

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА АТМОСФЕРНОЙ ЭКСТИНКЦИИ ПО СОБСТВЕННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ В КОУРОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

А. О. Михасенко, Г. М. Прокина

Специализированный учебно-научный центр Уральского федерального университета

Для оценки коэффициента атмосферного поглощения (экстинкции) получены снимки звездного неба широкоугольной монохромной камерой ZWO ASI-178. Проведена стандартная обработка полученных данных и отождествление звезд. Определено значение коэффициента экстинкции. Уточнена методика работы с оборудованием и программной частью для учебно-исследовательских наблюдений объектов переменного блеска.

EVALUATION OF THE ATMOSPHERIC EXTINCTION COEFFICIENT FROM PERSONAL OBSERVATIONS IN KOUROVSKAYA ASTRONOMICAL OBSERVATORY

A. O. Mikhasenko, G. M. Prokina

Specialized educational and scientific center of Ural Federal University

To estimate the coefficient of atmospheric absorption (extinction), the images of the starry sky were obtained with a wide-angle monochrome camera ZWO ASI-178. The standard processing of the obtained data and identification of stars was carried out. The value of the extinction coefficient was determined. The methodology of working with equipment and software for educational and research observations of objects of variable magnitude is refined.

Введение

Во многих астрономических задачах, связанных с оценками блеска звезд — построение кривых блеска переменных звезд, оценке блеска комет, — важно правильно определять видимую звездную величину объектов с учетом рассеяния и поглощения света в атмосфере. Это свойство атмосферы или атмосферная экстинкция зависит от расстояния, пройденного светом в атмосфере, от длины волны, от состояния атмосферы и других факторов, индивидуальный учет которых сложен. Для числовой характеристики экстинкции был введен коэффициент, оптимизация расчета которого является целью данной работы.

Для этого была изучена известная информация по данной теме, проведены наблюдения звезд на различных высотах, отождествление наблюдаемой области и определение зенитного расстояния для каждой исследуемой звезды, поиск каталога наблюдаемых звезд, составление зависимости разности измеренной звездной величины и звездной величины в каталоге от функции зенитного расстояния, построен график для определения коэффициента экстинкции и проанализированы результаты.

Описание методики

Основная причина атмосферной экстинкции (рассеяния и поглощения света атмосферой) — атмосферная масса $M(z)$, которую проходят световые лучи. Ее толщина зависит

от зенитного расстояния и оказывает разное влияние на свет различной длины волны. Эта зависимость описывается в [1] формулой (1):

$$m_\lambda(z) = m_{\lambda_0} + k_\lambda M(z), \quad (1)$$

где $m_\lambda(z)$ — измеренная с земли в длине волны λ звездная величина; m_{λ_0} — измеренная из космоса в длине волны λ звездная величина; k_λ — коэффициент экстинкции в длине волны λ ; $M(z)$ — атмосферная масса, через которую проходят лучи на зенитном расстоянии z . Формула задающая функцию $M(z)$ имеет вид (2):

$$M(z) = \sec(z) = \frac{1}{\cos(z)}. \quad (2)$$

В формуле (1) присутствуют три величины, которые необходимо знать для определения значения коэффициента: наблюдаемый в данном пункте и в данное время видимый блеск, табличная звездная величина и воздушные массы. По результатам наблюдений будут получены видимые звездные величины, действительные будут взяты из каталога звезд. Остальные воздушные массы, для которых необходимо знание зенитного расстояния.

После определения координат зенита по звездному времени и широте места координаты звезды накладываются на снимок с помощью сайта <https://nova.astrometry.net/> [2]. Зная точку, на которую ссылается координата каталога, можно определить ближайшую звезду на снимке. Кратчайший путь на сфере между точками зенита и звезды проходит по большому кругу небесной сферы, заданному этими двумя точками. Его можно определить, например, по формуле Гаверсинуса [3]:

$$\text{hav}(\theta) = \text{hav}(\phi_2 - \phi_1) + \cos(\phi_2) \cos(\phi_1) \text{hav}(\lambda_2 - \lambda_1), \quad (3)$$

где θ — искомый угол; ϕ_1 и ϕ_2 — широты исходных точек; λ_1 и λ_2 — долготы исходных точек, а функция *hav* определена как (4):

$$\text{hav}(\alpha) = \frac{1 - \cos \alpha}{2}. \quad (4)$$

Для соотнесения результатов наблюдений и значений в каталоге была написана программа на языке программирования Python. Исходный код расположен на github (<https://github.com/2379/Extinction-coefficient>). Используются пакеты `astropy`, `matplotlib`, `photutils.detection.DA0StarFinder`, `sklearn.linear_model.LinearRegression`, `numpy`. Программа получает на вход снимок, на который наложены координаты, загружает каталог звезд. Результатом ее работы является коэффициент атмосферной экстинкции, полученный как тангенс угла наклона прямой, построенной по точкам на графике зависимости $M(z)$ от $m_\lambda - m_{\lambda_0}$ (из формулы (1)) методом наименьших квадратов.

Получение результатов

В результате наблюдений было получено 514 фотографий неба (lights), 25 темновых кадров (darks), 50 кадров плоского поля (flats), 50 кадров шума считывания (bias). Экспозиция light и dark кадров составила 6 с, flat кадра — 175 мс, bias — 0.0620 мс. Параметр усиления (gain) каждого фото составил 155. Все кадры были получены в формате fits.

Из полученных кадров было синтезировано единственное изображение в программе DeepSkyStacker с использованием медианного метода сложения Каппа-Сигма при значении $\kappa = 3$.

Чтобы снизить влияние рефракции и аберрации объектива, полученный снимок был разбит на части для оптимизации работы с сайтом (рис. 1).

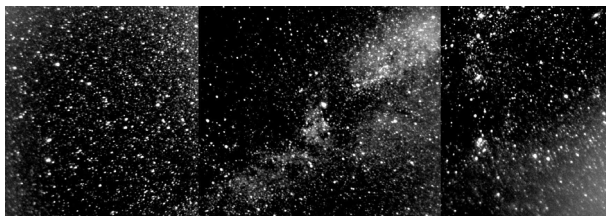


Рис. 1. Анализируемые снимки

Обсуждение результатов

На рис. 1 представлен полученный график на основе снимков на рис. 2. Коэффициент экстинкции составил 1.97, однако в справочных материалах он варьируется от 0.2 до 0.385 [1]. Визуальный метод определения Нейланда — Блажко, реализованный Эриком Пяткевичем в Крымской обсерватории по 11 звездам, дал результат в 0.155 [4].

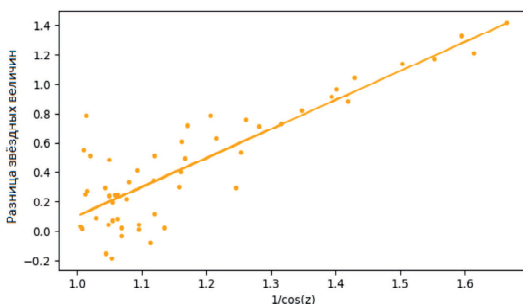


Рис. 2. Зависимость разницы звездных величин от функции воздушных масс. Применена линейная регрессия и по тангенсу наклона прямой определен коэффициент экстинкции

Основной причиной завышенного значения экстинкции является абберация кома, заметная на рис. 1: звезды принимают характерную форму несимметричного пятна рассеяния и становятся похожими на кометы. Алгоритм программы учитывает свет лишь внутри пятна стандартной, круглой формы. В результате этого звездная величина значительно увеличивается.

Другой причиной завышенного значения коэффициента является отсутствие в анализе звезд с высотами ниже 30° .

Заключение

Получены снимки неба и калибровочные кадры, был произведен их учет. Написана программа, которая по серии снимков определяет значение коэффициента атмосферной экстинкции, необходимый для того, чтобы с точностью узнать звездную величину.

Исследуемый метод определения коэффициента атмосферной экстинкции не лишен своих недостатков.

Съемка сериями снимков на различных высотах, в основном на высоте ниже 30° , в телескоп с ведением и, возможно, с использованием корректора комы приведет к значительному уменьшению аберрации кома и погрешности определения коэффициента.

При обработке данных для уточнения коэффициента может быть выполнено разбиение массива по интервалам зенитных расстояний.

Таким образом, работа имеет важное практическое значение и может использоваться при получении и обработке снимков, при выполнении фотометрических расчетов с учетом при этом атмосферной экстинкции.

Библиографические ссылки

- [1] Астрономический календарь Постоянная часть. Изд-е 7. — М. : Наука; Главная редакция физико-математической литературы, 1981. — 704 с.
- [2] Astrometry.net. https://nova.astrometry.net/user/_images/6425683/#grid.
- [3] Korn G. A., Korn Th. M. Mathematical handbook for scientists and engineers: Definitions, theorems, and formulas for reference and review / 3rd ed. — Mineola, New York : Dover Publications, 2000. — 1152 p.
- [4] Пяткевич Э. Я. Оценка атмосферной экстинкции в Крымской астрофизической обсерватории. — На правах рукописи.