宇宙微波背景辐射

邹德长
（通辽市公安局，内蒙通辽 028000）

摘　要：在 19 世纪二十年代，德国天文学家提出了奥伯斯佯谬，1964 年，两个美国工程师发现了宇宙微波背景辐射。根据相对论、多普勒效应以及哈勃定律，得到宇宙微波背景辐射即是来自遥远天体的星光，只不过其频率和功率大大降低了。我们被宇宙微波背景辐射包围在当中，在黑夜中也充满了光。

关键词：天体物理学，相对论，多普勒效应，哈勃定律

The Cosmic Microwave Background Radiation

Zou DeChang

(*Tongliao City Public Security Bureau, Tongliao,* 028000 *Inner Mongolia, China*)

Abstract: In the twenties of the 19th century, the German astronomer proposed Olbers paradox. In 1964, two American engineers discovered the cosmic microwave background radiation. According to the relativity, Doppler effect and Hubble’s law, got a result that the cosmic microwave background radiation is the starlight from distant objects, but its frequency and power is greatly reduced. We are surrounded by the cosmic microwave background radiation, it is full of light in the night.

Key words: Astrophysics, theory of relativity, Doppler effect, Hubble’s law

1、引言

德国天文学家 H.W.M.奥伯斯于 1823 年提出著名的奥伯斯佯谬，并于 1826 年进行修正。奥伯斯指出，一个静止、均匀、无限的宇宙模型会导致如下的结论：黑夜与白天一样亮。但人们都知道，夜空是黑的。因此，一个静止、均匀、无限的宇宙与观测事实之间产生了矛盾。这一矛盾的存在，否定了宇宙的无限性，为宇宙大爆炸理论提供了依据。一个静止、均匀、无限的宇宙难道真的就是黑夜与白天一样亮吗？难道奥伯斯佯谬真的就不能用静止、均匀、无限的宇宙进行解

释吗？在当时是不可能的，因为那时人们还没有发现多普勒效应和相对论。但是现在，应用多普勒效应和相对论完全能够解释奥伯斯佯谬。1964 年，美国新泽西州贝尔实验室的两位无线电工程师阿尔诺.彭齐亚斯（Arno Penzias）和罗伯特.威尔逊（Robert Wilson）架设了一台喇叭形天线。在检测天线的噪音性能时，他们将天线对准天空方向进行测量。他们发现，在波长为 7.35cm 的位置有一个各向同性的讯号存在，这个讯号既没有周日的变化、也没有季节的变化，与地球的公转和自转无关。1965 年，在排除各种干扰后，他们提出了这一发现，这就是宇宙微波背景辐射。事实上，彭齐亚斯和威尔逊是这个世界上最先看到黑夜之中也有光存在的人，是最先发现黑夜不黑的人。只不过这些光来自遥远的天体，由于多普勒效应和相对论的作用，这些光的频率和能量大大的降低，形成了宇宙微波背景辐射。

2、宇宙微波背景辐射的形成

首先假设：

a、宇宙是均匀的、无限的并处于一个动态平衡中，固有平均密度为ρ_0。

b、宇宙中所有的物质都形成了固有半径为R，质量为m的天体，其辐射温度为T，不透明率为k，这些天体均匀分布于宇宙之中。

在以下的论述中都考虑了相对论效应。并且，由哈勃定律[1]有：

$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+\frac{r^2\omega^2}{c^2}}}$（$v$为运动速度，$\omega$为哈勃常数，$c$为光速，下同）。

令$\gamma=\sqrt{1+\frac{r^2\omega^2}{c^2}}$。

以地球为中心建立球坐标，则距离地球为r处的密度[1]为：

$\rho=\gamma\rho_0$…………(1)

半径从r到$r+dr$球壳的体积为：

$V=\frac{4\pi r^2 dr}{\gamma}$…………(2)

因此，由(1)式和(2)式，在半径从r到$r+dr$球壳内的质量为：

$dM=4\pi\rho_0 r^2 dr$…………(3)

因天体的质量为m，因此，由(3)式，在半径从r到$r+dr$球壳内的天体的数量为：

$dN=\frac{4\pi\rho_0 r^2 dr}{m}$…………(4)

所以，由(2)式和(4)式，在球壳内单位体积的天体数为：

$dn=\frac{\gamma\rho_0}{m}$………… (5)

天体向外辐射光，但它也把来自它后面的光阻挡了，dN个天体形成的总的阻挡面积为$dN\frac{\pi R^2}{\gamma}$。半径从r到$r+dr$球壳的面积为$\frac{4\pi r^2}{\gamma}$，因此，考虑不透明率为k，来自$r+dr$后面的光被球壳阻挡的比率为：

$\tau=\frac{\pi k\rho_0 R^2 dr}{m}$………… (6)

令$r+dr$后面的天体数为A，由于其前面天体的阻挡，使得有dA个天体被阻挡了，因此有$\frac{dA}{A}=-\tau=-\frac{\pi k\rho_0 R^2 dr}{m}$，解此微分方程得：

$A=A_0 e^{-\frac{\pi k\rho_0 R^2 r}{m}}$………… (7)

由于我们观察天空，观察的范围是以立体角来度量的，因此，在

r到$r+dr$球壳内我们能看到的体积为$\gamma r^2 d\Omega dr$。而在$\gamma r^2 d\Omega dr$体积内的天体的数量为$\gamma r^2 d\Omega drdn$。由于其前面r内的天体的阻挡，根据⑸式和⑺式，我们能够看到的天体数为：

$$dA=\frac{\gamma^2\rho_0 r^2}{m}e^{-\frac{\pi k\rho_0 R^2 r}{m}}d\Omega dr\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

由于天体的辐射功率[2]为$P=\frac{P_0}{\gamma^3}$（P_0为天体静止时的辐射功率，P为天体运动时的功率，下同），因此，在r到$r+dr$的球壳内，我们看到的天体的辐射总功率为：

$$dP=\frac{\rho_0 P_0 r^2}{\gamma m}e^{-\frac{\pi k\rho_0 R^2 r}{m}}d\Omega dr\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

因$d\Omega$、P_0、ρ_0、R与r无关，所以，从⑼式看出，当$r=0$或$r\to\infty$时，$dP=0$。当$\frac{d}{dr}(\frac{r^2}{\gamma}e^{-\frac{\pi k\rho_0 R^2 r}{m}})=0$时，$dP$有极大值。由$\frac{d}{dr}(\frac{r^2}{\gamma}e^{-\frac{\pi k\rho_0 R^2 r}{m}})=0$得：

$$\frac{\pi k\rho_0 R^2 r}{m}=2-\frac{r^2\omega^2}{c^2+r^2\omega^2}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

因$0<\frac{r^2\omega^2}{c^2+r^2\omega^2}<1$，并随着$r$的增加，$\frac{r^2\omega^2}{c^2+r^2\omega^2}$逐渐趋近于 1，此时有：

$$r=r_p=\frac{m}{\pi k\rho_0 R^2}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

r_p为dP为极大值时的距离，其只由三个参数决定，与宇宙平均密度成反比，与天体半径的平方成反比，与天体的质量成正比。此时，由于频移，辐射功率峰值所对应的频率为：

$$f_p = \frac{f_{0p}}{\sqrt{1+\frac{{r_p}^2\omega^2}{c^2}}} \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (12)$$

其中 f_{0p} 为天体静止时辐射功率为极大值时的频率， f_p 为天体运动时辐射功率为极大值时的频率。

如果宇宙中的天体都是银河系，因银河系的半径为 $R = 5\times10^4 l.y.$，银河系的质量为 $m = 10^{12} M_\odot$，宇宙的平均密度 $\rho_0 = 1\times10^{-31} g/cm^3$，考虑 $k = 0.1$，代入(11)式中得：

$r_p = 2.813\times10^{29} m = 2.9736\times10^{13} l.y.$（$l.y.$ 为光年）。

因 ω 未知，因此， f_p 的具体数值还无法计算。

3、结论

由上面的论述可以看出，宇宙微波背景辐射就是遥远天体的光辐射，其峰值是由距离在 $r_p = \frac{m}{\pi k \rho_0 R^2}$ 处的天体形成的。因为这些天体过于遥远，根据哈勃定律得知，其运动速度也很大，由于相对论和多普勒效应，致使它们的频率和辐射功率大大降低，因此才形成了我们现在所看到的结果。

一个静止（动态平衡）、均匀、无限的宇宙的黑夜与白天并不一样明亮。黑夜中也有光，不过是来自遥远的天体的光，而白天的光却是来自离我们最近的恒星——太阳。这个白天的光，基本上没有辐射功率和频率的降低。

宇宙微波背景辐射不是只由一个天体形成的，它是由多个天体形成的一个群体效果，我们就被这样的背景包围在当中。我们能够观测到它的存在，但是比它更近的单个天体我们却不一定能观测得到，除

非那个天体离我们很近。这就像我们能够看到眼前正在飘落的雪花，也能看到远处山头上的皑皑白雪，而在这之间的单个雪花却不能看到。相对于r_p，100 亿光年处的物体就在“眼前”，而 100 亿光年就是现在我们所能够探知的宇宙范围的半径的数量级。

由于宇宙中所有的物质形成的天体并不都是银河系，其大小、形状和倾斜方向都不一样。使得r_p与实际值之间有偏差。因此利用假设 b 得到的结果，数据与可能实际不符。虽然在得到的数据上有偏差，但假设 b 大大简化了我们所研究的宇宙，能够使我们更好地理解宇宙微波背景辐射发生的机理，至少在定性上能够很好地解释宇宙微波背景辐射，并可对某些宇宙参数在数量级上进行估算。

由于宇宙微波背景辐射能够被很好地观测，利用⑿即能够求出r_p，这个r_p是准确的，再根据⑾式即可对宇宙的平均密度进行估计。据此，可以检验宇宙中到底有没有暗物质存在。