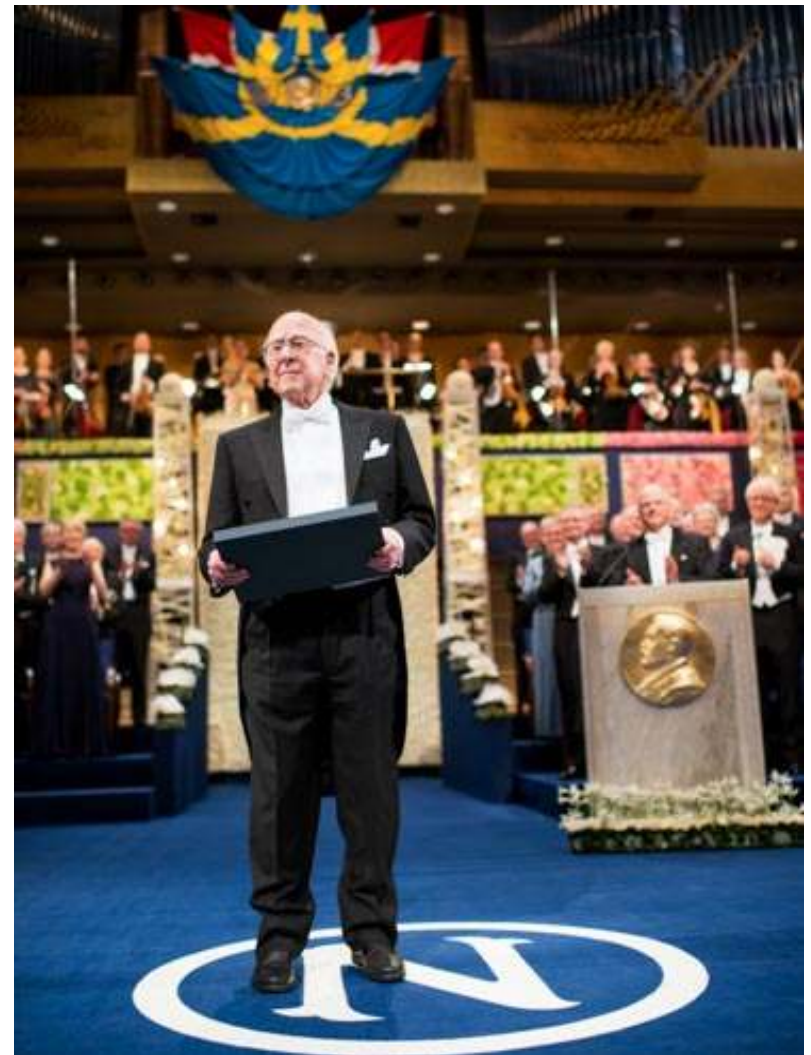


Was bedeutet die Entdeckung des Higgs-Teilchens?

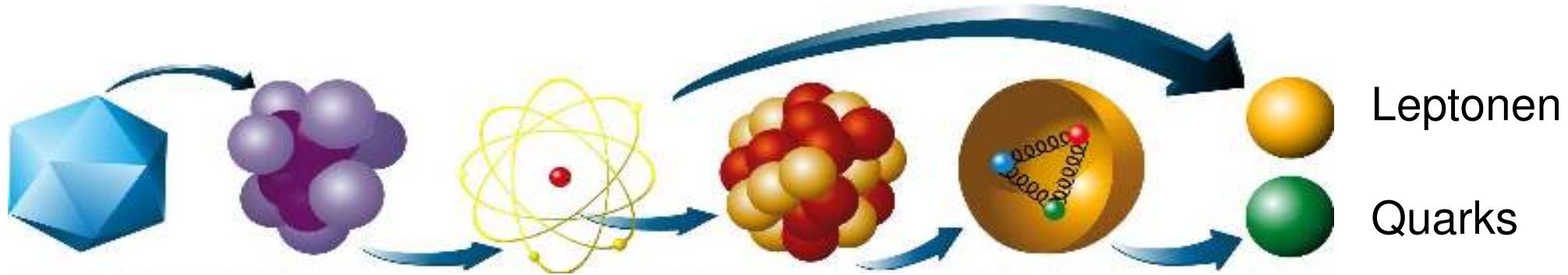


Was bedeutet die Entdeckung des Higgs-Teilchens?

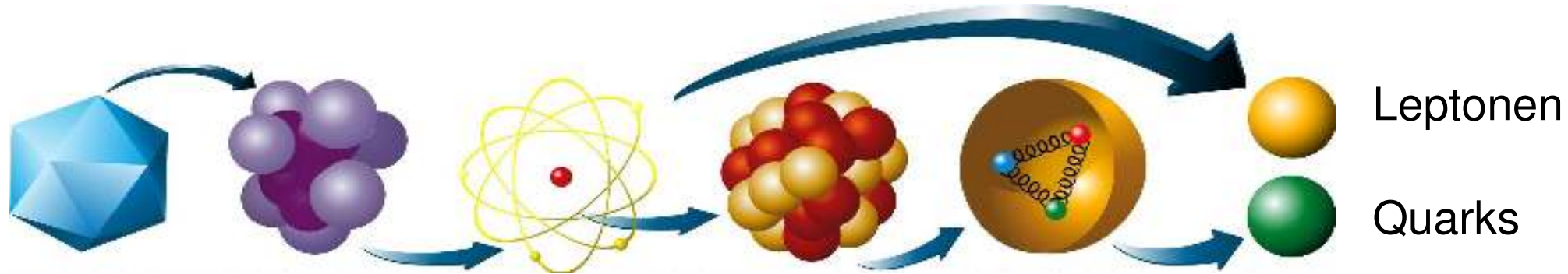


Teilchenphysik: Erkenntnisse und eine Frage

Erkenntnis: kleinste Bausteine



Erkenntnis: kleinste Bausteine



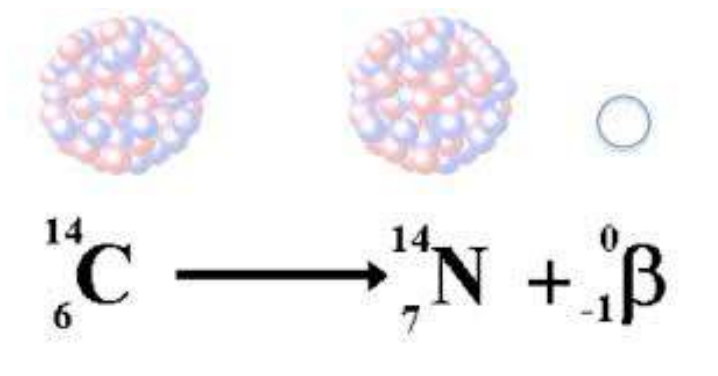
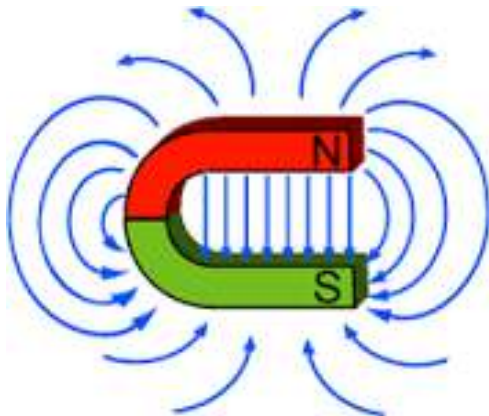
Und einfachste Wechselwirkungen!

Elektromagnetisch

schwach

stark

Schwerkraft



Rolle der schwachen Wechselwirkung



Die langjährige Frage:

Warum: schwache Wechselwirkung so schwach?

Oder:

Warum: Photon masselos, aber
W-Teilchen massiv?

Die langjährige Frage:

Warum: schwache Wechselwirkung so schwach?

Oder:

Warum: Photon masselos, aber
W-Teilchen massiv?

Antwort schon lange vermutet – wird durch Higgs-
Teilchen bestätigt!

1. Ziel des Vortrags: Diese Antwort erklären!

Vorüberlegungen: Medium/Äther/Vakuum?
Supraleitung?

Medium? Oder Vakuum?

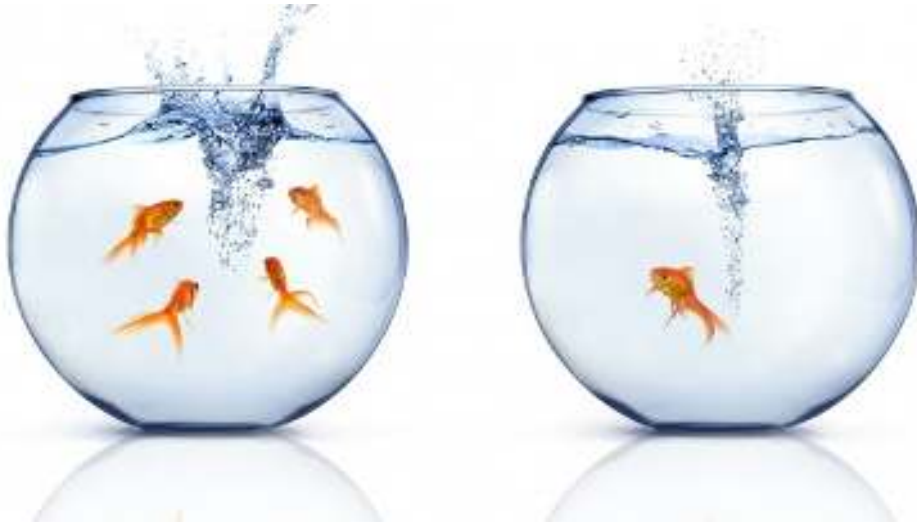
Medium? Oder Vakuum?



Medium? Oder Vakuum?

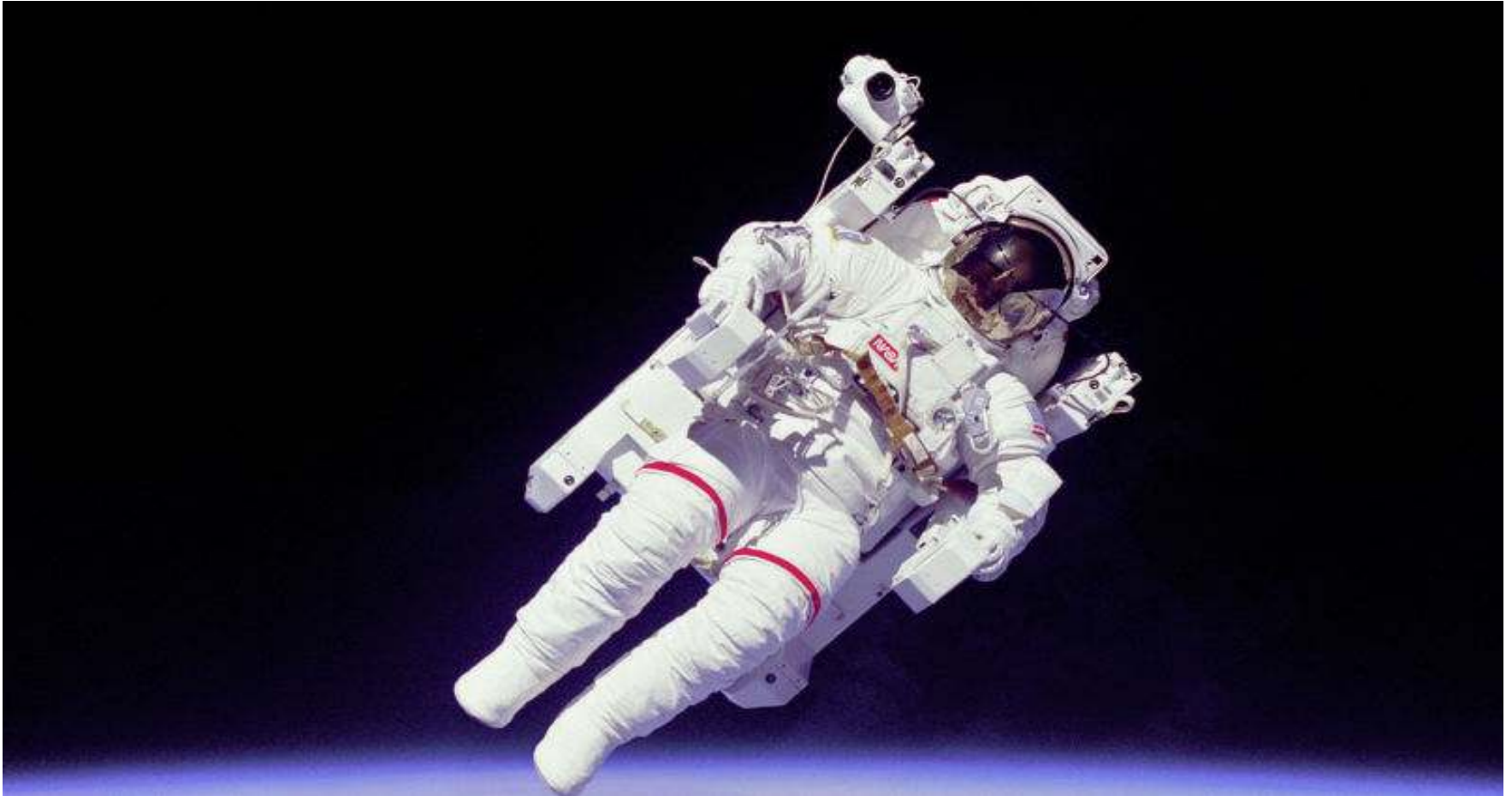


Medium? Oder Vakuum?



... So wird Wasser bemerkbar ...

Medium? Oder Vakuum?



Noch tiefere Frage über Universum:

Ist das Vakuum gefüllt mit Medium?

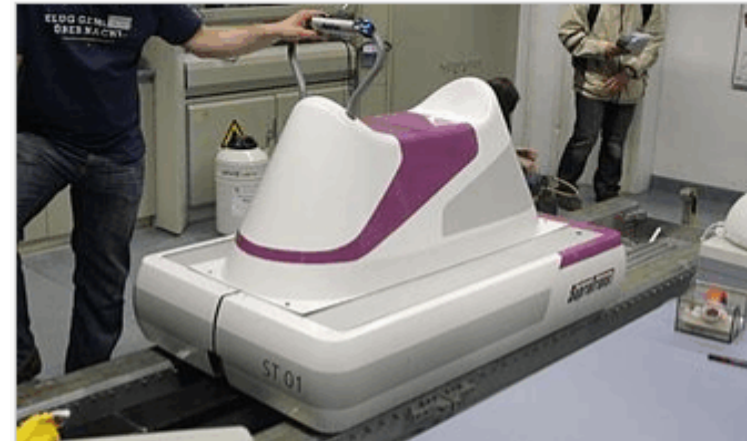
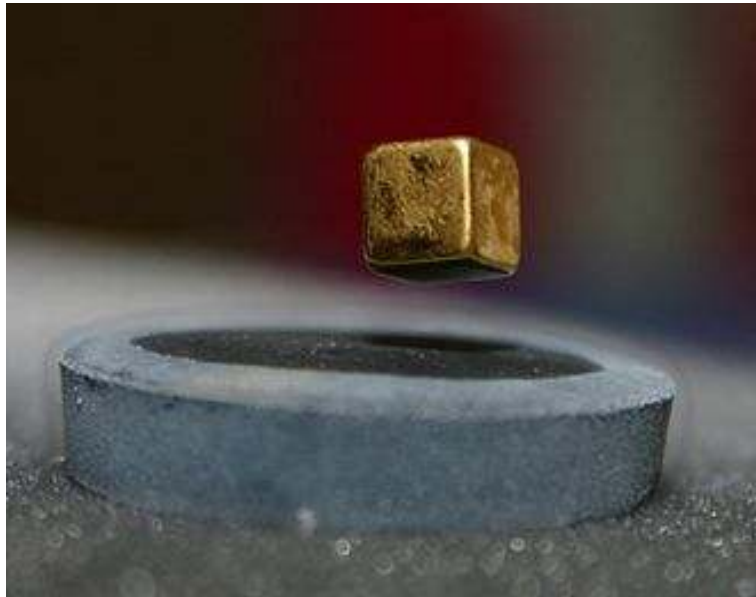
(Substanz? Äther? “Feld?”)

Test: Können wir Medium anregen?

Oder Medium abschalten/verlassen?

Antwort schon lange vermutet - wird durch Higgs-Teilchen bestätigt!

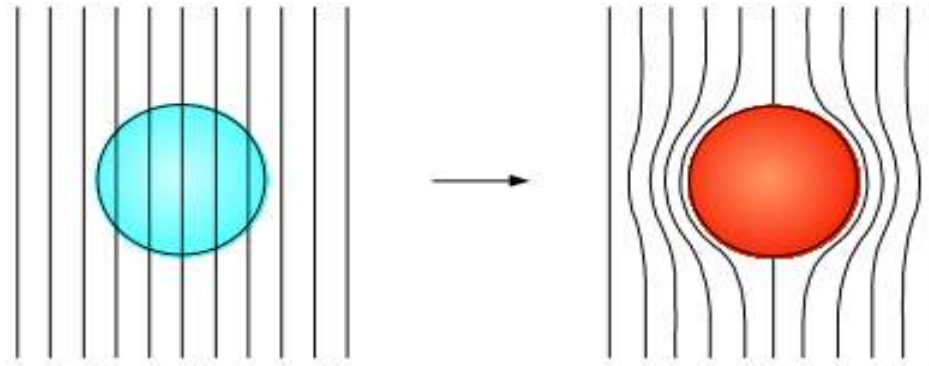
Supraleiter



Magnetschwebbahn
SupraTrans auf Supraleiterbasis
des IFW Dresden

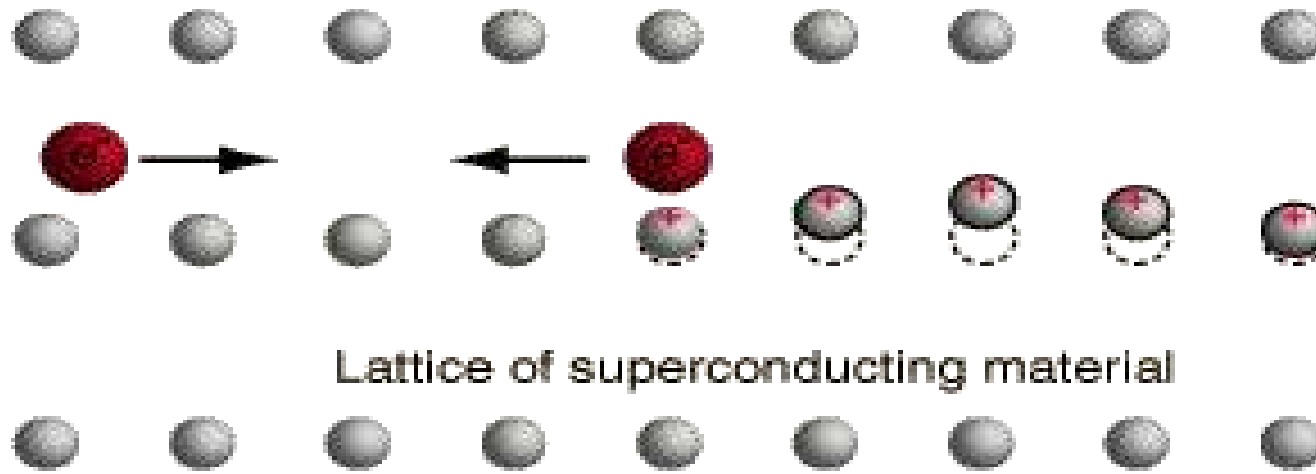
Meißner-Ochsenfeld Effekt:
Kein Magnetfeld im Supraleiter!

Im Supraleiter



- **Elektromagnetische Kraft ist schwach! Photon ist massiv!**
- Magnet-Feldlinien werden verdrängt
- Und zwar von einem “Feld” aus “Cooperpaaren”
- Die “Cooperpaare” bestehen aus Elektronen und können sich bei tiefen Temperaturen bilden

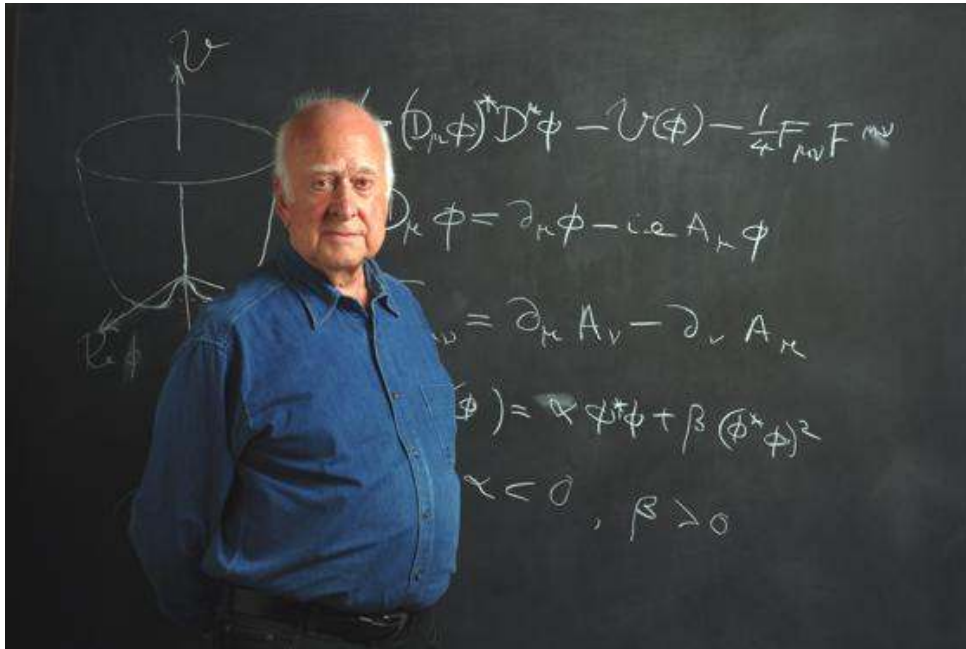
Im Supraleiter: Cooperpaar-Feld verstanden



Aber eigentlich nur wichtig: Supraleitung funktioniert, weil es ein Cooperpaar-Feld gibt

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{j} \\ \vec{\nabla} \times \vec{j} &= -n_S \frac{q^2}{m} \vec{B}\end{aligned}$$

Nun: die Idee von Higgs

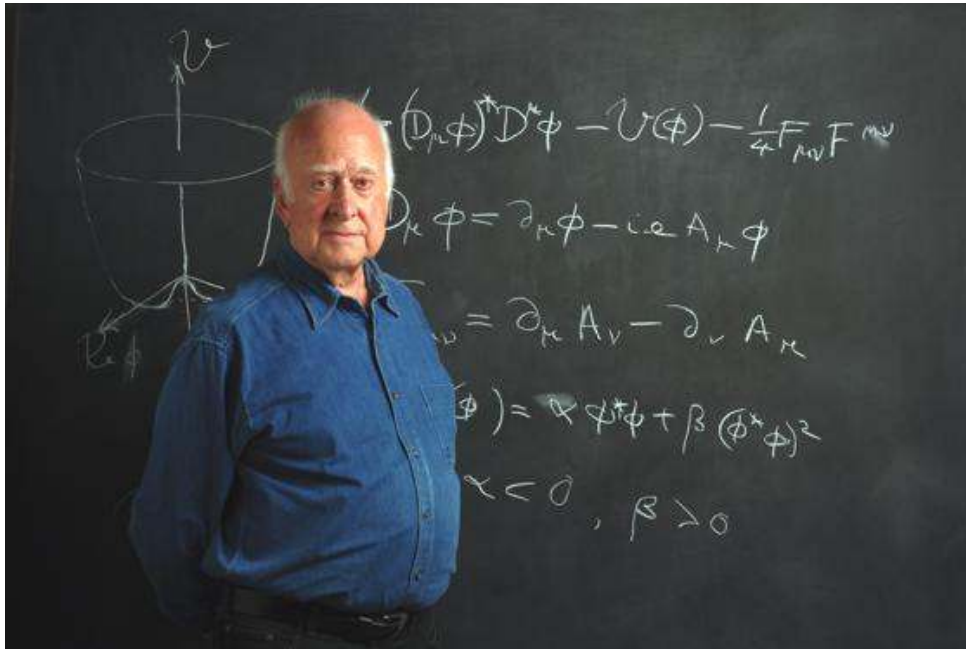


1964:
Higgs-Mechanismus
prinzipiell:

Auch das
Vakuum kann mit so
einem Feld gefüllt sein!

Dann würden sich im
Vakuum keine Feldlinien
ausbreiten, und eine
Wechselwirkung wäre
schwach

*Problem damals: ist das möglich
trotz Relativitätstheorie? Ja!*

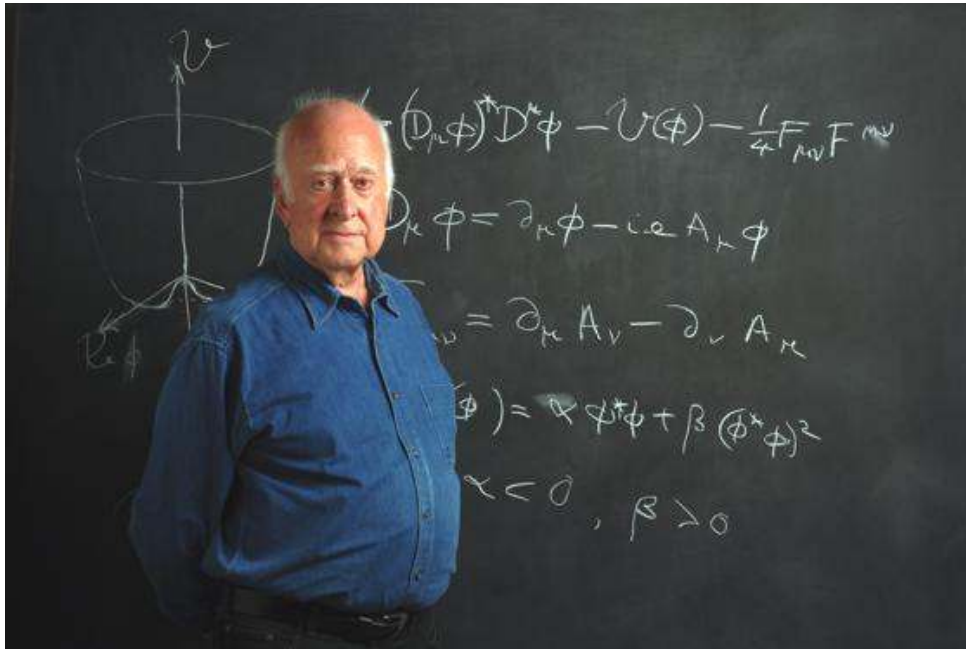


1964:
Higgs-Mechanismus
prinzipiell:

Wie würde man so ein
Feld/Medium nachweisen,
Wenn man nicht sowieso
weiß, dass es aus
Cooperpaaren besteht?

Anregen oder Abschalten!

Anregung = Higgs-Teilchen!!!



Wegen Higgs-Feld würden sich im Vakuum keine Feldlinien ausbreiten, und eine Wechselwirkung wäre Schwach



1967, Steven Weinberg: Theorie der schwachen Wechselwirkung

(Nobelpreis 1979)

Entdeckung



2012:

Higgs-Teilchen
der schwachen
Wechselwirkung
gefunden

2013: Nobelpreis
für Higgs, Englert

Was bedeutet diese Entdeckung?

Wir wissen nun:

Frage 2: Ist das Vakuum
gefüllt mit Medium?



Antwort: Ja! Universum ist
gefüllt mit “Higgs-Feld”,
ähnlich “Cooperpaar-Feld”

Nachweis: Das
Higgs-Teilchen =
Anregung wurde gefunden

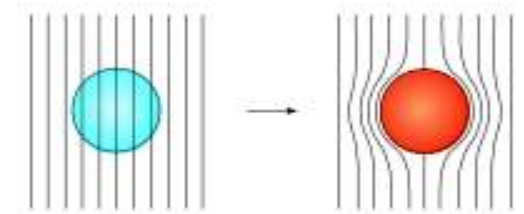


Wir wissen nun:

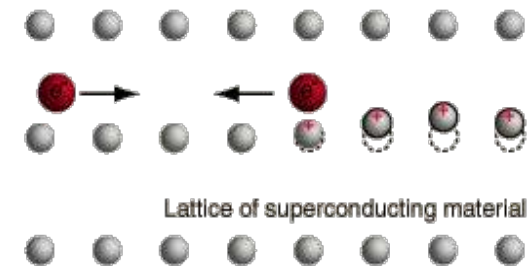
Frage 1: Warum schwache Wechselwirkung schwach? Warum W-Teilchen massiv?

Antwort: Higgs-Feld

- Feldlinien breiten sich nicht aus
- Masse der W-Teilchen wird erzeugt.

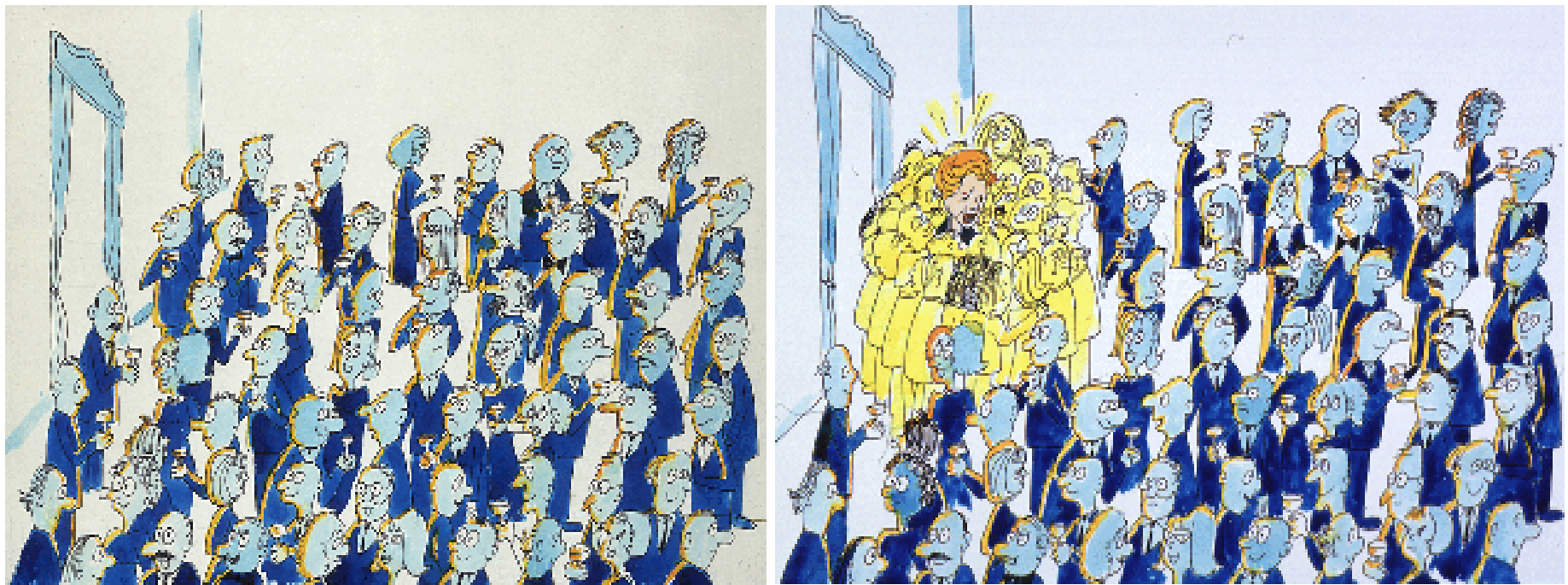


Wie Supraleiter für schwache W.W.
(aber im ganzen Universum und im
Vakuum)



Masse von W, Quarks, Leptonen

- Im Vakuum existiert ein Higgs-Kondensat
- Kopplung ans Vakuum über Higgs-Teilchen



Haben wir nun alles gelöst?

2. Ziel: Spannende Forschung, die nun möglich ist

Haben wir nun alles gelöst?

Fortschritt:

Warum- \longrightarrow
Wie-/Was-Fragen



Standardmodell



$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & -\frac{1}{4}B_{\mu\nu}B^{\mu\nu} - \frac{1}{8}\text{tr}(\mathbf{W}_{\mu\nu}\mathbf{W}^{\mu\nu}) - \frac{1}{2}\text{tr}(\mathbf{G}_{\mu\nu}\mathbf{G}^{\mu\nu}) \\
 & +(\bar{\nu}_L, \bar{e}_L)\tilde{\sigma}^\mu iD_\mu \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix} + \bar{e}_R\sigma^\mu iD_\mu e_R + \bar{\nu}_R\sigma^\mu iD_\mu \nu_R \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[(\bar{\nu}_L, \bar{e}_L)\phi M^e e_R + \bar{e}_R M^{e*}\bar{\phi} \begin{pmatrix} \nu_L \\ e_L \end{pmatrix} \right] \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[(-\bar{e}_L, \bar{\nu}_L)\phi^* M^\nu \nu_R + \bar{\nu}_R M^{\nu*}\phi^T \begin{pmatrix} -e_L \\ \nu_L \end{pmatrix} \right] \\
 & +(\bar{u}_L, \bar{d}_L)\tilde{\sigma}^\mu iD_\mu \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix} + \bar{u}_R\sigma^\mu iD_\mu u_R + \bar{d}_R\sigma^\mu iD_\mu d_R \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[(\bar{u}_L, \bar{d}_L)\phi M^d d_R + \bar{d}_R M^{d*}\bar{\phi} \begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix} \right] \\
 & -\frac{\sqrt{2}}{v} \left[(-\bar{d}_L, \bar{u}_L)\phi^* M^u u_R + \bar{u}_R M^{u*}\phi^T \begin{pmatrix} -d_L \\ u_L \end{pmatrix} \right] \\
 & +\overline{(D_\mu\phi)}D^\mu\phi - m_h^2[\bar{\phi}\phi - v^2/2]^2/v^2, \\
 & +(\text{Hermitian conjugate of some terms}).
 \end{aligned}$$

Oder 4?

Muss man messen!

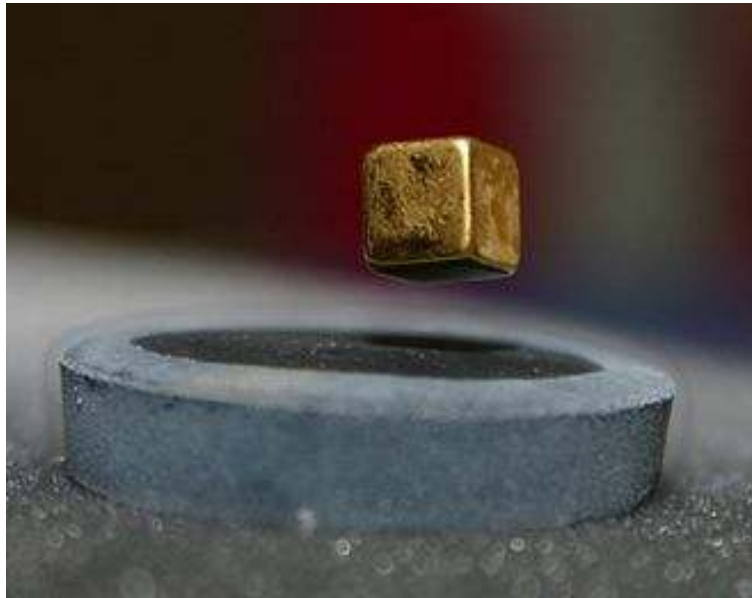


Welche Wie-/Was-Fragen?

Zwei Beispiele:

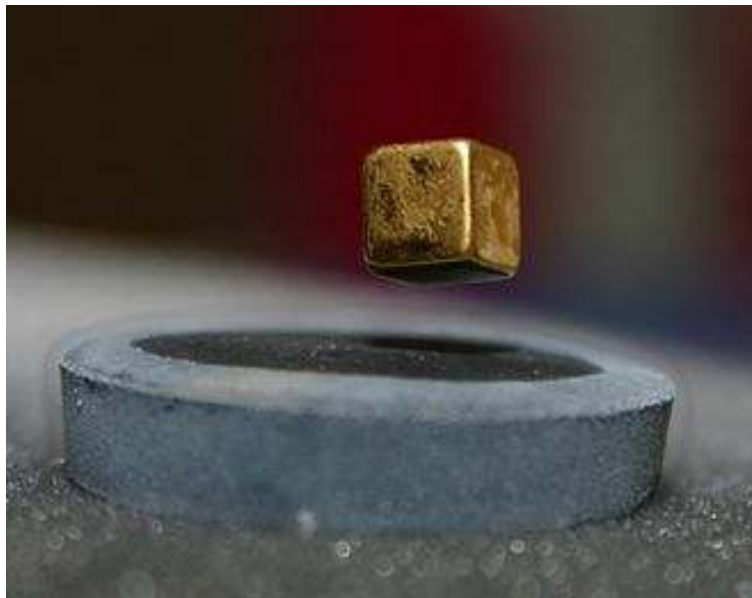
Vergangenheit und Zukunft des Universums...

1. Vergangenheit:

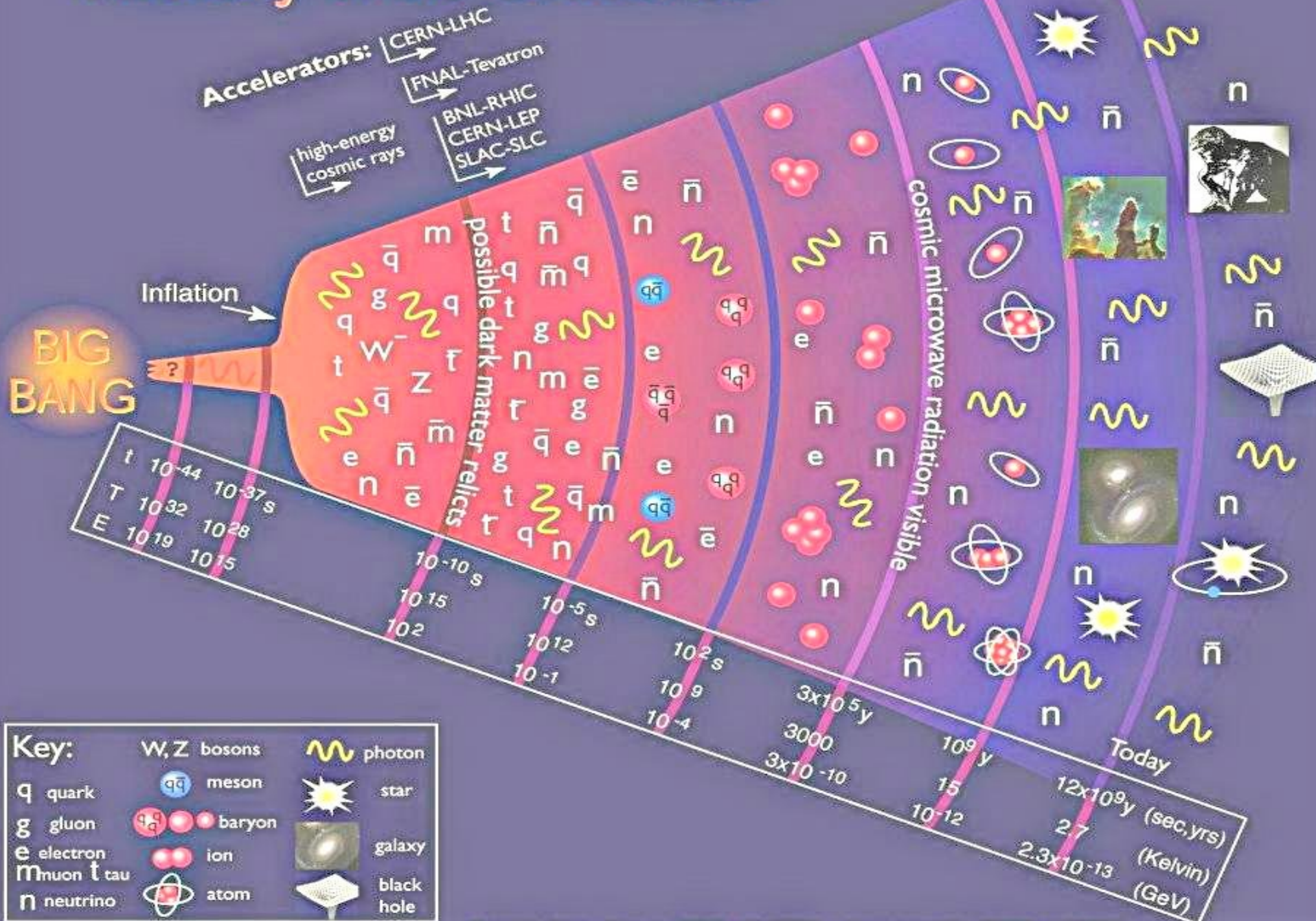


1. Vergangenheit:

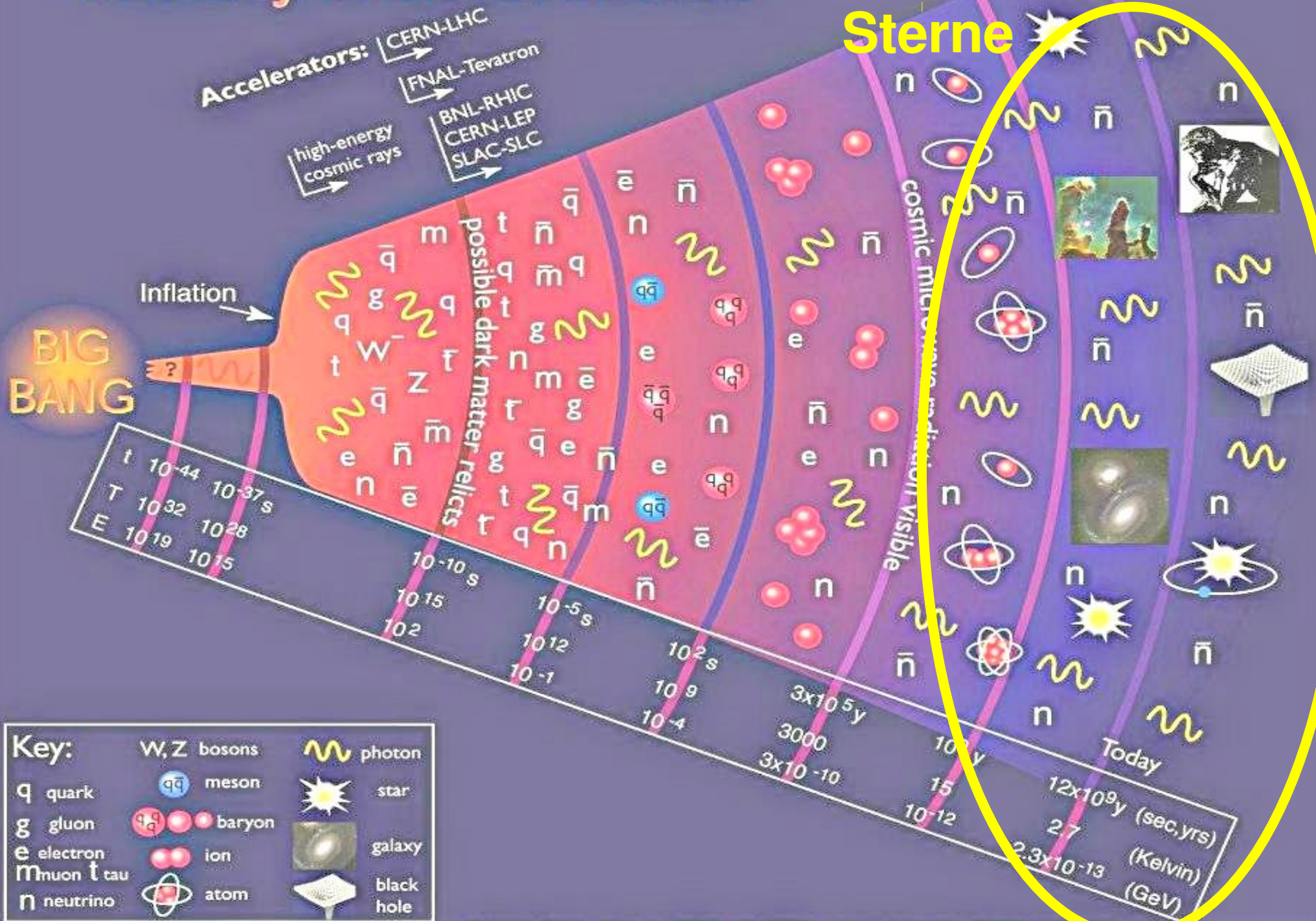
Was passierte bei Phasenübergängen im Universum?



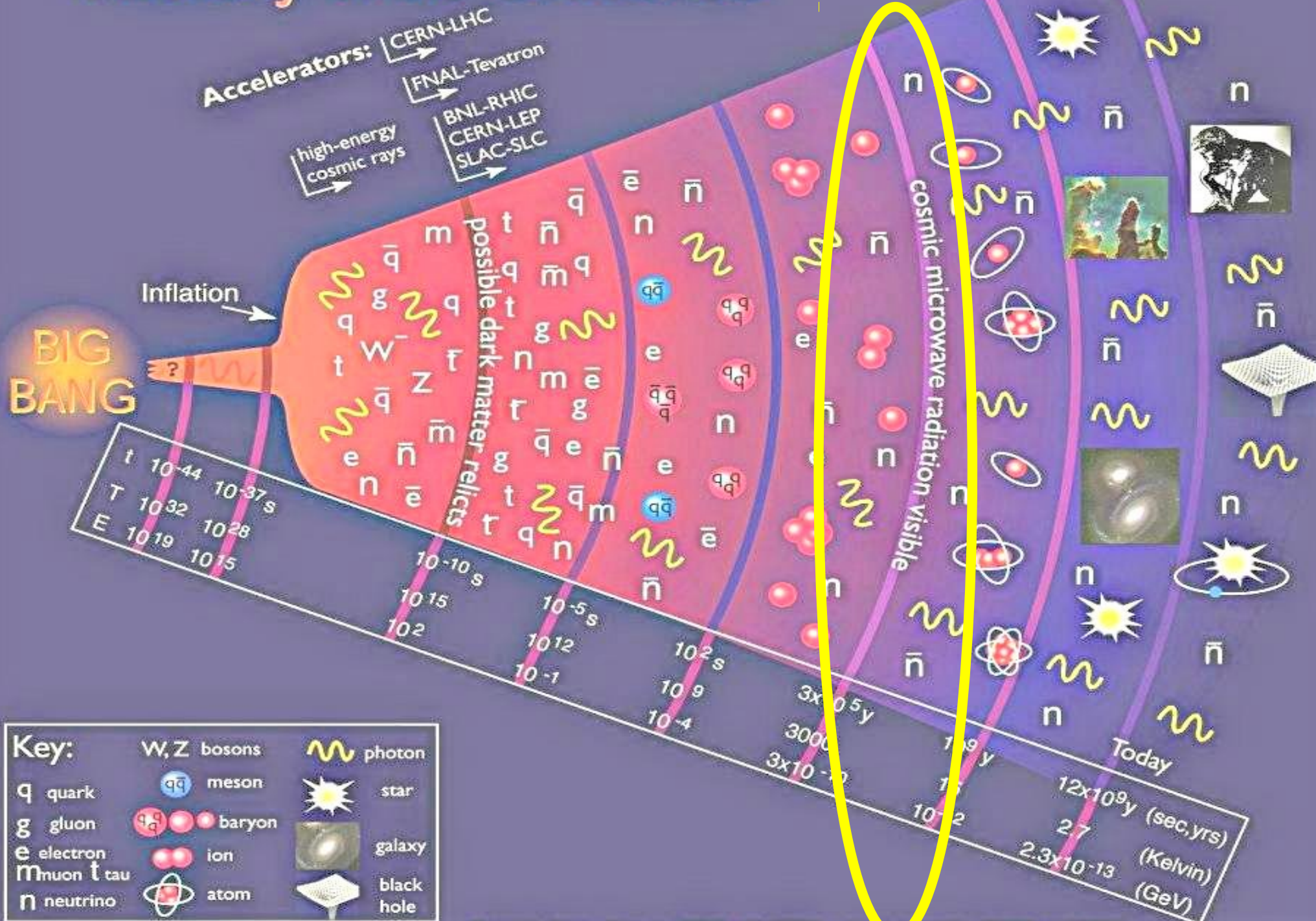
History of the Universe



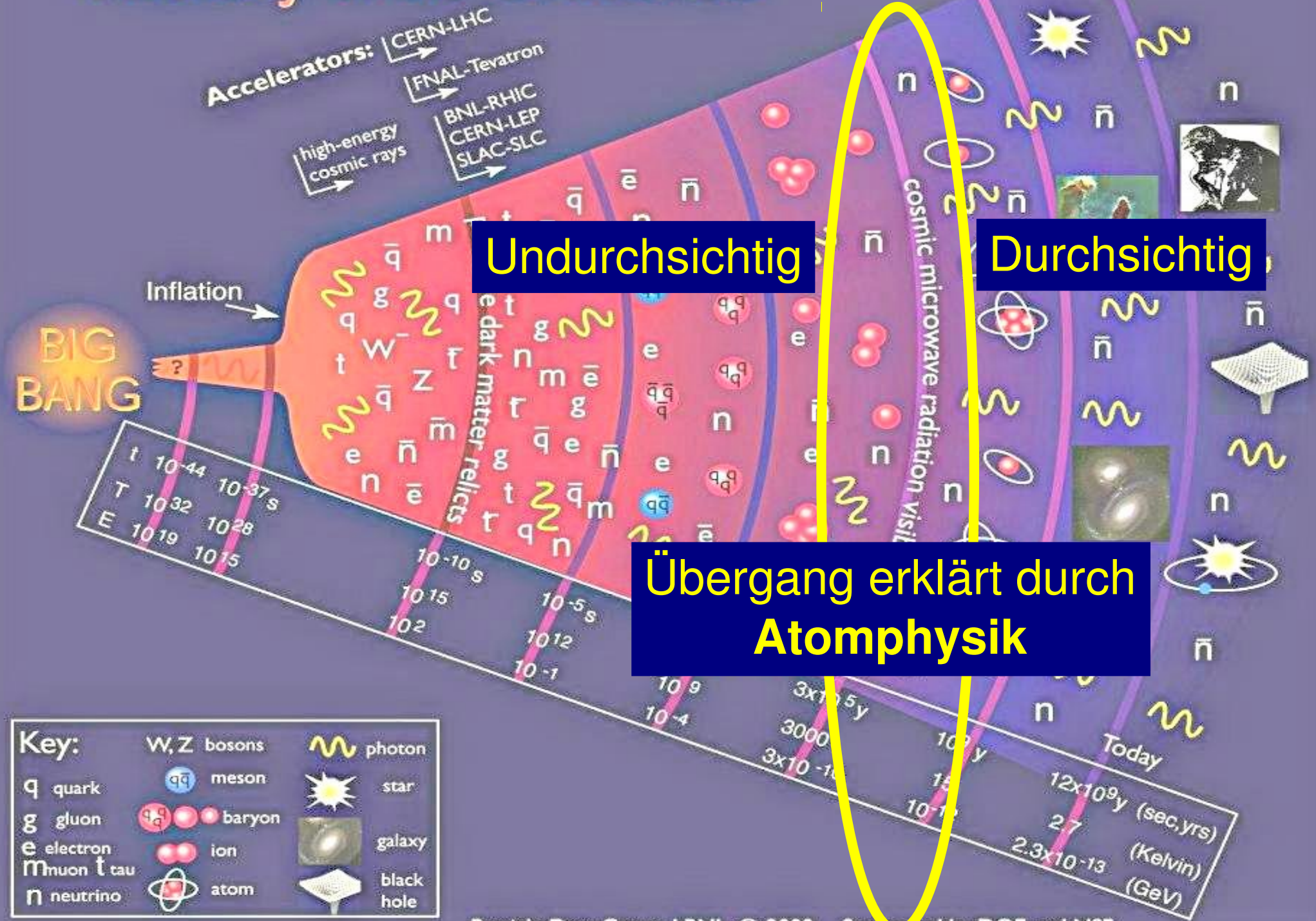
History of the Universe Gewöhnliche Materie, Sterne



History of the Universe



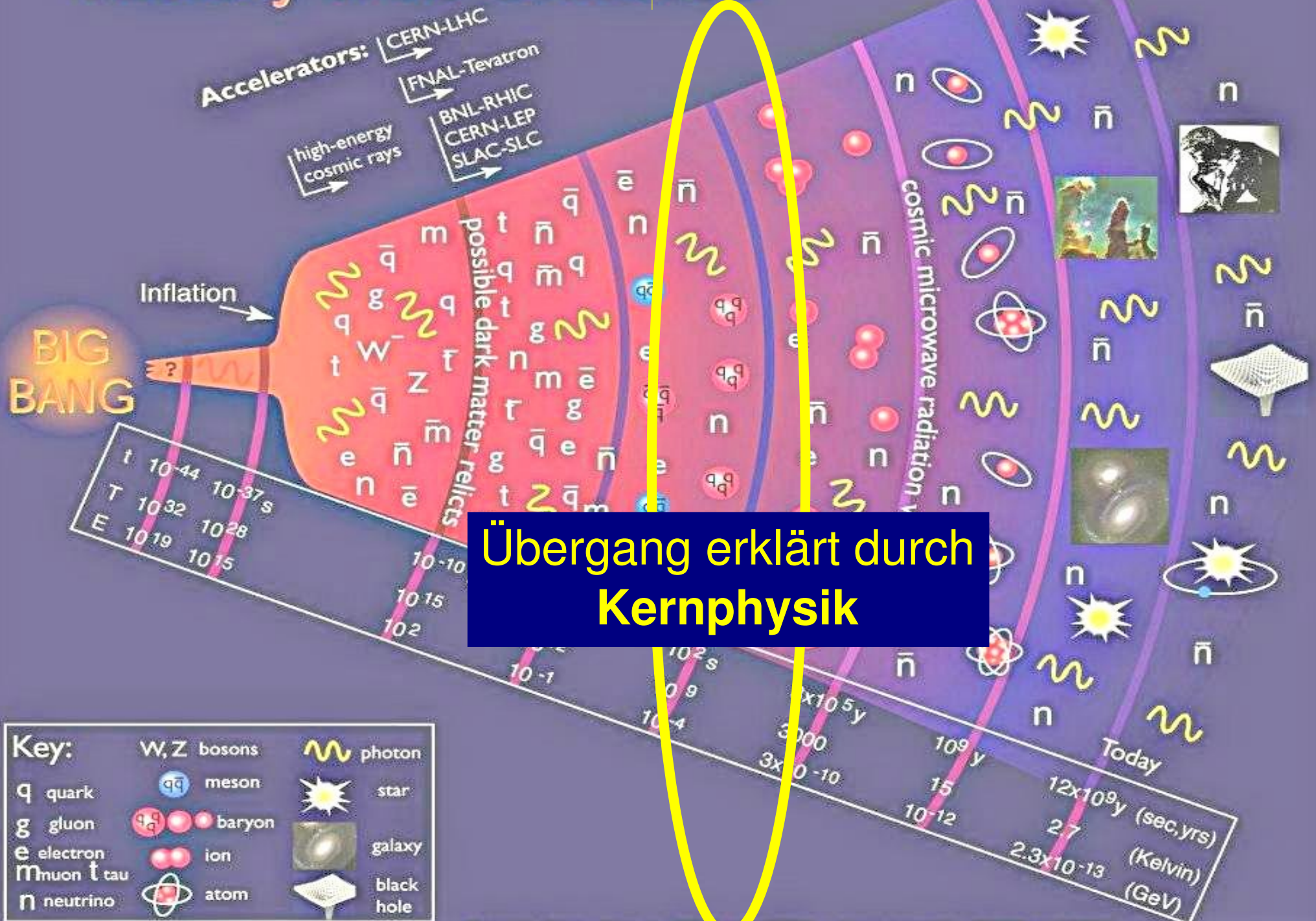
History of the Universe



Key:

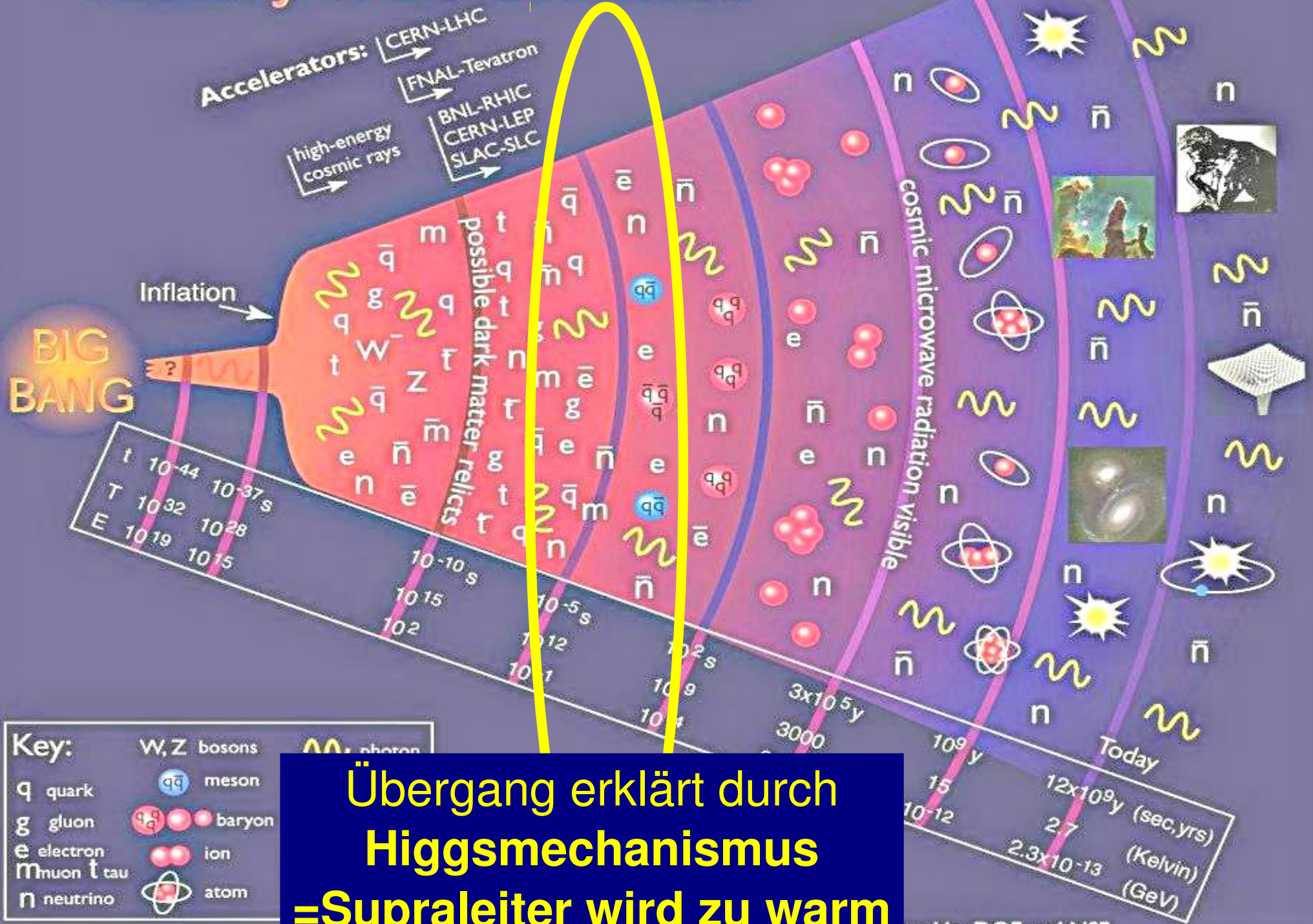
- W, Z bosons
- q quark
- g gluon
- e electron
- μ muon
- τ tau
- ν neutrino
- meson
- baryon
- ion
- atom
- photon
- star
- galaxy
- black hole

History of the Universe



Übergang erklärt durch Kernphysik

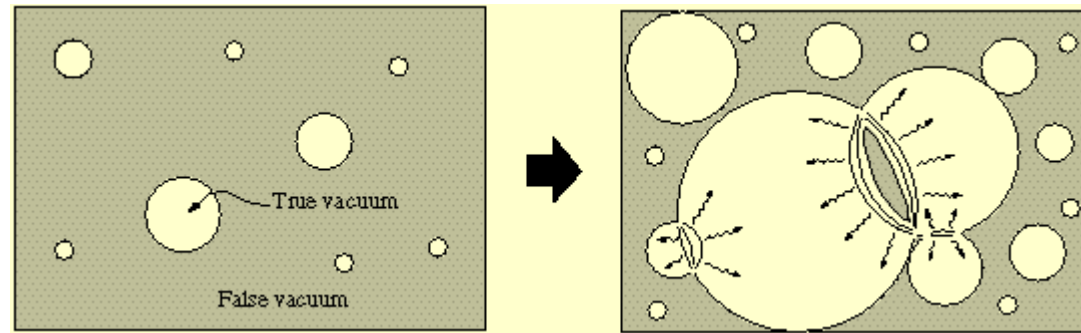
History of the Universe



Übergang erklärt durch Higgsmechanismus =Supraleiter wird zu warm

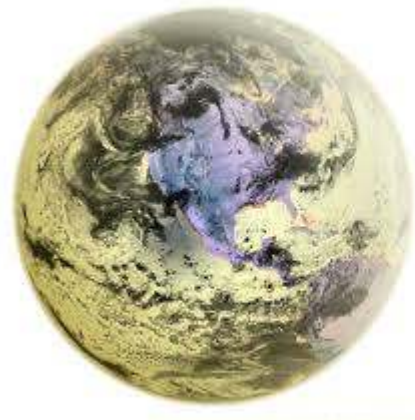
1. Vergangenheit

Was genau passierte bei diesem Phasenübergang?



(wie sprudelnd kochendes Wasser? oder sanfter?)

Je nach dem:
Erklärung möglich:

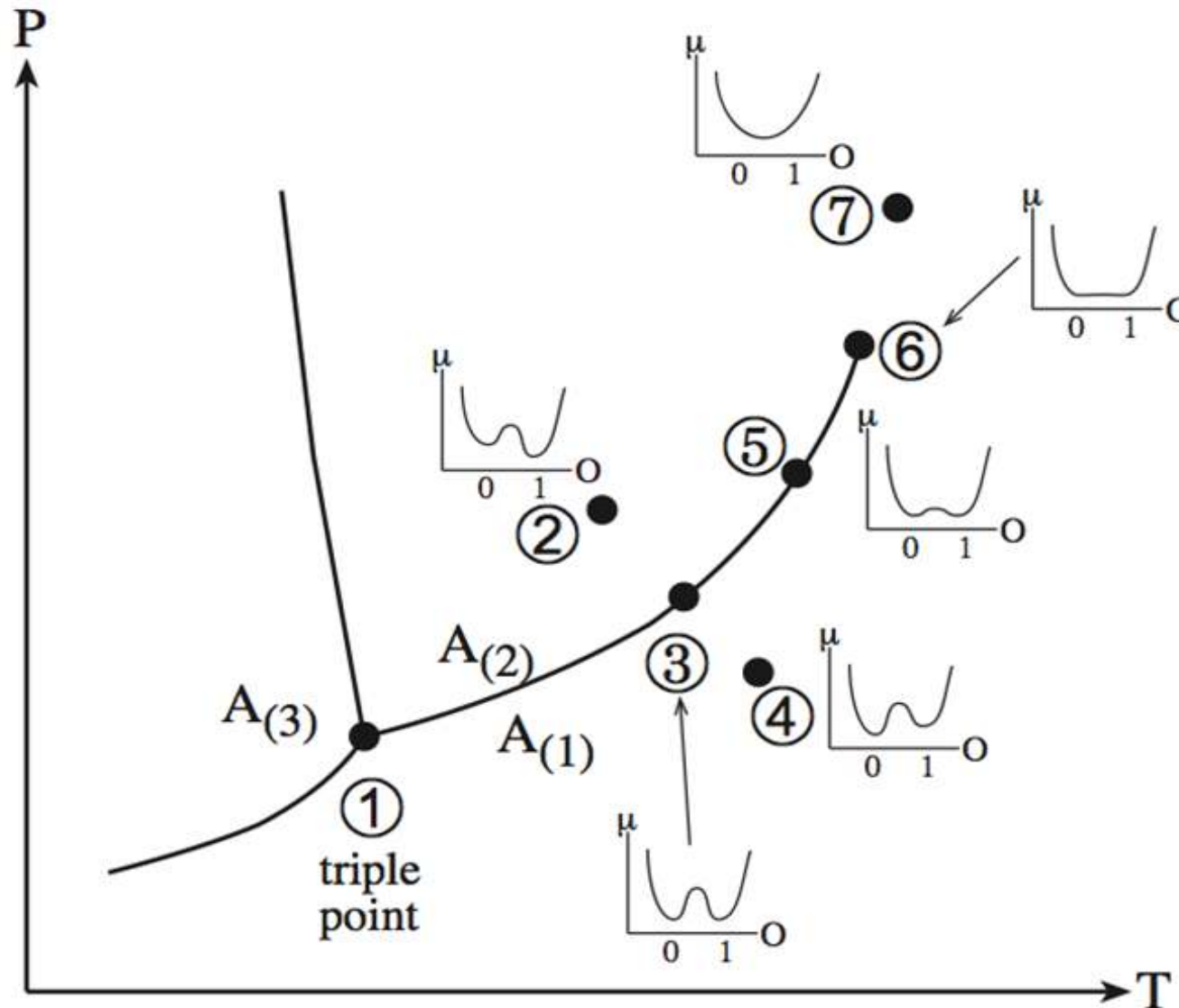


Kaum Antimaterie

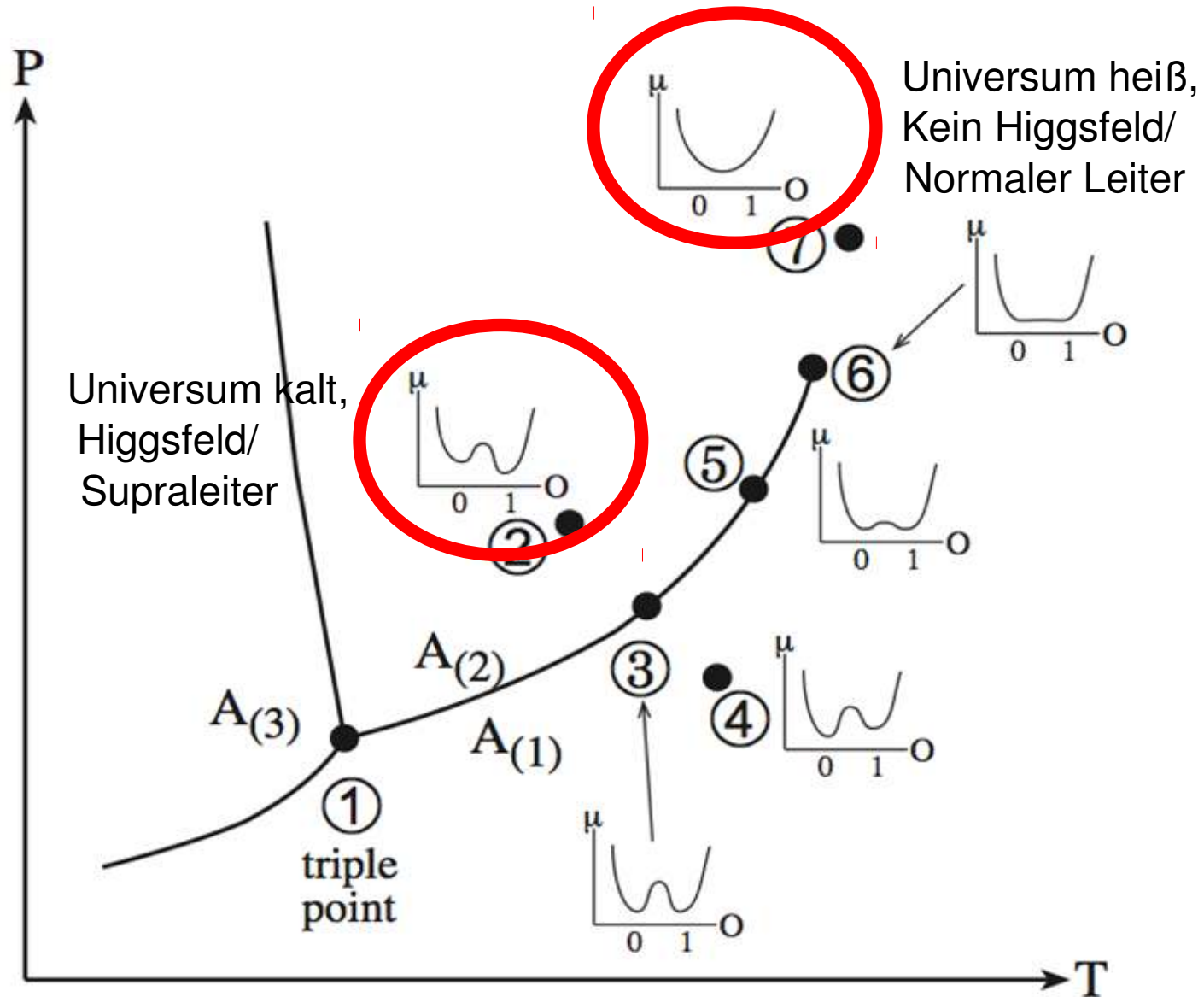


viel Materie im Universum

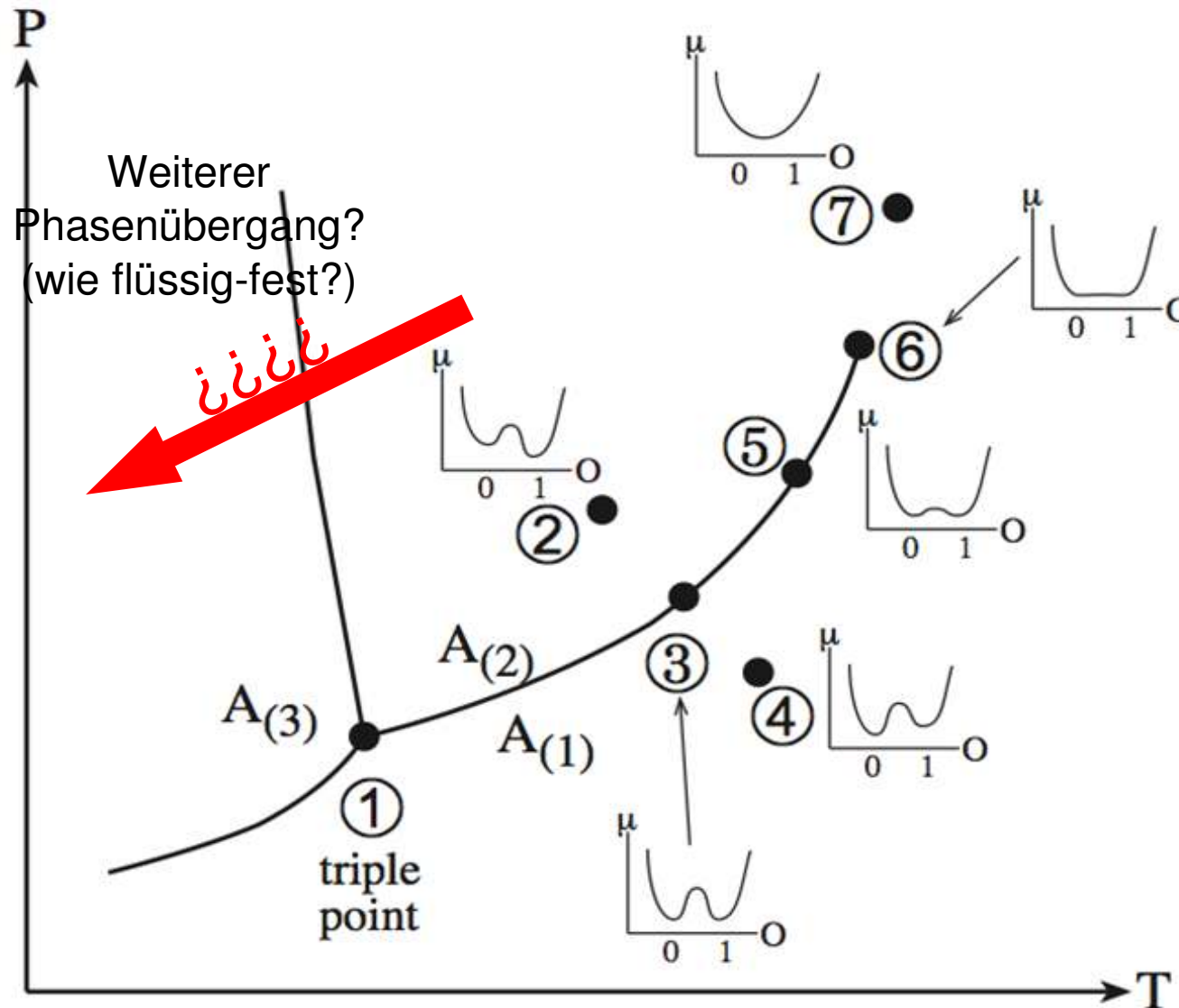
2. Zukunft: Gibt es weitere Phasenübergänge?



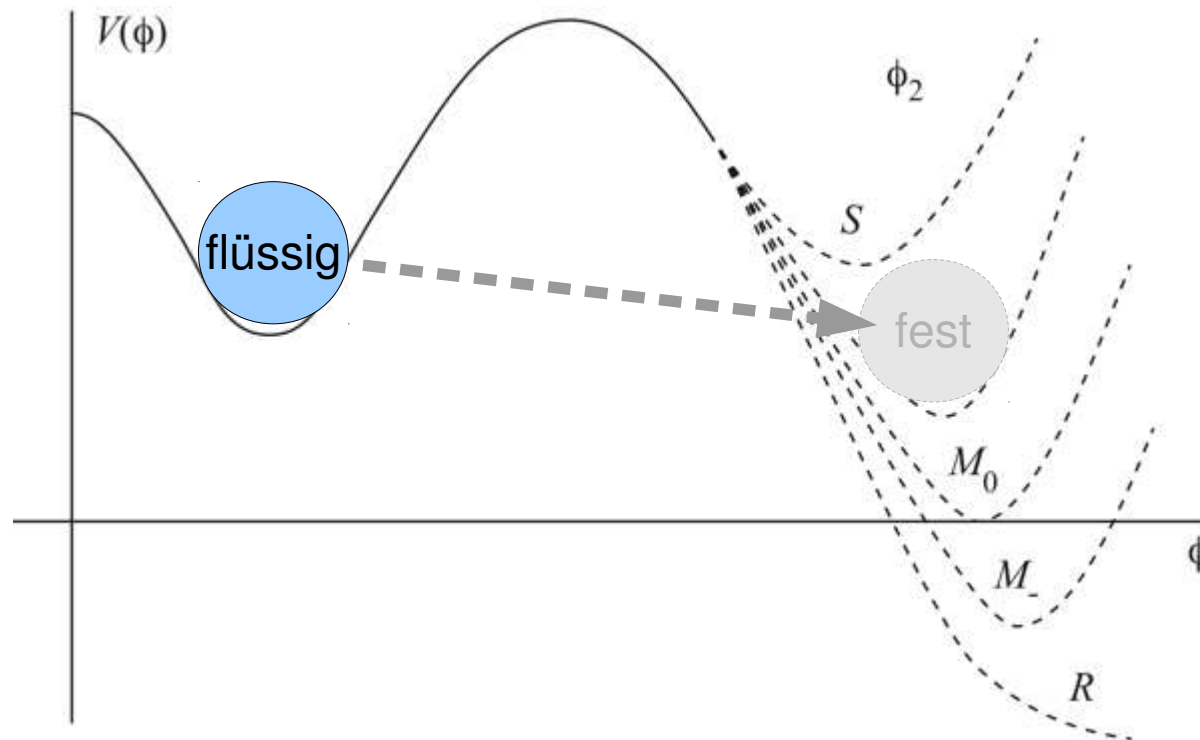
2. Zukunft: Gibt es weitere Phasenübergänge?



2. Zukunft: Gibt es weitere Phasenübergänge?

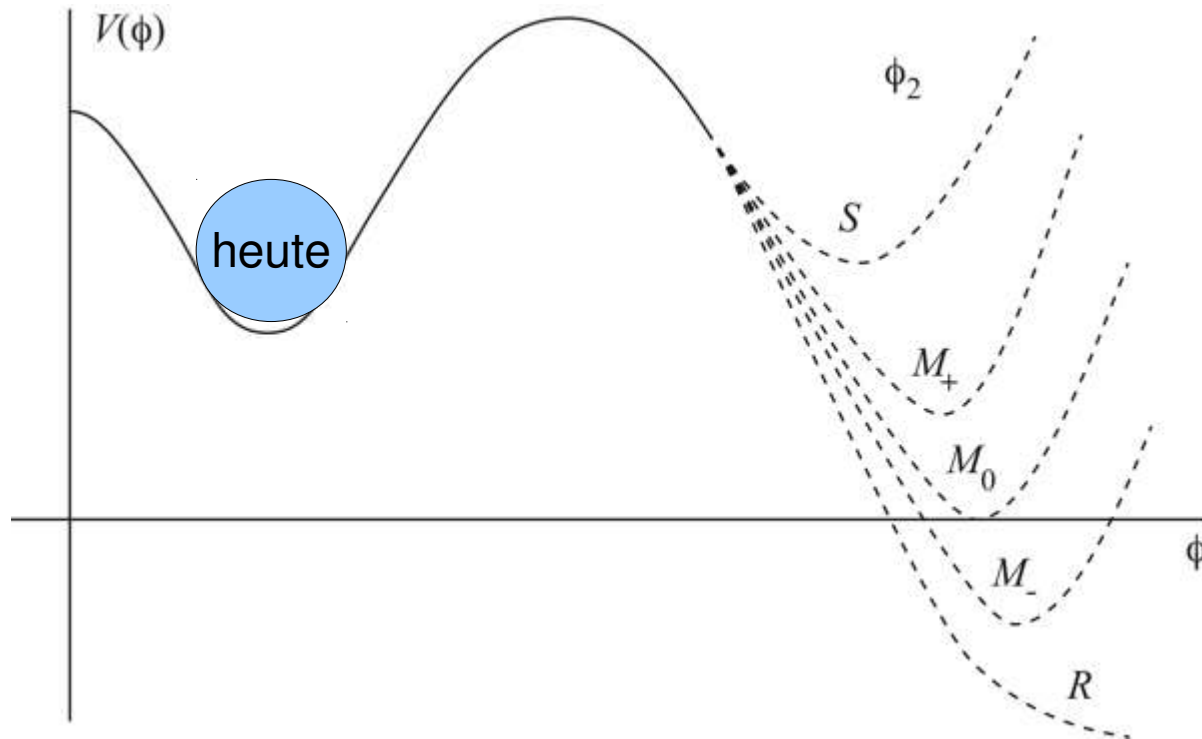


Unterkühltes Wasser

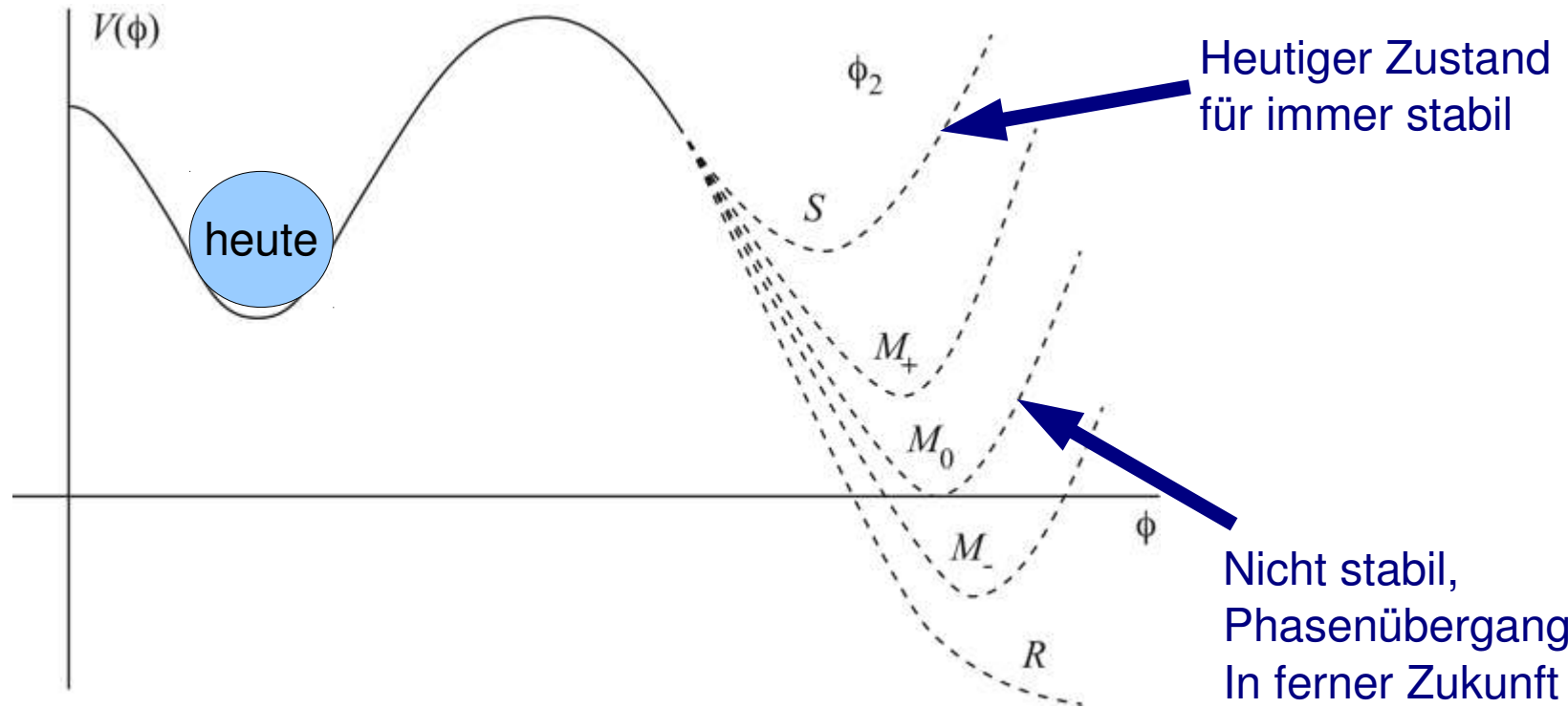


Wasser im falschen Minimum
("vergessen", Eis-Kristalle zu bilden)

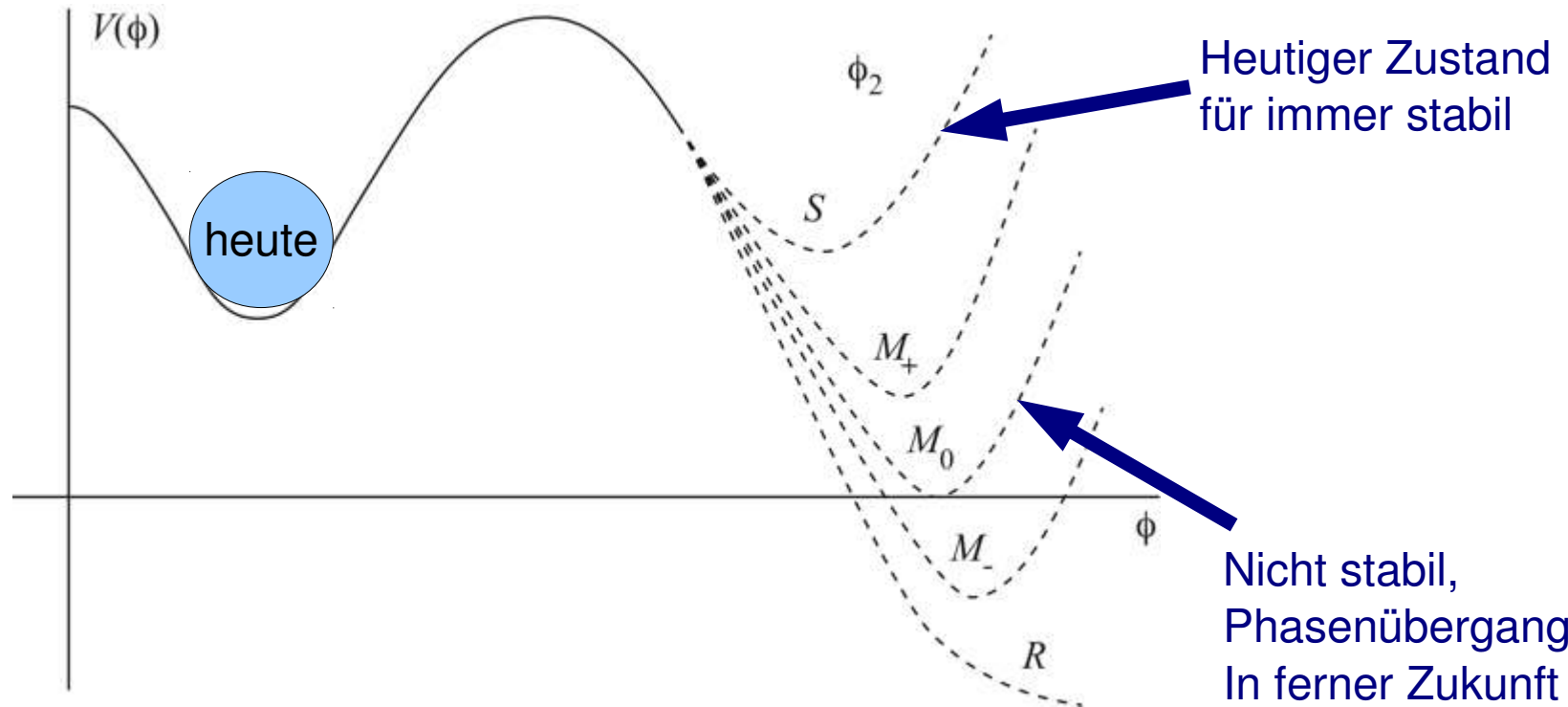
Was wäre wenn:



Potential vermessen/ausrechnen

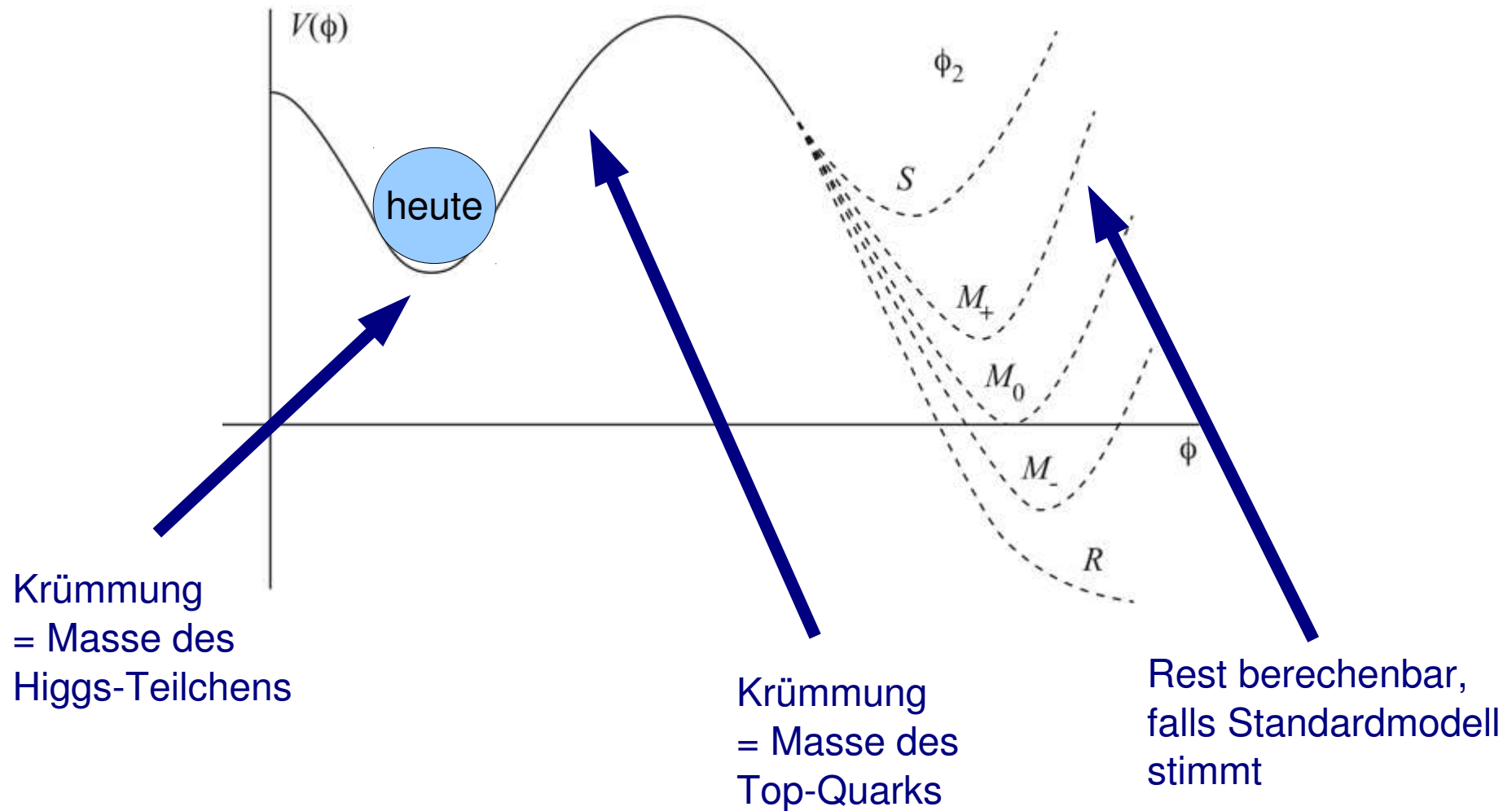


Potential vermessen/ausrechnen

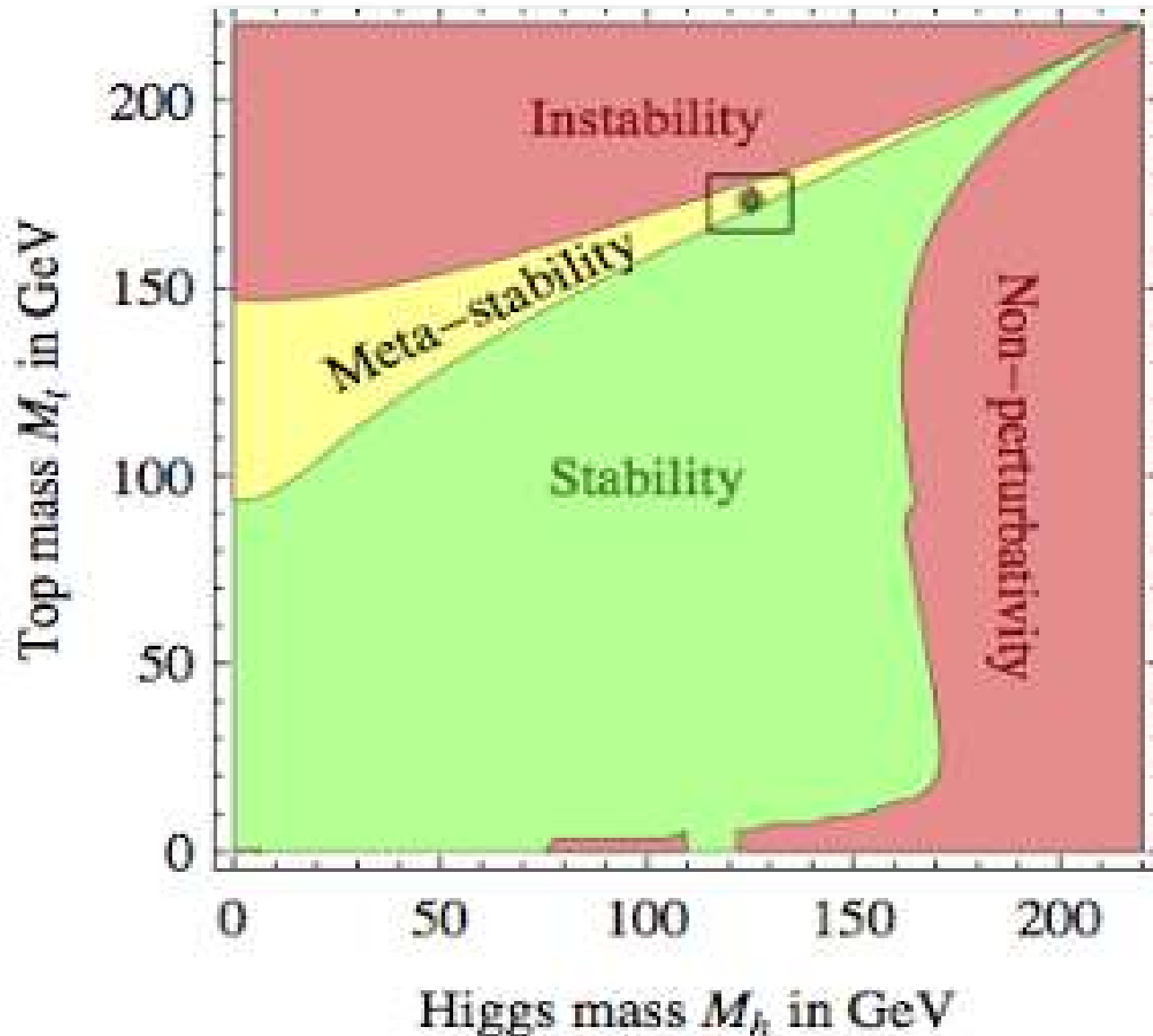


Wichtig: ist heutiger Zustand stabil bzw. Wie lange noch bis zum Phasenübergang (hoffentlich viele Billiarden Jahre)???

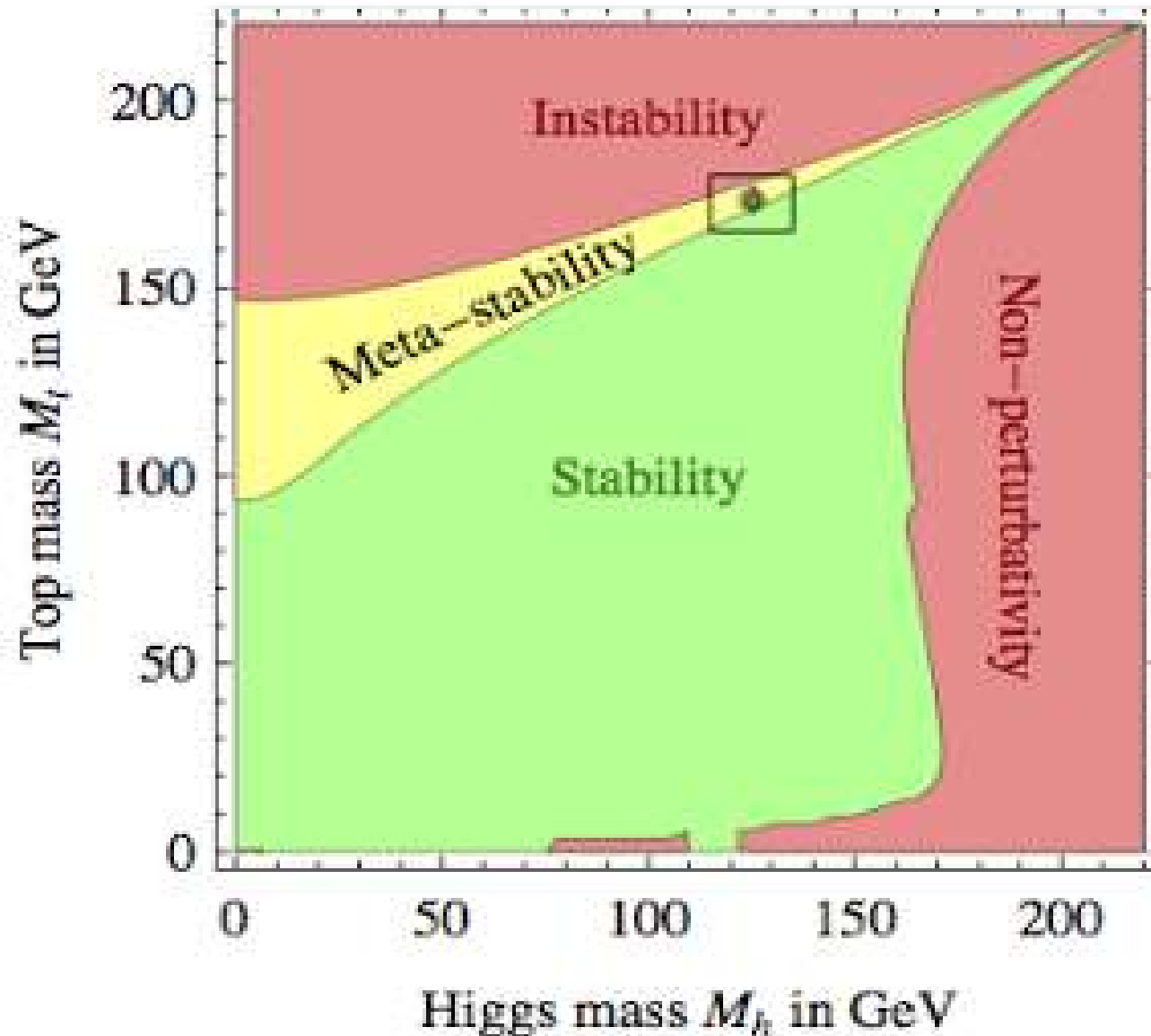
Potential vermessen/ausrechnen



Spektakuläres Ergebnis (Standardmodell)



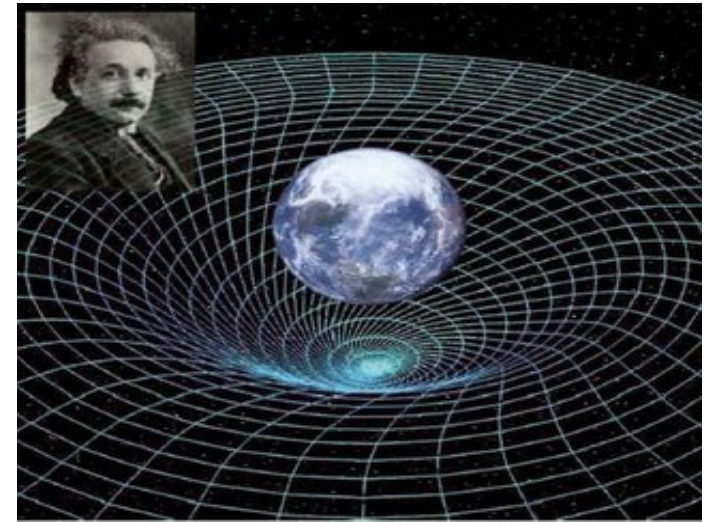
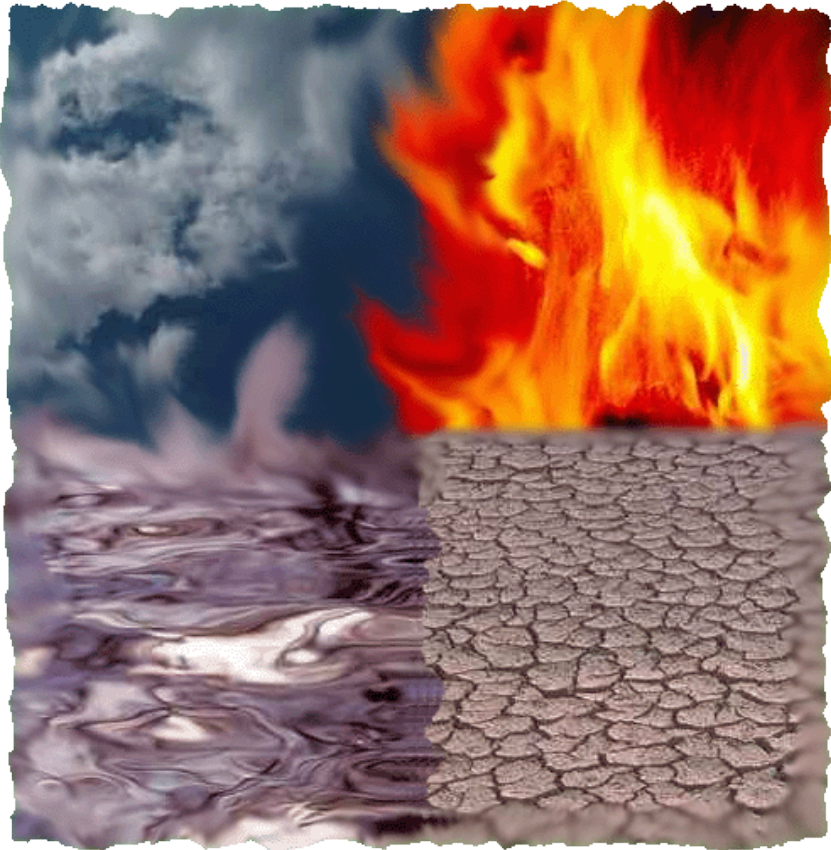
Spektakuläres Ergebnis (Standardmodell)



Wir müssen herausfinden, ob das Standardmodell stimmt!

Und die Higgs- und Top-Massen genau messen!

Zusammenfassung



- Grundfrage der Menschheit: woraus besteht, wie funktioniert alles?

- Antwort: sehr wenige fundamentale Teilchen
- Genau vier fundamentale Wechselwirkungen



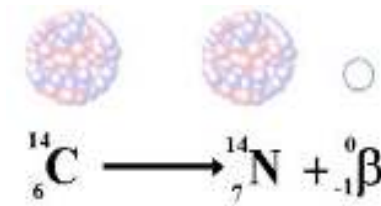
Und einfachste Wechselwirkungen!

Elektromagnetisch

schwach

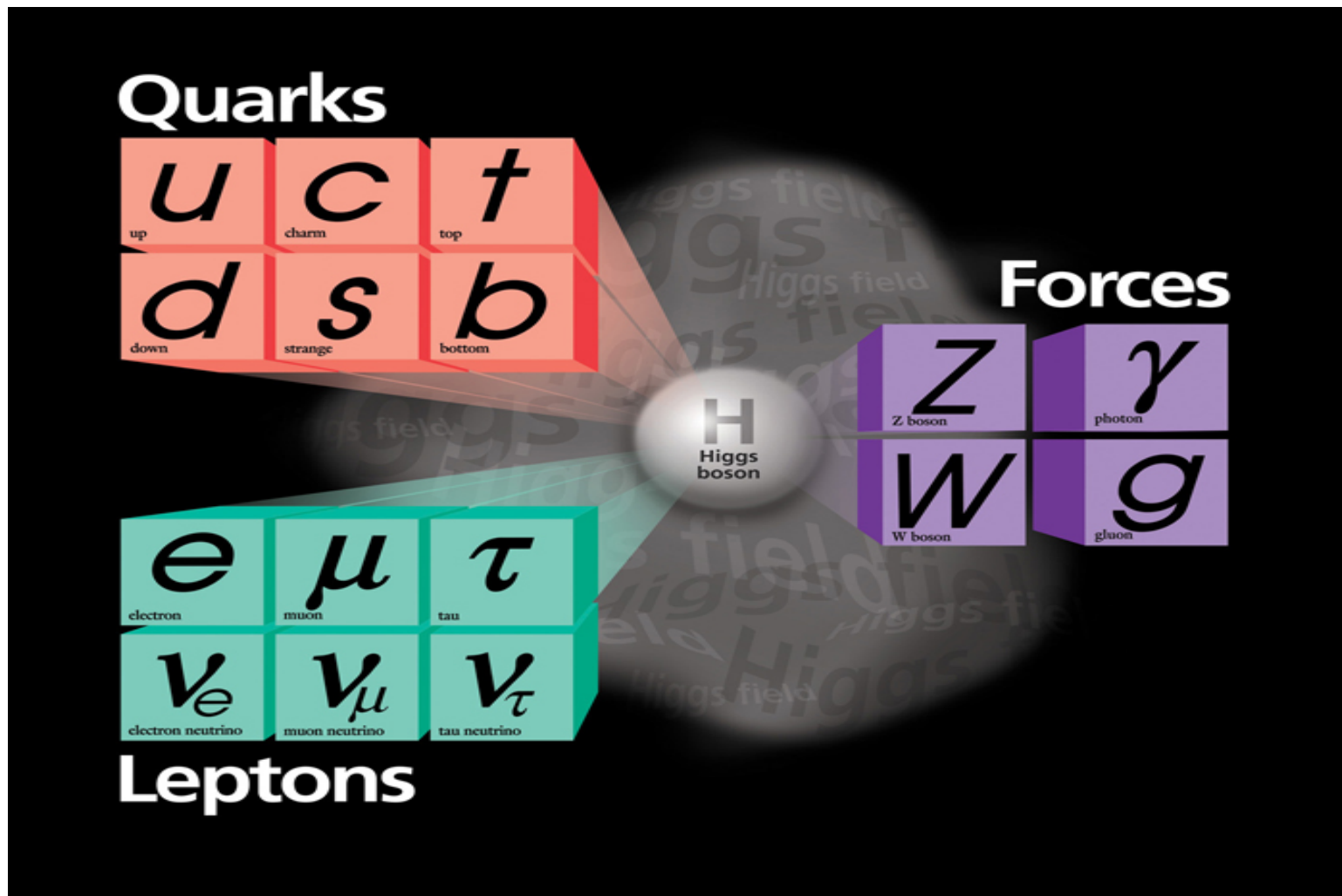
stark

Schwerkraft

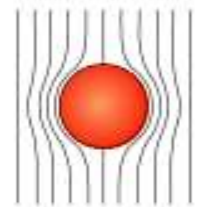
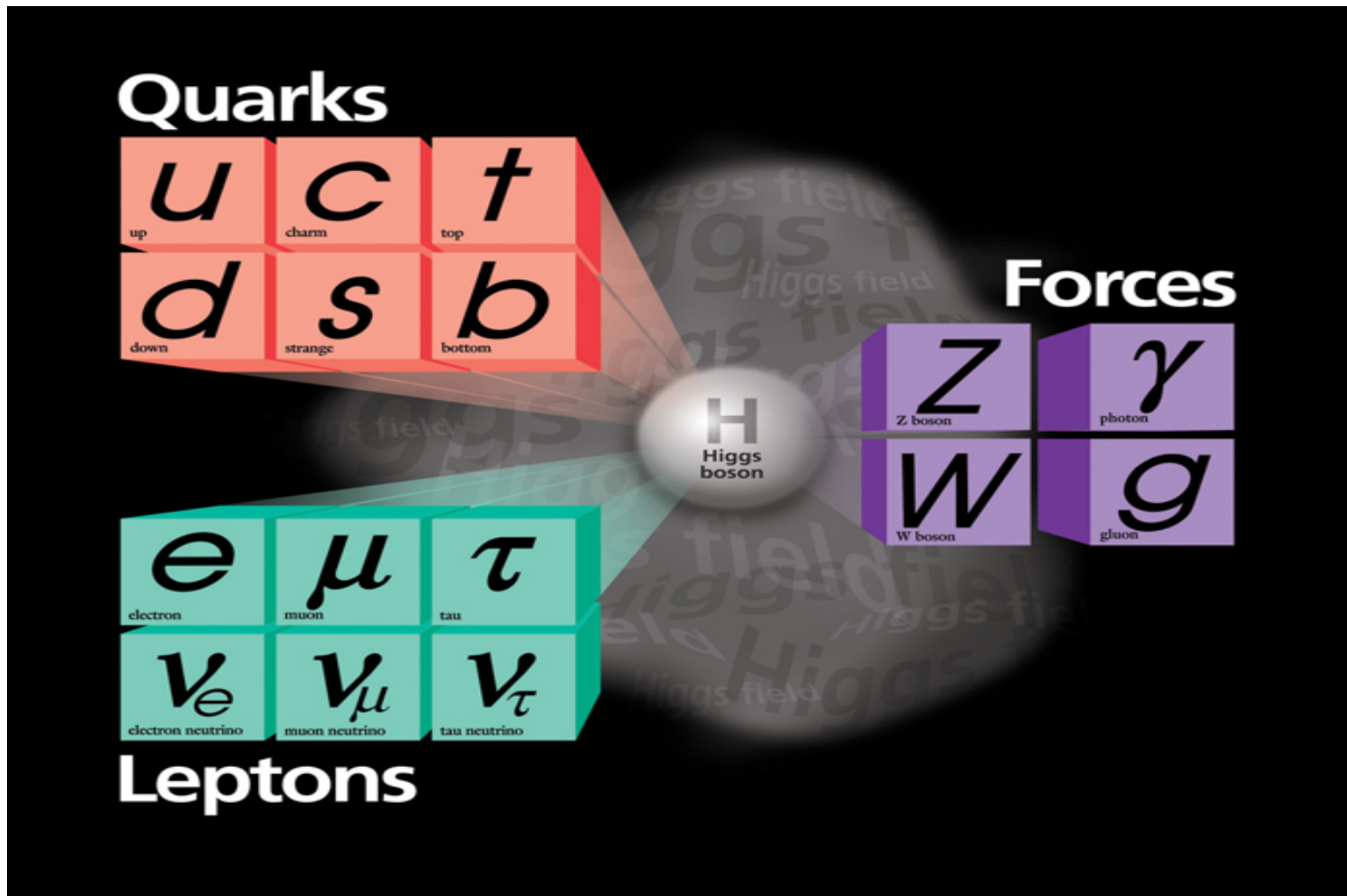


≈

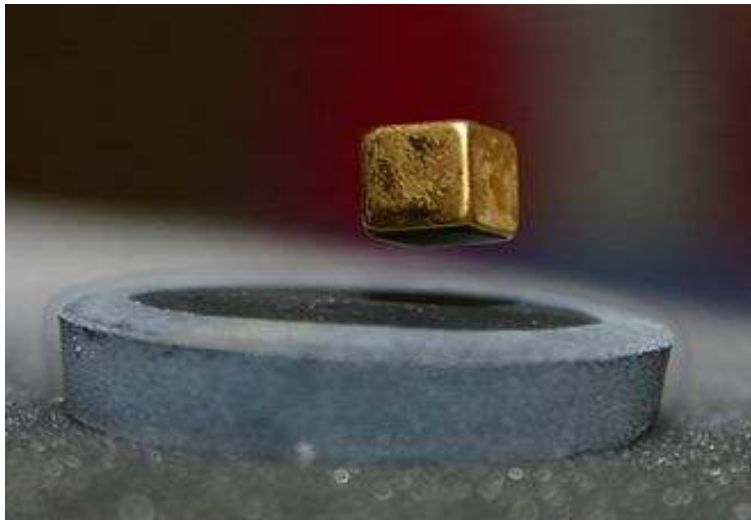
- Antwort: sehr wenige fundamentale Teilchen
- Genau vier fundamentale Wechselwirkungen



- Wir wissen nun: Vakuum ist mit “Higgs-Feld” gefüllt. **Universum = kosmischer Supraleiter**
- **Dies erklärt die schwache Wechselwirkung**



- Es gibt/gab Phasenübergänge im Universum



- Erklärt das Verschwinden der Antimaterie?
- Universum instabil?
- Weitere spannende Erkenntnisse erwartet!

