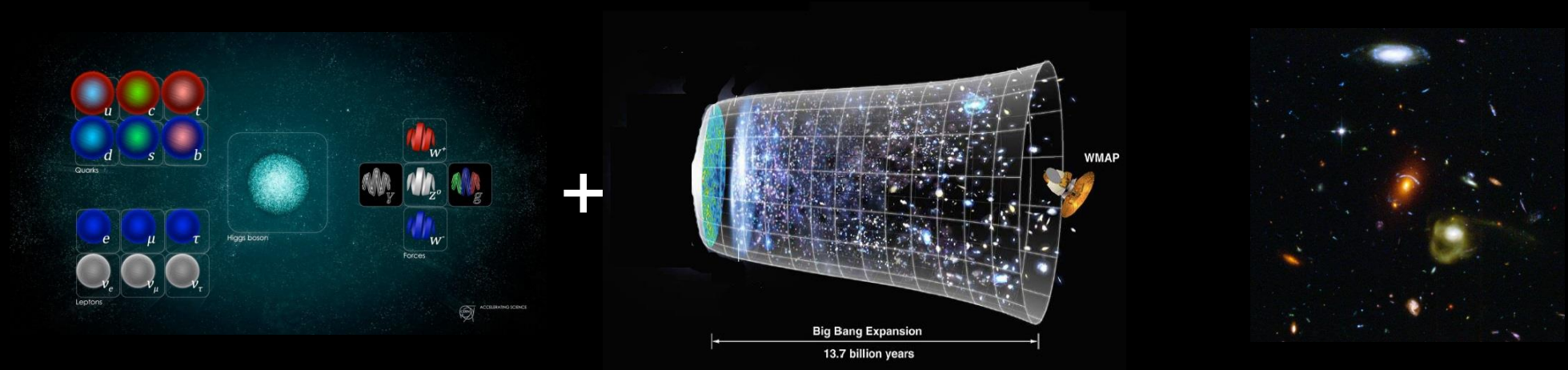


Die Rätsel des 21. Jahrhunderts

Teilchenphysik + Kosmologie = Universum ?



Nein !

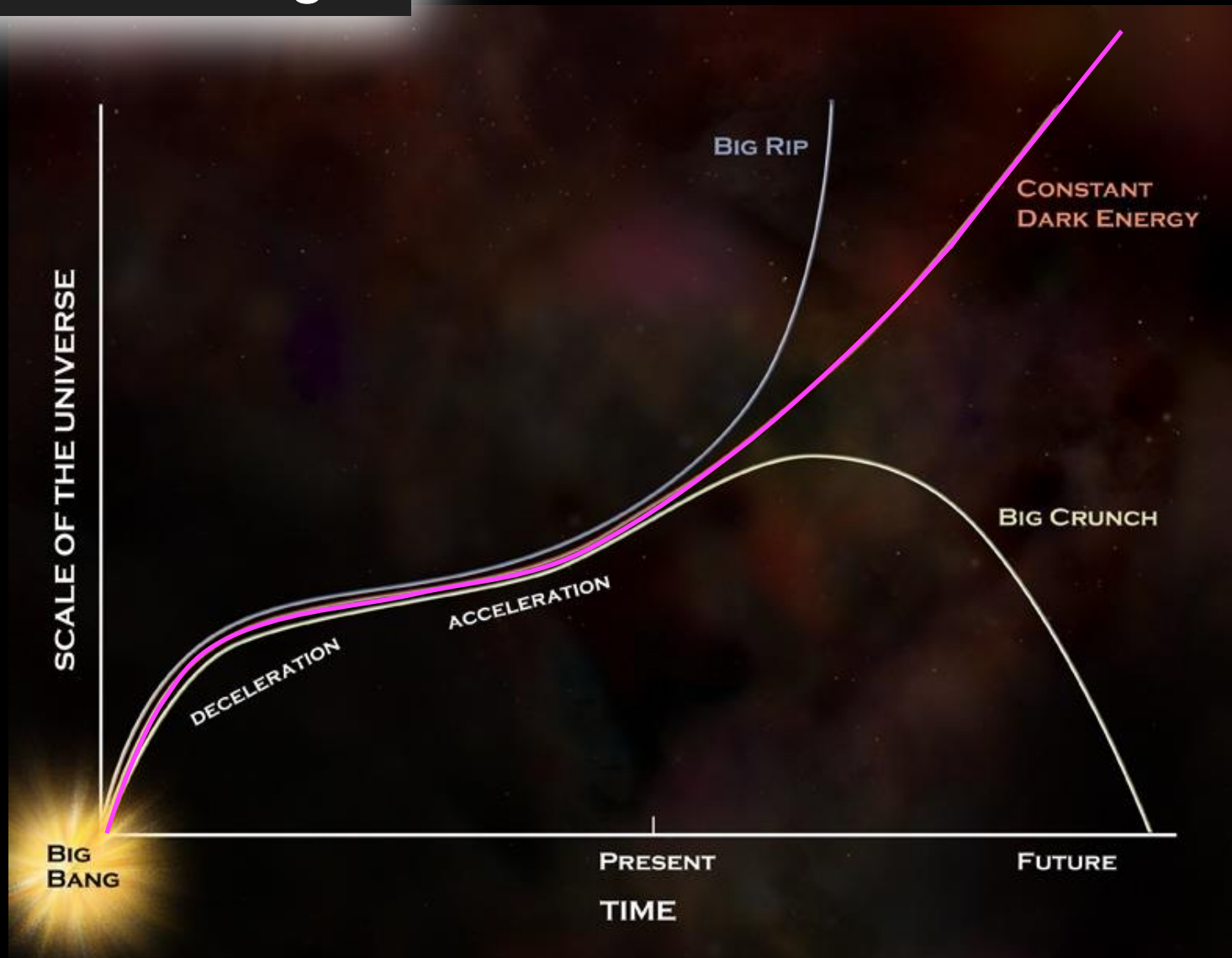
Nur 4% des Energieinhalts unseres Universums sind wirklich verstanden !

Dunkle Materie



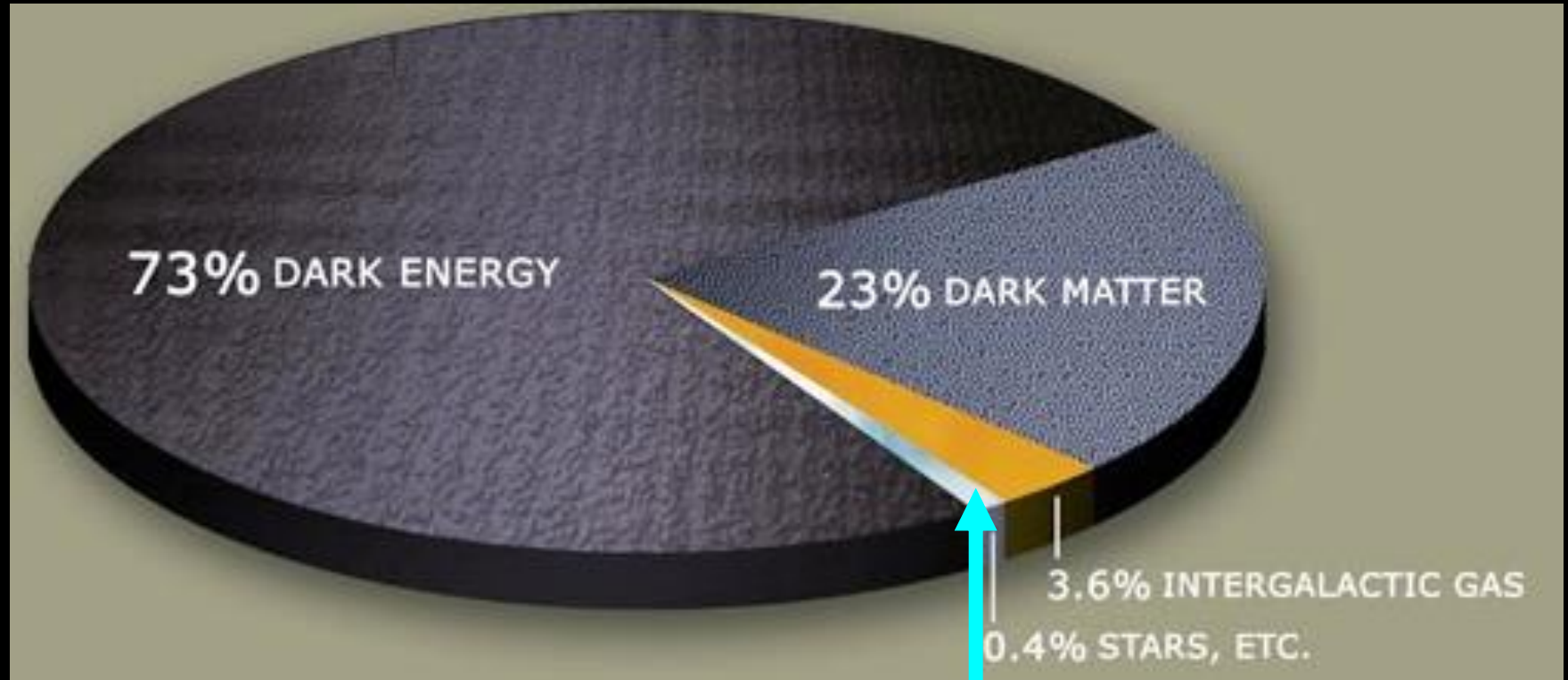
Galaxien rotieren zu schnell

Dunkle Energie



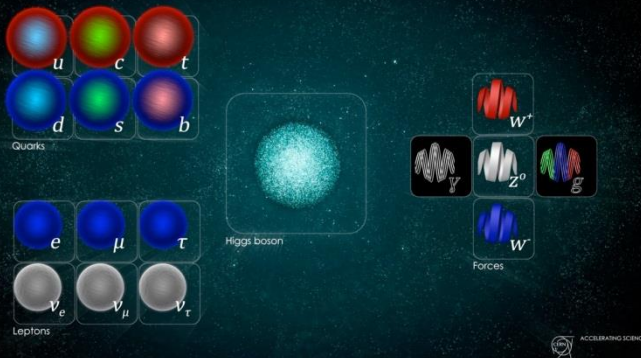
Die Ausdehnung des Universums beschleunigt sich

96 % der Energie des Universums ist “im Dunkeln”: dunkle Energie und dunkle Materie



You are here

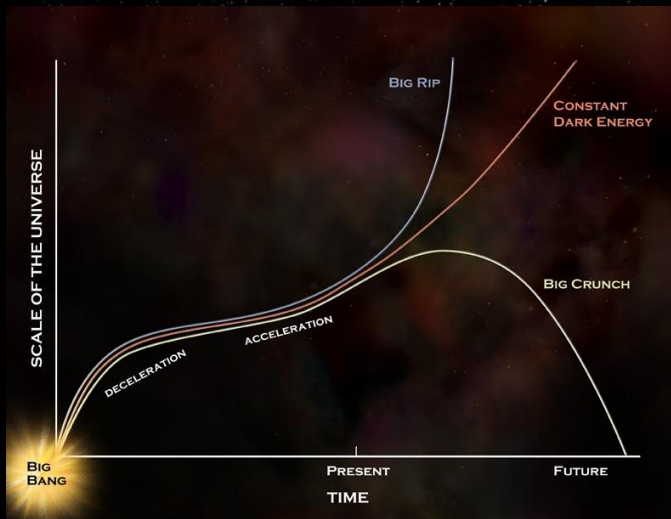
Die großen Fragen 2012:



Wie kommen Teilchen zu ihrer Masse?



Was ist dunkle Materie?

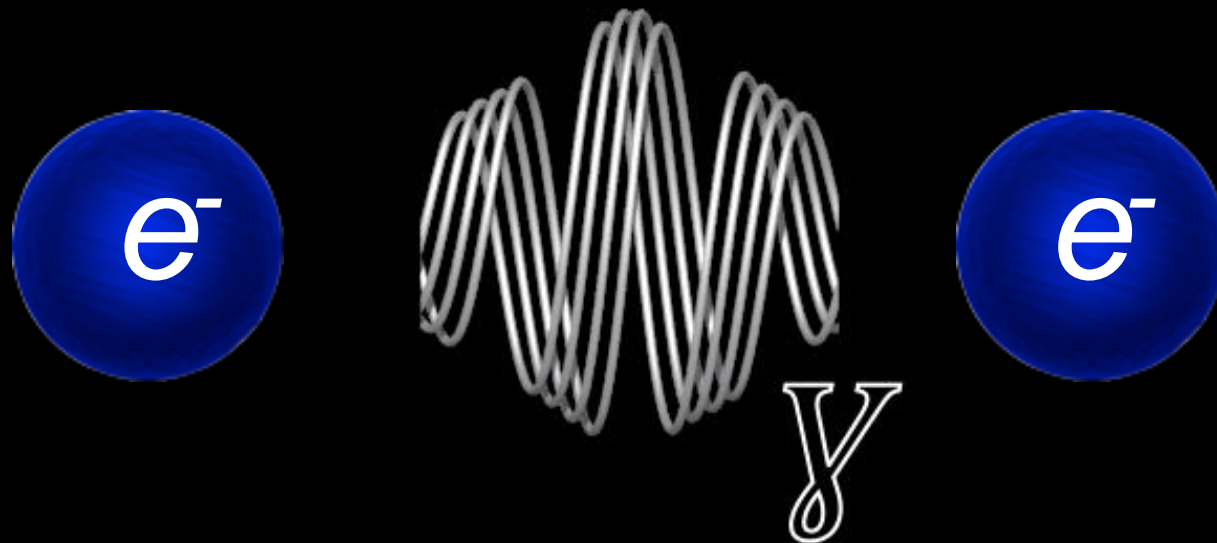


Was ist dunkle Energie?

Reise in die kleinsten Dimensionen

Alle sichtbaren und 'fassbaren' Objekte des Universums bestehen aus drei Teilchen: **Up-Quark, Down-Quark, Elektron.**

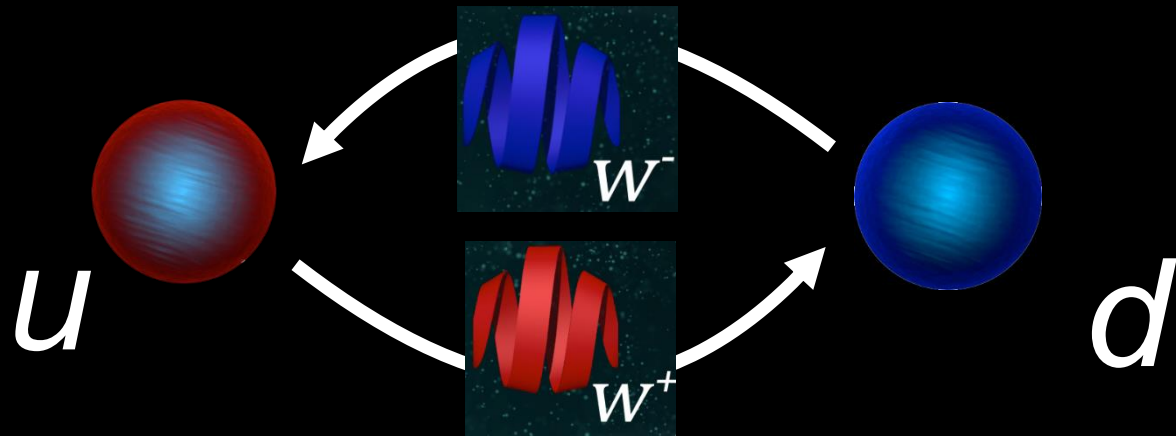
Kräfte werden durch Austauschteilchen übertragen



Elektromagnetische Kraft : **Photon**

Zwei weitere Kräfte mit kurzer Reichweite :

Radioaktiver Zerfall



Schwache Kraft : **W - und Z-
Bosonen**

Kernkräfte



Starke Kraft : **Gluonen**

Woher wissen wir das?

$$E=mc^2$$

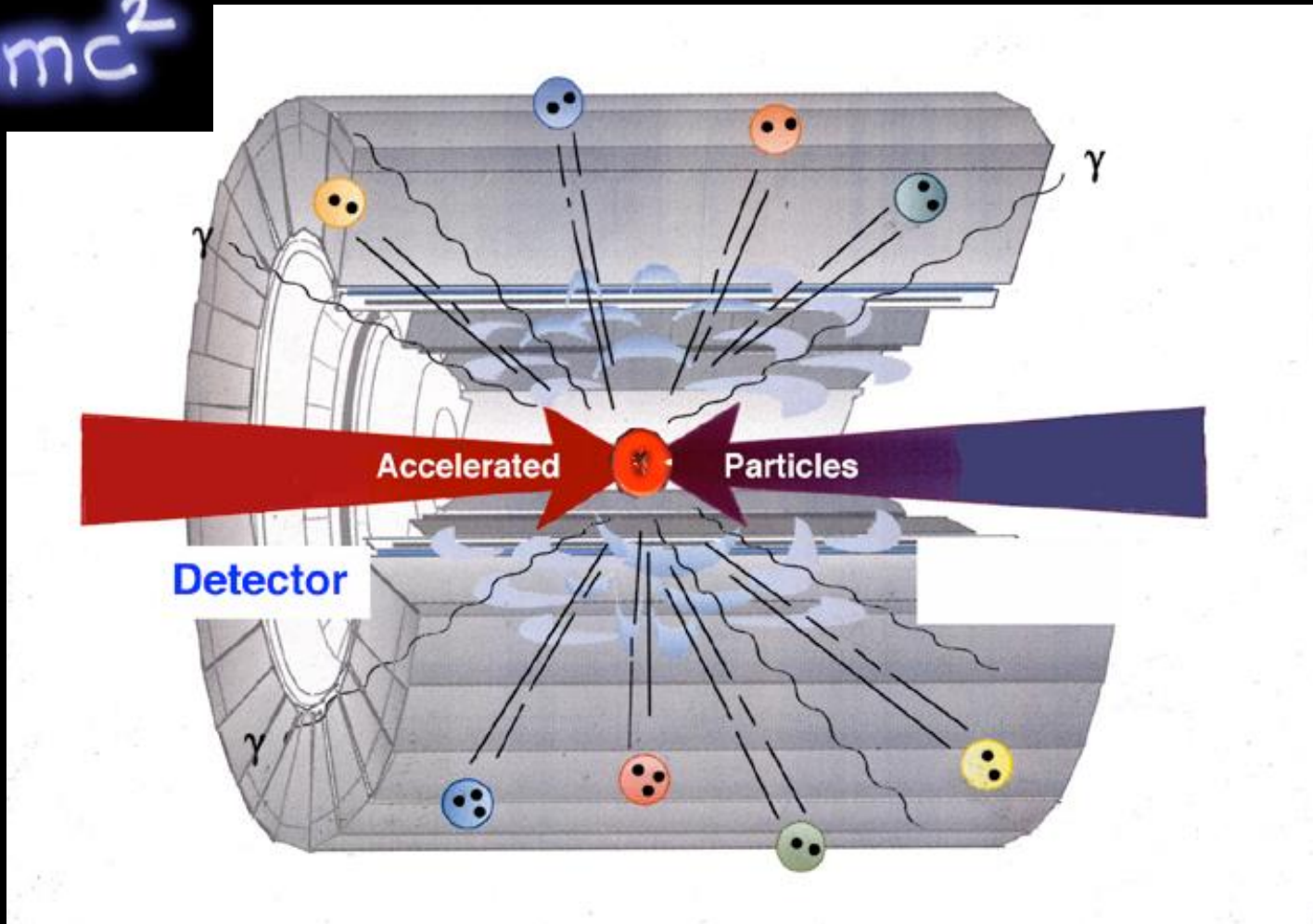
Energie kann zu Materie werden

Trick: Erzeugung einer hohen Energiedichte

 Teilchenkollisionen bei hoher Energie

Energie wird zu Masse

$$E=mc^2$$

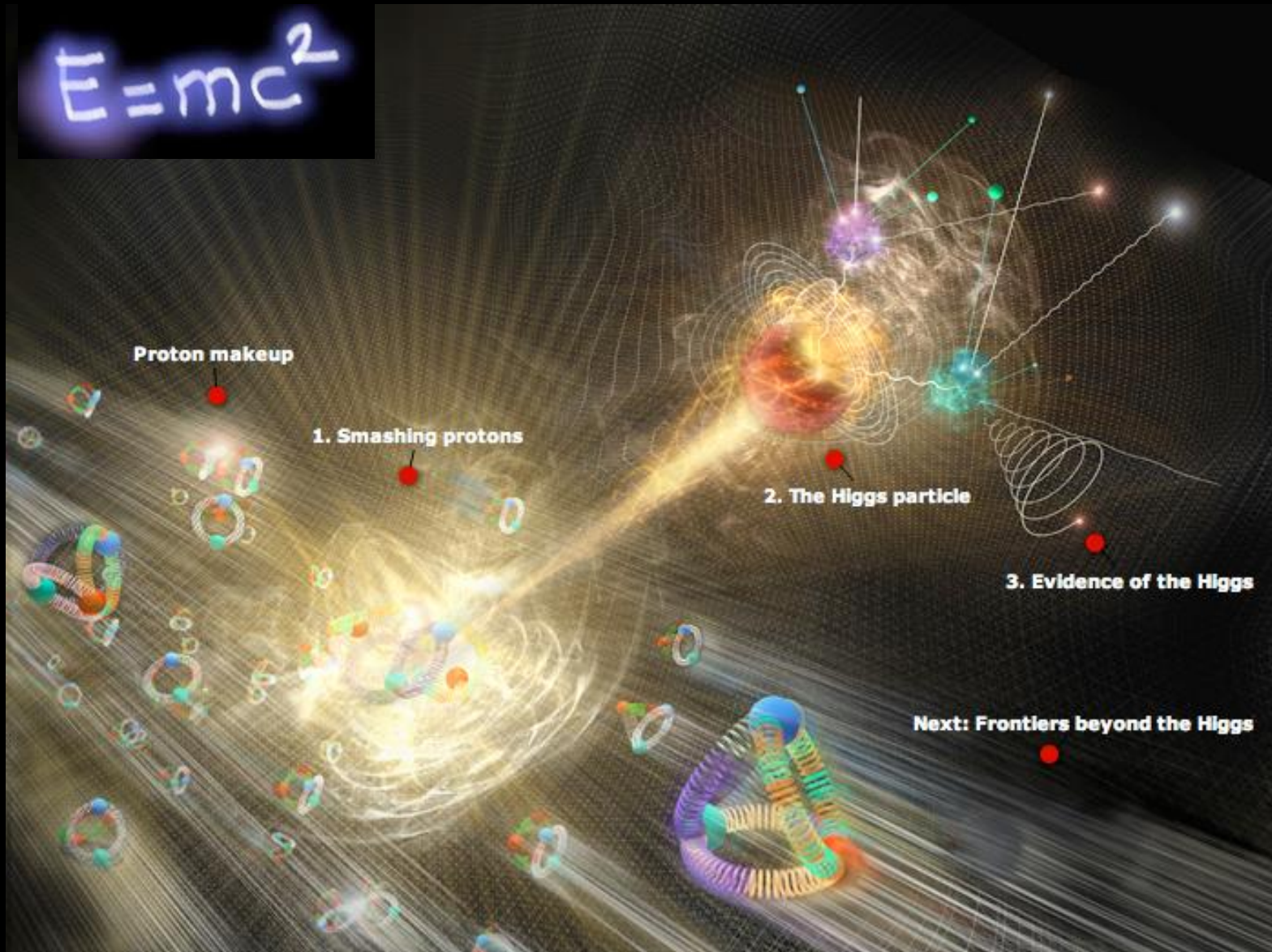


Eine simple Analogie

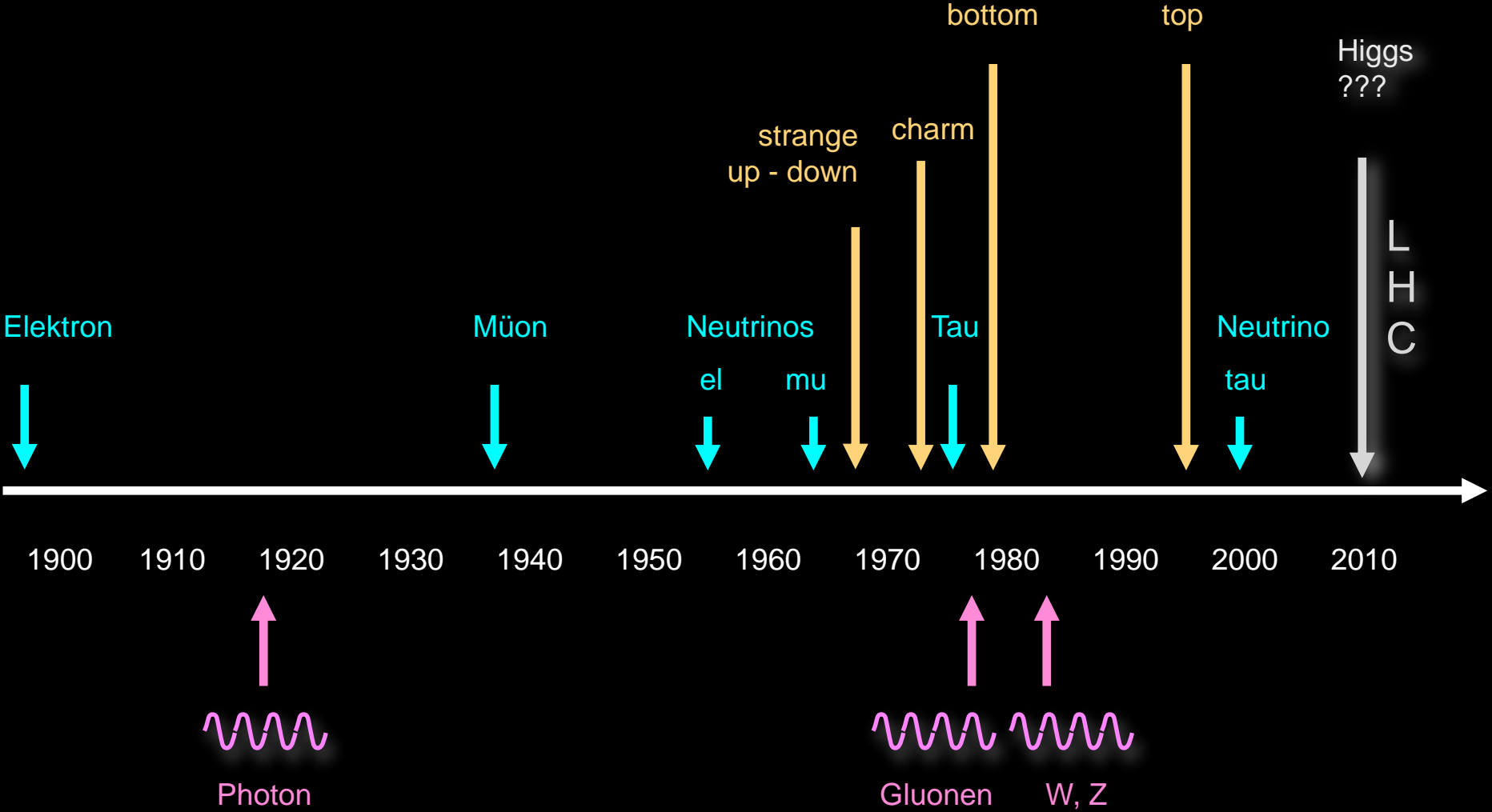
$$E=mc^2$$



In Teilchenkollisionen wird Energie zu neuen Elementarteilchen



Experimente an Beschleunigern entdeckten alle(?) elementaren Teilchen und Feldquanten



Das “Periodensystem” der Elementarteilchen “Das Standard-Modell”

DIE RÄTSEL DES 21. JAHRHUNDERTS

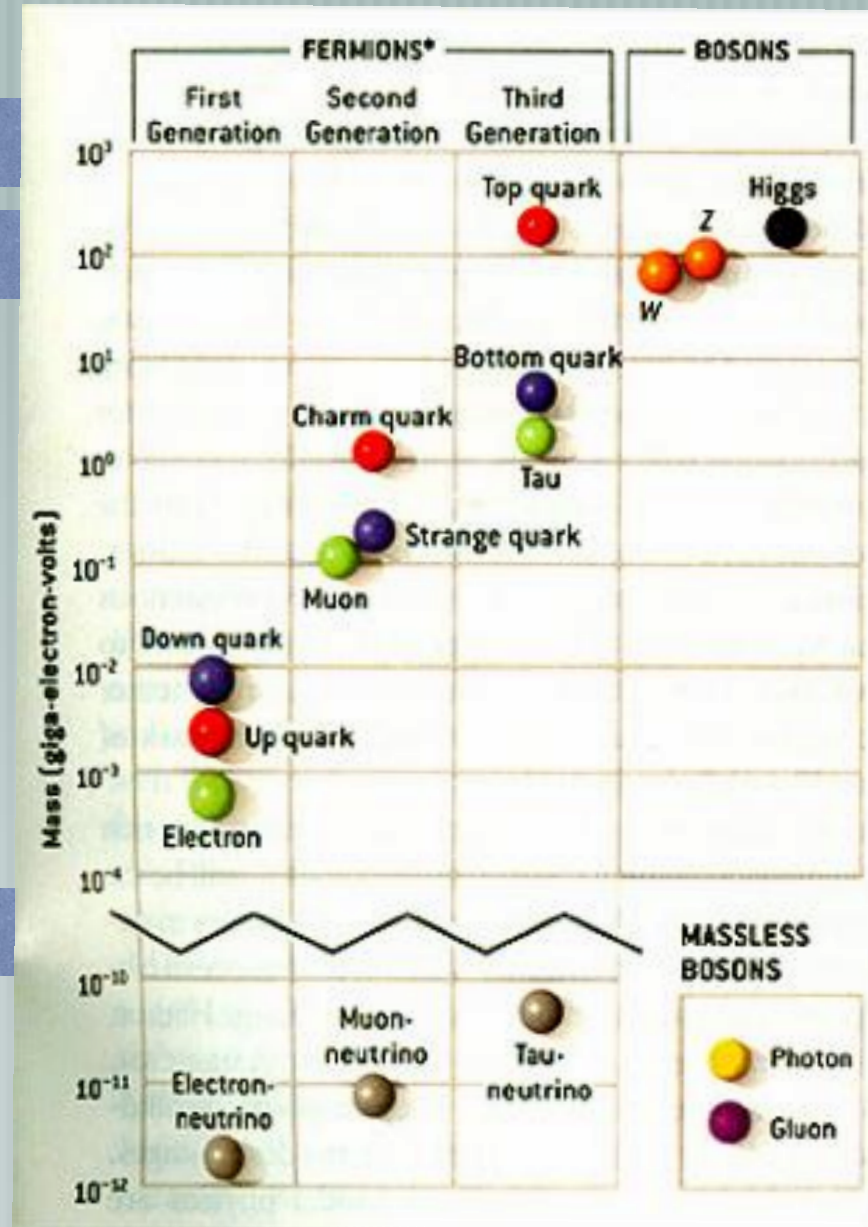
1) Wie kommen Teilchen zu ihrer Masse - durch das "Higgs" Feld ?

1 TeV
100 GeV

1 GeV

1 MeV

0.01 eV



Das Rätsel der Teilchenmasse

Masselose Teilchen - Bewegung mit

Lichtgeschwindigkeit

KEINE SOLIDEN OBJEKTE !

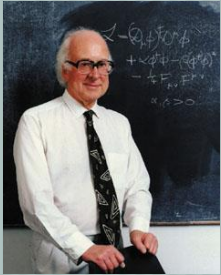
DIE RÄTSEL DES 21. JAHRHUNDERTS

Was ist so besonders am Higgs-Feld?

Es füllt das gesamte Universum gleichmässig (seit dem Big Bang)

Es gibt jedem Teilchen (auch den neu entstehenden) seine exakte Masse

Es ist wie eine 'kosmische DNS' (die 'Erbinformation' des Universums)



Sir Peter
Higgs



Eine Party-Gesellschaft ...

Das Higgs-Feld ...



.. ein berühmter Gast will den
Raum durchqueren...

*... ein neues Teilchen wird
erzeugt ...*

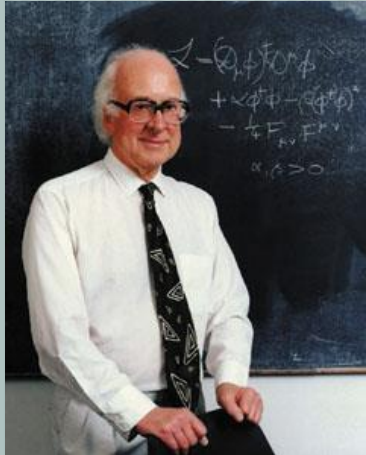


.. wird aber von den Gästen
umringt und kommt nur
schwer voran...

*... das Higgs-Feld macht das
Teilchen 'schwer' ...*

DIE RÄTSEL DES 21. JAHRHUNDERTS

Das Higgs-Teilchen



Sir Peter
Higgs



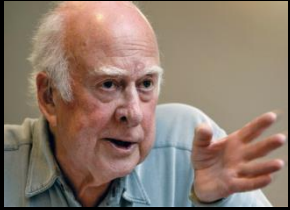
Ein Gerücht wird in die
Party-Gesellschaft gerufen ...

Das Higgs-Feld ...



.. alle kommen zusammen und
tuscheln über die Nachricht...

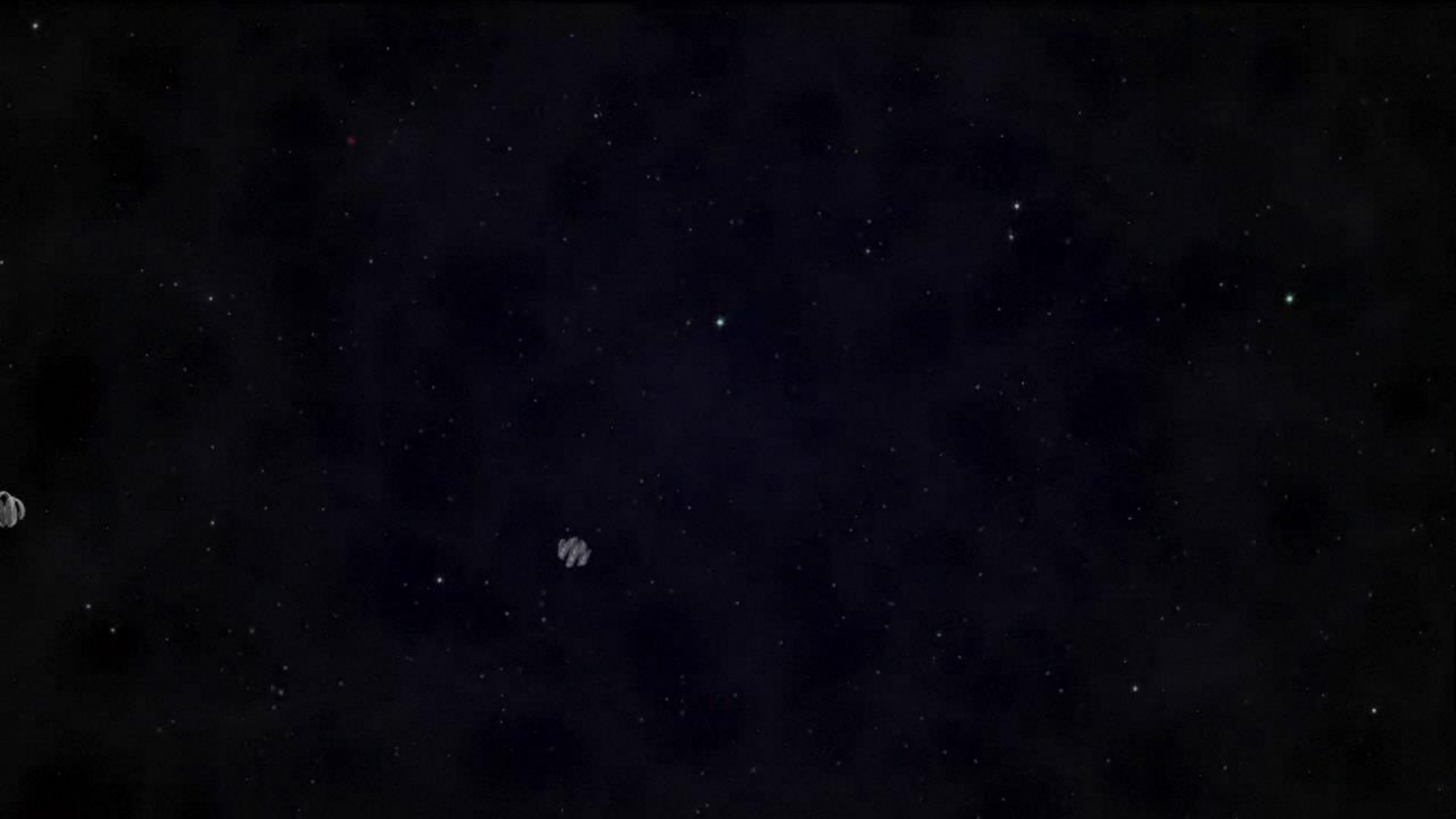
*... erzeugt seine erste Anregung,
das Higgs-Teilchen ...*



Sir Peter Higgs

Das Rätsel der Teilchenmassen?

Lösung: ein Feld im leeren Raum wechselwirkt mit den Teilchen



Die Anregung des Feldes ist das “Higgs-Boson”

... es wird aber nur einmal in etwa 10,000,000,000 (10^{10}) Kollisionen produziert !

Das Higgs-Boson sollte in 2 Photonen zerfallen

aber nur mit 0.2 % Wahrscheinlichkeit ...

Die LHC-Detektoren messen 600 Millionen Kollisionen pro Sekunde



40 MHz, 10^9 events/sec, < 1 Peta Byte/sec (equivalent FE)

Level 1 – special hardware

75 KHz

level 2 – embedded processors

5KHz

level 3 – PCs, Event Filter

100 Hz, 100 events/sec, 100 Mega Byte/sec

data recording, 10^7 sec/year,
1Peta Byte/year & offline analysis

Rohdaten - Rate:

1,000,000 GB /s

Auswahl:

1 GB /s

Selektion:

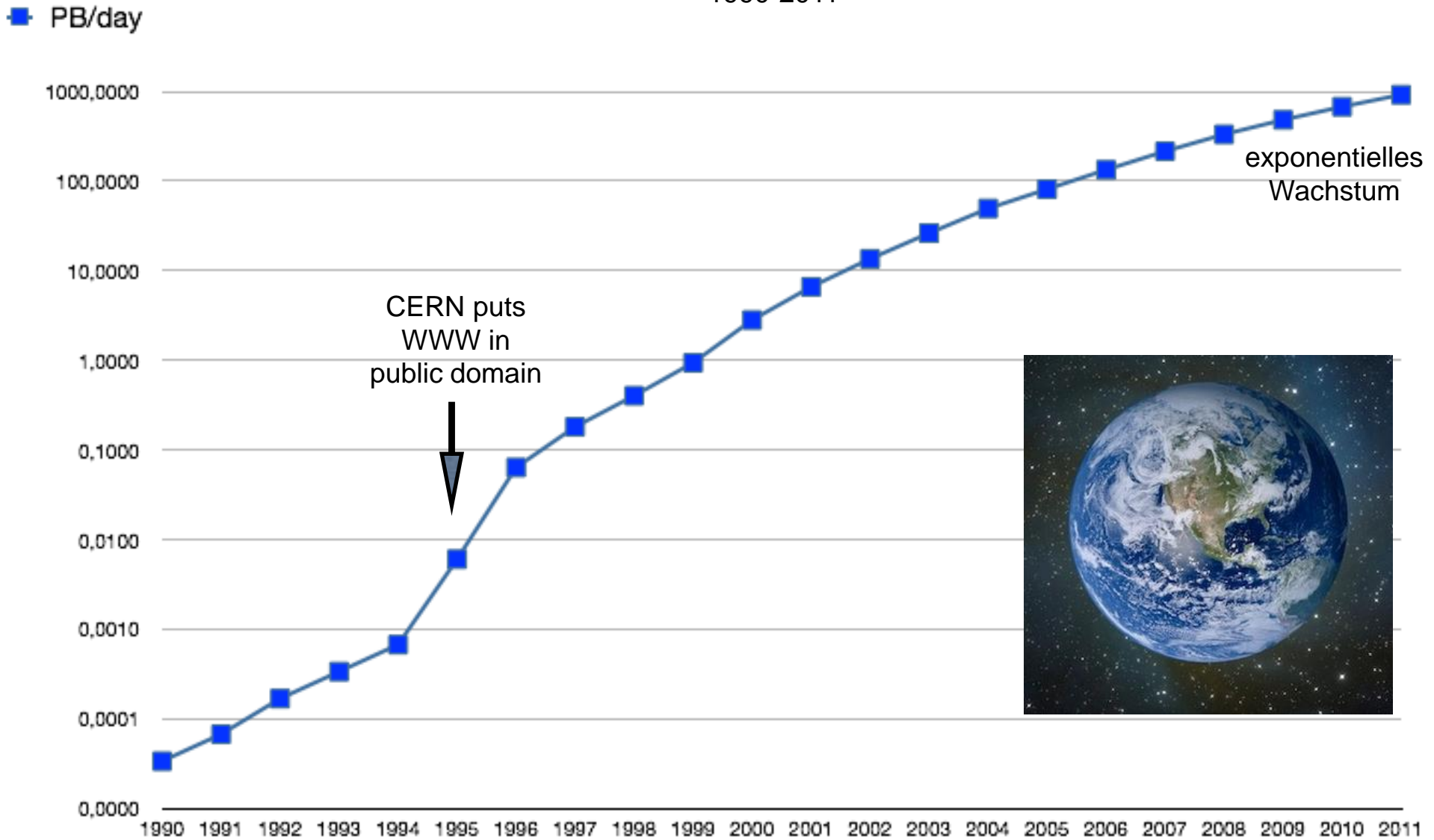
1 von 1,000,000 Ereignissen

**1 Jahr Daten ~ 100 Peta-
Byte**

Internet Datenverkehr (Welt)

1990-2011

LHC Raw
Data Rate 



Logarithmische
Skala

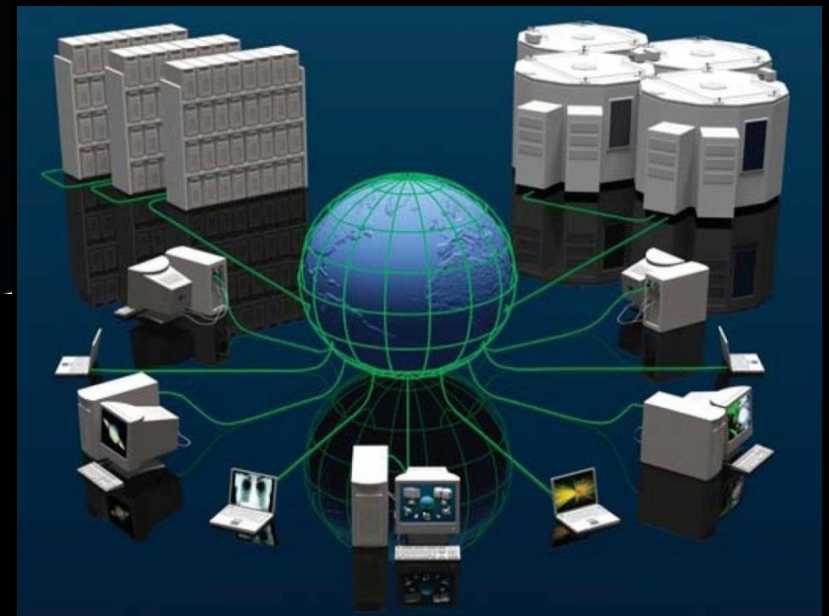
Jahr

Source: Cisco

Analyse der Daten im planetaren LHC- Computer - GRID



350,000 CPUs world-wide



**Data GRID:
distributed data storage with
high-speed 100 Gb/s data transfer**

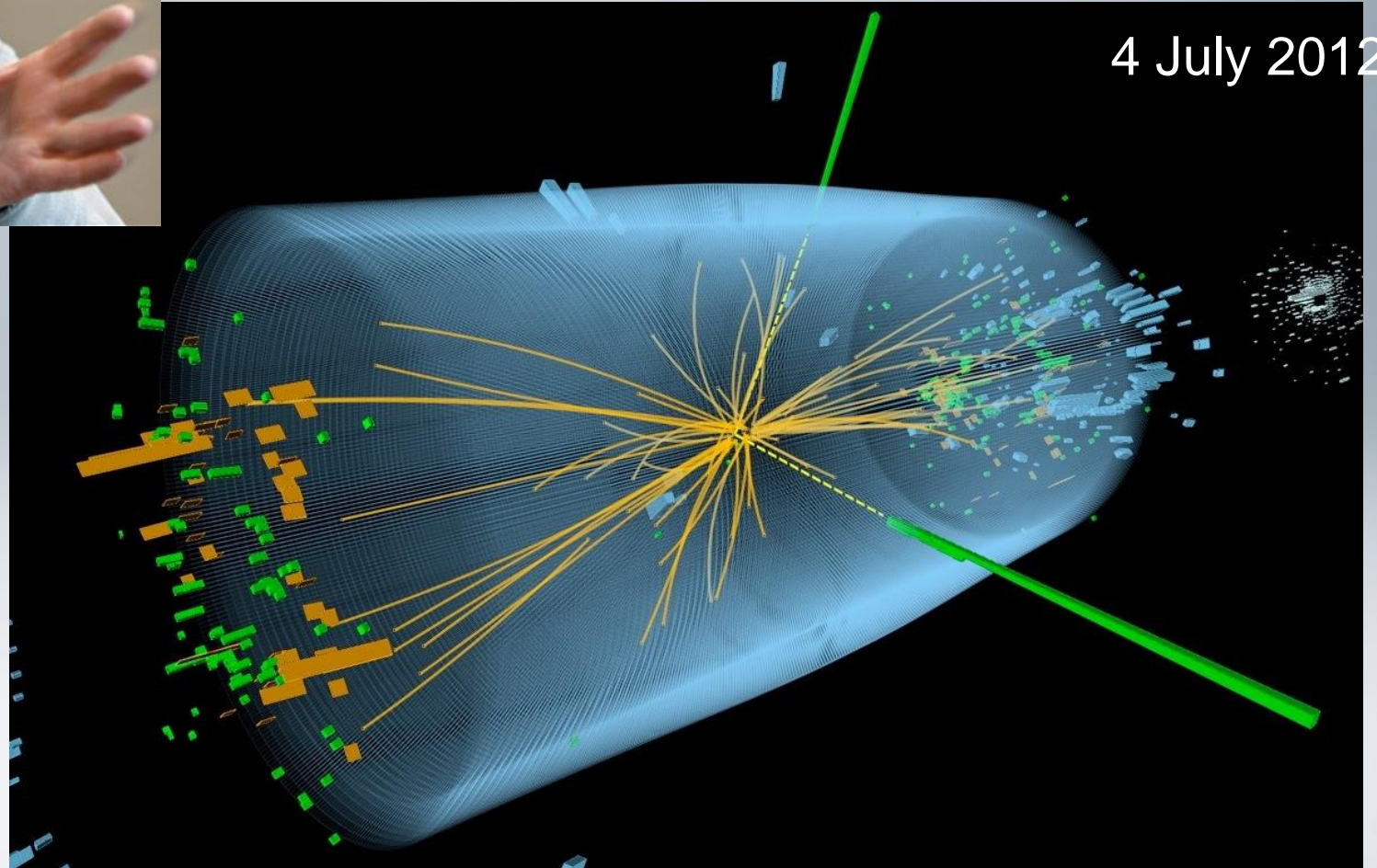


Ist das neuentdeckte Teilchen...

das Higgs Boson?

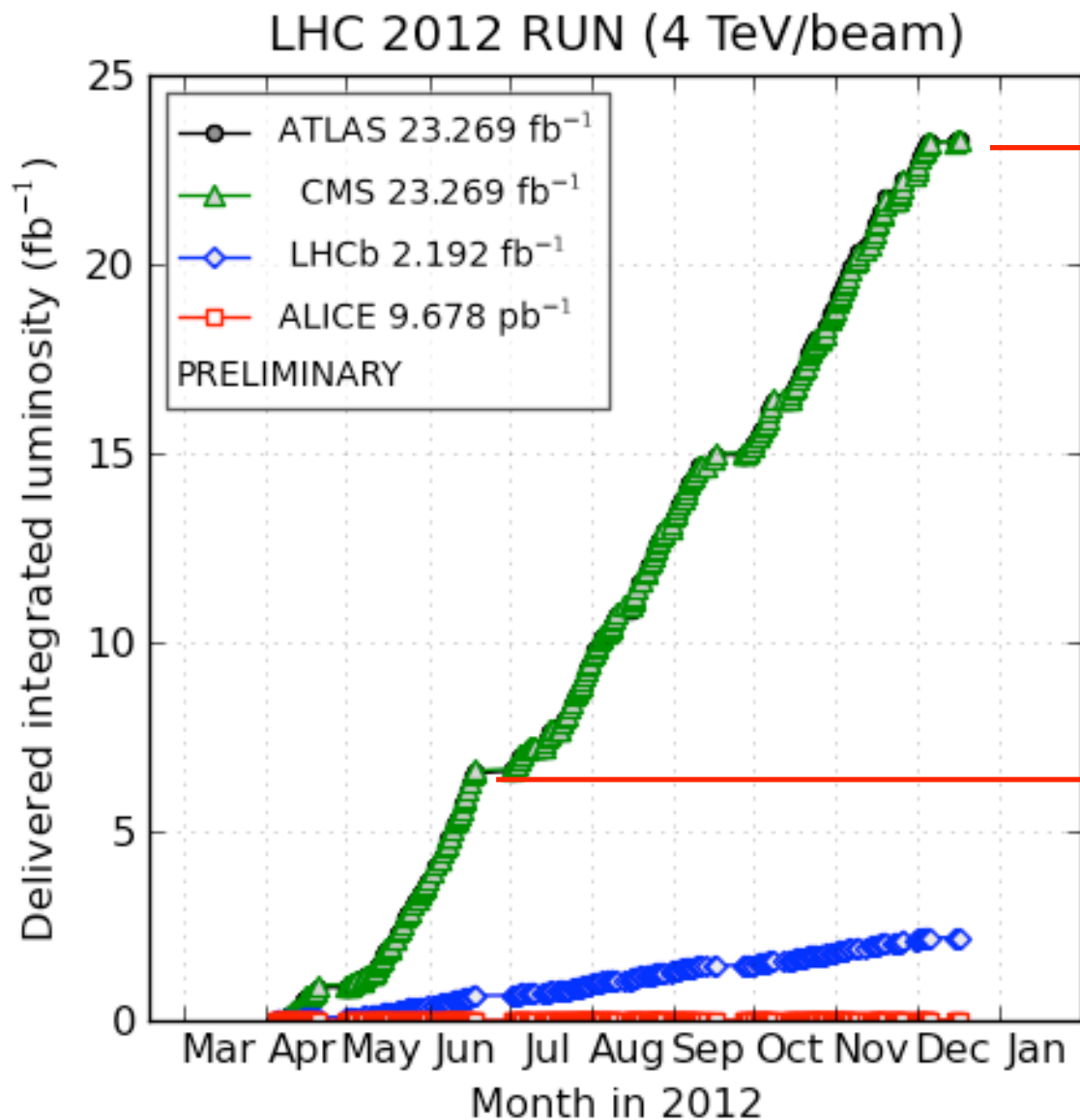


Peter Higgs sagte
dieses Teilchen im
Jahr 1964 vorher



2011 - 2012 : LHC läuft auf Hochtouren

Higgs: 1 aus 10,000,000,000 (10^{10}) Kollisionen



15.12.2012

**3,000,000,000,000,000 ($3 \cdot 10^{15}$)
(3000 Billionen Ereignisse !)**

4.7.2012

Entwicklung des Histogramms für Ereignisse mit zwei Photonen

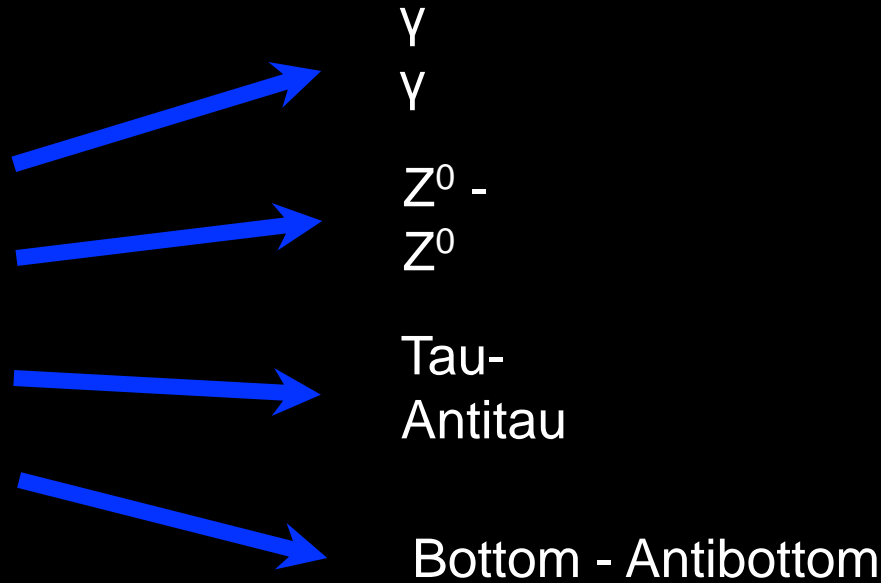
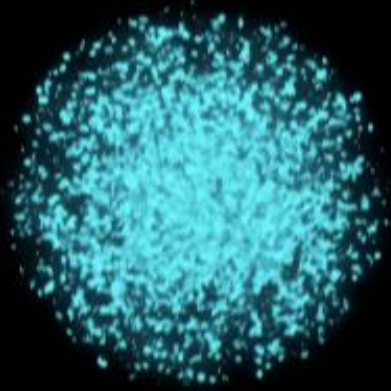


Entwicklung des Histogramms für Ereignisse mit vier Leptonen (aus Z^0 Zerfall)

Update 14.3.2013: CERN Press Release

Neue Daten **bestätigen**: neuentdecktes Teilchen = Higgs-Boson

Higgs-Boson-Zerfall



Vorhersagen der Theorie sind konsistent mit den Messungen

Was bedeutet das ?

Wir wissen jetzt

- das Higgs-Boson existiert
- das Higgs-Feld existiert
- wie Teilchen zu ihrer Masse kommen
- das Standard-Modell ist komplett
- der "leere" Raum ist nicht "leer"
- ein erster Einblick in die 'dunkle Energie'?



Und mehr:

DIE RÄTSEL DES 21. JAHRHUNDERTS

2) Supersymmetrie zwischen Teilchen und Feldern ?

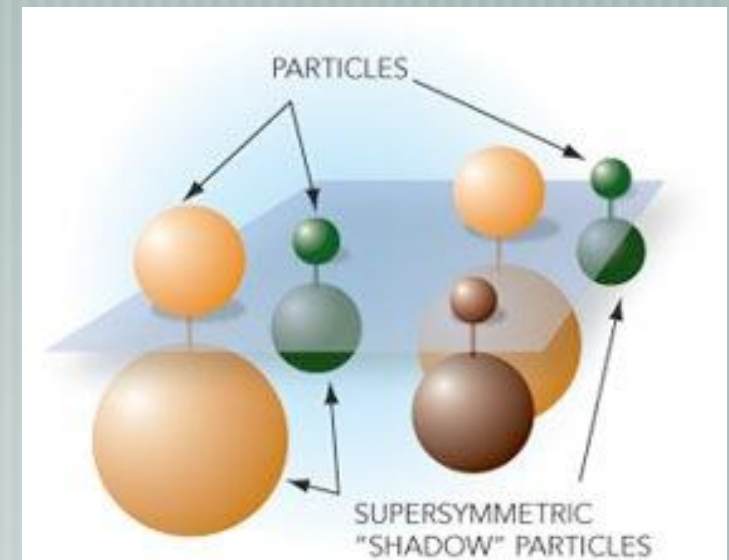
'Materie'-Teilchen (Spin $1/2$ = Fermion) wechselwirken miteinander durch den Austausch von 'Feld'-Teilchen (Spin 1 = Boson).

Alle Teilchen (Elektronen, Neutrinos, Quarks) wechselwirken durch W/Z Feldteilchen
Teilchen mit elektrischer Ladung (e.g. Elektronen, Quarks) wechselwirken durch Photonen
Teilchen mit Farbladung (Quarks) wechselwirken durch Gluonen

Wenn es eine 'Supersymmetrie' zwischen Teilchen und Feldern gibt:

Materie-Teilchen haben einen Feldteilchen-Partner
Feldteilchen haben einen Materie-Teilchen-Partner

Spin $1/2$	Spin 0, Spin 1
electron	selectron (S=0)
quark	squark (S=0)
photino	photon (S=1)
gluino	gluon (S=1)
gaugino (Wino, Zino)	W, Z (S=1)

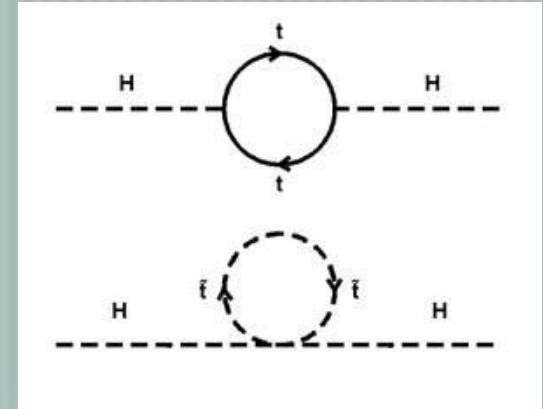


Noch nie wurde ein supersymmetrisches Teilchen beobachtet - falls sie existieren, müssen sie eine grosse Masse ($>0.5-1$ TeV) haben

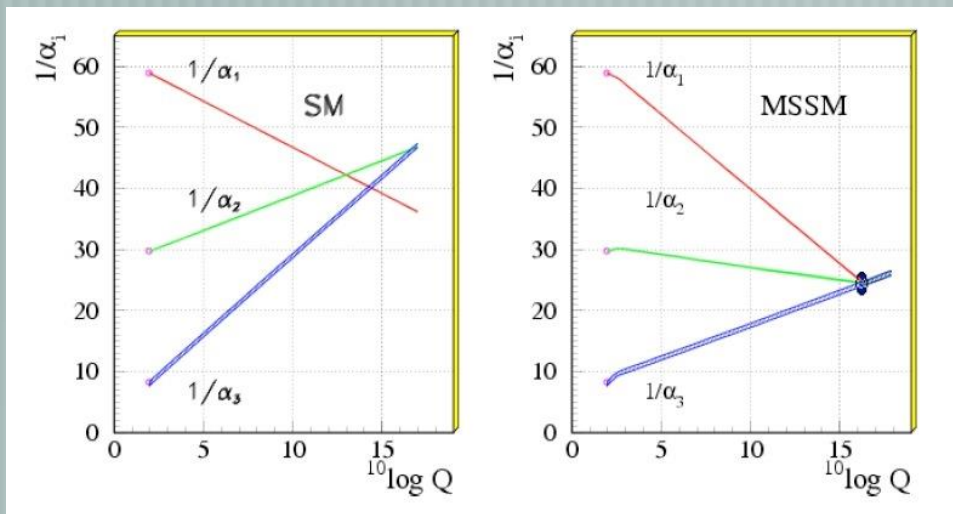
Warum Supersymmetrie?

1) Eine fundamentale Raum-Zeit-Symmetrie

2) 'Schutz' des (skalaren) Higgs-Bosons ($M \sim 10^2$ GeV)
vor dem Einfluss von Vakuumschwankungen ($\sim 10^{19}$ GeV)



3) Vereinigung von elektroschwacher und starke WW bei $\sim 10^{17}$ GeV

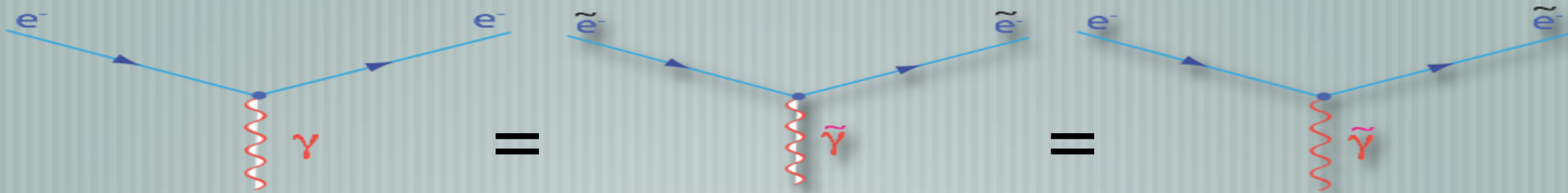


4) Mögliche Erklärung der kosmologischen Materie-Antimaterie-Asymmetrie

5) **Dunkle Materie** ?

Supersymmetrie ist relativ einfach zu berechnen:

Teilchen und Super-Partner lassen sich einfach austauschen



e = electron

γ = photon

\tilde{e} = selectron

$\tilde{\gamma}$ = photino

DIE RÄTSEL DES 21. JAHRHUNDERTS

Was sind Teilchen?



Superstrings in 10 Dimensionen?

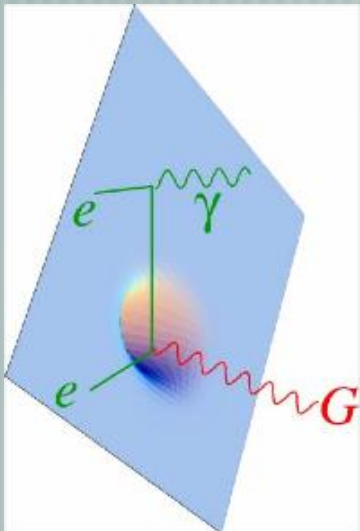
Sind Teilchen kleine 'Strings' die im 10-dimensionalen Raum vibrieren?
Länge $\sim 10^{-35}$ m (Planck Länge)
Verschiedene Schwingungsmoden entsprechen verschiedenen Teilchen
Graviton ist im Spektrum enthalten!

Aber:

Es gibt keine Voraussage, warum und wie die zusätzlichen Dimensionen verschwunden sind.

Es gibt keine eindeutige Möglichkeit, die Eigenschaften der Teilchen vorherzusagen.

Quanten-Gravitation ?



'Sieht' ein Graviton **mehr als 3 Raumdimensionen?**

Die Gravitation könnte deshalb so schwach sein weil sich die Gravitation in 4 oder mehr Raum-Dimensionen ausbreitet und damit aus unserem 3-dimensionalen Universum entkommt.

Kollisionen im LHC könnten dann mikroskopische schwarze Löcher erzeugen.

Die Fragen des 21. Jahrhunderts

1900 - 2000: Phantastischer Fortschritt im Verständnis von Materie und Universum

Wir wissen heute woraus die Materie besteht.
Wir kennen auch die wichtigsten Etappen in der Entstehung des Universums

Neue, tiefere Fragen:

Was geht im "Vakuum" vor - Higgs Feld? Dunkle Energie? Kosmische Inflation?

Was ist die dunkle Materie?

Was macht die 'Teilchenfamilien' aus? Warum gibt es genau drei?

Wo liegt die Verbindung zwischen Quarks und Leptonen (identische Ladung!!)

Wie ist die Antimaterie verschwunden?

Was ist der Ursprung der Naturkonstanten, ihre relative Grösse?

Ist das Leben im Universum ein Zufall?

Was sind Teilchen?

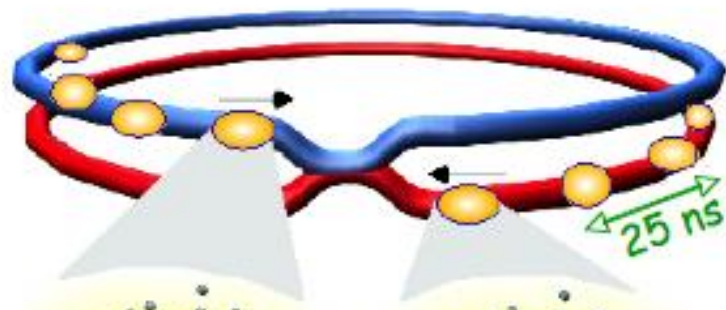
Die Physik des 21. Jahrhunderts ...

DIE RÄTSEL DES 21. JAHRHUNDERTS



Neue Entdeckungen warten

Collisions at LHC



Proton-Proton	
Protons/bunch	10^{11}
Beam energy	7 TeV (7×10^{12} eV)
Luminosity	10^{34} cm ⁻² s ⁻¹

Bunch



Proton



Parton
(quark, gluon)

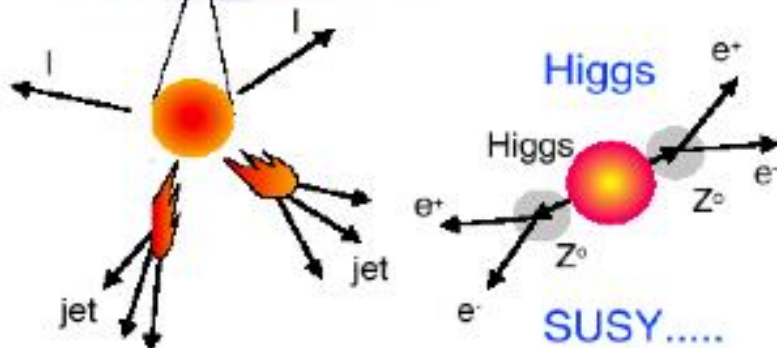


Event rate in ATLAS :

$$N = L \times \sigma (pp) \approx 10^9 \text{ interactions/s}$$

Mostly soft (low p_T) events

Particle



← Interesting hard (high- p_T) events are rare

**Selection of 1 in
10,000,000,000,000**