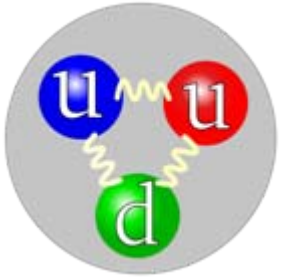
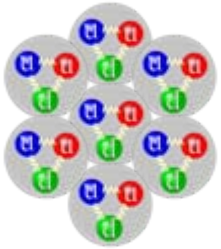
Altes und Neues zum Standard-modell

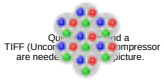
Forschungszentrum Dresden Rossendorf

Von den Quarks zum Universum



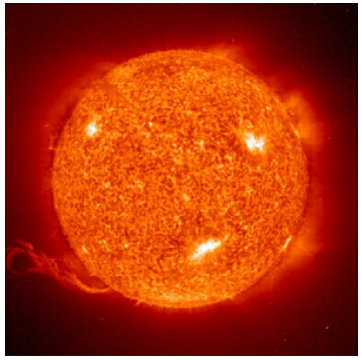


10^{-15} m

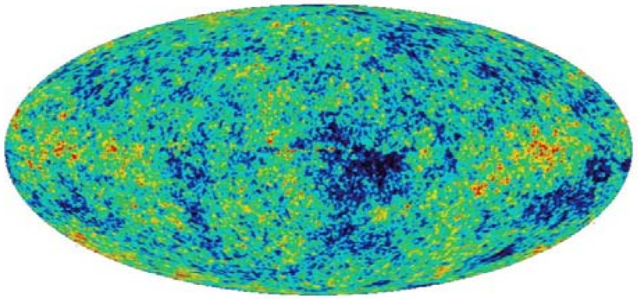


10^{-10} m

10^{7} m

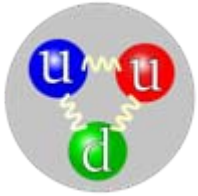


10^{10} m



Quarks und Nukleonen

- Aufbau der Materie aus “Fermionen” (Teilchen mit halbzahligem Spin)
- Wechselwirkungen werden vermittelt durch Austausch von “Bosonen” (Teilchen mit ganzzahligem Spin)
- Einheitliche Erklärung von:
  - Starker Kernwechselwirkung
  - Elektromagnetischer Wechselwirkung
  - Schwacher Kernwechselwirkung
  - nicht der Gravitation!
- Aus den Quarks (Fermionen) werden Protonen und Neutronen aufgebaut
- Das Standardmodell erklärt Aufbau und Wechselwirkungen der uns bekannten Materie

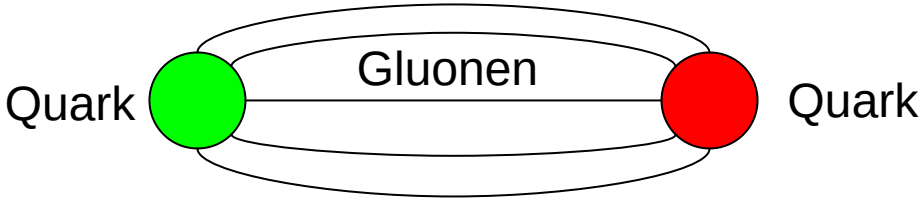


Three Generations of Matter (Fermions)

	I	II	III	
mass→	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
charge→	⅔	⅔	⅔	0
spin→	½	½	½	1
name→	u up	c charm	t top	γ photon
Quarks	4.8 MeV, -⅓, ½, d down	104 MeV, -⅓, ½, s strange	4.2 GeV, -⅓, ½, b bottom	0, 0, 1, g gluon
	<2.2 eV, 0, ½, ν_e electron neutrino	<0.17 MeV, 0, ½, ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV, 0, ½, ν_τ tau neutrino	91.2 GeV, 0, 1, Z^0 weak force
Leptons	0.511 MeV, -1, ½, e electron	105.7 MeV, -1, ½, μ muon	1.777 GeV, -1, ½, τ tau	80.4 GeV, ±1, 1, $W^\pm$ weak force
				Higgs

Bosons (Forces)

Wie stark ist die starke Kernwechselwirkung? Kraft zwischen zwei Quarks



$$\frac{1\,\mathrm{GeV}}{10^{-15}\,\mathrm{m}} = \frac{10^{9}\cdot 1.6\cdot 10^{-19}\,\mathrm{J}}{10^{-15}\,\mathrm{m}} = 1.6\cdot 10^{5}\,\mathrm{N}$$

Vergleich mit Gravitation an der Erdoberfläche:

$$16\,300\,\mathrm{kg}\cdot 9.81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = 1.6\cdot 10^{5}\,\mathrm{N}$$

Zwei Quarks in einem Nukleon ziehen sich mit der Gewichtskraft von 16 Tonnen an!

Elektrische Kraft ~ 10 kg

Zeit- und Temperatur (Energie) vom Urknall bis heute

Große Beschleunigeranlagen (CERN-LHC, FERMILAB, FAIR)

Elemente in alten Sternen (ESO)

Kleine Beschleuniger (LUNA)

Mikrowellen-Satelliten (WMAP, PLANCK)

Gammaquellen (ELBE)

Zeit nch dem Urknall	Temperatur	Was passiert?
«0.000001 s		Kosmologische Inflation
0.000001 s	»10000000000 K	Bausteine der Materie (Quarks, Gluonen)
0.01 s	100000000000 K	Proton und Neutron entstehen
100 s	1 000 000 000 K	Leichte Elemente entstehen
400 000 y	3000 K	Universum wird durchlässig für Licht
100 000 000 y	10 000 000 K	Erste Sterne entstehen
300 000 000 y	1 000 000 000 K	Erste Sternexplosion (Supernova)
9 000 000 000 y		Unsere Sonne entsteht, aus der Asche vergangener Sterne
14 000 000 000 y		Heute

Rot = Beschleuniger

Blau = Teleskope

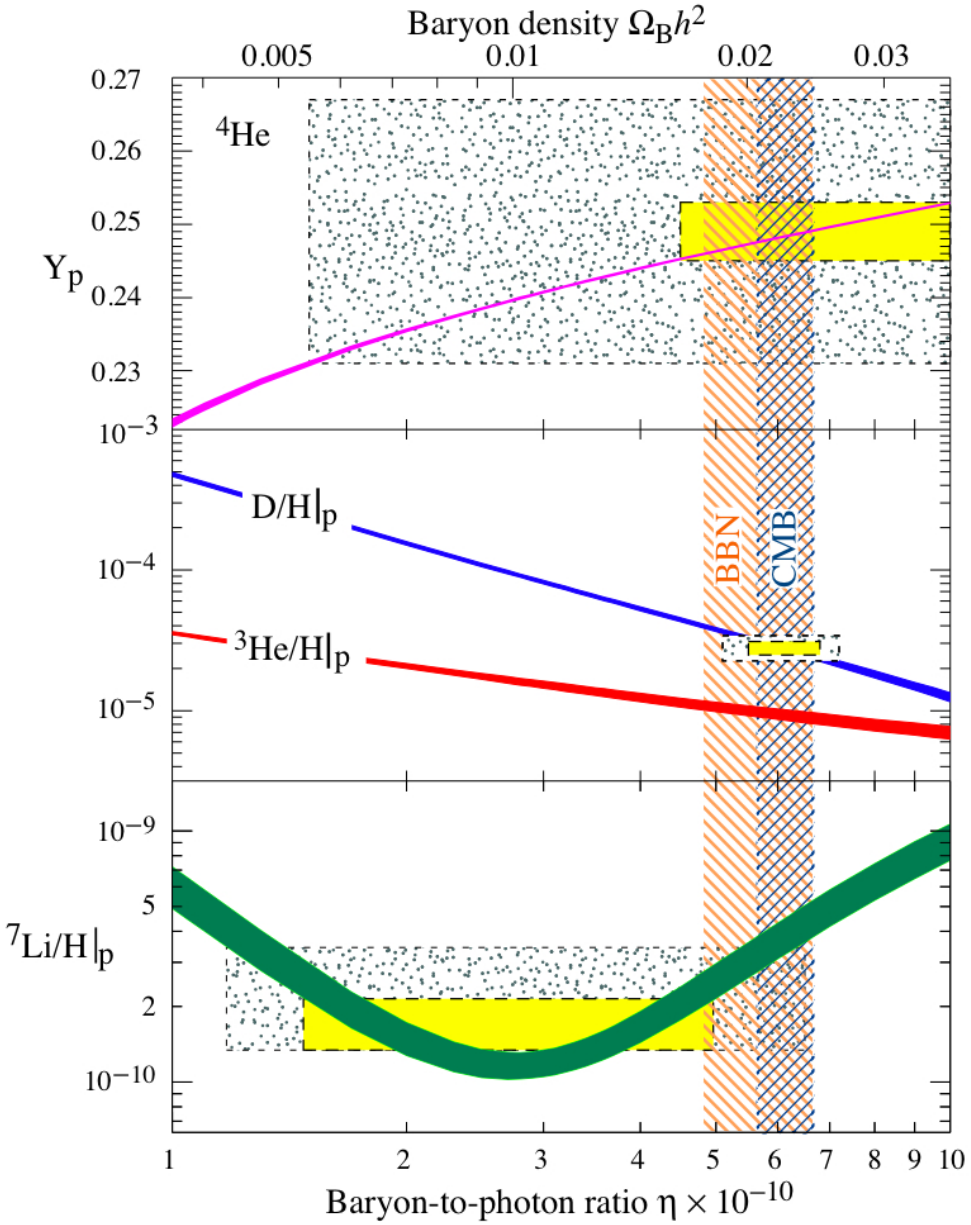
Spuren des Urknalls 1: Häufigkeiten der leichten chemischen Elemente

- Häufigkeiten der leichten Nuklide
  ^1H, ^2H, ^4He, ^7Li
  Skala geht über 9 Größenordnungen!

- Diese Nuklide entstehen in den ersten Minuten nach dem Urknall

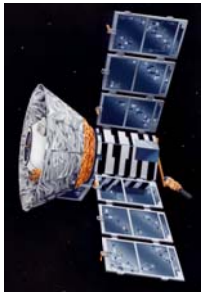
- Gelbe Kästen = Beobachtungen, bunte Streifen = Vorhersage

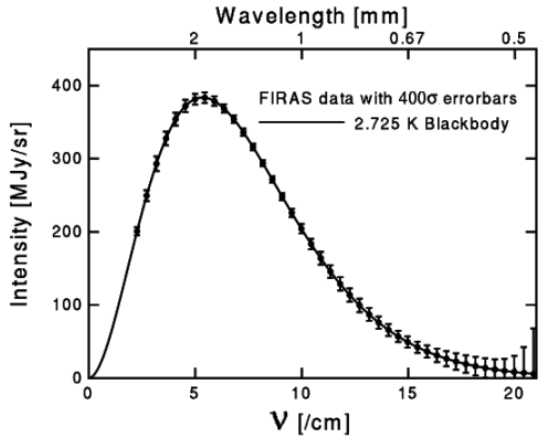
- x-Achse= kosmologischer Parameter η, das Verhältnis von Baryonen zu Photonen

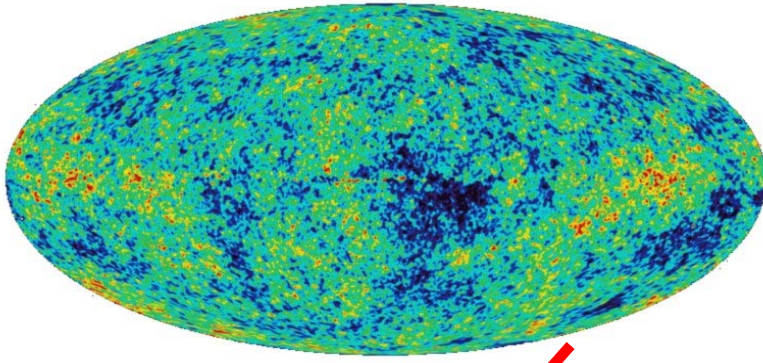


Spuren des Urknalls 2: Mikrowellen-Hintergrundstrahlung

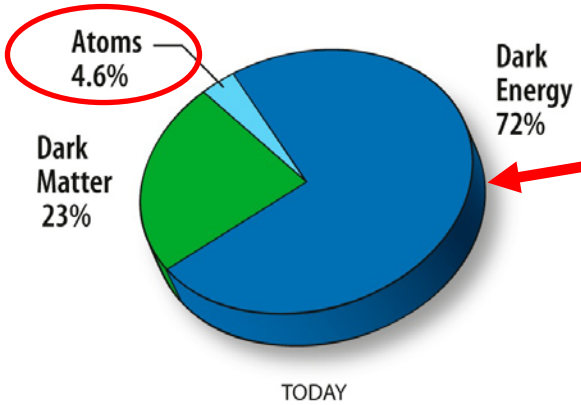
- Hintergrundstrahlung aus dem Kosmos = perfekte Planck-Kurve für 2.7 K → Urknall
- Hintergrundstrahlung ist auf 10^{-5} homogen → Inflation
- 10^{-5} Inhomogenitäten → Power-Spektrum → Dunkle Energie und Materie

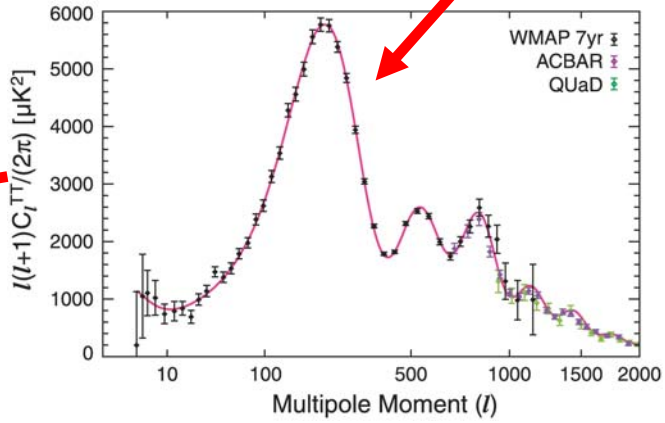






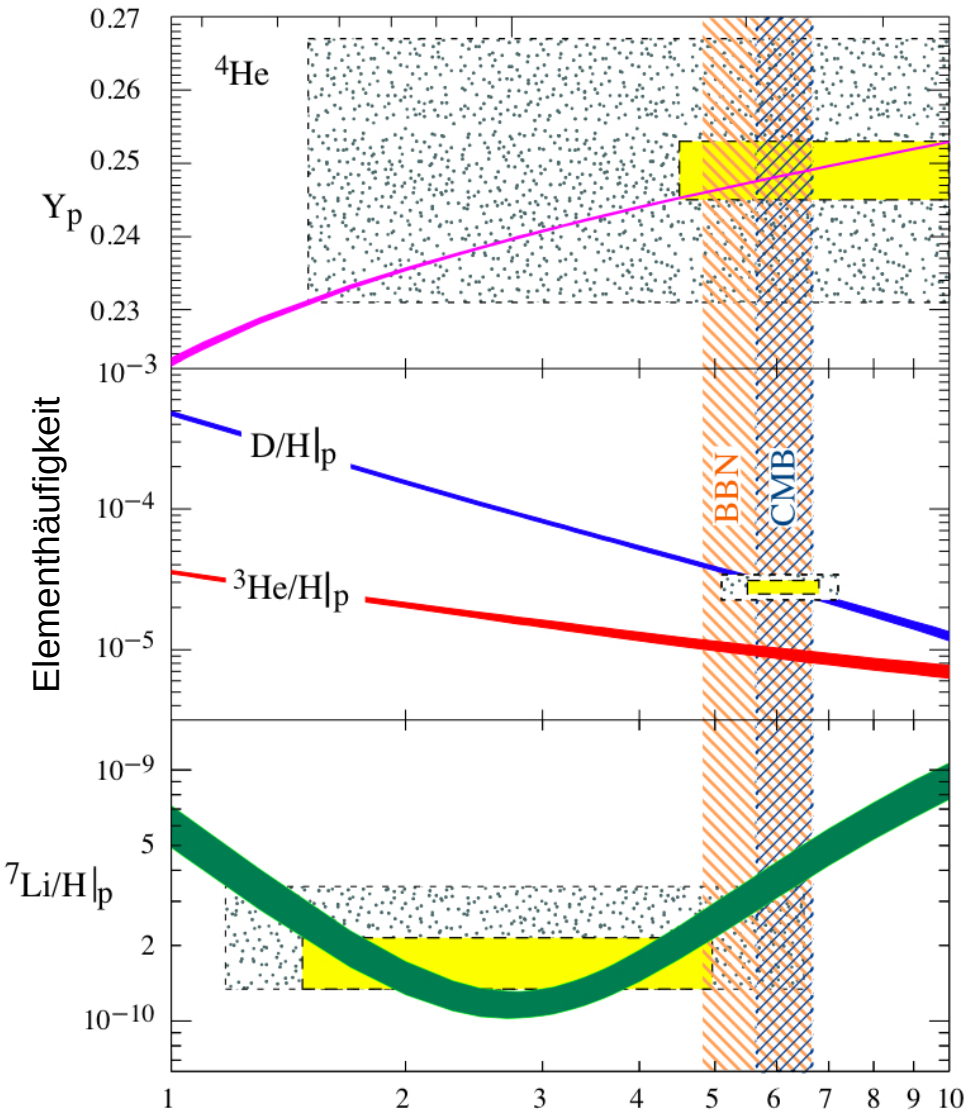
Standardmodell der Teilchenphysik





Kosmologische Übereinstimmung: Vorhergesagte und beobachtete Elementhäufigkeiten

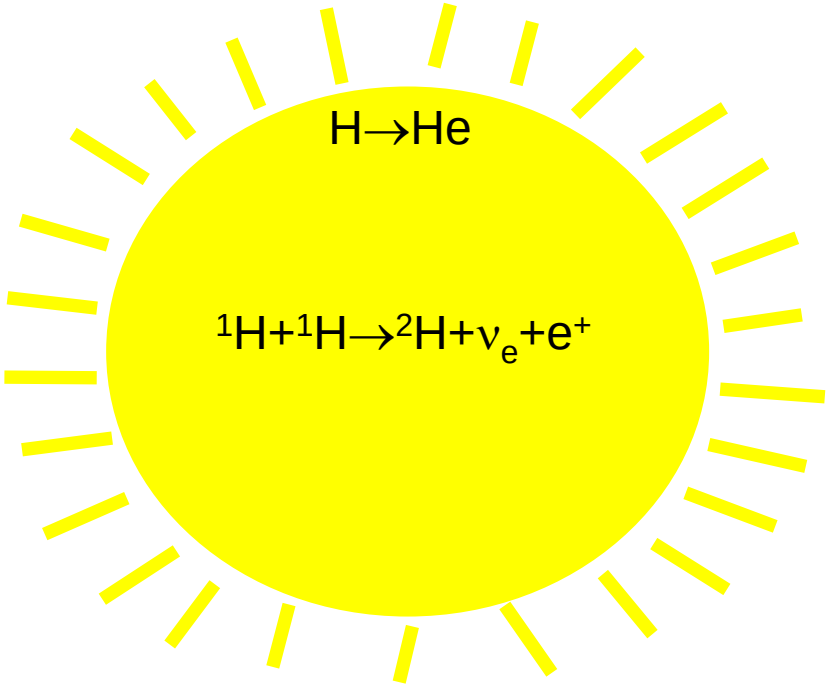
	Vorhersage aus...		
	Element-entstehung (orange)	Mikrowellen-Hintergrund (blau)	Beob-achtung (gelb)
^{4}He	0.248	0.249	0.25
^{2}D	(2-3) * 10^{-5}	2.5 * 10^{-5}	2.5 * 10^{-5}
^{7}Li	(2-5) * 10^{-10}	(4-5) * 10^{-10}	1.5 * 10^{-10}



Überschuss von Materie über Antimaterie (10^{-10})

...aber...

Neutrinos wechseln ihren Flavour $e \rightarrow \mu/\tau$ auf dem Weg von der Sonne zur Erde



(=Lösung des solaren Neutrinoproblems)

ν_e →

Vorhersage aus dem Sonnenmodell:

$\Phi^{\nu}_{B-8} = (4.7 \pm 0.5) * 10^6\ \nu_e\ cm^{-2}\ s^{-1}$

Gemessen (SNO-Detektor auf der Erde):

$\Phi^{\nu}_{B-8} = (1.8 \pm 0.1) * 10^6\ \nu_e\ cm^{-2}\ s^{-1}$

$(3.4 \pm 0.5) * 10^6\ (\nu_\mu + \nu_\tau)\ cm^{-2}\ s^{-1}$

Neutrino-Oszillationen → Neutrinos haben Masse, Erweiterung des Standardmodells

Zusammenfassung

- Standardmodell der Teilchenphysik erklärt Aufbau und Wechselwirkung subatomarer Teilchen
- Noch fehlendes Teilchen: Higgs-Teilchen (CERN)
- Mögliche Erweiterung: Neutrino-Oszillationen
- Dunkle Materie und dunkle Energie nicht enthalten

Aktuelle Forschung zum Standardmodell

Experimente an großen Beschleunigeranlagen (CERN LHC, FAIR)

Kleinere Experimente

- Suche nach dem neutrinolosen Doppelbetazerfall
- Suche nach dunkler Materie
- Untersuchung des Mikrowellen-Hintergrunds
- Untersuchung der Urknall-Nukleosynthese

Weitere aktuelle Forschung in der Kernphysik

- Kernphysikalische Methoden in der Krebstherapie
- Vermeidung und Zerstörung radioaktiven Abfalls
- Entstehung der schweren chemischen Elemente in Sternen
- Kernphysikalische Methoden in der Materialforschung

Quellen und weiterführende Informationen im Internet

- http://www.weltderphysik.de/
- http://pdg.lbl.gov — Particle Data Group “offiziell”
- http://www.nobelprize.org — Physik-Nobelpreise 2008, 2006, 2002, 1999...
- http://map.gsfc.nasa.gov — Kosmologie (NASA: COBE, WMAP)
- http://www.eso.org — Europäische Südsternwarte, schöne Bilder
- Wikipedia (schöne Bilder)