

Schlüsselexperimente der Teilchenphysik
Die Entdeckung des J/ψ

Naida Dzigal
Betreuerin: Prof. Dr. Johanna Stachel
Universität Heidelberg

07.05.2010

Inhalt

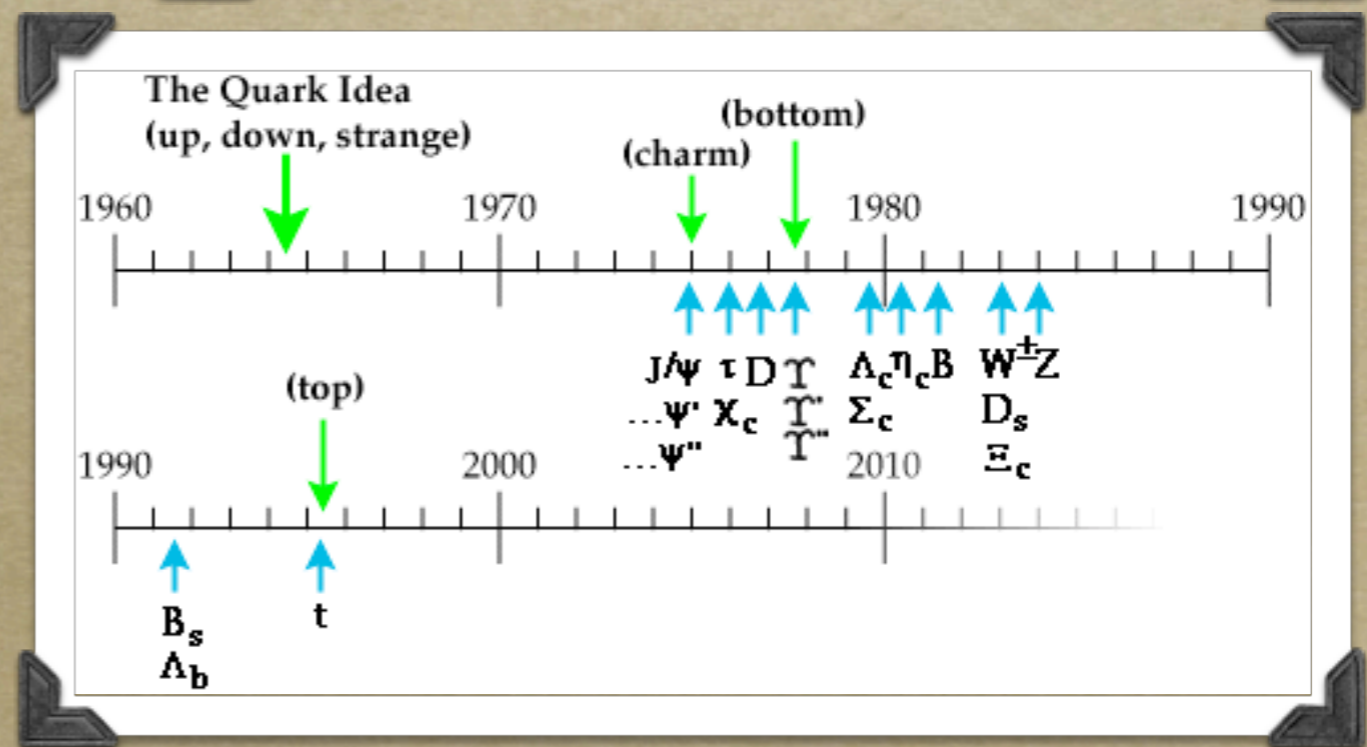
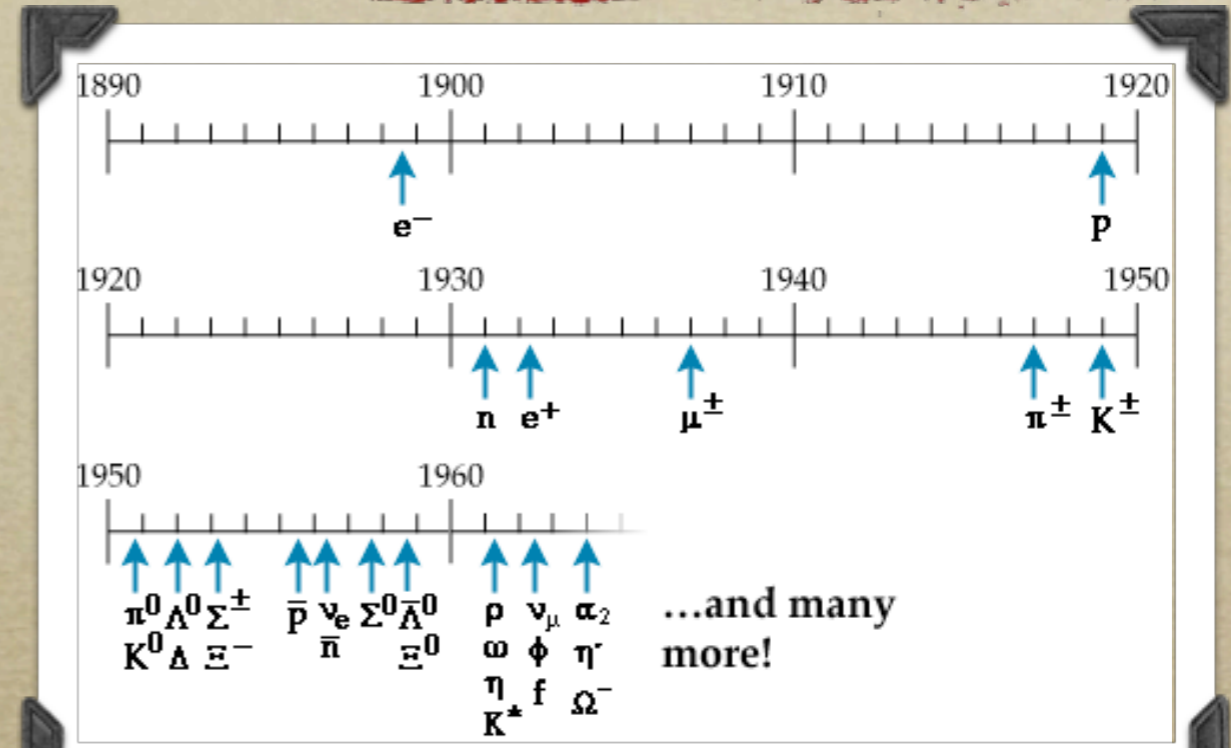
- Überblick
- Historisches
- J Teilchen
- ψ Teilchen
- Frascati bestätigt Brookhaven und SLAC Resultaten
- Verpasste Entdeckung
- Psi und seine angeregter Zustände (Charmonium)
- Nobel Preis 1976

Überblick

- Die Entdeckung ist auch bekannt als die ‘November Revolution’
- 2 verschiedene Experimente mit denen 2 Gruppen dasselbe Teilchen entdeckt haben
- Das J/ψ gebundener Zustand von den Charm und Anticharm Quarks
- 11 November 1974
- das ganze hat die Quark Theorie bestätigt
- Ting und Richter haben sich den Nobel Preis 2 Jahre später geteilt

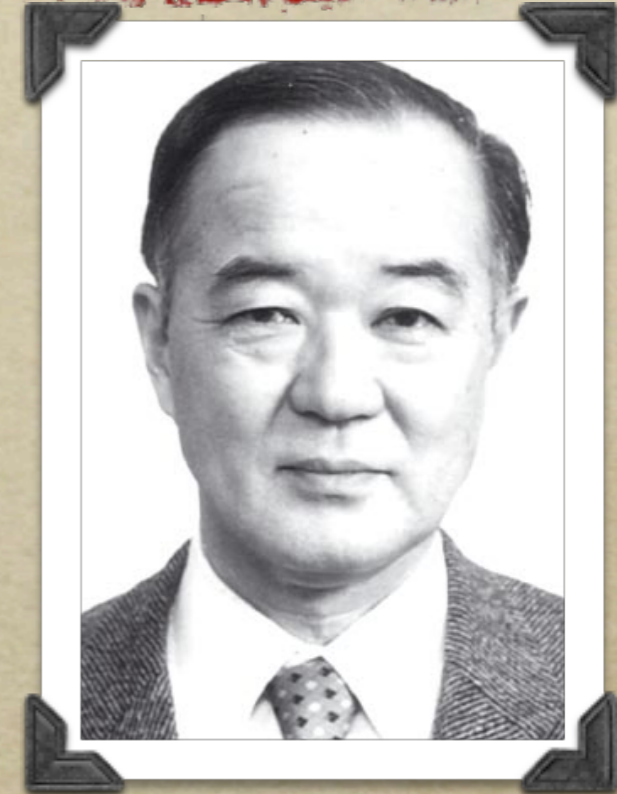
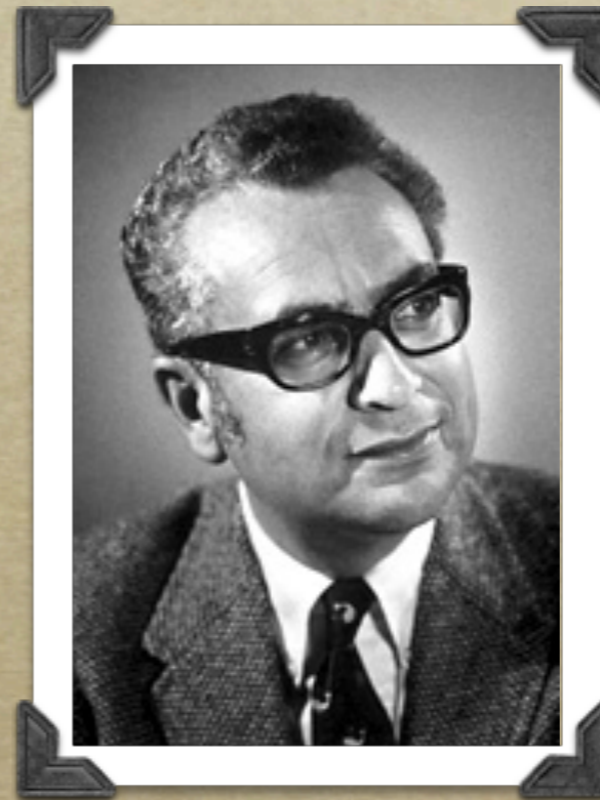
Historisches

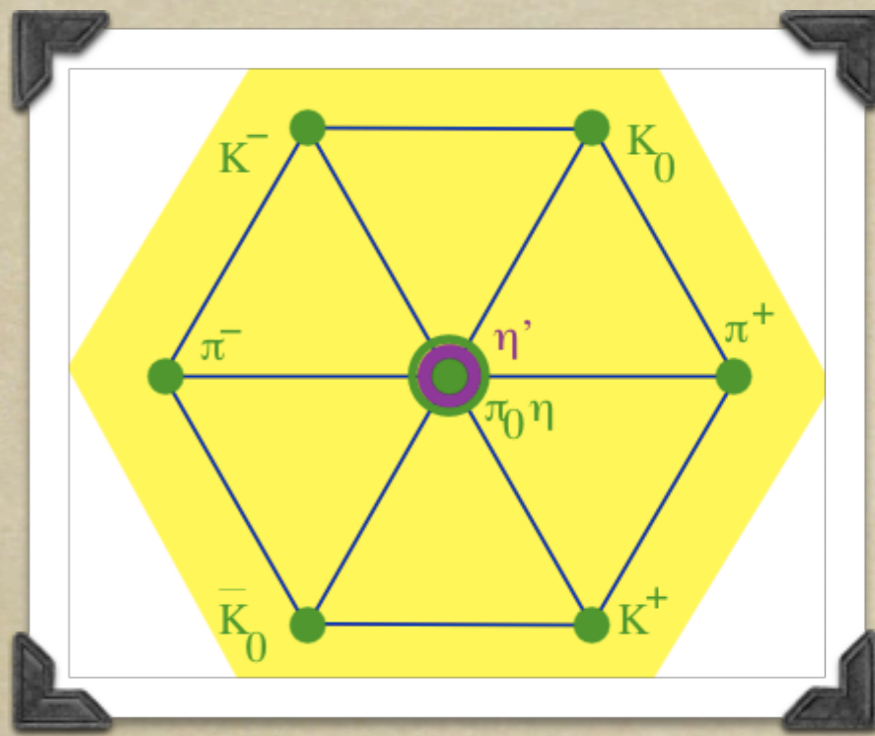
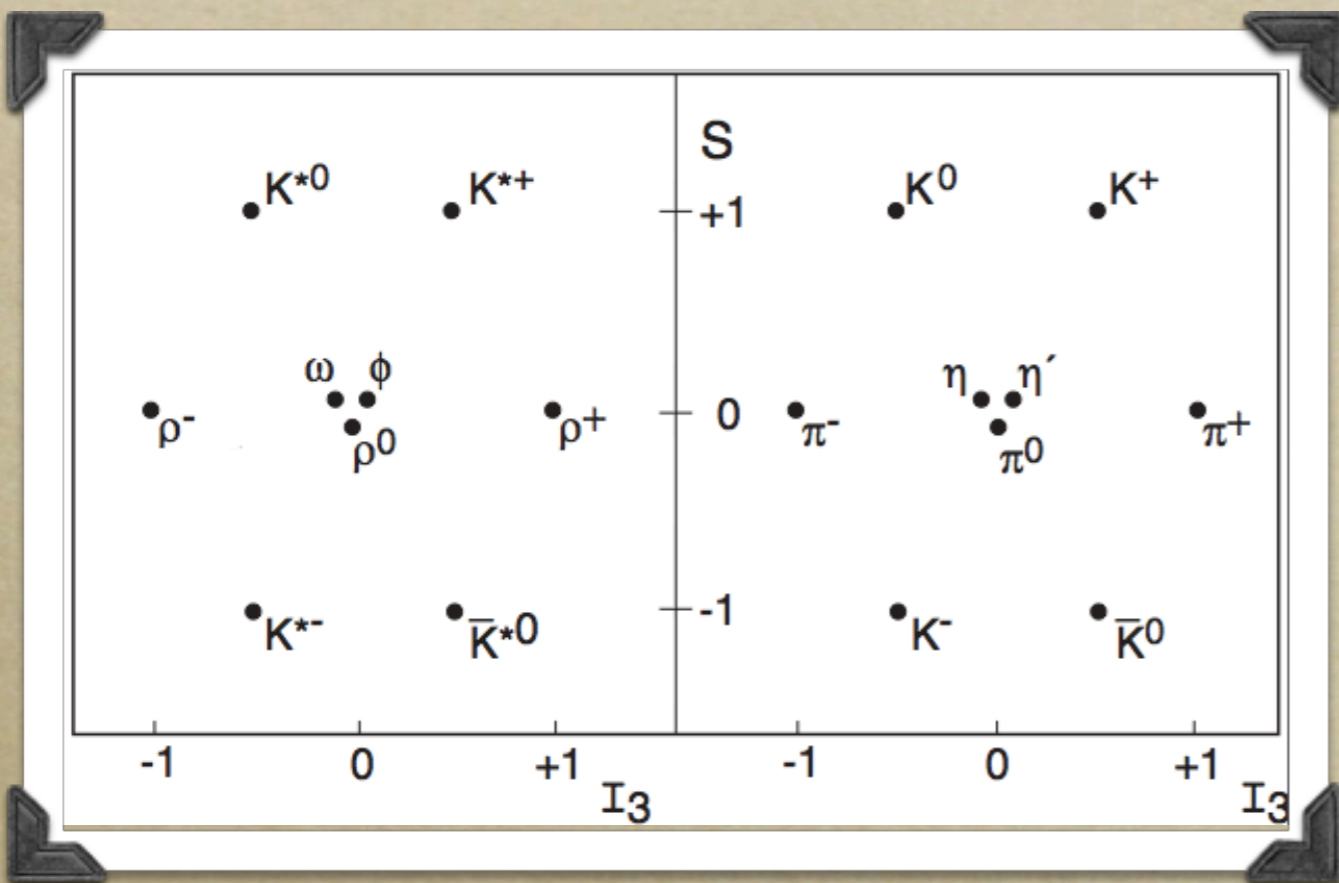
- Teilchenphysik geboren mit der Entdeckung des Elektrons
- Proton 20 Jahre später
- Neutron, Positron, usw bis zu mitte 50ger..
- Quark-Modell
- Revolution mitte 70ger mit der Entdeckung des J/ψ



Quark Modell I

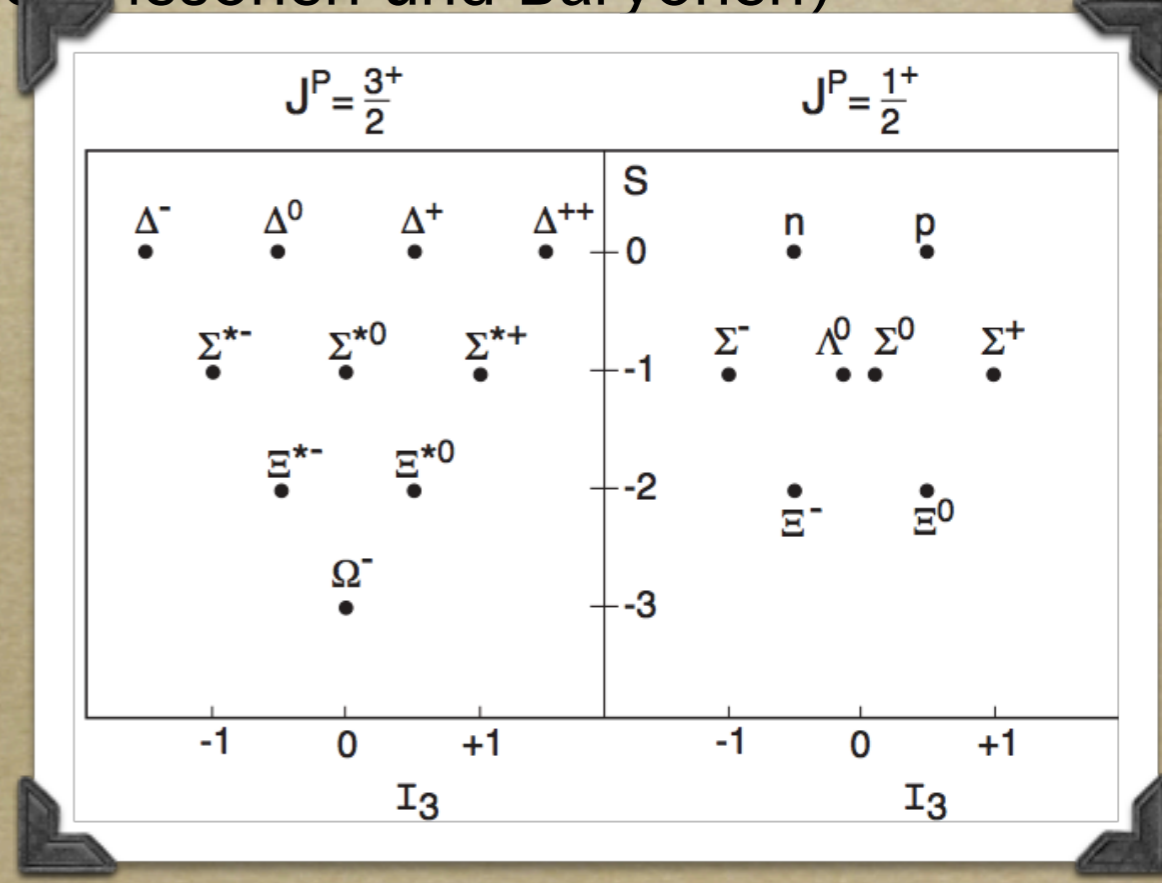
- Hadronen 1961: Murray Gell-Mann und Kazuhiko Nishijima
- 'The Eightfold Way'
- Quark Modell 1964: Gell-Mann und Zweig (unabhängig voneinander)
- Quarks oder Asse (Eng: Aces)?
- Wichtige Beiträge von Neeman und Zweig
- Spin $\frac{3}{2}$ Ω Baryon war eine Voraussage des Modells





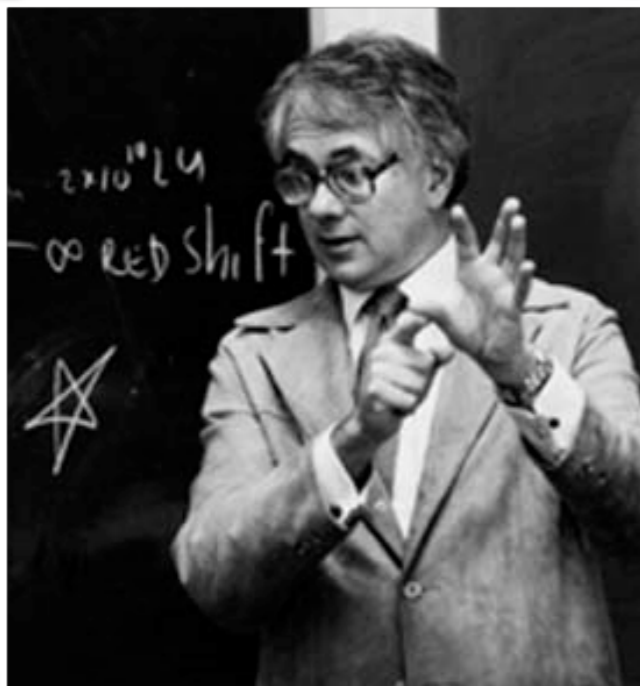
Quark Modell II

- 1930-1960: zu viele Teilchen! -> Teilchenzoo (Mesonen und Baryonen)
- ‘Achfacher Weg’ und Multipletts
- Kombinationen: 3 Quarks und 3 Antiquarks
- Confinement
- heute: 6 Quarks und 6 Antiquarks



Neues Quark Modell mit Charm

- Glashow, Iliopoulos, Maiani (Harvard), 1970
- 4-Quark Modell
- GIM Mechanism (der Grund, der zur Vorhersage des Charm-Quarks führte)
- unterstützt von 'alten' (Gell- Mann, Weinberg und Glashow) wie auch 'jüngeren' (De Rujula, Ellis und Gaillard) Physikern



Warum 4ter Quark?

- GIM Mechanism (nach Sheldon Glashow, J. Iliopoulos and L. Maiani: 1970)

- ‘The extra quark is the simplest modification of the usual model.’

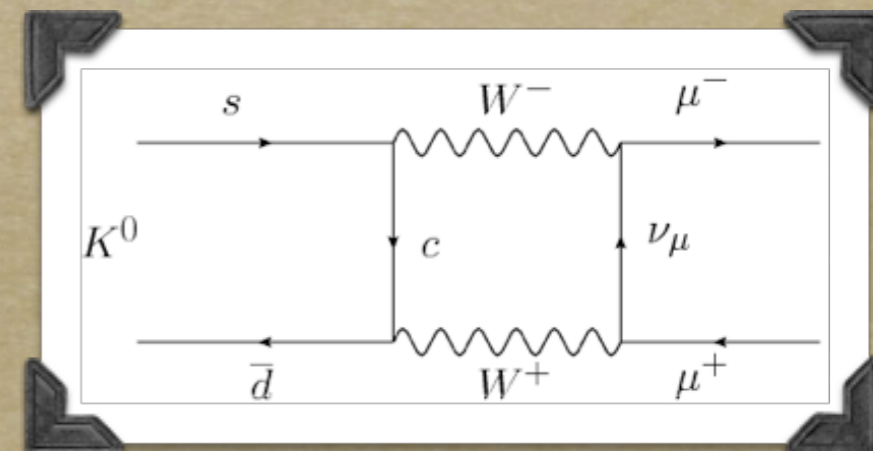
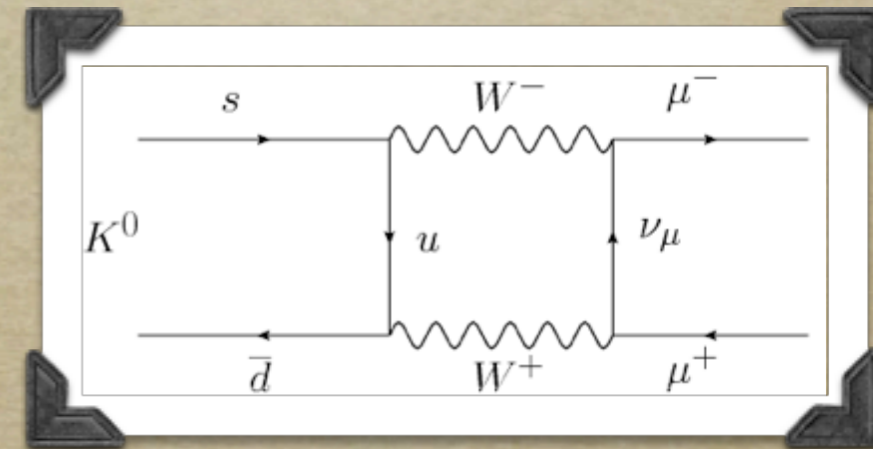
- attraktiv: 1-1 Korrespondenz zw. Leptonen (4 bekannt) und Quarks (4 mit Charm)

- Ein Problem war die Erklärung des folgenden gemessenen Verhältnises ->

- Zerfall ist stark unterdrückt

- zwei Zerfallskanäle die destruktiv miteinander interferieren

$$\frac{\Gamma(K_L^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-)}{\Gamma(K_L^0 \rightarrow \text{alle})} = (9.1 \pm 1.9) \times 10^{-9}$$

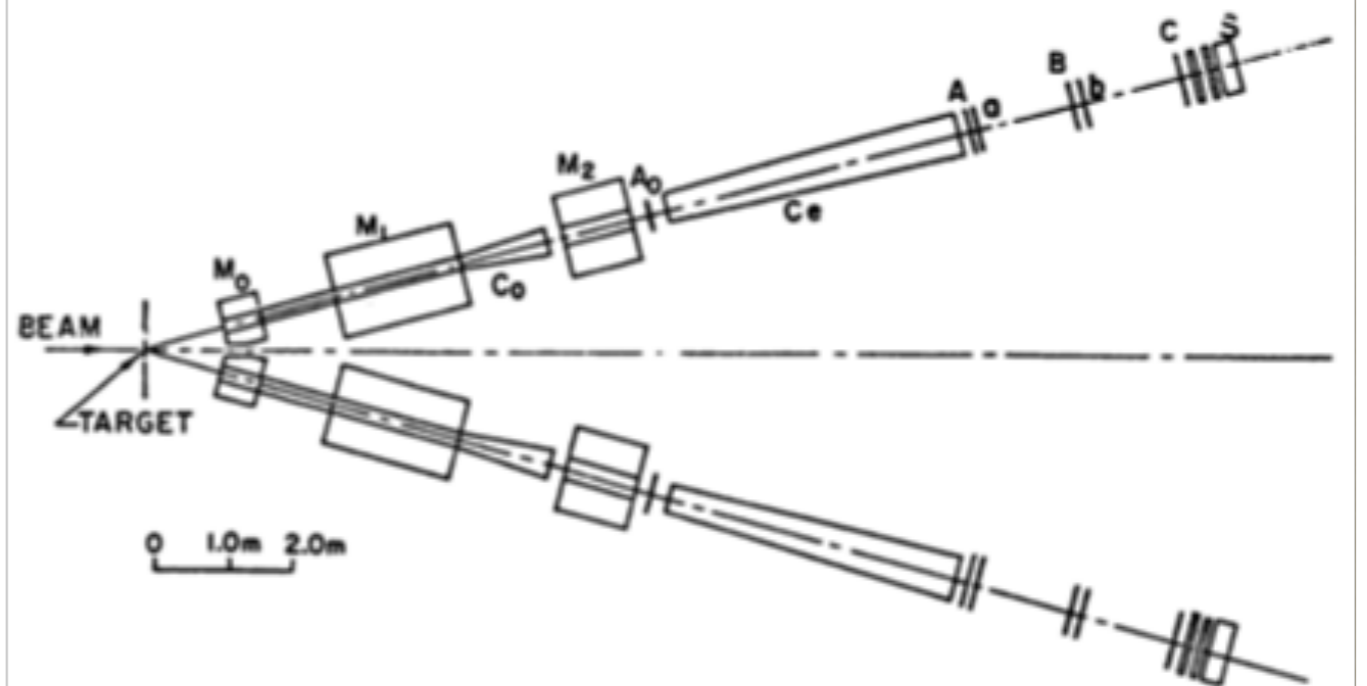
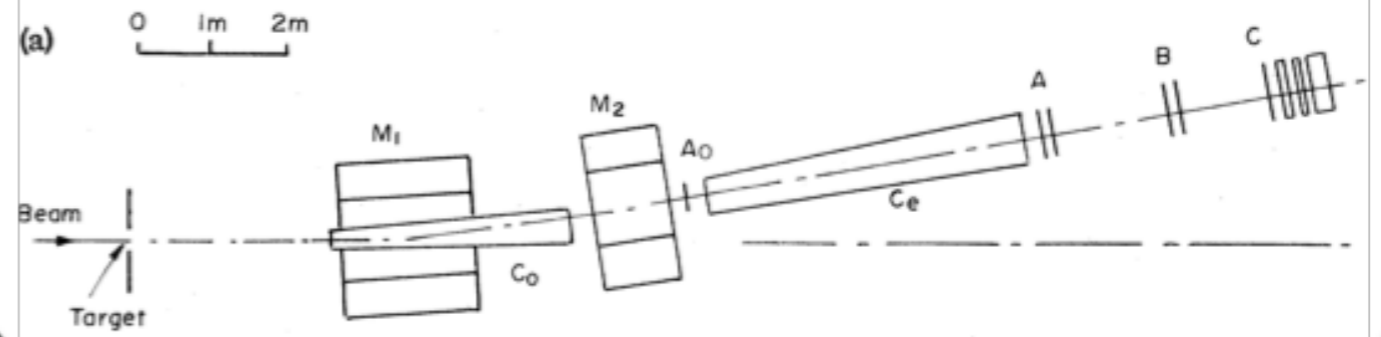


J Entdeckung I

- Brookhaven National Laboratory
- Samuel Ting
- Sie haben e^+e^- Paare aus $p + Be$ Kollisionen produziert
- Protonen-Strahl auf Beryllium-Target
- $p + Be \rightarrow ? + X \rightarrow e^+ + e^- + X$

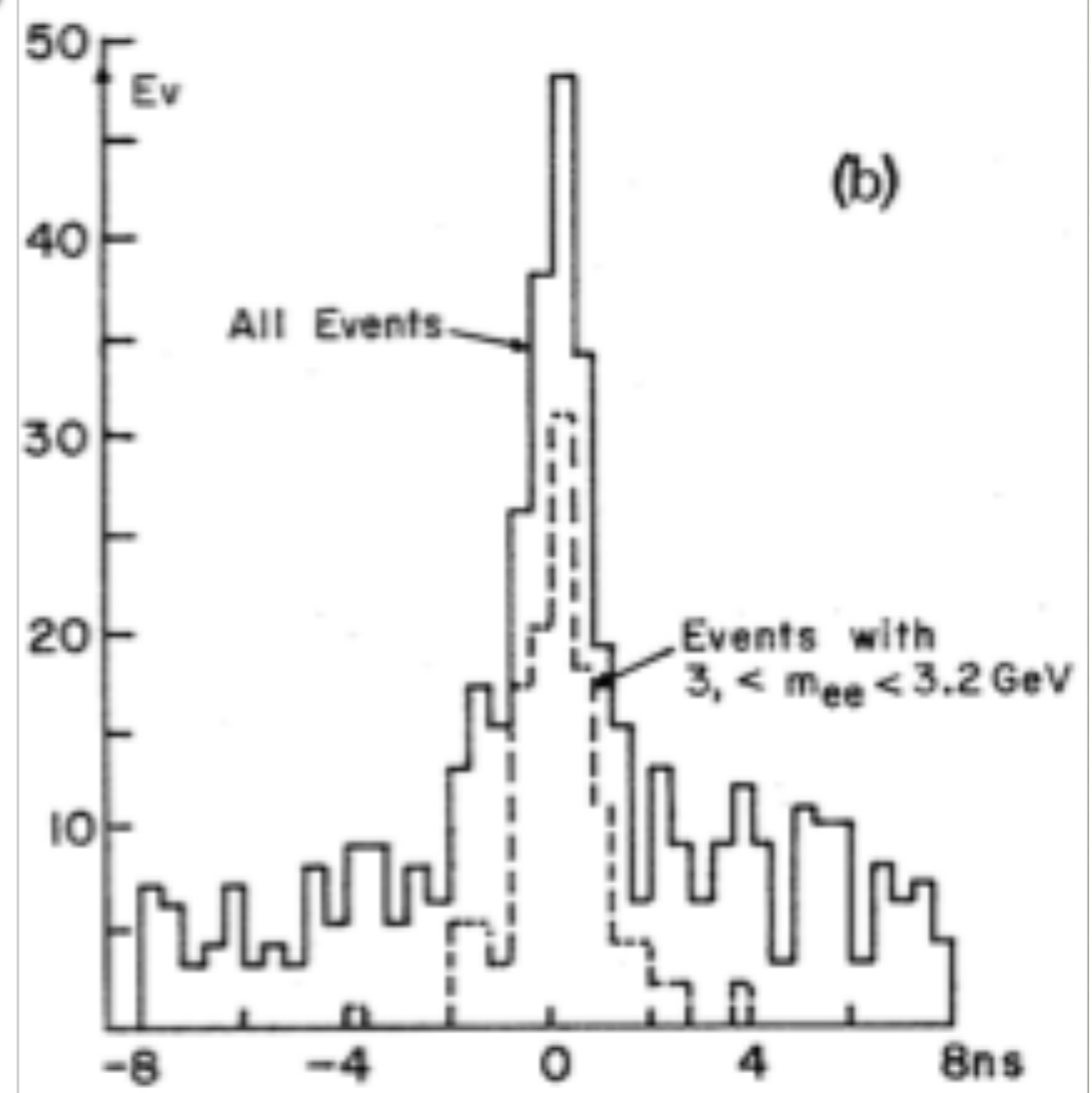
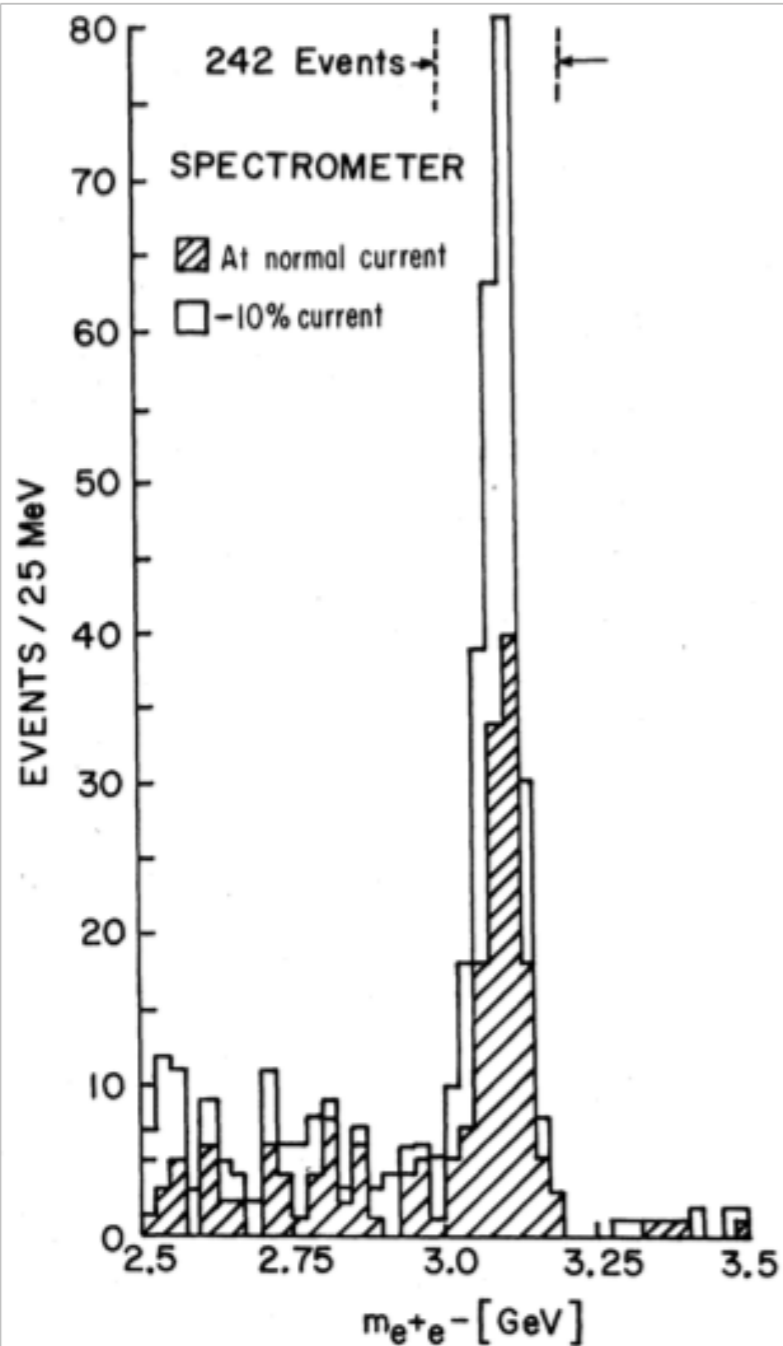


J Entdeckung II: Aufbau des Experiments



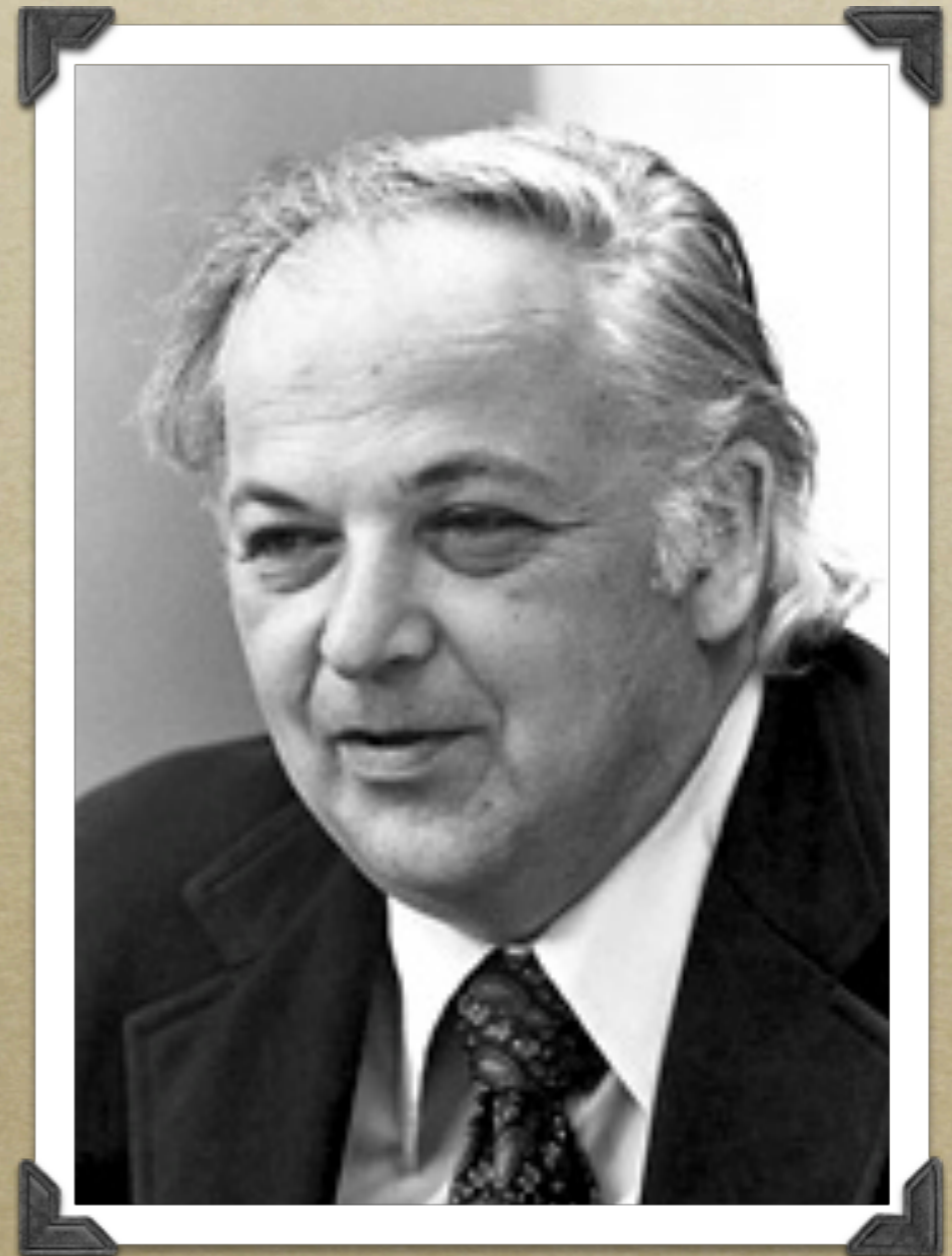
a) Plan view

J Entdeckung III: Resultate



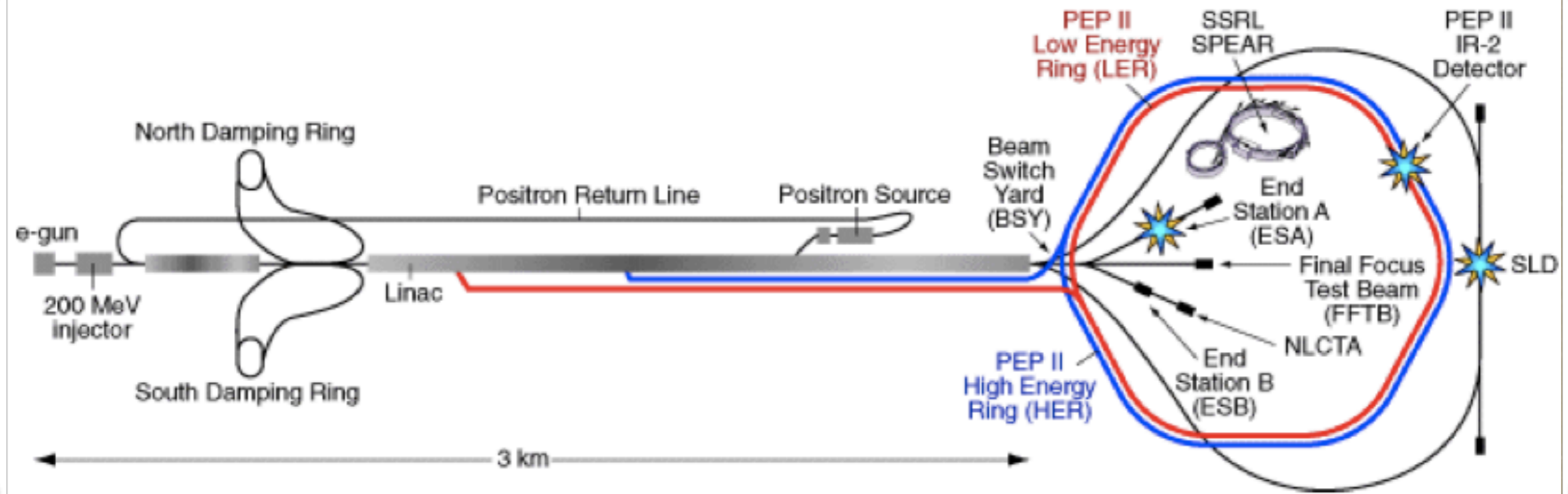
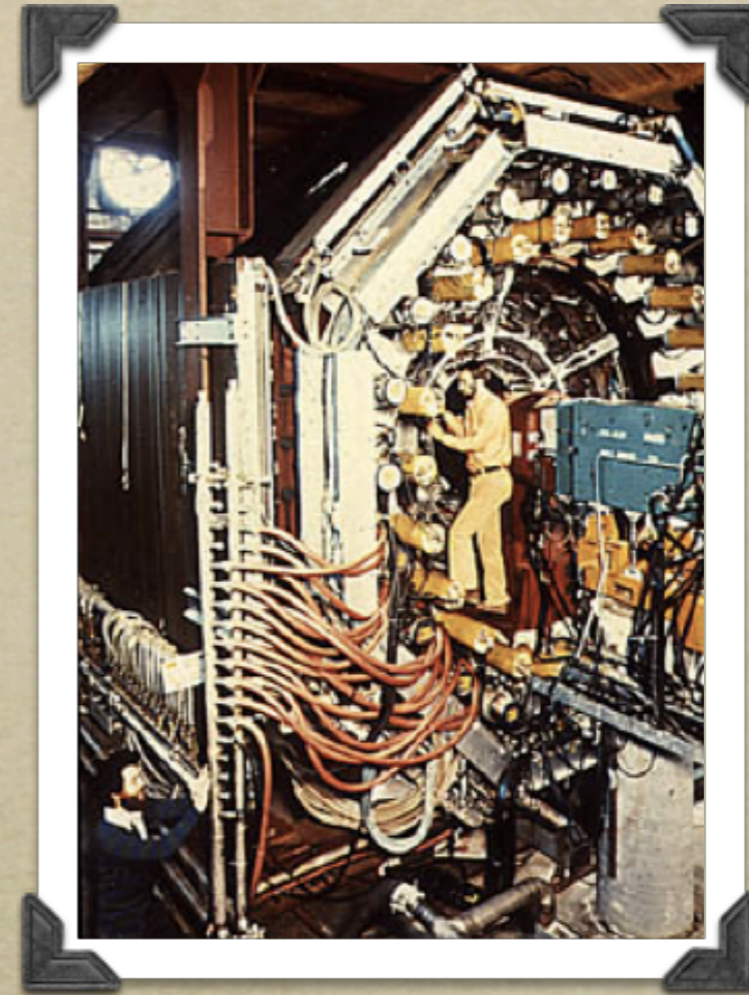
ψ Entdeckung I

- Stanford Linear Accelerator Centre - SLAC; Stanford Positron Electron Accelerating Ring - SPEAR
- Burton Richter
- hatte die e^+e^- Annihilation analysiert
- diese Experimente passierten fast zur selben Zeit wie die von Ting's Gruppe im MIT



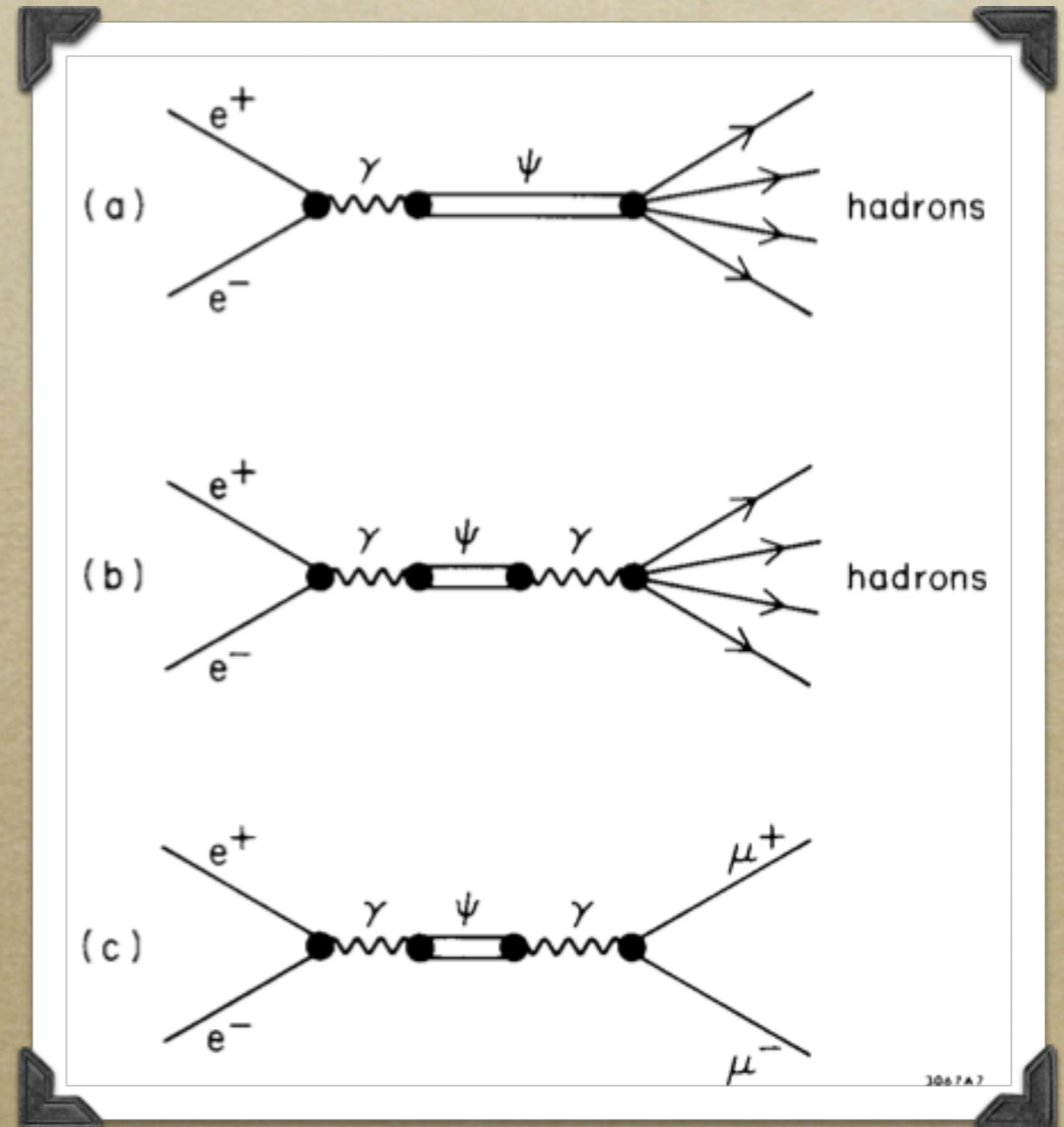
ψ Entdeckung II: Aufbau des Experiments

SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) und SPEAR (Stanford Positron Electron Accelerating Ring)

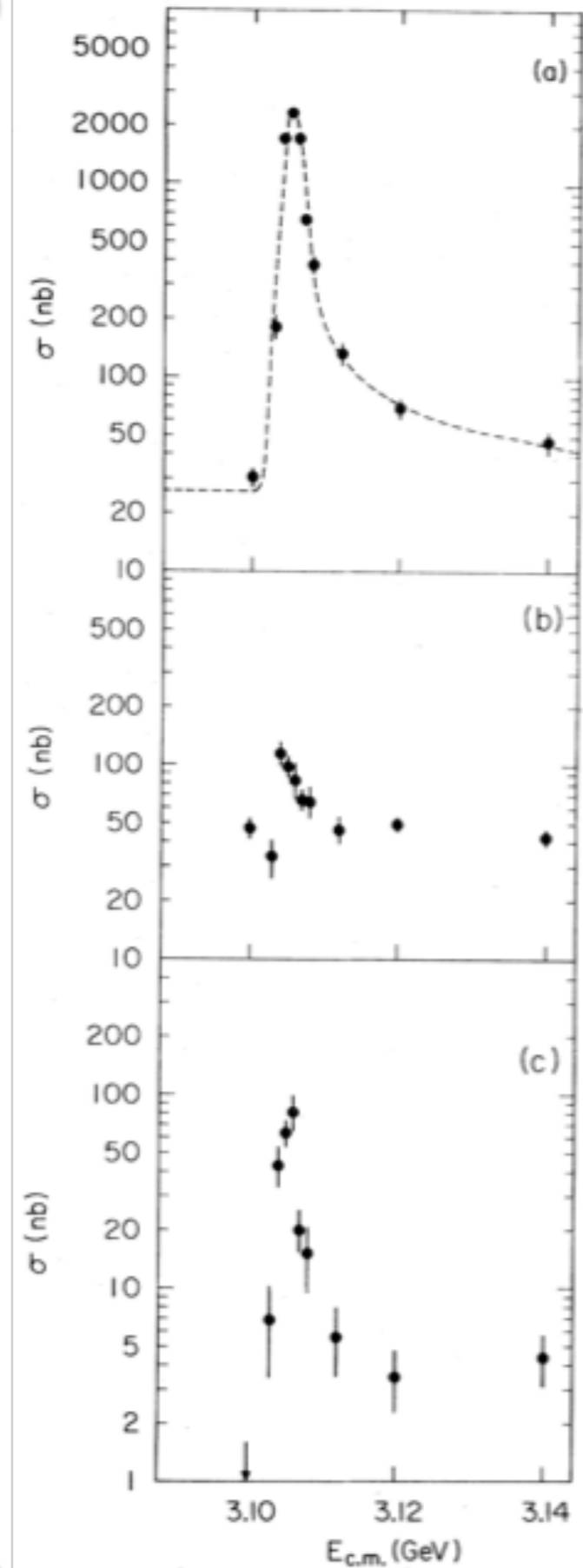
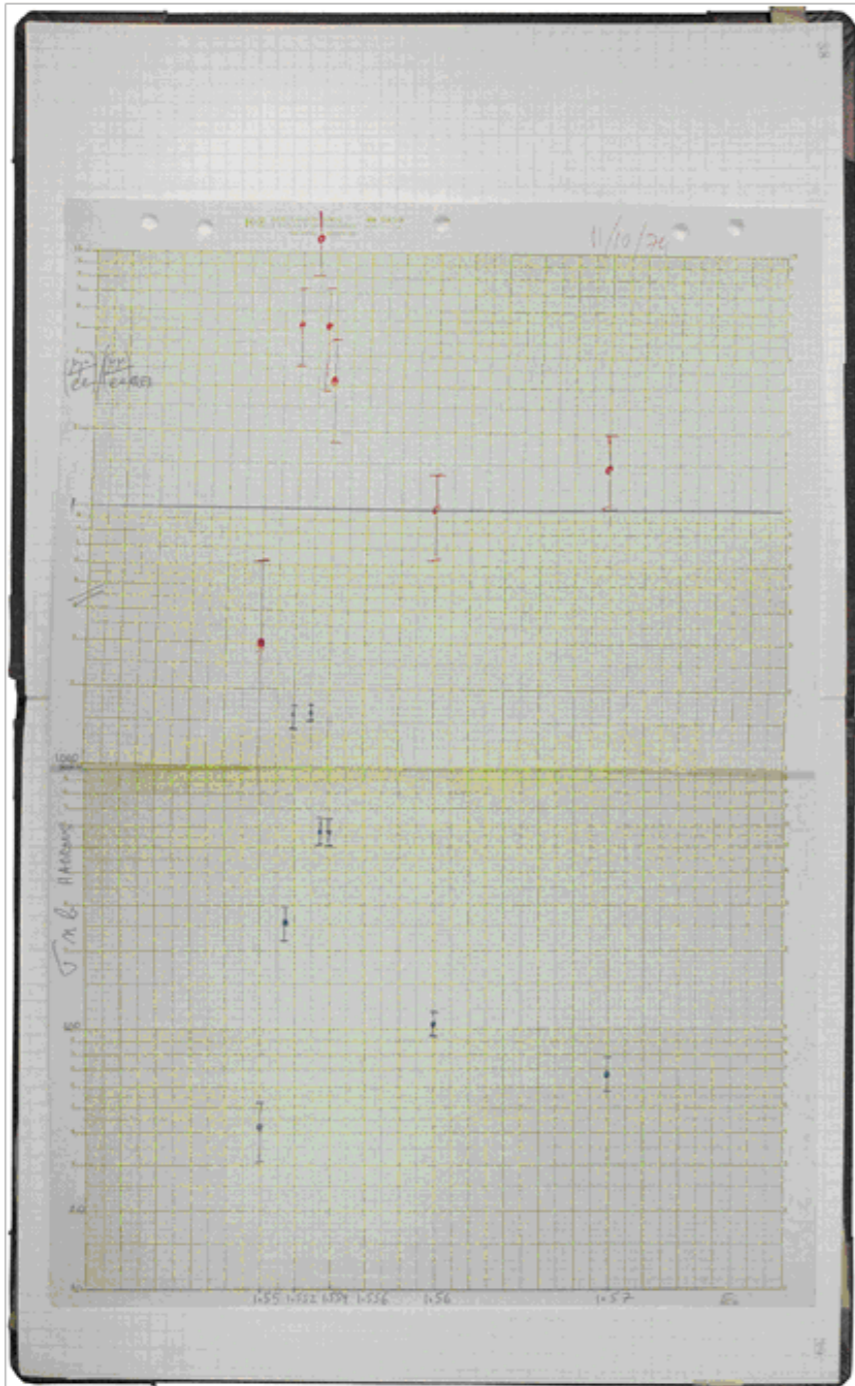


ψ Entdeckung III: Decay Channels

- wegen den GIM Mechanismus sind einige Zerfallskanäle unterdrückt
- (a) und (b) Hadronischer Endzustand
- (c) Leptonischer Endzustand
- (a) Zerfall 1er Ordnung
- (b) und (c) Zerfälle 2er Ordnung



ψ Entdeckung IV: Resultate



Bestätigung von anderen Gruppen

- 3 weitere Gruppen haben dieselben Experimente gemacht
- alle bekamen Resultate wie Ting und Richter
- Gamma-Gamma Group Resultate ->
- Ting gab Frascat's Gruppe seine Resultate vor dem Phy Rev Paper

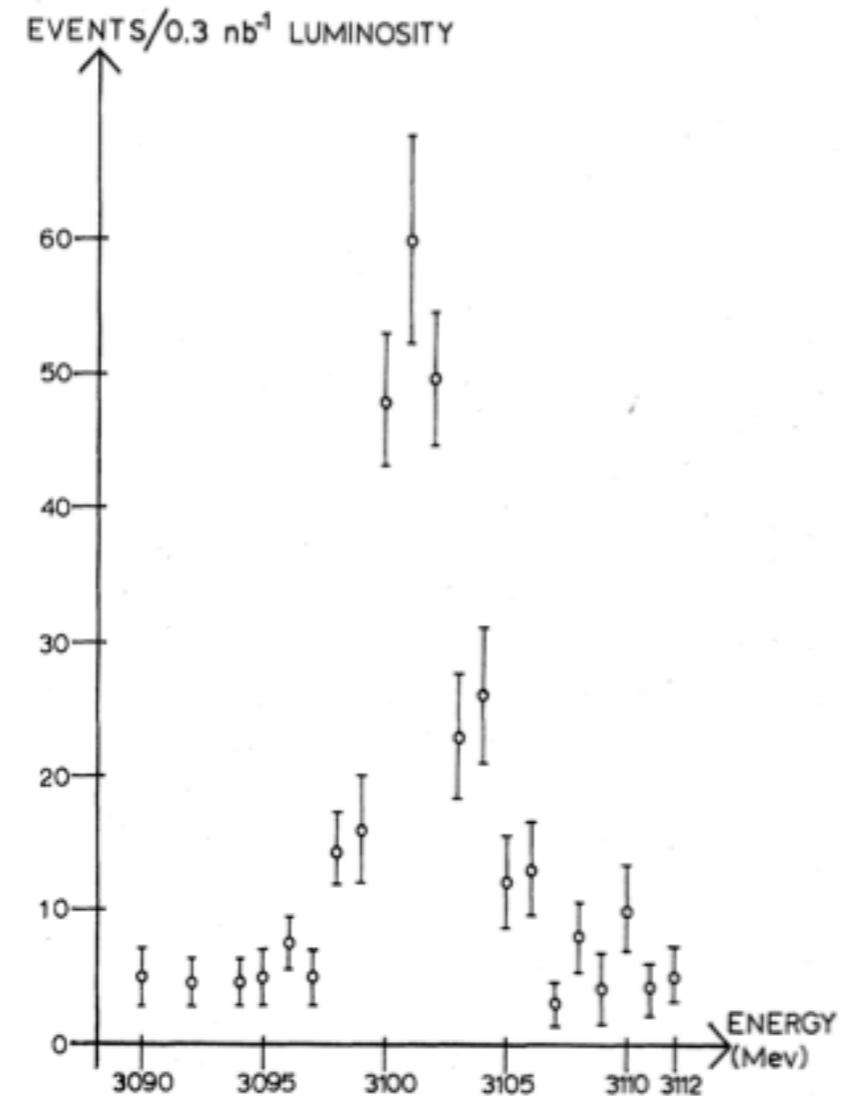


FIG. 1. Result from the Gamma-Gamma Group, total of 446 events. The number of events per 0.3 nb^{-1} luminosity is plotted versus the total c.m. energy of the machine.

Verpasste Entdeckung

- Jim Christenson, Leon Lederman et al., 1970
- sehr ähnlich zu Ting's 1974 Experiment
- haben Protonen auf ein Uranium Target gefeuert
- $p + U \rightarrow \mu^+ + \mu^- + \text{anything}$
- der 'Schulter' auf dem Bild rechts war das J/ψ

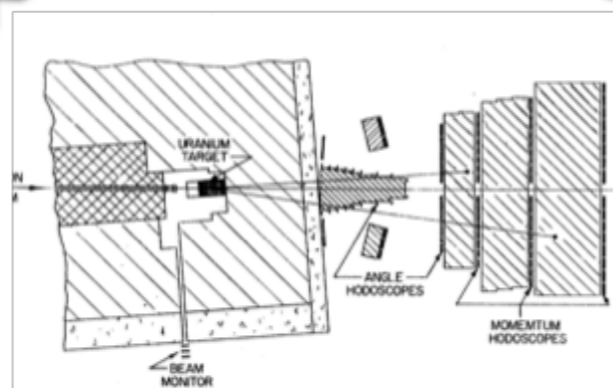
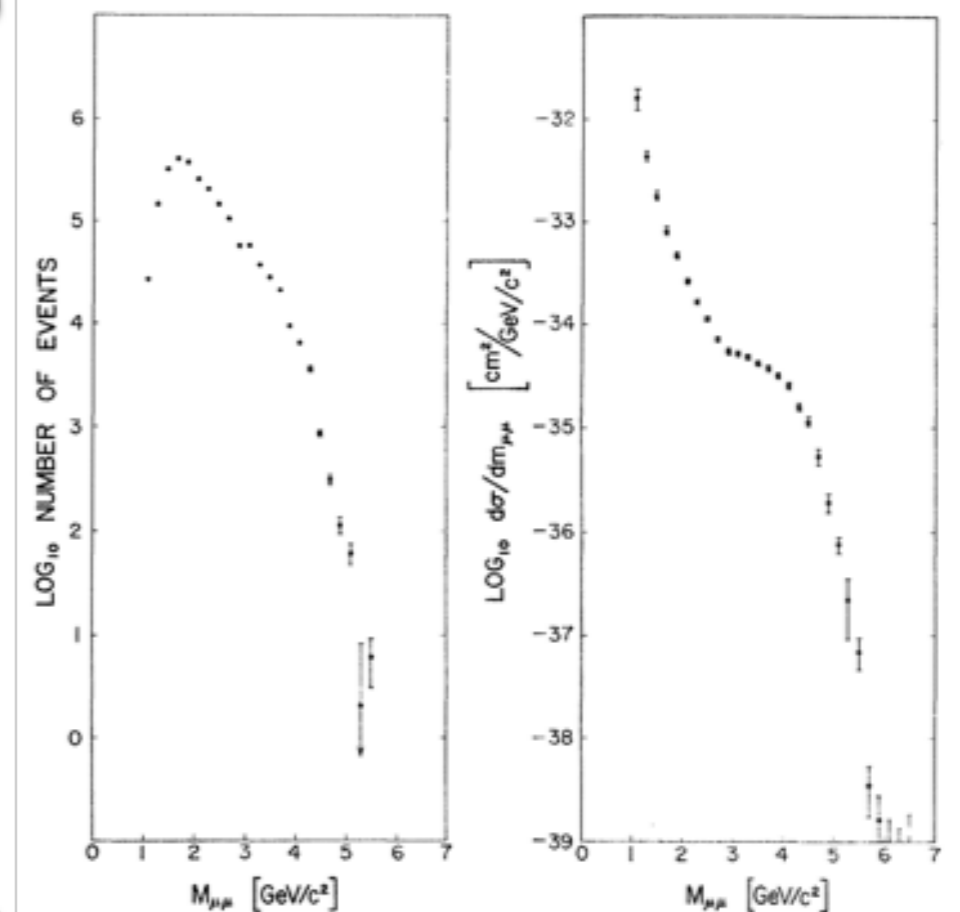


FIG. 1. Plan view of the apparatus.

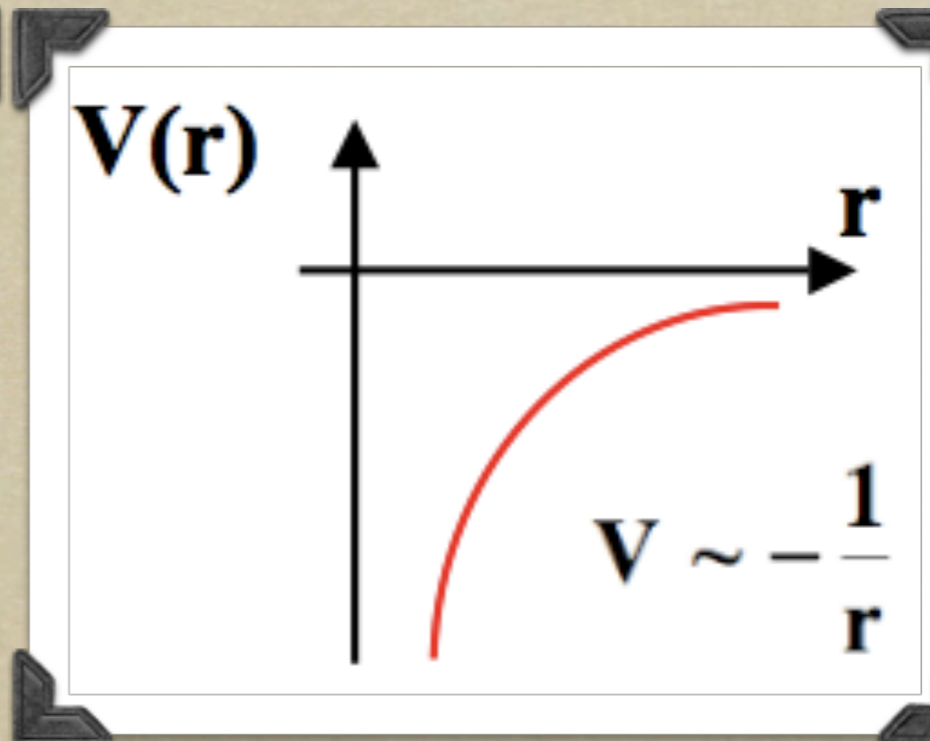
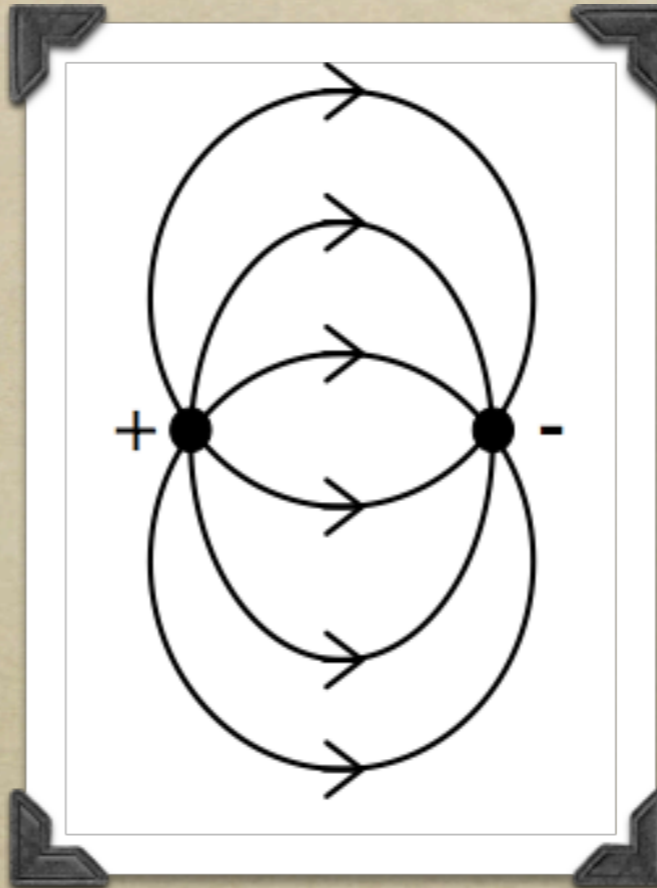
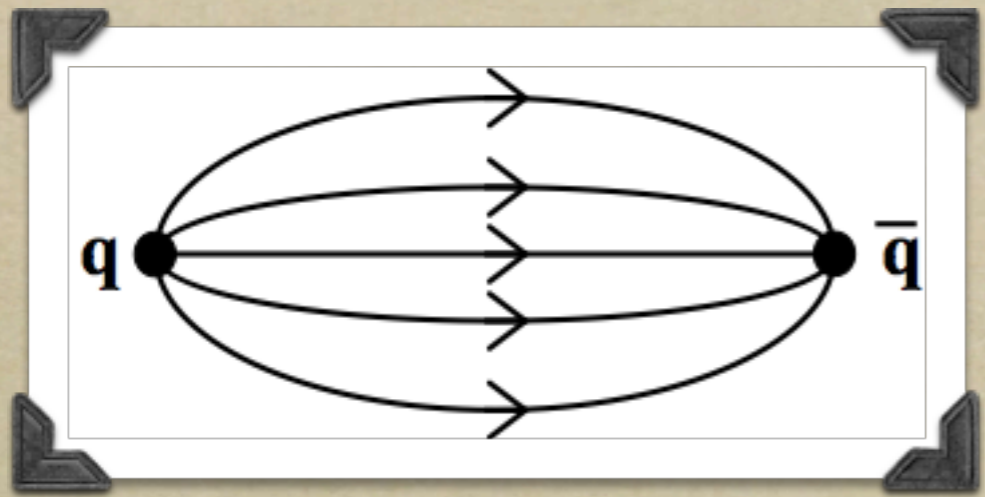




Charmonium

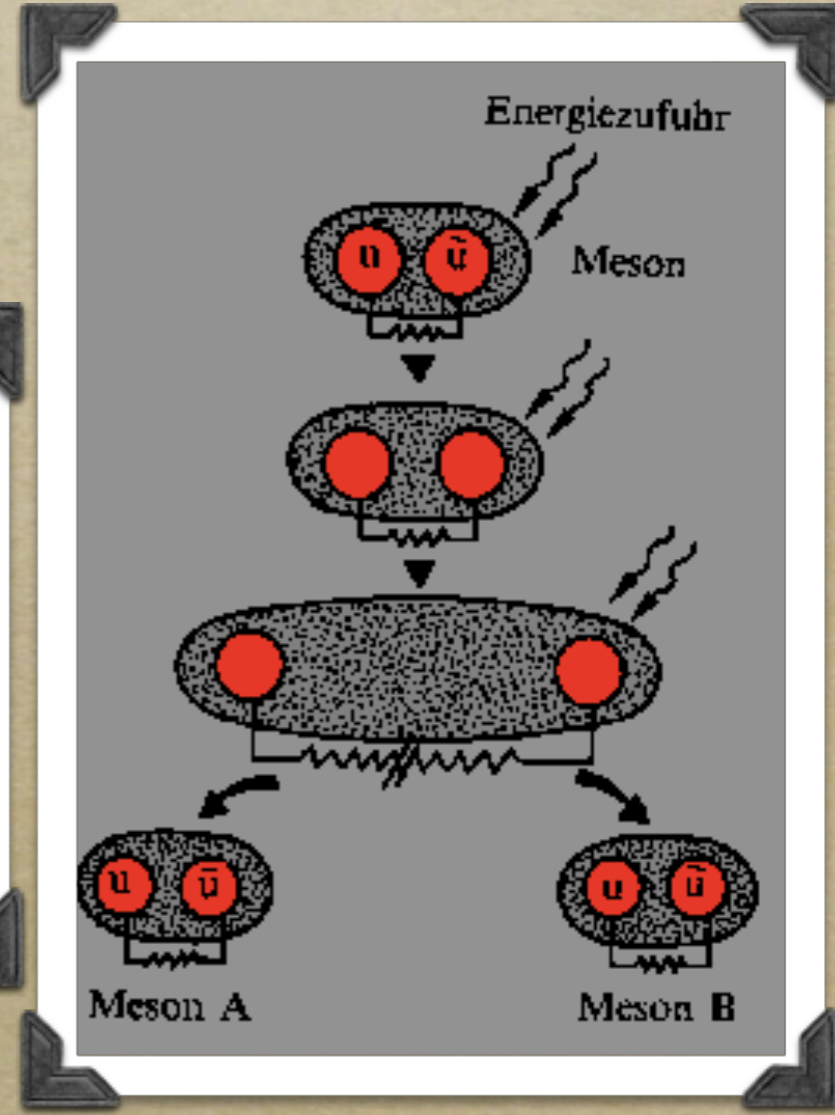
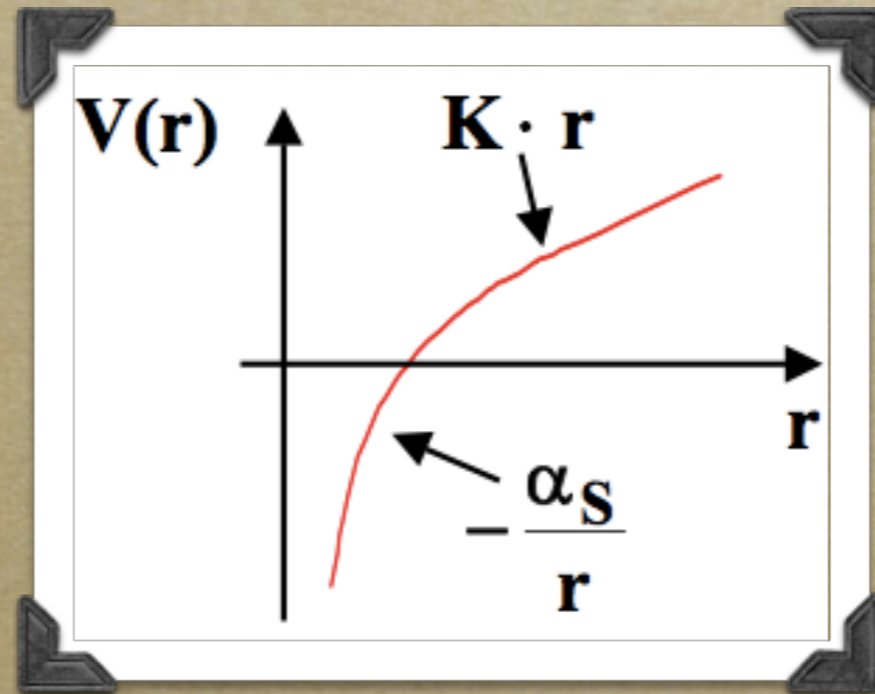
- J/ψ ist ein Zustand in Charmonium
- Mesonen in gebundenem Zustand von einem Charm und Anticharm Quark
- 2 Wochen nach ψ , ψ' entdeckt im SLAC
- Viele solche Teilchen ->

Term symbol n^2S+1L_J	J^{PC}	Particle	mass (MeV/c ²) [1]
1^1S_0	$0^+(0^{-+})$	$\eta_c(1S)$	$2,980.3 \pm 1.2$
1^3S_1	$0^-(1^{--})$	$J/\psi(1S)$	$3,096.916 \pm 0.011$
1^1P_1	$0^-(1^{+-})$	$h_c(1P)$	$3,525.93 \pm 0.27$
1^3P_0	$0^+(0^{++})$	$\chi_{c0}(1P)$	$3,414.75 \pm 0.31$
1^3P_1	$0^+(1^{++})$	$\chi_{c1}(1P)$	$3,510.66 \pm 0.07$
1^3P_2	$0^+(2^{++})$	$\chi_{c2}(1P)$	$3,556.20 \pm 0.09$
2^1S_0	$0^+(0^{-+})$	$\eta_c(2S)$, or η'_c	$3,637 \pm 4$
2^3S_1	$0^-(1^{--})$	$\psi(3686)$	$3,686.09 \pm 0.04$
1^1D_2	$0^+(2^{-+})$	$\eta_{c2}(1D)^\dagger$	
1^3D_1	$0^-(1^{--})$	$\psi(3770)$	$3,772.92 \pm 0.35$
1^3D_2	$0^-(2^{--})$	$\psi_2(1D)$	
1^3D_3	$0^-(3^{--})$	$\psi_3(1D)^\dagger$	
2^1P_1	$0^-(1^{+-})$	$h_c(2P)^\dagger$	
2^3P_0	$0^+(0^{++})$	$\chi_{c0}(2P)^\dagger$	
2^3P_1	$0^+(1^{++})$	$\chi_{c1}(2P)^\dagger$	
2^3P_2	$0^+(2^{++})$	$\chi_{c2}(2P)^\dagger$	
$???$	$0^?(??)^\dagger$	$X(3872)$	$3,872.2 \pm 0.8$
$???$	$?^?(1^{-})$	$Y(4260)$	$4,260^{+8}_{-9}$



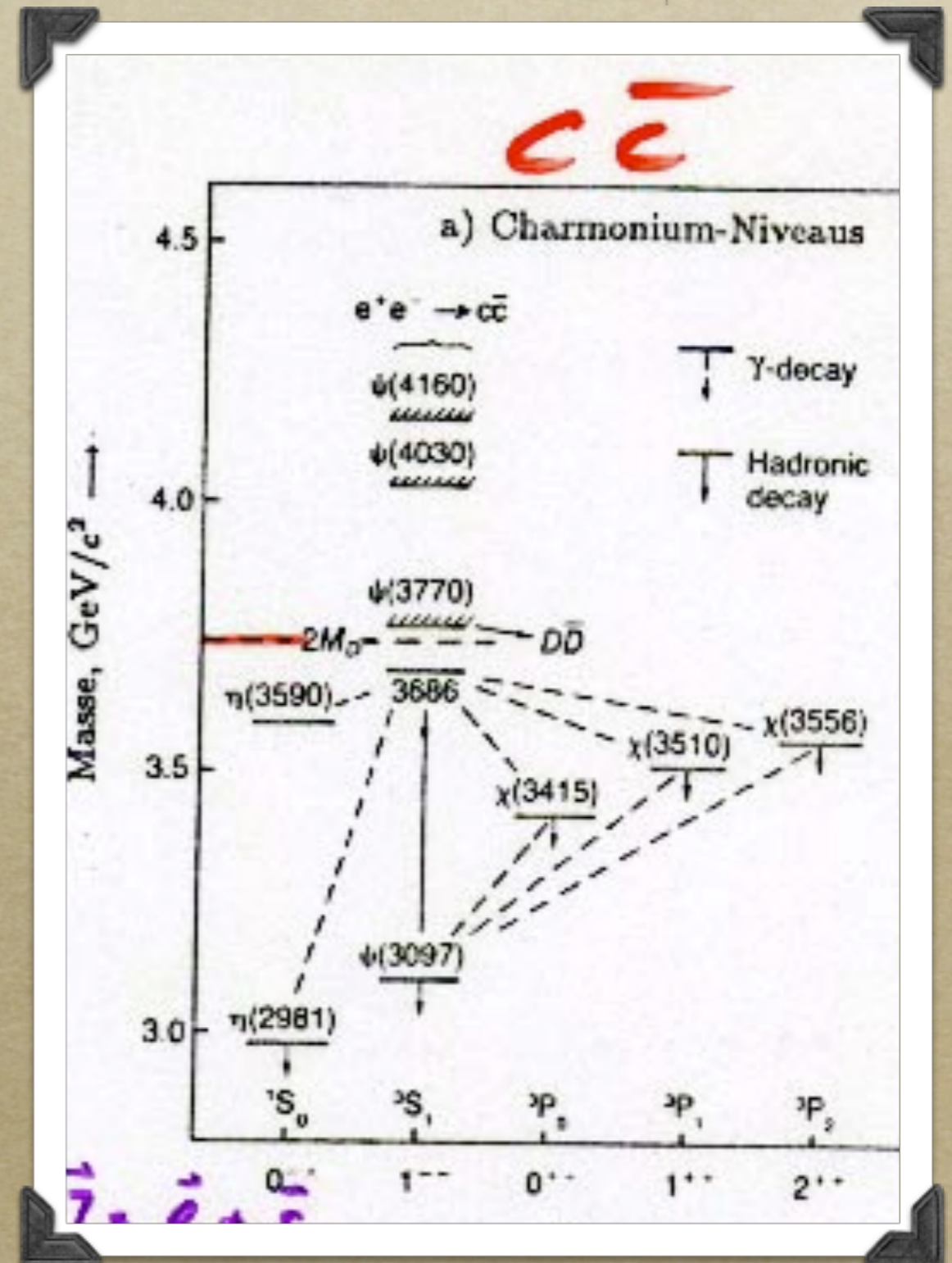
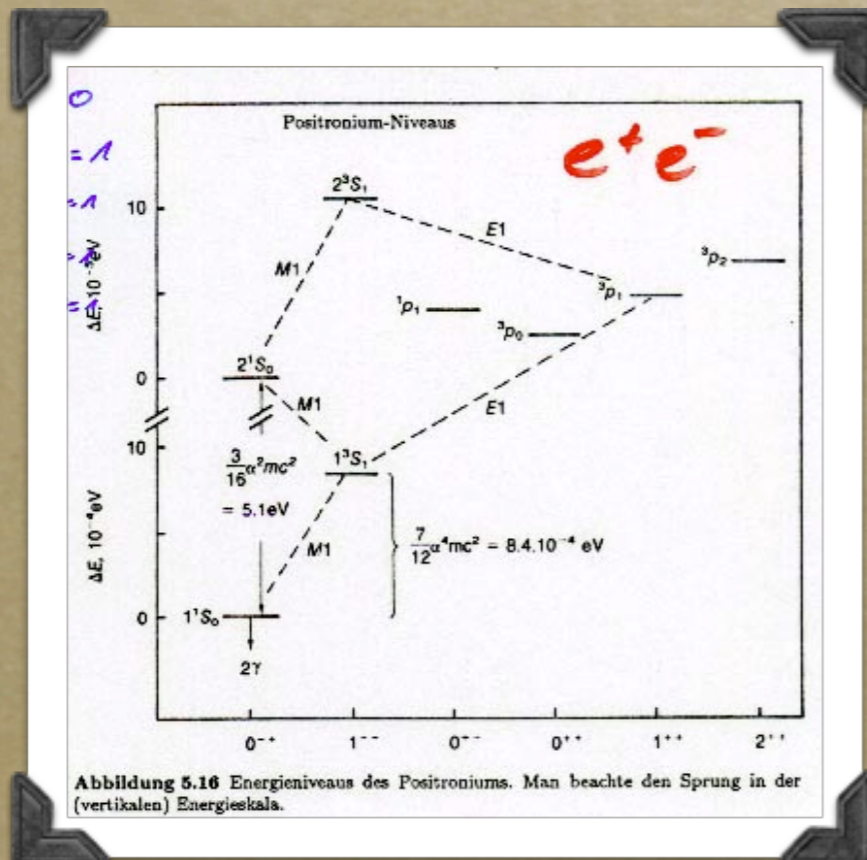
Confinement und Quark Potential

- Confinement = Einsperrung
- QED: el. Potential bei Einfachladung $\propto -1/r$
- QCD: Quark Potential bei kl. Abständen $\propto -\alpha_s/r$
- QCD: bei größeren Abständen Potential linear ansteigend $\propto K \cdot r$
→ Confinement



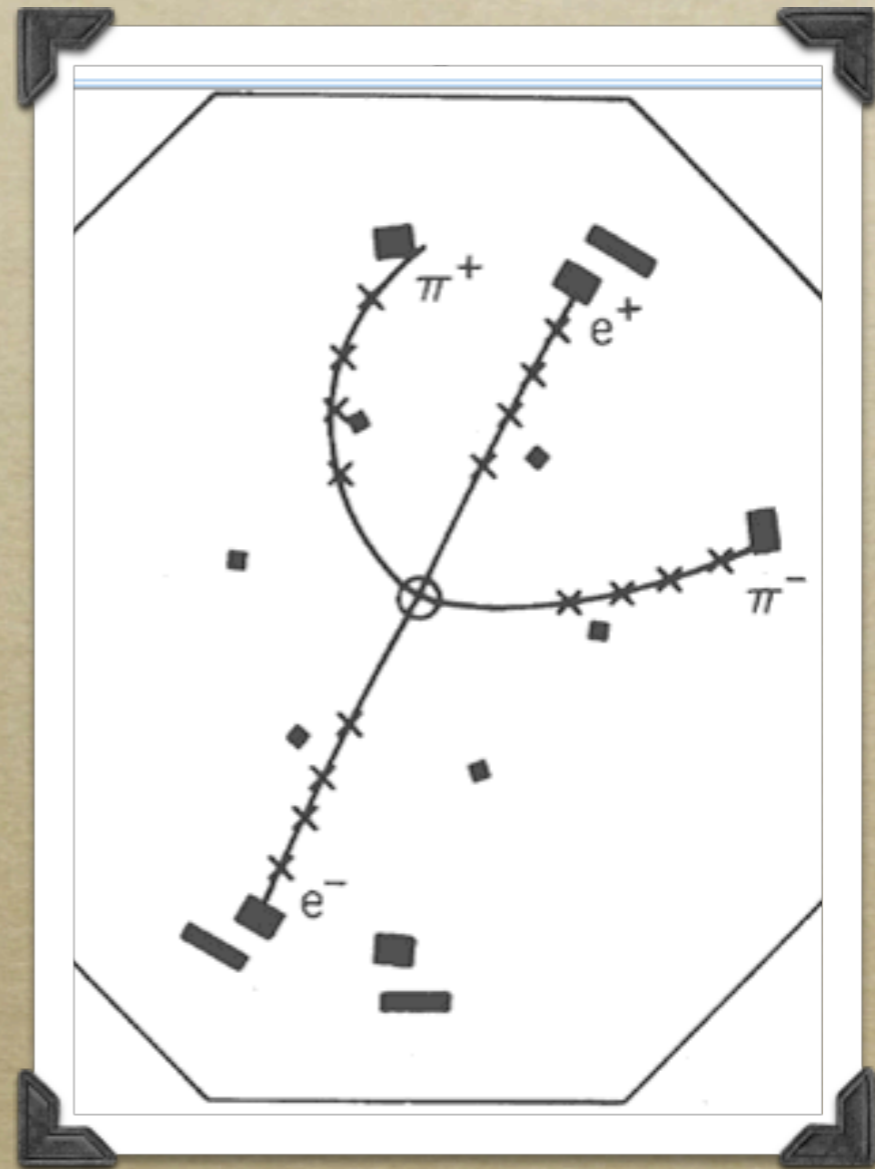
Charmonium

- Appelquist und Politzer (Harvard), Ende 1974
- Analogie zum Positronium Model
- Annihilation bei e^+e^- gemeinsamer Punkt mit $c\bar{c}$
- auch Bottomnium



Lustiges

- Computer Reconstruction des Zerfalls eines Psi-prime meson in ein J/Psi, pi+ und pi- Mesons
- Dieses Bild haben die SLAC Forscher auf T-shirts gedrückt und als Beweis des Names 'Psi' genutzt
- Die Form des Zerfalls entspricht der Griechischen Buchstabe Psi
- Ting hat das Teilchen nach sich benannt (sein Name sieht aus wie ein J in Chinesisch), Richter aber nach dem SPEAR (SP -> P*Si*)



Nobel Preis 1976

- ‘for their pioneering work in the discovery of a heavy elementary particle of a new kind’
- Burton Richter b. 1931 (SLAC, USA) und Samuel Chao Chung Ting b. 1936 (MIT, USA)



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Referenzen (Papers)

- J. J. Aubert et al., "Experimental Observation of a Heavy Particle J/ψ " Physical Review Letters, Vol. 33, 1404 (1974).
- J. -E. Augustin et al., "Discovery of a Narrow Resonance in e^+e^- Annihilation" Physical Review Letters, Vol. 33, 1406 (1974).
- 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, 1408 (1974)
- T. Appelquist und H. Politzer, "Heavy quarks and long-lived hadrons", Physical Review Letters, Vol. 12, Number 5, (1975)
- Glashow, Iliopoulos, Maiani, "Weak Interactions with Lepton-Hadron Symmetry", Physical Review Letters, Volume 2, Number 7 (1970)
- Abrams, Goldhaber, Richter et al. "discovery of a Second Narrow Resonance in e^+e^- Annihilation", Physical Review Letters Volume 33, Number 24 (1974)
- Christenson, Lederman et al., "observation of Massive Muon Pairs in Hadron Collisions", Physical Review Letters, Volume 25, Number 21 (1970)

Referenzen (Internet und Literatur)

- THE DISCOVERY OF THE J PARTICLE: A personal recollection, Nobel Lecture, 11 December 1976 by Samuel Ting
- FROM THE PSI TO CHARM - THE EXPERIMENTS OF 1975 AND 1976, Nobel Lecture, 11 December 1976 by Burton Richter
- The November Revolution, SLAC Beam Line, Fred Gilman, January 1985,
- New Particles - J/Psi, Vortrag von Paul Thompson,
- The discovery of J/Psi at SLAC, Vortrag von Christian R[^]der,
- CURRENT WORK IN ELEMENTARY PARTICLES by J. Christman, Project PHYSNET Physics Bldg. Michigan State University; other Physnet articles used:
- http://35.9.69.219/home/modules/pdf_modules/m283.pdf
- http://35.9.69.219/home/modules/pdf_modules/m282.pdf
- The Discovery of the J Particle: A Personal Recollection, Samuel C. C. Ting, Downloaded from www.sciencemag.org on April 23, 2010
- [Charm und der GIM Mechanismus, Vorlesungsskript, Kapitel 22, Teilchenphysik 2 & 3, WS 01/02 - SS 02, Prof. A Rubbia, http://neutrino.ethz.ch/Vorlesung/WS2001-SS02/Vorlesungnotizen/TPKap22.pdf](http://neutrino.ethz.ch/Vorlesung/WS2001-SS02/Vorlesungnotizen/TPKap22.pdf)

Referenzen (Internet)

- (Buch) Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics, by Andrew Pickering, University of Chicago Press (1994)
- (Buch) Subatomic Physics, E. Henley, A. Garcia, Cambridge University Press (2007)
- Logbook Images: (Document courtesy of Burton Richter and SLAC Archives)
- Glashow-Iliopoulos-Maiani Mechanism, Scholarpedia, <http://www.scholarpedia.org/>
- Kursvorlesung VI, Kern- und Teilchenphysik, Sommersemester 2002, Prof. Dr. K.-H. Kampert, <http://ik1au1.fzk.de/~kampert/Kern-Teilchen-SS02.html>
- <http://pdglive.lbl.gov/listing.brl?fsizein=1&group=MXXX025>
- <http://ed.fnal.gov/samplers/hsphys/folklore.html1>
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Particles/quark.html>
- <http://www.particleadventure.org/german/other/history/smt.html>
- <http://www.pbs.org/wgbh/nova/elegant/smas-nf.html>
- <http://www.symmetrismagazine.org/cms/?pid=1000180>
- <http://www.nobelprize.org> (Bilder der Physikern)
- <http://www2.slac.stanford.edu/vvc/experiments/spear.html>
- <http://www.jsallc.org/lhc/appelquist.html>
- http://www.mppmu.mpg.de/~rwagner/skript/Potential_starken_Wechselwi.html
- http://wwiexp.desy.de/groups/astroparticle/de/lehre/physikv_ws0708/chap8.2.pdf
- <http://ik1au1.fzk.de/~kampert/KP/Charmonium-vs-Positronium.jpg>
- <http://ik1au1.fzk.de/~kampert/KP/J-Psi.jpg>