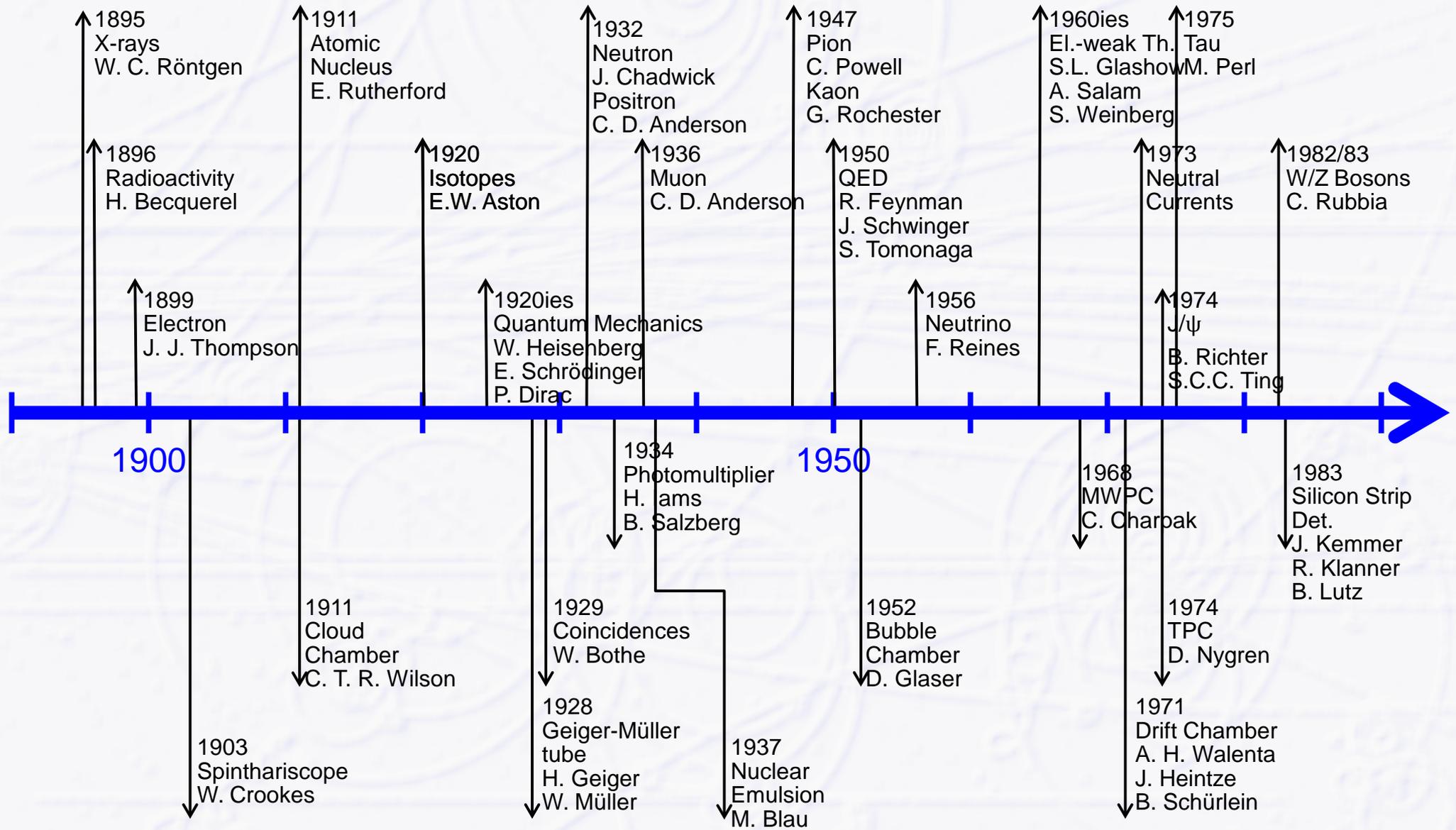


# ***Teilchenphysik - 1***

- **Geschichte der Teilchenphysik, Das Standardmodell**
- **Quarks, Antimaterie, Wechselwirkungen**
- **Gluonen, Generationen,  $Z^0$**
- **Higgs-Mechanismus: Analogien, Entdeckung**
- **Jenseits des Standardmodells**

# Wichtige Daten der Teilchenphysik und der Detektorentwicklung

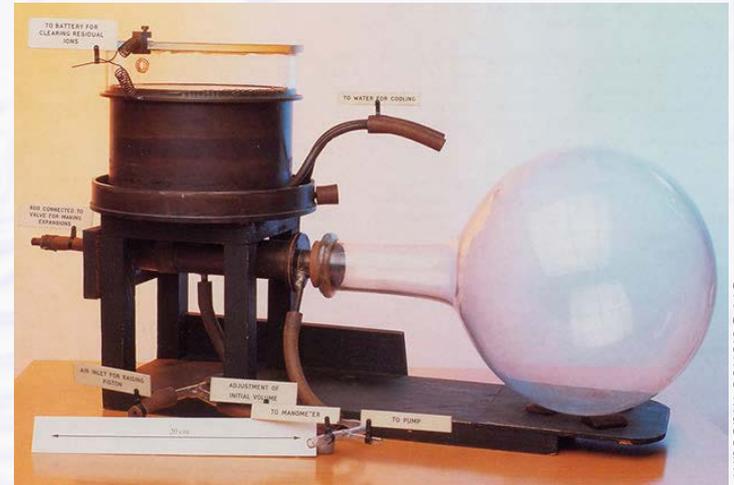


# Nebelkammer

## ● Erfunden 1911 von Charles T. R. Wilson (Nobelpreis 1927)

- Kammer mit gesättigtem Wasserdampf
- geladene Teilchen hinterlassen Ionenspuren
  - Ionen dienen als Kondensationskerne

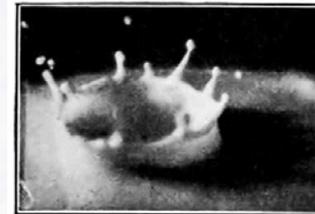
## ● Sichtbare Spur aus Wassertröpfchen



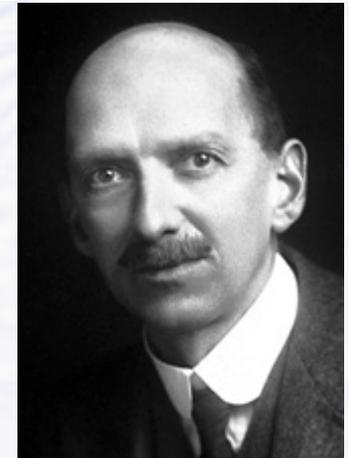
UK Science Museum

## ● Ebenfalls nötig

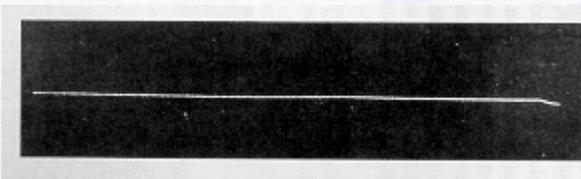
- Hochgeschwindigkeitsphotographie
  - erfunden von Arthur M. Worthington 1908 zur Untersuchung von Wassertropfen
  - Erzeugung von Ultrakurzzeitblitzen durch Funken



Charles T. R. Wilson



## ● Erste Photographien von $\alpha$ -Strahlen 1912

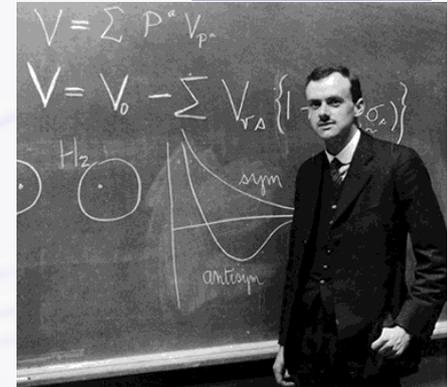


# Entdeckung des Positrons

Paul Dirac

## Positronennachweis durch Nebelkammer

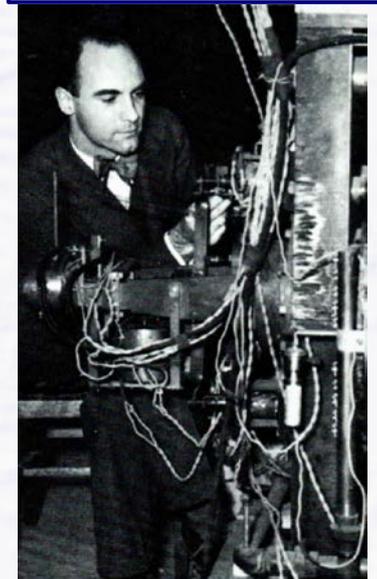
- $e^+$  vorhergesagt von Paul Dirac 1928 (Nobelpreis 1933)
- gefunden von Carl D. Anderson 1932 (Nobelpreis 1936)



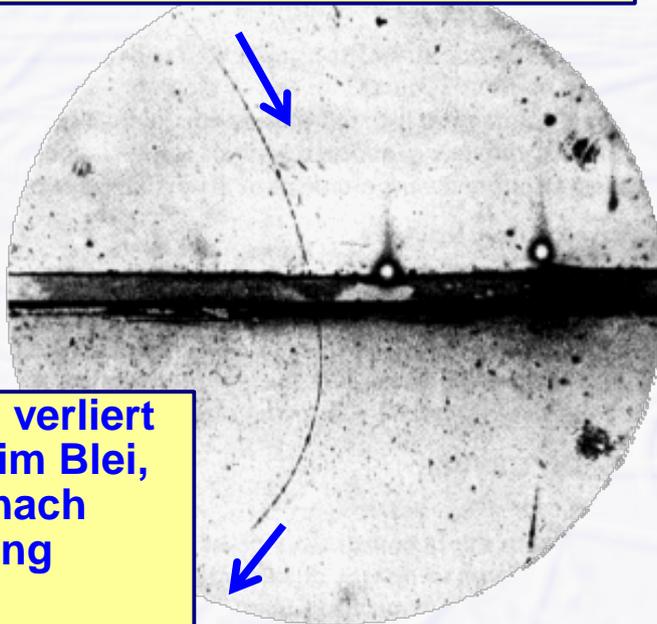
Anderson fand 1936 auch das **Myon**,  
erstes Teilchen der 2. Generation  
im Standardmodell

Isidor Isaac Rabi meinte:  
"Who ordered that?"

Carl D. Anderson



von oben einlaufendes Positron, 63 MeV



6 mm Bleiplatte

1.5 T Magnetfeld

Positron verliert  
Energie im Blei,  
23 MeV nach  
Durchgang  
→

Kleinerer Radius,  
dies definiert die  
Flugrichtung!

# Erste Mesonen

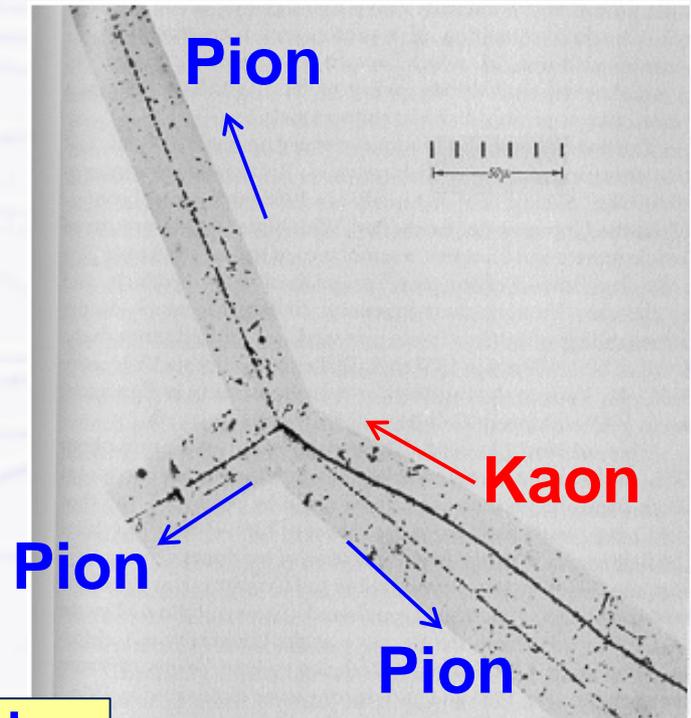
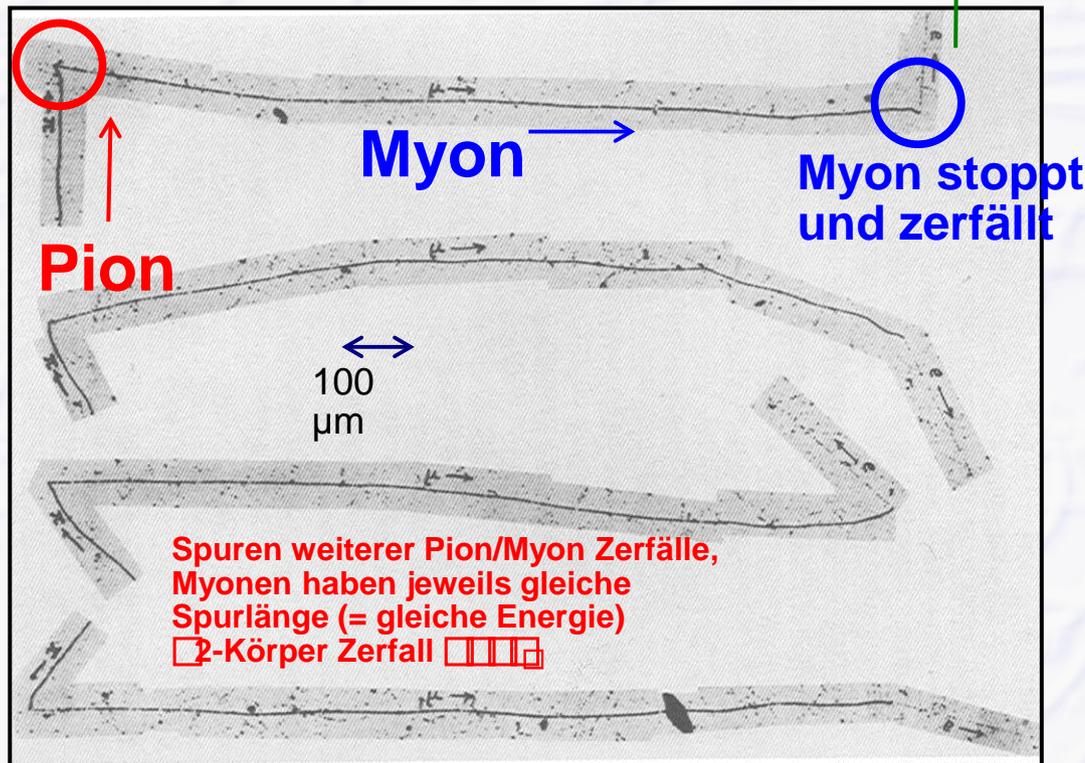
- Entdeckung des **Pion** in Kosmischer Strahlung durch Cecil Powell 1947 (Nobelpreis 1950)
- Entdeckung des **Kaon** 1949 (G. Rochester)

Cecil Powell



Pion stoppt und zerfällt

Elektron



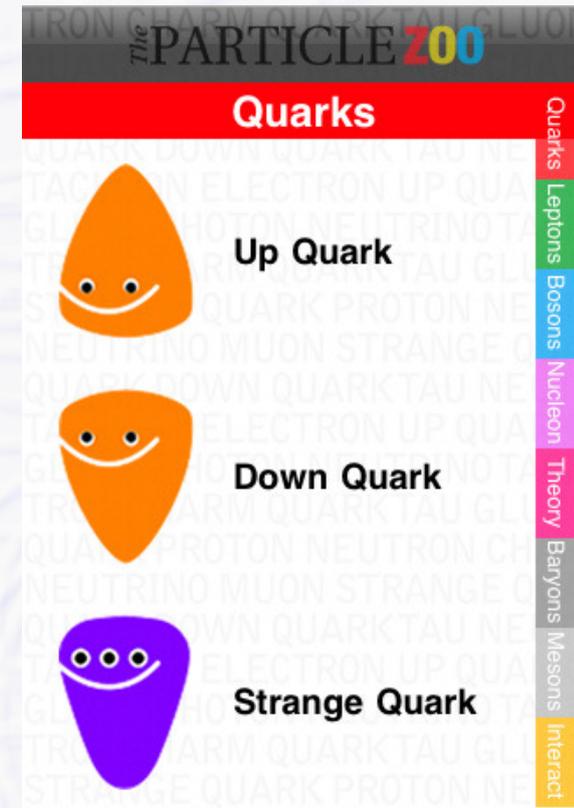
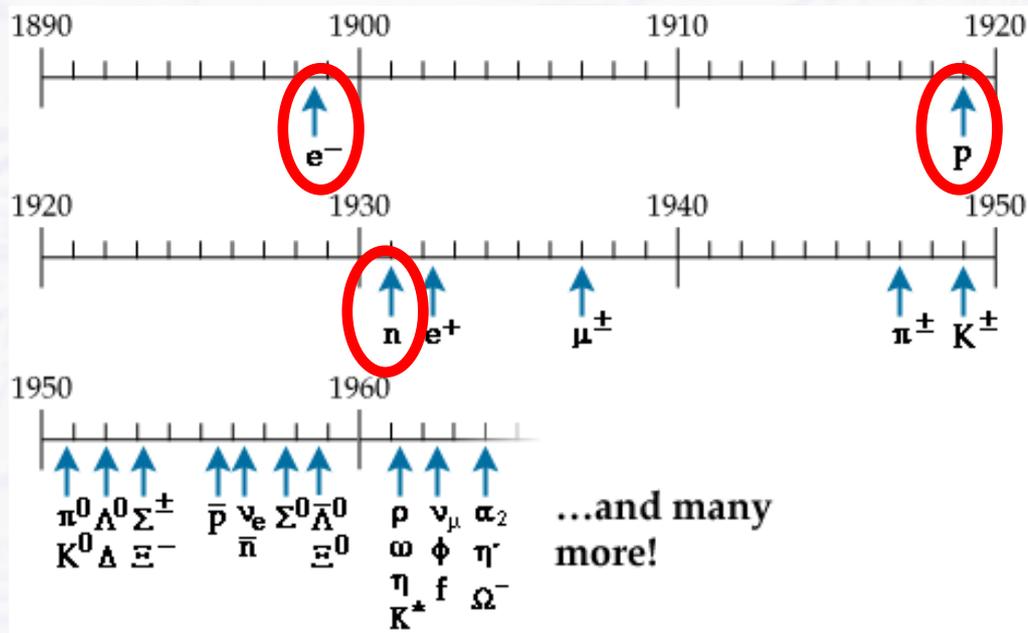
Photoemulsion

# Teilchenphysik in den 1950...60ern

## Viele neue Teilchen wurden entdeckt ("Teilchenzoo")

→ möglich gemacht durch immer stärkere Beschleuniger

→ 1959: CERN Proton Synchrotron (noch heute in Betrieb)



## Fundamentale Fragen

→ Was sind grundlegenden Bausteine der Materie? → Quarktheorie (1964)

→ Welche Kräfte wirken zwischen den Materieteilchen? → Standardmodell

→ Wie erhalten Teilchen ihre (verschiedene) Masse? → Higgs (1964/2012)

# Aufbau der Materie

## ● Heutiges Wissen: Materie hat eine hierarchische Struktur

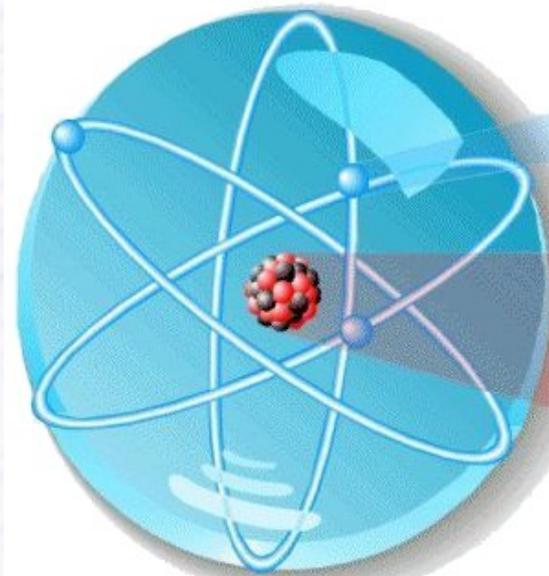
→ nur **Elektronen** und **Quarks** sind elementar (“punktförmig“)

### Atom:

Philosophisch: Demokrit, 4. Jh. vor Christus  
Theoretisch/Experimentell: Einstein/Perrin,  
Erklärung/Messung der Brown'sche Bewegung, 1905

### Elektron:

J.J. Thomson, Kathodenstrahlen, 1897



atom  $\sim 10^{-8}$  cm



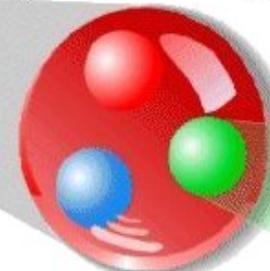
electron  
 $< 10^{-16}$  cm



nucleus  
 $\sim 10^{-12}$  cm

proton  
(neutron)

Proton: Rutherford, 1919  
Neutron: Chadwick, 1932



$\sim 10^{-13}$  cm

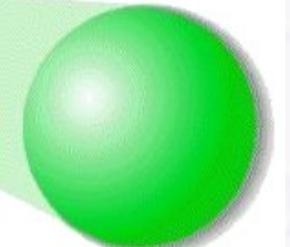
quark  
 $< 10^{-16}$  cm

### Atomkern:

Rutherford, Streuung von  
 $\alpha$ -Teilchen (Heliumkernen)  
an Goldatomen, 1910

### Quark-Modell:

Gell-Mann, Zweig, 1964



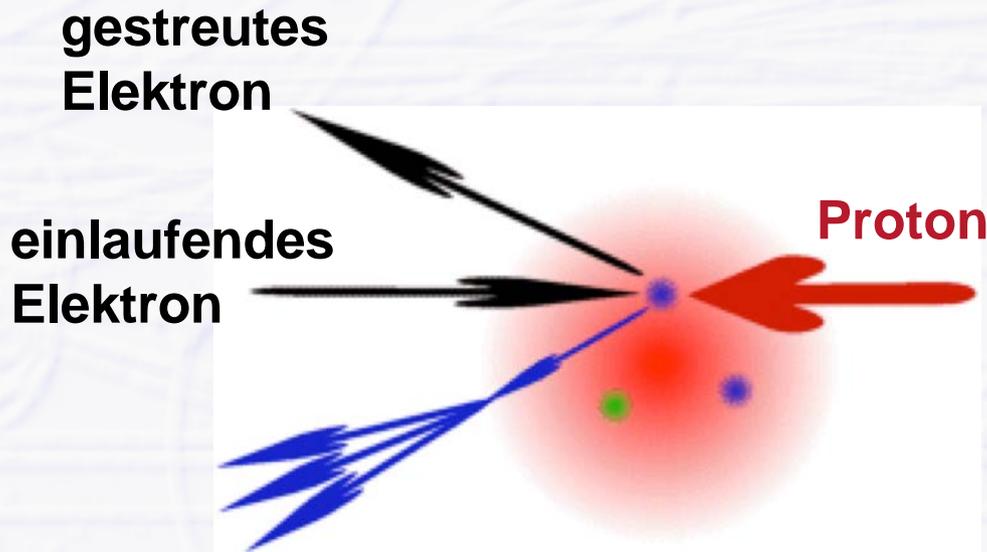
# Entdeckung der Quarks

## Streuung von Elektronen an Protonen (SLAC, 1968)

→ Impuls der Elektronen muss gross sein, um kleine Strukturen zu sehen

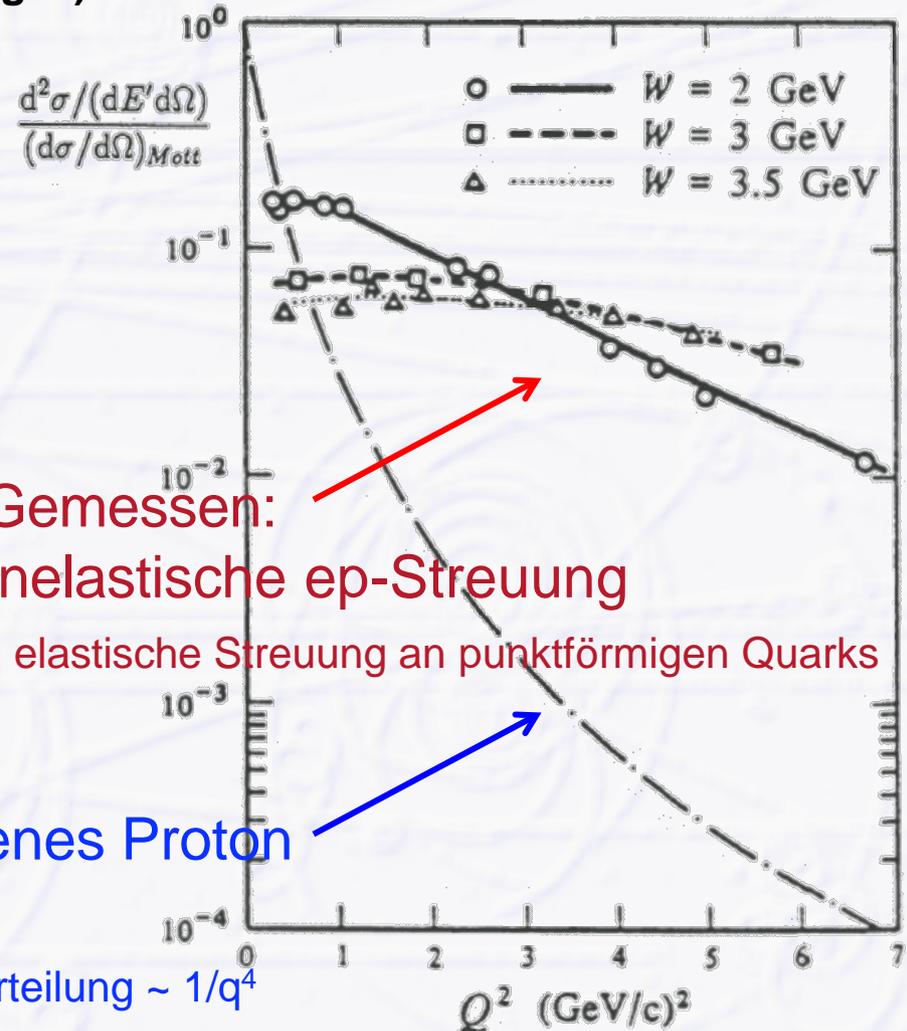
hoher Impuls → Materiewellenlänge (de Broglie) klein!

$$\lambda = \frac{h}{p}$$



Erwartung für homogenes Proton  
(elastische Streuung)

exp. abfallende Ladungsverteilung  $\sim 1/q^4$



# Struktur des Protons

- Protonen sind (noch) komplizierter

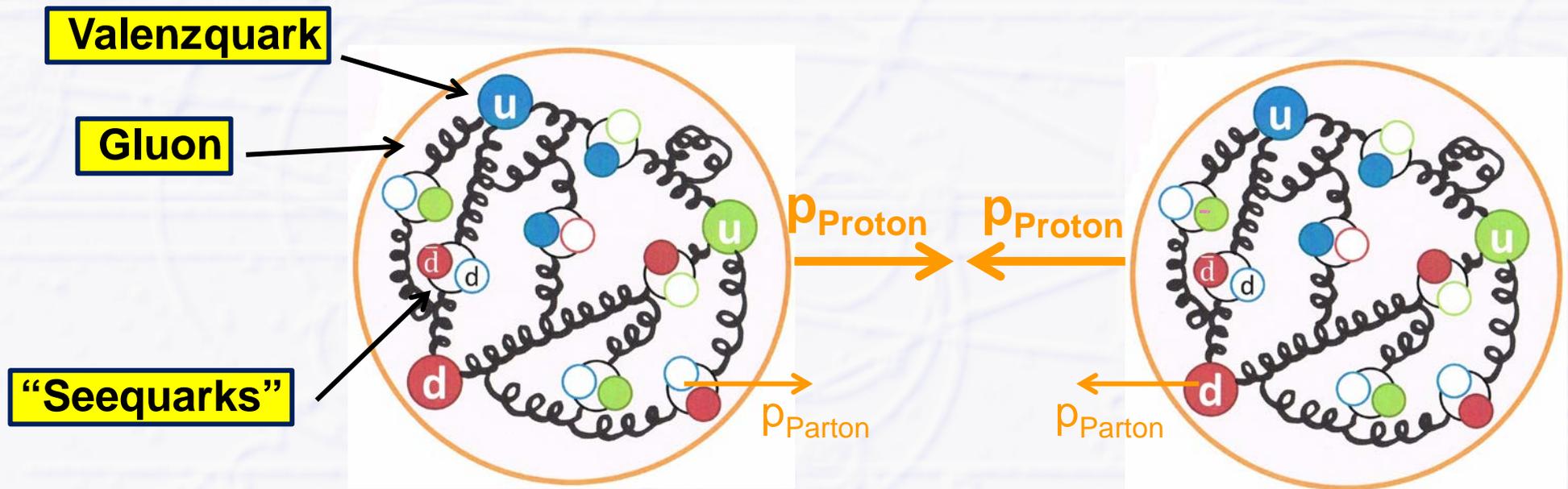
- 3 **Valenzquarks** (uud) mit unterschiedlicher Farbladung

- (Viele) **Gluonen** als Austauscheteilchen der starken Wechselwirkung

- (Viele) **“Seequarks”** = kurzzeitig entstehende Quark – Antiquark Paare

- Nur die **“Partonen”** der Protonen kollidieren

Quark – Quark, Gluon – Gluon, Quark – Gluon, Antiquark – Gluon, Quark - Antiquark



# Das Standardmodell – Materie

Alle bekannte Materie besteht aus nur wenigen elementaren Teilchen

...aber in 3 verschiedenen Versionen ("Generationen")

...und für jedes Teilchen gibt es noch ein Antiteilchen mit entgegengesetzter Ladung

mit starker Wechselwirkung

ohne starke Wechselwirkung

Quarks

Leptonen

Überschwere, sehr instabile Materie

Schwere, instabile Materie

Normale, stabile Materie

	Quarks		Leptonen	
Generation 3	t Top	b Bottom	$\tau$ Tau	$\nu_\tau$ Tau-neutrino
Generation 2	c Charm	s Strange	$\mu$ Muon	$\nu_\mu$ Muon-neutrino
Generation 1	u Up	d Down	e Electron	$\nu_e$ Electron-neutrino

WIR und alles, was wir um uns sehen!

Protonen  
Neutronen

Atomkern

Atomhülle