

# ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП XXIII РЕСПУБЛИКАНСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ПО АСТРОНОМИИ

## Практический тур



29 марта 2017 года

## НАБЛЮДЕНИЯ

---

### Задание 1. Неизвестное созвездие.

Вам дано изображение участка звёздного неба, а также изображение этого участка с сеткой экваториальных координат. Два листа помечены как (а) – (f) и (g) и предназначены для выполнения соответствующих пунктов задания.

- (а) Какое созвездие находится в центре изображения? Обозначьте недостающие звёзды в этом созвездии. Проходят ли через созвездие линии эклиптики, галактического экватора? Находятся ли в созвездии эклиптический, галактический полюса?
- (б) С какими созвездиями оно граничит? Обозначьте границы созвездия. *Границы всех 88 созвездий были окончательно утверждены МАС в 1935 году и проходят строго по линиям постоянного прямого восхождения и склонения на эпоху 1875.0.*
- (с) Подпишите звёзды  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  в этом созвездии, а также не менее 10 звёзд собственными названиями в пределах всего участка неба на изображении.
- (d) Обозначьте две самые яркие звезды в созвездии, а на всём изображении также по две (если присутствуют) звезды со звёздной величиной в диапазонах 0 – 1, 1 – 2, 2 – 3.
- (е) На всём участке неба обозначьте по три переменные и двойные звезды.
- (f) На всём участке неба обозначьте все объекты Мессье.
- (g) Звезда 1 имеет собственное движение  $\mu_\alpha = +114.45 \text{ mas/yr}$ ,  $\mu_\delta = -84.02 \text{ mas/yr}$ , а собственное движение 2 звезды равно  $\mu_\alpha = +50.36 \text{ mas/yr}$ ,  $\mu_\delta = -32.17 \text{ mas/yr}$ . Считая собственные движения этих звёзд постоянными, найдите их экваториальные координаты через 50000 лет (для координатной системы на сегодняшний день) и обозначьте новые положения этих звёзд на карте с экваториальной сеткой.

# АНАЛИЗ ДАННЫХ

## Задание 2. Очень рассеянное скопление.

В таблице приведены экваториальные координаты и компоненты собственного движения 20 звезд: а) 10 из этих звезд входят в состав некоторого рассеянного скопления; б) 10 из этих звезд не входят в состав данного рассеянного скопления. Используя приведенные в таблице данные, отнесите эти звезды (по номерам) к этим двум группам.

№	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha$ (mas/yr)	$\mu_\delta$ (mas/yr)
1	3 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 29 <sup>s</sup>	24°09'13"	0,02120	-0,04311
2	3 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 33 <sup>s</sup>	24°07'19"	0,02544	-0,03449
3	3 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> 09 <sup>s</sup>	24°06'05"	0,01946	-0,04470
4	3 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 59 <sup>s</sup>	24°36'31"	0,02616	-0,03550
5	3 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 23 <sup>s</sup>	23°57'56"	0,03706	-0,01707
6	3 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 52 <sup>s</sup>	24°09'46"	0,02361	-0,04492
7	3 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 44 <sup>s</sup>	24°22'14"	0,03411	-0,02640
8	3 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 49 <sup>s</sup>	24°25'01"	0,02315	-0,04503
9	3 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 19 <sup>s</sup>	23°59'50"	0,02316	-0,04267
10	3 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 08 <sup>s</sup>	24°32'54"	0,03402	-0,01665
11	3 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 12 <sup>s</sup>	24°31'00"	0,02126	-0,04163
12	3 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 15 <sup>s</sup>	24°09'11"	0,03075	-0,02337
13	3 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> 11 <sup>s</sup>	24°11'05"	0,02050	-0,04674
14	3 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup> 48 <sup>s</sup>	24°20'20"	0,02274	-0,04400
15	3 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup>	24°07'52"	0,03305	-0,02695
16	3 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	24°26'55"	0,03473	-0,02252
17	3 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 05 <sup>s</sup>	24°07'59"	0,02530	-0,03129
18	3 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	24°36'13"	0,02137	-0,04536
19	3 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup> 03 <sup>s</sup>	24°34'37"	0,02180	-0,04438
20	3 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup> 58 <sup>s</sup>	24°34'19"	0,02778	-0,03175

## Задание 3. Девятая планета.

Возможно, в нашей Солнечной системе существует девятая планета – и это не Плутон. Эту гипотезу в январе 2016 года изложили калифорнийские астрономы, основываясь на том, что у многих обособленных транснептуновых объектов, большая полуось орбиты которых больше 150 а.е., орбиты ориентированы в пространстве приблизительно одинаково (см. рис.; некоторые планеты и данные к ним – ниже в таблице).

Такое совпадение расположений орбит может возникнуть благодаря планете-«пастуху», вычисленная орбита и местоположение которой также показаны на рисунке. Согласно расчётам, гипотетическая планета должна иметь массу порядка 10 земных и, вступая в орбитальный резонанс с другими объектами, ориентировать их орбиты.

В таблице даны большие полуоси орбит шести небесных тел и их резонансы с планетой-«пастухом». Например, резонанс 3:1 с 2004 VN112 означает, что периоды девятой планеты и 2004 VN112 имеют отношение 3 к 1.

Название объекта	Большая полуось орбиты в а.е.	Орбитальный резонанс
Sedna	506.84	3:2
2010 GB174	350.7	5:2
2004 VN112	319.6	3:1
2012 VP113	265.8	4:1
2000 CR105	221.59	5:1
2013 GP136	151.8	9:1

- (a) Найдите орбитальный период и большую полуось орбиты 9 планеты.
- (b) Чему равен эксцентриситет орбиты планеты?
- (c) Найдите расстояние от планеты до Солнца в перигелии и афелии.
- (d) Масса планеты ( $10 M_{\oplus}$ ) ставит её в разряд между планетами земной группы и ледяными гигантами типа Урана и Нептуна – тип планеты неизвестен.  
Найдите температуру планеты в перигелии и афелии для двух случаев: когда планета схожа с Землёй или является ледяным гигантом.  
Зависит ли температура планеты от её радиуса?
- (e) Найдите звёздную величину планеты для её сегодняшнего предполагаемого местоположения для обоих случаев.

#### Задание 4. Оригинальная постоянная Хаббла.

Используя оригинальные результаты, полученные Хабблом, определите величину постоянной Хаббла, считая зависимость скорости разбегания галактики пропорциональной расстоянию до них.

№	Расстояние $r$ , Мпк	Скорость $v$ , км/с	№	Расстояние $r$ , Мпк	Скорость $v$ , км/с
1	0.04	-40	18	0.90	520
2	0.04	20	19	0.90	440
3	0.04	80	20	0.90	200
4	0.22	40	21	0.90	100
5	0.26	0	22	1.00	1140
6	0.28	-40	23	1.04	740
7	0.28	-100	24	1.10	720
8	0.28	-140	25	1.10	560
9	0.44	380	26	1.38	600
10	0.50	400	27	1.40	740
11	0.50	420	28	1.48	500
12	0.60	400	29	1.60	700
13	0.64	320	30	1.68	1040
14	0.64	300	31	1.98	520
15	0.68	200	32	1.98	780
16	0.80	380	33	1.98	840
17	0.90	600	34	1.98	1100

### Задание 5. Соотношение Фабер – Джексона.

Вам дана таблица значений абсолютных звёздных величин в В-лучах  $M_B$  и центральных дисперсий скоростей звёзд  $\sigma$  для некоторой выборки эллиптических галактик.

№	$M_B$	$\sigma$ , км/с	№	$M_B$	$\sigma$ , км/с
1	-15.5	55	12	-20.1	200
2	-16.4	135	13	-20.6	240
3	-17.4	135	14	-20.9	230
4	-17.5	115	15	-21.1	210
5	-18.3	135	16	-21.3	215
6	-18.4	175	17	-21.6	260
7	-18.5	130	18	-21.6	290
8	-18.5	150	19	-22.1	240
9	-18.9	185	20	-22.6	280
10	-19.4	150	21	-22.6	315
11	-20.0	175			

(a) Эта часть задания посвящена непосредственно анализу данных таблицы. Вы можете выполнять анализ данных как вручную, так и с помощью встроенных функций калькулятора, однако все используемые в расчётах формулы Вы должны привести в решении.

- (i) Как связана дисперсия скоростей  $\sigma$  со скоростями отдельных звёзд по определению?
- (ii) Постройте график зависимости дисперсии скоростей галактик от их абсолютной звёздной величины, ось ординат которого логарифмирована, а значения по оси абсцисс идут в порядке убывания.
- (iii) Есть ли зависимость между  $\sigma$  и  $M_B$ ? Свой ответ обоснуйте подходящей числовой характеристикой.
- (iv) Вычислите коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  для формулы  $\log_{10} \left( \frac{\sigma}{1 \text{ км/с}} \right) = \beta M_B + \alpha$ , описывающей данные. Найдите также ошибки этих коэффициентов. Нанесите линию этой зависимости на график.
- (v) Найдите степенную зависимость вида  $L_B \sim \sigma^a$  ( $a$  – подлежащий определению показатель степени) между светимостью в лучах  $B$  и центральной дисперсией скоростей галактик. Эта эмпирическая зависимость называется соотношением Фабер – Джексона.

(b) Соотношение Фабер – Джексона может быть обосновано теоретическим методом.

- (i) Как связаны вириальная масса галактики, её радиус и дисперсия скоростей?
- (ii) Считая, что отношение массы к светимости для галактик является постоянным (т.е.  $\frac{M}{L} = \text{const}$ ), найдите зависимость между светимостью галактики, её радиусом и дисперсией скоростей.
- (iii) Выведите соотношение между светимостью галактики и её дисперсией скоростей, считая, что поток излучения с единицы площади галактики (поверхностная яркость) постоянен в пределах отдельной галактики. Сравните теоретическую зависимость с соотношением, полученным в результате анализа данных.

## Справочные данные

Масса Солнца	$M_{\odot}$	$1.9891 \times 10^{30}$ кг
Радиус Солнца	$R_{\odot}$	$6.95508 \times 10^8$ м
Эффективная температура Солнца	$T_{\odot, eff}$	5777 К
Температура центра Солнца	$T_{\odot}$	$1.5 \times 10^7$ К
Видимая звёздная величина Солнца в V-лучах	$V_{\odot}$	-26.75
Время нахождения Солнца на главной последовательности	$t_{\odot}$	$10^{10}$ лет
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma$	$5.670400 \text{ Вт м}^{-2} \text{ К}^{-4}$
Постоянная Больцмана	$k$	$1.38065 \times 10^{-23} \text{ Дж К}^{-1}$
Гравитационная постоянная	$G$	$6.67 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$
Скорость света в вакууме	$c$	$2.99792458 \times 10^8 \text{ м с}^{-1}$
Постоянная Вина	$B$	$2.8977729 \times 10^{-3} \text{ м К}$
Постоянная Хаббла	$H$	$67.8 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$
Парсек	1 пк	$3.0857 \times 10^{16}$ м
Астрономическая единица	1 а.е.	$1.496 \times 10^{11}$ м
Юлианский год	1 год	365.25 сут
Большая полуось орбиты Земли	$a_e$	1.0000 а. е.
Сидерические сутки	$P_e$	$23^{\text{ч}} 56^{\text{м}} 04.0905309^{\text{с}}$
Масса Земли	$M_E$	$5.9736 \times 10^{24}$ кг
Средняя плотность Земли	$\rho_E$	$5515 \text{ кг м}^{-3}$
Сферическое альbedo Земли	$A_E$	0.306
Средний радиус Земли	$R_e$	$6.371 \times 10^6$ м
Экваториальный радиус Земли	$R_{eq}$	$6.378 \times 10^6$ м
Сферическое альbedo Нептуна	$A_N$	0.29
Средний радиус Нептуна	$R_N$	$3.88 R_e$
Величина рефракции у горизонта	$\xi$	35'