

Der Large Hadron Collider - Die "Weltmaschine" auf der Suche nach den grundlegenden Symmetrien

Michael Kobel

Institut für Kern- und Teilchenphysik, TU Dresden

Lehrtage der DPG, Dresden

27.3.2009

- 1) **Symmetriekonzepte**
- 2) **Fundamentale Bausteine und Kräfte**
- 3) **Die Ziele der Teilchenphysik**
- 4) **Der Large Hadron Collider**
- 5) **Beschleuniger als Mikroskope**
- 6) **Symmetrien der Teilchenphysik**
 - Flavor- Symmetrie
Ordnung der Teilchen
 - Lokale Eichsymmetrie
Ursache der Kräfte
 - Spontane Symmetriebrechung
Was ist Masse?
 - Teilchen-Antiteilchen Symmetrie
Wo ist die Antimaterie?
 - Supersymmetrie
Was ist Dunkle Materie?



*Die Liebe ist die Tochter der Erkenntnis:
die Liebe ist umso glühender,
je tiefer die Erkenntnis ist.
(Leonardo da Vinci)*

1) Symmetriekonzepte

Mathematisches Symmetrien (Hermann Weyl)

Werkzeugkiste: Transformationsgruppen



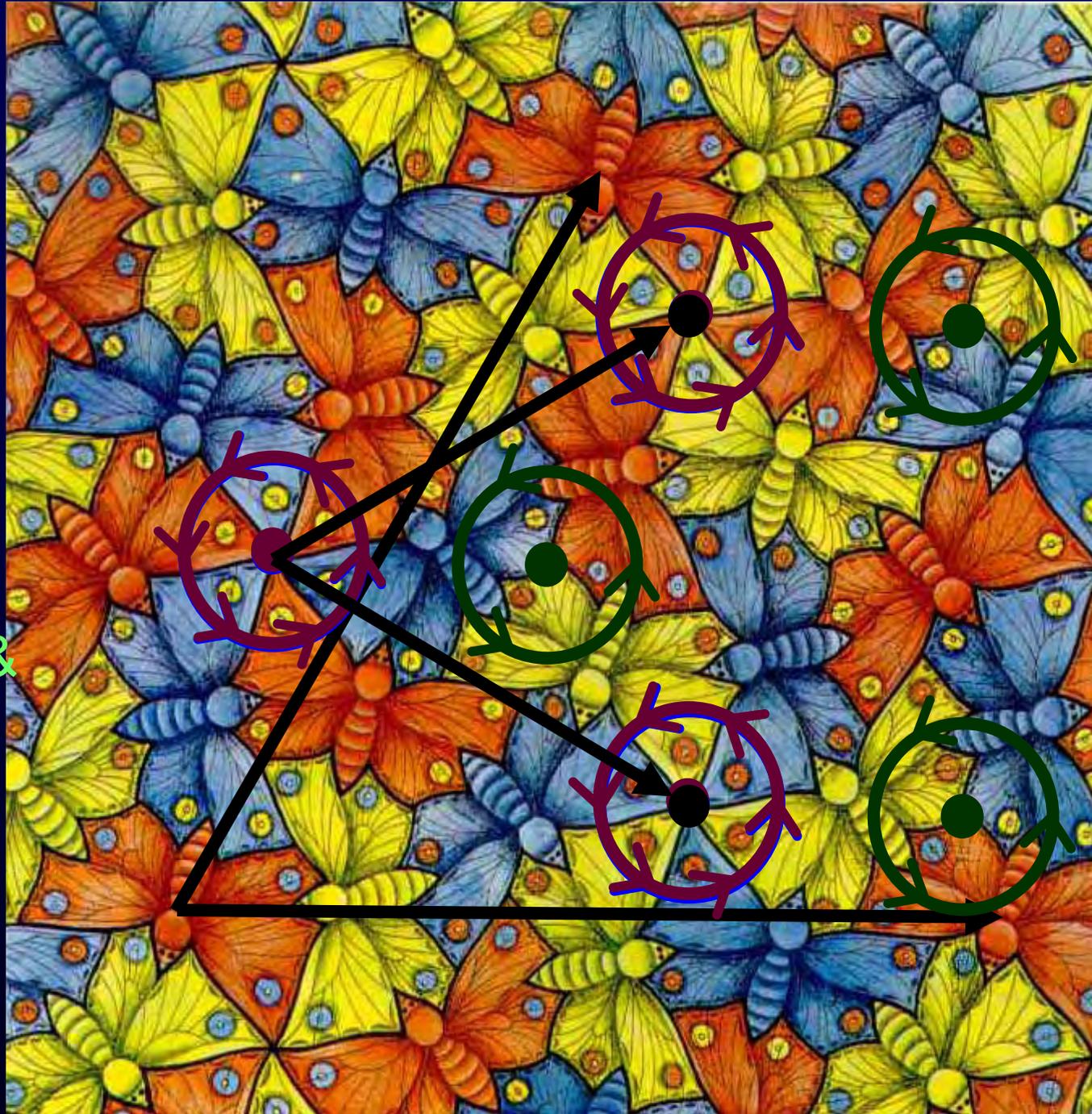
R.P. Feynman: Ein **Objekt** heißt *symmetrisch*, wenn man mit ihm **etwas anstellen** kann, **ohne** es am Ende, wenn man fertig ist mit der Prozedur, **geändert** zu

haben.

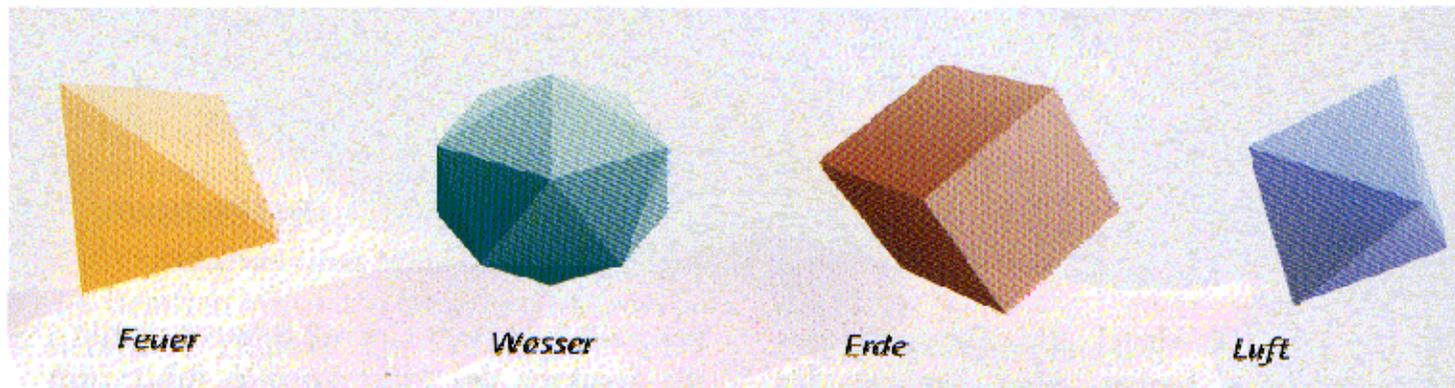
Symmetrien in der Kunst

M.C. Escher:

- Translation
- Translation & Farbdrehung
- Drehung (3-zählig)
- Drehung (3-zählig) & Farbdrehung
- Drehung (6-zählig) & Farbdrehung

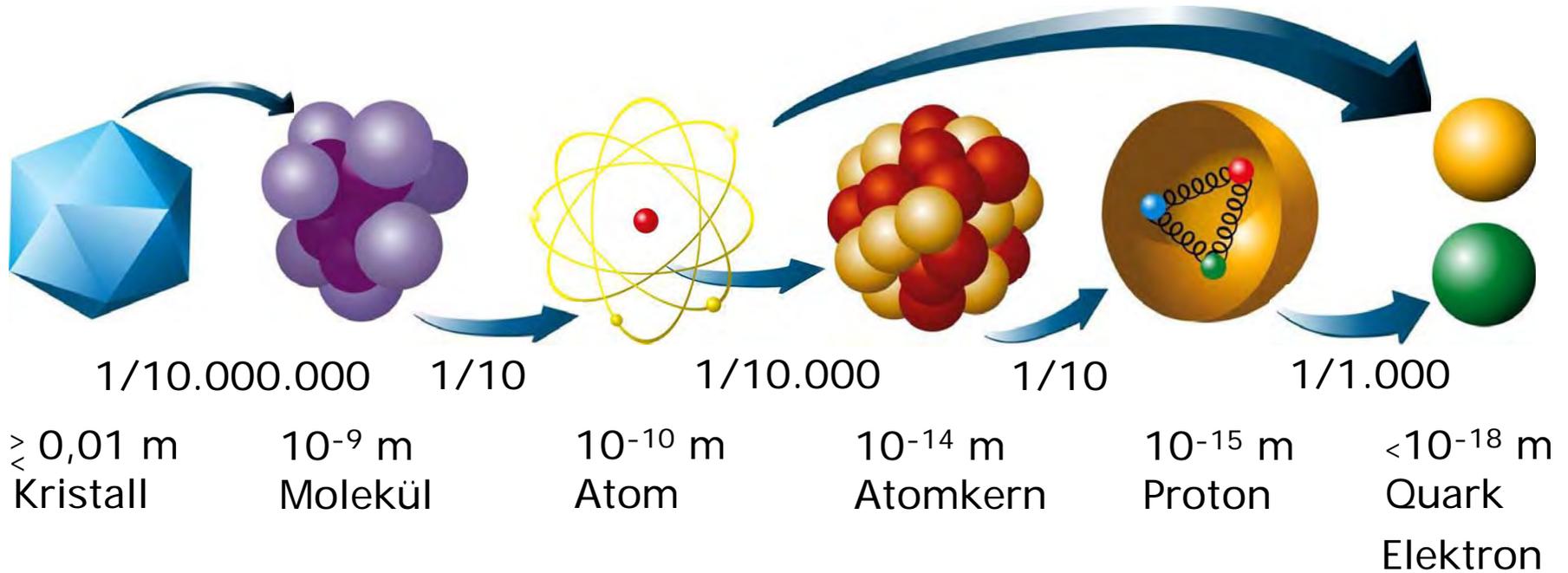


- **Elemente und Kräfte: 500-430 v.Chr. Empedokles**
 - Vier Elemente: Feuer, Wasser, Erde, Luft
 - Zwei Urkräfte: Liebe , Haß \Leftrightarrow Mischung , Trennung
- **Symmetrien: 427-347 v.Chr. Platon**
 - Symmetrische Körper: Schönheit der Gesetze



- **Kleinste Bausteine: 460-371 v.Chr. Demokrit**
 - Atome: verschiedene Formen und Gewichte
 - Leere: Verbindung und Bewegung im Nichts

2) Die Bausteine unserer Welt



- **4 Fundamentale Bausteine der Materie (punktförmig)**
 - Zwei „Quarks“: zu Protonen und Neutronen gebunden
 - Down: d
 - Up: u
 - Zwei „Leptonen“:
 - Elektron e: gebunden in Atomhülle
 - Neutrino ν : ungebunden, entsteht in Kernprozessen (Sonne, Radioakt.)
- **Welche Kräfte wirken zwischen den Bausteinen?**

Die fundamentalen Wechselwirkungen

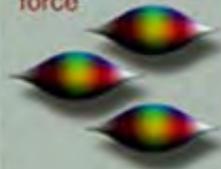
Gluons
Carriers of the
strong force
between quarks



Felt by:
quarks

The explosive release of nuclear energy is the result of the **strong force**

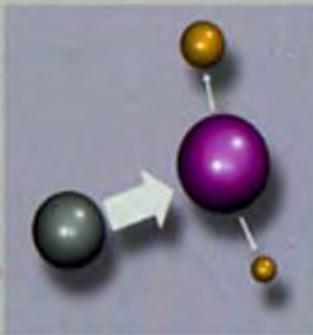
Photons
Particles that
make up light;
they carry the
electromagnetic
force



Felt by:
quarks and charged leptons

Electricity, magnetism and chemistry are all the results of **electro-magnetic force**

Intermediate vector bosons
Carriers of the
weak force



Felt by:
quarks and leptons

Some forms of radio-activity are the result of the **weak force**

Gravitons
Carriers of
gravity

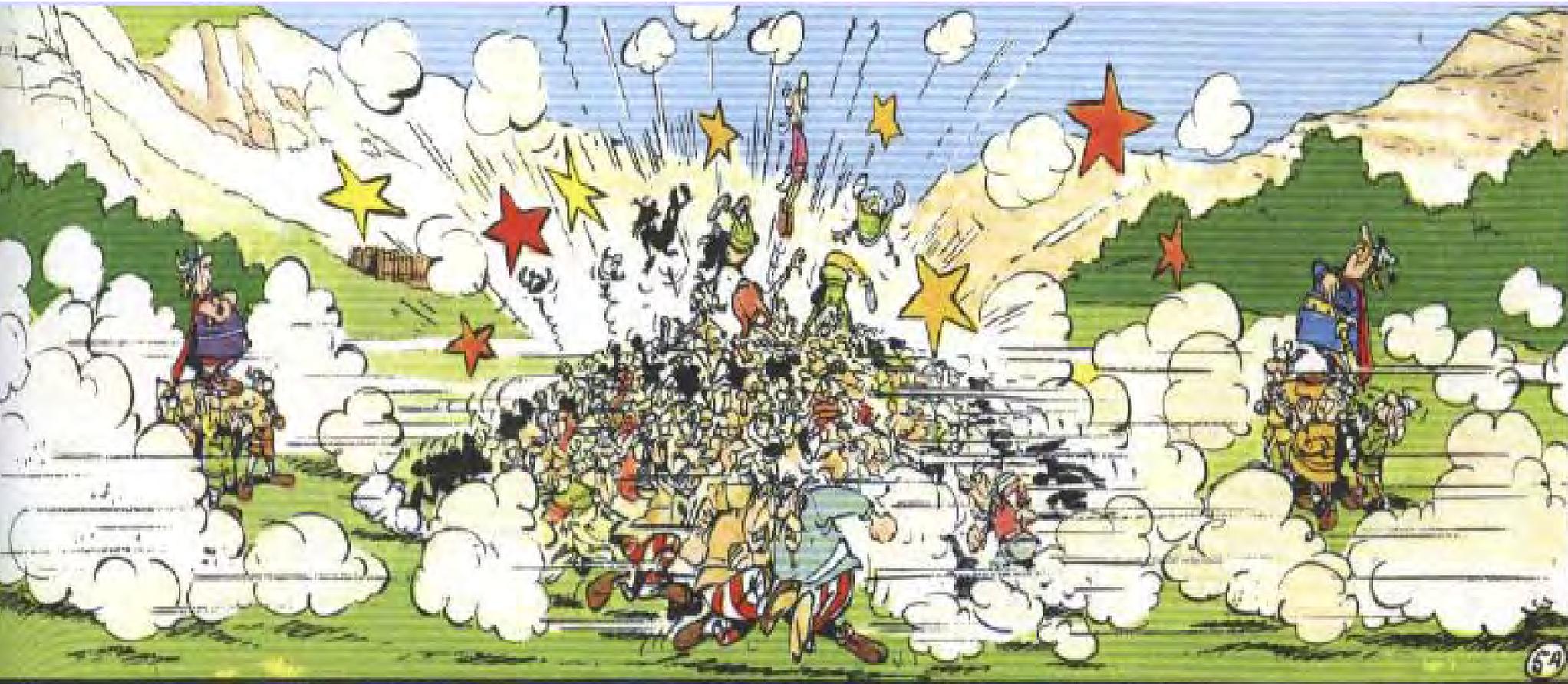


Felt by:
all particles with mass

All the weight we experience is the result of the **gravitational force**

- **4 fundamentale Kräfte**
 - **Elektromagnetismus**
 - **direkt erfahrbar**
 - **Basis für (fast) alles**
 - **Starke Kraft**
 - **nicht direkt erfahrbar**
 - **Bindet Quarks + Kerne**
 - **Schwache Kraft**
 - **nicht direkt erfahrbar**
 - **Kernumwandlungen (Brennen der Sterne)**
 - **Schwerkraft**
 - **direkt erfahrbar**
 - **irrelevant für Teilchen**

GRAPHICS: PETER CROWTHER



Warum?

- **ENERGIE** ist der Schlüssel

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

Werner Heisenberg

kleine Strukturen - kleine Abstände

$$E = m \cdot c^2$$

Albert Einstein

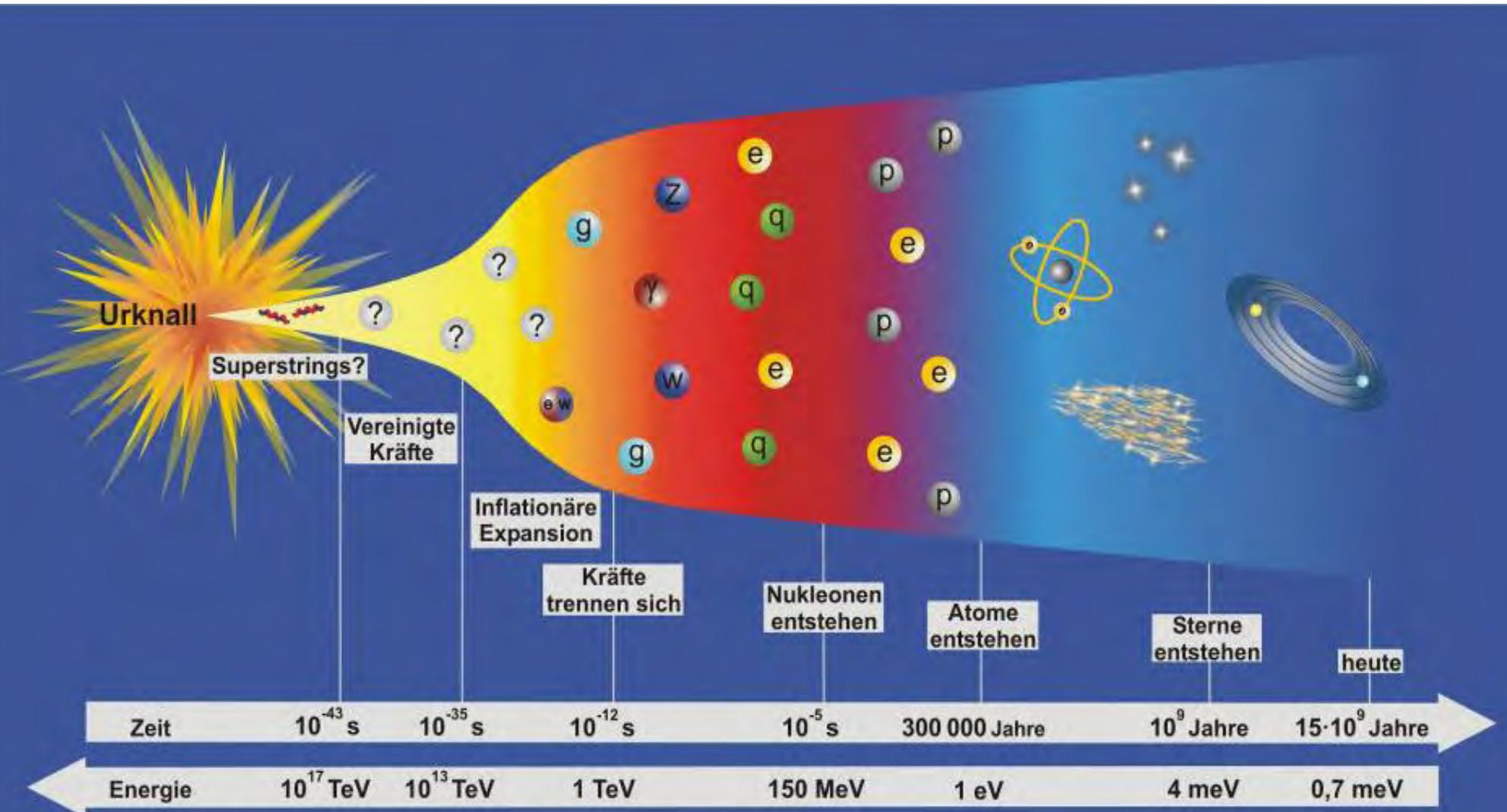
neue und schwere Materie

$$\langle E \rangle \approx k_b \cdot T$$

Ludwig Boltzmann

hohe Temperaturen

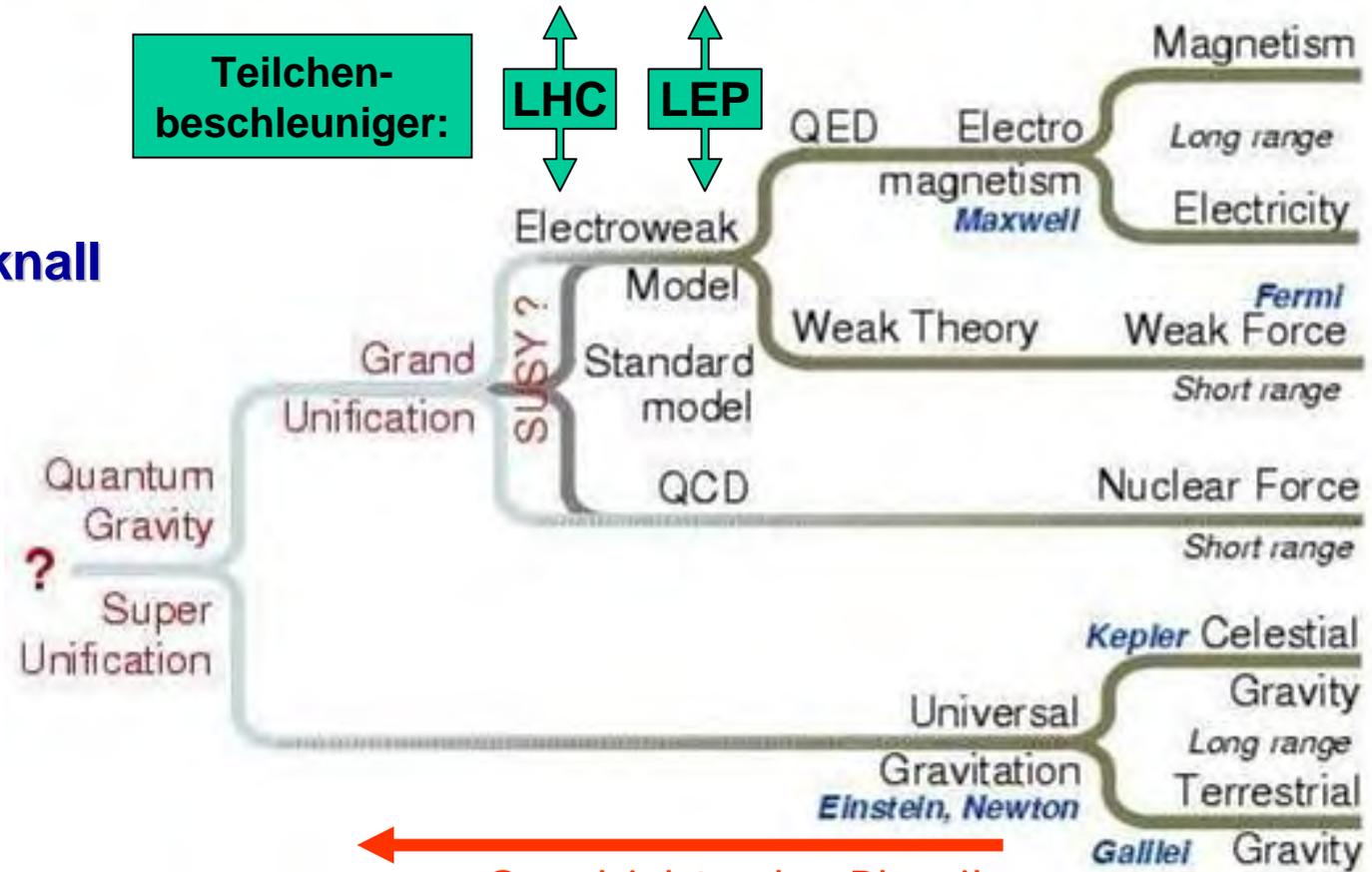
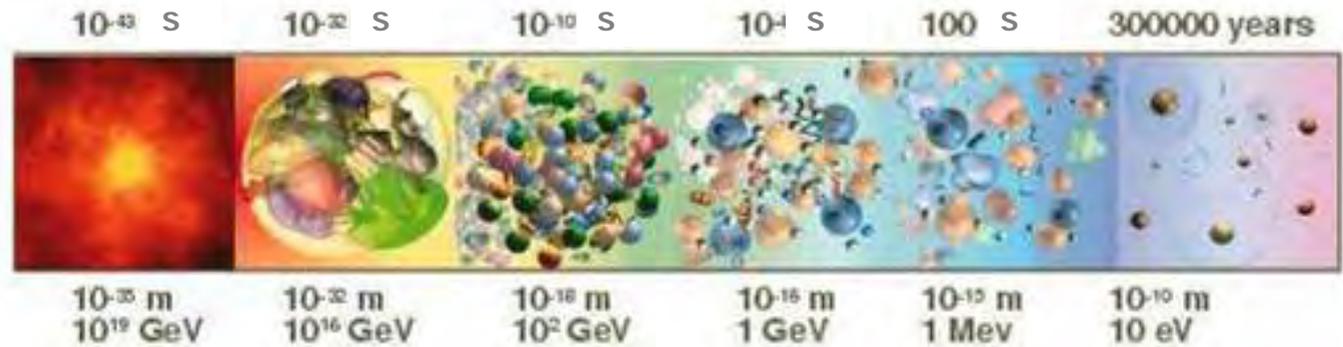
Die Temperatur des Universums fällt mit der Zeit



- LHC:**

Nachstellen der Prozesse zwischen Elementarteilchen

10^{-12} s nach dem Urknall



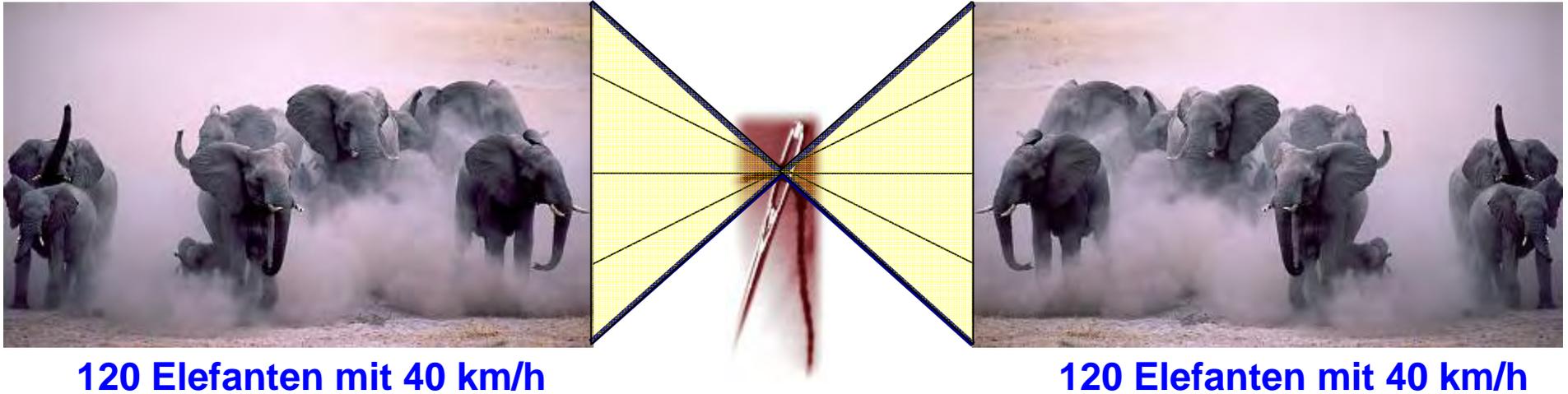
**Geschichte der Physik
Zurück zum Urknall**

4) Der Large Hadron Collider



- Gespeicherte Energie der beiden Protonenstrahlen: $2 \times 350 \text{ MJ}$

Wie 240 Elefanten auf Kollisionskurs



Die Energie eines
einzelnen Protons
entspricht der einer
Mücke im Anflug

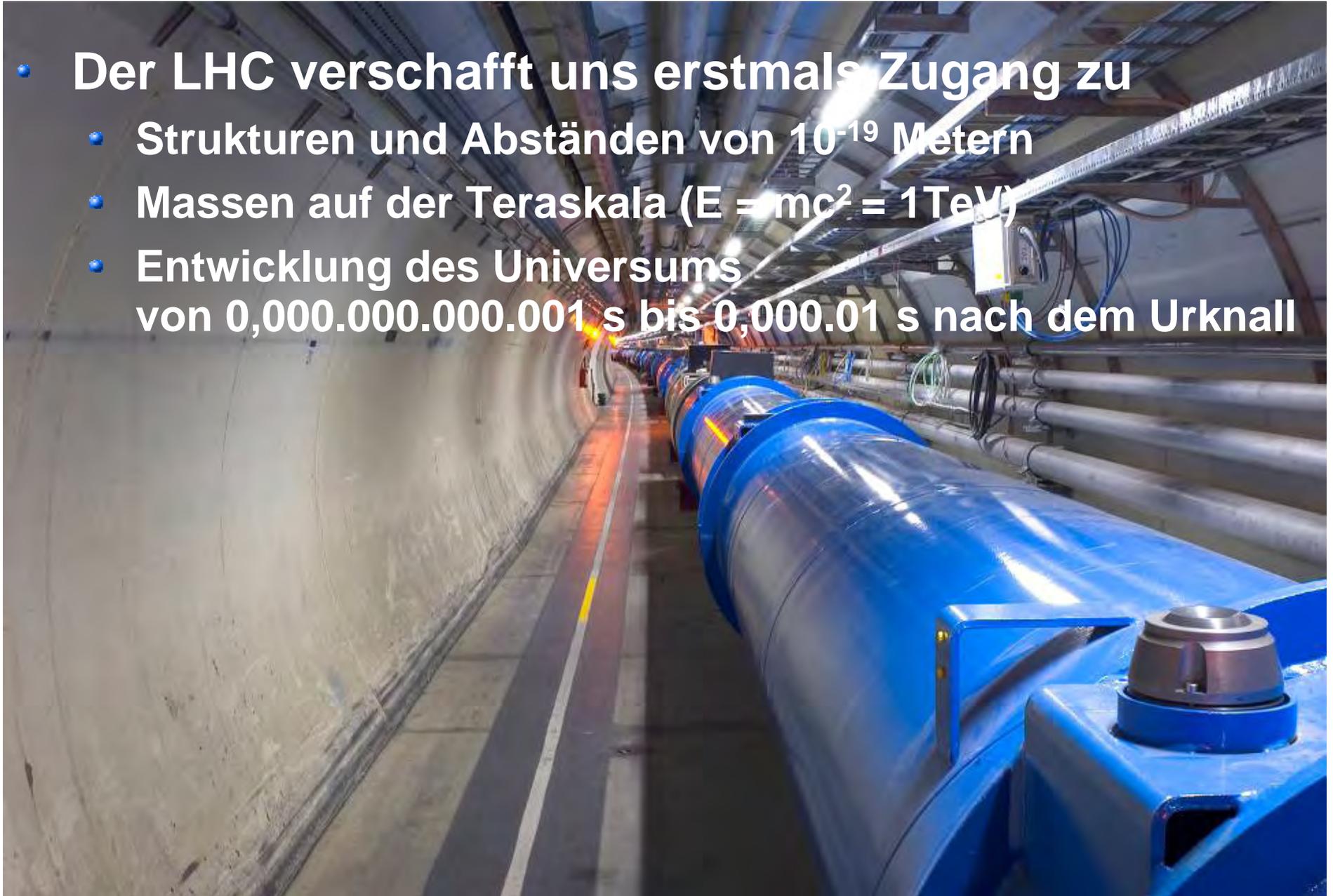
Nadelöhr:
0.3 mm Durchmesser

Protonenstrahlen am Kollisionspunkt:
0.03 mm Durchmesser



CERN visit - Introduction

- Der LHC verschafft uns erstmals Zugang zu
 - Strukturen und Abständen von 10^{-19} Metern
 - Massen auf der Teraskala ($E = mc^2 = 1\text{TeV}$)
 - Entwicklung des Universums von 0,000.000.000.001 s bis 0,000.01 s nach dem Urknall



5) Beschleuniger als Mikroskope

Größe

1 fm = 1 Femtometer („Fermi“) = 10^{-15} m (\sim 1 Proton)
(100 μ m = 100.000.000.000 fm \sim 1 Haar)

Energie

1 ElektronVolt = 1eV



1 MegaElektronVolt = 1 MeV = 1.000.000 eV

1 GigaElektronVolt = 1 GeV = 1.000.000.000 eV

1 TeraElektronVolt = 1 TeV = 1.000.000.000.000 eV

1 TeV

Viel für ein Teilchen, aber makroskopisch winzig: könnte Taschenlampe (1,6 Watt) für ganze 0,000.000.1 Sekunden zum Leuchten bringen

- **Sehen = Abbilden**
(Abtasten durch Sonde)



- **Wurfgeschöß (Projektil) → Zielobjekt → Nachweis (Detektor)**
- **Beispiel Rutherford: $\alpha + N \rightarrow \alpha + N$ (Struktur der Atome: Kern+Hülle)**

- **Auflösungsvermögen** nur dann ausreichend, wenn

- **Projektilgröße** \ll **Größe der Strukturen**

→ punktförmige Sonden (γ , e^- , ν , ...)

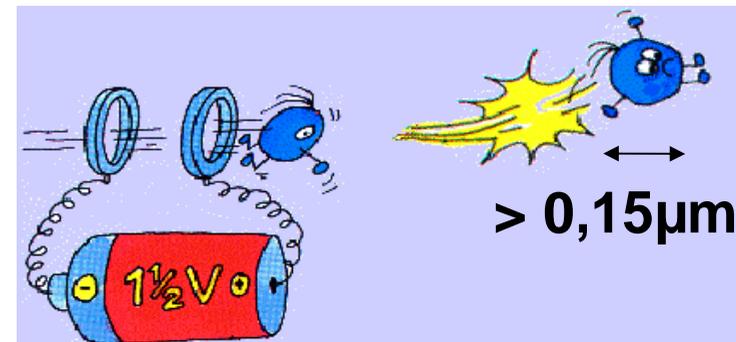
- **Treffgenauigkeit** \ll **Größe der Strukturen**

Heisenberg: Treffgenauigkeit $\Delta x \Delta p c = \hbar c = 200 \text{ MeV fm}$

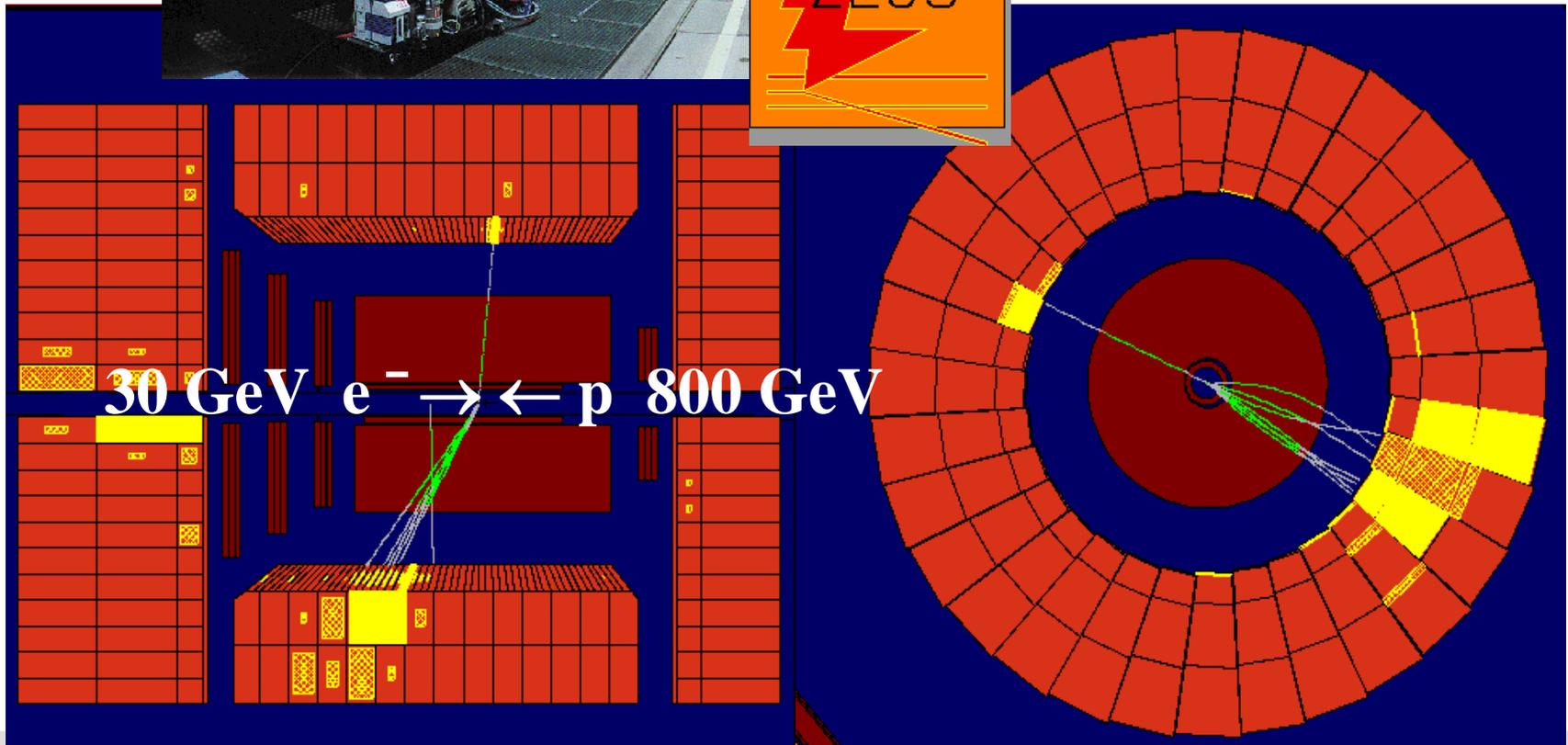
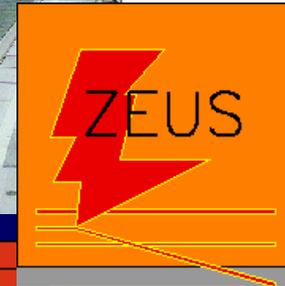
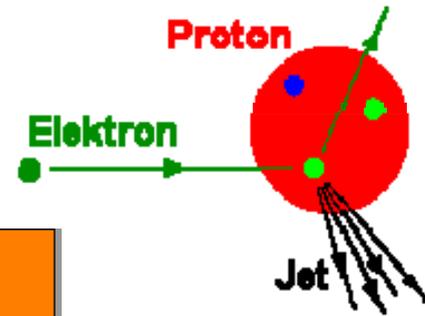
Projektilenergie $E > \text{Impulsübertrag } \Delta p c$

➤ $\Delta x = 200 \text{ fm}$ bei $E > 1 \text{ MeV}$

➤ $\Delta x = 0,2 \text{ fm}$ bei $E > 1 \text{ GeV}$

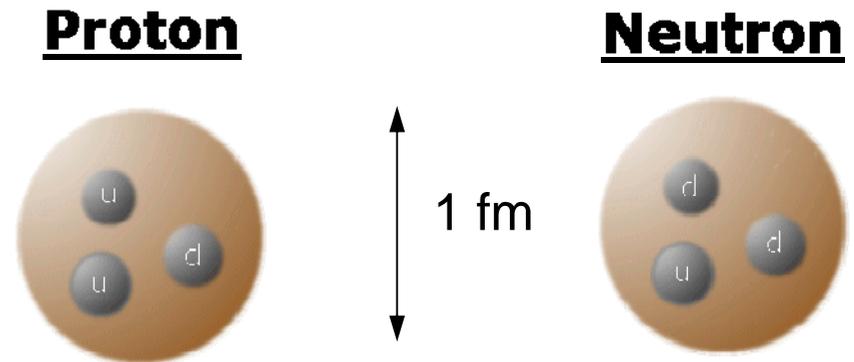


- Herausgeschlagenes Quark ergibt Teilchenbündel



6.1.) Die “Flavor” Symmetrie

- **Ergebnis der Strukturuntersuchung:**
 - **Protonen und Neutronen bestehen aus 3 Quarks**
 - d: $Q = -1/3$, “down - flavor”
 - u: $Q = +2/3$, “up - flavor”



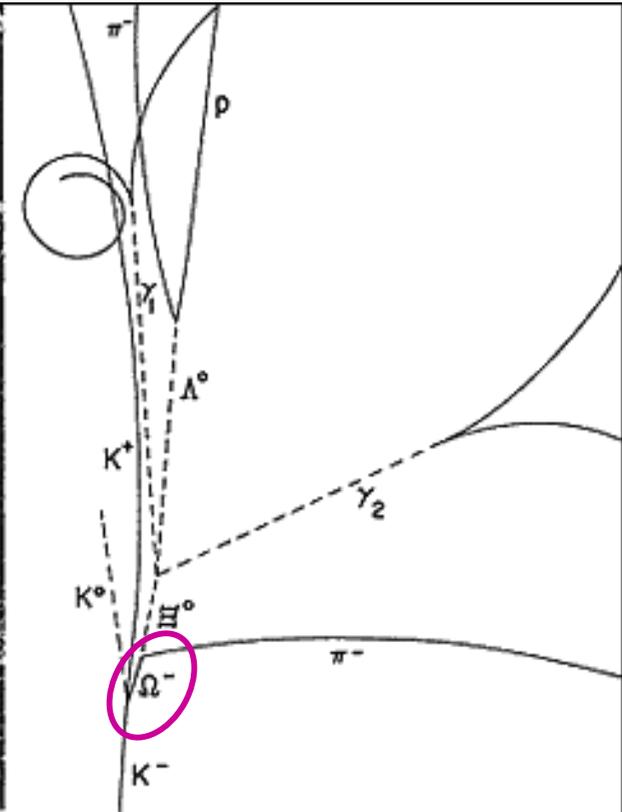
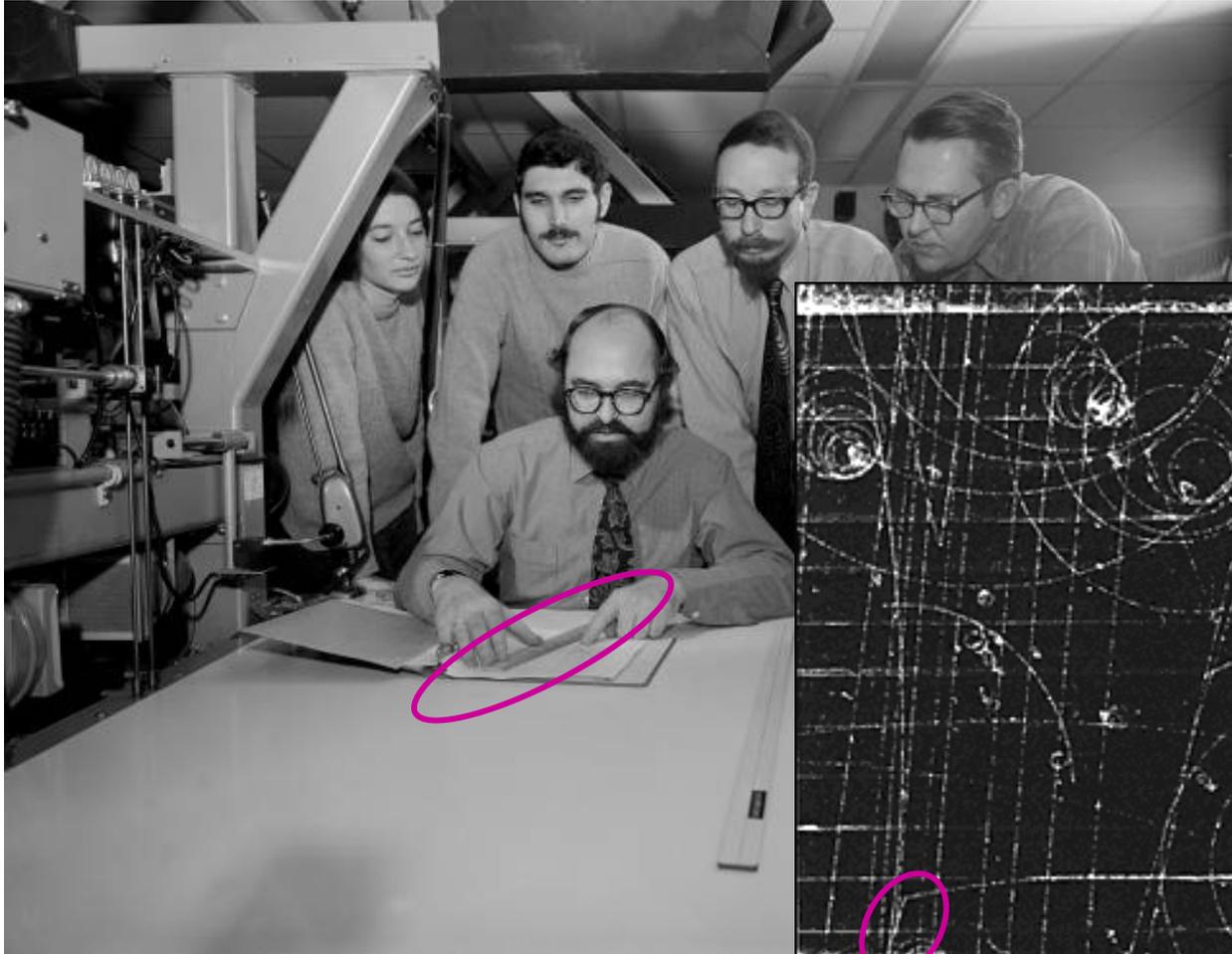
- **fast gleiche Massen** $m_p = 938,3 \text{ MeV}$ $m_n = 939,6 \text{ MeV}$
- **genau gleiche Eigenschaften bzgl. starker Wechselwirkung**

- **Ordnungsprinzip**

- **Vertauschungs-Symmetrie von 2 Quark-Flavors ($u \leftrightarrow d$)**

Gell-Mann 1964: Vorhersage des Ω^-

- 1964: Gerson Goldhaber, Bryce Sheldon, Alex Fireston, David Lissauer, Jane Allardt
Nachweis in Hand-vermessenen Blaskammeraufnahmen

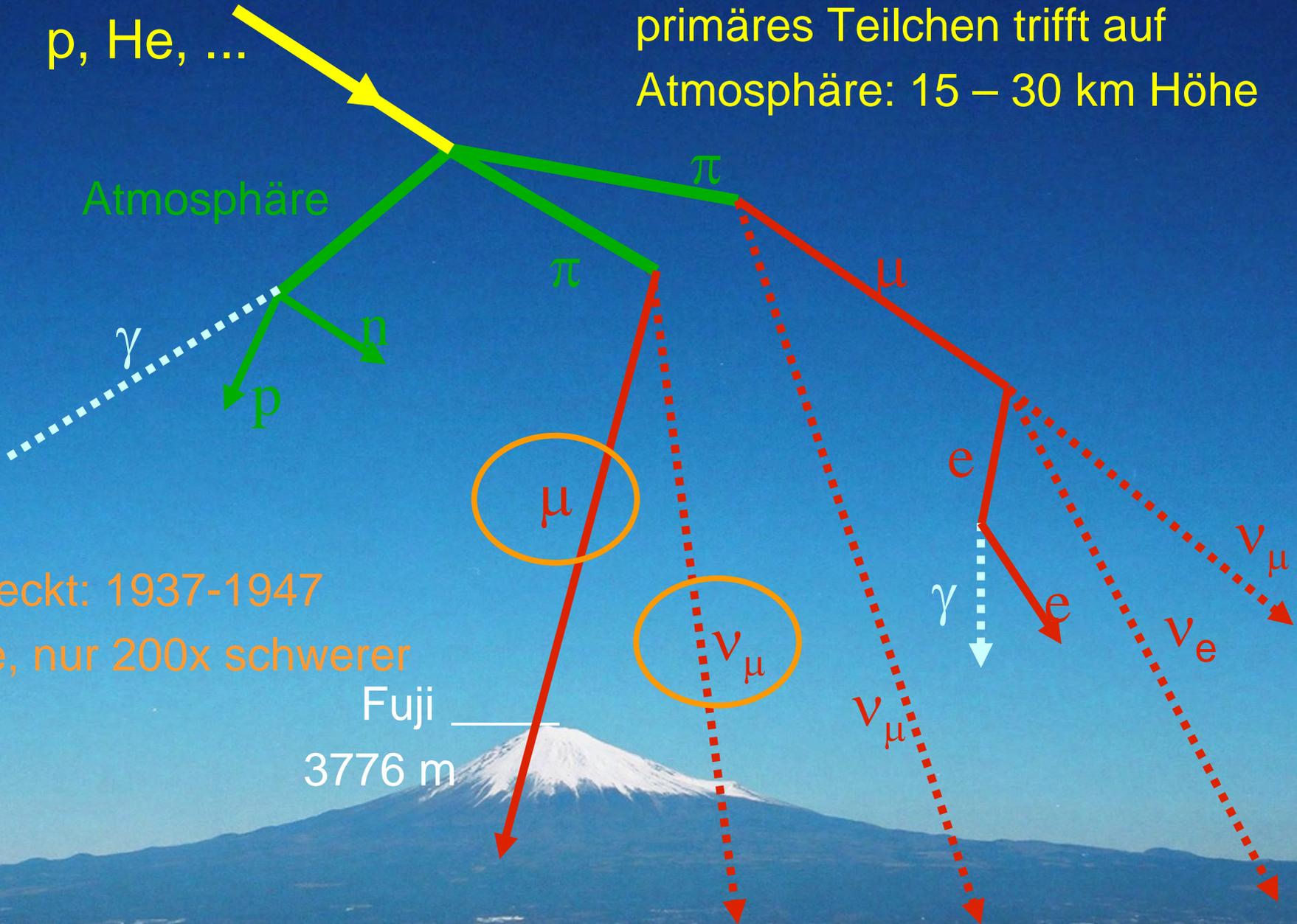


...auch mehrere "Lepton-flavors"

ρ, He, \dots

primäres Teilchen trifft auf
Atmosphäre: 15 – 30 km Höhe

Atmosphäre



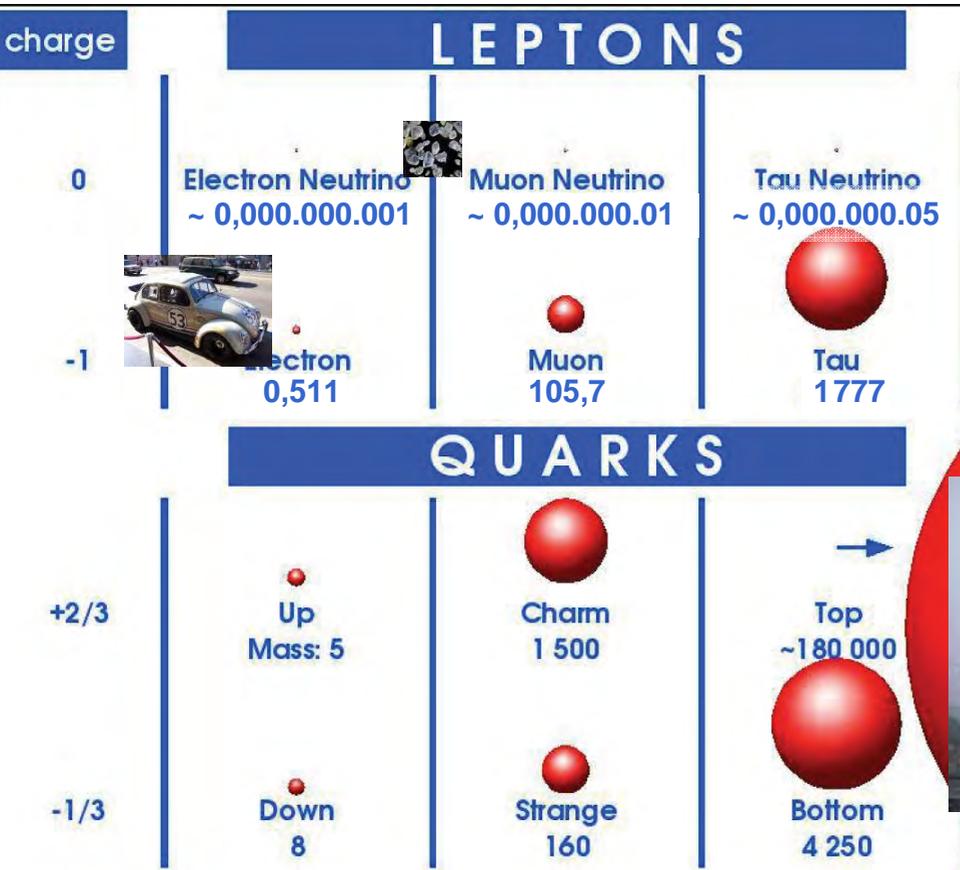
Entdeckt: 1937-1947

wie e, nur 200x schwerer

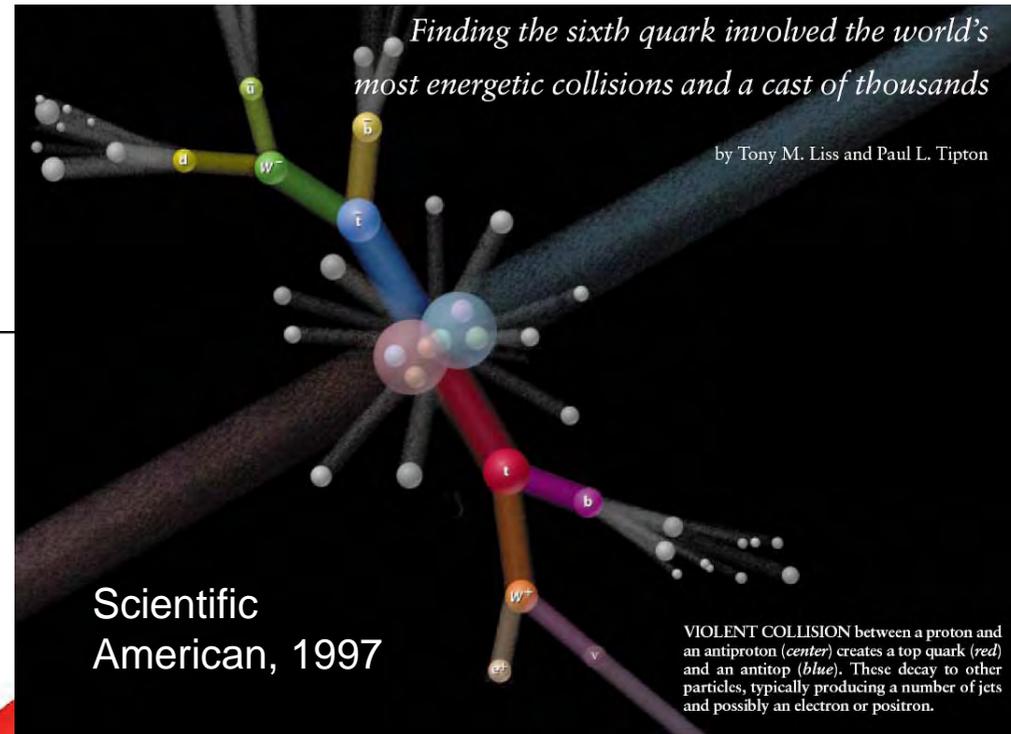
Fuji

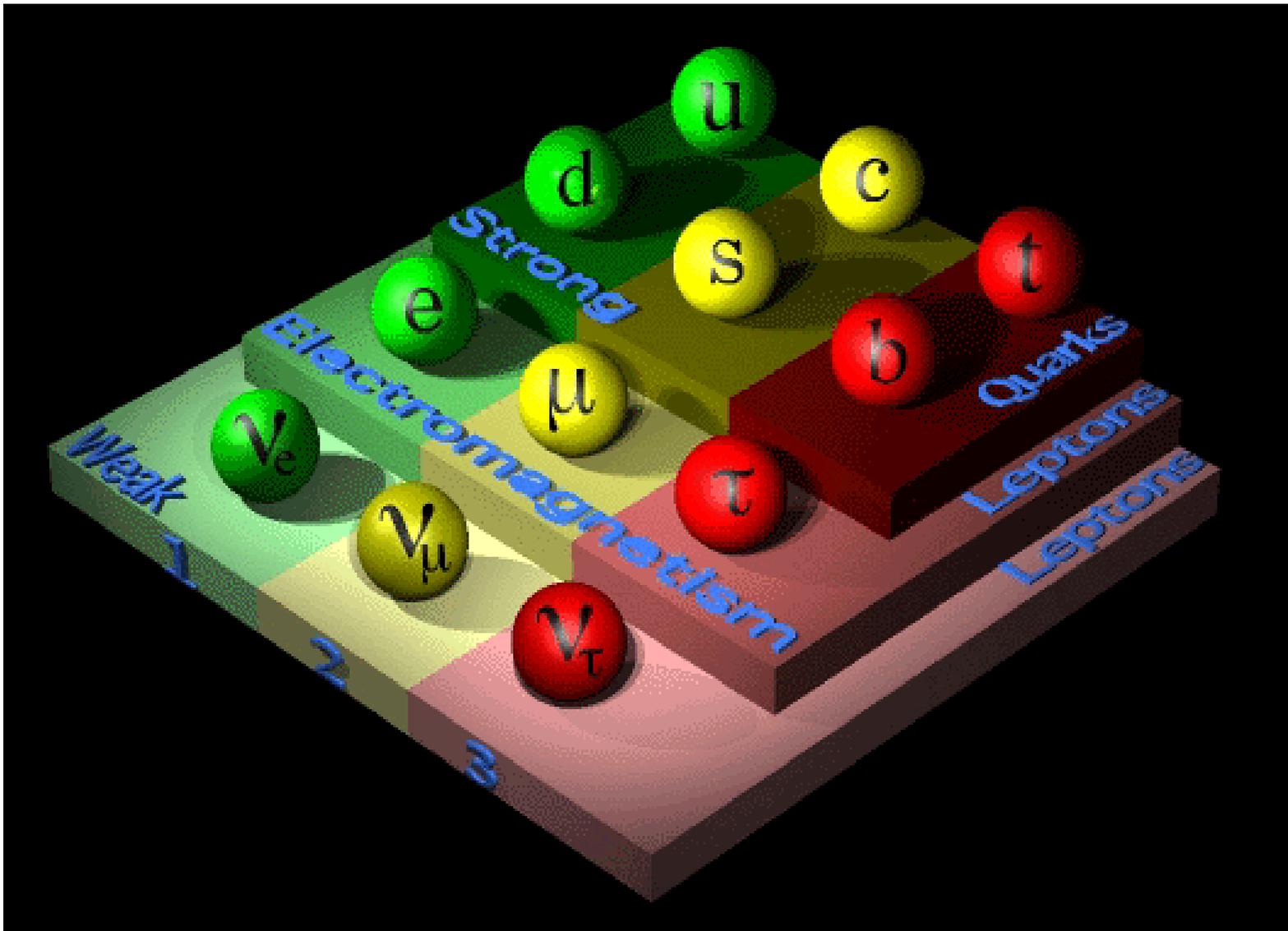
3776 m

1995: TeVatron, FNAL, Chicago Entdeckung des Top Quarks Masse: 173 GeV !



Masse in MeV bzw. in Tonnen



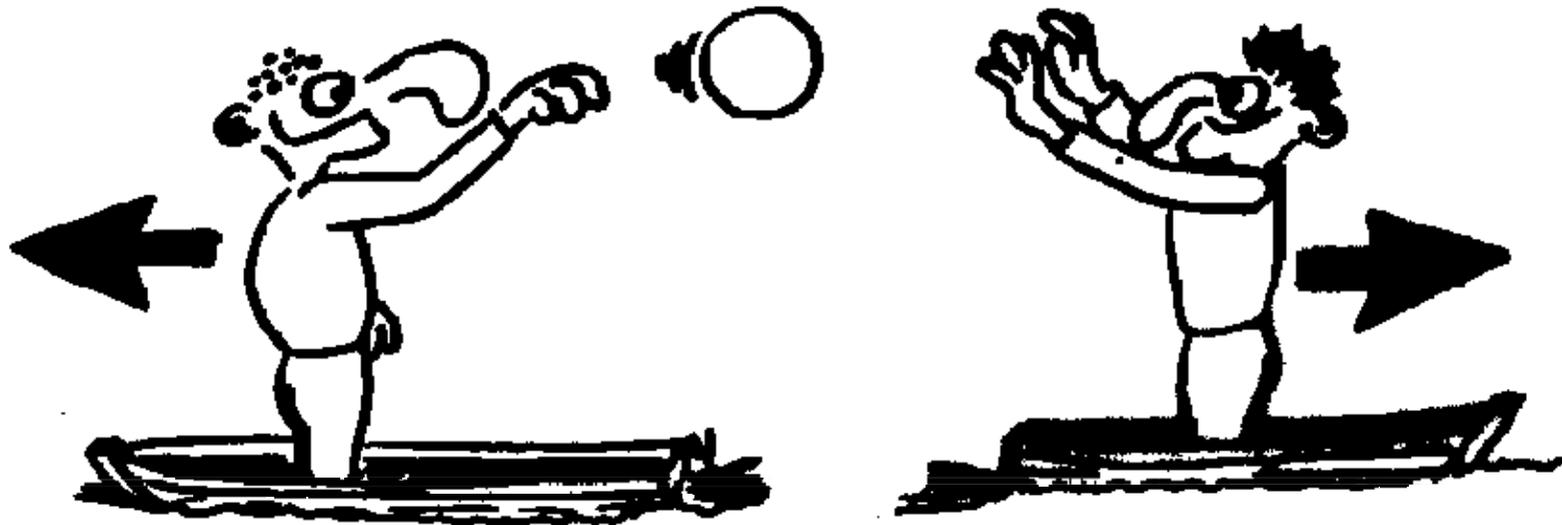


- Warum 3 Familien?
- Warum jeweils diese Wechselwirkungen („Kräfte“)?



- **Wie funktionieren Kräfte und Wechselwirkungen?**

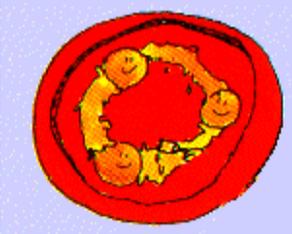
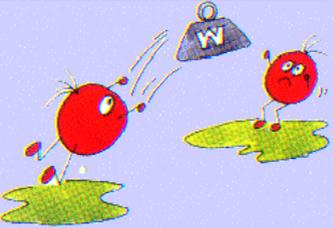
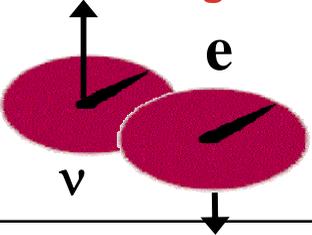
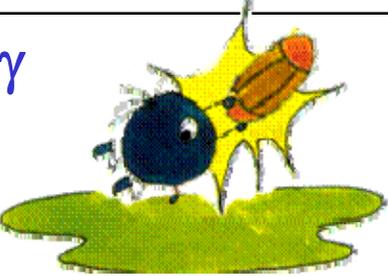
- Zu jeder **Wechselwirkung** gehört eine Ladung
- Nur Teilchen mit entsprechender Ladung spüren Wechselwirkung
- Wechselwirkung erfolgt über Austausch von **Botenteilchen**



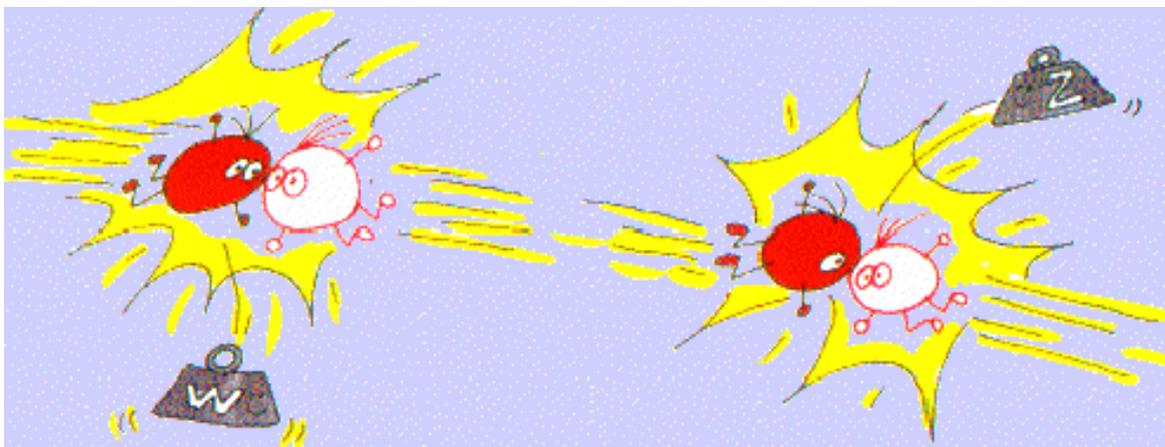
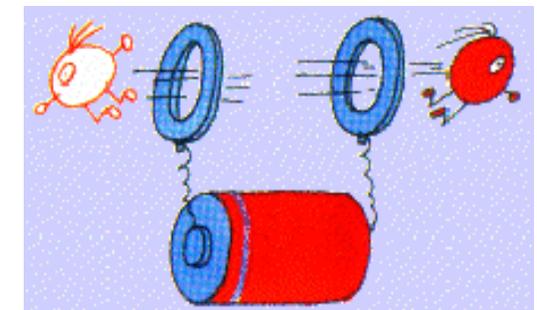
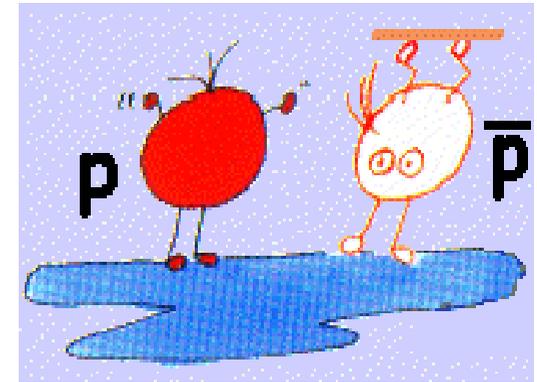
Abstoßend
Anziehend

www.physicsmasterclasses.org/exercises/unischule/baust/bs_6fram_lv123.html

- Jede Kraft (Wechselwirkung) hat eigene Botenteilchen
- Boten nur sendbar, wenn entsprechende Ladung vorhanden

Kraft	Botenteilchen	Ladung der Materieteilchen
Starke Kernkraft	Gluonen g 	Starke „Farb“-Ladung „Rot“, „Blau“, „Grün“ 
Schwache Kraft	„Weakonen“ (W^+, W^-, Z) 	Schwache „Isospin“-Ladung $I_3^W = \begin{pmatrix} +1/2 \\ -1/2 \end{pmatrix}$ 
Elektromagnetismus	Photonen γ 	Elektrische Ladung $Q = -1, +2/3, -1/3, \dots$
Schwerkraft	Gravitonen ?	Masse ?

- Zu jedem Bausteinteilchen existiert ein Antiteilchen mit **umgekehrten Vorzeichen** von **allen** Ladungen
- Sonst sind **alle Eigenschaften** (Masse, Lebensdauer) **gleich**
- Aus Botenteilchen können **paarweise** Materie- und Antimaterieteilchen **entstehen**
- Umgekehrt können sie sich **paarweise** wieder zu Botenteilchen („Energie“) **vernichten**



Ladung ...

- ... ist **kein Stoff !**
- ... beschreibt die **Sensitivität** von Teilchen **bezüglich der jeweiligen Wechselwirkung**

Eigenschaften:

- Ladungen sind **Additiv** (gegebenenfalls vektoriell !)
 $\text{Ladung}(A+B) = \text{Ladung}(A) + \text{Ladung}(B)$
- Ladungen kommen nur in Vielfachen einer **kleinsten Ladung** vor
- Ladung ist **erhalten**,
d.h. sie entsteht weder neu, noch geht sie verloren

Das Noether-Theorem



Emmi Noether
(1882-1935)

Symmetrie \Rightarrow Erhaltungsgröße

Physikalische Gesetze unabhängig von...

Verschiebung der Zeitachse \Rightarrow Erhaltung der Energie

Verschiebung der Raumachse \Rightarrow Erhaltung des Impulses

Drehung der Raumachsen \Rightarrow Erhaltung des Drehimpulses

- Erkenntnis 1927-1973:
 - **Ladungen** beschreiben **Sensitivität** von Teilchen bzgl. bestimmter **Umeichungen**
 - **Ladungserhaltung** folgt aus **Invarianz** bezüglich dieser Umeichungen (**Eichsymmetrie**)
 - Umeichungen sind sogar **lokal** (an jedem Ort und zu jeder Zeit anders) möglich
 - Die **lokale Eichsymmetrie** wird durch Aufnahme oder Abgabe von **Eichteilchen** garantiert
 - Diese Eichteilchen sind die Botenteilchen der **Wechselwirkungen**



Das Problem der Nomenklatur

calvin
Hobbes

by BILLY
WIEBE

I'VE BEEN READING ABOUT THE BEGINNING OF THE UNIVERSE. THEY CALL IT "THE BIG BANG."

ISN'T IT WEIRD HOW SCIENTISTS CAN IMAGINE ALL THE MATTER OF THE UNIVERSE EXPLODING OUT OF A DOT SMALLER THAN THE HEAD OF A PIN, BUT THEY CAN'T COME UP WITH A MORE EVOCATIVE NAME FOR IT THAN "THE BIG BANG"?

THAT'S THE WHOLE PROBLEM WITH SCIENCE. YOU'VE GOT A BUNCH OF EMPIRICISTS TRYING TO DESCRIBE THINGS OF UNIMAGINABLE WONDER.

WHAT WOULD YOU CALL THE CREATION OF THE UNIVERSE?

"THE HORRENDOUS SPACE KABLOOIE!"

HMM... THAT IS BETTER.

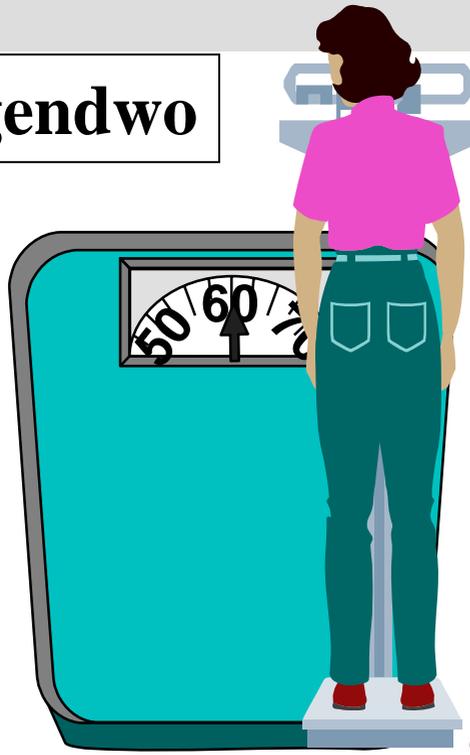
ALMOST ANYTHING WOULD BE.

WE SHOULD LOBBY TO CHANGE THAT.

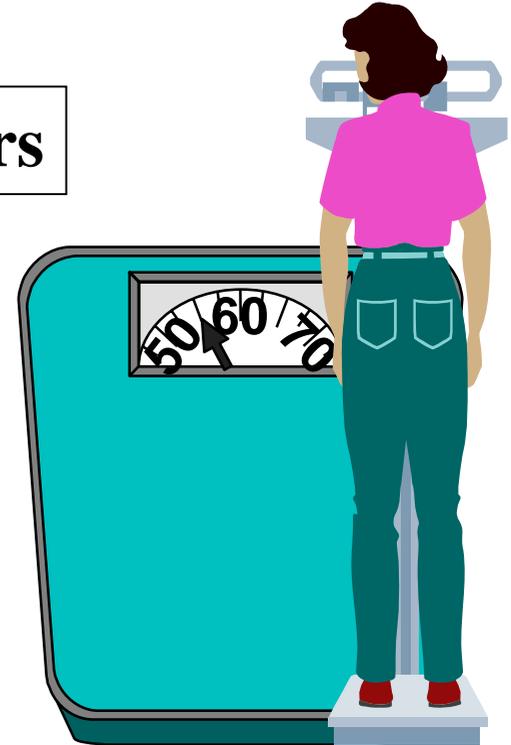
AND I THINK "TYRANNOSAUR" SHOULD BE CHANGED TO "MONSTROUS KILLER DEATH LIZARD."

Lokale Umeichungen anschaulich

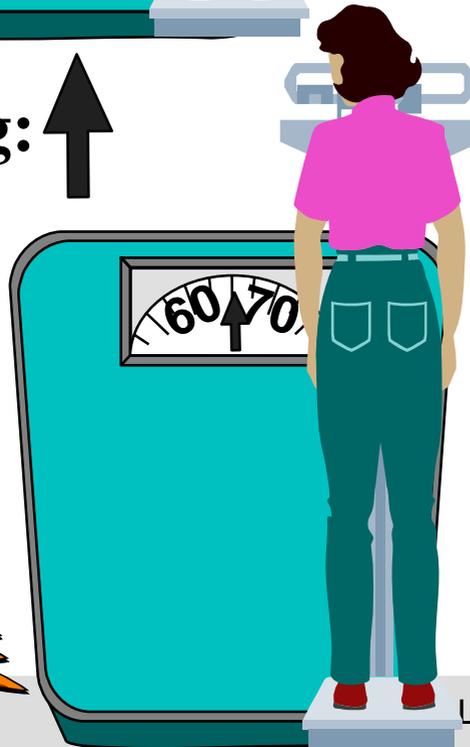
Irgendwo



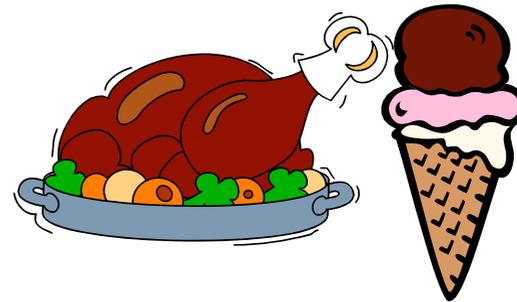
Woanders



Eichung: ↑

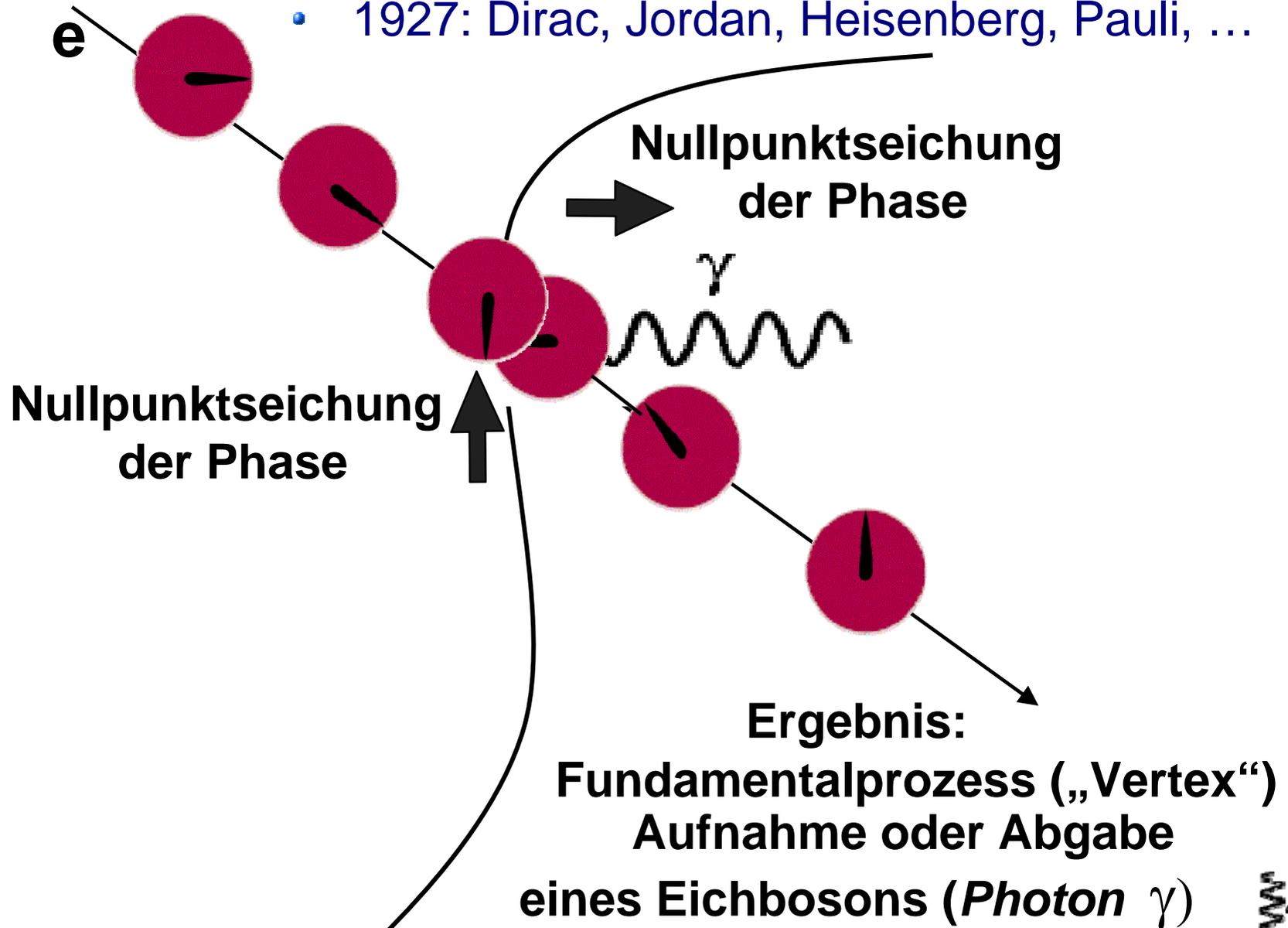


Eichung: ↑



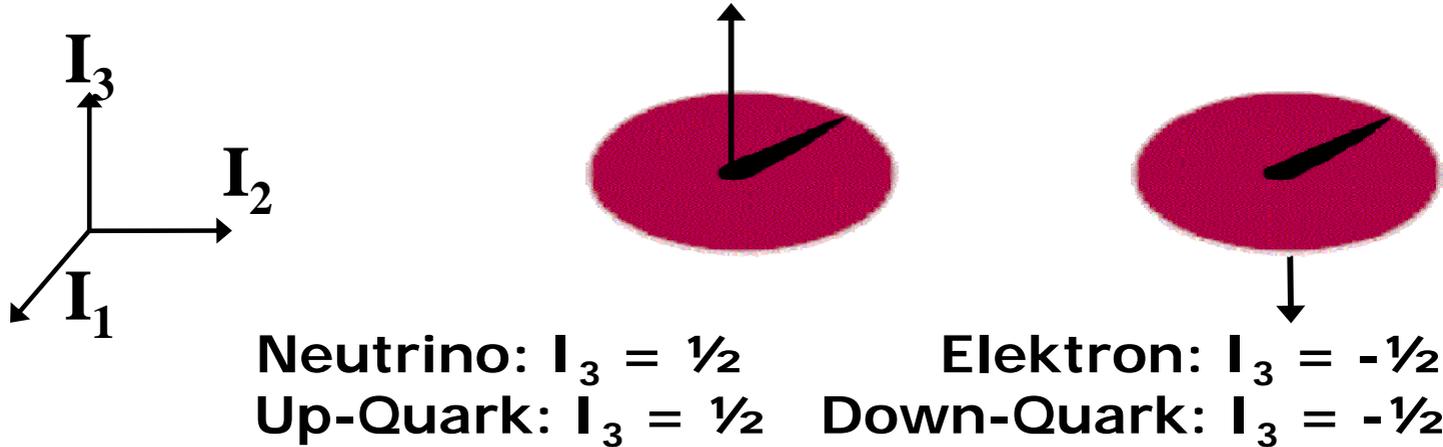
Umeichung im Elektromagnetismus $U(1)_Q$

- 1927: Dirac, Jordan, Heisenberg, Pauli, ...



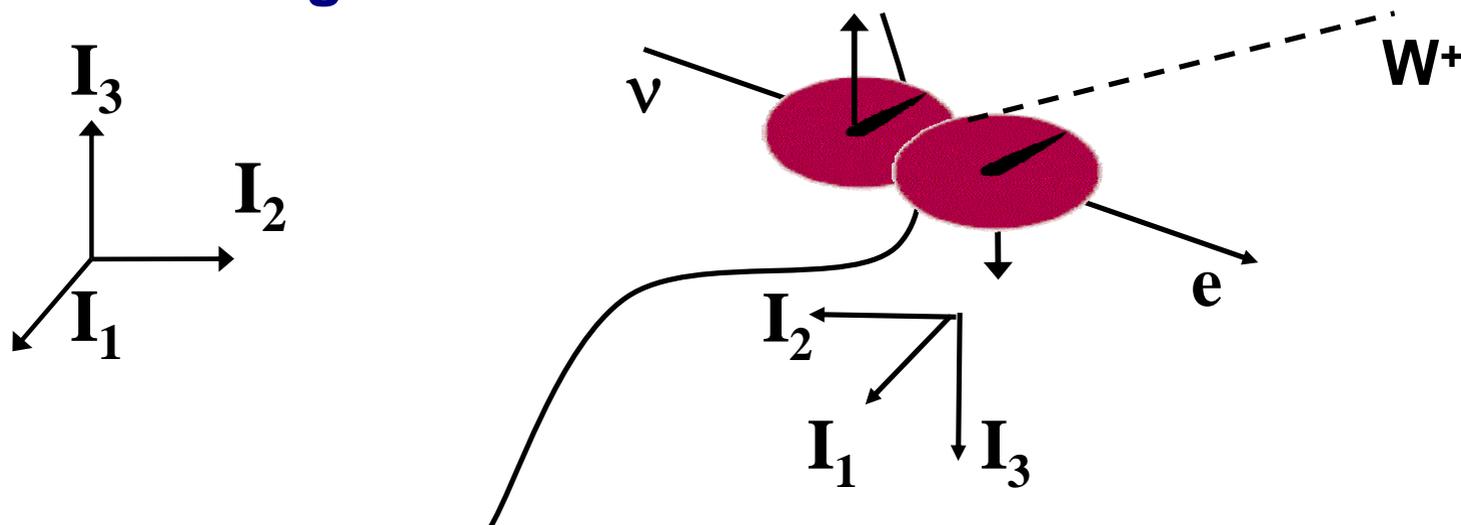
Die schwache Eichsymmetrie SU(2)

- 1961 S.Glashow: Eichung der schwachen Ladung



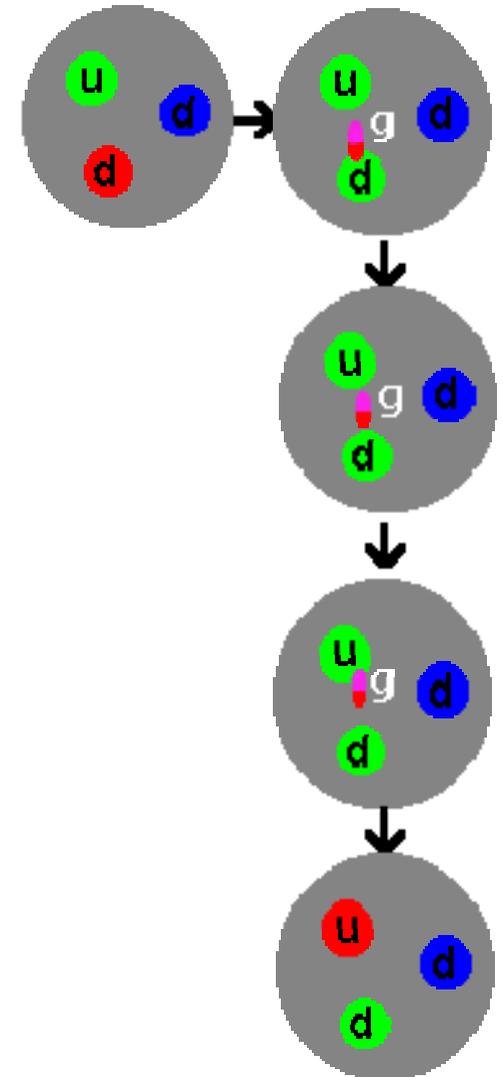
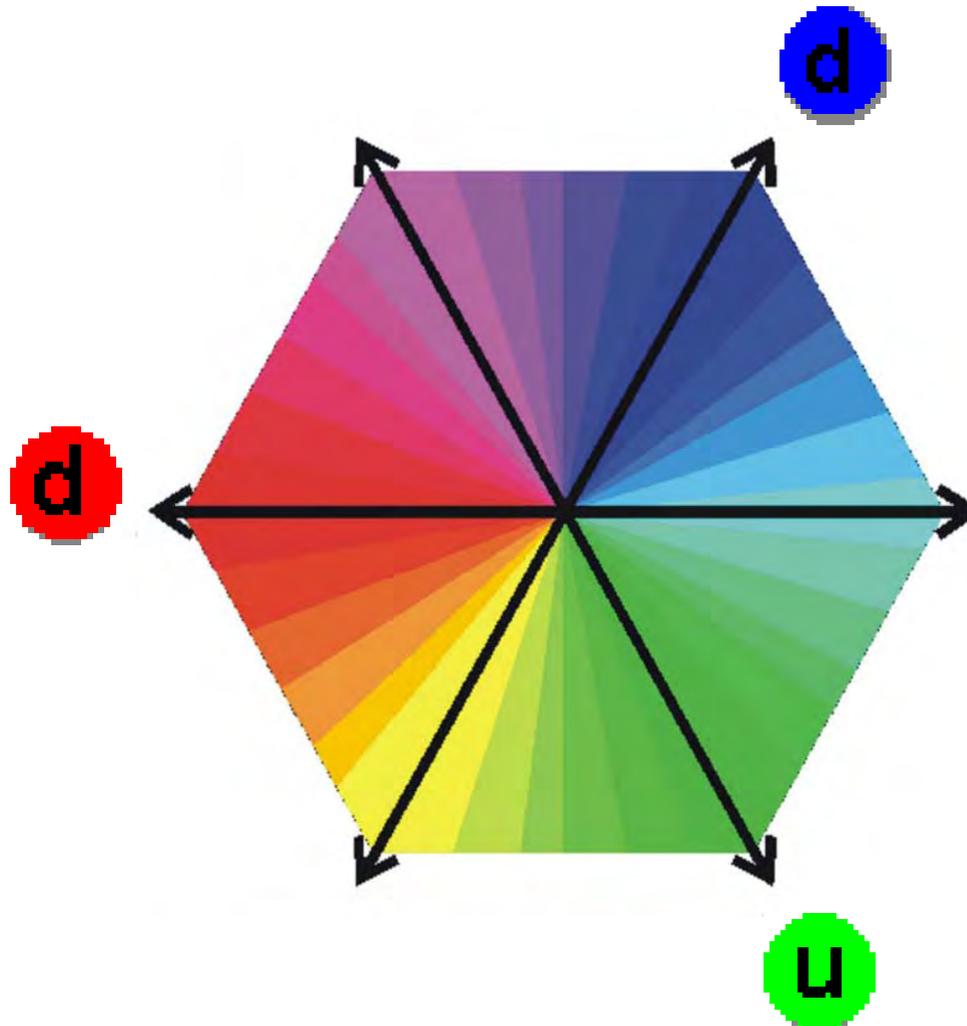
Idee: (ν, e) und (u, d) unterscheiden sich *nur* durch die „Richtung“ eines Pfeils (schwache Ladung I^w)

- lokale Umeichung



Die starke Eichsymmetrie $SU(3)_c$

- 1973: Gross, Politzer, Wilczek, Nambu, Fritzsche...
starke WW durch Umeichung der Farbladung



Why are all the theories of interactions so similar in their structure?

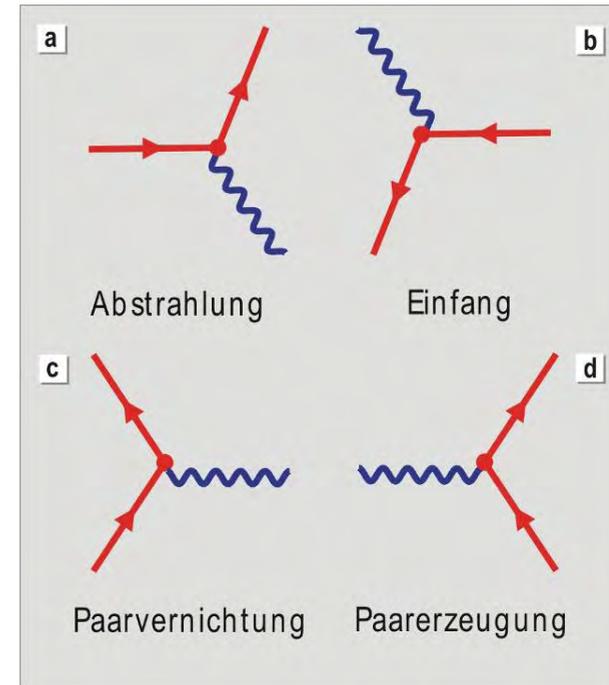
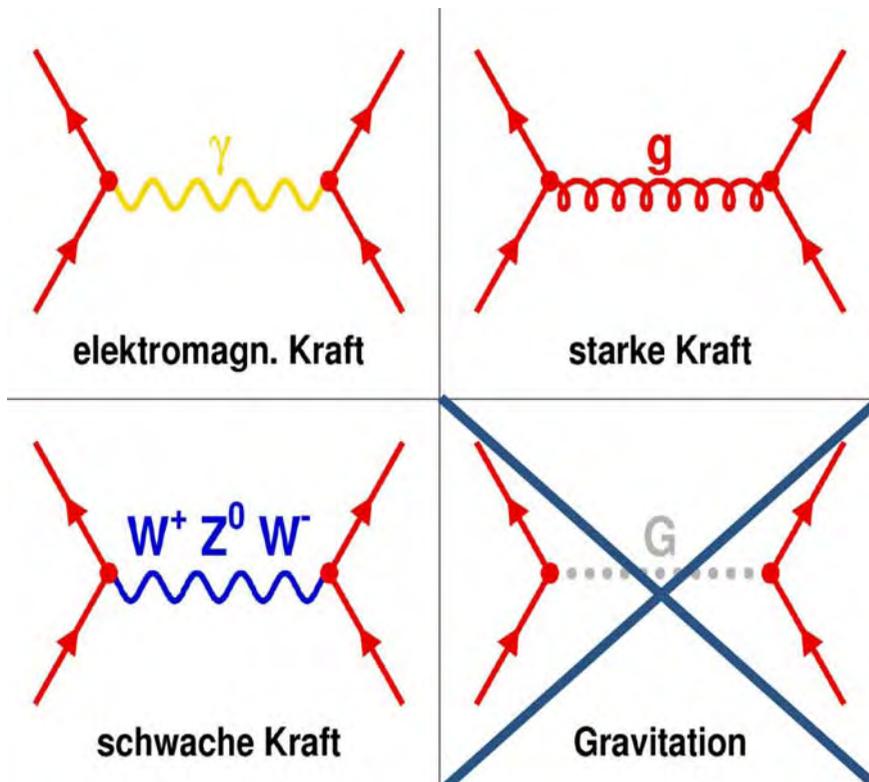
There are a number of possibilities:

- *The first is the limited imagination of physicists:
When we see a new phenomenon, we try to fit it in the framework we already have – until we have made enough experiments we don't know that it doesn't work...
It's because physicists have only been able to think of the same damn thing, over and over again.*
- *Another possibility is that it is the same damn thing over and over again – that Nature has only one way of doing things, and She repeats her story from time to time.*
- *A third possibility is that things look similar because they are aspects of the same thing – some larger picture underneath...*

Richard. P. Feynman, "The strange theory of light and matter"
Princeton University Press, 1985
"Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie"
Piper Taschenbuch, 9,95€

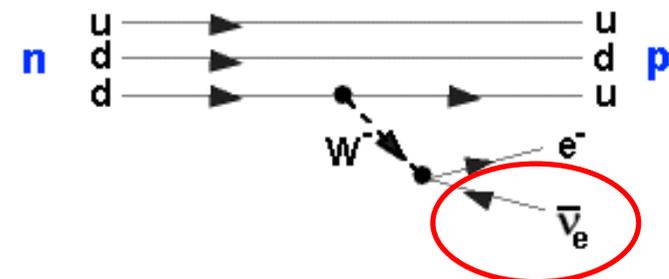
Eindeutige Vorhersagen

- Ursache jeder Wechselwirkung: Erhaltung von Symmetrien
- Ergibt eindeutiges Set von fundamentalen "Vertices"
- Alle Prozesse sind Kombination solch fundamentaler Vertices



Zeit →

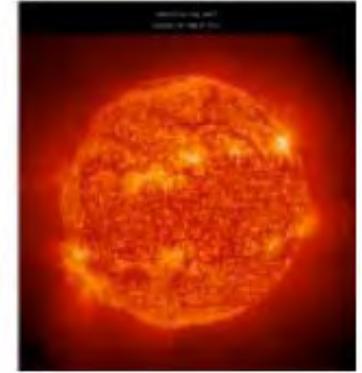
- z.B. Beta"zerfall" des Neutrons



Anm: Pfeilrichtung \leftarrow symbolisiert Antiteilchen
Es läuft trotzdem in der Zeit nach rechts

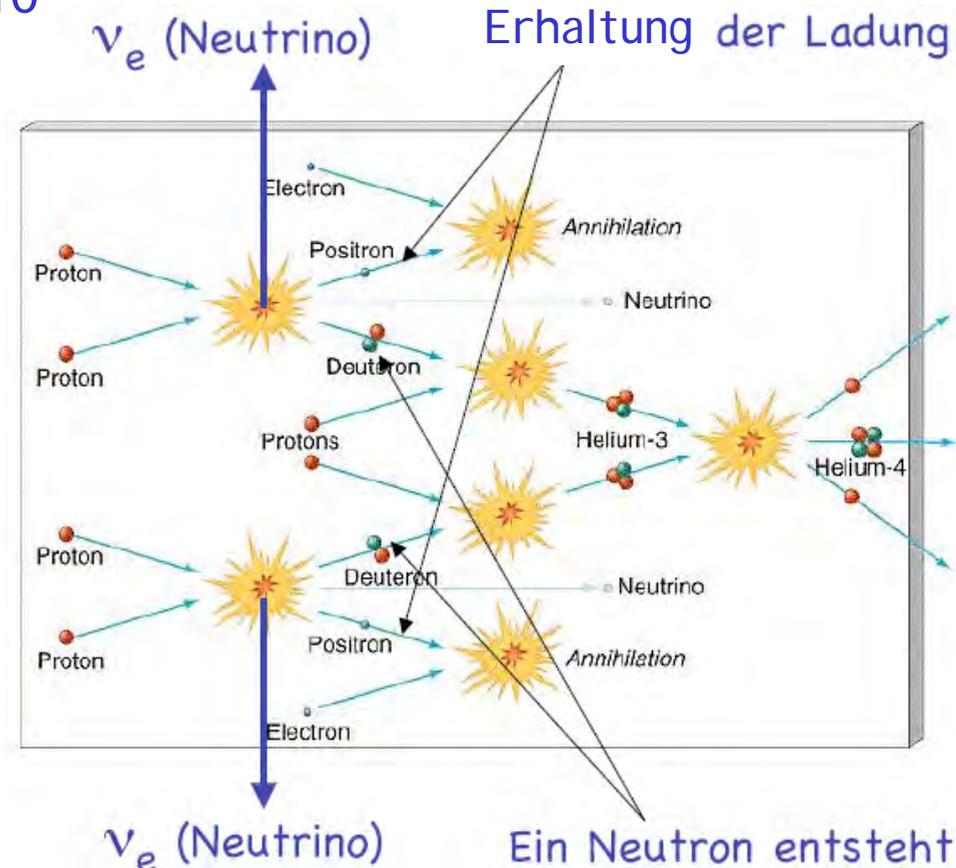
Massen in der schwachen Wechselwirkung

- Unter Benützung experimenteller Teilchenmassen beschreibt Theorie der schwachen Kraft alles, z.B.
- langsames Brennen der Sonne
 - $p + p \rightarrow D + e^+ + \nu$ (Energiegewinn: $\Delta E = 0,5 \text{ MeV}$)
 - Masse des Zwischenzustands $m_W = 80400 \text{ MeV}$
 - Rate unterdrückt um $\sim (\Delta E / m_W)^4 > 10^{20}$



Fundamentales Problem

(MeV)	Experiment	Theorie
m_W	80400	0
m_Z	91200	0
m_e	0,5	0
m_t	172000	0
...		

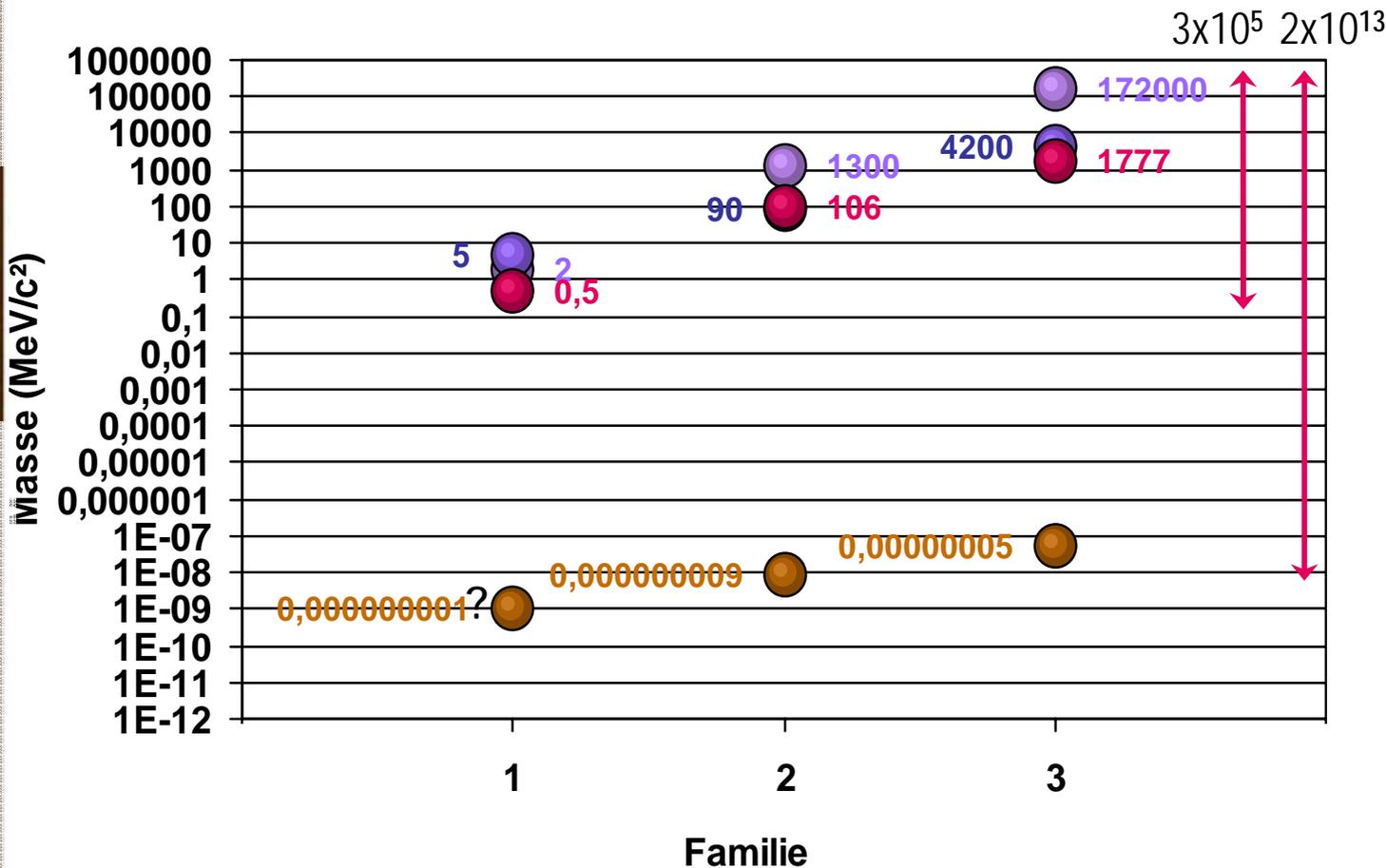
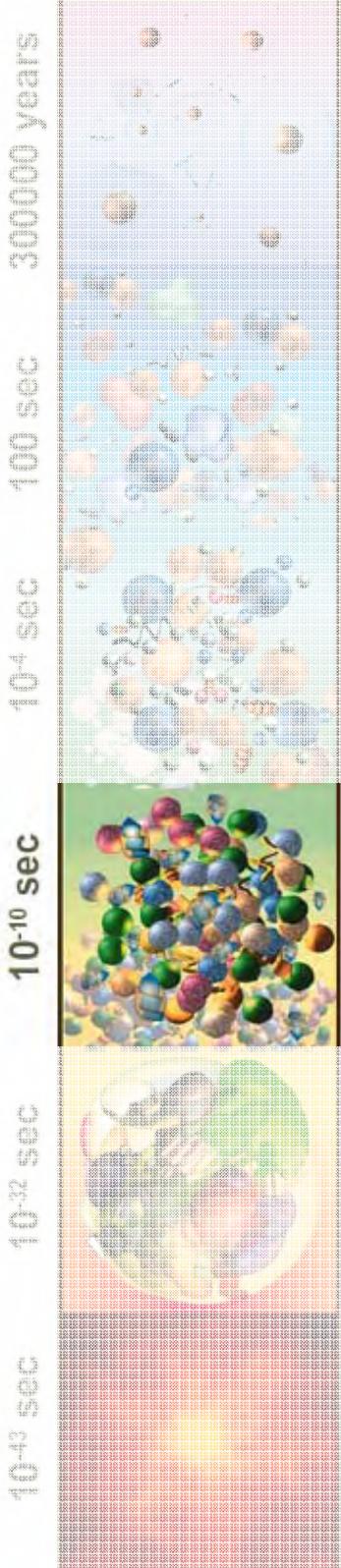
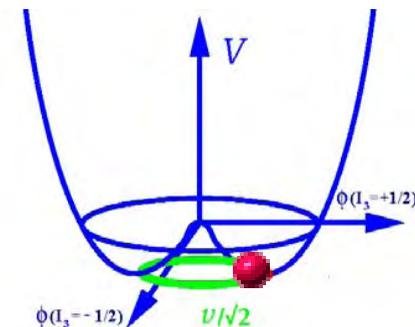


Grund: schwache Eichsymmetrie

6.3) Spontane Symmetriebrechung

Symmetrien erfordern masselose Teilchen

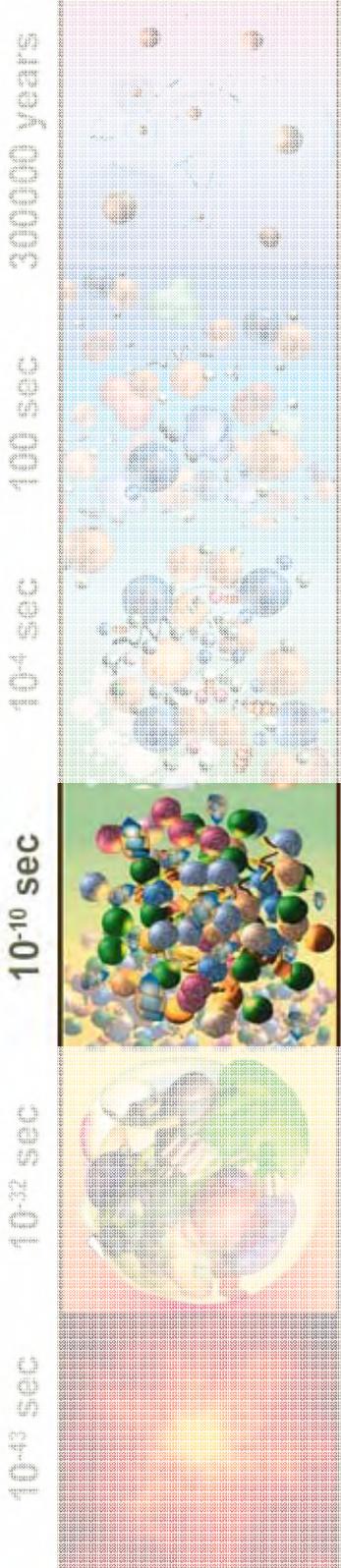
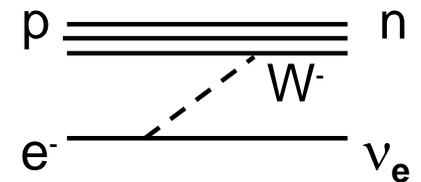
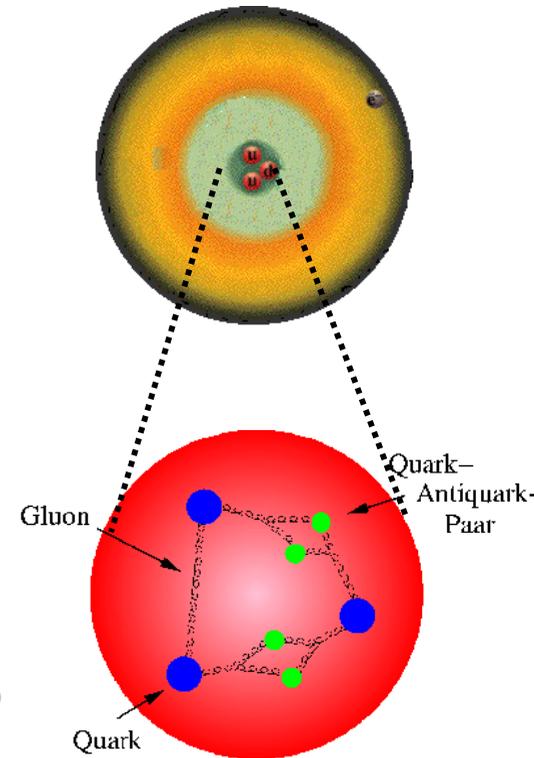
- Erhalten Masse erst $\sim 10^{-10}$ sec nach Urknall durch „spontane“ Symmetriebrechung
- LHC: Entsteht Masse durch Kopplung an ein „Higgs“ Hintergrundfeld?
- Was verursacht die riesigen Massenunterschiede? „Sandkorn .vs. Ozeandampfer“?



- Up Typ
- Down Typ
- Lepton +/-
- Neutrino

Die Bedeutung der Teilchenmassen

- Die Masse der Atome kommt
 - nur ~1% aus Ruhemasse der Bausteine
 - 99% aus Energie der Quarkbindung
- Ändern von m_u , m_d oder m_e hätte
 - kaum Effekt auf **Atommassen**
 - kaum Effekt auf **Materiedichte**
 - riesigen Effekt auf **Verhalten** der Materie
- Erniedrige m_e auf $0.025 \text{ MeV}/c^2$
 - Leben: 30m große Riesenwesen auf Titan?
- Erniedrige $m_d - m_e$ um $1 \text{ MeV}/c^2$
 - ermöglicht Umwandlung des Wasserstoffs:
 - keine Wasserstoff-Atome, n stabil
- Erniedrige $m_d - m_u$ um $2 \text{ MeV}/c^2$
 - Proton- und Deuteriumzerfall
 - Keine Sterne
 - nur neutrale Teilchen (n, γ, ν)



Grund der Sensitivität

Größen- und Energieskala der Atome (Moleküle, Festkörper, Lebewesen, ...)

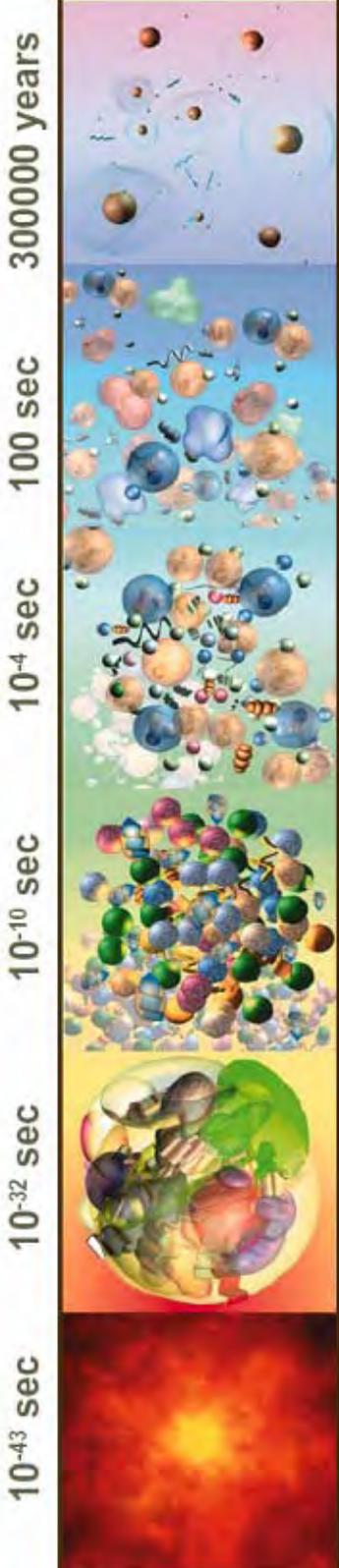
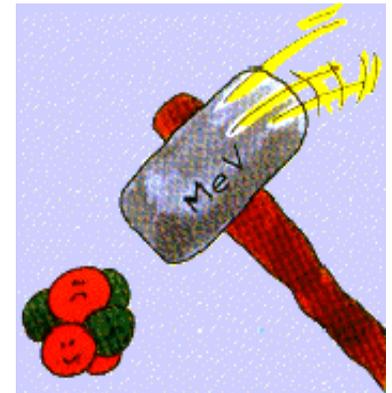
Elektronmasse regiert atomare **Energien** und **Radien**

- Bindungsenergie steigt mit $\sim \alpha^2 m_e$
- Atomdurchmesser fällt mit $\sim 1 / \alpha m_e$



Stabilität der Nukleonen: Feine Abstimmung zwischen

- Starker Kraft
- Elektromagn. Abstoßung der Quarks
- Massen(differenzen): $m_d - m_u$, $m_d - m_e$



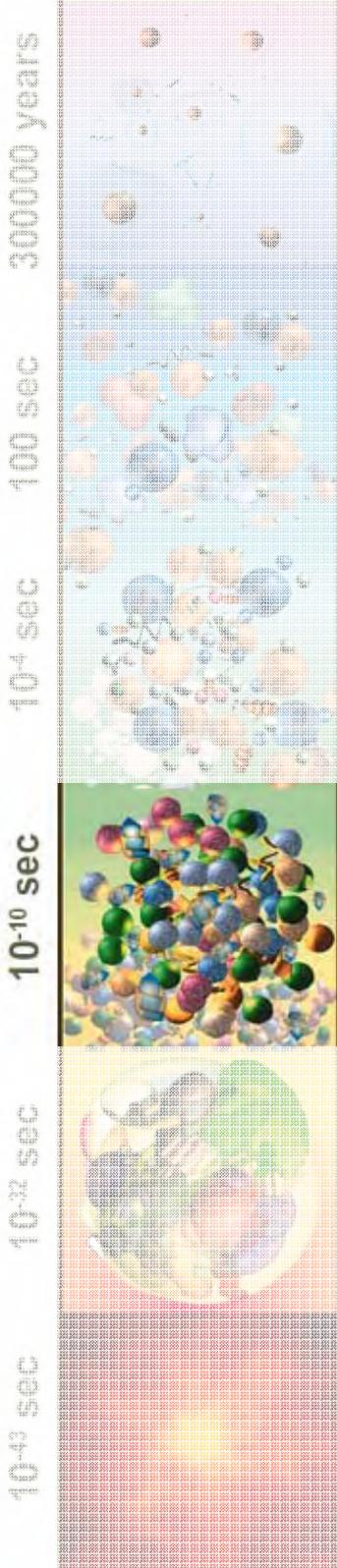
Animation: Was wäre wenn...



View Online: www.vimeo.com/2983002

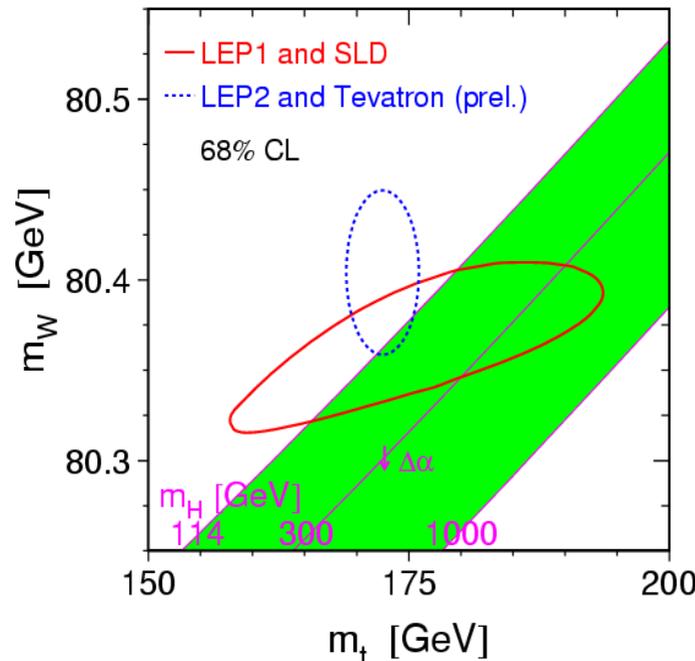
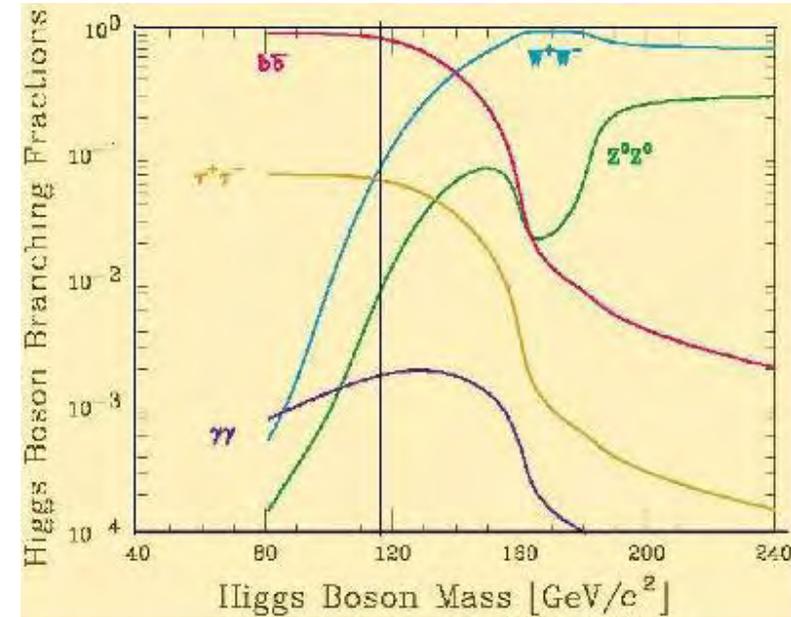
Download: www.teilchenphysik.de/e26/e50/e36571

- Erst nachdem der LHC geklärt hat, wie Teilchenmassen überhaupt entstanden sind, wird man erforschen können, wie ihre Werte zustande kamen.
- http://prola.aps.org/abstract/RMP/v68/i3/p951_1
R.N. Cahn,
„The 18 arbitrary parameters of the standard model in your everyday life“(1996)
- <http://arxiv.org/abs/hep-ph/9707380>
V.Agrawal, S.M.Barr, J.F.Donoghue, D.Seckel,
„The anthropic principle and the mass scale of the Standard Model“ (1997)
- <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9909295v2>
C. Hogan, „Why the Universe is Just So“ (1999)
- <http://arxiv.org/abs/0712.2968v1>
Th Damour und J.F.Donoghue,
„Constraints on the variability of quark masses from nuclear binding“ (2007)

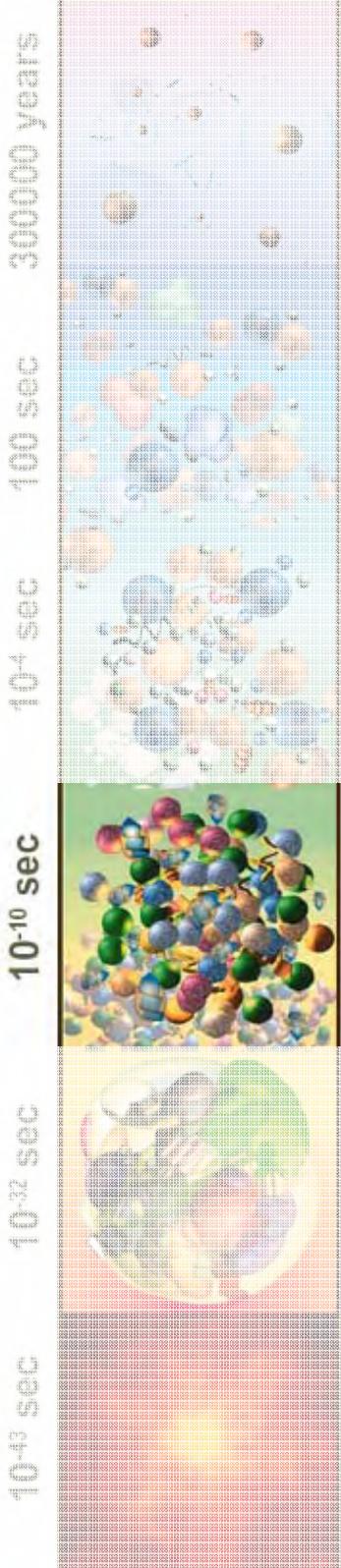


Vorhersagekraft des Higgs-Mechanismus

- Ist die Higgs Hypothese überprüfbar? **Ja!**
 - Entdecke Higgs Boson(en) *und* Messe ihre Zerfälle
- Lernen wir was Masse ist? **Ja!**
 - Die Stärke der Kopplung ans Higgsfeld
- Sagt der Higgs Mechanismus die Massenwerte vorher? **Nein!**
 - Aber: M_W / M_Z Verhältnis stimmt auf besser als 1‰

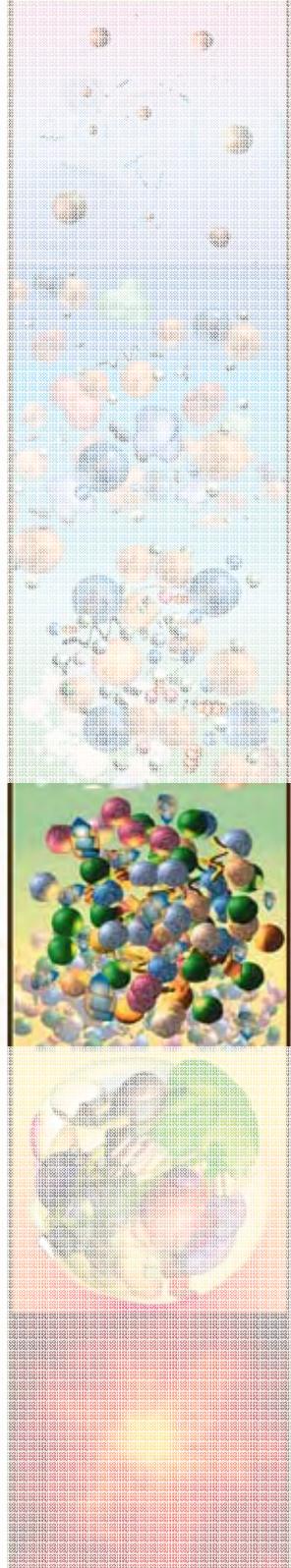


- Standardmodell Vorhersage:
 $M_W = (80.36 \pm 0.02) \text{ GeV}$
- Direkte Messung:
 $M_W = (80.40 \pm 0.03) \text{ GeV}$
- Differenz:
 $\Delta = (0.04 \pm 0.04) \text{ GeV}$
- Fit der SM Higgs Masse:
 $M_H = (100^{+40}_{-30}) \text{ GeV}$



Higgssuche bei LEP

10⁻⁴³ sec
10⁻³² sec
10⁻¹⁰ sec
10⁻⁴ sec
100 sec
30000 years

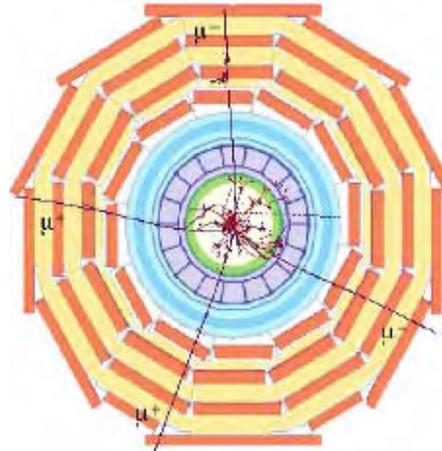
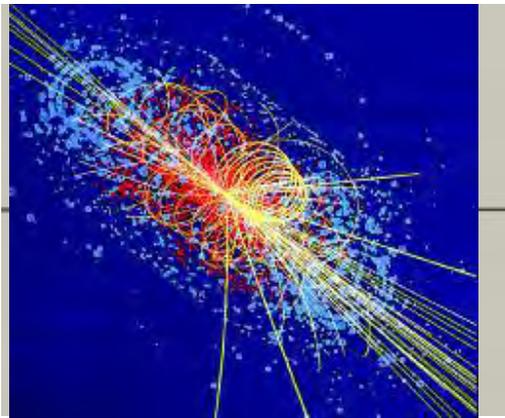


Higgs Suche bei ATLAS und CMS

→ www.atlas.ch/multimedia

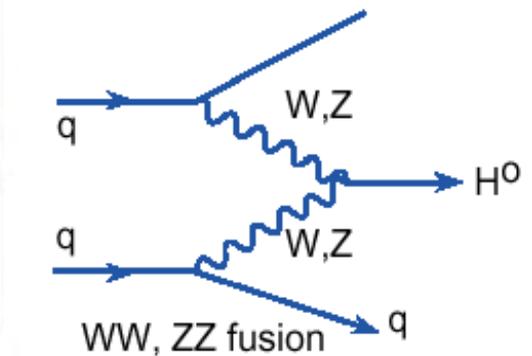
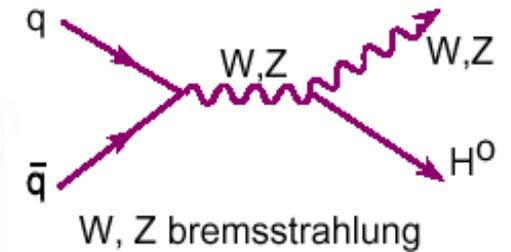
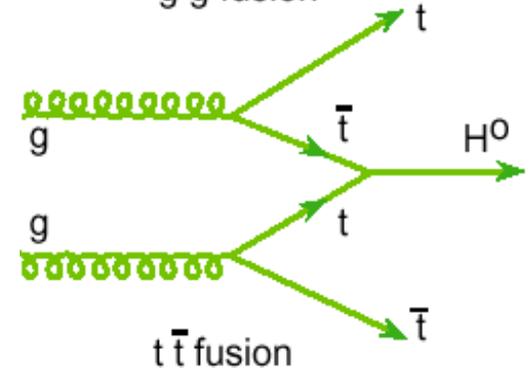
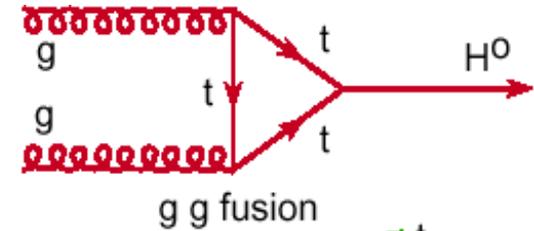
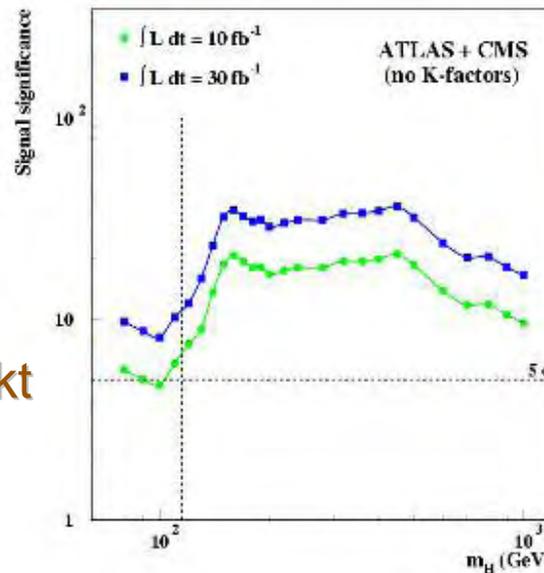
■ Higgs Masse unbekannt:

- Viele Produktionsmechanismen
- Viele mögliche Zerfälle



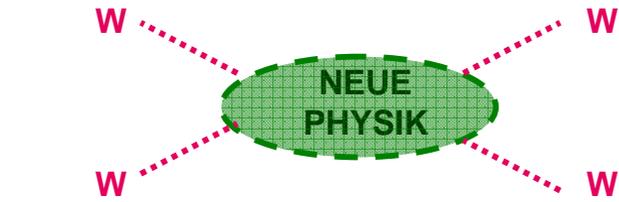
■ Nach 1-3 Jahren gut verstandener Daten:

- Higgs Boson kann bei allen Massen entdeckt werden



Massenmechanismus ohne Higgs?

- Standardmodell ohne Higgs verletzt „Wahrscheinlichkeit < 1“



$$\sigma_{WW} \rightarrow \infty$$

für

$$m_H \rightarrow \infty$$

Unitarität:



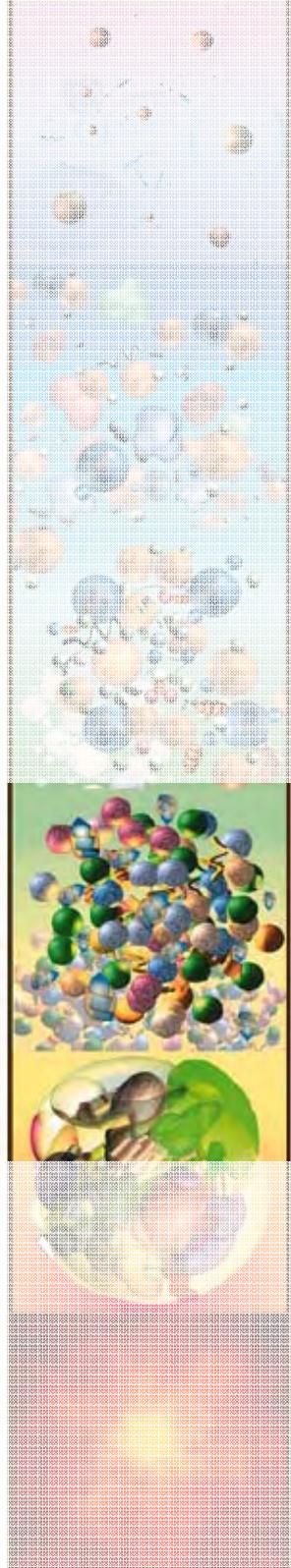
$$m_H^2 \leq \frac{2\pi\sqrt{2}}{G_F} \approx (850\text{GeV})^2$$

- Higgs wird bei LHC gefunden, wenn es existiert!
- Wenn nicht, muß der LHC etwas anderes finden! („win-win“)

- Die Suche nach dem Ursprung der Masse wird in wenigen Jahren enden**

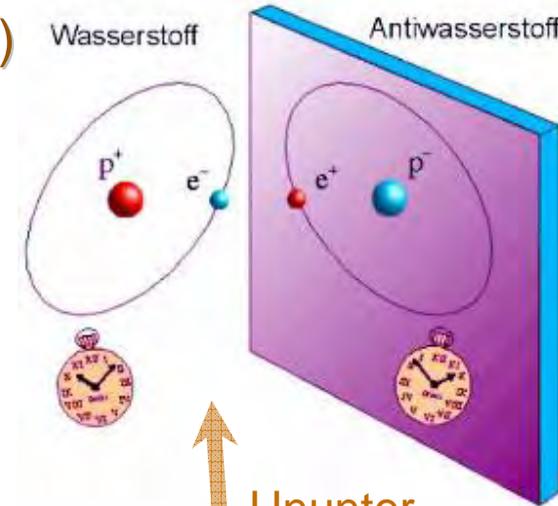
- Präzise Vermessung** beginnt jedoch **erst danach (LHC+ILC)**
- Dann erst** haben wir die **richtigen Fragen** nach den **Werten** der Teilchenmassen

3000 years
100 sec
10⁴ sec
10⁻¹⁰ sec
10⁻²² sec
10⁻⁴³ sec

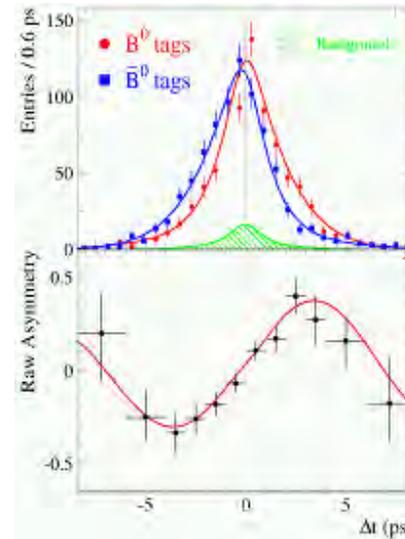
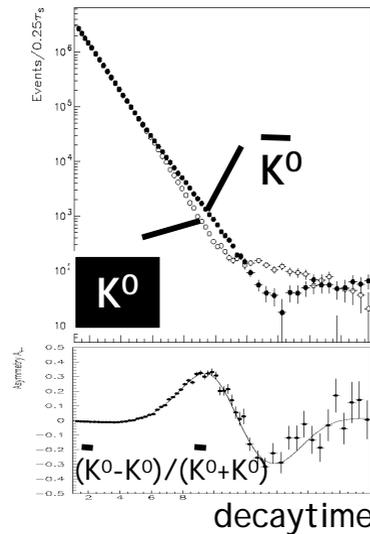


6.4) LHCb: Materie-Antimaterie „CP“ Symmetrie

- Antimaterie = Materie mit umgekehrten Ladungen (C)
 - Genau genommen: auch gespiegelt (P)
- Teilchenphysik Experimente:
 - „CP“ Symmetrie fast immer perfekt
- CP-Verletzung im Standardmodell
 - Quarks: klein, 1 Naturkonstante



■ 1964: s-Quarks 1999: b-Quarks



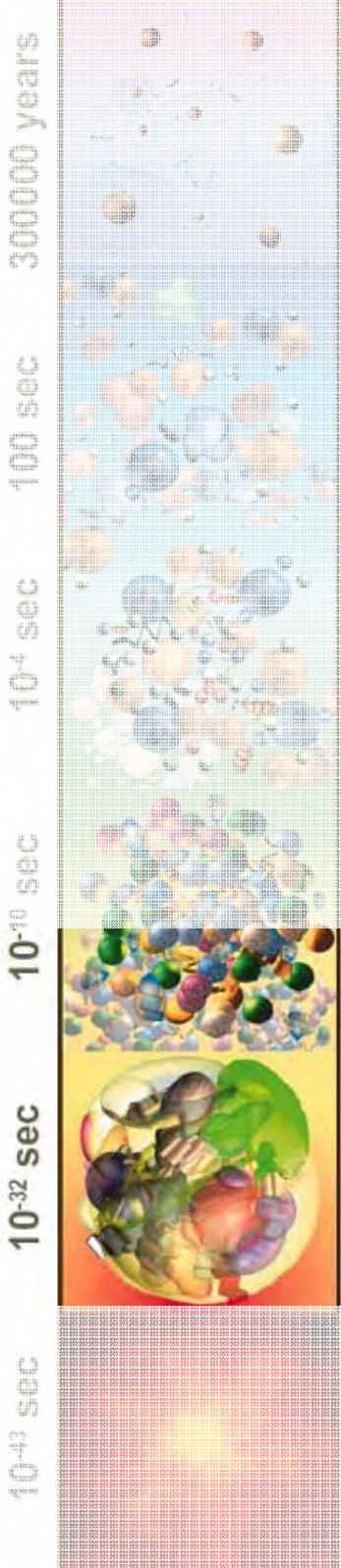
Ununterscheidbar

Materie und Antimaterie

Unterscheidbar!

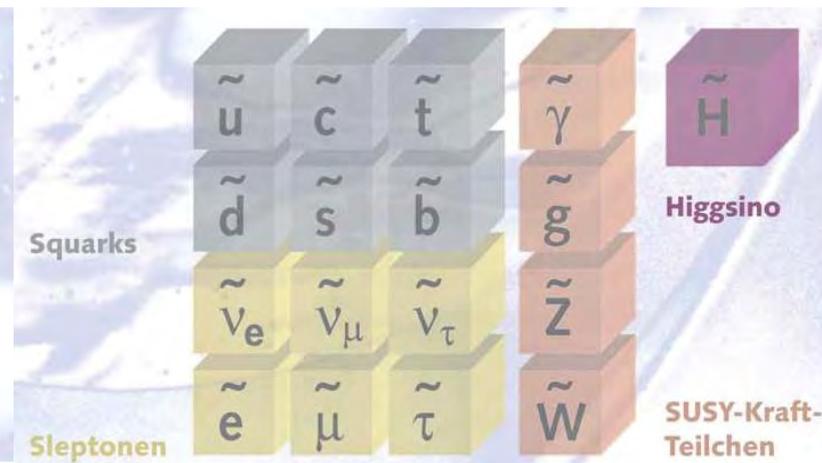
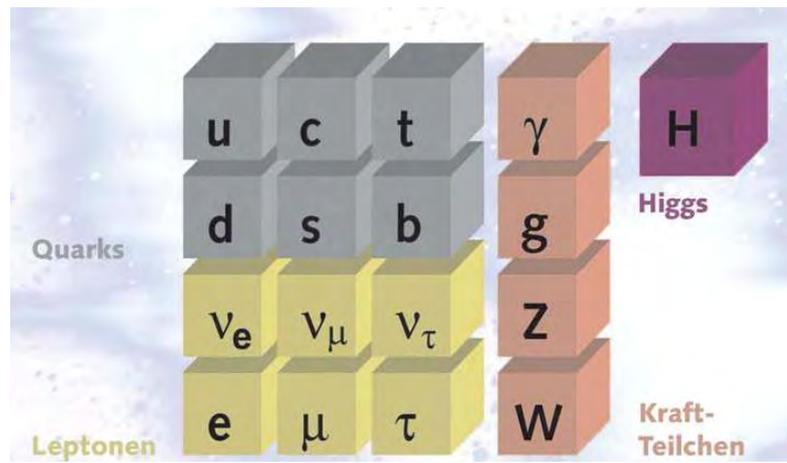
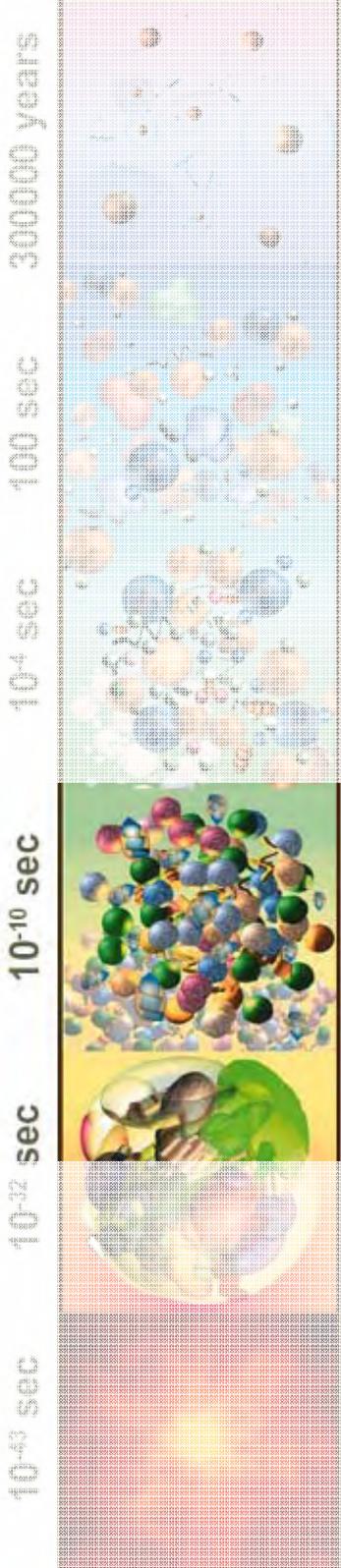
■ Bei Weitem nicht groß genug für Kosmologische CP Verletzung (Antimaterie hat „nur“ ca. 99,9999999% der Materie vernichtet)

- Neutrinos: noch unbekannt, 1-3 Naturkonstanten
 - Sind sie der Schlüssel zur Kosmologischen CP Asymmetrie?
- Immer nötig: Teilchenmassen und mind. 3 Familien(!)



6.5) Supersymmetrie?

- Botenteilchen mit den Eigenschaften von Materie?
- ...und anders herum



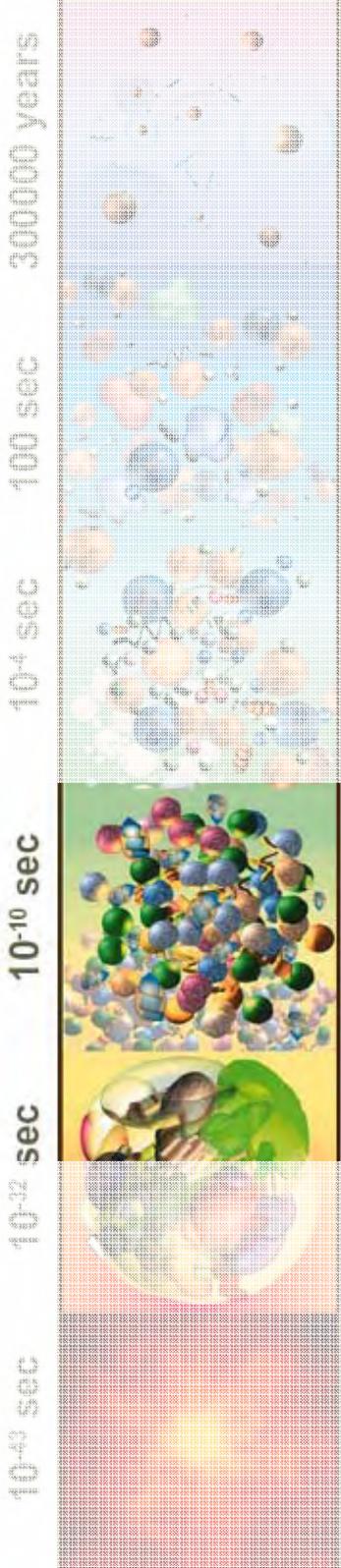
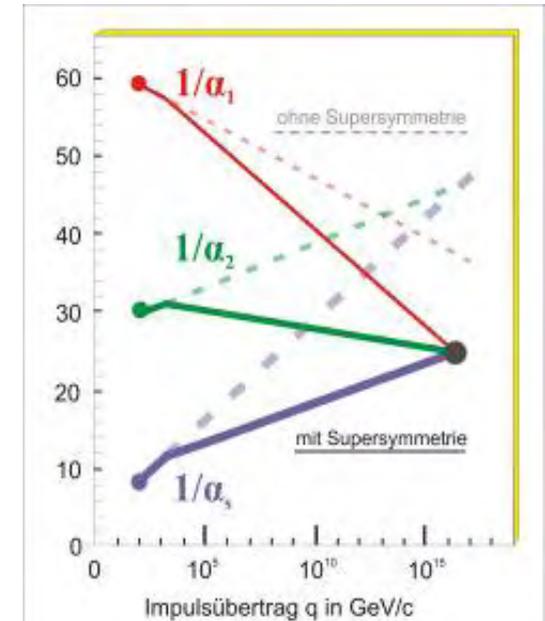
Die letzte fehlende Symmetrie

- Würde helfen, mehrere Theoretische Fragen zu lösen

- “Relativ“ niedrige Higgs Masse
- Einbindung der Gravitation
- Vereinigung aller Kopplungen

- Leichtestes SUSY Teilchen stabil
= Dunkle Materie (ca 3000 /m³)?

- ATLAS & CMS:
Direkte Erzeugung möglich
Nachweis: „fehlende Energie“
- LHCb:
„Virtueller“ Zwischenzustand
Nachweis: sehr seltene b-Zerfälle



Symmetrien in der (Teilchen)physik



- Klassifizierung
Beispiel: Gebundene Quark-Zustände
- Erhaltungsgrößen
Beispiel: Noether Theorem,
- Ursache von Kräften
Beispiel: lokale Umeichungen
- Vereinheitlichung der Naturkräfte
Beispiel: Supersymmetrie

Asymmetrien sind oft Hinweise auf tiefer liegende gebrochene Symmetrien !

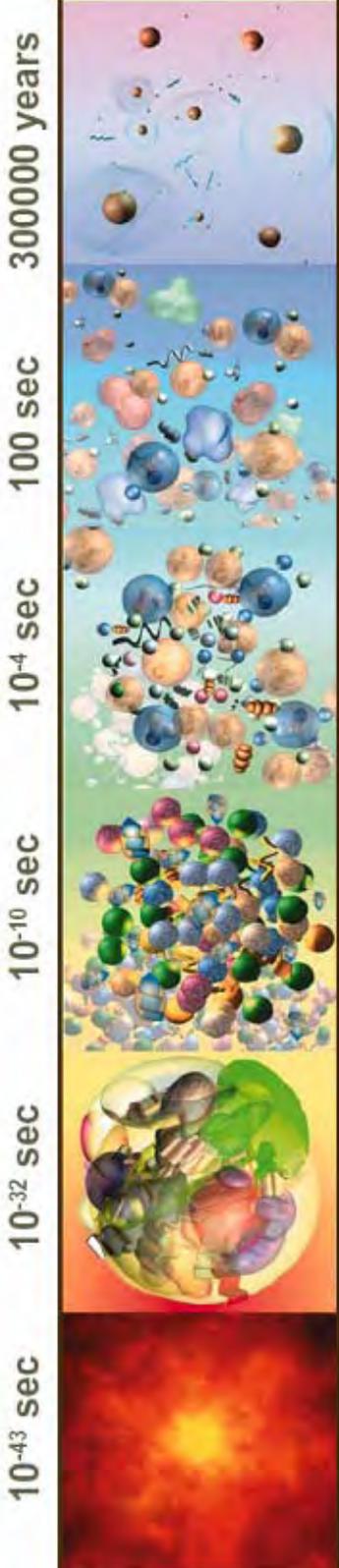
LHC - Die Symmetriemaschine:

- Das Fundament der Naturgesetze ist vermutlich eine perfekte, großartige

Symmetrie



Backup





„... erforschen, was die Welt im Innersten zusammenhält“

“Hands on”: Internationale Teilchenphysik Masterclasses

Internationales Programm für Schüler (16-18) und Lehrkräfte

Einführung in Teilchenphysik

Arbeiten und Messen an echten Daten als „Forscher für einen Tag“

Zentral koordiniert in Dresden

für über 6000 Schüler/innen

80 Institute

23 Länder (incl. USA, Brasilien, Südafrika)

Internationale Videokonferenz in English Kombination, Diskussion, Fragen



AKTUELL

■ Forscher für einen Tag

Mehr als 4000 Schülerinnen und Schüler weltweit gingen im Rahmen der „Hands on Particle Physics Masterclasses“ den Geheimnissen der Teilchenphysik auf den Grund.

Später werde ich einmal Physiker – das ist von Jugendlichen eher selten auf die Frage nach dem Berufswunsch zu hören, und doch trifft es genau das, was die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der „Hands on Particle Physics Masterclasses“,¹⁾ die Ende März zum dritten Mal weltweit stattgefunden haben, oftmals geäußert haben. Dieser Tag, an dem die Schüler in den Forscheralltag hineinschnuppern und mit echten Messdaten arbeiten durften, wird ihnen wohl noch lange im Gedächtnis bleiben, da ist sich Michael Kobel von der TU Dresden, der die Masterclasses koordiniert hat, sicher.



In Dresden nahmen 130 Schülerinnen und Schüler an den Masterclasses teil und werteten mit viel Engagement und Begeisterung Ergebnisse vom LEP-Collider aus.

Lehrer-Workshop morgen 9:00-17:30!

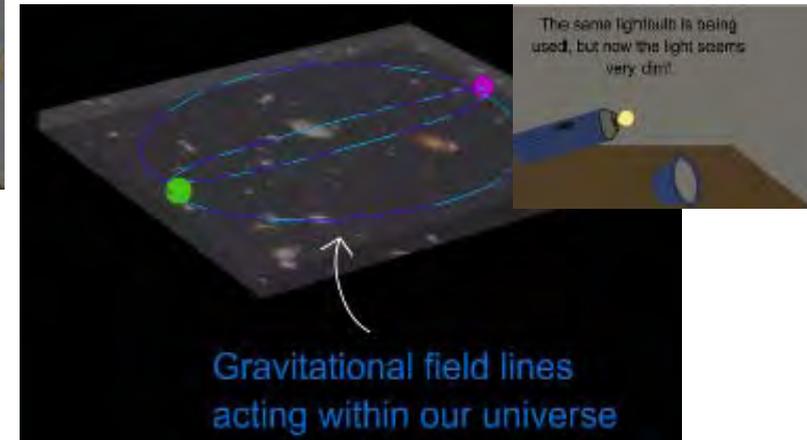
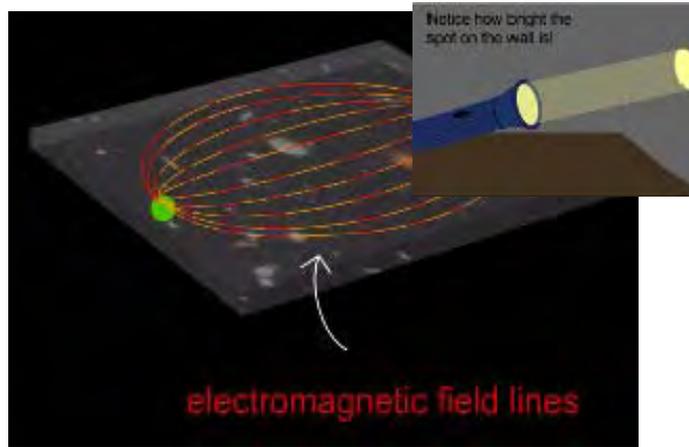
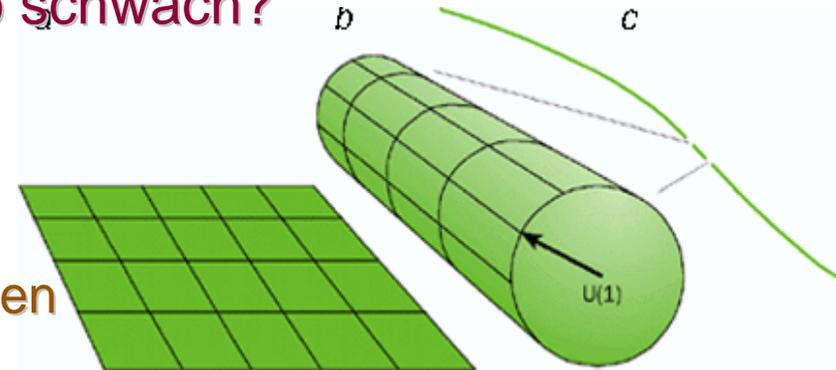
→ Willersbau, Zellescher Weg, A317

www.physicsmasterclasses.org/mc/agenda_local/dresden_28_3_2009.html

Zusätzliche Dimensionen

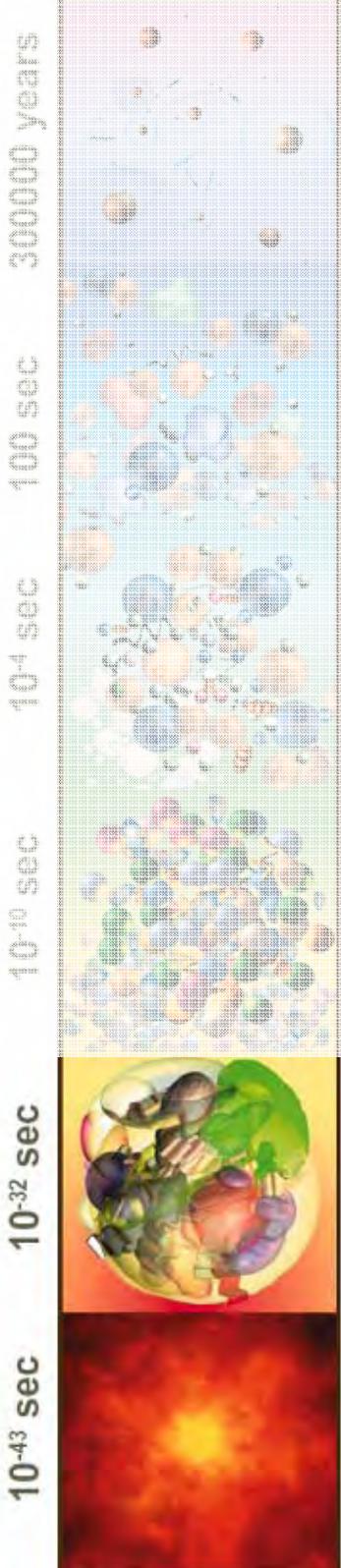
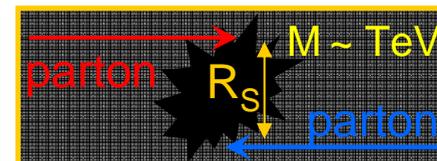
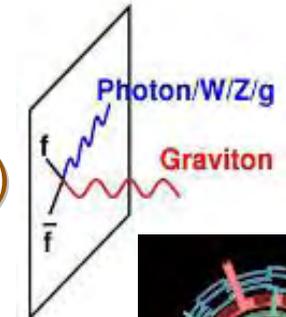
Warum ist die Gravitation so schwach?

- Idee: zusätzliche kleine Raumdimensionen
- Nur Gravitation spürt sie
- „leckt“ in andere Dimensionen



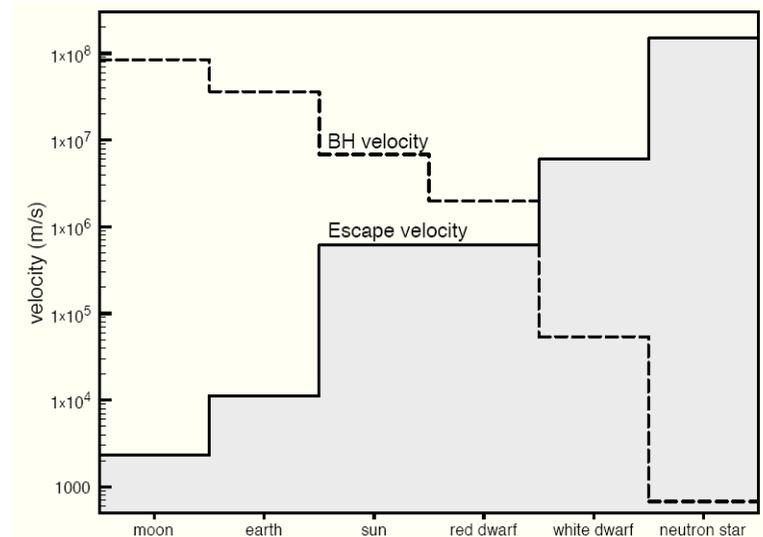
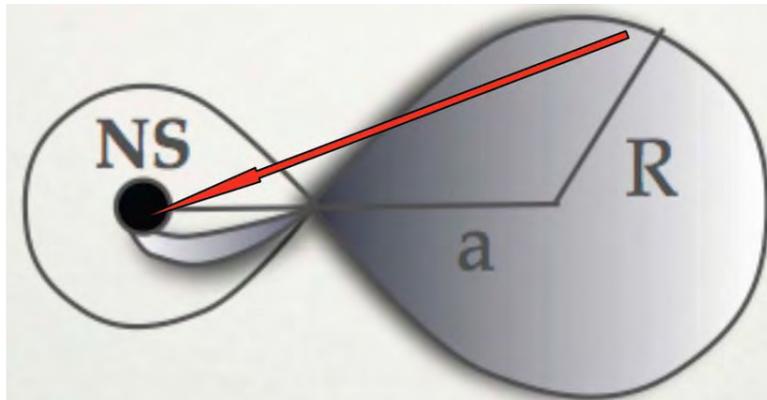
Beobachtungsmöglichkeiten am LHC:

- Verschwinden von Gravitonen (ATLAS, CMS)
- Kleine Schwarze Löcher (ALICE, ATLAS, CMS)
 - Lebensdauer ca 10^{-26} sec (Hawking Strahlung)
 - Nachweis über Abstrahlung vieler Teilchen



Sicherheitsaspekt

- Ausführliche Untersuchungen durch LHC Safety Assessment Group (LSAG)
<http://environmental-impact.web.cern.ch/environmental-impact/Objects/LHCSafety/LSAGSummaryReport2008-de.pdf>
- Wesentliche Argumente:
 - Existenz mikroskopischer schwarzer Löcher hochspekulativ
 - Wenn existent, dann ständig von Natur produziert, aber sicher instabil
 - Selbst wenn stabil (würde fundamentale Gesetze verletzen)
 - Völlig vernachlässigbare "Saugwirkung" bei mehreren Extra Dimensionen
 - Selbst wenn nur eine Extra-Dimension
 - Elektrisch geladen -> Einfang in Erde (ausgeschlossen: Erde existiert noch)
 - Selbst wenn nur elektrisch neutral (nicht erklärbar)
 - **Einfang in Weißen Zwergen und Neutronensternen (experimentell aus deren Lebensdauer > Millionen Jahre ausgeschlossen)**





Das Standardmodell der Teilchenphysik

- ▶ 1917: NOETHER:
Symmetrietheorem
- ▶ 1927-1930: DIRAC, JORDAN, WIGNER, HEISENBERG, PAULI, FERMI:
Quantenelektrodynamik QED
- ▶ 1932: FERMI:
Fermi-Theorie der schwachen Wechselwirkung
- ▶ 1933: YUKAWA:
Mesonentheorie zur starken Wechselwirkung
- ▶ 1949: FEYNMAN, TOMONAGA, SCHWINGER
Renormierung und Feynman-Diagramme
- ▶ 1961: GLASHOW
Elektroschwache Mischung und Eichtheorie
- ▶ 1964: GELL-MANN, ZWEIG
Quarks
- ▶ 1965: HAN, NAMBU, GREENBERG
starke Farbladung
- ▶ 1964-1967 HIGGS, BROUT, ENGLERT, KIBBLE
Spontane Symmetriebrechung zur Massenerzeugung
- ▶ 1967-1968 SALAM, WEINBERG
Standardmodell der Elektroschwachen Wechselwirkung: QFD
- ▶ 1971 'T HOOFT, VELTMAN
Beweis der Renormierbarkeit des Standardmodells
- ▶ 1973 GROSS, POLITZER, WILCZEK, FRITZSCH, WEINBERG
Standardmodell der Starken Wechselwirkung: QCD