

Die Entdeckung des Strange-Quarks

Egor Evsenin

in
Schlüsselexperimente der Teilchenphysik

25. Januar 2019

Motivation

Historische und Theoretische Einordnung

- Vor der Entdeckung

- Erste Hinweise

- Die Entdeckung

- Was folgte dann?

Experimentelle Entdeckung

- Höhenexperimente

- Die Nebelkammer

- Ergebnisse von Rochester und Butler

Ausblick

Motivation

- **1947:** Teilchenphysiker dachten ihr Job ist getan
- **20.12.1947:** Rochester und Butler veröffentlichen Entdeckung von zwei neuen Elementarteilchen
- Fragen stellten sich:
 - ▶ Wie passt das ins System?
 - ▶ Gibt es doch weitere Elementarteilchen?
 - ▶ Lässt sich das alles zusammenfassen?
- **Heute:** Vermessung des V_{ts} -Elements in CKM Matrix

Historische und Theoretische Einordnung

Vor der Entdeckung

Erste Hinweise auf die Entdeckung

Die Entdeckung

Was folgte dann?

Vor der Entdeckung

- **1933:** Entdeckung Positron [2]
- **1936:** Entdeckung Myon (Vorerst μ -Meson) [3]
 - ▶ zunächst mit dem von Yukawa vorhergesagtem Pion verwechselt
- **1947:** Entdeckung Pion [7][8]
 - ▶ damit Bestätigung des Myons
- die Welt der Teilchenphysik scheint fürs erste erklärt zu sein
 - ▶ **Rabi über das Myon:** "Who ordered that?"

Schweres Meson von Leprince-Ringuet

Existence probable d'une particule de masse $(990 \pm 12$
pour 100) m_0 dans le rayonnement cosmique

L. Leprince-Ringuet, M. Lh  ritier

Figure: Der erste Hinweis auf ein "V-Teilchen". Die Masse wird in Einheiten der Elektronenmasse m_0 angegeben [9].

- Forschungsanlage auf dem Mont-Blanc in 3613 m Höhe
 - heute eine Berghütte (Refuge des Cosmiques)
- **1944:** schweres Meson mit $m = (990 \pm 12\%)m_e \approx (500 \pm 50) \text{ MeV}$ entdeckt
 - Masse K_0 : $m_K = (497,611 \pm 0,013) \text{ MeV}$ [4]
 - Assoziation mit Kaon allerdings unklar, da Pion noch nicht bestätigt

Rochester und Butler

EVIDENCE FOR THE EXISTENCE OF NEW UNSTABLE ELEMENTARY PARTICLES

By DR. G. D. ROCHESTER

AND

DR. C. C. BUTLER

Physical Laboratories, University, Manchester

Figure: Original Veröffentlichung der "V-Teilchen" Entdeckung [10].

- **20.12.1947:** Entdeckung einer neuen Art von ungeladenem und geladenem Elementarteilchen

Entdeckung Kaon - oder auch V-Teilchen

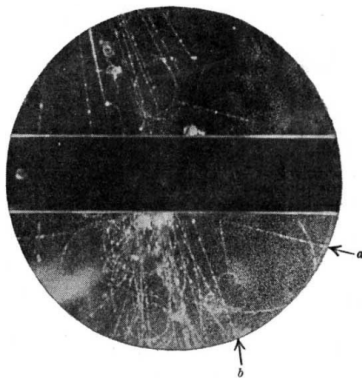


Figure: Hinweis auf die Existenz eines K^0 [10].

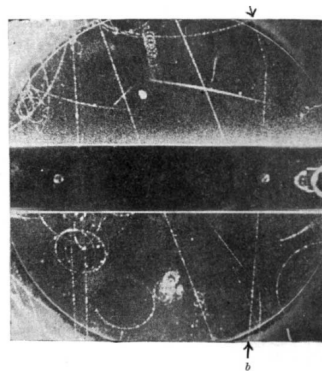


Figure: Hinweis auf die Existenz eines K^+ [10].

■ **Definition V-Teilchen:** alle damals neu Entdeckten Mesonen

- ▶ K_S^0 (V_2^0 und später θ^0), K^+ (τ) und Λ^0 (V_1^0)

Untersuchung der V-Teilchen

- Entdeckung von Rochester & Butler bewegt Nebelkammer-Arbeitsgruppen die V-Teilchen bis 1954 zu untersuchen
- Ungenaue Untersuchung der neutralen V_s
 - ▶ Impuls und Winkel schwer aufzulösen
- Erst durch Thompson [11] genaue Vermessung der neutralen V_s
- gründliche Untersuchungen waren erst mit Kernemulsionen möglich
 - ▶ Kernemulsion überlegen bei Untersuchung von "stopped particles"
 - ▶ erste genauere Messung durch Bevatron

Bagnères Konferenz [1]

- markiert den Übergang von natürlichen zu "Menschen-gemachten" Experimenten
- Bis dahin **bekannte** Fakten zu V-Teilchen:
 1. manche sind schwerer als das Proton (Zerfall in Protonen)
 2. manche sind leichter als das Proton (Zerfall in Myonen/Elektronen)
 3. Lebenszeit reicht von 10^{-10} bis 10^{-8} Sekunden (gesamte von Nebelkammern messbare Spanne)
 4. Kollisionen mit "Nukleonen-Kraft" produzieren wahrscheinlich V-Teilchen
 5. es gibt mindestens ein V-Teilchen, dass in ein anderes zerfallen kann

Bagnères Konferenz

■ Regeln die aufgestellt wurden:

1. Nukleonen die in Nukleonen zerfallen heißen **Baryonen**
2. schwere strange-Baryonen heißen **Hyperionen**
3. Pionen und alles mit einer Masse zwischen Pionen und Baryonen heißen **Mesonen**
4. schwere strange-Mesonen heißen **K-Mesonen** (generisch)
5. **Große** griechische Buchstaben für Hyperionen, **kleine** für Mesonen

Nahe Zukunft

- Einführung des "Eightfold way" durch Gell-Mann
- Cabibo führt den Cabibo-Winkel und eine Mischungsmatrix für zwei Generationen ein
- Quark-Modell vorgeschlagen von Gell-Mann und Zweig
- CP Verletzung ($\tau - \theta$ Problem) gezeigt
- CKM Matrix für alle drei Quark-Generationen

Experimentelle Entdeckung

Höhenexperimente

Die Nebelkammer

Ergebnisse von Rochester und Butler

Höhenexperimente

- vor dem ersten Synchrotron (Bevatron) hauptsächlich Höhenexperimente
 - ▶ zwischen 1946 und 1954 wurde sekundäre kosmische Strahlung untersucht
- Rochester & Butler auf fast **Meeresspiegel**
 - ▶ zu viel Equipment für ernsthafte Höhen (Magnetten, Geiger-Zähler)



Figure: Die "Refuge des Cosmiques" auf dem Mont-Blanc [6].

Die (Wilson-)Nebelkammer

- **Rutherford:** "the most original and wonderful instrument in scientific history" [5]
- Erfindung wird Charles Thomson Rees Wilson zugeschrieben
 - ▶ 1927 Nobelpreis
- Eine einfache Nebelkammer besteht aus warmen oberen Platte und einer kalten unteren Platte
- Alkohol befindet sich an der warmen Platte
 - ▶ Alkohol verdampft und fällt
 - ▶ Alkohol-Dampf kühlt ab und es kommt zu einer Übersättigung am Boden
 - ▶ Dampf kann ionisiert werden (z.B. durch geladene Teilchen)

Die (Wilson-)Nebelkammer

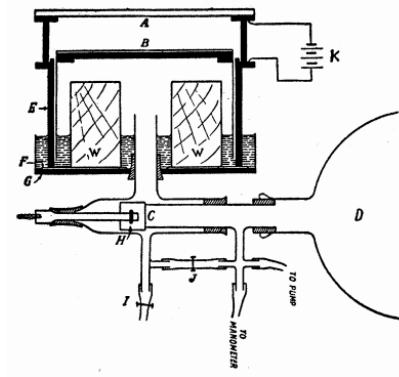


Figure: Ursprüngliche Wilson Nebelkammer [5].

- Bilder werden mit einer Kamera aufgenommen
- relativ simples Prinzip
- dennoch innovativ
 - ▶ teilweise Möglichkeit der direkten Identifizierung von Teilchen (zumindest relativ)
 - ▶ zusammen mit Magnetfeld Impuls- und Massenmessung möglich

Rochester & Butler

- **Zwei** Fotos von **5000** ausgewählt
 - ▶ 1500 h "effective time of operation"
 - ▶ insgesamt ein Jahr Datennahme auf Höhe von Meeresspiegel
- Positionierung einer 3 cm Blei-Platte in der Nebelkammer
 - ▶ Messung der "penetrating" Teilchen
 - ▶ ähnliches Prinzip wie im Kalorimeter

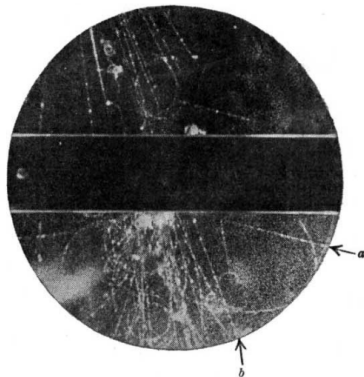


Figure: Hinweis auf die Existenz eines K^0 [10].

Berechnung Impuls und Masse

- Zwei Teilchen bewegen sich weg vom Ursprungsteilchen (Impuls p_1, p_2 mit Winkel θ und ϕ)
- Daraus folgt:

$$P = p_1 \cdot \cos\theta + p_2 \cdot \cos\phi$$

- P gibt den Impuls des einlaufenden Teilchens
- daraus lässt sich die kleinste mögliche Masse berechnen (natürliche Einheiten):

$$M_{min} = \sqrt{(p_1 + p_2)^2 - P^2}$$

Berechnung Lebenszeit

- Bestimmung der **ungefähren** Lebenszeit über die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilchen auf einer Strecke von $D = 30 \text{ cm}$ zerfällt

$$p = \frac{D(1 - \beta^2)^{1/2}}{\tau_0 c \beta}$$

Experimentelle Ergebnisse Rochester

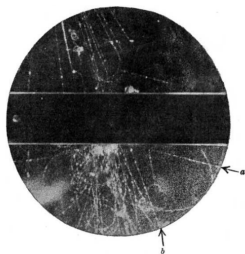


Photo-graph	H (gauss)	α (deg.)	Track	p (eV./c.)	Δp (eV./c.)	Sign
1	3500	66.6	a	3.4×10^8	1.0×10^8	+
			b	3.5×10^8	1.5×10^8	-
2	7200	161.1	a	6.0×10^8	3.0×10^8	+
			b	7.7×10^8	1.0×10^8	+

Figure: Experimentelle Daten [10].

Figure: Hinweis auf die Existenz eines K^0 [10].

Experimentelle Ergebnisse Rochester

- Masse des V^0 bestimmt zu $770m_0 < M < 1600m_0$
- Masse des V^+ bestimmt zu $980m_0 < M < 1200m_0$
- Größtmögliche Masse bestimmt über die Ionisierung
 - ▶ Ionisierung (Energiedeposition) nicht unterscheidbar von sehr schnellen Teilchen
 - ▶ $\beta = \frac{v}{c} \geq 0,7$
- Anzahl an neuer instabiler Teilchen unwahrscheinlich größer als 50
 - ▶ Wahrscheinlichkeit $p \approx 0,02$
 - ▶ Lebenszeit $\tau_0 \approx 50 \cdot 10^{-8} \text{ s}$

Ausblick

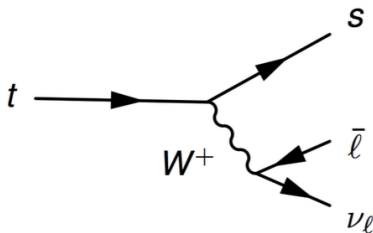
Die CKM-Matrix

- $|V_{ts}|$ weniger bekannt als die anderen Parameter
 - ▶ Messung ist eine Möglichkeit das Standard-Modell zu prüfen
- bis jetzt nur **indirekte** Messung gemacht
- **direkt** seltener Top-Quark Zerfall
- **Aufgabe:** Strange-Jets identifizieren

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

$$\approx \begin{pmatrix} 0,974 & 0,225 & 0,004 \\ 0,225 & 0,974 & 0,041 \\ 0,008 & \mathbf{0,040} & 0,999 \end{pmatrix}$$

Chin. Phys. C 40 (2016) 100001 Review of Particle Physics



Literatur



R.K. Adair and E.C. Fowler.
Strange Particles.
1963.



C. D. Anderson.
The Positive Electron.
Phys. Rev., 43:491–494, 1933.



Carl D. Anderson and Seth H. Neddermeyer.
Cloud chamber observations of cosmic rays at 4300 meters
elevation and near sea-level.
Phys. Rev., 50:263–271, Aug 1936.



M. Tanabashi et al.
Review of particle physics.
Phys. Rev. D, 98:030001, Aug 2018.

Literatur (cont.)



N. N. Das Gupta and S. K. Ghosh.

A report on the wilson cloud chamber and its applications in physics.

Rev. Mod. Phys., 18:225–290, Apr 1946.



infmaniak.

Skitour cent pour cent ski rande, 2019.



C. M. G. Lattes, G. P. S. Occhialini, and C. F. Powell.

Observations on the Tracks of Slow Mesons in Photographic Emulsions. 1.

Nature, 160:453–456, 1947.

[,99(1947)].

Literatur (cont.)



C. M. G. Lattes, G. P. S. Occhialini, and C. F. Powell.

Observations on the Tracks of Slow Mesons in Photographic Emulsions. 2.

Nature, 160:486–492, 1947.
[,103(1947)].



L. Leprince-Ringuet and M. Lh  ritier.

Existence probable d'une particule de masse $(990 \pm 12 \text{ pour } 100)$ m_0 dans le rayonnement cosmique.

J. Phys. Radium, 7(3):65–69, 1946.



G. D. Rochester and C. C. Butler.

Evidence for the Existence of New Unstable Elementary Particles.

Nature, 160:855–857, 1947.

Literatur (cont.)



R. W. Thompson, A. V. Buskirk, L. R. Etter, C. J. Karzmark, and R. H. Rediker.

An Unusual Example of V0 Decay.

Phys. Rev., 90:1122–1123, 1953.