



"Wir haben es!" CERN feiert Durchbruch bei Higgs-Suche

04.07.2012 | 11:02 | von Daniel Breuss (DiePresse.com)

Das Higgs-Boson verleiht den Bausteinen des Universums ihre Masse. Seit Jahrzehnten suchen Forscher das Elementarteilchen. Nun wurde am Teilchenbeschleuniger LHC ein neues Teilchen gefunden, das ihm entspricht.

30.11.2009

LHC

Teilchenbeschleuniger knackt Energie-Weltrekord

Teilchenphysik

Das Leben, das Universum und der ganze Rest



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



NETZWERK
TEILCHENWELT

Teil 1: Einführung

Warum Teilchenphysik?





Fundamentale Fragen

Wer?

Wie?

Wieviele?

Was?

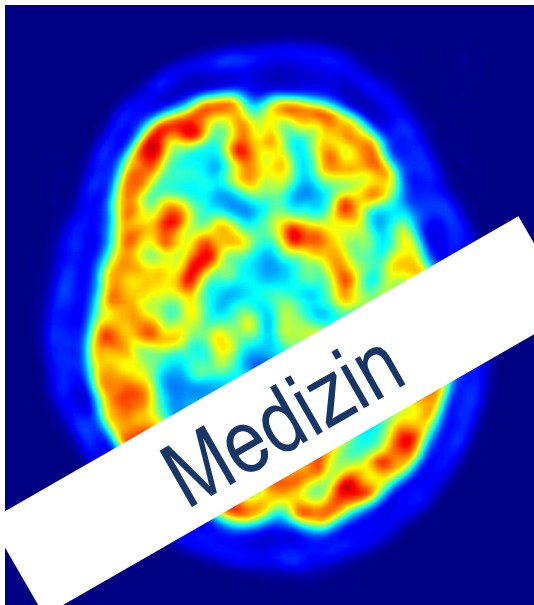
Wo?

Wann?

Warum?

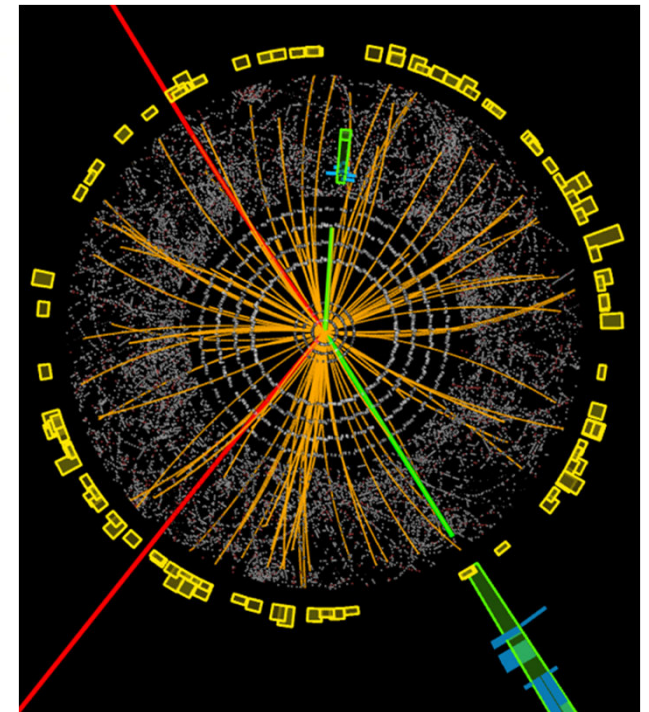
Warum Teilchenphysik?

- Interesse und Neugier!
- Weiterentwicklung von Technologien für Computerchips, Detektoren, Magnete uvm.



Wie forschen Teilchenphysiker?

- Medizin: Krankheitserreger verursachen beobachtbare Symptome
- Teilchenphysik: Interaktion von Teilchen nicht direkt beobachtbar, nur sog. Endzustände

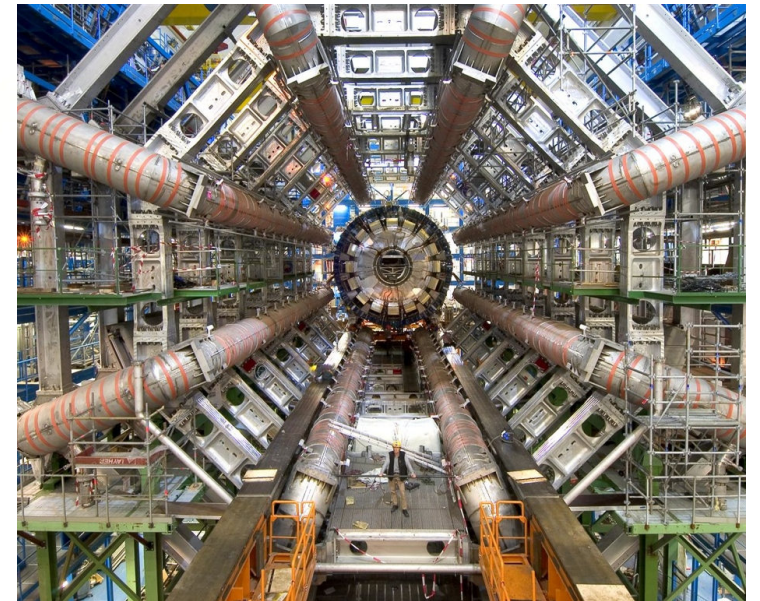


Wie forschen Teilchenphysiker?

- Medizin: teure, hochkomplexe Maschinen
- Teilchenphysik: teure, hochkomplexe Maschinen

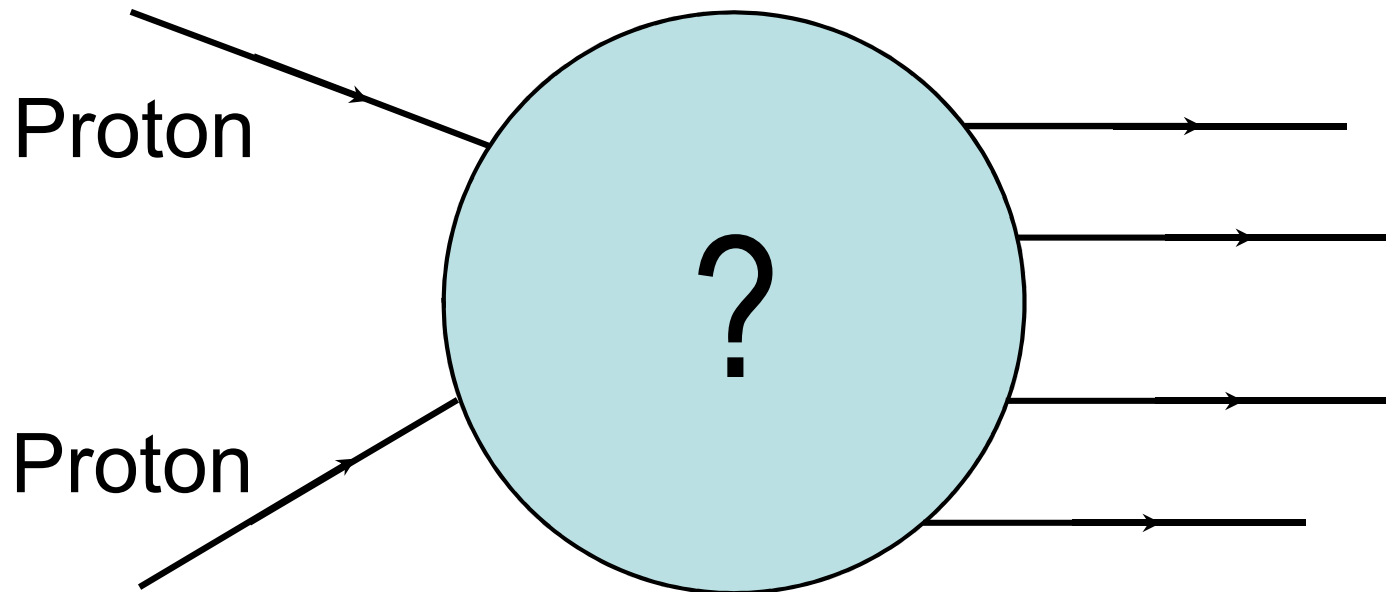


\$1.5 Millionen

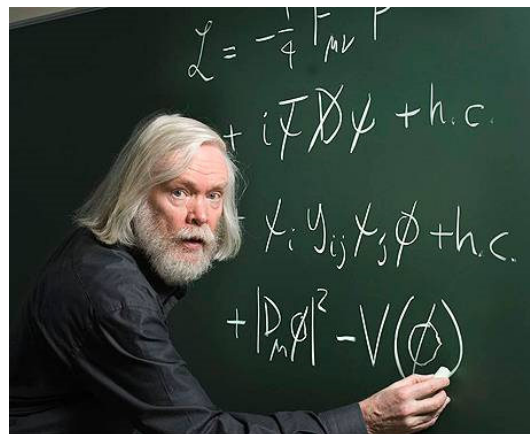


\$450 Millionen

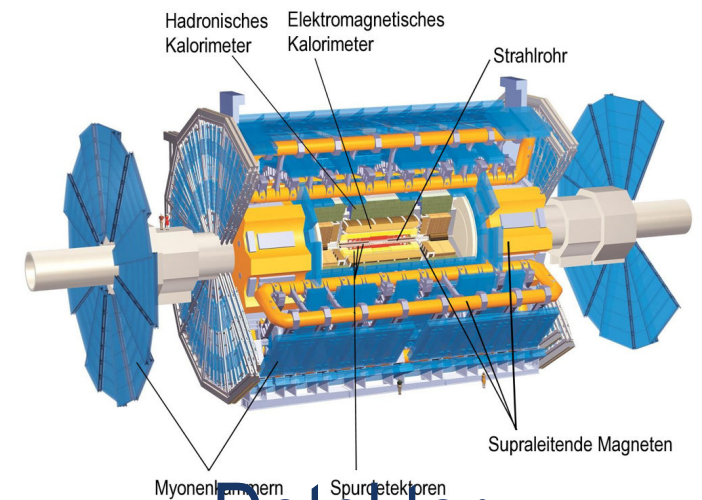
Wie forschen Teilchenphysiker?



Beschleuniger



Theorie



Detektor

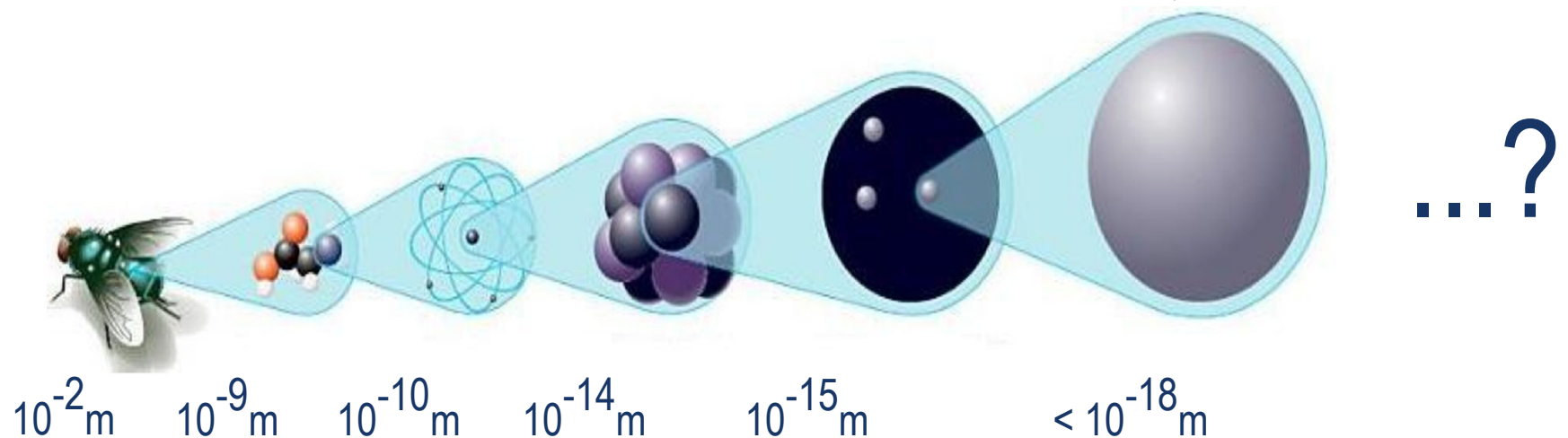
Teil 2: Das Modell

Wie Physiker sich die Welt vorstellen

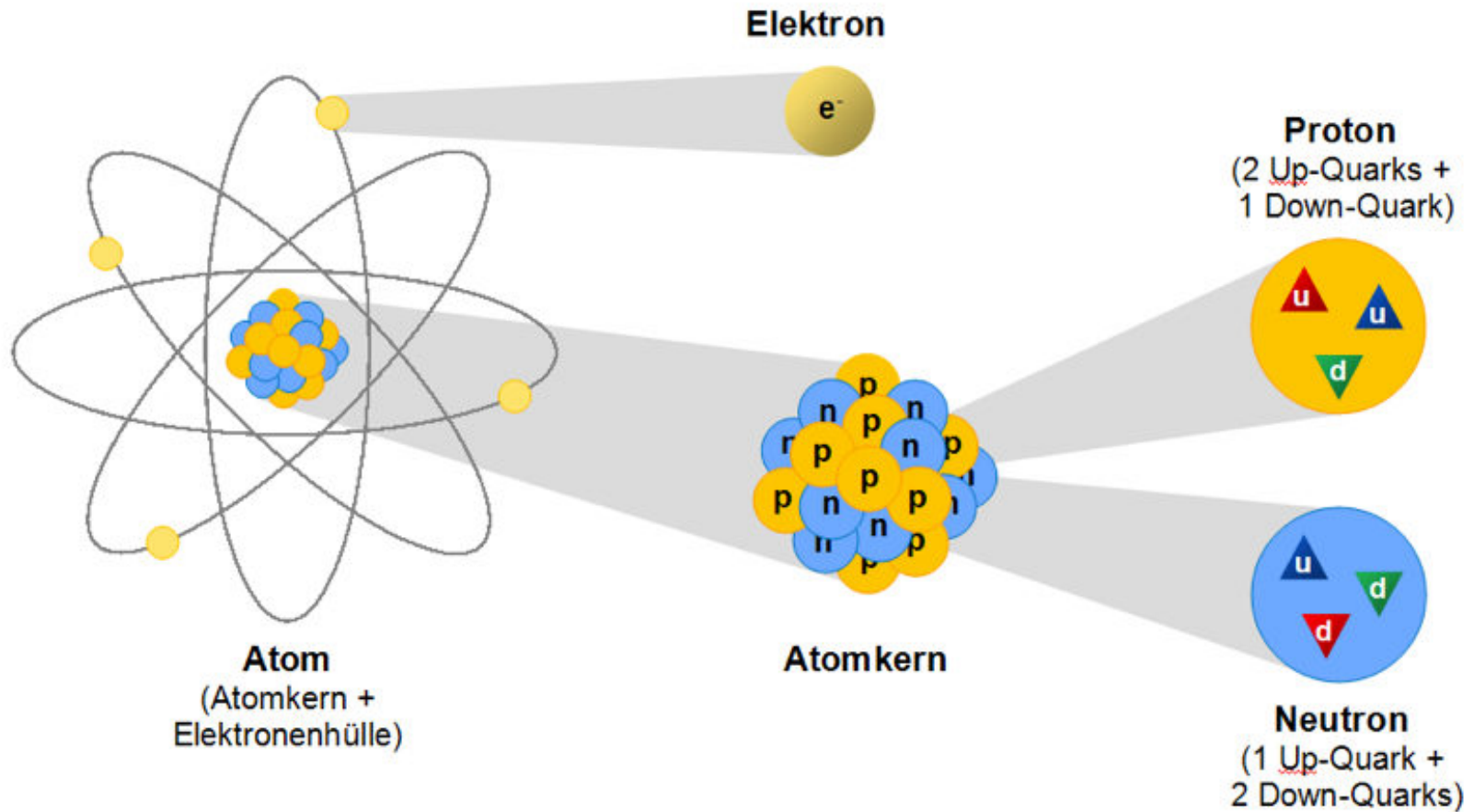


Was ist Teilchenphysik?

- Lehre von den fundamentalen Bausteinen der Natur und ihren Wechselwirkungen



Bausteine der Materie



- alle stabile Materie ist aufgebaut aus Elektronen und Up und Down Quarks



Bausteine der Materie

Auf ins Unbekannte!

1. Nehmt euch die Teilchensteckbriefe vor euch!
2. Sortiert euch nach den jeweiligen Massen eurer Teilchen!
3. Sortiert euch in Gruppen identischer elektrischer Ladung!
4. Sortiert euch in den jeweiligen Gruppen nach der Masse eurer Teilchen!

Bausteine der Materie

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Masse →	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV
Ladung →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name →	u up	c charm	t top
Quarks	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom
Leptonen	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e Elektron	μ Myon	τ Tau
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Myon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino

Bausteine der Materie

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Masse	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name	u up	c charm	t top
	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Quarks	d down	s strange	b bottom
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e Elektron	μ Myon	τ Tau
Leptonen	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Myon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino

Bausteine aller
stabilen Materie



Bausteine der Materie

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Masse	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name	u up	c charm	t top
	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Quarks	d down	s strange	b bottom
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e Elektron	μ Myon	τ Tau
Leptonen	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Myon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino

Bausteine aller stabilen Materie

Schwerere Kopien der ersten Generation, instabil

Bausteine der Materie

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Masse	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name	u up	c charm	t top
	4,8 MeV	1,04 MeV	4,2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e Elektron	μ Myon	τ Tau
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Myon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino

Geladene Leptonen:
Elektron, Myon, Tau



Bausteine der Materie

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Masse	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name	u up	c charm	t top
	4,8 MeV	1,04 MeV	4,2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	d down	s strange	b bottom
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e Elektron	μ Myon	τ Tau
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e Elektron- Neutrino	ν_μ Myon- Neutrino	ν_τ Tau- Neutrino

Geladene Leptonen:
Elektron, Myon, Tau



- “leptos” griech für “klein”
→ leichte Teilchen
- elektrische Ladung = -1

Bausteine der Materie

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Masse	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name	u up	c charm	t top
	4,8 MeV	1,04 MeV	4,2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Quarks	d down	s strange	b bottom
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV
	-1	-1	-1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	e Elektron	μ Myon	τ Tau
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Leptonen	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Myon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino

Neutrinos: zu jeder
Sorte Leptonen eine Art



Bausteine der Materie

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Masse	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Name	u up	c charm	t top
Quarks	4,8 MeV	1,04 MeV	4,2 GeV
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
	d down	s strange	b bottom
Leptonen	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV
	-1	-1	-1
	e Elektron	μ Myon	τ Tau
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV
	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
	ν_e Elektron-Neutrino	ν_μ Myon-Neutrino	ν_τ Tau-Neutrino

- “neutrino” für neutral
- elektrische Ladung = 0
- sehr kleine Massen
- wechselwirken kaum!

Neutrinos: zu jeder
Sorte Leptonen eine Art



Bausteine der Materie

Quarks: einzigen stark wechselwirkenden Teilchen



Drei Generationen der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Quarks	Masse: 2,4 MeV Ladung: $\frac{2}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$ Name: u up	Masse: 1,27 GeV Ladung: $\frac{2}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$ Name: c charm	Masse: 171,2 GeV Ladung: $\frac{2}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$ Name: t top
	Masse: 4,8 MeV Ladung: $-\frac{1}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$ Name: d down	Masse: 104 MeV Ladung: $-\frac{1}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$ Name: s strange	Masse: 4,2 GeV Ladung: $-\frac{1}{3}$ Spin: $\frac{1}{2}$ Name: b bottom
Leptonen	Masse: 0,511 MeV Ladung: -1 Spin: $\frac{1}{2}$ Name: e Elektron	Masse: 105,7 MeV Ladung: -1 Spin: $\frac{1}{2}$ Name: μ Myon	Masse: 1,777 GeV Ladung: -1 Spin: $\frac{1}{2}$ Name: τ Tau
	Masse: <2,2 eV Ladung: 0 Spin: $\frac{1}{2}$ Name: ν_e Elektron-Neutrino	Masse: <0,17 MeV Ladung: 0 Spin: $\frac{1}{2}$ Name: ν_μ Myon-Neutrino	Masse: <15,5 MeV Ladung: 0 Spin: $\frac{1}{2}$ Name: ν_τ Tau-Neutrino

Bausteine der Materie

Quarks: einzigen stark wechselwirkenden Teilchen



Drei Generationen der Materie (Fermionen)

	I	II	III
Quarks	2,4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1,27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171,2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top
	4,8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4,2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom
Leptonen	0,511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e Elektron	105,7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ Myon	1,777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ Tau
	<2,2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e Elektron-Neutrino	<0,17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ Myon-Neutrino	<15,5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ Tau-Neutrino

- elektrische Ladung **nicht** ganzzahlig!
- nur im Verbund zu beobachten



Elementarteilchen

- haben keine Ausdehnung (punktförmig), nicht weiter teilbar (nach gegenwärtigem Stand der Forschung)
- haben Eigenschaften: Masse, Ladung, Spin...
- jedes geladene Teilchen hat ein entgegengesetzt geladenes Anti-Teilchen (mit der gleichen Masse)

Was ist Teilchenphysik?

- Lehre von den fundamentalen Bausteinen der Natur und ihren Wechselwirkungen.

Gravitation

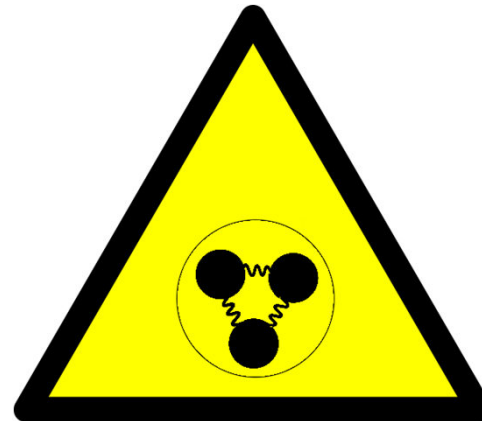


Elektro-
magnetismus

schwache
Kraft



starke
Kraft



Wechselwirkungen

- 4 Wechselwirkungen erklären alle physikalischen Phänomene



Planetenbewegung



Elektromagnetische Wellen, Zusammenhalt von Atomen, Chemie, Magnetismus



Kernzerfälle (Betazerfall), Kernfusion, Wechselwirkung von Neutrinos mit Materie



Anziehung zwischen Quarks, Zusammenhalt von Atomkernen

Wechselwirkungen



Jemand telefoniert mit dem Handy



Ein Atomkern wandelt sich durch Betazerfall in einen anderen um



Viele Atomkerne sind stabil, obwohl sich die Protonen untereinander abstoßen



Eine Kompassnadel richtet sich nach Norden aus



Zwei Atome gehen eine chemische Verbindung ein



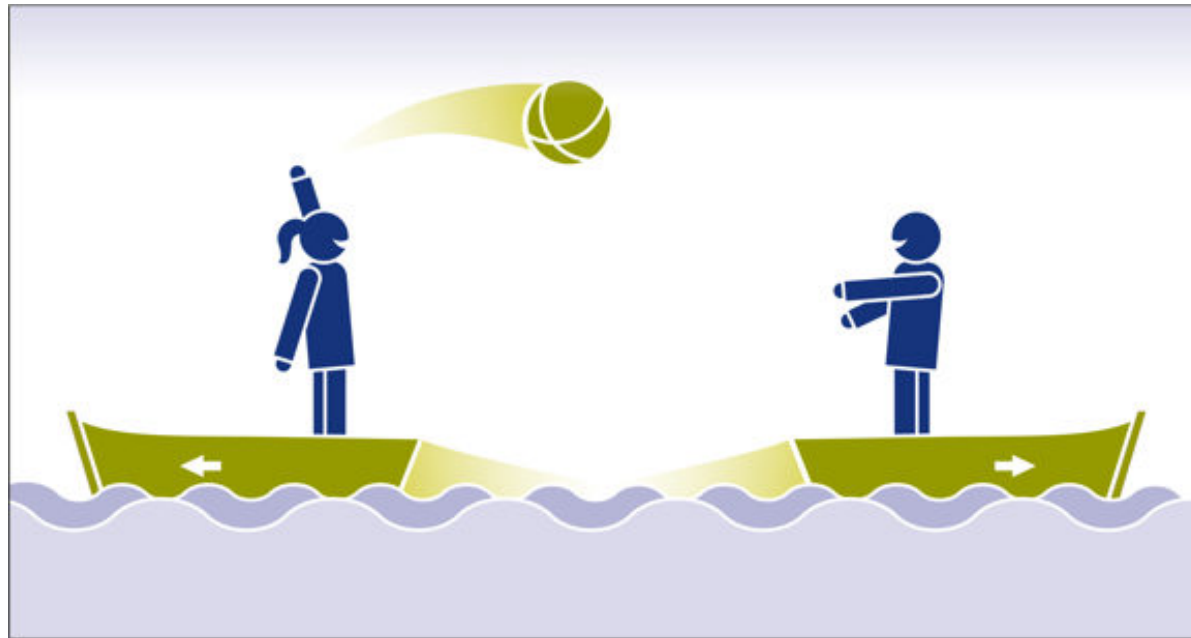
Ein Glas fällt vom Tisch



Zwei Up-Quarks und ein Down-Quark bilden ein Proton

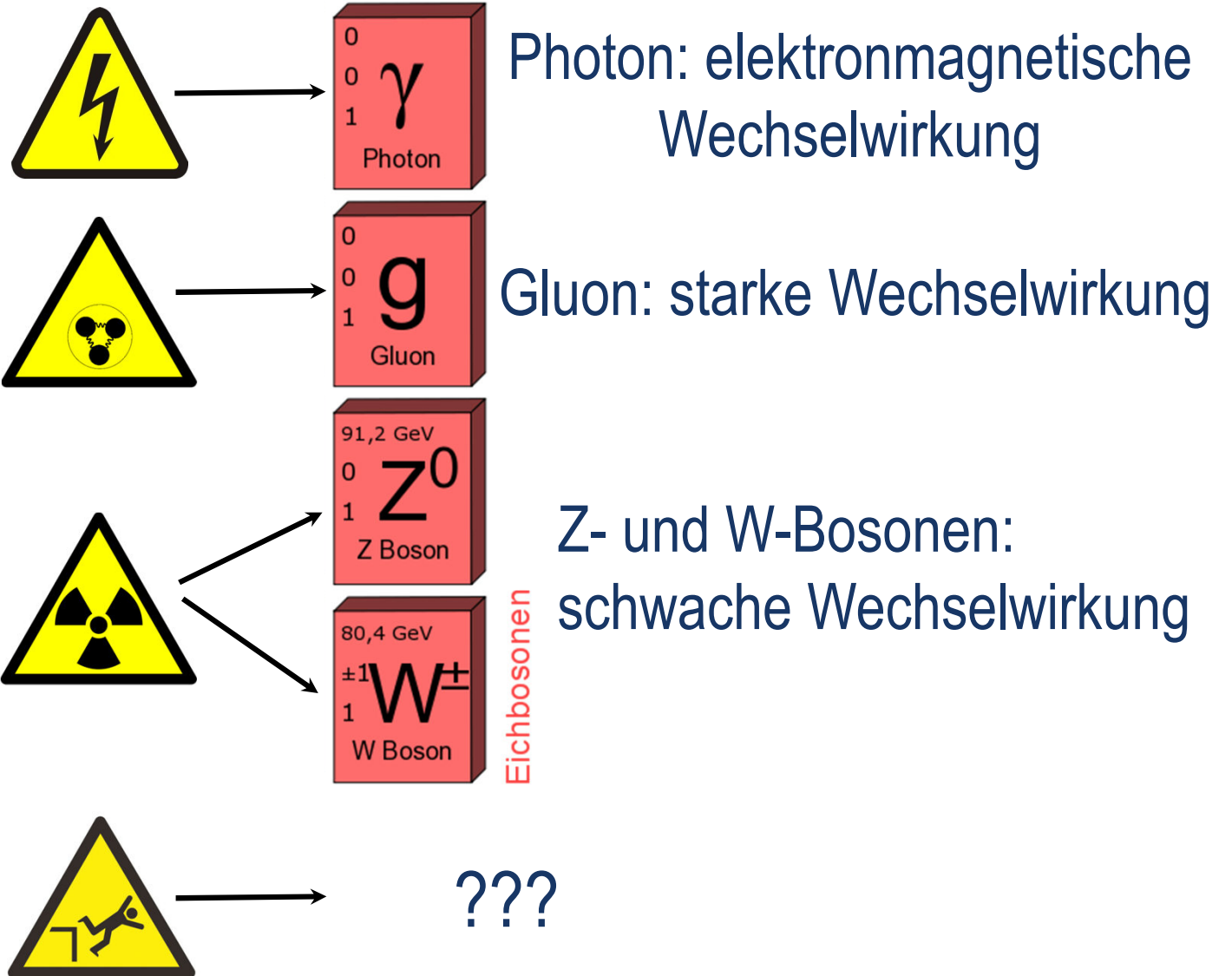
Wechselwirkungen, wie?

- durch Austauschteilchen

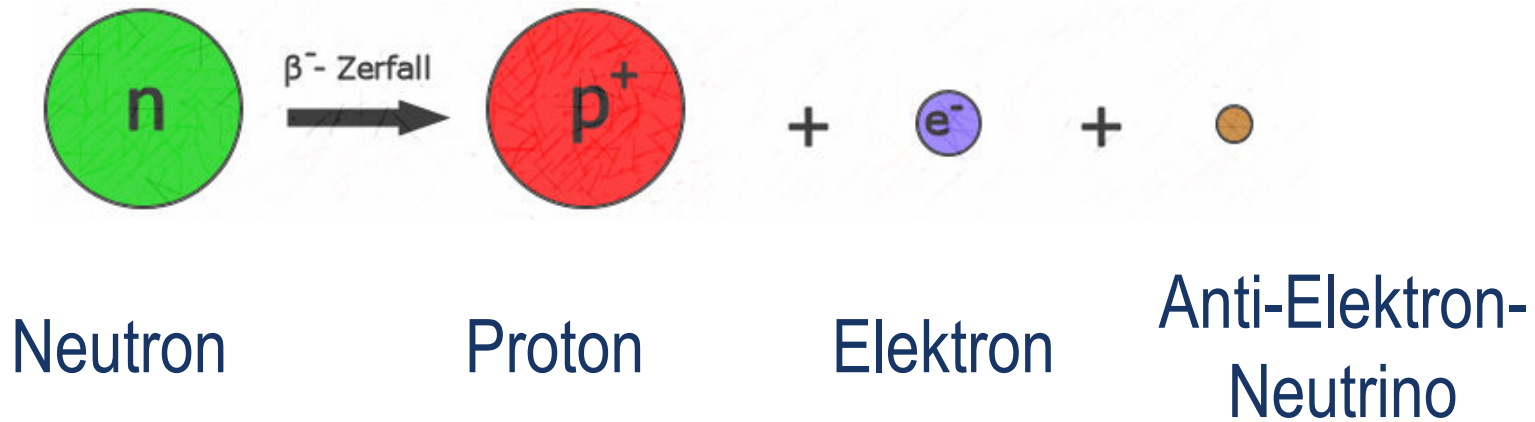


- Quarks und Leptonen “kommunizieren” untereinander indem sie **Austauschteilchen** aussenden/einfangen
- Dabei gelten gewisse Regeln: **Erhaltungssätze**

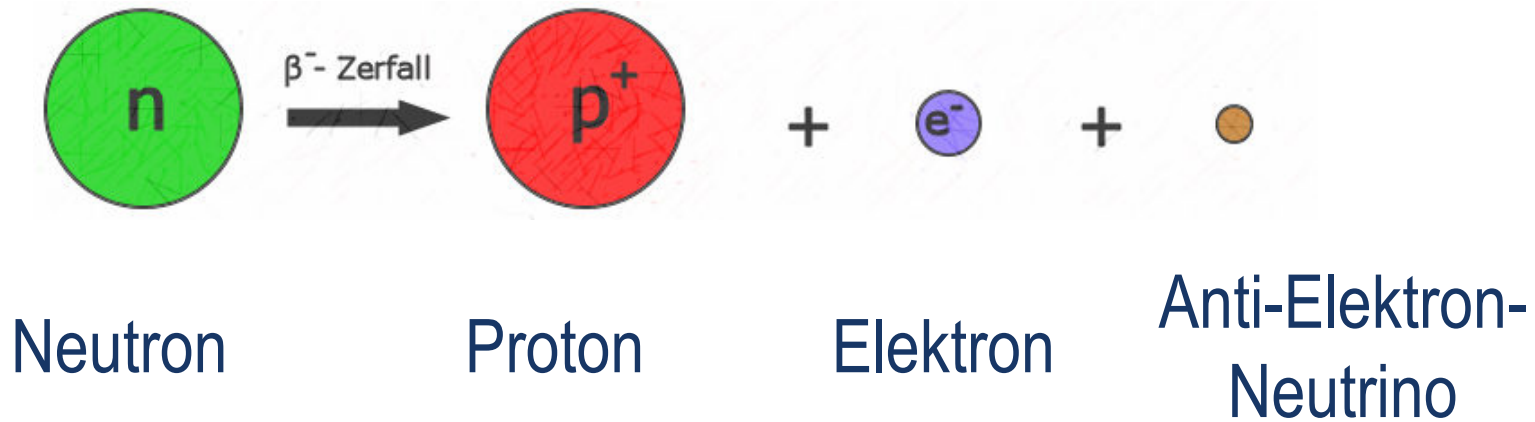
Wechselwirkungen, wer?



Beispiel Betazerfall: das W-Boson & die schwache Wechselwirkung

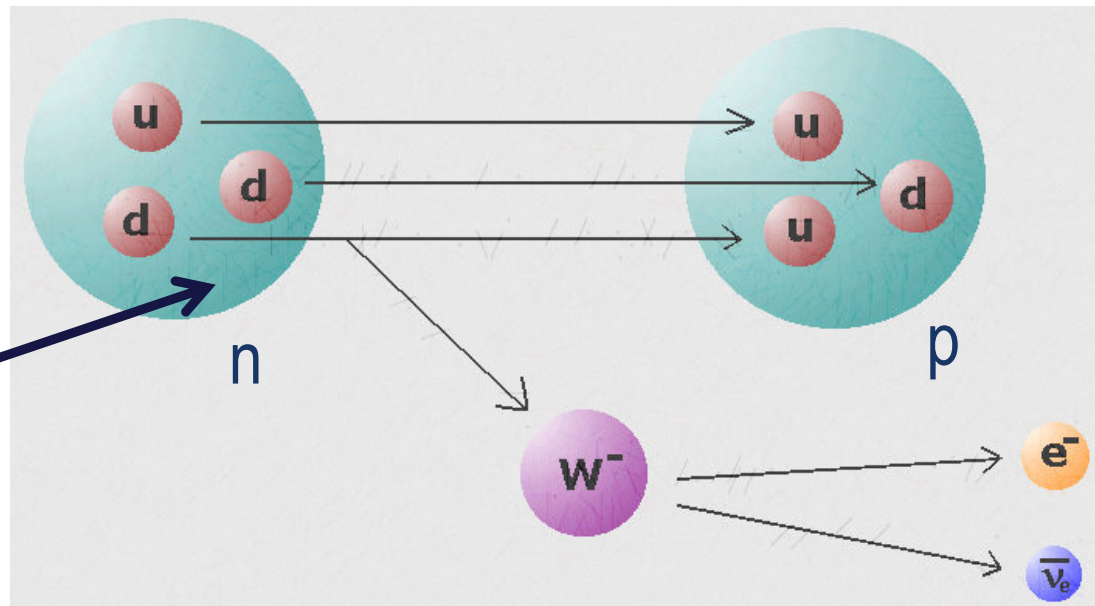


Beispiel Betazerfall: das W-Boson & die schwache Wechselwirkung

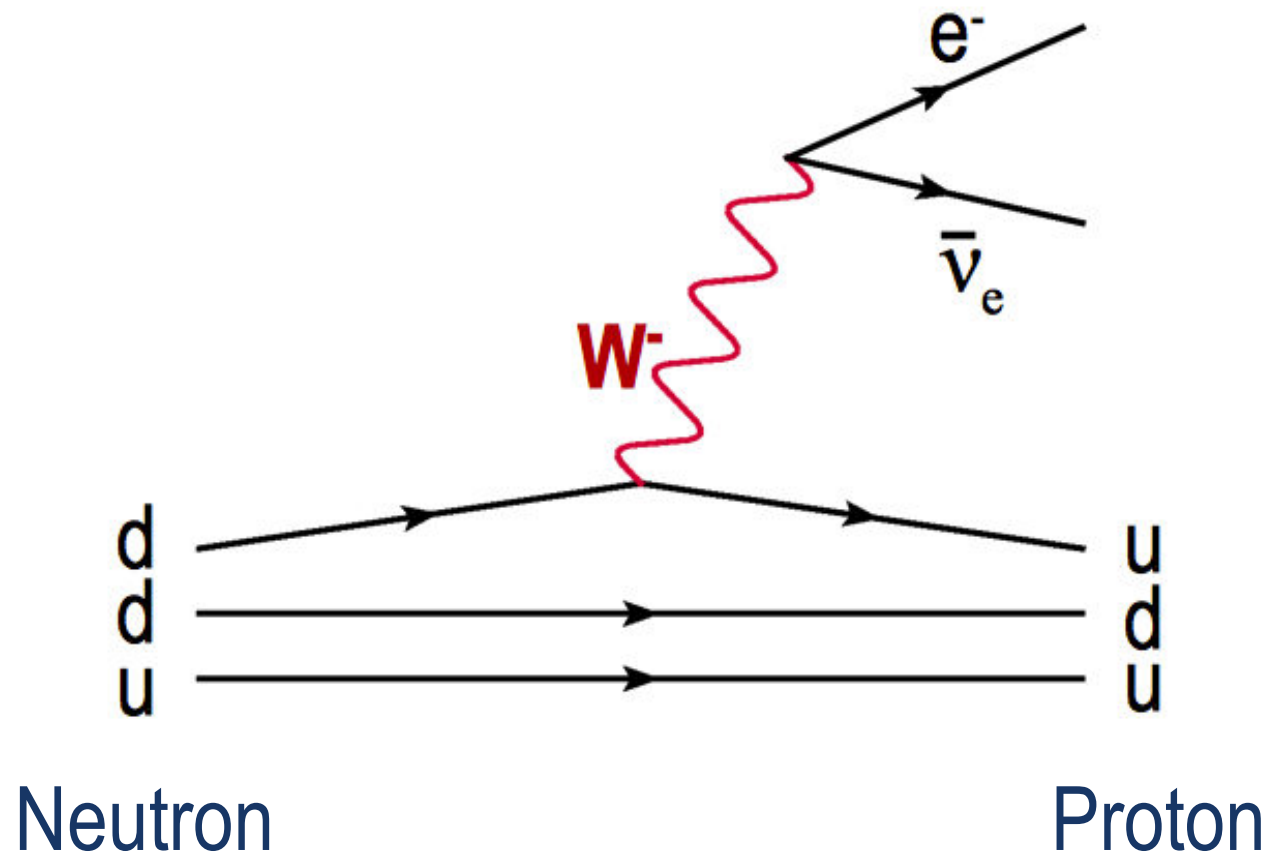


Schau genauer hin!

Im Neutron wandelt sich ein d-Quark in ein u-Quark um!
Ein **W-Teilchen** wird ausgesandt.

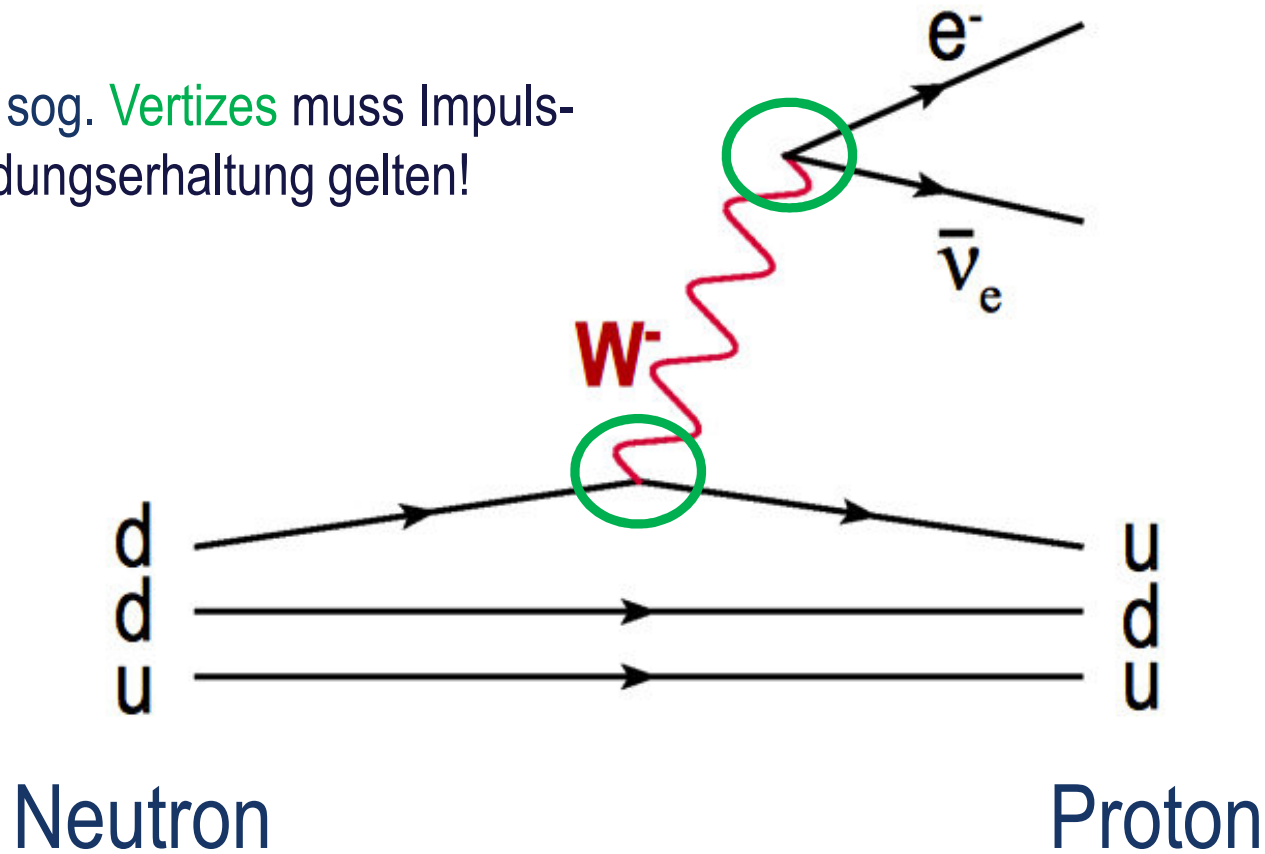


Betazerfall aus Physikersicht



Betazerfall aus Physikersicht

An den sog. **Vertizes** muss Impuls- und Ladungserhaltung gelten!

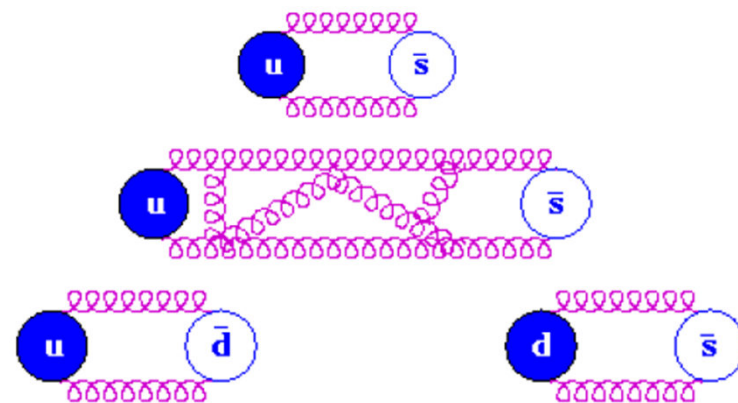


Quarks & und die starke Wechselwirkung

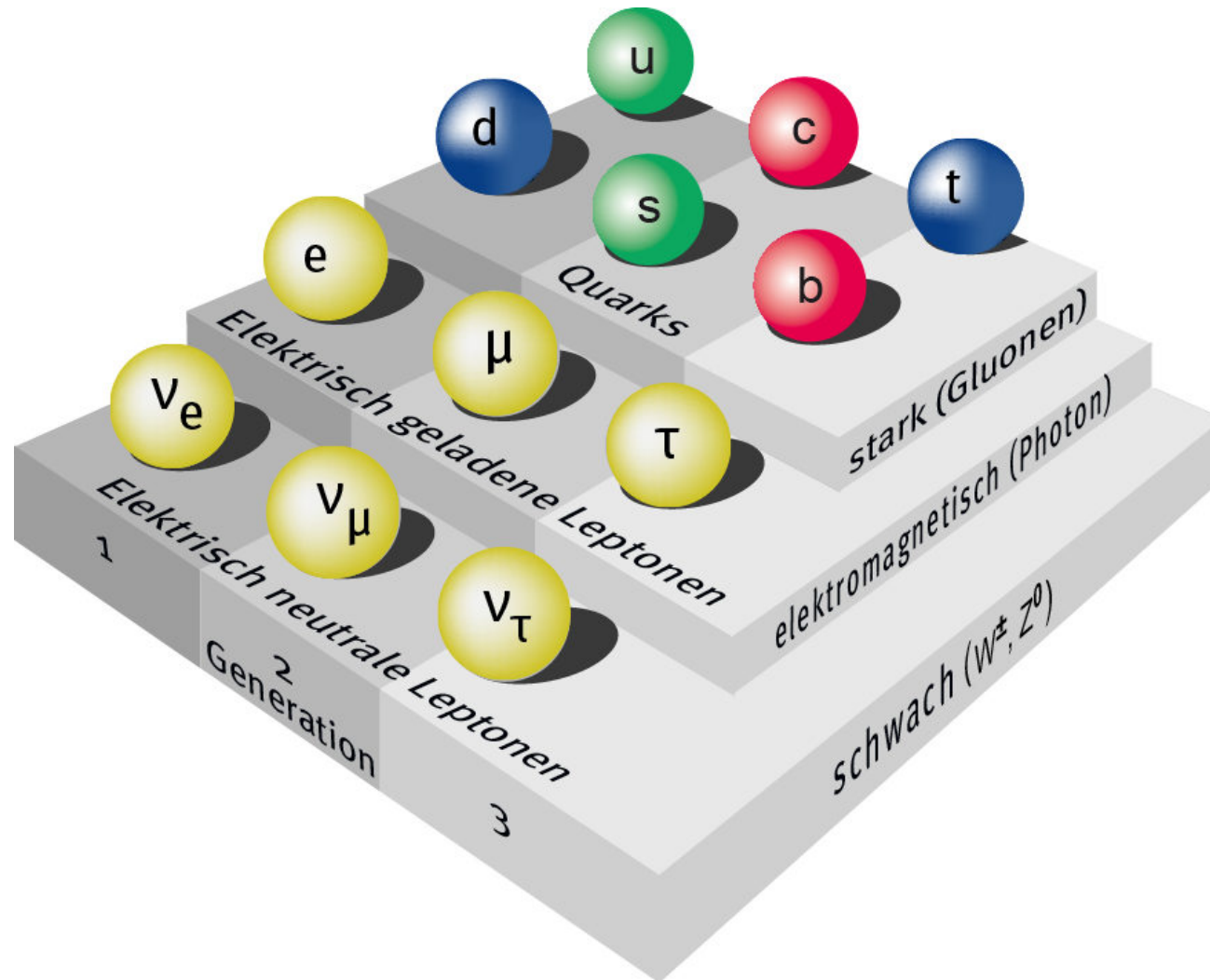
Quarks:

- ...sind die einzigen Teilchen, die stark wechselwirken
- ...kommen nur im Verband vor!!
 - formen Teilchen, sogenannte Hadronen
- Proton $|uud\rangle$ und Neutron $|udd\rangle$ gehören zur Gruppe der Baryonen ($|qqq\rangle$)
- Pionen π^0 , π^+ , π^- bestehen aus einem Quark und einem Antiquark $|\bar{q}q\rangle$ und gehören zur Gruppe der Mesonen

Zwischen den Quarks werden ständig, **Gluonen**, die Boten der starken Wechselwirkung ausgetauscht, um sie zusammenzuhalten. Dabei können auch neue Quarks entstehen.



Wer wechselwirkt wie?



Ende Teil 2

Drei Generationen
der Materie (Fermionen)

	I	II	III		
Masse	2,4 MeV	1,27 GeV	171,2 GeV	0	? GeV
Ladung	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
Spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
Name	u up	c charm	t top	γ Photon	H Higgs Boson
	4,8 MeV	104 MeV	4,2 GeV	0	
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	d down	s strange	b bottom	g Gluon	
	0,511 MeV	105,7 MeV	1,777 GeV	91,2 GeV	
	-1	-1	-1	0	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	e Elektron	μ Myon	τ Tau	Z^0 Z Boson	
	<2,2 eV	<0,17 MeV	<15,5 MeV	80,4 GeV	
	0	0	0	± 1	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	
	ν_e Elektron- Neutrino	ν_μ Myon- Neutrino	ν_τ Tau- Neutrino	W^\pm W Boson	

Quarks

Leptonen

Eichbosonen

ATLAS und der LHC

Wie Teilchenphysiker in Genf forschen



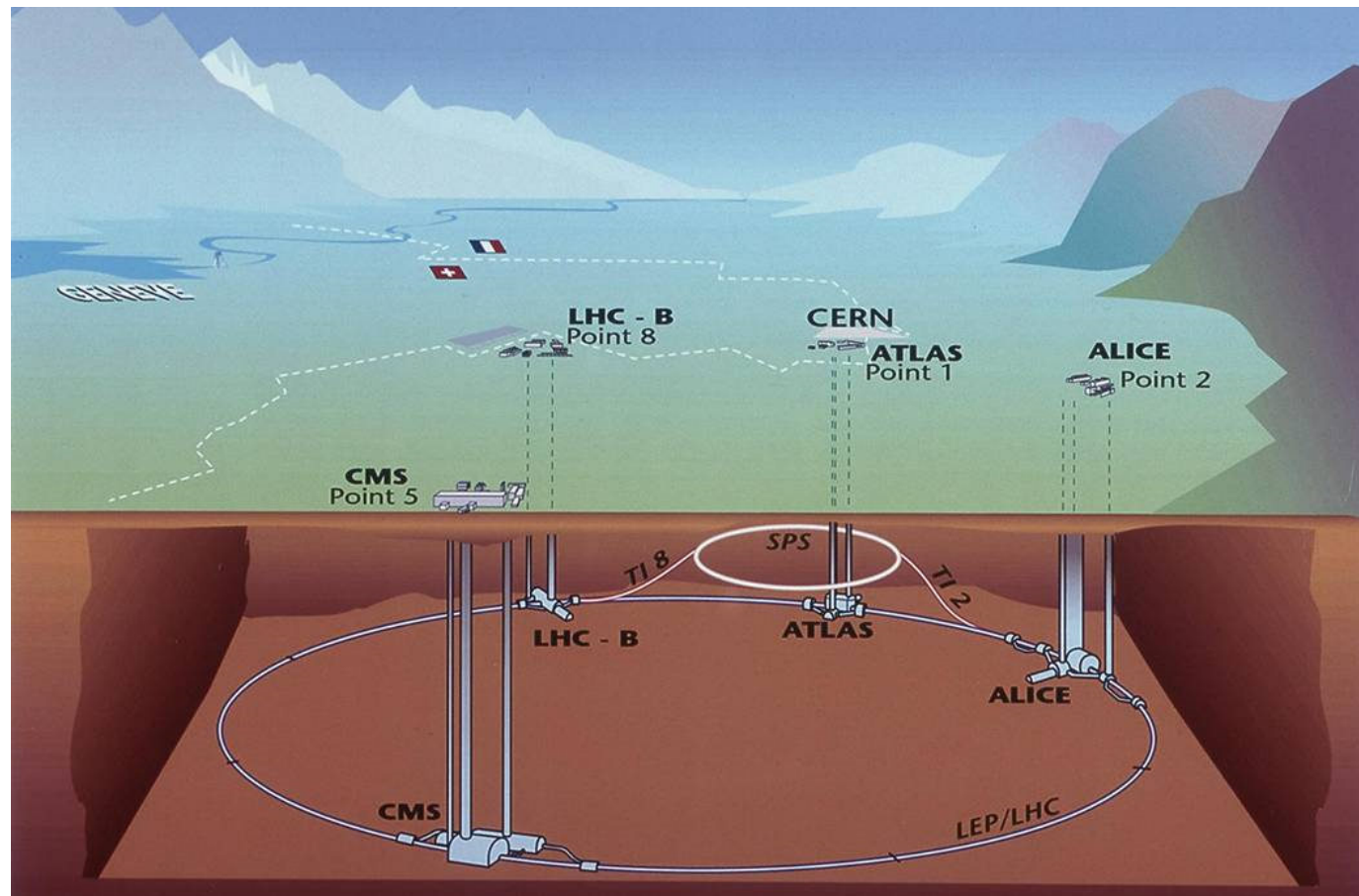
Das CERN

(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)



Das größte Teilchenphysik-Forschungszentrum der Welt
im Grenzgebiet zwischen der Schweiz und Frankreich

Der LHC (Large Hadron Collider)



Ein 27 km langer, ringförmiger **Teilchenbeschleuniger**
4 **Teilchen-Detektoren**: ATLAS, ALICE, CMS und LHC-b

Was geschieht im LHC?

- Protonen kreisen in entgegengesetzten Richtungen mit einer Energie von je 4 Tera-Elektronenvolt (TeV)
- Wenn die Protonen zusammenstoßen, entstehen neue Teilchen, die man in Detektoren nachweist.

Am Anfang:

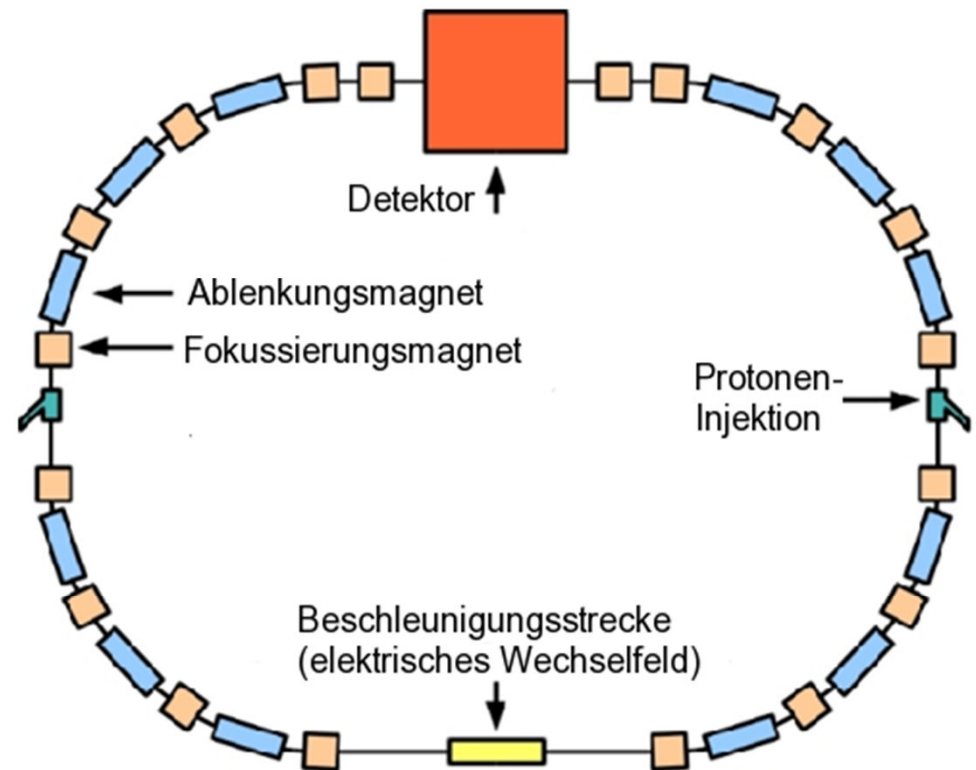
Es beginnt mit einer Flasche voller Wasserstoff ...



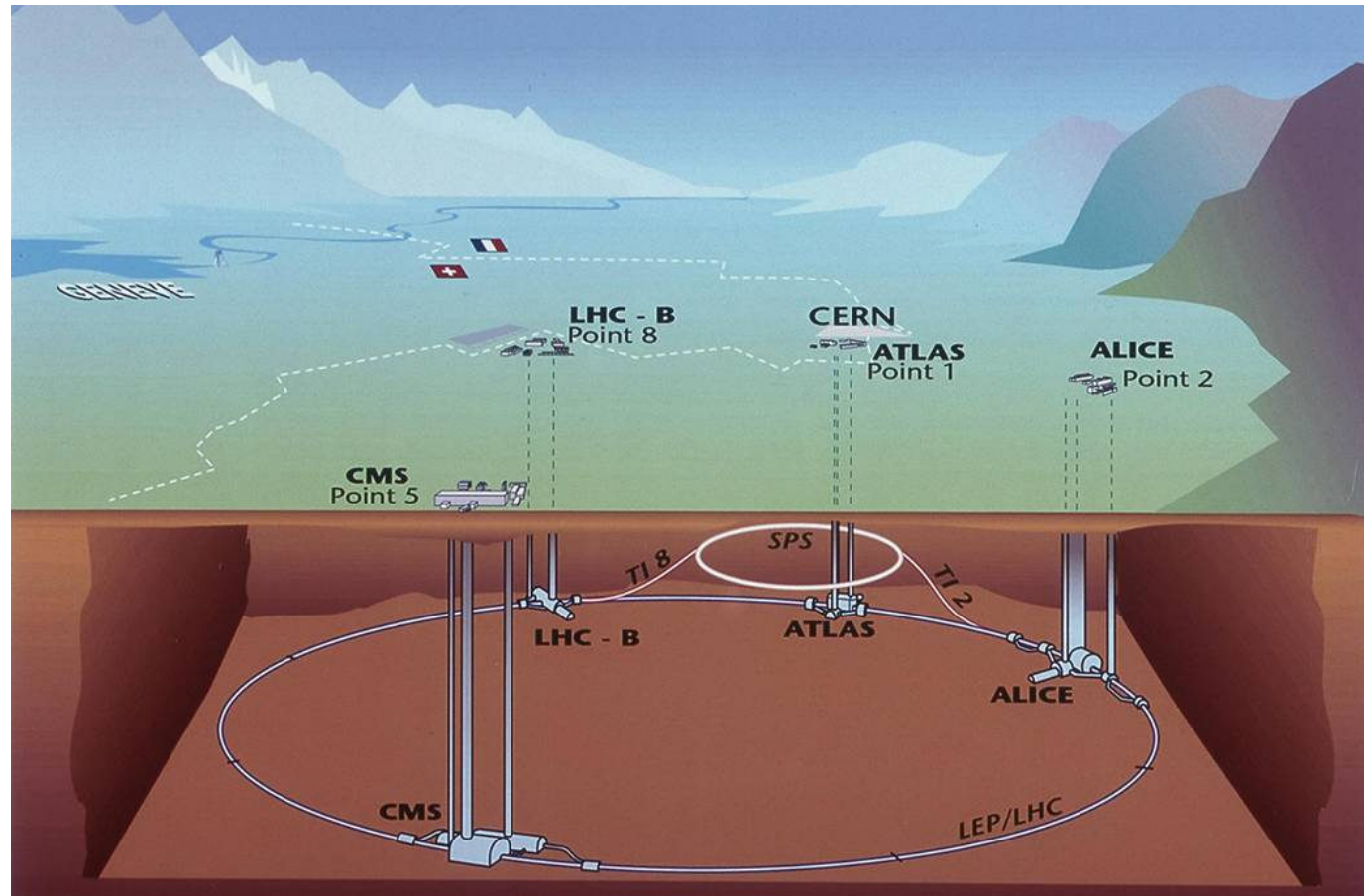
Wie funktioniert der LHC?

Im LHC durchlaufen Pakete (Bunches) von Protonen eine kreisförmige Bahn, auf der sie...

- ...**beschleunigt** werden
(elektrisches Wechselfeld)
- ...**abgelenkt** werden...
(Dipol-Magnete)
- ...und **fokussiert** werden
(Quadrupol-Magnete)



Der LHC (Large Hadron Collider)



Wer ist ATLAS?

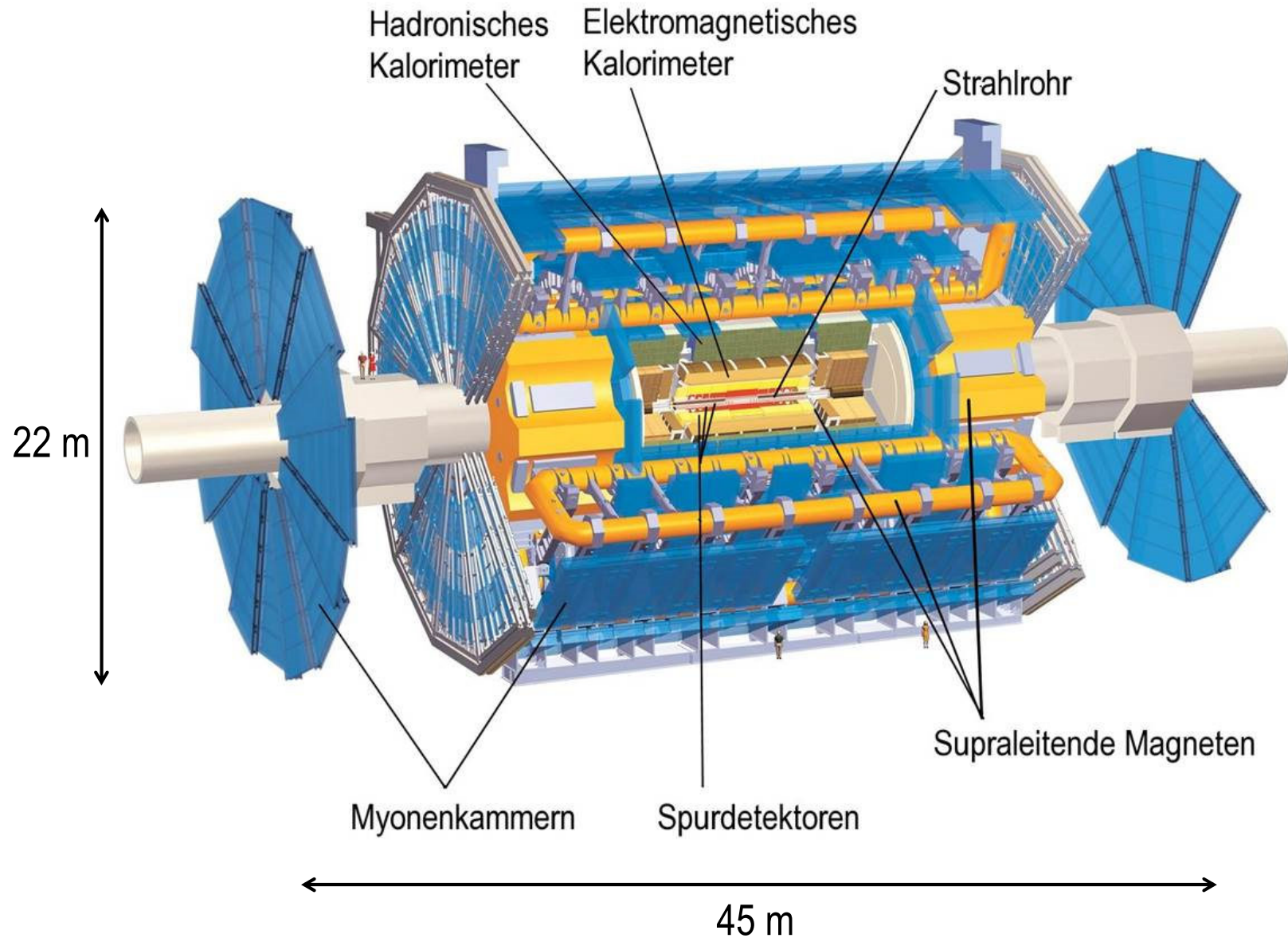


37 Länder

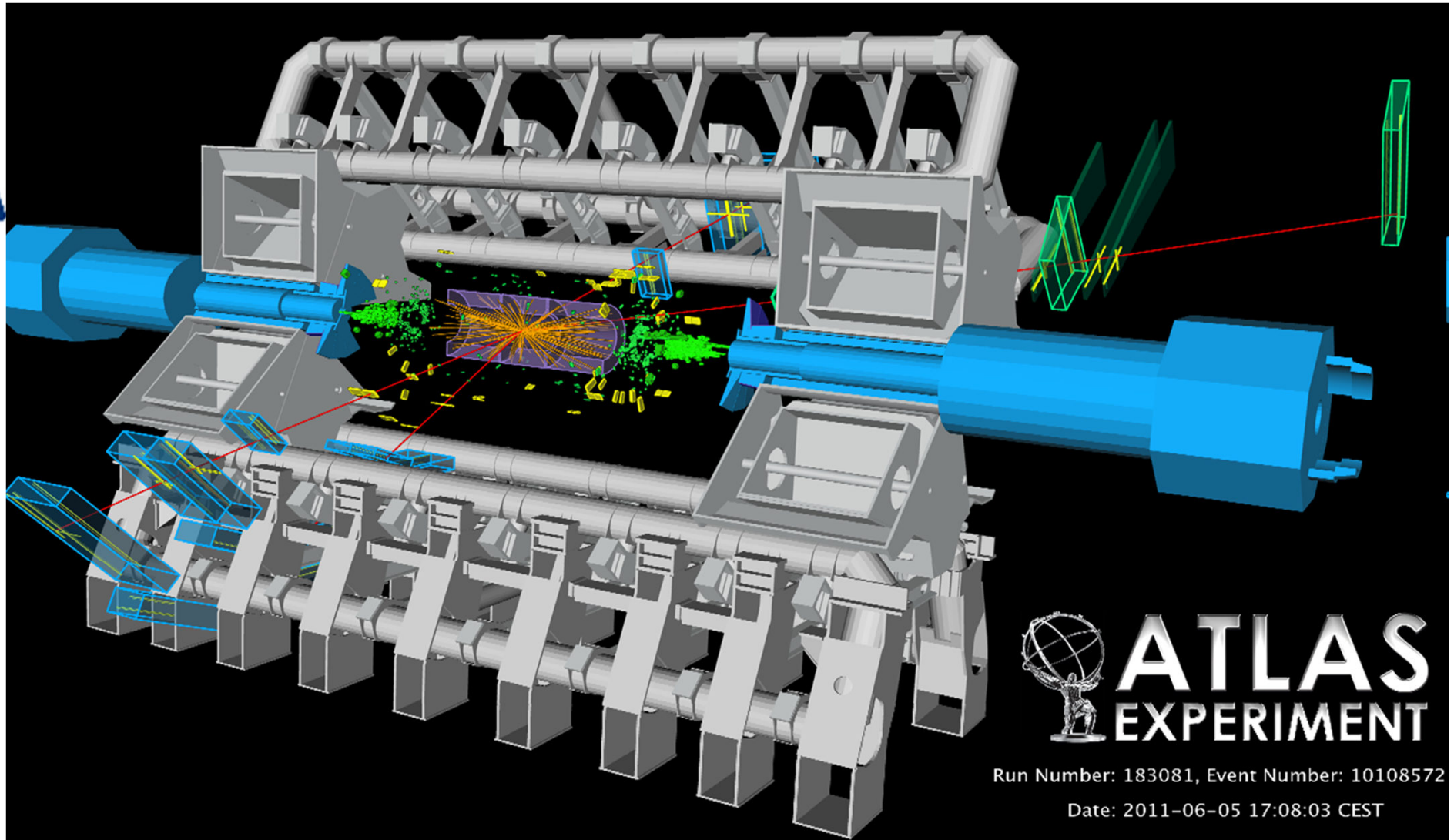
173 Institute

3000 Wissenschaftler

Der ATLAS-Detektor



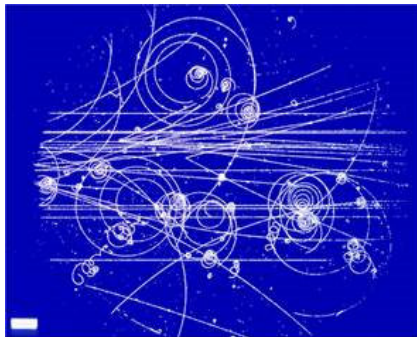
Was sieht man da eigentlich?



Wie weist man Elementarteilchen nach?

Bildgebende Detektoren

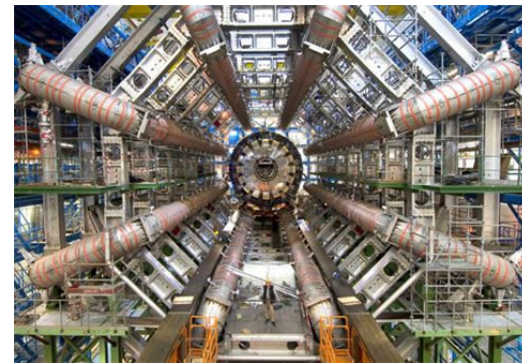
z.B.: Nebelkammer, Blasenkammer



- sichtbare Teilchenspuren

Elektronische Detektoren

z.B: **ATLAS**-Detektor, Geigerzähler



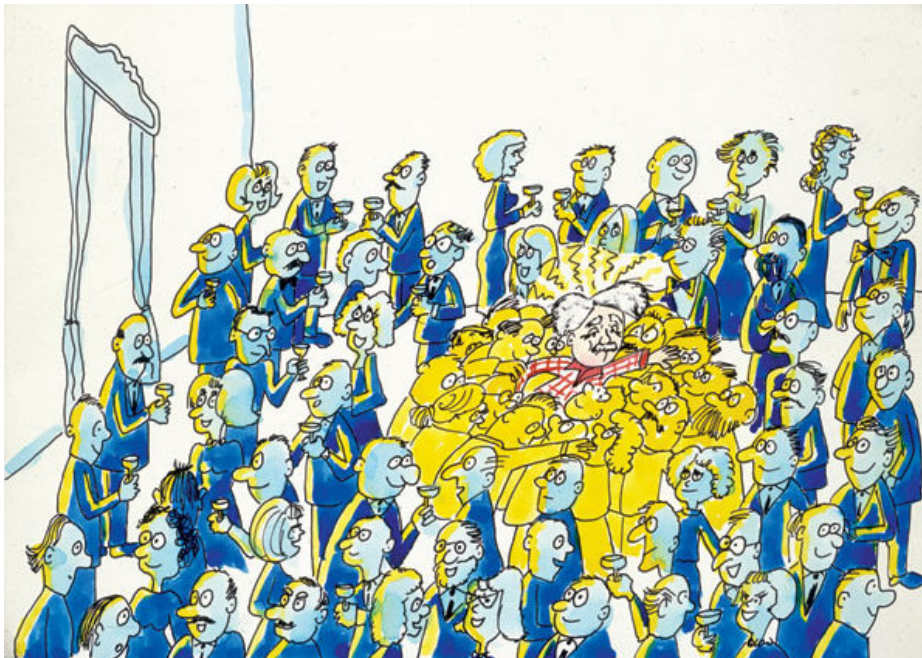
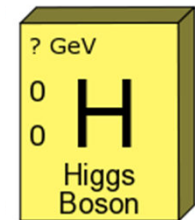
- elektrische Signale
- Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert



BACKUP

Das Higgs: Warum brauchen wir es?

- Massen der Elementarteilchen im Standardmodell nicht einführbar ohne Theorie zu zerstören
- Idee: Alle Teilchen bewegen sich durch ein neu eingeführtes Feld (Higgs-Feld) -> erhalten so Masse
- Anregungen des Feldes sind die Higgs-Teilchen



Quarks & und die starke Wechselwirkung

Quarks:

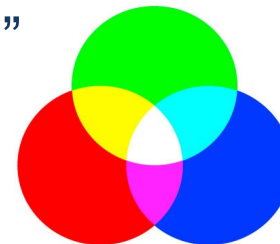
- ...sind die einzigen Teilchen, die stark wechselwirken
- ...kommen nur im Verband vor!!

Bsp: Proton $|uud\rangle$ und Neutron $|udd\rangle$

- ...tragen zusätzliche Ladung: "Farbe"

rot, grün, blau

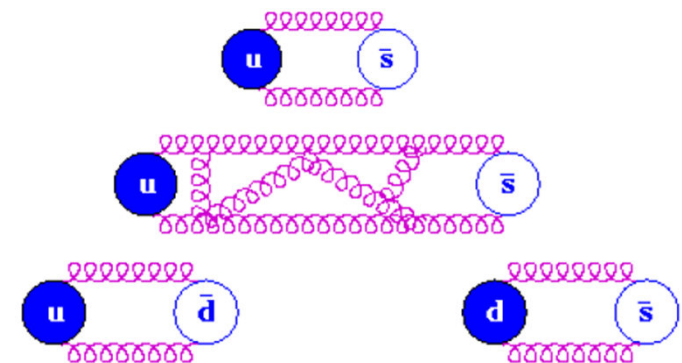
Quarks mögen's bunt
und in Gesellschaft!



Starke Wechselwirkung:

- ...lässt nur farbneutrale Objekte zu!

Zwischen den Quarks werden ständig, **Gluonen**, die Boten der starken Wechselwirkung ausgetauscht, um alle farbigen Teilchen zusammenzuhalten.

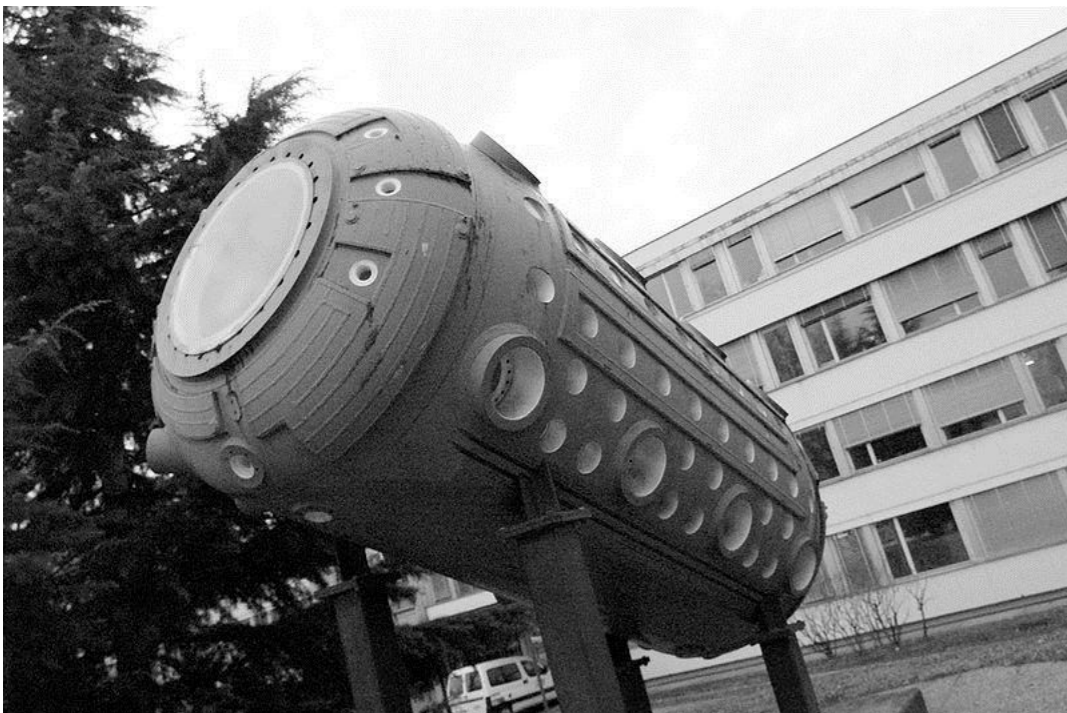


Blasenkammer



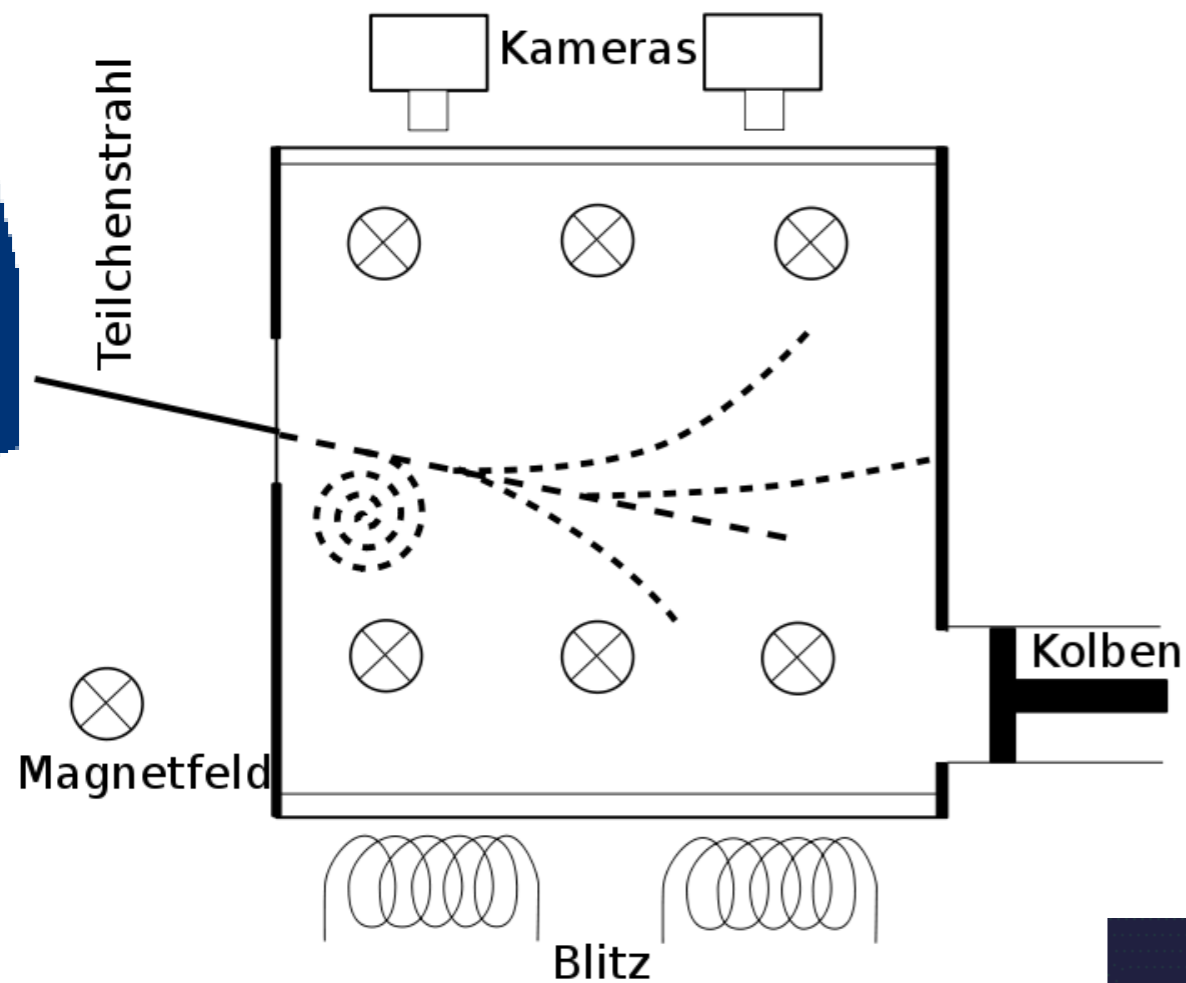
Aufbau einer Blasenkammer

- Teilchendetektor zum Nachweis ionisierender Strahlung
- Sichtbarmachen von Spuren von *geladenen* Elementarteilchen & Hadronen (z.B. aus Teilchenbeschleuniger)
 - Reaktionsidentifikation auf dem Niveau der Teilchenphysik
 - Untersuchung von Anzahl, Impuls, Ladung der beteiligten Teilchen, sowie die Art der Reaktion (elastische, inelastische Streuung)

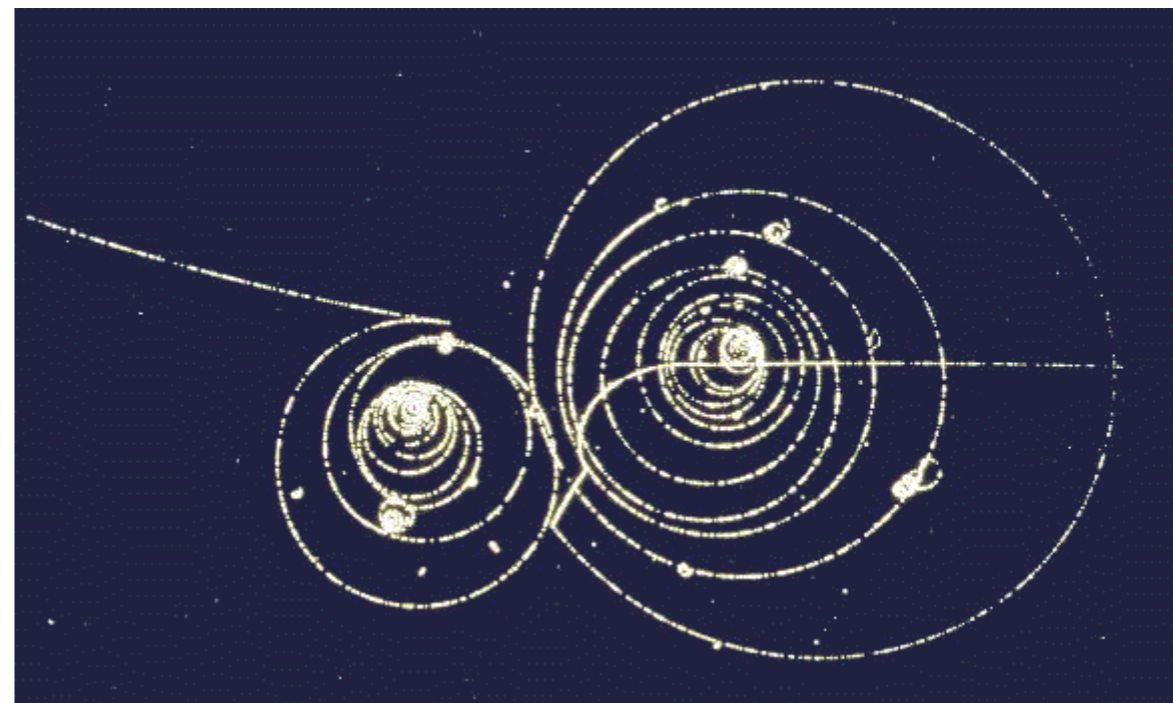
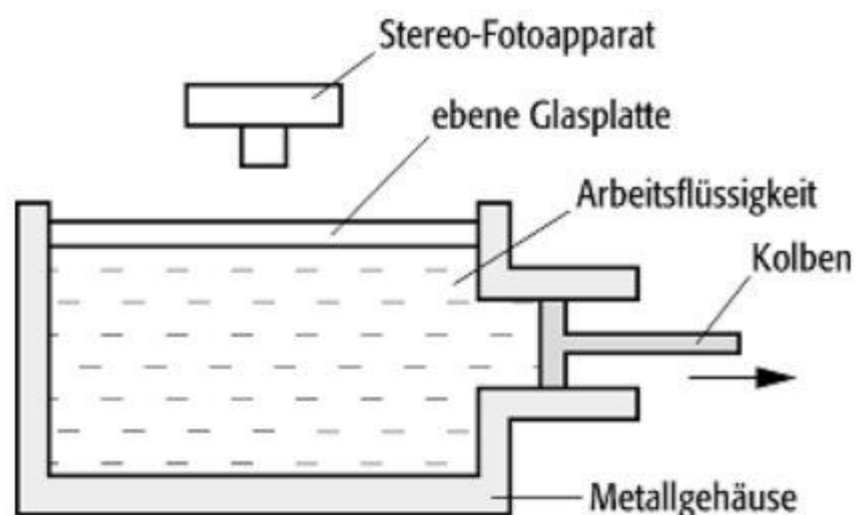


- 1960 durch D. A. Glaser erfunden
 - seither gehörten sie zu den wichtigsten Teilchendetektoren, z.B. am CERN, Gargamelle-Detektor, Suche nach neuen Teilchen
- heutzutage wurde sie abgelöst durch elektronische Detektoren aufgrund der enormen auszuwertenden Datenmengen

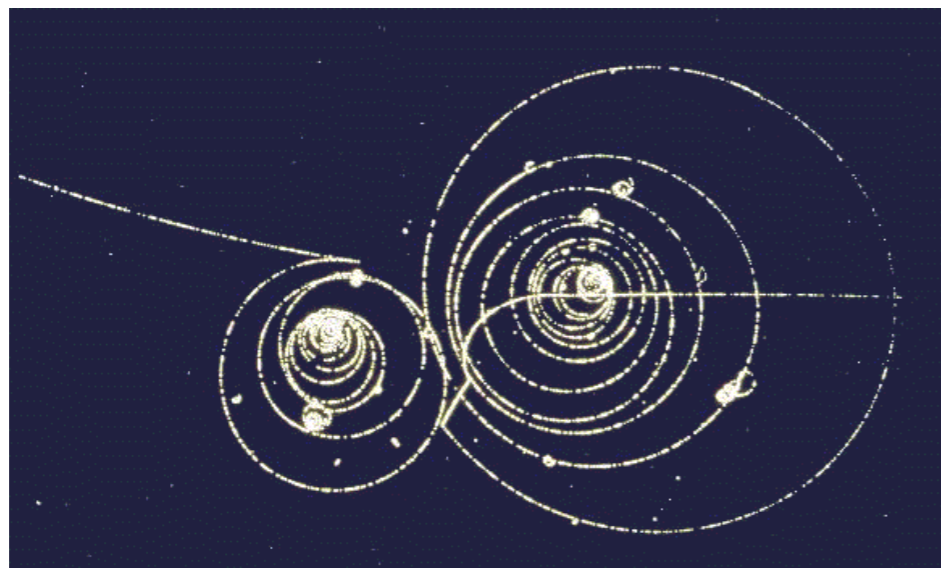
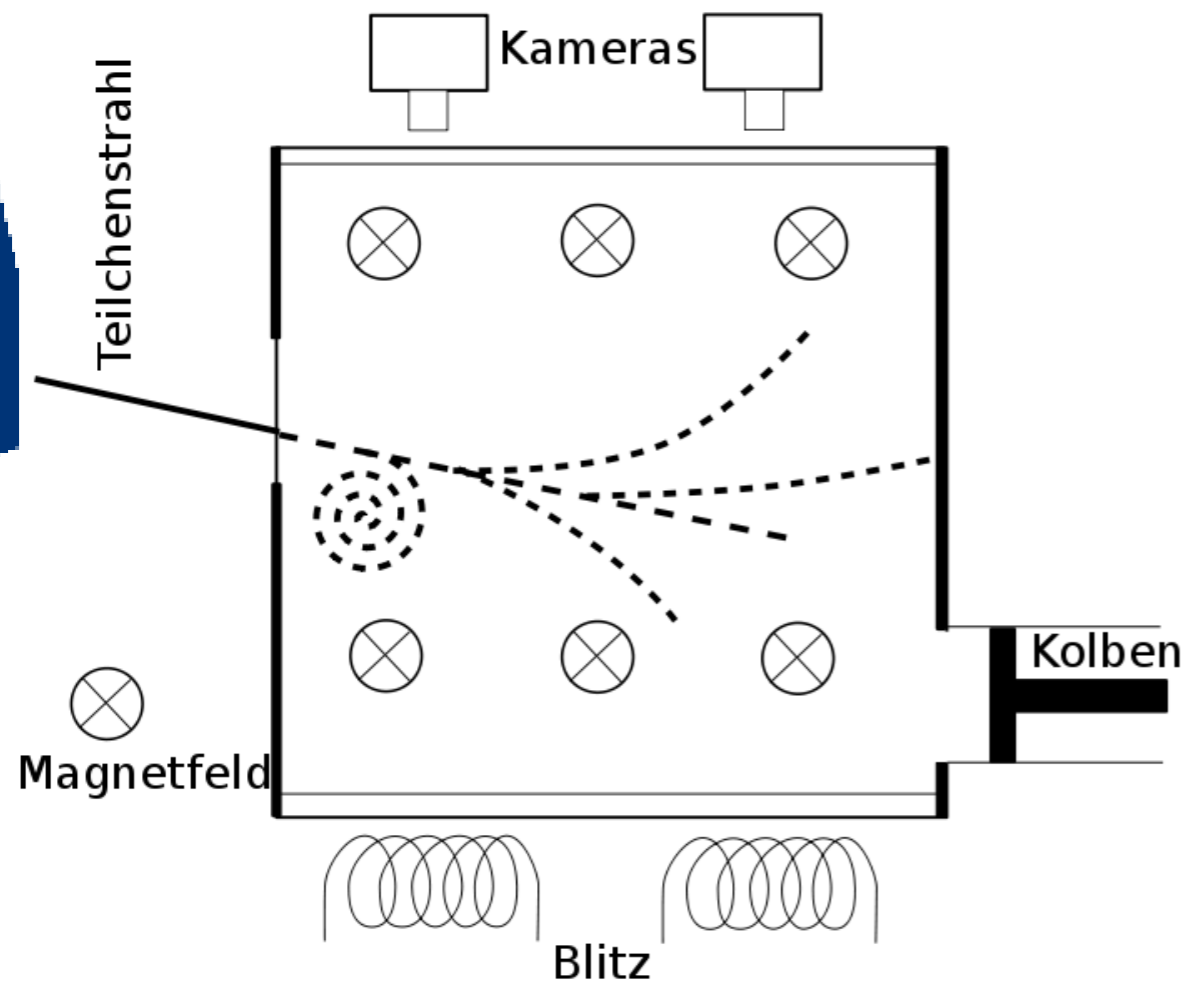
Aufbau einer Blasenkammer



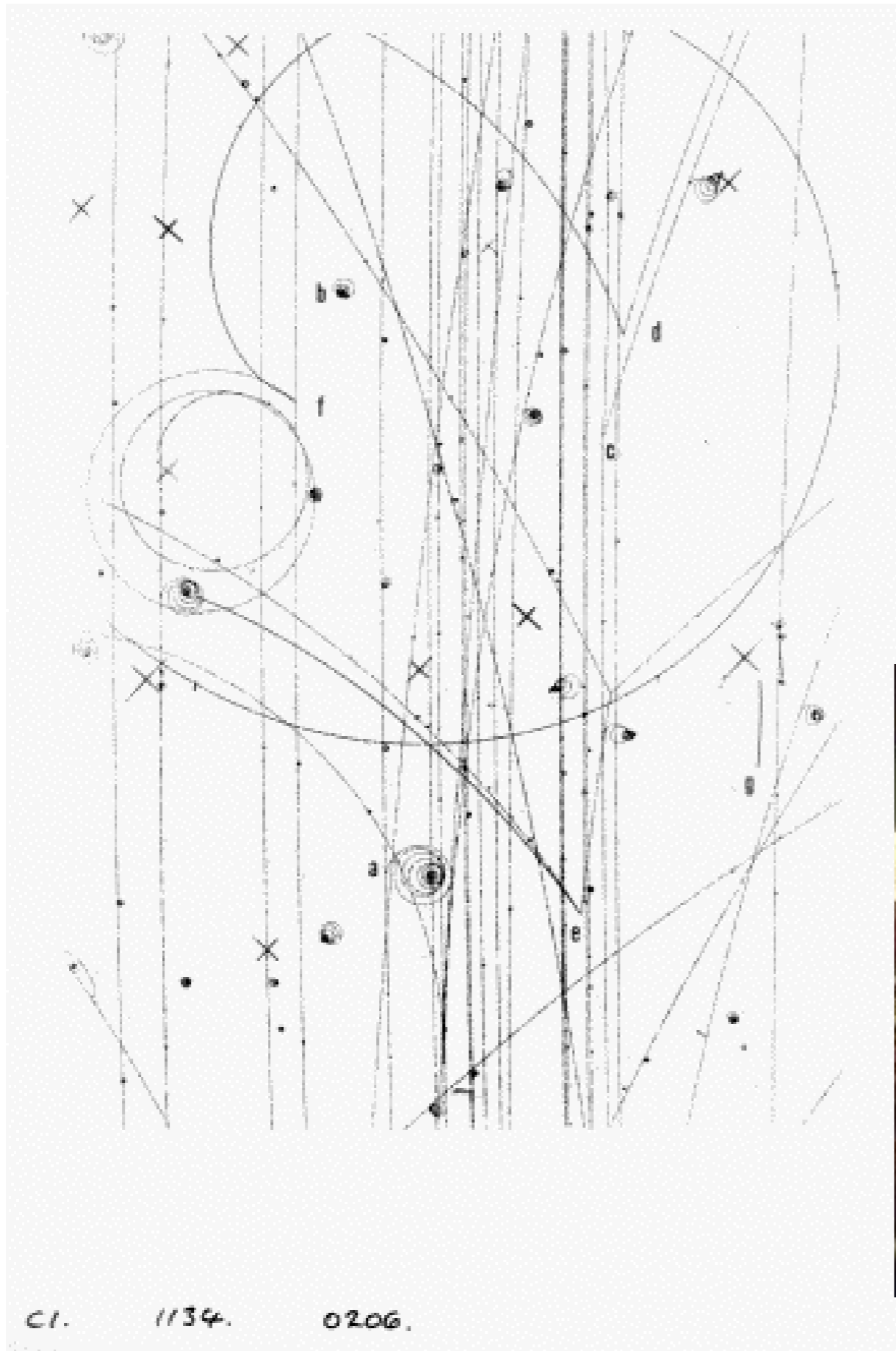
- Füllmaterial: übersättigter, flüssiger Wasserstoff
- Füllmaterial ist zugleich Target des Experiments
- Einfallender Teilchenstrahl
- Anlegen eines homogenen Magnetfeldes



Funktionsweise einer Blasenkammer



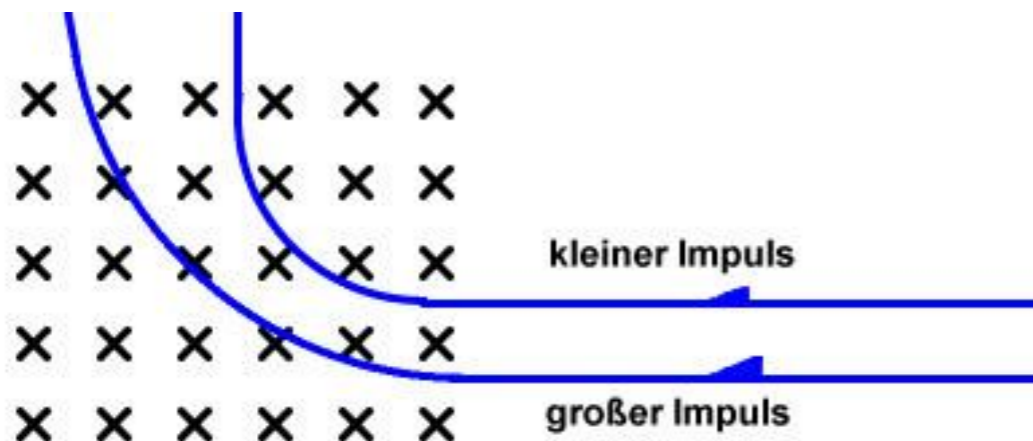
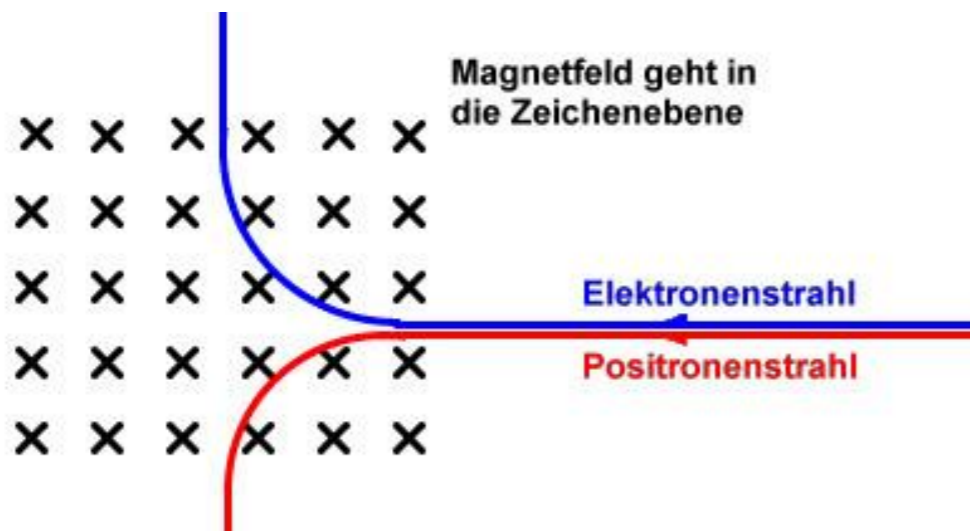
- Teilchen werden aus Teilchenbeschleuniger in die Kammer injiziert
- Kurz zuvor wird der Druck in der Kammer stark abgesenkt
→ Temperatur des H_2 oberhalb des Siedepunktes
- Einfallende **geladene** Teilchen ionisieren die H_2 -Atome
- Ionen = Kondensationskeime
→ Gasblasen
- Lösen der Gasblasen durch Druckerhöhung



- Blasenkammeraufnahme des Garmamelle-Detektors am CERN in den 1970er Jahren
- Gargamelle-Detektor mit Elektromagneten, die das homogene Magnetfeld erzeugen



Warum ein Magnetfeld?



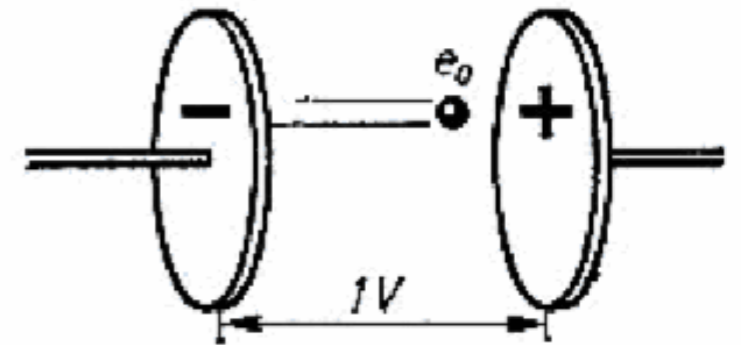
- Mit dem Magnetfeld kann man den Impuls des Teilchens berechnen
- Geladene Teilchen werden im Magnetfeld abgelenkt
 - Lorentzkraft F_L
 - gemäß Rechter-Hand-Regel für positiv geladene Teilchen
- Ablenkung immer senkrecht zur Bewegungsrichtung und zur Richtung des Magnetfeldes
- Kräftegleichgewicht zwischen Radialkraft F_R und Lorentzkraft
- Berechnung des Impulses in natürlichen Einheiten

Exkurs: Elektronenvolt

- 1 eV ist die Energie, die ein Elektron gewinnt, wenn es eine Spannung von 1 Volt durchfliegt.

- $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$

$$1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$



Teilchenphysiker \longrightarrow Lichtgeschwindigkeit $c = 1$

- Wegen $E=mc^2$ können Massen und Impulse in eV angegeben werden! (also in Einheiten von Energie)
- Wegen $E=mc^2$ kann Energie in Masse umgewandelt werden und umgekehrt

z.B. Teilchenbeschleuniger: Bewegungsenergie \rightarrow Masse

Was passiert genau?

- Einfallende Teilchen = Protonen
- Stoßen mit dem Kern der Wasserstoffatome = Proton (in Ruhe!)

→ Proton-Proton-Stoß, elastisch oder inelastisch

- Elastischer Stoß:

Klassisch: Energie- und Impulserhaltung

Teilchenphysik: Protonen streuen wie Billiardkugeln aneinander

- Inelastischer Stoß:

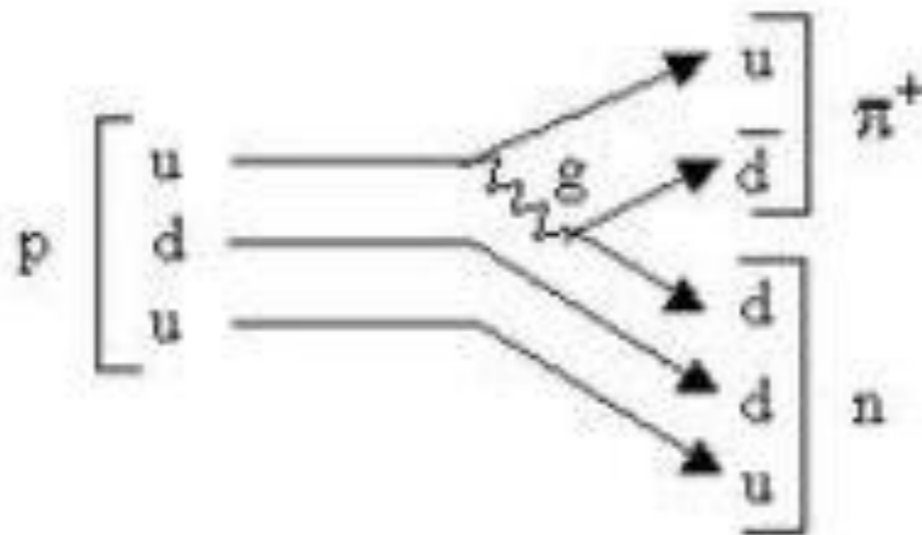
Klassisch: Impulserhaltung, keine Energieerhaltung

Teilchenphysik: Teilchenarten können sich ändern
(Bewegungsenergie wird in Masse umgewandelt)

- Relativistische Teilchen: Berechnung mittels relativistischer Energie-Impuls-Beziehung

Der Pion-Zerfall

- Fokus heute auf inelastischen Prozessen bei denen Pionen und Neutronen entstehen
- Mögliche Reaktionen:



Beispiel der Umwandlung
eines Protons auf
Quarkniveau

Selbst aktiv werden!

Findet heraus um welche Reaktion es sich auf eurer Aufnahme handelt!

Fahrplan:

- Wo fliegen die Teilchen ein? Wo heraus? Wo findet die Wechselwirkung statt?
- Um welche Art Reaktion handelt es sich? (elastisch oder inelastisch) Woran erkennt ihr das? Wie viele Teilchen entstehen?
- Was ist der Anfangsimpuls der Protonen?
- Berechne die Stärke des Magnetfeldes!
- Bestimme die Radien des einfallenden Protons, sowie der beiden resultierenden Spuren (Radiusschablone)!
- Berechne die Impulse der Spuren!
- ...

Selbst aktiv werden!

Findet heraus um welche Reaktion es sich auf eurer Aufnahme handelt!

Fahrplan:

- ...
- Bestimme die Radien des einfallenden Protons, sowie der beiden resultierenden Spuren (Radiusschablone)!
- Berechne die Impulse der Spuren!
- Zeichne das aus der Impulserhaltung resultierende Impulsdreieck und bestimme graphisch den fehlenden Impuls! Woher stammt dieser fehlende Impuls?
- Überprüfe die verschiedenen Hypothesen der Endzustände nach Energieerhaltung! Was ist das Resultat? Womit könnte es erklärt werden?
- Was ist die wahrscheinlichste Reaktion?

Externe Bildnachweise

- Slide 1,5,8,36,37,40,49,52: CERN
- Slide 5: SWRinfo
- Slide 6,7: FOX, CERN
- Slide 8: BNL
- Slide 12-20,27,34,50,51: Wikipedia
- Slide 9-47,53,54: Netzwerk Teilchenwelt
- Slide 8,41-44: ATLAS
- Slide 50,51: erlangen.physicsmasterclasses.org/