

Kosmologie und Astroteilchenphysik

Prof. Dr. Burkhard Kämpfer, PD Dr. Daniel Bemmerer

- Einführung in die Kosmologie
- Weltmodelle und kosmologische Inflation
- Thermische Geschichte des Universums
- **Urknall-Nukleosynthese**
- Dunkle Energie, dunkle Materie und die beschleunigte Expansion des Universums
- **Kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung (heute)**
- Supernovae als kosmische Standardkerzen
- Neutronensterne
- Entstehung und Nachweis kosmischer Strahlung
- Altersbestimmung des Universums
- Fundamentale Physik und die Sonne

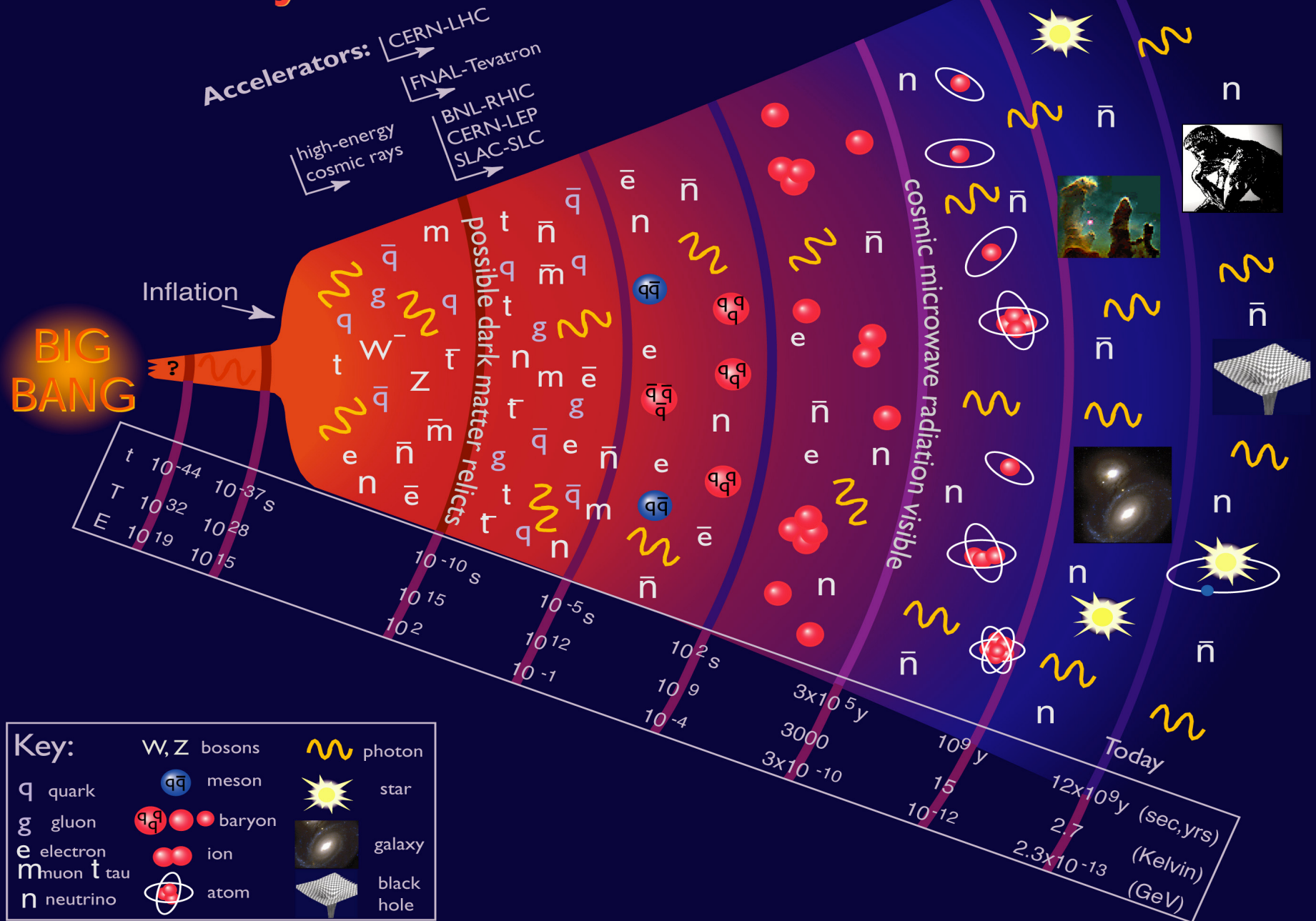
7. Vorlesung, 20.05.2014



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



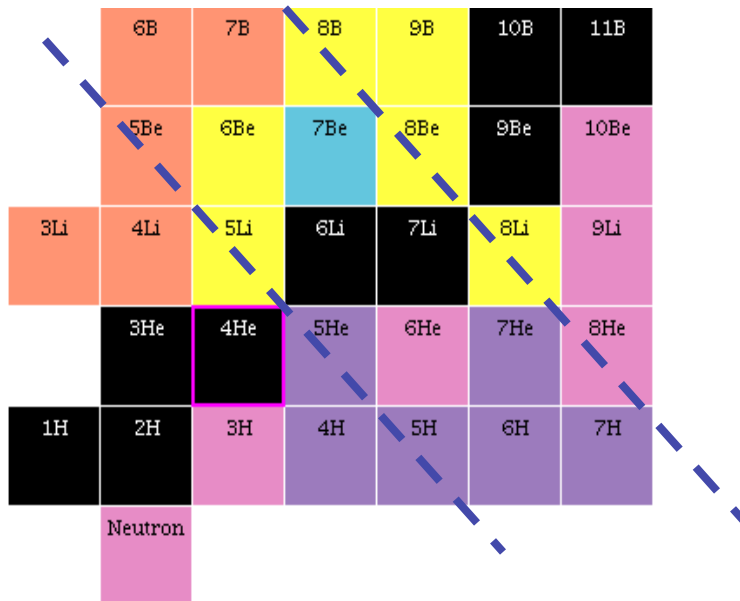
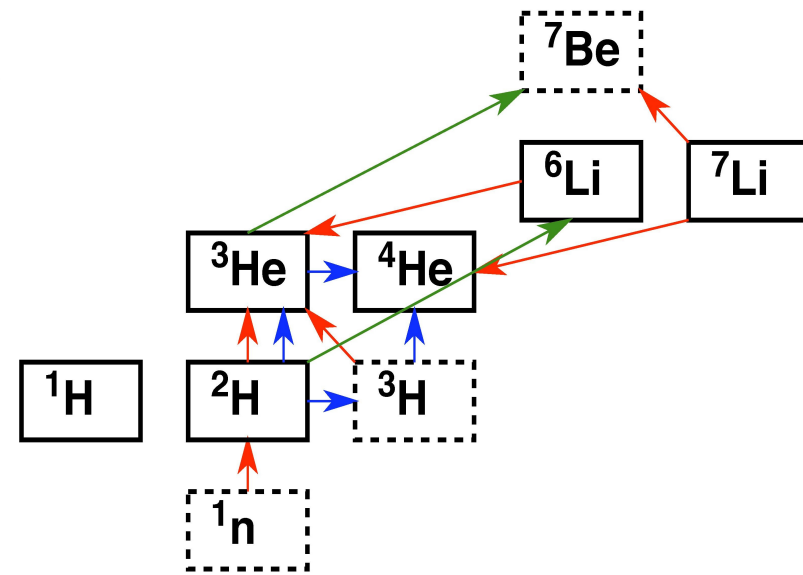
History of the Universe



Entstehung von ^2H , ^3He , $^7\text{Be} \rightarrow ^7\text{Li}$, vielleicht auch ^6Li parallel zu ^4He

- Reaktionsnetzwerk bestimmt Häufigkeiten
- Monte-Carlo-Rechnungen unter Verwendung von Eingabewerten aus Experiment und Theorie (Mikrokosmos)
- ^7Be (Halbwertszeit 53 d) wird zu ^7Li
- Keine Entstehung von Kernen mit $A > 7$

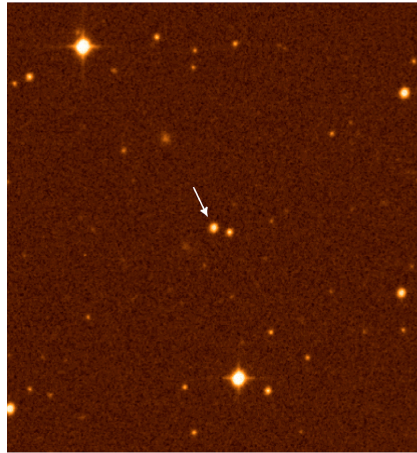
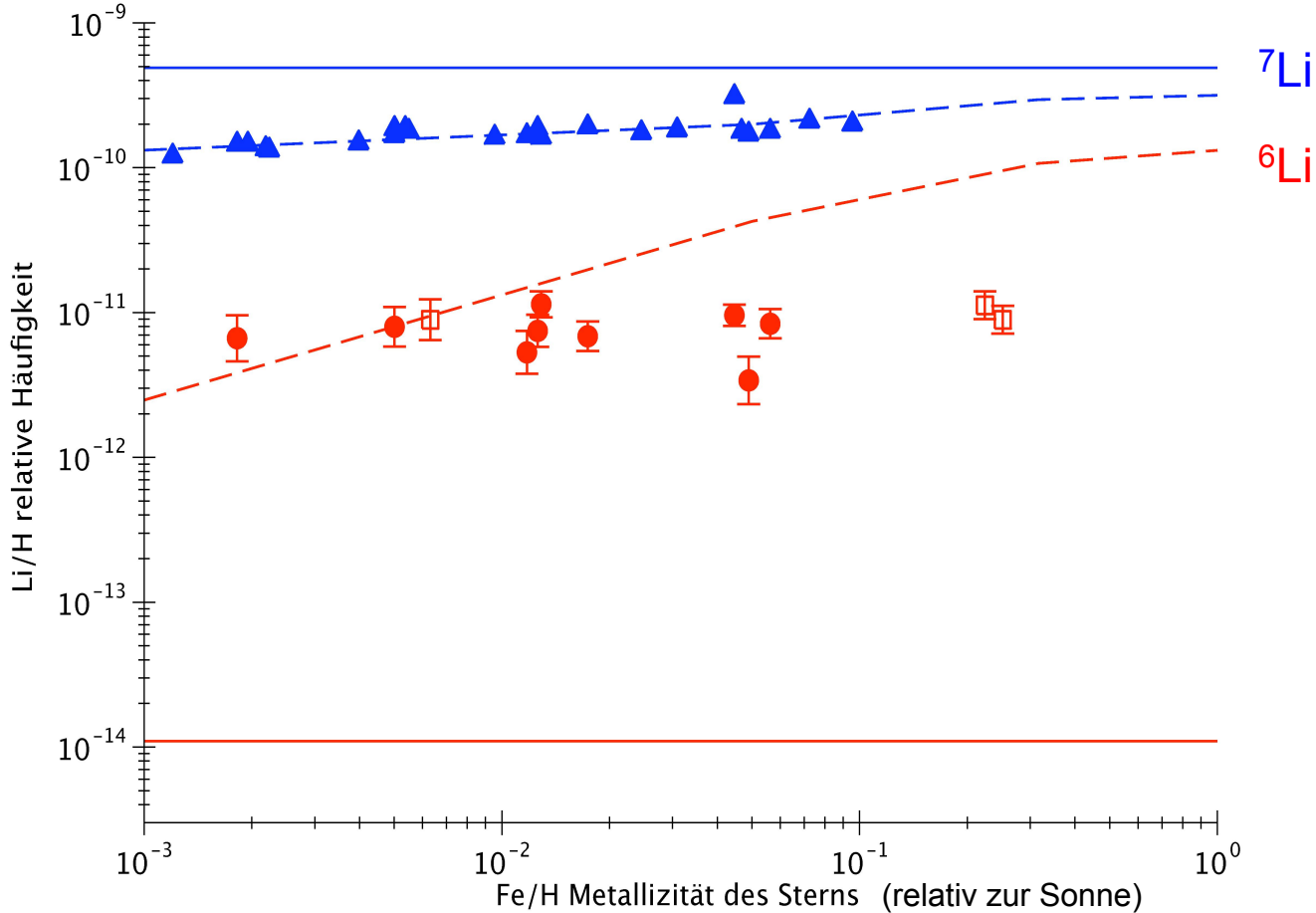
(p, γ)
 (p, α)
 (p, n)
 (d, n)
 (d, p)
 (α, γ)



- Barrieren bei Masse 5 und 8 behindern den Aufbau zu höheren Massen durch Protoneneinfang
- Neutroneneinfang unbedeutend, da quasi alle Neutronen bereits in ^4He gebunden
- Coulombschwelle $\sim Z_1 Z_2$ behindert den Einfang von ^4He
- Ende der Urknall-Nukleosynthese bei ^7Li

Beobachtung von Nuklidhäufigkeiten: Das Lithium-„Plateau“

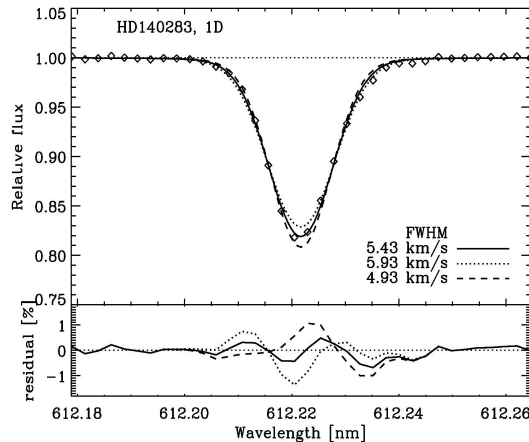
- Beobachtung von Absorptionslinien in sehr alten Sternen
- Darstellung als Funktion der Anreicherung in Kernen mit $A > 7$
- Fitten und Extrapolation zu Alter Null



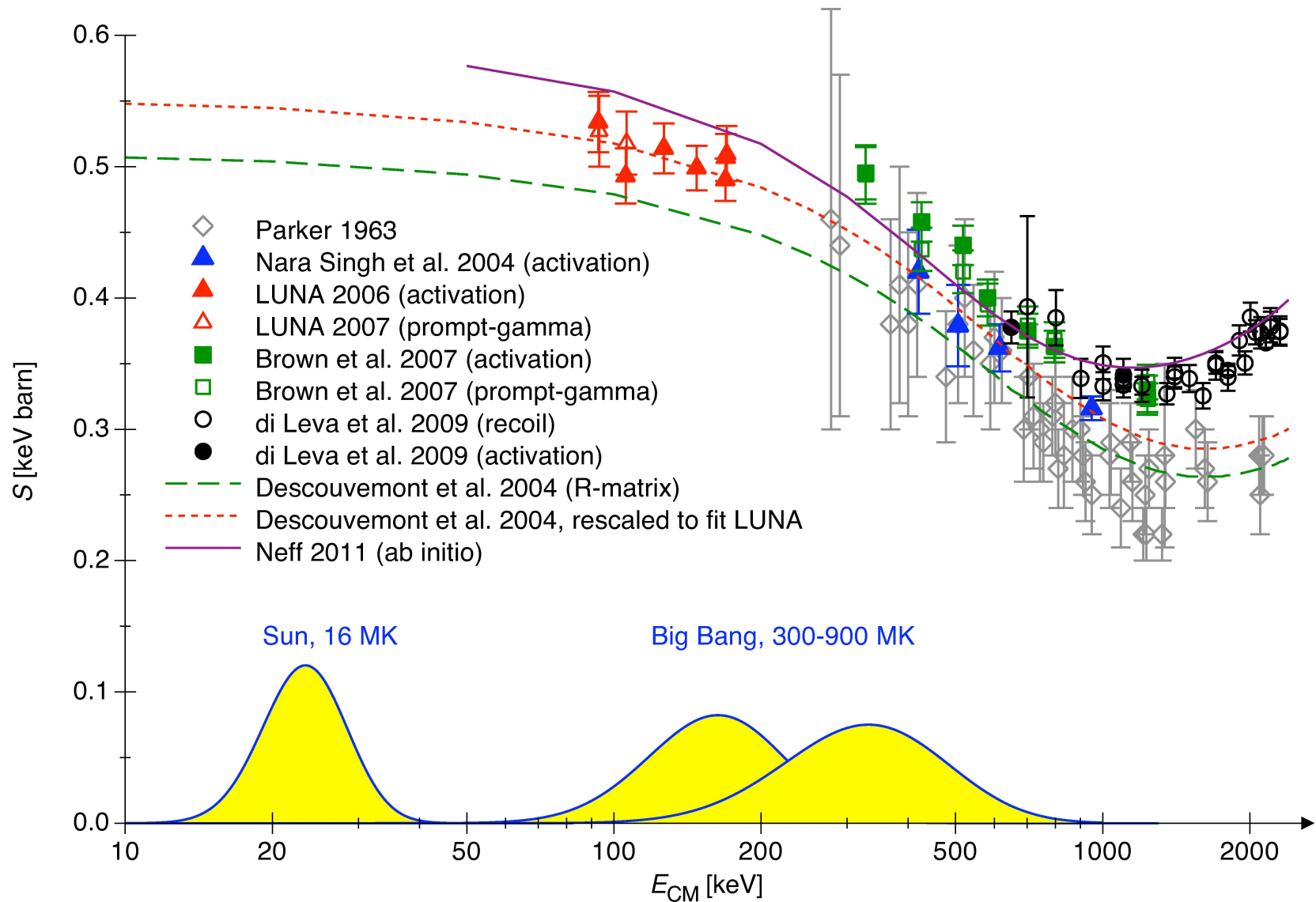
The Very Metal-Deficient Star HE 0107-5240

ESO PR Photo 25a/02 (30 October 2002)

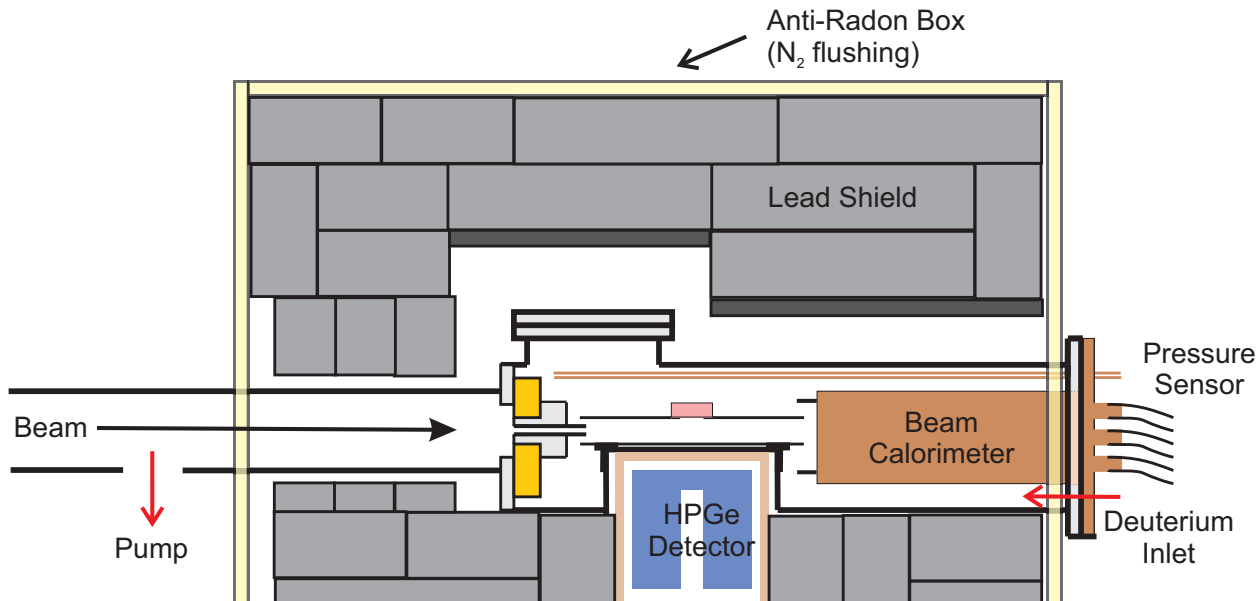
© European Southern Observatory



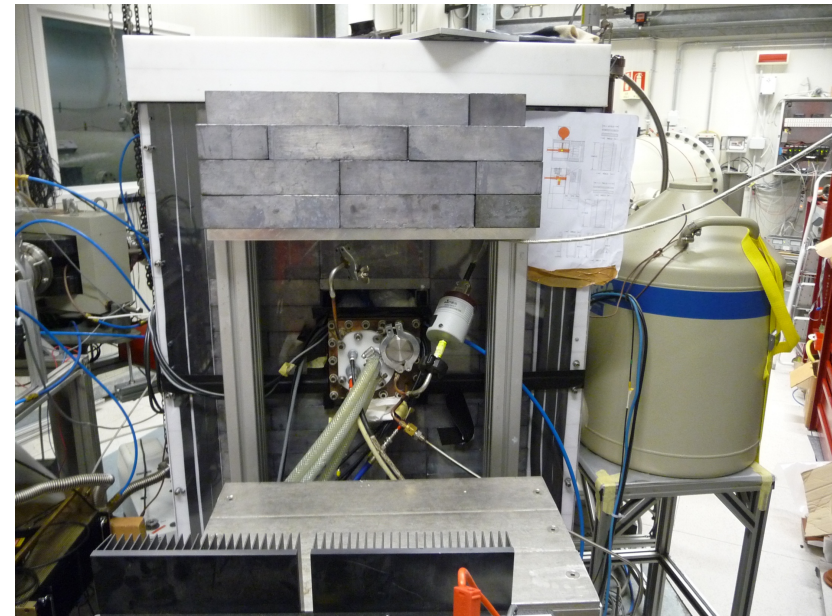
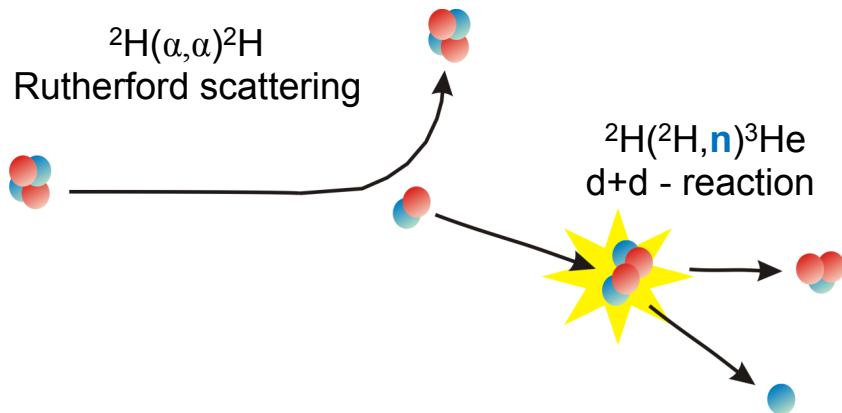
$^3\text{He}(\alpha,\gamma)^7\text{Be}$ -Aktivierungsmessung an LUNA, Ergebnisse

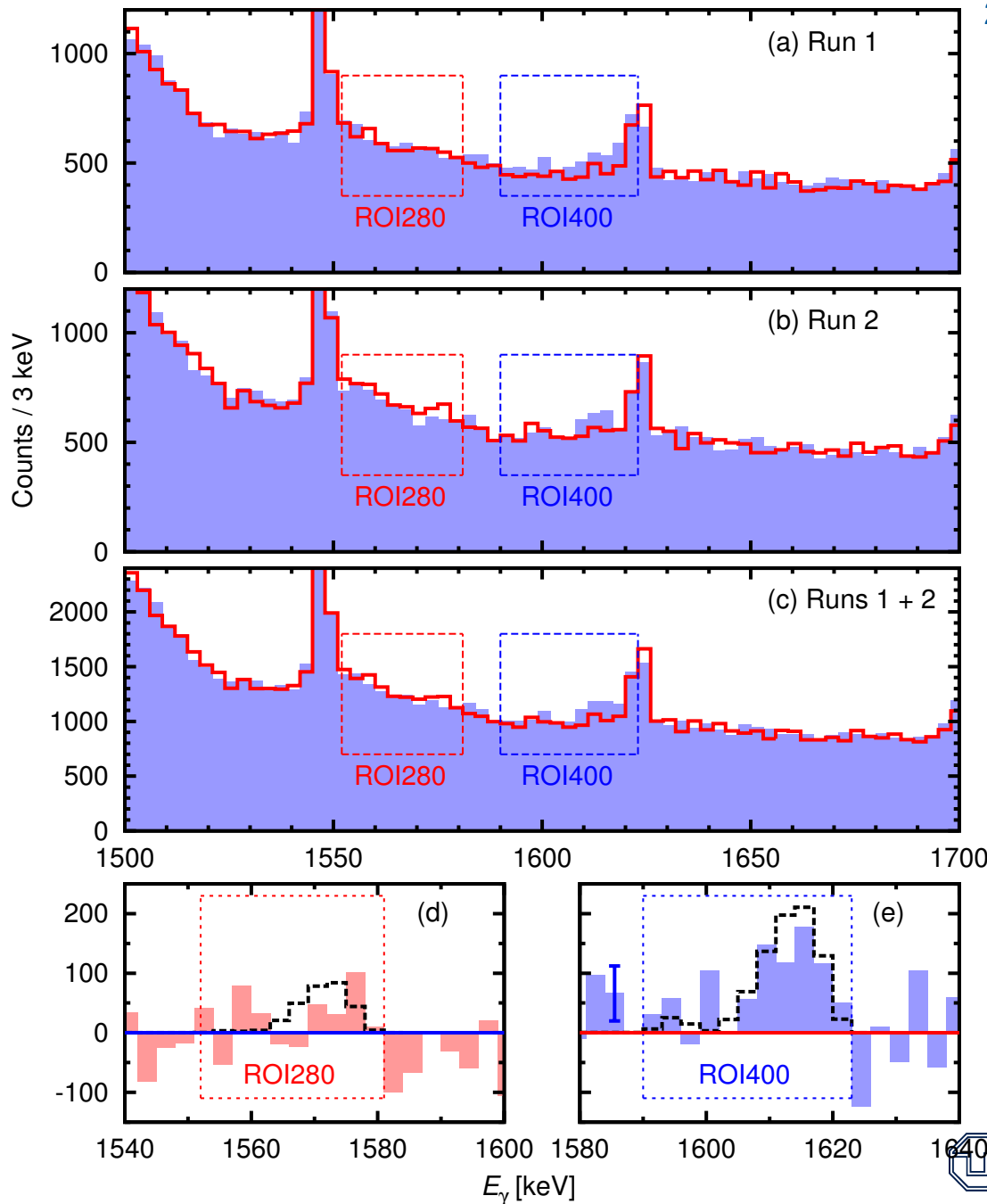


Experiment zu ${}^2\text{H}(\alpha,\gamma){}^6\text{Li}$ bei LUNA: Versuchsaufbau



Untergrund durch Prozess 2. Ordnung:

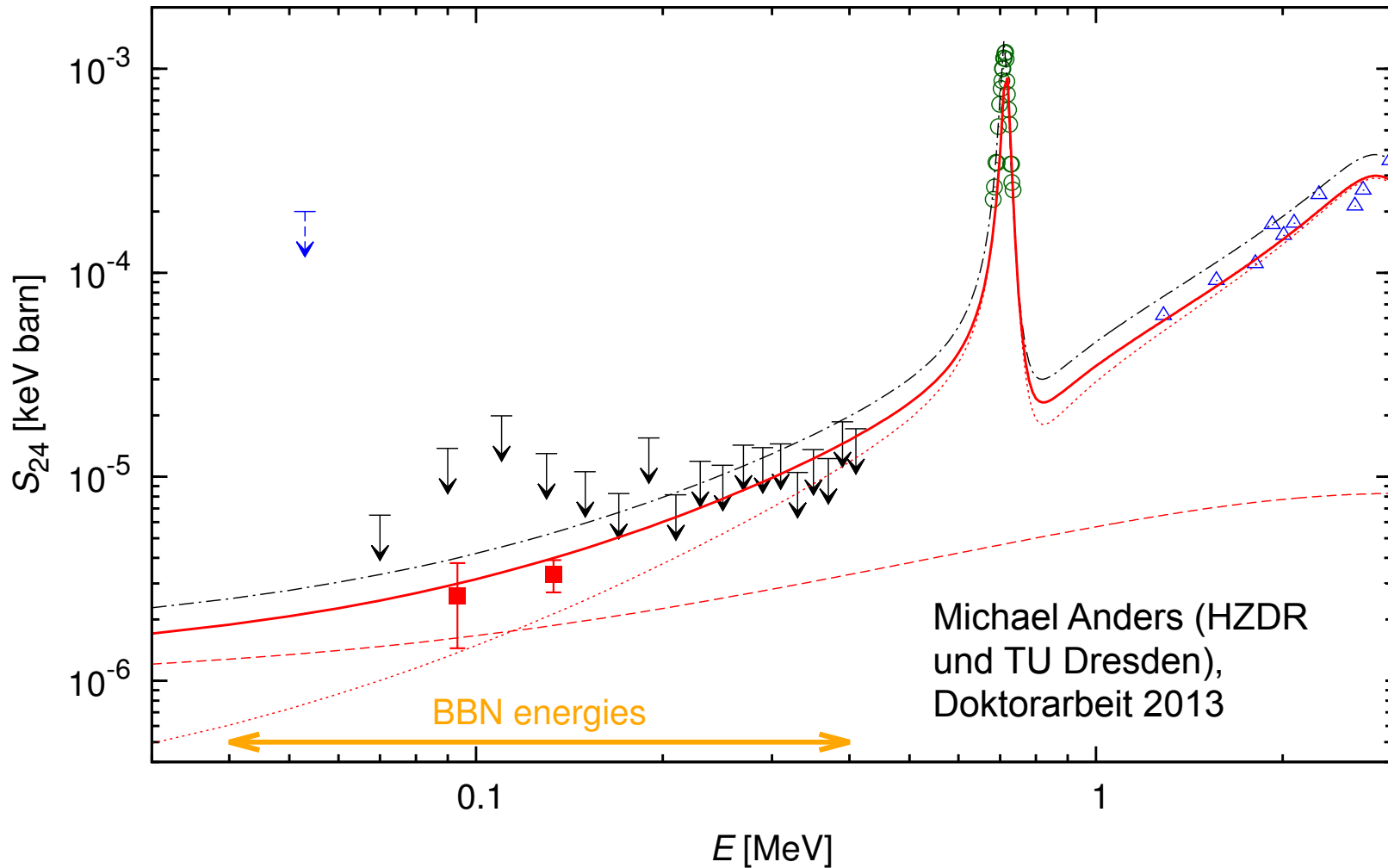




Blau: $E_\alpha = 400$ keV

Rot: $E_\alpha = 280$ keV

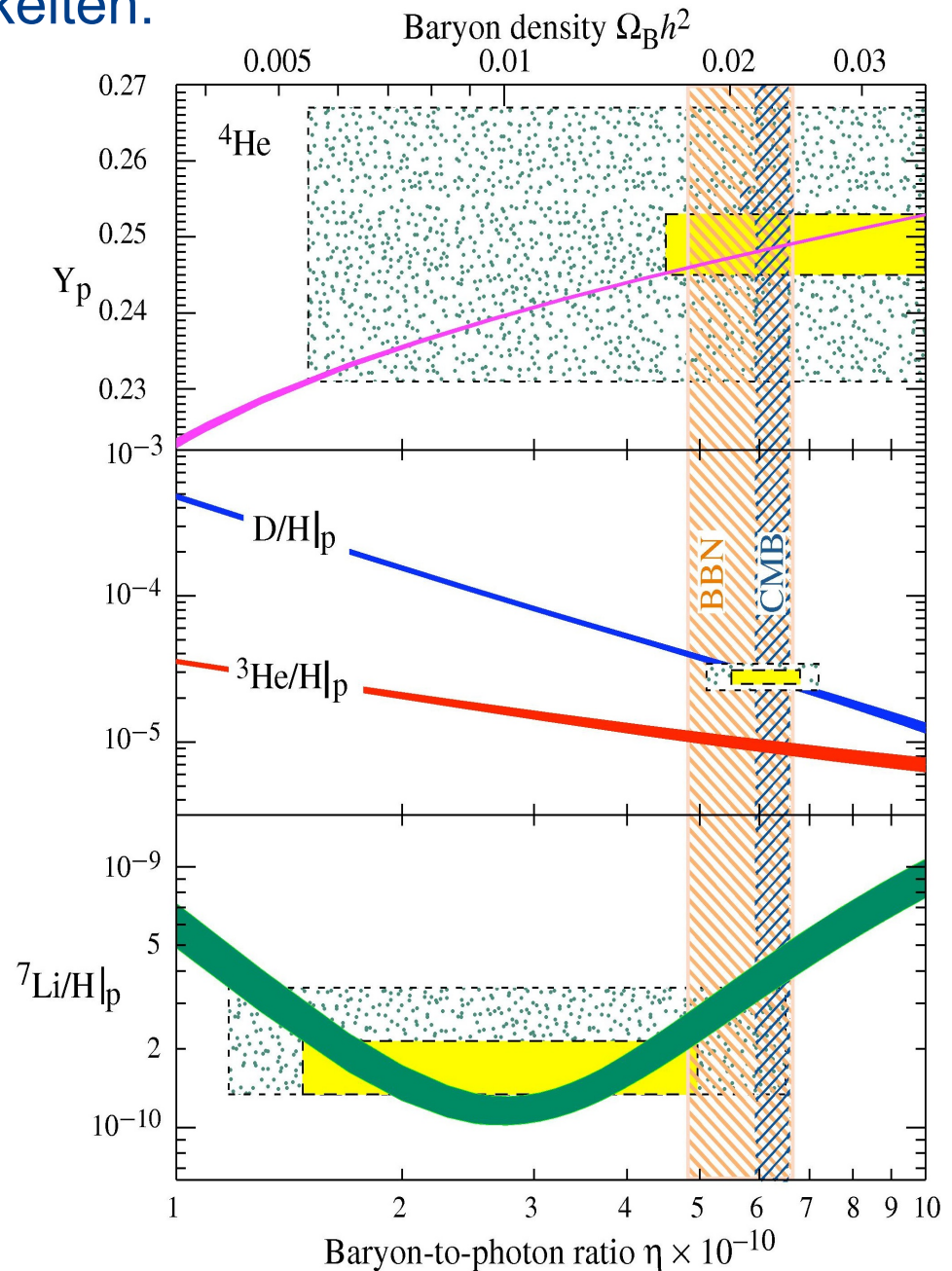
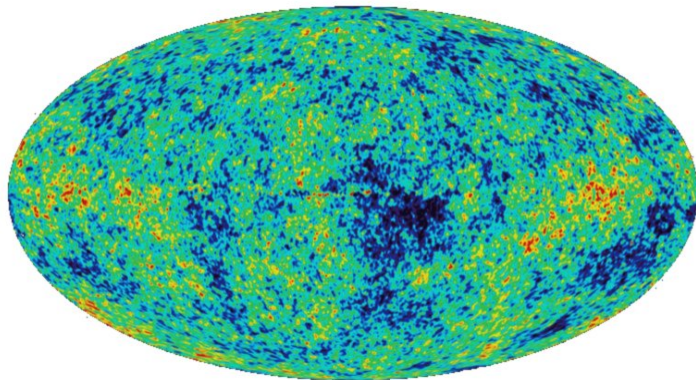
$^2\text{H}(\alpha,\gamma)^6\text{Li}$, LUNA-Ergebnisse und die ^6Li -Häufigkeit



- ◆ $^6\text{Li}/^7\text{Li}$ aus dem Urknall = $(1.7 \pm 0.3) \cdot 10^{-5}$ direkt aus Messdaten bestimmt
- ◆ Vergleiche mit $^6\text{Li}/^7\text{Li} \sim 10^{-2}$

Gesamtschau der Nuklidhäufigkeiten: ^4He , ^2H , ^7Li

Vorhersage und Beobachtung
stimmen einigermaßen überein für
diese drei Nuklide!

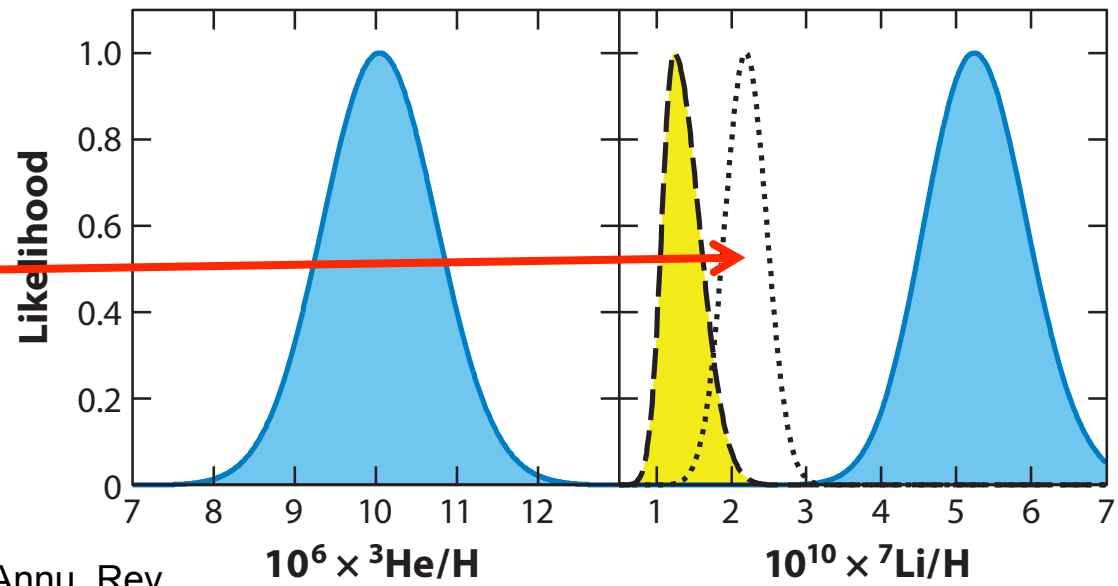
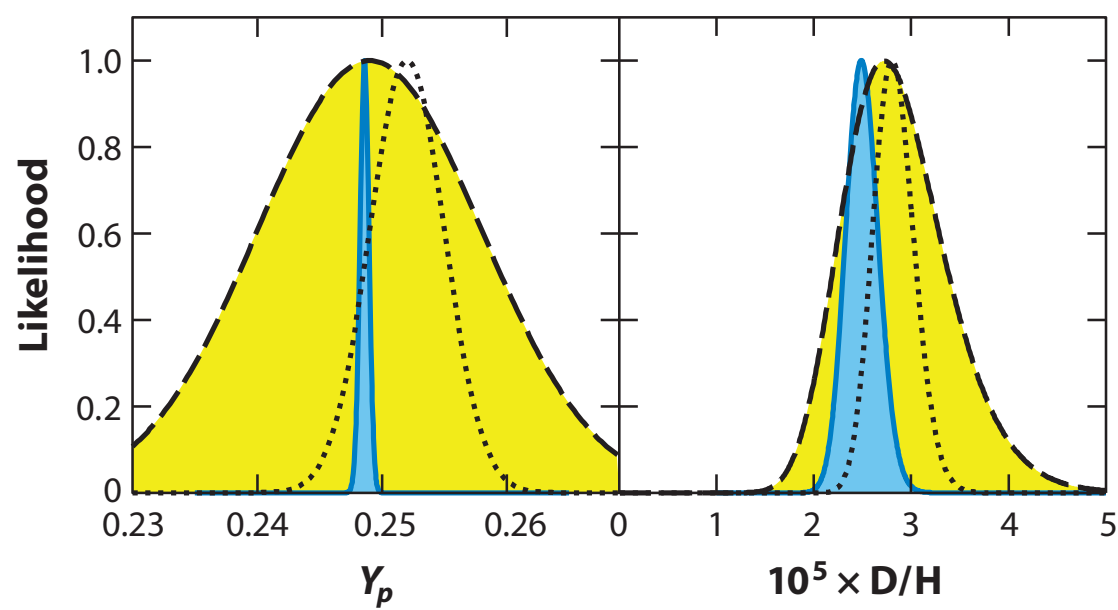


Vorhersage und Messung: ^4He , ^2H , ^7Li

Blau = Vorhersage, basierend auf CMB

Geld = Messung

Gepunktet = Messung, mit anderem
Auswerteverfahren



Lithium-(7-)
Problem der
Kosmologie

(B. Fields, Annu. Rev.
Nucl. Part. Sci. 2011)

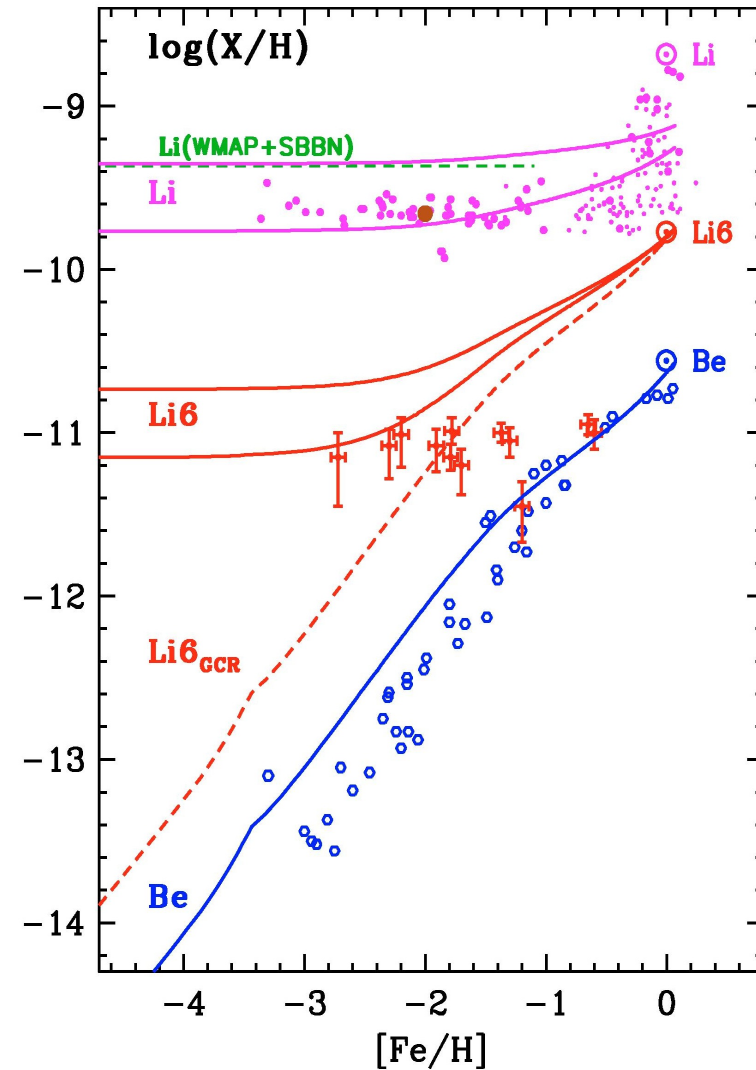
Entstehung von Nukliden durch Spallation: ^9Be , ^{10}Be , ^{10}B , ^{11}B , (^6Li)

- Sukzessive Anreicherung als Funktion der Zeit, hier $[\text{Fe}/\text{H}]$

$$[\text{Fe}/\text{H}] = \log \left[\left(n_{\text{Fe}} / n_{\text{H}} \right) / \left(n_{\text{Fe,Sonne}} / n_{\text{H,Sonne}} \right) \right]$$

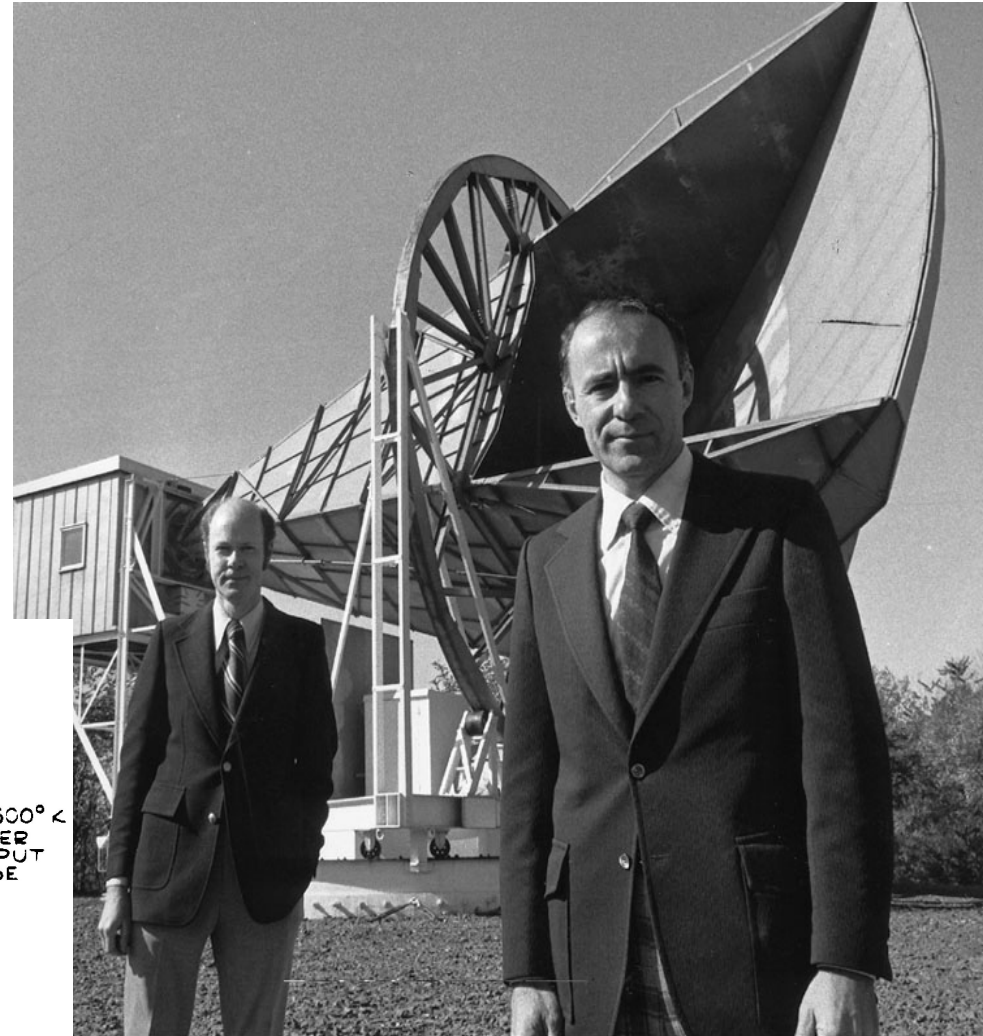
Sonne: $[\text{Fe}/\text{H}] = \log 1 = 0$

- Erklärung: hochenergetische Teilchen ("cosmic rays") stoßen auf interstellare Materie (Spallation)
- Erzeugung von Be, B, (^6Li)
- keine schwereren Elemente

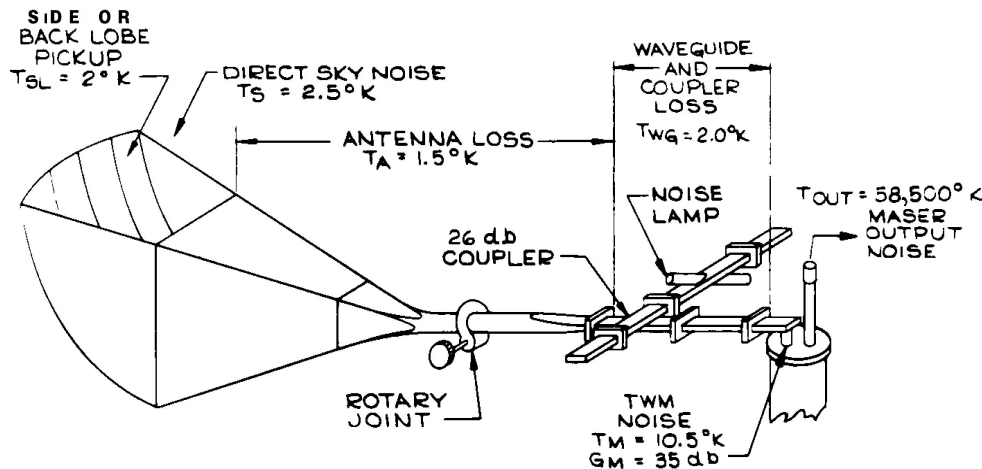


Entdeckung der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung 1965: Penzias, Wilson (1)

- Radioantenne zur Untersuchung der Mikrowellenemission der Galaxis
- Messung bei $\lambda = 7$ cm
- Nobelpreis 1978

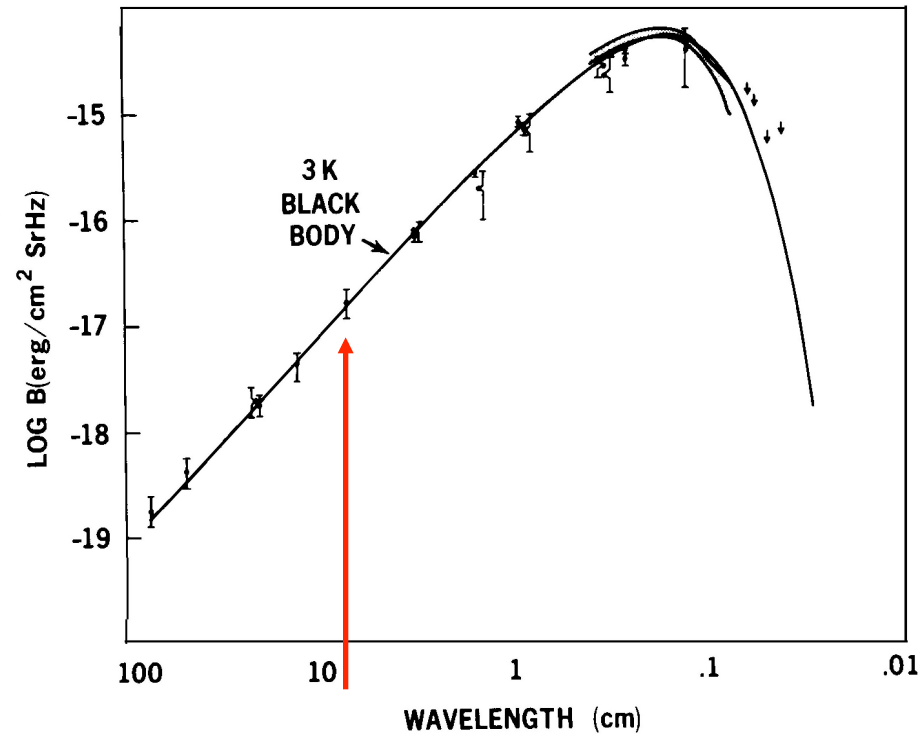


04 Thomson - Brooks/Cole



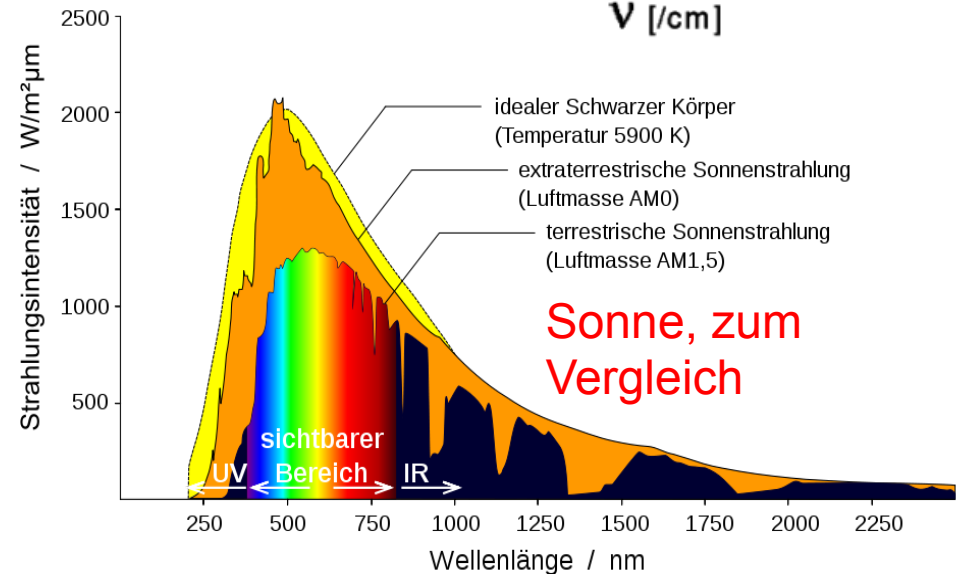
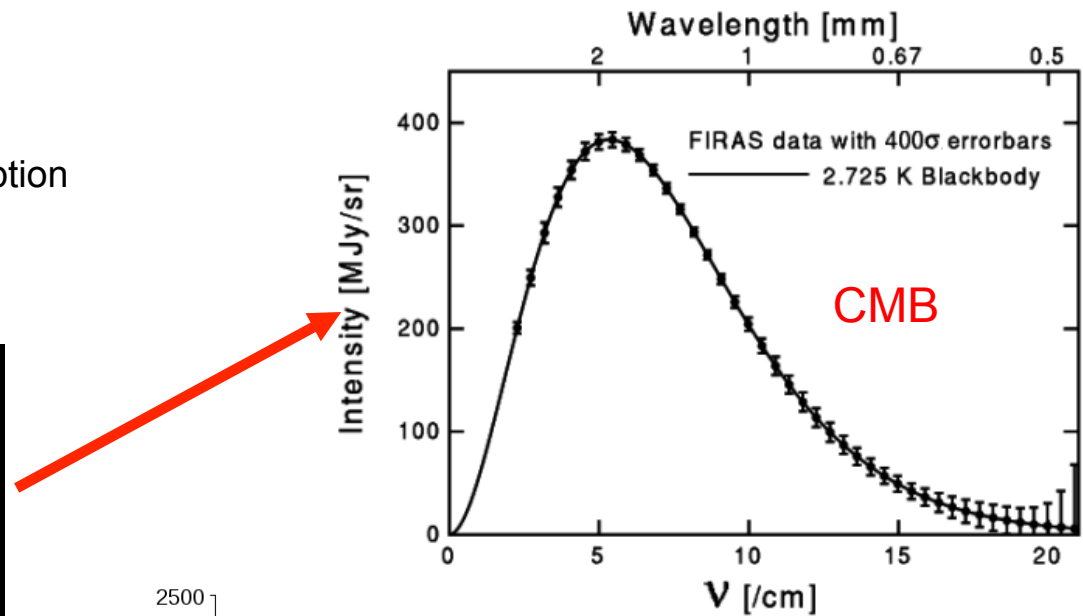
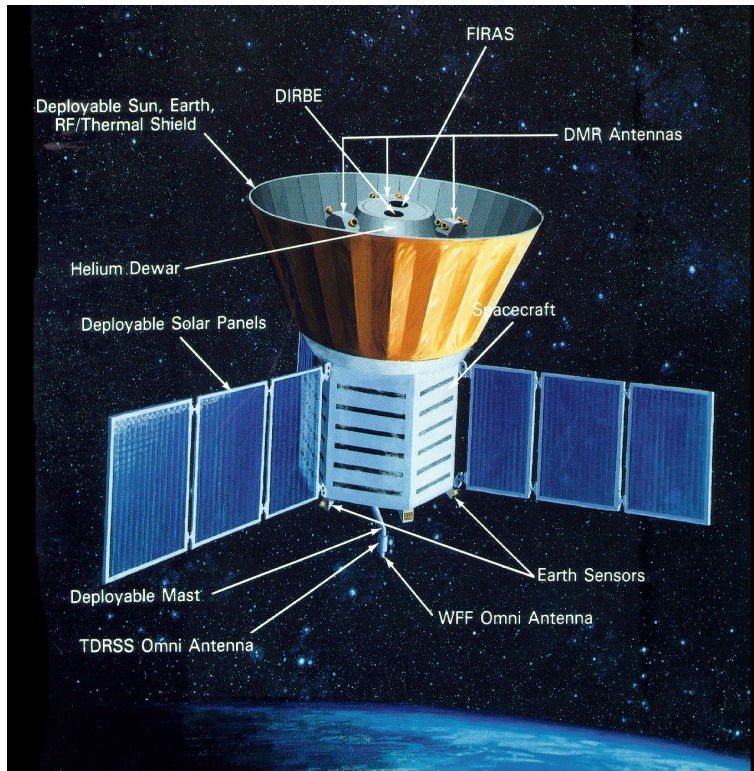
Entdeckung der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung 1965: Penzias, Wilson (2)

	New Throat	Old Throat	
He Temp.	4.22	4.22	
Calculated Contribution from Cold Load Waveguide Attenuator Setting for Balance	.38	.70 $\pm$ 0.2	
	<u>2.73</u>	<u>2.40 $\pm$ 0.1</u>	
Total C.L.	7.33	7.32 $\pm$ 0.3	6.7 $\pm$ 0.3
Atmosphere Waveguide and Antenna loss Back lobes	2.3 $\pm$ 0.3	2.3 $\pm$ 0.3	
	1.8 $\pm$ 0.3	.9 $\pm$ 0.3	
	<u>.1 $\pm$ 0.1</u>	<u>.1 $\pm$ 0.1</u>	
Total Ant.	4.2 $\pm$ 0.7	3.3 $\pm$ 0.7	
Background	3.1 $\pm$ 1	3.4 $\pm$ 1	

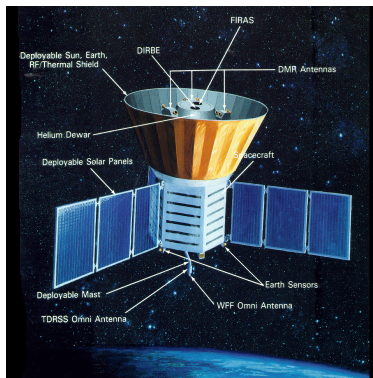


Isotropie und Anisotropie, gesehen mit COBE 1992: Smoot, Mather (1)

- COBE = COsmic Background Explorer
- Satellit, schaltet atmosphärische Absorption aus
- Perfektes Schwarzkörper-Spektrum (besser als z.B. Sonne)



Isotropie und Anisotropie, gesehen mit COBE 1992: Smoot, Mather (2)

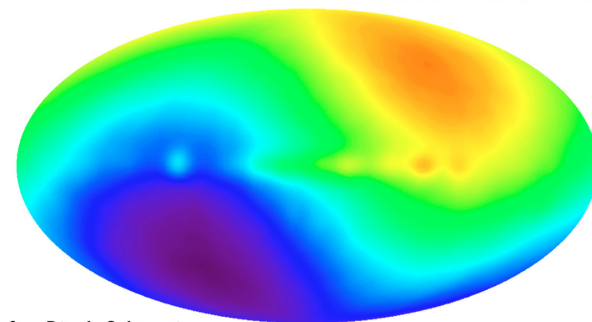


10^{-3} Dipol-Anisotropie

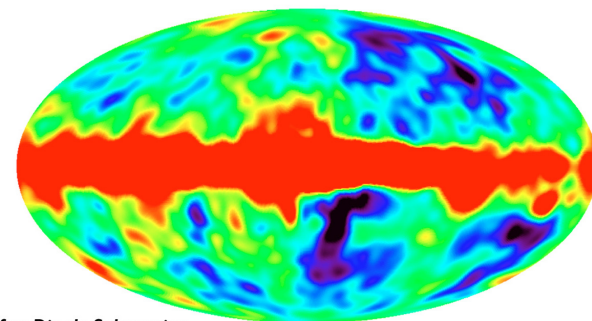


Doppler-Effekt aus der Bewegung von COBE relativ zum Mikrowellen-Hintergrund

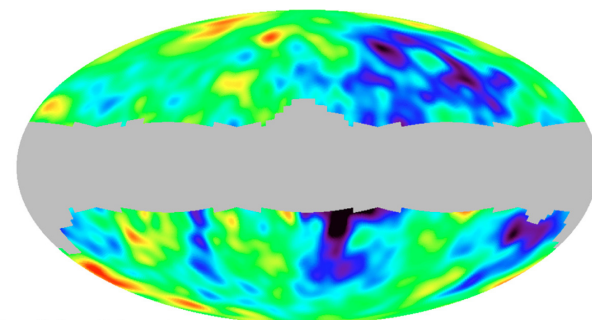
DMR 53 GHz Maps



Before Dipole Subtraction

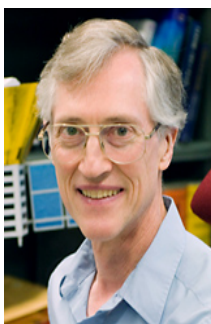
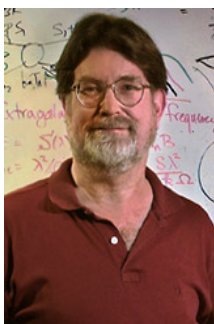


After Dipole Subtraction



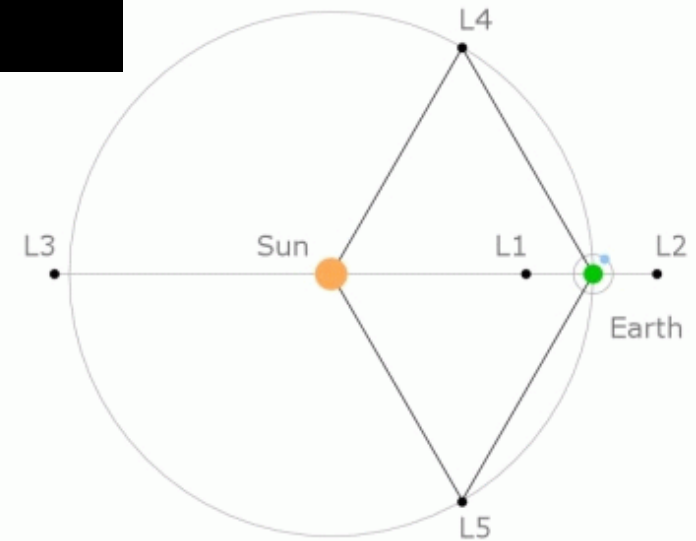
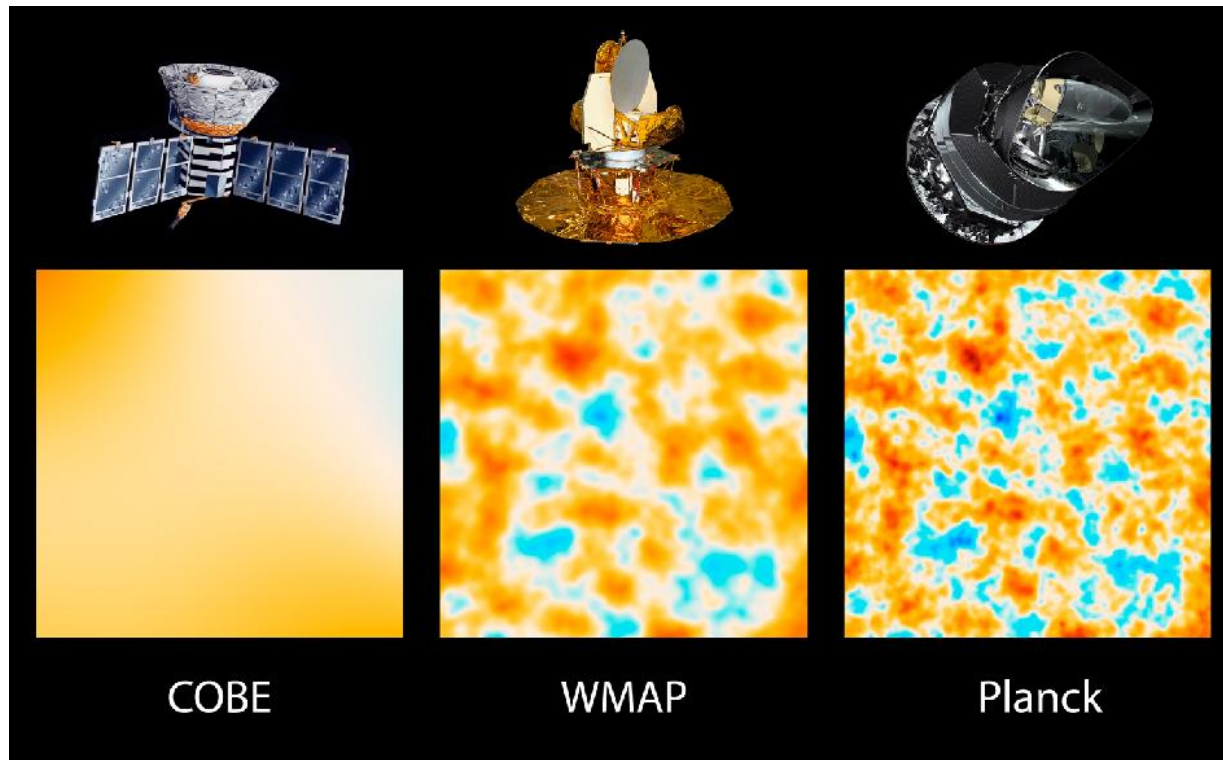
After Galaxy Subtraction

Nobelpreis 2006



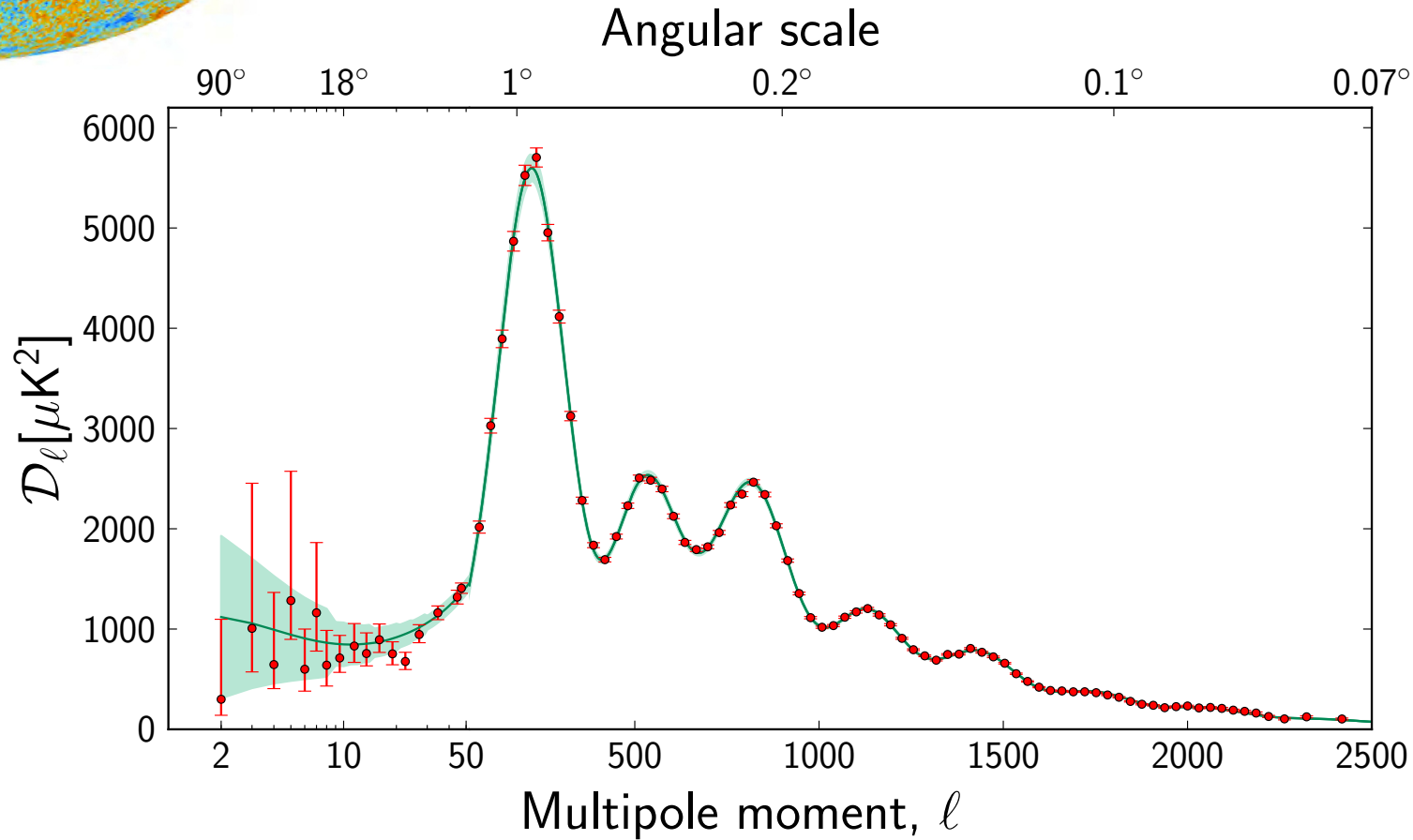
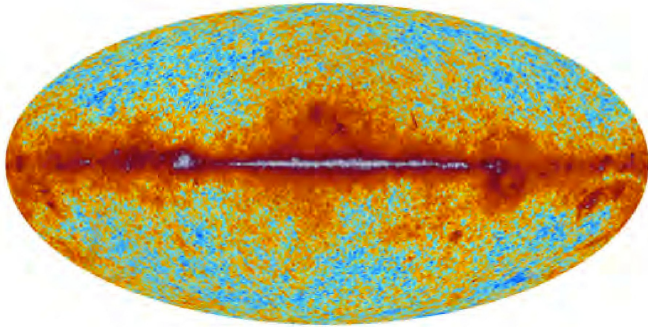
10^{-5} kosmische Anisotropie

Planck-Satellit 2013: Power-Spektrum des Mikrowellen-Hintergrunds

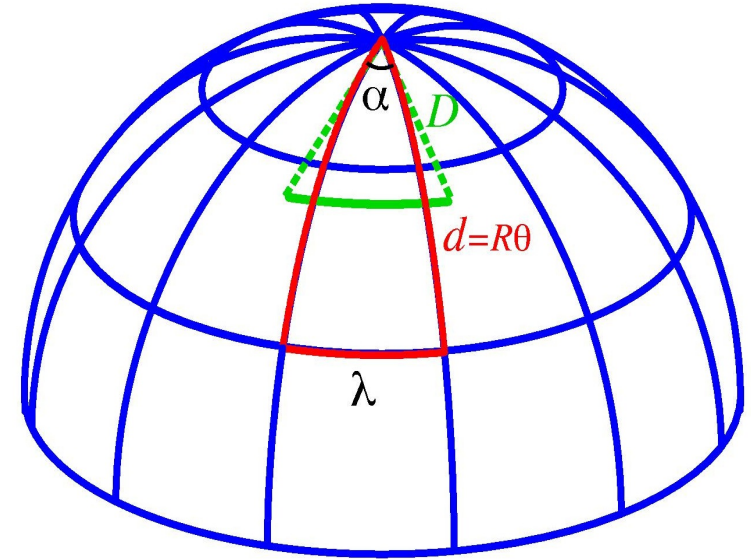
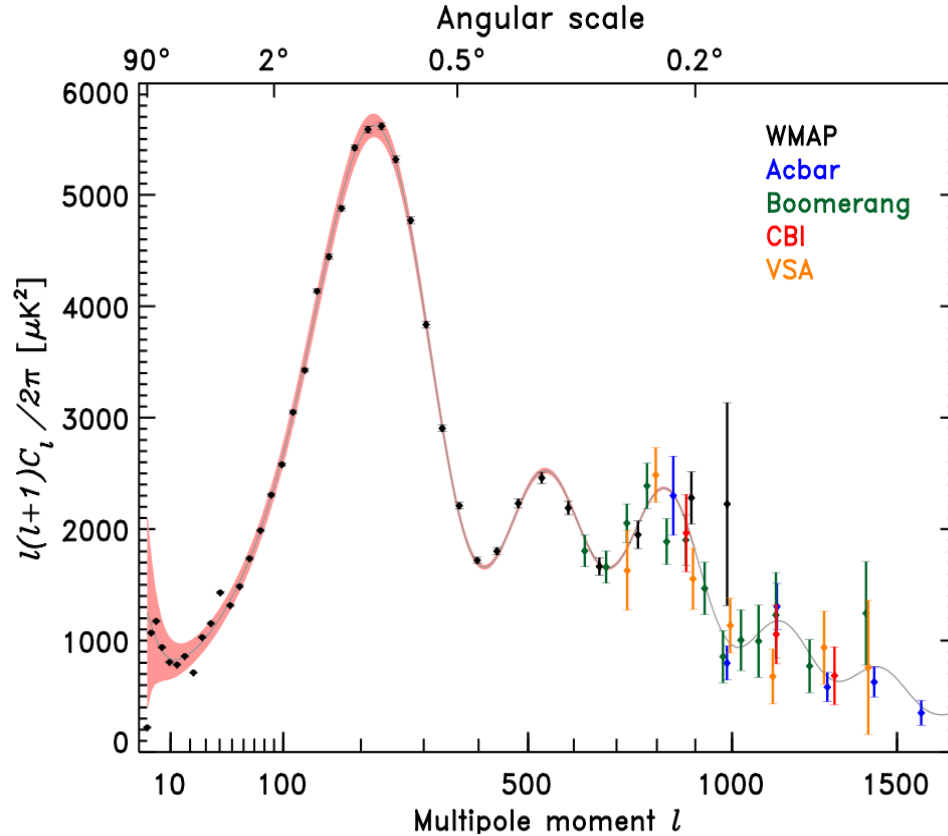


Planck-Satellit 2013: Power-Spektrum des Mikrowellen-Hintergrunds

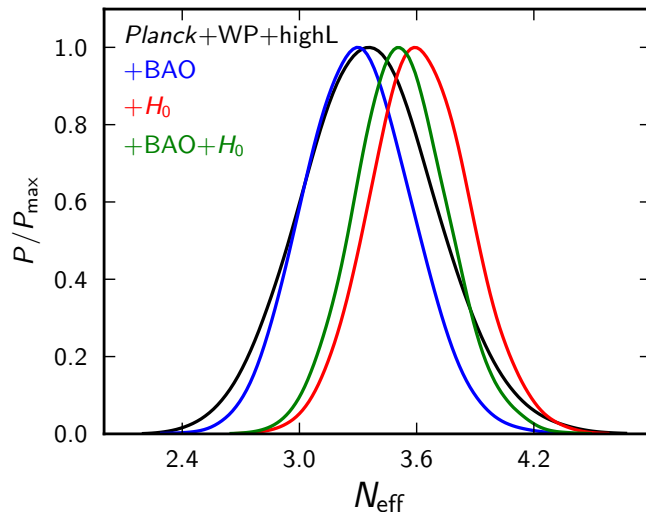
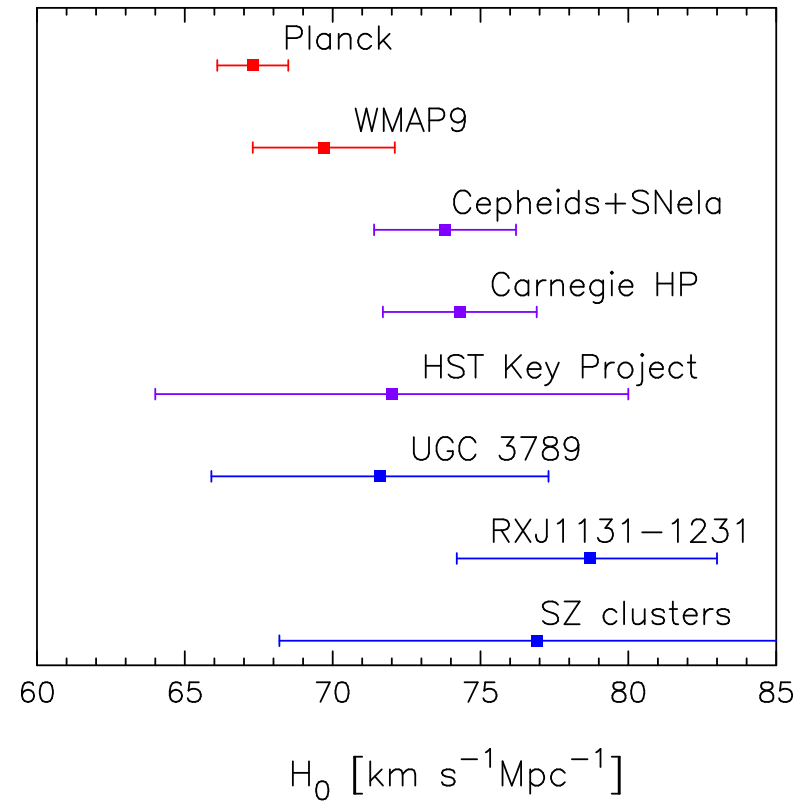
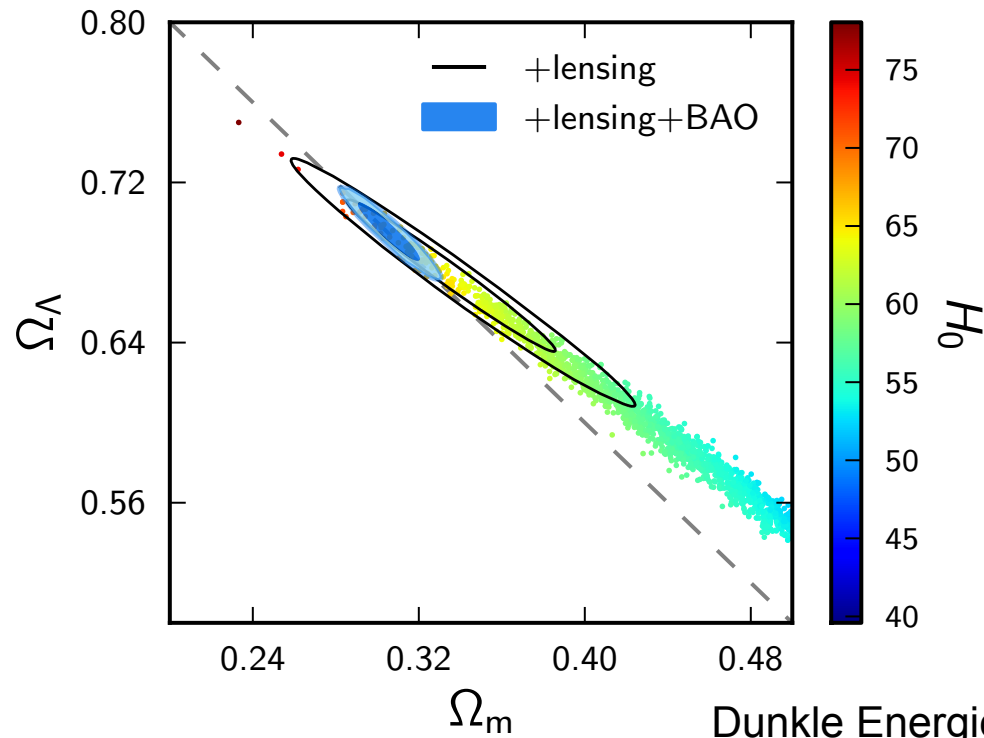
30 GHz



Zur Interpretation des ersten Peaks im Power-Spektrum



Planck-Satellit 2013: Kosmologische Schlussfolgerungen



Dunkle Energie
 Ω_Λ versus
Materie Ω_m

Hubble-Konstante H_0

Anzahl der Neutrino-Flavours N_{eff}

Zusammenfassung

- ◆ Die Nuklide ^1H , ^2H , ^3He , ^4He und ^7Li der drei leichtesten Elemente entstanden in den ersten drei Minuten nach dem Urknall.
- ◆ Die makroskopisch beobachtbaren Häufigkeiten der leichten Elemente im Universum sind aufs Engste mit ihren mikroskopischen Eigenschaften verknüpft.
- ◆ Die Nuklide ^9Be , ^{10}Be , ^{10}B , ^{11}B und wahrscheinlich ^6Li entstanden durch Stöße von kosmischer Strahlung mit dem interstellaren Medium ("Spallation").
- ◆ Genaue Beobachtungen der Winkelverteilung der kosmischen Hintergrundstrahlung erlauben die Bestimmung des Baryonen-zu-Photonen-Verhältnisses und daraus auf einem zweiten, unabhängigen Weg, die Bestimmung der primordialen Nuklidhäufigkeiten.

