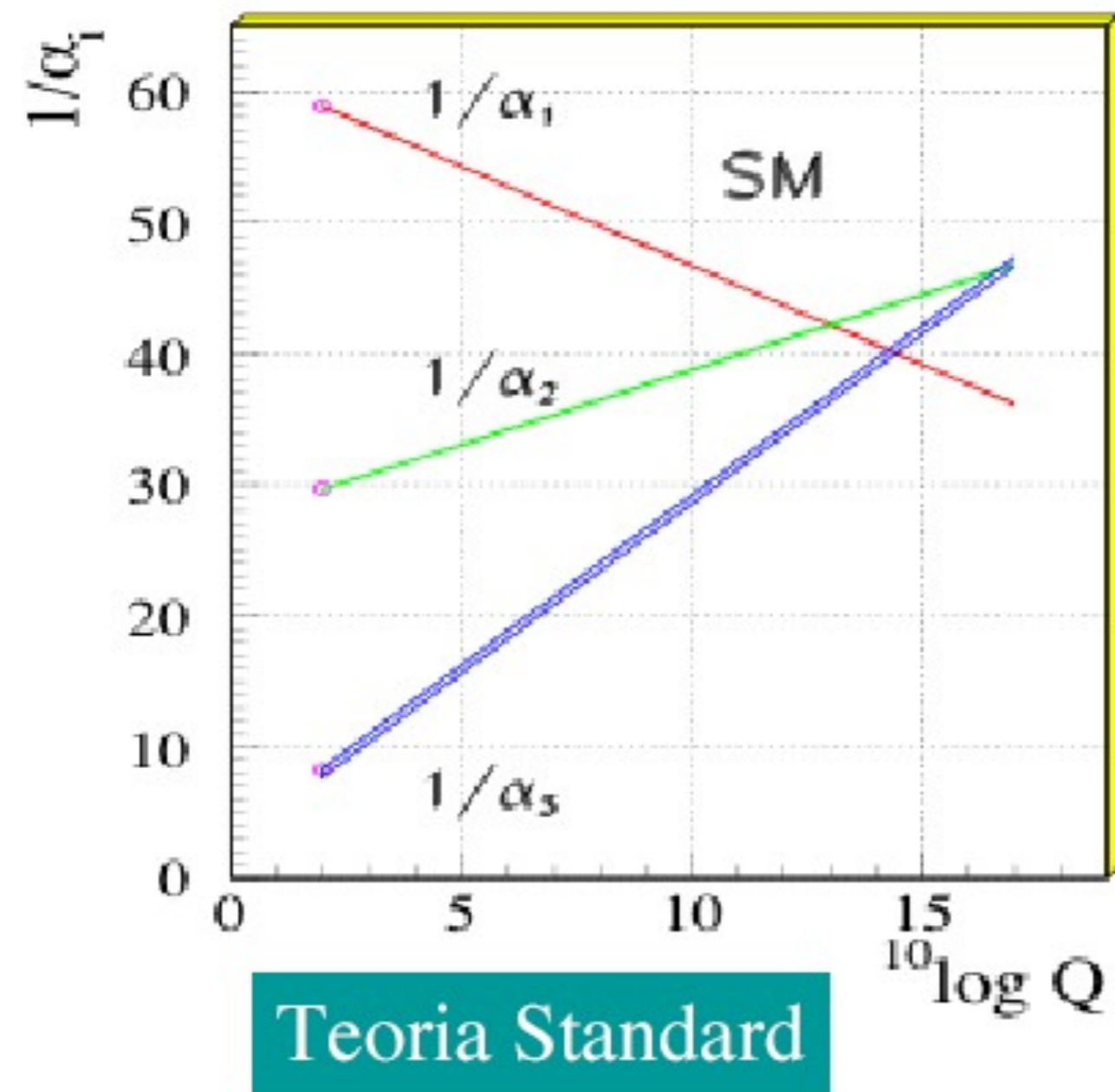
2000



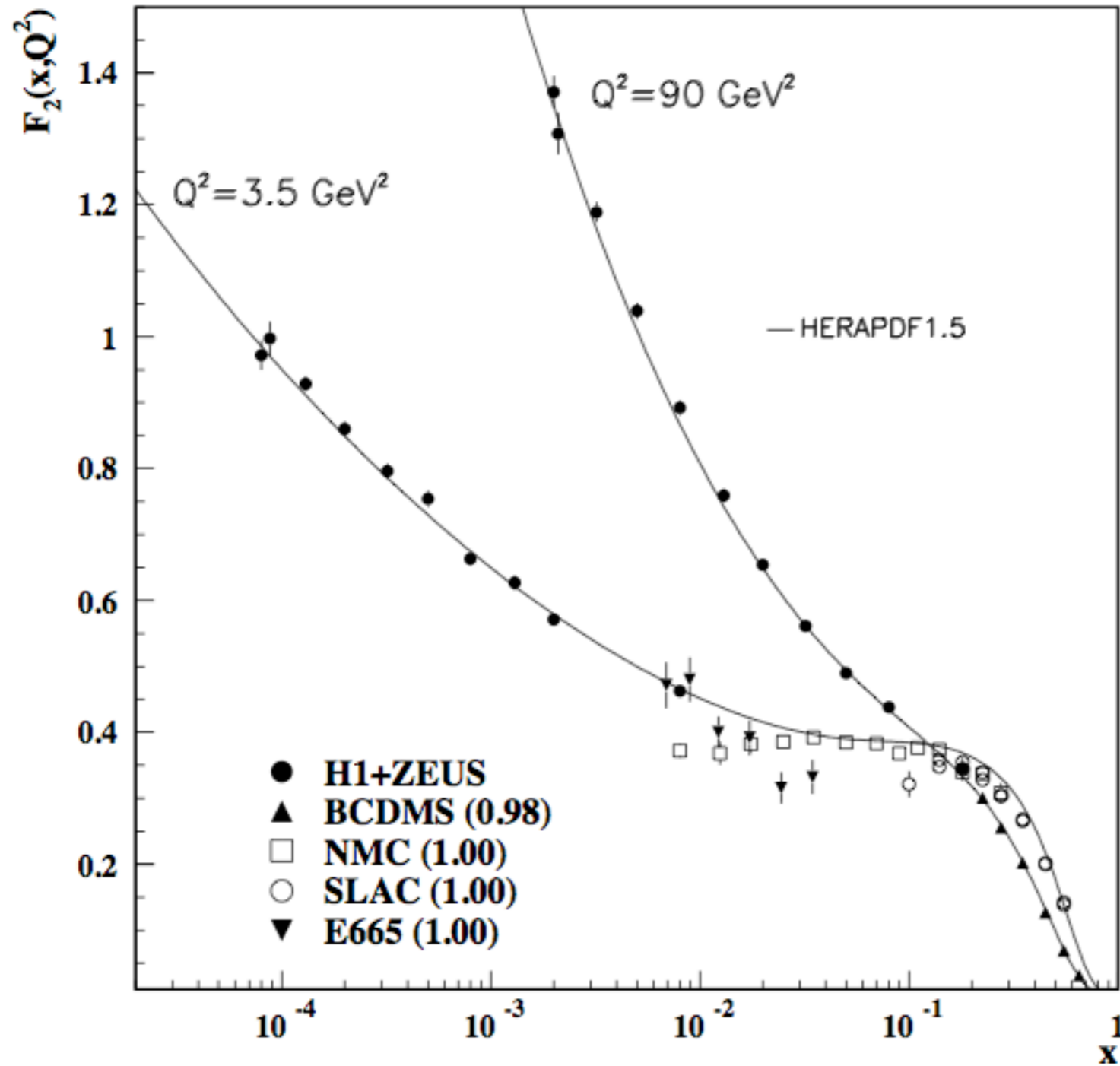
$$\alpha_s(M_Z) = 0.118 \pm 0.002$$

Particle Data Group 2000

5. Sogni di Grande Unificazione?

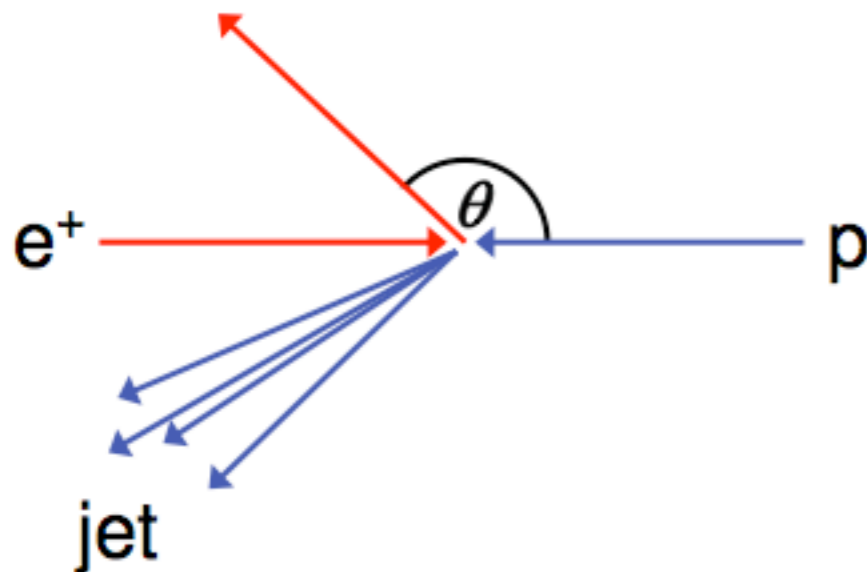


6. Violazioni dello scaling di Bjorken

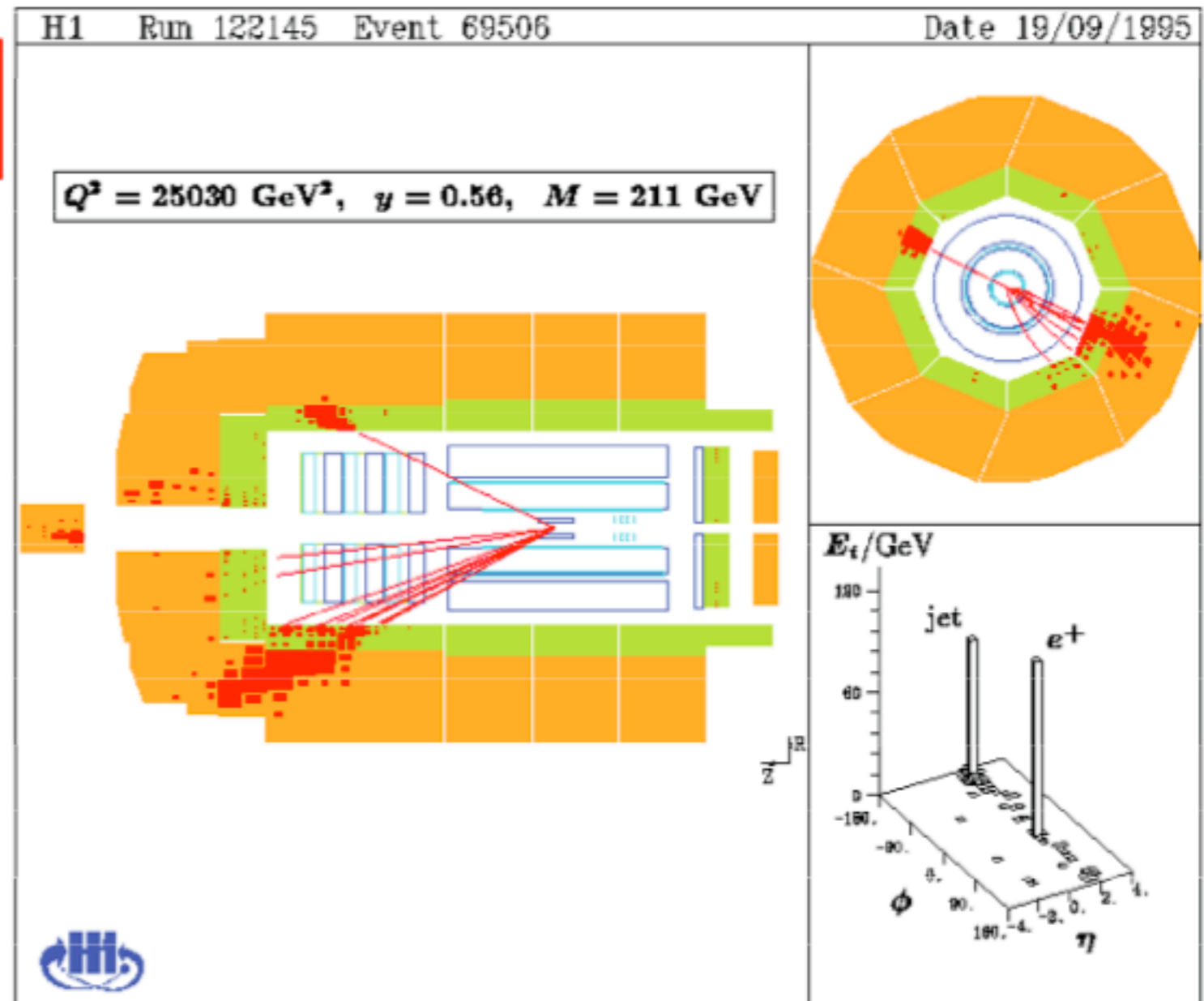


Example of a High Q^2 Event in H1

* Event kinematics determined from electron angle and energy



* Also measure hadronic system (although not as precisely) – gives some redundancy



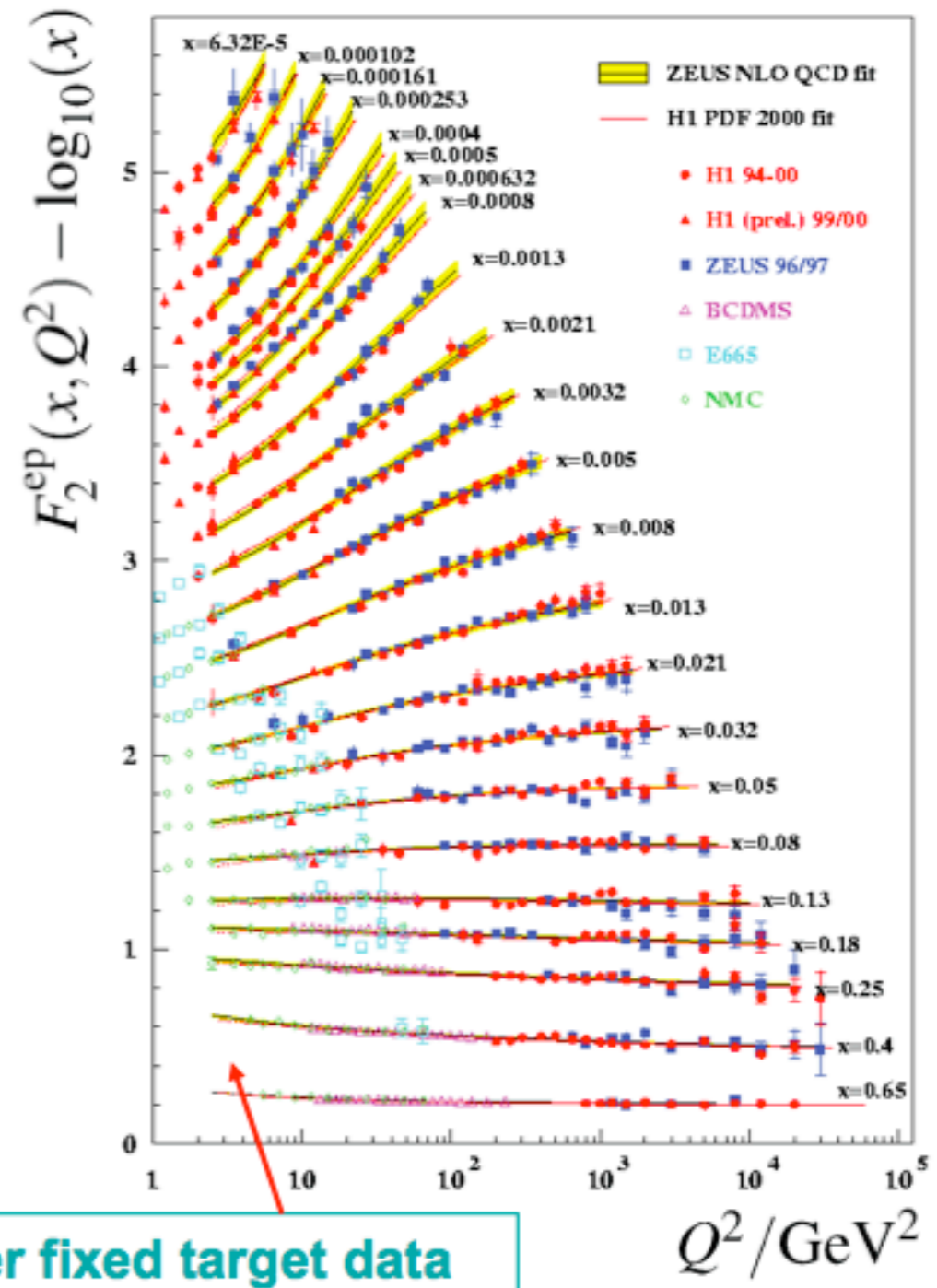
F₂(x, Q²) Results

- ★ No evidence of rapid decrease of cross section at highest Q²

➔ $R_{\text{quark}} < 10^{-18} \text{ m}$

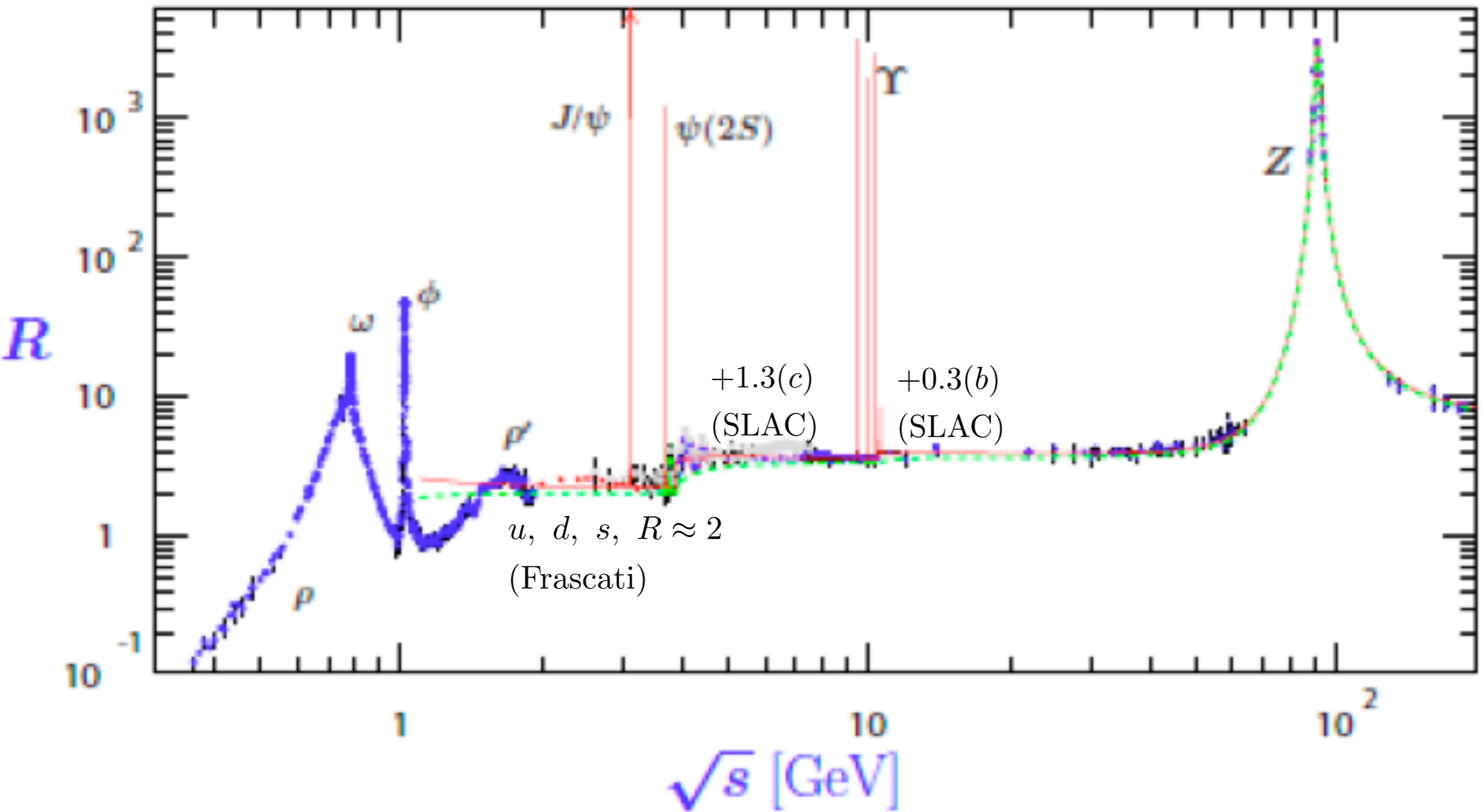
- ★ For $x > 0.05$, only weak dependence of F₂ on Q² : consistent with the expectation from the quark-parton model
- ★ But observe clear scaling violations, particularly at low x

$$F_2(x, Q^2) \neq F_2(x)$$



7. R in funzione dell'energia, oggi

Particle Data Group



Onore ad ADONE e a Frascati:
G. Salvini spegne ADONE per lasciare posto alla
nuova macchina DAFNE (1993 circa):
Le Roi est mort, vive le Roi

