

小行星光变观测

刘君达

原文经修改后刊载于《天文爱好者》杂志 2016 年第 2 期。
未经许可，请勿转载！！若有问题，欢迎与作者联系。本人邮箱：824841086jdl@gmail.com，QQ:824841086。

一、序言

1801 年元旦，意大利的皮亚齐在众多恒星中发现了一个移动的小小亮点。后来，这个亮点被命名为谷神星（目前，谷神星已被重新归类为矮行星）。从那时开始，小行星，这些太阳系中的碎石块们，就开始进入人们的视野。小行星的研究始终都是天文学家们感兴趣的话题之一。一方面，这对于研究太阳系的起源和演化都有着非常重要的价值；另一方面，由于部分近地小行星存在与地球碰撞的可能，所以研究小行星对于保护地球安全、维护人类生存也有着至关重要的意义。

随着科技的发展，越来越多的专业小行星巡天项目投入使用（如 CSS、Spacewatch、PanSTARRS 等），为搜索对地球有潜在威胁的小行星而工作着。另外，还有多种手段投入对小行星的物理性质分析，如：测光、光谱、掩星、雷达等。将多种手段得到的数据进行整合，可以得到目标小行星较为准确的数据，也可为小行星的空间探测提供前期数据支持。

本文主要介绍利用测光方法观测小行星的光变。通过这种方法，可以得到小行星的自转周期，进而测定小行星的自转轴指向和形状，寻找可能的双小行星等。通过多波段的测光还可以测定小行星的色指数，进而得到小行星的光谱型等参数。观测发现，小行星在较短时间内会有明显的亮度变化。由于在较短时间内小行星与太阳、地球的位置变化可忽略不计，因此，其光变的主要成因是小行星自转和形状不规则共同造成的接受太阳光面积的变化。

截至目前，已有近 70 万颗小行星被发现，其中获得永久编号的有超过 40 万颗。但是仅有一万多颗小行星拥有测光数据。因此，小行星的测光数据库仍需要完善。

按照目前的数据统计，对于直径大于 200 米的小行星而言，自转周期几乎都大于 2.2 小时的“自转禁带”，且主要在 4~10 小时之间。

二、需要的器材

1、口径 100 毫米以上，焦距 500 毫米以上的望远镜，各种光学类型均可（如折射、反射、折反射等）。

2、稳定的赤道仪，需要具备电动跟踪功能，建议配备 GOTO 系统和导星系统。

3、业余冷冻黑白 CCD（如 QHY9、STF-8300、QSI 690 等），由于小行星会相对于背景恒星移动，为保证在观测时间内目标不会移出视场，建议 CCD 配合望远镜的视场应大于 15 角分*15 角分，同时，拍摄时星点的 FWHM 以 2 个像素为宜。

4、滤镜系统。非必需。对于普通爱好者来说，不加滤镜观测亦可。有一定观测经验后，计划深入该领域或是希望多台站数据共享的爱好者，可以考虑配备 UBVRI 标准测光滤镜（注意，不同于深空天体拍摄或行星摄影时使用的 LRGB 滤镜！）Astrodon、Custom Scientific 等厂商有提供。

5、软件：Maxim DL 等控制 CCD 的拍摄软件、星图软件等。

三、目标的选择

访问位于小行星信息网的光变观测候选目标筛选页面，如图 1。
http://www.minorplanet.info/PHP/call_OppLCDBQuery.php

Table Filtering Options		
Results are sorted by order of date of brightest		
Value	Range Low/Selection	Range High/Filter
Number	1 <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="10000"/>
Name	2 <input type="text" value="Any"/>	<input type="text"/>
Year and Month	3 <input type="text" value="2015"/> <input type="text" value="November"/>	Please do not select "All" without using filters and narrowing default ranges.
Family/Group	4 <input type="text" value="All"/>	The family/group definitions are based on the orbital parameters. See Warner <i>et al.</i> (2009; <i>Icarus</i> 202 , 134-146).
Favorable Status	5 <input type="text" value="Ignore"/>	Favorable is one of five brightest apparitions in period 1995-2050
CALL Status	6 <input type="text" value="Ignore"/>	Filter by CALL notification and/or submission postings
LCDB Status	7 <input type="text" value="Ignore"/>	Filter by LCDB entries
Mag Range	8 <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="15"/>
Dec Range	9 <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="90"/>

图 1 目标筛选页面

选填如下筛选信息：

- 1、观测候选目标的编号范围。
- 2、小行星的名称。可不指定名称或指定某一颗特定的小行星。
- 3、观测年月。输入计划观测的年份、月份。
- 4、小行星的族群。可不指定或指定某个特定族群的小行星。
- 5、是否指定“有利观测条件”的目标。“有利观测条件”指筛选出的小行星在观测时处于1995~2050年中五个最亮的时期中的一个。
- 6、是否是他人关注的目标。在网站注册后，可发布自己关注或计划观测的目标。该选项中，可按照自己的喜好选择他人正在关注的目标、正在计划观测的目标或避开他人关注与计划观测的目标。
- 7、周期准确度情况。在小行星测光数据库中，以数字表示目前光变（自转）周期的准确程度，分成无数据、0、1、2、3等情况。数字越大，则周期越准确。这个选项中，可选择暂无数据的目标、数据不准确的目标或是数据准确的目标。
- 8、目标星等范围。参考器材情况选择合适亮度范围的目标。由于对测光精度的要求较高，需要目标信噪比（SNR）至少在40~50左右。因此，请根据实际的器材和观测环境谨慎填写！对于初次观测且处于一般环境（天顶极限星等5等左右）的爱好者，建议选择亮于15等的目标，即输入“0”、“15”。
- 9、目标的赤纬范围。由于目标需要较长时间的观测，为了使目标有较长的可连续观测时间，需根据观测地地理纬度选择赤纬较为合适的目标。对于我国大部分地区而言，可填写“0”、“90”即选择赤纬范围是0°~90°的目标。

提交后，网站会自动调取小行星测光数据库的内容并返回符合条件的目标列表，如图2。

LCDB	Eph	CN	CS	Fav	Num	Name	ODate	OMag	MDate	MDist	BDate	BMag	BDec	PF	Period	AmpMin	AMax	U
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	797	Montana	10 31.3	13.8	10 30.6	1.691	11 01.0	13.8	+17		4.5463	0.32	0.50	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	1398	Donnera	10 28.1	14.4	10 30.9	1.901	11 02.0	14.4	+31		7.23	0.15	0.23	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	Y	257	Silesia	11 02.2	13.0	11 03.0	1.800	11 02.3	13.0	+15		15.7095	0.29	0.30	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	785	Zwetana	11 05.3	13.8	11 04.3	2.097	11 03.3	13.8	+05		8.8882	0.13	0.18	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	331	Etheridgea	11 02.9	13.3	10 31.2	1.804	11 03.4	13.3	+18		13.092	0.05	0.12	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	75	Eurydike	11 03.8	11.2	10 23.0	1.123	11 03.8	11.2	+22		5.357	0.10	0.15	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	1298	Nocturna	11 01.0	14.7	10 30.9	1.763	11 03.8	14.7	+23		34.80		0.11	2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	Y	121	Hermione	11 06.3	11.5	11 01.9	2.046	11 04.7	11.5	+10		5.55128	0.04	0.70	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	1348	Michel	11 06.1	14.4	11 07.9	1.605	11 04.7	14.4	+08		8.095		0.47	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	Y	975	Perseverantia	11 05.2	13.9	11 05.3	1.787	11 05.2	13.9	+16		7.267	0.14	0.23	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	275	Sapientia	11 07.2	13.1	11 09.0	2.036	11 05.9	13.1	+09		14.931	0.05	0.12	3-
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	39	Laetitia	11 11.0	9.4	11 03.2	1.541	11 06.0	9.4	+01		5.138	0.08	0.53	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	982	Franklina	11 04.1	14.7	11 01.2	2.259	11 07.0	14.7	+35	>	16.		0.05	2-
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	Y	406	Erna	11 06.2	13.6	11 01.8	1.542	11 07.4	13.6	+23		8.789		0.35	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	1274	Delportia	11 05.8	15.0	11 07.6	1.487	11 07.5	14.9	+23		5.615	0.05	0.09	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	3987	Wujek	11 07.9	15.0	11 03.4	1.506	11 07.6	14.9	+16					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	Y	1730	Marceline	11 12.7	14.5	11 06.1	1.194	11 08.1	14.5	+03		3.837	0.94	1.00	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	235	Carolina	11 10.1	12.9	11 06.6	2.002	11 08.9	12.9	+12		17.610	0.30	0.38	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	1128	Astrid	11 09.2	14.4	11 06.8	1.838	11 09.1	14.4	+16		10.228		0.29	2+
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	1341	Edmee	11 14.1	14.9	11 08.7	1.979	11 10.2	14.9	+01		23.745	0.22	0.60	2+
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	3640	Gostin	11 08.4	14.6	11 11.7	1.080	11 10.5	14.6	+24		3.2641	0.40	0.47	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	1018	Arnolda	11 10.5	13.1	11 01.8	1.186	11 10.8	13.1	+28		14.617	0.33	0.42	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	N	795	Fini	11 07.8	14.3	11 11.2	2.039	11 10.9	14.3	+32		9.292	0.02	0.06	1+
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Y	N	Y	978	Aidamina	11 14.9	13.4	11 04.6	1.724	11 11.3	13.4	+10		10.099	0.10	0.24	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	103	Hera	11 13.9	11.2	11 08.1	1.677	11 11.4	11.2	+09		23.740	0.35	0.45	3
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N	N	N	936	Kunigunde	11 12.3	14.5	11 05.5	2.060	11 12.0	14.5	+17		8.80		0.25	2

图 2 目标列表

如图，可看见目标的编号、名称等信息。值得注意的是“Period”列、“AmpMin”列及“U”列即前人测定的自转周期（以小时为单位）、最小光变幅度（以星等为单位）和周期的准确程度（数字越大周期越准确）。对于首次观测的爱好者，建议选择周期小于4小时、最小光变幅度大于0.15星等、准确度大于2的目标，以在较短时间内观测到较为明显的光变。

四、观测流程

1、观测前的准备。

到达观测地点后，将设备调试正常，连接 CCD 与拍摄软件，打开 CCD 的制冷功能，设定制冷温度，并使 CCD 达到恒温状态。利用极轴镜或漂移法校准极轴。调节望远镜焦距使成像清晰。

2、目标拍摄。

(1) 参考星图软件，获取目标星的坐标并将其置于视场中心附近。

(2) 为了保证测光精度，需在目标高度角大于 30° 时方可拍摄。

(3) 选择合适的单张曝光时间，使目标星的 SNR 至少优于 40，且不会由于目标相对于背景恒星的移动而脱线。

(4) 设置连续拍摄的张数。拍摄的总时间需尽可能长，最好能长于整个光变周期。

(5) 在观测中，需随时留意仪器运行状况和天气情况，并随时记录并调整仪器。

3、校正场的拍摄。

为了获得尽可能准确的测光数据，需使用暗场、平场、本底对拍摄的原始图像进行改正以尽可能减小数据的误差。校正场的拍摄需在 CCD 的温度与拍摄目标图像时相同，并保持恒温时进行。

(1) 暗场。即使在无光照的条件下 CCD 材料的热电子也会产生电荷，需以扣暗场的方式去除。具体拍摄方法是关闭镜头盖，设置与目标原始图像相同的曝光时间。拍摄 10~20 张。

(2) 平场。拍摄平场是为了减少仪器光学系统不完美、CCD 各像元感光性能的微小差异和 CCD 上的灰尘等问题对原始图像造成的影响。平场的具体拍摄方法是在日落后或日出前的短暂时间内将望远镜对准天顶附近，拍摄 10 张平场，每张平场图像的曝光时间需针对天光情况进行调整，一般在 3~50 秒之间，ADU 计数在满井计数的 $1/3 \sim 1/2$ 左右。每拍摄一张，应略微移动望远镜的位置以在后期合并平场图像时避免亮星的影响。

(3) 本底。本底是指 CCD 每个像素记录的光电荷数的底值。拍摄方法是进行零秒曝光，拍摄一组 50 张。

五、数据处理

可使用 MaxIm DL、MPO Canopus、Mira Pro 等软件对获得的数据进行后期处理和分析，需经过数据预处理和较差测光两个步骤。目前，笔者采用的是 MPO Canopus 软件，考虑到目前使用 MaxIm DL 软件的同好较多，以 MaxIm DL 为例进行说明。

1、数据预处理。

数据预处理即将原始图像减平场、减本底、除平场的过程。具体步骤如下：

(1) 打开 MaxIm DL 5 软件，选择 Process 菜单中的 Set Calibration 选项，选择事先拍摄的暗场、平场、本底图像，如图 3。

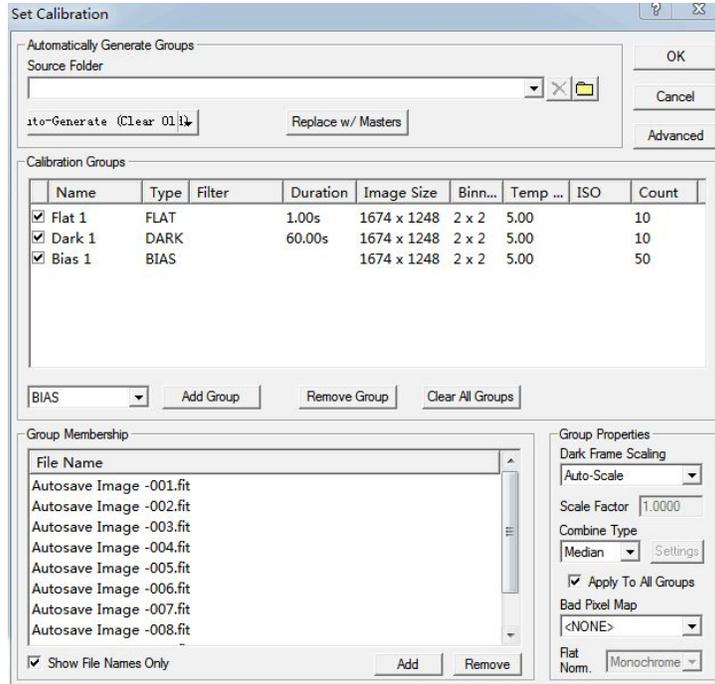


图 3 Set Calibration

(2) 打开目标原始图像。若数量太多可分批打开。点击 Process 菜单中的 Calibrate All，软件会自动对目标图像进行数据预处理工作。

2、较差测光。

较差测光，顾名思义，就是通过对比目标星和已知亮度的比较星的方法得到目标星亮度。如图 4。在 MaxIm DL 中的运行方法如下：

(1) 选择测光孔径。右键，设置 Aperture Radius、Set Gap Width、Set Annulus Thickness。使中间小圆的半径略大于星点半径，外侧两圆组成的圆环内不能有星点，因为圆环的作用是测量背景天光的。

(2) 选择 Analyse 菜单内的 Photometry。

(3) 点击 Photometry 窗体内的“Mouse click as”，选择 New Moving Object，并在第一张图的目标小行星上点击。

(4) 切换到最后一张图，点击“Mouse click as”，选择 Mov1，并在目标小行星上点击，软件会自动将所有图片上的目标小行星标记为“Mov1”。

(5) 选择比较星。点击“Mouse click as”，选择 New Reference Star，在图片上选择一颗亮度与目标小行星接近，且类型与太阳类似的恒星，可参考星表选择合适的比较星，并在 Ref Mag 中输入该比较星的星等。可选择 1~3 颗比较星，多选几颗比较星可使测光结果更为准确。

(6) 选择验证星。点击“Mouse click as”，选择 New Check Star，选择一颗亮星。

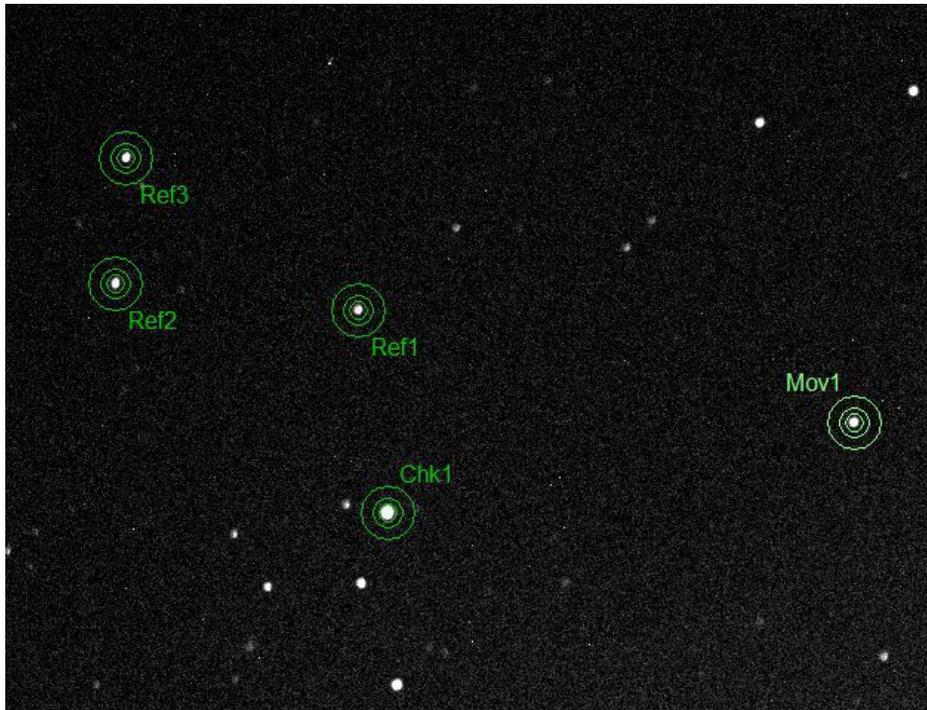


图 4 较差测光示意图

(7) 以上操作全部完毕后，点击 Photometry 窗体内的“View Plot”。光变曲线便会显示，如图 5。点击 Save data 可保存测光文件。

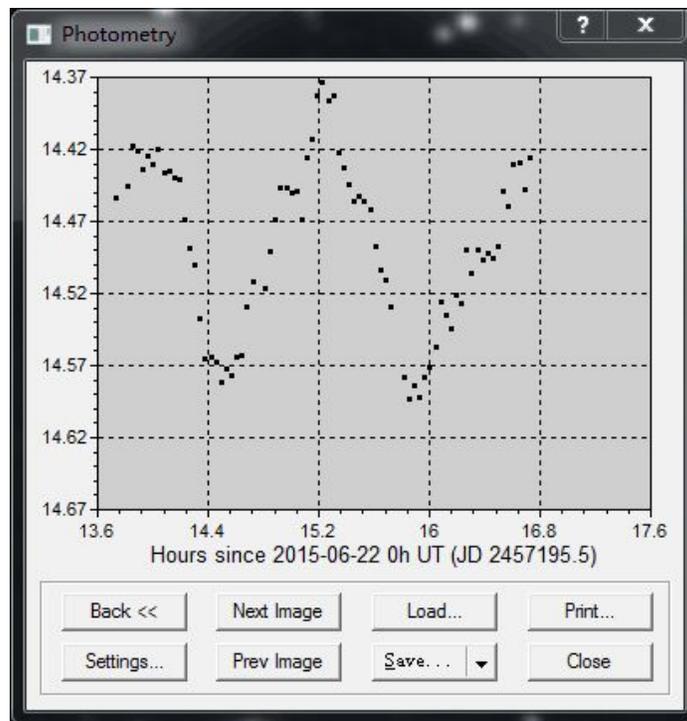


图 5 光变曲线示例

以上就是完整的一次简单的小行星光变观测流程。

当获得覆盖足够长时间的测光数据后,可使用 MPO Canopus 将数据整合,并通过软件中 Alan Harris 编写的周期算法,测定小行星的光变周期(通过简单的修正,即可得到小行星的自转周期),图 6 是笔者测定的小行星 2019 的自转周期。

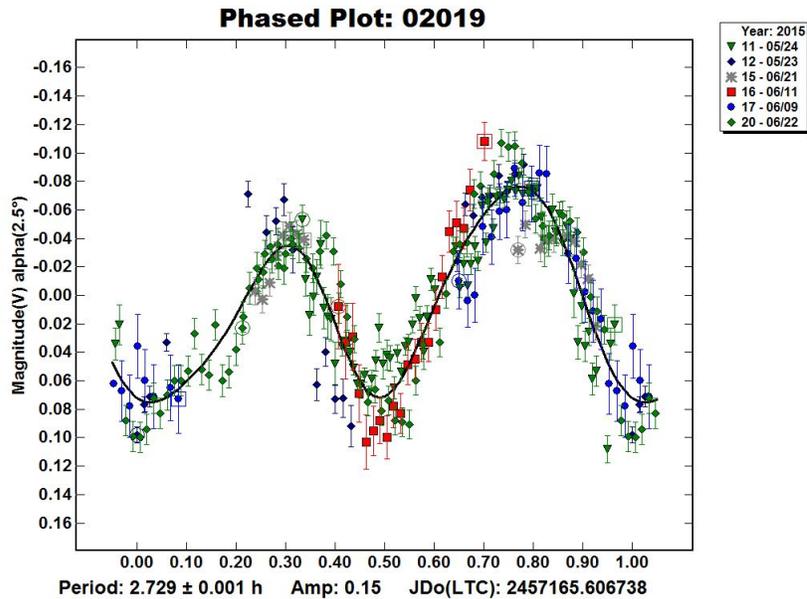


图 6 小行星 2019 的自转周期

目前,笔者在江苏省苏州市的郊区建立了一个简易的远程天文台,在课余时间进行小行星搜索和测光的工作。目前发现了 16 颗小行星,获取了数颗小行星的测光数据并在 Minor Planet Bulletin 上发表了有关结果。交流有关问题或是进行多站合作观测的同好,欢迎和笔者联系。邮箱: 824841086jdl@gmail.com、QQ:824841086。

背景知识

小行星中心: 国际小行星中心(The Minor Planet Center, 简称 MPC), 是一个隶属于国际天文联合会的组织。挂靠在哈佛大学与史密松学会联合建立的哈佛-史密松天体物理中心(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 简称 CfA)。其主要工作是收集小行星及彗星的观测数据、计算并发布小行星与彗星的轨道、发布小行星和彗星的编号或名称。

小行星公报: 小行星公报(The Minor Planet Bulletin, 简称 MPBu), 是美国月球与行星观测者协会(Association of Lunar and Planetary Observers, ALPO)小行星分部出版的一本公开刊物,由 NASA 和美国国家科学基金会赞助,总编是麻省理工学院的 Richard P. Binzel 教授。杂志的内容包括有关小行星的理论、观测和历史信息的研究等,发表的文章以业余爱好者研究成果为主,专业人员的研究为辅。目前,杂志中大多数文章均为小行星光变曲线方面的成果。自 1994 年至今的杂志可在 <http://www.minorplanet.info/mpbdownloads.html> 上下载。

THE MINOR PLANET BULLETIN

BULLETIN OF THE MINOR PLANETS SECTION OF THE ASSOCIATION OF LUNAR AND PLANETARY OBSERVERS

VOLUME 42, NUMBER 4, A.D. 2015 OCTOBER-DECEMBER

235

LIGHTCURVE ANALYSIS OF SIX ASTEROIDS

Alfonso Carreño Garcerán
Zonalunar Observatory (MPC J08)
Puzol, Valencia, SPAIN
observatorio@zonalunar.com

Amadeo Aznar Macías
Isaac Aznar Observatory (MPC Z95)
Ara de los Olmos, Valencia, SPAIN

Enrique Arce Mansiego
Vallbona Observatory (MPC J67)
Pobla Vallbona, Valencia, SPAIN

Pedro Brines Rodríguez
TRZ Observatory (MPC Z98)
Bétera, Valencia, SPAIN

Juan Lozano de Haro
Elche Observatory (MPC I57)
Elche, Alicante, SPAIN

(Received: 2015 May 11 Revised: 2015 June 25)

Photometric observations of six asteroids were made from 2015 March to May. We report the results of our lightcurve analysis for 425 Cornelia, 625 Xenia, 664 Judith, 785 Bredichina, 910 Anneliese, and 1831 Nicholson.

This paper contains the photometric results of six asteroids obtained from 2015 March to April. These asteroids were selected from the Collaborative Asteroid Lightcurve Link (CALL): 425 Cornelia, 625 Xenia, 664 Judith, 785 Bredichina, 910 Anneliese, and 1831 Nicholson.

Five observers, Alfonso Carreño, Amadeo Aznar, Enrique Arce, Pedro Brines, and Juan Lozano all contributed lightcurves with clear filters (see Table I for equipment details). All images were dark and flat field corrected.

Differential photometry measurements were made in *MPO Canonys* (Warner, 2012). The Asteroid Lightcurve Database (LCDB; Warner *et al.*, 2009) contains previously reported results for 425 Cornelia, 625 Xenia, 664 Judith, and 785 Bredichina, but those results are from few years ago, so the results we offer in this paper could be an update for LCDB database.

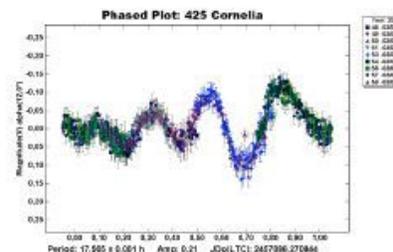
Minor Planet Bulletin 42 (2015)

Available on line <http://www.minorplanet.info/mpbddownloads.html>

Telescope	Observatory	CCD
Refractor 10cm	Zonalunar	AEik 383L+
Cassegrain 35cm	Isaac Aznar	SBIG STL1001E
Cassegrain 25cm	Vallbona	SBIG ST7-XME
R-Christien 20cm	TRZ	QHY8
D-Kirkham 25cm	Elche	SBIG ST9-XME

Table 1: List of instruments used for the observations.

425 *Cornelia* is a main-belt asteroid of 64 km discovered by Auguste Charlois in 1896. A total of 546 data points were obtained over 4 nights during 2015 March 4-7. The solar phase angle was $+12.0^\circ$ and $+13^\circ$ at the start and end of the period. Its magnitude was $V \sim 13.9$. The lightcurve shows a period of 17.505 ± 0.001 h and amplitude of 0.21 mag. The LCDB shows a period of 17.56 h and amplitude of 0.19 mag calculated by Behrend (2004).



625 *Xenia* is a main-belt asteroid of 28.37 km discovered by August Kopff in 1907. 655 points were obtained over 8 nights from 2015 March 14-31. The solar phase angle was -4° and -8° at the start and end of the period. The asteroid's magnitude was about 14.5. The lightcurve shows a period of 21.017 ± 0.001 h and amplitude of 0.21 mag. The LCDB shows a period of 21.101 h calculated by (Worman *et al.*, 2003) and 33.46 h calculated by (Behrend, 2003). We have not been able to test the 33.46 h period because the asteroid is already positioned at very low altitude and it is recommended to continue the analysis in the next opposition. The curve obtained with a period of 21.017 h is consistent with an RMS of 1.706 and a total of 10 sessions from different observatories that corroborate that period.

图 7 小行星公报

小行星测光数据库：小行星测光数据库（Lightcurve Database, LCDB），记录了小行星的自转周期、光谱型、反照率、自转轴指向、形状等数据，目前记录了一万余颗小行星的数据。

小行星信息网（www.minorplanet.info）：资深业余天文学家 Brain D. Warner 主办的一个有关小行星的网站，站内有关于小行星各方面的链接、教程等，内容较为全面。

MPO Canopus: 一个专门用于小行星测光的软件, 可进行数据预处理、较差测光、生成光变曲线、计算自转周期等, 功能全面。小行星公报上的相关成果多由该软件得出, 在该方向兴趣较为浓厚的同好可考虑购买, 价格为 65 美元, 链接如下:

<http://bdwpublishing.com/mpocanopusv10.aspx>。

小行星搜索: 不少业余爱好者执着于新小行星的搜索, 它的原理是闪动间隔一段时间拍摄的 3~4 张同一天区的图片, 利用肉眼或计算机寻找其中相对背景恒星大致沿一条直线运动的亮点, 并发送至数据库与已知目标的位置进行比对。虽然目前各大巡天系统“横行”, 然而不少爱好者仍有着相当出色的成绩。例如“华人小行星大王”杨光宇, 以 1998 个永久编号, 高居小行星发现排行榜第 12 位, 这个数字甚至超过了不少专业台站。我国业余天文台“星明天文台”也获得了 80 余颗小行星的临时编号。