

# DER KOSMISCHE RING

[APOD/ap990404.html](http://APOD/ap990404.html)



Inflation

Monopole  
fehlen

Symmetrie-  
brechung

Struktur

Baryonen-  
überschuss

Gravitations-  
theorie

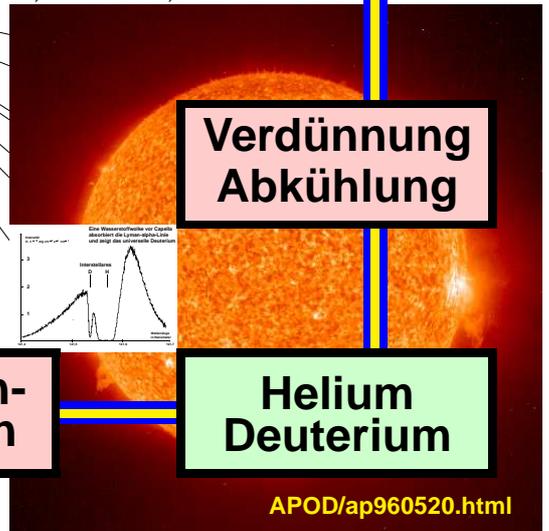
Verdünnung  
Abkühlung

Hintergrund-  
strahlung

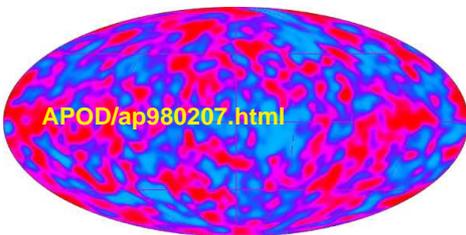
Friedmann-  
Expansion

Helium  
Deuterium

[APOD/ap960520.html](http://APOD/ap960520.html)



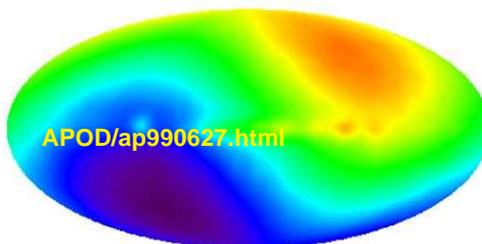
[APOD/ap980207.html](http://APOD/ap980207.html)



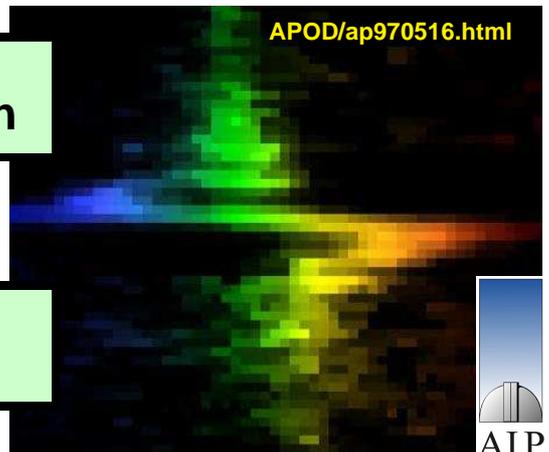
Hubble-  
Expansion

[APOD/ap970516.html](http://APOD/ap970516.html)

[APOD/ap990627.html](http://APOD/ap990627.html)



Doppler-  
Effekt



# DER KOSMISCHE RING

Die Kenntnis über das Universum ruht auf zwei Säulen, der Theorie und der Beobachtung. Die Theorie verbindet den strengen logischen Schluß mit der Reduktion auf ein Modell und dem Anspruch universeller Gültigkeit. Die Beobachtung vertraut der direkten Messung und muss versuchen, diese auf den theoretischen Rahmen zu beziehen.

Auf dem Poster ist dieses Zusammenspiel von Beobachtung (grüne Einträge) und Theorie (rote Einträge) dargestellt. Zentrales Hilfsmittel ist der Doppler-Effekt: Die Wellenlänge des Lichts wird bei Veränderung des Lichtwegs (vulgo radialer Relativbewegung) zwischen Quelle und Beobachter verschoben; ins Rote, wenn sich der Lichtweg verlängert, ins Blaue, wenn er sich verkürzt. Als besonderes Beispiel sehen wir rechts die Spektrallinie einer Akkretionsscheibe, die um ein Zentrum rotiert: innen schneller, außen langsamer. Wir sehen dabei auf den Rand der Scheibe, wie auf die Lauffläche eines Rades, nur dass die Rotation innen schneller ist als aussen. Keplers drittes Gesetz sagt uns, dass das Zentrum mehr als  $10^6$  Sonnenmassen schwer ist und – so sagt die Allgemeine Relativitätstheorie – ein Schwarzes Loch sein muss. Links sehen wir zwei Karten der Hintergrundstrahlung. Auf der unteren hellt ein Doppler-Effekt eine Stelle auf (nur um zwei Promille!) und dunkelt den Gegenpol ab: Wir bewegen uns mit etwa 600 km/s durch das Strahlungsfeld auf die helle Stelle zu. Der Doppler-Effekt zeigt uns auch die Fluchtbewegung der Galaxien (Hubble-Expansion), die von der Theorie als Friedmann-Expansion interpretiert wird. Dies ist eine Expansion ohne Eigenbewegung, d.h., alle Sichtwinkel bleiben unverändert. Auch auf einer expandierenden Kugelfläche mit einem festen trigonometrischen Netz bleiben alle Winkel unverändert.

Die Vorstellung einer homogenen eigenbewegungsfreien Expansion wird von zwei Beobachtungen gestützt: von der Mikrowellenhintergrundstrahlung auf der einen und von der Verbreitung von Helium und Deuterium auf der anderen. Die Existenz der richtungsunabhängigen Hintergrundstrahlung zeigt, dass wir bis zu einer Zeit zurückrechnen können, wo das Universum nur ein Tausendstel seiner heutigen Ausdehnungen hatte (die Karte zeigt winkelabhängige Schwankungen von nur 1:100000). Helium und Deuterium zeigen, dass wir auch noch auf sicherem Grunde sind, wenn wir auf eine relative Ausdehnung von einem Milliardstel zurückrechnen. Damals sind Helium und Deuterium in den heute beobachteten Konzentrationen entstanden (das Bild zeigt die Sonne im Licht einer Helium-Linie). Das war der "Urknall", der nach der Abkühlung des Universums unter die von den Bindungsenergien der Atomkerne gesetzten Grenze begann.

Die Prozesse, deren Zeugen Helium und Deuterium sind, lassen jedoch nur 1 Nukleonen-Paar auf  $10^{19}$  Photonen der Hintergrundstrahlung übrig. Warum gibt es also überhaupt noch so viel Wasserstoff (1 Nucleon auf bereits  $10^9$  Photonen)? Und warum gibt es keine vergleichbare Zahl von Antiteilchen? Hier zeigt die Elementarteilchenphysik einen Ausweg. Es ist möglich, die Asymmetrie in der Konzentration von Protonen und Antiprotonen als Ergebnis der Brechung einer allgemeinen Symmetrie der Elementarkräfte zu verstehen. Diese Theorie gestattet auch die Begründung der Existenz dunkler Materie, wie sie u.a. in der Temperaturverteilung eines Galaxienhaufens (Bild oben rechts) sichtbar wird.

Diese Symmetriebrechungen hinterlassen aber auch Feldkonfigurationen, die stabil wie Knoten sind und sich wie schwere Teilchen verhalten müssen. Sie heißen Monopole. Ihre Ruhmasse entspricht der von  $10^{15}$  Nucleonen! Das Problem ist, ihre Dichte müsste heute weit größer sein, als es die Expansionsrate nach den Friedmannschen Gesetzen zulässt. Das allein ist schon merkwürdig. Es kommt dazu, dass wir trotz intensiver Suche überhaupt keine Monopole finden.

Warum finden wir nun also keine Monopole? Die Theorie der allgemeinen Symmetrie selbst enthält die Entschuldigung: Sie enthält den Hinweis auf ein sehr energiereiches Hochtemperaturvakuum ( $10^{28}$  K!), das vor seinem Zerfall eine exponentielle Expansion getrieben haben sollte, die Inflation. Diese hat die Monopole bis zur Unauffindbarkeit verdünnt, und nicht nur das, sie hat auch das Universum so weit abgekühlt, dass nur die in der Quantentheorie beschriebene Nullpunktsbewegung übrigbleibt.

Die große Überraschung ist, dass nicht nur Hypothese auf Hypothese gehäuft wird, sondern dass sich der Ring schließt: Diese Nullpunktsbewegung hat gerade die richtige Größe und spektrale Verteilung, um in der folgenden Entwicklung durch die Schwerkraft die großen Strukturen zu erzeugen, die wir in der Hintergrundstrahlung und der Galaxienverteilung beobachten und prüfen können. Die "Krawatte" ganz links zeigt von oben nach unten eine Simulation dieser Strukturbildung. Darüber hinaus finden wir in der Feinstruktur der Unregelmäßigkeiten der Hintergrundstrahlung (0.03 Promille, obere Karte links unten) die Schlüsse auf die Symmetriebrechung, das Vakuum und die Inflation bestätigt, auch wenn für die Klärung der Einzelheiten noch Fragen offen sind.