

1. Einführung

1.1. Ouvertüre

Neue Teilchen:	Elektron \sim 1897 (Thomson)	
	Proton \sim 1911 (Rutherford)	
	Neutron \sim 1932 (Chadwick)	\Rightarrow alle normale Materie
	Positron \sim 1932 (Anderson)	\Rightarrow es gibt Antimaterie!
	Myon \sim 1937 – 47 (Powell)	\Rightarrow es gibt Teilchen, die für unsere normale Welt gar nicht nötig sind!
	Neutrino \sim 1930 – 53 (Cowan, Reines)	\Rightarrow es gibt “unsichtbare” Materie!
	Quarks \sim 1964 (Gell-Mann, Zweig)	\Rightarrow was wir für Elementarteilchen hielten, haben eigentlich Struktur.

Neue Naturgesetze:	klassische Teilchenmechanik \sim 1600 – 1700 (Newton-Gleichungen)
	klassische Feldtheorie \sim 1800 – 1920 (Elektrodynamik, allgemeine Relativitätstheorie)
	Quantenmechanik \sim 1900 – 1930 (Feldteilchendualismus)
	Quantenfeldtheorie \sim 1940 – 1950 (Quantenmechanik + spezielle Relativitätstheorie)
	Eichsymmetrie \sim 1950 – 1970 (wählt die besten Quantenfeldtheorien aus)

Die Teilchen und Naturgesetze zusammen bilden *das Standardmodell* der Teilchenphysik: eine Eichquantenfeldtheorie, deren Bausteine sind:

$$\begin{array}{l} \text{Quarks:} \\ \text{Leptonen:} \end{array} \quad \begin{pmatrix} u[\text{p}] \\ d[\text{own}] \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c[\text{harm}] \\ s[\text{trange}] \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t[\text{op}] \\ b[\text{ottom}] \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} \nu_e \\ e[\text{lectron}] \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu[\text{on}] \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau[\text{au}] \end{pmatrix}$$

Jedes Teilchen hat eine Masse, und eine *innere Struktur*, die bestimmt, wie das Teilchen sich an verschiedenen Wechselwirkungen beteiligt.

Die Wechselwirkungen werden vermittelt durch:

Photon	—	Elektromagnetismus
W^\pm, Z^0	—	Schwache Wechselwirkung
Gluonen	—	Starke Wechselwirkung
[Graviton	—	Schwerkraft],

und unterscheiden sich durch *Stärke*, *Reichweite*, und *Ziele*.

Das Standardmodell hat aber auch einige *unbekannte Teile*.

- Einige Rechnungen der Quantenfeldtheorie sind mathematisch wohldefiniert, nur falls ein neues Teilchen, das "*Higgs-Boson*", existiert. Durch seine Existenz und Wechselwirkungen gibt es den übrigen Teilchen eine Masse.

⇒ Warum hat man es noch nicht experimentell entdeckt?

Es könnte so schwer sein, daß die Energie existierender Beschleuniger zur Erzeugung nicht ausreicht ($E = mc^2$)! Die Suche geht weiter.

- Ein anderes Problem ist die Messung der *Neutrinomassen*. Ein typisches Neutrino fliegt sogar durch die Erde ohne eine einzige Wechselwirkung.

⇒ Jedoch haben Neutrinomassen viel Bedeutung. Man glaubt, z.B., daß es im Weltall so viele Neutrinos gibt (als Relikte von Zeiten des Urknalls), daß ihre Gesamtmasse wichtig für die Expansionsrate des ganzen Universums sein könnte.

Es gibt gegenwärtig viele Experimente, die versuchen, Neutrinomassen abzuschätzen.

Selbst wenn das Higgs-Boson entdeckt und die Neutrinomassen gemessen würden, kann das Standardmodell aber *nicht die ganze Wahrheit* sein!

- Es enthält keine *Quantentheorie der Schwerkraft*. Jedoch weiß man, daß eine solche Theorie z.B. im Inneren von schwarzen Löchern gebraucht wird.
- Obwohl das Higgs-Boson die Situation wesentlich verbessert, *brechen* quantenfeldtheoretische *Rechnungen* immer noch *zusammen*, falls wir die Stoßenergie beliebig vergrößern.
- Teilchentheoretiker finden, daß das Standardmodell *nicht "elegant" genug ist*: es enthält ja viel Willkür, z.B.

Warum gibt es genau drei Familien?

Warum gibt es so viele verschiedene Massen?

Warum gibt es eine solche Vielfalt von Wechselwirkungen?

Usw.

Was für Physik könnte das Standardmodell eines Tages ersetzen?

Es gibt keinen Mangel an guten Ideen! Einige Richtungen:

- Supersymmetrie?* ⇒ Es gibt viele neue Teilchen (insgesamt ungefähr zweimal so viel wie im Standardmodell). Jedoch hat die Theorie mathematische Symmetrie-Eigenschaften, die die quantenfeldtheoretischen Rechnungen vom Zusammenbruch retten können.
- ⇒ Wenn es solche Teilchen wirklich gibt, müssen sie in der Zukunft entweder in Teilchenbeschleunigern, oder als “dunkle Materie” entdeckt werden! Die Physik ist ja letztendlich eine empirische Naturwissenschaft.
- Große Vereinheitlichung?* ⇒ Man versucht, die Vielfalt von Teilchen und Arten von Wechselwirkungen im Standardmodell als sichtbare Aspekte einer fundamentaleren und einfacheren Theorie zu interpretieren.
- ⇒ Solche Theorien machen allerdings die Vorhersage, daß Materie (insbesondere das Proton) nicht stabil ist! Falls sie also korrekt sind, müßte dies experimentell beobachtet werden.
- Superstringtheorie?* ⇒ Elementarteilchen → vibrierende Fäden.
- ⇒ Keine mathematischen Probleme mehr?
 Nur wenige Parameter?
 Enthält Quantengravitation?
- ⇒ Solche Theorien prophezeien z.B. die Existenz von versteckten zusätzlichen räumlichen Dimensionen, die letztendlich wieder experimentell entdeckt werden sollten!

Was soll der Unsinn?

Das frühe Universum war sehr heiß: von der allgemeinen Relativitätstheorie folgt die "Urgleichung" der Kosmologie,

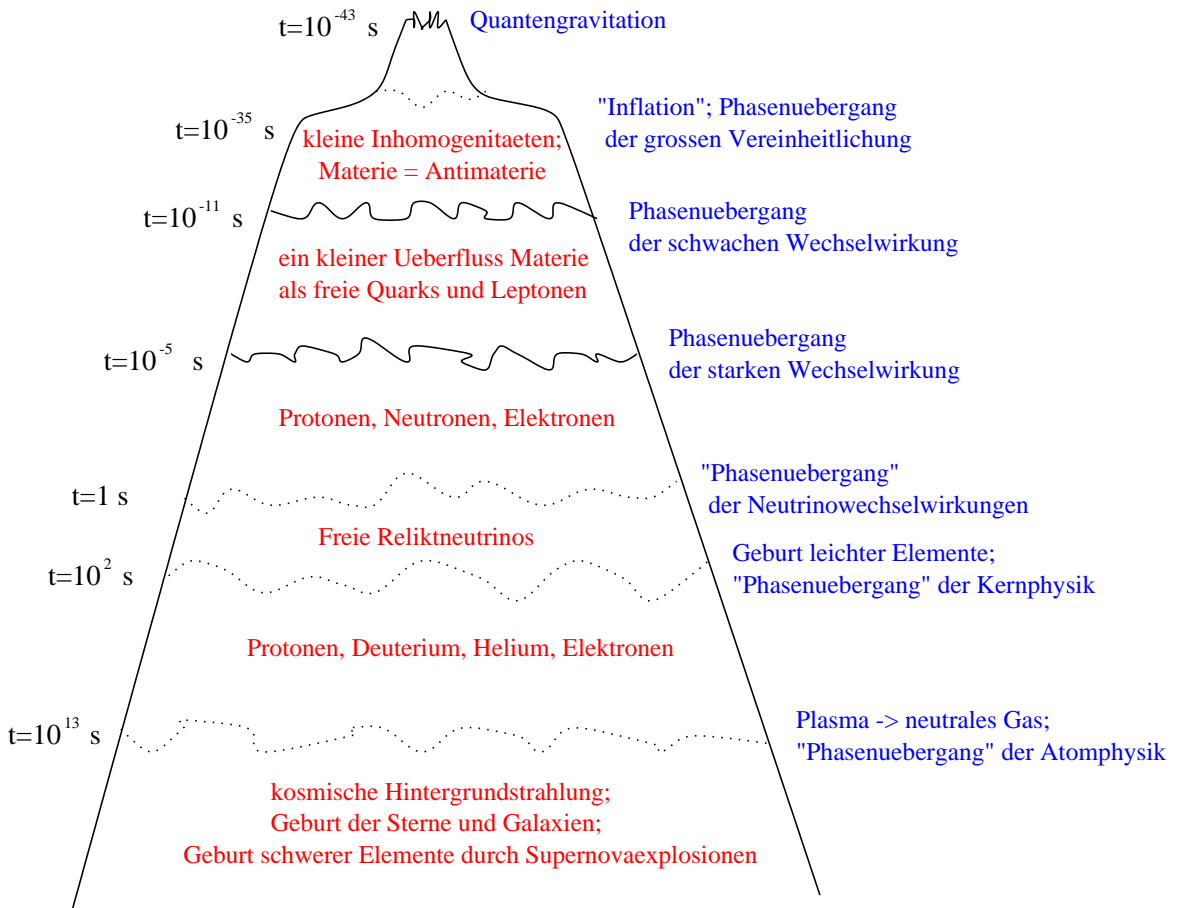
$$T[10^{10} \text{ K}] \sim \frac{1}{\sqrt{t[\text{s}]}} , \quad (1.1)$$

wo T = die Temperatur, t = das Alter des Universums.

Die durchschnittliche Energie eines Teilchens bei Temperatur T : $E[\text{GeV}] \sim T[10^{13} \text{ K}]$.

Die durchschnittliche Distanz zweier Teilchen bei Temperatur T : $l[\text{fm}] \sim \frac{1}{T[10^{13} \text{ K}]}$.

⇒ Für $t \lesssim 10^{-6} \text{ s}$, $T \gtrsim 10^{13} \text{ K}$, sind *alle Reaktionen* den einzelnen Reaktionen in den größten gegenwärtigen Beschleunigern ähnlich!



⇒ Die heutige Existenz schwerer Elemente hängt indirekt möglicherweise sogar mit der Physik der großen Vereinheitlichung zusammen, durch die ursprünglichen Inhomogenitäten, die sich später zu Sternen und noch später zu Supernovae entwickeln.