

Задача 1. Калибровка шкалы расстояний до БМО

[75 баллов]

Точной калибровки тригонометрического параллакса галактических цефеид очень трудно добиться на практике, несмотря на долгие исследования. Все известные (в Галактике) классические цефеиды находятся на расстоянии более 250 пк; поэтому, чтобы погрешность определения расстояния не превышала 10%, точность измерения параллакса должна составлять до ± 0.2 mas (миллисекунд дуги), что требует космических наблюдений. Благодаря спутнику Hipparcos стали известны параллаксы двух сотен ближайших цефеид, но даже лучшие его измерения имеют высокую погрешность. Прорыв последних лет связан с использованием сенсора Fine Guidance на космическом телескопе Хаббла (HST); были получены значения параллаксов (во многих случаях) точнее, чем $\pm 10\%$ для 10 цефеид, охватывающих диапазон периодов от 3.7 до 35.6 суток, расстояний — от около 300 до 560 пк.

Измеренные значения периода P и средних звёздных величин в полосах V , K и I указаны в **Таблице 1**; также указаны A_V и A_K — величины поглощения в полосах V и K соответственно. Также в таблицу включены результаты измерения параллакса с погрешностью (в миллисекундах дуги). Погрешности измерения видимых звёздных величин пренебрежимо малы.

Таблица 1

	P , сут	$\langle V \rangle$, m	$\langle K \rangle$, m	A_V , m	A_K , m	$\langle I \rangle$, m	π , mas	$\Delta\pi$, mas
RT Aur	3.728	5.464	3.925	0.20	0.02	4.778	2.40	0.19
FF Aql	4.471	5.372	3.465	0.64	0.08	4.510	2.81	0.18
X Sgr	7.013	4.556	2.557	0.58	0.07	3.661	3.00	0.18
ζ Gem	10.151	3.911	2.097	0.06	0.01	3.085	2.78	0.18
l Car	35.551	3.732	1.071	0.52	0.06	2.557	2.01	0.20

D1.1 [36.5 баллов] Между периодом и светимостью цефеид существует соотношение $L \propto P^\beta$. Обычно его выражают через период и абсолютную звёздную величину (вместо светимости) цефеид. Здесь и далее для соотношения «период — абсолютная звездная величина» мы будем использовать сокращение «PL».

Используя данные Таблицы 1, постройте линеаризованный график, чтобы исследовать PL-зависимость для полос V и K . Каждый график необходимо строить на отдельном листе миллиметровки. Определите коэффициент наклона прямой, лучше всего описывающей эту линейную зависимость. (Может быть, вы найдёте полезной формулу $\Delta(\lg x) \approx \frac{\Delta x}{x \ln 10}$.)

Видимые различия между PL-зависимостями в разных полосах связаны с различиями в цвете, т. е. фактически это PLC-зависимость («период — светимость — цвет»), что

объясняется эффектом межзвёздного покраснения, который обусловлен зависимостью коэффициента поглощения от длины волны света, который может существенно различаться у разных цефеид из-за их разной металличности, межзвёздной среды и пыли на луче зрения.

Звёздную величину, исправленную на покраснение (или соответствующую расчётную полосу) называют *Wesenheit*. Чтобы внести необходимую поправку, вместо информации о поглощении используют сведения о цвете самой звезды, например, расчёт величины W_{VI} использует фотометрию в полосах V и I :

$$W_{VI} = V - \left[\frac{A_V}{E(V-I)} \right] (V - I) = V - R_V(V - I),$$

где R_V зависит от вида закона поглощения. В нашем случае положим $R_V = 2.45$.

D1.2 [14.5 баллов] По данным Таблицы 1 постройте график и получите исправленное на поглощение соотношение PL , используя величину W_{VI} . Оцените коэффициент наклона графика и его погрешность.

D1.3 [24.0 балла] Теперь с помощью исправленной PL -зависимости, полученной в предыдущем пункте, можно оценить расстояние до Большого Магелланова Облака. В **Таблице 2** представлены периоды, исправленные на поглощение средние видимые звёздные величины $\langle V_{\text{corr}} \rangle$ и соответствующие *Wesenheit* W_{VI} для классических цефеид в БМО.

Оцените модуль расстояния μ для каждой из звёзд и определите расстояние до БМО (в парсеках) и его стандартное отклонение для обеих полос. Определите, являются ли полученные расстояния для этих двух полос статистически различными (YES/NO). Различны ли стандартные отклонения этих расстояний (YES/NO)? Основываясь на полученных данных, укажите, какая из полос (V или *Wesenheit*) позволила точнее определить расстояние до БМО?

Таблица 2

	P , сут	$\langle V_{\text{corr}} \rangle$, m	$\langle W_{VI} \rangle$, m
HV12199	2.63	16.08	14.56
HV12203	2.95	15.93	14.40
HV12816	9.10	14.30	12.80
HV899	30.90	13.07	10.97
HV2257	39.36	12.86	10.54