АСТРОНОМИЯ
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ

Задания
муниципального этапа
2026-2027 учебный год
10 класс

Задача 1. Видимые движения светил.

1. Определите, в каком направлении, пересекая экватор, идёт корабль, если угол между его курсом и направлением на Полярную звезду, видимую с левого борта, составляет 135°

2. Зная, что Луна, перемещаясь среди звёзд, совершает полный оборот за 27,3 сут, вычислите дугу, на которую Луна перемещается за одни сутки.

3. На пересечении двух дорог, угол между направлениями которых составляет 90°, установлен вертикальный столб. В каких направлениях идут эти дороги, если в полдень тень от столба располагается по биссектрисе угла между ними?

4. Укажите ошибку в приведённом ниже отрывке из повести Г. Голубева «Улугбек» (изд. «Молодая гвардия», М., 1960, стр. 140): «... Марс или Венера движутся в одну сторону — с запада на восток, потом останавливаются и, вдруг, направляются обратно на запад, и так несколько раз за ночь».

Задача 2. Движение планет.

1.Зная, что период обращения Фобоса равен 7ч 40мин, а период осевого вращения Марса составляет 24ч 37мин, укажите, сколько раз в течение марсианских суток и в какой части над горизонтом Марса восходит Фобос.

2. Зная сидерические периоды обращений Земли (365,26 сут) и Марса (686,97 сут) вокруг Солнца, определите, через сколько времени Земля видна с Марса как утреннее светило.

Задача 3. Определение расстояний

1. Какова дальность видимого горизонта, который мог бы наблюдать первый космонавт Ю. А. Гагарин в полете с высоты 327 км над земной поверхностью при полной прозрачности атмосферы и при отсутствии преломления воздухом луча зрения.

2. Вычислите расстояния Марса от Земли в противостоянии и в соединении, если средние расстояния этих планет от Солнца соответственно равны 228 и 150 млн. км.

Задача 4. Закон всемирного тяготения, движение ИСЗ

1. Сколько времени Земля падала бы на Солнце по эллиптической орбите, если бы она перестала обращаться вокруг него?

2. Первая советская космическая ракета, выведенная на эллиптическую орбиту 2 января 1959 г., двигалась на среднем расстоянии 1,15 а. е. от Солнца. Пользуясь законами Кеплера, найдите период ее обращения вокруг Солнца.

Задача 5.

1. Если покрыть поверхность Солнца слоем льда толщиной в 14 м, то излучаемое Солнцем тепло может растопить такую ледяную кору в течение 1 мин. Какое количество теплоты необходимо затратить на это, если радиус Солнца $7^* 10^8$ м.

2. За какое время отвесно падающие лучи. Солнца могли бы растопить слой льда, покрывающий Землю, при его толщине в 1 см, считая солнечную постоянную равной 1353,33 Вт/м² и полагая, что теплота не поглощается земной атмосферой?

3. Зная солнечную постоянную для Земли, вычислите величину солнечной постоянной для Венеры, если ее расстояние от Солнца равно 0,72 а. е.

Задача 6. Звезды и звездные системы

1. Планетарная туманность в созвездии Лиры имеет видимый угловой диаметр 84" и находится на расстоянии 700 парсеков от Солнца. Каковы приблизительно линейные размеры этой туманности?

2. Сколько времени придётся ждать ответа на радиотелеграмму, отправленную к галактике Андромеды, расстояние до которой равно 520 000 парсеков.

3. Найдите отношение масс Солнца и средней по массе звезды Галактики, принимая массу Солнца равной 2^*10^{30} кг и зная, что масса Галактики оценивается $2{,}6^*10^{41}$ кг, а общее число звезд в Галактике близко к $1{,}5^* 10^{11}$

ТАБЛИЦА ЭЛЕМЕНТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Наименование тел солнечной системы	Сидерический период обращения, год	Сидерический период обращения, *сут.*	Среднее расстояние от Солнца, а. е.	Скорость движения по орбите, *км/сек*	Наклонение орбиты к эклиптике	Средний диаметр, *км*	Сжатие	Период вращения вокруг оси	Масса, *кг*	Критическая скорость на поверхности, *км/сек*	Наклон экватора к орбите	Число спутников
Меркурий	0,241	116	0,387	47,8	7°	5000	—	88 *сут*	$3{,}24 \cdot 10^{23}$	4,3	0°	—
Венера	0,615	584	0,723	35	3°23′	12 400	—	225? *сут*	$4{,}86 \cdot 10^{24}$	10,4	?	—
Земля	1,000	—	1,000	29,8	—	12 756	1/298	$23^{ч}56^{м}04^{с}$	$5{,}98 \cdot 10^{24}$	11,3	23°27′	1
Марс	1,881	780	1,524	24,1	1 51	6 780	1/192	$24^{ч}37^{м}23^{с}$	$6{,}39 \cdot 10^{23}$	5,1	25°10″	2
Юпитер	11,86	399	5,203	13,1	1 18	143 640	1/16	$9^{ч}50^{м}$	$1{,}90 \cdot 10^{27}$	60,8	3°06′	12
Сатурн	29,46	378	9,539	9,6	2 29	120 500	1/10	$10^{ч}14^{м}$	$5{,}68 \cdot 10^{26}$	36,6	26°45′	9
Уран	84,01	370	19,19	6,8	0 46	53 400	1/18	$10^{ч}42^{м}$	$8{,}73 \cdot 10^{25}$	22,2	98°	5
Нептун	164,7	368	30,07	5,4	1 46	49 600	1/50	$15^{ч}48^{м}$	$1{,}03 \cdot 10^{26}$	24,8	29°	2
Плутон	248,9	367	39,65	4,7	17	12 000	?	$6^{ч}$?	$5 \cdot 10^{24}$?	?	?	—
Солнце	—	—	—	—	—	1 391 000	—	$25^{ср.}_{сут.}$ (на экв.)	$1{,}99 \cdot 10^{30}$	617	7°15′	—
Луна	27,32 ср. *сут*	29,53 ср. *сут.*	384 400 *км* от Земли	1,02	5°9′	3 476	—	$27{,}32^{ср.}_{сут.}$	$7{,}33 \cdot 10^{22}$	2,38	6°41	—

АСТРОНОМИЯ
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ

Справочные материалы
муниципального этапа
2026-2027 учебный год
10 класс

Участники имеют право пользоваться собственным калькулятором, любыми своими канцелярскими принадлежностями.

Справочные данные

§1. Основные физические и астрономические постоянные

Гравитационная постоянная $G = 6.672 \cdot 10^{-11}$ м^3 ·кг$^{-1}$ ·с$^{-2}$
Скорость света в вакууме $c = 2.998 \cdot 10^8$ м/с
Универсальная газовая постоянная $R = 8.31$ м^2 ·кг·с$^{-2}$ ·К$^{-1}$ ·моль$^{-1}$
Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ кг·с$^{-3}$ К$^{-4}$
Масса протона $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса электрона $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$ кг
Астрономическая единица 1 а.е. $= 1.496 \cdot 10^{11}$ м
Парсек 1 пк = 206 265 а.е. $= 3.086 \cdot 10^{16}$ м
Постоянная Хаббла H = 68 (км/с)/Мпк

§2. Данные о Солнце

Радиус 695 000 км
Масса $1.989 \cdot 10^{30}$ кг
Светимость $3.88 \cdot 10^{26}$ Вт
Спектральный класс G2
Видимая звездная величина -26.78^m
Абсолютная болометрическая звездная величина $+4.72^m$
Показатель цвета (B–V) $+0.67^m$
Эффективная температура 5800 К
Средний горизонтальный параллакс 8.794"
Интегральный поток энергии на расстоянии Земли 1360 Вт/м^2
Поток энергии в видимых лучах на расстоянии Земли 600 Вт/м^2

§3. Данные о Земле

Эксцентриситет орбиты 0.017
Тропический год 365.24219 суток
Средняя орбитальная скорость 29.8 км/с
Период вращения 23 часа 56 минут 04 секунды
Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000 года: 23° 26′ 21.45″
Экваториальный радиус 6378.14 км
Полярный радиус 6356.77 км
Масса $5.974 \cdot 10^{24}$ кг
Средняя плотность 5.52 г·см$^{-3}$
Объемный состав атмосферы: N2 (78%), O2 (21%), Ar (~1%).

§4. Данные о Луне

Среднее расстояние от Земли 384400 км
Минимальное расстояние от Земли 356410 км
Максимальное расстояние от Земли 406700 км
Эксцентриситет орбиты 0.055
Наклон плоскости орбиты к эклиптике 5° 09′
Сидерический (звездный) период обращения 27.321662 суток
Синодический период обращения 29.530589 суток
Радиус 1738 км
Масса $7.348 \cdot 10^{22}$ кг или 1/81.3 массы Земли
Средняя плотность 3.34 г·см$^{-3}$
Визуальное геометрическое альбедо 0.12
Видимая звездная величина в полнолуние -12.7^m
Видимая звездная величина в первой и последней четверти -10^m

§5. Физические характеристики Солнца и планет

Объект	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к пл. орб.	Геометр. альбедо	Видимая звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли	г·см$^{-3}$		градусы		
Солнце	$1{,}989 \cdot 10^{30}$	332946	695000	108,97	1,41	25,380 сут	7,25	–	$-26{,}8^m$
Меркурий	$3{,}302 \cdot 10^{23}$	0,05271	2439,7	0,3825	5,42	58,646 сут	0,00	0,10	$-0{,}1^m$
Венера	$4{,}869 \cdot 10^{24}$	0,81476	6051,8	0,9488	5,20	243,019 сут**	177,36	0,65	$-4{,}4^m$
Земля	$5{,}974 \cdot 10^{24}$	1,00000	6378,1	1,0000	5,52	23,934 час	23,45	0,37	–
Марс	$6{,}419 \cdot 10^{23}$	0,10745	3397,2	0,5326	3,93	24,623 час	25,19	0,15	$-2{,}0^m$
Юпитер	$1{,}899 \cdot 10^{27}$	317,94	71492	11,209	1,33	9,924 час	3,13	0,52	$-2{,}7^m$
Сатурн	$5{,}685 \cdot 10^{26}$	95,181	60268	904494	0,69	10,656 час	25,33	0,47	$+0{,}4^m$
Уран	$8{,}683 \cdot 10^{25}$	14,535	25559	4,0073	1,32	17,24 час**	97,86	0,51	$+5{,}7^m$
Нептун	$1{,}024 \cdot 10^{26}$	17,135	24746	3,8799	1,64	16,11 час	28,31	0,41	$+7{,}8^m$

* – для наибольшей элонгации внутренних планет и среднего противостояния внешних планет
** – обратное вращение.

§6. Характеристики орбит планет

Планета	Большая полуось		Эксцентриситет	Наклон к плоскости эклиптики	Период обращения	Синодический период
	млн. км.	а. е.		градусы		сут
Меркурий	57,9	0,3871	0,2059	7,004	87,97 сут	115,9
Венера	108,2	0,7233	0,0038	3,394	224,70 сут	583,9
Земля	149,6	1,0000	0,0167	0,000	365,26 сут	–
Марс	227,9	1,5237	0,0934	1,850	686,98 сут	780,0
Юпитер	778,3	5,2028	0,0483	1,308	11,862 лет	398,9
Сатурн	1429,4	9,5388	0,0560	2,488	29,458 лет	378,1
Уран	2871,0	19,1914	0,0461	0,774	84,01 лет	369,7
Нептун	4504,3	30,0611	0,0097	1,774	164,79 лет	367,5

§8. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрическое альбедо	Видимая зв. величина*
	кг	км	г/см3	км	сут		
Земля							
Луна	$7{,}348\cdot10^{22}$	1738	3,34	384400	27,32166	0,12	$-12{,}7^{m}$
Марс							
Фобос	$1{,}08\cdot10^{16}$	~10	2,0	9380	0,31910	0,06	$11{,}3^{m}$
Деймос	$1{,}8\cdot10^{15}$	~6	1,7	23460	1,26244	0,07	$12{,}4^{m}$
Юпитер							
Ио	$8{,}94\cdot10^{22}$	1815	3,55	421800	1,769138	0,61	$5{,}0^{m}$
Европа	$4{,}8\cdot10^{22}$	1569	3,01	671100	3,551181	0,64	$5{,}3^{m}$
Ганимед	$1{,}48\cdot10^{23}$	2631	1,94	1070400	7,154553	0,42	$4{,}6^{m}$
Каллисто	$1{,}08\cdot10^{23}$	2400	1,86	1882800	16,68902	0,20	$5{,}7^{m}$
Сатурн							
Тефия	$7{,}55\cdot10^{20}$	530	1,21	294660	1,887802	0,9	$10{,}2^{m}$
Диона	$1{,}05\cdot10^{21}$	560	1,43	377400	2,736915	0,7	$10{,}4^{m}$
Рея	$2{,}49\cdot10^{21}$	765	1,33	527040	4,517500	0,7	$9{,}7^{m}$
Титан	$1{,}35\cdot10^{23}$	2575	1,88	1221850	15,94542	0,21	$8{,}2^{m}$
Япет	$1{,}88\cdot10^{21}$	730	1,21	3560800	79,33018	0,2	$\sim11{,}0^{m}$
Мимас	$3{,}7\cdot10^{19}$	198,2	1,149	185539	0,942	0,962	12,9
Уран							
Миранда	$6{,}33\cdot10^{19}$	235,8	1,15	129900	1,413479	0,27	$16{,}3^{m}$
Ариэль	$1{,}7\cdot10^{21}$	578,9	1,56	190900	2,520379	0,34	$14{,}2^{m}$
Умбриэль	$1{,}27\cdot10^{21}$	584,7	1,52	266000	4,144177	0,18	$14{,}8^{m}$
Титания	$3{,}49\cdot10^{21}$	788,9	1,70	436300	8,705872	0,27	$13{,}7^{m}$
Оберон	$3{,}03\cdot10^{21}$	761,4	1,64	583500	13,46324	0,2	$13{,}9^{m}$
Нептун							
Тритон	$2{,}14\cdot10^{22}$	1350	2,07	354800	5,87685**	0,7	$13{,}5^{m}$

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет

** – обратное вращение

АСТРОНОМИЯ
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ

Критерии оценивания
заданий
муниципального этапа
2026-2027 учебный год
10 класс

Задача 1. Видимые движения светил (15 баллов).

1. Определите, в каком направлении, пересекая экватор, идёт корабль, если угол между его курсом и направлением на Полярную звезду, видимую с левого борта, составляет 135°

Ответ:

Корабль идёт на юго-восток (ЮВ).

Вот пошаговое объяснение, как это определить:

Ориентир: Полярная звезда всегда указывает строго на **север**. Поскольку корабль пересекает экватор, звезда находится прямо на линии горизонта (0,5 балла).

Расположение: Звезда видна с **левого борта**. Это значит, что направление на север находится слева от направления движения корабля (1 балл).

Расчет угла: Угол между курсом (носом корабля) и Полярной звездой (севером) составляет **135°**. Если мысленно встать на место капитана и посмотреть прямо по курсу, то север будет находиться сзади-слева (под углом 135° влево от направления взгляда) (0,5 балла).

Итоговое направление: Если север находится на 135° левого борта, то сам корабль движется в направлении 135° по часовой стрелке от севера (азимут 135°). Это направление соответствует **юго-востоку (1 балл)**. Итого 3 балла за задачу.

2. Зная, что Луна, перемещаясь среди звёзд, совершает полный оборот за 27,3 сут, вычислите дугу, на которую Луна перемещается за одни сутки.

Ответ:

За одни сутки Луна перемещается среди звёзд по дуге, равной примерно 13,2° (или 13°11').

Пошаговое решение:

1. Полный оборот Луны вокруг Земли относительно звёзд называется сидерическим месяцем – указание этого 1 балл.
2. Определение полного круга: Полный оборот составляет 360° - 1 балл.
3. Время оборота: Луна проходит этот путь за 27,3 суток – 1 балл.
4. Расчёт смещения за сутки: Чтобы узнать суточный путь Луны, разделим весь круг на количество суток:

$$\frac{360°}{27.3 \text{ сут}} \approx 13{,}1868^{\circ}$$

Если перевести десятичную дробь в угловые градусы и минуты (учитывая, что в 1 градусе содержится 60 минут):

- $0{,}1868^\circ * 60' \approx 11'$
- Получаем $13^\circ 11'$ - правильный расчет – 1 балл.
  Итого 4 балла за задачу

3. На пересечении двух дорог, угол между направлениями которых составляет 90°, установлен вертикальный столб. В каких направлениях идут эти дороги, если в полдень тень от столба располагается по биссектрисе угла между ними?

Ответ:
Направление тени: В истинный полдень солнце находится в наивысшей точке (в зените для данного дня) и располагается строго на юге (в Северном полушарии) или строго на севере (в Южном полушарии). Соответственно, полуденная тень от вертикального столба всегда направлена по линии **север - юг** – 1 балл.
Свойство биссектрисы: По условию задачи тень лежит на биссектрисе угла между дорогами. Это значит, что линия север - юг делит угол между ними пополам.
Расчёт углов: Угол между дорогами равен **90°**. Биссектриса делит его на два равных угла по **45°**. Таким образом, обе дороги отклоняются от направления на север (или юг) ровно на 45° - 2 балла.
Определение направлений: Угол в 45° между основными сторонами горизонта (север, юг, восток, запад) указывает точно на промежуточные стороны:
Одна дорога идёт с **северо-запада на юго-восток**.
Вторая дорога идёт с **северо-востока на юго-запад**.
– 2 балла. Итого 4 балла.

4. Укажите ошибку в приведённом ниже отрывке из повести Г. Голубева «Улугбек» (изд. «Молодая гвардия», М., 1960, стр. 140): «... Марс или Венера движутся в одну сторону - с запада на восток, потом останавливаются и, вдруг, направляются обратно на запад, и так несколько раз за ночь».
Ответ:

Главная грубая ошибка в этом отрывке заключается во временном масштабе описываемого явления: смена направления движения планет («петляние») не может происходить «несколько раз за ночь».
В астрономии это явление называется **попятным (ретроградным) движением**. Из-за разницы скоростей движения Земли и других планет по своим орбитам нам кажется, что Марс или Венера замедляются, останавливаются и начинают двигаться в обратную сторону относительно звёзд. Однако этот процесс происходит чрезвычайно медленно.
Масштаб времени: Планеты меняют направление своего движения **в течение многих недель и месяцев**, а не часов.
В течение одной ночи: Абсолютно все светила (включая Марс, Венеру, Луну

и звезды) из-за суточного вращения Земли непрерывно и монотонно движутся в одном направлении - **с востока на запад**, где и заходят за горизонт. Разглядеть собственное (петлеобразное) движение планеты на фоне звёзд «на глаз» за несколько часов одной ночи невозможно.

Приведение правильного объяснение указанного явления – 4 балла. Не полное объяснение явления или объяснение с ошибками - 1-2 балла на усмотрение проверяющего.

Задача 2. Движение планет (15 баллов).

1.Зная, что период обращения Фобоса равен 7ч 40мин, а период осевого вращения Марса составляет 24ч 37мин, укажите, сколько раз в течение марсианских суток и в какой части над горизонтом Марса восходит Фобос.

Ответ:
На марсианском небе Фобос восходит в западной части горизонта (на западе). В течение одних марсианских суток для конкретного наблюдателя на поверхности планеты он успевает взойти 2 или 3 раза (в среднем сидерический период повторения восходов составляет около 11 часов, поэтому за марсианские сутки в 24 часа 37 минут происходит как минимум два, а иногда и три восхода).

Почему так происходит?

Необычный восход на западе: Период обращения Фобоса вокруг Марса (7ч 40м) значительно меньше периода осевого вращения самого Марса (24ч 37м). Спутник движется по своей орбите в том же направлении, в котором вращается планета, но делает это гораздо быстрее. В результате Фобос «обгоняет» вращение Марса, из-за чего для марсианского наблюдателя он восходит на западе и заходит на востоке (3 балла за обоснование).

Частота восходов: Чтобы рассчитать время между двумя последовательными восходами (синодический период $T_{\text{син}}$), используется формула догоняющих тел:

$$\frac{1}{T_{\text{син}}} = \frac{1}{T_{\text{ф}}} - \frac{1}{T_{\text{м}}}$$

Где $T_{\text{ф}}$ ≈7,67 часа - период Фобоса, а $T_{\text{м}}$ ≈24,62 часа - сутки Марса. Из этого уравнения $T_{\text{син}}$ ≈11,1 часа. Поскольку марсианские сутки длятся чуть более 24,6 часа, Фобос пересекает небо каждые 11 часов. В зависимости от того, в какое время случился первый восход, за одни сутки наблюдатель фиксирует 2 или 3 восхода Фобоса. (4 балла за использование формулы и правильный расчет). Итого7 баллов.

2. Зная сидерические периоды обращений Земли (365,26 сут) и Марса (686,97 сут) вокруг Солнца, определите, через сколько времени Земля видна с Марса как утреннее светило.

Ответ:
Земля видна с Марса как утреннее светило (в наибольшей западной элонгации) через синодический период обращения Земли и Марса, который составляет примерно 779,97 сут (или около 780 суток) (2 балла).
Расчёт синодического периода:

Для планет синодический период S (промежуток времени между одинаковыми конфигурациями, например, когда Земля занимает положение утренней звезды для наблюдателя на Марсе) вычисляется по формуле:

$$\frac{1}{\mathrm{S}} = \left| \frac{1}{T_{\mathrm{з}}} - \frac{1}{T_{\mathrm{м}}} \right|$$

Где:

Тз = 365,26 сут - сидерический период Земли.

Тм = 686,97 сут - сидерический период Марса.

(4 балла за формулу)

Подставляем значения:
1/S = 1/365,26 - 1/686,97 ≈ 0,0027378 - 0,0014556 = 0,0012822 сут$^{-1}$
S = 1/0,0012822 ≈ 779,97 сут (2 балл) Итого 8 баллов.

Задача 3. Определение расстояний (15 баллов)

1. Какова дальность видимого горизонта, который мог бы наблюдать первый космонавт Ю. А. Гагарин в полете с высоты 327 км над земной поверхностью при полной прозрачности атмосферы и при отсутствии преломления воздухом луча зрения.

Ответ:
При полной прозрачности атмосферы и отсутствии атмосферной рефракции дальность видимого геометрического горизонта для Ю. А. Гагарина на максимальной высоте полёта (327 км) составляла приблизительно **2067 километров** (геометрическая дальность по лучу зрения). При этом расстояние, измеренное по дуге вдоль поверхности Земли, составляет около **1999 километров**. (2 балла)
Геометрический расчёт:
Для расчёта используется прямоугольный треугольник, образованный радиусом Земли R, высотой полёта h и лучом зрения к линии горизонта (касательной к сфере):

Формула прямой видимости (длина луча зрения):

$d = \sqrt{((R + h)^2 - R^2)} = \sqrt{(2Rh + h^2)}$

Средний радиус Земли R ≈ 6371 км

Высота полета h = 327 км

$d = \sqrt{(2 \cdot 6371 \cdot 327 + 327^2)} = \sqrt{(4166634 + 106929)} = \sqrt{4273563} \approx$ 2067.26 км (3 балла)

Формула расстояния по поверхности Земли (длина дуги):

s = R · arccos(R / (R + h))

s = 6371 · arccos(6371 / 6698) ≈ 6371 · 0.31376 рад ≈ 1998.97 км (2 балла)

Итог 7 баллов.

2. Вычислите расстояния Марса от Земли в противостоянии и в соединении, если средние расстояния этих планет от Солнца соответственно равны 228 и 150 млн. км.

Ответ:
В противостоянии расстояние между Марсом и Землёй составляет 78 млн км, а в соединении - 378 млн км.(8 баллов за задачу, по 4 балла за оба рассчета)
Как это вычисляется:
Для простоты расчётов орбиты планет принимаются за круговые.
В противостоянии (оппозиции) Земля находится точно между Солнцем и Марсом на одной прямой. В этот момент планеты максимально сближаются.

d_прот = R_м - R_з = 228 - 150 = 78 млн км

В соединении Солнце находится точно между Землёй и Марсом на одной прямой. В этот момент Марс находится на максимальном удалении от Земли.

d_соед = R_м + R_з = 228 + 150 = 378 млн км

Задача 4. Закон всемирного тяготения, движение ИСЗ (15 баллов)

1. Сколько времени Земля падала бы на Солнце по эллиптической орбите, если бы она перестала обращаться вокруг него?

Ответ:
Земля упала бы на Солнце примерно за 64,5 дня (около 64 дней и 13 часов).
Как это рассчитывается?
По третьему закону Кеплера период обращения тела по вырожденному

эллипсу (у которого большая полуось a' = $\frac{a}{2}$, где a - радиус прежней круговой орбиты) равен половине обычного периода делить на $\sqrt{2}$. (3 балла)

Формула времени падения: $T_{\text{падения}} = \frac{T}{4\sqrt{2}}$, где T - сидерический год (около 365,25 суток).
Подставляем значения: $\frac{365{,}25}{4 \times 1{,}4142} \approx 64{,}57$ суток.

Расчет времени падения 4 балла. Итого 7 баллов.

2. Первая советская космическая ракета, выведенная на эллиптическую орбиту 2 января 1959 г., двигалась на среднем расстоянии 1,15 а. е. от Солнца. Пользуясь законами Кеплера, найдите период ее обращения вокруг Солнца.

Ответ:

Период обращения ракеты вокруг Солнца составляет примерно 1,23 года (или около 450 суток).
Для решения этой задачи применим третий закон Кеплера. Он гласит, что квадраты периодов обращения планет (или других небесных тел) вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей их орбит (средних расстояний от Солнца):

$T_1^2 / T_2^2 = a_1^3 / a_2^3$ (2 балла)

Данные для расчета:
Земля (T_2 и a_2): Период обращения Земли вокруг Солнца $T_2 = 1$ год, а среднее расстояние $a_2 = 1$ а. е. (астрономическая единица).
Космическая ракета (T_1 и a_1): Среднее расстояние до Солнца $a_1 = 1{,}15$ а. е.

Пошаговое решение:
Выразим период обращения ракеты (T_1) из формулы:
$T_1 = \sqrt{((a_1^3 / a_2^3) \cdot T_2^2)}$

Подставим значения (так как величины для Земли равны 1, формула упрощается):
$T_1 = \sqrt{(1{,}15^3)} = \sqrt{1{,}520875} \approx 1{,}233$ года

Переведём полученное значение в земные сутки (в году 365,25 суток):
1,233 × 365,25 ≈ 450,4 суток – 6 баллов

Итого 8 баллов за задачу.

Задача 5. Энергия Солнца (20 баллов)

1. Если покрыть поверхность Солнца слоем льда толщиной в 14 м, то излучаемое Солнцем тепло может растопить такую ледяную кору в течение 1 мин. Какое количество теплоты необходимо затратить на это, если радиус Солнца $7^* 10^8$ м.

Ответ:

Расчёт по шагам:

1. Исходные данные (справочные величины):

Радиус Солнца $R = 7 \cdot 10^8$ м

Толщина слоя льда $h = 14$ м

Плотность льда $\rho \approx 917$ кг/м³

Удельная теплота плавления льда $\lambda \approx 3{,}34 \cdot 10^5$ Дж/кг

2. Площадь поверхности Солнца:

Поскольку толщина льда (14 м) ничтожно мала по сравнению с радиусом Солнца (700 000 000 м), площадь ледяной коры можно считать равной площади поверхности шара:

$S = 4\pi R^2 = 4 \cdot 3{,}1416 \cdot (7 \cdot 10^8)^2 \approx 6{,}158 \cdot 10^{18}$ м² - 2 балла

3. Объем и масса льда:

Объем слоя: $V = S \cdot h = 6{,}158 \cdot 10^{18} \cdot 14 \approx 8{,}621 \cdot 10^{19}$ м³

Масса льда: $m = V \cdot \rho = 8{,}621 \cdot 10^{19} \cdot 917 \approx 7{,}905 \cdot 10^{22}$ кг - 2 балла

4. Количество теплоты для плавления:

$Q = \lambda \cdot m = 3{,}34 \cdot 10^5 \cdot 7{,}905 \cdot 10^{22} \approx 2{,}64 \cdot 10^{28}$ Дж - 2 балла. Итого 6 баллов за задачу.

2. За какое время отвесно падающие лучи. Солнца могли бы растопить слой льда, покрывающий Землю, при его толщине в 1 см, считая солнечную постоянную равной 1353,33 Вт/м² и полагая, что теплота не поглощается земной атмосферой?

Ответ:

Рассчитаем массу льда (m), приходящуюся на 1 м² площади Земли:

$m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot h$

Для площади $S = 1$ м² и толщины $h = 1$ см $= 0{,}01$ м:

$m = 917$ кг/м³ $\cdot$ 1 м² $\cdot$ 0,01 м $= 9{,}17$ кг - 2 балла

Найдём количество теплоты (Q), необходимое для плавления этой массы льда:

$Q = \lambda \cdot m$

$Q = 3{,}34 \cdot 10^5$ Дж/кг $\cdot$ 9,17 кг = 3 062 780 Дж – 2 балла

Определим время таяния (t). Солнечная постоянная ($I = 1353{,}33$ Вт/м²) показывает энергию, поступающую на 1 м² за 1 секунду.

$Q = I \cdot S \cdot t \Rightarrow t = Q / (I \cdot S)$
$t = 3\,062\,780$ Дж / (1353,33 Вт/м² · 1 м²) ≈ 2263,14 с

Переведем время в минуты:
t = 2263,14 / 60 ≈ 37,72 мин - 3 балла. Итого 7 баллов за задачу.

3. Зная солнечную постоянную для Земли, вычислите величину солнечной постоянной для Венеры, если ее расстояние от Солнца равно 0,72 а. е.

Ответ:
Формула: Освещённость и величина солнечной постоянной E обратно пропорциональны квадрату расстояния R от планеты до Солнца:

$$\frac{E_в}{E_з} = (\frac{R_з}{R_в})^2$$

Исходные данные:
Солнечная постоянная для Земли: E_з ≈ 1,36 кВт/м² (1360 Вт/м²).
Расстояние от Солнца до Земли: R_з = 1 а. е.
Расстояние от Солнца до Венеры: R_в = 0,72 а. е.

Расчет:
E_в = E_з · (1 / 0,72)² ≈ 1,36 · 1,929 ≈ 2,63 кВт/м² 7 баллов за задачу

Задача 6. Звезды и звездные системы (20 баллов)

1. Планетарная туманность в созвездии Лиры имеет видимый угловой диаметр 84" и находится на расстоянии 700 парсеков от Солнца. Каковы приблизительно линейные размеры этой туманности?

Ответ:
Для решения используется формула малого угла, которая связывает угловой размер объекта (α), расстояние до него (r) и его линейные размеры (D).
По определению парсека, если расстояние выражено в парсеках (пк), а угловой размер - в угловых секундах ('), то линейный размер автоматически получается в астрономических единицах (а.е.):
$D = r \cdot \alpha$

Расчёт в астрономических единицах (а.е.):
D = 700 пк · 84" = 58 800 а.е.

Перевод в парсеки (пк):
В одном парсеке содержится 206 265 а.е.
D = 58 800 / 206 265 ≈ 0,285 пк

Перевод в световые года (св. г.):
Один парсек равен примерно 3,26 светового года.
D = 0,285 · 3,26 ≈ 0,93 св. года
6 баллов за задачу

2. Сколько времени придётся ждать ответа на радиотелеграмму, отправленную к галактике Андромеды, расстояние до которой равно 520 000 парсеков.

Ответ:

Расчёты:
1 парсек равен 3,26 световым годам.
Расстояние до галактики в световых годах: 520 000 пк × 3,26 = 1 695 200 световых лет.
Сигнал идёт до адресата столько же времени, сколько летит обратно, поэтому общее время ожидания ответа удваивается: 1 695 200 × 2 = 3 390 400 лет (около 3,39 млн лет). 7 баллов за задачу

3. Найдите отношение масс Солнца и средней по массе звезды Галактики, принимая массу Солнца равной $2*10^{30}$ кг и зная, что масса Галактики оценивается $2,6*10^{41}$ кг, а общее число звезд в Галактике близко к $1,5*10^{11}$

Ответ:

Отношение массы Солнца к средней массе звезды Галактики составляет примерно 1,15 (то есть Солнце примерно на 15% массивнее, чем средняя звезда в нашей Галактике).

Пошаговое решение:
1. Дано:
Масса Солнца ($M_\odot$) = $2 \cdot 10^{30}$ кг
Масса Галактики ($M_Г$) = $2,6 \cdot 10^{41}$ кг
Число звёзд в Галактике (N) = $1,5 \cdot 10^{11}$

2. Находим среднюю массу одной звезды Галактики ($M_{ср}$):
Для этого разделим общую массу всех звёзд (принимая массу Галактики за массу её звёздного населения) на их количество:
$M_{ср} = M_Г / N = (2,6 \cdot 10^{41}) / (1,5 \cdot 10^{11}) \approx 1,733 \cdot 10^{30}$ кг

3. Находим искомое отношение (k):
Разделим массу Солнца на среднюю массу звезды:
$k = M_\odot / M_{ср} = (2 \cdot 10^{30}) / (1,733 \cdot 10^{30}) \approx 1,154$
7 баллов за задачу

ТАБЛИЦА ЭЛЕМЕНТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Наименование тел солнечной системы	Сидерический период обращения, год	Сидерический период обращения, *сут.*	Среднее расстояние от Солнца, а. е.	Скорость движения по орбите, *км/сек*	Наклонение орбиты к эклиптике	Средний диаметр, *км*	Сжатие	Период вращения вокруг оси	Масса, *кг*	Критическая скорость на поверхности, *км/сек*	Наклон экватора к орбите	Число спутников
Меркурий	0,241	116	0,387	47,8	7°	5000	—	88 *сут*	$3{,}24 \cdot 10^{23}$	4,3	0°	—
Венера	0,615	584	0,723	35	3°23′	12 400	—	225? *сут*	$4{,}86 \cdot 10^{24}$	10,4	?	—
Земля	1,000	—	1,000	29,8	—	12 756	1/298	$23^{ч}56^{м}04^{с}$	$5{,}98 \cdot 10^{24}$	11,3	23°27′	1
Марс	1,881	780	1,524	24,1	1 51	6 780	1/192	$24^{ч}37^{м}23^{с}$	$6{,}39 \cdot 10^{23}$	5,1	25°10″	2
Юпитер	11,86	399	5,203	13,1	1 18	143 640	1/16	$9^{ч}50^{м}$	$1{,}90 \cdot 10^{27}$	60,8	3°06′	12
Сатурн	29,46	378	9,539	9,6	2 29	120 500	1/10	$10^{ч}14^{м}$	$5{,}68 \cdot 10^{26}$	36,6	26°45′	9
Уран	84,01	370	19,19	6,8	0 46	53 400	1/18	$10^{ч}42^{м}$	$8{,}73 \cdot 10^{25}$	22,2	98°	5
Нептун	164,7	368	30,07	5,4	1 46	49 600	1/50	$15^{ч}48^{м}$	$1{,}03 \cdot 10^{26}$	24,8	29°	2
Плутон	248,9	367	39,65	4,7	17	12 000	?	$6^{ч}$?	$5 \cdot 10^{24}$?	?	?	—
Солнце	—	—	—	—	—	1 391 000	—	$25^{ср.}_{сут.}$ (на экв.)	$1{,}99 \cdot 10^{30}$	617	7°15′	—
Луна	27,32 ср. *сут*	29,53 ср. *сут.*	384 400 *км* от Земли	1,02	5°9′	3 476	—	$27{,}32^{ср.}_{сут.}$	$7{,}33 \cdot 10^{22}$	2,38	6°41	—