

活动星系核在光学波段的光度及光谱斜率变化

濮兴庭

(南京师范大学物理科学与技术学院 210097 ,江苏 ,南京)

[摘要] 利用盘不稳定模型和星爆模型 ,模拟活动星系核在光学 B、V 波段的光变 ,分析光变时光谱斜率的变化情况 ,并将模拟的结果和观测进行比较 .结果表明 ,这两种模型是定性解释活动星系核光学波段光度、光谱变化的合理模型.

[关键词] 光变 ,AGN ,盘不稳定模型 ,星爆模型 ,B、V 波段

[中图分类号] P157.2 , [文献标识码] A , [文章编号] 1001-4616(2005)02-0046-05

AGN Variability and Spectral Slope Variability in the Optical Band

Pu Xingting

(School of Physical Science and Technology , Nanjing Normal University , 210097 , Nanjing , China)

Abstract :With disk-instability model and starburst model ,AGN optical variability and spectral slope variability in the B and V bands are simulated and compared with observations. The results show that disk-instability model and starburst model can qualitatively explain the variability and spectral slope variability in the optical band.

Key words :variability ,AGN ,disk-instability model ,starburst model ,B、V band

0 引言

光变是活动星系核(AGN)的共同特征 ,它对于限定 AGN 中心引擎的物理性质及理论模型起着非常重要的作用.根据 AGN 的光变特性 ,可以大致将其分为两类.第一类包括 BL Lac 天体和 OVV 类星体 ,这些 AGN 的光变特点是有短的光变时标和大的光变幅度 ;另一类包括绝大多数的 AGN(约占 90%) ,它们的光变幅度较小 ,光变时标从天至年不等.随着观测技术的不断提高 ,现在人们可以从光谱的射电到伽马射线的所有波段对 AGN 进行同步多波段监测.这对于研究 AGN 辐射的物理机制是至关重要的.观测到的 AGN 的光变曲线显示出很大范围的光变时间尺度和光变幅度.图 1 为 Hawkins 巡天得到的类星体在 B_j 波段及 Seyfert 星系在接近 V 波段典型的光变曲线^[1] (a)图类星体的光变曲线没有显著的形态特征 ,需要更长的观测时间来确定其特征时标 ,而(b)图 Seyfert 星系的光变曲线则显示出不同的特征 :光变幅度较小 ,在短的时间尺度上光度有小的涨落等.为了得到 AGN 光变更多的信息 ,需要对光变的性质作定量的描述.为充分利用光变幅度和光变时间间隔两方面的信息 ,现已提出一些有效的函数方法去分析 AGN 的光变 ,如结构函数、傅立叶功率谱、自相关函数等.1998 年 ,Kawaguchi 等人对 0957 + 561 A/B 在两年时间内的光变资料^[2]进行了分析 ,得到的光变曲线和结构函数^[3]如图 2 所示.通过对 AGN 不同波段光度、光谱的观测研究 ,人们提出了适当的理论模型来解释 AGN 的光变.

目前 ,有三种基本模型可以解释 AGN 的光变.首先一种是盘不稳定模型(DI model). AGN 巨大的能量辐射表明 AGN 中心存在大质量黑洞和环绕其周围的吸积盘.吸积盘受到周围大气中 X 射线的照射会引发局部不稳定 ,耀斑事件(flare events)和块(blob)的形成引起光变^[4].在第二种星爆模型(SB model)中 ,超新星的爆发及其产生的快速演化的致密超新星遗迹引起 AGN 的光变^[5].一些集中监测的 AGN 如 NGC4151、NGC5548

收稿日期 :2004-09-27.

基金项目 :国家自然科学基金资助项目(10473005).

作者简介 :濮兴庭 ,1981— ,硕士研究生 ,主要从事类星体的学习与研究. E-mail :puxingting@ 163. com

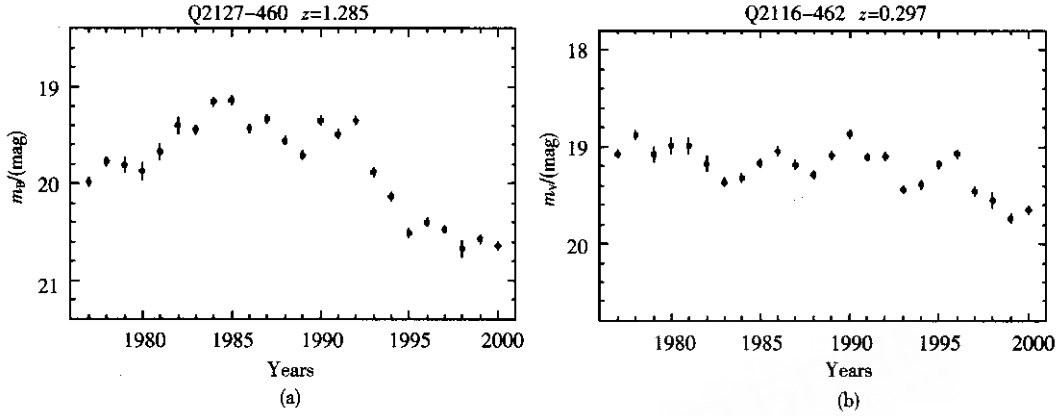


图 1 Hawkins 巡天得到的 AGN 典型的光变曲线

等在光学波段光变曲线的总体图案可由一系列的超新星和超新星遗迹事件进行较好的模拟。最后在引力透镜模型中,观测到的光变并不是 AGN 本身的光变,而是沿观测视线方向物质密集天体的暗物质作用影响下所引发的引力透镜效应^[6]。实际在解释 AGN 的光变时,这三种模型分别可以起到一定程度的作用。1998 年, Kawaguchi 等人利用盘不稳定模型^[3]模拟了 AGN 的光变曲线和结构函数(如图 3)。其中,盘的内外半径比为 1:20,粘滞耗散质量 m' 和内流质量 m 的关系如图中所示。通过适当选取模型中的参数,蒙特卡罗模拟的结果可以对图 2 中 Kundic 等人观测到的光变作较好的定性解释。

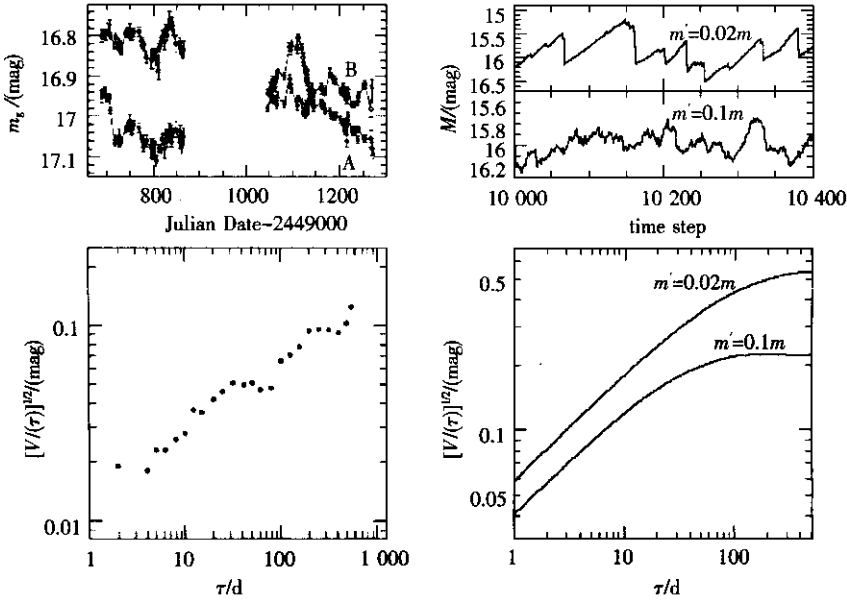


图 2 由 Kundic 等人观测资料得到的光变曲线和结构函数 图 3 Kawaguchi 等人模拟出的光变曲线和结构函数

利用上述理论模型,我们还可以研究分析 AGN 的光谱变化。AGN 能谱分布的改变是研究不同类型 AGN 主要发射过程和光变起源的一个重要手段。为了研究 AGN 光学波段的光谱变化,通常定义光谱斜率为:

$$\alpha(t) = \log\left(\frac{L_B}{L_V}\right) / \log\left(\frac{\nu_B}{\nu_V}\right),$$

其中 L_B 、 L_V 分别为 AGN 在 B、V 波段的光度, ν_B 、 ν_V 为这两个波段的中心频率。观测到的 QSOs、Seyfert 星系等在光学波段光谱的普遍情况是:当光度变大时,AGN 变蓝,光谱变硬,即光度变大时光谱斜率有总体变大的趋势。2002 年, Trevese 等人^[7]分析了 PG QSOs 的观测资料,如图 4 所示。图中将瞬时光谱斜率 α 作为 B 波段光度 L_B 的函数进行讨论,每一小点群代表单个 QSO 光度变化时的不同状态,每个 QSO 标明了回归线,虚线表示不同区域的黑体辐射。QSOs 总体表现出光谱斜率和本身光度的正相关性。

本文将利用盘不稳定模型和星爆模型的基本思想,模拟 AGN 在光学 B、V 波段的光变曲线以及光谱斜率

随光度的变化情况,并与上述观测结果作比较分析.由于引力透镜模型不涉及光谱斜率的变化,在此不予讨论.

1 模型

1.1 盘不稳定模型

通常吸积盘可分成两部分即盘的外区和盘的內区.其中盘外区的物质平稳地向內流动,而盘的內区会产生不稳定形成块(blob).吸积盘內区的不稳定是局部的,采用子单元模型.我们运用 Mineshige 等人的方法^[4],以吸积盘中心黑洞所在位置为原点建立盘面圆坐标系,并将盘的內区沿角向和径向均分为若干部分 I, J .本文中取 $I = J = 64$,则盘內区内外半径之间就由 64×64 块网格所构成.中心黑洞质量,吸积率,盘的内半径以及内外半径比作为盘的基本参数.当盘处于稳定状态时,吸积盘內区各处满足:

$$T = \left(\frac{GMM}{4\pi\sigma r^3} \right)^{\frac{1}{4}},$$

其中 M 为黑洞中心质量, \dot{M} 为吸积率, σ 为斯提芬-玻尔兹曼常数, r 为盘上各处到中心黑洞的距离.假定每个单元网格內各处温度相同等于该网格中心处的温度,并且局部黑体辐射即各网格均以黑体谱的形式向外辐射能量,那么盘內区整体辐射的能量就可由各网格以黑体谱形式辐射的能量相加得到.设盘局部受到扰动引起不稳定时,盘內区各网格仍以黑体谱的形式向外辐射能量,此时一些受扰动网格的温度比稳定状态下升高 $2 \sim 3$ 倍^[8].受扰动网格在各波段所辐射的能量就随之发生变化,从而导致盘整体在各波段辐射能量的变化.若吸积盘在不同时刻发生温度变化的网格的数量及位置随机改变,则盘整体在各波段辐射的能量就会随时间出现涨落.本文根据上述机制,模拟讨论 AGN 吸积盘在光学 B、V 两波段辐射能量的变化及光谱斜率的变化.

1.2 星爆模型

星爆模型可以解释射电宁静 AGN 的一些重要特性,如宽发射线、光学波段光变等.在该模型中,AGN 在光学波段的光变由其內区爆发的一定数目的超新星的光度叠加所引发.通常在运用星爆模型时,需要描述超新星爆发、叠加过程的几点特性 (1) 超新星事件的产生率即爆发率 ν_{sn} (2) 每次超新星爆发在所研究波段辐射的能量 (3) 每次超新星爆发的光变曲线 (4) 没有变化的背景强度.

为了研究 AGN 在光学 B、V 波段的光变和光谱变化情况,必须首先知道每次超新星爆发在 B、V 两波段的光变曲线.为此我们选取 SN 1993J 在 B、V 波段较完备的观测资料^[9],根据爆发不同阶段的光度变化情况,分别拟合出单个超新星爆发在 B、V 两波段的光变曲线.超新星的爆发率和背景成份作为基本参数.利用 Aretxaga 等人的方法^[5],随机产生爆发的时刻,让一定数量的超新星在一定时间内相继爆发,拟合出的单个超新星在 B、V 两波段的光变曲线就在一定的爆发率下随机地产生叠加.选取适当的背景光度就可模拟出 AGN 在这两波段光度和光谱的变化.

2 结果与讨论

在盘不稳定模型中,我们取中心黑洞质量 $M = 10^9 M_{\odot}$,吸积率 $\dot{M} = 3 M_{\odot} a^{-1}$,内半径 $r_{in} = 3 r_s$, $r_s = \frac{2GM}{c^2}$ 为史瓦西半径,将内外半径比作为可变参数.适当选取外半径与内半径之比 k_{oi} ,根据星等和光度的关系公式 $m \propto -2.5 \log L$,分别得到 B、V 两波段的光变曲线(图 5).其中纵坐标 m_B, m_V 分别为 AGN 发生光变时 B、V 波段的星等,横坐标 t 表示光变的时间,以年为单位.

由图 5 可看出,在一定的范围内改变吸积盘的内外半径比时,得到的 B、V 两波段的光变幅度基本相当.随着外半径的增大,AGN 在 B、V 波段的星等均有总体变大的趋势. B 波段星等小于 V 波段的星等.

星爆模型中,设背景成分的光度占 AGN 平均总光度的 60%,将超新星的爆发率作为可变参数,得到爆发率 ν_{sn} 改变时, B、V 波段的光变曲线(图 6),纵坐标和横坐标的物理意义如图 5.由图 6 可看出,随着超新星爆发率

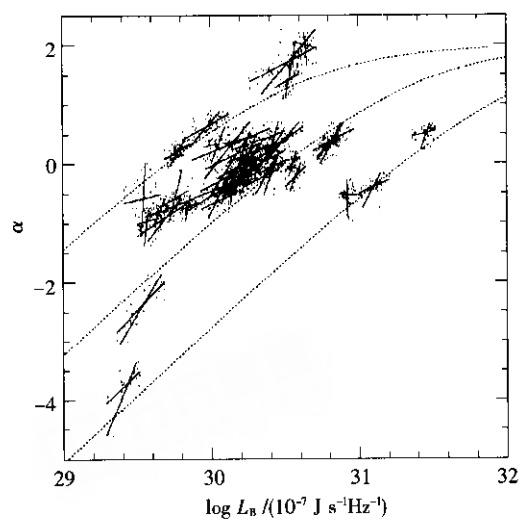


图 4 QSOs 瞬时光谱斜率随 B 波段单色光度的变化

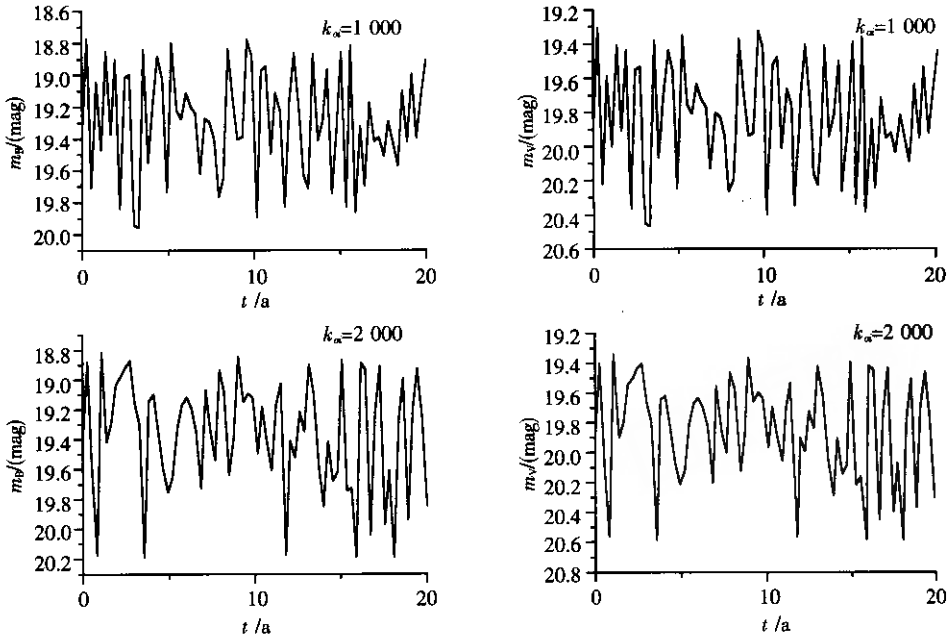


图 5 盘不稳定模型得到的光变曲线

的增大, AGN 在 B、V 波段的光变幅度也明显减小, 这与 Arctaga 等人^[5]利用致密超新星遗迹模拟出的 AGN 的光变曲线定性吻合。

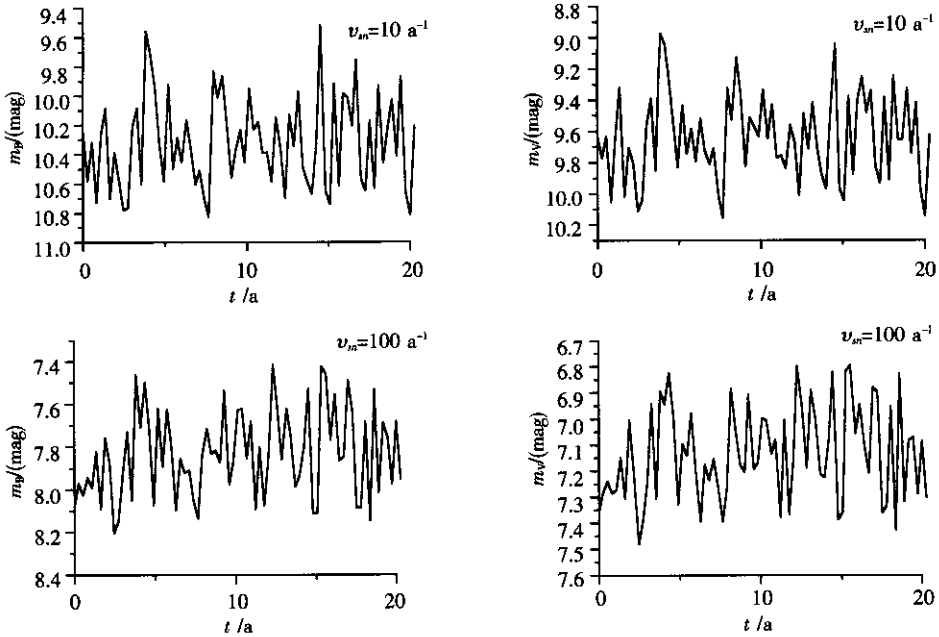


图 6 星爆模型得到的光变曲线

我们将以上模拟出的光变曲线和观测到的类星体、Seyfert 星系(图 1)的光变曲线作一比较. 通过适当选取参数, 这两种模型模拟的结果均能定性地说 AGN 在 B、V 两波段的光变幅度。

图 7 是两种模型下 AGN 在 B、V 波段的光谱斜率随光度的变化情况. 图中 α 为光谱斜率, L_B 为 B 波段的光度. 由图 7 可见, 在盘不稳定模型中, B、V 波段光谱斜率的变化范围随着外半径的增大而变大, 并且当 AGN 在 B 波段光度变大时, B、V 波段光谱斜率有显著的总体变大的趋势. 在星爆模型中, 随着超新星爆发率的增大, B、V 波段光谱斜率的变化范围明显变小. 又当 AGN 在 B 波段光度变大时, 光谱斜率有总体变大的趋势, 并且当爆发率增大时, 趋势更为显著. 两种模型下得到的光谱斜率符号相反, 星爆模型中光谱斜率随光度的分布较盘不稳定模型中的弥散。

我们将模拟的光谱斜率随光度的变化情况同 Trevese 等人^[7]分析的 PG QSOs 的观测资料(图 4)作比较, 发

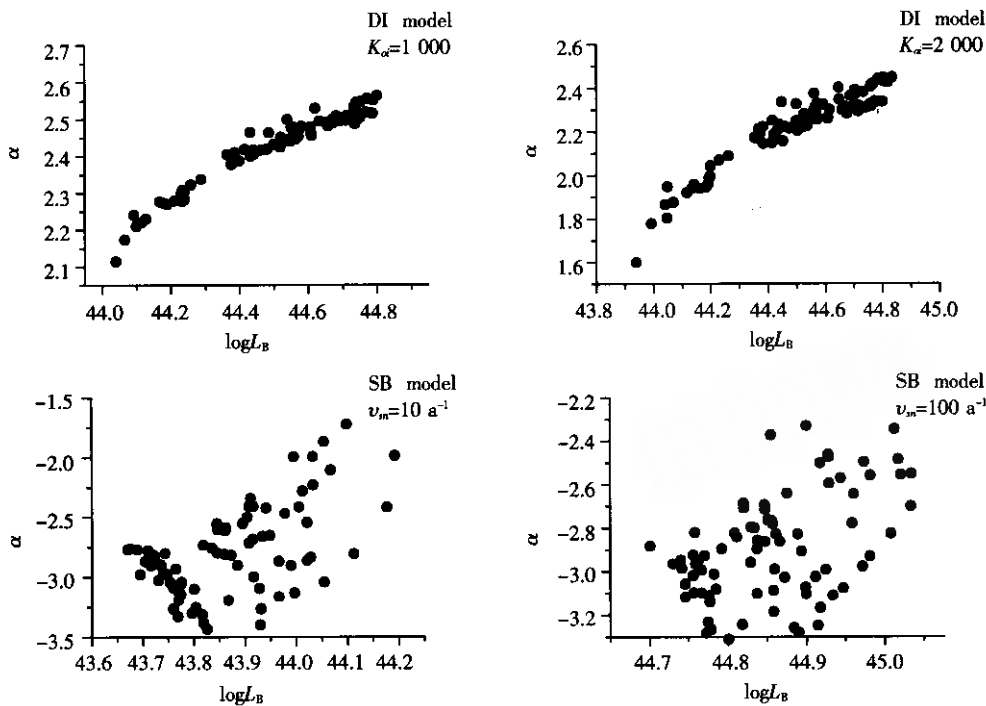


图 7 盘不稳定模型和星爆模型下光谱斜率随光度的变化

现模拟出的光学波段光谱斜率和光度的正相关性与观测结果定性吻合. 两种模型均能定性地说明 AGN 在光学波段光度变大时, 光谱斜率有总体变大的趋势.

我们运用盘不稳定模型和星爆模型, 模拟出 AGN 在光学 B、V 波段的光变曲线. 根据所选参数的适当取值, 得到了合理的光变幅度以及光变过程中光谱斜率的变化情况. 结果表明, 盘不稳定模型和星爆模型是定性解释 AGN 在光学波段光度、光谱变化的合理模型.

致谢: 感谢导师黄克谅教授的悉心指导!

[参考文献]

[1] Hawkins. Variability in active galactic nuclei :confrontation of models with observations[J]. Mon Not R Astron Soc ,2002 ,329(1) : 76—86.

[2] Kundic. A robust determination of the time delay in 0957 + 561A ,B and a measurement of the global value of Hubble 's constant [J]. Astrophys J ,1997 ,482(1) :75—82.

[3] Kawaguchi. Optical variability in active galactic nuclei :starburst or disk instability[J]. Astrophys J ,1998 ,504(2) :671—679.

[4] Mineshige. On the generation of 1/f fluctuation in X-rays from black-hole objects[J]. Publ Astron Soc Japan ,1994 ,46(1) :97—105.

[5] Aretxaga. QSO variability :probing the starburst mode[J]. Mon Not R Astron Soc ,1997 ,286(2) :271—283.

[6] Hawkins. Dark matter from quasar microlensing[J]. Mon Not R Astron Soc ,1996 ,278(3) :787—807.

[7] Trevese. Quasar spectral slope variability in the optical band[J]. Astrophys J ,2002 ,564(2) :624—630.

[8] Haardt. A model for the X-ray and ultraviolet emission from seyfert galaxies and galactic black holes[J]. Astrophys J ,1994 ,432(2) :L95—L99.

[9] Michael W ,Richmond. UBVRI Photometry of SN 1993J in M81 :days 3 to 365[J]. Astron J ,1996 ,112(2) :732—741.

[责任编辑 :丁蓉]