

---

ХІІ РЕСПУБЛІКАНСКАЯ ОЛІМПІАДА  
ПО АСТРОНОМІІ  
27 – 31 марта 2006 г.

---



А.Л. Поплавский, Н.И. Стетюкевич

# РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРАКТИЧЕСКОГО ТУРА



## 1. Солнечное затмение.

Во время проведения данного тура олимпиады произойдет частное солнечное затмение. А) Предложите методы наблюдения затмения с использованием имеющихся у вас средств. Сравните их эффективность. Б) Определите моменты первого контакта, максимума и значение максимальной фазы. В) Сравните полученные данные с расчетными для г. Гродно. Г) Какие планеты находятся на видимой небесной полусфере во время затмения?

**Решение:** 29 марта в день проведения практического тура олимпиады состоится частное солнечное затмение, которое можно будет наблюдать при благоприятных погодных условиях. Обстоятельства затмения для места проведения олимпиады приведены в таблице и рисунках ниже.

<b>Обстоятельства частного солнечного затмения</b>			
<b>29 марта 2006 года в г. Гродно (СШ №16)</b>			
<i><math>\varphi=53^{\circ}41'40,3''</math>; <math>\lambda=23^{\circ}49'02,0''</math>; <math>h = 142</math> м (по данным интернет-сервиса GoogleEarth). Расчеты выполнены с помощью программы OCCULT Eclipses &amp; Transits v. 3.6.0</i>			
Явление	UT	Р.А.	h
Первый контакт	9h 58m 23s	204°	39°
Максимум	11h 01m 21s		39°
Последний контакт	12h 03m 49s	80°	36°
Значение максимальной фазы $\Phi_{\max} = 0,544$			



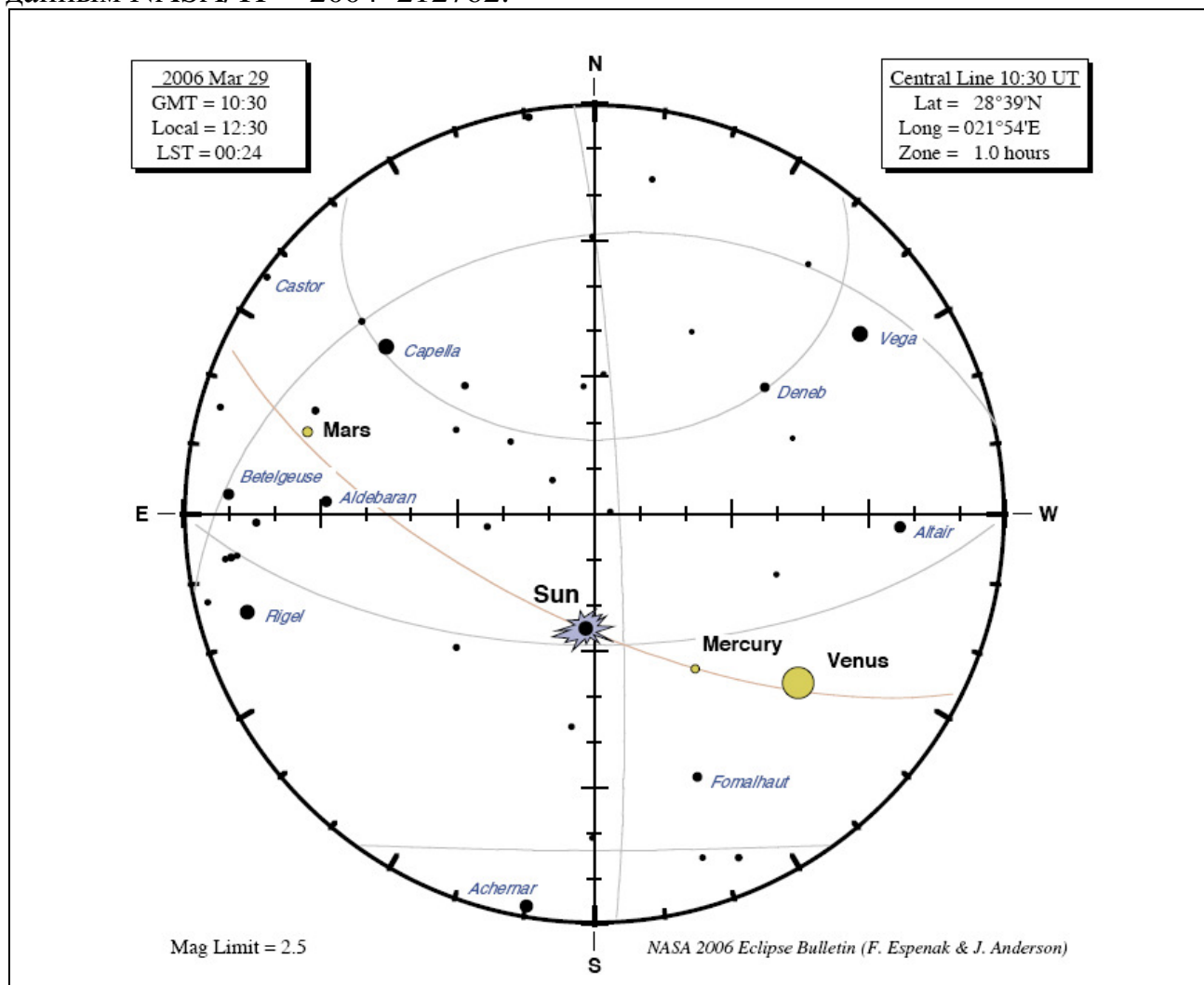
Фазы частного солнечного затмения 29 марта 2006 года в г. Гродно: первый контакт, максимум, последний контакт. Положения Солнца и Луны приведены относительно математического горизонта. Данные получены с помощью пакета Redshift 5.1.

А) Кроме наблюдений с солнечным светофильтром можно предложить еще два способа. Сделав маленькое отверстие в листе бумаги, его можно использовать как диафрагму для визуальных наблюдений затмения. Второй способ – сделав отверстие немного побольше, спроецировать изображение Солнца на экран по принципу камеры-обскуры. Тогда диаметр Солнца в сантиметрах будет равен  $r/1,15$ , где  $r$  – расстояние от отверстия до экрана в метрах. Эффективность и точность методов будут установлены в процессе наблюдений.

Б) Для определения моментов затмения (первый контакт и максимум) необходимы точные часы. Однако вряд ли удастся оценить их точнее 1 минуты (как показывает практика визуальных наблюдений со светофильтром похожих затмений авторами данного тура). Труднее всего будет установить момент максимума. Помощь при его определении могут оказать зарисовки фаз затмения.

В) При ответе на данный вопрос задачи участники олимпиады могут продемонстрировать свои знания обстоятельств затмения для города проведения олимпиады. При этом, сравнивая моменты, определенные из наблюдений с расчетными, вряд ли удастся уточнить эфемериды, однако можно определить точность выбранного метода наблюдений.

Г) Изображения планет на видимой полусфере приведено на рисунке по данным NASA/TP—2004–212762.



## 2. Аналемма.

А) Объясните вид данной вам солнечной аналеммы. Укажите: Б) точки солнцестояний и равноденствий; В) положение Солнца в день олимпиады. Г) Вычислите средний интервал между экспозициями.

**Решение:** А) Солнечная аналемма – траектория движения центра истинного Солнца относительно среднего Солнца. По форме напоминает восьмерку. Такую траекторию описывает в течение года центр Солнца, если его положение фиксировать в одно и то же время суток. На фотографии изображена многократная экспозиция Солнца на один и тот же кадр в течение года в разные дни в одинаковые моменты среднего солнечного времени. Ось аналеммы направлена на северный полюс мира, небесный экватор делит ее пополам в перпендикулярном направлении. Снимок сделан в северном полушарии. Об этом свидетельствует малая петля аналеммы, направленная вверх. В данном случае направление на северный полюс мира соответствует вечерним часам.

Б) Точки солнцестояний – крайние точки «восьмерки», т.к. в этих местах склонение Солнца достигает экстремумов. Верхняя точка – день летнего солнцестояния, нижняя – зимнего. Точки равноденствий – промежуточные значения, расположенные на небесном экваторе. Определим, какая из точек соответствует дню весеннего равноденствия. Местное среднее солнечное время в моменты экспозиций:

$$T_m = t + 12^h + \eta = \text{const.} \quad \text{Откуда}$$

$$t = t_0 - \eta, \quad \text{где } t_0 - \text{ часовая угол оси аналеммы. Для } 20.03$$

$\eta \approx 10$  минут (хорошие астрономы должны это знать), тогда  $t < t_0$ , и точки весеннего и осеннего равноденствий указаны на рисунке.

В) Зная видимое движение истинного Солнца, легко указать его положение в день олимпиады (см. рисунок).



Г) Средний интервал между экспозициями найдем по формуле:

$$\Delta\tau = \frac{365 \text{ суток}}{44 \text{ интервала}} = 8,3 \text{ суток}.$$

### 3. Гелиография.

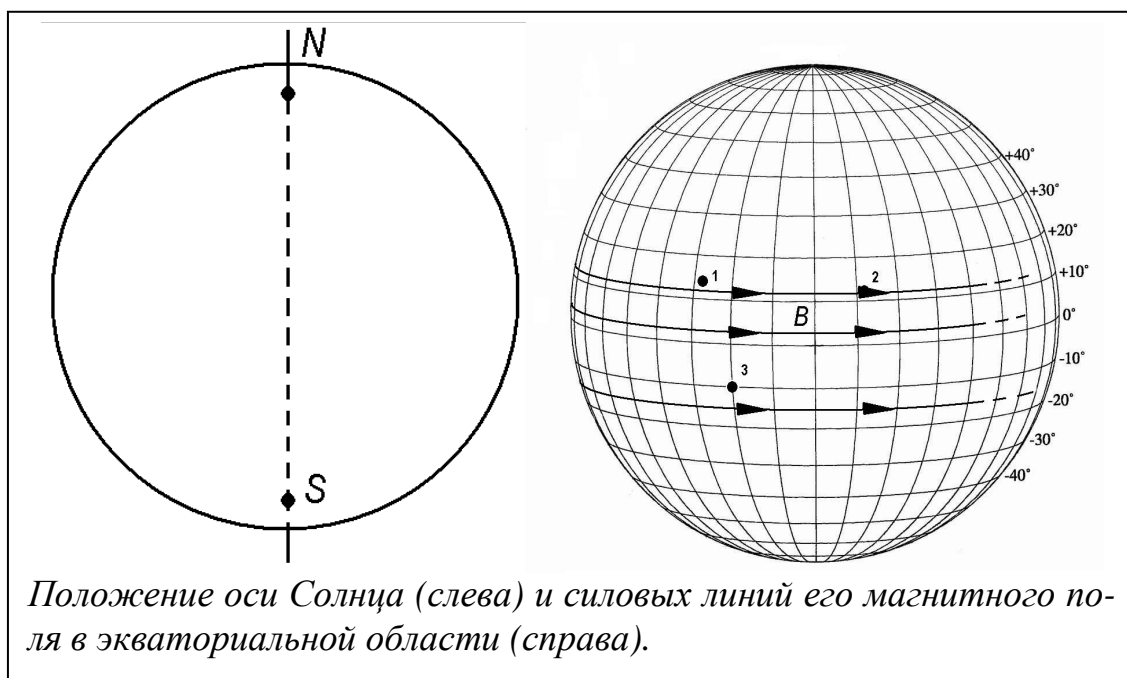
С помощью неподвижной фотокамеры сделаны две экспозиции Солнца на один и тот же кадр. А) Определите интервал времени между экспозициями. Б) Нанесите на изображения Солнца ось его вращения и структуру силовых линий магнитного поля в подфотосферном слое. В) С помощью диска Стонихарста найдите гелиографические широты солнечных пятен.

**Решение:** А) Измеряя линейкой угловые расстояния, на которые сместились пятна на небесной сфере за время экспозиции, получим смещение Солнца:

$$a = 17,7' \text{ и искомый интервал между экспозициями } \Delta\tau = \frac{a^\circ}{360^\circ} 24^h = 1^m 11^s.$$

Б) Найдем ось вращения Солнца с учетом гелиографической широты центра диска ( $7^\circ$ ) и позиционного угла ( $-15^\circ$ ). На рисунках с изображениями Солнца отмеряем  $15^\circ$  влево от направления на северный полюс мира (которое перпендикулярно смещению Солнца). Это и есть плоскость оси вращения. Сама ось в этой плоскости наклонена на угол  $7^\circ$  к картинной плоскости.

Силовые линии магнитного поля в рамках данной задачи можно изобразить, считая активность Солнца близкой к максимуму. При этом силовые линии (особенно в районе экватора) имеют тороидальную форму.



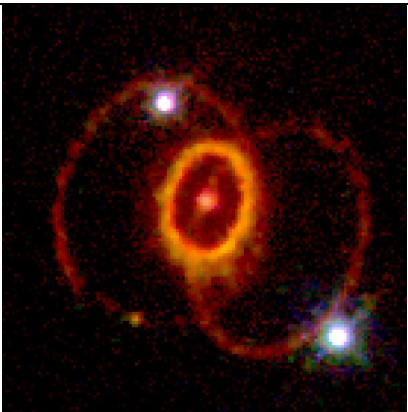
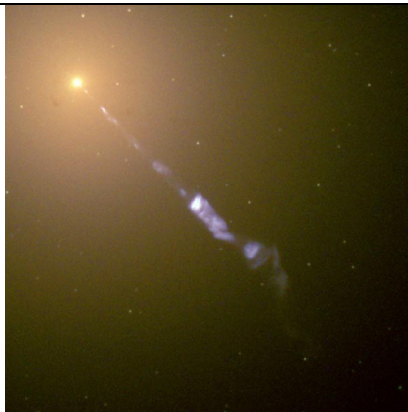
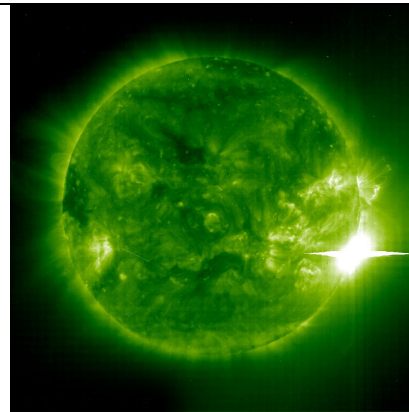
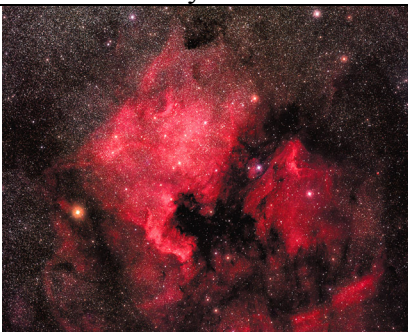

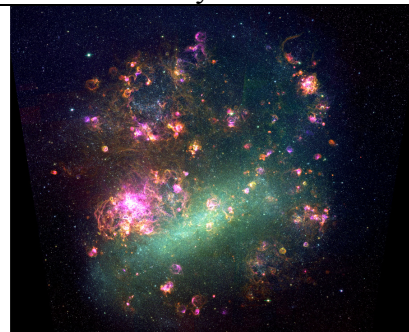
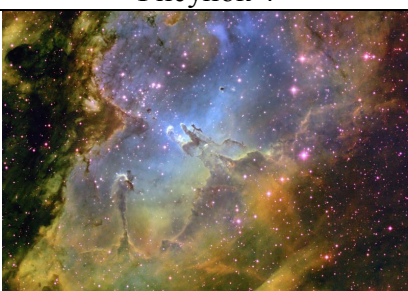





В) С помощью диска Стонихарста, получим гелиографические долготы пятен (см. рисунок):  $B_1=14^\circ$ ,  $B_2=12^\circ$ ,  $B_3=-10^\circ$ .



#### **4. Объекты и явления космоса.**

Укажите названия астрономических явлений и объектов, представленных в приложении 3, дайте им краткую характеристику и названия созвездий, в которых находятся данные объекты?

**Решение:** Данные о явлениях и объектах, изображенных на рисунках ниже, представлены в таблице.

		
Рисунок 1	Рисунок 2	Рисунок 3
		
Рисунок 4	Рисунок 5	Рисунок 6
		
Рисунок 7	Рисунок 8	Рисунок 9
		
Рисунок 10	Рисунок 11	Рисунок 12

№ рисунка	Название объекта	Созвездие	Краткая характеристика
1	Сверхновая 1987А	Золотая Рыба	Место вспышки сверхновой в туманности Тарантул галактики БМО
2	Галактика М87	Дева	Релятивистский джет ядра галактики М87
3	Солнечная вспышка	Весы	Самая мощная из наблюдаемых солнечных вспышек, произошла 4.11.2003г.
4	Туманности «Америка» и «Пеликан»	Лебедь	Газопылевые туманности Млечного пути
5	«Пояс Ориона»	Орион	Область интенсивного звездообразования
6	Галактика БМО	Золотая Рыба	Представлены области сверхассоциаций в галактике БМО
7	Скопление М16	Змея	Газовая туманность, ассоциированная со скоплением горячих звезд
8	«Крабовидная» туманность, М1	Телец	Остаток вспышки сверхновой 1054 г.
9	Скопление Плеяды, М45	Телец	Комета Мачхольца на фоне Плеяд
10	Галактика «Водоворот», М51	Гончие Псы	Взаимодействующие галактики
11	Участок Млечного пути	Стрелец	Вид ядра Галактики
12	Галактика «Сомbrero» М104	Дева	Крупная галактика с газопылевым диском

## **5. Аккреционный диск.**

На снимке, полученном космическим телескопом им. Хаббла, вы видите аккреционный диск активного ядра галактики NGC 4261 в оптическом диапазоне. А) Объясните механизм возникновения диска. Б) Укажите на рисунке основные компоненты диска. В) Рассчитайте оптическую светимость диска в светимостях Солнца. Г) Какая масса вещества должна падать ежегодно на центральную черную дыру для обеспечения полученной светимости?

**Решение:** А) В результате падения вещества, обладающего начальным угловым моментом на черную дыру, вследствие наличия в нем вязкого трения, образуется аккреционный диск.

Б) На рисунке изображены основные составляющие диска.

В) Из-за малости вклада пылевой составляющей в общее оптическое излучение диска вычисляем только излучение центральной плазменной компоненты. С помощью изофот получим видимую звездную величину диска (1 пиксел = 5 пк):

$$m_D = \left( \frac{23^m \times 5 \text{ пиксел}}{24^m \times 10 \text{ пиксел}} \right) = \left( \frac{23^m - 2,5 \lg 5}{24^m - 2,5 \lg 10} \right) - 3,5^m = \left( \frac{21,3^m}{21,5^m} \right) - 3,5^m =$$

$$= 21,3 - 2,5 \lg(1 + 10^{0,4(21,3-21,5)}) - 3,5^m = 17,1^m.$$

Найдем абсолютную звездную величину аккреционного диска:

$$M_D = m_D + 5 - 5 \lg r = m_D + 5 - 5 \lg \left[ 10^6 \frac{cz}{H} \right] = 17,1 + 5 - 5 \lg(30,4 \times 10^6) = -15,3^m. \quad \text{При}$$

вычислении использовалось значение постоянной Хаббла  $H = 72 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$  по данным *WMAP* (хороший астроном всегда знает новейшее значение постоянной Хаббла, как и светимости и абсолютной звездной величины Солнца, которые понадобятся в дальнейшем). С учетом абсолютной звездной величины диска, получим его светимость  $L = 10^{0,4(4,7+11,8)} = 10^8$  светимостей Солнца.

Г) Искомая величина называется темпом аккреции:  $\dot{m} = m/\Delta t$ . Рассчитаем ее значение в классическом приближении. Считаем, что вся потенциальная энергия вещества в поле черной дыры расходуется на излучение. Вещество, падая на черную дыру изменяет свою потенциальную энергию на величину

$$\Delta U = \frac{GMm}{R_g} = \frac{mc^2}{2}, \text{ где } R_g = \frac{2GM}{c^2} - \text{гравитационный радиус черной дыры. Тогда}$$

энергия излучения за единицу времени  $\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{mc^2}{2\Delta t} = \frac{\dot{m}c^2}{2}$ . Приравнивая данную величину к найденной светимости, получим  $\dot{m} = 25 \cdot 3,4 \times 10^{16} \text{ кг}/\text{с} = 10^{24} \text{ кг}/\text{год} \approx 4 M_{\oplus}/\text{год}$ .

