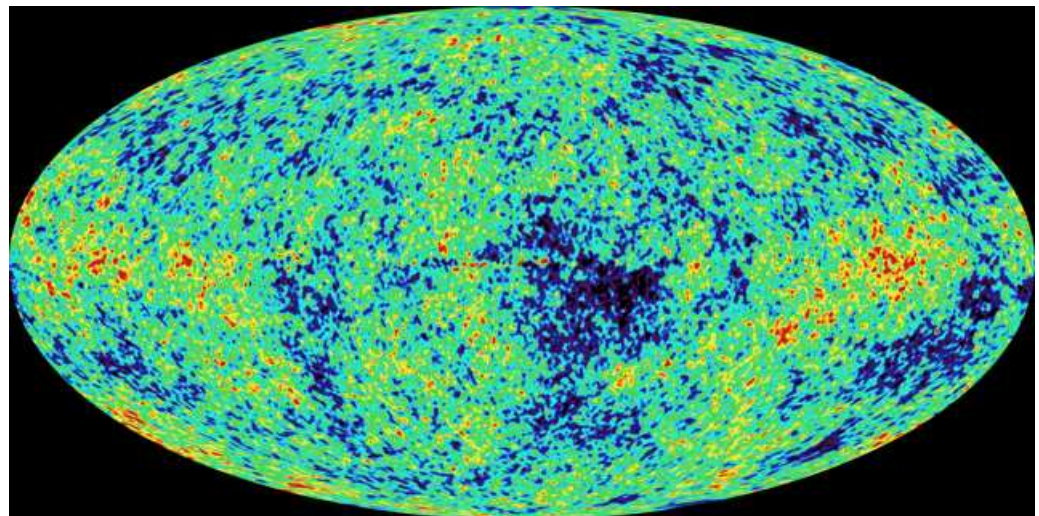
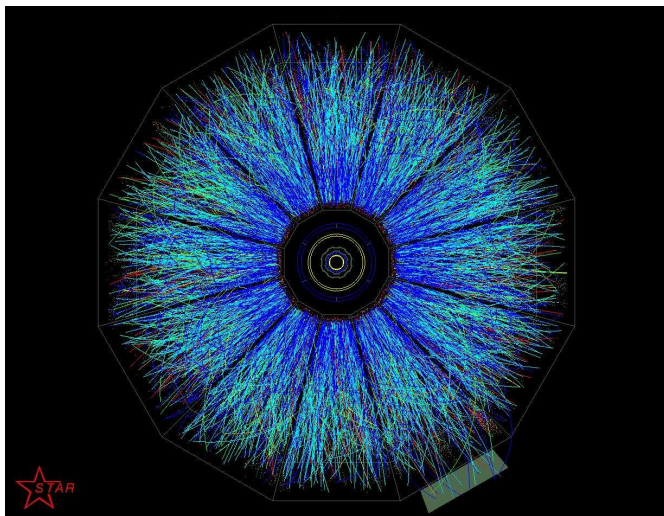


Vom „Little Bang“ zum „Big Bang“

Teilchen, Urknall und theoretische Physik

Hendrik van Hees
Fakultät für Physik
Universität Bielefeld

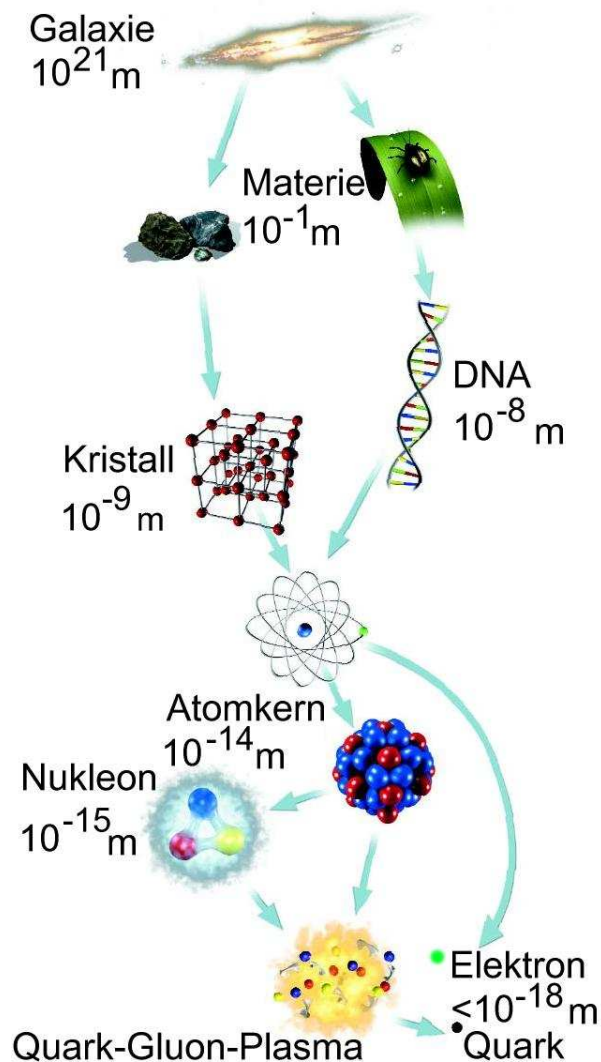
<http://theory.gsi.de/~vanhees/index.html>



Inhalt

- „Little Bang“: Teilchenphysik
 - Das Standardmodell der Elementarteilchen
 - Quarks, Leptonen, Felder
 - Higgs-Teilchen
 - Relativitätstheorie und Quantentheorie
 - Schwere Ionen
 - Das Quark-Gluon-Plasma
- „Big Bang“: Kosmologie
 - Das Universum als Ganzes
 - Das Universum im Groben: Totale Symmetrie!
 - Kleine Abweichungen von der Symmetrie: Neue Daten aus dem All
 - Allgemeine Relativitätstheorie
 - Astro-Teilchenphysik
 - Wie paßt das alles zusammen?
 - Was wir (noch?) nicht wissen
 - Warum sind wir überhaupt da?
 - Woraus besteht die „dunkle Materie“?
 - Warum gibt es „dunkle Energie“?

Größenordnungen



- **Beobachtete** und durch die Physik **erklärbare** Größenordnungen
- Materie besteht aus **Molekülen**
- Moleküle setzen sich aus **Atomen** zusammen
- Atome setzen sich aus **Atomkern** und **Elektronen** zusammen
- Atomkerne setzen sich aus **Protonen** und **Neutronen** (= **Nukleonen**) zusammen
- Nukleonen setzen sich aus **Quarks** zusammen
- Quarks und Elektronen: Bis jetzt keine weitere Unterstruktur entdeckt
Aber: Nur begrenzte Energie verfügbar \Rightarrow **Auflösung** begrenzt auf bisher $\approx 10^{-18}$ m

Quantentheorie

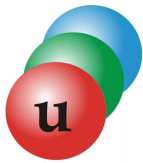
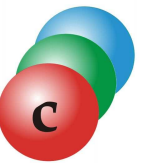
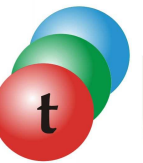
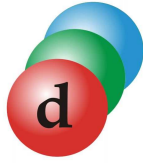
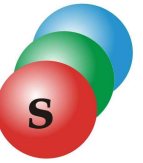
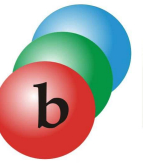
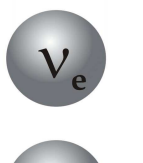
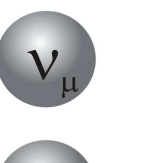

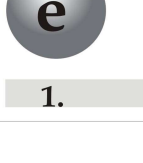
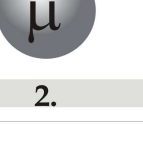
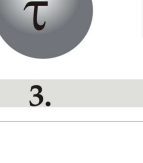
- Beobachtung: Materie erscheint in diskreten **Quanten**
- Quantisierte Größen: **Masse, Ladung, ...**
- Einfluß von Messungen kann prinzipiell nicht beliebig klein werden
- Die genaue Messung einer Größe kann die Festlegung einer anderen Größe **unmöglich** machen:
- **Heisenbergsche Unschärferelation**

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

- Je genauer man den Ort eines Teilchens festlegt, desto ungenauer ist der Impuls (Geschwindigkeit) des Teilchens bestimmt und umgekehrt
- **Je kleinere Abstände** man auflösen will, desto größer muß die Energie der Teilchen sein!
- Quantentheorie wurde um 1925 entwickelt von **Heisenberg, Schrödinger, Dirac, ...**
- **Alle** (bekannten) Naturerscheinungen werden durch die Quantentheorie korrekt beschrieben!

Das Standardmodell I

- Relativitätstheorie = Theorie von **Raum und Zeit**
- Relativitätstheorie + Quantentheorie: **Quantenfeldtheorie**
- Beschreibt **Reaktionen zwischen Teilchen**
- Teilchen können jederzeit **erzeugt und wieder vernichtet** werden!

			} $Q=2/3$ Quarks
			
			} $Q=0$ Leptonen
			
1.	2.	3.	Familie

Materieteilchen

- Zu jedem Teilchen gibt es ein **Antiteilchen** gleicher Masse, aber umgekehrter Ladung
- **Quarks:**
 - noch nie als freie Teilchen beobachtet
 - Bilden **Baryonen** aus drei Quarks oder **Mesonen** aus Quark + Antiquark
 - Bis jetzt viele 100 (!) Baryonen entdeckt
 - Alle Baryonen sind **farblos!**
- **Leptonen**
 - alle als freie Teilchen entdeckt

Standardmodell II

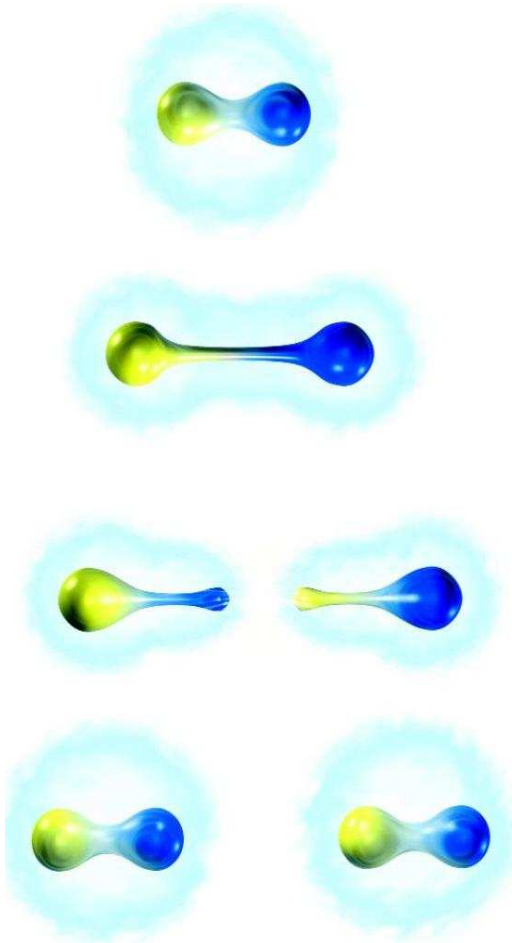
- Die **Kräfte** werden durch **Felder** vermittelt
- Quantenfeldtheorie: Felder beschreiben auch **Teilchen!**
- Vermitteln zwischen Teilchen, die die entsprechende **Ladung** tragen
- drei Grundkräfte
 - elektromagnetische Kraft (wirkt zwischen elektrischen Ladungen)
 - schwache Kraft (wirkt zwischen schwachen Ladungen)
 - starke Kraft (wirkt zwischen Farbladungen)
- Gravitation: Spezialfall \Rightarrow später!

Teilchen	Kraft	Masse	em. Lad.	schw. Lad.	Farblad.
Photon γ	elektromagnetische	0	0	0	0
W^+, W^-	schwache Kraft	$80 \text{ GeV}/c^2$	± 1	ja	0
Z^0	schwache Kraft	$91 \text{ GeV}/c^2$	0	ja	0
8 Gluonen	starke Kraft	0	0	0	ja

- Spezielles Teilchen: **Higgsboson**
- verantwortlich für die Masse der Teilchen
- Rein mathematische Vorhersage: noch nicht entdeckt!

Die Gefangenschaft der Quarks

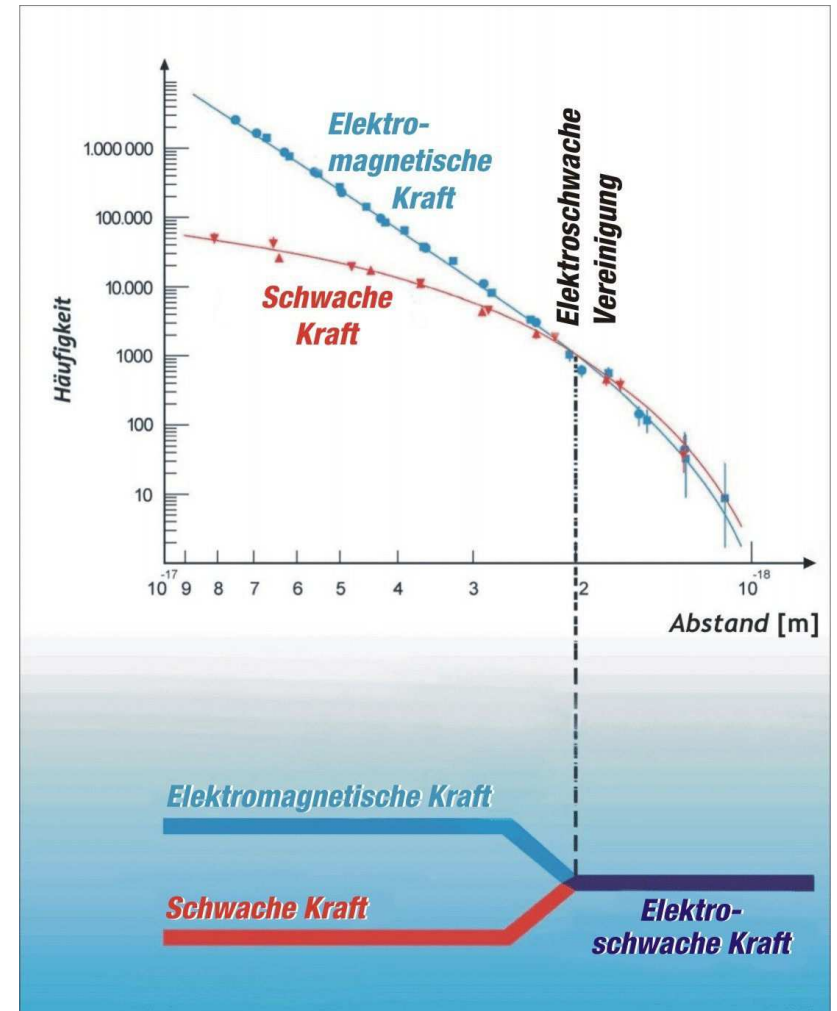
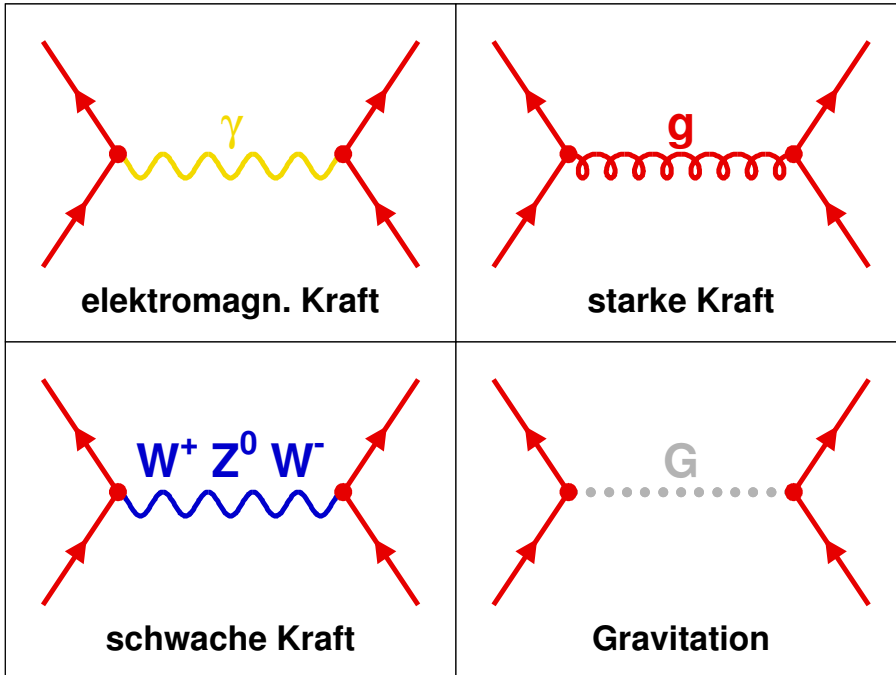
- Gluonen tragen Farbe \Rightarrow **Confinement der Quarks**
- Quarks immer zu **farblosen Objekten** gebunden



- Grund: Starke Kraft zwischen den Quarks wird immer größer, je weiter man die Quarks entfernen will
- Quarks können nicht „getrennt“ werden
- Stattdessen entstehen spontan **neue Quark-Antiquark-Paare**
- Insgesamt werden wieder **farblose Hadronen** erzeugt!
- **Andererseits: Packt man Quarks und Gluonen dicht zusammen**, wird die starke Kraft schwächer.
- Idee: In **hochenergetischen Zusammenstößen von schweren Atomkernen** entsteht ein **Quark-Gluon-Plasma**
- Plasma: „Gas“ aus elektrisch geladenen Teilchen (Bsp: **Blitze!**)
hier: Gas aus Teilchen mit Farbladung

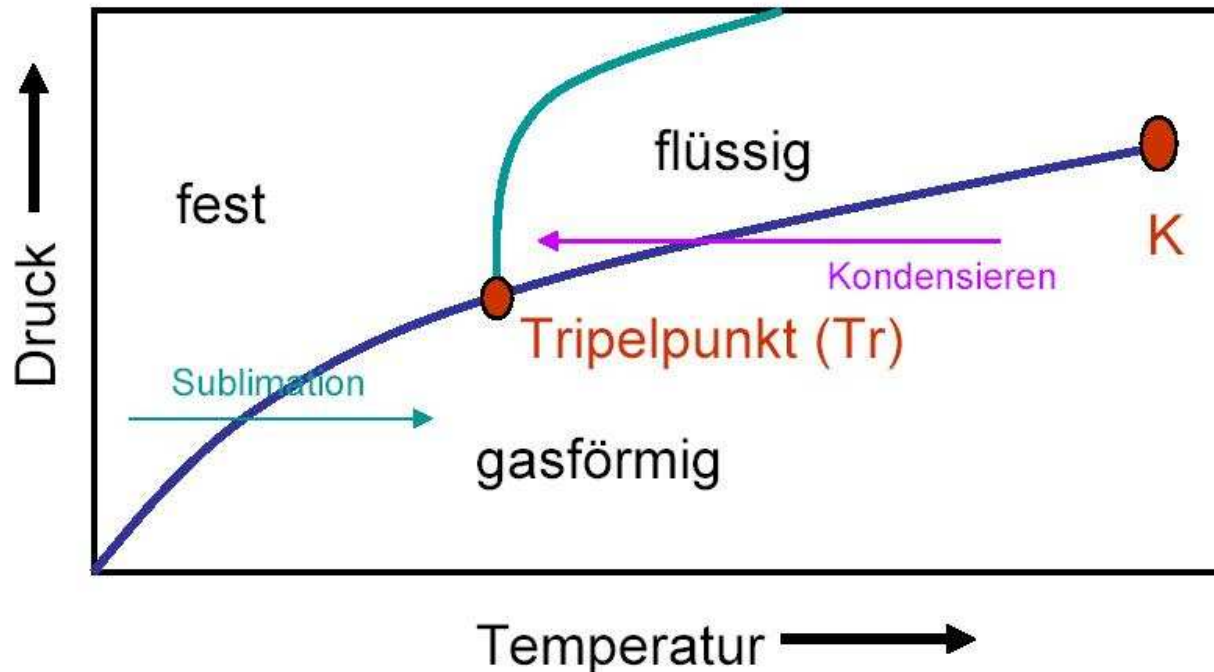
Die „running couplings“

- Die Kopplungskonstanten der drei Kräfte hängen von der **Stoßenergie der Teilchen** ab



Phasenübergänge beim Wasser

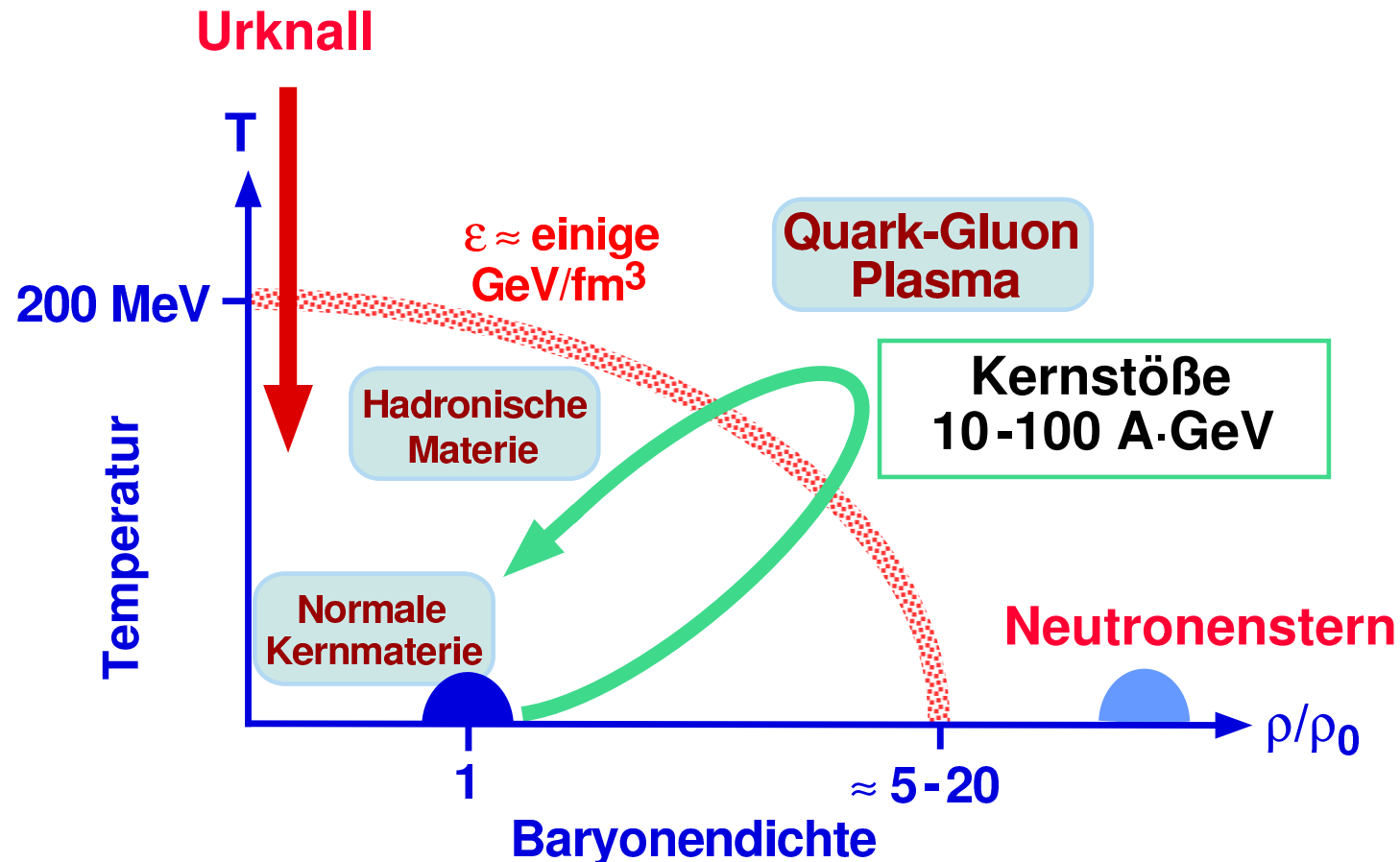
- Beispiel für **Phasenübergang**: **Eis** schmilzt bei Erwärmung zu Wasser, das bei noch höheren Temperaturen zu Dampf (Gas) wird



- Bei noch höheren Temperaturen: Wassermoleküle H_2O **zerbrechen in Atome**
- Noch weiter aufgeheizt: Atome und Elektronen trennen sich \Rightarrow Übergang zum **Plasma** aus Elektronen + Prototonen (=Wasserstoffkerne) + Sauerstoffkernen
- Phasenübergänge bedeuten Änderung der **Ordnungsstruktur** der Teilchen

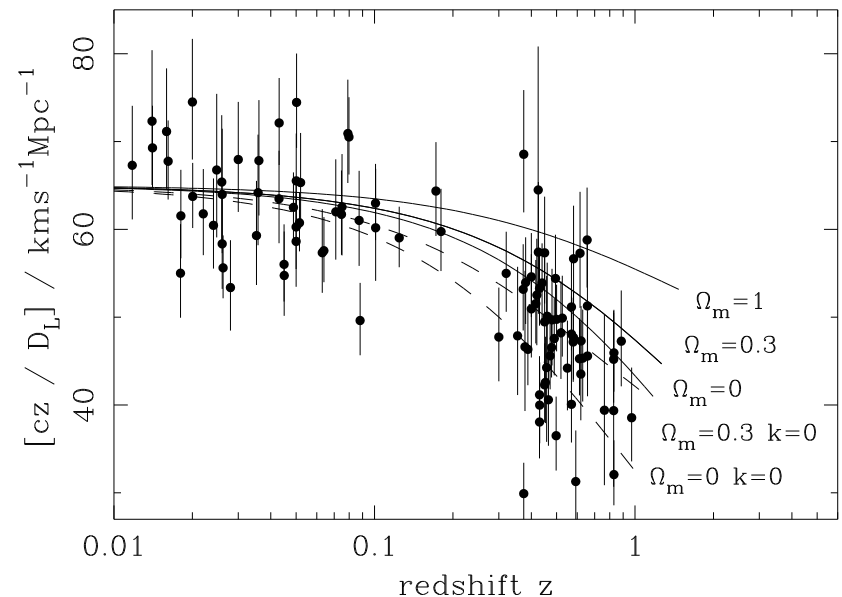
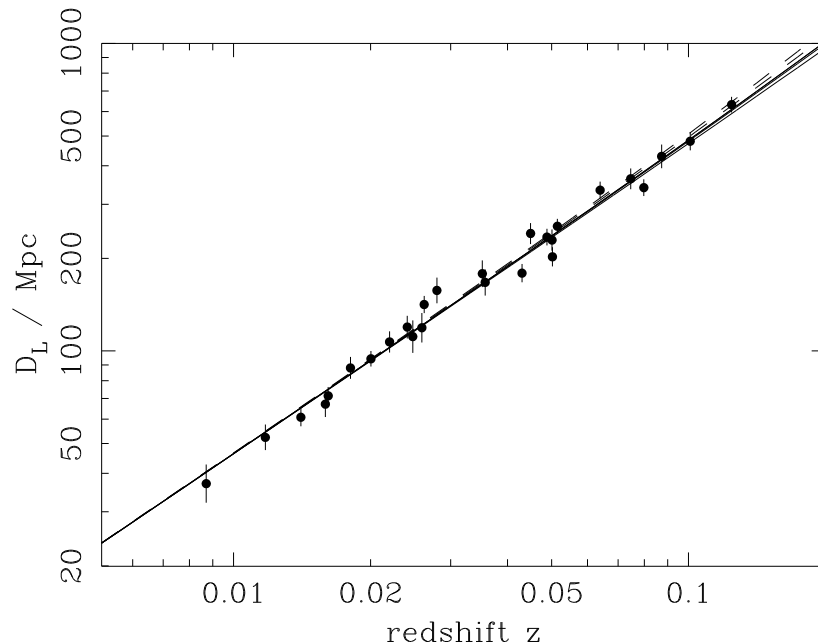
Phasenübergang beim „Little Bang“

- **Hochenergetischer Stoß schwerer Ionen** (= schwere Atomkerne) → ergibt **viele Teilchen** bei **hoher Temperatur**
- Theoretische Vorhersage aus sog. **Gitter-QCD-Rechnungen**



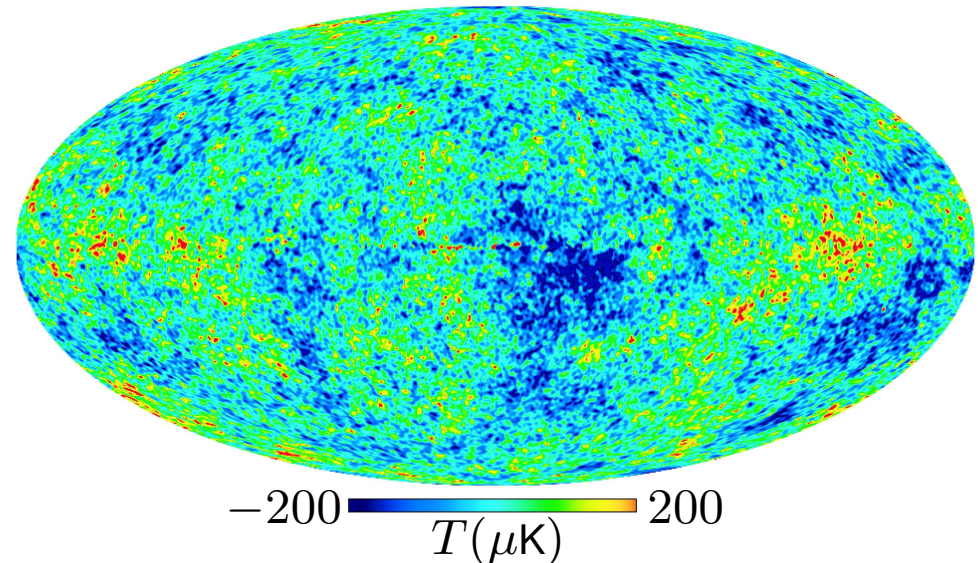
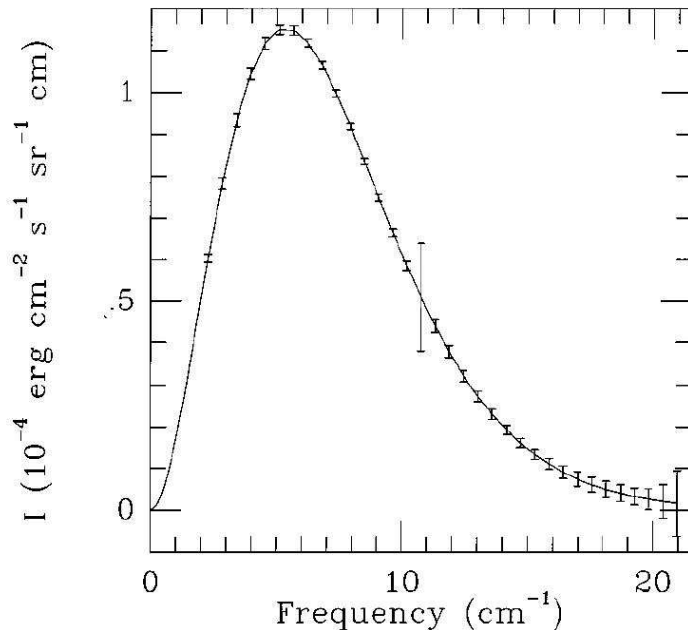
Einsteins Universum

- Alle Körper fallen gleich schnell
- Einsteins Idee (1915): **Gravitation = Raum-Zeit-Krümmung**
- Struktur von Raum und Zeit ändern sich je nach Materieinhalt und deren Bewegung
- **Hubble (1929): Alle Galaxien bewegen sich voneinander weg**, umso schneller je weiter sie weg sind
- Atome überall gleich \Rightarrow strahlen immer gleiches Licht ab \Rightarrow : Licht bewegt sich durch **expandierenden Raum** \Rightarrow Wellenlänge wird größer \Rightarrow **Rotverschiebung**

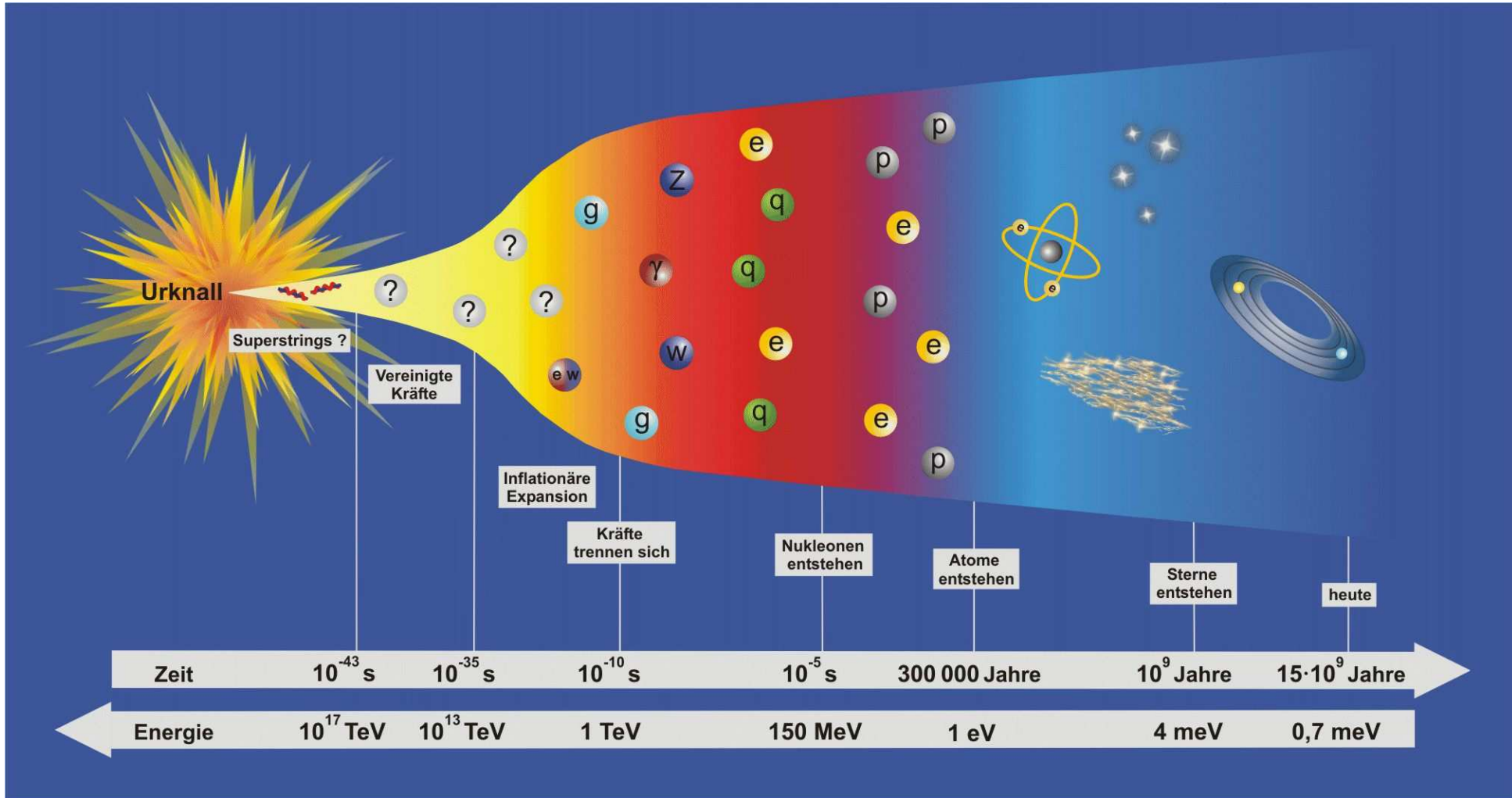


Der „Big Bang“

- Raum muß irgendwann sehr klein gewesen sein \Rightarrow Idee vom Urknall (Lemâtre)
- Kosmologisches Prinzip: Im Universum gelten überall die gleichen Naturgesetze: Das Universum sieht im wesentlichen überall gleich aus!
- Beweis: Kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung (Penzias und Wilson); das ist die Wärmestrahlung, die vom Urknall bis heute erhalten geblieben ist
- Heutige Temperatur $2.7K$ ($2.7^\circ C$ über dem absoluten Nullpunkt)
- Heute: Präzisionsdaten von Satelliten (dieses Jahr WMAP Satellit)



Die Geschichte des Universums



...und bin so klug als wie zuvor

- Heutiges Modell: Fast totale **Symmetrie zwischen Materie und Antimaterie**
- Warum gibt es dann überhaupt Materie? Warum ist nicht beim Urknall gleich viel Materie wie Antimaterie entstanden und dann zu **reiner Strahlung** annihiliert?
- WMAP-Daten + Standardmodell + Inflation: Die bekannten Teilchen **ergeben nur 4% der gesamten Materiedichte im Universum**
- Etwa 23% ist **nichtleuchtende „dunkle Materie“**
- **Woraus besteht die dunkle Materie? Supersymmetrie?**
- 73% ist „dunkle Energie“, **Kosmologische Konstante Λ** , welche für die beobachtete **beschleunigte Expansion** sorgt
- Problem hier: **Warum ist Λ so klein?** Kein befriedigender theoretische Ansatz bekannt!

...und bin so klug als wie zuvor

**Physik ist
auch im 21. Jh.
spannend!**

Quellen- und Bildnachweis

- STAR-Kollaboration am RHIC, Brookhaven National Laboratory, [URL](#), p. 1
- C. L. Bennet *et al.* First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Preliminary Maps and Basic Results *Astrophys. J. Suppl.* **148** (2003) 1 fr.arXiv.org/abs/astro-ph/0302207: pp. 1, 12
- Komitee für Hadronen- und Kernphysik KHuK (Hg.), Hadronen- und Kernphysik - Status und Perspektiven (2003), [URL](#), pp. 3, 7
- Komitee für Elementarteilchenphysik KET, Teilchenphysik in Deutschland - Status und Perspektiven (2002), [URL](#), pp. 5, 8, 13
- Chr. E. Nebel, Physik für Chemieingenieure und Restauratoren, Vorlesungsskript TU München (2003), [URL](#): p. 9
- H. Büsching, Untersuchung nichtlinearer Effekte im Bleiglaskalorimeter LEDA - Eine Computersimulation, Diplomarbeit, Westfälische Wilhelms-Universität Münster (1997): p. 10
- K. Hagiwara *et al.*, Review of Particle Physics, *Phys. Rev. D* **66**, 010001 (2002), pdg.lbl.gov/index.html: p. 11
- M. S. Turner, J. A. Tyson, Cosmology at the Millenium, *Mod. Rev. Phys.* **71** (1999) S145: p. 12