寻找中微子天体

马克健　罗辽复
(内蒙古大学)

最近，一些工作讨论了中微子天体（NAO）存在的可能性[1]．它的形成和观测问题[2]．中微子天体具有质量和半径*

$$M = c_M \cdot 2 \times 10^{14} \cdot \left(\frac{34}{m_\nu(\mathrm{eV})}\right)^2 M_\odot \quad (c_M \leqslant 1), \tag{1}$$

$$R = c_R \cdot 100\left(\frac{34}{m_\nu(\mathrm{eV})}\right)^2 pc \quad (c_R \geqslant 1), \tag{2}$$

对于天体质量接近最大质量（$c_M \sim 1$）时，有

$$c_R \sim \frac{1}{c_M}, \tag{2.1}$$

这样庞大的天体中，可能嵌入很多恒星和类星体（或星系核）．这些星体辐射的谱线受着中微子引力的影响，产生附加的红移．一般地说，如果既有宇宙学红移，又有引力红移，则不难证明总红移 z' 和宇宙学红移 z 的关系为 $\left(V = \frac{(1+z)^2-1}{(1+z)^2+1}\text{ 为速度}\right)$

$$\frac{1}{(1+z')^2} = \frac{1}{(1+V)^2}[1 + 2\phi - V^2], \tag{3}$$

$$\phi = -K_\phi \frac{GM}{R} = -K_\phi c_M^2 \times 0.13, \tag{4}$$

K_ϕ 决定于所考虑星体在 NAO 中的位置，取值在 1～1.5 间

$$K_\phi = 1 \text{ (NAO 表面)}, \quad 1.5 \text{ (NAO 中心)}. \tag{4.1}$$

值得注意的是(4)式与 m_ν 无关，由于 $|\phi| \ll 1$，故

$$z' = z - \phi(1+z)^3\left[\frac{(1+z)^2+1}{2(1+z)^2}\right]^2. \tag{3.1}$$

类星体的距离-红移关系的统计中，往往出现一些矛盾．即使进行标准烛光分类，也还存在一些偏离回归线较大的星体．本文认为，在对类星体进行统计时，必须考虑 NAO 的引力引起的反常．这种反常也提供寻找 NAO 的线索．其次，由于恒星和类星体的演化时标往往可从天文资料中分析得到．所以，如果发现某个星体处于 NAO 之中，就可推测 NAO 的形成时间．而 NAO 的形成时间，是与中微子质量密切相关的．文献 [2] 导出 NAO 形成的 Jeans 温度

$$T_J = c_M^{\frac{2}{3}} K_T \left(\frac{m_\nu(\mathrm{eV})}{34}\right) \times 10^4 \mathrm{K}, \tag{5}$$

本文 1981 年 5 月 14 日收到．

* (1) 和 (2) 式是从简并中微子星推出的．实际 NAO 的形成可能通过无碰撞剧烈弛豫 (Violent relaxation) 过程达到，不过 Sato 等证明了这种等温成团(Isothermal cluster)和简并星的结构非常相似．cf Sato, Takahara RIFP—400 (1980)．

K_T 为一个数量和 2 接近的因子. 由 (5) 式可知,存在一个临界中微子质量

$$m_\nu^{(c)} = \frac{13.6\text{eV}}{K_T} \sim 10\text{eV}, \tag{6}$$

当 $m_\nu < m_\nu^{(c)}$, NAO 都形成于星系 (4000°K) 后;反之,当 $m_\nu > m_\nu^{(c)}$, 大质量中微子星形成于星系之前. 因此,可根据 NAO 的形成时间,推断中微子的质量范围. 由于 m_ν 的实验测量是十分困难的,目前实验室得到的 m_ν 值还很不确定,并有争议,所以从天文学估计出中微子质量限是有意义的.

文献 [3] 对有射电子源结构的类星体进行统计,发现在 θ-z 图上,有三颗星——4c48.28 4c09.37 和 4c27.68 高悬于截止线之外,故统计时把它们剔除了. 若假定这三颗星处于 NAO 中,除了宇宙学红移外,还受着引力红移,那么,就可解释 θ-z 图上的反常. 据 16 颗 $\theta_{\max}$ 型类星体的绝对星等与子源线距相关性的分析和 50 颗非光变有子源类星体的子源联线与视向角分布均匀性的分析[4] (选星同文献 [3],但加上以上三颗),这三颗星的参数确定见表 1.

表 1

名 称	z'	z	$y = z - 0.19z^2$	$c^{\frac{2}{3}}_M K^{\frac{1}{3}}_\phi$	θ	$y\theta$	D^*	m_V	$m_V - K_V - A_V - 5\log y$
4c48.28	0.385	0.349	0.318	0.65	110″±5″	35.0	39.8	19.00	21.76
4c09.37	0.786	0.450	0.412	1.13	66″	27.2	30.5	17.86	20.21
4c29.68	1.015	0.600	0.531	1.14	50″±4″	26.2	23.5	17.30	19.10

表中 $D^* = D\frac{H}{c} = \frac{y\theta}{\sin\phi}$ (D 为子源线距), $m_V - K_V - A_V - 5\log y = M_V - 5 + 5\log\frac{c}{H}$ (M_V 为绝对星等). 统计分析得到绝对星等与子源线距的回归方程为

$$m_V - K_V - A_V - 5\log y = 15.14 + 0.166y\theta, \tag{7}$$
$$(r = 0.78, \quad \sigma = 0^{\text{m}}.63)$$

在 99% 的置信水平上相关,优于[3]中结果,利用

$$\sin\phi = \frac{y\theta}{6.02(m_V - K_V - A_V - 5\log y) - 91.2}, \tag{8}$$

求出视向与线距方向夹角 ϕ. 发现除了小角度计数明显偏多外,基本上是各向同性的,而后者可能归因于子源分离速度受宇宙膨胀的影响.

我们还研究了这三颗星的射电光度和色指数[3,4]. 由 41 颗星的 408MHz 射电光度和子源线距的回归分析得

$$\log s_{408} + (\alpha_L - 1)\log(1 + z') + 2\log y = 1.64 - 0.060D^*, \tag{9}$$
$$(r = -0.73, \quad \sigma = 0.33)$$

由 38 颗星的 1400 MHz 射电光度和子源线距的回归分析得

$$\log s_{1400} + (\alpha_M - 1)\log(1 + z') + 2\log y = 1.07 - 0.054D^*, \tag{10}$$
$$(r = -0.68, \quad \sigma = 0.33)$$

由 37 颗星的 408 MHz—5000 MHz 积分射电光度和子源线距的回归分析得

$$\log E + 2\log y = 10.69 - 0.0553D^*, \tag{11}$$
$$(r = -0.69 \quad \sigma = 0.33)$$

以上都在 99%的置信度上相关. 可见考虑了这三颗星后,仍能得到很好的统计关系.

对色指数 $Q=(B-V)-(U-B)$ 和 D^* 作回归分析，由 28 颗星的统计，得

$$Q=1.36-0.0182D^*, \qquad (12)$$
$$(r=-0.38 \quad \sigma=0.56)$$

在 95% 的置信度上相关. 色指数的相关系数比文献[3]降低了. 这是考虑三颗星后，唯一的一个统计性变坏的量. 这可能由于气体分子的瑞利散射所致. NAO 中的气体含量保持着一个较高的数值，有两个原因[2]. 第一，物质气体在 NAO 形成过程中跟着一道收缩. 当 $T_J>4000°K$，物质气体受着辐射场牵引，这种收缩效应是微弱的. 但当 $T_J<4000°K$，这种收缩可能使气体密度提高一二个量级. 第二，NAO 形成以后，由于中微子的引力作用，使得其中的气体不会随着宇宙膨胀而稀释. 如 $T_J\sim 4000°K$，则 NAO 中气体密度是目前星系际值的 $\left(\frac{4000}{3}\right)^3$ 倍. 根据以上估计，NAO 中气体密度可能达到 $n\sim 10^5/cc$ 的量级. 对于短波长光，这已能产生足够的瑞利散射，而表现出吸收效应，使得 NAO 中星体辐射的色指数改变.

上述讨论表明，4c48.28 等三颗星有可能处于 NAO 中. 把这三颗星和其他类星体比较，它们的红移 y 较小而线距 $y\theta$ 较大. 作为比较，我们选择两颗 y 较大 $y\theta$ 较小的星——3c205 和 3c432，假定对它们进行适当的足够的引力红移修正，并和其他星一起进行回归分析. 虽然绝对星等与子源线距的相关性一般仍较好，但 ψ 角的空间分布统计性明显变坏. 故可认为，y 较大 $y\theta$ 较小的星存在 NAO 引力红移的可能性较小.

根据以上统计，可求得绝对星等 M_V，M_{1400}，$M_{408-5000}$ 对子源线距 D 的变化率，并进而定出 QSO 的演化时标都在 $1.8\times 10^6\frac{c}{V_D}$ 年附近，相互是协调的. 取子源膨胀速度 $\frac{V_D}{c}=0.09$[5]，得到这三颗星的演化时标

$$\Delta t_{4c.48.28}=2.6\times 10^7 \text{ 年},$$
$$\Delta t_{4c.09.37}=1.6\times 10^7 \text{ 年}, \qquad (13)$$
$$\Delta t_{4c.29.68}=0.92\times 10^7 \text{ 年},$$

Δt 的计时原点取在 $D^*=15$. 按照通常的观点，星系形成于 4000°K，对应宇宙年龄 $\sim 10^5$ 年. 由于这三颗星已有引力红移，故 NAO 形成时间应早于 10^7 年，相应的辐射温度高于 400°K. 由(5)式可知 $m_\nu\gtrsim 1$eV. 这个限度对于粒子物理是颇有兴趣的. 另一方面，如果只有 $D^*>15$ 的 QSO 存在 NAO 引力红移（如前面分析的 3c205 和 3c432 可能没有这种红移），那么还可推出 $m_\nu\lesssim 15$ eV. 不过能否对 NAO 形成时间给出这个下限，还需要补充更多的证据，目前还不能肯定.

致谢：作者感谢陆埮、杨国琛、曲钦岳同志的讨论.

参 考 文 献

[1] Gao, J. G. & Ruffini, R, *Phys. Letters*, **97 B** (1980), 388; 罗辽复，内蒙古大学学报，**11** (1980), 2:112.
[2] 陆埮、罗辽复、杨国琛，天文学报，**22** (1981), 251; 内蒙古大学学报，**12** (1981), 1:53.
[3] 方励之等，天文学报，**17** (1976), 134; 周又元等，天文学报，**18** (1977), 128.
[4] Burbidge, G. R. et al., *Ap. J. Suppl.*, **43** (1980), 57; Burbidge, G. R. et al., *Ap. J.*, **178** (1972), 583; Lynds, R. & Wills, D., *Ap. J.*, **172** (1972), 531; Sandage, A., *Ap. J.*, **178** (1972), 25; MacDonald, C. H. & Miley, C. K., *Ap. J.*, **164** (1972), 237; Wardle, J. F. C. & Miley, G. K., *A. Ap.*, **30** (1974), 305; Ehman, J. R. et al., *A. J.*, **79** (1974), 144.
[5] 尤峻汉、程福臻、方励之，天文学报，**18** (1977), 239.