

Kosmologie und Astroteilchenphysik

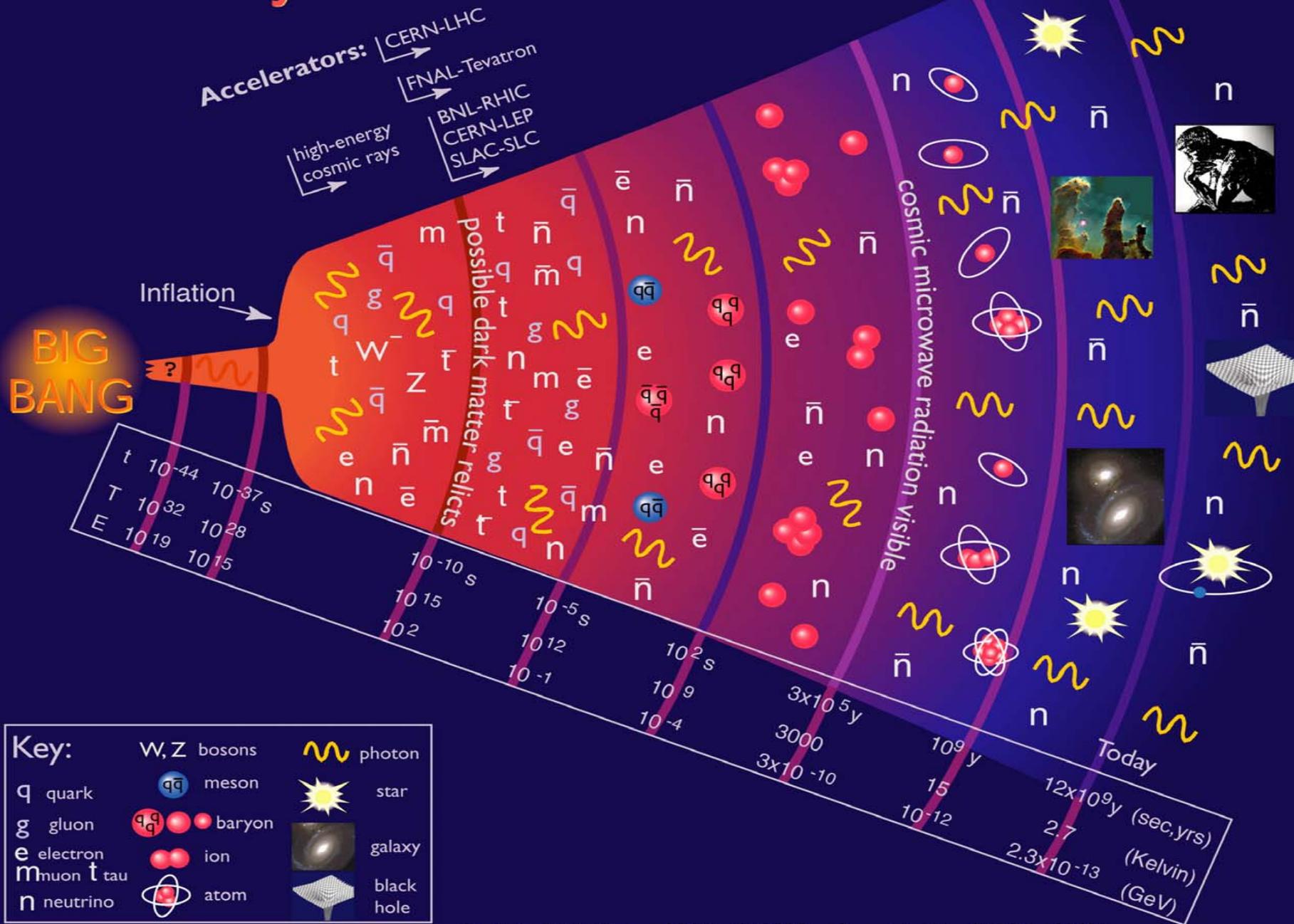
Prof. Dr. Burkhard Kämpfer, Dr. Daniel Bemmerer

- 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

5. Vorlesung, 16.05.2011

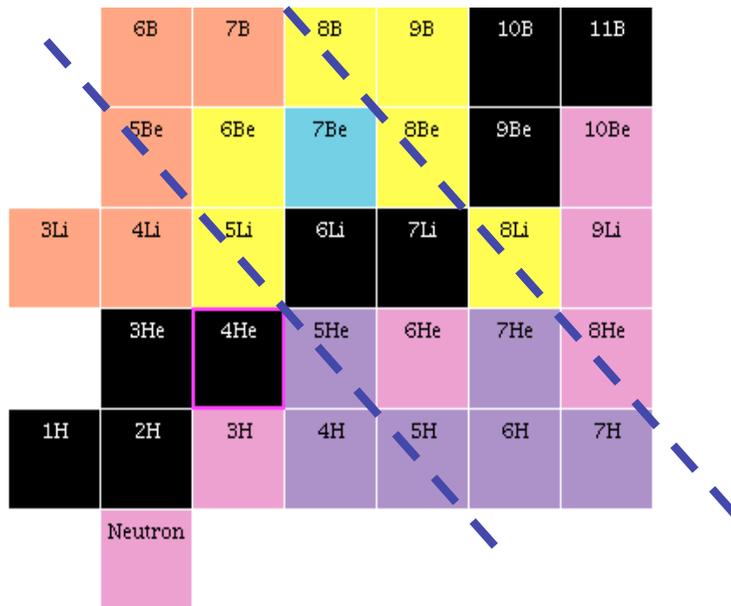
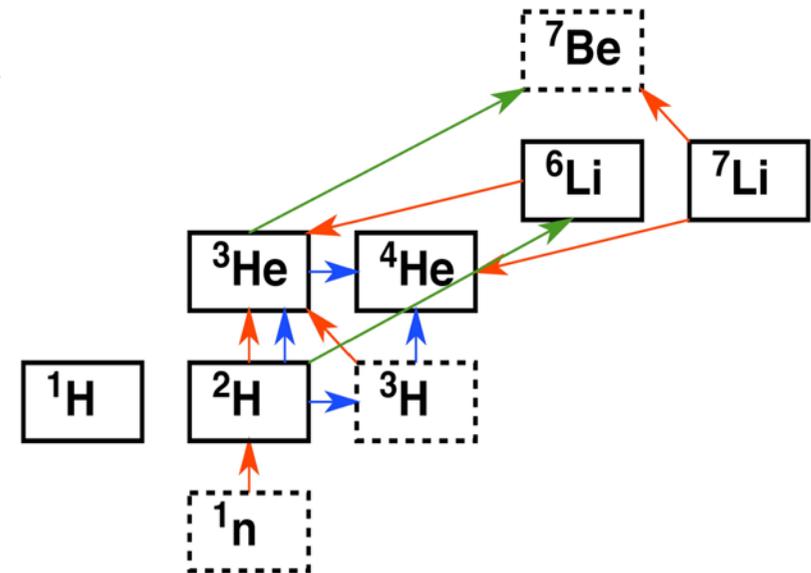
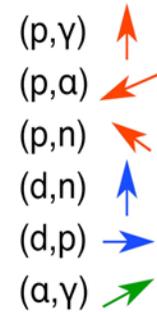


History of the Universe



Zusammenfassung von letzter Woche (09.05.2011)

- 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.



Kernreaktionen: Definition des Wirkungsquerschnitts

Reaktion A(a,b)B	a= Projektil	A = Target
------------------	--------------	------------

- Geometrische Vorstellung: Immer, wenn ein Projektil die am Target "angeheftete" Fläche σ trifft, findet die Reaktion A(a,b)B statt

$$\frac{\text{Reaktionen}}{\text{Zeit}} = \sigma \cdot \text{Targetatome} \frac{\text{Projektile}}{\text{Fläche} \cdot \text{Zeit}}$$

- Praktisch messbar:

Targetatome pro Fläche	= Dicke * Dichte /
Atommasse	
Projektile pro Zeit	= Ionenstrom

$$\sigma = \frac{\frac{\text{Reaktionen}}{\text{Zeit}}}{\frac{\text{Targetatome}}{\text{Fläche}} \cdot \frac{\text{Projektile}}{\text{Zeit}}}$$

Besonderheiten:

- Differentieller Wirkungsquerschnitt $d\sigma/d\Omega$
- Partieller Wirkungsquerschnitt $\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{elast}} + \sigma_{\text{inelast}}$

Lebensdauer und Halbwertszeit

- Differentialgleichung des radioaktiven Zerfalls, und ihre Lösung:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-t/\tau}$$

- Lebensdauer τ , Zerfallskonstante λ und Halbwertszeit $t_{1/2}$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}$$

- Bei verschiedenen Zerfallsmöglichkeiten ein- und desselben Kerns addieren sich die $\lambda_{1,2}$:

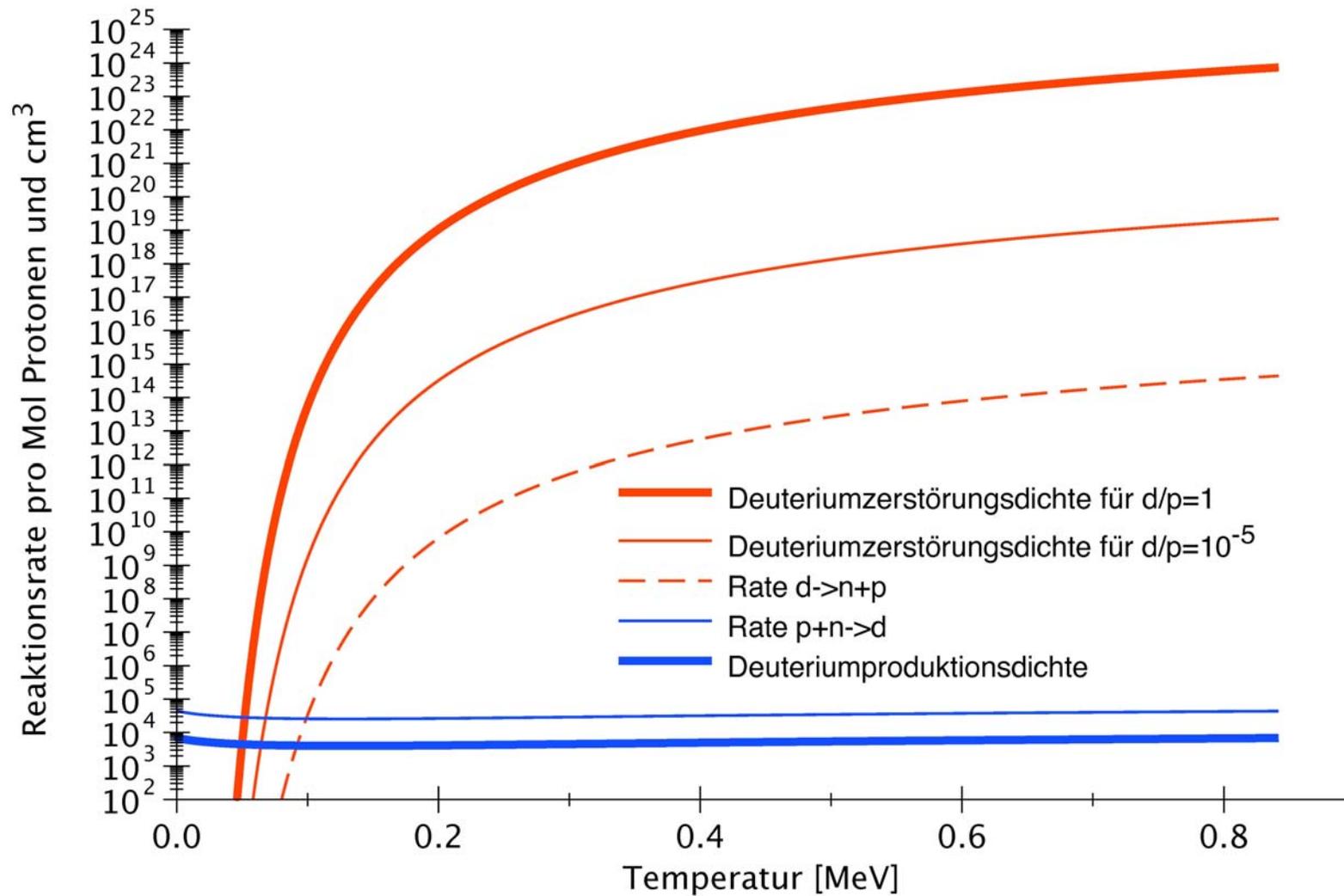
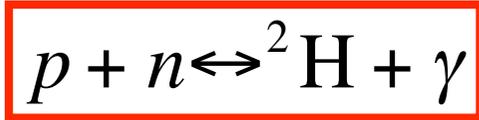
$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 \dots$$

- Es kann auch konkurrierend zu einem radioaktiven Zerfall die Zerstörung desselben Kerns durch eine Kernreaktion auftreten:

$$\lambda_{\text{Reaktion}} = \sigma \frac{\text{Projektile}}{\text{Fläche} \cdot \text{Zeit}}$$

Gerechnet wird analog (Beispiel Hot-CNO-Zyklus)

Entstehung von ^2Hmit korrektem η



- Beim Abkühlen des Kosmos geht das Gleichgewicht zwischen $p+n$ und ^2H verloren

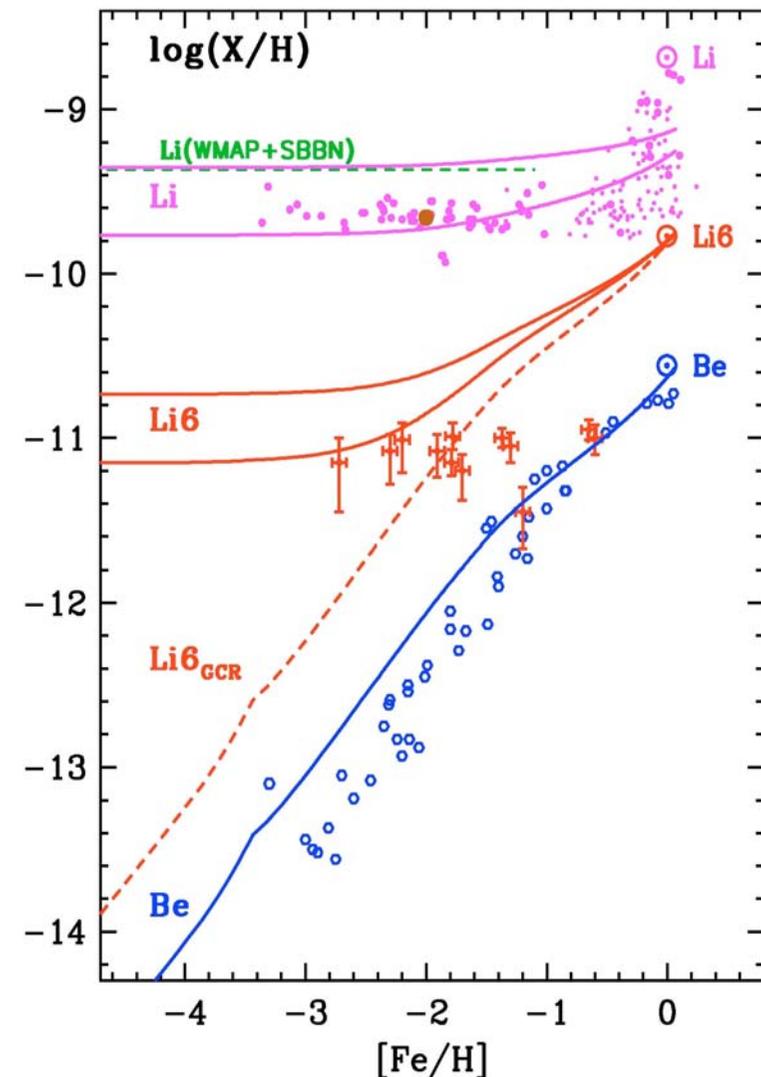
Entstehung von Nukliden durch Spallation: ${}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{10}\text{B}$, ${}^{11}\text{B}$, (${}^6\text{Li}$)

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

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

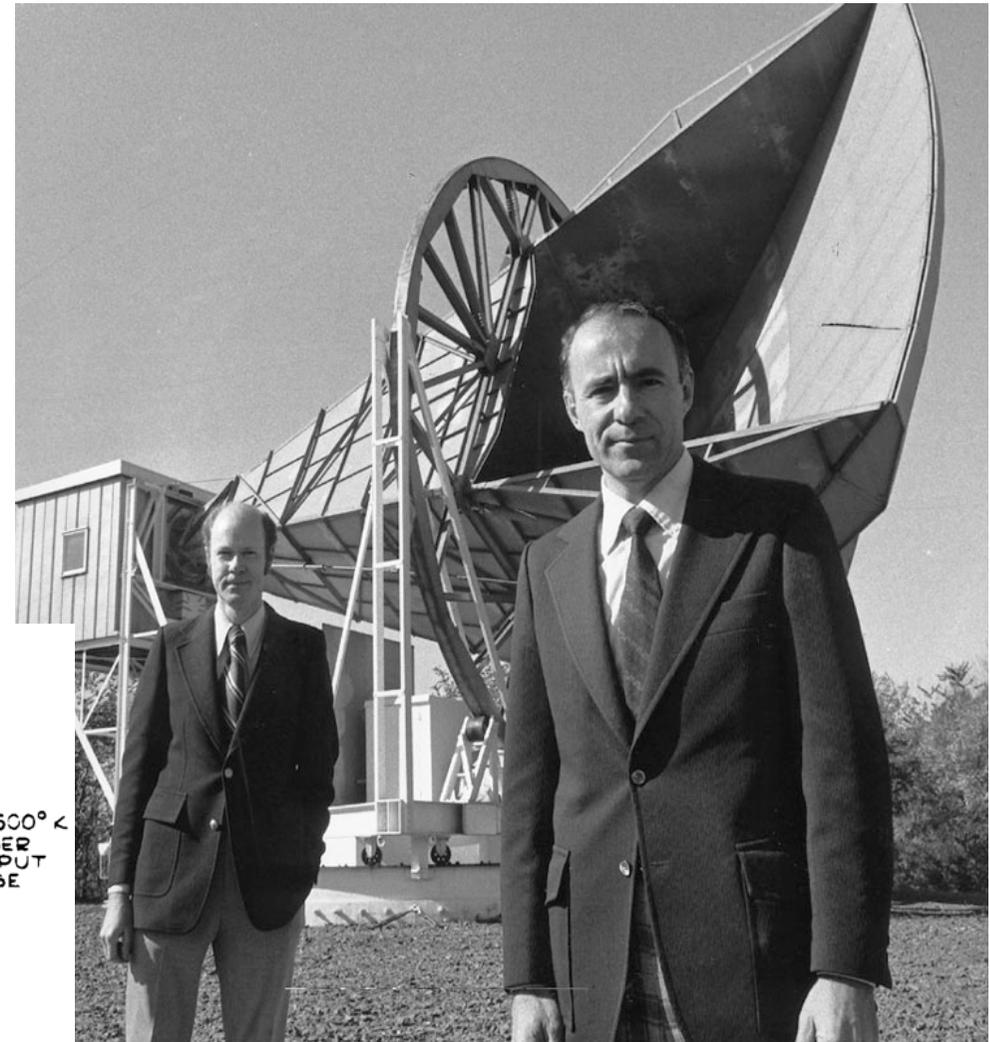
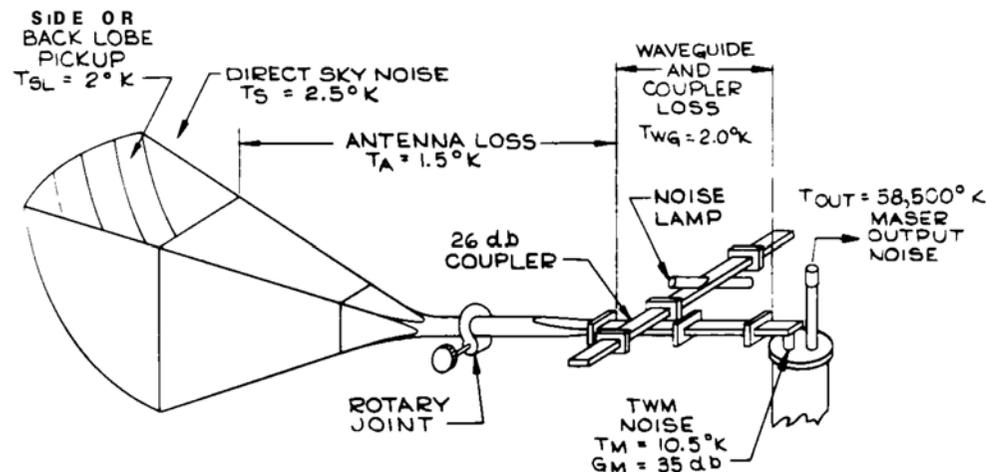
Sonne: $[\text{Fe}/\text{H}] = \log 1 = 0$

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



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

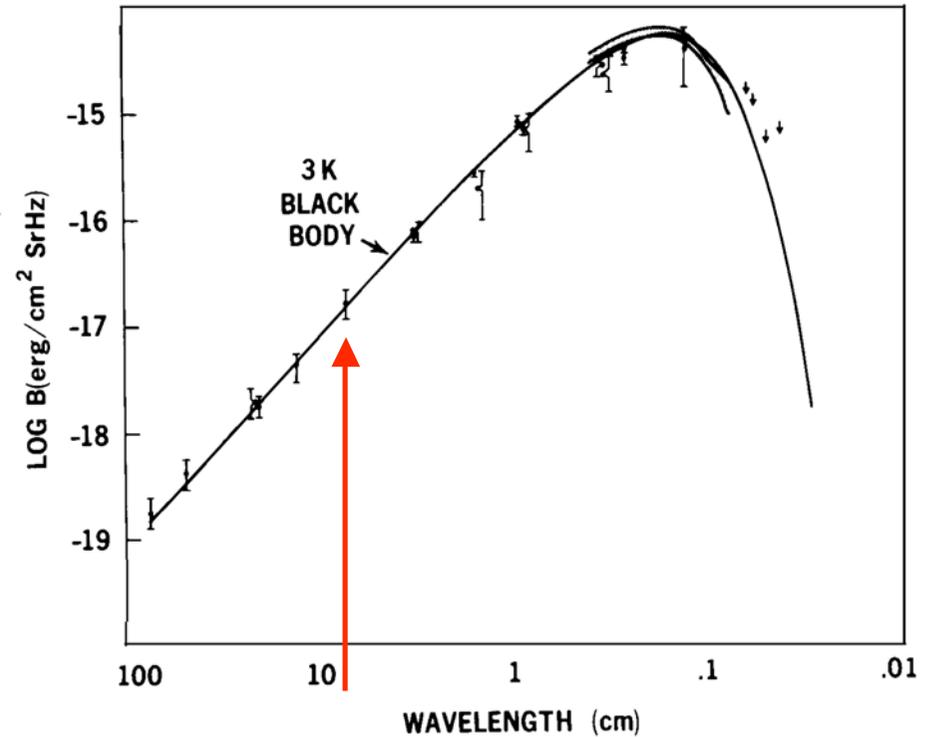
- Radioantenne zur Untersuchung der Mikrowellenemission der Galaxis
- Messung bei $\lambda = 7 \text{ cm}$
- Nobelpreis 1978



04 Thomson - Brooks/Cole

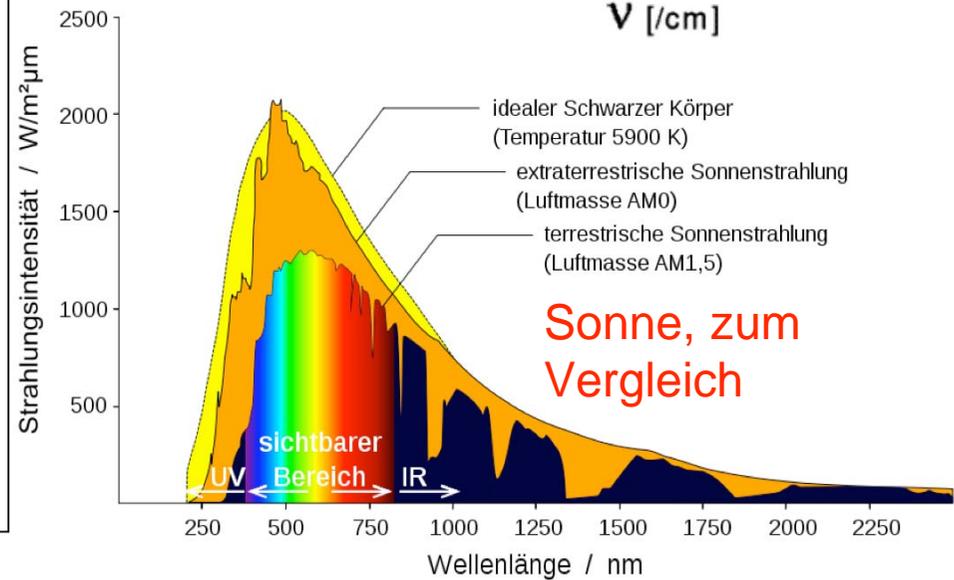
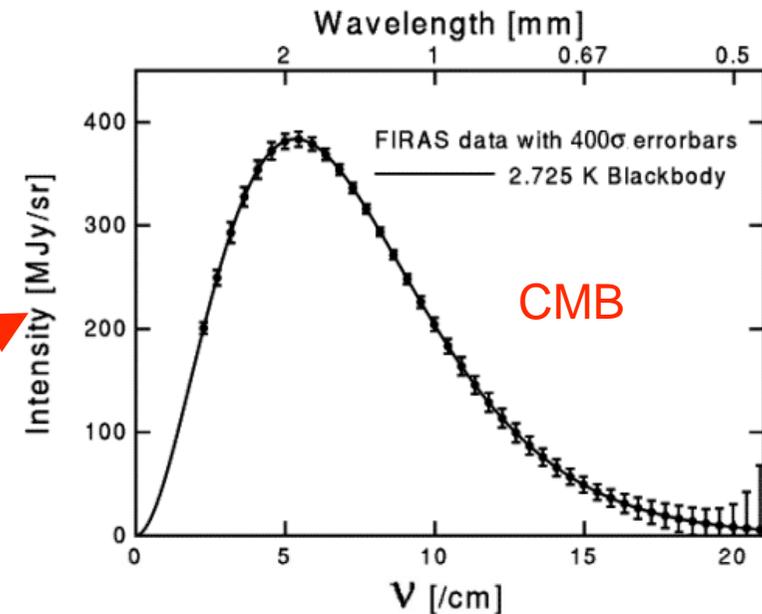
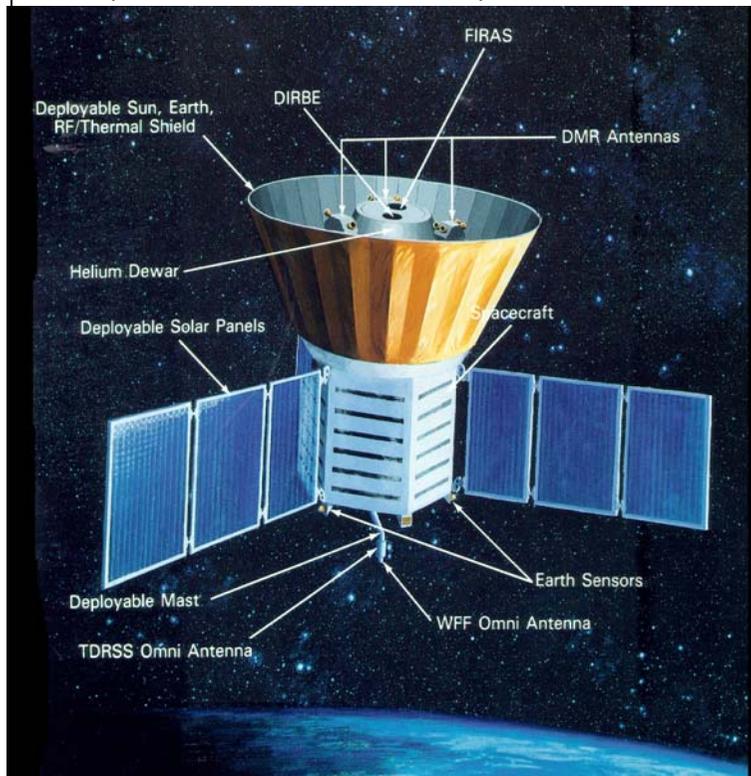
Entdeckung der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung 1965: Penzias, Wilson (2)

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

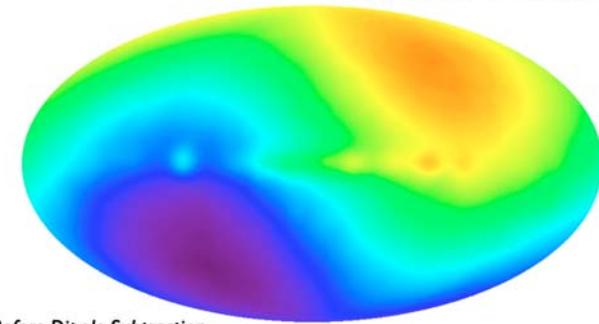


10^{-3} Dipol-Anisotropie

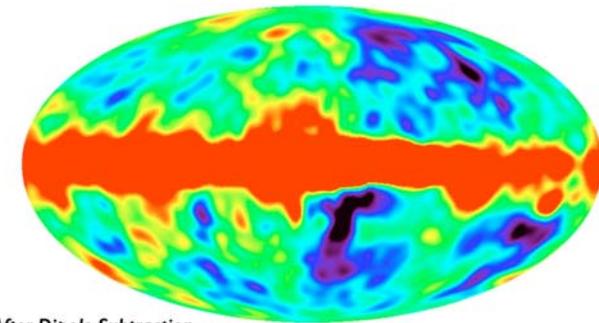


Doppler-Effekt aus der Bewegung von COBE relativ zum Mikrowellen-Hintergrund

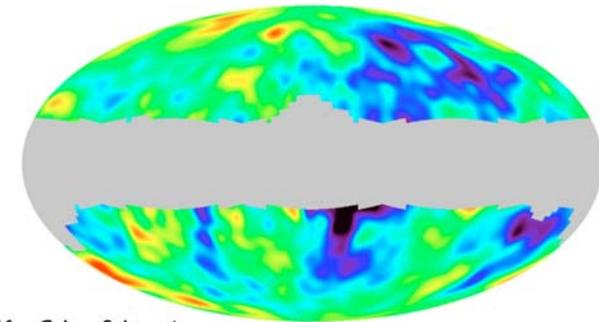
DMR 53 GHz Maps



Before Dipole Subtraction

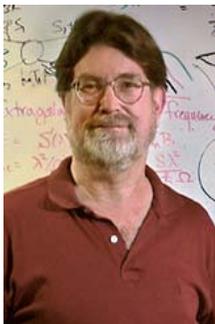


After Dipole Subtraction



After Galaxy Subtraction

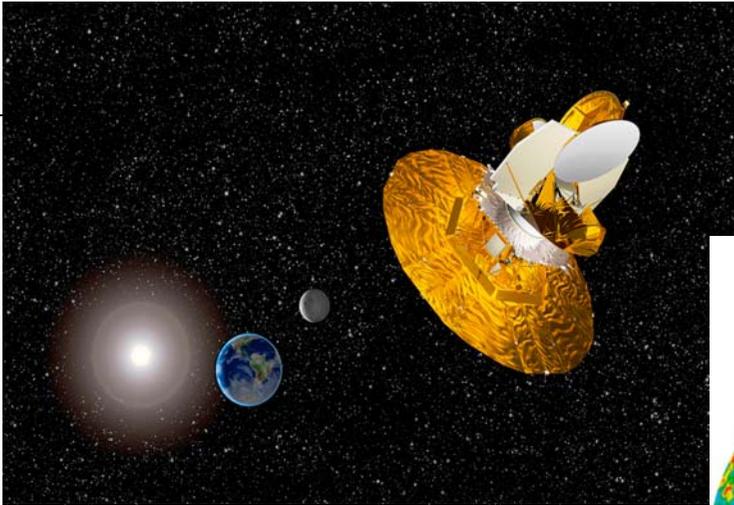
Nobelpreis 2006



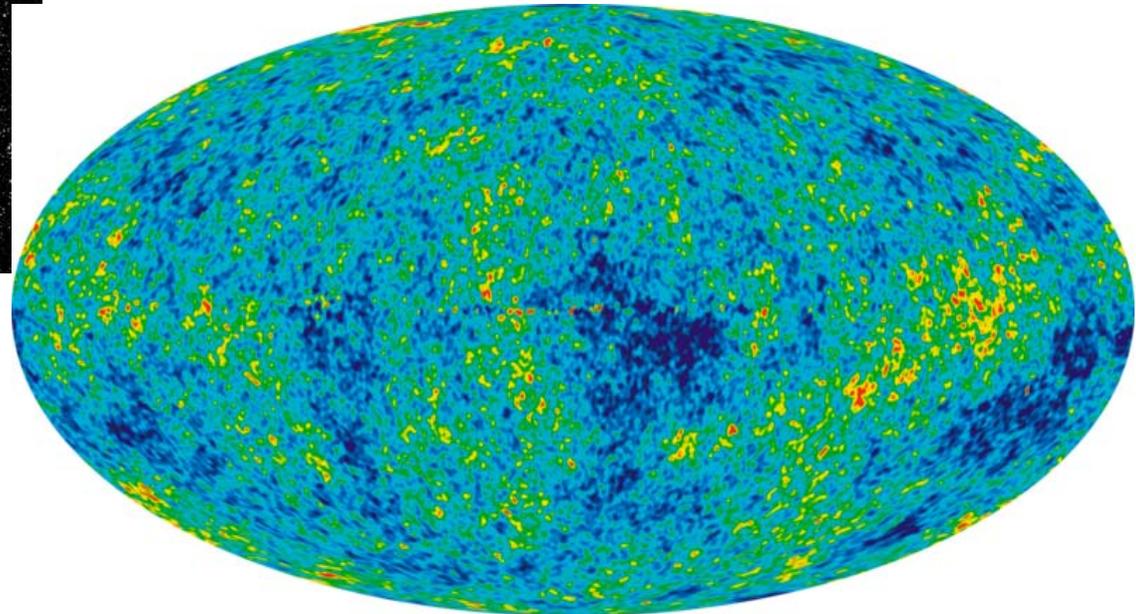
10^{-5} kosmische Anisotropie

Anisotropie, gesehen mit WMAP

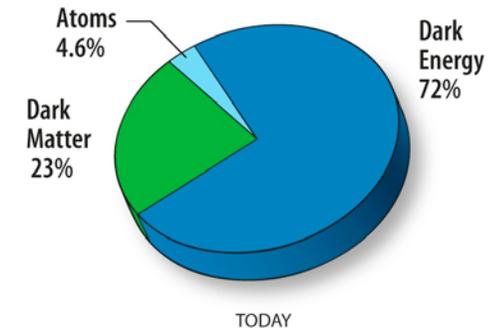
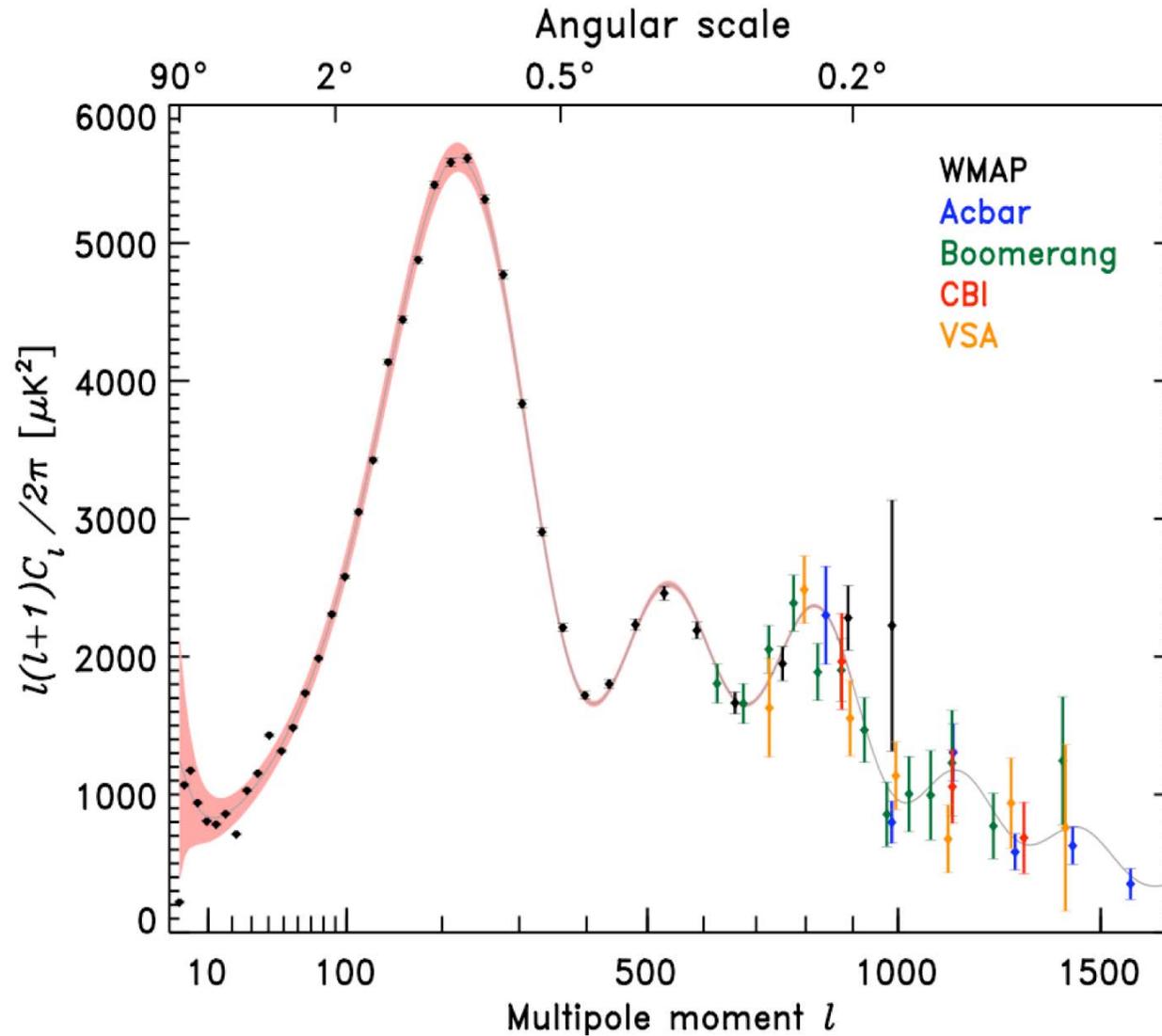
- WMAP = Wilkinson Microwave Anisotropy Probe
- Orbit um L_2 -Punkt der Sonne
- Verbesserte Winkelauflösung



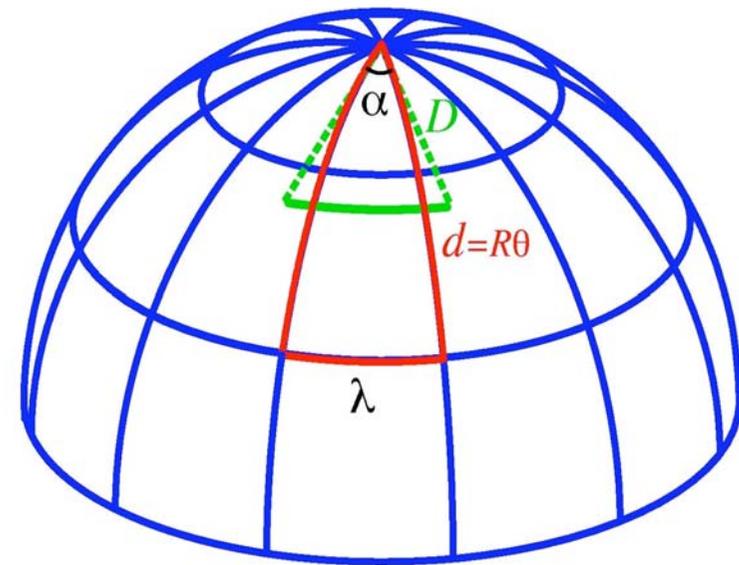
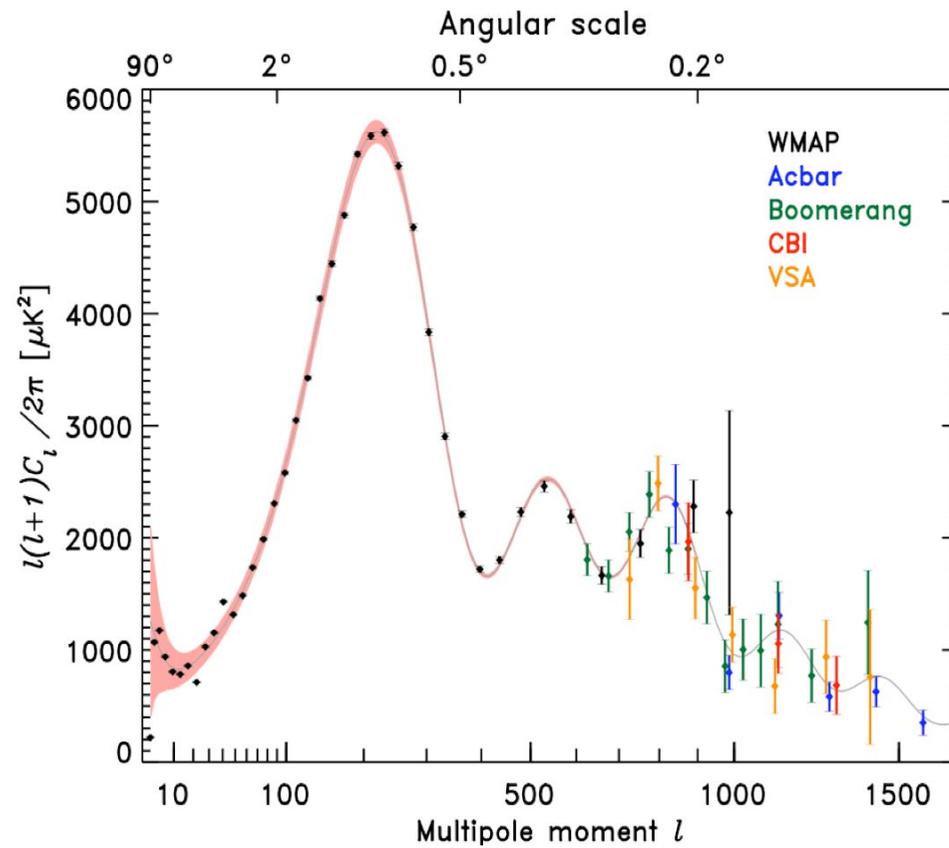
7 Jahre Statistik mit WMAP (2010),
Galaxis und Dipolbewegung
subtrahiert



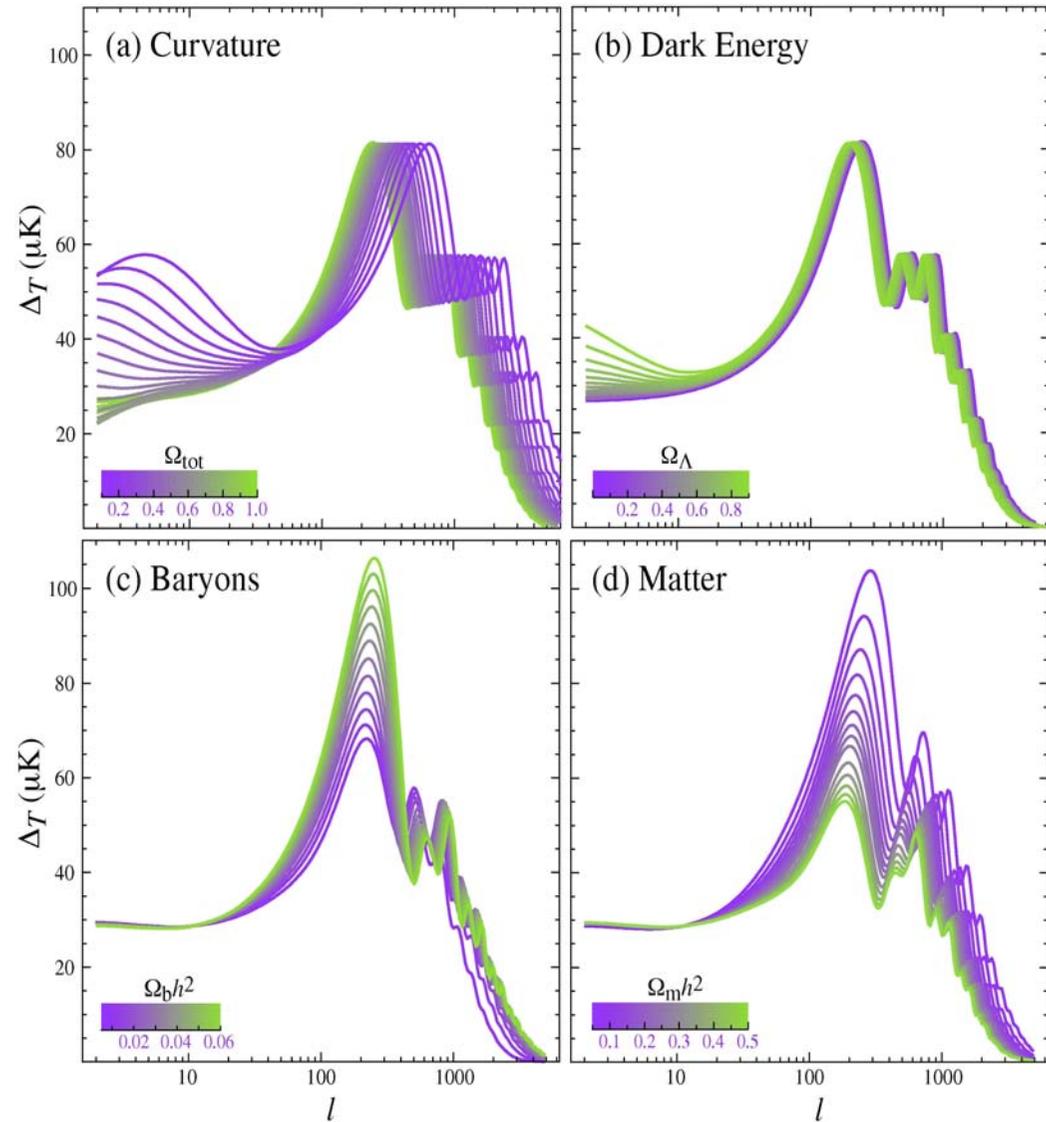
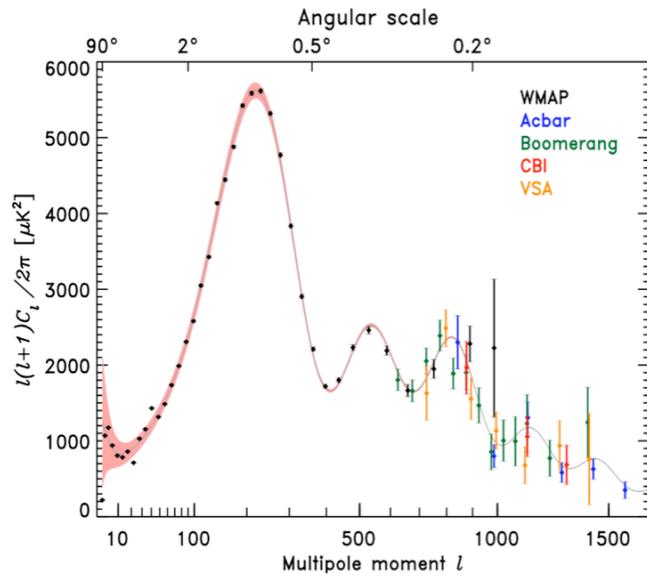
Power-Spektrum aus WMAP und Ballon-Experimenten



Zur Interpretation des ersten Peaks im Power-Spektrum



Zur Interpretation der weiteren Peaks im Power-Spektrum



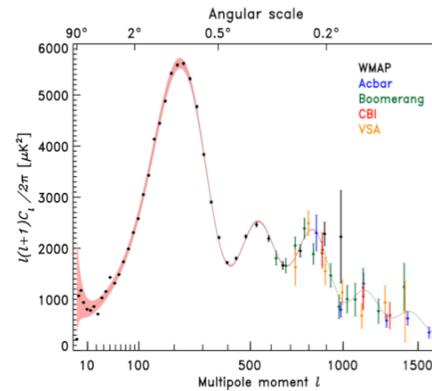
Kosmologische Parameter aus WMAP, 7 Jahre Statistik

TABLE 1
SUMMARY OF THE COSMOLOGICAL PARAMETERS OF Λ CDM MODEL

Class	Parameter	WMAP 7-year ML ^a	WMAP+BAO+ H_0 ML	WMAP 7-year Mean ^b	WMAP+BAO+ H_0 Mean
Primary	$100\Omega_b h^2$	2.270	2.246	$2.258^{+0.057}_{-0.056}$	2.260 ± 0.053
	$\Omega_c h^2$	0.1107	0.1120	0.1109 ± 0.0056	0.1123 ± 0.0035
	Ω_Λ	0.738	0.728	0.734 ± 0.029	$0.728^{+0.015}_{-0.016}$
	n_s	0.969	0.961	0.963 ± 0.014	0.963 ± 0.012
	τ	0.086	0.087	0.088 ± 0.015	0.087 ± 0.014
	$\Delta_{\mathcal{R}}^2(k_0)^c$	2.38×10^{-9}	2.45×10^{-9}	$(2.43 \pm 0.11) \times 10^{-9}$	$(2.441^{+0.088}_{-0.092}) \times 10^{-9}$
Derived	σ_8	0.803	0.807	0.801 ± 0.030	0.809 ± 0.024
	H_0	71.4 km/s/Mpc	70.2 km/s/Mpc	71.0 ± 2.5 km/s/Mpc	$70.4^{+1.3}_{-1.4}$ km/s/Mpc
	Ω_b	0.0445	0.0455	0.0449 ± 0.0028	0.0456 ± 0.0016
	Ω_c	0.217	0.227	0.222 ± 0.026	0.227 ± 0.014
	$\Omega_m h^2$	0.1334	0.1344	$0.1334^{+0.0056}_{-0.0055}$	0.1349 ± 0.0036
	z_{reion}^d	10.3	10.5	10.5 ± 1.2	10.4 ± 1.2
	t_0^e	13.71 Gyr	13.78 Gyr	13.75 ± 0.13 Gyr	13.75 ± 0.11 Gyr

2009 gestartet: Planck-Satellit der ESA

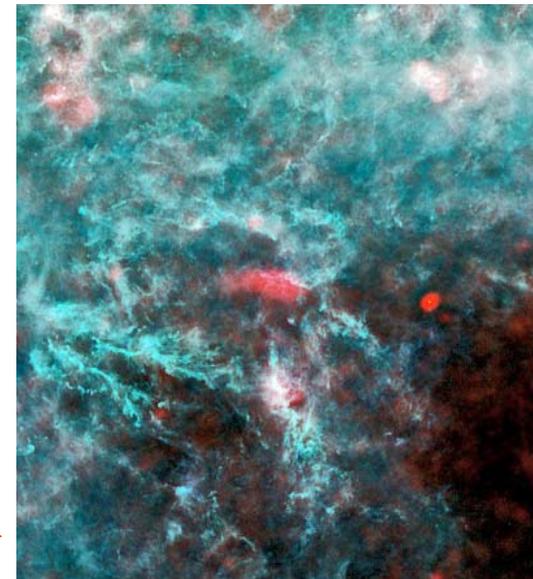
- Bessere Winkelauflösung und Empfindlichkeit als WMAP
- Untersuchung des rechten Teils des Power-Spektrums



Perseus,
Region mit wenig
aktiver Sternbildung

← Sichtbares Licht,
erdgestützte
Teleskope

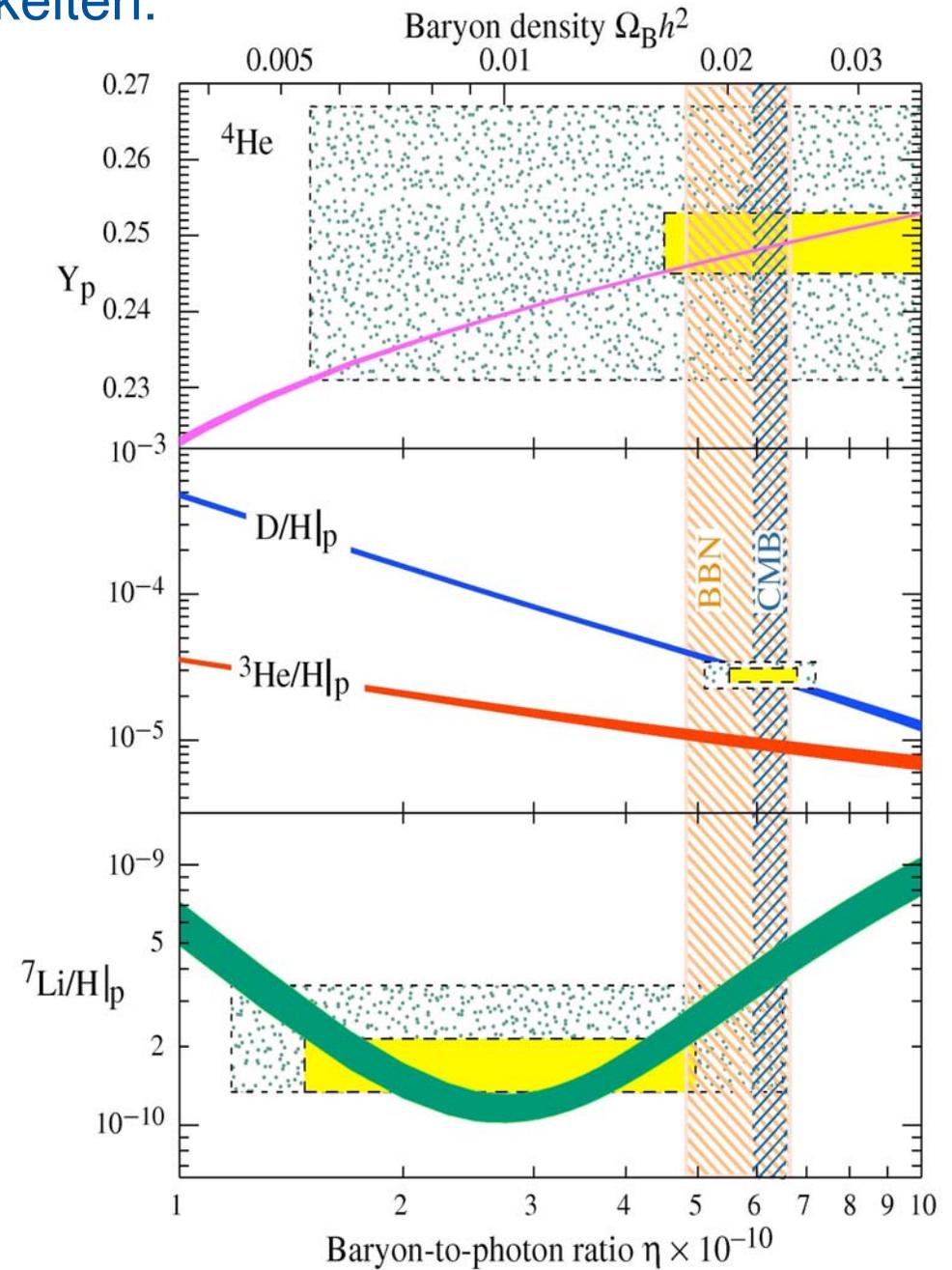
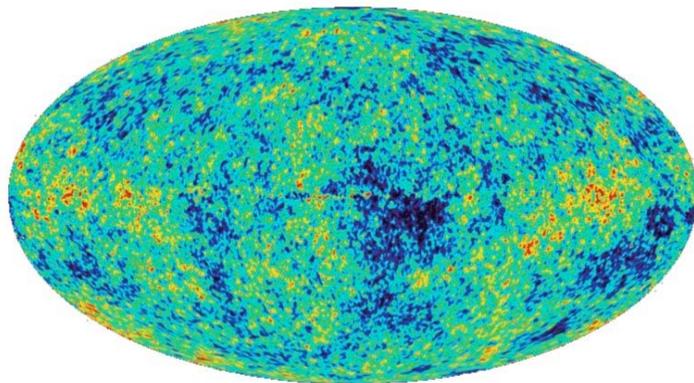
Infrarot, Planck →



Gesamtschau der Nuklidhäufigkeiten:

^4He , ^2H , ^7Li

Vorhersage und Beobachtung stimmen einigermaßen überein für diese drei Nuklide!



Zusammenfassung

- Die chemischen Elemente Beryllium und Bor sowie Lithium-6 entstehen durch Höhenstrahlung.
- Aus dem Universum erreicht uns eine diffuse Hintergrundstrahlung, der kosmische Mikrowellenhintergrund (cosmic microwave background) mit 2.725 K Temperatur.
- Die Hintergrundstrahlung ist auf 10^{-5} homogen und isotrop in einem Bezugssystem, das sich mit 300 km/s Geschwindigkeit relativ zur Erde bewegt .
- Die Auswertung der 10^{-5} Anisotropien erlauben Rückschlüsse auf die Dichte baryonischer und nichtbaryonischer Materie und die gesamte Energiedichte des Universums.

Übungsaufgaben für Donnerstag, 19.05.2011

1. Wie ist der Q-Wert der Reaktionen
 ${}^3\text{He}(\alpha,\gamma){}^7\text{Be}$, ${}^1\text{H}(\text{p},\text{e}^+\nu){}^2\text{H}$, ${}^2\text{H}(\text{t},\text{n}){}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}({}^3\text{He},2\text{p}){}^4\text{He}$?
Verwende für die Rechnung die Werte für den Massenüberschuss (mass excess) aus der aktuellen Massenevaluation (Suche nach AME2003 ... oder alternativ direkt)
<http://www.nndc.bnl.gov/amdc/masstable/Ame2003/mass.mas03>
2. Betrachte den radioaktiven Zerfall $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$, wobei 1 der radioaktive Mutterkern ist, 2 der ebenfalls radioaktive Tochterkern und 3 der stabile Endkern. Zu Anfang sei $N_1(t=0) = N_1^0$ und $N_2(t=0) = N_3(t=0) = 0$.
 - Leite die Differentialgleichung für die Änderung der Häufigkeit $dN_2(t) / dt$ her und gib die Funktion für $N_2(t)$ an.
 - Gib den Verlauf von $N_3(t)$ an.
 - Betrachte den Verlauf von N_1 , N_2 und N_3 für kleine Werte von t . Nähere die Exponentialfunktion in 1. Ordnung linear und diskutiere die Ergebnisse
3. Leite aus der Maxwell-Boltzmann-Gleichung her, bei welcher Temperatur 50% der Wasserstoffatome rekombiniert sind. Verwende Baryonen/Photonen-Verhältnis $\eta = 6 \cdot 10^{-10}$, Ionisationsenergie des Wasserstoffs 13.6 eV und nimm an, dass das Universum elektrisch neutral ist.