

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2014.02.01

天琴座 RR 型变星的 Blazhko 效应

黄志华¹, 付建宁¹, Sódor Adam^{2,3}

(1. 北京师范大学 天文系, 北京 100875; 2. 比利时皇家天文台, 布鲁塞尔 1180; 3. Konkoly Observatory, RCfAES, HAS, Hungary)

摘要: Blazhko 效应, 即一部分天琴座 RR 型变星的光变曲线的振幅和/或相位调制, 早在一个世纪之前就被发现了, 但是其中的物理机制还是未知。自从发现 Blazhko 效应以来, 天文学家已经对该效应做了大量的观测和理论研究。需要特别提到的是, 借助空间望远镜, 最近的研究已经发现大量 Blazhko 效应的新特性。全面综述最新的观测和理论结果, 主要集中于过去十几年研究天琴座 RR 型变星及 Blazhko 效应的工作, 以期对以后研究 Blazhko 效应有所帮助。

关键词: 天琴座 RR 型变星; Blazhko 效应; 光变曲线; 相位调制

中图分类号: P145.2 **文献标识码:** A

1 引 言

天琴座 RR 型变星是径向脉动水平分支恒星, 光谱型为 A 型 (少部分 F 型), 质量大约为半个太阳质量。天琴座 RR 型变星的脉动周期范围是 0.2 ~ 1 d, 它们在光学波段的振幅在 0.3 ~ 2 mag 之间。这种变星可以依据它们的光变曲线及脉动模式划分为三个主要类型: RRab、RRc 以及 RRd。RRab 型是最多的一个类型, 其光变曲线显示为陡峭的上升和缓慢的下降, 是基模脉动; RRc 型是周期更短、光变曲线更趋于正弦变化的一种类型, 属于一阶泛音脉动; RRd 型是一种比较稀少的双模脉动变星。天琴座 RR 型变星在天体物理很多领域扮演重要角色, Preston^[1] 对此给出了总结, 例如测距、星族指标及星系结构研究等。

1907 年, Sergey Blazhko^[2] 注意到 RW Dra 的极大亮度时刻有些变化。Shapley^[3] 第一个指出 RR Lyr 本身极大时刻的周期性变化总是伴随着相同周期的光变极大值高度和光变曲线形状的变化。这种被称为 Blazhko 效应的现象, 被定义为光变曲线的振幅和/或相位调制, 也在其他天琴座 RR 型变星中被发现, 例如 XZ Cyg^[4]、AR Her^[5]、RS Boo^[6]。Muller^[7] 显示 XZ Cyg 的 123 倍于主周期的拍周期不足以描述观测到的相位偏移和历元之间的关系, 进

收稿日期: 2013-11-26; 修回日期: 2014-01-07

资助项目: 国家自然科学基金 (U1231202); 973 项目 (2014CB845700, 2013CB834900)

通讯作者: 黄志华, zhmrhuang@163.com

而发现第二个拍周期。Babcock^[8] 发现在 RR Lyr 中有一个变化的磁场, 这促使 Balázs^[9] 将 RR Lyr 的 Blazhko 效应解释为一种爆发变星和斜转体。对 Blazhko 效应的综述已经由 Szeidl^[10, 11]、Smith^[12] 和 Kovács^[13] 给出。由于望远镜和探测器的发展, 特别是空间望远镜例如 Kepler 和 CoRoT 的成功上天, 观测上获得了许多重要的发现, 这可以帮助揭开 Blazhko 效应的谜团。自从 Blazhko 效应被发现之后, 从理论上寻找能够解释这个现象的观测特性的尝试从来没有停止过。虽然有一些理论模型被提出来 (磁斜转体^[14], 非径向模式的共振激发^[15], 湍动对流机制^[16]), 但没有一个模型能解释所有观测到的结果。下文给出有关天琴座 RR 型变星研究的整体综述, 集中在近年来解释 Blazhko 效应方面取得的成就, 包括观测上的特征和理论解释。第 2 章给出关于 Blazhko 效应观测上的特性及进展, 第 3 章给出对 Blazhko 效应可能的理论解释, 第 4 章是总结。

2 观测上的特性及进展

2.1 天琴座 RR 型变星中 Blazhko 变星的发生率

表 1 给出天琴座 RR 型变星中 Blazhko 变星的发生率。Szeidl^[17, 18] 对 M3 中 104 颗 RRab 型变星进行研究后发现, 有 35 颗表现出 Blazhko 效应, 对应的发生率为 34%。Kinman 等人^[19] 调查 RRI (MWF 361A) 区域, 发现 42 颗 RRab 型变星当中有 7 颗是确认无疑的 Blazhko 变星, 另外 5 颗由于它们的光变曲线的弥散不足以用观测误差来解释而被认为是可疑的 Blazhko 变星。Szeidl^[11] 提出利用同性质的数据来可靠地估计天琴座 RR 型变星中 Blazhko 变星发生率。他调查了 GCVS 第三版中的天琴座 RR 型变星, 发现 3207 颗 RRab 型变星中只有 135 颗有 Blazhko 效应, 对应的发生率大约是 4% ~ 5%; 忽略那些暗于 12 mag 和数据不完备的 RRab 变星, Szeidl 从简化后的样本中得到大约 32% 的发生率。

Moskalik 和 Poretti^[20] 系统地搜索了银核中天琴座 RR 型变星的 OGLE-1 样本中的多周期变星, 对 RRab 型变星和 RRc 型变星中 Blazhko 变星的发生率分别估计为 23% 和 5%。Moskalik 和 Olech^[21] 对球状星团 ω Centauri 中的天琴座 RR 型变星进行了多周期脉动的系统搜索, 在 70 颗 RRab 型变星里发现有 17 颗, 以及在 81 颗 RRc 型变星当中发现有 31 颗表现出和主脉动频率接近的第二个频率, 对应的 Blazhko 变星的发生率分别为 24% 和 38%。这些 RRc 型变星中的 Blazhko 发生率大约是银核中 RRc 型的 Blazhko 变星发生率的 3 倍, 是 LMC 中 RRc 型变星的 Blazhko 发生率的 4 倍。

近年来 Jurcsik 等人对 Konkoly Blazhko Survey I (KBS I) 得到的结果进行分析发现, 30 颗 RRab 型变星当中 14 颗有光变曲线调制, 其 47% 的发生率^[22] 比以往的估值高得多。除去 19 颗由于数据不够而无法确定是否有调制的 RRab 型变星, Sódor 从 Konkoly Blazhko Survey II (KBS II) 中发现 105 颗 RRab 型变星当中有 45 颗表现出调制特性^[23], 对应约 43% 的发生率。这个出乎意料的高发生率主要由于小振幅调制的发现, 而以前的调查很少发现小振幅调制。KBS 表明小振幅调制和大振幅调制同样普遍^[55], 已探测到的 Blazhko 效应的发生率可能对 RRab 型变星真正的 Blazhko 发生率来说还是一个下限。Kolenberg 等人^[24] 从一

个 Kepler 视场中的天琴座 RR 型变星样本中得到的发生率至少是 40%, Nemec 等人^[25] 给出在 Kepler 视场中的 37 颗 RRab 型变星当中有 16 颗具有 Blazhko 效应, 对应的发生率约为 43%。这些从 Kepler 得到的结果与从 KBS I、KBS II 中的发现一致。

表 1 天琴座 RR 型变星中 Blazhko 变星的发生率

Ref	sample /field	RRab stars			RRc stars		
		total RRab	Blazhko RRab	incidence rate	total RRc	Blazhko RRc	incidence rate
[17, 18]	M3	104	35	34%	—	—	—
[19]	RRI (MWF 361A)	42	7(12)	16%(28%)	—	—	—
[11]	GCVS, Ver.3	128	41	32%	—	—	—
[20]	OGLE-1	150	35	23%	65	3	5%
[21]	ω Centauri	70	17	24%	81	31	38%
[22]	KBS I	30	14	47%	—	—	—
[24]	Kepler	28	11	40%	—	—	—
[23]	KBS II	105	45	43%	—	—	—
[25]	Kepler	37	16	43%	—	—	—

2.2 Blazhko 变星的频率谱

非 Blazhko 变星的频率谱中只有基频和谐频, 而 Blazhko 变星的光变曲线和视向速度曲线的频率谱则显示为多重线: 主脉动频率及它的谐频周围有等间距三重线或者二重线结构, 频率间距对应于 Blazhko 频率^[13, 26, 27] ($kf_0 \pm f_m$, f_0 是基频而 f_m 是 Blazhko 频率, k 为主频及其谐频对应的阶数)。图 1 是一个等间距三重线结构^[28] 以及二重线结构示意图。在三重线结构的情况下, 大部分 Blazhko 变星高频端的振幅大于低频端的振幅^[27]; 这种不对称效应可能是对观测到的双重线结构的一种合理解释^[29]; 并且多重线边线的振幅相对于谐频的振幅随着谐波阶数 k 下降得更慢。图 2 直观地显示了谐频及多重线边线振幅的下降情况^[30], 可以看出多重线边线的振幅下降比谐频的振幅下降更慢; 这种现象首先由 Jurcsik 等人^[31] 发现, 并在随后的研究中得到证实。

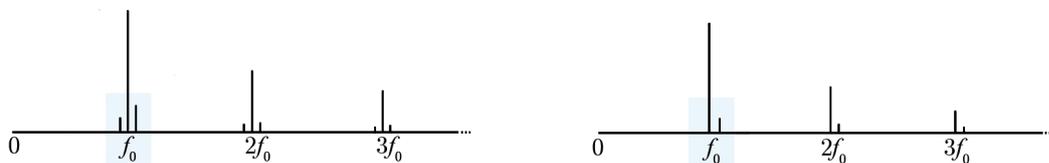


图 1 围绕主频及其谐频两侧的等间距三重线结构或者一侧的双重线结构^[28]

该结构由 Blazhko 变星的频率谱中观测得到, 主频及其谐频与边线的间距恰好等于 Blazhko 频率。

对 Blazhko 变星长期的观测表明, 除了三重线结构, 在一些变星当中还存在额外的边线。Hurta 等人^[32] 从 Konkoly 天文台长期观测的 RV UMa 数据中首次发现等间距五重线 ($kf_0 \pm nf_m$, $n=1, 2$), 五重线结构也在其他 Blazhko 变星中发现, 比如 MW Lyr^[33]、SS

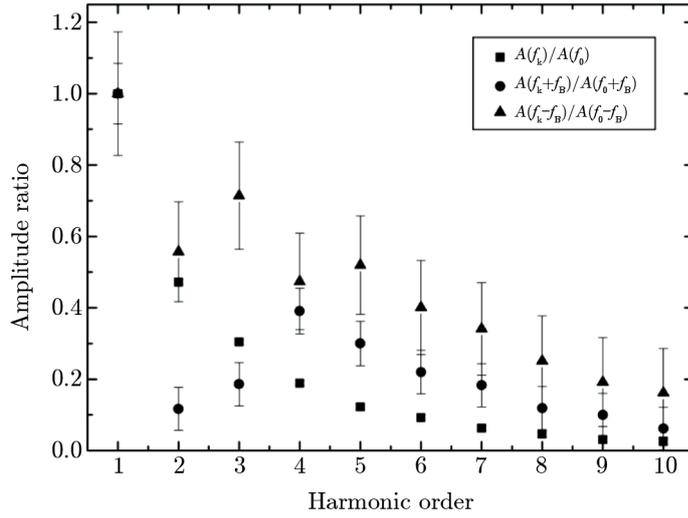


图 2 SS For 的脉动成分和调制成分的振幅比^[30]

图中显示调制成分的振幅比(圆圈和三角形)比脉动成分(正方形)的振幅比下降得更慢,其中 f_0 、 f_k 和 f_B 分别代表基频、谐频和 Blazhko 频率。

For^[30]。更复杂更高阶多重线结构在 Kepler 和 CoRoT 观测中发现。Chadid 等人^[34]从 V1127 Aql 的 CoRoT 光变曲线中发现,除了三重线,在脉动频率周围发现更高阶的调制边线,像五重线、七重线、九重线、十一重线、十三重线、十五重线和十七重线结构($kf_0 \pm nf_m$, $n=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$)。

Blazhko 调频本身的出现长期以来没有定论^[34]。然而,从足够长期的测光观测数据的频率谱中总能直接发现 Blazhko 调频^[31, 33, 35, 36]。Chadid 等人^[34]用 V1127 Aql 的 CoRoT 光变曲线,直接在频谱中发现 Blazhko 调频以及它的一阶和二阶谐频,表明 Blazhko 效应的非线性特征。

除了多重线结构,在一些天琴座 RR 型变星当中还发现了其他频率。这些频率包括径向泛音频率、可能的非径向模式以及它们与径向脉动频率的组合频率。在无 Blazhko 效应的天琴座 RR 型变星中, V350 Lyr 是第一个基模和二阶泛音同时激发的双模式变星^[37]。Kepler 视场中的一个 Blazhko 变星 V445 Lyr 则同时有一阶和二阶径向泛音。有趣的一点是那些有二阶泛音的变星的基频范围为 $1.6 \sim 2.8$ c/d, 涵盖了几乎所有的 RRab 型变星。从调制特性来讲,无调制变星、规律性调制变星和复杂调制变星都表现出二阶泛音^[38]。一些 RRab 型 Blazhko 变星被怀疑有非径向模式,比如 V1127 Aql^[34]、XY And^[39] 和 V445 Lyr^[38]。V445 Lyr 这颗星,其中频率 f_N 与基频的比值为 0.703,被认为可能是非径向模式,另外 20 个和 f_N 相关的频率被认为是非径向模式与基频、Blazhko 频率和第二个调频的组合频率。

2.3 观测到的调制特性

Blazhko 效应是对脉动光变曲线的长期振幅和/或相位调制。一些 Blazhko 变星主要表现为振幅调制,而其他 Blazhko 变星同时表现为振幅和相位调制。两颗代表性的变星为

UZ Vir 和 XY And^[39], 图 3 给出这两颗变星的折叠光变曲线^[39]。XY And 的上升部分表现出较大的相位变化, 而在 UZ Vir 上升部分的固定点则表明这颗变星的光变曲线变化主要是振幅调制。调制周期大约是主脉动周期的 10 ~ 100 倍。SS Cnc^[35] 是一个短周期小振幅 RRab 型 Blazhko 变星 (B 波段极大亮度的变化为 0.1 mag), 具有目前观测到的最短调制周期 (5.309 d)。RR Gem 是另一颗短周期变星, 具有短 Blazhko 周期 (7.23 d) 和小调制振幅^[31]。Jurcsik 等人^[40] 认为只有短周期 RRab 型变星的调制周期可以非常短, 但是具有长调制周期的短周期 Blazhko 变星是存在的, 例如, RS Boo 的调制周期为 530 d (脉动周期为 0.38 d)^[35]。通过对全天巡天、OGLE 银核以及 MACHO LMC 巡天中的样本作 Blazhko 周期对脉动周期的分布图, Le Borgne 等人^[41] 表明, 对于具有相同脉动周期的 Blazhko 变星, Blazhko 周期的范围很大, 相同的 Blazhko 周期可以在大范围的脉动周期 Blazhko 变星中观测到。

调制本身在很多 Blazhko 变星中有可能是不规则和/或多周期的, 一些 Blazhko 变星显示了 Blazhko 调制的周期性变化。Sódor 等人^[42] 发现 CZ Lac 这颗变星毫无疑问具有两个调制周期 (14.6 d 和 18.6 d); 两个调制成分有相似的强度, 并且它们的相互作用产生周期为 74 d 的拍频。银河系中其他具有多个调制周期的 Blazhko 变星包括 XZ Cyg (周期为 57.5 d 和 41.6 d)^[43]、UZ UMa (周期为 26.7 d 和 143 d)^[44]、SU Col (周期为 65.8 d 和 89.3 d)^[45]。Skarka^[46] 的表 2 列举了所有具有多周期调制的银河系 Blazhko 变星。一个典型的例子是 RRc 型变星 LS Her, Wils 等人^[47] 显示 LS Her 是 Blazhko 周期为 13 d 的变星。Szczygiel 和 Fabrycky^[45] 从 ASAS 数据中得到这颗星有 11.5 d 和 12.8 d 两个调制周期。Wils 等人^[48] 证实 LS Her 的 Blazhko 周期为 12.75 d, 并且其 Blazhko 效应变化的周期为 109 d。除了一个二次调制周期, 一些 Blazhko 变星显示出几年的长周期调制。天琴座 RR 型变星的原型 RR Lyr 是 RRab 型, 它的 4 年周期变化第一次由 Detre 和 Szeidl^[49] 提到, 且可以追溯到 1935 年; 在 1963、1967、1971 和 1975 年, Blazhko 效应的强度变得很弱, 并且在 4 年一次的循环周期结束时光变极大的振幅变化小于 0.1 mag, 随后振幅很快就增加到 0.2 ~ 0.3 mag^[11]。其他可能具有长周期的 RRab 型 Blazhko 变星是 XZ Cyg (9.2 a)、RW Dra (7.4 a) 以及 Y LMi (7.7 a)^[11]。

一些 Blazhko 变星的 Blazhko 周期已经发生了显著变化。Skarka^[46] 的表 3 列出了已知的 Blazhko 周期有变化的银河系 Blazhko 变星, 其中最著名的就是 RR Lyr 本身。Kolenberg 等人^[50] 的表 6 给出了 RR Lyr 的 Blazhko 周期的变化, 以及对应的参考文献, 可以看到这颗星的调制周期在过去的 10 多年中逐渐变短; 这个结论由 Kolenberg 等人^[51] 通过从 Kepler Q1+Q2 数据中得到一个 39.1 d 的 Blazhko 周期而证实。其他 Blazhko 周期有变化的 Blazhko 变星是 XZ Dra^[52]、AD UMa^[12] 以及 RV UMa^[32]。

2.4 倍周期现象 (period doubling)

天琴座 RR 型变星的倍周期 (PD) 现象首先由 Kolenberg 等人^[24] 在天琴座 RR 型变星的原型星 RR Lyr 的 Kepler Q1 数据研究中发现。PD 现象在光变曲线的脉动循环中显示为极大值和极小值高度的交替变化, 在频率谱中显示为位于主脉动周期和它的谐振频率中间半整数频率的出现^[53]。图 4 给出了 RR Lyr 在频率谱和光变曲线中的 PD 现象^[24]。这个现象在

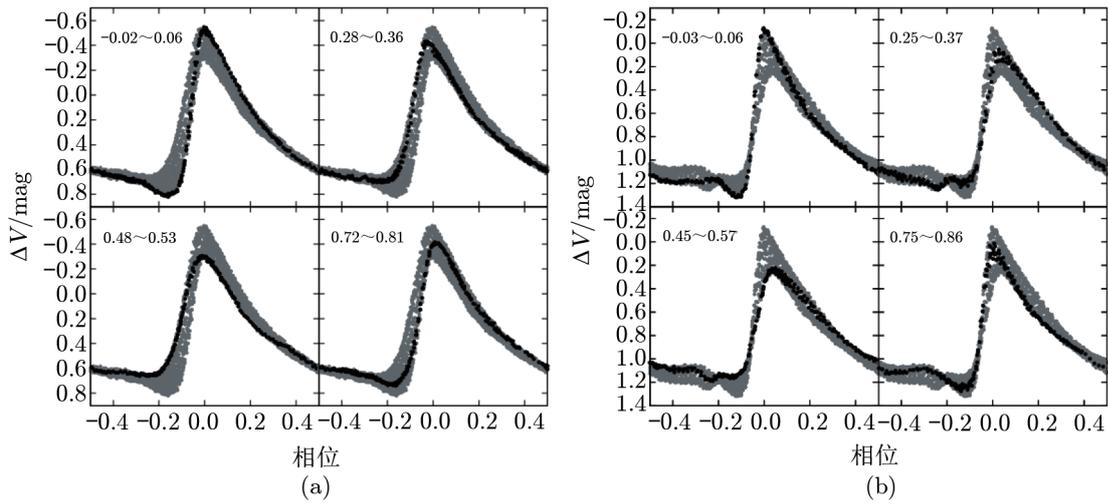


图 3 XY And(图 (a)) 和 UZ Vir(图 (b)) 在不同 Blazhko 相位区间的折叠光变曲线 (相位图)^[39]
加黑的数据点显示这几个相位区间。XY And 的上升段显示约 0.1 个相位差的显著变化，而 UZ Vir 上升段的节点表明光变曲线的变化主要是振幅调制。

Kepler 变星 V808 Cyg 和 V355 Lyr 中也被观测到^[53]。有趣的是，这 3 颗 Kepler 变星都表现出 Blazhko 调制。V355 Lyr 中的 PD 效应相对于其他两颗星来说弱得多，并且 V355 Lyr 的振幅调制也小。PD 效应的强度随时间变化。在 RR Lyr 中 PD 效应在前两个 Blazhko 循环的上升阶段期间最显著，而在第三个上升阶段期间几乎消失^[53]。这可能表明 PD 现象和 Blazhko 效应之间有强烈的关联。Szabó 等人^[53]用非线性天琴座 RR 型变星模型复制了倍周期现象，并且追溯到这个效应的起源是基模和第九阶径向泛音之间的 9:2 共振。

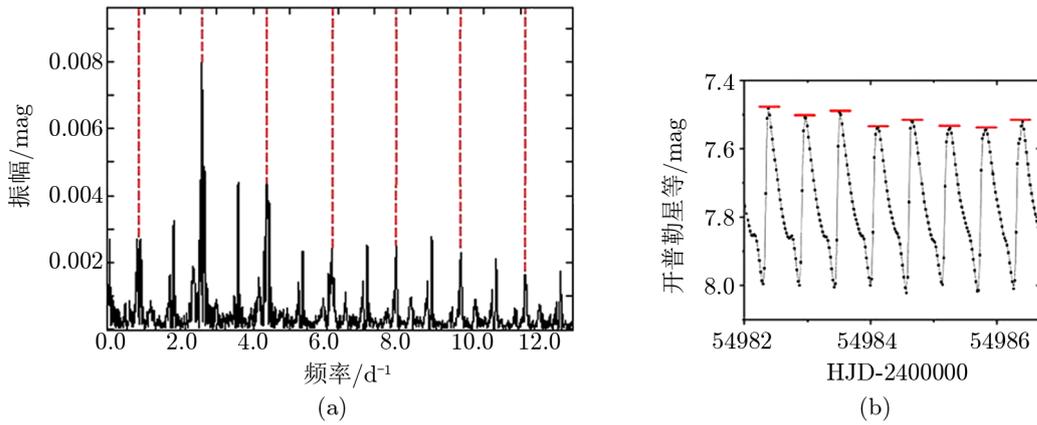


图 4 RR Lyr 的倍周期现象
图 (a) 是去除脉动成分和调制成分后的残差谱^[24]，其中虚线标出半整数频率 (倍周期) 的位置；图 (b) 显示该星光变极大的高度的交替变化。

2.5 在 Blazhko 循环期间物理参数的变化

Jurcsik 等人^[36]利用 IP 方法 (inverse photometric Baade-Wesselink)^[54] 第一次给出 MW Lyr 的平均全局物理参数在 Blazhko 循环期间是如何变化的。IP 方法是一种逆测光 Baade-Wesselink 分析, 利用从静态大气模型中得到的合成色指数和热改正, 采用非线性最小二乘法搜索与观测到的光变曲线拟合最好的有效温度、脉动速度曲线以及其他物理参数。MW Lyr 在 Blazhko 循环期间全局平均物理参数 (平均半径、光度和表面有效温度) 变化了大概 1% ~ 2%。Jurcsik 等人^[55] 研究发现, 另一个 RRab 型 Blazhko 变星 DM Cyg 探测到的物理参数的变化幅度大概只有 MW Lyr 中探测到的变化幅度的 10%, 这和 DM Cyg 的小调制振幅是 MW Lyr 的调制振幅的 1/10 一致。

3 Blazhko 效应的理论解释

3.1 磁性斜转体/脉动体模型

磁性斜转体/脉动体模型 (Magnetic Oblique Rotator/Pulsator, MORP) 假设 Blazhko 变星有一个与恒星转动轴倾斜的偶极磁场^[14], 并且磁场的对称轴穿过恒星中心。磁场使径向模式变形从而产生一个额外的轴对称四极分量, 四极分量的对称轴与磁轴重合; 四极分量的方位角因为星体转动而变化, 恒星表面亮度从而随时间变化, 产生观测上的振幅调制。在磁场的对称轴不穿过恒星中心的情况下, 出现相位调制。Shibahashi^[14] 预言在频率谱中有等间距五重线精细结构, 边线的振幅相对于中心频率的振幅之比取决于磁场强度, 而边线之间的振幅比则取决于磁轴与转轴的夹角以及视线方向与转轴之间的夹角; 并且转动周期等于 Blazhko 周期。根据这个模型, 对实际观测到的振幅调制强度来说, 一个 0.1 T 左右的磁场是必要的, 且磁场强度随 Blazhko 周期而变化。

MORP 模型因为以下原因面临严峻挑战。首先, 在 MORP 模型中, 一定强度的偶极磁场对天琴座 RR 型变星 Blazhko 效应的产生不可缺少, 但在天琴座 RR 型变星中没有发现这种磁场^[56, 57]。第二, 该模型预测, 由于偶极磁场的作用, 频率谱中会出现五重线结构。能够产生更高阶调制边线和几何形状更复杂的磁场目前还没考虑在内, 但更高阶的调制边线在空间望远镜观测到的数据中已经清楚地被探测到。Chadid 等人^[34] 在脉动频率周围发现更高阶的调制边线, 包括五重线、七重线、九重线、十一重线、十三重线、十五重线和十七重线结构。另外, MORP 模型不容易再现在大多数 Blazhko 变星中观测到的边线振幅的强烈不对称, 举三重线为例, 在 75% 的 Blazhko 变星中高频边线的振幅比低频边线的振幅大^[27]。第三, 该模型提出的机制意味着精确的规律性^[58], 即调制周期等于恒星转动周期, 并且每一个 Blazhko 循环都是相同的。从观测研究上看, Blazhko 效应可以从一个循环到另一个循环发生显著变化^[51], 一些 Blazhko 变星的 Blazhko 周期长度已经发生显著变化, 这种变化对转动周期来说是基本不可能的; 而且, 还有一些 Blazhko 变星存在多个调制周期^[42, 43, 59]。因此, Blazhko 周期和转动周期之间的联系非常值得怀疑。

3.2 非径向共振转体/脉动体模型

非径向共振转体/脉动体模型 (Non-Radial Rotator/Pulsator, NRRP) 是基于径向模式和一个非径向模式的非线性共振。在该模型中, 偶极模式 ($l = 1$) 被非线性激发的概率最高^[60-62]。在转动分裂 $m = \pm 1$ 被激发的情况下, Nowakowski 和 Dziembowski^[63] 预测会出现显著的振幅和相位调制; 调制周期由转动率和位于辐射内部最深处的 Brunt-Vaisala 频率 (流体质点在静态稳定环境中由于扰动产生垂直震荡时的角频率) 决定。

NRRP 模型同样由于几个原因而面临严峻挑战。首先, 在 NRRP 模型中 $l = 1$ 模式最容易被激发, 从而在频率谱中产生三重线结构; 而更高阶非径向模式的激发不太可能, 并且高阶模式的振幅将会非常低。但是, 高阶调制边线已经被空间和地面望远镜清楚地探测到。第二, 和 MORP 模型相似, NRRP 模型预测调制边线具有相同的振幅, 这和绝大部分观测到的调制边线振幅的不对称性形成鲜明对比。第三, NRRP 模型暗示 Blazhko 周期和转动周期高度相关, 这点备受质疑; 且暗示相邻的 Blazhko 循环是一样的, 这和观测结果不符。

3.3 Stothers 模型

Stothers 模型对天琴座 RR 型变星的 Blazhko 效应给出解释: 位于恒星外层氢氦电离区的湍动对流在瞬态磁场作用下周期性的变强变弱^[16, 64], 瞬态磁场由湍动或者转动动力机制产生。这种对 Blazhko 效应的解释没有涉及到任何非径向模式成分。

上述观点有一些问题。首先, Stothers 模型缺乏像其他经常被引用模型 (MORP, NRRP) 的那种详细阐述, 没有就预期的调制周期或调制大小作出预测^[65], 没有对调制边线振幅的不对称性这个使得 MORP 和 NRRP 模型失败的观测现象作出解释。第二, Stothers 模型的关键点是假设存在一个通过与湍动对流相互作用从而周期性积累和衰减的磁场, 但却没有估计预期的磁场强度, 没有解释为什么这样就会产生振幅调制^[65]。大体而言, 这个高度复杂的模型能够产生引起调制性脉动的振幅方程^[66]的原因还不清楚。Smolec 等人用一个简化的模型测试了 Stothers 模型, 结果表明, 为了再现具有强调制效应的 Blazhko 变星中光变曲线的变化, 在小于 40 d 的相对短的时间尺度内, 需要调节 50% 量级的混合长参数^[58]。

3.4 径向共振模型

利用振幅方程式^[66], Buchler 和 Kolláth 证明, 引起倍周期现象的基模和九阶泛音之间的 9:2 共振可以产生振幅调制^[67], 由此产生的振幅调制的周期范围和观测到的 Blazhko 周期范围一致。这种简单的两个模式的共振可能无法解释 Blazhko 效应的所有复杂性质^[67]。CZ Lac 就是一个无法用这种简单共振来描述其复杂 Blazhko 效应的变星^[42], 这颗变星表现出两个具有类似强度的调制成分。其他模式共振或者近共振可能需要加入到振幅方程, 以产生更复杂的光变曲线^[67]。

4 总 结

自从天琴座 RR 型变星的 Blazhko 效应被发现以来, 长期大量的研究已经揭示了 Blazhko 效应的很多特性。特别是近年来长期持续的高精度 Kepler 和 CoRoT 空间望远镜的

观测, 发现了很多关于 Blazhko 效应的新特性。研究结果表明, Blazhko 效应在天琴座 RR 型变星中相当常见, 甚至所有的天琴座 RR 型变星在某种程度上都可能有 Blazhko 调制, 那些目前已知无调制的天琴座 RR 型变星可能只是因调制振幅小而被探测到。另外, Blazhko 调制本身在很多天琴座 RR 型 Blazhko 变星中不是稳定不变的, 很多 Blazhko 变星表现出周期性以及无规律的 Blazhko 调制。再者, 天琴座 RR 型变星可能不是纯粹的径向脉动变星, 因为在一些变星中被怀疑有非径向模式。未来对 Blazhko 效应的物理机制的解释有赖于对更多的 Blazhko 变星进行长期高精度连续性的观测。此外, 对天琴座 RR 型变星的光谱研究也许对认证其可能的非径向模式和其他隐藏模式有所帮助。最后, Blazhko 变星和无 Blazhko 效应的变星之间的对比研究可能对解释 Blazhko 效应只出现在某些天琴座 RR 型变星的原因有所帮助。

试图解释 Blazhko 效应谜团的理论主要集中在 3 个模型: MORP 模型、NRRP 模型和 Stothers 模型。MORP 和 NRRP 模型在很多方面都和观测结果矛盾而不被看好; Stothers 模型面临一些问题, 需要慎重对待。为了使 Stothers 模型物理基础牢固, 对该模型的完善和进一步的详细研究是必要的。同时也需要探究对 Blazhko 现象的其他可能解释。

参考文献:

- [1] Preston G W. *ARA&A*, 1964, 2: 23
- [2] Blazhko S N. *Astron Nachr*, 1907, 175: 325
- [3] Shapley H. *ApJ*, 1916, 43: 217
- [4] Blazhko S. *Astron Nachr*, 1922, 216: 103
- [5] Balázs J, Detre L. *Commun Konkoly Obs*, 1939, 8: 1
- [6] Oosterhoff P T. *BAN*, 1946, 10: 101
- [7] Muller A B. *Bull Astron Inst Netherlands*, 1953, 12: 11
- [8] Babcock H W. *PASP*, 1956, 68: 70
- [9] Balázs-Detre J. *VeBam*, 1960, 27: 26
- [10] Szeidl B. *IAU Colloq 29*. Fitch W S, ed. Dordrecht: Reidel, 1976: 133
- [11] Szeidl B. *Multimode Stellar Pulsations*. Kovács G, Szabados L, Szeidl B, eds. Budapest: Konkoly Observatory, 1988: 45
- [12] Smith H A. *RR Lyrae Stars*. Cambridge: Cambridge Univ Press, 1995: 102
- [13] Kovács G. *Astrophysics and space science library*. Takeuti M, Sasselov D D, eds. Dordrecht: Kluwer, 2001: 61
- [14] Shibahashi H. *ASP Conference Series*. Szabados L, Kurtz D, eds. 2000, 203: 299
- [15] Dziembowski W A, Mizerski T. *Acta Astron*, 2004, 54: 363
- [16] Stothers R B. *ApJ*, 2006, 652: 643
- [17] Szeidl B. *Commun Konkoly Obs*, 1965, 58: 1
- [18] Szeidl B. *Commun Konkoly Obs*, 1973, 63: 1
- [19] Kinman T D, Wong-Swanon B, Wenz M, Harlan E A. *AJ*, 1984, 89: 1200
- [20] Moskalik P, Poretti E. *A&A*, 2003, 398: 213
- [21] Moskalik P, Olech A. *Commun. Asteroseismol*, 2008, 157: 345
- [22] Jurcsik J, Sódor Á, Szeidl B, et al. *MNRAS*, 2009, 400: 1006

- [23] Sódor Á, Jurcsik J, Molnár L, et al. ASP Conference Proceeding. Shibahashi H, Takata M, ASLynas-Gray A E, eds. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific. 2012, 462: 228
- [24] Kolenberg K, Szabó R, Kurtz D W, et al. ApJL, 2010, 713: L198
- [25] Nemeč J M, Cohen J G, Ripepi V, et al. ApJ, 2013, 773: 181
- [26] Alcock C, Allsman R, Alves D R, et al. ApJ, 2000, 542: 257
- [27] Alcock C, Alves D R, Becker B, et al. ApJ, 2003, 598: 597
- [28] Kolenberg K. Journal of Phys: Conf Ser, 2008, 118: 1
- [29] Benkó J M, Szabó R, Paparó M, et al. MNRAS, 2011, 417: 974
- [30] Kolenberg K, Guggenberger E, Medupe T, et al. MNRAS, 2009, 396: 263
- [31] Jurcsik J, Sódor Á, Váradi M, et al. A&A, 2005, 430: 1049
- [32] Hurta Zs, Jurcsik J, Szeidl B, et al. AJ, 2008, 135: 957
- [33] Jurcsik J, Sódor Á, Hurta Zs, et al. MNRAS, 2008, 391: 164
- [34] Chadid M, Benkó J M, Szabó R, et al. A&A, 2010, 510: A39
- [35] Jurcsik J, Szeidl B, Sódor Á, et al. AJ, 2006, 132: 61
- [36] Jurcsik J, Sódor Á, Szeidl B, et al. MNRAS, 2009, 393: 1553
- [37] Benkó J M, Kolenberg K, Szabó R, et al. MNRAS, 2010, 409: 1585
- [38] Guggenberger E, Kolenberg K, Nemeč J M, et al. MNRAS, 2012, 424: 649
- [39] Sódor Á, Hajdu G, Jurcsik J, et al. MNRAS, 2012, 427: 1517
- [40] Jurcsik J, Szeidl B, Nagy A, Sódor Á. AcA, 2005, 55: 303
- [41] Le Borgne J F, Klotz A, Poretti E, et al. AJ, 2012, 144: 39
- [42] Sódor Á, Jurcsik J, Szeidl B, et al. MNRAS, 2011, 411: 1585
- [43] LaCluyzé A, Smith H A, Gill E M, et al. AJ, 2004, 127: 1653
- [44] Sódor Á, Vida K, Jurcsik J, et al. IBVS, 2006, 5705: 1
- [45] Szczygiel D M, Fabrycky D C. MNRAS, 2007, 377: 1263
- [46] Skarka M. A&A, 2013, 549: 101
- [47] Wils P, Lloyd C, Bernhard K. MNRAS, 2006, 368: 1757
- [48] Wils P, Kleidis S, Broens E. MNRAS, 2008, 387: 783
- [49] Detre L, Szeidl B. IBVS, 1973, 764:1
- [50] Kolenberg K, Smith H A, Gazeas K D, et al. A&A, 2006, 459: 577
- [51] Kolenberg K, Bryson S, Szabó R, et al. MNRAS, 2011, 411: 878
- [52] Jurcsik J, Benkó J M, Szeidl B. A&A, 2002, 396: 539
- [53] Szabó R, Kolláth Z, Molnár L, et al. MNRAS, 2010, 409: 1244
- [54] Sódor Á, Jurcsik J, Szeidl B. MNRAS, 2009, 394: 261
- [55] Jurcsik J, Hurta Zs, Sódor Á, et al. MNRAS, 2009c, 397: 350
- [56] Chadid M, Wade G A, Shorlin S L S, et al. A&A, 2004, 413: 1087
- [57] Kolenberg K, Bagnulo S. A&A, 2009b, 498: 543
- [58] Smolec R, Moskalik P, Kolenberg K, et al. MNRAS, 2011, 414: 2950
- [59] Jurcsik J, Sódor Á, Hajdu G, et al. MNRAS, 2012, 423: 993
- [60] Cox A N. Proc IAU Colloq 139. Nemeč J M, Matthews J M, eds. Cambridge: Cambridge Univ Press, 1993: 409
- [61] Van Hoolst T, Dziembowski W A, Kawaler S D. MNRAS, 1998, 297: 536
- [62] Nowakowski R M, Dziembowski W A. Astrophysics and Space Science, 2003, 284: 273
- [63] Nowakowski R M, Dziembowski W A. Acta Astron, 2001, 51: 5
- [64] Stothers R B. PASP, 2010, 122: 536
- [65] Kovács G. AIPC, 2009, 1170: 261
- [66] Buchler J R, Goupil M J. ApJ, 1984, 279: 394
- [67] Buchler J R, Kolláth Z. ApJ, 2011, 731: 24

The Blazhko Effect of RR Lyrae Variables

HUANG Zhi-hua¹, FU Jian-ning¹, Sódor Adam^{2,3}

(1. Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Koninklijke Sterrenwacht van België, Ringlaan 3, B-1180 Brussels, Belgium; 3. Konkoly Observatory, RCfAES, HAS, Hungary)

Abstract: The Blazhko effect, the amplitude and/or phase modulation of the light curves of a fraction of the RR Lyrae variables, was discovered more than one century ago. Extensive observational and theoretical studies of the Blazhko effect have been done since then, yet the physical reason of the effect is still unknown. Specifically, with the help of high precision and long-time coverage data from space telescopes such as Kepler and CoRoT telescopes, a lot of new observational properties of the Blazhko effect have been revealed. Statistics on the incidence rate of the Blazhko stars among the RR Lyrae variables show that the Blazhko effect is quite common. The Blazhko modulation itself is not periodic or regular in many Blazhko RR Lyrae stars, which is in contradiction with traditional definition of the effect. Physical parameters of the Blazhko variables vary among different Blazhko cycles. Moreover, RR Lyrae variables might not be purely radial pulsating stars as non-radial modes are suspected in several Blazhko stars. We first summarize the observational progress in the Blazhko effect of the RR Lyrae variables over the past decades, then we review the existing theoretical models in the literature. We conclude that none of the current models can explain all the observational properties. As such, theoretic studies of the Blazhko effect deserve much attention.

Key words: RR Lyrae variables; Blazhko effect; light curve; phase modulation