

Baldwin效应及其宇宙学意义

程富华

(中国科学技术大学天体物理研究室)

提 要

本文总结了近年来在 Baldwin 效应这一课题上的研究进展, 分析了射电入选及光学入选类星体中的 Baldwin 效应, 并讨论了这个效应在宇宙学上的意义。

一、引 言

在类星体的研究中, 棘手的问题之一是类星体本身光度的弥散, 因为全部类星体在哈勃图上的分布看不出有任何的倾向性。为了从类星体中取出具有宇宙学意义的信息, 对类星体进行分类研究是一种行之有效的办法^{[1], [2]}。其中最重要的就是所谓的“光度指示法”(“标准烛光”法), 即对于一个给定的类星体样品集, 若能找到一个可观测的物理参量 P , 它与类星体的绝对星等 M (或光度 L)之间有确凿的较好的相关性和较小的弥散, 则称物理量 P 为光度指示参量(或“标准烛光”参量)。这种方法最早是1976年由方励之等人提出的, 他们用有射电子源结构类星体的子源间距作为光度指示参量, 并利用它估算出宇宙减速参量 $q_0 \sim 1.4$ ^[3]; 在文[4]、[5]中, 周又元、方励之等人用最小残差法进一步估算出 q_0 在0.9—1.5之间。1977年, 英国剑桥天文研究所的Baldwin发现, 尔后于1978年Baldwin又和他的合作者——美国加州大学里克天文台Burke、Gaskell和Wampler等人进一步证实, CIV发射线的等值宽度可作为类星体的光度指示参量, 尤其对射电平谱类星体, CIV发射线等值宽度和连续谱光度之间的相关性更强^{[6] [7]}。目前, 这种相关性被称作Baldwin效应。本文目的是评述近年来在Baldwin效应方面的研究进展。

二、类星体中的Baldwin效应

1. 射电入选类星体中的Baldwin效应

Baldwin等人1978年的工作中^[7], 选择了一组完全的射电平谱类星体, 共有31个源的CIV发射线观测资料, 若把CIV线的等值宽度记作 $W(\text{CIV})$, CIV发射线的背景连续谱光度记作 L_{1549} , 其中下标1549表示CIV发射线的波长为1549Å, 则在 $q_0=1$ 的假设下, Baldwin

等人得到了一个统计关系式:

$$L_{1549} = (-1.66 \pm 0.17) \log W(\text{CIV}) + \text{常数} \quad (1)$$

回归的均方根弥散仅为 0.6 星等。上式意味着:

$$W(\text{CIV}) \propto (L_{1549})^{-0.6} \quad (2)$$

Baldwin 在文[6]中曾指出 L_a 线的等值宽度可以作为光度指示参量; 在文[7]中指出 Mg II 线的等值宽度亦可作为光度指示参量; Wu 等人在 1982 年指出^[8], 对于 Seyfert 星系 Baldwin 效应也同样存在。

由于地面上只能观测到 $z > 1.1$ 的类星体的 CIV 发射谱线, 而利用 CIV 线的等值宽度作为光度指示参量必须要求样品有一个大的红移铺展范围, 才能得到更好的在宇宙学上有意义的结果, 因此人们自然地想到铺展红移范围的两种办法:

(i) 利用国际紫外探索卫星(IUE) 对小红移类星体的 CIV 线作紫外观测, 并考虑 Seyfert 星系和类星体一起的 Baldwin 效应。

(ii) 考虑引进 $L_a \lambda 1216$ 和 Mg II $\lambda 2880$ 发射线, 综合这三条发射线的观测资料, 研究综合的 Baldwin 效应。

对于第一种办法, 江涛、程富华^[9] 曾在文[7]的观测资料中添入 3C273 和 Q1302-102 两个 IUE 的观测结果, 考虑到 $W(\text{CIV})$ 及由观测量所求得的绝对星等 M_{1549} 都是有误差的, 因此采用求平均回归直线的办法, 求得:

$$M_{1549} = 18.15 + 3.56[\log W(\text{CIV}) - 1.50] \quad (3)$$

Baldwin, Wampler, Burke 和 Gaskell 等人继 1978 年的工作, 近来又做了大量的工作^{[10][11][12]}, 最近 Wampler 等人用了与文献[7]不同的两个完全的射电类星体样品, 从中选出射电平谱源 ($\alpha < 0.5$), 再加上 6 个小红移类星体的 IUE 观测资料, 在 $q_0 = 1, H_0 = 50 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ 的假设下, 得到了一张完美的 Baldwin 图^[13](参见图 1)。图中 + 表示 IUE 低红移类星体的观测资料, ● 表示上述两个完全的样品中的射电平谱类星体, 为便于比较, 对文献[6]中的射电平谱类星体也用 ○ 表示标在图 1 上, Wampler 等人的工作进一步证实和加强了 Baldwin 效应。图 1 中竖直小短线表示 Seyfert 星系, 这是利用 IUE 的观测所得的结果。从图 1 易知, 对这个 Seyfert 星系样品, Baldwin 效应是不存在的, 由于 Wampler 等人所取的样品与 Wu 等人在文献[8]中所取的是不一样的, 因此他们的工作并不支持 Wu 等人提出的在 Seyfert 星系中也存在 Baldwin 效应的结论。

对于第二种铺展红移范围的办法, 江涛等也作了尝试^[9], 他们综合了 9 条 L_a 发射线, 33 条 CIV 发射线和 11 条 Mg II 发射线的观测资料, 分别对它们进行等值宽度和背景连续谱光度之间的相关分析。考虑到回归线零点的差异, 他们利用最小二乘法把 L_a 和 Mg II 的回归线分别相对于 CIV 的回归线作了系统的修正, 这样综合了三条发射线共 53 对数据, 得到的 Baldwin 图, 如图 2 所示。图 2 中 ● 表示 CIV 发射线; ▲ 表示 Mg II 发射线; + 表示 L_a 发射线。这种综合 CIV, Mg II 和 L_a 发射线观测资料的做法, 在 IUE 紫外观测资料尚缺的条件下, 是一种有意义的尝试。

2. 光学入选类星体中的 Baldwin 效应

Jones 等人在 1980 年指出^[14]: Baldwin 最初在 1977 年发表的文章中所揭示的 Baldwin

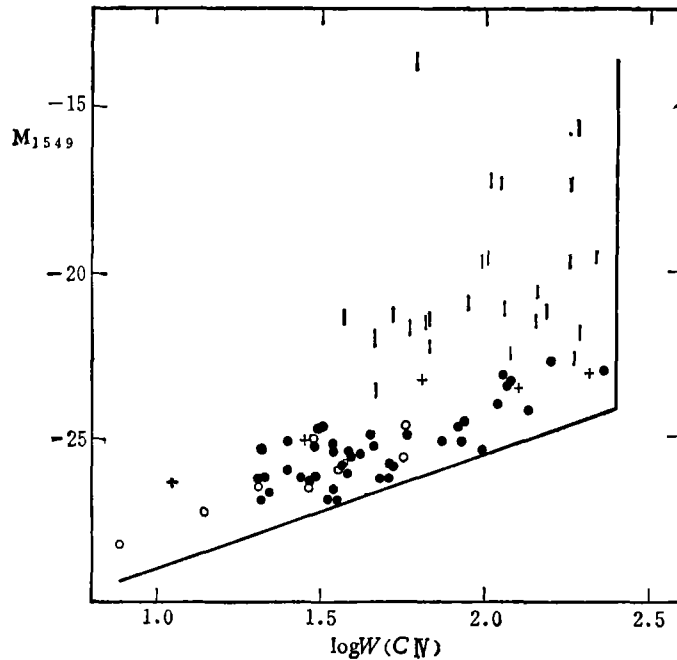


图1 Wampler 等人在文献 [13] 中得到的 Baldwin 图。+ 表示小红移的源，● 表示文中提及的两个完全样品中的射电平谱源，○ 表示文 [6] 中的射电平谱源。图中竖直小短线表示 Seyfert 星系的观测资料。类星体的星等已作银河吸收修正，Seyfert 星系则没有，在绝对星等 M_{1549} 的计算中，已假设了 $q_0=1$ 和 $H_0=50 \text{ kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ 。

效应是假的，是由于观测上的选择效应所致；而 Baldwin 等人 1978 年的工作^[17]，由于所用的

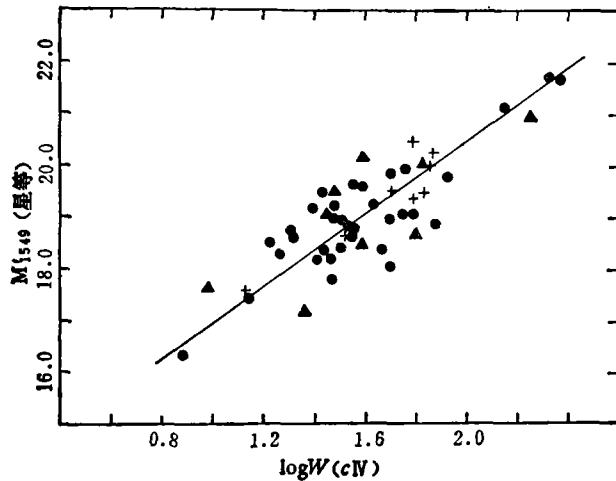


图2 江涛等在文献 [9] 中得到的综合了 L_{α} 、C IV 和 Mg I 发射线资料的 Baldwin 图。+ 表示 L_{α} 线，● 表示 C IV 线，▲ 表示 Mg I 线。纵轴 M'_{1549} 是与绝对星等 M_{1549} 差一常数的量。 M'_{1549} 的计算中，作了 $q_0=2$ ， $H_0=75 \text{ kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ 的假设。

射电资料是完全的，故并未受选择效应的影响。Osmer 及 Osmer 和 Smith 1980 年先后发表了两批完全的光学入选的类星体资料^{[15][16]}，他们也认为 Baldwin 效应表面上虽然存在，但很大的可能是起因于那些低光度弱发射线的类星体中有观测上的截止存在，这种情况确实可从图 3f 上明显看出。图 3f 包含了文献 [15][16] 中极大部份的观测资料，图中的点确实也决定了一条如 Osmer 计算所得的上包络线。有关利用物端棱镜观测到的类星体中具有选择效应更详细的讨论，可参见文献 [17] 和 [18]。

观测上的截止效应虽然对光学

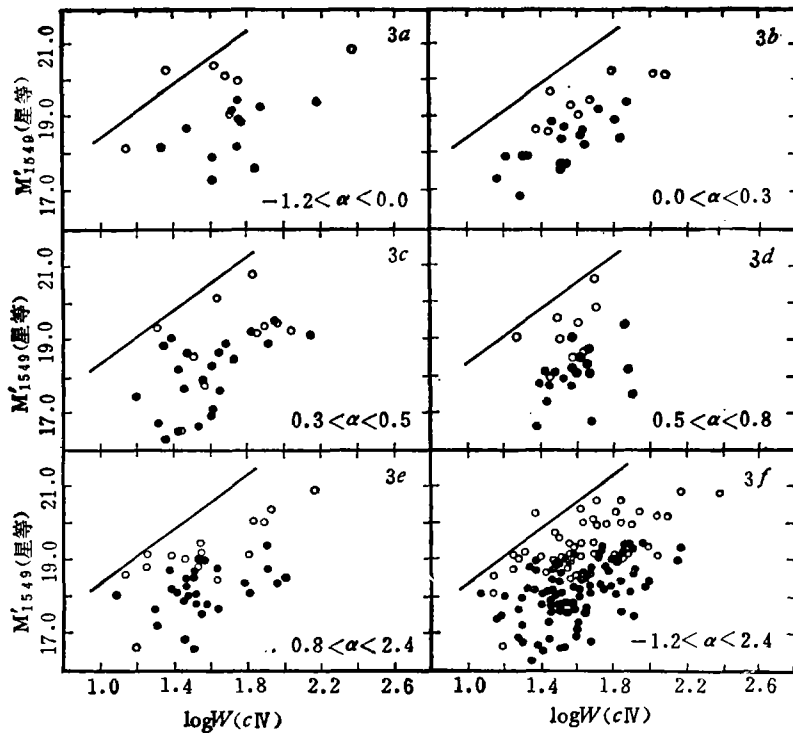


图3 江涛等在文献[19]中得到的光学入选的类星体的 Baldwin 图。图 3a-3e 是对应不同的光学谱指数 α 区间而作的。○表示文献[15]的资料, ●表示文献 [16] 的资料。Osmer 计算所得的观测上的截止线画在每一张图上。 M_{1549} 如图 2 解释, 计算中已作了 $q_0=1$, $H_0=75\text{kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$ 假设。

入选的类星体样品有影响, 但人们会自然地想到: 在射电入选的类星体样品中, 射电平谱类星体的 Baldwin 效应尤为显著, 那么对于光学入选的类星体能否也按某一适当的方式分组, 期望能得到弥散小, 多少不受观测上选择效应影响的一些子集来, 在这些子集中, Baldwin 效应能明显地表现出来。江涛等人 1983 年的工作, 就是基于上述想法进行的^[19]。他们对文献[15][16]中给出的两个完全的光学入选的类星体样品, 利用 L_a 线和 C IV 线, 或 C IV 线和 C III 线的背景光度, 求出了连续谱背景的光学幂律谱指数 α , 按 α 的不同间隔分类 (参见图 3a-3e), 发现对于 $0.0 \leq \alpha \leq 0.3$ 和 $0.8 \leq \alpha \leq 2.4$ 间隔内的两组类星体有较好的 Baldwin 效应存在, 而且这两个类星体子集基本上不受观测上截止效应影响或者影响较小, 从对这些挑选出来的两组类星体作统计分析, 得到:

$$M_{1549} = 18.28 + 3.77[\log W(\text{CIV}) - 1.50] \quad (4)$$

比较(3)(4)两式可知, 当光学谱指数限制在上述两个间隔中时, 光学入选的类星体和射电平谱类星体, 都具有 Baldwin 效应, 且在 C IV 线的等值宽度和连续谱光度之间有相同的回归关系。

三、Baldwin 效应的宇宙学意义

利用 Baldwin 效应, 人们自然地要分析类星体在哈勃图上的行为, 从而估算出无光度演

化假设下的宇宙减速参量 q_0 。我们知道, 视星等—红移关系来自下式:

$$m = M + 5 \log d_L + 25 \quad (5)$$

其中 d_L 是光度距离, 在零压的弗里德曼宇宙模型中,

$$d_L = cH_0^{-1} q_0^{-2} [q_0 z + (q_0 - 1) (\sqrt{1 + 2q_0 z} - 1)] \quad (6)$$

若令:

$$f(z, q_0) = q_0^{-2} [q_0 z + (q_0 - 1) (\sqrt{1 + 2q_0 z} - 1)]$$

则:

$$d_L = cH_0^{-1} f(z, q_0) \\ m = M + 5 \log f(z, q_0) + \text{常数} \quad (7)$$

因此, 利用哈勃图来估算 q_0 , 关键是要找寻具有标准光度的天体。当1977年Baldwin首先在文献[6]中指出类星体的发射线等值宽度有可能成为光度指示参量时, Davidsen等人马上选择了几个与3C273有相近的 L_α 线等值宽度的类星体, 作为一组具有标准光度的天体, 放入哈勃图, 估算出 $q_0 \sim 1$ ^[20]。但上述方法所用的观测资料仅是整个样品的一小部份。因此, 为充分地利用已有的资料, 我们可把Baldwin效应所表示的关系式(3)或(4)写成:

$$M_{1549} = a + b \log W(\text{CIV}) \quad (8)$$

其中 a, b 皆为常数(指在某一假设的 q_0 值下)。将(8)式代入(7)式, 便可得到:

$$m = 5 \log f(z, q_0) + b \log W(\text{CIV}) + \text{常数} \quad (9)$$

由于 $z, W(\text{CIV})$ 皆为可观测量, 则在假设了某一 q_0 值后, 我们便可得到一个哈勃图。详细的方法可参见文献[9]。利用Baldwin效应, 文献[7]、[9]、[19]、[13]分别求得 q_0 值为 $\sim 2.0, 1.9, 2.5, 1.0$ 。

四、讨 论

1. 在诸发射线中, 用CIV发射线的等值宽度作为光度指示参量较好, 因为目前一般认为CIV发射线的等值宽度值较为准确。而 $L_\alpha \lambda 1216$, 其长波方向有NV $\lambda 1240$ 的发射线, 虽然它对 L_α 线轮廓的不对称性只有1/4的贡献^[20], 但毕竟或多或少地会对 L_α 线等值宽度的测量带来不确定性。另外对于Mg II $\lambda 2880$, 虽然它相对地受周围发射线影响要小, 但它的连续谱并不真正代表其发射线处的幂律连续谱。火箭的紫外观测表明^[20], 在类星体3C273中心, 波长靠近2880Å处, 连续谱有一个上升。Baldwin本人也发现, 对于许多类星体的连续谱在Mg II区域附近被抬高了^[21], 这就是所谓的3000Å附近的“肿瘤”问题。Malkan等人1982年指出^[22]: 3000Å附近的“肿瘤”可能主要是由一个斜率为-1.1的幂律谱和一个温度约为 $(2 \sim 3) \times 10^4$ 度的黑体谱复合而成。综上所述, 较好的办法就是尽量利用CIV发射线的观测资料。目前IUE紫外卫星对小红移类星体已有一定数量的观测, 如何尽早地利用IUE观测结果, 是需要重视的问题。

2. Baldwin效应是完全从观测得出的经验规律, 从(2)式可知, $W(\text{CIV})$ 反比于 $(L_{1549})^{0.6}$, 即发射线等值宽度越大, 其连续背景的光度反而越来越小。Baldwin效应的物理本质是什么, 目前尚无满意的理论解释。Shuder等人^[23]尝试着作一些物理解释, 但假设的条件太苛刻。Malkan等人为解释Baldwin效应也曾作了三条假设^[22]:

(i) 类星体1549Å处的连续谱光度主要是由斜率为-1.1的幂律与温度为26000K的黑体

谱复合而成。

(ii) CIV线的流量是幂律流量的常数倍。

(iii) 源与源之间的红化差别甚小。

在上述三条假设的基础上, 作者得到一些支持 Baldwin 效应存在的理论结果。目前如何更好地在物理机制上对 Baldwin 效应作出合理的解释, 也是人们关切的问题之一。

3. 利用 Baldwin 效应从类星体的哈勃图来估算宇宙减速参量, 仍不能完全消除光度演化的影响。文献[1]曾指出, 用哈勃图方法估算的 q_0 值, 总有宇宙封闭的结论, 但这种方法都或强或弱地假定天体光度演化的影响很小, 另一方面用平均质量密度估算的 q_0 值, 总有宇宙开放的结论, 但这种方法却暗含地假定宇宙中的质量主要集中在星系、星系团及超星系团这种聚集的天体上, 而分布更均匀的质量成份是不存在的或很小。因此, 若能知道较好的 q_0 值, 利用 Baldwin 效应就可以来研究类星体本身的演化, 这方面的工作正是不少天体物理学家极感兴趣的。

致谢: 方励之教授对本文提了有益的意见, 江涛教授和 E. J. Wampler 博士提供了资料和预印本, 作者在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 方励之、江涛、程富华、胡佛兴, *Q. J. R. Astro. Soc.*, **23** (1982), 363.
- [2] 程富华、江涛、方励之, *天文学报*, **22** (1981), 357.
- [3] 方励之、周又元、程福臻、褚耀泉, *天文学报*, **17** (1976), 134.
- [4] 周又元、程富华、方励之, *自然杂志*, **1** (1980), 3.
- [5] 方励之、周又元、程福臻、褚耀泉、程富华, *中国科学*, **22** (1979), 1292.
- [6] Baldwin, J. A., *Ap. J.*, **214** (1977), 679.
- [7] Baldwin, J. A., Burke, W. L., Gaskell, C. M., Wampler, E. J., *Nature*, **273** (1978), 431.
- [8] Wu C. C., Boggess, A., Gull, R., (1982) *Adv. in Ultraviolet Astro. Four Years of IUE Res. (NASA Conf. Pub., 2238)*, 160.
- [9] 江涛、程富华, *Ap. A.*, **3** (1982), 363.
- [10] Baldwin, J. A., Burke, W. L., Gaskell, C. M., Wampler, E. J., *Bull. Am. Astro. Soc.*, **12** (1980), 537.
- [11] Gaskell, C. M., *Bull. Am. Astro. Soc.*, **11** (1979), 622.
- [12] Gaskell, C. M., Third European IUE Conference, *ESA-SP-176*.
- [13] Wampler, E. J., Gaskell, C. M., Burke, W. L., Baldwin, J. A., *Ap. J.*, in press.
- [14] Jones, B. J., Jones, J. E., *M. N. R. A. S.*, **193** (1980), 537.
- [15] Osmer, P. S., *Ap. J. Suppl.*, **42** (1980), 523.
- [16] Osmer, P. S., Smith, M. G., *Ap. J. Suppl.*, **42** (1980), 333.
- [17] Clowes, R. G., *M. N. R. A. S.*, **197** (1981), 731.
- [18] Wampler, E. J., Ponz, D., *Lick Observatory Preprint* (1983).
- [19] 江涛、程富华、周又元, *M. N. R. A. S.*, **203** (1983), 25.
- [20] Davidsen, A. F., Hardy, G. F., Fastie, W. G., *Nature*, **269** (1977), 203.
- [21] Baldwin, J. A., *Ap. J.*, **201** (1975), 26.
- [22] Malkan, M. A., Sargent, W. L. W., *Ap. J.*, **254** (1982), 22.
- [23] Shuder, J. A., MacAlpine, G. M., *Ap. J.*, **230** (1979), 348.

Baldwin Effect and Its Cosmological Sense

Cheng Fu-hua

(Astrophysics Research Division, University of Science and Technology of China)

Abstract

The progress on researching Baldwin effect in recent years is summarized; its appearance in radio-selected and optically-selected quasars is analyzed; and the cosmological sense of this effect is discussed.