

Die Entdeckung des Gluons

„ ... Drum hab ich mich der Magie ergeben,
Ob mir, durch Geistes Kraft und Mund,
Nicht manch Geheimnis würde kund;
Dass ich nicht mehr, mit saurem Schweiß,
Zu sagen brauche was ich nicht weiß;
Dass ich erkenne was *die Welt*,
Im Innersten zusammenhält ...“

- J.W. von Goethe

Gliederung

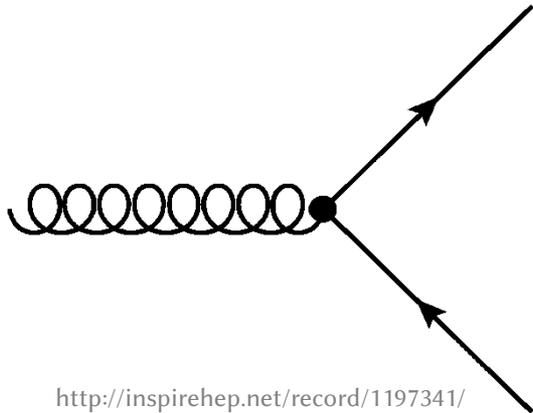
- Theoretische Grundlagen
 - Die Quantenchromodynamik
 - Das Gluon
- Das Experiment
 - Messmethodik
 - PETRA
 - TASSO
 - Erwartungen
 - Ergebnisse
- Epilog

Die Quantenchromodynamik

- Quantenfeldtheorie der starken Kernkraft

	QED	QCD
Teilcheneigenschaft	El. Ladung q	Farbladung r, g, b
Austauschteilchen	Photonen	Gluonen
Potential	$\sim 1/r$	$\sim -\alpha_s / r + K \cdot r$
Reichweite	∞	$\sim 10^{-15} \text{ m}$

Vertices in der QCD



http://inspirehep.net/record/1197341/files/quark_gluon_vertex.png

- an jedem Vertex muss die Farbladung erhalten sein

$$\psi_1 = |r\bar{g}\rangle,$$

$$\psi_2 = |r\bar{b}\rangle,$$

$$\psi_3 = |g\bar{r}\rangle,$$

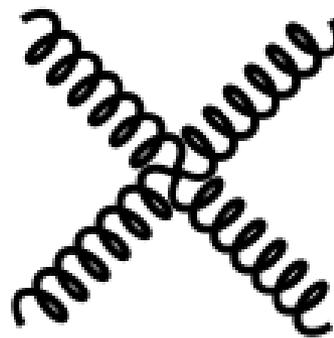
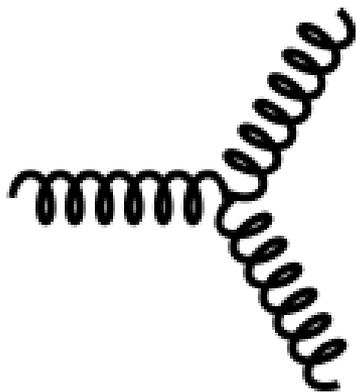
$$\psi_4 = |g\bar{b}\rangle,$$

$$\psi_5 = |b\bar{r}\rangle,$$

$$\psi_6 = |b\bar{g}\rangle,$$

$$\psi_7 = \frac{1}{\sqrt{2}} (|r\bar{r}\rangle - |g\bar{g}\rangle), \quad \psi_8 = \frac{1}{\sqrt{6}} (|r\bar{r}\rangle + |g\bar{g}\rangle - 2|b\bar{b}\rangle)$$

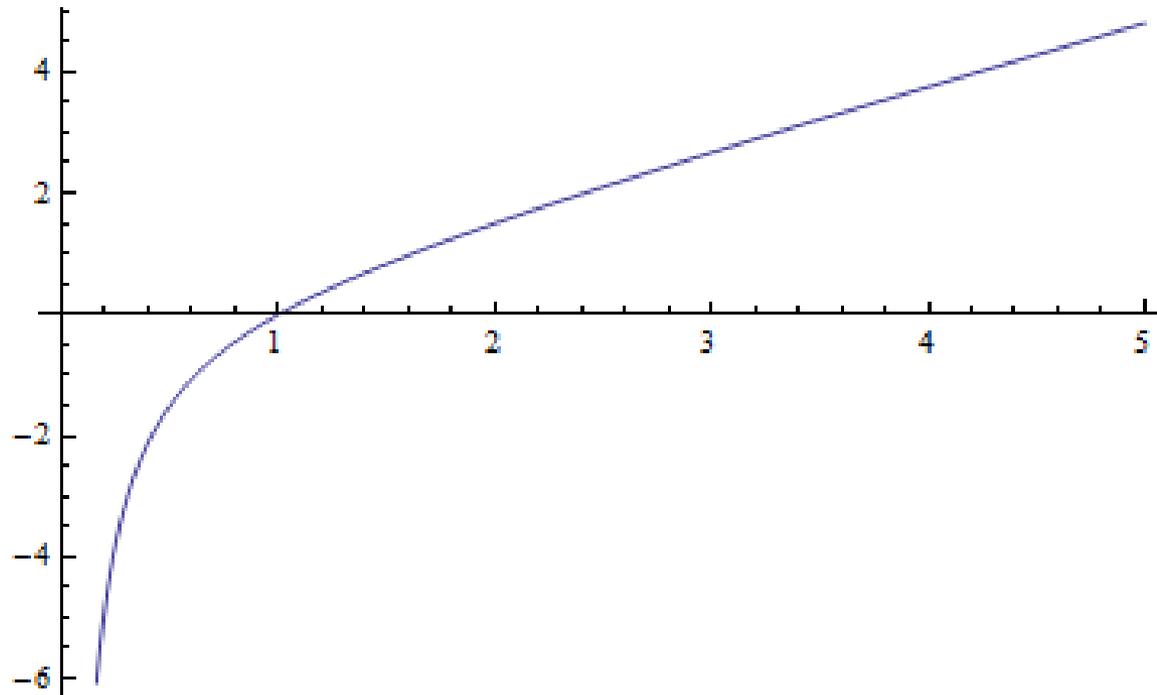
<http://de.wikipedia.org/wiki/Gluon>



<http://www.quantumdiaries.org/wp-content/uploads/2010/10/WorldOfGlue.png>

Die Quantenchromodynamik

- Selbstwechselwirkung
→ Potential wächst mit r

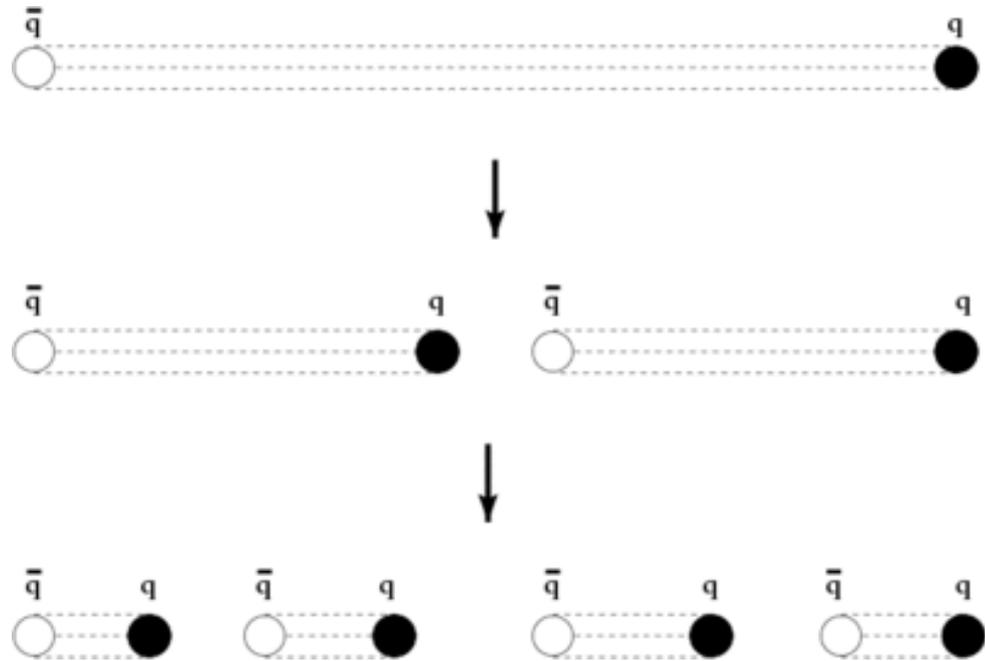


Die Quantenchromodynamik

- Potential wächst mit r

→ Erzeugen eines neuen Quark-Antiquark-Paars energetisch günstiger

→ „String-breaking“ bzw. Hadronisierung

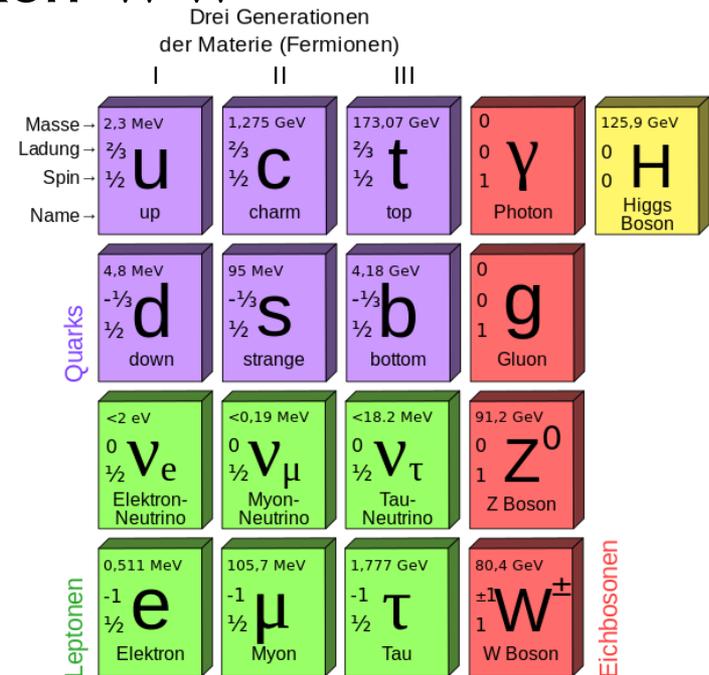


http://ati.tuwien.ac.at/uploads/RTEmagicC_1e1fb8125c.gif

→ Farbladung nur auf subatomarer Ebene beobachtbar

Das Gluon

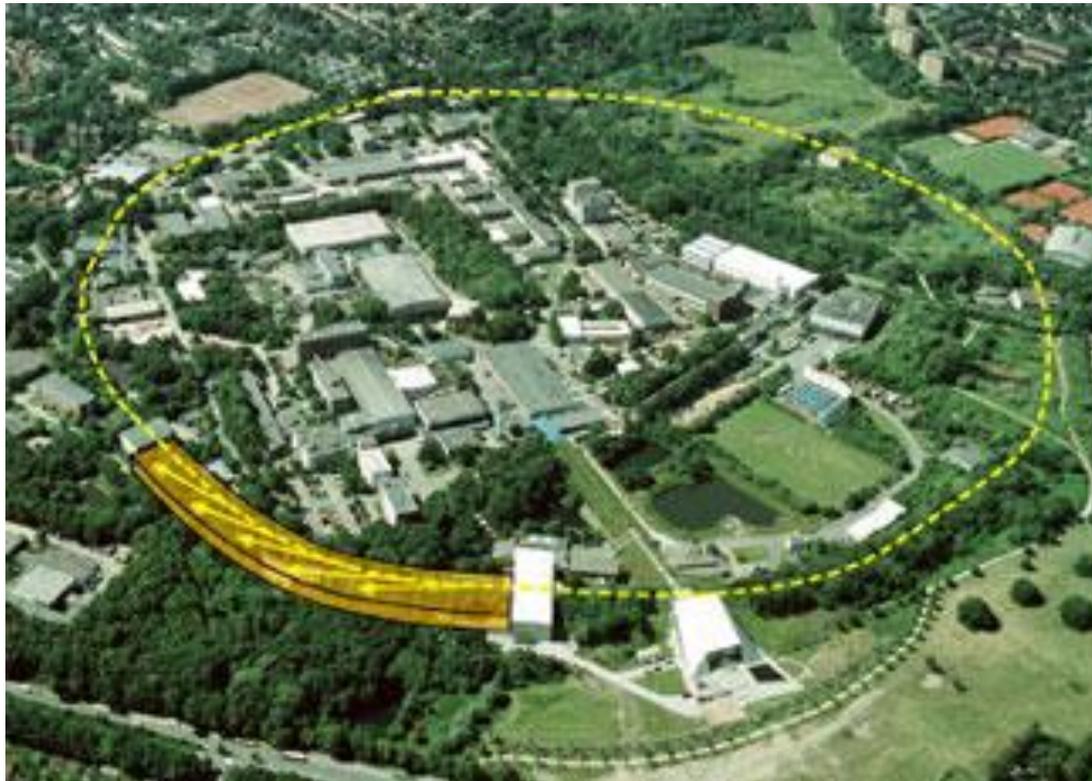
- Postuliert 1962: Murray Gell-Mann
- Nachgewiesen 1979: TASSO
- Hat Spin 1 \rightarrow Boson der starken WW
- Masse 0
- Trägt Farbladung
 \rightarrow 8 verschiedene Gluonen
- Teil des Standardmodells



PETRA

- **Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage** am Deutschen Elektronen Synchrotron (DESY)
- 4 Detektoren:

MarkJ



JADE

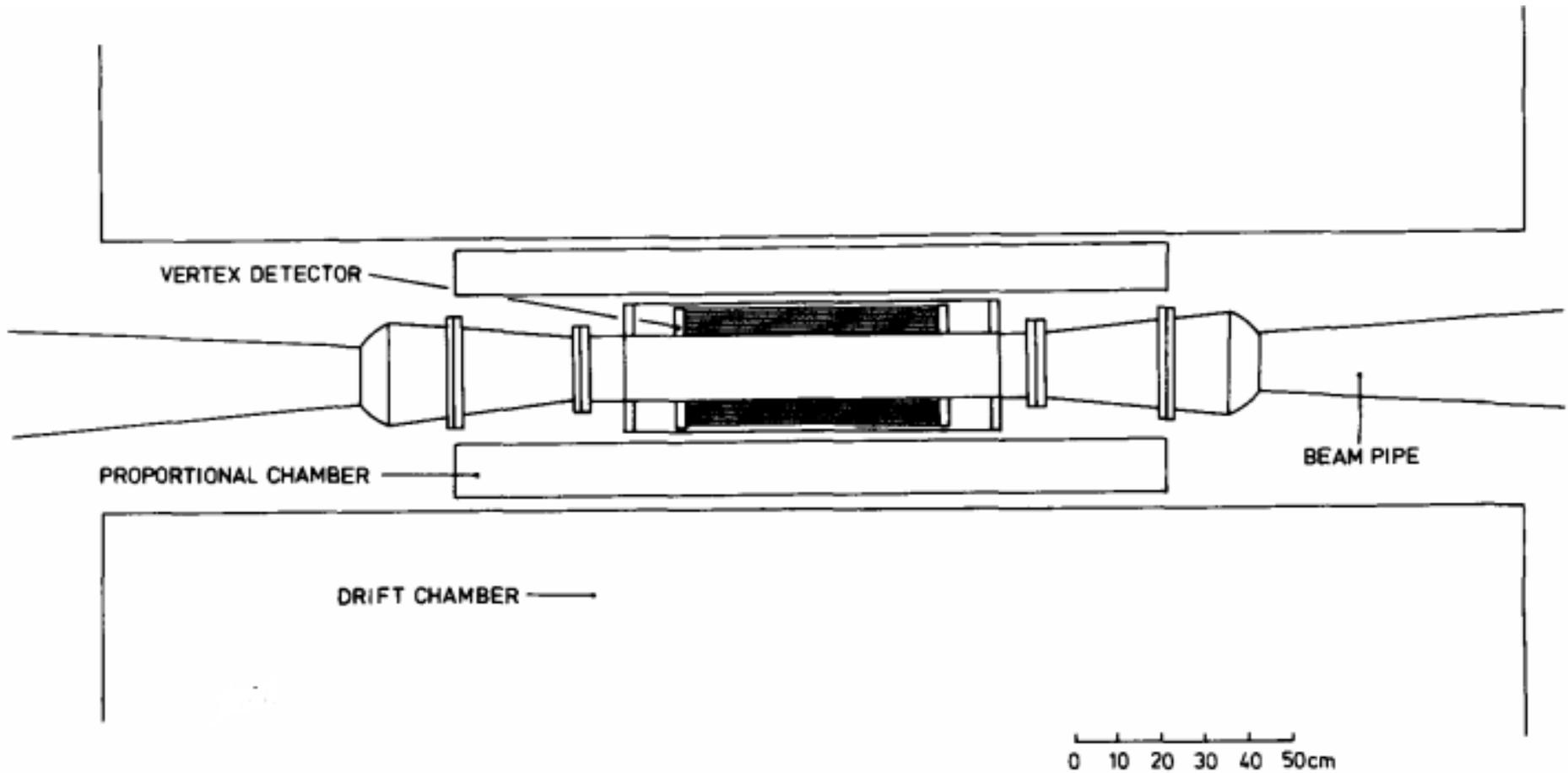
TASSO

PLUTO

PETRA

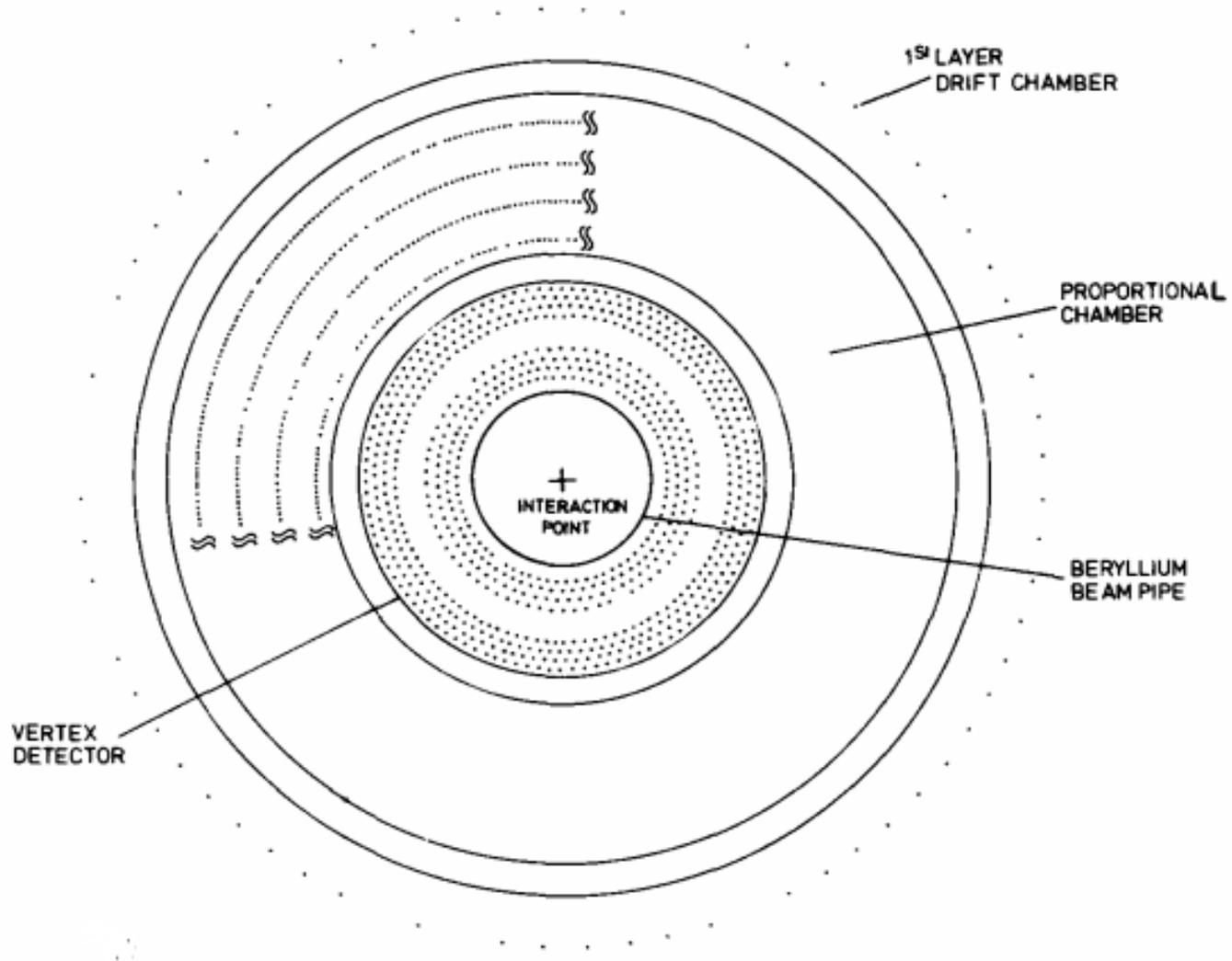
- Bauzeit: 1975-1978
- Ringbeschleuniger mit 2304 m Umfang
- Strahlenergie: 19 GeV
- 1987-2007: Vorbeschleuniger für HERA
- seit 2009: Synchrotron-Röntgenstrahlungsquelle

Der TASSO - Detektor



Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 228 (1985) 267-277: "The TASSO vertex detector", p. 3

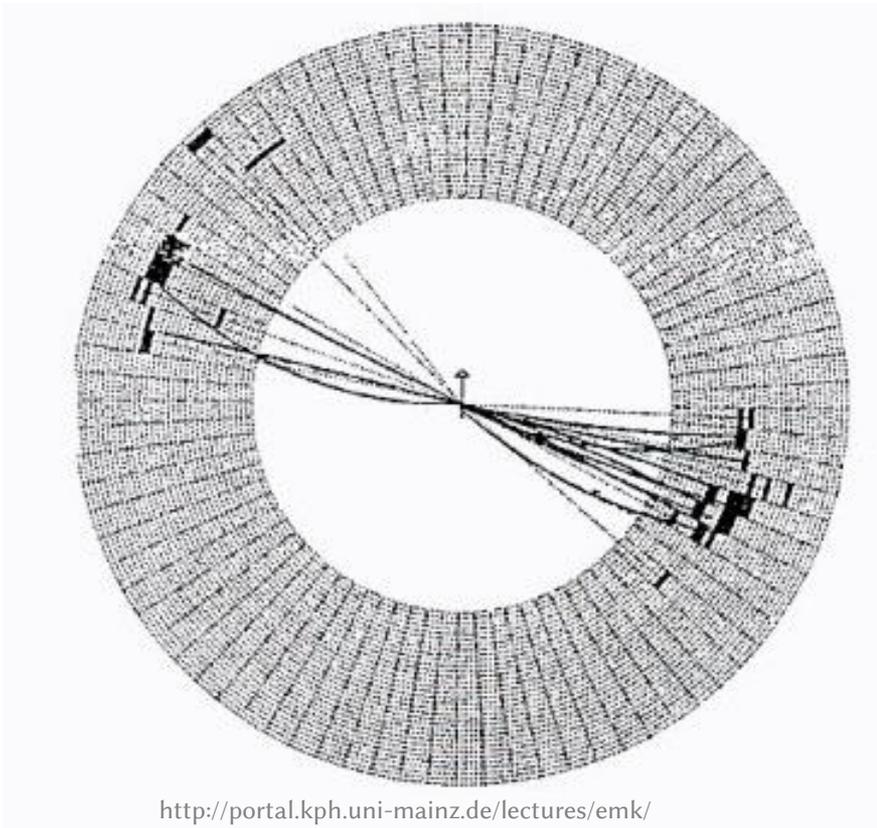
Der TASSO - Detektor



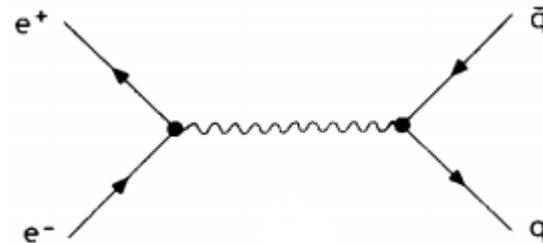
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 228 (1985) 267-277: "The TASSO vertex detector", p. 3

Messprinzip

- $e^+ e^-$ -Annihilation:



<http://portal.kph.uni-mainz.de/lectures/emk/Astroteilchen02/Vorlesung/Kapitel%25202/k042.jpg>

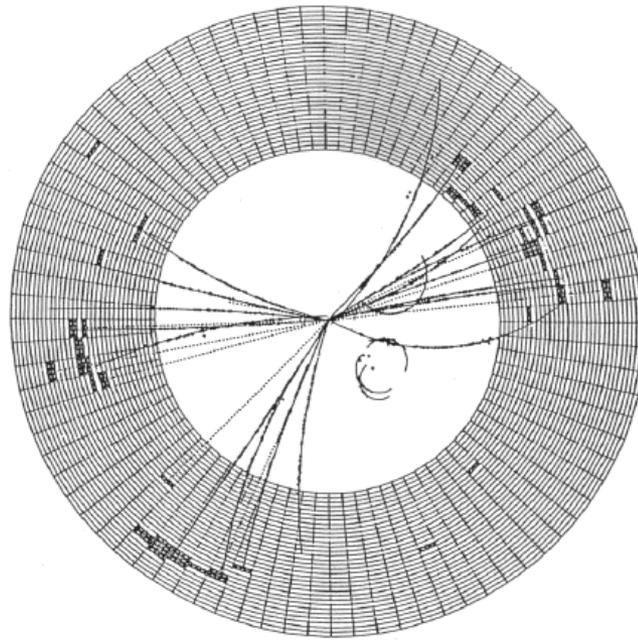


TASSO collaboration, Physics Letters, Vol. 86b no. 2,
24. September 1979: "EVIDENCE FOR PLANAR EVENTS
IN e^+e^- - ANNIHILATION AT HIGH ENERGIES " p. 245

- Produkte nicht farbneutral
→ Hadronisierung der
Produkte in „Jets“

Messprinzip

- Ziel: Beobachten von „3-Jet“-Ereignissen

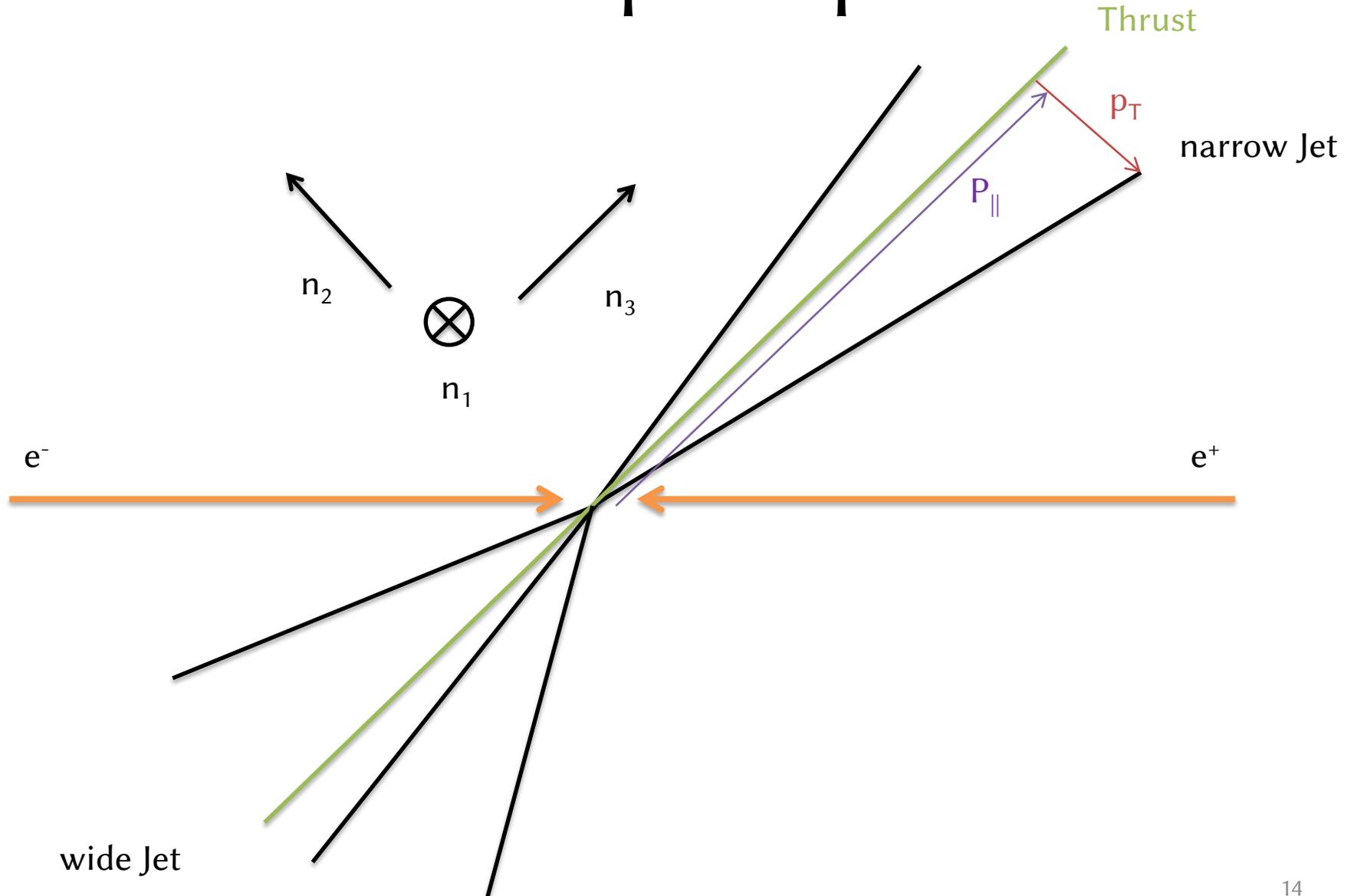


<https://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/news/jade-3j.gif>

*** SUHS (GeV) *** PTOF 35.768 PTRANS 29.954 PLONG 15.788 CHARGE -2
TOTAL CLUSTER ENERGY 15.189 PHOTON ENERGY 4.893 NR OF PHOTONS 11

- Problem: bei $\sim 30\text{-}40$ GeV nur ca. 15% 3-Jet-Ereignisse
- 1979: Quantifizierung von Jets nicht möglich

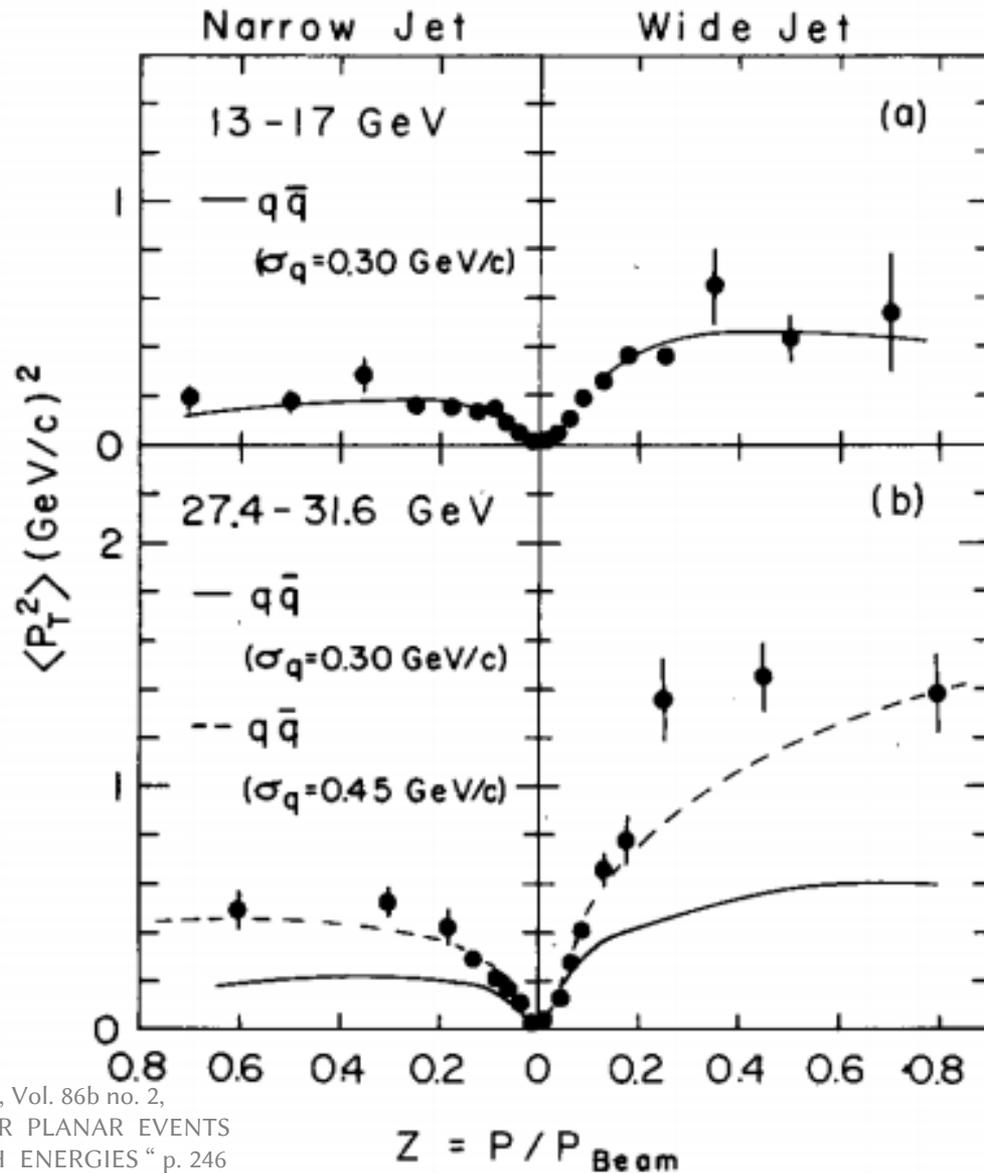
Messprinzip



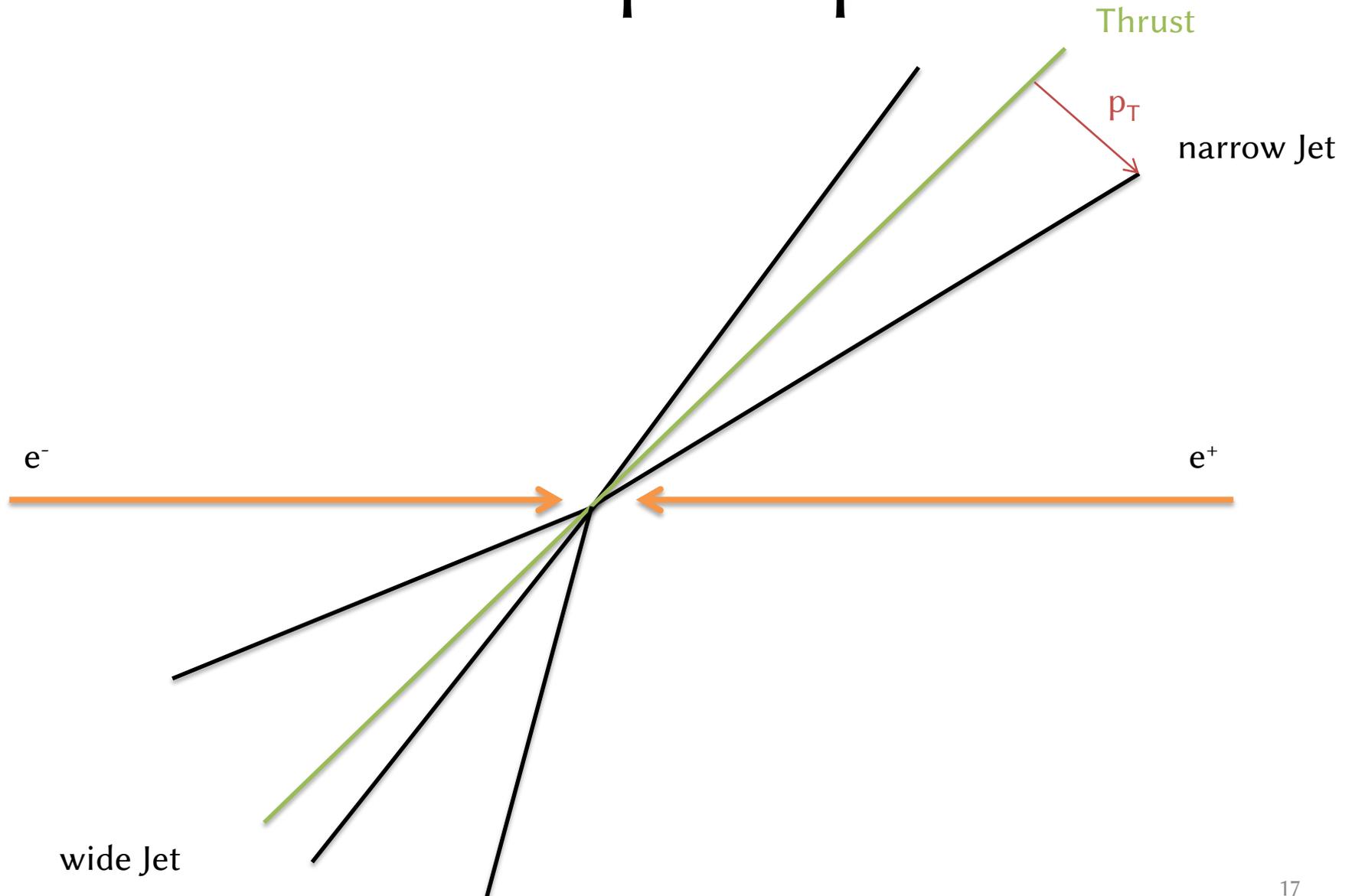
Erwartungen

- 3 Jet Ereignis
- Planares Ereignis
- Verbreiterung der Verteilung der Impulse senkrecht zur Jet-Achse

Ergebnisse – Seagull-Plot



Messprinzip



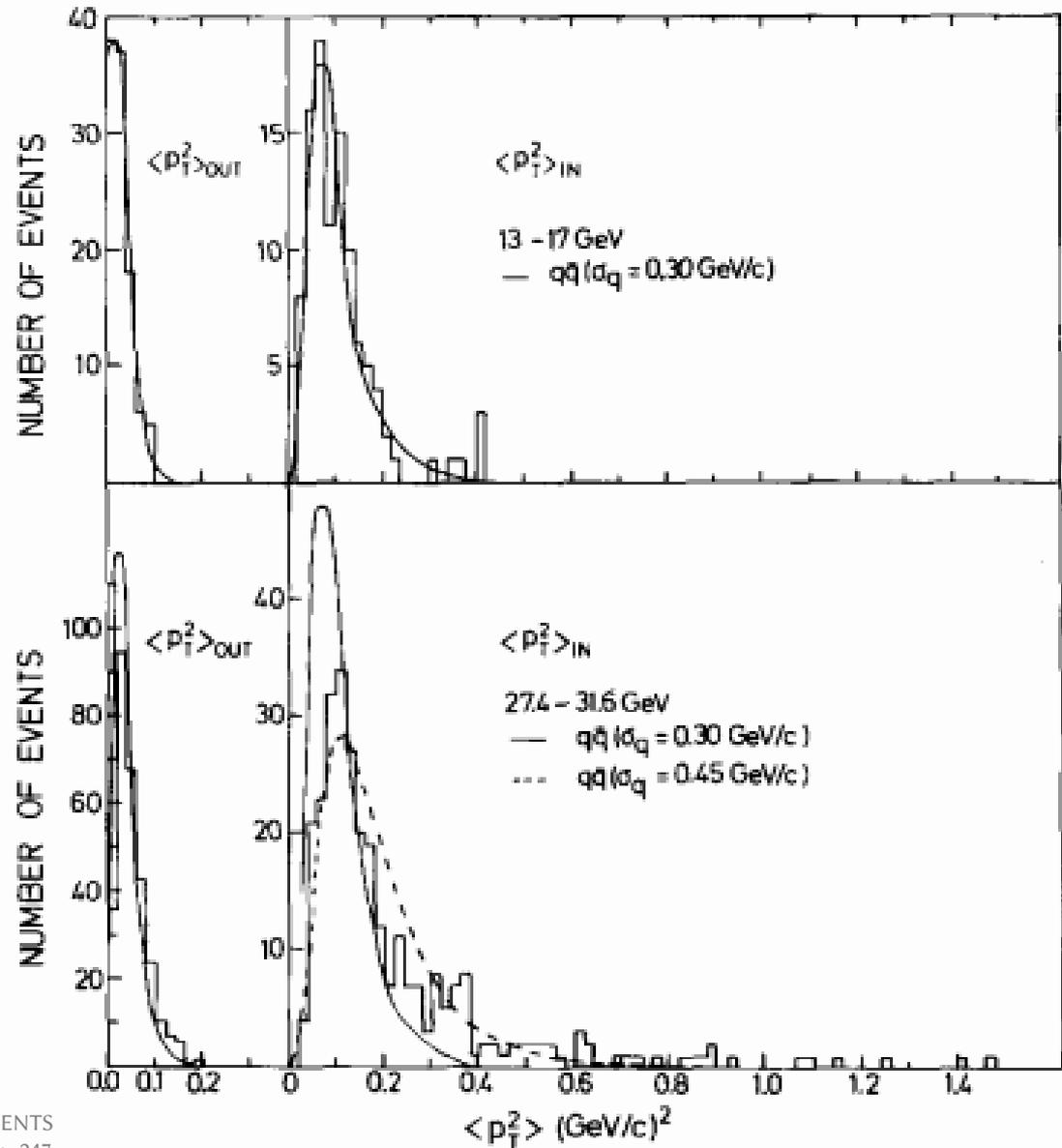
Ergebnisse - Histogramm

$$\langle p_T^2 \rangle_{\text{out}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\mathbf{p}_j \cdot \hat{\mathbf{n}}_1)^2$$

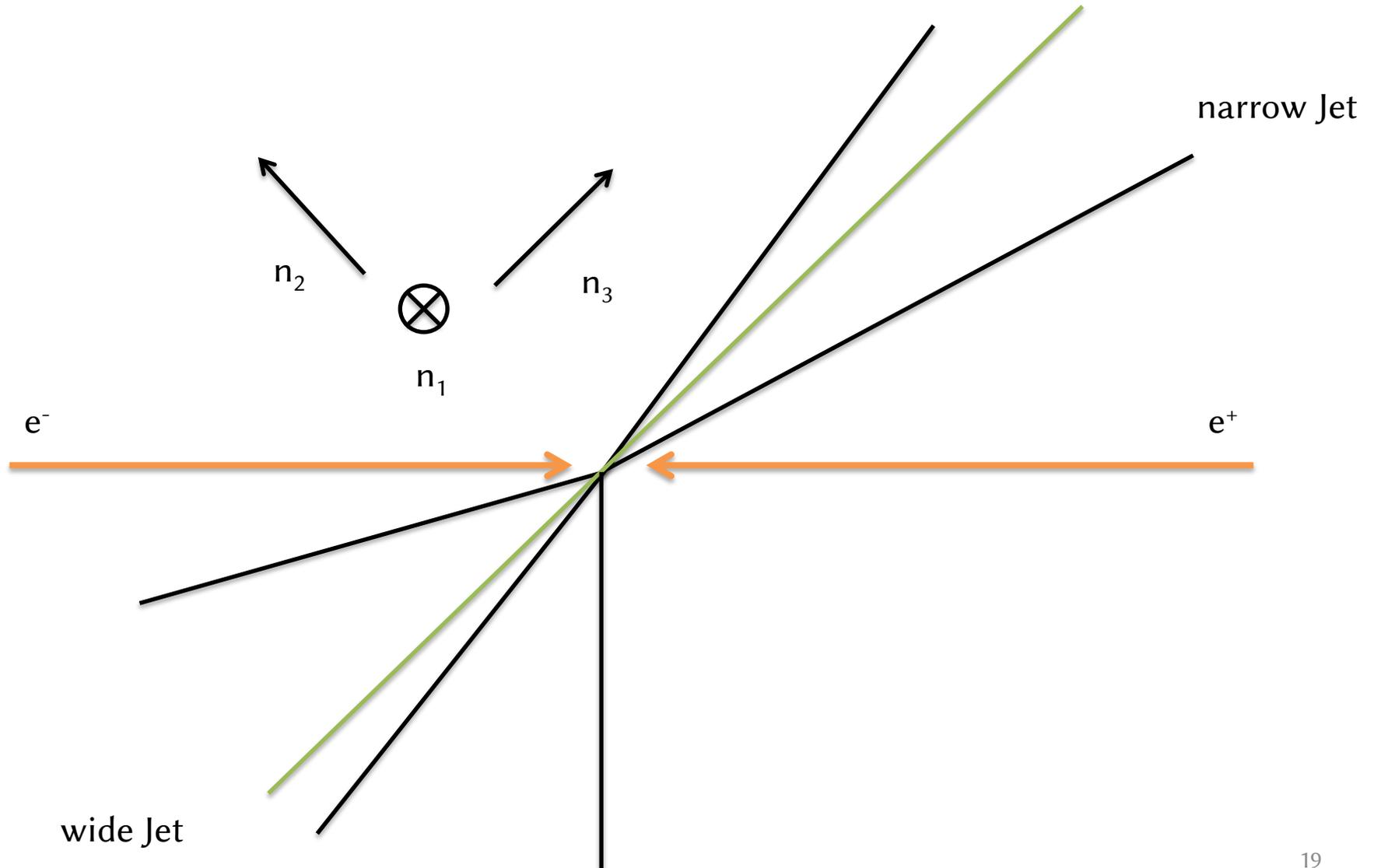
Einheitsvektor senkrecht
zur Eventebene

$$\langle p_T^2 \rangle_{\text{in}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\mathbf{p}_j \cdot \hat{\mathbf{n}}_2)^2$$

Einheitsvektor
in Eventebene
senkrecht zur Jetachse



Messprinzip



Ergebnisse – Zusammenfassung

- Ereignisse liegen in Ebene
- Deutliche Verbreiterung der Jets
- Verbreiterung mit größeren Energien deutlicher
- Folgerung: 3-Jet Ereignisse
- Anderer Quark-Flavours ausgeschlossen

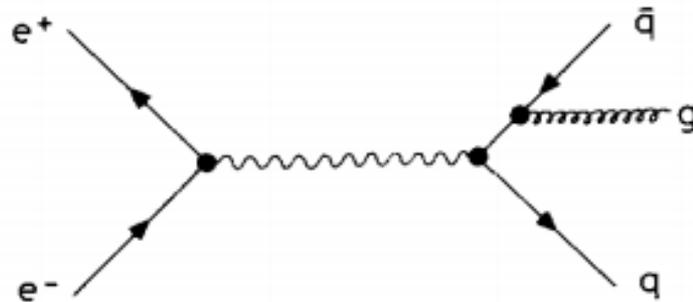
→ Gluon entdeckt

Epilog

- Keine Widerlegung der QCD
- 2. nachgewiesenes Boson
- 1979: JADE, PLUTO und MarkJ bestätigen Entdeckung
- 1980: Bestätigung der Vektorteilchen-Hypothese am DESY
- 1982: 3-Jet Ereignisse am SPS Proton-Antiproton-Collider
- 1995: High Energy and Particle Physics Prize
- Heute: Gluon-Gluon-Kollisionen sind Haupt-Erzeuger für das Higgs Boson (LHC)

... to put it all in a nutshell

- Gluon ist Eichboson der Quantenchromodynamik
- Nachweis 1979 durch die TASSO-Kollaboration
- Betrachtung folgendes Prozesses:



- Detektion von 3-Jet Ereignissen durch Impulsbetrachtung

→ Erkenntnis, was die Welt
„im Innersten zusammenhält“

DANKE
Für eure Aufmerksamkeit

Quellenverzeichnis

- TASSO collaboration. (1979) EVIDENCE FOR PLANAR EVENTS IN e^+e^- - ANNIHILATION AT HIGH ENERGIES . *Physics Letters Vol. 86 b no. 2 p. 243-249.*
- TASSO collaboration. (1985) THE TASSO VERTEX DETECTOR. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research 228 p. 267-277.*
- Ellis, J. (2014) The discovery of the Gluon. World Scientific Review Volume
- PLUTO collaboration. (1979) EVIDENCE FOR GLUON BREMSSTRAHLUNG IN e^+e^- - ANNIHILATION AT HIGH ENERGIES . *Physics Letters Vol. 86 b no. 3,4 p. 418-425.*
- TASSO collaboration. (1979) EVIDENCE FOR PLANAR EVENTS IN e^+e^- - ANNIHILATION AT HIGH ENERGIES . *Physics Letters Vol. 86 b no. 2 p. 243-249.*
- MarkJ collaboration (1979) DISCOVERY OF THREE JET EVENTS AND TEST OF QUANTUM CHROMODYNAMICS AT PETRA. *Physical Review Letters Vol. 43 no. 12 p. 830-833*

- B. Povh, K. Rith, C. Scholz, F. Zetsche (2009): *Teilchen und Kerne*. Heidelberg: Springer Verlag.
- G. Musiol, J. Ranft, R. Reif, D. Seeliger (1995): Kern- und Teilchenphysik. Frankfurt a. M.: Verlag Harri Deutsch
- <http://petra3.desy.de> am 14.11.2014 um 15: 19 Uhr
- http://de.wikipedia.org/wiki/Deutsches_Elektronen-Synchrotron#PETRA am 14.11.2014 um 15:19 Uhr
- http://brock.physik.uni-bonn.de/~brock/teaching/tp1_ss04/chapter07.pdf am 13.11. 19:08 Uhr