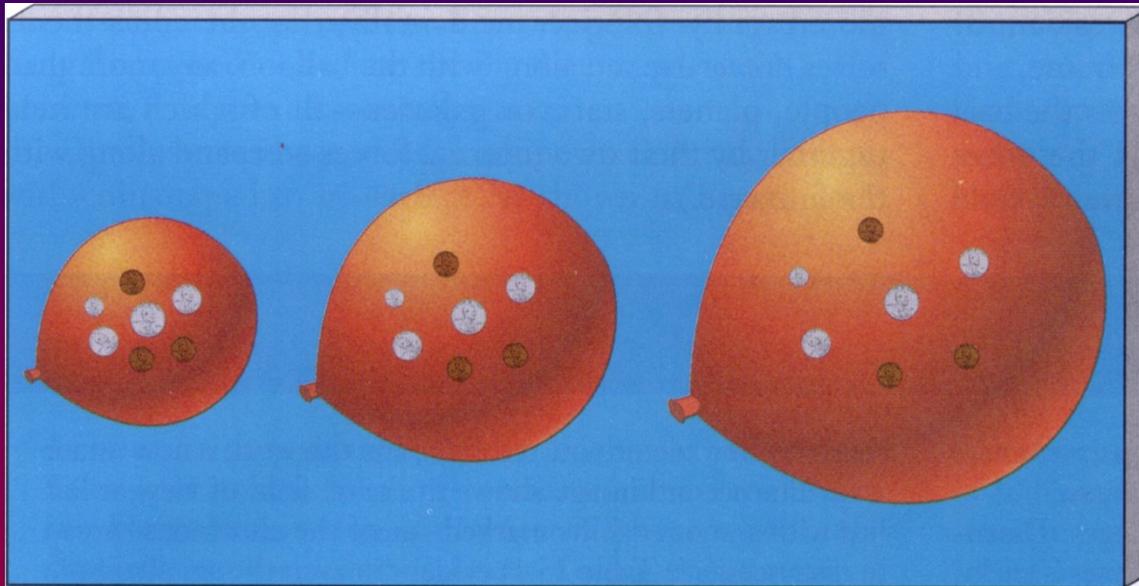


Der wilde Tanz der Teilchen

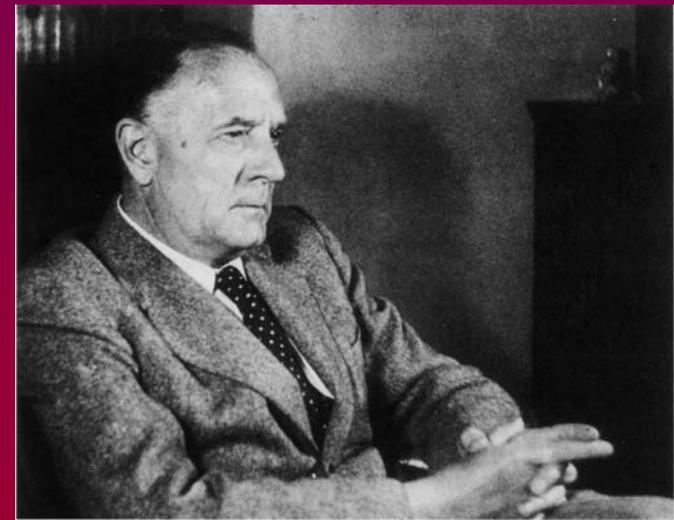
Die Geschichte vom Anfang der Welt

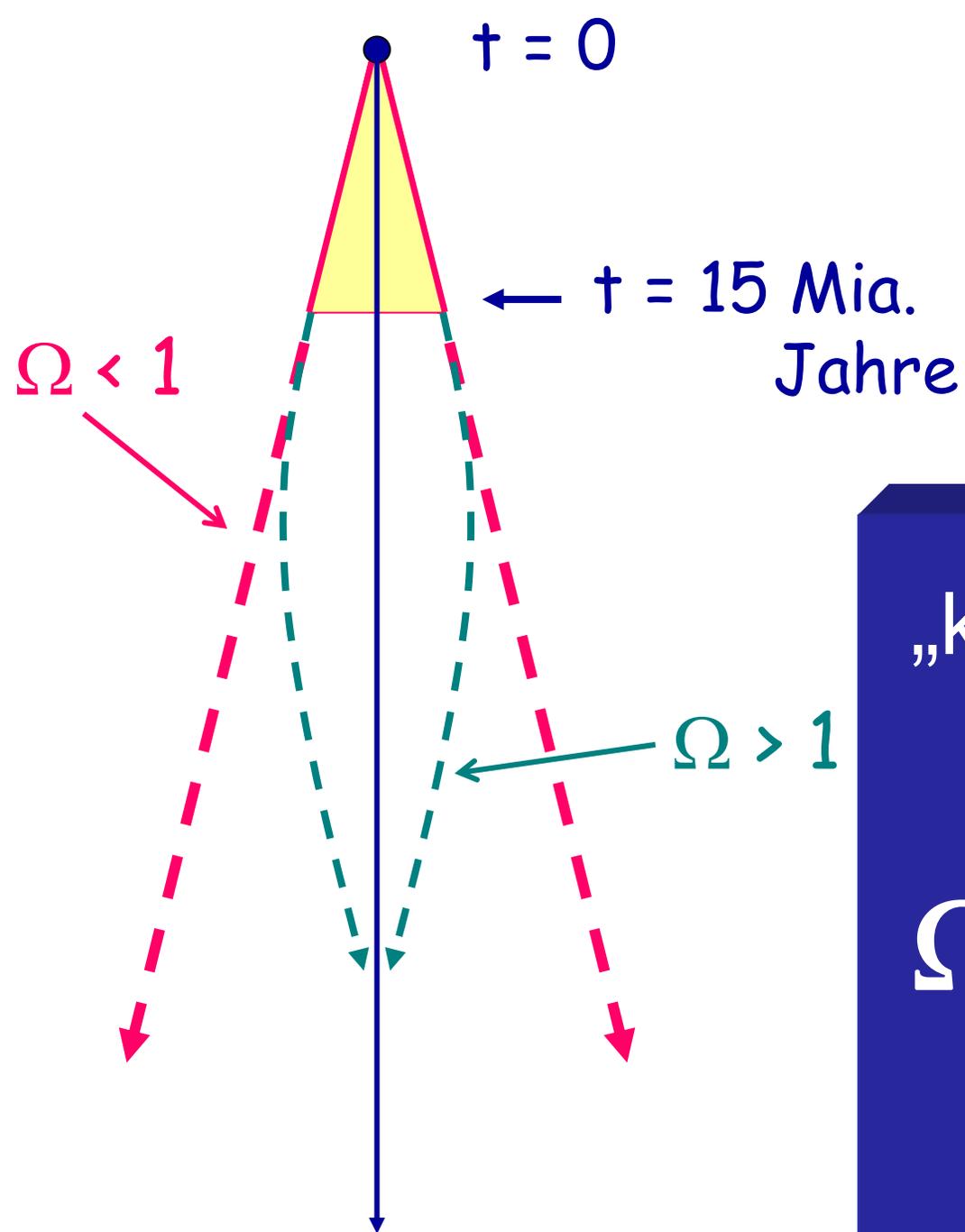
Rotverschiebung



Der Kosmos
bläht sich auf

Edwin Hubble
1929

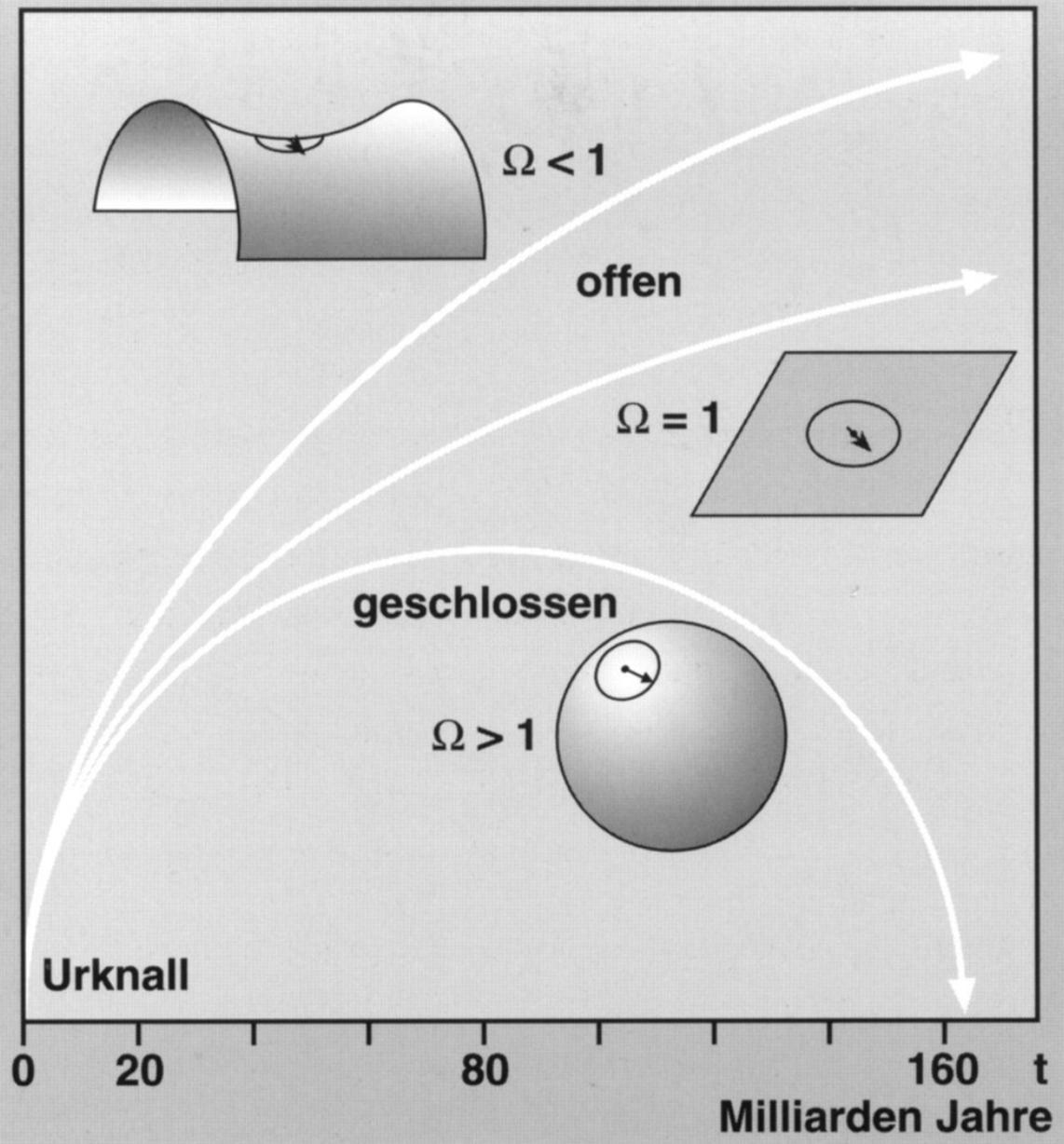




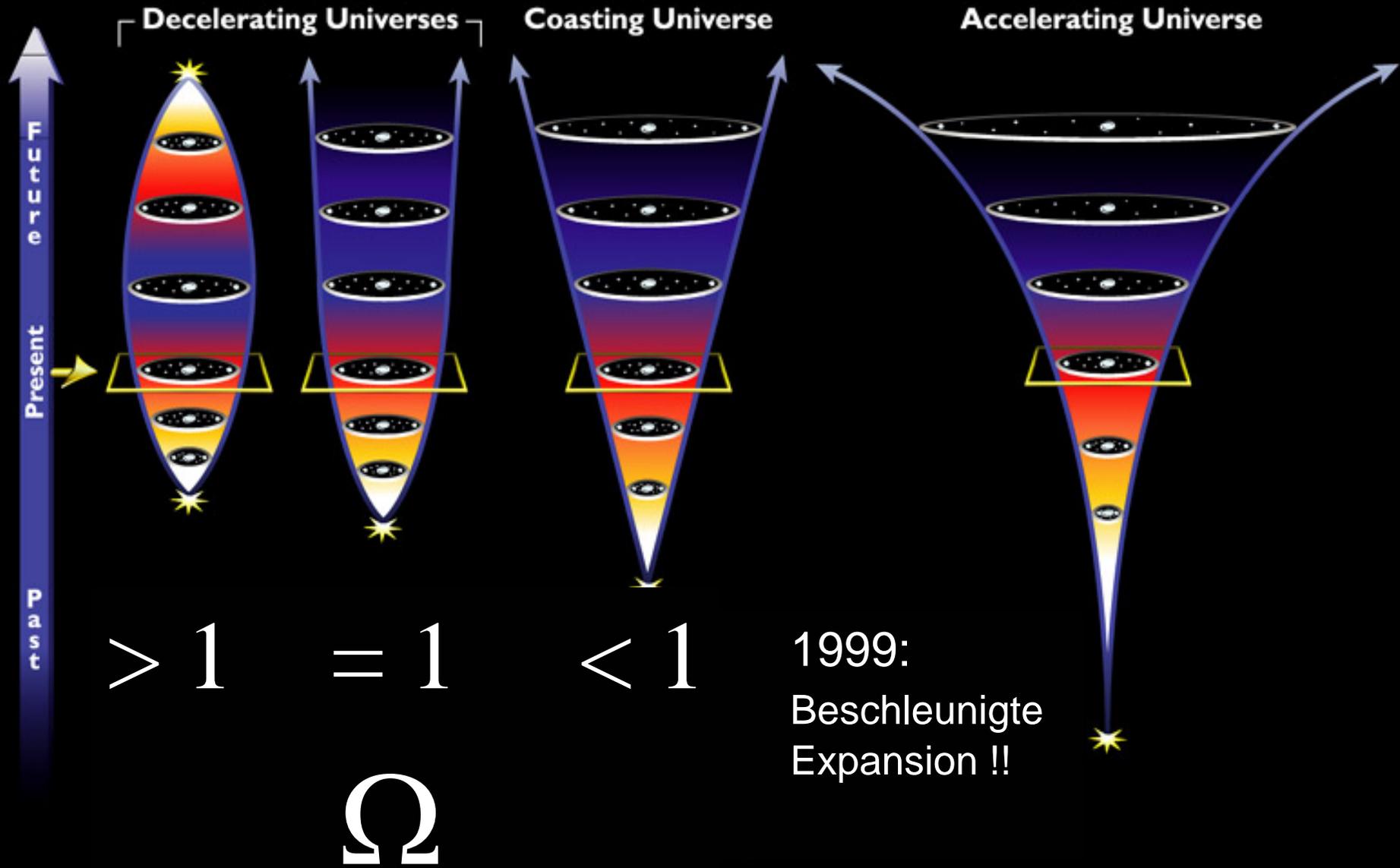
„kritische Dichte“
 $\approx 10^{-29} \text{ g/cm}^3$

$$\Omega = \frac{\text{tatsächliche Dichte}}{\text{kritische Dichte}}$$

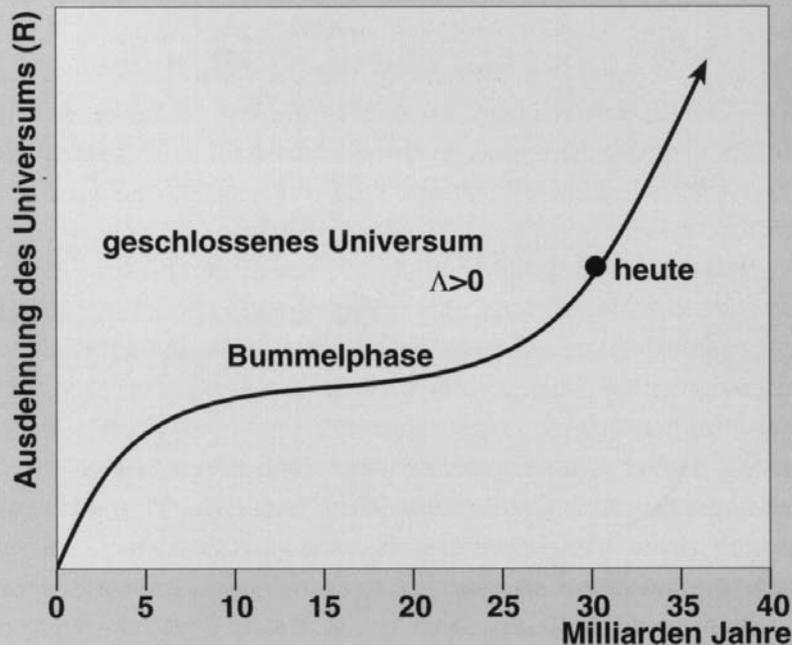
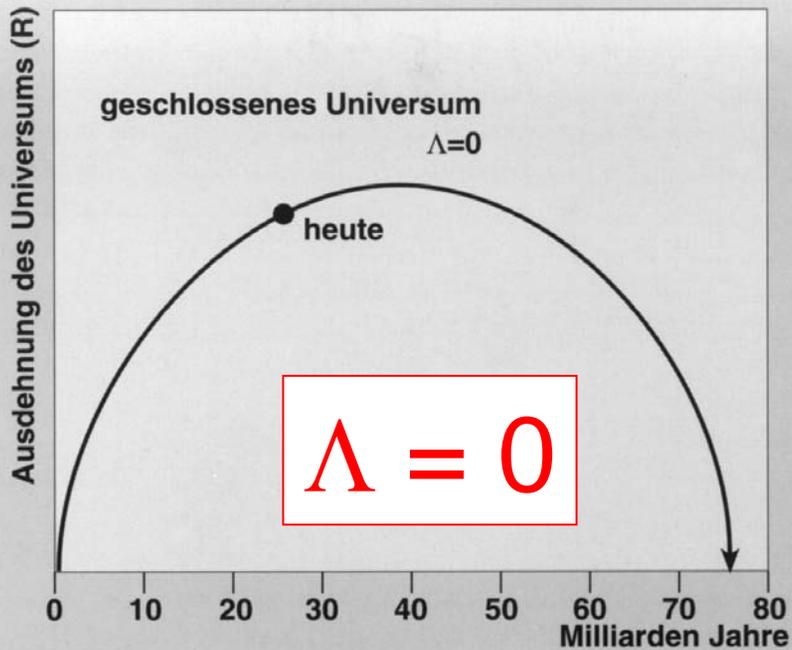
Größe des Universums (R)



Possible Models of the Expanding Universe

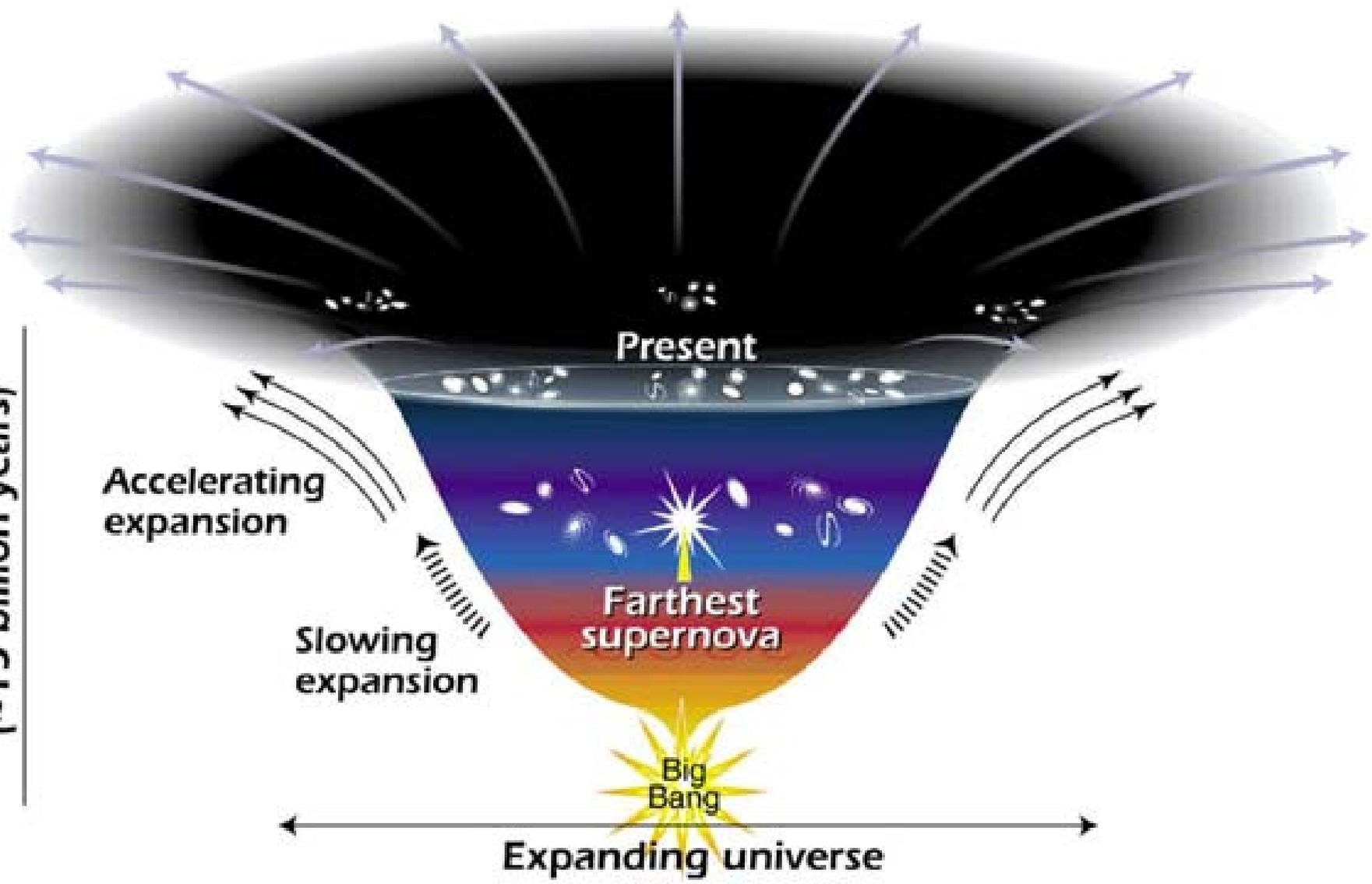


Die kosmologische Konstante Λ



$$\Lambda > 0$$

Time
(~15 billion years)



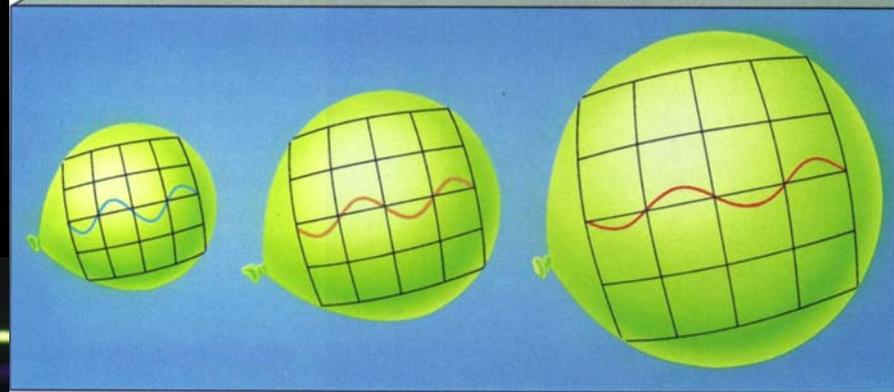
Die 3°K Hintergrund- strahlung



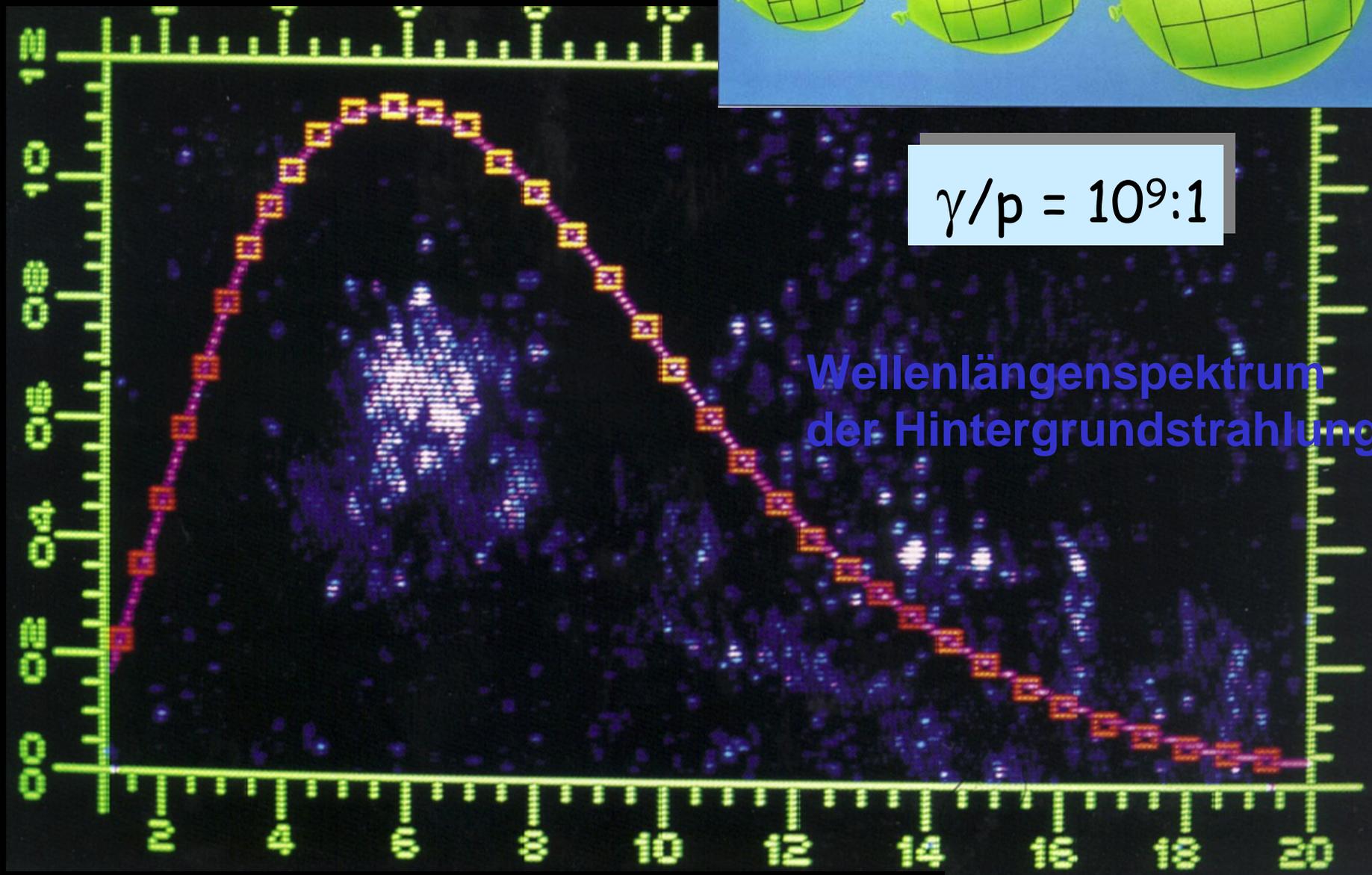
Penzias und Wilson, 1965

COBE-Satellit (1989):

$$T = 2.735 \pm 0.006 \text{ K}$$



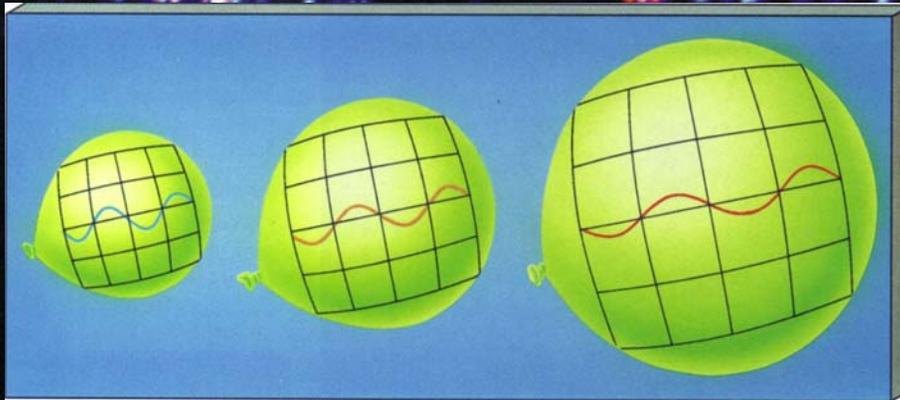
$$\gamma/p = 10^9:1$$



Wellenlängenspektrum
der Hintergrundstrahlung

Wellenlängenspektrum der Hintergrundstrahlung

$$T = 2.735 \pm 0.006 \text{ K}$$
$$\gamma/p \approx 1 \text{ Milliarde} : 1$$



He/H - Verhältnis

Die dritte Säule der Urknall-Hypothese

75% *H*

23% *He*

2% *alles andere*

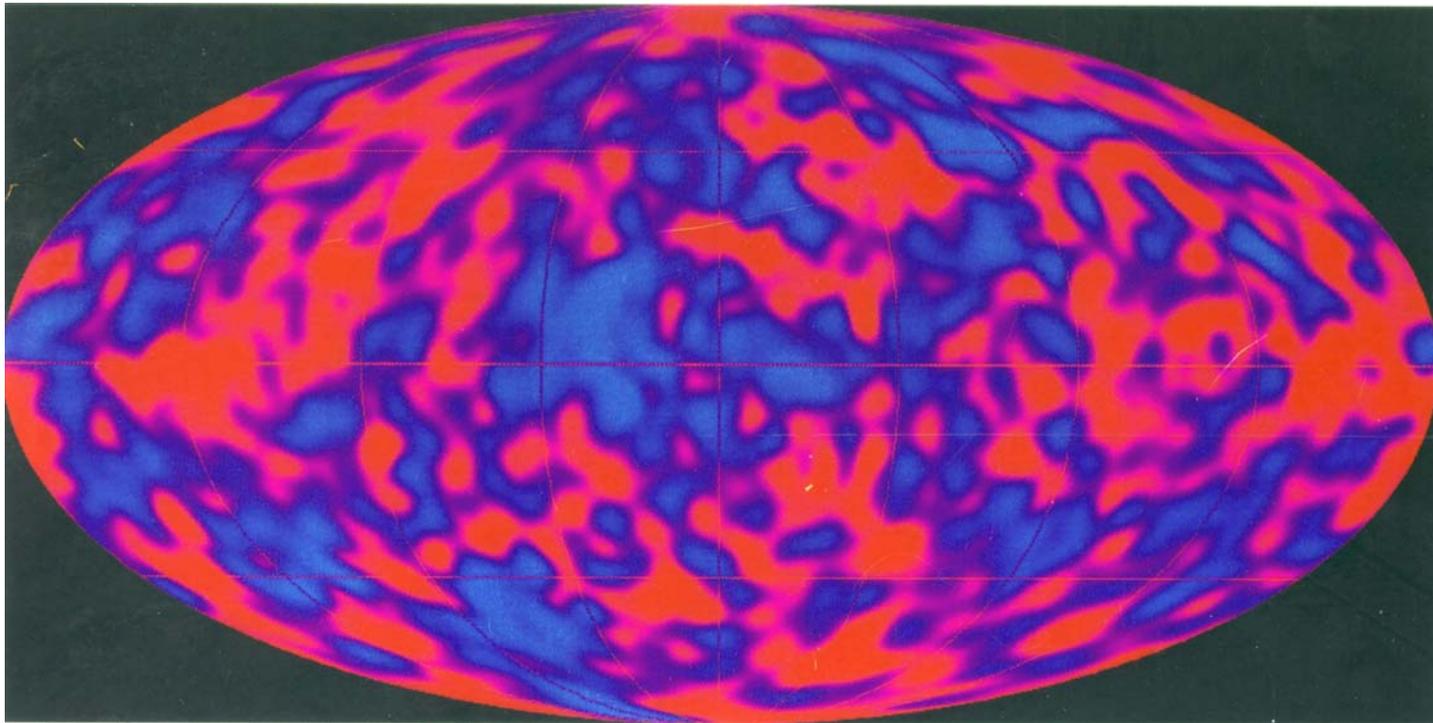
In Sternen erzeugt



Urknall-Modell:

$$\text{He/H} \approx 1/3$$

Die COBE-Karte von 1992: „Blick ins Antlitz Gottes“ (George Smoot)

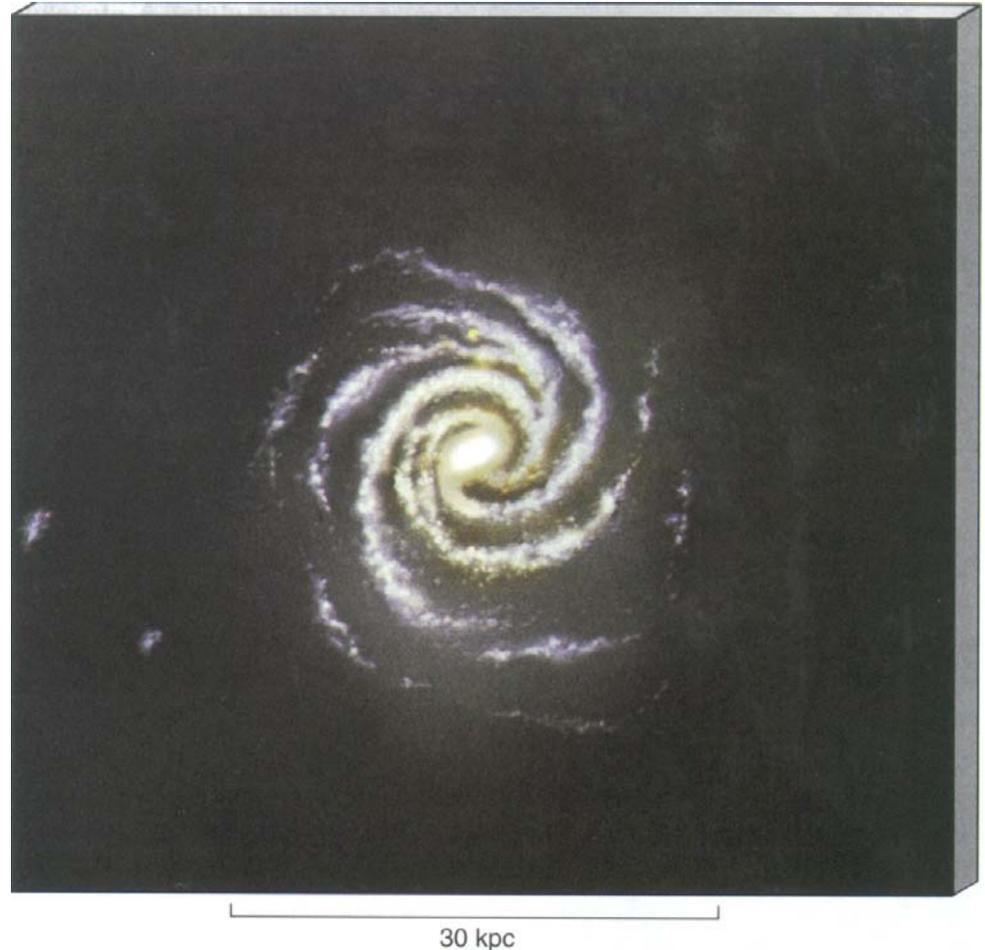


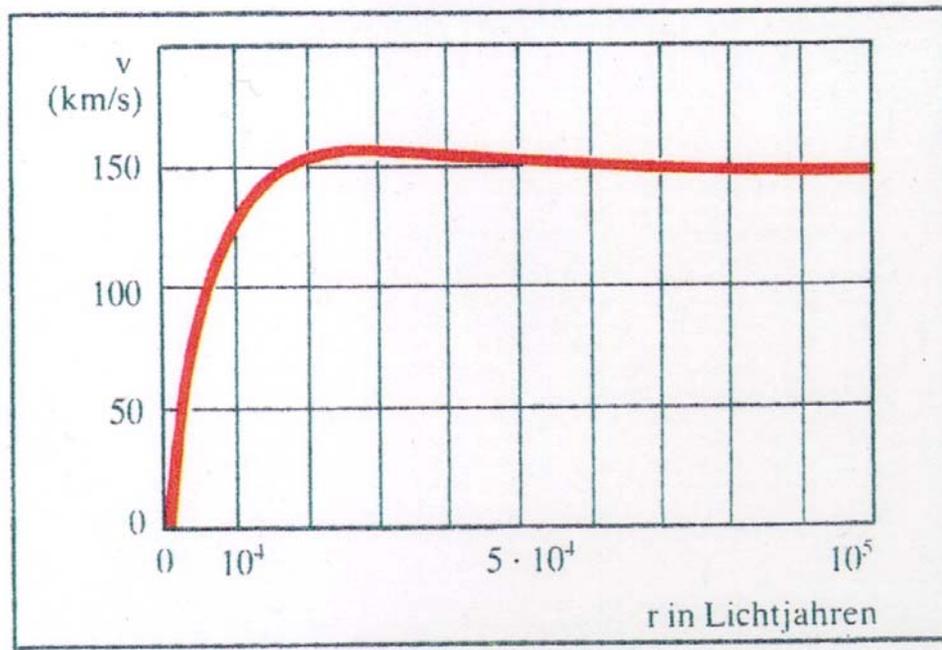
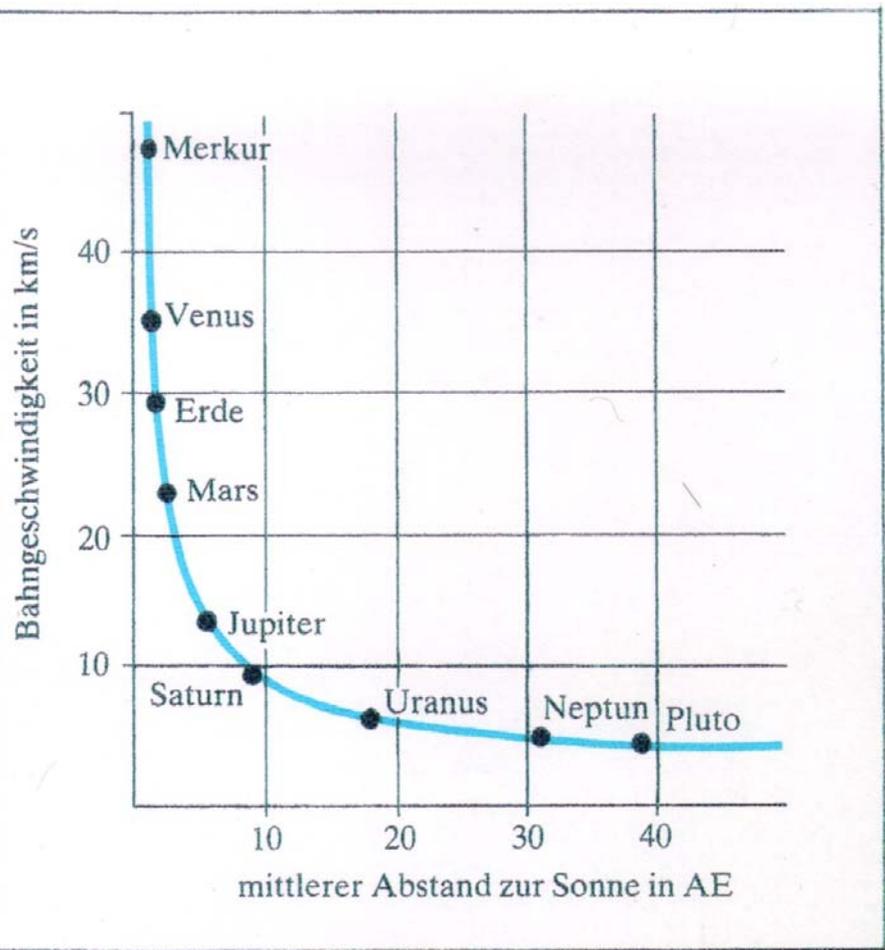
Fluktuationen von bis zu $60 \mu\text{K}$,
entstanden bei $t \approx 10^{-35}$ Sekunden.

Dunkle Materie

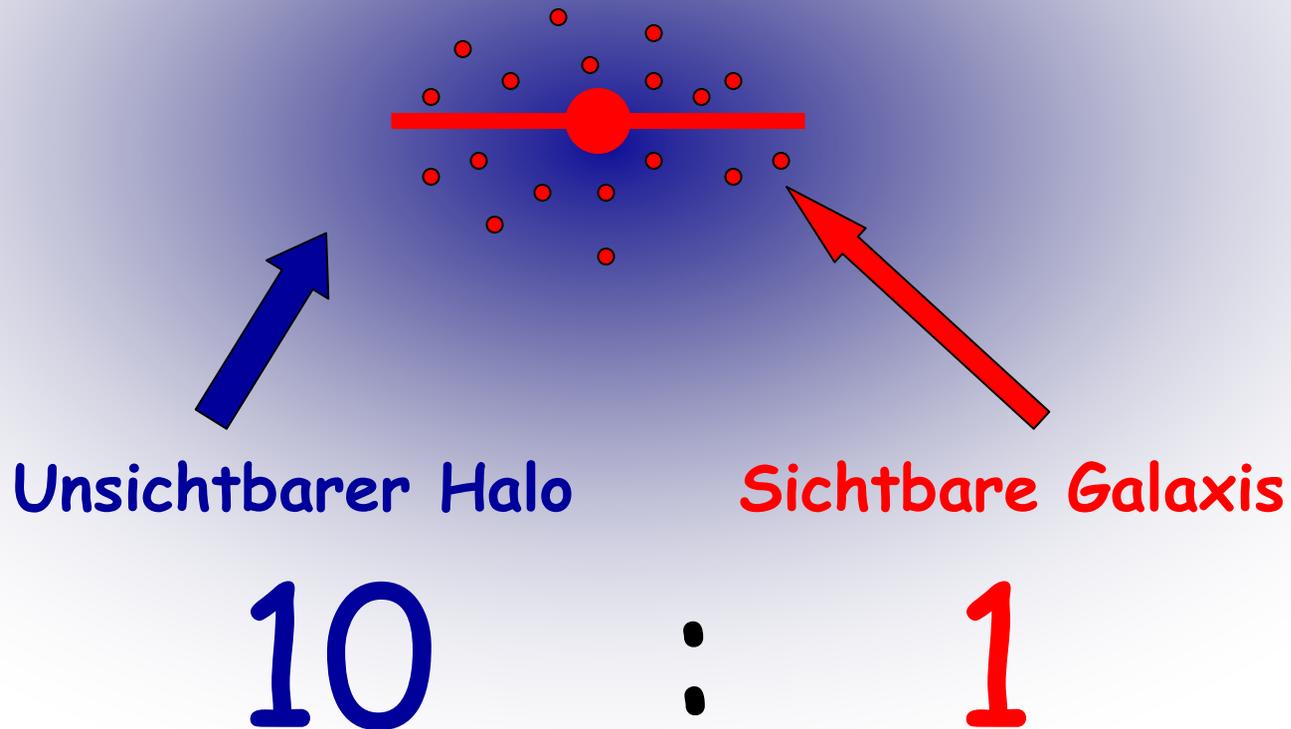
Ein großer Teil des Universums scheint aus einem Stoff zu bestehen, den unsere Beobachtungsinstrumente nicht wahrnehmen - Dunkler Materie

**Indiz Nr. 1:
Rotationskurven von Galaxien**





Dunkle Materie um unsere Galaxis



Dunkle Energie



Dunkle Materie

**Sichtbare
Materie**

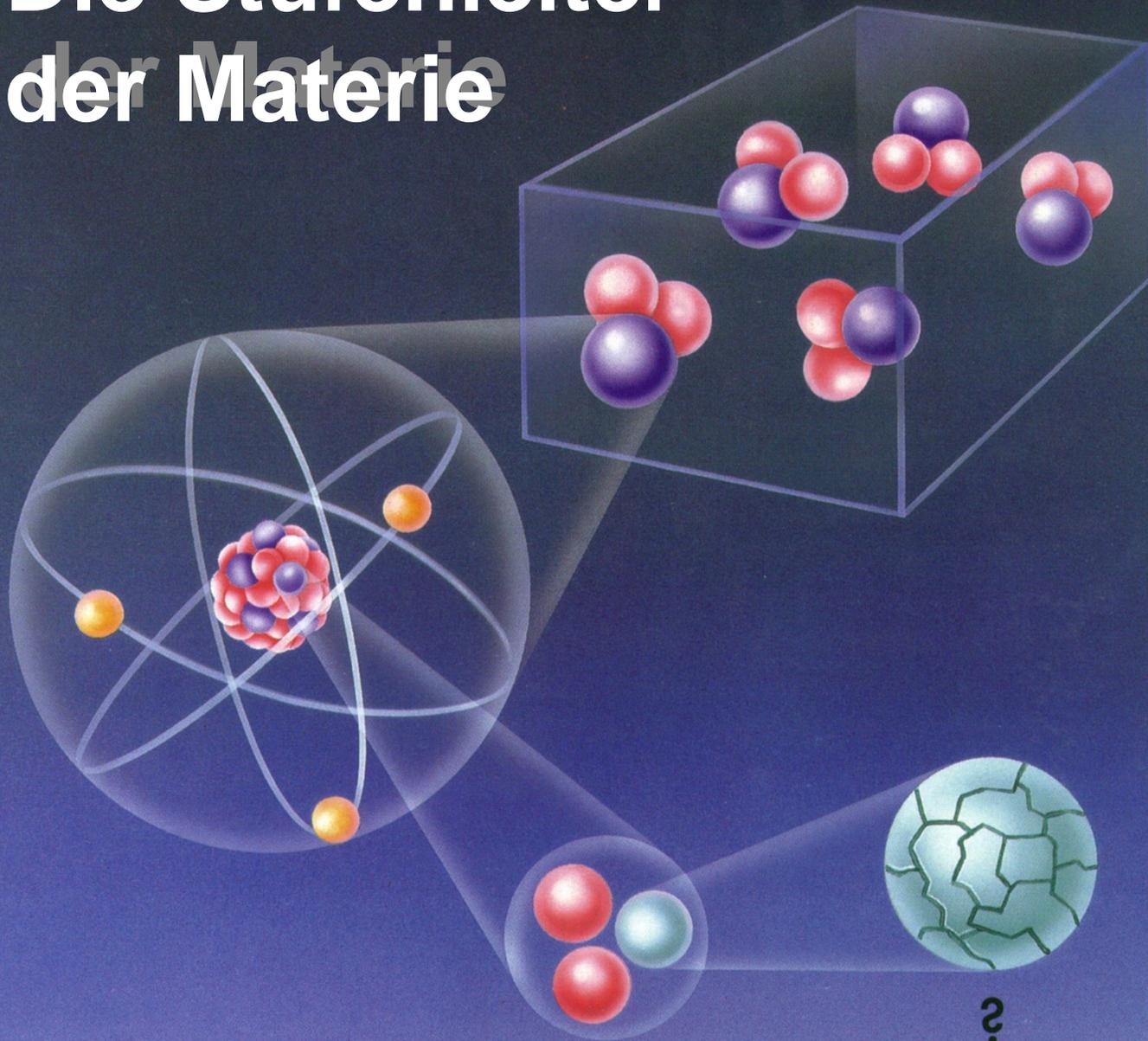


← **Exotisch**

← **Normale
Kernmaterie**

Omega \approx 1

Die Stufenleiter der Materie



Moleküle
 10^{-7} cm

Atom
 10^{-8} cm

Atomkern
 10^{-12} cm

Proton
 10^{-13} cm

**Quark,
Elektron**
 $< 10^{-16}$ cm

Die Kräfte der Natur

Kraft

Elektromagnetische Kraft

Schwerkraft

Starke Kraft

Schwache Kraft

Reichweite

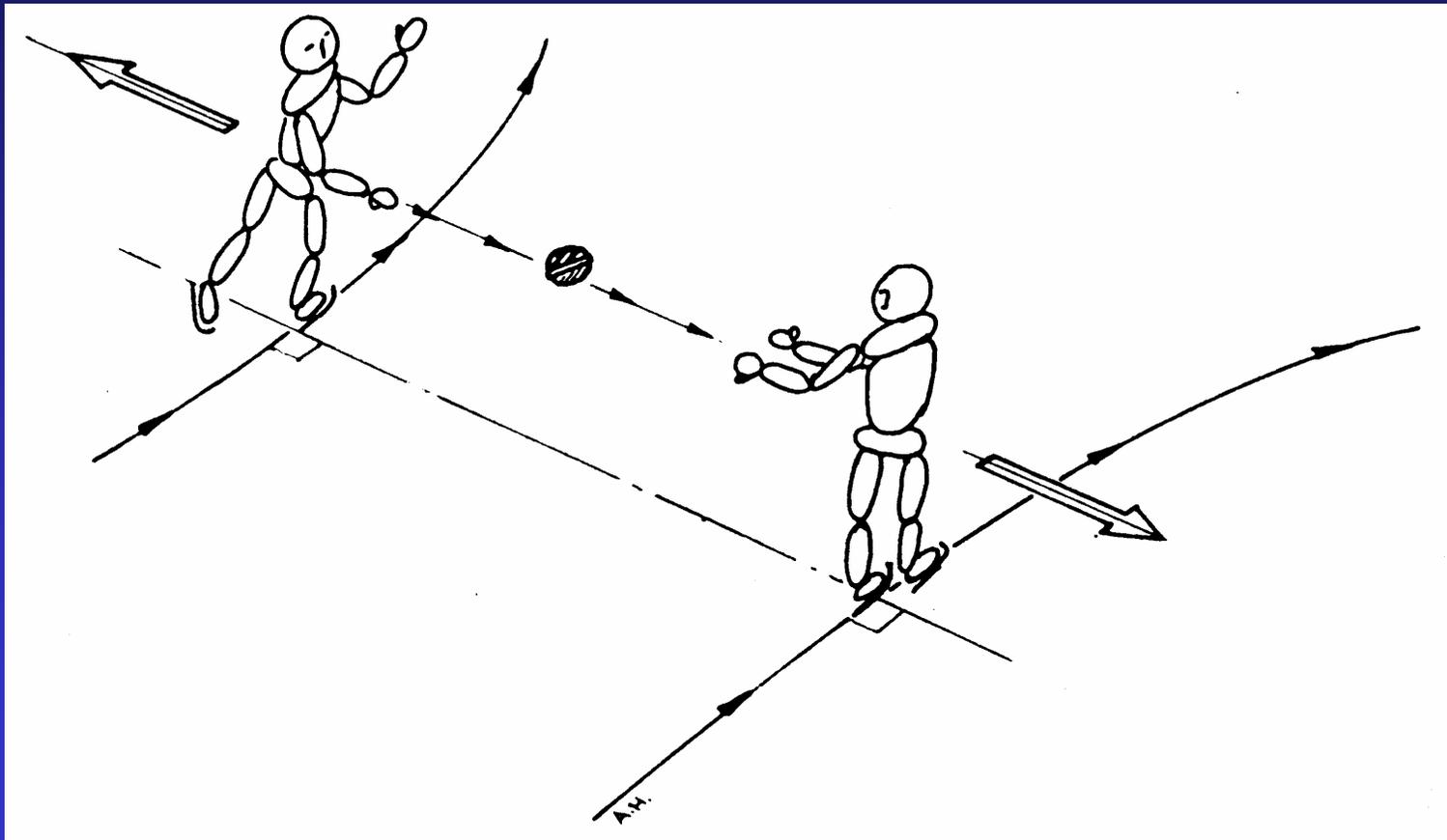
unendlich

unendlich

Kerndurchmesser

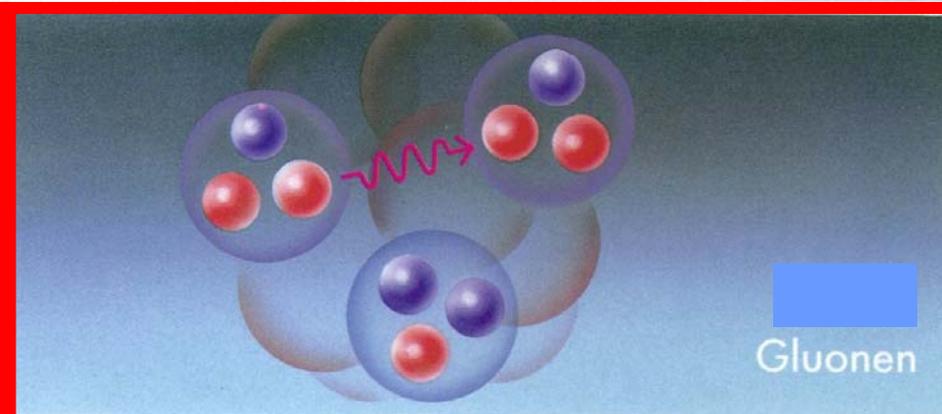
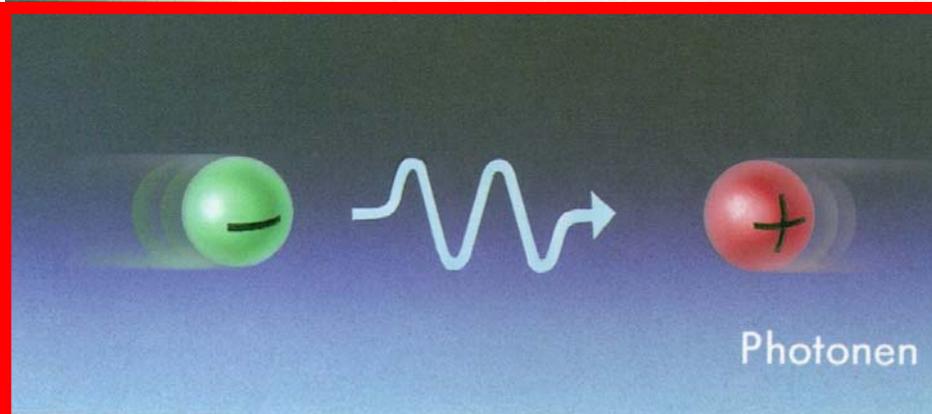
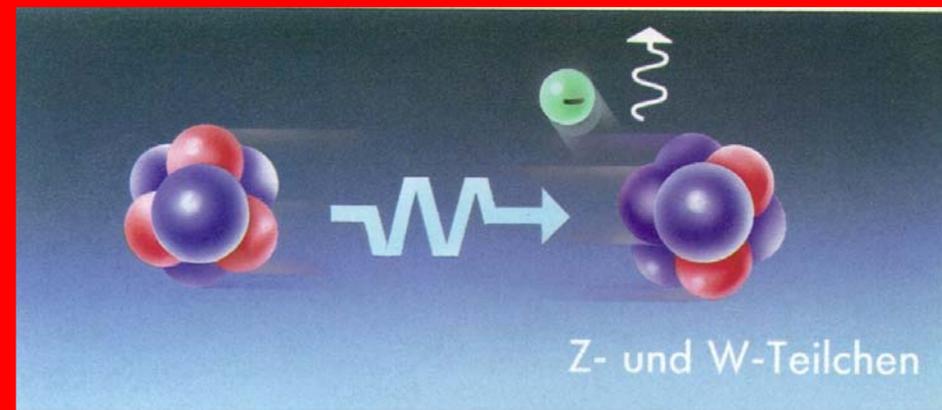
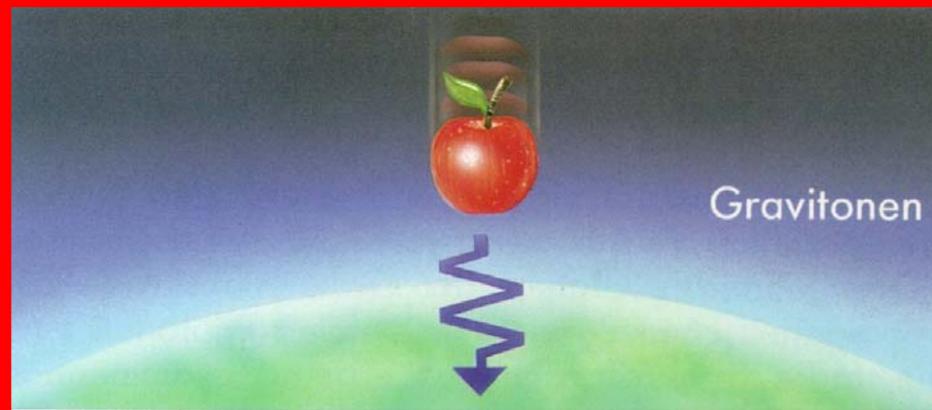
1/100 Kerndurchmesser

Teilchen als Kraftmittler



Schwerkraft

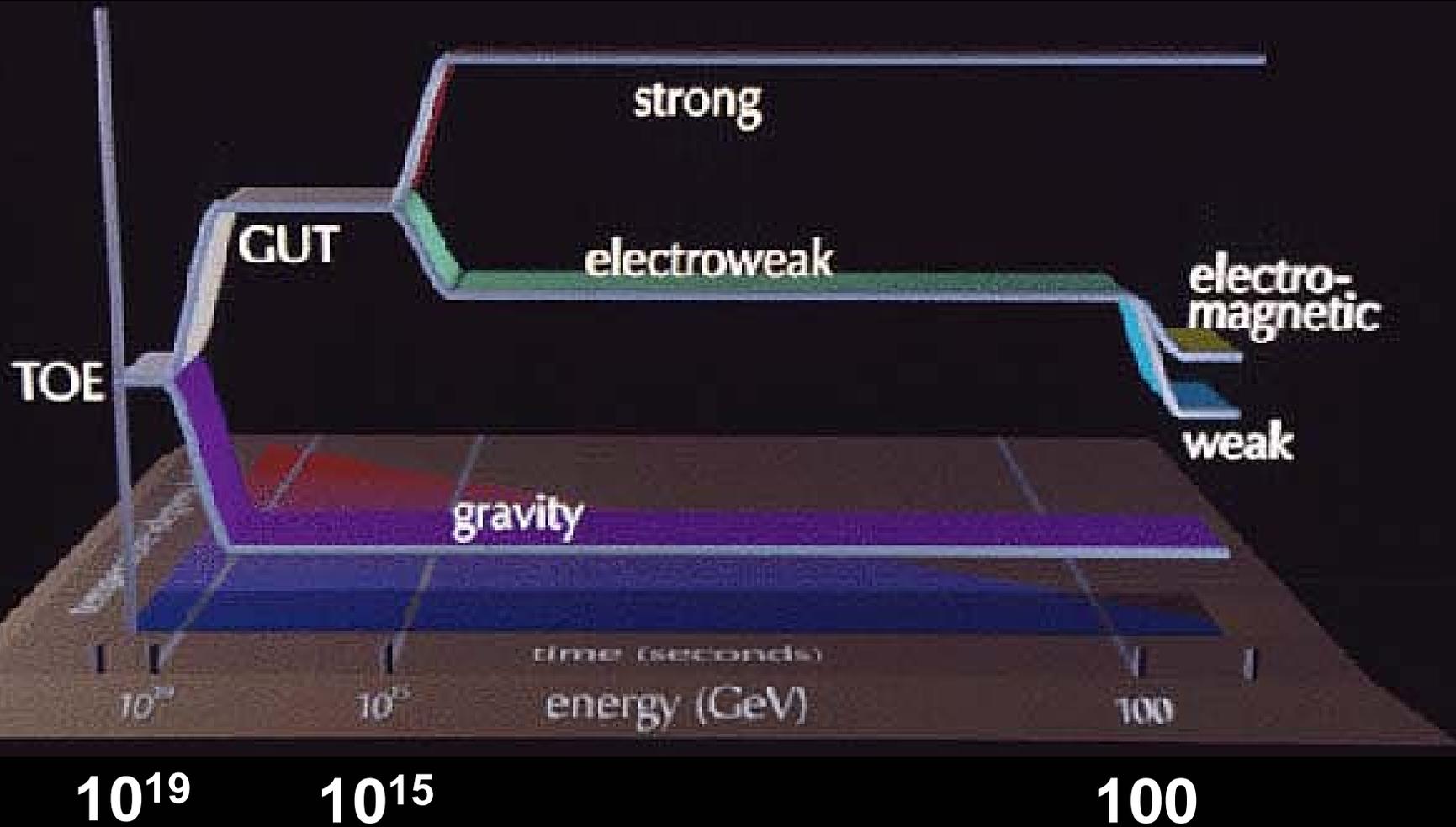
schwache Kraft



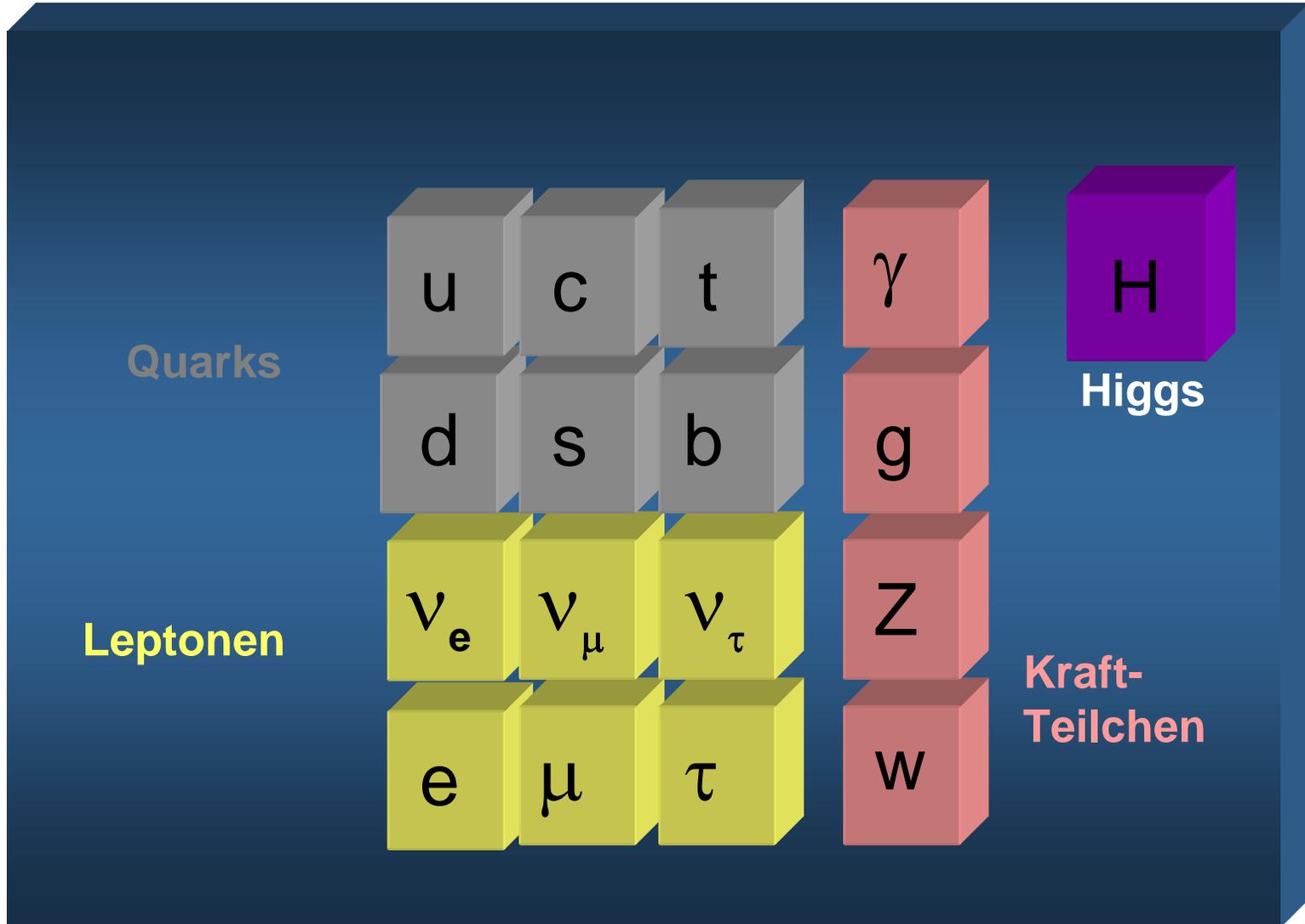
el.-magn.Kraft

starke Kraft

Die Vereinigung von Kräften

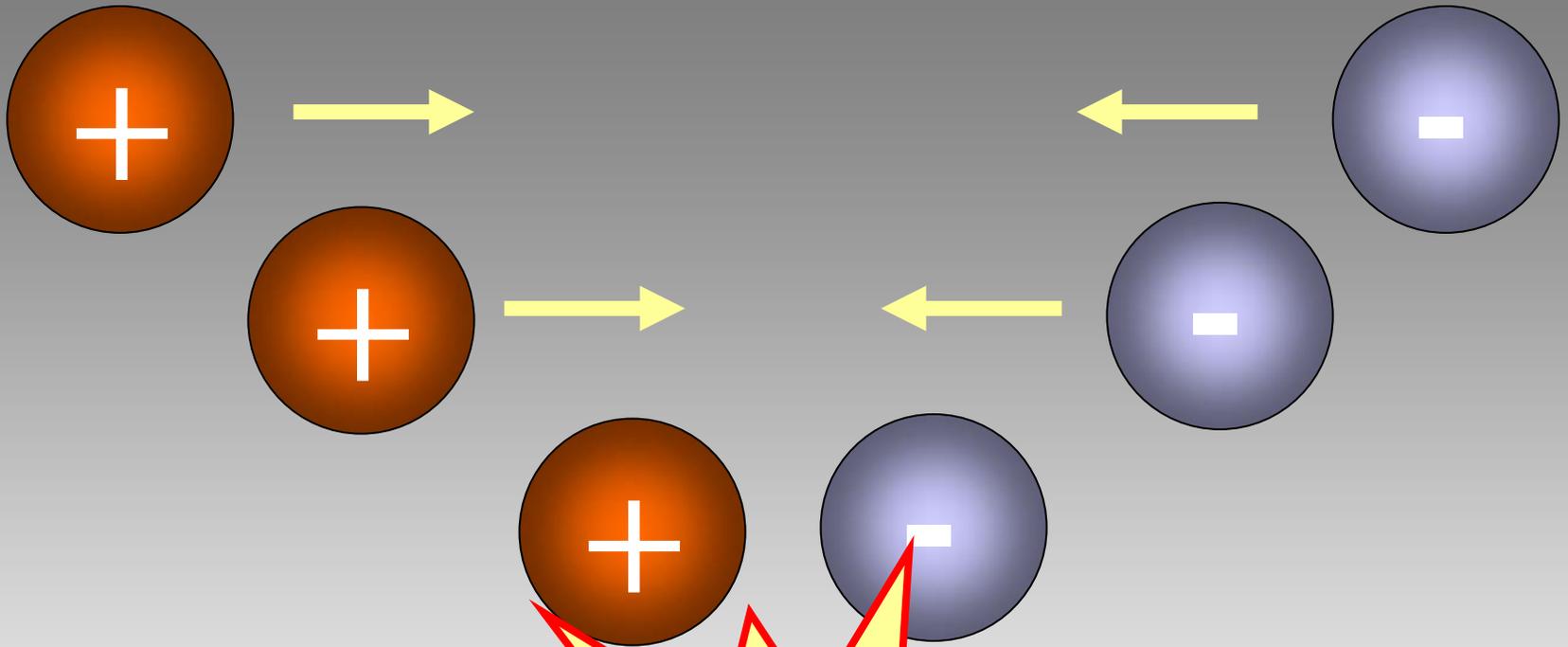


Der Baukasten der Natur



Anti-Teilchen

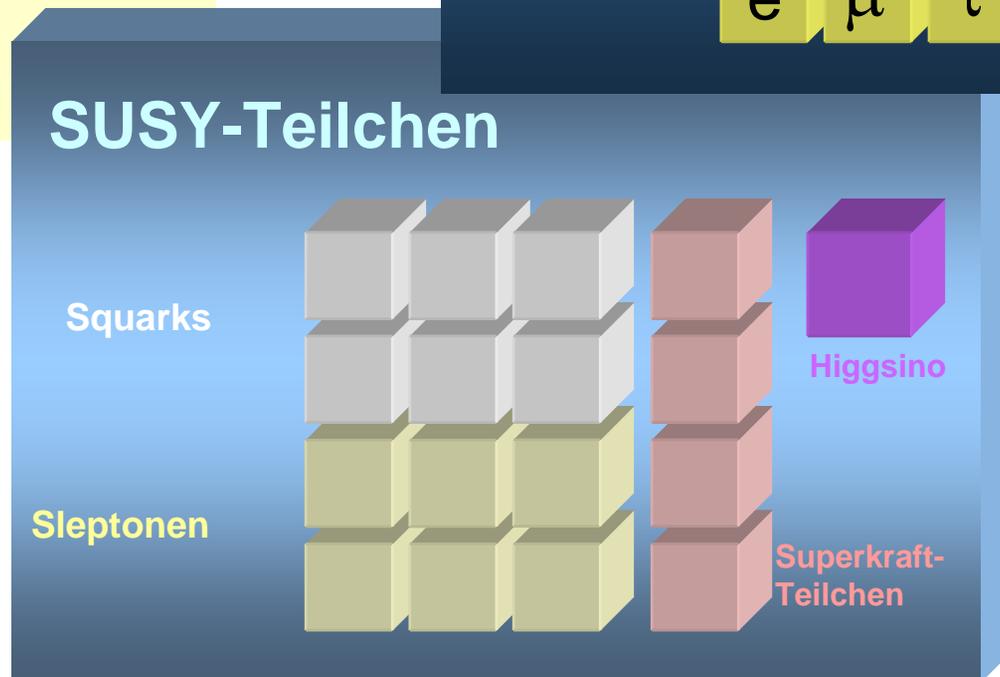
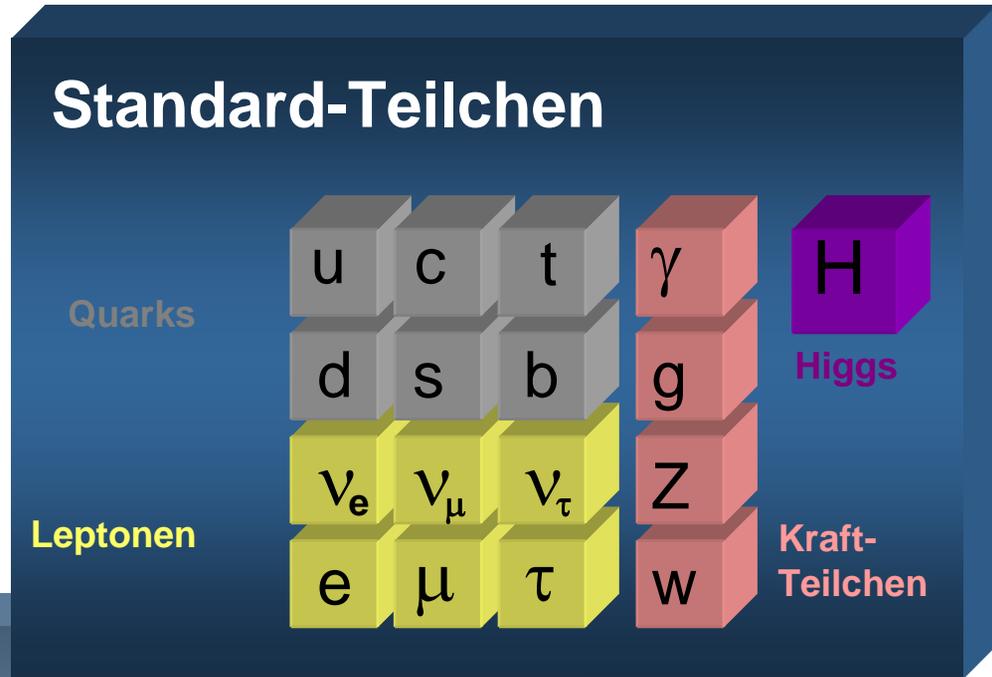




Annihilation

Supersymmetrie 20061217 W W E F L I E

Eine Schattenwelt
aus SUSY-
Teilchen ?



Das kosmische

Drama

10^{-43} s:

Der Vorhang hebt sich ...

Raum und Zeit
sind "schaumig".

Superstrings eine **Theory of Everything** ?

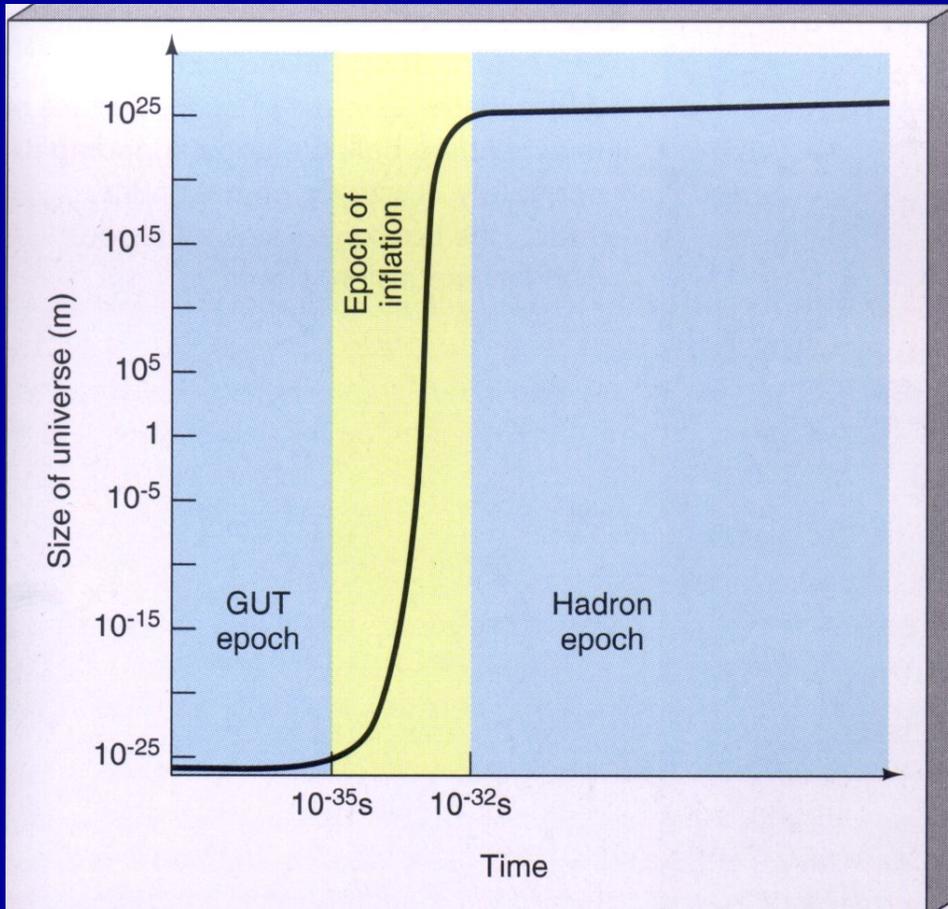
Alle Kräfte sind vereint.

Die Welt ist 10-dimensional.

Doch nur 4 Dimensionen haben
an der Expansion des
Raumes teilgenommen.

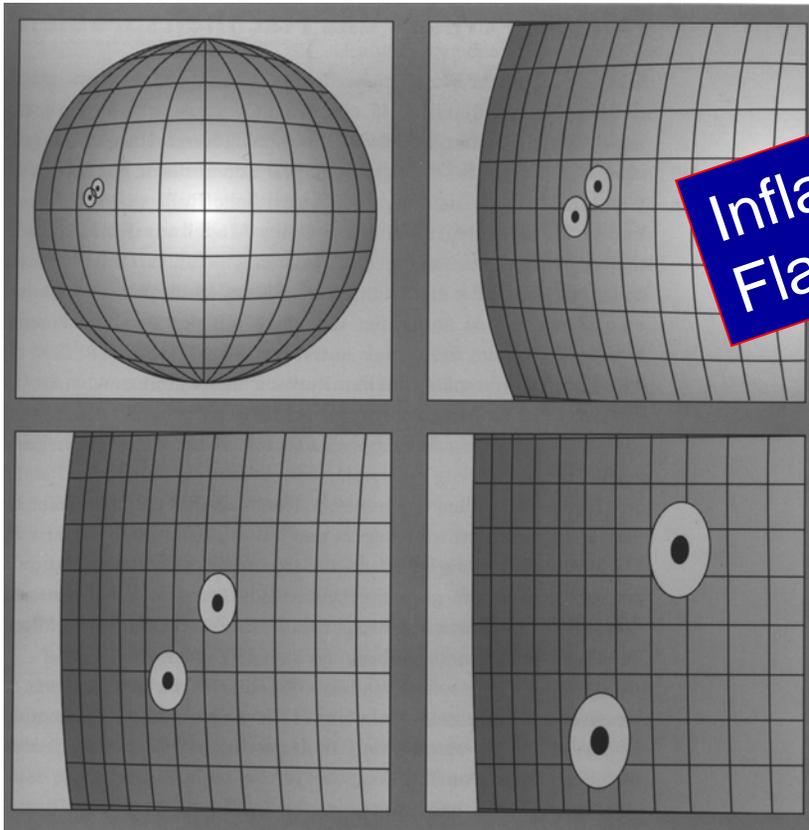
Die anderen sind „aufgerollt“.

Die kosmische Inflation



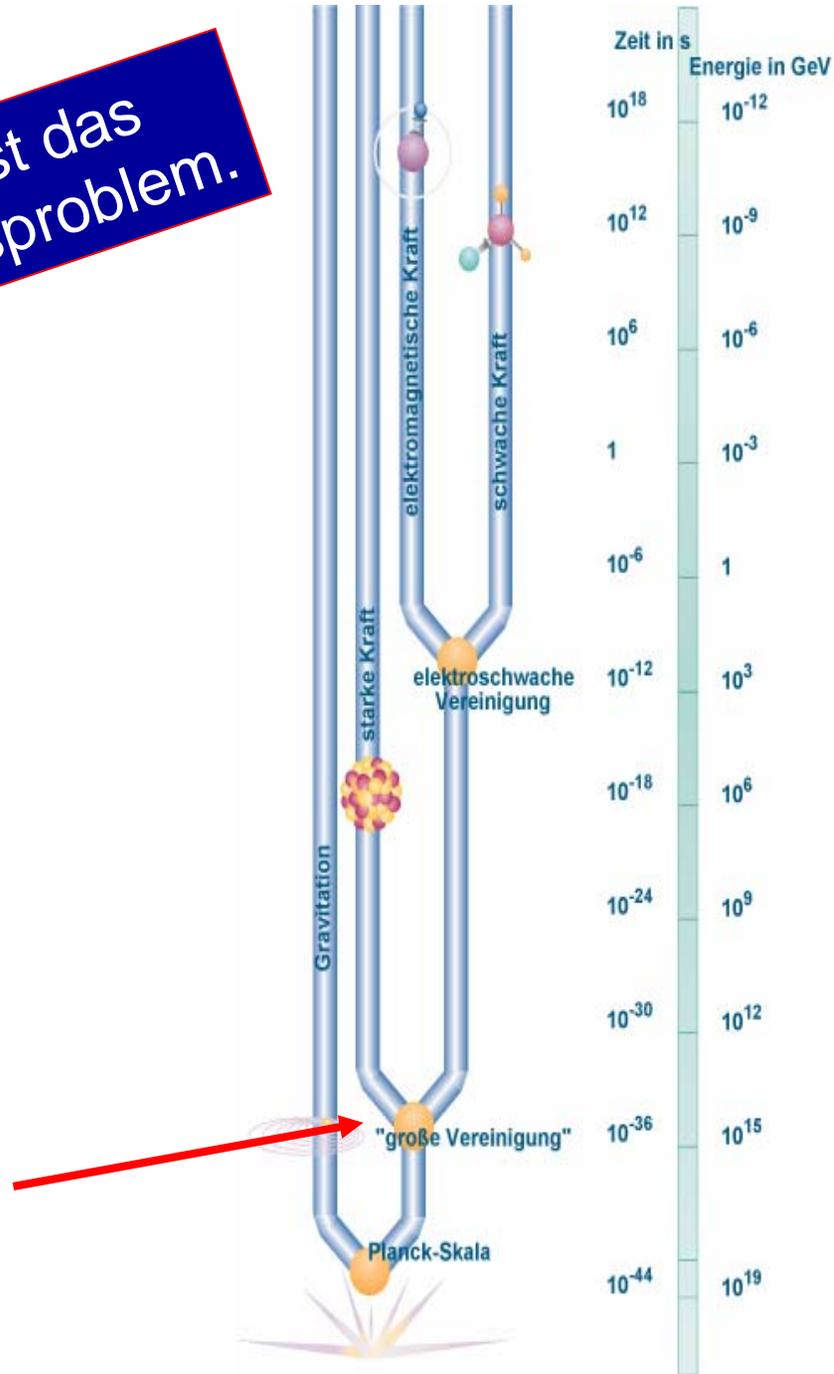
$$t = 10^{-35} - 10^{-32} \text{ s}$$

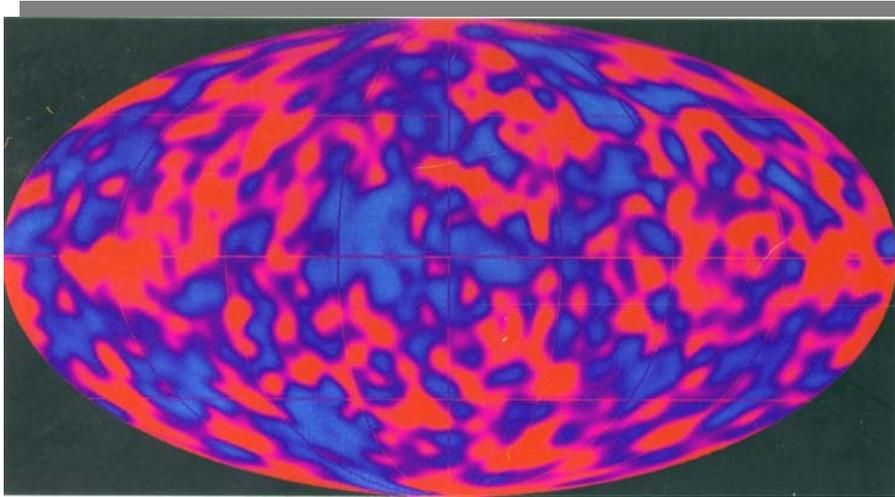
Aufblähen
um das
 10^{50} -fache
in 10^{-32}
Sekunden



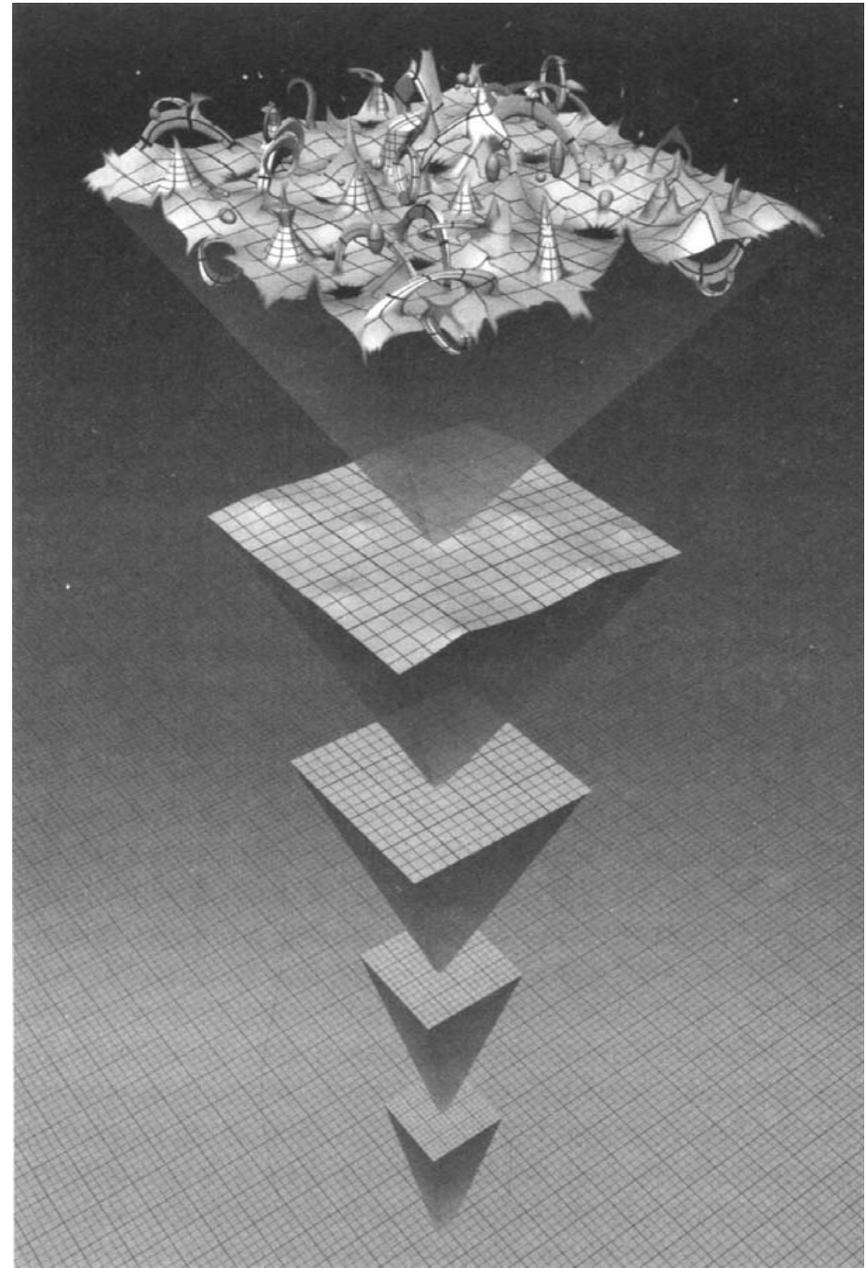
Inflation löst das Flachheitsproblem.

Verzögerter Übergang von der Phase der Symmetrie zwischen starker und elektroschwacher Kraft zur Phase mit gebrochener Symmetrie.

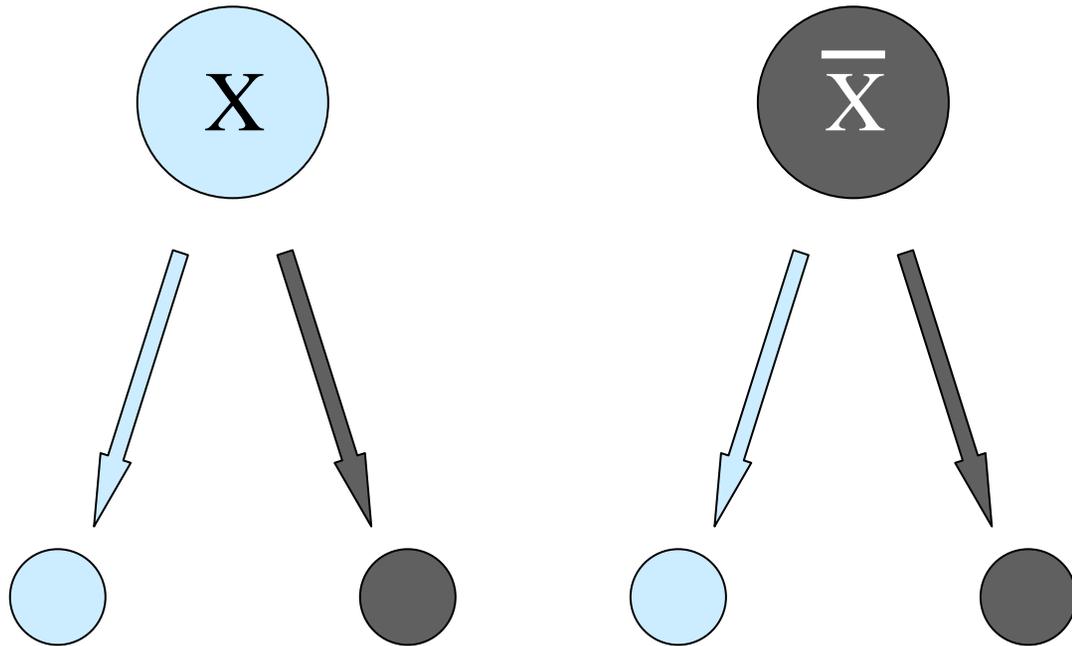




Die Inflation
bläst winzige
Quanten-
fluktuationen
zu kosmischer
Größe auf.



Ein winziger Überschuss von Materie über Antimaterie



1.000000001 : 1 1.000000001 : 1

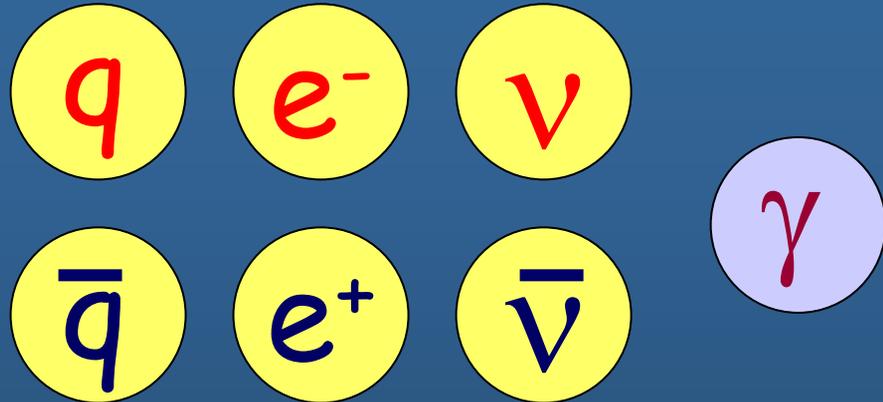
Aus der 1 in der neunten Stelle hinter dem Komma sind **wir** gemacht.

Andrej
Sacharov



Zeit
(Sekunden)

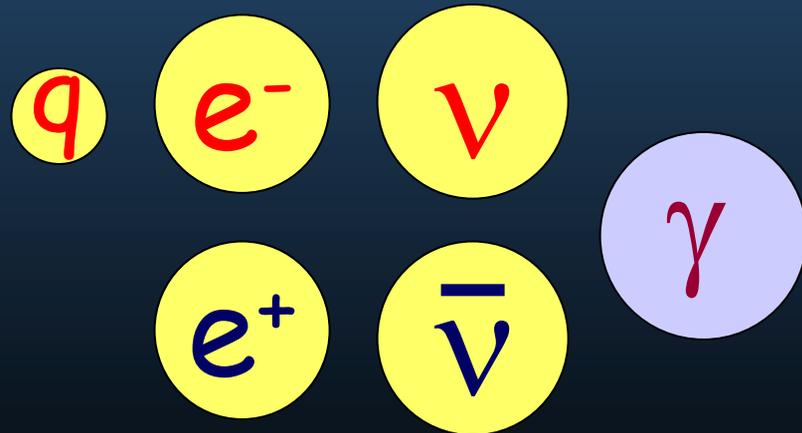
10^{-10}



Elektroschwache Symmetrie bricht

Quark-Antiquark-Vernichtung

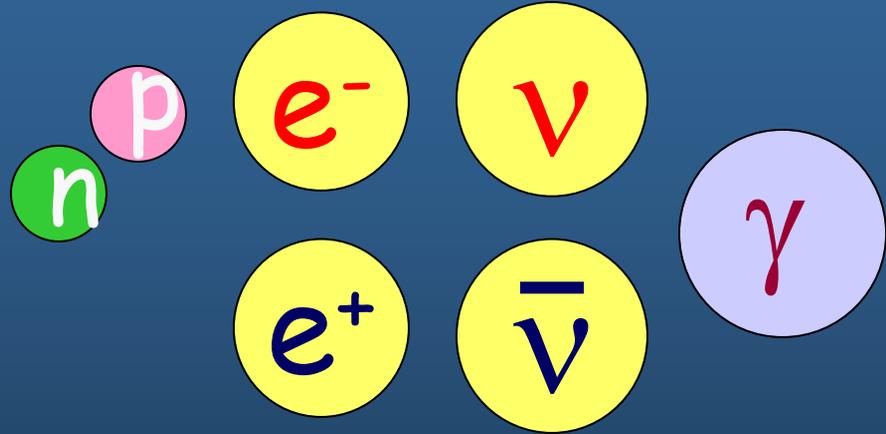
10^{-6}



Zeit
(Sekunden)

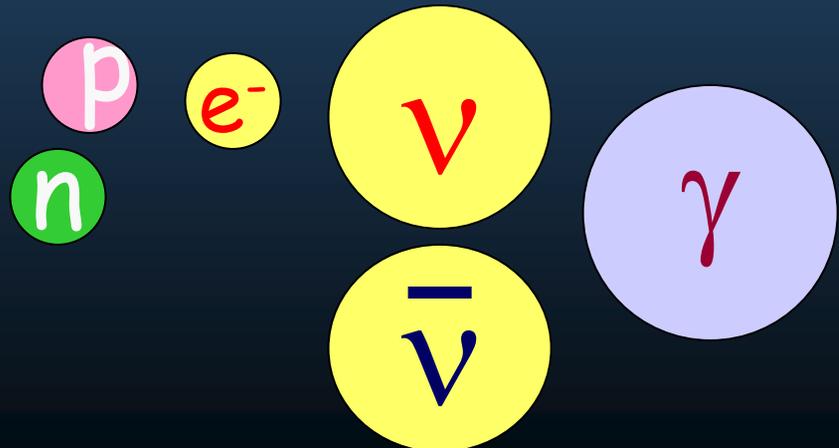
Synthese von Proton und Neutron

10^{-4}



10^{-2}

Elektron-Positron-Vernichtung

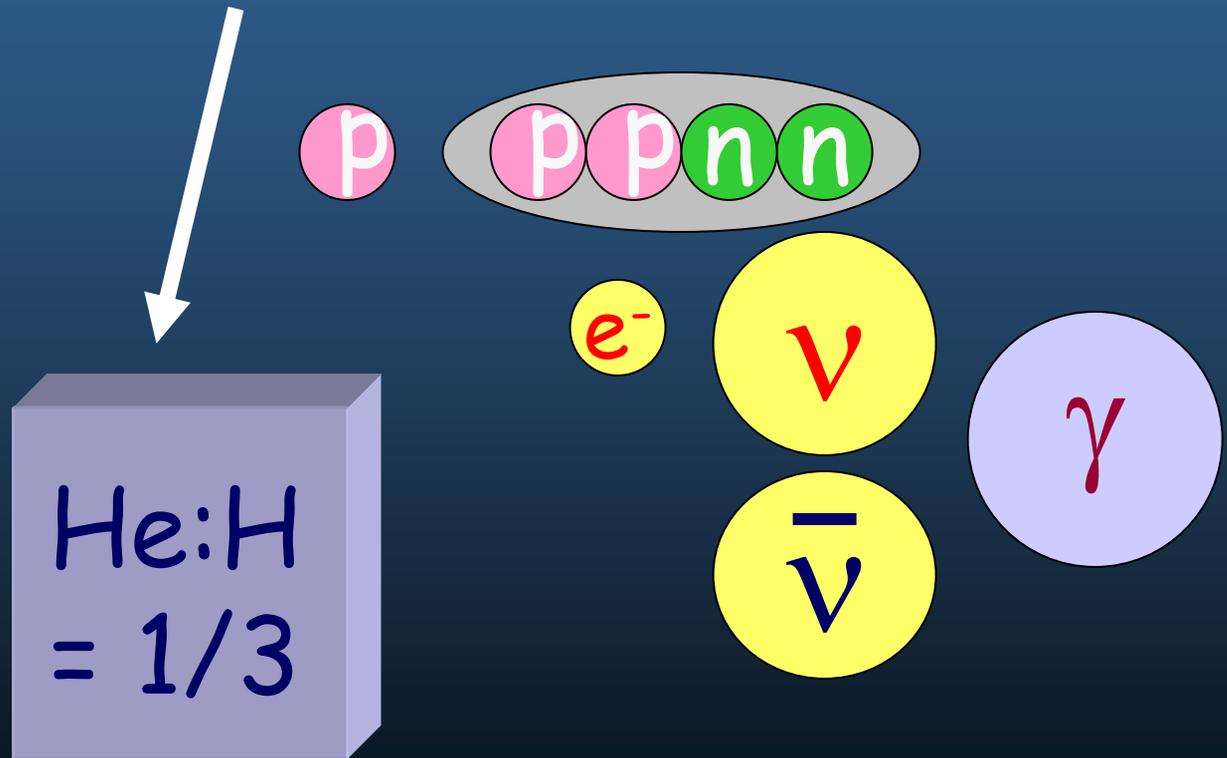


Zeit
(Sekunden)

Helium-Synthese

Neutronen: Flucht in den rettenden
Hafen des He-Kerns

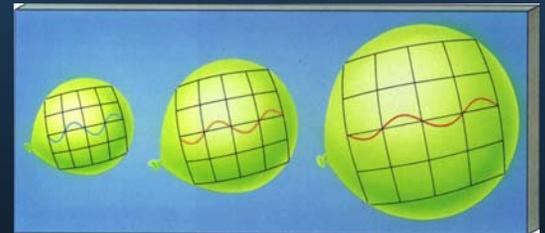
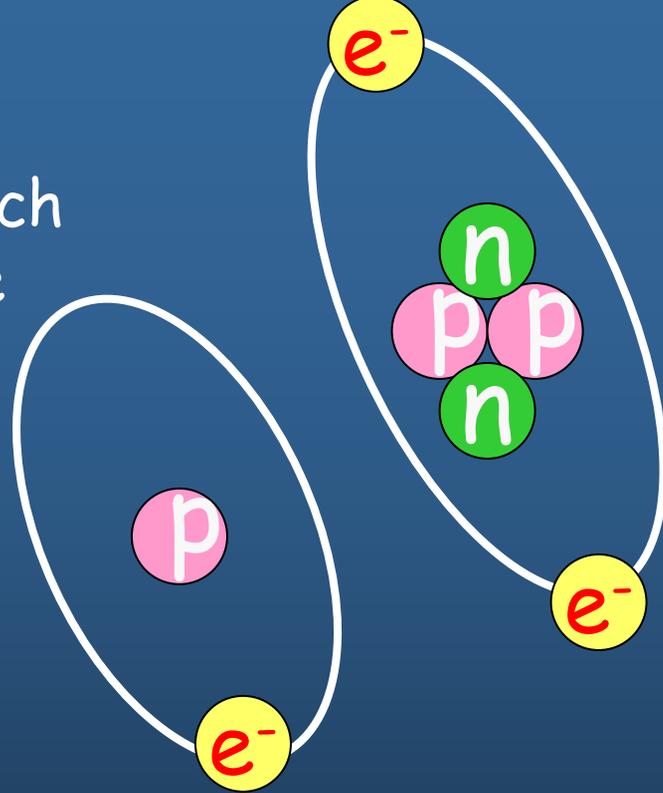
1



300 000
Jahre

Elektrisch
neutrale
Atome

$T = 4000^{\circ}\text{K}$



15 Mia Jahre

$T = 2.735^{\circ}\text{K}$

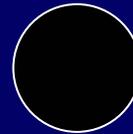
300 000 Jahre Elektrisch neutrale Atome:
Das Universum wird durchsichtig

Galaxien
erste Sterne Synthese schwerer Elemente

15 Mia
Geburt der Sonne
Menschheit
Tod der Sonne

Tod der letzten Sterne

Schwarze Löcher



10^{33}

Protonzerfall?



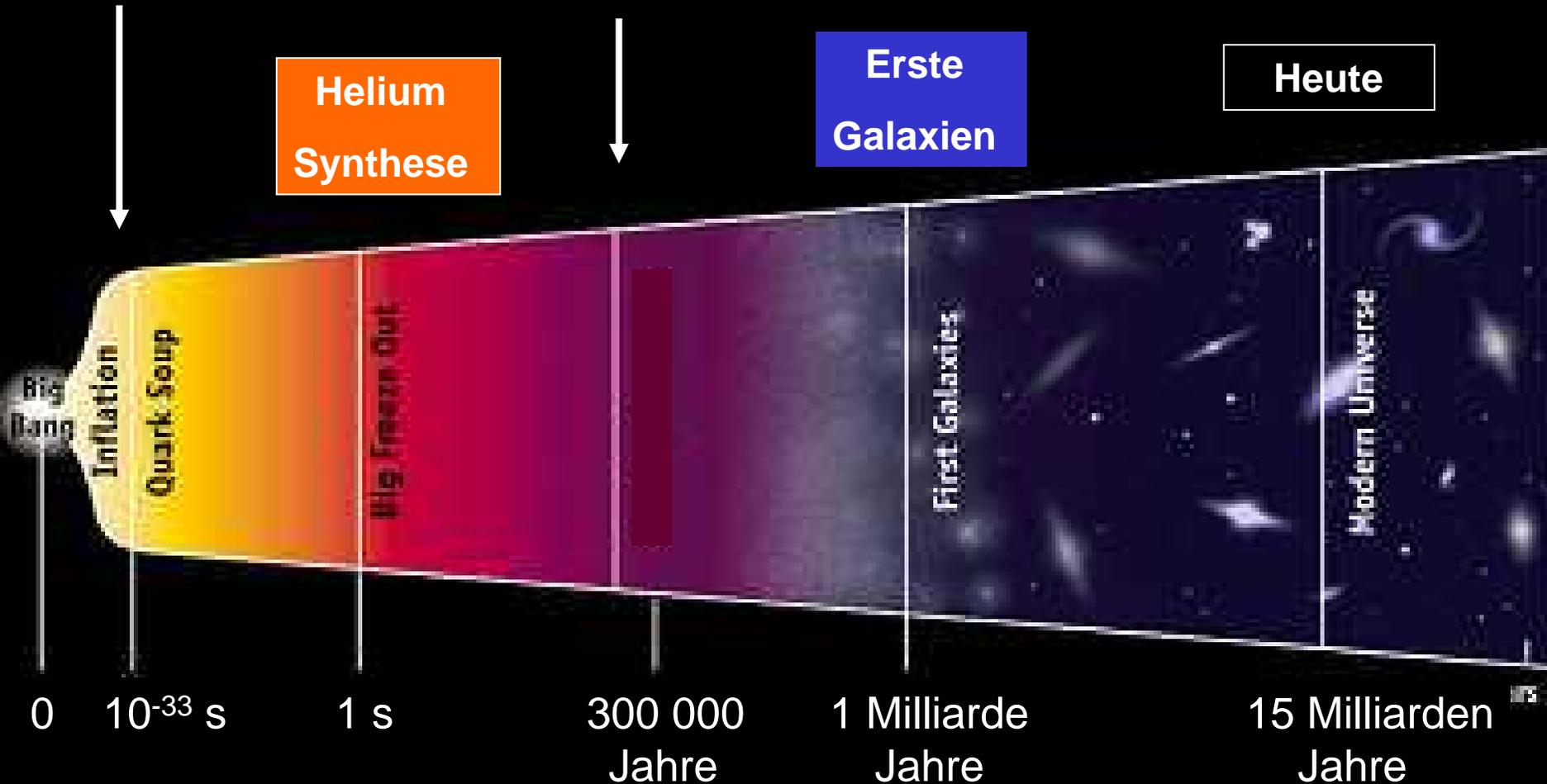
Inflation

Universum wird durchsichtig

**Helium
Synthese**

**Erste
Galaxien**

Heute



Big Bang

Inflation
Quark Soup

Big Freeze Out

First Galaxies

Modern Universe

0

10^{-33} s

1 s

300 000 Jahre

1 Milliarde Jahre

15 Milliarden Jahre

1/3



Geistesgegenwärtig hatte Gott damals vom Urknall ein Foto geschossen, welches er immer noch recht eindrucksvoll fand.