

BL Lac 天体研究进展 *

樊 军 辉

(广州师范学院天体物理中心 广州 510400,
中国科学技术大学天体物理中心 合肥 230026)

谢 光 中

(中国科学院云南天文台 昆明 650011)

摘 要

在本文中对 BL Lac 天体观测性质及相关理论, 多波段相关性, 偏振度, 宁静问题, 发射线问题, 超光速现象及 γ 辐射等作了一定的综述。

关键词 BL Lac 天体: 一般 — 射电连续谱: 星系 — 紫外: 星系 — X 射线: 星系 — γ 射线: 观测 — 偏振 — 技术: 光度

1 引 言

活动星系核 (AGN) 是当天体物理中的前沿研究课题之一, 就辐射机制而言, AGN 可大致分为热辐射 (射电宁静 AGN) 和非热辐射 (Blazar)^[1]。

对于 Blazar, 射电到紫外是非热的, 并明显地由非均匀等离子体中的同步过程所产生, 等离子体在喷流 (jet) 中以相对论速度向外运动。这种模型成功地解释了该类天体的很多特性。以非热谱为特征的 Blazar 实际上是各具特色的天体 (BL Lac 天体, 光学激变天体 (OVV)/ 高偏振类星体 (HPQ), 平谱射电源 (FRS)) 的总称。

BL Lac 天体数目很少, 目前已被证认的和候选者只有 161 个。按巡天方式的不同又可分为 X 选 BL Lac 天体 (XBL) 和射电选 BL Lac 天体 (RBL)。尽管也有人企图用偏振巡天来发现新的 BL Lac 天体, 但收效甚微^[2-5]。BL Lac 天体所表现出来的特殊性使它们成为人们研究河外天体内部物理过程的很重要的对象。在该类天体研究方面所取得的进展对于揭示河外天体的秘密将是十分有意义的。本文中就将下面的问题进行综述: 光变、偏振、超光速、宁静、发射线与“蓝包”、XBL 与 RBL 的区别和统一, γ 辐射观测。

* 国家自然科学基金资助课题

广东省自然科学基金资助课题

1994 年 8 月 9 日收到

2 光 变

光变是 BL Lac 天体的重要特征, 它们在 83% 的时间处变化状态。按光变幅度及光变时标可将其分为短时标快速光变, 小幅度周期性光变, 周期性爆发及大幅度光变。

2.1 短时标快速光变

短时标快速光变一般指光变时标很短而变化幅度较大 ($\geq 0.5\text{mag}$) 的光变行为。这种行为在 BL Lac 天体中很少且无规律可循, 只有长期的观测才可能捕捉到。而光变时标在不同的波段上也是不同的。观测表明: 射电 ($10^8\text{--}10^{11}\text{Hz}$) 光变时标为几周至几年^[6], 但也有的天体有时标为天量级、幅度为 2.5% 的光变^[7]; 红外 ($1\text{--}100\mu\text{m}$) 为几天至几周^[8-10]; 光学 ($3600\text{--}7000\text{\AA}$) 为几小时至 1 天^[11-13], 同时我们还观测到小时以内量级的光变^[14]; 紫外 ($1200\text{--}3000\text{\AA}$) 还没有足够的资料研究短时标光变^[15]; X 波段为几小时, 同时在 H0323+022 中观测到 30s 的快速光变^[16]; 高能 X 射线 ($10\text{--}100\text{keV}$) 没有足够资料来研究其典型光变时标^[17], 不过 2155-304 在该波段上发生了几小时内变化 20%—30% 的光变^[18]; γ 波段, 目前的资料还不足以研究其光变时标^[19]。

光变时标一般随波长变长而变长, 这种现象早在 60 年代便有人注意并近似地将这种相关表为 $t \propto \nu^{-1/2}$ ^[20]。但也有例外, 如 OJ287, Mkn421, 3C446 及 PKS0735+178, 它们的光变时标随波长变长而变短^[21]。还有的 BL Lac 天体, 射电、光学的光变相关。光变时标对波长的依赖倾向取决于喷流的形状(圆锥型? 抛物型?)^[22]。

光变短时标 (Δt) 不但可带给我们发射区尺度 ($R \leq c\Delta t\delta$, δ 为 Dopler 因子) 及中心天体质量 ($M \leq 2 \times 10^3 M_{\odot}\Delta t$) 的信息^[23], 而且还可以用来估算 Doppler 因子。它是一个很重要的物理量。

2.2 周期性光变

对 Mkn421 和 OJ287 的观测资料分析发现有幅度很小的周期性光变。

Mkn421 存在周期分别为 30min 和 83min 而光变幅度为 0.02mag 的光变^[24]。

OJ287 的观测已有 100 多年的历史。但近 20 年的精确观测表明, 该天体在光学和射电波段均有周期性小幅度光变, 1973、1974 年观测结果为 40min^[25,26]。1985 年 Valtaoja 等人发现其射电波段有周期为 15.7min 的光变^[27]。最近观测表明: 射电波段的周期为 13.7—35min, 而光学波段的周期为 14.7—40min^[28]。

这些小幅度周期性光变有不同的解释: 或者是由于绕中心黑洞的不同稳定半径上的运动^[28], 或者是由于吸积盘上的一个或多个“热斑”落向黑洞的结果^[29], 并可以由光变周期估算中心黑洞的质量大小^[30]。

$$M \sim 3.2 \times 10^4 M_{\odot} p(s)$$

其中 p 为光变周期, 单位为 s。

2.3 长周期爆发

对 OJ287 的观测历史分析发现, 它存在一个周期为 11.65yr、幅度为 4.0mag、爆发时间持续大约一年的周期性爆发。Sillanpaa 等人认为这种行为起因于中心双黑洞, 并

用数值模拟求得这双黑洞系统的有关参数: 其中主、次黑洞的质量分别为 $5 \times 10^9 M_{\odot}$ 和 $2 \times 10^7 M_{\odot}$ ^[31]。

2.4 大幅度光变

Webb 等人^[32] 在长达 18 年的监测工作中发现 87% 的 BL Lac 天体的光变幅度 $\Delta m > 1.0 \text{mag}$ 。在长期的观测中不少大幅度光变 ($\Delta m > 3.0 \text{mag}$) 被观测到了。

$$\Delta m = 3.0 \text{mag} : 0048 - 097^{[33]}, 0851 + 202, 1538 + 14^{[34]};$$

$$\Delta m = 3.0 - 4.0 \text{mag} : 0829 + 046^{[34]}, 0846 + 51^{[35]};$$

$$\Delta m > 5.0 \text{mag} : 0215 + 015^{[36]}, 0235 + 164^{[37]}, 0537 - 441^{[38]}, \\ 0716 + 322^{[39]}, 1219 + 285, 1308 + 326^{[34]}.$$

目前对于发生于短标标上的大幅度光变解释为引力透镜效应^[35]。

2.5 光变相关

BL Lac 天体各波段的光变有时表现出复杂的行为: 3C446 红外和紫外有强的相关光变^[40]; 0235+164 光学与射电同时爆发无时间延迟^[41], 时标为几天和几个月^[42-45]; 2155-304 观测到光学与紫外同时而且相似的下降; OJ287 光学与射电爆发在时间上有 0.1—0.2yr 的间隔^[46]; IZW187 的 X 射线波段与光学波段光变时标具有相同的量级^[47]。

这些复杂的行为实际上应该反映各波段内部的物理过程及辐射区上的某种联系: 不同波段光变具有相关性, 可能说明这相关波段的辐射来源于相同的辐射机制, 或者辐射是相关的。对于具有相同光变时标的不同波段的光变, 可认为辐射来源于相同的辐射区域。对于像 0235+164 的无时延的爆发可能是辐射来自于同一区域, 也可能是由于引力透镜作用, 或者由于周围新元 (new component) 的形成所致^[37,48]。故不同波段的光变之间的行为也提供了一定的内部物理过程的信息, 从而研究多波段性质是很有意义的。

2.6 光变与谱的关系

BL Lac 天体还有一个谱与强度同时变化的共性, 即一般表现为源变亮时谱变硬, 而源变暗时谱变软^[49-51]。OJ287 的光学波段出现这种性质^[52], 类似的现象有: 0048-097^[33], 0822-22^[53], 0846+51^[35], 0235+164^[54], OQ530^[45], OI090.4^[55]。

这种现象不仅发生于光学波段, 而且也发生于射电^[54]、红外^[56,57]、紫外^[51]及 X 射线波段^[50,58-60]。这是一种普遍现象。

Brown 等人^[57] 指出源变暗时谱变陡 (软) 是由于在爆发过程中注入电子的老化引起的。也有人认为 BL Lac 天体中心有一个蓝核。当引力透镜体引起源的光变时, 中心蓝核被放大的程度不同而使谱发生变化^[35]。也有人认为是由于电子注入所致, 特别对于 X 波段的行为。但这几种说法均不够完善。第一种无法说明谱变硬的情况; 第二种则要求每一次光变均起源于引力透镜效应; 第三种则不能解释慢光变与谱的变化关系, 因为 X 射线电子寿命很短。我们期望着一种完善的解决方案。

3 偏振

高而变化的偏振是 BL Lac 天体的又一特征, 致使有人企图通过偏振巡天发现新的 BL Lac 天体。目前所观测到的最大偏振度达到 43%。

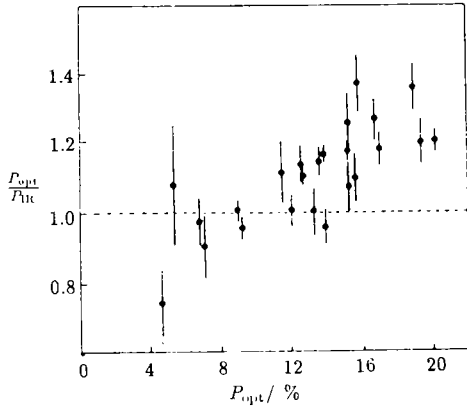


图1 P_{opt} 与 P_{IR} 的关系 [65]

关于波长 (λ) 与偏振 (p) 的关系, Knacke [64] 和 Moore [65] 均作过研究, 并得出 p 与 λ 无关的结论。分析可知文献 [66,67] 所讨论的天体均为 $p < 10\%$ 的情形, 故与文献 [65] 并不矛盾。

1990 年 Brissenden 等人 [68] 对 1722+119 的光学与红外偏振研究发现, 偏振与波长有其良好的相关性 (如图 2 所示 [68])。

少数 BL Lac 天体也表现出与上述相反的 p 与 λ 的关系 [69]。

文献 [69] 中所讨论的两个天体有时表现出 OVV 的性质, 可以认为真正的 BL Lac 天体的 p 与 λ 之间满足 $dp/d\lambda < 0$ 。

4 超光速

超光速运动是用来描述膨胀视横向速度大于光速的射电源的结构变化现象的 [69],

Angel 等人 [61] 对 12 个 BL Lac 天体偏振监测发现, 偏振角有两种不同的行为: 一种是偏振角有一定的倾向角, 这些天体是光变较小的天体; 另一种是偏振角没有一定的倾向角, 这些天体属远而亮的天体。

研究发现高偏振与大幅度亮度变化有关 [62]。光学与红外有相关光变的天体几乎都是高偏振的 [63]。光学和射电多波段观测发现, 射电偏振比光学偏振低, 或一般表示为 $dp/d\lambda < 0$ 。这种现象在 BL Lac 天体中占主导地位 [64,65], 特别是当偏振高于 10% 时尤明显 (如图 1 所示 [65])。

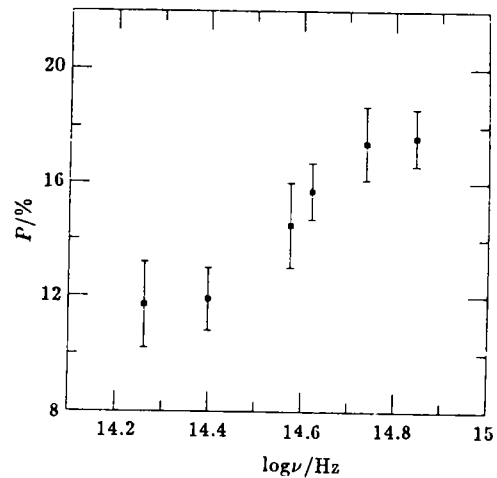


图2 1722+119 $p(\lambda)$ 关系 [68]

它可表为

$$\beta_{\text{app}} = [q_0 z + (q_0 - 1)((1 + 2q_0 z)^{1/2} - 1)]/[H_0 q_0^2 (1 + z)]\mu$$

其中 β_{app} 是以光速为单位的视超光速横向速度, H_0 , q_0 分别为 Hubble 常数及减速因子, μ 为 VLBI 所测到的角速度。并假设红移 z 为宇宙学的。

当用 $h = H_0/100\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$, μ 的单位为 $\text{mas} \cdot \text{yr}^{-1}$ 时, 上式可表为

$$\beta_{\text{app}} = 47.4[q_0 z + (q_0 - 1)((1 + 2q_0 z)^{1/2} - 1)]/[h q_0^2 (1 + z)]\mu$$

两个常数 H_0 与 q_0 至今依是有争议的值。以 Sandage 为代表的人认为 $H_0 = 50\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$, 而以 de Vaucouleurs 为代表的则认为 $H_0 = 100\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ 。同时也有人取 $H_0 = 75\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ 。现在越来越多的研究人员取 $H_0 = 50\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ 。 H_0 的值对超光速影响较大。 q_0 的值对源的致密结构有影响, 文献 [70] 从已知样本研究得到 $q_0 = 0.5$ 的最佳拟合。国内外学者由各自的研究样本得出了不同的值 (Balderin: $q_0 = 2.0$; Peach: $q_0 = 1.5 \pm 0.4^{[71]}$; 周又元: $q_0 = 0.9-1.5^{[72]}$; 曲钦岳: $q_0 = 1.4^{[73]}$; 程福臻等人: $q_0 = 2.52^{[74]}$; 刘永镇等人: $q_0 = 3.5-4.0^{[75]}$; 胡佛兴: $q_0 = 1-30^{[76]}$; 程富华: $q_0 = 1.9^{[77]}$; 须重明等人: $q_0 = 0.5-2.0^{[78]}$; 曹盛林等人: $q_0 = 1.38^{[79]}$; 尽管在 q_0 的取值上没有相同的看法, 但所有的值均有 $q_0 > 1/2$, 即支持宇宙是封闭的观点的。

不少 BL Lac 天体表现出超光速性质。吴盛殷等人 [80] 研究了超光速与射电功率之间的相关性, 发现 BL Lac 天体属于膨胀速度较小的: $\beta > 3.0$ 。这是由于 BL Lac 天体中的 γ 辐射较低。文献 [80] 不但支持喷流模型而且说明了超光速是喷流效应产生的。有的 BL Lac 天体也具有较高的超光速: OJ287 $\beta > 3.0$; 0735+178 $\beta \sim 7.9^{[81]}$; 0235+164 $\beta > 37^{[82]}$ 。目前发现具有超光速的 BL Lac 天体有 13 个 (其中 1156+295, 2251+158 有人将它们归于类星体 (QSO), 也有人将它们归于 BL Lac 天体), 具体见表 1。

表 1 超光速 BL Lac 天体 ($h = H_0/100\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$)

名称	$\beta_{\text{app}}h$	参考文献	光学偏振	最大光变 (Δm) mag
0235+164	30.0	84	43.	5.2
0716+71	2.3	84,85	29.0	2.5
0735+178	2.8	83	35.0	3.3
0851+202	3.3	84,86	32.0	4.0
1101+384	1.36 ~ 1.92		86	
1156+295	15.0	87	29.1	5.0
1749+701	2.35	88	11.5	1.4
1803+784	3.9	85	35.2	
1807+698	6.0	85	12.0	2.0
2007+776	2.32	80	15.0	
2200+420	3.5	85	23.0	4.0
2223-052	3.35	85	17.0	3.4
2251+158	8.9	86	16.0	2.3

从表 1 可看出超光速 BL Lac 天体具有很高的光学偏振度及大幅度的光变。这与文献 [62,84] 结论一致。

5 发射线与“蓝包”

按原始的定义, BL Lac 天体为没有发射线特征嵌于亮椭圆星系中的非热源。而随着高新技术的发展,观测精度的提高,原来没有观测到发射线的 BL Lac 天体表现出或多或少弱的发射线特征。即便是 BL Lac 天体原型也观测到了 [O III] 和 [H α] 发射线 [63]。

一般认为 BL Lac 天体没有发射线或者发射线很弱是由于缺乏发射气体所致。按照相对论成束模型 [81], BL Lac 天体的发射线可能是被受到 Doppler 放大的光学连续谱所淹没。但是这种解释不适合于 XBL 的情况。否则,我们应该期望在成束效应较弱的 XBL 中观测到大量的发射线特征。那么 BL Lac 天体的发射线很弱的一种可能解释是它属于 BL Lac 天体的内禀特性。

BL Lac 天体的短时标意味着其中有大量质量黑洞及吸积盘的存在,而且有人用吸积盘拟合了 2155-304 的 X 波段观测结果 [82,89], 但却很少在 BL Lac 天体中观测到“蓝包”。这通常解释为 BL Lac 天体中的盘温度太高 ($T > 10^5\text{K}$) 使该特征移到了远紫外波段,或者由于放大的连续谱淹没了热谱。这两种解释中,第一种可能更加合乎实际,因第二种解释可以期望在 XBL 中发现热谱。如果热谱真的是由于盘温高而移到了高频段(紫外),则紫外资料对研究 BL Lac 天体的盘性质及检验“蓝包”解释是非常重要的。

对 BL Lac 天体是大型椭圆星系的核的说法也不甚准确 [90,91]。同时, Rakos 和 Fiatl [92] 用维也纳 60 英寸及夏威夷 80 英寸望远镜观测到围绕 BL Lac 天体的星云具有螺旋结构。

6 宁静问题

宁静问题是大家所热衷的问题。Kellerman 等人 [93] 指出类星体分别属于两种不同的类型:射电宁静和射电噪的。若定义 R 为射电 (6cm—5GHz) 流量对光学 (4400Å— $6.82 \times 10^{14}\text{Hz}$) 流量之比,则射电宁静的类星体的 R 集中于 0.1—1 之间,而射电噪的类星体的 R 集中于 10—100 之间。

Stoche 等人 [91] 用 31 个 XBL 为样本来寻找射电宁静的 BL Lac 天体,所有 $S_{5\text{GHz}}$ 为 1—50mJy,而它们的光学星等为 17.0—20.8mag。它们的 R 介于 35—400 之间。似乎不存在射电宁静的 BL Lac 天体。

在 XBL 和 RBL 样本缺乏比较完整的红移信息的情况下,有人认为用与距离无关的 α_{ro} 来讨论“射电响度”较为合适。但当将 BL Lac 天体的 α_{ro} 与类星体的 α_{ro} 比较时发现, BL Lac 天体的 α_{ro} 均处于射电噪的类星体的 α_{ro} 范围内,这说明射电宁静的 BL Lac 天体是不存在的。

7 两种选择 BL Lac 天体的区别与统一

XBL 与 RBL 有时在观测上表现出迥然不同的性质。

从宽波段看, XBL 较 RBL 的能谱平, 但 RBL 具有较高的射电和光学光度, 尽管两者具有几乎一样的 X 光度^[95,96]。

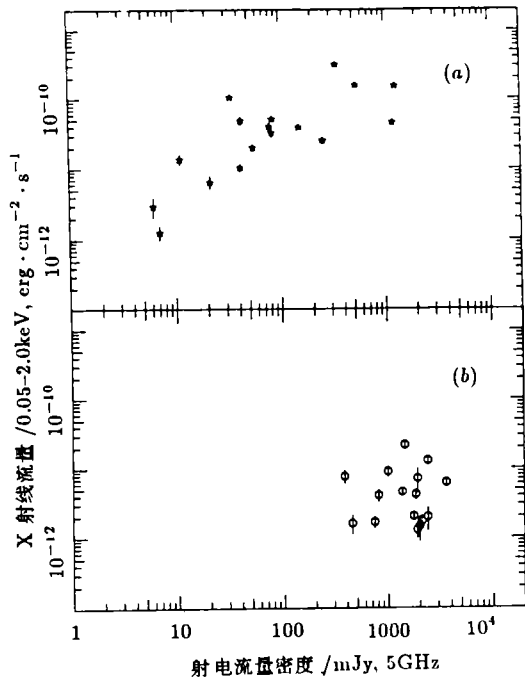


图 3 $f_X - f_R$ 关系^[97]

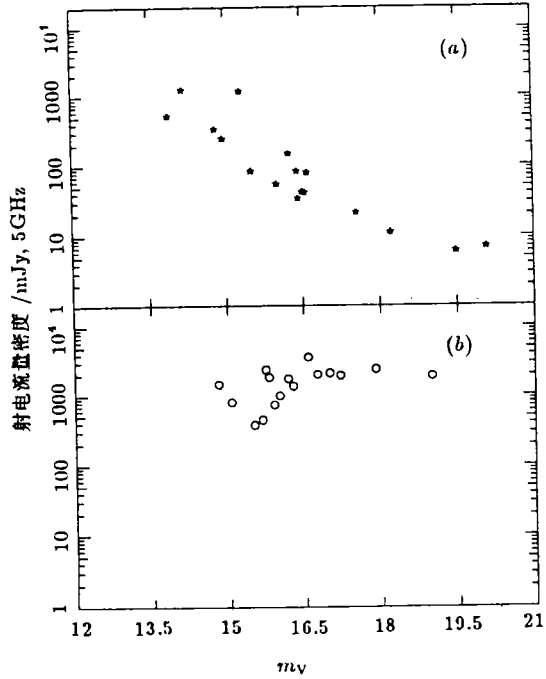


图 4 $m_v - f_R$ 关系^[97]

从偏振度来看: $p_{\text{opt}}|_{\text{XBL}} > 10\%$, 平均 $p < 5\%$, 而 $p_{\text{opt}}|_{\text{RBL}} > 10\%$, 最高的达 43%。

从多波段相关性看: 对 XBL, 射电流量与 X 流量和星等有良好的相关性; 对 RBL 不存在这些相关(图 3、图 4 所示^[97])。

从视星等与红移关系: 对 RBL, 偏离关系 $m_v = 5\log z + k$ 很大^[98]; 对 XBL 满足该关系^[99,100]。

从光变激烈程度看: XBL 远不及 RBL 光变激烈, 同时 XBL 的光变时标一般较 RBL 的长。

从超光速运动看: RBL 具有超光速, 几乎没有 XBL 具有超光速(因 Mkn421 有时看作 XBL, 有时看作 RBL)。

那么 XBL 与 RBL 是否为同一类呢? Blandford 和 Rees^[81] 认为两者的区别可能来自于喷流放大效应。基于这种观点, 我们曾解决了 Burbidge 和 Hewitt^[98] 的问题^[101]。

可是要解决其他问题(图 3、4)却不容易。于是我们提出了喷流加速假设, 不但解

决了文献 [95] 中的问题 [96] 和 RBL 射电与 X 射线流量和视星等关系, 也可以用此方案估算不同波段的 Doppler 因子。而且我们所估算的射电 Doppler 因子与其他作者用多波段同时资料所估算的符合得相当好 [102]。

我们将 RBL 的修正值与 XBL 的观测值相比较发现, 它们满足同样的关系。由此我们可以推知 RBL 与 XBL 是同一类天体, 它们的红移是宇宙学的。喷流假设是合理的, 而且对 RBL 非常重要。XBL 的喷流效应很弱, 它们反映了 BL Lac 天体的真实情况。

8 γ 射线观测

随着 EGRET(The Energetic Gamma Ray Experiment Telescope) 发现第一个 γ 噪 AGN 3C279^[103], 至今已有 27 个 γ 噪 AGN, 这些源在 γ 波段的光子谱指数处于 -1.3 — -2.8 之间 [104–106]。所有这些 γ 源均是具有射电平谱的射电噪源, 其中有超光速源 11 个, 具有高偏振的有 13 个, BL Lac 天体有 7 个 (0219+428, 0235+164, 0537-441, 0716+714, 1101+384, 1156+295, 2251+158)。

研究发现 γ 源的 γ 波段与其他低能波段是相关的 [107]。但 γ 波段能谱一般不在 X 波段能谱的延长线上 [108]。 γ 波段的表观光度很高, 致使人们认为 γ 波段具有很强的成束效应 [109], 并导出了估算 γ 波段 Doppler 因子的方法 [110]。成束效应对 BL Lac 天体目前所流行模型的支持。 γ 波段的辐射机制及其与低能波段之间的相关将会成为人们揭示河外天体内部物理过程的关键。我们期望着有更多的 γ 源, 从而得出可靠的结果。

9 结 束 语

自从 1968 年 Schmidt 发现 BL Lac 天体原型以来, 尽管已被证认的和候选者只有 161 个, 然而这一类特殊天体却成了当今天体物理研究的重要课题之一。研究它们对于认识河外天体的能源等问题将有着重要意义。目前, 观测的波段已涉及到 30GeV 波段, 它们将成为天体物理界所关注的内容之一。

致谢 我们衷心感谢 C.M Urry 博士, G. Ghisellini 博士, P. L. Nolan 博士, M. Stichel 博士和 C.E. Fichtel 博士等为我们提供了宝贵的资料, 感谢审稿人所提出的宝贵意见。作者樊军辉感谢谭清胜女士的关心和帮助。

参 考 文 献

- [1] Bregman J N. *Astron. Astrophys. Rev.*, 1990, 2: 125
- [2] Impey C D, Brad P. *M.N.R.A.S.*, 1982, 201: 849
- [3] Borra E F, Corriveau G. *Ap. J.*, 1984, 276: 15
- [4] Jannuzi B, Green R. In: Maraschi L *et al* eds. *BL Lac objects*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1989. 135
- [5] Hawkins M R S *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1991, 248: 421

- [6] Bregman J N, Hufuagel B R. In: Maraschi L *et al.* BL Lac objects. Heidelberg: Springer-Verlag, 1989. 159
- [7] Krichbaum T P *et al.* In: Valtaoja E, Valtonen M eds. Variability of blazars, Finland, 1991, Cambridge: Cambridge Uni. Press, 1992: 331
- [8] Robson E I *et al.* Nature, 1986, 323: 134
- [9] Impey C D, Heugebaues G, A. J. 1988, 95: 307
- [10] Smith P S *et al.* Ap. J., 1988, 326, L39
- [11] Moore R L *et al.* Ap. J., 1987, 314: 176
- [12] Pica A J *et al.* A. J. 1988, 96: 1215
- [13] Miler H R, Carini M T, In: Maraschi L *et al.* eds. BL Lac objects. Heidelberg: Springer-Verlag, 1989. 143pp
- [14] Xie Guangahong *et al.* Ap. J. Suppl. 1992, 80: 696
- [15] Urry C M *et al.* In: white N ed. Proceedings of the 23rd ESLAB symposium X-ray astronomy, Paris, 1990, [s.l.]: ESA, 1990: 789
- [16] Feigelson E D *et al.* Ap. J., 1986, 302: 337
- [17] Bezler M *et al.* Ap. J., 1988, 334: 995
- [18] Agrawal P C *et al.* M.N.R.A.S., 1987, 227: 325
- [19] Hunter S D *et al.* Astron. Astrophys. 1993, 272: 59
- [20] Kardashev N V. Astron. Zh. 1962, 39: 3937
- [21] Xie Guangzhong *et al.* Astron. Astrophys., 1990, 229: 329
- [22] 朱月英. 硕士论文, 昆明: 中国科学院云南天文台, 1991
- [23] 谢光中等. 科学通报, 1985, 17: 1328
- [24] Aslanov A A, Lipunova N A. Sov. Astron. Lett., 1988, 14:
- [25] Viskanathan N *et al.* Ap. J., 1973, 179: 1
- [26] Frohlich A *et al.* M.N.R.A.S., 1974, 168: 417
- [27] Valtaoja E *et al.* Nature, 1985, 314: 148
- [28] De Diego J A, Kidger M. Astrophys. Space Sci., 1990, 171: 99
- [29] Sunnuyaev R A. Sov. Astron., 1973, 16: 941
- [30] Carrasco L *et al.* Nature, 1985, 314: 146
- [31] Sillanpaa A *et al.* Ap. J., 1988, 325: 628
- [32] Webb J R *et al.* A. J., 1988, 95: 374
- [33] Falomo R *et al.* Ap. J., 1988, 335: 122
- [34] Cruz-Gonzales I *et al.* A. J., 1984, 89: 441
- [35] Nottale, L. Astron. Astrophys., 1986, 157: 383
- [36] Kikuchi S. Publ. Astron. Soc. of Jpn, 1988, 40: 547
- [37] Kayser R. Astron. Astrophys., 1988, 206: L8
- [38] Stickle M *et al.* Astron. Astrophys. 1988, 206: 130
- [39] Wills B J. IAU Circ., No 4195, 1986
- [40] Brown L M J *et al.* Ap. J., 1986, 340: 150
- [41] Balonek T J, Dent W A. Ap. J., 1980, 240: L3
- [42] Macheod J M *et al.* Nature, 1976, 260: 751
- [43] Wolf A M *et al.* Ap. J. 1978, 222: 751
- [44] O'Dea C P *et al.* A. J., 1986, 92: 1262
- [45] Smith P S *et al.* Ap. J. Suppl., 1987, 64: 459
- [46] Valtaoja E *et al.* Astron. Astrophys. 1987, 184: 60
- [47] Bregman J N *et al.* Ap. J., 1982, 253: 19
- [48] Jones D L *et al.* Ap. J., 1984, 284: 60

- [49] Morini M *et al.* *Ap. J.*, 1986, 306: L71
- [50] George I M *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1988, 235: 781
- [51] Maraschi, L. *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1983, 125: 117
- [52] Moles M *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1984, 211: 621
- [53] Falomo R *et al.* *Ap. J.*, 1990, 353: 114
- [54] Makino F *et al.* *Ap. J.*, 1987, 313: 662
- [55] Worrall D M *et al.* *Ap. J.*, 1984, 286: 711
- [56] Gear W K *et al.* *Nature*, 1986, 324: 546
- [57] Brown L M J *et al.* *Ap. J.*, 1989, 340: 150
- [58] Wall J V *et al.* *M.N.R.A.S.* 1986, 219: 23p
- [59] Giommi P *et al.* *Ap. J.*, 1990, 356: 432
- [60] Ohashi T. In: Maraschi L *et al* eds. *BL Lac objects*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1989. 296
- [61] Angel J R P *et al.* In: Wolfe A M. *BL Lac objects*. Pittsb: Uni. of Pittsb, 1978. 117
- [62] Usher P D. *Ap. J.*, 1975, 198: L57
- [63] Angel J R P, Stockman H S. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1980, 18:321
- [64] Rudnick L *et al.* *Ap. J.*, 1978, 225: L5
- [65] Bailey J *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1983, 203: 339
- [66] Knacke R F *et al.* *Ap. J.* 1976, 210: L69
- [67] Moore R L *et al.* *Ap. J.*, 1980, 235: 717.
- [68] Brissenden R.J.V. *et al.* *Ap. J.* 1990, 350: 578
- [69] Smith P.S. *et al.* *Ap. J.*, 1988, 326, L39
- [70] Kellermanu K I. *Nature* 1993, 361: 134
- [71] S. 温伯格. 邹振隆译. *引力理论与宇宙学*. 北京: 科学出版社, 1980
- [72] 周又元等. *自然*, 1980, 1: 3
- [73] 曲钦岳等. *天文学报*, 1979, 20: 98
- [74] 程福臻等. *天体物理学报*, 1981, 1: 24
- [75] 刘永镇等. *天文学报*, 1981, 247
- [76] 胡佛兴等. *天体物理学报*, 1982, 1: 1
- [77] 程富华等. *天体物理学报*, 1982, 1: 91
- [78] 须重明等. *天体物理学报*, 1982, 2: 107
- [79] 曹盛林. *天体物理学报*, 1982, 3: 247
- [80] 吴盛殷等. *中国科学 (A 辑)*, 1992, 7: 743
- [81] Blandford R D, Rees M J. In: Wolfe A M ed. *BL Lac objects*. Pittsb: Uni. of Pittsb., 1978. 328
- [82] Wandel A, Urry C M. In: Maraschi L *et al* eds. *BL Lac objects*. Heidelberg: Springer-Verlag, 1989. 388
- [83] Witzel A *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1988, 206: 245
- [84] Impey C. In: Zensus J A, Pearson T J eds. *Superluminal radio sources*. Cambridge: Cambridge Uni. Press, 1987. 233
- [85] Ghisellini G *et al.* *Ap. J.*, 1993, 407: 65
- [86] Reich W *et al.* *MPI priprint Ser.*, 1993, No.507
- [87] Mchardy I M *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1990, 246: 305
- [88] Witzel A *et al.* In: Zensus J A, Pearson T J eds. *Superluminal radio sources*. Cambridge: Cambridge Uni. Press, 1987. 76
- [89] Wandel A, Urry C M, *Ap. J.*, 1991, 367: 78
- [90] Miller J S. *Ap. J.*, 1977, 212: L47
- [91] Miller J S. *Ap. J.*, 1978, 219: L85
- [92] Rakos K D, Fialt N. *Astron. Astrophys.*, 1983, 124: L11

- [93] Kellerman K I *et al.* A. J., 1989, 98: 1195
[94] Stocke J *et al.* Ap. J., 1990, 384: 141
[95] Maraschi L *et al.* In: Maraschi L *et al.* eds. BL Lac objects. Heidelberg:Springer-Verlag, 1989. 394
[96] Fan Junhui *et al.* Astrophys. Space Sci., 213: 305
[97] Maccagni D *et al.* In: Maraschi L *et al.* eds. BL Lac objects. Heidelberg: Springer-Verlag, 1989. 281
[98] Burbidge G, Hewitt A, A. J. 1987, 92: 1
[99] Xie Guangzhong *et al.* Astron. Astrophys., 1993, 278: 6
[100] 黄卓和, 樊军辉, 谢光中. 天体物理学报, 1995, 1: 34
[101] Xie Guangzhong *et al.* Astrophys. Space Sci., 1991, 179: 321
[102] Fan Junhui *et al.* Ap. J., 1993, 415: 113
[103] Hartman R C *et al.* Ap. J., 1992, 385: L1
[104] Thompson D J *et al.* In: Active galactic nuclei across the electromagnetic spectrum, Proc. of IAU Symp. No.159, Geneva, 1993, (in press)
[105] Hartman R C *et al.* EGRET papers. The second Compton symp, The Uni. of Maryland, 1993, [s.l.]: [s.n.], 1994: 11
[106] Fichtel C E *et al.* EGRET Contribution to the Obser. Symp. Washington Uni., 1992
[107] Kniffen D A *et al.* Ap. J., 1993, 411: 133
[108] Thompson D J. Ap. J., 1993, 410: 87
[109] Michelson P F *et al.* EGRET papers. The second Compton symp., The Uni. of Maryland, 1993, [s.l.]:[s.n.], 1994: 21
[110] Martox, J R *et al.* Ap. J., 1993, 410: 609

(责任编辑 刘金铭)

Progress in BL Lac Objects

Fan Junhui

(Astrophysics Center, Guangzhou Normal College, Guangzhou 510400 ,
Center for Astrophysics, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Xie Guangzhong

(Yunnan Observatory, The Chinese Academy of Science, Kunming 650011)

Abstract

The observational characteristics and some theories on correlation of multi-wavelength, polarization, problems of quiescence and emission lines, superluminal motion as well as γ -ray emission in BL Lac objects have been introduced in this paper.

Key words BL Lac objects: general-radio continuum: galaxies-ultraviolet: galaxies-X-rays: galaxies-Gamma rays: observations-polarization-techniques: photometric