

Teilchenphysik .

Die Suche nach der fundamentalen Struktur der Materie



Ein alter Traum der Menschheit

Die Anfänge vor über 2400 Jahren in Griechenland

“Durch Festsetzung süß, durch Festsetzung bitter, durch Festsetzung warm, durch Festsetzung kalt, durch Festsetzung Farbe, in Wirklichkeit aber Atome und Leeres”

Demokrit von Abdera

“Die Zahl ist das Wesen aller Dinge”

Pythagoras von Samos

Ideenlehre von Platon



über Demokrit und Leukipp:

“... Die Frage nach der Bewegung aber, woher sie und wie sie an die Dinge kommt, haben auch sie ganz ähnlich wie die anderen ohne sich über sie den Kopf zu zerbrechen beiseite liegen lassen...”

Aristoteles, Metaphysik



Atomhypothese

- > 17. Jahrhundert: Pierre Gassendi erneuert die Atomhypothese
- > 19. Jahrhundert: Kinetische Gastheorie

$$\langle E_{kin} \rangle = \frac{3}{2} k_b T$$

- > Entwicklung des Periodensystems
- > Faraday'schen Gesetze der Elektrolyse

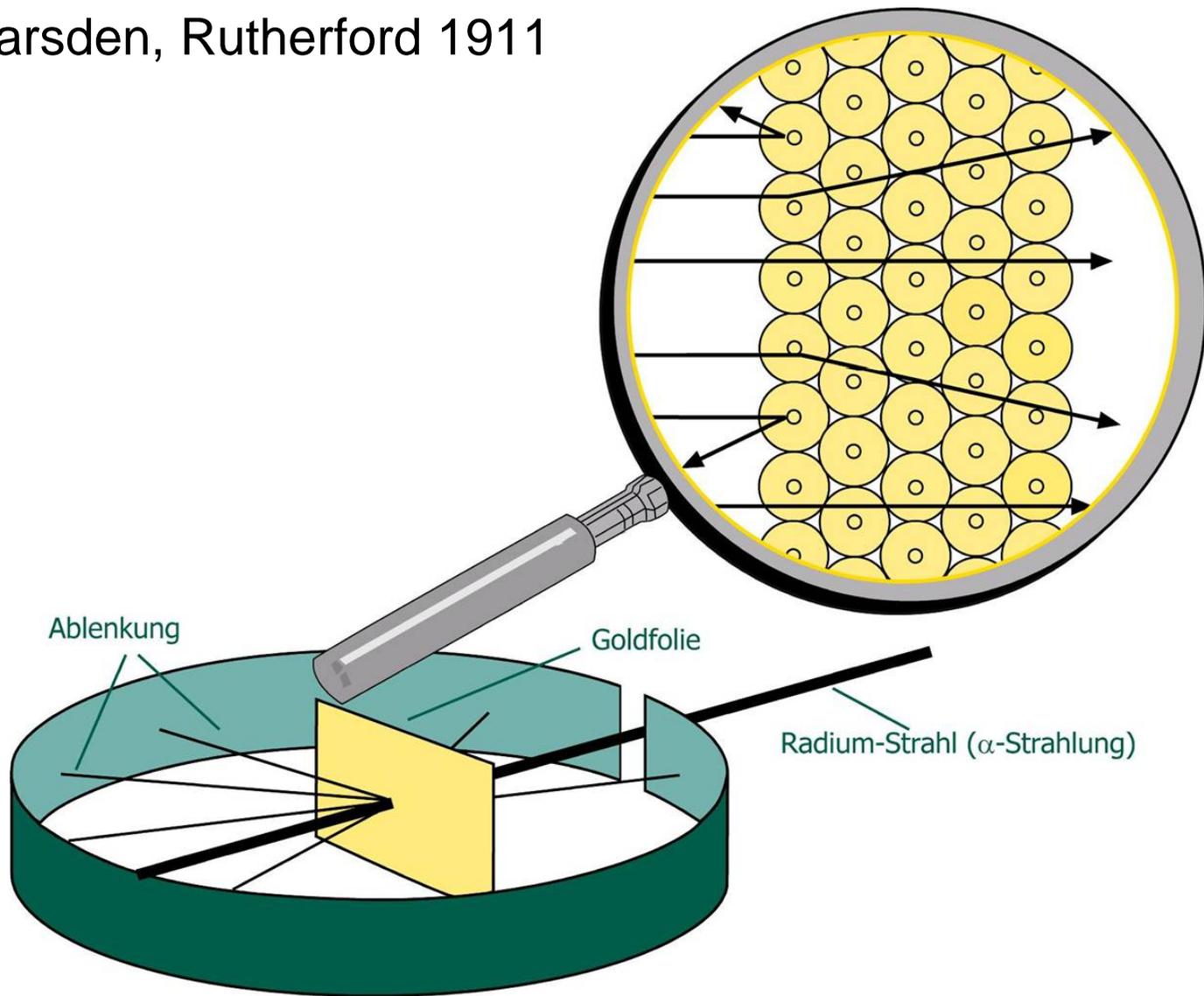
$$m = \frac{M \cdot Q}{z \cdot F}$$

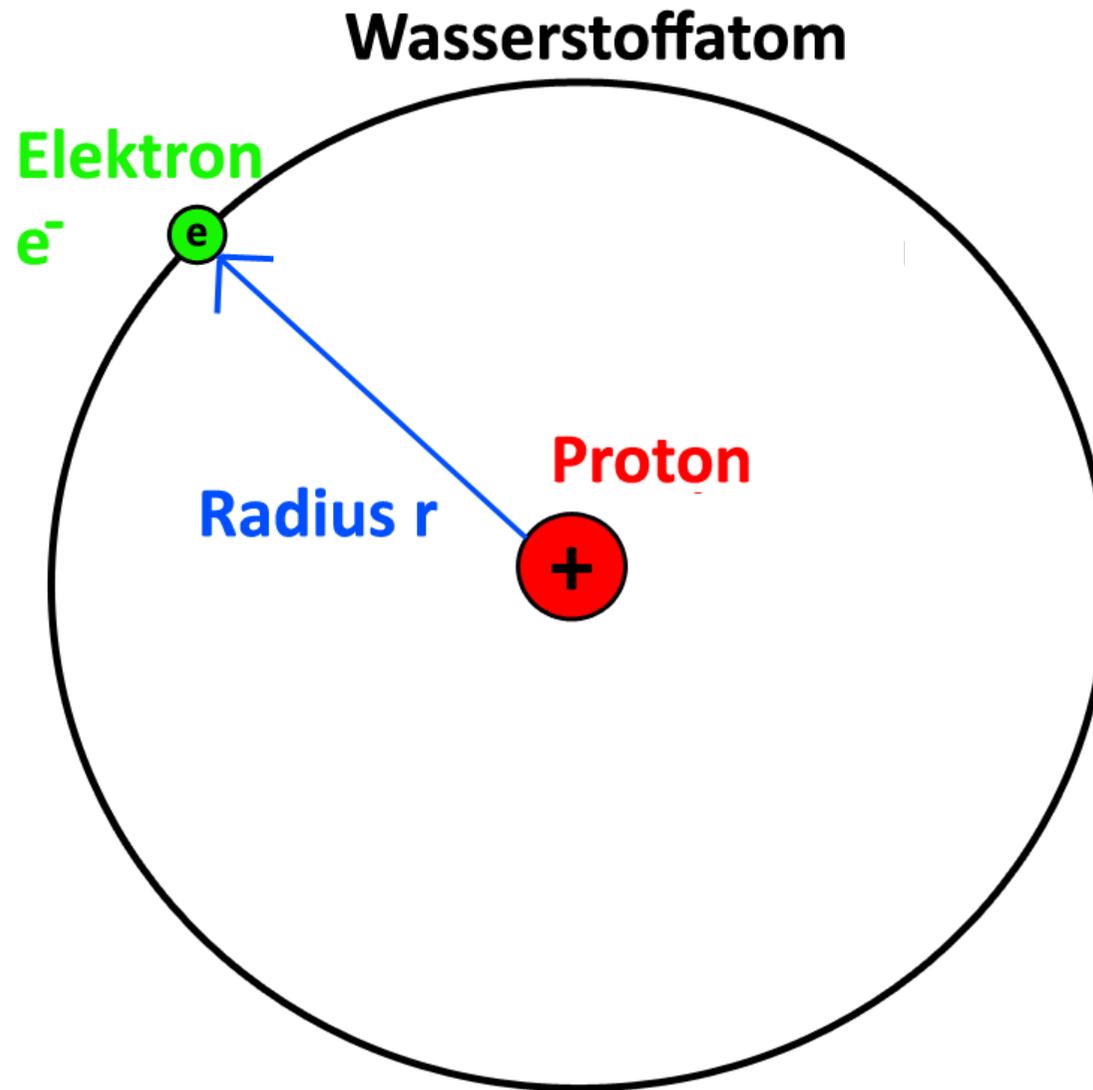
- > 1896: Entdeckung der Radioaktivität
- > 1897: Entdeckung des ersten Elementarteilchens, des Elektrons



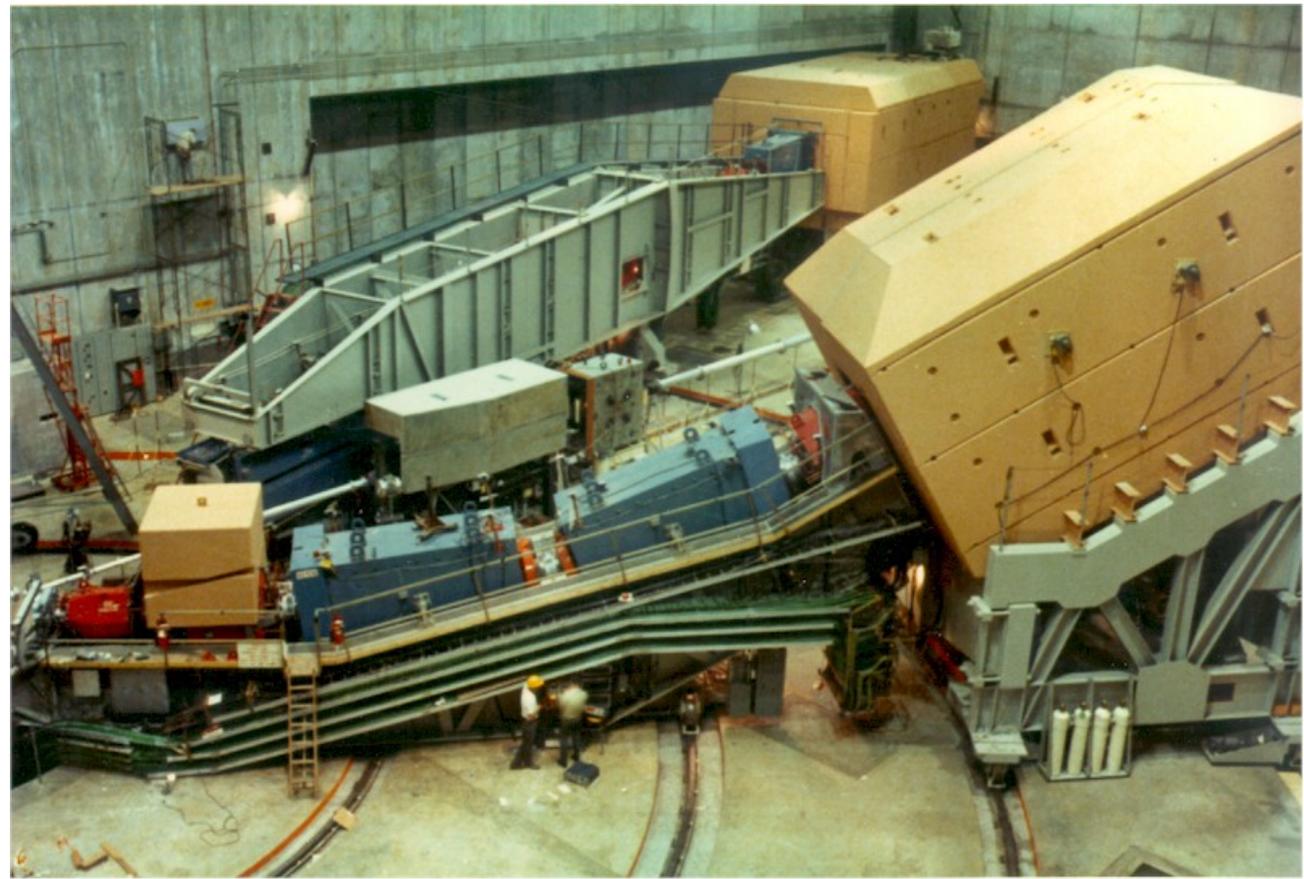
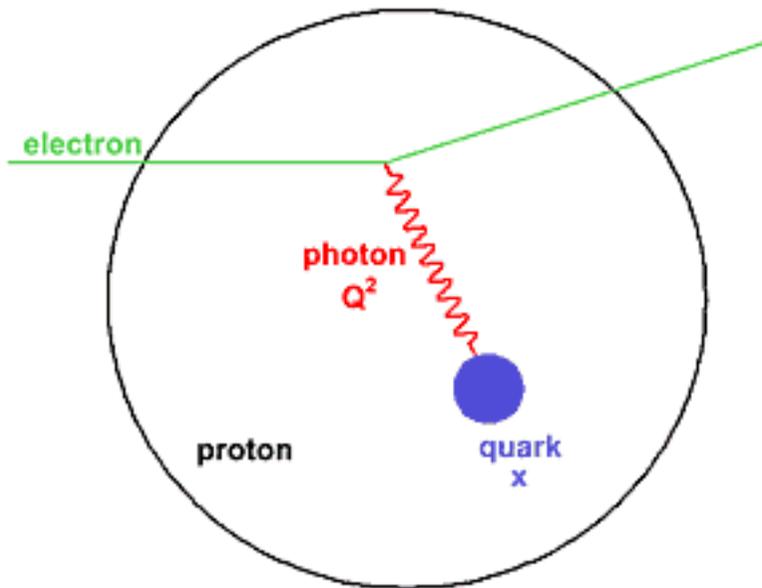
Der Rutherford'sche Streuversuch

> Geiger, Marsden, Rutherford 1911

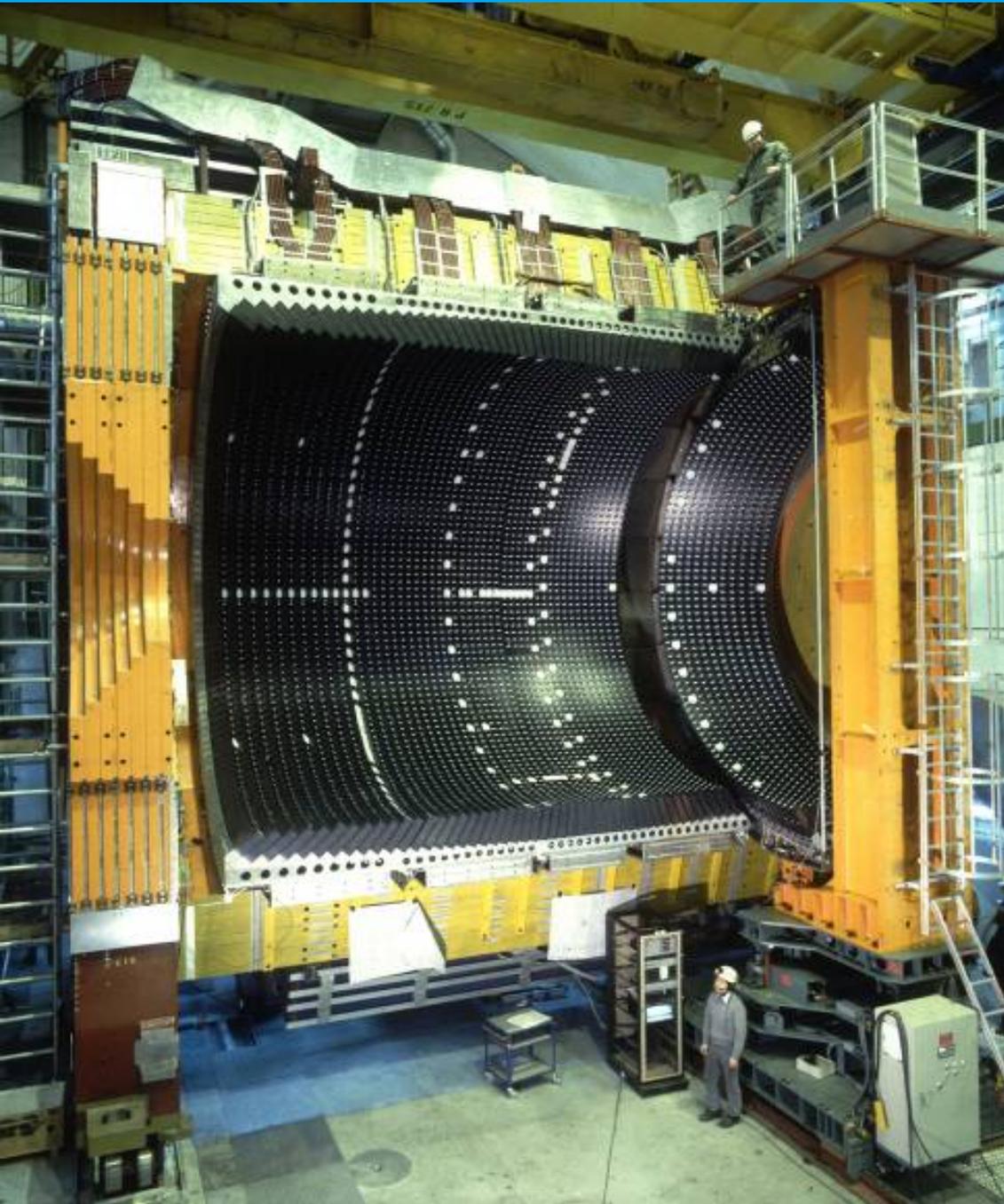




Entdeckung der Quarks



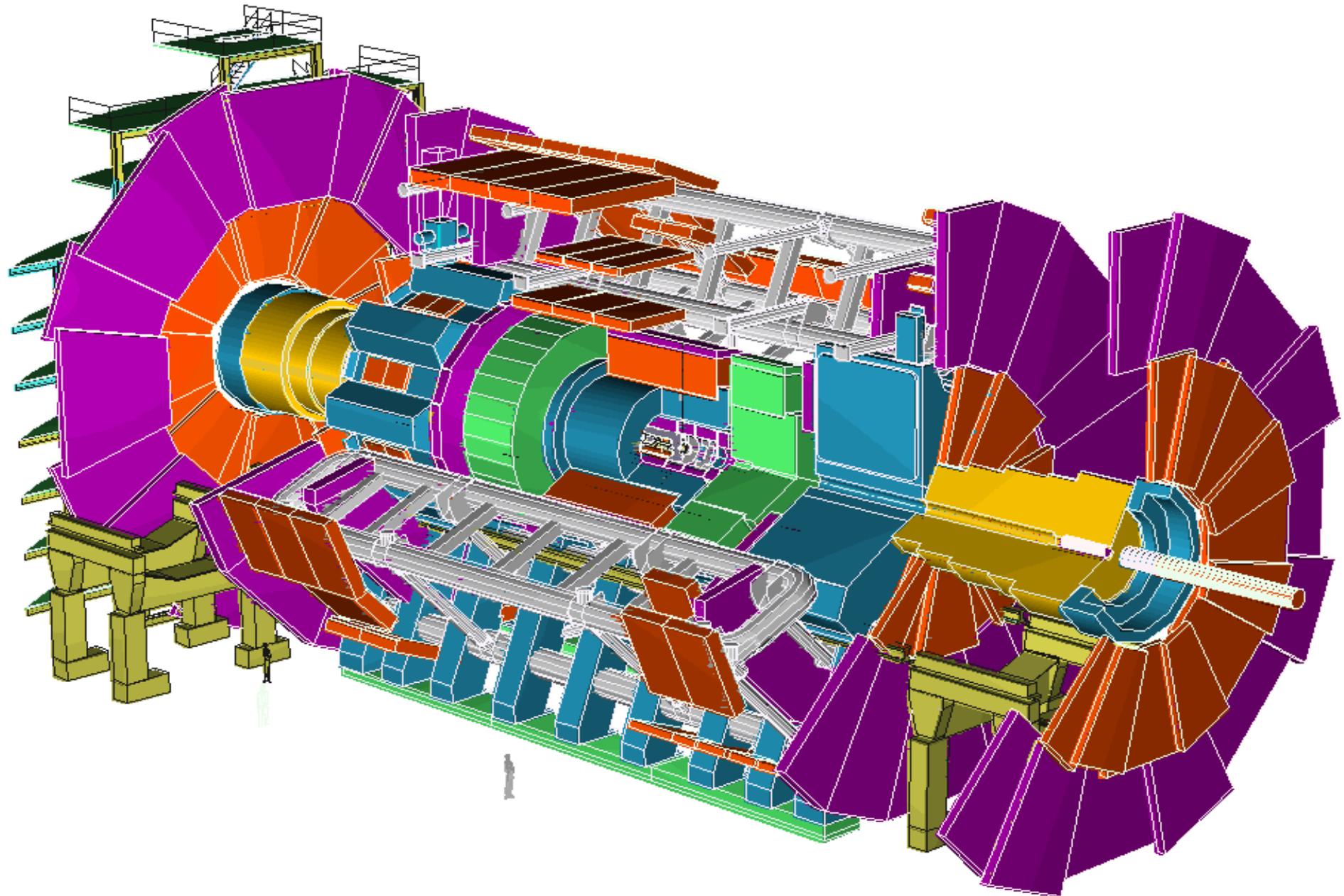
Die Augen der Teilchenphysik: Detektoren



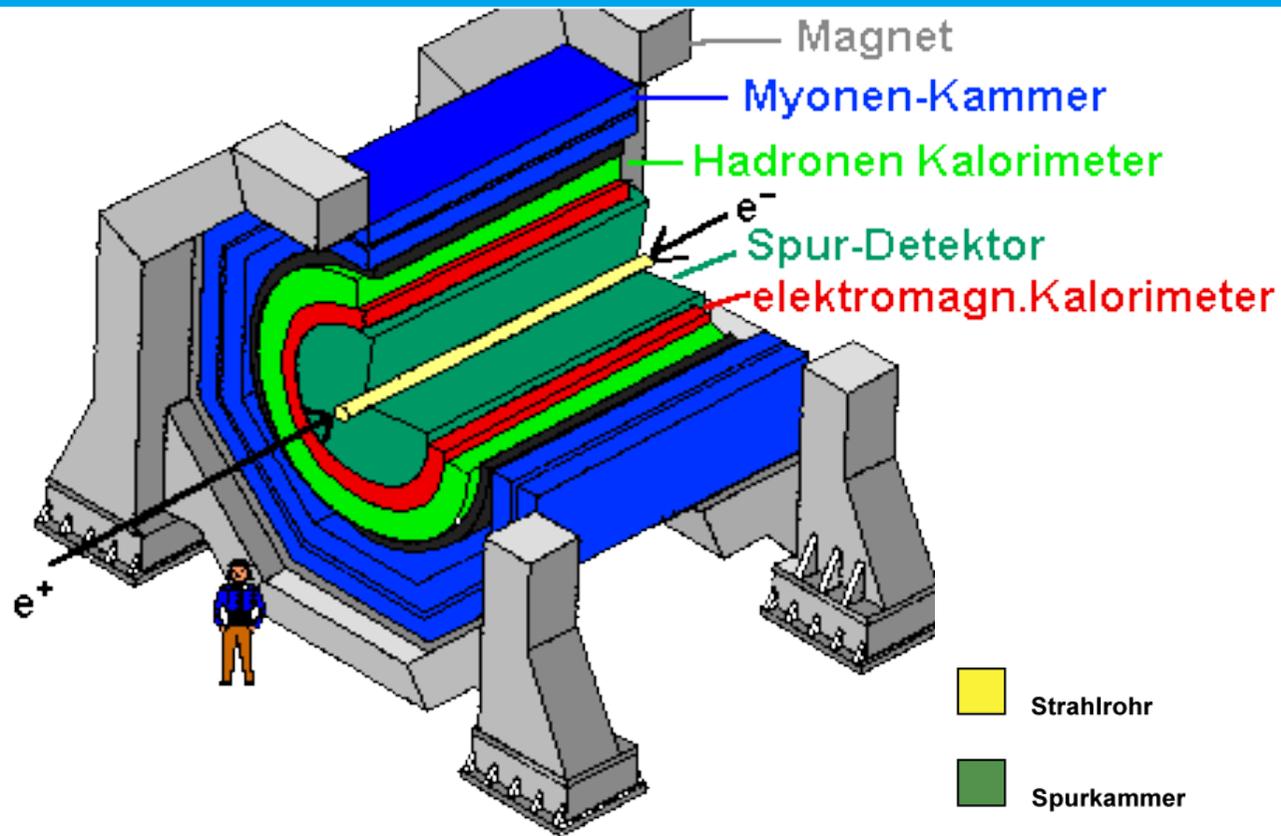
CERN, Genf,
bis 2000



Der ATLAS-Detektor am LHC



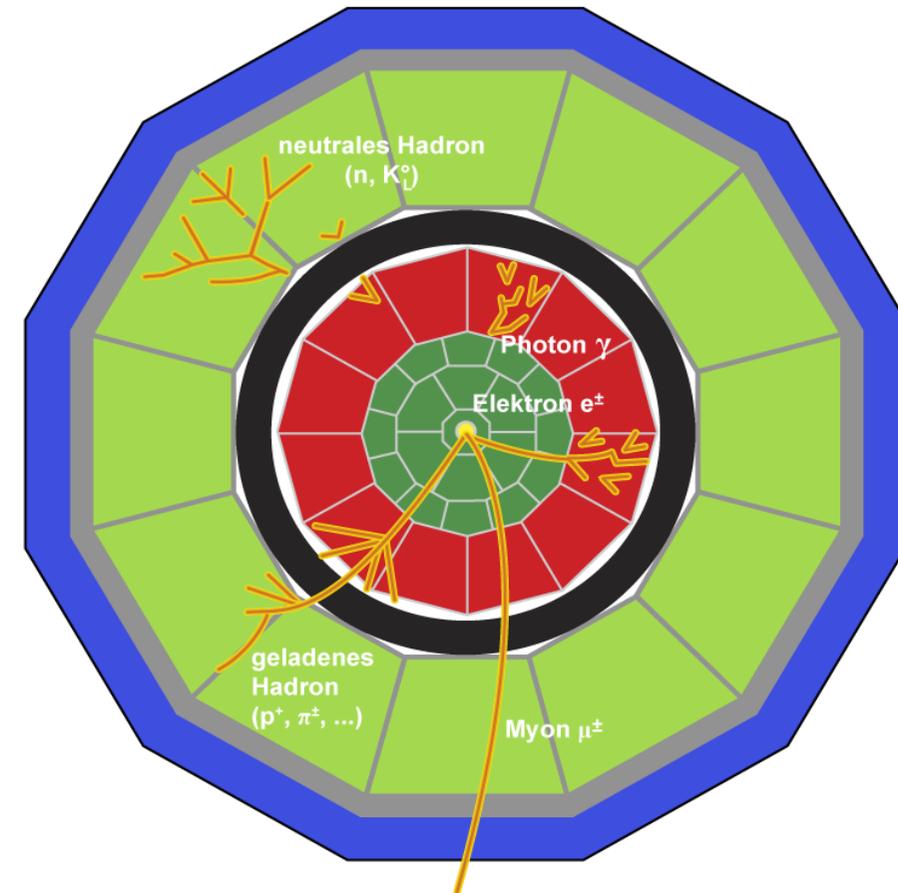
Teilchenidentifikation



- > feststellbare Teilcheneigenschaften:
- aus Quarks („Hadronen“)
 - elektr. geladen / ungeladen
 - leicht / schwer

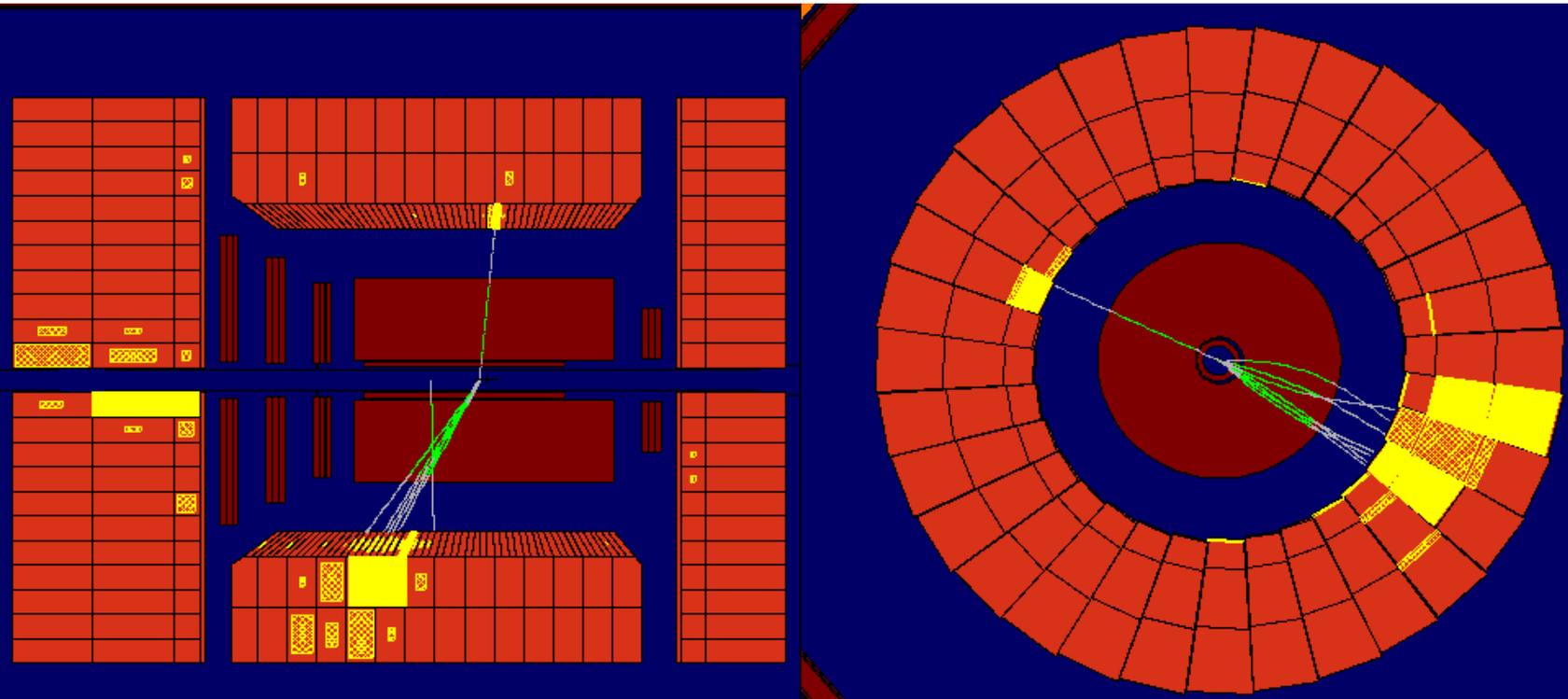
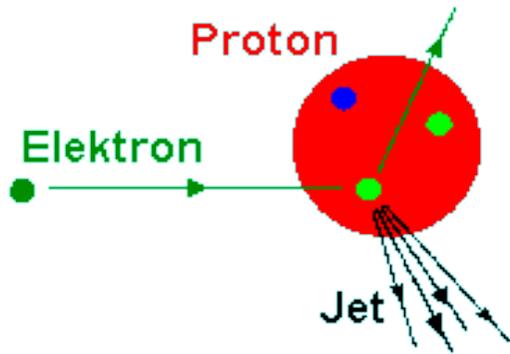
- Strahlrohr
- Spurkammer
- elektromagnetisches Kalorimeter
- magnetische Spule
- hadronisches Kalorimeter
- magnetisches Eisen
- Myonen-Kammer

- > Zwiebelschalenartiger Aufbau verschiedener Komponenten
- > Jede Teilchenart hinterlässt bestimmte Kombination von Signalen in den Komponenten



Einzelne Quarks ergeben „Hadronen“ Jets

> e-p Kollisionen bei HERA am DESY

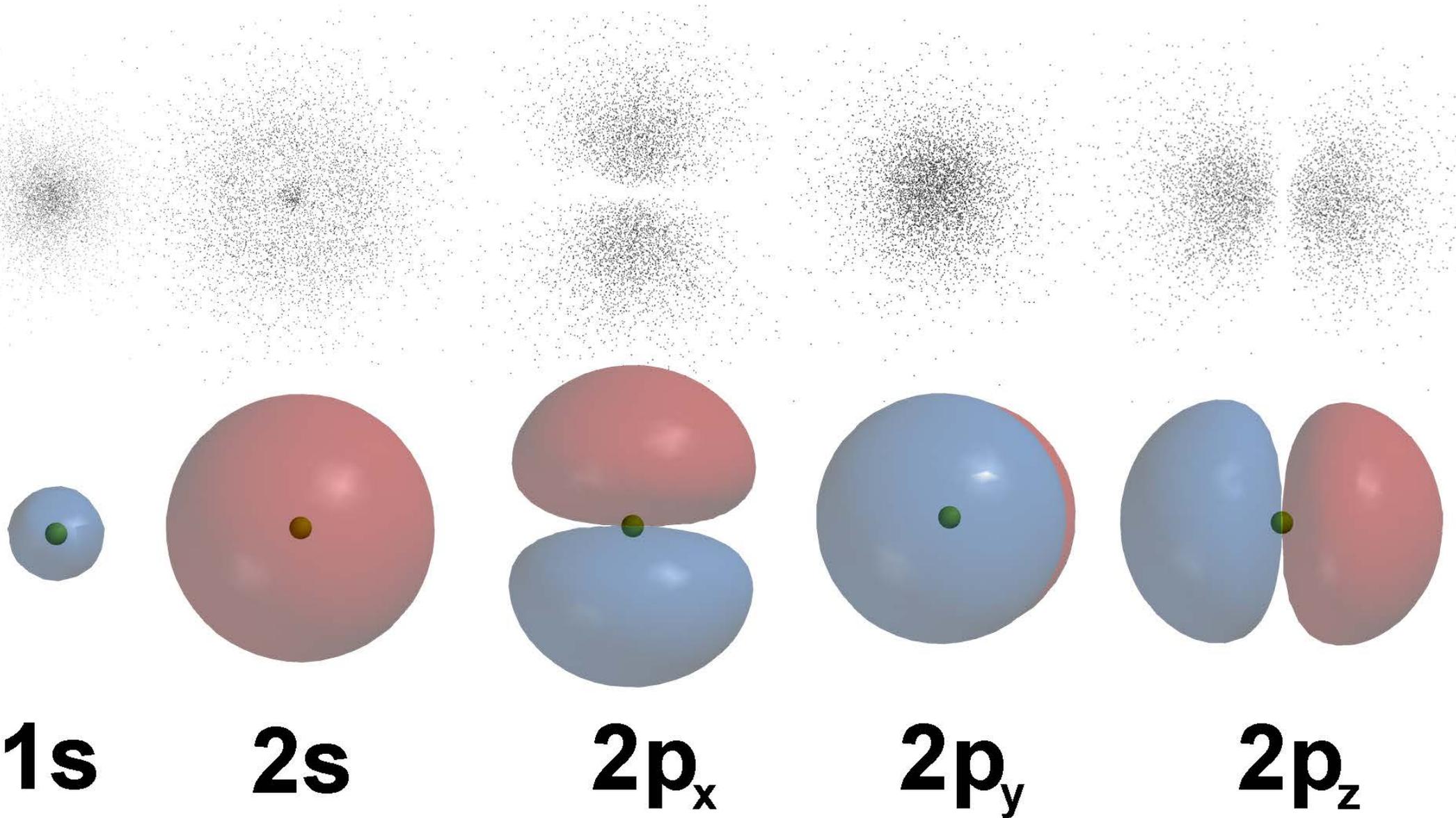


- > Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle = H |\psi(t)\rangle$$

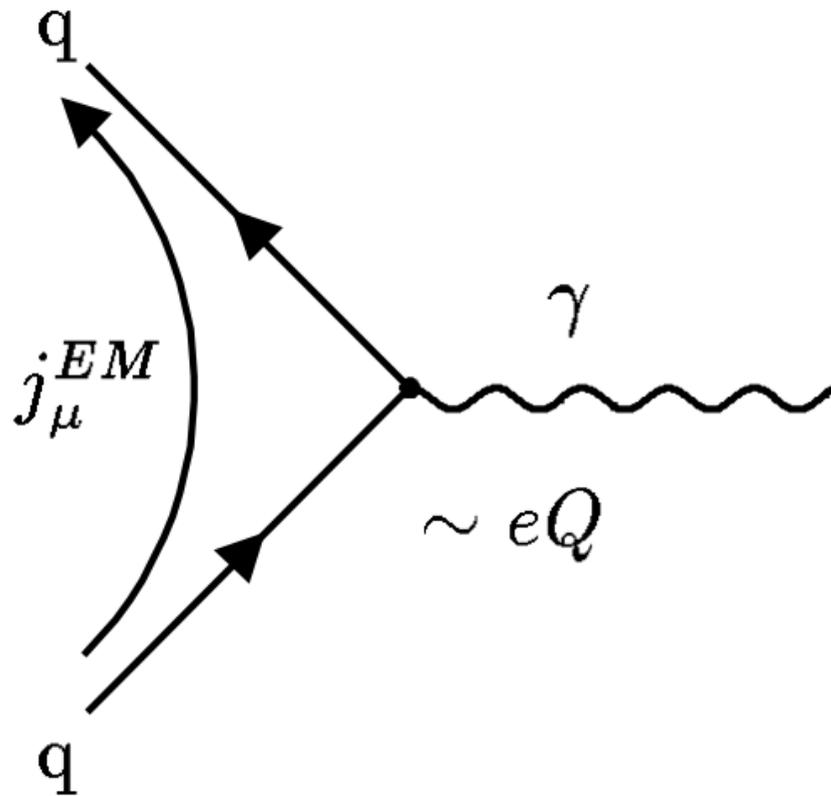
- > Teilchen verlieren ihren korpuskularen Charakter
- > Teilchen werden durch Zustandsfunktionen beschrieben und durch Quantenzahlen charakterisiert.

Elektron-Orbitale

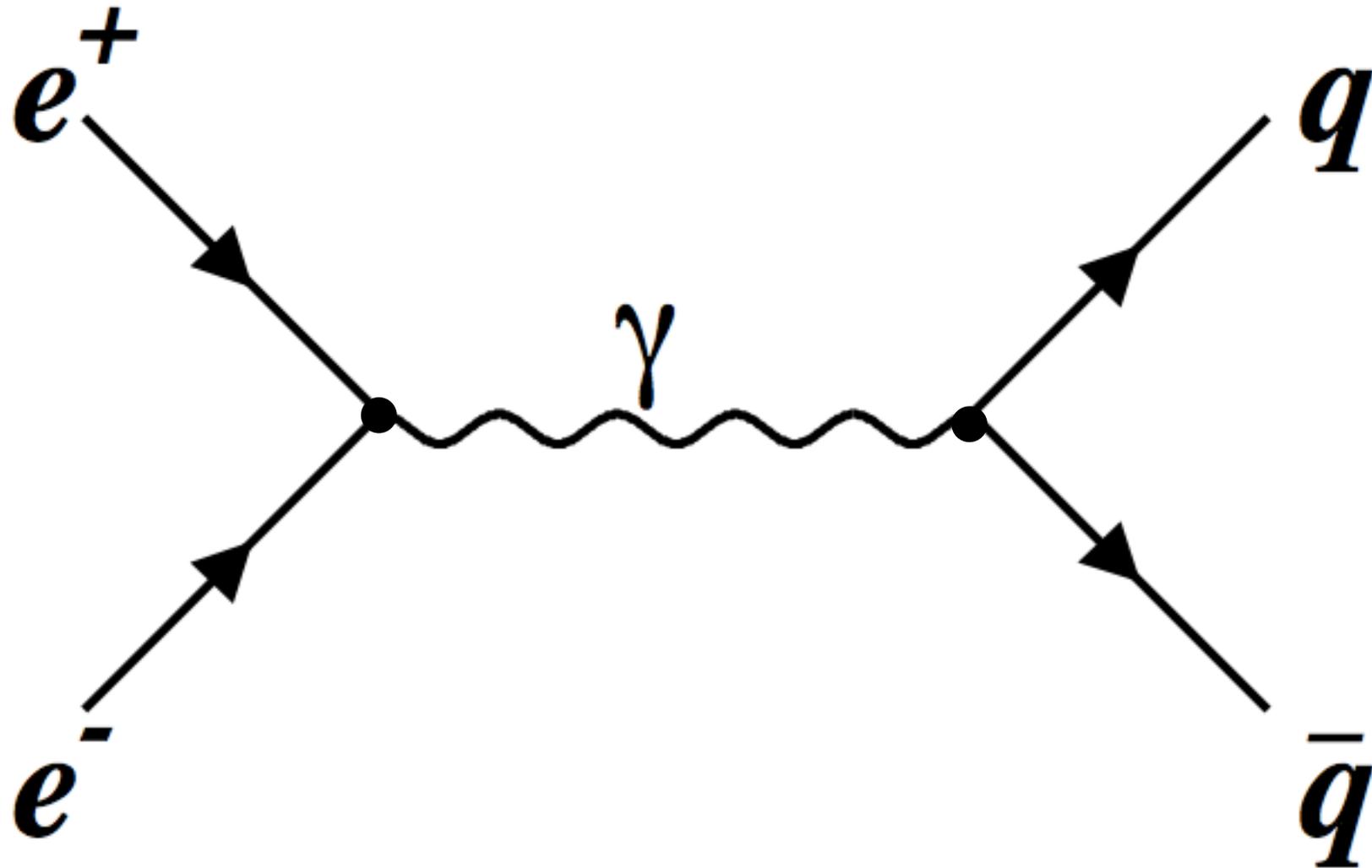


Quantenelektrodynamik QED

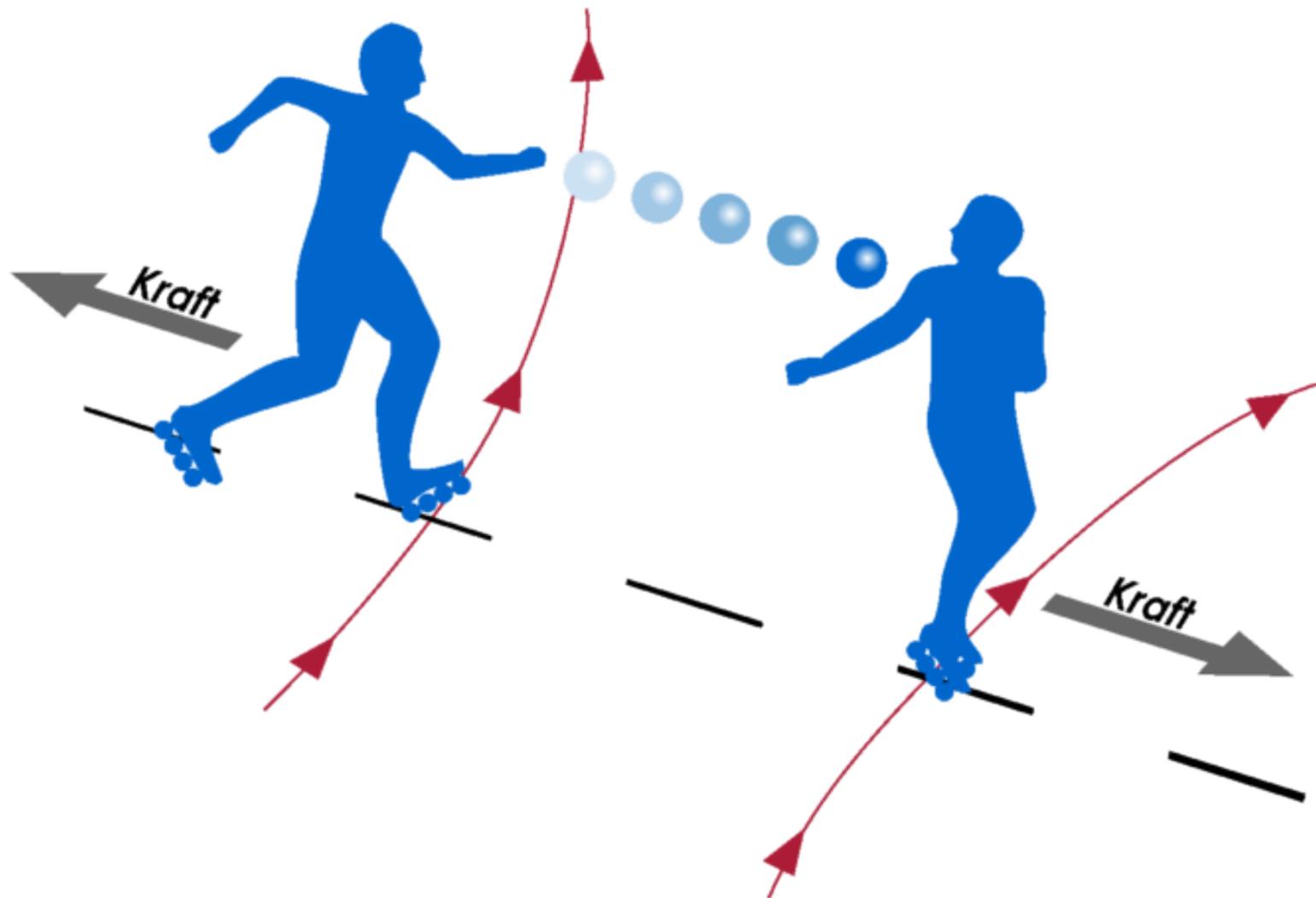
Die beste Theorie, die wir kennen.



Eine fundamentale Wechselwirkung



Wechselwirkungen



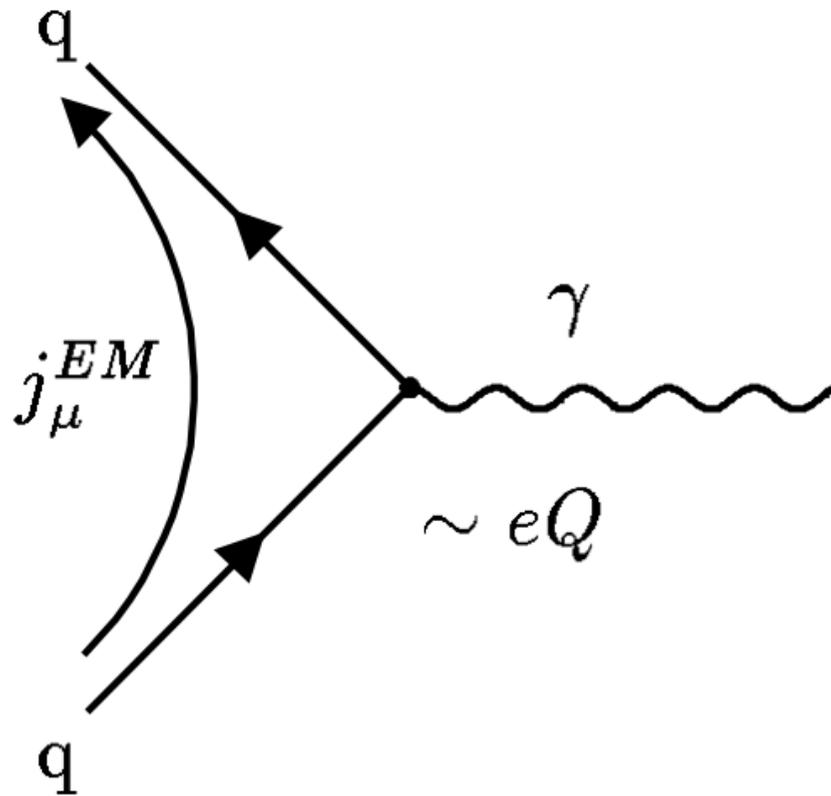
Fundamentale Wechselwirkung

- > Eine fundamentale Wechselwirkung ist einer der grundlegenden verschiedenen Wege, auf denen sich physikalische Objekte (Körper, Felder, Teilchen, Systeme) gegenseitig beeinflussen können.
- > Wechselwirkungen vereinigen die Phänomene “Entstehung”, “Kraft” und “Zerfall”
- > Es gibt die vier fundamentalen Wechselwirkungen: Gravitation, Elektromagnetismus, Schwache Wechselwirkung, Starke Wechselwirkung
- > Die vier Grundkräfte der Physik.

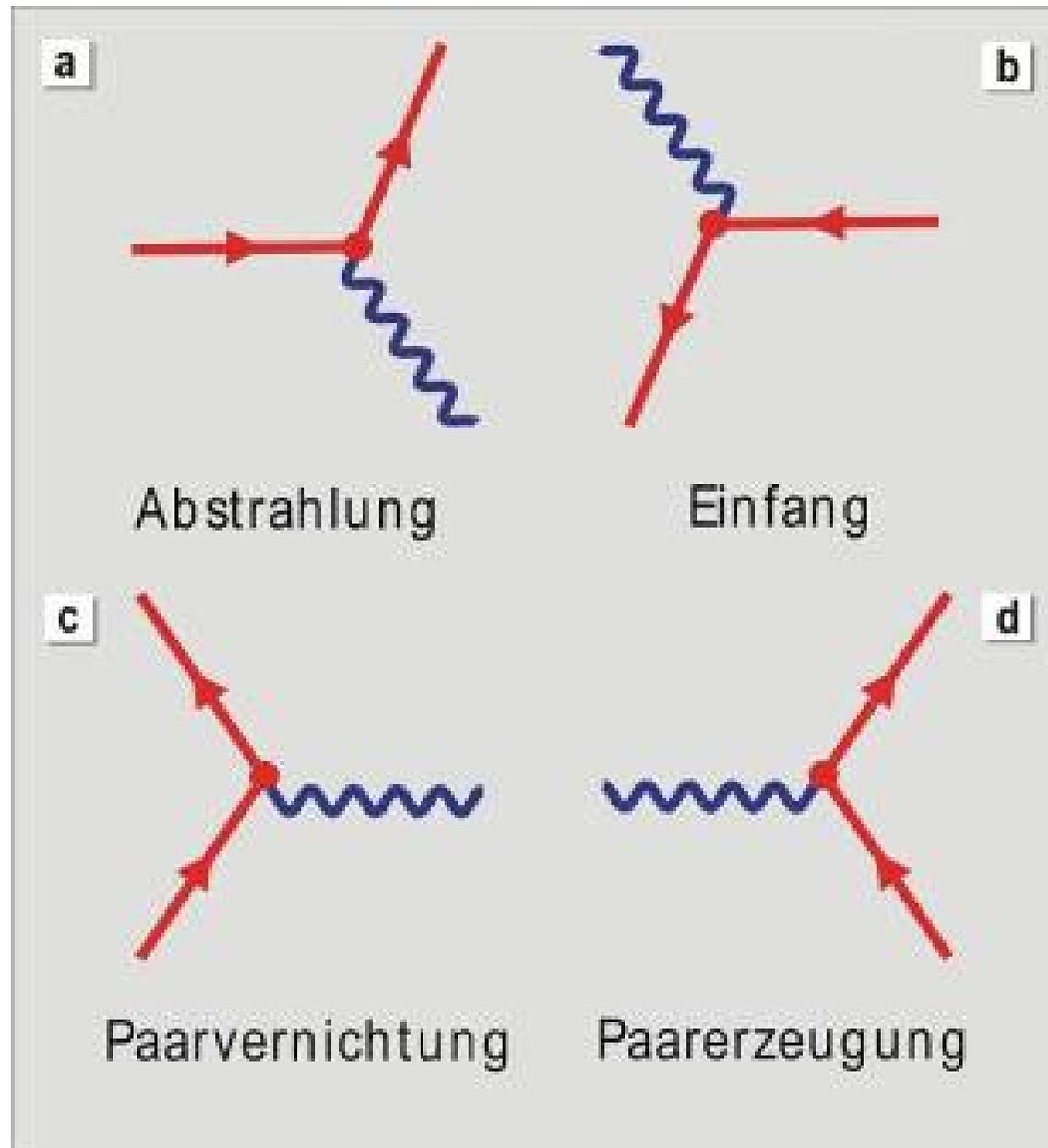


Bausteine einer Wechselwirkungstheorie

- > Zu jeder Wechselwirkung gehört eine Ladung
- > Nur Teilchen mit entsprechender Ladung spüren die Wechselwirkung
- > Wechselwirkung erfolgt über Austausch von Botenteilchen



Fundamentale Wechselwirkungen

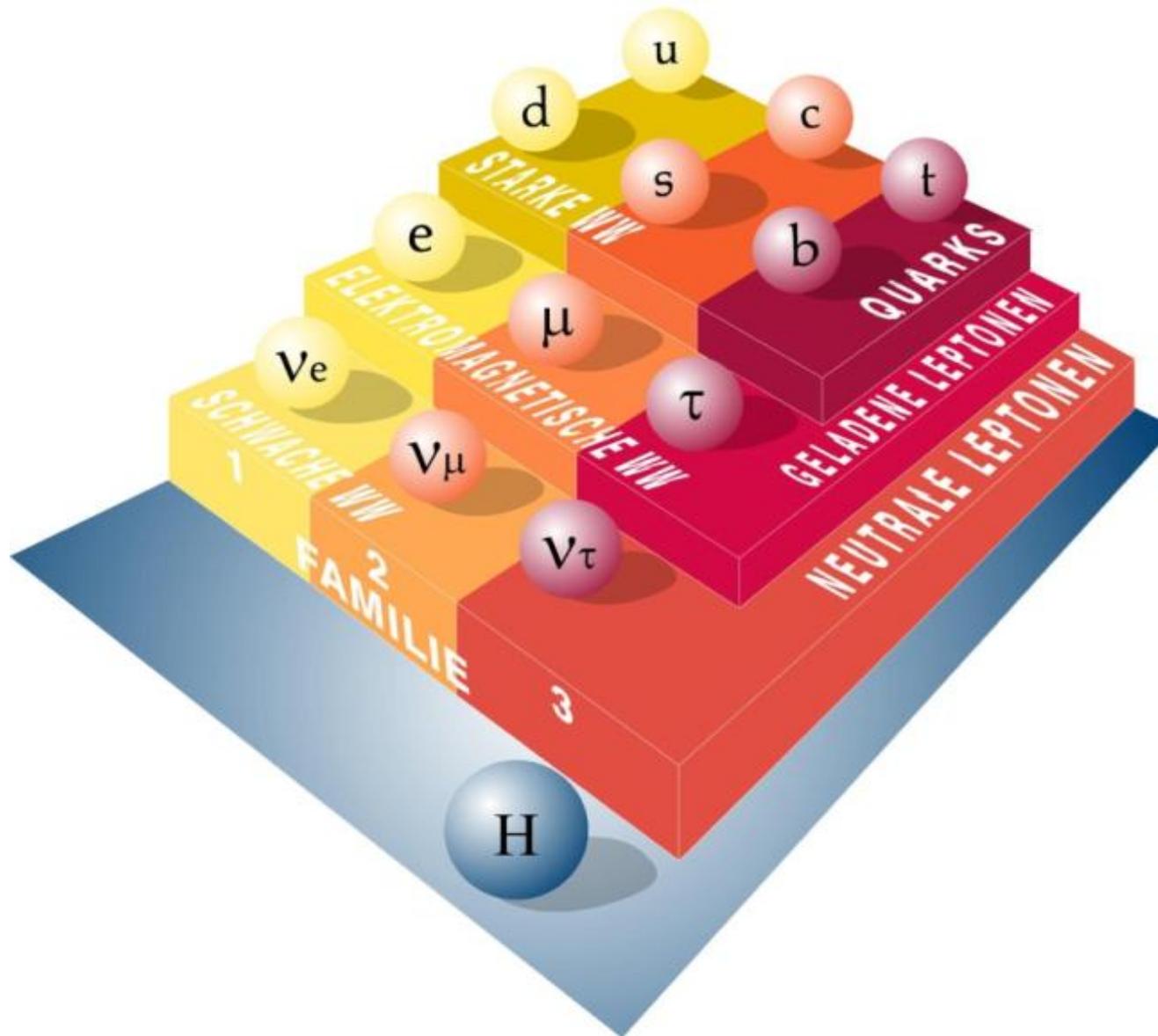


Neues über Ladung

- > Es gibt 3 völlig verschiedene Ladungen (für jede WW des Standardmodells eine)

Elektrische Ladung Q	Schwache Ladung I_3^W	Starke Ladung	Blau Grün Rot		
$+2/3$	$+1/2$	u	c	t	Quarks
$-1/3$	$-1/2$	d	s	b	
0	$+1/2$	ν_e	ν_μ	ν_τ	Leptonen
-1	$-1/2$	e	μ	τ	
		1.	2.	3.	Familie

Die Teilchenmultipletts





$$|\psi(x)|^2$$

Das Eichprinzip

Die Forderung der Invarianz der messbaren Physik nach Transformationen der Zustandsfunktionen unter “Drehungen” erzwingt die Einführung von Wechselwirkungen.

$SU(2) \times U(1)$ → Elektro-schwache Wechselwirkung

$SU(3)$ → Starke Wechselwirkung

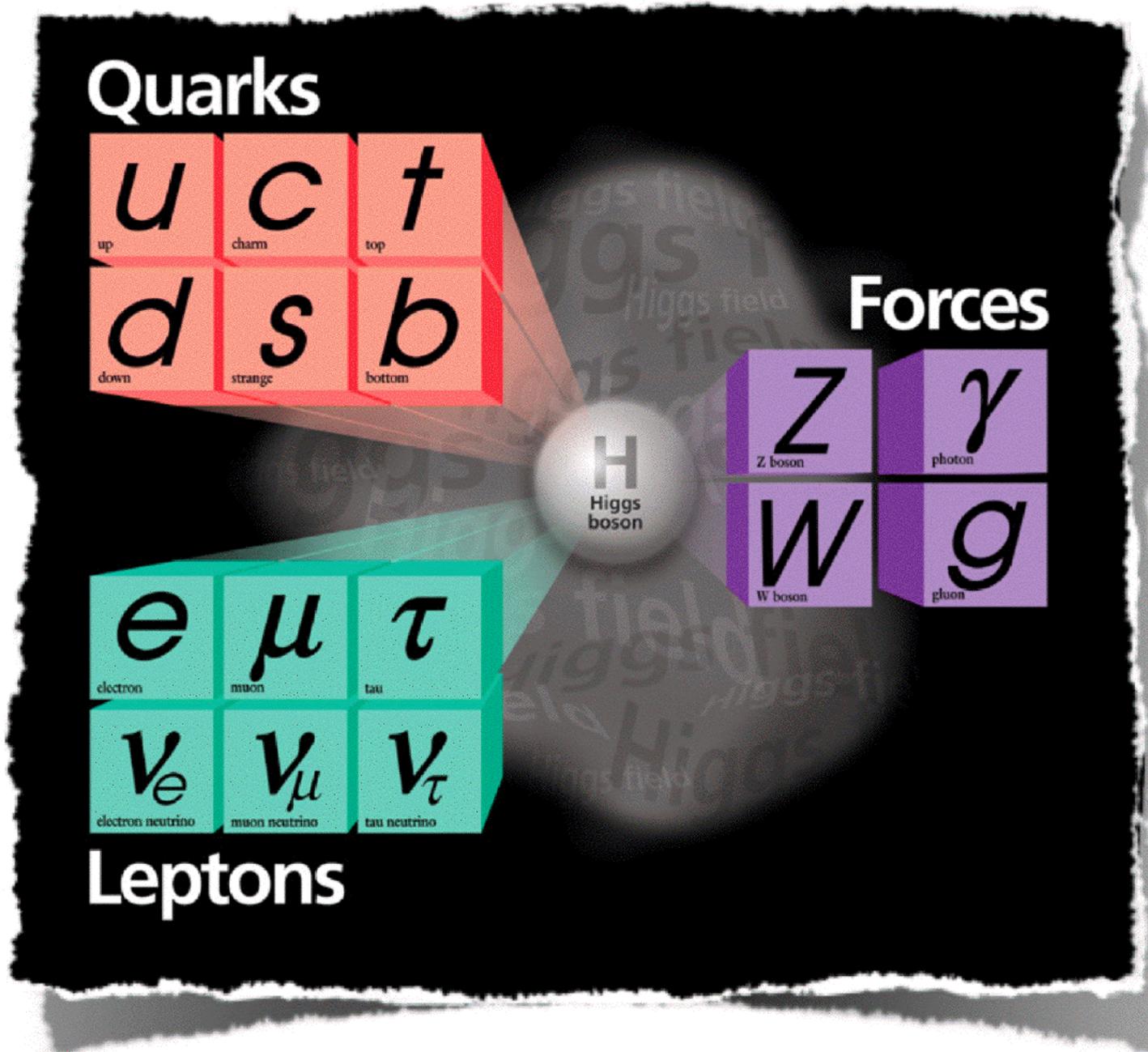


“Am Anfang war die Symmetrie’, das ist sicher richtiger als die Demokritische These ‘Am Anfang war das Teilchen’. Die Elementarteilchen verkörpern die Symmetrien, sie sind ihre einfachsten Darstellungen, aber sie sind erst eine Folge der Symmetrien”

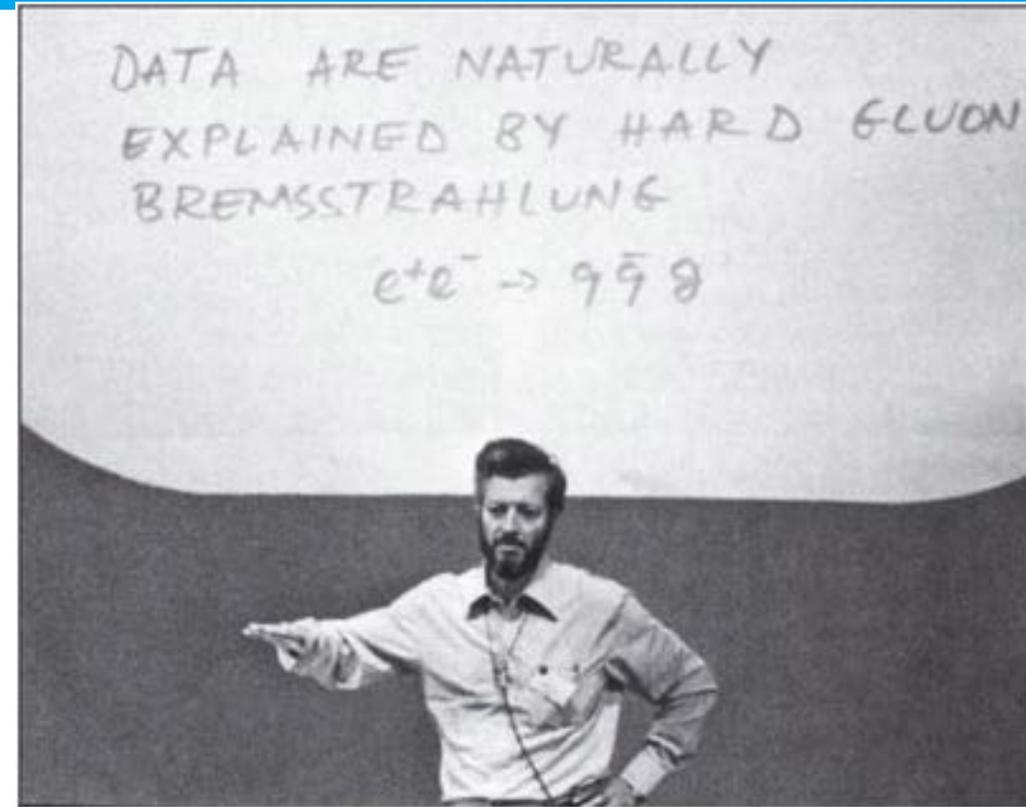
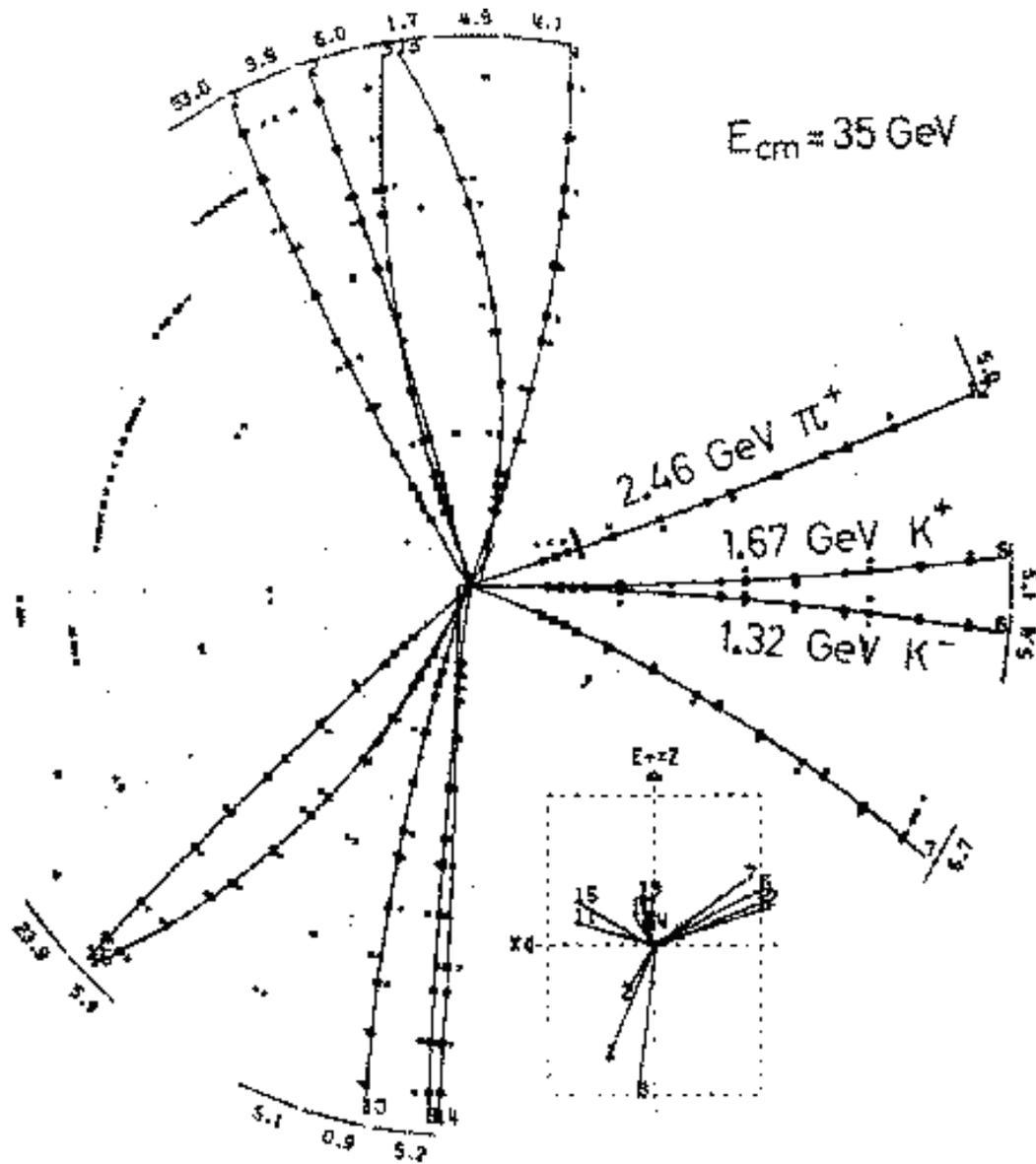
Werner Heisenberg, Der Teil und das Ganze



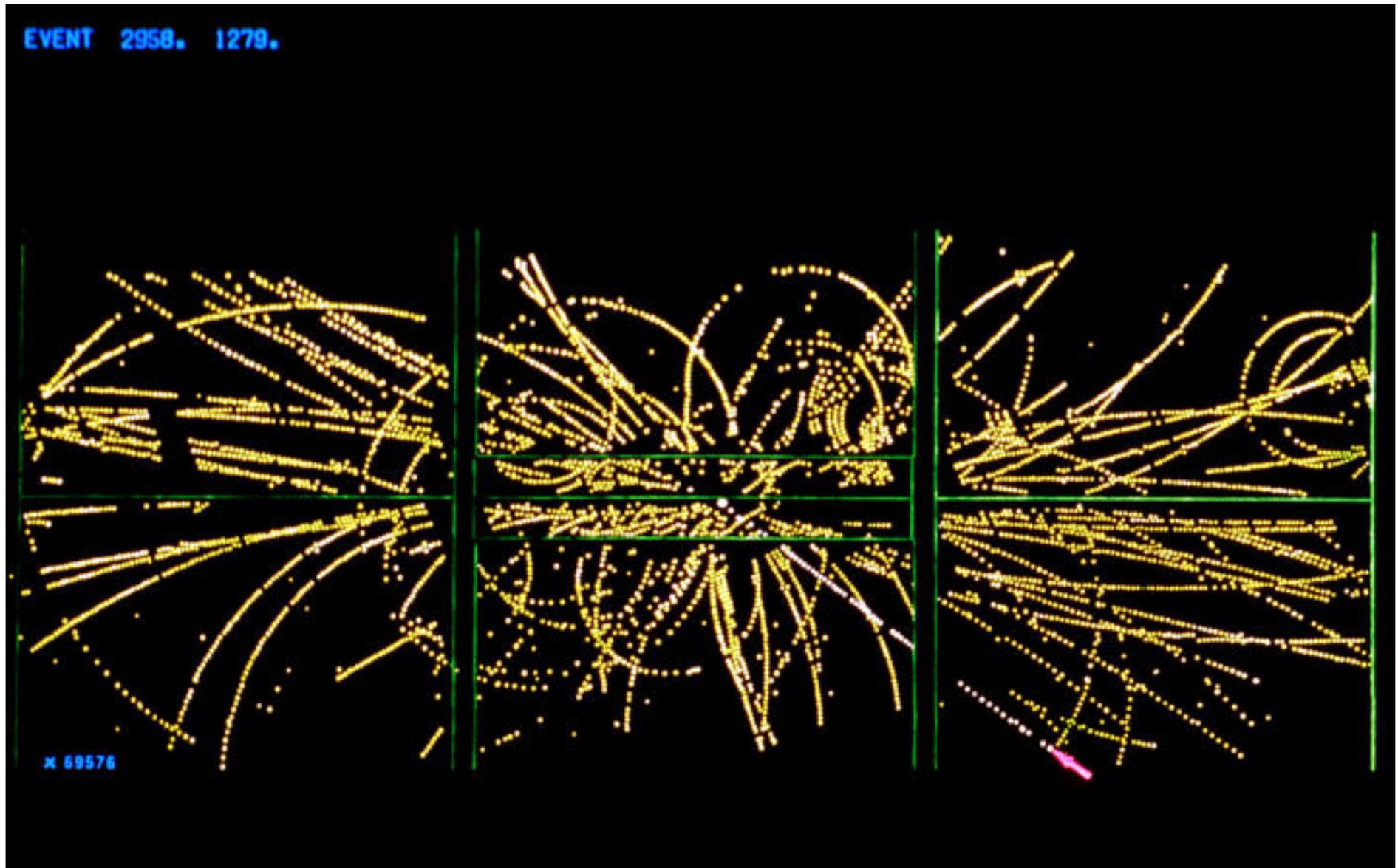
Das Standardmodell der Elementarteilchen



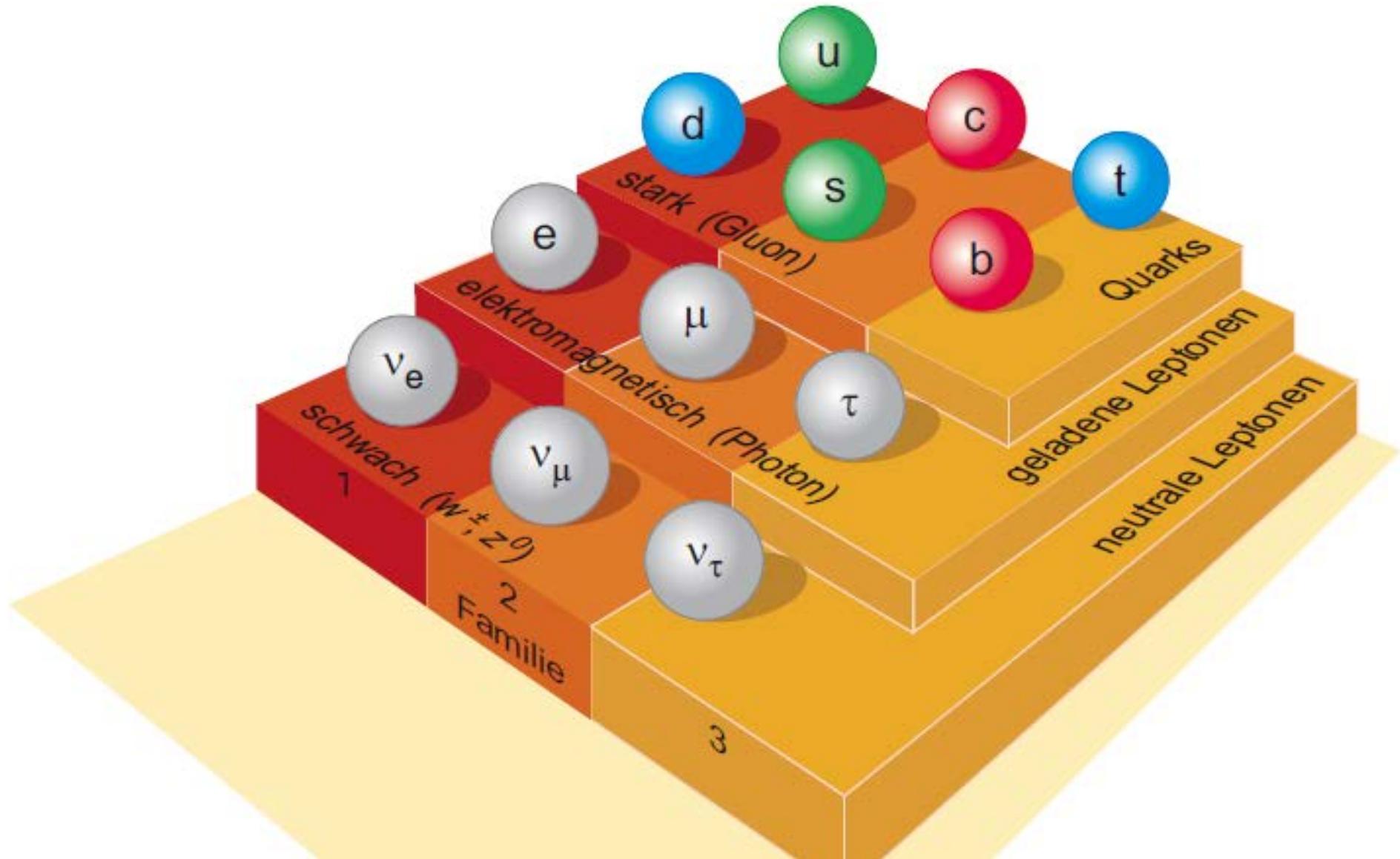
1980: Entdeckung der Gluonen am DESY



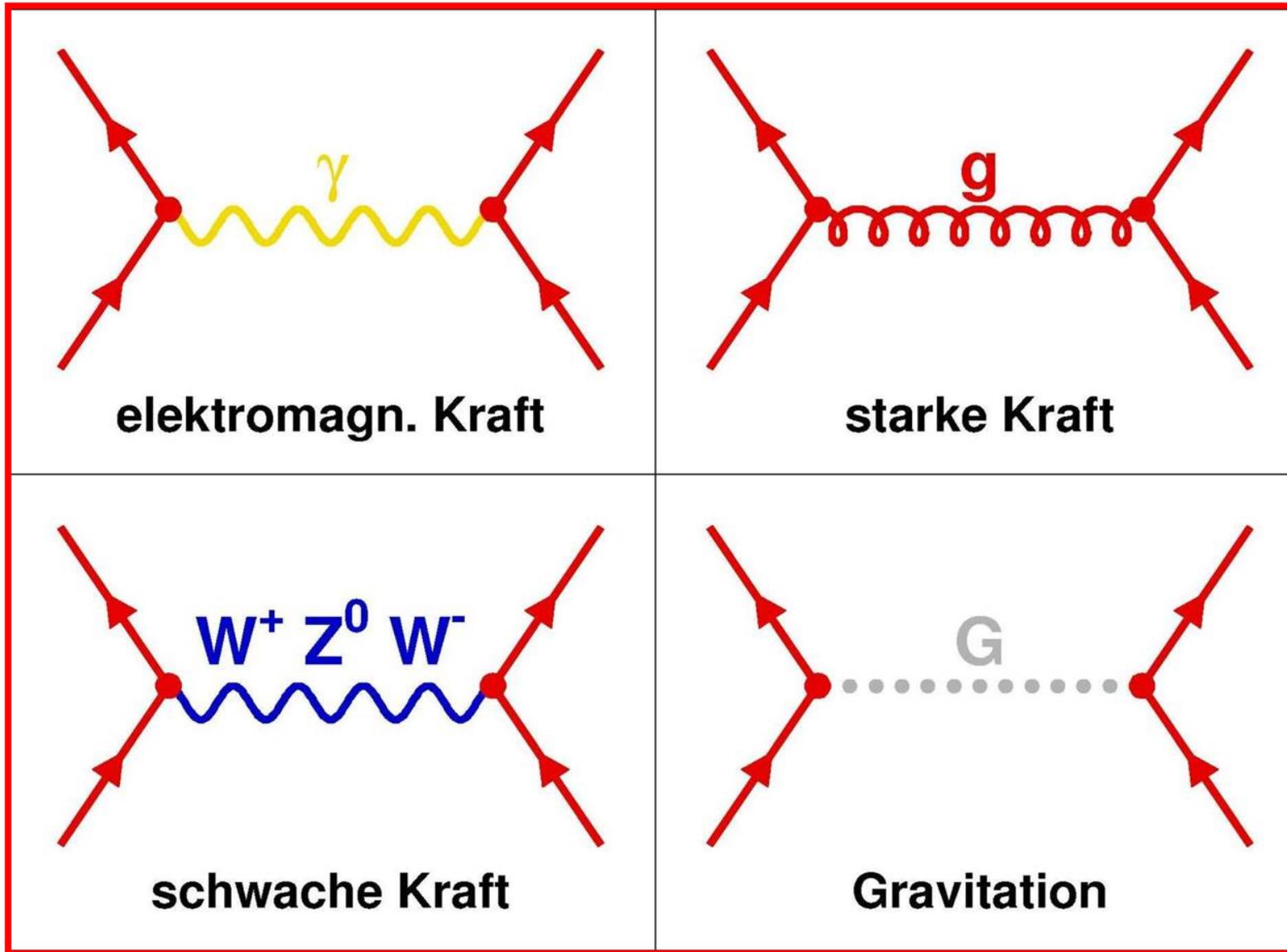
1983: Entdeckung der W-Bosonen am CERN



Teilchen und Kräfte



Die vier fundamentalen Wechselwirkungen

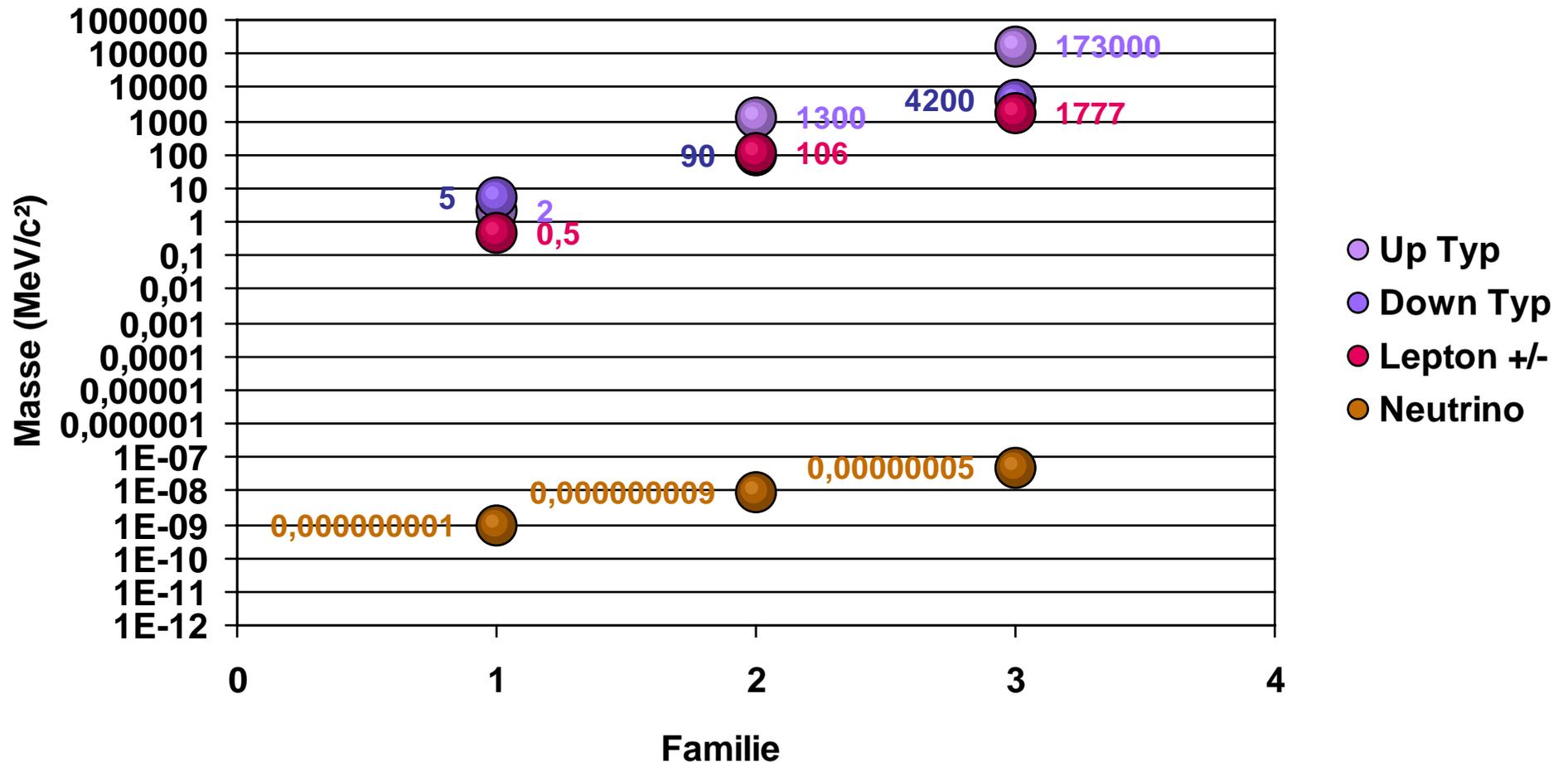


Wechselwirkung	Botenteilchen	Ladung der Materieteilchen
Starke	Gluonen g	Starke „Farb“-Ladung „Rot“, „Blau“, „Grün“
Schwache	„Weakonen“ (W^+, W^-, Z)	Schwache „Isospin“-Ladung $I_3^W =$
Elektromagnetische	Photonen γ	Elektrische Ladung $Q = -1, +2/3, -1/3, \dots$
Gravitation	Gravitonen ? Wahrscheinlich!	Masse ??? Eher nicht...

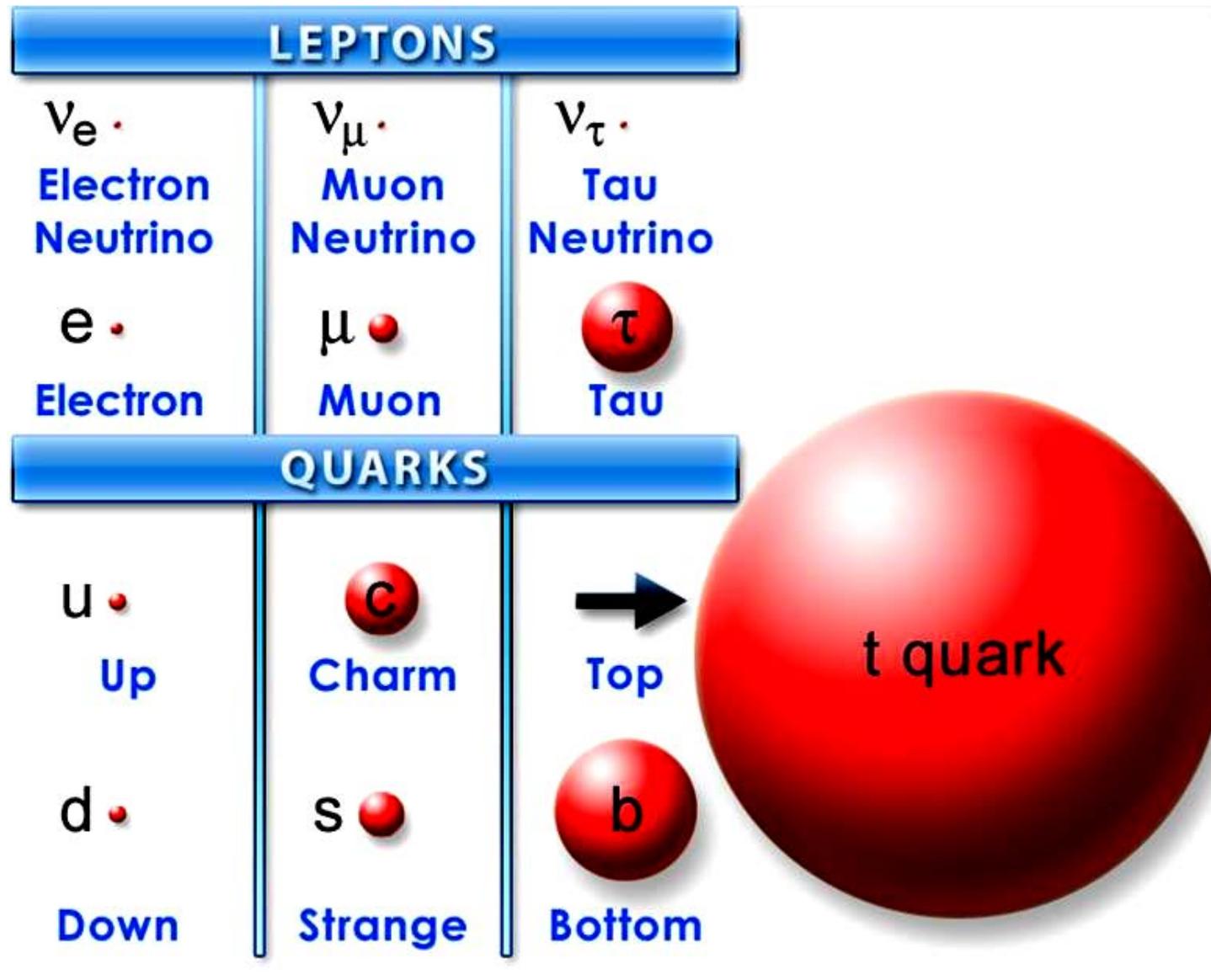


Das Problem der Massen

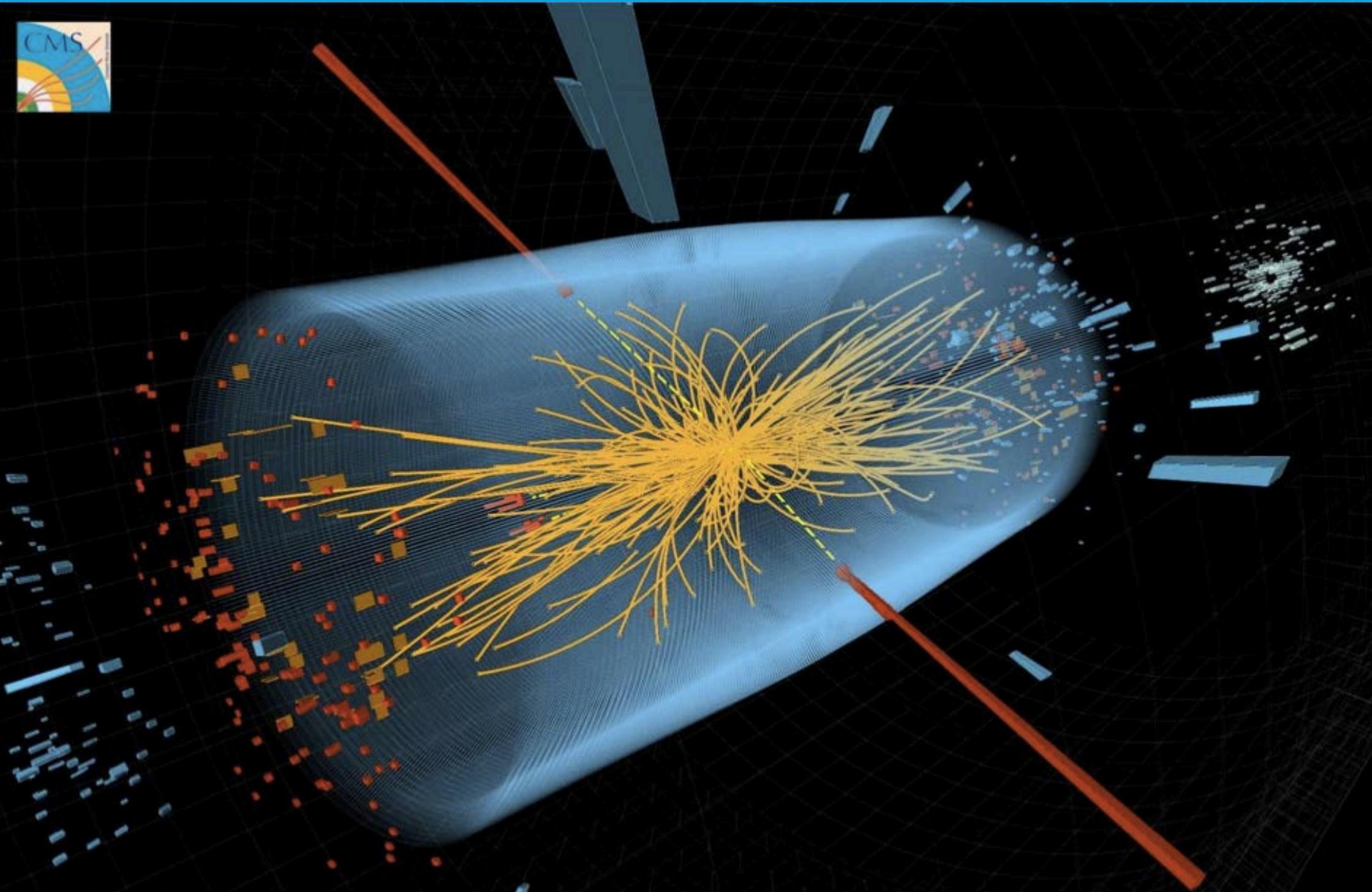
> Massen brechen die Eichsymmetrie



Der Higgsmechanismus



Die Entdeckung des Higgs



Urknall

