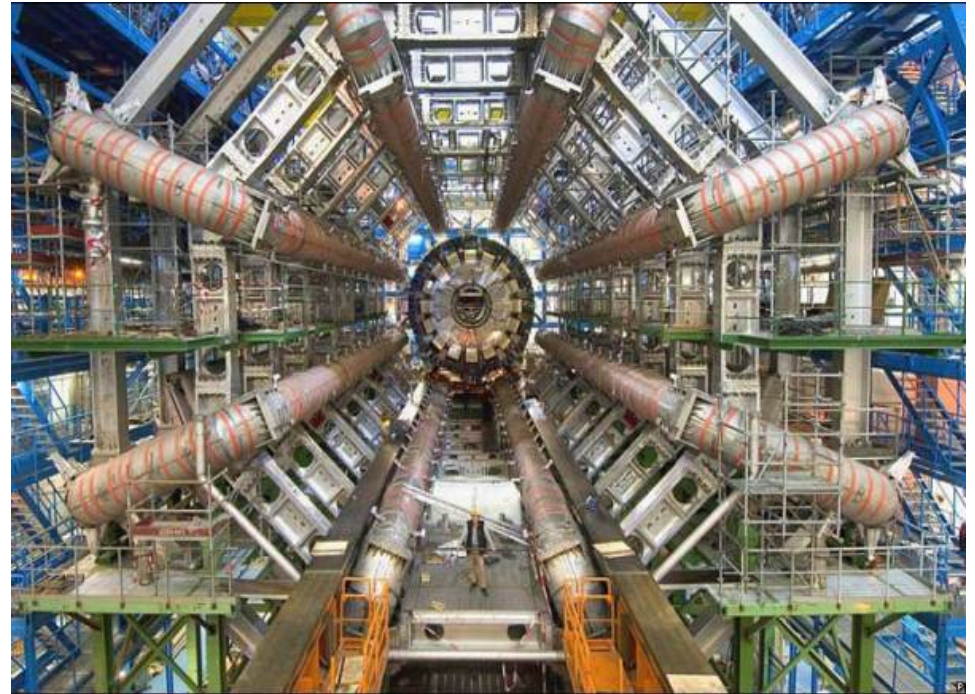


Quantenfluktuationen
in der
Elementarteilchenphysik

Fenster zu neuer Physik

Prof. Dr. Dominik Stöckinger
Institut f. Kern- und Teilchenphysik
TU Dresden

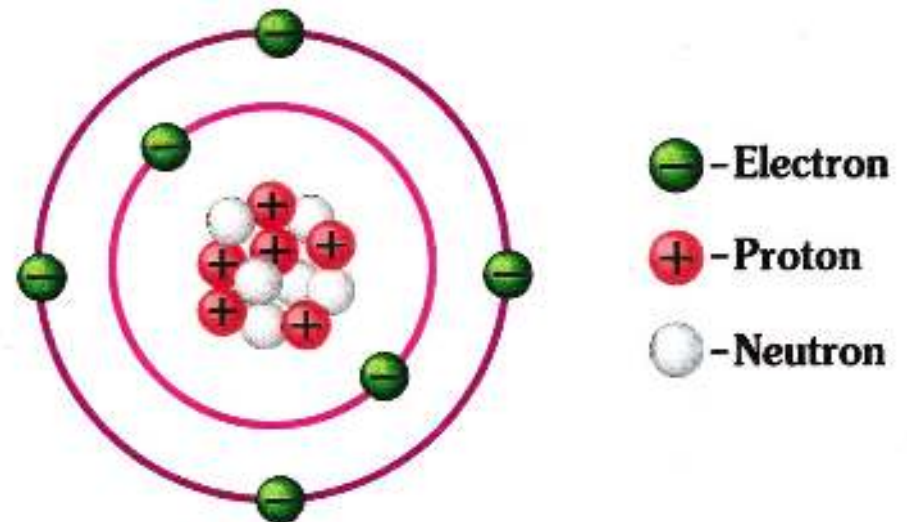
Ziel der Elementarteilchenphysik



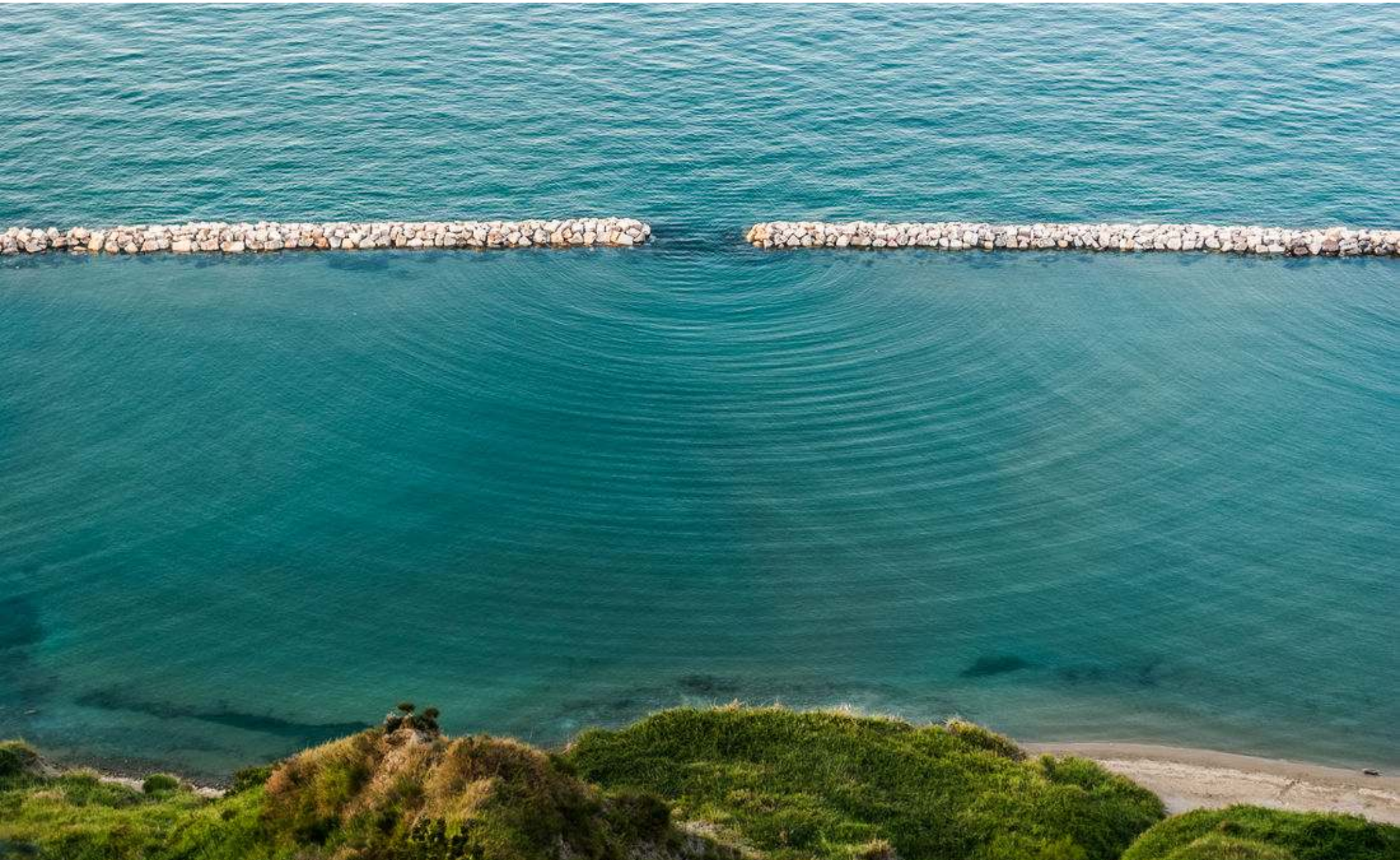
- Grundfrage der Menschheit: woraus besteht, wie funktioniert alles?
- Schon viel verstanden, aber: noch wichtige offene Fragen!
- Für Antwort: Müssen **neue Physik (Teilchen, Gesetze)** finden!
- Dafür zwei Wege: direkt oder **über Quantenfluktuationen**

Natur: Quantenmechanik!

Was bedeutet das?



1. „Unschärferelation“ für Wellen

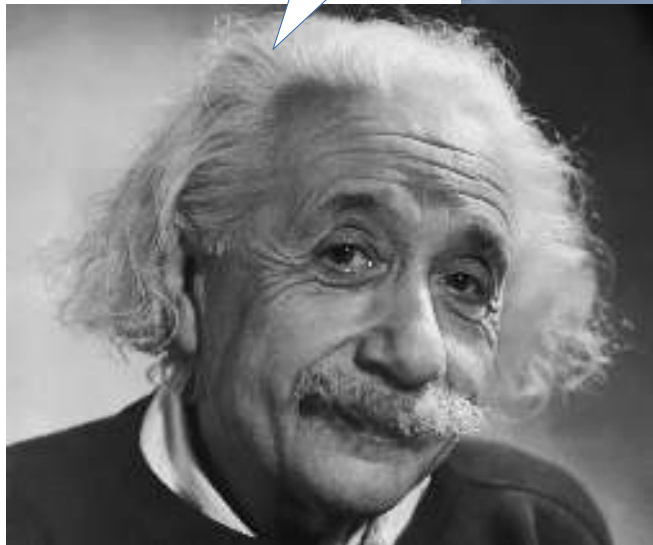


Entspricht Beugung von Licht



Entspricht Beugung von Licht

Licht besteht aber auch aus Teilchen

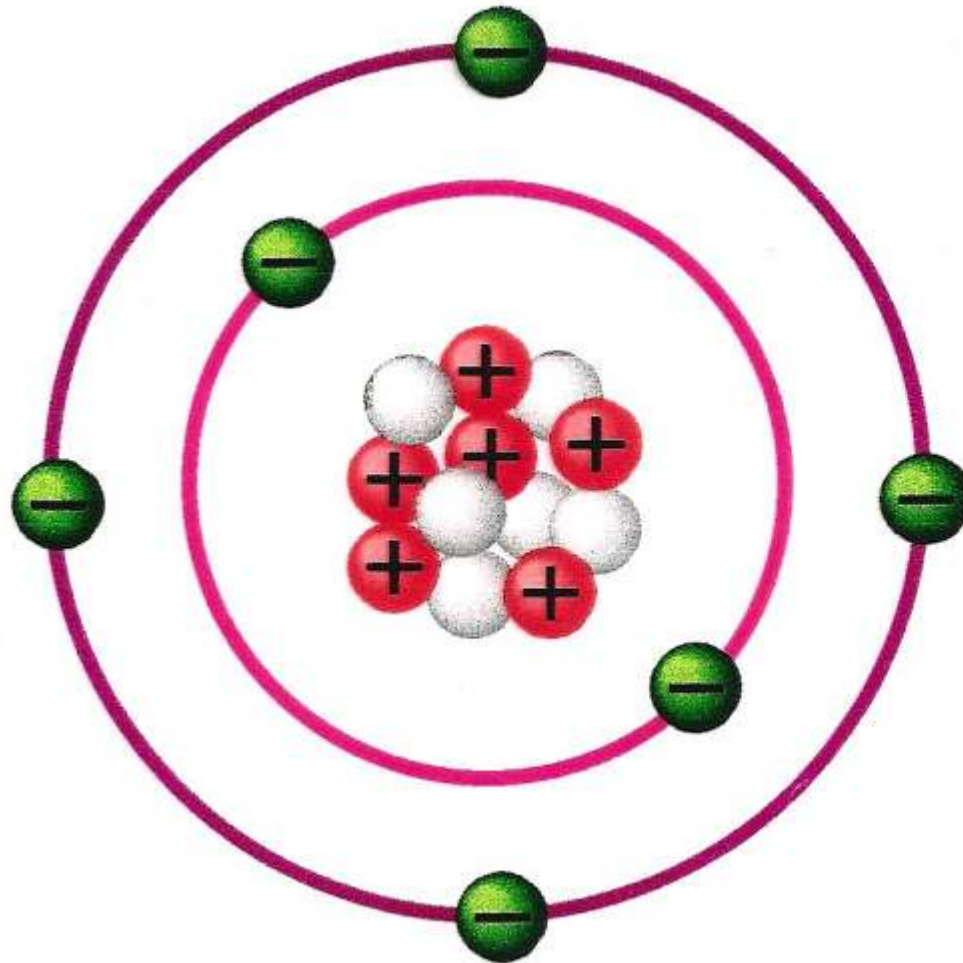


Unschärferelation gilt auch für Lichtteilchen –

und sogar für alle Teilchen!!

2. Warum haben Atome eine Mindestgröße?

(1 Milliarde Atome = 1 cm)



 - **Electron**

 - **Proton**

 - **Neutron**

Vergleiche mit Satellit

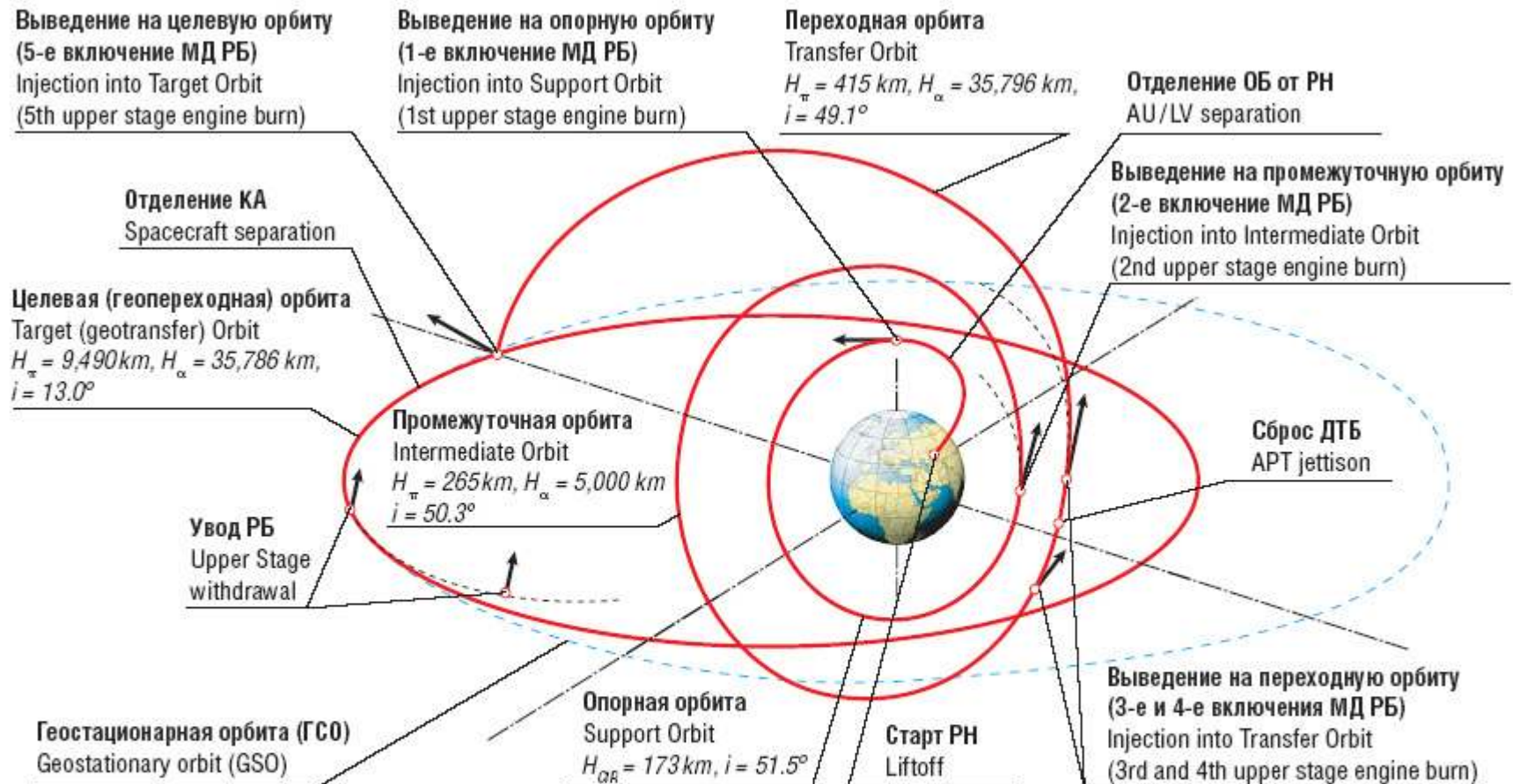


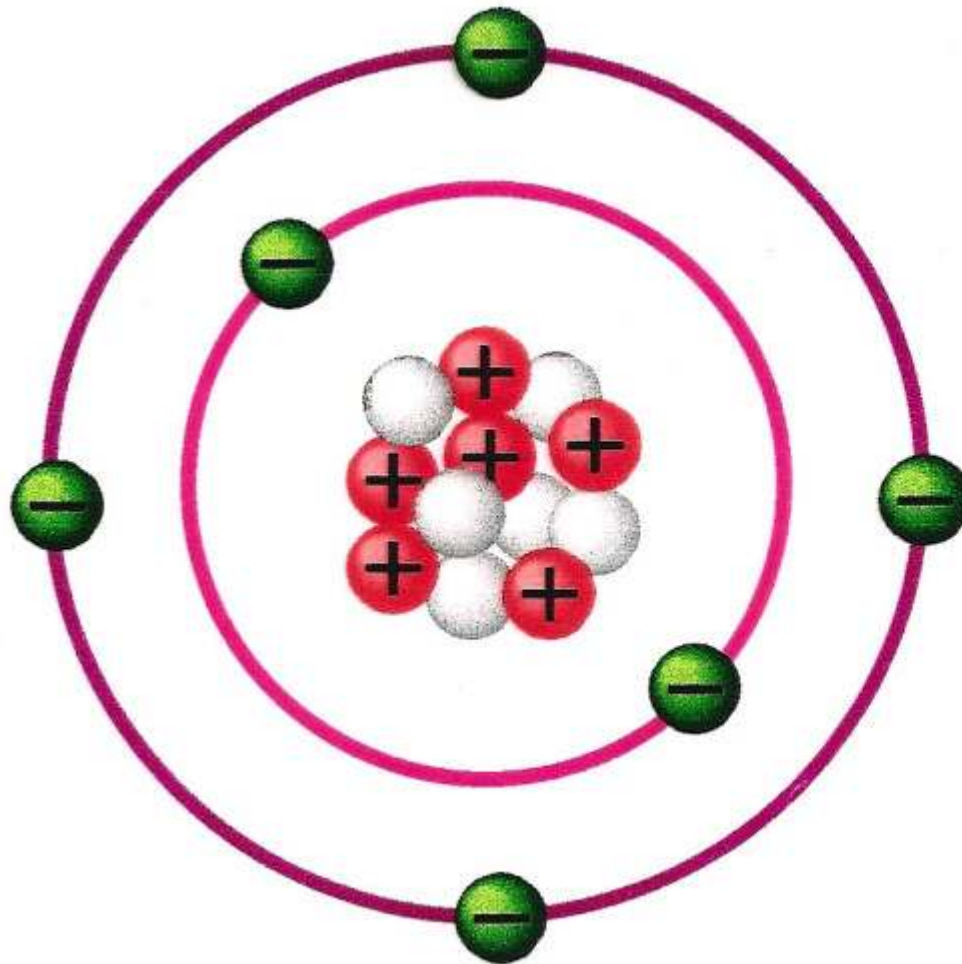
Схема полета РН «Протон-М», РБ «Бриз-М» при выведении КА Nimiq 5 на целевую орбиту
Rocket Ascent Trajectory

Satellitenbahn nahe an Erde



Warum haben Atome eine Mindestgröße?

(1 Milliarde Atome = 1 cm)



 - **Electron**

 - **Proton**

 - **Neutron**

Warum haben Atome eine Mindestgröße?

(1 Milliarde Atome = 1 cm)

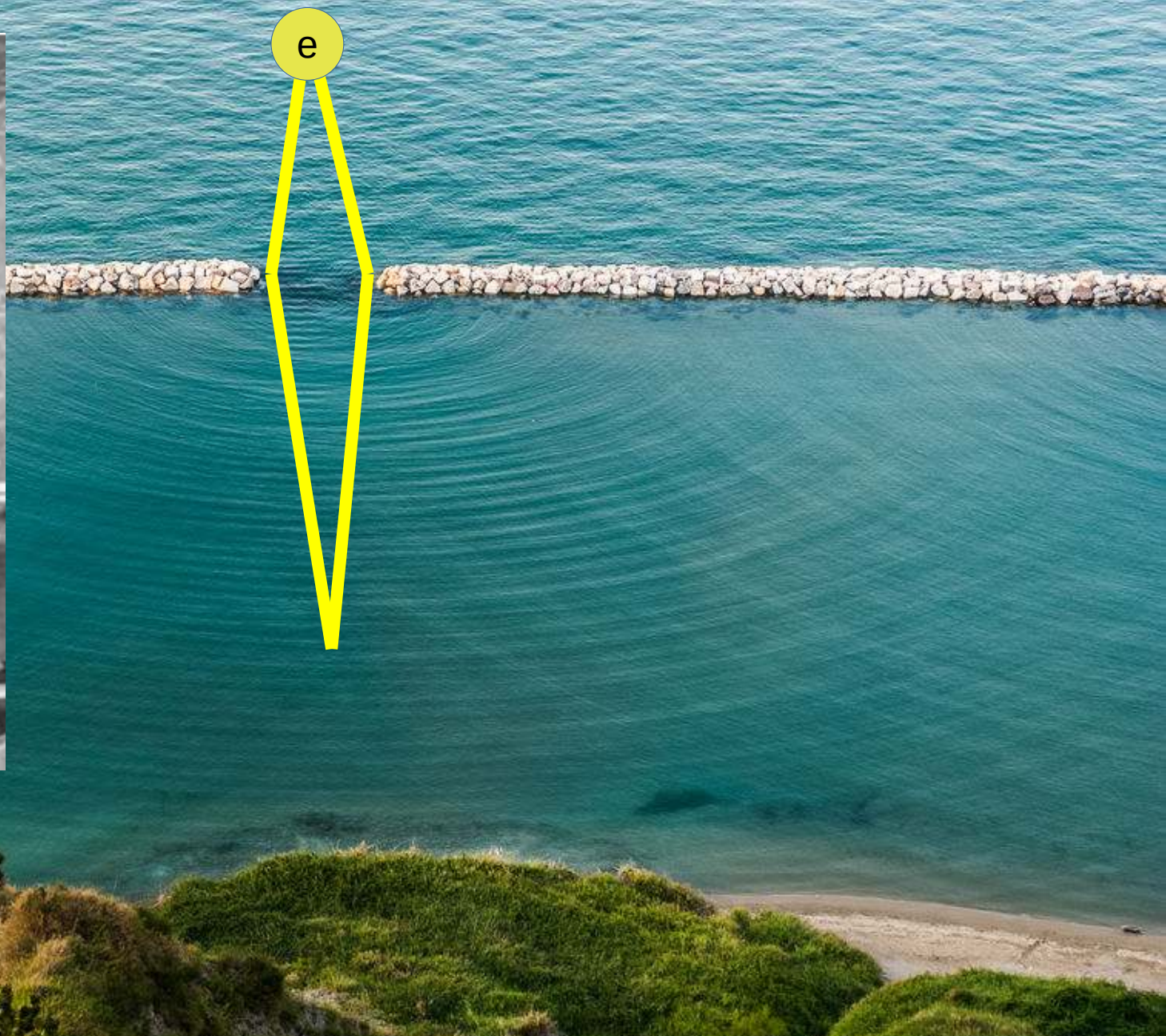
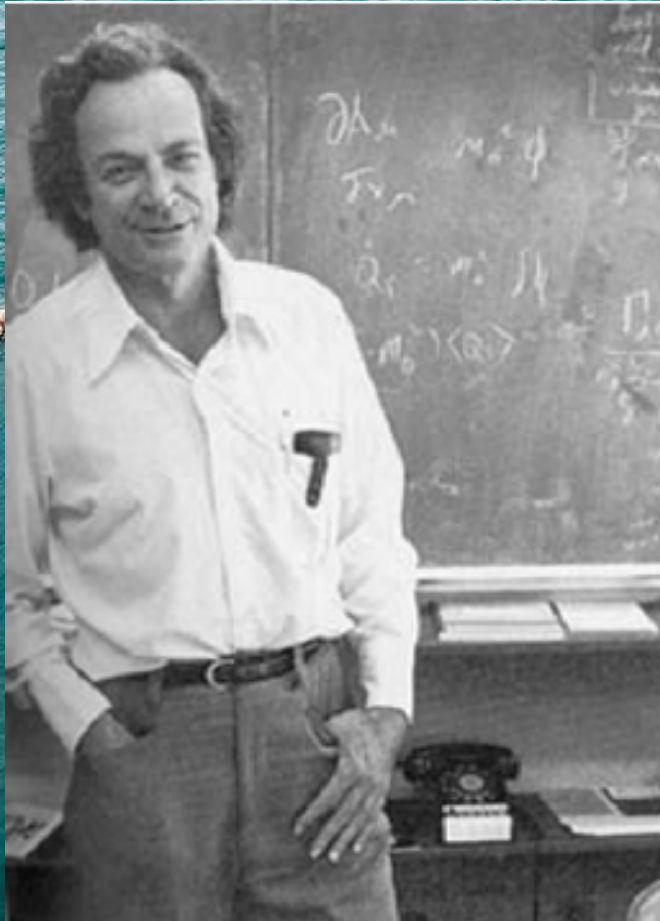
Antwort:
Unschärferelation!

Wie bei Lichtteilchen:
Ort und Geschwindigkeit
nicht gleichzeitig bestimmt/klein!

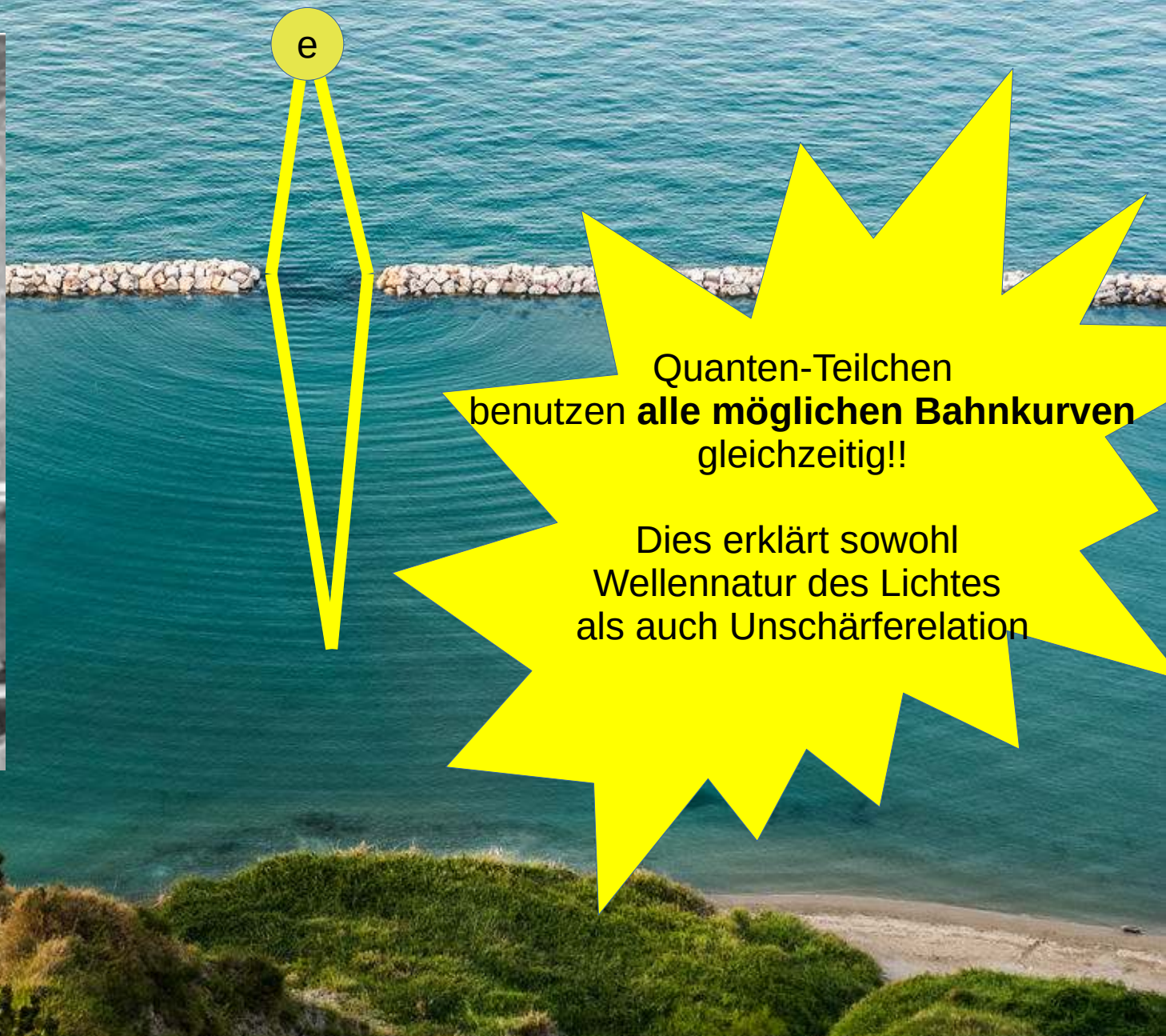
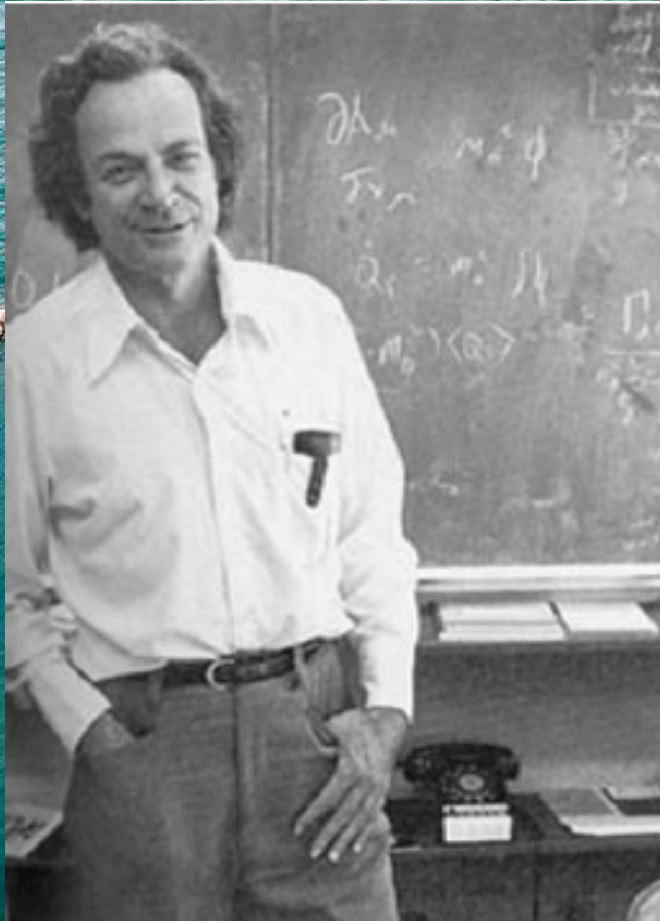
Neutron



3. Mögliche Teilchen-„Bahnen“



3. Mögliche Teilchen-„Bahnen“



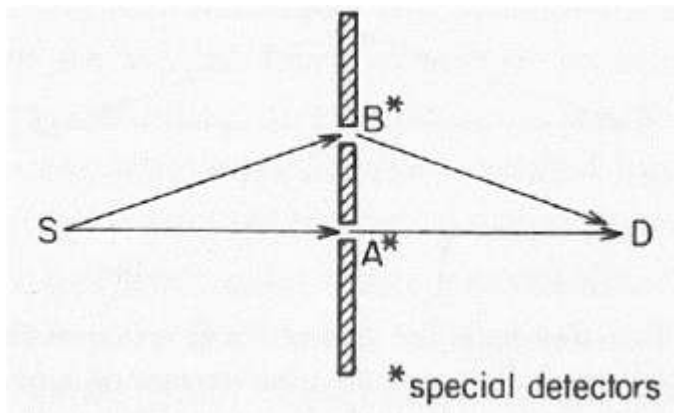
e

Quanten-Teilchen benutzen **alle möglichen Bahnkurven** gleichzeitig!!

Dies erklärt sowohl Wellennatur des Lichtes als auch Unschärferelation

Essenz der Quantenmechanik

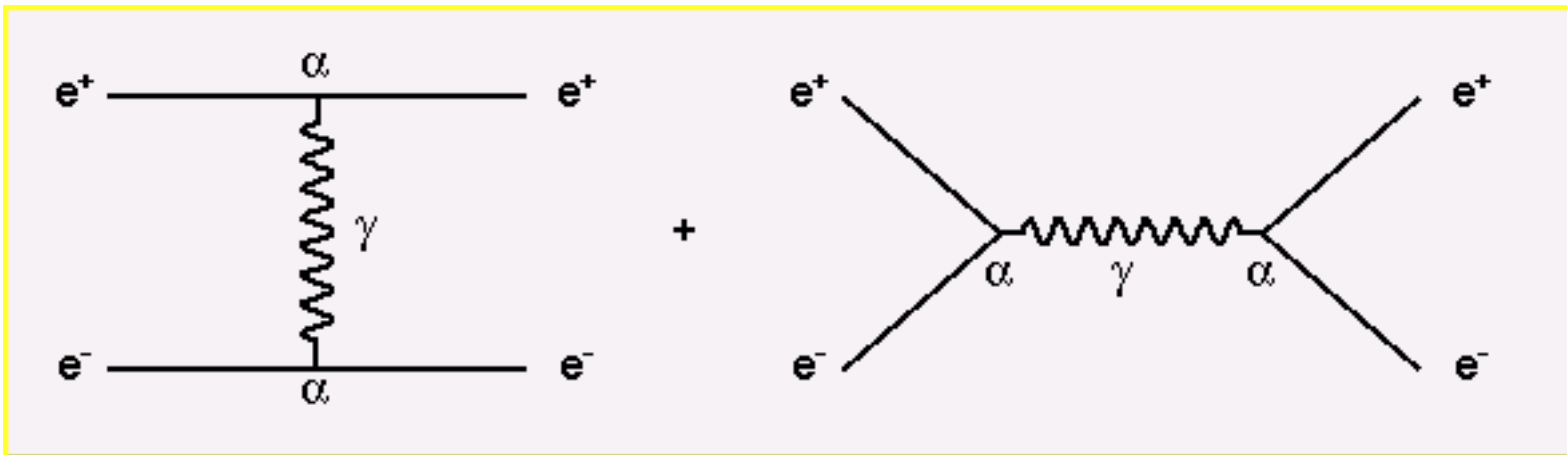
Vorgänge können auf mehrere Weisen gleichzeitig stattfinden. Jede mögliche Weise muss berücksichtigt werden.



Bahnkurven

Essenz der Quantenmechanik

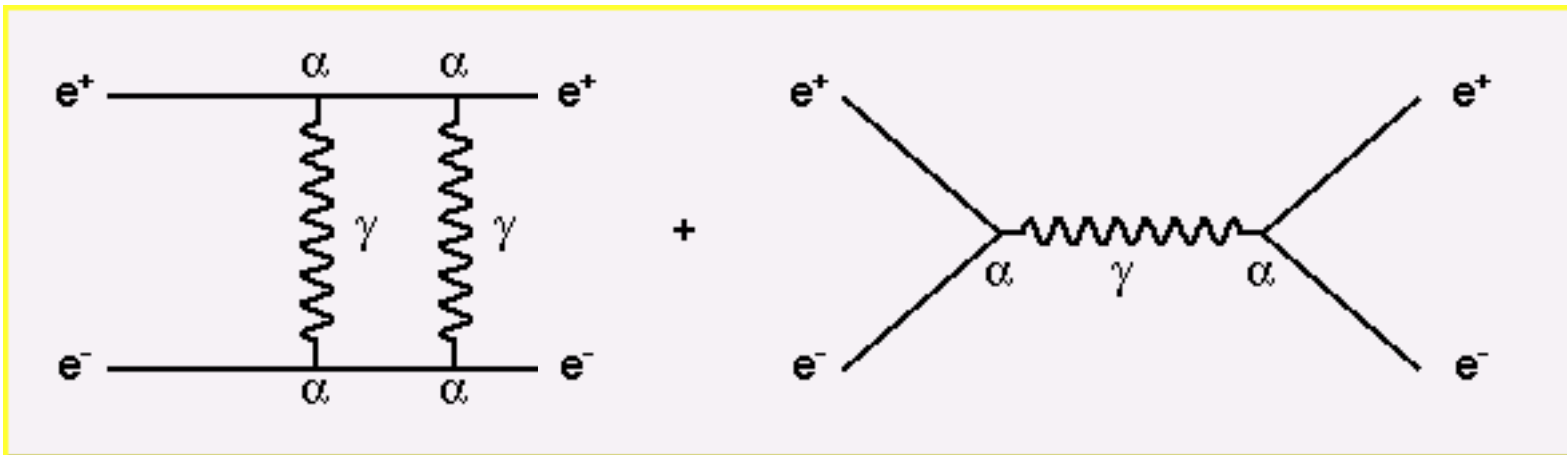
Vorgänge können auf mehrere Weisen gleichzeitig stattfinden. Jede mögliche Weise muss berücksichtigt werden.



Zwei mögliche Weisen der Streuung von Elektronen/Positronen

Essenz der Quantenmechanik

Vorgänge können auf mehrere Weisen gleichzeitig stattfinden. Jede mögliche Weise muss berücksichtigt werden.



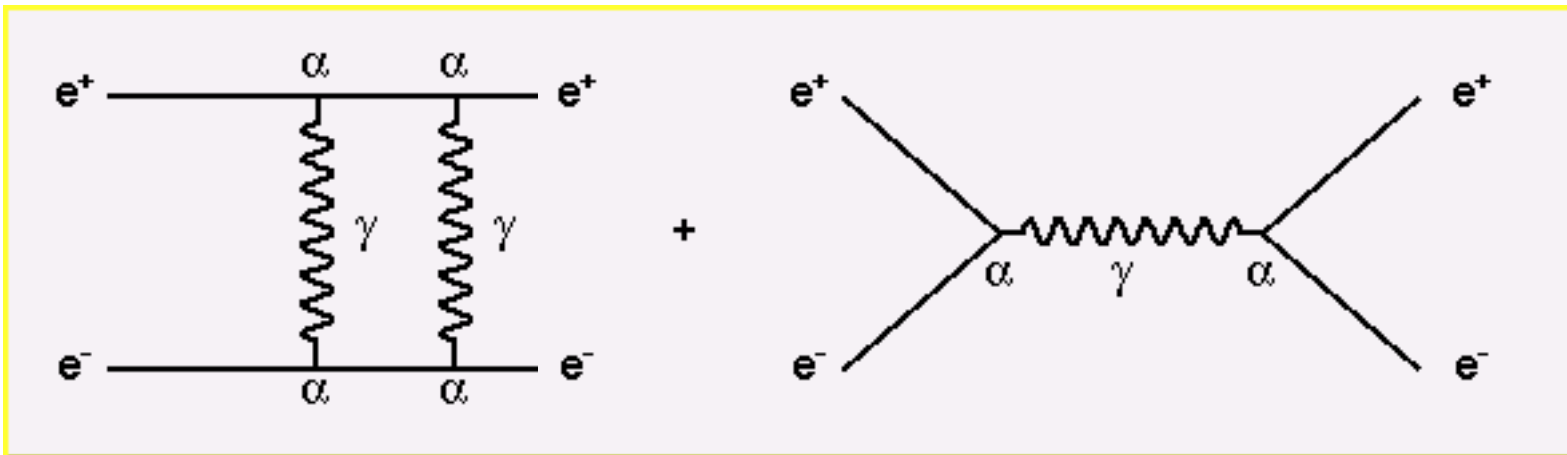
Zwei mögliche Weisen der Streuung von Elektronen/Positronen

Quantenfluktuationen

Essenz der Quantenmechanik

(grundlegendste Naturgesetze folgen aus
Quantenmechanik und Relativitätstheorie)

Vorgänge können auf mehrere Weisen gleichzeitig stattfinden. Jede mögliche Weise muss berücksichtigt werden.

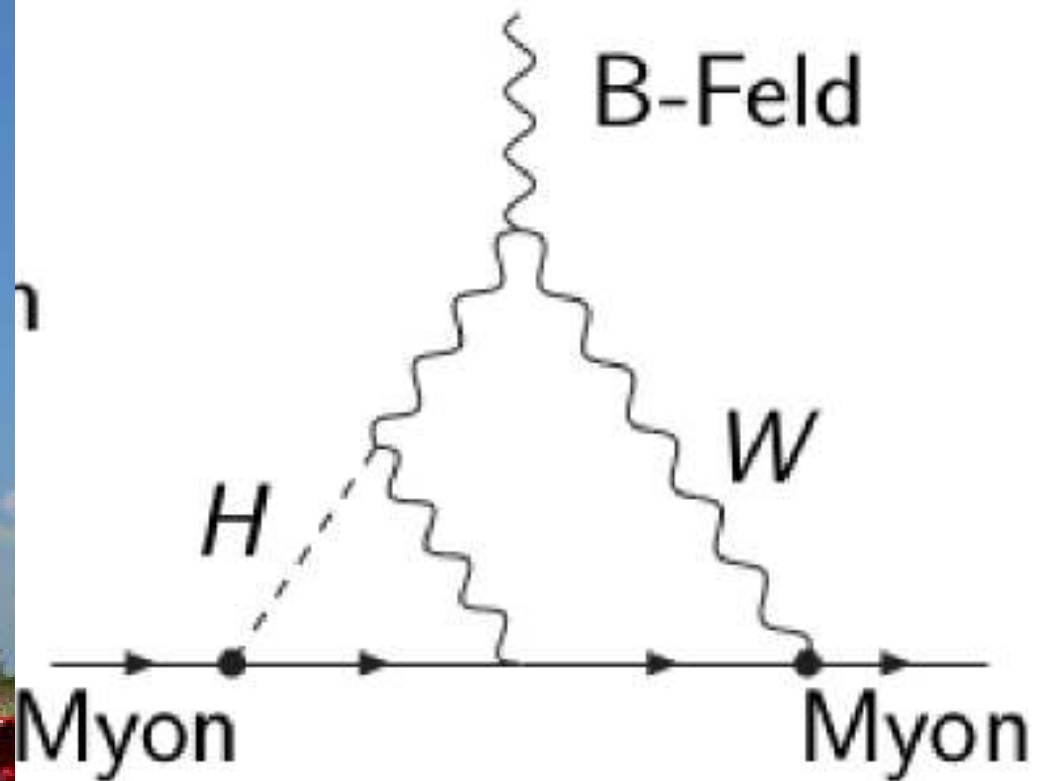


Zwei mögliche Weisen der Streuung von Elektronen/Positronen

Quantenfluktuationen

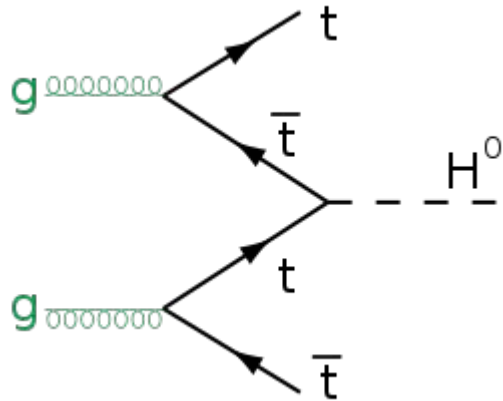
Teilchenphysik und Quantenfluktuationen

Bsp.: $(g-2)$ des Myons

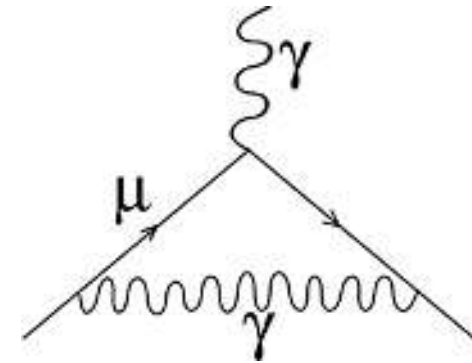


Teilchenphysik – wie studiert man Teilchen überhaupt?

- Direkte Produktion



- Indirekt: durch **Quantenfluktuationen**



Teilchenphysik – wie

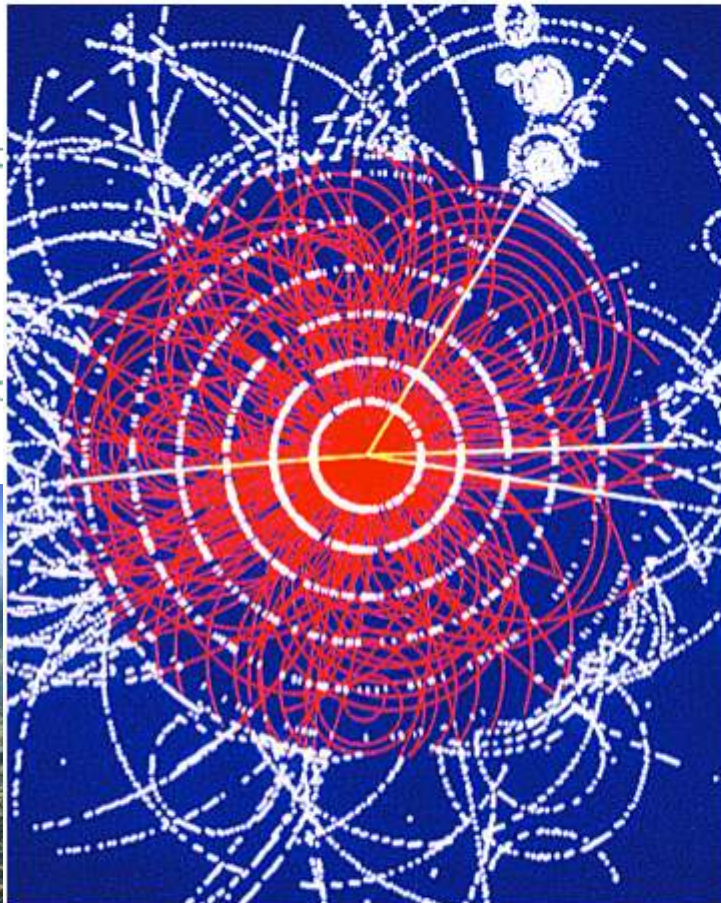
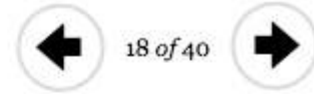
stud... Teilchenphysik... t?

- Direk

THE CANDIDATES

The Higgs Boson

By Jeffrey Kluger | Monday, Nov. 26, 2012



SSPL/GETTY IMAGES

Simulation of a Higgs-Boson decaying into four muons, CERN, 1990.

What do you think?

Should The Higgs Boson be TIME's Person of the Year 2012?

Definitely No Way

VOTE

men

Take a moment to thank this little particle for all the work it does, because without it, you'd be just inchoate energy without so much as a bit of mass. What's more, the same would be true for the entire universe. It was in the 1960s that Scottish physicist Peter Higgs first posited the existence of a particle that causes energy to make the jump to matter. But it was not until last summer that a team of researchers at Europe's Large Hadron Collider — Rolf Heuer, Joseph Incandela and Fabiola Gianotti — at last sealed the deal and in so doing finally fully confirmed Einstein's general theory of relativity. The Higgs — as particles do — immediately decayed to more-fundamental particles, but the scientists would surely be happy to collect any honors or awards in its stead.



Teilchenphysik – wie

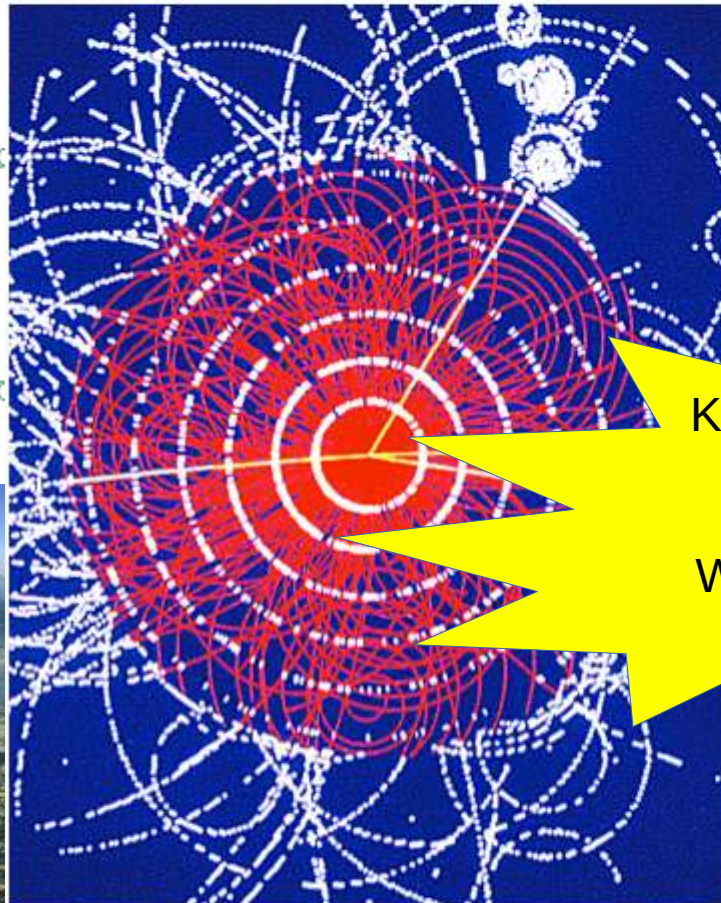
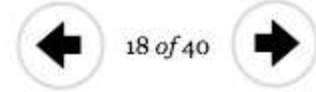
studiert man Teilchenphysik?

- Direk

THE CANDIDATES

The Higgs Boson

By Jeffrey Kluger | Monday, Nov. 26, 2012



What do you think?

Should The Higgs Boson be TIME's Person of the Year 2012?

Definitely No Way

VOTE

men

Kleinere Experimente,
Indirekte Suche:

Wichtige Alternativen!



Simulation of a Higgs-Boson decaying into four muons, CERN, 1990.

SSPL/GETTY IMAGES

...d the existence of a particle that takes energy to make the jump to matter. But it was not until last summer that a team of researchers at Europe's Large Hadron Collider — Rolf Heuer, Joseph Incandela and Fabiola Gianotti — at last sealed the deal and in so doing finally fully confirmed Einstein's general theory of relativity. The Higgs — as particles do — immediately decayed to more-fundamental particles, but the scientists would surely be happy to collect any honors or awards in its stead.



Kleinere Experimente der Teilchenphysik (aber sehr präzise!) KATRIN (Karlsruhe) - Neutrinomassen



Kleinere Experimente der Teilchenphysik (aber sehr präzise!) KATRIN (Karlsruhe) - Neutrinomassen



Kleinere Experimente der Teilchenphysik (aber sehr präzise!) Myon g-2 – bei Chicago



Kleinere Experimente der Teilchenphysik (aber sehr präzise!) Myon g-2 – bei Chicago



Kleinere Experimente der Teilchenphysik
(aber sehr präzise!)
Myon g-2 – bei Chicago



Kleinere Experimente der Teilchenphysik (aber sehr präzise!) Myon g-2 – bei Chicago



Kleinere Experimente der Teilchenphysik (aber sehr präzise!) Myon g-2 – bei Chicago



Kleinere Experimente der Teilchenphysik
(aber sehr präzise!)
Myon g-2 – bei Chicago

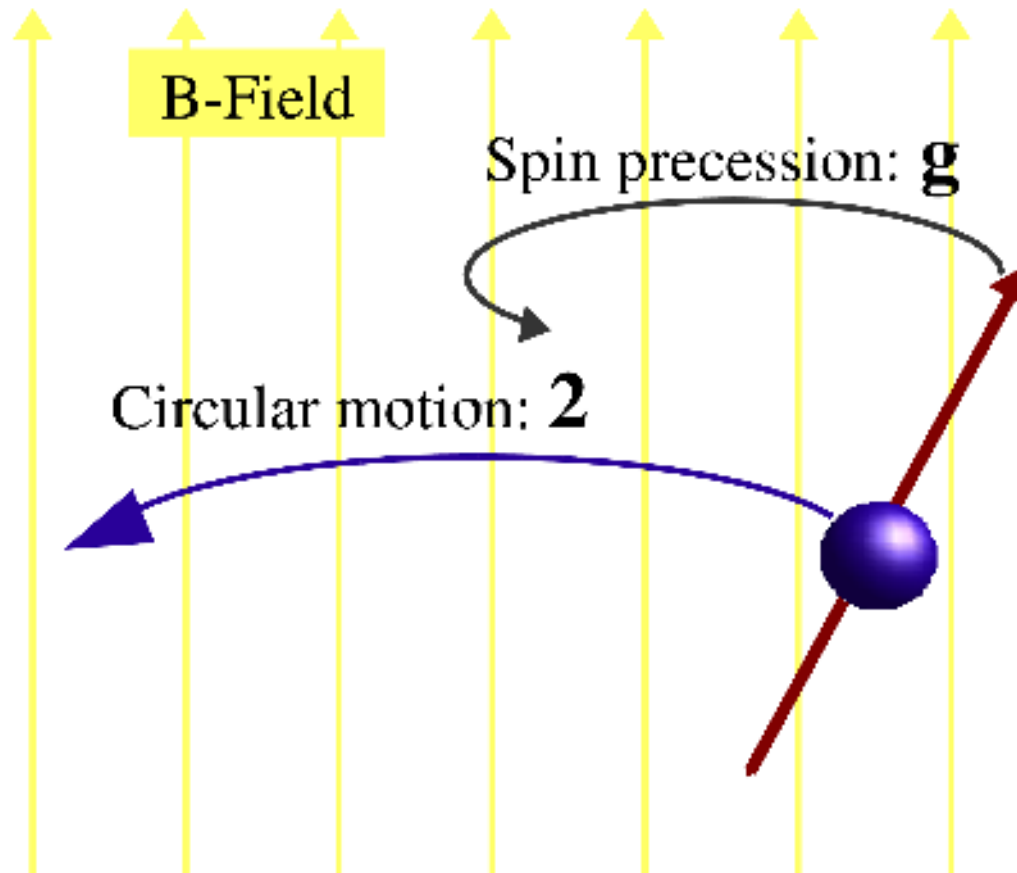
Heutiger Stand:

Experiment in Halle,

ist in Betrieb!

Wozu das ganze?

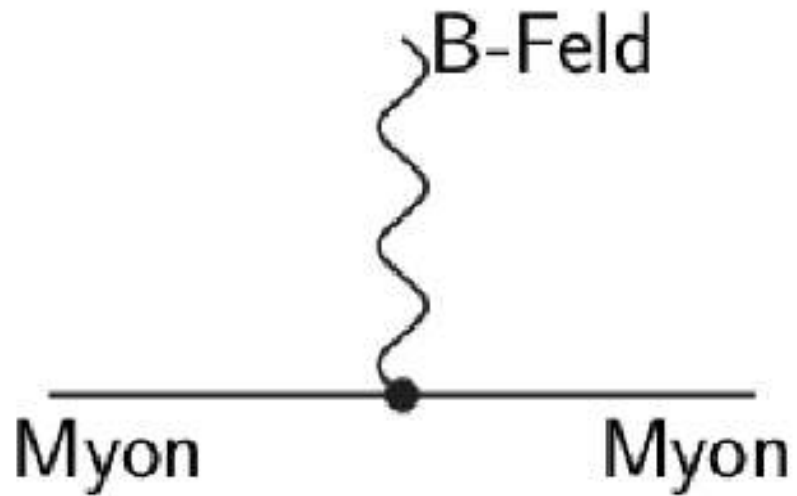
Ziel: Messung magnetisches Moment des Myons ($g-2$)



Theorie dazu

- 1928: Dirac

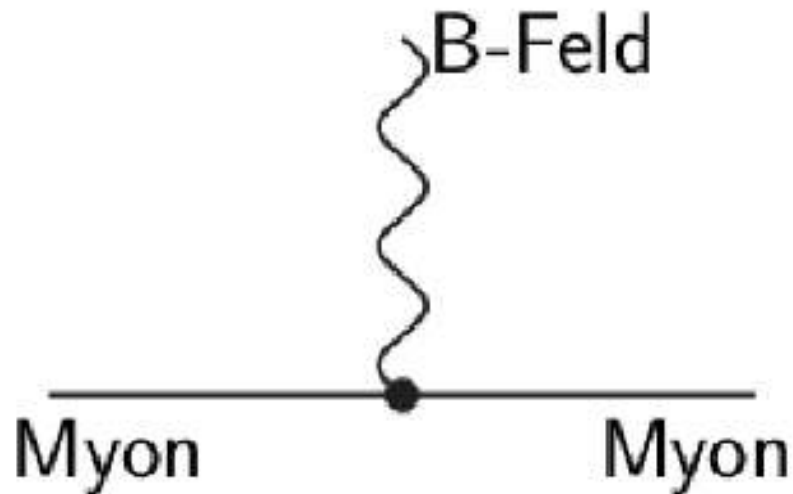
$g=2$



Theorie dazu

- 1928: Dirac

$g=2$



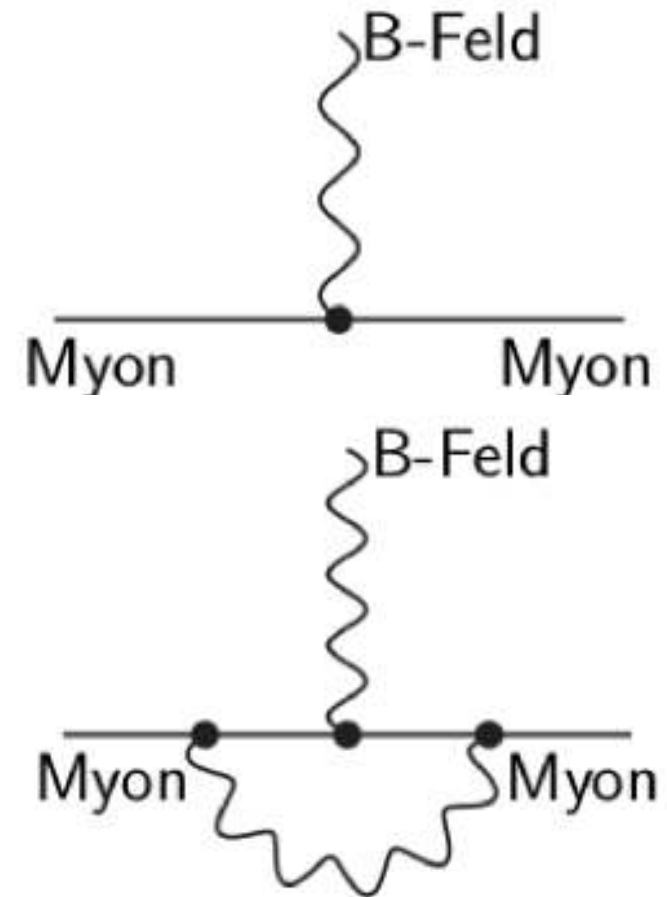
zunächst **experimentell bestätigt** →
Nobelpreis

- Aber dann genauer gemessen:
 $(g-2)/2=0.001\dots$



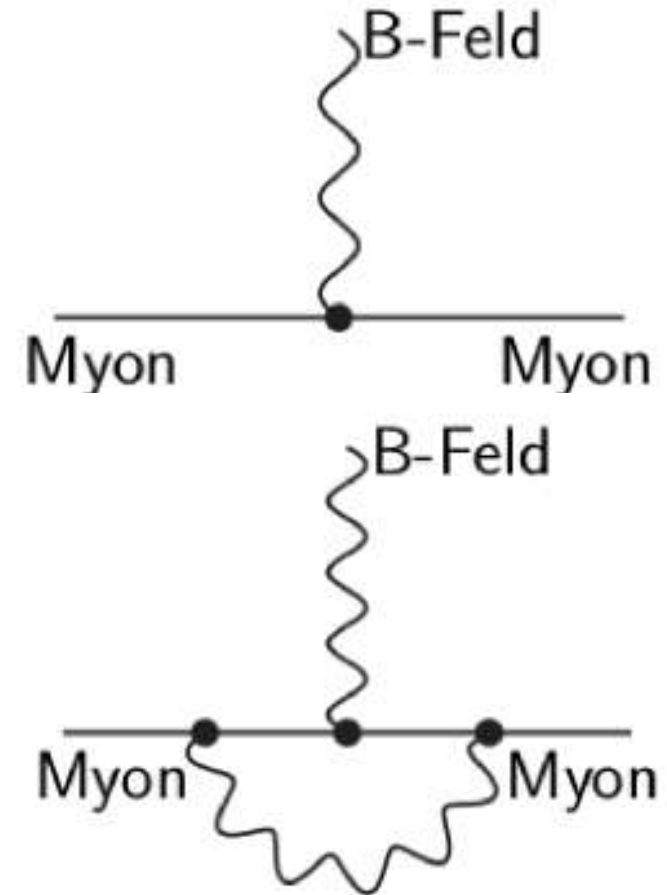
Theorie dazu

- 1948: Schwinger →
erste Berechnung
von Quantenfluktuation



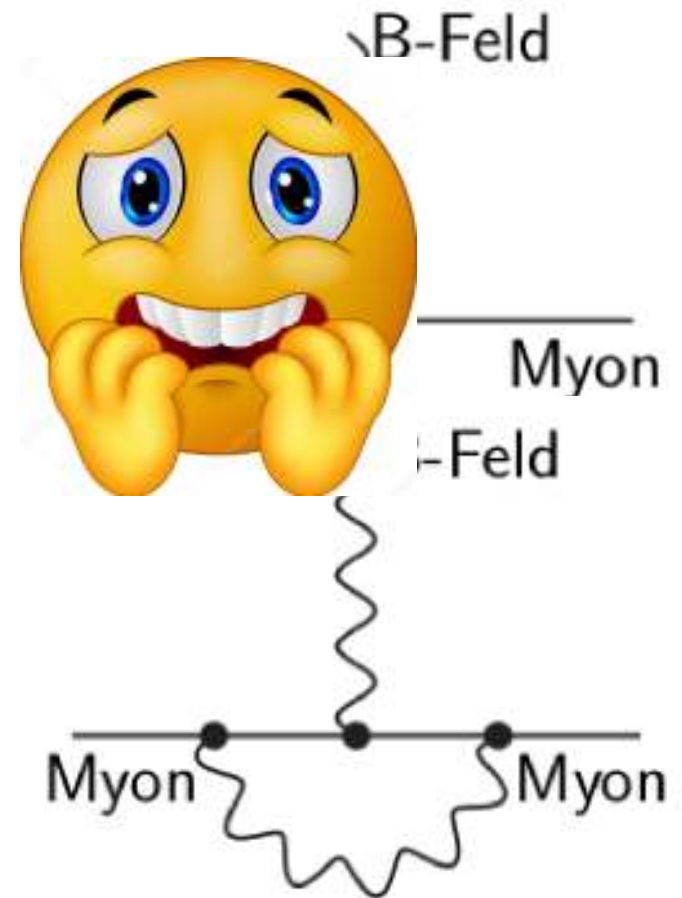
Theorie dazu

- 1948: Schwinger →
experimentell bestätigt →
Nobelpreis! (zus. mit Feynman)



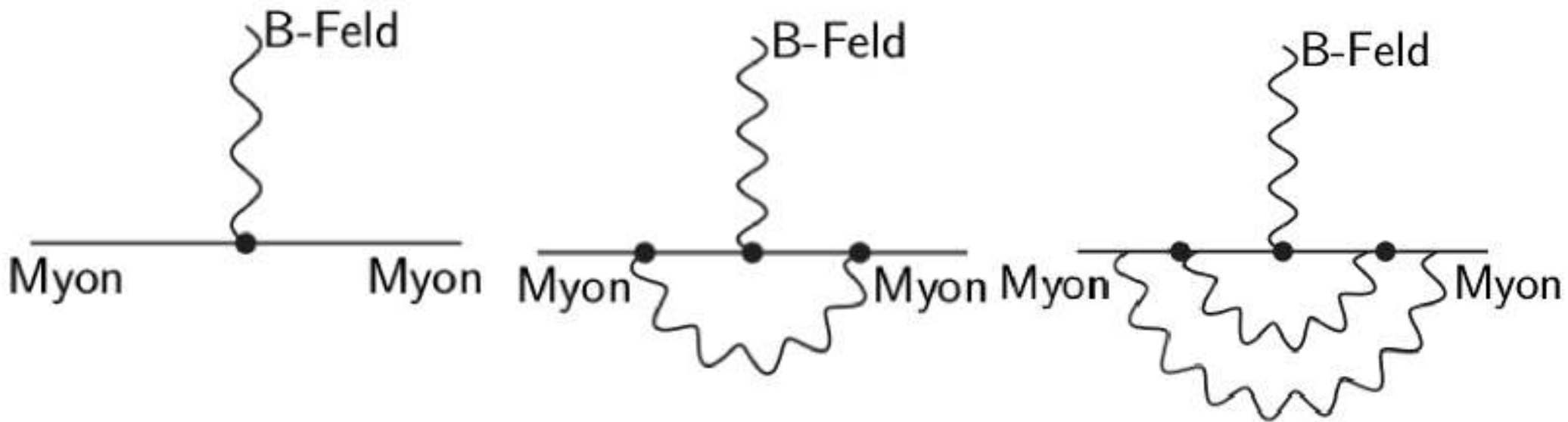
Theorie dazu

- 1948: Schwinger →
aber noch genauere Messung
liefert wieder kleine Abweichung



Theorie dazu

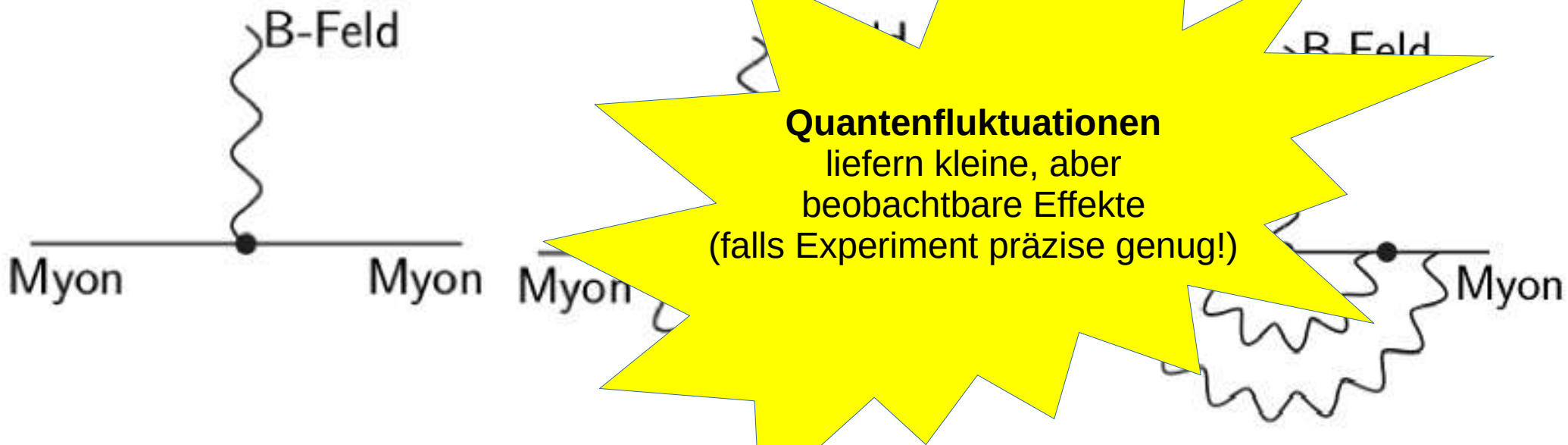
- 1948 – heute: viele weitere Photon-“Diagramme“



- $(g-2)/2 = 0.0011658471\dots$
- **Bestätigt in weiteren Experimenten vor 2001 !**

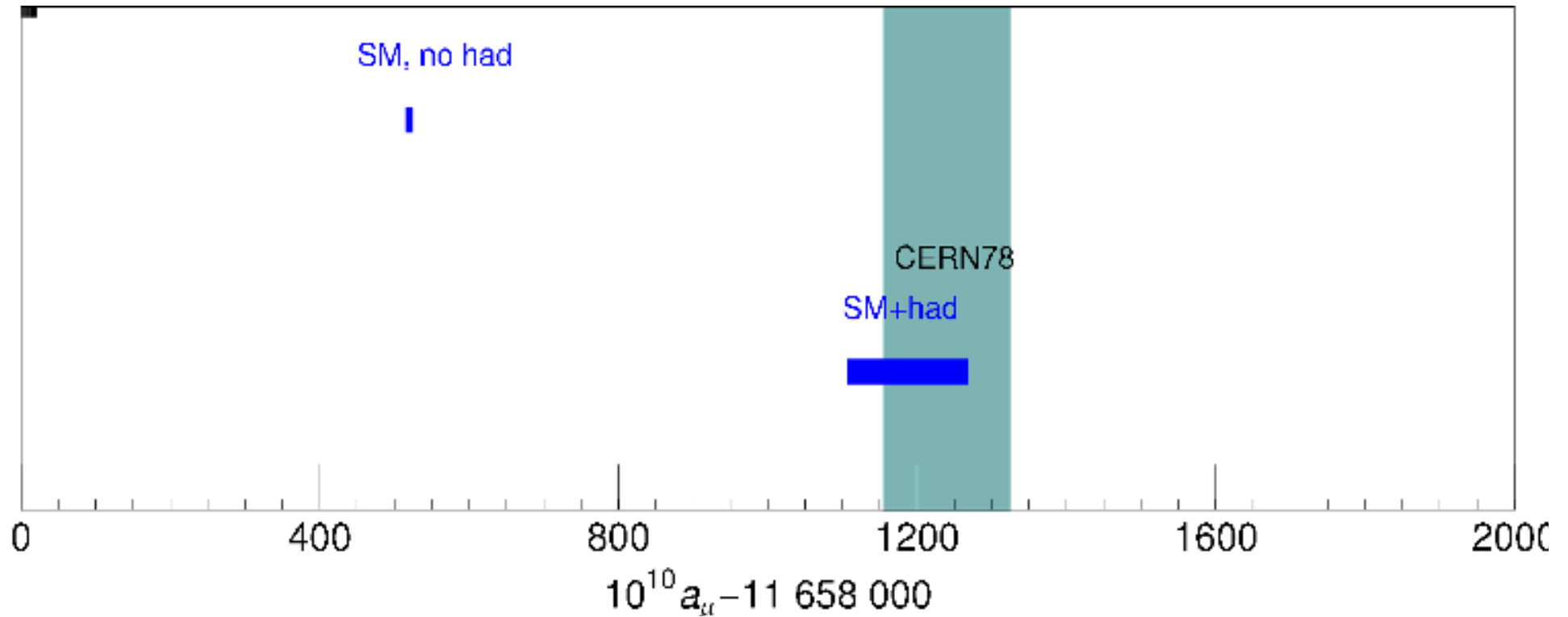
Theorie dazu

- 1948 – heute: viele weitere Photon-“Diagramme“

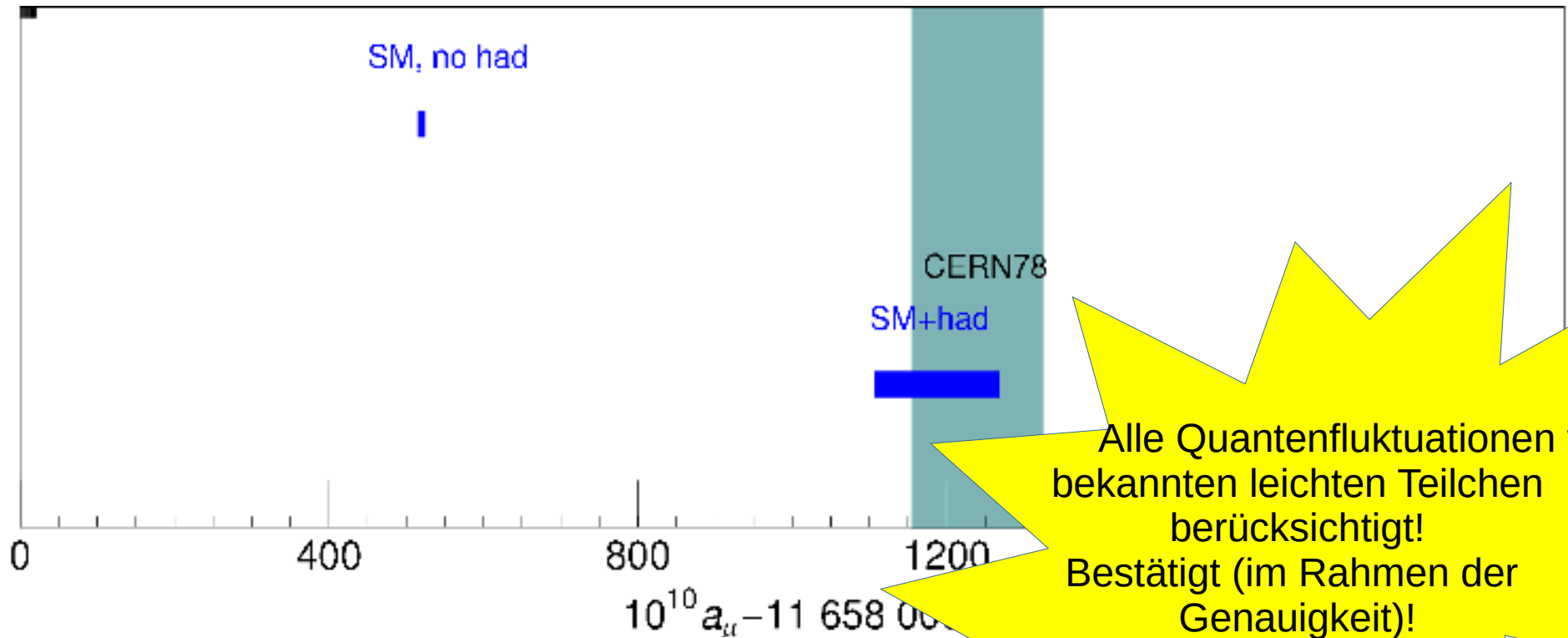


- $(g-2)/2 = 0.0011658471\dots$
- **Bestätigt in weiteren Experimenten vor 2001 !**

Theorie und Experiment vor 2001

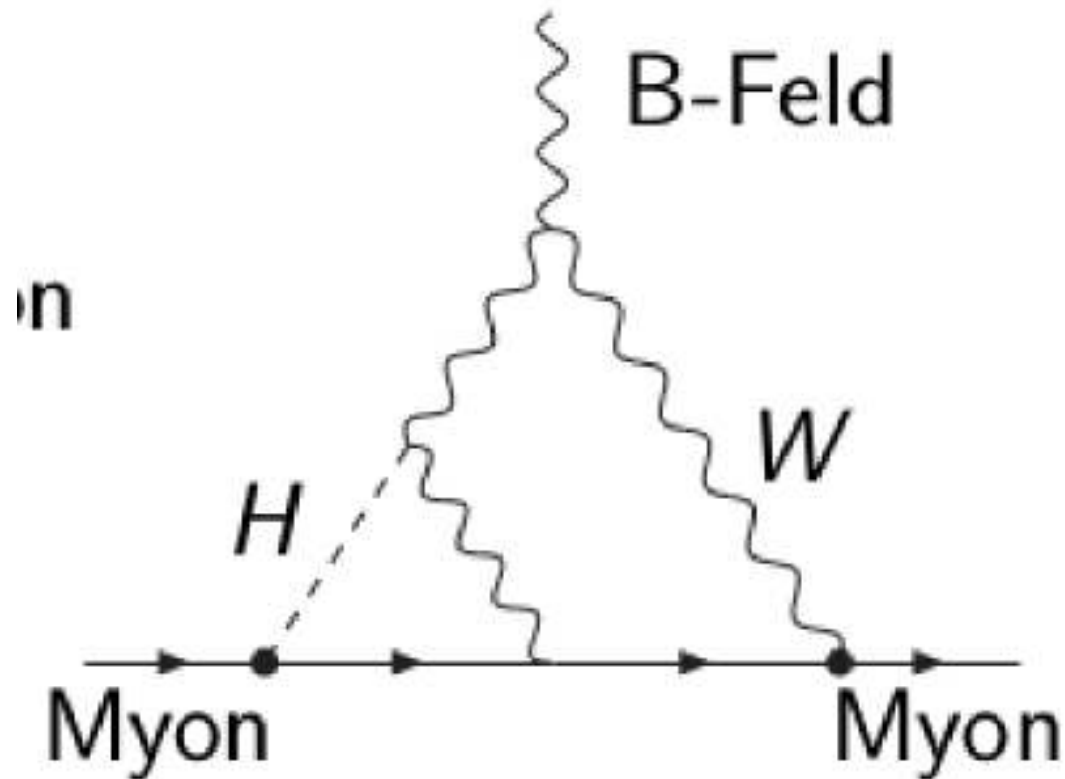


Theorie und Experiment vor 2001



Noch mehr Theorie

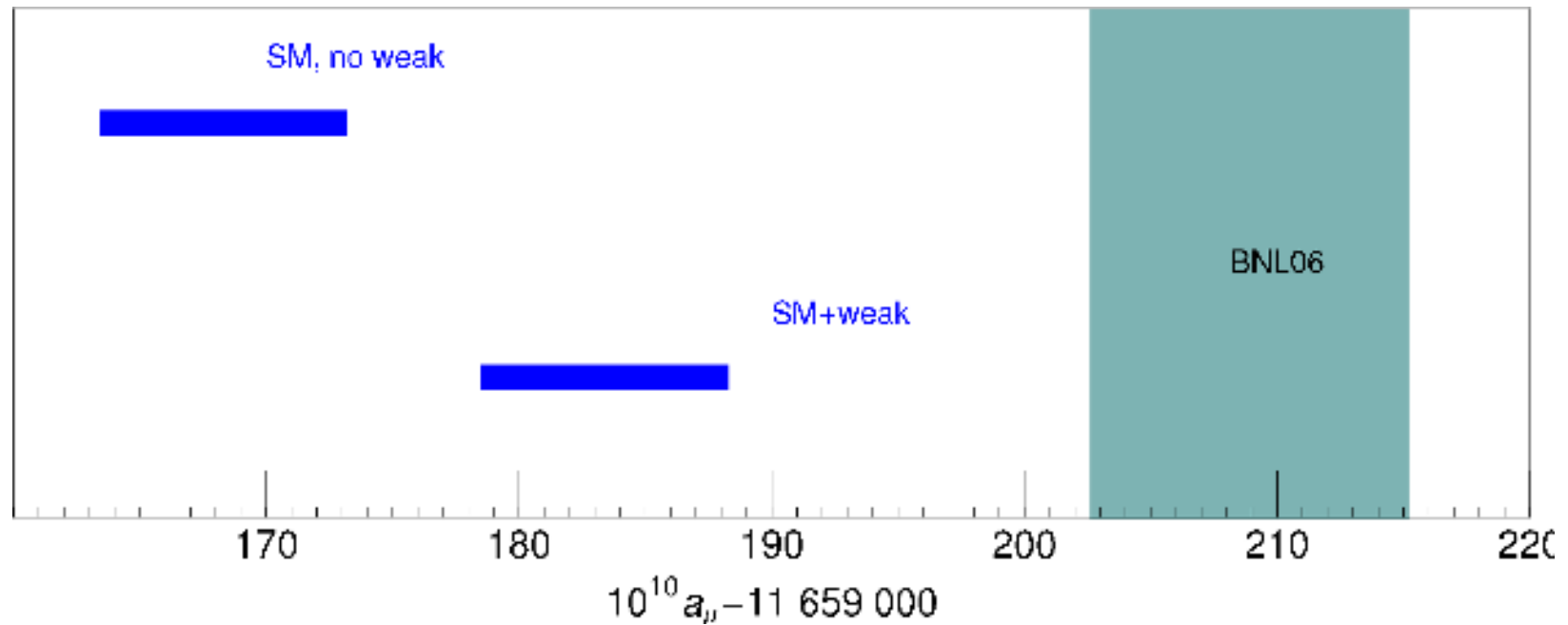
Auch sehr schwere Teilchen in
Quantenfluktuationen berücksichtigen!



= ... + 0.000 000 001 536 (Dresden)

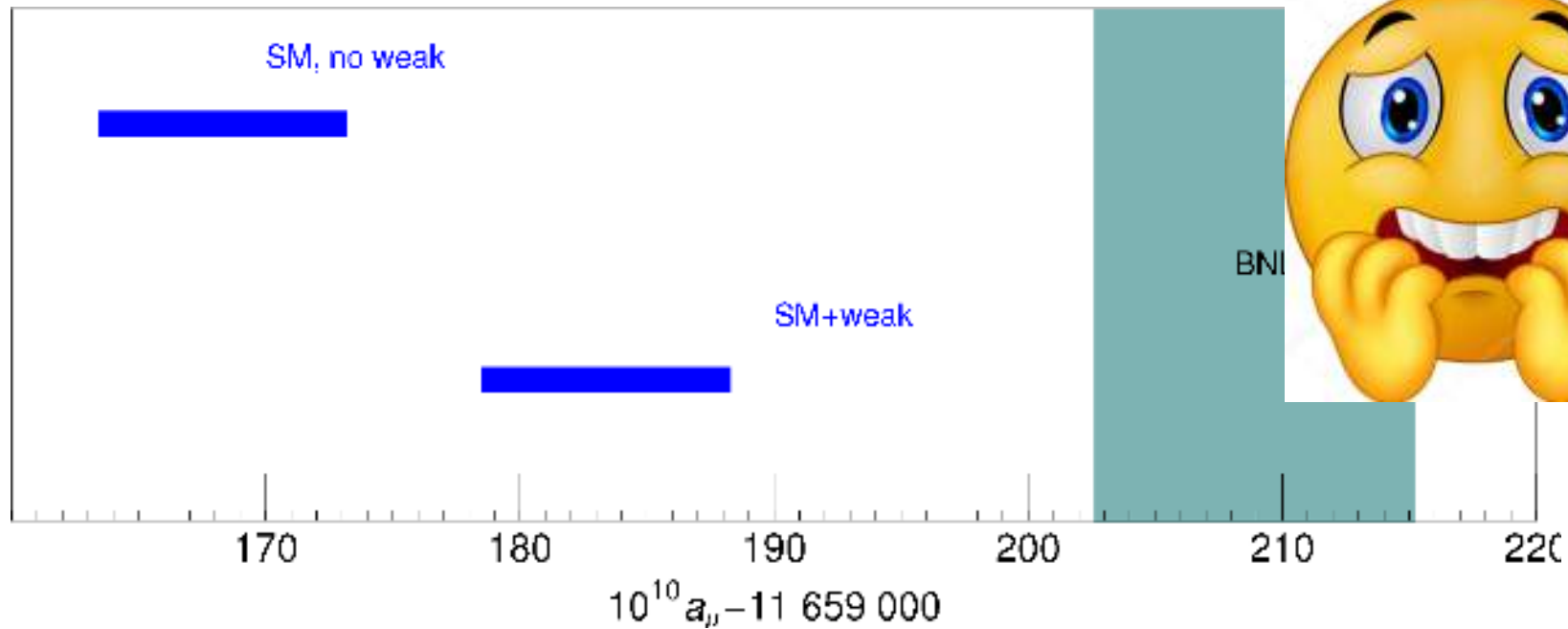
Theorie und Experiment nach 2006

(viel genauer gemessen, sollte schwere Fluktuationen nachweisen)



Theorie und Experiment nach 2006

(viel genauer gemessen, sollte schwere Fluktuationen nachweisen)

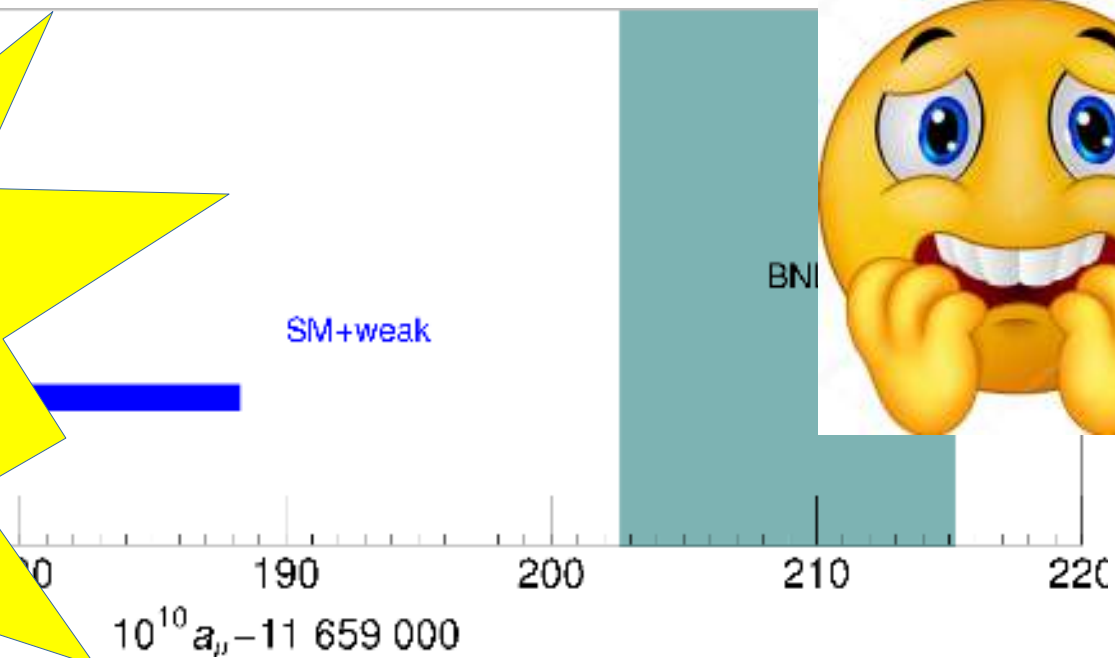


Theorie und Experiment nach 2006 (viel genauer gemessen)

Beiträge der schweren
Teilchen noch
nicht bestätigt!

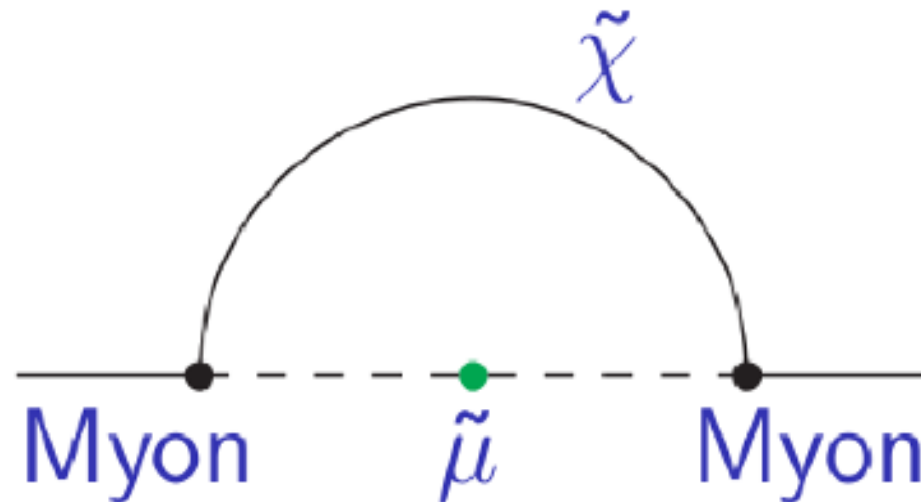
1. Muss genauer messen!
(jetzt bei Chicago gemacht!)

2. Gibt es vielleicht noch weitere
schwere Teilchen in
Quantenfluktuationen?



Noch mehr Theorie

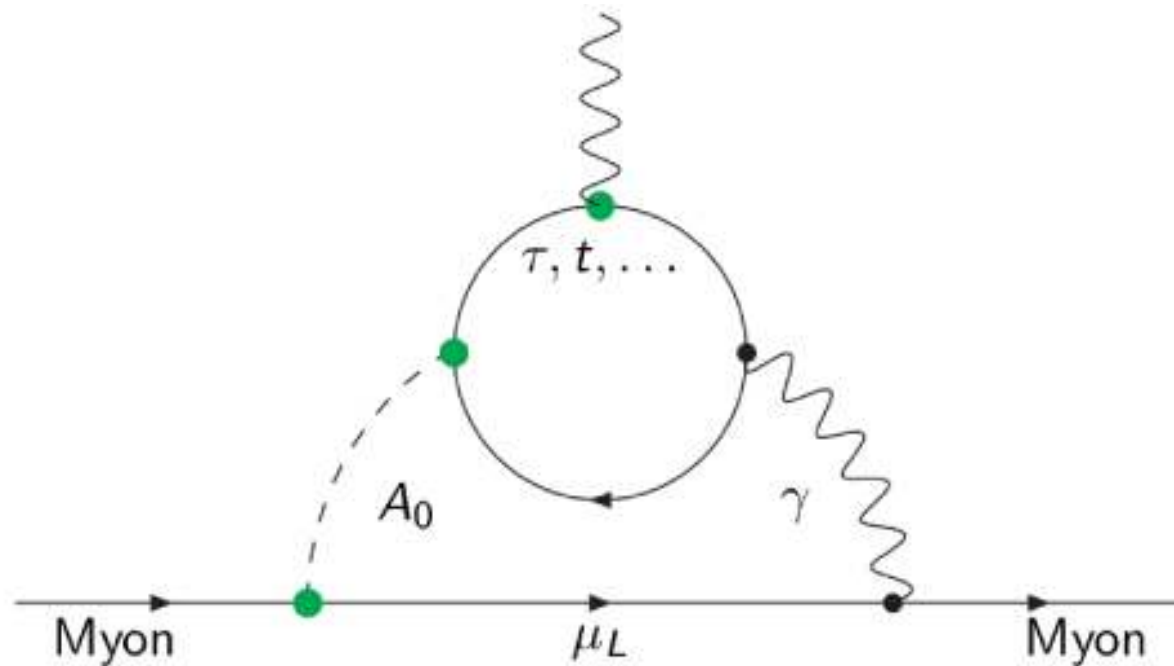
Falls es supersymmetrische Teilchen gibt:



= 0.000 000 003 0 ? (Dresden)

Noch mehr Theorie

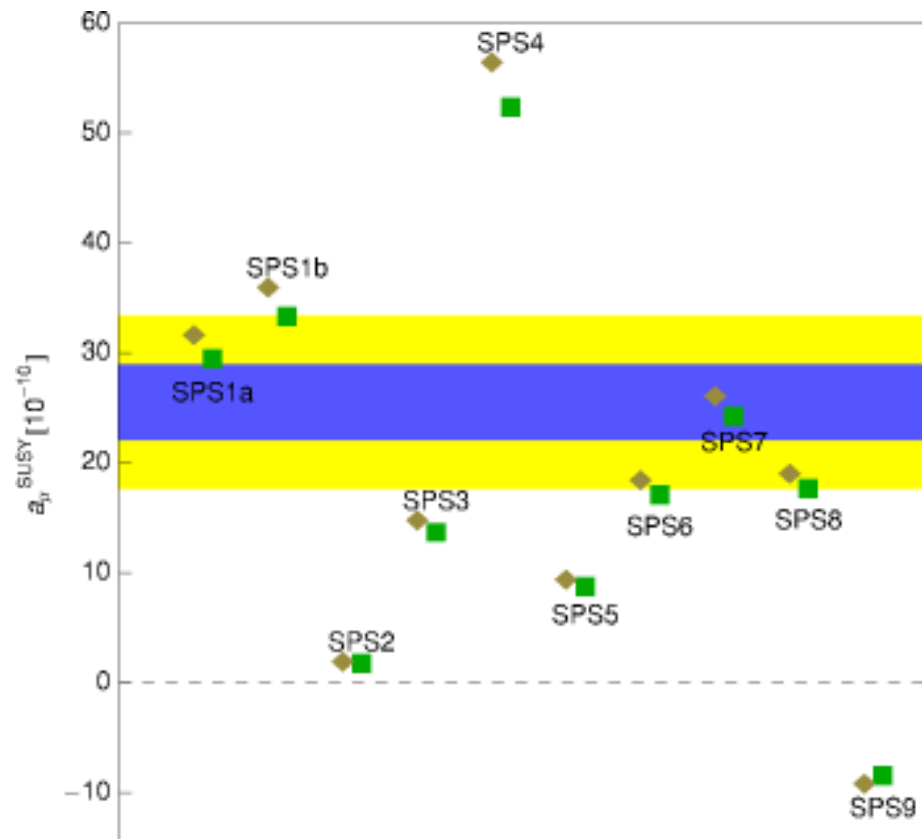
Falls es mehrere Higgsteilchen gibt:



= 0.000 000 003 0 ? (Dresden)

Noch mehr Theorie

Jede Hypothese für neue Teilchen liefert Vorhersage für $(g-2)$:

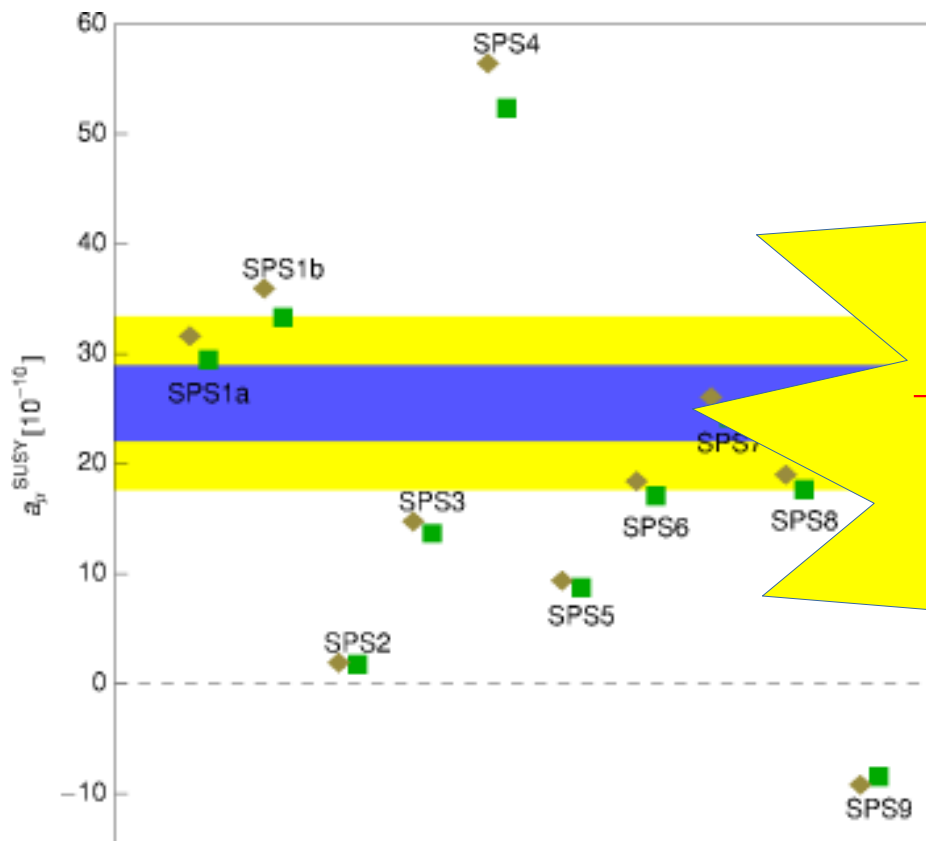


Geplant mit
neuem
Experiment

Noch mehr Theorie

Auch sehr schwere Teilchen in
Quantenfluktuationen berücksichtigen:

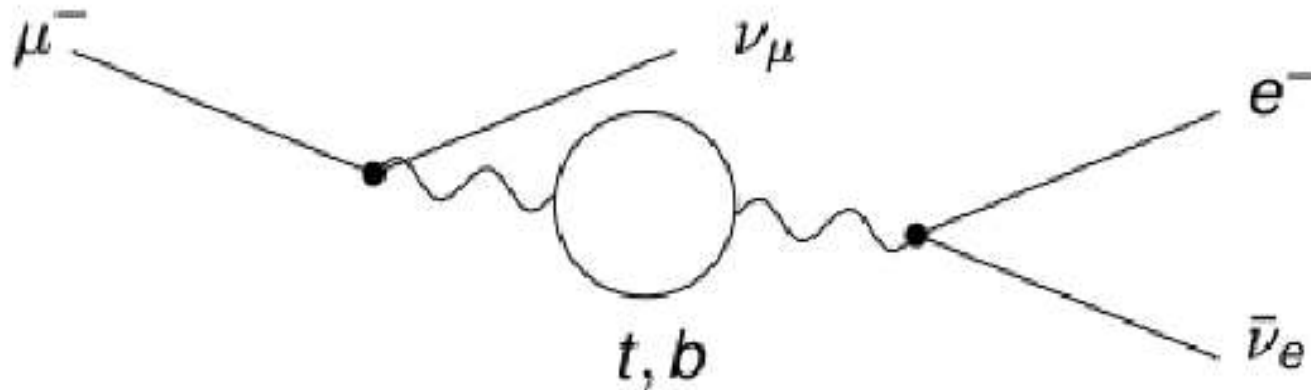
Hypothesen:



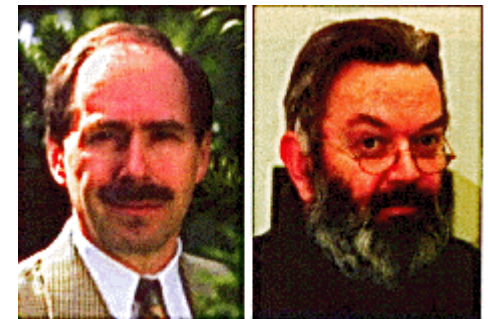
Man kann Hypothesen für neue
Teilchen bestätigen oder
Ausschließen !

→ **Hoffnung, neue Physik
zu finden!**

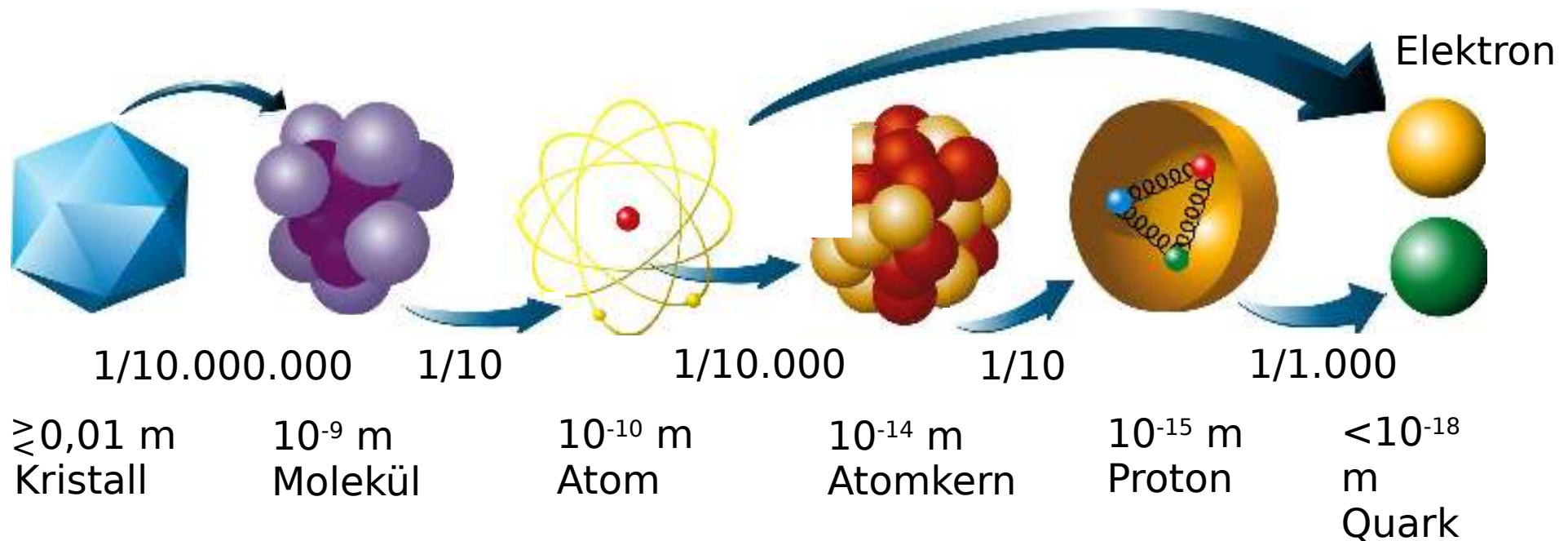
Vergleich: schonmal Teilchen durch Quantenfluktuation „entdeckt“



- Myon-Zerfall mit Quantenfluktuation aus Top-Quark
- Masse des Top-Quark vorhergesagt → Nobelpreis t Hooft, Veltman
- Danach direkt produziert → kein Nobelpreis



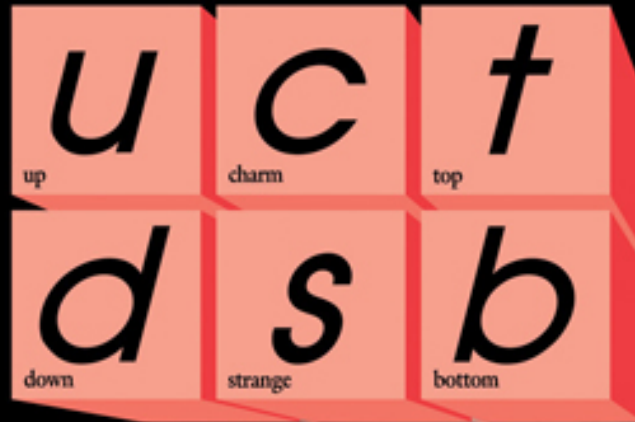
Zusammenfassung: wir wissen...



- Materie aus unteilbaren Elementarteilchen aufgebaut
- Es gibt nur 4 elementare Wechselwirkungen

Heutiger Stand

Quarks



Forces

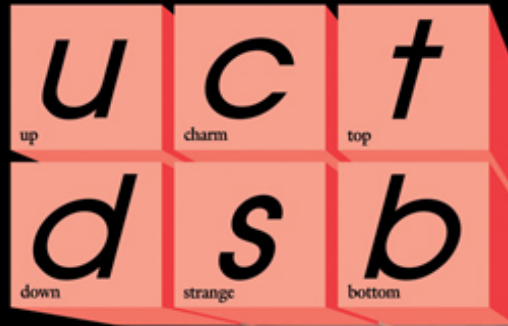


Leptons

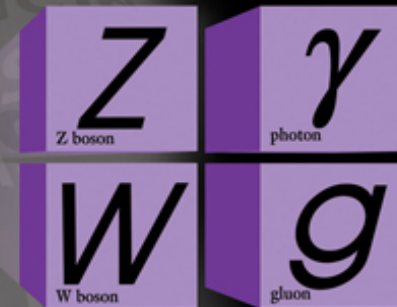
Offene Fragen

Warum 3 Familien?

Quarks



Forces



Leptons

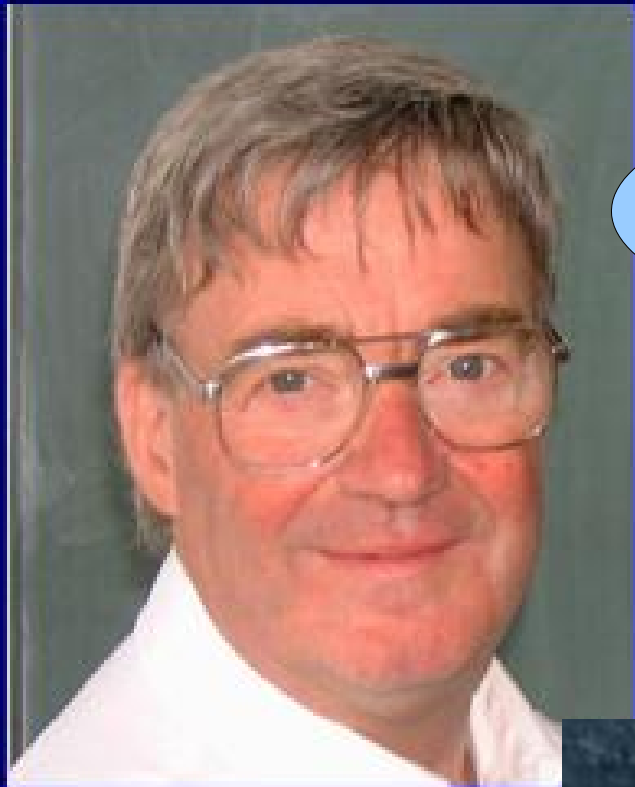


Warum 4er Struktur?

Warum Quarks und Leptonen?

Warum 3 Kräfte? Woher Higgs?

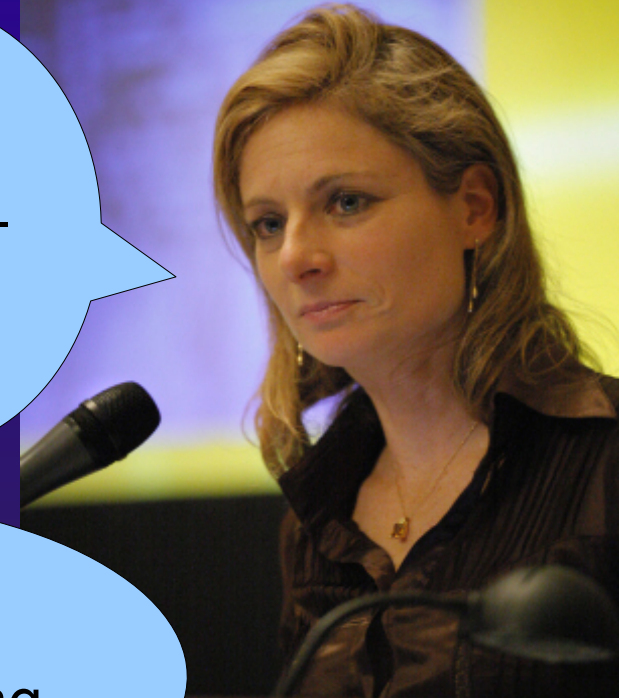
Es gibt viele Möglichkeiten



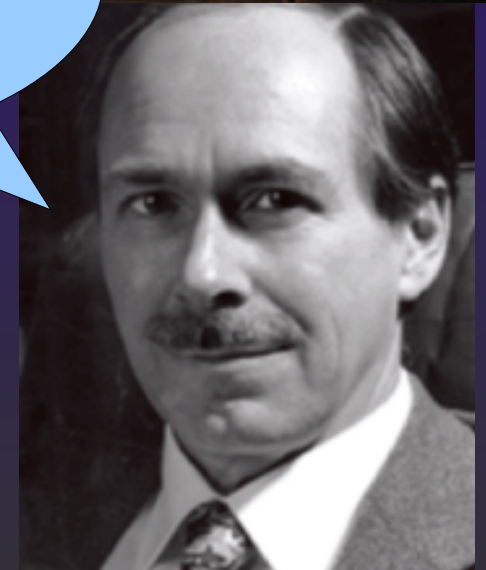
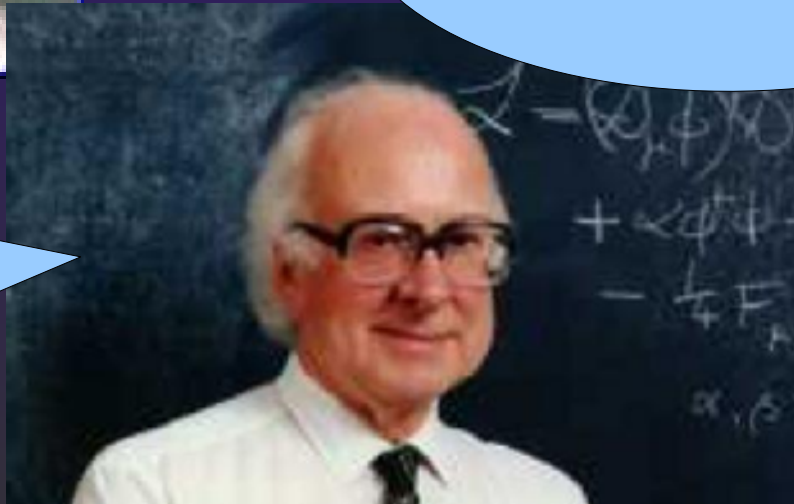
Super-
symmetrie

5te
Dimen-
sion

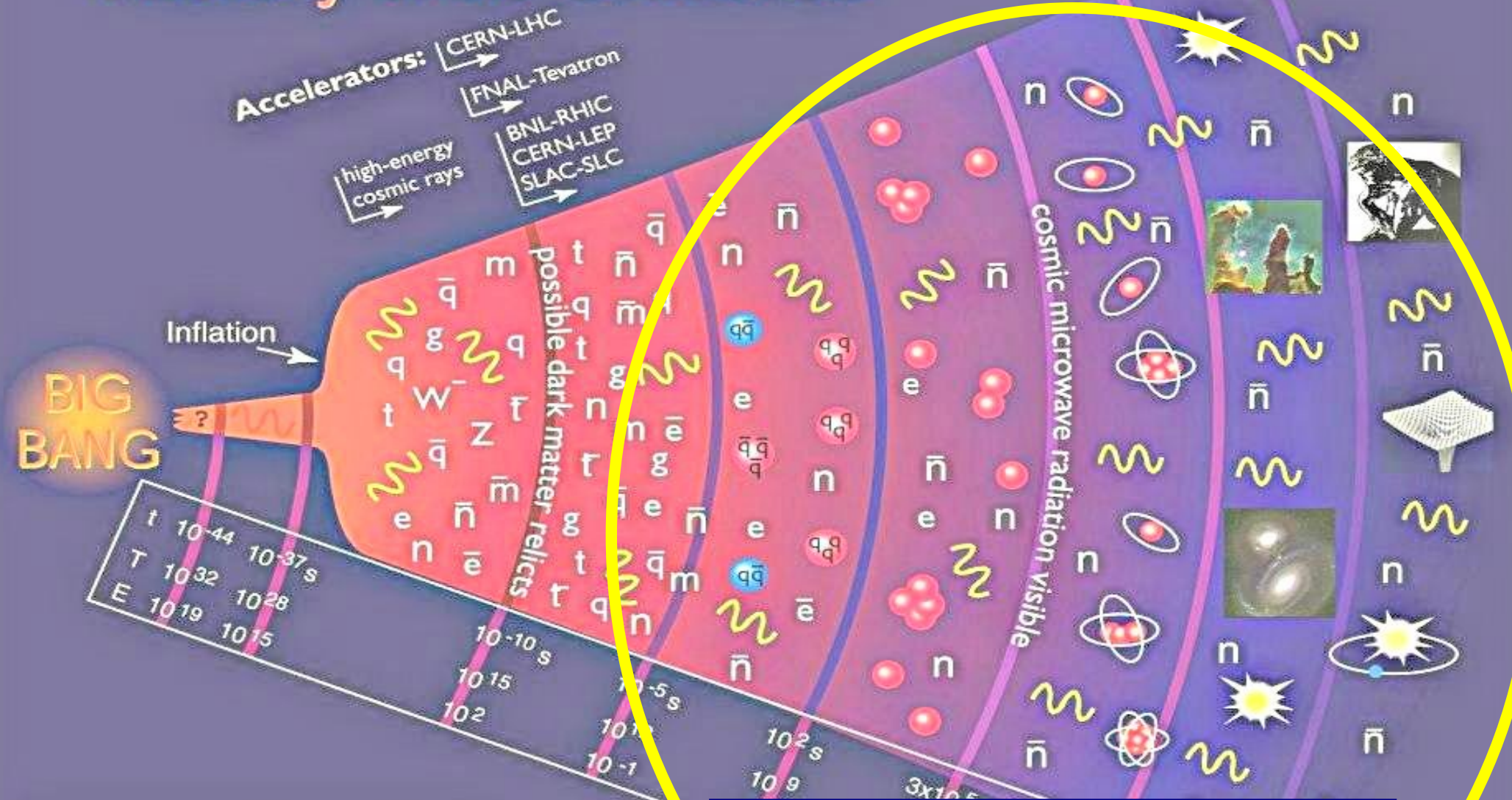
Neuartige
Wechselwirkung



Ein
Higgs-
boson



History of the Universe

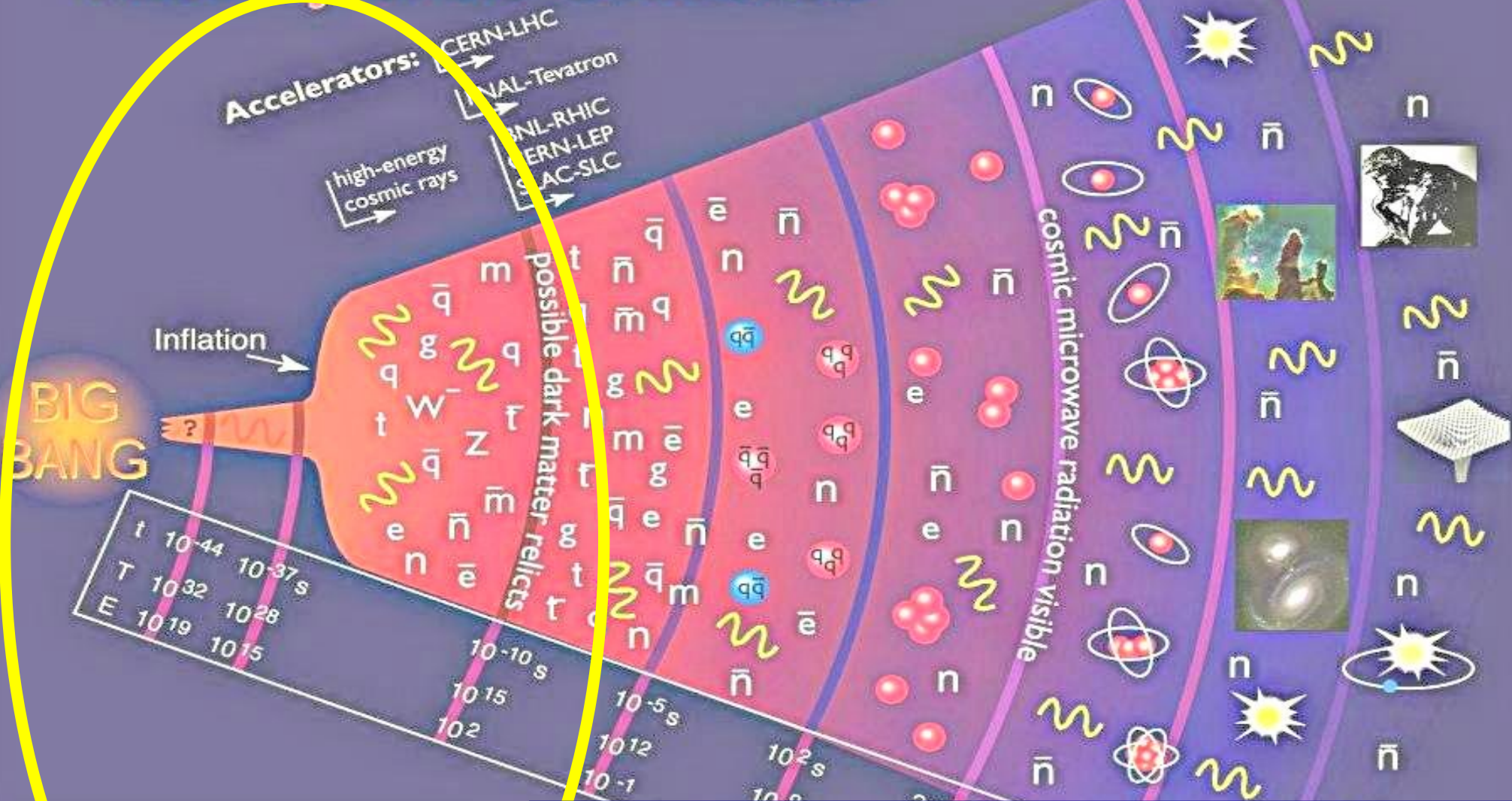


Key:

W, Z bosons	photon
q quark	meson
g gluon	baryon
e electron	ion
μ muon	atom
τ tau	star
ν neutrino	galaxy
	black hole

**Heutiger Stand:
Wir wissen, was hier
passiert ist...**

History of the Universe



**Vorgänge noch nicht verstanden
Woher kommt die dunkle Materie?
Warum gibt es so wenig Antimaterie?**

Offene Fragen → es müßte „neue Physik“ geben

- **Neue Physik = neuartige Teilchen, neuartige Gesetze, die die bekannten ergänzen/ihnen zugrunde liegen**
(Supersymmetrie, Große Vereinigung, Stringtheorie...)
- Warum Higgs, warum 4 elementare Kräfte, Quarks und Leptonen, ... ?
- Was ist Dunkle Materie?
- Woher sichtbare Materie, warum keine Antimaterie?
- **Experimente wie (g-2) erlauben, neue Physik durch Quantenfluktuationen „sichtbar“ zu machen – möglicherweise schon bald!**

