

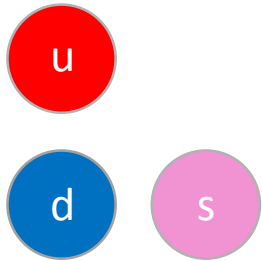
Novemberrevolution

der Physik

Die Entdeckung des J/ψ

Ausgangssituation

- Leptonen: $\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix}$ und $\begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}$
- leichte Quarks



Ausgangssituation

- Leptonen: $\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix}$ und $\begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}$

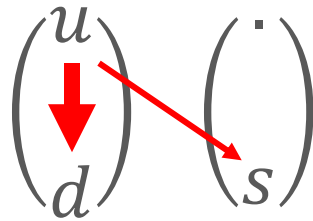
- leichte Quarks

		Q_u	$+2/3e$	$Q_?$
		Q_d	$-1/3e$	Q_s
			$-1/3e$	

- Einteilung in Familien $\rightarrow$ unvollständig

Theoretische Grundlagen

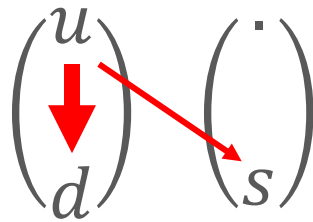
- Flavour-ändernde schwache Zerfälle (W-Austausch)



Pfeil Dicke $\sim$ Häufigkeit

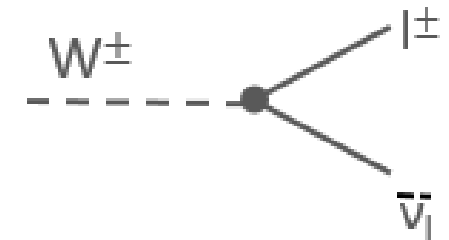
Theoretische Grundlagen

- Flavour-ändernde schwache Zerfälle (W-Austausch)



Pfeil Dicke $\sim$ Häufigkeit

- Leptonen: Kopplungskonstante für alle $\begin{pmatrix} l_i \\ \nu_l \end{pmatrix}$ gleich



- Suche nach Pendant für Quarks

Cabibbo-Theorie 1963

- für schwache WW keine reinen Masseneigenzustände

→ EZ Mischzustand $\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}$

- Drehmatrix um θ_c

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$

- Schwacher (geladener) Vertexfaktor $\sim \cos \theta_c$ oder $\sim \sin \theta_c$
- Vergleich Lebensdauern und Verzweigungs-Verhältnisse

→ $\theta_c = 13^\circ$

GIM-Mechanismus 1970

- Sheldon Lee Glashow
- John Iliopoulos
- Luciano Maiani

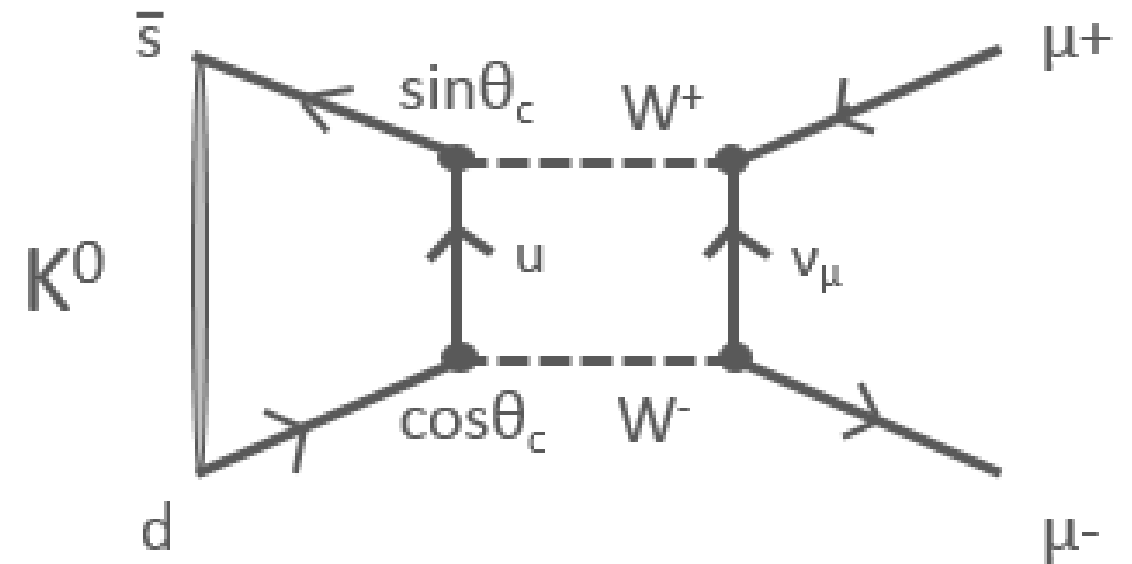
GIM-Mechanismus: Destruktive Interferenz zweier Zerfallskanäle

GIM-Mechanismus 1970

- $K_L^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ unterdrückt:

$$\Gamma(K_L^0 \rightarrow \mu^+\mu^-) / \Gamma(K_L^0 \rightarrow \text{alle}) \approx 10^{-8}$$

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$



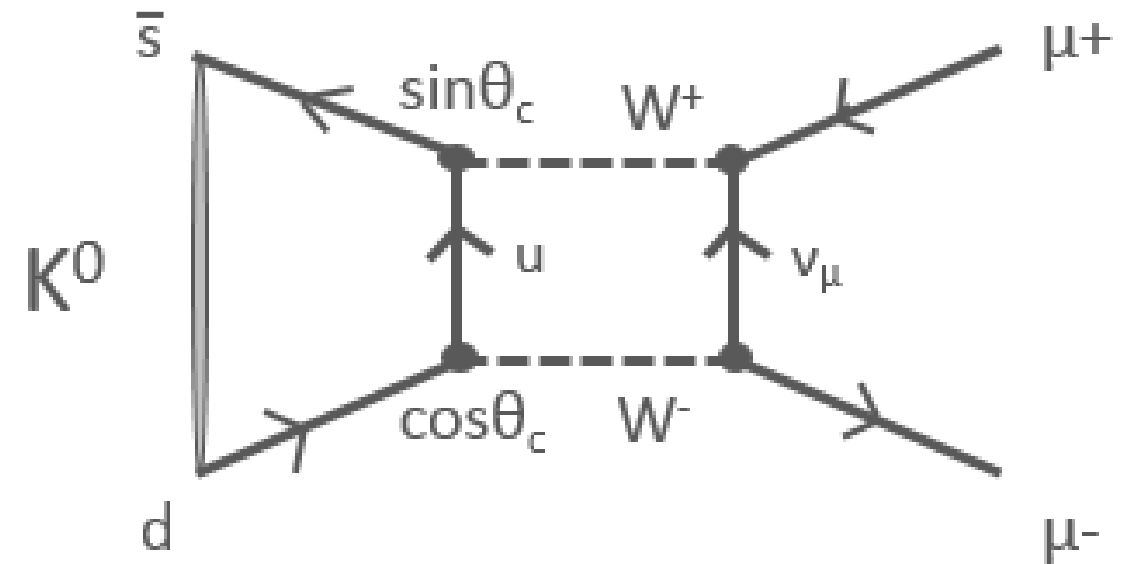
GIM-Mechanismus 1970

- $K_L^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ unterdrückt:

$$\Gamma(K_L^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) / \Gamma(K_L^0 \rightarrow \text{alle}) \approx 10^{-8}$$

- $M \propto \cos\theta_c \sin\theta_c$
- Keine Erklärung für Unterdrückung
- Vermutung weiterer Zerfallskanal $\rightarrow$ destruktive Interferenz

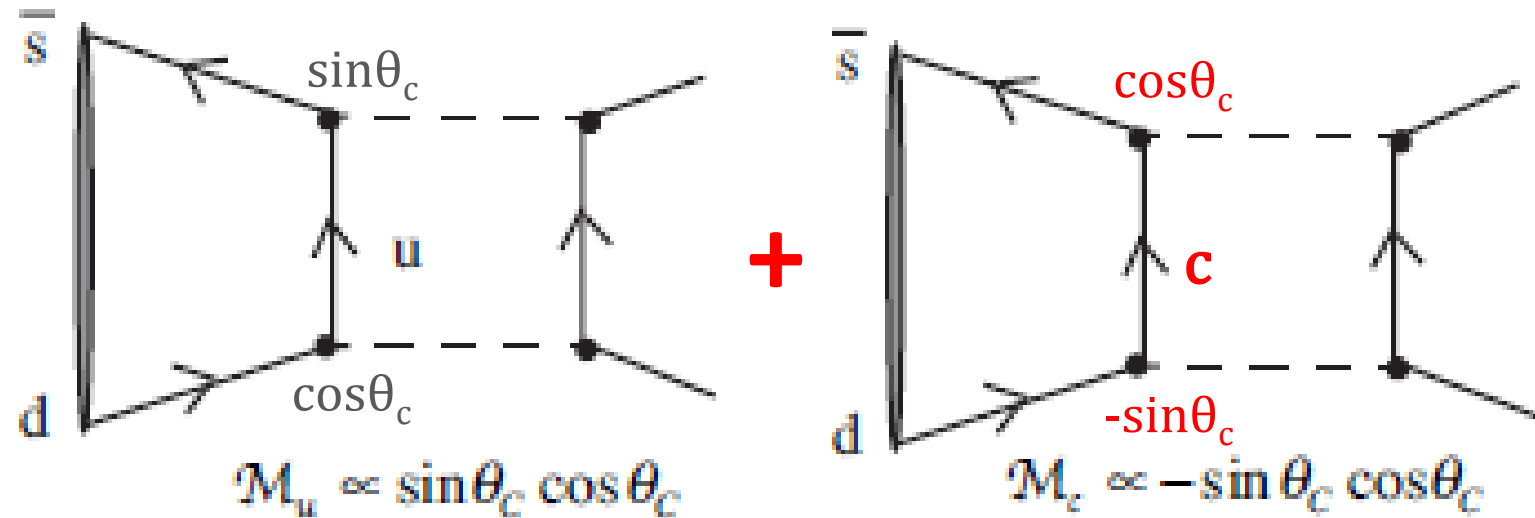
$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_c & \sin\theta_c \\ -\sin\theta_c & \cos\theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$



GIM-Mechanismus 1970

- GIM: Einführung Charm-Quark
- Schwacher Strom $\rightarrow \begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}$ und $\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}$

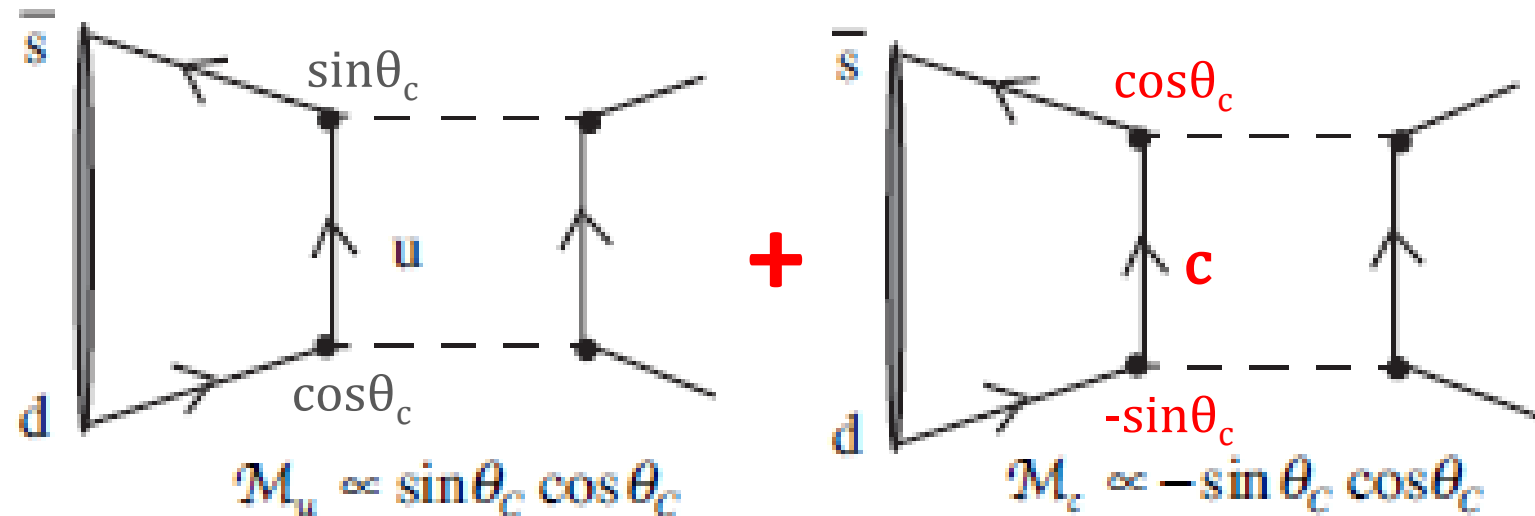
$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$



GIM-Mechanismus 1970

- GIM: Einführung Charm-Quark
- Schwacher Strom $\rightarrow \begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}$ und $\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}$

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$

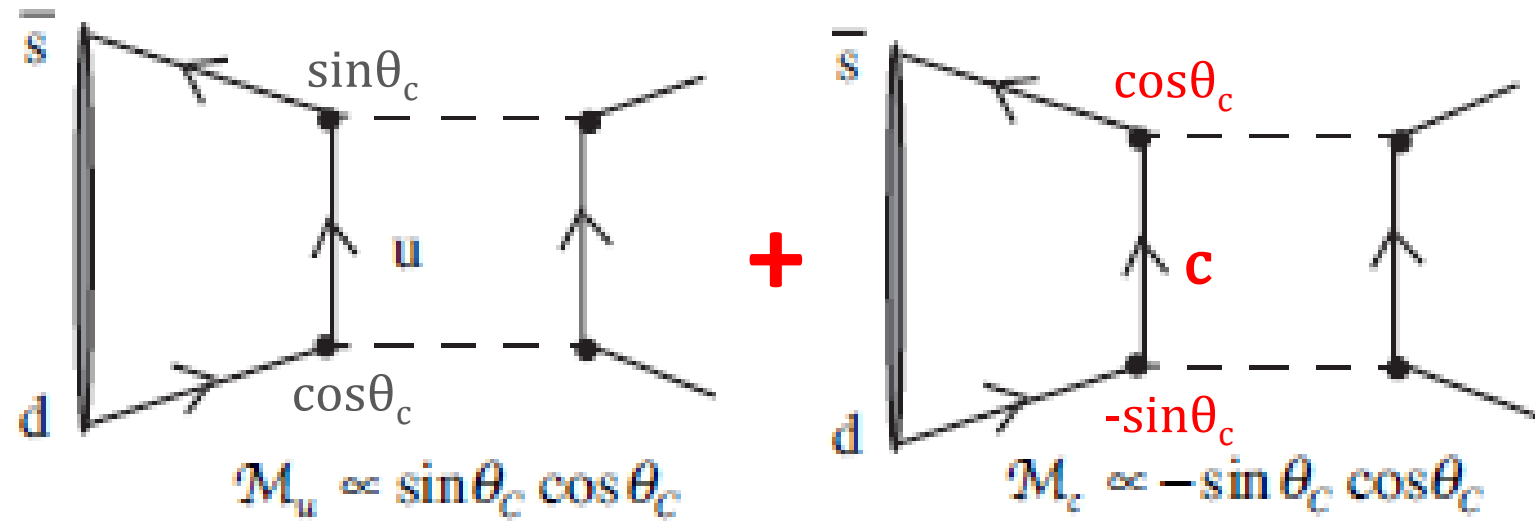


1. $m_c \equiv m_u \quad M_{\text{ges}} = 0$
2. $m_c \gg m_u$
 M_{ges} unterdrückt

GIM-Mechanismus 1970

- GIM: Einführung Charm-Quark
- Schwacher Strom $\rightarrow \begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}$ und $\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}$

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_c & \sin \theta_c \\ -\sin \theta_c & \cos \theta_c \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \end{pmatrix}$$



$$1. \quad m_c \equiv m_u \quad M_{\text{ges}} = 0$$

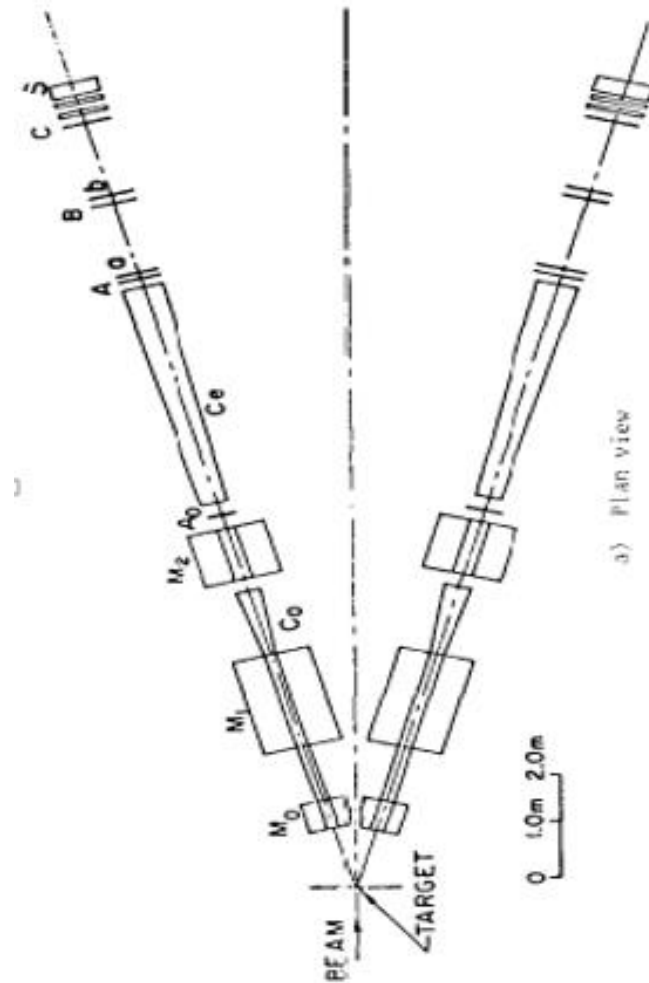
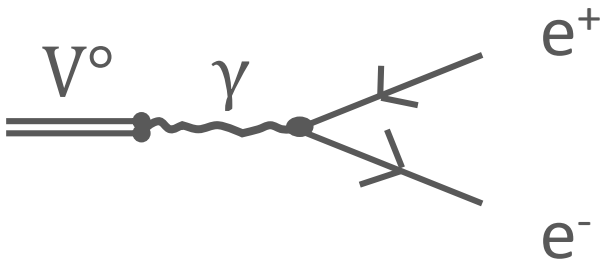
$$2. \quad m_c \gg m_u$$

M_{ges} unterdrückt

$$m_c \approx 1-3 \text{ GeV}$$

Aufbau Ting-Experiment

Untersuchung:



15 m

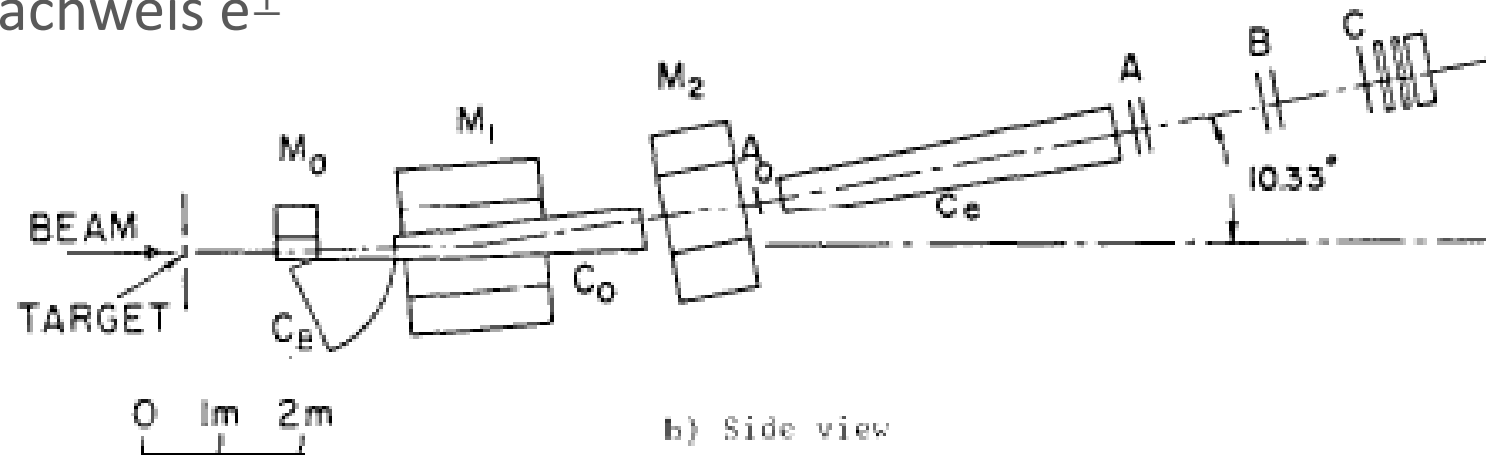


Fig. 8. Over-all view of the detector.

Aufbau Ting-Experiment

- Target: 9 x 1,78mm Beryllium
- Magneten: $\rightarrow p_i$ und θ_{ee} unabhängig
- Drahtkammern
- Čerenkov-Zähler: v_T für Zeitmessung
- Kalorimeter: Nachweis $e^\pm$

Seitenansicht



Ergebnisse BNL

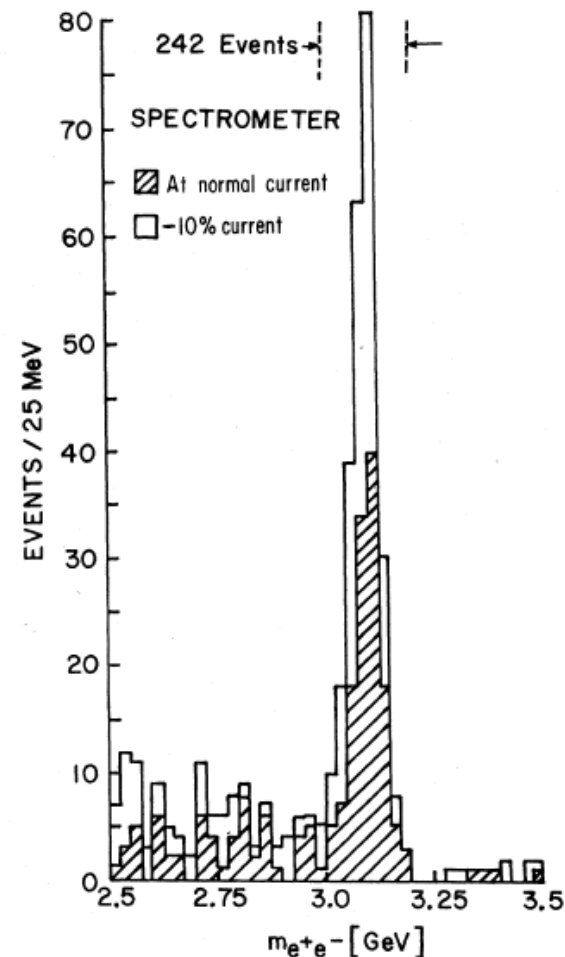


FIG. 2. Mass spectrum showing the existence of J .

Massenspektrum:
Schmaler Peak bei

$$m = 3,1 \text{ GeV}$$
$$\Gamma \leq 5 \text{ MeV}$$

für verschiedene B-Felder

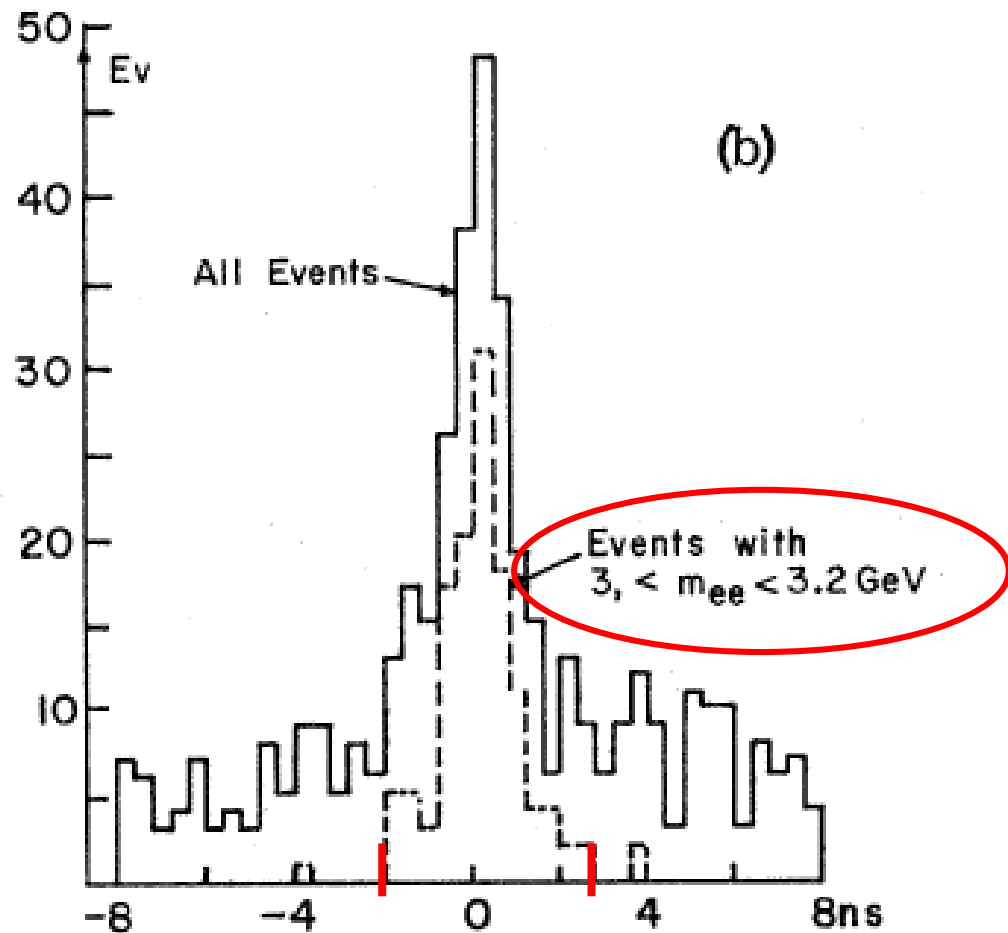
Verluste wg. Bremsstrahlung

Ergebnisse BNL

Time of Flight Spektrum e^+e^-

Überprüfung der Koinzidenz

→ e^+e^- aus einem Zerfall



Überprüfungen

1. Lage des Peaks unabhängig von B-Feld
2. Ausschluss nur kombinatorischer Untergrund
 - Signal x 2 $\rightarrow$ Ausbeute x 4 (2 x e^+ & 2 x e^-)
3. Verschiedene Spannungen an Zählern
4. Unterschiedliche Strahl-Intensitäten



Entdeckung eines schweren Teilchens

$$J \rightarrow e^+e^-$$

Experiment unter Richter

- e^+e^- Kollisionen in einem Speicherring
- E_{cm} fast komplett in Teilchenerzeugung
- Scan über Schwerpunkts-Energie E_{cm}



SLAC SPEAR

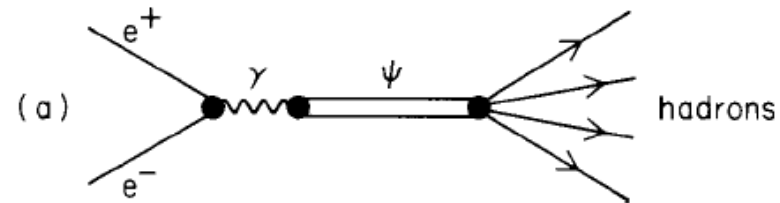
SLAC: Stanford Linear Accelerator Center

SPEAR: Stanford Positron Electron Accelerating Ring

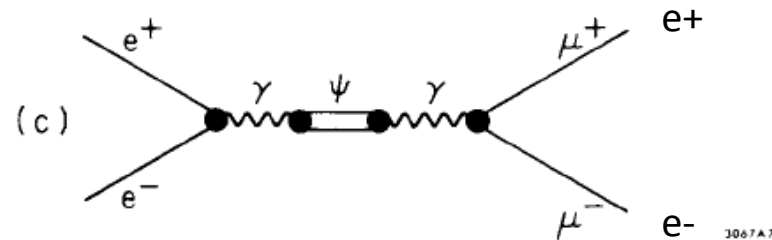
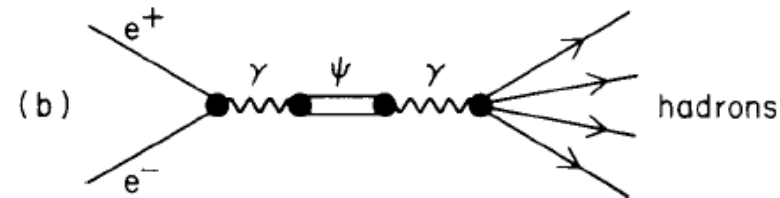
- E_{cm} : 2,6 bis 8 GeV
- Beobachtungen des Wirkungsquerschnitts in Abh. der E_{cm}
- $e^+e^- \longrightarrow \text{Hadronen}$ $e^+e^- \longrightarrow \mu^+\mu^-$ $e^+e^- \longrightarrow e^+e^-$

Untersuchte Prozesse

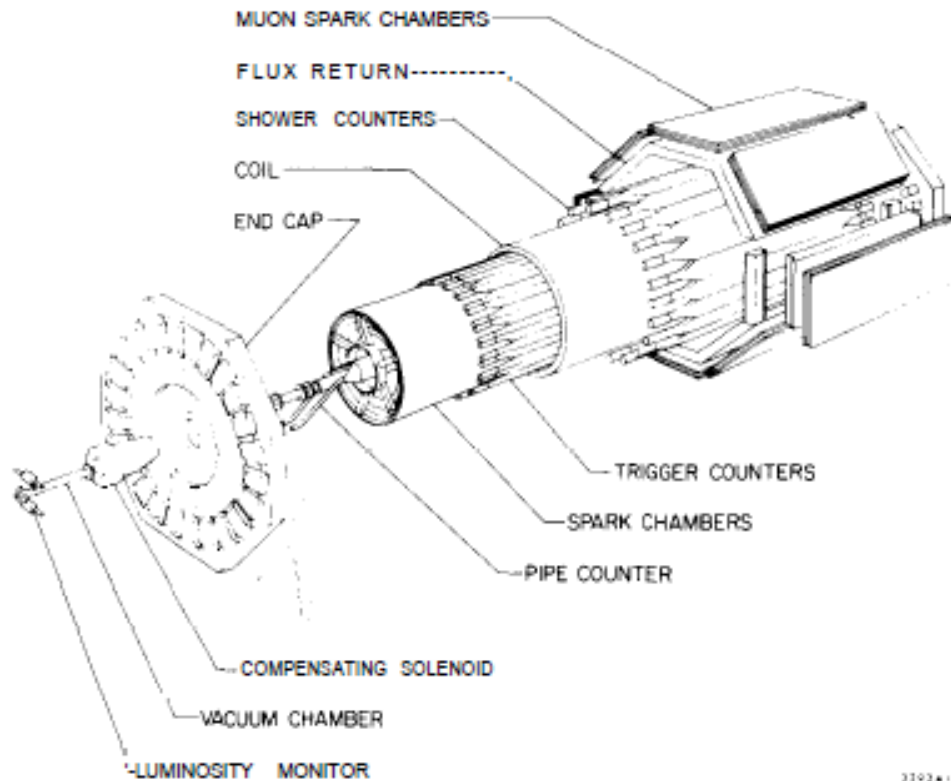
1. Direkter Zerfall



2. Indirekter Zerfall



Mark I Magnetic Detector



2. An exploded view of the SLAC-LBL magnetic detector.

- Erster 4π Detektor
- Typische Schalenstruktur
- Entdeckung τ - Lepton

Ergebnisse SLAC

Wirkungsquerschnitt $\sigma(E_{\text{cm}})$

Zerfälle

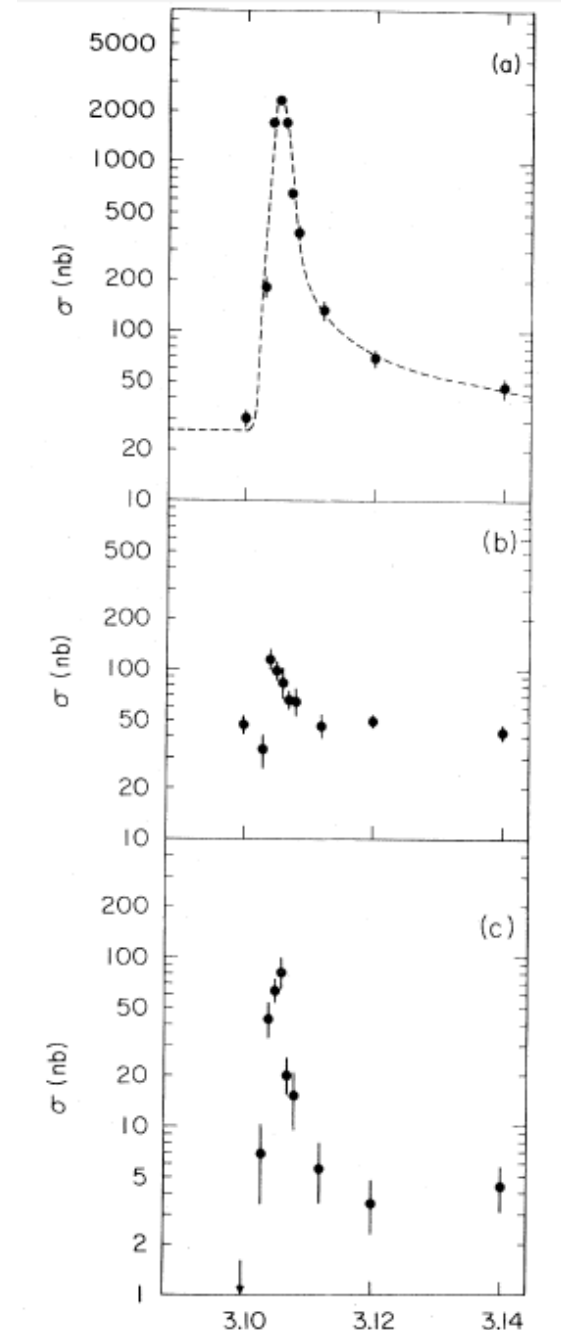
a) Multi-Hadron

b) e^+e^-

c) $\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$ und K^+K^-

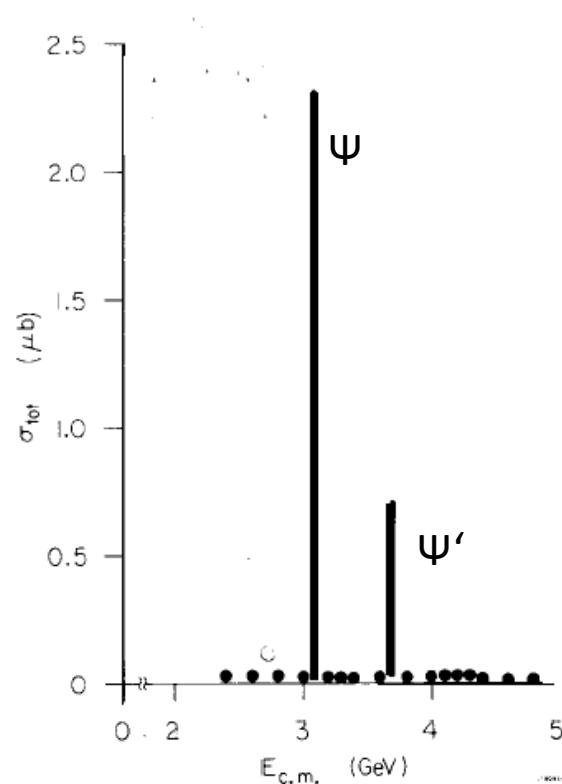
Deutliche Resonanz:

$$E = 3.105 \pm 0.003 \text{ GeV}$$
$$\Gamma \leq 1,3 \text{ MeV}$$



Ergebnisse SLAC

Gesamte Skala:



- weitere Resonanz $\Psi' = 3,684$ GeV
- extrem schmal $\rightarrow$ lange Lebensdauer
- gemessene Breiten wegen ΔE des Strahls
- wirkliche Breiten:

$$\Gamma(\Psi) = 69 \pm 13 \text{ keV}$$

$$\Gamma(\Psi') = 225 \pm 56 \text{ keV}$$

$\tau(\Psi) \gg \tau$ (anger. bekanntes Meson) $\Rightarrow$ neues Meson

4. The total cross section of hadron production vs. center-of-mass energy.

Vergleich der beiden Experimente

Ting (丁肇中) BNL J

- Fixed - Target Experiment
- $p + \text{Be} \rightarrow J + X \quad J \rightarrow e^+ + e^-$
- Rekonstruktion invar. Masse
 $E = 3,1 \text{ GeV}$
 $\Gamma \leq 5 \text{ MeV}$

Richter SLAC SPEAR $\Psi(3105)$

- e^+e^- Kollisionen
- $e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \Psi \rightarrow \begin{matrix} \text{Hadronen} \\ e^+e^- \\ \mu^+\mu^- \end{matrix}$
- Scan über Schwerpunkts-Energie
 $E = 3.105 \pm 0.003 \text{ GeV}$
 $\Gamma \leq 1,3 \text{ MeV}$

Identisches Teilchen

Vergleich der beiden Experimente

Ting (丁肇中) BNL J

- Fixed - Target Experiment
- $p + \text{Be} \rightarrow J + X \quad J \rightarrow e^+ + e^-$
- Rekonstruktion invar. Masse
 $E = 3,1 \text{ GeV}$
 $\Gamma \leq 5 \text{ MeV}$

Richter SLAC SPEAR ψ(3105)

- e^+e^- Kollisionen
- $e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \Psi \rightarrow \begin{matrix} \text{Hadronen} \\ e^+e^- \\ \mu^+\mu^- \end{matrix}$
- Scan über Schwerpunkts-Energie
 $E = 3.105 \pm 0.003 \text{ GeV}$
 $\Gamma \leq 1,3 \text{ MeV}$

Identisches Teilchen



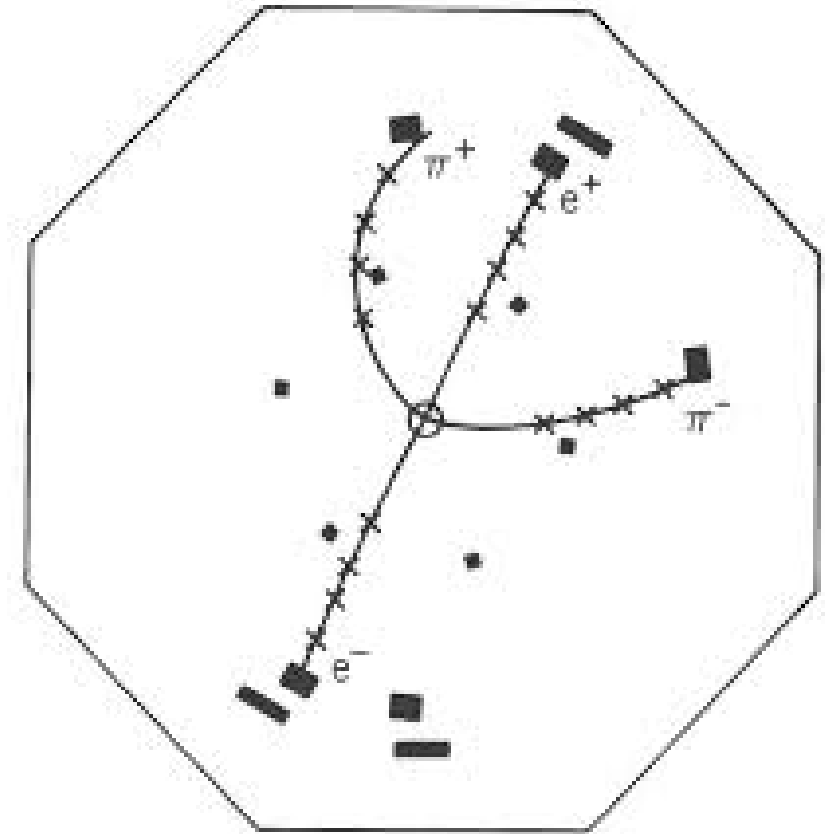
J/ψ

Klassifizierung des J/ψ heute

Klassifikation	Boson, Meson, Hadron
Ladung	neutral
Spin ^{Parität}	1 ⁻
Masse	3096,916 MeV/c ²
Lebensdauer	7,09(21) 10 ⁻²¹ s
Wechselwirkungen	Elektromagnetisch, stark, schwach, Gravitation
Quark-Zusammensetzung	Charm und Anti-Charm

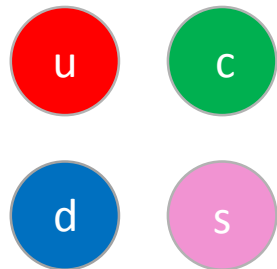
Charmonium Zustände

- Gebundenes System Charm und Anti-Char
- Viele weitere Zustände
- Analogie zum Positronium
- $\psi'(3700) = \psi(2S)$ (erster angeregter Zustand)
2 Wochen nach $\psi(1S) = J/\psi$
 - Zerfällt zu 50% in $\psi\pi\pi$



4-Quark Modell

- Abschluss der 2. Quark Familie
- $Q_{\text{charm}} = +2/3e$
- $m_{J/\Psi} \approx 3100 \text{ MeV} \rightarrow m_c \approx 1550 \text{ MeV} \gg m_u$



m_u ca. 2,3 MeV

m_c ca. 1550 MeV

m_d ca. 4,8 MeV

m_s ca. 95 MeV

(m nicht eindeutig)

- Neue Charm QZ erklärt lange Lebensdauer
- Zerfall nur über schwache WW in s- oder d-Quark

Nobelpreis 1976

Samuel C. C. Ting



Burton Richter



"for their pioneering work in the discovery of a heavy elementary particle of a new kind"

Referenzen

- J. J. Aubert et al., „Experimental Observation of a Heavy Particle J“, Physical Review Letters, Vol. 33, S. 1404 (1974).
- J. - E. Augustin et al., „Discovery of a Narrow Resonance in e+e- Annihilation“, Physical Review Letters, Vol. 33, S. 1406 (1974).
- Samuel Ting, Nobel Lecture, 11 December, 1976 „The discovery of the J particle“
- Burton Richter, Nobel Lecture, 11 December, 1976 „From the Psi to Charm – The Experiments“
- C. Bacci et al., „Preliminary Result of Frascati (ADONE) on the Nature of a New 3.1 GeV Particle Produced in e+e- Annihilation“, Physical Review Letters, Vol. 33, S. 1408 (1974)
- Glashow, Iliopoulos, Maiani, " Weak Interactions with Lepton-Hadron Symmetry", Physical Review Letters, Volume 2, Number 7 (1970)
- Povh, Bogdan: Teilchen und Kerne, 9. Auflage, 2014
- Berger, Christoph: Elementarteilchenphysik, Heidelberg, 2002
- Martin, Brian R. u.a.: Particle physics, 3. Auflage, 2008
- Demtröder, Wolfgang: Experimentalphysik 4 : Kern-, Teilchen- und Astrophysik, Heidelberg, 2010
- A. Rubbia, Teilchenphysik II&III WS 01/02-SS02
- H. Kolanoski: Einführung in die Kern- und Elementarteilchenphysik, Skript HU Berlin, 2007/2008
- F. Gilman: The November Revolution, Talk at SLAC, 1984
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Mark_I_\(detector\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mark_I_(detector)) Stand: 17.11.2014
- <http://pdg.lbl.gov/2014/listings/rpp2014-list-J-psi-1S.pdf> Stand 19.11.2014

Bildquellen

- A. Rubbia, Teilchenphysik II&III WS 01/02-SS02
- <http://www.slac.stanford.edu/history/revphotos.shtml> (Stand 16.11)
- Aufbauten und Messergebnisse siehe Nobel Lectures und Phys. Rev. Lett. bei Referenzen
- www.nobelprize.org
- <http://backreaction.blogspot.de/2008/12/jpsi-resonance.html>
- http://www.slac.stanford.edu/history/bios/faust_joe.shtml