

***Региональная предметно-методическая комиссия  
по астрономии***



**ВСЕРОССИЙСКАЯ  
ОЛИМПИАДА  
ШКОЛЬНИКОВ**

***Задания муниципального этапа всероссийской олимпиады  
школьников 2024/2025 учебного года  
по астрономии***

***Составители:***

***Андреянова Е.А.,***

***Кожинин С.П.,***

***Овсянников В.В.,***

***Нургулеев Д.А.,***

***Иванов К.В.***

***Контактный тел.: +79101652433***

***Тула – 2024***

Организация и проведение муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников 2024/25 учебного года по астрономии осуществляется в соответствии с Методическими рекомендациями по проведению школьного и муниципального этапов всероссийской олимпиады школьников по астрономии в 2024/25 учебном году, утв. на заседании центральной предметно-методической комиссии всероссийской олимпиады школьников по астрономии 03.06.2024, протокол № 1 (URL: <https://vserosolimp.edsoo.ru/astronom>), и в строгом соответствии с требованиями, представленными ниже.

Муниципальный этап проводится независимо для школьников 7 – 11 классов. В соответствии с Порядком проведения всероссийской олимпиады школьников, участник (в том числе моложе 7 класса) выполняет задания за более старший класс, если он выполнял задания школьного этапа за этот же класс. Он должен быть предупрежден, что в случае квалификации в список участников последующих этапов всероссийской олимпиады (регионального, заключительного) он будет выступать там в той же старшей параллели.

Тиражирование заданий осуществляется с учётом следующих параметров: листы бумаги формата А4, черно-белая печать (условия задач могут быть на нескольких страницах). Задания должны тиражироваться без уменьшения.

Обучающимся каждой возрастной параллели предлагается решить 6 задач, на выполнение которых отводится 90 минут в 7 – 8 классах и 180 минут в 9 – 11 классах. Содержание задач составлено в соответствии с Методической программой олимпиады (Приложение к методическим рекомендациям, URL: <https://vserosolimp.edsoo.ru/astronom>).

*Во время работы над заданиями участник олимпиады имеет право:*

1. Пользоваться любыми своими канцелярскими принадлежностями.
2. Пользоваться собственным непрограммируемым калькулятором, а также просить наблюдателя временно предоставить ему калькулятор.
3. Обращаться с вопросами по поводу условий задач, приглашая к себе наблюдателя поднятием руки.
4. Принимать продукты питания.
5. Временно покидать аудиторию, оставляя у наблюдателя свой комплект олимпиадных заданий.

*Во время работы над заданиями участнику запрещается:*

1. Пользоваться мобильным телефоном (в любой его функции).
2. Пользоваться любой другой вычислительной техникой, кроме непрограммируемого калькулятора (карманным компьютером, планшетом и т.д.).
3. Пользоваться какими-либо источниками информации; вся необходимая справочная информация приведена в тексте заданий.
4. Обращаться с вопросами к кому-либо, кроме наблюдателя, членов Оргкомитета и жюри.
5. Запрещается одновременный выход из аудитории двух и более участников.

### **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

- 1) Каждому участнику олимпиады Оргкомитет должен предоставить бумагу для выполнения олимпиадных заданий: тетрадь в клетку или листы формата А4. Желательно иметь в аудитории несколько запасных ручек синего или чёрного цвета.
- 2) Жюри олимпиады оценивает записи, приведенные в чистовике. Черновики не проверяются. Каждая задача в комплекте заданий для параллели оценивается исходя из максимума 8 баллов.
- 3) Правильный ответ, приведенный без обоснования или полученный из неправильных рассуждений, не учитывается.
- 4) Если задача решена не полностью, то этапы ее решения оцениваются в соответствии с критериями оценивания по данной задаче, где указаны максимальные баллы за каждый элемент решения. Поощрительные баллы могут быть поставлены за наличие хотя бы ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи.
- 5) Все пометки в работе участника члены жюри делают только красными чернилами.
- 6) Баллы за промежуточные выкладки ставятся около соответствующих мест в работе (это исключает пропуск отдельных пунктов из критериев оценивания).
- 7) Итоговая оценка за задачу ставится в конце решения. Кроме того, член жюри заносит ее в таблицу на первой странице работы и ставит свою подпись под оценкой.
- 8) В случае неверного решения необходимо находить и отмечать ошибку, которая к нему привела.
- 9) Итоговая оценка за выполнение заданий определяется путём сложения суммы баллов, набранных участником за выполнение заданий с последующим приведением к стобальной системе. Перевод в стобальную систему осуществляется делением суммы набранных участником баллов на 0,48 с последующим округлением до целых.

**7 класс****7.1. Сестра Земли**

Венеру называют "сестра Земли" вследствие сходных масс и размеров, масса Венеры  $M_{\text{В}} = 0,82M_{\text{З}}$ , радиус планеты  $R_{\text{В}} = 0,95R_{\text{З}}$ . Во сколько раз средняя плотность Венеры меньше средней плотности Земли? Определите среднюю плотность Земли (в г/см<sup>3</sup>).

Масса Земли:  $M_{\text{З}} = 5,974 \cdot 10^{24}$  кг,

радиус Земли:  $R_{\text{З}} = 6,37 \cdot 10^3$  км,

объем шара:  $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ .

**7.2. Сколько Солнц в большом Солнце?**

Звезда VY Большого Пса является звездой сверхгигантом, находится в созвездии Большого Пса. Её радиус в радиусах Солнца  $R = 1420R_{\odot}$ . Сколько звёзд объёмом Солнца может вместиться внутри этой звезды?

Объём шара:  $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ .

**7.3. День астрономии**

Всемирный день астрономии отмечается дважды в год – весной и осенью. В этом году осенний день отмечали в субботу 12 октября. А каким днём недели будет 12 октября в 2124 году?

**7.4. Далёкий Марс**

Петя Васечкин решил из наблюдений узнать, сколько километров от Земли до Марса. Из справочника он узнал, что диаметр Марса равен 6780 км. Пронаблюдав за этой планетой, в наиболее подходящий день, Петя установил, что видимый диаметр составляет 25 угловых секунд. С помощью этих данных определите, какое расстояние мог получить юный астроном. Решение сопроводите рисунком.

**7.5. Ярчайшая сверхновая**

В галактиках могут рождаться не просто новые, а сверхновые звёзды. Таковой является SN 2006gy – одна из самых ярких сверхновых когда-либо регистрируемых в истории наблюдений. Расстояние, на котором находится эта звезда, составляет 73000 кпк. Сколько лет назад "вспыхнула" эта звезда?

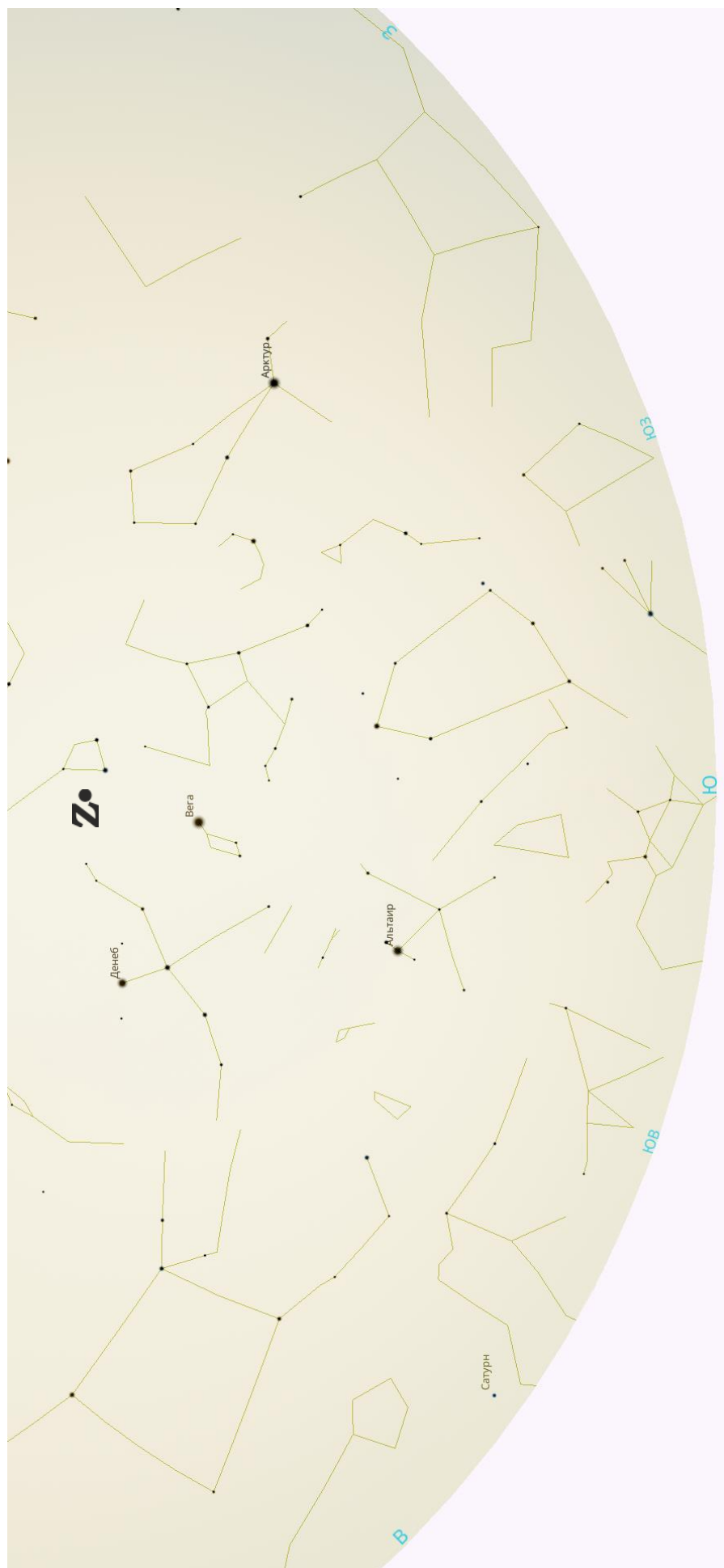
1 кпк (килопарсек), кратная величина 1 пк,

1 пк (парсек) = 3,26 световых года.

**7.6. Что видно на небе?**

Перед вами представлен рисунок по фото южной части неба с созвездиями, которые можно наблюдать в Туле в 10 часов вечера. Проанализировав рисунок, ответьте на следующие вопросы.

- 1) В какое время года проводились наблюдения?
- 2) Как вы смогли это определить?
- 3) Назовите не менее 4-х созвездий, которые можно рассмотреть на фото.



К условию задачи 7.6 (**Z** – зенит)

## 8 класс

## 8.1. Послание с Марса

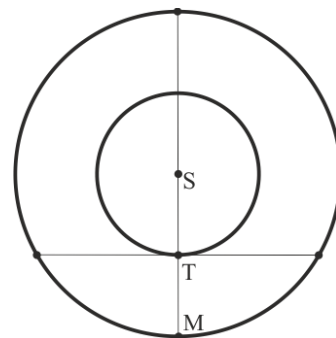
Сколько минут будет идти мощный сигнал, отправленный со скоростью света во время противостояния с Марса на Землю? В какое время суток будет получен этот сигнал (днём или ночью, ответ поясните)?

Скорость света в вакууме:  $c = 2,998 \cdot 10^5$  км/с,

радиус орбиты Марса:  $a_{\text{♂}} = 1,5237$  а.е.,

радиус орбиты Земли:  $a_{\text{♁}} = 1,0000$  а.е.,

астрономическая единица:  $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^8$  км.



## 8.2. Трасса спутника

Трассой спутника называют проекцию орбиты спутника на поверхность небесного тела (например, Земли). На сколько градусов и в каком направлении должна смещаться трасса полёта полярного искусственного спутника Земли за один его оборот при движении по круговой орбите со скоростью  $v = 7$  км/с на высоте 1770 км? Орбита полярных спутников проходит над обоими полюсами планеты.

Радиус Земли:  $R_{\text{♁}} = 6,37 \cdot 10^3$  км,

период осевого вращения Земли:  $T_{\text{♁}} = 23,93$  ч.

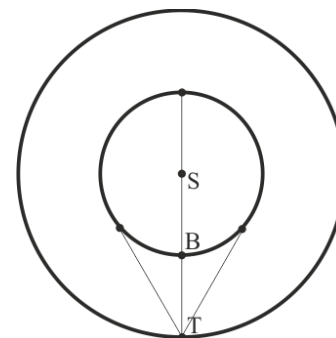
## 8.3. Радиолокация Венеры

Определите значение астрономической единицы (считая её неизвестной) по данным радиолокации Венеры в нижнем соединении, если радиоимпульс отправленный со скоростью света с Земли к планете возвратился через  $4^{\text{мин}}36^{\text{с}}$ .

Скорость света в вакууме:  $c = 2,998 \cdot 10^5$  км/с,

радиус орбиты Венеры:  $a_{\text{♀}} = 0,7233$  а.е.,

радиус орбиты Земли:  $a_{\text{♁}} = 1,0000$  а.е.



## 8.4. Астероид 2022 VR1

Околоземный астероид 2022 VR1 пролетит мимо Земли в ночь с 16 на 17 ноября 2024 года. Его орбитальный период обращения  $T = 364,27$  сут. Считая орбиту астероида круговой, вычислите её радиус и геоцентрическое расстояние. Результат не должен пугать, вследствие вытянутости орбиты, реальное расстояние, на котором пройдёт астероид больше в 35,5 раз. Определите действительное расстояние сближения астероида с Землёй.

Орбитальный период обращения Земли:  $T_{\text{♁}} = 365,26$  сут. = 1 звёздный год,

радиус орбиты Земли:  $a_{\text{♁}} = 1,0000$  а.е.,

астрономическая единица:  $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^8$  км.

## 8.5. Луна

Луна при своём орбитальном движении вокруг Земли проходит  $13^{\circ},177$  в сутки дуги своей орбиты. Синодический период Луны  $S$ , связан с сидерическим (периодом орбитального вращения) соотношением  $536870912S \approx 579820585T$ . Определите из этих данных

орбитальный период обращения Луны вокруг Земли (в сутках), сидерический период Луны (в сутках) и дату наступления следующего полнолуния, если время и дата начала последнего (МСК)  $14^{\text{ч}}26^{\text{мин}}$  17 октября 2024 года.

## 8.6. Наблюдение Сатурна

За 30 минут наблюдений детали поверхности экваториальной зоны Сатурна сместились на  $16^{\circ},89$  по долготе. Определите угловую скорость Сатурна (в градусах в час), период вращения Сатурна (в часах) и скорость точек, лежащих на экваторе планеты (в км/с).

Радиус Сатурна:  $R_{\text{♄}} = 60,3 \cdot 10^3$  км.

## 9 класс

### 9.1. Скопление галактик

Скопление находится от нас на расстоянии  $r \approx 100$  Мпк. Его угловой диаметр  $\varphi \approx 5^\circ$ . Оцените радиус  $R$  скопления (в Мпк).

### 9.2. Система звезды LHS 1140

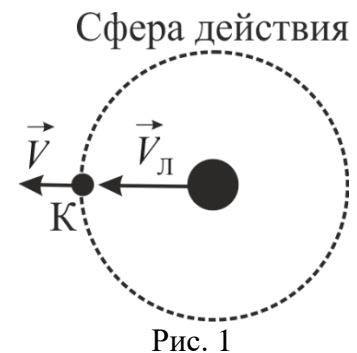
У этой звезды обнаружена планета, на которой возможна жизнь.

- 1) Параллакс звезды  $\pi = 80$  mas. Найдите расстояние  $r$  до этой звезды в парсеках (пк).
- 2) В систему звезды отправляется звездолёт, скорость которого  $v = 0,1c$  (в единицах скорости света  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с). Оцените время такого полёта (в годах).  
 $1 \text{ pk} \approx 3,1 \cdot 10^{16}$  м;  $1 \text{ год} \approx 3,2 \cdot 10^7$  с.
- 3) Масса планеты  $M \approx 6,6M_\oplus$ , её радиус  $R \approx 1,4R_\oplus$ . Здесь  $M_\oplus = 6 \cdot 10^{24}$  кг,  $R_\oplus = 6400$  км – масса и радиус Земли соответственно. Вычислите ускорение  $g$  свободного падения на поверхности планеты.  
 Гравитационная постоянная:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>,  
 $1 \text{ mas} - 1$  миллиарсекунда, кратная доля арсекунды (угловой секунды).

### 9.3. Вход космического корабля в сферу действия Луны

Космический корабль (К) входит в сферу действия Луны так, как показано на рисунке. Скорость корабля относительно центра Земли  $V = 0,2$  км/с. Скорость Луны относительно центра Земли  $V_L = 1,0$  км/с.

- 1) С какой скоростью  $\vec{v}$  (по модулю и направлению) корабль входит в сферу действия Луны относительно центра Луны?
- 2) Как в дальнейшем будет двигаться корабль внутри сферы действия и по какой траектории? Как будет изменяться скорость корабля (возрастать, убывать, останется неизменной)?



### Задача 9.4. Вокруг "чёрной дыры"

Космический корабль движется вокруг "чёрной дыры" (ЧД) по круговой орбите радиуса  $r = 20000 R_g$ , где  $R_g = \frac{2GM}{c^2}$  – гравитационный радиус ЧД,  $M$  – масса ЧД,  $G$  – гравитационная постоянная,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость света в вакууме. Вычислите орбитальную скорость (в единицах скорости света  $c$ ) космического корабля.

### 9.5. Квазар 3C 273

1) **Переменность источника излучения** позволяет оценить размеры области излучения, указать их верхний предел. Оптическое излучение квазара сильно переменное; за время  $\tau \approx 1$  год светимость изменялась в десятки и сотни раз (рис. 2). Оцените верхний предел размера  $l_m$  квазара. Скорость света в вакууме  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с,  $1 \text{ год} \approx 3,2 \cdot 10^7$  с.

2) **Закон Хаббла.** Галактики и квазары удаляются от нас со скоростями  $v$ , пропорциональными расстояниям  $R$  до них:  $v = H \cdot R$  (рис. 3). Коэффициент пропорциональности  $H$ , его называют постоянной Хаббла, находят из наблюдений. Оцените скорость (в км/с), с которой удаляется от нас квазар, если расстояние до него

$R = 735$  Мпк. Постоянную Хаббла  $\left( \text{в } \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}} \right)$  оцените по графику на рис. 3.

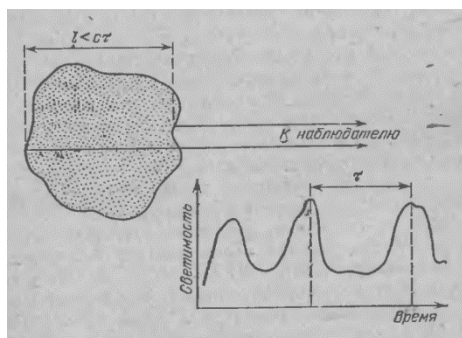


Рис. 2

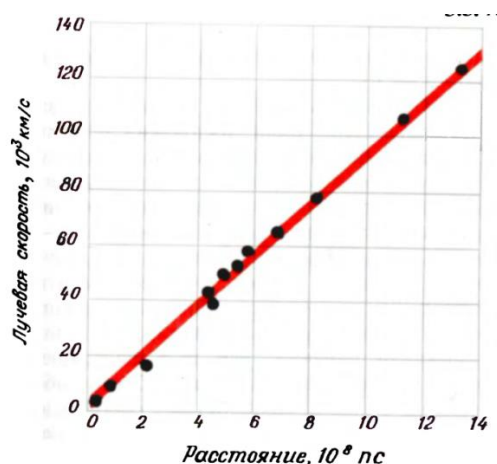


Рис. 3

(пс – устаревшее обозначение парсек)

### 9.6. Звезда Сириус А

Радиус этой звезды  $R = 1,7R_{\odot}$ , температура (эффективная) её поверхности  $T = 9940$  К. Экваториальная скорость вращения звезды  $v_{\text{экв}} = 16,7$  км/с.

1) Вычислите период вращения  $T_0$  звезды (в земных сутках).

Радиус Солнца:  $R_{\odot} = 7 \cdot 10^8$  м.

2) Вычислите светимость  $L$  этой звезды (в единицах солнечной светимости  $L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$  Вт).  
Постоянная Стефана-Больцмана:  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

3) Вычислите массу  $M$  этой звезды (в единицах солнечной массы  $M_{\odot}$ ) из соотношения

"светимость – масса" 
$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)^4.$$

**10 класс****10.1. Пульсар PSR B0531+21**

Пульсар PSR B0531+21 находится в центре знаменитой Крабовидной туманности в Тельце, остатка от взрыва сверхновой SN 1054. Период вращения пульсара 33 мс. Определите его плотность.

Гравитационная постоянная:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ .

**10.2. Сатурн**

Радиус орбиты Сатурна в радиусах орбиты Земли  $R = 9,5388R_{\oplus}$ . Определите период обращения Юпитера вокруг Солнца.

Орбитальный период обращения Земли:  $T_{\oplus} = 1$  звёздный год.

**10.3. Точка Лагранжа**

Определите положение точки Лагранжа L1 в системе Земля – Луна (от центра Земли в земных радиусах). Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, расстояние Луны от Земли составляет около 60 земных радиусов. В точке Лагранжа L1, между центрами масс двух тел, гравитационные ускорения двух тел численно равны между собой, но имеют противоположные направления.

**10.4. Астероид 2022 VR1**

Околоземный астероид 2022 VR1 пролетит мимо Земли в ночь с 16 на 17 ноября 2024 года. Его орбитальный период обращения  $T = 364,27$  сут. Считая орбиту астероида круговой, вычислите её радиус и геоцентрическое расстояние. Результат не должен пугать, вследствие вытянутости орбиты, реальное расстояние, на котором пройдёт астероид больше в 35,5 раз. Определите действительное расстояние сближения астероида с Землёй.

Орбитальный период обращения Земли:  $T_{\oplus} = 365,26$  сут. = 1 звёздный год,

радиус орбиты Земли:  $a_{\oplus} = 1,0000 \text{ а.е.}$ ,

астрономическая единица:  $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ км}$ .

**10.5. Крюгер 60**

Определите (в единицах солнечных масс  $M_{\odot}$ ) массу двойной звёздной системы Крюгер 60 в созвездии Цефея и массу его компонентов, период обращения которых 44,3 года, расстояние между ними 9,535 а.е., а отношение расстояний компонент от их общего центра масс 2:3.

**10.6. Денеб**

Расстояние от звезды Денеба ( $\alpha$  Лебедя) до Земли свет проходит за 652 года. Определите параллакс Денеба.

Скорость света в вакууме:  $c = 2,998 \cdot 10^5 \text{ км/с}$ ,

парсек:  $1 \text{ пк} \approx 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$ .



**11 класс****11.1. Система Сириуса**

Это двойная звезда. Звезда А – звезда *главной последовательности*. Её масса  $M_A = 2M_\odot$ . Звезда В – *белый карлик*. Две звезды вращаются вокруг общего центра масс. Большая полуось орбиты  $a = 20$  а.е. Период обращения звезд вокруг общего центра масс  $T = 50$  лет. Вычислите общую массу  $M$  этой двойной звезды и массу  $M_B$  белого карлика (в единицах солнечной массы).

Гравитационная постоянная:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ ,

астрономическая единица:  $1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$ ,

масса Солнца  $M_\odot = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ ,

$1 \text{ год} = 3,2 \cdot 10^7 \text{ с}$ .

**11.2. Скопление галактик**

1) Скопление галактик представляет собой гравитационно-связанную систему. Радиус скопления  $R \approx 4$  Мпк. Скорость движения галактик (относительно центра масс скопления)  $v \approx 1000 \text{ км/с}$ . Оцените массу скопления (в кг и в единицах солнечной массы).

2) Скопление галактик является источником рентгеновского излучения. Излучение испускает горячий межгалактический газ, заполняющий весь объём скопления. Газ удерживается в скоплении тяготением. Другими словами, межгалактический газ в скоплении и скопление в целом находятся в состоянии гравитационной связанности, в состоянии равновесия. Оцените температуру  $T$  межгалактического газа в скоплении.

Гравитационная постоянная:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ ,

постоянная Больцмана:  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ ,

масса Солнца:  $M_\odot = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ ,

масса частицы газа:  $m = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .

**11.3. Планета Т-звезды**

Планета движется вокруг своей звезды по круговой орбите радиуса  $r$  и находится в *зоне обитаемости*. Интенсивность (поток) излучения звезды  $I = \frac{L}{4\pi r^2}$  на планете

такая же, как и на Земле от Солнца. Светимость звезды  $L = 9 \cdot 10^{-6} L_\odot$ , её радиус  $R = 0,1 R_\odot$ .

1) На каком расстоянии  $r$  от Т-звезды находится планета?

2) Найдите массу звезды (в единицах солнечной массы).

3) Оцените орбитальную скорость планеты (в км/с) и период её обращения вокруг звезды (в часах).

4) Оцените температуру поверхности звезды.

Соотношение "светимость-масса" для Т-звезды имеет вид  $\frac{L}{L_\odot} = \left( \frac{M}{M_\odot} \right)^{5/2}$ .

гравитационная постоянная:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ ,

расстояние от Земли до Солнца:  $a = 150 \text{ млн км}$ .

светимость Солнца:  $L_\odot = 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$ ,

масса Солнца:  $M_\odot = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ ,

радиус Солнца:  $R_\odot = 7 \cdot 10^8 \text{ м}$ .

### 11.4. Вращение звезды

Анализ равновесной формы вращающейся газовой конфигурации (звезды) можно провести на основе модели Роша. В рамках этой модели предполагается, что распределение массы вещества звезды не изменяется при вращении (модель твердотельного вращения). Поверхность звезды представляет собой поверхность равного потенциала гравитационных и центробежных сил:

$$\varphi = \varphi_{\text{гр}} + \varphi_{\text{цб}} = \text{const},$$

где  $\varphi_{\text{гр}} = -\frac{GM}{r}$  – гравитационный потенциал,

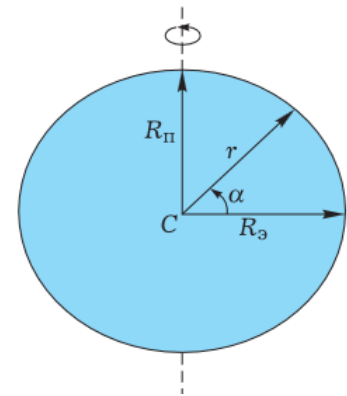
$$\varphi_{\text{цб}} = -\frac{1}{2} \cdot \omega^2 r^2 \cos^2 \alpha \text{ – потенциал поля центробежной}$$

силы инерции в данной точке  $r$  поверхности звезды,  $\omega$  – угловая скорость вращения звезды вокруг своей оси (см. рис.).

Звезда *Альтаир*. Масса звезды  $M = 1,7M_{\odot}$ . Экваториальный радиус  $R_{\text{э}} = 2R_{\odot}$ . Экваториальная скорость вращения  $v_{\text{э}} = 286$  км/с. Найдите полярный радиус  $R_{\text{п}}$  звезды (в единицах солнечного радиуса  $R_{\odot}$ ).

Масса Солнца:  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$  кг,

радиус Солнца:  $R_{\odot} = 7 \cdot 10^8$  м.



### 11.5. Туманность

Туманность, образовавшаяся в результате вспышки сверхновой звезды, имеет радиус  $r = 6,2 \cdot 10^{17}$  м и в настоящее время расширяется со скоростью  $v = 115$  км/с. Когда произошла вспышка сверхновой (время расширения до наблюдаемого радиуса)? Расширение

туманности происходит по закону  $r = \left(\frac{Q}{\rho}\right)^{\frac{1}{5}} t^{\frac{2}{5}}$ , где  $t$  – время,  $Q$  – энергия вспышки,

$\rho$  – плотность межзвездной среды.

1 год =  $3,2 \cdot 10^7$  с.

### 11.6. Гравитационный удар (манёвр)

На рисунке показана простейшая модель гравитационного удара (манёвра), в результате которого космический аппарат (КА) получает дополнительную скорость, необходимую для убегания из Солнечной системы. Точка О – центр планеты,  $V_{\text{пл}}$  – скорость планеты относительно Солнца. КА входит в сферу действия планеты в точке А со скоростью  $V_{\text{вх}}$  относительно Солнца и выходит из сферы действия в точке В со скоростью  $V_{\text{вых}}$  относительно Солнца. На рисунке  $v_{\text{вх}}$  и  $v_{\text{вых}}$  – скорость КА на входе и выходе из сферы действия относительно планеты. КА, запущенный с Земли, входит в сферу действия Юпитера со скоростью  $V_{\text{вх}} = 6$  км/с. Скорость Юпитера  $V_{\text{пл}} = 13$  км/с. С какой скоростью  $V_{\text{вых}}$  КА вылетит из сферы действия Юпитера?

