



中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

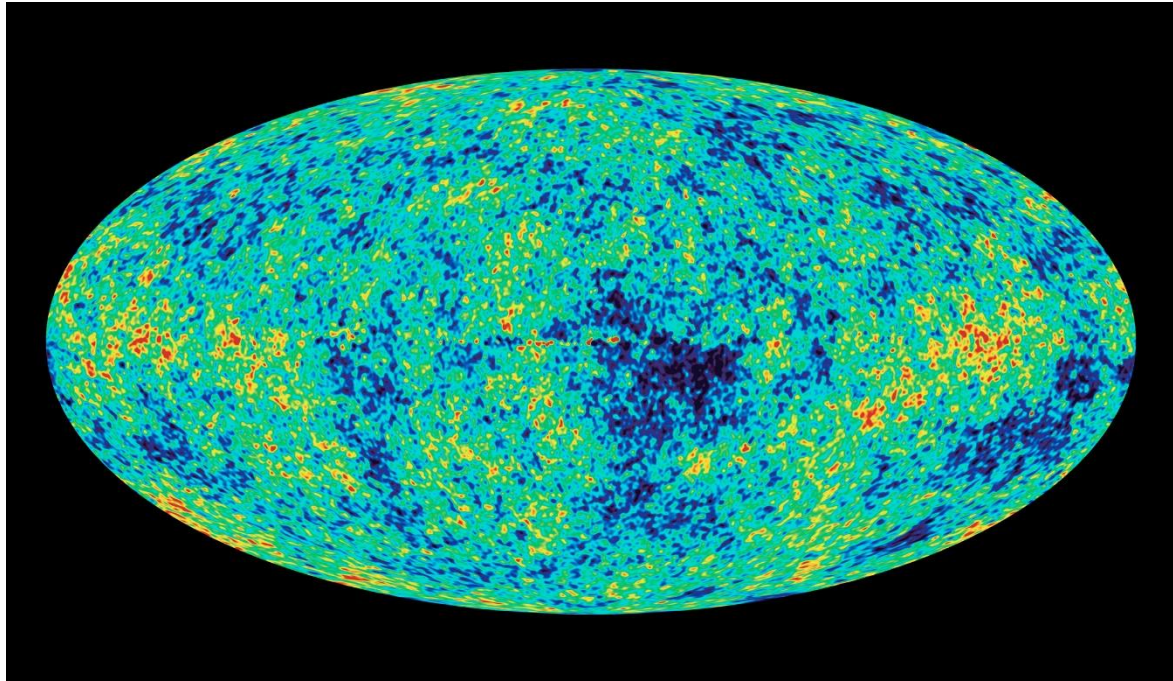
宇宙微波背景辐射

Cosmic Microwave Background Radiation

谭子立

邱林蔚

最后散射面(the surface of last scattering)



图一 根据[WMAP](#)对宇宙微波背景辐射的观测所绘制的图像。

- 光子脱耦是指随着宇宙膨胀冷却，光子在某个时间点后不再能被吸收，于是开始自由穿越整个空间
- 最后散射面是指我们由光子脱耦时的放射源接受到光子的来源点在空间上的集合

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{红移 } z \sim 1100 \\ \text{年龄 } 180000 (\Omega_0 h^2)^{-\frac{1}{2}} \text{ yr} \end{array} \right.$$

宇宙微波背景温度

观测到的宇宙背景的频谱，

在 $0.1\text{cm} - 70\text{cm}$ 波段可以看作一个温度为 $2.75 \pm 0.015\text{K}$ 的黑体的辐射光谱

根据黑体公式，黑体单位表面积的辐射通量满足

$$P = \sigma T^4$$

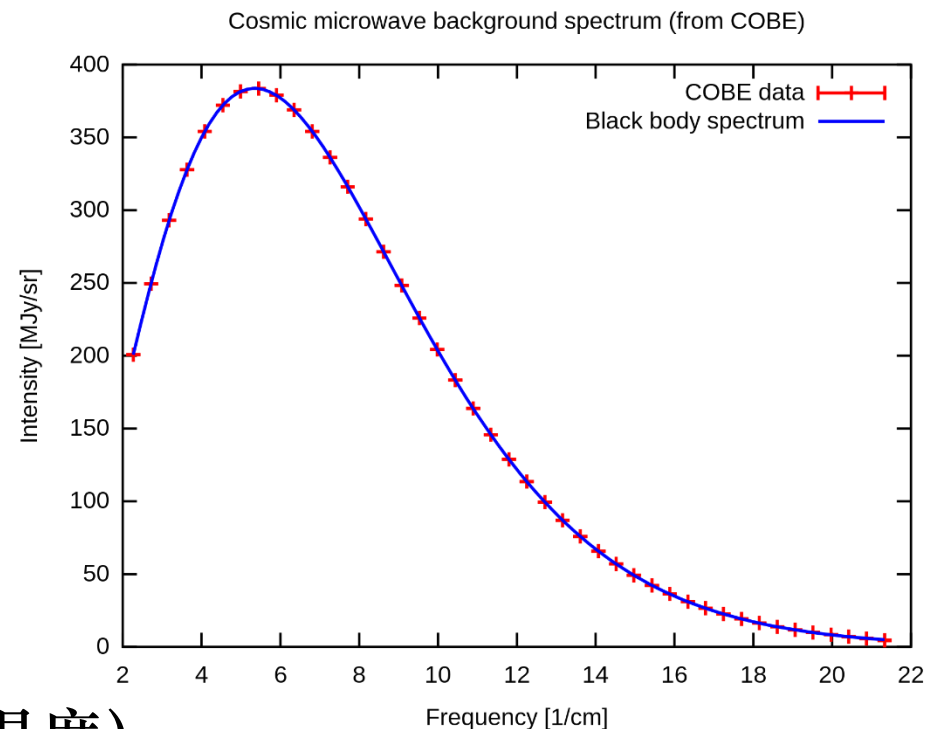
其中 σ 是斯特藩-玻尔茨曼常数

可以反推出光子数密度为 422cm^{-3}

(再考虑红移的影响)

$$T_r = 2.725(1 + z)$$

可以得到当前的背景温度，2.725反映了先前的背景温度)



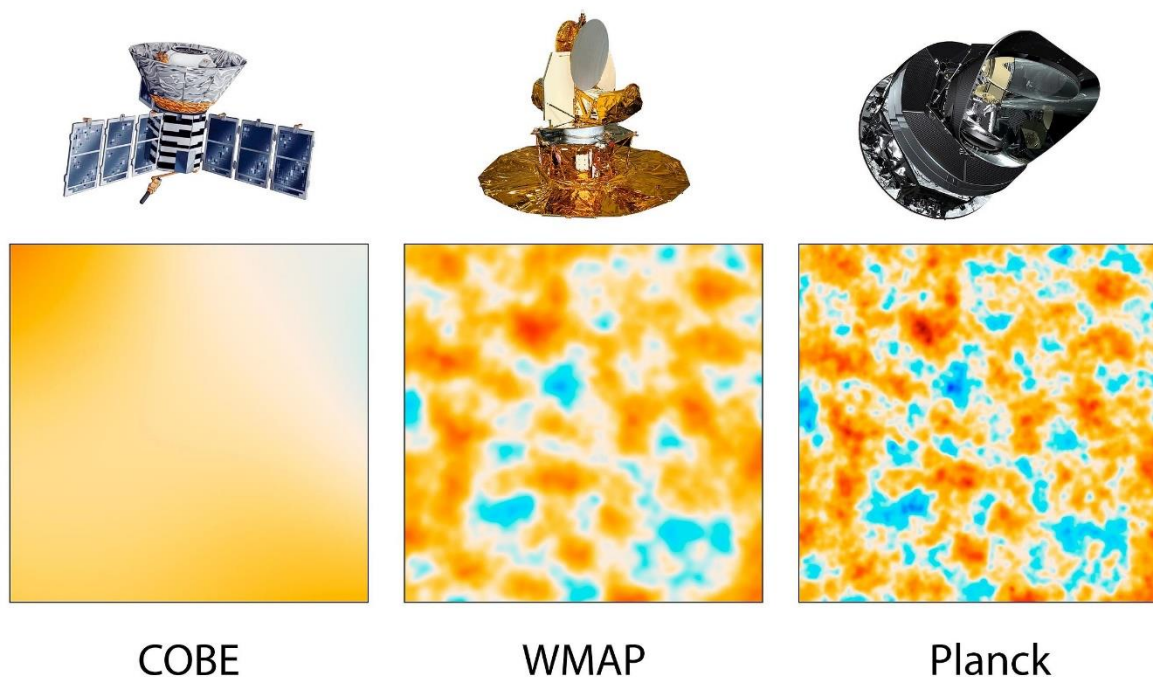
图二 由FIRAS仪器对COBE观测的宇宙微波背景辐射光谱

各向同性

排除太阳系运动造成的偶极各向异性，

宇宙背景辐射温度在 $10 \text{ arc seconds} - 180^\circ$ 的涨落幅度 $\frac{\Delta T}{T} \lesssim 10^{-4}$

说明宇宙背景辐射温度在大尺度上是各向同性的(isotropy)与均匀的(homogeneity)



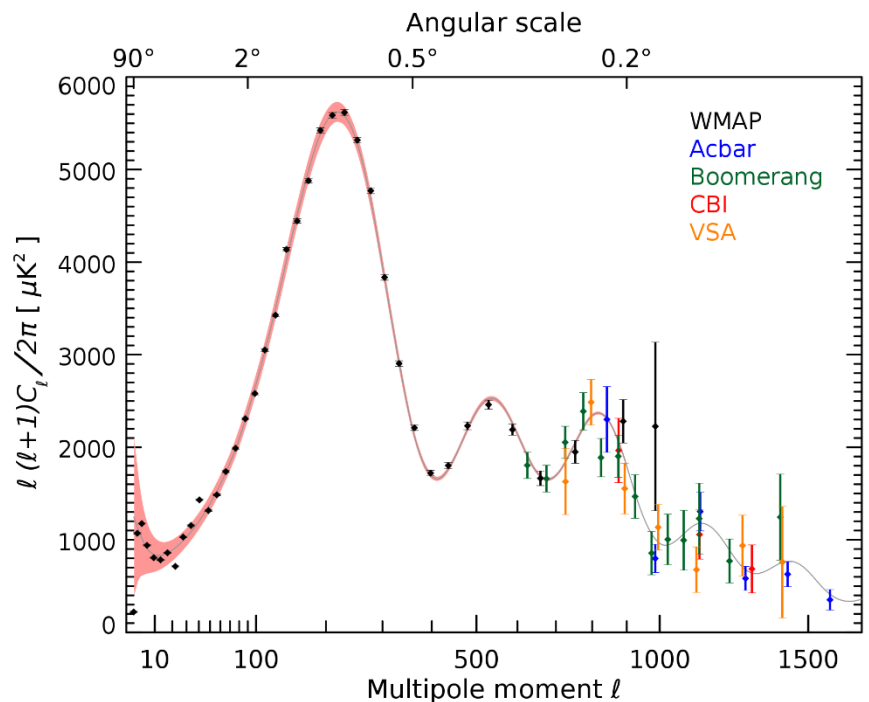
但存在整体的各向异性

图三 由宇宙背景探测者、[WMAP](#)和[普朗克卫星](#)的结果比较宇宙微波背景 - 2013年3月21日。

各向同性

背景温度的波动→原始密度不均匀性→结构形成

目前(指1990年)，实验已经把各向异性的范围控制在理论预测的3-10倍以内



各向异性
(初阶)

膨胀导致的
绝热密度扰动

热/冷暗物质
密度扰动

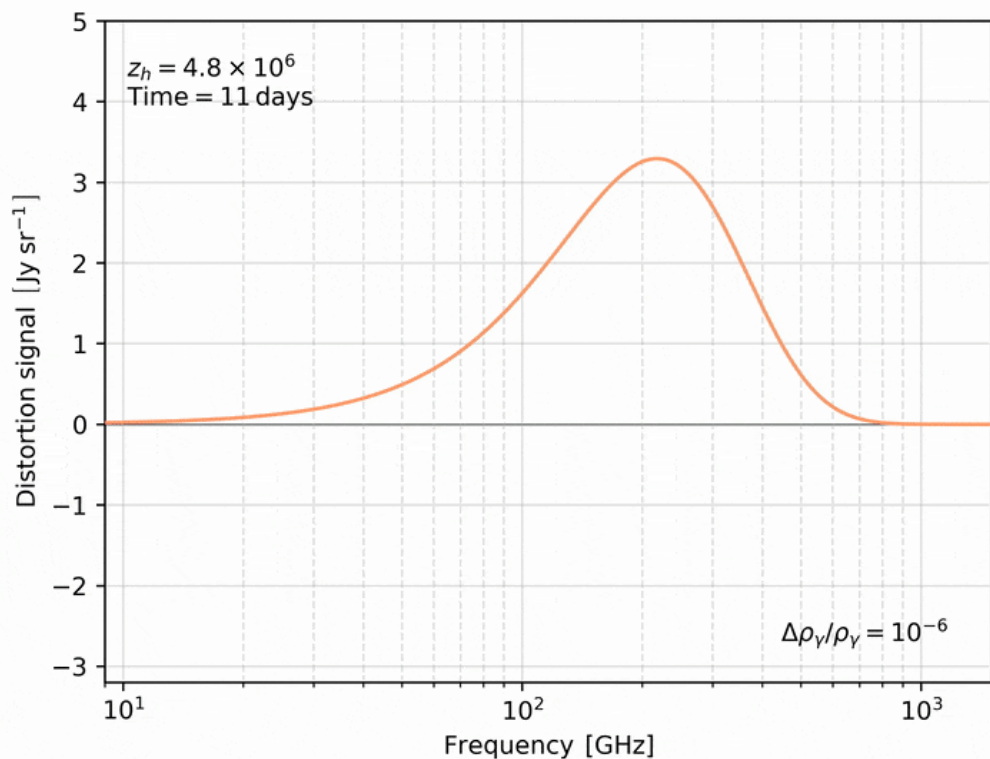
宇宙弦诱导的
等曲率密度扰动



图四 以角尺度展现的宇宙微波背景辐射温度各向异性的能谱（[多极展开](#)）。显示的数据来自[威尔金森微波各向异性探测器](#)（2006）、[角分宇宙学阵列接收器](#)（2004）[毫米波段气球观天计划](#)（2005）、[宇宙背景成像仪](#)（2004），和[极小阵列](#)（2004）仪器。另显示理论模型（实线）。

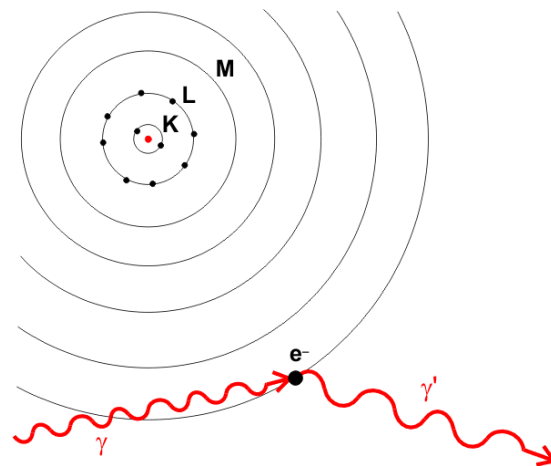
光谱畸变

光谱畸变指实际宇宙背景辐射光谱与黑体辐射光谱(热平衡前提)之间的偏差



图五 不同时期产生的不同类型的失真

在红移较大时，由于康普顿散射，
导致额外的能量被注入光子，引发光谱畸变
光谱畸变反映了宇宙的历史和恒星与结构形成



图六 康普顿散射原理



谢谢大家



附录