

D1 Радиозвезда в каталоге

Внегалактические радиоисточники наблюдаются методом радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) и используются в качестве опорных точек при построении Международной небесной системы отсчета (ICRS). Реализация последней, каталог ICRF3 содержит координаты 4536 радиоисточников. Среди них встречаются радиозвёзды Галактики, попавшие в список случайным образом. Их обнаруживают по статистически значимым собственным движениям и параллаксам.

Вам дан файл **radiostar.dat**, содержащий временной ряд координат Ве-звезды 1550-238, наблюдаемой с помощью РСДБ в суточных экспериментах:

- t — момент времени (в годах);
- ra и dec — прямое восхождение α и склонение δ в градусах;
- $delta_ra$ и $delta_ra_err$ — поправка к координате по прямому восхождению $\Delta\alpha$ и соответствующая ошибка $\sigma_{\Delta\alpha}$ в секундах времени;
- $delta_dec$ и $delta_dec_err$ — поправка к координате по склонению $\Delta\delta$ и соответствующая ошибка $\sigma_{\Delta\delta}$ в секундах дуги;
- $corr$ — корреляция между поправками $\Delta\alpha \cos \delta$ и $\Delta\delta$;
- num — число наблюдений радиозвезды в одном суточном эксперименте;
- mjd — модифицированная юлианская дата.

Также дан файл эфемерид **ephem_all.dat**, содержащий барицентрические координаты Земли с 2018 по 2025 год:

- t — модифицированная юлианская дата;
- x , y и z — координаты по осям X , Y и Z в а. е.

- a) Постройте графики зависимостей поправок $\Delta\alpha \cos \delta(t)$ и $\Delta\delta(t)$ от времени t .
- b) Постройте графики зависимостей барицентрических координат Земли $X(t)$, $Y(t)$ и $Z(t)$ от времени t .
- c) Используя линейную интерполяцию, оцените значения X , Y и Z Земли на момент времени, указанный в файле, и отметьте полученные точки на построенных графиках.

Изменение координат радиозвезды вследствие собственного движения $(\mu_\alpha; \mu_\delta)$ и параллакса ϖ описывается следующими формулами:

$$\Delta\alpha \cos \delta = \varpi \cdot (X \sin \alpha - Y \cos \alpha) + \mu_\alpha \cos \delta \cdot (t - t_0);$$

$$\Delta\delta = \varpi \cdot (X \sin \delta \cos \alpha + Y \sin \delta \sin \alpha - Z \cos \delta) + \mu_\delta \cdot (t - t_0).$$

- d) Оцените параллакс радиозвезды и собственные движения по прямому восхождению и склонению, а также расстояние до радиозвезды и погрешность его оценки.

D2 Галактический нетворкинг

В файле **asu.tsv** приведены данные о рассеянных скоплениях: обозначение, галактические долгота и широта, компоненты собственного движения, расстояние, оценка числа объектов скопления, десятичный логарифм возраста, экваториальные координаты:

ID #	GLON deg	GLAT deg	pmRA* mas/yr	pmDE mas/yr	Dist pc	Nc	logAge [yr]	_RA.icrs deg	_DE.icrs deg
UPK 4	010.96	-09.35	-2.03	-6.40	784	89.66	8.45	281.3728	-23.7438

- Постройте карту распределения объектов на плоскости $(X; Y)$ в декартовых галактических координатах. Ось X направлена от Солнца к центру Галактики, ось Y — от Солнца в сторону его вращения в Галактике. Цветом точек отмечайте массу скопления. Определите пространственный диаметр области, занимаемой скоплениями.
- Постройте зависимость количества звёзд в скоплении от десятичного логарифма возраста. Наблюдается ли корреляция параметров?
- Зададим приливной радиус скопления относительно потенциала Млечного Пути формулой

$$r_t = \sqrt[3]{\frac{GM}{2(A - B)^2}}$$

где M — масса скопления, $A = 15.3$ (км/с)/кпк и $B = -11.9$ (км/с)/кпк — постоянные Оорта. Для простоты будем считать, что средняя масса объектов в скоплении равна массе Солнца.

Постройте гистограмму для распределения приливных радиусов.

- Определите количество пар потенциально связанных скоплений, то есть таких, в которых расстояние между объектами пары меньше, чем утроенный приливной радиус каждого из двух скоплений. Сколько скоплений входят хотя бы в одну пару?
- Для самого массивного скопления определите количество объектов, потенциально связанных с ним. В проекции на плоскость (X, Y) нарисуйте его и такие объекты, окружностями отметьте расстояния $3r_t$ от скоплений.

D3 Вспышки озарения

Солнечные вспышки — кратковременные подъёмы наблюдаемого потока электромагнитного излучения Солнца, связанные с высвобождением энергии в магнитных полях активных областей. В рентгеновском диапазоне вспышки регулярно регистрируются спутниками GOES.

Вам дан файл `solar_flares_2025.tsv`, содержащий каталог солнечных вспышек GOES за 2025 год. В таблице приведены события, для которых известно время окончания вспышки.

Файл содержит следующие столбцы:

- `date` — дата события;
- `start_time`, `peak_time` и `end_time` — моменты начала, максимума и окончания вспышки;
- `class` — класс вспышки, например C3.2, M1.5 или X2.0;
- `flux` и `background_flux` — максимальный и фоновый поток рентгеновского излучения в диапазоне $(1 \div 8) \text{ \AA}$, Вт/м²;
- `region` — номер активной области на Солнце;
- `peak_saturated` — флаг насыщения детектора в момент максимума вспышки.

Класс вспышки связан с максимальным потоком F соотношением $F = kF_0$, где k — числовой коэффициент в записи класса, а базовое значение F_0 задаётся таблицей:

Класс	B	C	M	X
$F_0, \text{ Вт/м}^2$	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}

Например, вспышке класса M1.5 соответствует поток $F = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/м}^2$.

- Постройте распределение количества вспышек по классам. Какой класс встречается чаще всего? Какой — реже всего?
- Постройте гистограмму длительностей вспышек в минутах. Найдите медианную длительность вспышки.
- Постройте график зависимости максимального потока от длительности вспышки в логарифмических осях. Наблюдается ли связь между мощностью вспышки и её длительностью?
- Для каждой активной области подсчитайте число вспышек. Найдите пять активных областей, в которых произошло наибольшее число событий. Для этих областей отдельно подсчитайте число вспышек классов M и X.
- Будем считать сильными вспышки классов M и X. Определите долю сильных вспышек в каталоге. Сделайте вывод о том, являются ли сильные вспышки редкими событиями.