

# 中学生天文测量实验设计与实施探究

杜竞杉 傅慎明 朱逢源 / 浙江省杭州高级中学  
指导教师 林 岚

## ◎ 项目总述

本项目进行的天文测量实验, 分别在天体位置测量、天体光度测量等2个方面展开, 运用数学方法对结果进行了分析并得出结论。我们在考虑了价值、机会、可行性、普及性等因素后, 选择了日全食引力偏折效应验证、以木星的卫星运动演示开普勒第三定律和对SXPHE型变星AE UMa的测光观测3项实验。我们所选择的实验是以前中学生缺少尝试但又有能力完成的实验。

## ◎ 日全食引力偏折效应验证实验

### ◎ 研究背景

根据广义相对论, 远处恒星发出的光线经过大质量的天体如太阳时, 由于引力的作用将发生偏折, 偏转角 $\alpha=4GM/c^2r$

这里G是牛顿万有引力常数, M是天体质量, c是光速, r是到天体中心的距离。

### ◎ 观测设备

为了观测到数量更多的星, 并且能将引力偏折效应造成的偏折分辨出来, 我们需要权衡光学系统的焦距大小、成像设备的像元密度。以下是决定采用的器材组合。

#### 第1组

光学系统: Celestron C925, 施一卡折反射系统, 口径235mm, F/10,

焦距2350mm

成像设备: Apogee ALTA U9000, 3056×3056像素, 每像素 $12\mu\text{m}\times 12\mu\text{m}$ , 有效感光面积 $36.7\text{mm}\times 36.7\text{mm}$

基座装置: Sky-Watcher Syn-scan EQ6Pro 德国式赤道仪

#### 第2组

光学系统: Celestron C800, 施一卡折反射系统, 口径203mm, F/10, 焦距2032mm

成像设备: Canon EOS 50D, 彩色CMOS, 4752×3168像素, 有效感光面积 $22.3\text{mm}\times 14.9\text{mm}$

基座装置: Sky-Watcher Syn-scan EQ6 Pro 德国式赤道仪

除此之外, 我们考虑到如果有薄云的出现, 将会大大散射星光和日冕光芒, 所以决定在U9000的感光器前加上1片Johnson I滤镜, 其中心波长900nm。

### ◎ 选取拍摄天区和观测点

最终坐标: 赤经8h10m20s, 赤纬 $+20^{\circ} 48' 58''$ 。

观测地的选择会极大地影响实验的环境变量, 比如大气扰动、大气质量等。对于上述的2个变量, 海拔高且远离城市的地方会相对更好。

### ◎ 实验过程

我们首先架设了实验设备, 然后在白天和夜间进行了2次调试。

在进行了偏食阶段的拍摄后, 我们开始调整曝光参数。生光以后, 星场拍摄完毕。最终按照预定取景方法进行了持续1分多钟的星点连续拍摄。

### ◎ 实验结果

在后期处理中, 我们分析了日全食时我们所拍摄的数据, 并且作了平场改正, 但是经过了长时间的处理以及分析, 我们并未找到任何1个可以分辨的恒星信号。本次实验虽然并未取得一个结论上的成功, 但是实验过程中的经验、学到的技能肯定都会成为一笔不小的财富。

## ◎ 以木星的卫星运动演示开普勒第三定律

### ◎ 研究背景

木星是太阳系八大行星中质量最大者, 容易被找到。木星的“伽利略卫星”公转周期相对较短, 运转速度适宜跟踪计算。地球与木星的公转面夹角极小, 而这4颗卫星轨道相对倾角极小, 因而从地球上看来, 4颗卫星几乎在同一直线上运动。

根据开普勒第三定律, 围绕中心天体的物体其轨道半长轴a与运转周期T之间的关系是:

$$a^3/T^2 = K \quad (\text{式中} K \text{ 为常数})$$

### ◎ 实验前期研究、设备和过程

我们在拍摄木星时发现, 在得到木

星的星像同时也能得到4颗伽利略卫星的像。以此为契机,我们试图利用伽利略卫星围绕木星的运动来演示开普勒第三定律:利用长期追踪的方式拍摄记录木卫照片,对其相对距离进行测量,得出木卫运行周期与轨道半长轴的关系。

结合各种方法的优缺点,我们决定用望远镜配数码单反相机或 CCD 相机进行木卫一和木卫二的追踪拍摄活动,木卫三和木卫四的运动情况则由数码相机来记录。

木卫三、木卫四相对木卫一与木卫二较暗弱,且运行周期较长,因此,我们选择有足够的光学变焦、参数可控且脚架稳固的家用数码相机 Nikon COOLPIX S10 (VR) 进行拍摄;而木卫一与木卫二则选用了 Celestron C800 作为光学系统, QHY8 (彩色 CCD, 3032×2016 像素) 和 Canon EOS 400D 作为成像设备, Celestron CGEM 德国式赤道仪作为基座装置。

实验流程为:选择观测地和观测时间;架设器材;寻找目标和拍摄。我们使用 Nikon COOLPIX S10 (VR) 数码相机,在 2008 年和 2009 年秋冬季拍摄了木卫三和木卫四;在 2009 年秋季拍摄了木卫一和木卫二。

### ◎ 数据获得与分析

我们主要的测量工具为 Photoshop CS3 的标尺工具,对于 CCD 的 fit 文件使用 Maxim DL 计算星像重心位置进行测量,时间的记录按照相机时间或计算机的 CPU 时间转换为北京时间。我们用 Microsoft Visual Basic 编写了木

星木卫间距测量程序进行每次测量结果的计算。

将各种输入的数据分类整理之后,得木卫和木星视圆面的中心距离数据表(以像素为单位),并作距离—时间散点图。然后使用 Matlab 进行正弦曲线拟合,采用拟合结果来计算演示开普勒第三定律。

### ◎ 实验拓展

在演示了开普勒第三定律之后,实验的应用性也得到了提升。我们设计了3种进阶计算,即估算木星—地球距离,估算木星卫星轨道半长轴以及估算木星质量。

### ◎ 实验总结

综上所述,无论普通的数码相机还是较专业的单反相机,在采用一定的拍摄方法之后,均能得到不错的影像记录。对这些图像,运用测量软件,都可以得到我们所需的数据。在误差允许的情况下,我们较好地演示了开普勒第三定律,并计算出木星质量。这项实验,是一次非常有趣也比较成功的学习实践活动。我们在整个实验过程中,也犯了不少错误,但随着操作的逐渐熟练,最终的结果还是令人满意的。

## ◎ 对 SXPHE 型变星 AE UMa 的测光观测

### ◎ 研究背景

如今已经有很多学校建立天文台时购买了厂家配置的 CCD 相机(多称为“电子目镜”),但是如何利用这些设

备进行准专业的观测活动,让学生接触到较高层次的天文观测呢?为此我们进行了这一以 CCD 测量观测为主的实验。

在天文学中,对于1个天体亮度变化的了解主要来自于测光观测。我们选择了1颗可观测时间长、周期很短、光变幅度较大的变星 AE UMa 作为观测源。本实验对其进行了 CCD 测光观测,取得了初步的成果。

### ◎ 观测与数据处理

光学系统: Takahashi  $\mu$ -180 (Mewlon180), 卡塞格林系统,口径 180mm, F/12, 焦距 2160mm

成像设备: Apogee ALTAU6, 1024×1024 像素, 每像素 24  $\mu$ m×24  $\mu$ m, 有效感光面积 24.6mm×24.6mm

基座装置: Takahashi Temma 2EM-400 德国式赤道仪

我们于 2 月 16—17 日、17—18 日、18—19 日夜间进行了 3 次观测。每次观测的时间跨度分别为 0.09451d、0.20541d、0.25500d。时间记录精度约为 0.5~1s。所涉及的观测均为白光观测(未使用滤光片)。设定降温 20℃, 每幅图像露光时间均为 40s, 每幅图像间拍摄间隔为 15s。需要说明的是,由于一些原因,观测中出现了一些大于 15s 的间隔。

第 1 次观测的误差较大,为此舍弃了后半段数据,只保留了前 100 个数据。而第 2 次、第 3 次观测的误差总体较小,没有需要事先排除的数据。

我们选择的观测源 AE UMa 是 1



个周期，我们的计算结果没有能和文献资料中的数据对应。

在普及性观测中，我们利用较为普及的简易器材尝试了测光观测，测光结果也能反映出 AE UMa 的亮度变化。

该项目获得第 25 届全国青少年科技创新大赛创新成果竞赛项目中学组地球与空间科学一等奖。

#### 专家评语

本课题从天文爱好入手，结合当前中学的天文观测器材情况，通过理论模型和观测实例，阐述了以普通器材完成天文观测的方法。本课题有创见，有说服力，研究成果有价值，可推广。■

颗已知的、短周期的脉动变星。我们利用快速傅里叶变换 (FFT) 进行了周期的分析。经过 FFT 函数计算得到了 1 个等间距数组。参考 Colorado 大学应用数学系的 1 个太阳黑子周期的分析算法，在软件中我们做出了功率谱。

在功率谱中可观测到 2 个功率峰值：第 3 点和第 6 点。由于频率 = 点序号 / 点总数，并取间隔时间平均值 0.00065d，我们可得到强表现周期 0.08544d，弱表现周期 0.04261d。

#### 分析

AE UMa 的强表现周期 0.08544d，和 GCVS 数据中的周期值相差 -0.00058d 即 50.1s。数据点（取露光时段中点时刻）理论时间间隔为 55s。而实际的时间间隔在 56 ~ 57s 不等，这是由于每幅图像读出时间在 1 ~ 2s 不等。取平均时间间隔 56.5s，和前面提到的周期差相近。

在进行傅里叶变换时，我们需要读出功率谱峰值对应的功率。这次共使用 391 个等间隔数据点，那么强表现周期（功率谱第 3 点）相邻 2 点对应周期为其 3/2（左点）和 3/4（右点）。我们得到的误差 50.1s 是符合实际情况的。

AE Uma 的光变并非只有 1 个周期，这从光变曲线中就可以发现。除了主要频率  $f_0$  以外，还存在  $f_1=15.0308\text{cd}-1$ ，换算成周期为 0.066530058d。这在我们计算的功率谱上应该位于第 3.84 个点，是难以被分辨出来的。而我们并没有在文献中找到关于从功率谱中读出的弱表现周期

0.04261d 的资料。

#### 简易设备观测

考虑到仍有相当数量学校并未配有 CCD 设备，而数码单反相机 (DSLR) 却已经比较普及，我们也尝试了利用 1 台低端数码单反相机 Canon EOS 400D 进行了同步测光观测。使用的器材及参数如下。

光学系统：Takahashi FS-78，APO 折射系统，口径 78mm，F/8，焦距 630mm

成像设备：Canon EOS 400D，APS-C 规格彩色 CMOS，3906 × 2602 像素，有效感光面积 24.9mm × 16.6mm

基座装置：Takahashi Temma 2EM-200

观测时间跨度为 0.04692d，每张图像露光时间为 30s，拍摄间隔 0.5 ~ 2min。所有图像均储存为 CR2 格式 (Canon 的原始图像格式)。

进行完目标拍摄后，我们拍摄了 12 幅暗电流场图像。进行完暗电流改正后，我们将图像输出成 fit 格式，这将提高接下来的测光工作效率。

在视场中，我们找到了待选比较星 TYC2998-1084-1、TYC2998-1476-1。它们的光谱型比另外 2 颗待选比较星更接近目标。我们得出了比较星星等差和测光结果图像。经计算，比较星星等差 RMS=0.052。

#### 实验总结

我们成功绘制出了 AE UMa 的光变曲线，并且计算得到了其光变周期，误差在 1 分钟之内。而对于光变的另 1