

太阳系外行星的凌星观测研究*

张记成[†] 曹 晨[†] 宋 楠 王飞格 张晓彤

(山东大学威海分校空间科学与物理学院 威海 264209)

摘要 为对太阳系外行星的物理参数进行更精确估算, 利用山东大学威海天文台 / 威海市天文台的 1 m 反射望远镜, 对 7 颗已知具有行星系统的恒星: TrES-1、TrES-3、XO-2、WASP-1、WASP-2、WASP-3、HAT-P-7, 进行了凌星现象的观测研究. 介绍观测和数据处理的基本情况, 给出凌星光变曲线结果及由之推算出的一些行星参数. 在总结结果并加以分析的同时, 展望下一步将进行的更为深入细致的研究.

关键词 行星与卫星; 探测, 技术; 光度计, 技术; 其它诸多方面

中图分类号: P 125; **文献标识码:** A

1 引言

当代天文学家对于在银河系的千亿颗恒星周围寻找太阳系外行星, 尤其是类地行星, 有着很高的兴趣与极大的热情. 这一方面得益于人类对于探索地外生命与文明的不懈追求, 另一方面针对这些太阳系外行星的探测及其物理性质的分析, 对于深入理解行星系统的形成与演化机制也有着重要作用. 尽管距 1995 年第 1 颗太阳系外行星飞马座 51b 的探测^[1] 仅有 10 多年, 但随着天文望远镜及辐射探测技术的进步, 此方面的成果得以不断涌现. 对于太阳系外行星系统的探测和分析可采用直接成像、视向速度、天体测量、凌星及微引力透镜等方法实现^[2], 其中凌星方法的原理是当行星在视向方向通过恒星表面时, 恒星光度会发生周期性变化, 通过测量这种变化可以探测行星是否存在并得到较为准确的行星信息. 除了探测并搜寻新的太阳系外行星, 利用凌星观测数据还可以获得由其它探测方法 (如视向速度法等) 难以得到的一些行星物理参数, 如半径和密度等^[3], 而这对于全面而深入地了解该行星的物理性质有着不可替代的作用. 另外即使是对以前已有凌星观测的系外行星系统而言, 新的更为精确的凌星观测数据对于获取精确的行星物理参数, 乃至利用凌星发生时刻与时长的变化 (即 transit-timing variation 方法^[4-7]) 发现新的系外行星的存在等都有着十分重要的意义.

系外行星的凌星观测尽管十分重要, 但由于观测手段和设备的原因, 目前 (截止 2010 年 7 月) 国际上已发现的 400 多颗太阳系外行星中的绝大多数还是由视向速度法得到的, 其中有凌星观测数据的恒星仅有约 90 颗. 目前国际上从事系外行星凌星观测的主要项目

2010-06-07 收到原稿, 2010-11-26 收到修改稿

* 国家自然科学基金项目 (10778701 和 10978014) 资助

[†] zhangjicheng119@gmail.com; caochen@sdu.edu.cn

机构和人员有: SuperWASP (大视场行星搜索) 项目是由英国剑桥大学、基尔大学等多个研究机构组成的系外行星探测项目, 该项目利用位于穆查丘斯罗克天文台的 SuperWASP-North 和南非天文台的 SuperWASP-South 两组望远镜进行巡天观测^[8], 主要目的是通过凌星法寻找相对较亮的系外行星系统. 继 2006 年发现两颗系外行星后^[9], 截止到目前, SuperWASP 项目已经发现了 30 多颗系外行星^[10-11]. HATNet (匈牙利自动望远镜网络) 计划是由哈佛-史密森天体物理中心主导的一个系外行星搜寻网, 由史密森天体物理台的 6 台小望远镜组成, 其主要科学目标是探测系外行星以及寻找比较亮的变星^[12]. 截止到目前该项目已发现了 20 多颗系外行星^[13]. XO 计划^[14] 始于 2003 年 9 月, 在 Maui 岛海拔 10 000 英尺的 Haleakala 山放置两台口径 200 mm 的望远镜, 通过精确的较差测光对较亮的热木星行星凌星现象进行测光观测, 截止到目前, XO 计划已经发现了 5 颗太阳系外行星, 并获取了大量的恒星光变曲线数据. TrES (跨太平洋系外行星搜索计划)^[15] 由洛韦尔天文台的 Edward Dunham、美国国家大气研究中心的 Timothy Brown 和哈佛大学史密森天体物理中心的 David Charbonneau 领导, 利用位于美国帕洛玛天文台、洛韦尔天文台、西班牙加那利群岛的 3 台口径 10 cm 的小望远镜采用凌星法进行系外行星搜索, 至今已成功发现 4 颗系外行星. 英国华威大学的 John Southworth 对同类太阳系外行星的光变曲线^[16]、物理性质^[17]、其他行星以及恒星模型^[18] 进行了深入研究. 麻省理工学院的 Joshua Winn 教授在系外行星凌星模型拟合^[19] 等方面进行了深入细致的研究工作. 我国在系外行星领域的研究工作也已逐步开展, 并取得了一些成绩. 其中, 中国科学院国家天文台的刘玉娟博士等人利用兴隆观测站及日本冈山天体物理天文台(OAO)的望远镜, 通过视向速度法在中等质量晚型巨星 HD173416 周围发现了一颗系外行星, 并给出了该行星的最小质量约是木星质量的 2.7 倍、偏心率为 0.21、半长轴为 1.16 AU 及其轨道周期为 324 d 等特征^[20]. 云南天文台钱声帮研究员等人利用云南天文台的 60 cm、1 m 和 2.4 m 望远镜发现绕白矮星双星转动的系外行星, 该行星大约距离其母星(室女座 QS) 4.2 AU, 并计算出该行星的最小质量约为木星质量的 6.4 倍, 轨道周期为 7.9 yr, 这种绕白矮星双星转动的系外行星尚属首次发现^[21]. 云南天文台王晓彬等人在 2006、2007 年利用云南天文台 1 m 望远镜, 对 SuperWASP 项目的 3 个观测目标进行了测光观测和数据处理分析, 利用马尔可夫链蒙特卡罗方法分析得到了一些目标星的基本参数, 证实了其中一个目标(WASP-1b)为可能的系外行星候选体, 为 SuperWASP 项目后随观测目标的选择提供了数据支持^[22-24]. 此外, 中国科技大学天体物理中心、美国佛罗里达大学天文系、南京大学天文系和云南天文台联合的 LiJET (丽江系外行星追踪者) 计划将进行系外行星的探测, 其视向精度预计能达到 1 m/s, 可探测到类似海王星的太阳系外行星, 并可以用于多行星系统的测量和认证. 虽然国内外已经有不少小组在从事系外行星凌星观测方面的工作, 但是由于目前国际上凌星观测研究方向的天文学家将主要精力集中在利用大视场巡天望远镜搜寻新的太阳系外行星, 对已发现具有行星系统的恒星进行细致而连续的凌星观测研究显得略少. 因此, 利用专业水平的较大口径望远镜对已发现有行星系统的恒星进行细致长期的凌星观测研究显得尤为重要.

基于以上情况, 从 2008 年 12 月开始, 本文作者利用山东大学威海天文台 / 威海市天文台的 1 m 反射式望远镜与 PI PIXIS 2048B 2048×2048 CCD 相机, 对多颗已探知具

有行星系统的恒星进行了长期的凌星监测, 成功取得了 7 颗系外行星凌星过程的 12 条光变曲线, 并分别对行星的半径、轨道倾角等参数进行了估算. 本文将介绍该项目观测的基本情况, 给出凌星光变曲线以及由之推出的一些行星参数, 最后对未来此方面的研究进行展望.

2 观测与数据处理

本项研究利用山东大学威海天文台的 1 m 反射望远镜和终端的辐射探测器件 (PI CCD), 对已知具有行星系统的恒星进行连续的光变测量, 使用 IRAF 和 MaxIM DL 软件进行数据处理与分析, 得出太阳系外行星发生凌星现象时的光变曲线, 进而对行星的一些物理参量进行估算.

2.1 观测仪器与设备

山东大学威海天文台 / 威海市天文台由山东大学、国家天文台和威海市联合共建, 于 2007 年 6 月 9 日正式落成. 天文台位于山东大学威海分校玛珈山, 分东西两座天文台, 其中西天文台内为德国 APM 公司制造的口径 1 m 的赤道式反射望远镜. 该望远镜光路为卡塞格林系统, 系统焦比 $f/8$, 机械结构为赤道叉式结构, 指向精度优于 $10''$ (RMS), 跟踪精度在 5 min 内盲导星时小于 $0.6''$ (RMS). 滤光片为 ACE 公司生产的 UBVRI 和 uvby 系统. CCD 相机为美国 PI 公司生产的 PIXIS 2048B 2048 \times 2048 背照式深度热电空气制冷 CCD. 另外山东大学中阶梯光栅高分辨率光谱仪的安装调试工作已在 2010 年 5 月基本完成, 并已顺利通过验收, 该设备将被用于视向速度法搜索太阳系外行星、恒星大气及化学丰度分析等科学研究领域.

2.2 观测源选择与观测策略

为了提高观测效率并检验威海天文台 1 m 望远镜对凌星的观测能力, 我们利用网络数据库在已发现有行星系统的恒星中筛选出适合威海天文台观测的 20 余颗候选目标, 筛选标准: 凌星发生的几率和预测变幅较大、目前观测数据较少、位置适于威海天文台观测等. 继而, 对每个候选观测源利用国际凌星观测网站提供的凌星事件发生的预测时刻, 在预测时间之前 0.5~1.5 h 安排仪器开始观测, 使用 V 滤光片, 根据源的亮度确定合适的曝光时间, 最后在预测凌星事件结束 0.5~1.5 h 后停止观测, 防止因为预测时间不准确造成观测源凌星过程未拍摄完整.

从 2008 年 12 月至 2009 年 8 月底, 我们在 20 多夜的观测时间里, 共观测了 50 余个预测的系外行星凌星事件, 成功探测到 7 颗系外行星的 12 次凌星现象. 由于天气以及观测源位置的限制, 有些待测源并未能观测到完整的凌星光变曲线, 但数据仍有一定的参考与利用价值. 表 1 中列出了成功观测到的 12 次凌星现象的详细信息, 其中第 1 列观测日期中的 “*” 表示未能获得完整的凌星光变曲线, 第 4 列凌星起止时间的预测来自 “国际系外行星及候选体凌星” (TRESCA, TRansiting ExoplanetS and CAandidates) 的数据网站: <http://var2.astro.cz/EN/tresca/transits.php>.

表 1 观测日志
Table 1 Observing log

Observed date (yyyy-mm-dd)	Planet name (data number)	Observed time (UT+8)	Predicted transit time (UT+8)
2008-12-11	XO-2b (327)	22:22~27:59	22:49~25:28
2009-04-16	TrES-3b (116)	24:56~28:29	25:55~27:12
2009-04-21*	XO-2b (160)	19:21~21:30	17:58~20:37
2009-04-21*	HAT-P-7b(235)	25:35~28:36	25:58~29:50
2009-05-03	TrES-3b (108)	24:27~27:23	25:25~26:43
2009-05-04*	XO-2b (128)	19:33~21:36	19:53~22:32
2009-06-10	TrES-3b (158)	22:07~27:47	22:31~23:48
2009-07-31*	TrES-3b (101)	20:12~22:18	21:07~22:24
2009-07-31*	TrES-1b (156)	23:13~27:34	24:27~26:55
2009-08-01	WASP-3b (325)	20:19~24:13	21:10~23:53
2009-08-30	WASP-1b (299)	23:01~28:41	23:07~26:46
2009-08-30	WASP-2b (184)	19:21~22:59	20:58~22:43

2.3 观测数据预处理与孔径测光

获取凌星观测数据后, 进行数据前期的预处理, 由于 CCD 在工作过程中本身的热电子噪声、CCD 像素间灵敏度的差异等因素而引入了附加效应, 因此观测所得到的 CCD 图像并未完全真实地反映所拍摄天区的情况. 为了消除这些附加效应, 首先要对图像进行预处理, 包括零场校正、暗场校正和平场校正. 正常观测时一般拍摄多幅零场、暗场和平场图像, 校正前将多幅图像分别用 imred/ccdred 包下的 zerocombine、darkcombine、flatcombine 对零场、暗场和平场图像进行合并, 然后再对目标图像用 ccdproc 命令进行校正, 其步骤如下:

- (1) 对暗场图像做零场校正;
- (2) 对平场图像做零场和暗场校正;
- (3) 对目标图像做零场、暗场和平场校正.

预处理过程中详细参数的设置可参考文献 [25].

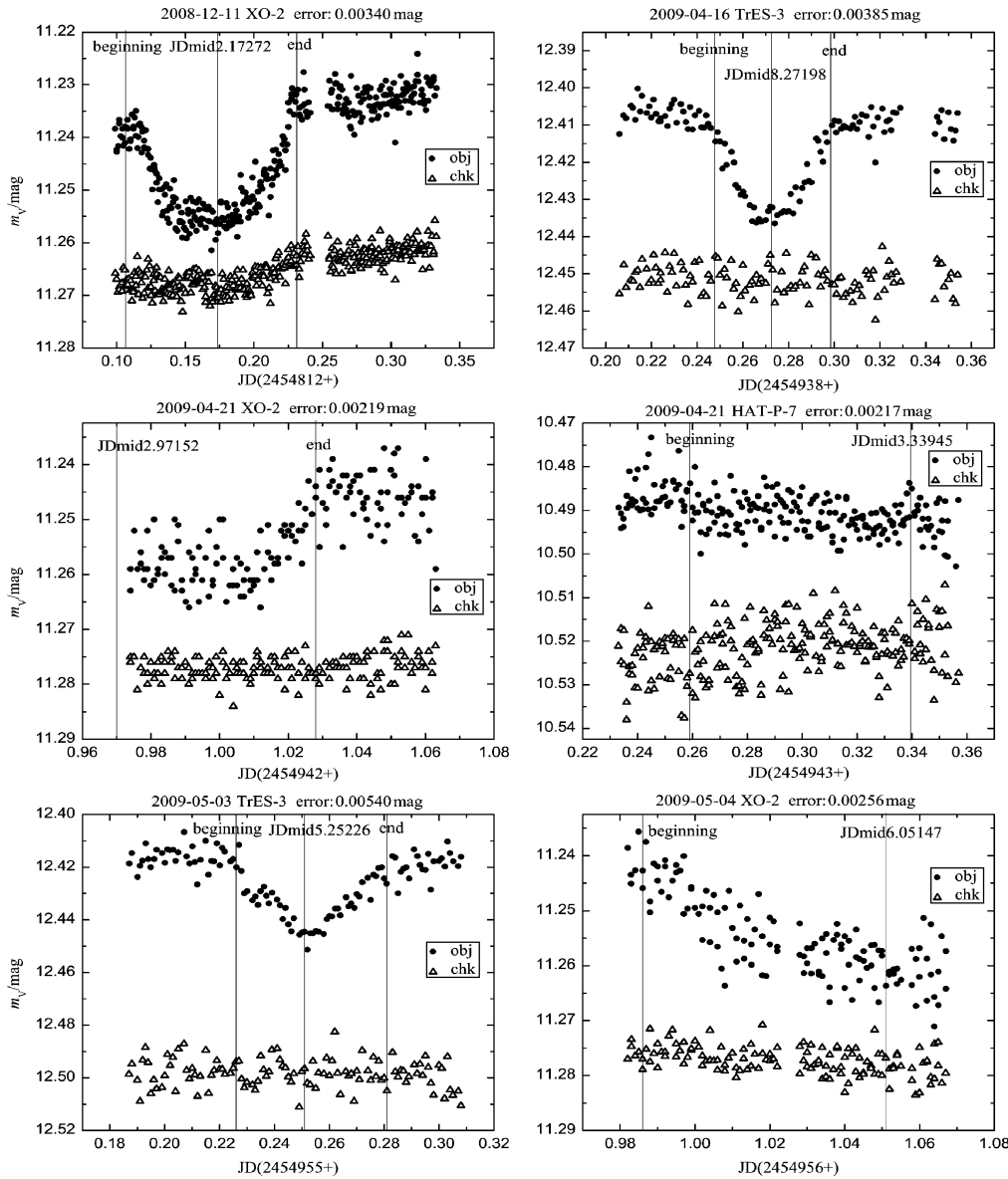
进行完这些预处理阶段的工作之后, 利用 MaxIM DL 软件对待测恒星、周围的比较星及校验星进行较差测光, 一般选取视场中两颗与主星亮度相近的参考星和一颗校验星. 参考星和校验星的位置、星等等信息来自 SIMBAD 以及 USNO 在线星表. 较差测光过程中, 要根据实际情况剔除由于天气或观测原因而不可用的图像. 应用 MaxIM DL 进行较差测光步骤如下: 运用 MaxIM DL 打开预处理后的图像, 利用 photometry 命令进行目标星、参考星和校验星的选择, 手动写入查到的参考星的星等并设置测光的孔径值. 设置完毕、进行测光后可以得到目标星、参考星和校验星的星等值. 最后, 得出待测恒星与校验星的光变曲线, 分别用于分析凌星事件和估计相对测光精度.

3 凌星光变曲线

在成功观测到凌星事件并利用孔径较差测光方法得到待测恒星的光变曲线后, 我们

将此数据即时上传到 TRESKA 网站，以便进一步进行分析和国际数据共享。

图 1 中给出了上述 12 次太阳系外行星凌星过程的光变曲线。横轴是儒略日，纵轴是 V 波段的星等值 (m_V)。其中实心圆点表示待测系外行星主星 (obj)，空心三角形表示校验星 (chk)(为了方便比较，对校验星的星等值进行了相应的平移)。图中标出了通过实测光变曲线拟合得到的凌星的开始时刻、结束时刻和中间 (JDmid) 时刻，同时还给出了较差测光的相对精度值。



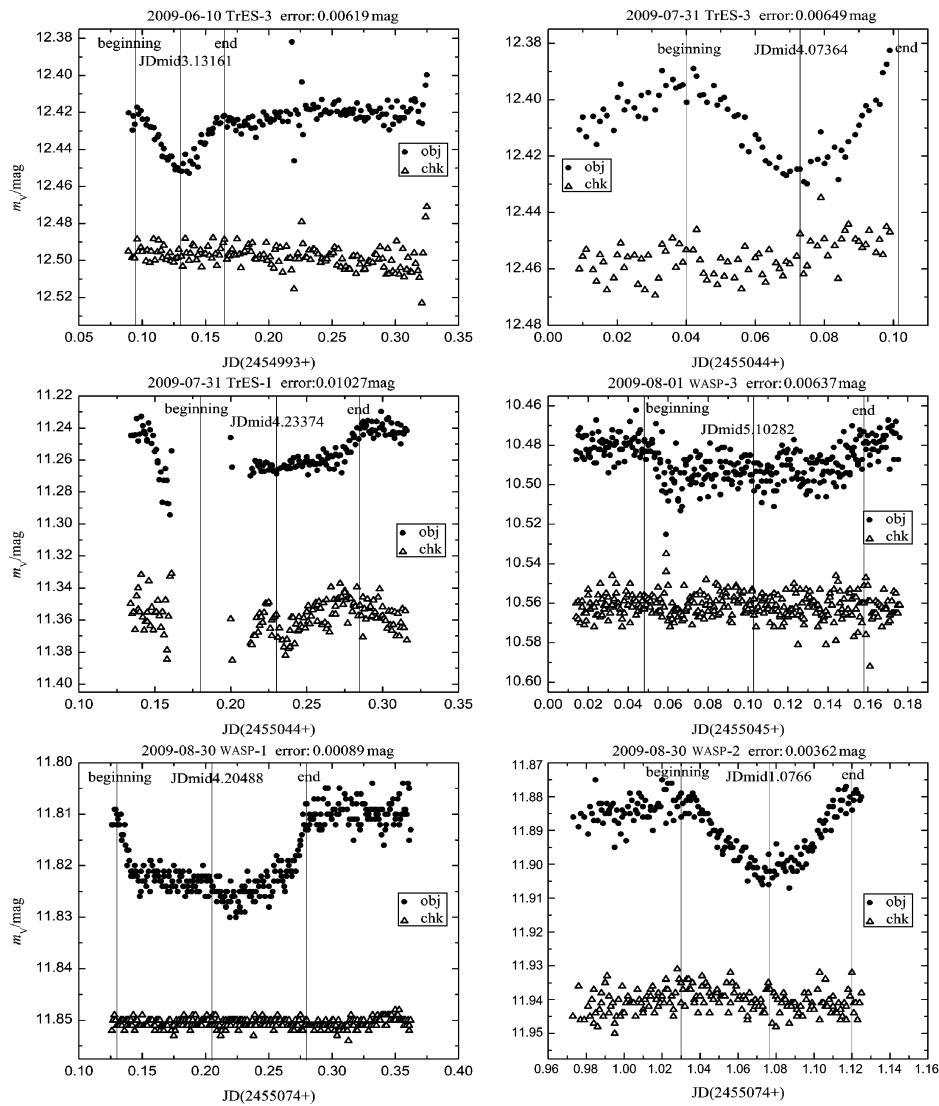


图 1 太阳系外行星凌星过程的光变曲线

Fig. 1 Light curves of transits of extrasolar planets

由于 HAT-P-7b 的凌星深度较小, 仅约 $7 \text{ mmag}^{[26]}$, 并且山东大学威海天文台所在地灯光污染较为严重, 小变幅凌星现象观测基本上达到了望远镜的观测极限, 因此图中显示的凌星现象不明显, 同时这也从侧面反映出了山东大学威海天文台 1 m 望远镜的观测精度.

4 行星参数估算与比较

利用凌星方法可以很好地对行星的半径进行精确的测定, 继而结合利用视向速度方

法得到的行星质量, 可估算出行星的密度. 对同一行星的多次凌星观测后进行数据统计工作有助于对其参数进行更为准确的估算.

4.1 对于数据的光变曲线进行模型拟合

在得出凌星光变曲线后, TRESKA 网站对于光变曲线进行数据模型拟合, Poddaný 等^[27] 给出模型拟合方法如下:

对于上传的光变曲线的原始观测数据, 假设观测的数据包括在 t_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) 时刻的相对星等 $m(t_i)$, 将数据利用以下公式进行模拟:

$$m(t_i) = A - 2.5 \lg F(z[t_i, t_0, D, b], p, c_1) + B(t_i - t_{\text{mean}}) + C(t_i - t_{\text{mean}})^2, \quad (1)$$

其中 $F(z, p, c_1)$ 是主星 (恒星) 的相对流量值, 由行星凌星现象导致其变化. $p = R_P/R_*$ 是行星与其主星的半径比, R_* 为恒星半径 (理论值由 TRESKA 网站给出), R_P 为行星半径, 并且 R_P 远小于 R_* ($p \leq 0.2$). 恒星临边昏暗通过系数为 c_1 的线性方程进行拟合. 预计的行星相对恒星的距离为 z . 设定 t_0 为凌星中间时刻; D 为整个凌星现象持续时间; 将行星运动轨迹模拟为穿过恒星盘的直线, 用参数 $b = a \cos I / R_*$ 表示, 其中 a 为行星轨道半长径, I 为轨道倾角; 通过以上设定可计算每个 t_i 时刻的函数 $z[t_i, t_0, D, b]$. 采用 occultsmall 程序^[28] 进行 $F(z, p, c_1)$ 的计算. (1) 式中的变量 A 描述了星等的零点漂移, 变量 B 和 C 描述了数据的系统变化趋势. 利用观测时间平均值 $t_{\text{mean}} = \sum t_i / N$ 的一次项和二次项的计算来减少数值误差. 其中没有做明确的大气质量曲率修正, 因为一般二次多项式在大多数情况下是足够的.

4.2 对于行星参数的估算

利用凌星法对系外行星探测研究的主要目标是得到凌星中间时刻 t_0 、持续时间 D 、凌星深度 ΔF . 这些重要参数可以通过 (1) 式中模型拟合后得到. 通过凌星法能够较为准确估算的行星几何参数为行星半径和轨道倾角. TRESKA 网站给出下列方法求其参数.

行星半径由以下公式算得:

$$\Delta F = \frac{F_* - F_t}{F_*} = \frac{\pi R_*^2 I_* - (\pi R_*^2 I_* - \pi R_P^2 I_*)}{\pi R_*^2 I_*} = \left(\frac{R_P}{R_*}\right)^2, \quad (2)$$

其中 ΔF 为凌星深度, F_* 为非凌星时刻的恒星总流量, F_t 为凌星时的恒星流量, I_* 为恒星强度.

轨道倾角可以由行星凌星总时间 t_z 和行星公转周期 P (理论值由 TRESKA 网站给出) 得到, 具体公式为

$$I = \arccos \sqrt{\frac{(R_* + R_P)^2}{a^2} - \sin^2 \frac{t_z \pi}{P}}. \quad (3)$$

我们对所有 12 次凌星观测的数据进行汇总. 表 2 中分别列出了 12 次凌星现象观测的观测数据及由上述模型和公式拟合计算得到的部分行星参数. 第 1 列观测日期中的“*”表示未能获得完整的凌星光变曲线 (同时无法给出凌星持续时间), 第 3 列与之对应的“——”表示由于凌星光变曲线不完整而无法得到整个凌星现象持续时间 D , 第 7 列数

据质量 (DQ) 由 TRESKA 网站给出 (1~5 范围内数据质量由最好到最差). 第 9、10 列行星参数数值由 TRESKA 网站给出.

表 2 凌星观测数据及行星参数

Table 2 Observed data of extrasolar planets' transits and planetary parameters

Planet name (Observed date)	t_0 (UT)	D (min)	ΔF (mmag)	I ($^\circ$)	R_* (R_\odot)	DQ	Measured R_P (R_{Jup})	R_P (R_{Jup})	a (AU)
XO-2b(2008-12-11)	16:08:43	176±2.9	15.3±0.4	90.00±0.00	0.976±0.024	2	1.113 ^{+0.014} _{-0.015}	0.973±0.03	0.0368±0.0004
TrES-3b(2009-04-16)	18:31:39	79.5±1.8	25.4±0.7	81.92±0.19	0.813±0.027	1	1.207 ^{+0.016} _{-0.017}	1.295±0.081	0.0226±0.0013
XO-2b(2009-04-21*)	11:18:59	---	16.8±1.9	88.20±0.24	0.976±0.024	3	1.166 ^{+0.064} _{-0.067}	0.973±0.03	0.0368±0.0004
HAT-P-7b(2009-04-21*)	20:08:48	---	3.9±1.3	88.63±1.37	1.840±0.230	5	1.076 ^{+0.166} _{-0.197}	1.421±0.144	0.0379±0.0004
TrES-3b(2009-05-03)	18:03:15	81.8±2.9	23.9±1.1	82.20±0.34	0.813±0.027	2	1.171 ^{+0.026} _{-0.027}	1.295±0.081	0.0226±0.0013
XO-2b(2009-05-04*)	13:14:07	---	9.9±1.7	89.77±0.73	0.976±0.024	3	0.897 ^{+0.074} _{-0.080}	0.973±0.03	0.0368±0.0004
TrES-3b(2009-06-10)	15:09:31	75.5±2.1	24.0±0.9	81.63±0.21	0.813±0.027	2	1.173 ^{+0.022} _{-0.022}	1.295±0.081	0.0226±0.0013
TrES-3b(2009-07-31*)	13:46:02	---	36.4±2.3	81.39±0.07	0.813±0.027	2	1.1441 ^{+0.044} _{-0.046}	1.295±0.081	0.0226±0.0013
TrES-1b(2009-07-31*)	17:36:35	---	21.0±2.3	88.53±0.20	0.820±0.020	3	1.108 ^{+0.058} _{-0.062}	1.081±0.029	0.0393±0.007
WASP-3b(2009-08-01)	14:28:03	162±3.9	14.7±1.0	84.32±0.64	1.310±0.120	3	1.483 ^{+0.049} _{-0.051}	1.31±0.12	0.0317±0.0001
WASP-1b(2009-08-30)	16:55:01	223±1.8	15.2±0.5	90.00±0.00	1.382±0.100	2	1.591 ^{+0.026} _{-0.026}	1.358±0.1	0.0382±0.0013
WASP-2b(2009-08-30)	13:50:18	101.6±2	18.1±0.7	84.57±0.16	0.834±0.063	2	1.047 ^{+0.020} _{-0.020}	1.017±0.082	0.03138±0.00142

从表 2 中可看出, 对于获得完整凌星光变曲线的目标源而言, 其行星半径的计算值在误差范围内与参考值是较为符合的, 少数数值差距较大, 主要是数据质量不理想或者由于轨道倾角的估计与参考值偏差较大所致.

计算其中 4 次观测的 TrES-3b 的半径平均值 $\bar{R}_P = \sum_{i=1}^4 R_{Pi}/4 = 1.248 \pm 0.129 R_{Jup}$, 3 次观测的 XO-2b 的半径平均值 $\bar{R}_P = \sum_{i=1}^3 R_{Pi}/3 = 1.059 \pm 0.142 R_{Jup}$. 从中可看出对同一行星进行多次凌星观测可对其半径值进行更精确的估算.

5 总结与展望

本文利用山东大学威海天文台的 1 m 望远镜, 对 7 颗太阳系外行星进行了凌星观测研究, 得到了 12 条凌星光变曲线, 并据此估算了行星的半径数值. 通过近 1 yr 的观测研究, 我们已经建立了一套对于已知具有行星系统的恒星进行高效凌星观测的流程与方案, 并对得到的光变曲线进行了初步分析. 下一步, 在继续积累凌星数据的基础上, 我们将对行星参数 (如半径和倾角等) 进行更精确的测定, 并利用多次观测的 transit-timing variation 方法尝试寻找新的系外行星; 另外, 我们还将继续尝试对尚未有凌星观测数据的系外行星进行探测, 并利用已成功安装在山东大学威海天文台 1 m 和兴隆 2.16 m 望远镜上的光纤引导高色散阶梯光谱仪对采用视向速度法发现的系外行星候选体进行后随观测研究.

致谢 感谢审稿专家的意见与建议. 感谢山东大学威海分校胡绍明、尹红星、石维彬、郭迪福、冯士伟、艾佳明、张长明等老师在观测与数据处理方面的支持与帮助, 以及杨璐、徐伟伟同学的前期协助. 感谢中国科学院国家天文台赵刚研究员、刘玉娟博士及博士生王靓的帮助与讨论.

参 考 文 献

- [1] Mayor M, Queloz D. *Natur*, 1995, 378: 355
- [2] 刘玉娟, 赵刚. *天文学进展*, 2005, 23: 226
- [3] Seager S. *SSRv*, 2008, 135: 345
- [4] Agol E, Steffen J, Sari R, et al. *MNRAS*, 2005, 359: 567
- [5] Holman M J, Murray N W. *Sci*, 2005, 307: 1288
- [6] Rabus M, Deeg H J, Alonso R, et al. *A&A*, 2009, 508: 1011
- [7] Gibson N P, Pollacco D, Simpson E K, et al. *ApJ*, 2009, 700: 1078
- [8] Pollacco D L, Skillen I, Cameron A C, et al. *Ap&SS*, 2006, 304: 253
- [9] Cameron A C, Bouchy F, Hebrard G, et al. *MNRAS*, 2007, 375: 951
- [10] Herrero E, Morales J C, Ribas I, et al. *A&A*, 2011, 526: 10
- [11] Barros S C C, Faedi F, Collier C A, et al. *A&A*, 2011, 525: 54
- [12] Bakos G A, Noyes R W, Kovács G, et al. *ApJ*, 2007, 656: 552
- [13] Hartman J D, Bakos G A, Kipping D M, et al. *ApJ*, 2011, 728: 138
- [14] McCullough P R, Stys J E, Valenti J A, et al. *PASP*, 2005, 117: 783
- [15] Alonso R, Brown T M, Torres G, et al. *ApJ*, 2004, 613: 153
- [16] Southworth J. *MNRAS*, 2008, 386: 1644
- [17] Southworth J. *MNRAS*, 2009, 394: 272
- [18] Southworth J. *MNRAS*, 2010, 408: 1689
- [19] Winn J N. *arXiv:1001.2010*
- [20] Liu Y J, Bun'ei S, Zhao G, et al. *RAA*, 2009, 9: 1
- [21] Qian S B, Liao W P, Zhu L Y, et al. *MNRAS*, 2010, 401: 34
- [22] Gu S H, Collier Cameron A, Wang X B, et al. *IAUS*, 2008, 249: 83
- [23] Wang X B, Collier Cameron A, Gu S H, et al. *IAUS*, 2008, 249: 85
- [24] Collier Cameron A, Wilson D M, West R G, et al. *MNRAS*, 2007, 380: 1230
- [25] 胡绍明, 宋立强, 彭朝阳, 等. *云南师范大学学报: 自然科学版*, 2004, 24: 32
- [26] Winn J N, Johnson J A, Albrecht S, et al. *ApJ*, 2009, 703: 99
- [27] Poddaný S, Brát L, Pejcha O. *NewA*, 2010, 15: 297
- [28] Mandel K, Agol E. *ApJ*, 2002, 580: 171

A Research on Observations of Transits of Extrasolar Planets

ZHANG Ji-cheng CAO Chen SONG Nan WANG Fei-ge ZHANG Xiao-tong
(*School of Space Science and Physics, Shandong University at Weihai, Weihai 264209*)

ABSTRACT By using the 1-m reflecting telescope at Weihai Observatory of Shandong University, the transit observations of seven stars are carried out to accurately estimate the physical parameters of extrasolar planets. These seven stars, including TrES-1, TrES-3, XO-2, WASP-1, WASP-2, WASP-3 and HAT-P-7, are known to have planetary systems. We will introduce the observations and data reduction, show the light curves of the transits of extrasolar planets and present some derived physical parameters. After analyzing the light curves of transits, a more intensive research in the next stage is anticipated.

Key words planets and satellites: detection, techniques: photometric, techniques: miscellaneous