

Тренерский штаб сборной команды Российской Федерации
на Международной олимпиаде по астрономии и астрофизике

Учебно-тренировочные сборы по астрономии и астрофизике

Практический тест

16. Мазерные источники

В таблице ниже приводится зависимость круговой скорости движения мазерных источников в плоскости Галактики от галактоосевого расстояния. В рамках приближения максимального диска (считая, что основная масса Галактики заключена в диске) оцените массу диска Галактики. В качестве модельного потенциала диска можно взять потенциал Кузмина:

$$\Phi = -\frac{GM}{\sqrt{R^2 + (a + |z|)^2}},$$

где M — полная масса диска, a — масштабный параметр (4.2 кпк), R — расстояние до оси Галактики, z — расстояние от плоскости симметрии диска.

| R , кпк | $(v \pm \sigma_v)$ км/с |
|-----------|-------------------------|
| 4.54 | 254.5 \pm 6.0 |
| 4.75 | 258.6 \pm 3.7 |
| 5.65 | 246.3 \pm 6.1 |
| 6.11 | 254.2 \pm 3.1 |
| 6.78 | 258.6 \pm 3.7 |
| 7.16 | 259.2 \pm 3.1 |
| 7.50 | 254.8 \pm 5.0 |
| 7.72 | 253.5 \pm 5.1 |
| 7.90 | 250.7 \pm 5.0 |
| 8.20 | 251.7 \pm 9.8 |

17. Планетарные туманности

На обороте листа приводится таблица, содержащая данные из каталога планетарных туманностей (ПТ). В заголовке таблицы введены следующие обозначения:

- l — галактическая долгота;
- b — галактическая широта;
- D — гелиоцентрическое расстояние;
- (U, V, W) — пространственные компоненты скорости туманностей в галактоцентрической системе координат — ГСК (X, Y, Z) .

ГСК является правой системой координат, в которой Солнце имеет координаты $(-8, 0, 0)$ кпк. Ось Z направлена к северному полюсу Галактики.

Задание:

- Постройте гистограмму распределения планетарных туманностей по модулю Z : количество ПТ в пределах от 0 до 50 пк, от 50 до 100 пк и т. д.
- По имеющимся данным постройте кривую вращения Галактики в плоскости XY : зависимость азимутальной скорости в плоскости XY объектов от их расстояния до центра в плоскости XY .
- Постройте диаграмму Тумре. По горизонтальной оси указывается компонента скорости V относительно Солнца, по вертикальной оси — перпендикулярная компоненте V величина скорости относительно Солнца. Учтите, что Солнце движется вокруг центра Галактики со скоростью $V_{\odot} = 230$ км/с (в плоскости XY), а его пекулярная скорость имеет компоненты (10.0, 5.25, 7.17) км/с.

d. На основании диаграммы Тумре определите принадлежность каждой ПТ к различным составляющим Галактики:

- тонкий диск, если полная локальная скорость < 50 км/с;
- толстый диск, если от 50 км/с до 200 км/с;
- гало, если > 200 км/с.

e. На гистограмме пункта (a) отметьте долю ПТ, относящихся к толстому диску.

| Обозначение | $l, ^\circ$ | $b, ^\circ$ | $D, \text{пк}$ | $U, \text{км/с}$ | $V, \text{км/с}$ | $W, \text{км/с}$ |
|-------------|-------------|-------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| A 21 | 205.1 | 14.2 | 539 | -5.5 | 189.5 | 9.1 |
| A 31 | 219.1 | 31.3 | 610 | -34.6 | 167.8 | -24.7 |
| A 35 | 303.6 | 40 | 149 | -25.7 | 200.2 | -4.4 |
| A 36 | 318.5 | 41.5 | 359 | 46.3 | 225 | 31.8 |
| A 71 | 85 | 4.5 | 2800 | -99.1 | 237.4 | -128.1 |
| A 74 | 72.7 | -17.2 | 750 | 9.4 | 243.9 | 3.5 |
| A 78 | 81.3 | -14.9 | 700 | 13.6 | 243.1 | 9.5 |
| DHW 5 | 111.1 | 11.6 | 343 | 59.9 | 207 | -12 |
| EGB 6 | 221.6 | 46.4 | 525 | -12.2 | 254.5 | -1.1 |
| HFG 1 | 136.4 | 5.6 | 409 | 19.2 | 194.9 | 5.2 |
| IC 4593 | 25.3 | 40.8 | 971 | 2.6 | 220.6 | 50.9 |
| IW 1 | 149.7 | -3.4 | 456 | -7.9 | 191.5 | 7.3 |
| K 2-2 | 204.2 | 4.7 | 904 | -0.6 | 171.5 | -35.1 |
| M2-40 | 24.1 | 3.9 | 2016 | 118.8 | 198.8 | 17.8 |
| NGC 1360 | 220.4 | -53.9 | 520 | -63.7 | 252.6 | -16.5 |
| NGC 246 | 118.9 | -74.7 | 448 | 60.5 | 223.5 | 47.8 |
| NGC 3587 | 148.5 | 57.1 | 331 | 11.5 | 241.5 | 9.7 |
| NGC 40 | 120 | 9.9 | 873 | 57.4 | 223.8 | 31.4 |
| NGC 6629 | 9.4 | -5.1 | 1838 | 26.5 | 226.9 | 29.4 |
| NGC 6751 | 29.2 | -5.9 | 1621 | 13.8 | 148.6 | 54.1 |
| NGC 6781 | 41.8 | -3 | 1267 | 5.3 | 241.1 | 61.8 |
| NGC 6826 | 83.6 | 12.8 | 1364 | 96.7 | 202.8 | 34.4 |
| NGC 6853 | 60.8 | -3.7 | 421 | -36.9 | 202.2 | -8.9 |
| NGC 6891 | 54.2 | -12.1 | 821 | 35.5 | 254 | -16.3 |
| NGC 7094 | 66.8 | -28.2 | 2107 | 8.6 | 78.1 | -32 |
| NGC 7293 | 36.2 | -57.1 | 215 | -30.9 | 205.2 | 11.8 |
| PG 1034+001 | 247.6 | 47.8 | 11 | -86.7 | 195.5 | 17.5 |
| PW 1 | 158.9 | 17.9 | 353 | -20.8 | 179.9 | 26.9 |
| S 174 | 120.2 | 18.4 | 387 | 50.9 | 246.1 | 33.5 |
| S 176 | 120.3 | -5.4 | 491 | 35.6 | 203.9 | 68.7 |
| S 216 | 158.5 | 0.5 | 128 | -14.6 | 218.8 | 12.6 |
| S 68 | 30.7 | 6.3 | 550 | 81.5 | 94.3 | -8.4 |
| Tc 1 | 345.2 | -8.8 | 716 | -80.7 | 212.1 | 8.5 |
| Ton 320 | 191.4 | 33.1 | 465 | -21.5 | 191.6 | 11.5 |

18. Поляризация астероидов

Отражённый от астероидов солнечный свет обычно частично линейно поляризован. Пусть I_{\perp} — интенсивность компоненты, поляризованной перпендикулярно плоскости Солнце – астероид – Земля, а I_{\parallel} — интенсивность компоненты, поляризованной параллельно этой плоскости. Из наблюдений можно определить параметр

$$P = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}},$$

который измеряют в процентах: он лежит между -100% и 100% .

Известно, что величина P сильно зависит от фазового угла астероида φ . Эту зависимость часто приближают эмпирической формулой

$$P(\varphi) \approx A \left[\exp\left(\frac{\varphi}{B}\right) - 1 \right] + C\varphi,$$

где A , B и C — неизвестные параметры.

У функции $P(\varphi)$ обычно есть один минимум в точке φ_{\min} и один корень в точке φ_0 . Обозначим значение в минимуме $P(\varphi_{\min})$ через P_{\min} . Существуют эмпирические формулы для альбедо астероида α через P_{\min} и через производную h функции $P(\varphi)$ в точке φ_0 :

$$(i) \quad \lg \alpha = -1.331 \lg |P_{\min} [\%]| - 0.882;$$

$$(ii) \quad \lg \alpha = -1.016 \lg h [\%/^{\circ}] - 1.719.$$

В таблице справа приведены данные о фазовых углах, соответствующим им значениям параметра P для астероида Лютеция.

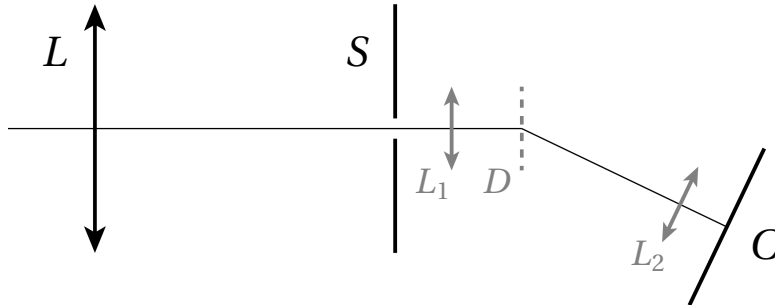
| $\varphi, ^{\circ}$ | $(P \pm \Delta P) \%$ | |
|---------------------|-----------------------|------|
| 1.3 | -0.4 | 0.02 |
| 2.05 | -0.64 | 0.06 |
| 2.43 | -0.72 | 0.07 |
| 4.5 | -1.09 | 0.04 |
| 5.95 | -1.19 | 0.08 |
| 7.5 | -1.34 | 0.05 |
| 8.75 | -1.36 | 0.09 |
| 10.1 | -1.12 | 0.02 |
| 13.1 | -1.29 | 0.02 |
| 14.8 | -1.25 | 0.02 |
| 16.47 | -1.02 | 0.07 |
| 17.38 | -0.72 | 0.07 |
| 18.8 | -0.56 | 0.07 |
| 20.3 | -0.46 | 0.07 |
| 22.47 | -0.26 | 0.2 |
| 22.69 | -0.31 | 0.24 |
| 26.8 | 0.21 | 0.02 |
| 27.79 | 0.66 | 0.2 |
| 27.9 | 0.52 | 0.05 |
| 27.9 | 0.7 | 0.06 |
| 27.9 | 0.76 | 0.07 |
| 28.32 | 0.71 | 0.13 |
| 29.12 | 0.77 | 0.12 |

Задание:

- Нанесите точки на график $P(\varphi)$.
- Определите альбедо двумя способами, описанными выше.
- Оцените ошибки ваших результатов.
- Согласуются ли полученные вами результаты?

19. Привет из прошлого

При прохождении света через оптическое стекло или другие оптические материалы наблюдается дисперсия. Это явление заключается в том, что показатель преломления среды отличается для лучей света различных длин волн: более короткие волны преломляются сильнее. Поэтому единого фокусного расстояния у линзы не существует, у луча каждой длины волны фокус свой. Возникающую в результате aberrацию оптической системы называют *хроматической*.



Оптическая установка состоит из объективной линзы L и спектрографической системы низкого разрешения (экран S с длинной и узкой щелью, линзы L_1 и L_2 , дифракционная решётка D , ПЗС-матрица C). В данной задаче рассматривается хроматическая aberrация этой установки; иными aberrациями в данной системе можно пренебречь.

Расстояние между линзой и экраном соответствует фокусному расстоянию F_0 объектива для света с длиной волны $\lambda_0 = 520$ нм, при которой показатель преломления стекла линзы $n_0 = 1.520$.

- На описанной установке исследуется удалённый монохроматический источник с $\lambda \neq \lambda_0$, расположенный на оптической оси. Как выглядит создаваемая линзой картина на экране? Каково распределение интенсивности в этой картине?
- Как зависит вид данной картины от размера объективной линзы?

В дальнейшем будем считать, что на оптической оси установки расположен удалённый абсолютно чёрный эталонный источник с эффективной температурой $T = 7200$ К.

- Как выглядит создаваемая линзой картина на экране в таком случае?

Щель экрана S много уже рассмотренной вами картины. Полученное на матрице изображение (на отдельном листе) имеет две перпендикулярные оси: пространственную ось R , соответствующую координате точки на щели, и волновую Λ , соответствующую длине волны луча, попавшего в эту точку.

- Опишите, как расположены оси R и Λ на приведённом изображении.

Рассмотрим простейшую зависимость показателя преломления от длины волны — линейную:

$$n(\lambda) = n_0 + k(\lambda - \lambda_0).$$

- Найдите коэффициент k в рамках предложенной модели, если известно, что масштаб пространственной оси $\mu_R = 22.0$ $\mu\text{м}/\text{см}$, волновой оси — $\mu_\lambda = 6.9$ нм/см. Диаметр объектива $w = 20.0$ мм.

К задаче 19. Изображение, полученное с помощью описанной оптической установки (негатив)

