

消息

引力透镜效应

广义相对论的推论之一是光线被太阳引力场弯曲, 星的像被外移一个角度 $2R_s/b$ 。这里 R_s 是太阳的 Schwarzschild 半径, b 是太阳中心到光线的最近距离。爱因斯坦和其他人认为: 在更遥远的天体中也许可以看到相应的引力透镜效应^[1]。如果一个大质量的天体(暂称它为“引力体”)致密到可以把它看作为点质量, 那么它对后面的天体(只要几乎在同一视线方向上)可以形成两个像。就相对引力体而言, 主像和天体在同一侧但被外移; 副像在引力体的另一侧。当观测者到引力体和天体视线之间的夹角增大到一定角度时, 主像和天体会合并, 副像消失。有延展质量分布的引力体就会产生复杂的引力透镜特性, 因而可产生更多的像。Bourassa和 Kantowski^[2], Krolik和Kwan^[3]的文章作了较详细的讨论。

Walsh等^[4]发现与射电源 0957+561 相结合的一对类星体的光学特性极其相似, 所以他们认为这也许是引力透镜成像的一个事例。到目前为止, 已发现的这类天体共有五个, 除0957+561外, 其余四个为: 1115+080^[5]、2345+007^[6]、2016+12^[7]和 1635+267^[8]。在每一个事例中, 所有像的光谱特征完全一样。这符合爱因斯坦等效原理: 同一天体所有的像要在整个电磁波谱范围内的谱特征完全一致。

Q0957+561A, B QSO A和B是两个像, $d_{AB}=5''.7$; $Z_{em}=1.41$ 。星等分别为17.3和17.6。图1是它的射电图。图的左边是Greenfield^[9]得到的VLA图像; 类星体对位于A, B位置。A有喷流通向D, C; 没有发现B的喷流, 但附近有一个小源, 其中心位置上有一个星等为18.5的巨cD星系^[10]^[11]。图的右部是Porcas等^[12]所得到的像A和B的VLBI结构。它们都具有核-喷流的结构形式, 这是许多类星体和河外星系的典型结构。由A和B结构的相似性可以肯定我们所看到的是同一个结构的两个像。Young等^[11]指出: 早先观测到的双类星体的结构不能由一个球对称质量分布的引力体所产生, 现在VLBI的观测结果对透镜的质量分布又增加

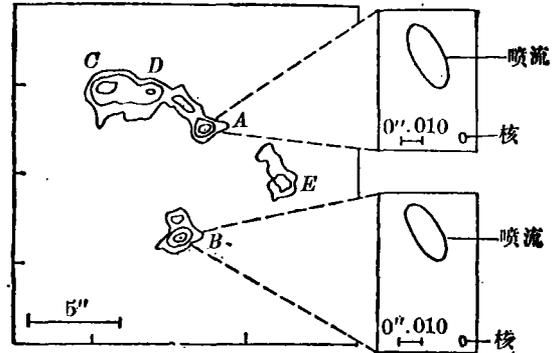


图1. 射电源0957+561的VLA图像(左)和VLBI图像。

了一组约束条件。Bourassa和Kantowski的研究结果表明, 在一般情况下像的数目应为奇数。果真如此的话, 第三个像在哪里? Porcas等^[12]指望B像分裂为两个像 B_2 和 B_3 ; 而Gorenstein等^[13]认为第三个像也许是G中心附近的致密源。不管怎样, 大家肯定第三个像必定位于G附近, 但还要靠继续观测来证实它。

Q1115+080A, B, C $m_A=16.3$, $m_B=18.2$ 和 $m_C=18.6$; $d_{BA}=2''.28$ 和 $d_{CA}=1''.77$ 。B, C相对于A的位置角为 322° 和 226° 。 $Z=1.722$ 。在射电频率上没有探测到它。Young等^[14]提出一个星系起着透镜作用的模型。在他的模式中应该有五个像。Hege等^[15]指出亮的像显示出有双重结构, 这与预计的结果一致。

Q2345+007A, B $m_A=20$, $m_B=21$; $d_{AB}=7''.3$; $Z=2.15$ 。7''.3的角距远远大于一般星系作为引力透镜所成的像之间 $1''-2''$ 的距离。有人认为这可能是星系起着引力镜的作用, 而周围的星系团起着放大作用。但在2345+007附近没有发现星系, 远距离的星系团可能起着引力镜的作用。

Q2016+112A, B, C 在2016+112的位置有三个QSO致密射电源, 形成一个直角三角形, 顶点在B。 $d_{AB}=3''.4$, $d_{BC}=2''.0$ 。 $Z=3.27$ 。射电

流量最大的 C 的位置与一个延伸的光学天体一致，该天体的光学特性跟一个红移为 0.8 的巨椭圆星系一样。

Q1635+267A, B 作为两像的类星体对的红移是 1.96。 $d_{AB}=4''$ 。 $m_A=19.15$ 和 $m_B=20.75$ 。直到 $23''$ 没有发现起引力镜作用的天体。

引力透镜的特性已由许多作者讨论过^{[1], [16], [17]}。

对点质量的引力体和不随时间变化的天体，该效应是比较容易了解的：如果引力体正好位于观测者到天体的联线上，那么观测者看到的是一个环，天体的整个流量被透镜效应放大。引力体偏离联线，像变为一对新月，流量几乎相等。作为极限，如果天体是一点源，那么两像为未分解的源（类星体的射电核如果足够致密的话，就可能出现这种情况）。引

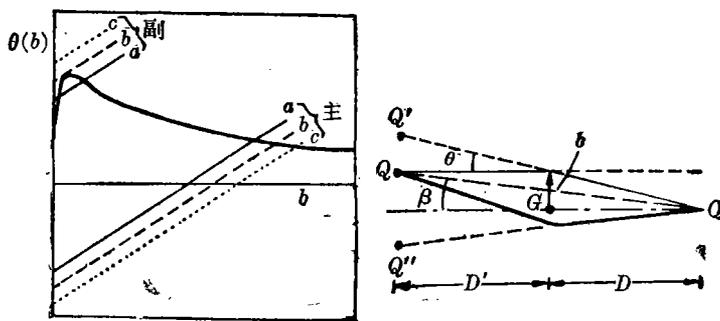


图2. 球对称引力体产生的引力镜像。

引力体偏离联线越来越远时，两像的流量不对称，最后副像隐退。

引力体有一定的延伸的质量分布时，引力成像的情况变得更加复杂。一个单一的天体被折射成一个或更多的主像和零个或更多的副像，这要看引力

体的质量分布和观测者、引力体、天体三者的排列情况而定。球对称质量分布的引力体，诸如 M87，所产生的引力镜效应可用图 2 说明。图中的偏转曲线 $\theta(b)$ 相应于椭圆星系的质量具有 $\exp(-r^2)$ 的经验形式^[18]； b 是碰撞参数。由右边的几何关系可得

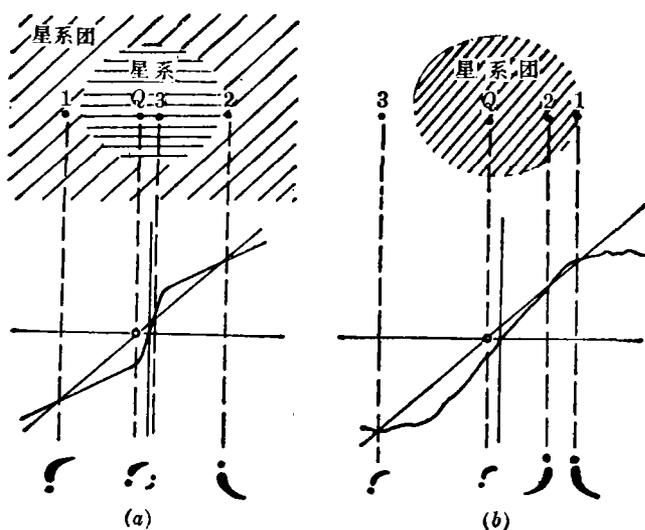


图3. (a) 巨星系成像，周围的星系团放大；
(b) 富星系团的核成像。

直线方程 $\theta = \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{D'}\right)(b \mp \beta D)$; 负号和正号分别适用于主像和副像。偏转曲线 $\theta(b)$ 与直线的交点给出像的位置和数目。实线 (a) 表示形成一个主像两个副像。虚线 (b) 表示形成一个主像和一个副像。点线 (c) 仅产生主像而没有副像。它们之间的区别取决于截距 $\beta D \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{D'}\right)$, 即 β 。然而 0957+561 的 VLA 和 VLBI 观测排除了引力体具有球状质量分布或近于球状质量分布的可能性。

如前所述, 像距 $7''$ 已超出正常星系作为引力镜时所产生的 $1''-2''$ 的像距。故有人提出由星系产生

像再由周围的星系团放大, 如图 3 (a) 所示^[19]。图中 Q 是类星体的真位置, 两个亮的像 1, 2 位于星系的两侧; 弱的第三个像应位于星系内。如果引力体不是圆形的, 那么会有另外的像对产生。上面五个事例中有两个在像附近未曾发现作为引力体的星系, 在看到星系的三个例中, 有两个像的几何形状难于用上面的理论来解释, 故有人改变星系产生像的观点而认为由星系团产生像, 如图 3 (b) 所示。要注意, 此时两个亮像位于星系团核的一侧, 而第三个弱像位于另一侧。预测的射电源的图形在 (a) 和 (b) 中有很大的差别, 它们的正确性可借助射电观测来加以判别。

参 考 文 献

- [1] Refsdal, S., *MNRAS*, **128** (1964), 295.
- [2] Bourassa, R. R. and Kantowski, R., *Ap. J.*, **195** (1975), 13.
- [3] Krolik, J. H. and Kwan, J., *Nature*, **281** (1979), 550.
- [4] Walsh, D. et al., *Nature*, **279** (1979), 381.
- [5] Weymann, R. J. et al., *Nature*, **285** (1980), 641.
- [6] Weedman, D. W. et al., *Ap. J.*, **255** (1982), L5.
- [7] Lawrence, C. R. et al., *Science*, **223** (1984), 46.
- [8] Djorgovsky, S. and Spinrad, H., *Bull. Am. astr. Soc.*, **15** (1983), 937.
- [9] Greenfield, P. E. et al., *Science*, **205** (1980), 31.
- [10] Stickson, A., *Ap. J.*, **242** (1980), L141.
- [11] Young, P. et al., *Ap. J.*, **241** (1980), 507.
- [12] Porcas, R. W. et al., *Nature*, **289** (1981), 758.
- [13] Gorenstein, M. V. et al., *Science*, **219** (1983), 54.
- [14] Young, P. et al., *Ap. J.*, **244** (1981), 723.
- [15] Hege, E. K. et al., *Ap. J.*, **248** (1981), L1.
- [16] Liebes, S., *Phys. Rev.*, **B133** (1964), 835.
- [17] Refsdal, S., *MNRAS*, **132** (1966), 101.
- [18] de Vaucouleurs, G. and Capaccioli, M., *Ap. J. Suppl. Ser.*, **40** (1979). No.4, 699.
- [19] Narayan, R. et al., *Nature*, **310** (1984), 112.

(张福俊)

Gravitational Lens Effect

(Zhang Fujun)