

Всероссийская олимпиада школьников по астрономии
Муниципальный этап, теоретический тур
2025/2026 учебный год
11 класс

Уважаемый участник олимпиады!

Вам предстоит выполнить теоретические (письменные) и тестовые задания.

Время выполнения всех заданий тура – **4** астрономических часа.

Выполнение теоретических (письменных) заданий целесообразно организовать следующим образом:

- не спеша, внимательно прочитайте задание и определите, наиболее верный и полный ход решения и ответ;
- отвечая на теоретический вопрос, обдумайте и сформулируйте конкретный ответ только на поставленный вопрос;
- если Вы отвечаете на задание, связанное с заполнением таблицы или схемы, не старайтесь чрезмерно детализировать информацию, вписывайте только те сведения или данные, которые указаны в вопросе;
- после выполнения всех предложенных заданий еще раз удостоверьтесь в правильности выбранных Вами ответов и решений.

Выполнение тестовых заданий целесообразно организовать следующим образом:

- не спеша, внимательно прочитайте задание;
- определите, какой из предложенных вариантов ответа (в случае использования заданий с выбором ответа) наиболее верный и полный;
- напишите букву (цифру), соответствующую выбранному Вами ответу;
- продолжайте, таким образом, работу до завершения выполнения тестовых заданий;
- после выполнения всех предложенных заданий еще раз удостоверьтесь в правильности Ваших ответов.

Не спешите сдавать решения досрочно, еще раз проверьте все решения и ответы.

Задание теоретического тура считается выполненным, если Вы вовремя сдаете его представителям оргкомитета. Максимальная оценка – **100** баллов.

№ 1. «Движение кометы C/2023 A3 вблизи своего перигелия»

На рис. 1 представлена траектория видимого движения яркой кометы C/2023 A3 (Цзыцзиньшань-ATLAS) по небосводу для жителя северного географического полушария в окрестности перигелия ее орбиты – ближайшей точки орбиты кометы по отношению к Солнцу, в интервале 20 сентября – 16 ноября 2024 года. Здесь указаны некоторые даты и соответствующие ее положения на небосводе с указанием ориентации хвоста.



Рис. 1. К определению видимого движения кометы C/2023 A3 (Цзыцзиньшань-ATLAS) по земному небосводу (с указанием углового масштаба изображения) для жителя северного географического полушария в интервале 20 сентября – 16 ноября 2024 года.

1. Почему при приближении к Солнцу у кометы появляется хвост? Свой выбор поясните.

Варианты ответов:

1. По мере приближения к Солнцу в межпланетном пространстве увеличивается концентрация пылевых частиц, которые своим притяжением захватывает комета и увлекает за собой, порождая хвост;

2. Кометы при приближении к Солнцу обязательно пролетают сквозь Главный пояс астероидов, где много пыли, оставшейся от столкновения астероидов. Кометы ее захватывают и после своим притяжением увлекают за собой в движении по Солнечной системе, порождая хвост;

3. Хвост кометы – это оптическое волновое явление, обусловленное лишь особым рассеянием света в атмосфере Земли;

4. По мере приближения к Солнцу ядро кометы нагревается. С его поверхности сублимируют газы, увлекаемая с собою пыль. Газо-пылевая смесь сдувается с ядра излучением Солнца и порождает хвост;

5. Хвост кометы это лишь свечение межпланетного пространства, возникающее в результате взаимодействия ядра кометы с квантовым вакуумом межпланетной среды и интенсивным рождением фотонов.

2. Почему по мере движения кометы вокруг Солнца изменяется ориентация его хвоста в пространстве? Свой выбор поясните.

Варианты ответов:

1. При движении кометы вокруг Солнца изменяется лишь проекция хвоста кометы на картинную плоскость земного наблюдателя, ориентация хвоста в пространстве неизменна;

2. Изменение ориентации хвоста кометы лишь оптическая иллюзия, не имеющая отношения к комете, обусловленная лишь рассеянием света в земной атмосфере;

3. Изменение ориентации хвоста кометы в пространстве обусловлено ориентирующим действием сил давления солнечного света и солнечного ветра на вещество хвоста;

4. Изменение ориентации хвоста кометы в пространстве обусловлено ориентирующим действием межпланетных электрических и магнитных полей;

5. Квантовый вакуум межпланетного пространства является неоднородным. В результате движения ядра кометы и его взаимодействия с вакуумом, изменятся преимущественное направление излучения фотонов, а с ним и ориентация хвоста.

3. Определите дату (указанную на рисунке), ближайшую к моменту сизигии Солнца, Земли и кометы, предшествующую этой конфигурации? Свой выбор поясните. Под *сизигией* в астрономии понимается конфигурация трех или более небесных тел Солнечной системы, когда последние располагаются на одной прямой.

Варианты ответов:

1. 20 сентября	2. 2 октября	3. 5 октября	4. 8 октября
5. 11 октября	6. 14 октября	7. 17 октября	8. 23 октября
9. 1 ноября	10. 16 ноября	–	–

4. Постройте график зависимости средней угловой скорости (выраженной в градус/сутки) видимого движения кометы по небосводу в интервале 20 сентября-16 ноября от времени.

№ 2. «Февральский парад планет 2025 года и его особенности»

Парад (или выравнивание) планет – астрономическое явление, при котором некоторое количество планет Солнечной системы располагаются вдоль одной линии, при этом на небесной сфере они находятся относительно близко друг к другу. Выравнивания планет условно разделяются на 4 вида по количеству участвующих в них планет.

Виды парадов (выравниваний) планет Солнечной системы			
мини-парад	малый	большой	великий (полный)
Количество планет участников			
2 ÷ 3	4	5 ÷ 6	7 ÷ 8



Рис. 2. К определению парада планет от 28 февраля 2025 года.

1. На рис. 2 представлен результат компьютерной симуляции парада планет, произошедшего 28 февраля 2025 года, с усилением видимой яркости некоторых из представленных планет с позиции наблюдателя, расположенного в южном географическом полушарии. Какой вид парада наблюдался в эти сутки?

Варианты ответов:

1. Мини-парад	2. Малый парад	3. Большой парад	4. Великий парад
---------------	----------------	------------------	------------------

2. В какое время суток данную конфигурацию планет можно было наблюдать?

Варианты ответов:

1. Вечер	2. Ночь	3. Утро	4. День
----------	---------	---------	---------

3. Вдоль дуги какого большого круга приблизительно выстроились указанные планеты?

Варианты ответов:

1. Математический горизонт	2. Небесный меридиан	3. Первый вертикал
4. Колпур равноденствий	5. Небесный экватор	6. Эклиптика

4. Какая из представленных планет обладала наибольшим зенитным расстоянием на момент симуляции данного события?

Варианты ответов:

1. Меркурий	2. Венера	3. Марс	4. Юпитер
5. Сатурн	6. Уран	7. Нептун	–

5. Какая из представленных планет на момент симуляции обладала наибольшим астрономическим азимутом? Известно, что нуль-пункт и направление отсчета астрономического азимута в южном полушарии такое же как и в северном.

Варианты ответов:

1. Меркурий	2. Венера	3. Марс	4. Юпитер
5. Сатурн	6. Уран	7. Нептун	–

6. Какая из представленных планет на момент симуляции обладала наибольшей эклиптической долготой? В этот момент точка весеннего равноденствия располагалась вблизи Меркурия.

Варианты ответов:

1. Меркурий	2. Венера	3. Марс	4. Юпитер
5. Сатурн	6. Уран	7. Нептун	–

№ 3. «Топ-10 ближайших к Солнцу звезд и их свойства»

На рис. 3 представлена диаграмма распределения 10 ближайших звезд в окрестности Солнца. В табл. 1 представлены их основные характеристики.

Звезда	$\mathcal{M}_*/\mathcal{M}_\odot$	$\mathcal{R}_*/\mathcal{R}_\odot$	$L_*/L_\odot$	$T_*, \text{ K}$	$m_*, ^m$	СпКл	КлСв
Проксима Центавра	0.123	0.145	$6 \cdot 10^{-5}$	3042	11.5	M5.5	V
α Центавра А	1.10	1.227	1.519	5750	-0.01	G2	V
α Центавра В	0.90	0.865	0.500	5250	+1.34	K1	V
Звезда Барнарда	0.17	0.15	$4 \cdot 10^{-4}$	3134	9.57	M4	V
Вольф 359	0.10	0.16	$2 \cdot 10^{-5}$	2800	13.53	M6	V
Лаланд 21185	0.39	0.39	0.021	3547	7.52	M2	V
Сириус А	2.063	1.713	24.7	9845	-1.46	A0	V
Сириус В	1.018	0.0081	0.024	25000	+8.44	DA	VII
BL Кита	0.122	0.165	$1.47 \cdot 10^{-3}$	2784	12.8	M5.5	V
UV Кита	0.116	0.159	$1.25 \cdot 10^{-3}$	2728	12.8	M6	V

Пояснение: здесь $\mathcal{M}_*$, $\mathcal{R}_*$, L_* – значения массы, радиуса, светимости звезды соответственно, T_* – эффективная температура ее поверхности, m_* – ее видимая звездная величина; $\mathcal{M}_\odot$, $\mathcal{R}_\odot$, $L_\odot$ – значения массы, радиуса, светимости Солнца соответственно; СпКл – спектральный класс звезды, КлСв – класс ее светимости.

Таблица 1. Основные характеристики 10 ближайших к Солнцу звезд.

1.а) Светимость какой из представленных звезд в 50 тысяч раз меньше светимости Солнца?

Варианты ответов:

1. Проксима Центавра	2. α Центавра А	3. α Центавра В	4. Звезда Барнарда
5. Вольф 359	6. Лаланд 21185	7. Сириус А	8. Сириус В
9. BL Кита	10. UV Кита	–	–

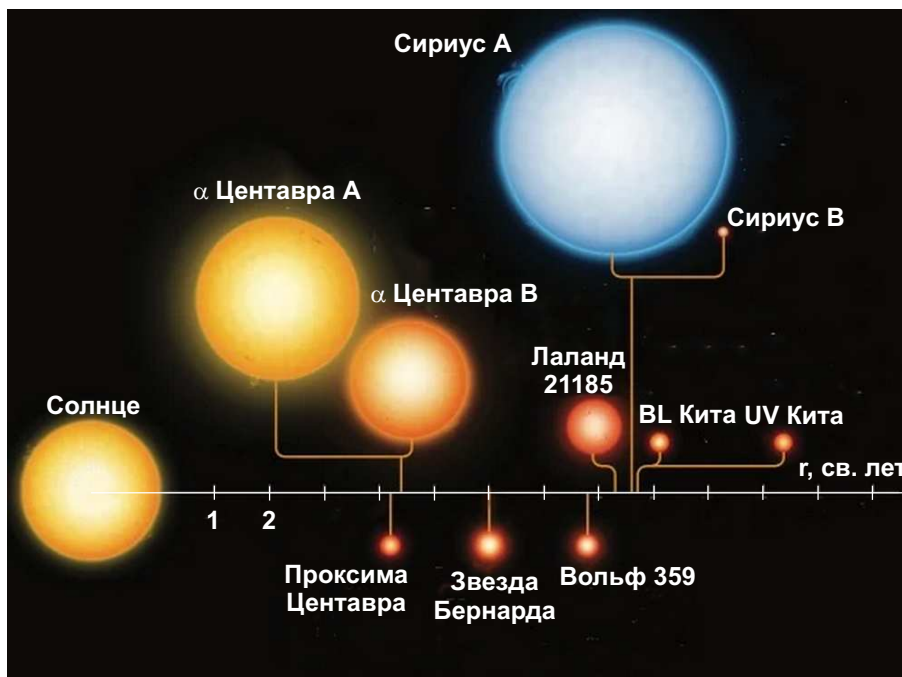


Рис. 3. Солнце и ее звездное окружение (10 ближайших звезд с приближенным соблюдением соотношений их размеров). П-образные скобки, соединяющие звезды, указывают на их физическую двойственность. Координаты оснований перпендикуляров, восстановленных из тел звезд на ось расстояний, определяют их текущее расстояние до Солнца.

1.б) Какое количество лет идет свет от этой звезды до Солнца? Ответ, округлите до десятых.

1.в) Во сколько раз плотность данной звезды больше плотности Солнца?

2.а) Определите компоненты двойной звезды, которые имеют минимальную разность температур их поверхностей?

Варианты ответов:

1. Проксима Центавра	2. α Центавра А	3. α Центавра В	4. Звезда Барнарда
5. Вольф 359	6. Лаланд 21185	7. Сириус А	8. Сириус В
9. BL Кита	10. UV Кита	—	—

2.б) Какое количество лет идет свет от этой двойной звезды до Солнца? Ответ, округлите до десятых.

2.в) Чему равен минимально возможный (без слияния компонентов) сидерический период (в часах, до десятых) обращения данной пары относительно их общего центра масс? Форма каждого компонента – шар.

3.а) Какая из представленных звезд занимает четвертое место в рейтинге (в порядке возрастания их яркости) самых тусклых звезд среди представленных? В данном рейтинге у каждой звезды свой уникальный номер места, номера не повторяются.

Варианты ответов:

1. Проксима Центавра	2. α Центавра А	3. α Центавра В	4. Звезда Барнарда
5. Вольф 359	6. Лаланд 21185	7. Сириус А	8. Сириус В
9. BL Кита	10. UV Кита	—	—

3.б) Какое количество лет идет свет от этой звезды до Солнца? Ответ, округлите до десятых.

3.в) Чему равен минимальный диаметр (в мм, до целых) объектива телескопа, в который уже можно увидеть глазом эту звезду в идеальных условиях?

№ 4. «Солнечный секстет»

Шесть звезд, идентичных Солнцу, образуют правильный шестиугольник со стороной L и движутся по одной круговой орбите вокруг общего центра масс с периодом $T = 6$ земных лет. Определите:

1. Расстояние L (в а. е., до сотых).
2. Радиус R (в а. е., до сотых) их круговой орбиты;
3. Угловой радиус ρ (в угловых минутах, до десятых) ближайшей звезды, видимой с поверхности другой.
4. Во сколько раз интенсивность света у поверхности одной из звезд секстета, отличается от соответствующей величины у поверхности Земли?

№ 5. «Гипотеза полоого Фобоса»

Согласно одной из «музейных» гипотез прошлого, Фобос – крупнейший спутник Марса, сформировался вместе с материнской планетой, а значит должен состоять из того же вещества, что и кора Красной планеты (аргументами в пользу этой гипотезы являлись его исключительная близость к Марсу и идеально круговая орбита). Средняя массовая плотность марсианской коры составляет 2600 кг/м^3 . Шкловский И. С. в 1959 году предположил, что Фобос в своем теле имеет полость, имеющую искусственное происхождение, а именно созданную марсианами. А сам спутник мог быть использован как их орбитальная станция. Предположим, что эта полость имеет форму шара и касается сферической поверхности шарообразного спутника в одной точке («точкой выхода из полости»). Полагая, что тело спутника является однородным шаром с полостью, определите:

1. Массу (в килограммах) вещества тела Фобоса, которая была извлечена из области полости марсианами.
2. Радиус (в метрах, до целых) сферической полости спутника.
3. Ускорение (в м/с^2 , до сотысячных) свободного падения в «точке выхода из полости».
4. Значение скорости (в м/с , до сотых), которое сможет достичь космический корабль, вошедший в полость Фобоса в «точке выхода» с пренебрежимо малой скоростью и пролетевший по ее диаметру АВ? Чему при этом равно время полета (в мин, до десятых)?

№ 6. «Телескоп-солянка и его некоторые свойства»

Имеется 15 одинаковых телескопов-рефлекторов, с диаметром зеркала $D_T = 90 \text{ мм}$ и фокусным расстоянием $f_T = 1000 \text{ мм}$. Была высказана идея объединить эти телескопы в один супертелескоп для поиска тусклых объектов на перифирии Солнечной системы. Полагая, что оптическая схема такого телескопа является идеальной с тем же фокусным расстоянием, а монтаж способен обеспечивать слежение за данным участком неба в течении 5 минут, определите: а) эквивалентный диаметр (в мм, до целых) такого телескопа, б) относительное отверстие (до тысячных), в) проникающую силу телескопа (в зв. величинах, до десятых) в визуальных наблюдениях; г) блеск (в зв. величинах, до сотых) самых слабых объектов, которые можно зафиксировать в данный телескоп в видимом диапазоне, с помощью астрокамеры, в режиме слежения? Следует полагать, что минимальная порция энергии, необходимая для получения сигнала камерой от объекта в видимом свете, равна минимальной энергии, получаемой человеческим глазом с диаметром зрачка $d_y = 6 \text{ мм}$ от звезд с $m_y = +6^{\text{m}}$ за время $\tau_y = 50 \text{ мс}$.

Основные справочные данные

§1. Основные физические и астрономические постоянные

- Гравитационная постоянная – $G = 6.674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
- Скорость света в вакууме – $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
- Универсальная газовая постоянная – $R = 8.31 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$
- Постоянная Стефана-Больцмана – $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{К}^{-4}$
- Масса протона – $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
- Масса α – частицы – $m_\alpha = 6.645 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$
- Масса электрона – $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
- Астрономическая единица – $1 \text{ а.е.} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
- Парсек – $1 \text{ пк} = 3.261 \text{ св. лет} = 206265 \text{ а.е.} = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ м}$
- Постоянная Хаббла – $H = 72 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$

§2. Данные о Солнце

- Радиус – $6.955 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Масса – $1.989 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
- Светимость – $3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
- Спектральный класс – G2
- Видимая звездная величина – -26.74^m
- Абсолютная болометрическая звездная величина – $+4.83^m$
- Показатель цвета (B-V) – $+0.67^m$
- Эффективная температура – 5778 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 сут
- Средняя орбитальная скорость – 29.8 км/с
- Период вращения – 23 часа 56 минут 04 секунды
- Наклон экватора к эклиптике на эпоху 2000.0 – $23^\circ 26' 21.45''$
- Экваториальный радиус – 6378.14 км
- Полярный радиус – 6356.77 км
- Средний (по объему) радиус – 6371.01 км
- Масса – $5.974 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
- Средняя плотность – $5.52 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
- Объемный состав атмосферы – N_2 (78%), O_2 (21%), Ar ($\sim 1\%$)

§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 – $5^\circ 09'$

- Сидерический (звездный) период обращения – 27.321662 сут
- Синодический период обращения – 29.530589 сут
- Радиус – 1738 км
- Масса – $7.348 \cdot 10^{22}$ кг или 1/81.3 массы Земли
- Средняя плотность – $3.34 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$
- Визуальное геометрическое альbedo – 0.12
- Видимая звездная величина в полнолуние – -12.7^m

§5. Физические характеристики Солнца и планет

Планета	Масса		Радиус		Плотность	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Геометрич. альbedo	Вид. звездная величина*
	кг	массы Земли	км	радиусы Земли					
Солнце	$1.989 \cdot 10^{30}$	332946	695500	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
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	9.4494	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 Меркурия и Венеры 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.				
Меркурий	57.9	0.3871	0.2056	7.004	87.97 сут	115.9
Венера	108.2	0.7233	0.0068	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

§7. Характеристики некоторых спутников планет

Спутник	Масса	Радиус	Плотность	Радиус орбиты	Период обращения	Геометрич. альбедо	Вид. звездная величина*
	кг	км	г·см ⁻³	км	сут		
Земля							
Луна	$7.348 \cdot 10^{22}$	1738	3.34	384400	27.32166	0.12	-12.7
Марс							
Фобос	$1.08 \cdot 10^{16}$	~ 10	2.0	9380	0.31910	0.06	11.3
Деймос	$1.8 \cdot 10^{15}$	~ 6	1.7	23460	1.26244	0.07	12.4
Юпитер							
Ио	$8.94 \cdot 10^{22}$	1815	3.55	421800	1.769138	0.61	5.0
Европа	$4.8 \cdot 10^{22}$	1569	3.01	671100	3.551181	0.64	5.3
Ганимед	$1.48 \cdot 10^{23}$	2631	1.94	1070400	7.154553	0.42	4.6
Каллисто	$1.08 \cdot 10^{23}$	2400	1.86	1882800	16.68902	0.20	5.7
Сатурн							
Тефия	$7.55 \cdot 10^{20}$	530	1.21	294660	1.887802	0.9	10.2
Диона	$1.05 \cdot 10^{21}$	560	1.43	377400	2.736915	0.7	10.4
Рея	$2.49 \cdot 10^{21}$	765	1.33	527040	4.517500	0.7	9.7
Титан	$1.35 \cdot 10^{23}$	2575	1.88	1221850	15.94542	0.21	8.2
Япет	$1.88 \cdot 10^{21}$	730	1.21	3560800	79.33018	0.20	~ 11.0
Уран							
Миранда	$6.33 \cdot 10^{19}$	235.8	1.15	129900	1.413479	0.27	16.3
Ариэль	$1.7 \cdot 10^{21}$	578.9	1.56	190900	2.520379	0.34	14.2
Умбриэль	$1.27 \cdot 10^{21}$	584.7	1.52	266000	4.144177	0.18	14.8
Титания	$3.49 \cdot 10^{21}$	788.9	1.70	436300	8.705872	0.27	13.7
Оберон	$3.03 \cdot 10^{21}$	761.4	1.64	583500	13.46324	0.24	13.9
Нептун							
Тритон	$2.14 \cdot 10^{22}$	1350	2.07	354800	5.87685 [†]	0.7	13.5

* – для полнолуния или среднего противостояния внешних планет;

† – обратное вращение.

§8. Формулы приближенного вычисления

$$\sin x \approx \operatorname{tg} x \approx x;$$

$$\sin(x \pm \alpha) \approx \sin \alpha \pm x \cos \alpha;$$

$$\cos(x \pm \alpha) \approx \cos \alpha \mp x \sin \alpha;$$

$$\operatorname{tg}(x \pm \alpha) \approx \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{x}{\cos^2 \alpha};$$

$$(1 + x)^n \approx 1 + nx;$$

здесь $x \ll 1$, все углы выражаются в радианах.